

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka / rakennetekniikka

Joonas Jaaranen

PUURAKENTEISEN VÄLIPOHJAN LASKENTAOHJELMA

Opinnäytetyö 2014

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka

JAARANEN, JOONAS

Opinnäytetyö

Työn ohjaajat

Toimeksiantaja

Tammikuu 2014

Avainsanat

Puurakenteisen välipohjan laskentaohjelma

61 sivua + 59 liitesivua

lehtori Jani Pitkänen

lehtori Juha Karvonen

Harri Moilanen (Finnmap Consulting Oy)

Timo Pekkinen (Finnmap Consulting Oy)

Finnmap Consulting Oy

puurakenteet, taulukkolaskenta, eurokoodi,
rakennesuunnittelu

Tämän työn tarkoituksena oli luoda puurakenteisten välipohjien taulukkolaskentaohjelma, jolla voidaan mitoittaa eurokoodin mukaisestipuupalkki-, ripa- ja kotelolaatta-välipohjia sekä puu-betoniliittolaattoja. Tarkasteltavat rakenteet tuli pystyä mitoittamaan murto- ja käyttörajatilassa sekä palotilanteessa. Työn tilaajana toimi Finnmap Consulting Oy, ja sovelluksen oli tarkoitus tulla yrityksen sisäiseen käyttöön nopeuttamaan ja helpottamaan puurakennuskohteiden välipohjien mitoitusta.

Työ toteutettiin projektina, jossa toimeksiantaja määritteli laskentaohjelmassa tarvittavat toiminnot ja halutun käyttöliittymän. Työn alussa vertailtiin olemassa olevia laskentaohjelmia ja niiden toimintoja. Ohjelman toteutusta varten etsittiin teoretietoa erilaisten puuvälipohjarakenteiden mitoituksesta. Opinnäytetyön kirjallisessa osassa esitetään katsaus puuvälipohjiin, laskennassa tarvittaviin mitoitusohjeisiin ja laskennan teoreettisiin lähtökohtiin sekä kuvataan laskentasovelluksen rakenne ja laskennan kulku.

Työn aikana tehtiin laskentasovellus, joka vastasi toimeksiantoa. Ohjelman toimivuutta tarkistettiin vertailulaskelmien avulla ja käytännön mitoitustehtävillä. Ohjelmaa kehitetään opinnäytetyön jälkeen ja jatkokehitystarpeita on kirjattu kirjallisen osan loppuun.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Construction Engineering

JAARANEN, JOONAS

A Spreadsheet Calculator for Dimensioning Wooden Intermediate Floors

Bachelor's Thesis

61 pages + 59 pages of appendices

Supervisor

Jani Pitkänen, Senior Lecturer

Juha Karvonen, Senior Lecturer

Harri Moilanen (Finnmap Consulting Ltd.)

Timo Pekkinen (Finnmap Consulting Ltd.)

Commissioned by

Finnmap Consulting Ltd.

January 2014

Keywords

timber structures, spreadsheet, eurocode, structural engineering

The subject of this bachelor's thesis was to create spreadsheet calculation -based software to perform structural calculations for different kinds of wooden intermediate floor systems according to the Eurocode standards and the Finnish building codes. The tool was intended to dimension simple timber joist floors and composite floor systems. It was a requisite that the tool could carry out calculations in ultimate and service limit states and in fire situations. The thesis was ordered by Finnmap Consulting Ltd. and the calculation tool was meant for the company's in-house use.

The work was conducted as a project where the client listed what functionalities and what kind of user interface were needed. Different kinds of existing calculation software were compared in the beginning of the work. Theoretical information on designing wooden floors was searched for and gathered as a background for the calculation tool. An overview of different kinds of wooden floor types, calculation methods needed in the structural analysis, and some theoretical aspects of the subject are presented.

As a result of the project, a working calculation tool that met the requisites was made. The validity of the calculations was tested by comparative manual calculations. The tool will be improved even after the thesis is completed, and some of the ideas and future requirements are listed in the final chapter of the thesis

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	TOIMEKSIANNON SISÄLTÖ JA RAJAUKSET	7
3	OLEMASSA OLEVAT LASKENTAOHJELMAT	8
4	PUU- JA LIITTOVÄLIPOHJIEN TOIMINTA JA MITOITUS	13
	4.1 Katsaus puuvälipohjarakenteisiin	13
	4.2 Puuvälipohjien rakennusmateriaalit	15
	4.3 Eurokoodimitoitus	19
	4.4 Välipohjarakenteen kuormat	20
	4.5 Käsiteltävien välipohjarakenteiden rajaus	21
	4.6 Rasiusten ja taipuman laskenta	21
	4.7 Rakenteen kestävyden osoittaminen	23
	4.7.1 Normaalijännityksien laskenta	25
	4.7.2 Leikkausjännitysten laskenta	27
	4.7.3 Suorakaidepoikkileikkauksen jännitysten laskentakaavat	27
	4.7.4 Mekaanisesti liitettyjen poikkileikkausten toiminta	28
	4.7.5 Puu-betoniliittorakenteet	32
	4.7.6 Liitinjäykkyydet	35
	4.7.7 Laippojen tehollinen leveys	36
	4.7.8 Viruman vaikutus jännityksiin	37
	4.7.9 Betonin viruminen ja kutistuminen	39
	4.7.10 Mitoitusehdot murtorajatilassa	39
	4.8 Rakenteen käyttökelpoisuuden varmistaminen	40
	4.8.1 Taipuma	41
	4.8.2 Välipohjan värähtely	43
	4.9 Välipohjan palonkestävyys	47
5	LASKENTAOHJELMAN TOTEUTUS	50
	5.1 Laskentaohjelman rakenne	50

5.2 Mitoituksen kulku	51
5.3 Laskennan tulosteet	53
6 LASKENTAOHJELMAN VERTAILU KÄSIN LASKENNAN TULOSSIIN	53
6.1 Vertailuvälipohja 1	54
6.2 Vertailuvälipohja 2	54
7 TULOSTEN TARKASTELU JA JATKOKEHITYSTARPEET	55
7.1 Tulokset	55
7.2 Jatkokehitysehdotukset	56
LÄHTEET	59
LIITTEET	

Liite 1. Toimeksiannon kuvaus

Liite 2. Vertailulaskelma 1, käsinlaskenta

Liite 3. Vertailulaskenta 1, laskentaohjelman tulosteet

Liite 4. Vertailulaskelma 2, käsinlaskenta

Liite 5. Vertailulaskenta 2, laskentaohjelman tulosteet

1 JOHDANTO

Puurakentaminen on ollut muutaman viime vuoden aikana paljon esillä ja etenkin puukerrostaloilla on ollut uusi nousukausi 1990-luvun loppupuolen laajan koerakentamisen jälkeen. Rakennusmääräyskokoelman uusitun osan E1 (2011) mukana on tullut mahdollisuus rakentaa jopa kahdeksankerroksisia puisia asuinrakennuksia taulukkopalomitoituksella. Kasvava puurakentaminen ja suuremmat volyymit tuovat mukanaan myös haasteita rakennusalan eri toimijoille. Rakennusratkaisuja on jouduttu kehittämään ja esimerkiksi puurakenteisilta välipohjilta edellytetään entistä pidempiä jännevälejä kilpailukyvyn takaamiseksi. Uudet rakenteet ja pidemmät jännevälit ovat kasvattaneet myös vaatimuksia ja työmäärää rakennesuunnittelussa.

Opinnäytetyön toimeksiantajana on rakennesuunnitteluun erikoistunut yritys Finnmap Consulting Oy. Yritys toimii niin uudis- kuin korjausrakennuskohteiden suunnittelussa asunto-, toimisto-, liike- ja teollisuusrakentamisen sekä julkisen rakentamisen alalla. Yritys on ollut myös mukana monissa suurissa puurakennuskohteissa. Näistä viimeisimpiä ovat Vierumäelle vuonna 2011 valmistunut viisikerroksinen puukerrostalo Asunto Oy Heinolan PuuERA, vuonna 2014 valmistuva puurakenteinen Mansikka-Ahon koulu Kouvolassa ja vuoden 2015 asuntomessuille Vantaan Kivistöön valmistuva Suomen suurin puukerrostalokohde.

Työn tavoitteena oli laatia tilaajan käyttöön taulukkolaskentaohjelma, jolla voidaan mitoittaa erilaisia puurakenteisia välipohjia eurokoodien mukaisesti. Ohjelman oli tarkoitus soveltua tavallisille puupalkkivälipohjille, ripalaatta- ja kotelolaattarakenteille sekä puu-betoniliittolaatoille. Mitoituksessa tuli tarkastaa murto- ja käyttörajatilat sekä palotilanteen mitoitus. Tarkempi erittely toimeksiannosta on esitetty luvussa 2.

Tilaajan tavoitteena oli tehostaa ja nopeuttaa puurakenteisten välipohjien suunnittelua ja mahdollistaa joustavampi rakennevaihtoehtojen vertailu rakennushankkeen eri vaiheissa.

2 TOIMEKSIANNON SISÄLTÖ JA RAJAUKSET

Opinnäytetyöstä sovittaessa määriteltiin ohjelman sisältö ja sen toiminnot. Tilaa- ja asemi ohjelmalle seuraavat sisältövaatimukset. Ohjelmalla tulee pystyä tekemään valitulle välipohjatyypille

- murtorajatilatarkastelu, jossa tehdään rakennetyypistä riippuvat tarkastelut
- käyttörajatilatarkastelu, jossa tarkastetaan rakenteen taipuma- ja värähtelymitoitus
- palotilanteen tarkastelu, jossa tarkastetaan rakenteen kestävyys suojaamattomana tai suojattuna palotilanteessa.

Laskentaohjelman toiminta rajattiin yksiaukkoisiin rakenteisiin, jolloin moniaukkoiset rakenteet jäivät myöhemmin toteutettaviksi. Vaihtoehtoisia rakenteita, joita sovelluksella tulee pystyä tarkastelemaan, ovat yksinkertainen puupalkkivälipohja, ripalaatta, kotelolaatta ja puubetoniliittolaatta.

Lisäksi ohjelmaan sovittiin tehtäviksi täydentäviä mitoitusosioita, jotka toteutetaan käytössä olevana aikana. Näitä osioita ovat:

- tukipainetarkastelu
- tuelta lovetun palkin lovivaikutuksen tarkastelu
- liittorakenteen liitinten mitoitus
- kelluvan pintalaatan vaikutus värähtelyyn
- kenttävärähtely eli juostavilla tuilla olevan välipohjan värähtelymitoitus.

Laskenta sovittiin perustuvan täysin eurokoodin mukaiseen mitoitukseen. Ohjelman käyttöliittymän tuli olla nopeakäyttöinen, perustua alavetovalikoiden käyttöön ja syöttötietojen tuli olla annettavissa yhdellä välilehdellä. Tarkempi erittely laskentaohjelman sovitusta ominaisuuksista on opinnäytetyön hyväksyttämisen yhteydessä koululle toimitetussa kuvauksessa opinnäytetyön sisällöstä (liite 1).

Ohjelman valmistamisen aikataulua ei sovittu tarkasti, vaan ohjelman tuli olla käyttövalmiina syksyyn mennessä. Ohjelmaa kuitenkin oli tarkoitus kehittää ja korjata tämänkin jälkeen saatujen käyttökokemusten perusteella.

3 OLEMASSA OLEVAT LASKENTAOHJELMAT

Nykyisin on käytössä lukuisia eri mitoitusohjelmia rakennesuunnittelun tarpeisiin. Ohjelmien soveltuvuus erilaisten rakennejärjestelmien ja rakenneosien mitoitukseen vaihtelee huomattavasti, eikä ohjelmaa, joka soveltuisi jokaiseen tarpeeseen sekä olisi riittävän nopea ja joustava käyttää, ole markkinoilla. Puuvälipohjien suunnittelu on yksityiskohtaista rakenneosan mitoituslaskentaa, kun halutaan hyödyntää rakenteen koko kapasiteetti ja mitoittaa valittu rakenneratkaisu tarkasti.

Suomessa on tarjolla useita ohjelmia, joilla voidaan mitoittaa puuvälipohjia. Useissa tapauksissa se onnistuu valitettavasti vain osittain, joten laskentaa joudutaan täydentämään muilla ohjelmilla tai käsinlaskentamenetelmillä.

Kärkkäinen (2012, 11) on opinnäytetyössään käsitellyt markkinoilla olevien laskentaohjelmien soveltuvuutta puurakennesuunnitteluun. Kärkkäinen on valinnut tarkasteltaviksi seuraavat ohjelmat:

- Metsä Woodin Finnwood 2.3 SR1
- Pauli Närhen PupaX5
- Virtual Systems Oy:n Jigi.

Hän mainitsee myös Puuinfo Oy:n puisten välipohjapalkkien värähtelyyn ja palomitoitukseen tarkoitetut laskentaohjelmat, mutta ei ole käsitellyt niitä tarkemmin työssään. Kaikki mainitut ohjelmat mitoittavat rakenteen Eurokoodien mukaan.

Kärkkäinen (2012, 23–27) on vertaillut työssään välipohjapalkin mitoitusta em. ohjelmilla ja käsinlaskentana. Kattavimmat tulokset antaa Finnwood, jolla voidaan tarkastaa myös värähtelymitoitus ja tukipainekestävyys. Tulokset Finnwoodin ja PupaX5:n välillä ovat vertailukelpoisia, mutta Kärkkäisen tutkimus versio Jigistä on antanut poikkeavia mitoitustuloksia. Kärkkäinen (2012, 52) toteaaakin, että parhaiten välipohjami- toitukseen soveltuvat Finnwood ja PupaX5, joskin jälkimmäinen tarvitsee tueksi jonkin muun ohjelman, jolla värähtelyä voidaan tarkastella. Vertailu ei kuitenkaan kerro riittävästi ohjelmien soveltuvuudesta monimutkaisempien välipohjatyyppeiden mitoitukseen, koska se on tehty pientalon puupalkkivälipohjaa tarkastellen.

Kärkkäisen vertailemista ohjelmista tässä työssä tarkastellaan PupaX5- ja Finnwood 3.2 SR1 -ohjelmia. Jigi jätetään ulkopuolelle vertailusta, koska sitä ei ollut käytössä opinnäytetyötä tehtäessä. Lisäksi tarkastellaan aiemmin mainittuja Puuinfo Oy:n laske-
ntasovelluksia. Vertailussa tyydytään tekemään katsaus ohjelmien ominaisuuksiin ja niiden soveltumiseen välipohjien mitoitusohjelmaan. Seuraavissa luvuissa esitetyt kohdat, joissa ei ilmoiteta lähdeviittausta, perustuvat opinnäytetyön tekijän suorittamiin ohjelman käyttökokeiluihin.

Finnwood 2.3 SR1 on Metsä Woodin omistama puurakenteiden mitoitusohjelma. Mitoitus perustuu standardiin SFS-EN 1995-1-1 ja sen täydennysosaan A1:2008 sekä näiden kansallisiin liitteisiin ja RIL 205-1-2009 -suunnitteluohjeeseen. (Metsä Wood 2013.)

Ohjelmalla voidaan mitoittaa palkki-, laatta- ja pilarirakenteita jatkuvina tai yksiaukkoisina rakenteina. Palkki- ja pilarirakenteiden materiaaleiksi voidaan valita lähes kaikkia markkinoilla olevia puutuotteita ja ohjelman tietokantaan voidaan luoda uusia poikkileikkauskokoja tarpeen mukaan. Yhteen suuntaan kantavina laattarakenteina voidaan mitoittaa Metsä Woodin valmistamia Kerto-Ripa-elementtilaattoja. (Metsä Wood 2012a, 2.)

Ohjelmaan syötetään lähtötietoina rakenteen tyyppi, mitat, tuennat, palkkijako sekä kuormitukset. Laattoja mitoitettaessa palkkijako määräytyy valitun rakennetyypin mukaan. Ohjelman mitoitusosiossa valitaan haluttu käyttöluokka, seuraamusluokka ja poikkileikkaus, jonka perusteella ohjelma tarkistaa mitoitusohjeiden täyttymisen. Laskennasta voidaan tarkastella leikkausvoima-, taivutusmomentti- ja taipumakuvaajia sekä tukireaktioita eri kuormitustapauksissa ja -yhdistelmillä. Käyttäjä voi lopuksi tallentaa ja tulostaa PDF-muodossa laskelman myöhempää käyttöä varten. PDF-tuloksen sisältö on käyttäjän valittavissa tarpeen mukaan. (Metsä Wood 2012b.)

Sovelluksella ei ole mahdollista suorittaa rakenteen palomitoitusta ja yhdistettyjen poikkileikkausten mitoitus on rajoitettu Metsä Woodin omiin tuotteisiin. Rakenteissa ei voi myöskään tutkia mekaanisin liittimin kootun rakenteen toimintaa. Jotkin oletukset laskelmissa poikkeavat yleisistä mitoitusmenetelmistä ja perustuvat rakenteista tehtyihin tutkimusselvityksiin, mikä hankaloittaa laskentatulosten vertailua.

Puuinfo Oy jakaa ilmaiseksi erilaisia laskureita puurakenteiden mitoitukseen. Puuvälipohjarakenteiden mitoitukseen tarkoitettuja laskureita on kaksi: puuvälipohjan värähtelymitoitushjelma ja puupalkiston palomitoitushjelma.

Puuvälipohjan värähtelymitoitushjelma (versio 1.2) tarkastelee välipohjan värähtelyä ohjeen RIL 205-1-2009 mukaan. Tarkastettava rakenne koostuu puupalkistosta ja siihen liimatusta tai mekaanisilla liittimillä liitetystä kansilevystä, kun tarkastellaan välipohjan kantosuunnan jäykkyyttä. Poikittaisen jäykkyyden laskennassa voidaan huomioida lisäksi kansilevyn, poikittaisjäykisteiden ja koolauksen muodostaman liittorakenteen sekä valettavan pintalaatan vaikutus. Ohjelmaan syötetään laskennassa välipohjan kuormat ja mitat. Välipohjarakenne voidaan mitoittaa kahdelta tai neljältä sivulta tuetuna. Syöttötietojen perusteella ohjelma ilmoittaa lattiarakenteen ominaistajuuden, taipuman 1 kN:n pistekuormalle ja näiden hyväksyttävyyden normien raja-arvoihin verrattuna. Tarvittaessa käyttäjä voi lisätä omia materiaaleja ja liittimiä laskurin kirjastoihin. (Puuinfo 2011.) Ohjelma soveltuu erinomaisesti pientalojen ja muiden kohteiden, joissa ei käytetä kotelolaatta- tai liittolaattarakenteita, suunnitteluun. Mahdollisuus käyttää vapaita yhdistettyjä poikkileikkauksia rajoittaa kuitenkin ohjelman soveltuvuutta suurten jännevälien kohteisiin.

Palkiston palomitoitushjelma (versio 1.5) tarkastelee välipohjan palonkestävyyttä ohjeen RIL 205-2-2009 mukaan. Ohjelma laskee korkeintaan R60 paloluokkavaatimuksen mukaisen välipohjapalkin hiililymän ja tekee tarkistukset palkin taivutus- ja kiepahduskestävyydelle palotilanteessa. Käyttäjä syöttää lähtötietoina palkin jännevälän ja palotilanteen momentin suunnitteluarvon sekä valitsee käytettävän palonsuojalevytyksen, alakattokoolauksen, palon sijainnin, välipohjapalkin, ontelon eristyksen ja kiepahdustuennat. Ohjelma tulostaa taivutuksen ja kiepahduksen käyttöasteet sekä levytyksien ja koolausten vaadittavat kiinnikepituudet. (Puuinfo 2013.) Ohjelma soveltuu hyvin käytettäväksi pitempienkin jänneväliden puuvälipohjien mitoitukseen, koska laskentaa voidaan yksinkertaistaa varmalle puolelle niin, että yksinomaan palkisto kestää palotilanteen kuormat sortumatta vaikka kyseessä olisikin yhdistetty poikkileikkaus tai liittorakenne. Sovelluksessa ei kuitenkaan voida määrittää omia liittimiä tai palkki-poikkileikkauksia, kuten värähtelymitoitushjelmassa, mikä rajoittaa käyttöaluetta.

PupaX5 (versio 1.1) on Ins.tsto Pauli Närhen kaupallinen yksiaukkoisten tai jatkuvien palkkien mitoitukseen tarkoitettu ohjelma. Ohjelmalla voidaan mitoittaa teräs- tai puupalkkeja. Mitoitus voidaan tehdä joko rakennusmääräyskokoelman tai eurokoodin mukaan. Puurakenteiden eurokoodimitoitus perustuu ohjeeseen RIL 205-1-2007 ja ohjeeseen päivityksiin 1.9.2009. (Ins.tsto Pauli Närhi 2013.) Materiaaleina mitoituksessa voidaan käyttää sahatavaraa, liimapuuta tai Kerto-S-viilupuuta. Poikkileikkausten mitat voidaan valita tai määrittää vapaasti neliöpoikkileikkauksina. Lisäksi mahdollisuutena on käyttää pyöröhirttä mitoittavana poikkileikkauksena.

Lähtötietoina ohjelmaan syötetään rakenteen jännevälit, tuentatavat ja kuormat. Ohjelma tulostaa käyttäjälle momentti- ja leikkausvoimapinnat, ja yksittäisiä leikkausvoiman, momentin ja tukireaktioiden maksimi- ja minimiarvoja voidaan tarkastella murtorajatilassa. Mitoitusosiossa käyttäjä valitsee halutun käyttöluokan, materiaalin ja poikkileikkauksen tai antaa ohjelman valita sopivan korkeuden poikkileikkaukselle. Valinnan jälkeen ohjelma tulostaa poikkileikkauksen taivutus- ja leikkauskestävyyden sekä näiden käyttöasteen, jännitykset ja lujuuden mitoitusarvot. Käyttöraajatilassa ohjelma ilmoittaa hetkellisen ja pitkäaikaisen taipuman, vertaa näitä taipuman raja-arvoon ja ilmoittaa myös ominaistaajuudet ja taipumat 1 kN:n pistekuormalla. Testattu versio antaa käyttäjälle mahdollisuuden valita, onko palkisto liitetty lattialevytykseen työmaalla tai tehtaalla liimaten, mutta itse levytystä ei määritellä. Lisätiedoista voidaan tarkistaa käytetyt materiaaliominaisuudet, pienennyskertoimet ja minimitukipinnat. Ohjelma ei tee palomitoitusta.

Pupax on yleisesti käytetty, nopea ja helppo ohjelma palkkirakenteiden tarkasteluun. Välipohjalaskentaan ohjelma on melko suppea ja soveltuneekin lyhyiden jänneväliden puupalkkivälipohjiin kohteissa, joissa palomitoitukselle, yhdistetyille poikkileikkauksille tai liittorakenteille ei ole tarvetta. Värähtelymitoitus ohjelmassa on likimääräinen: ominaistaajuus ilmoitetaan kokonaisluvun tarkkuudella, kansilevyn liittovaikutuksen valinnat ovat rajatut ja laskennan tarkastaminen on työlästä. Tarkempi tarkastelu edellyttää käsinlaskentaa tai toisen ohjelman käyttöä.

Taulukko 1. Puuvälipohjien mitoitukseen soveltuvien ohjelmien ominaisuuksien vertailutaulukko. Merkintä (x) taulukossa tarkoittaa, että ohjelmassa on kyseinen ominaisuus käytettävissä.

Ominaisuus	Ohjelma			
	Finnwood 2.3 SR1	PupaX5	Puufon värähtelymitoitushjelma	Puufon palomitoitusohjelma
Murtorajilamitoitus	x	x		
Käyttöraajilamitoitus	x	x		
Värähtelymitoitus	x	x ⁽²⁾	x	
Palomitoitus				x
Yhdistetyt poikkileikkaukset	x ⁽¹⁾		x ⁽³⁾	
Liittorakenteet				
Jatkuvat rakenteet	x	x		
¹⁾ Ohjelmassa voidaan mitoittaa vain Metsä Woodin omia elementtilaattoja. ²⁾ Ohjelman värähtelymitoitus on likimääräinen. ³⁾ Ohjelmassa voidaan mitoittaa vain T-poikkileikkaus.				

Kuten yhteenvedosta (taulukko 1) voidaan havaita, yhdelläkään tarkastelluista mitoitushjelmista ei voi yksinään tehdä tarvittavia tarkastuksia kaikille rakennetyypeille. Kun käytetään Finnwood 2.3 SR1 -ohjelmaa rinnan puufon laskureiden kanssa, on käyttöalue jo varsin laaja, mutta liittorakenteiden tai vapaiden yhdistettyjen poikkileikkausten mitoitukseen soveltuvia ohjelmia ei vertailussa ollut.

4 PUU- JA LIITTOVÄLIPOHJIEN TOIMINTA JA MITOITUS

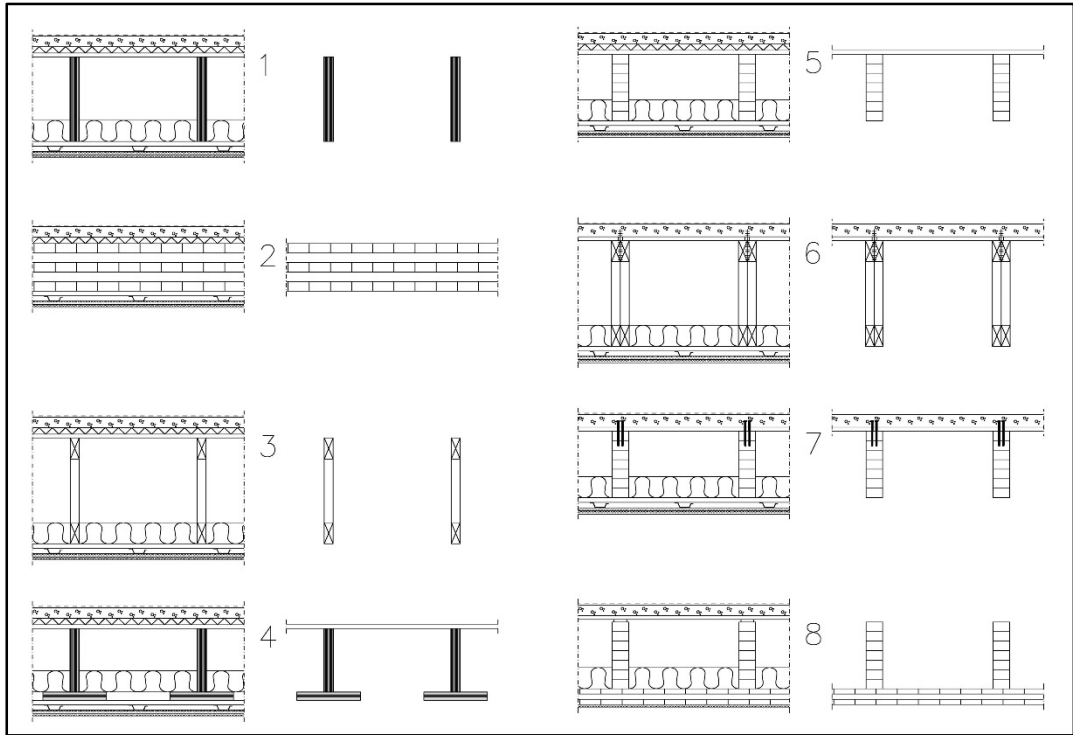
Puiset välipohjarakenteet ovat hyvin yleisiä etenkin pientalorakentamisessa, minkä vuoksi myös suunnittelun teoria ja käytäntö on alalla varsin hyvin tunnettua. Työssä keskitytään tarkastelemaan pääasiassa liittorakenteisiin, värähtelymitoitukseen ja palotekniseen mitoitukseen liittyviä erityiskysymyksiä, jotka ovat laskentaohjelman toiminnan kannalta oleellisimpia. Tavanomaiset puupalkkikannatteiset välipohjat jätetään vähemmälle huomiolle. Mitoituksen perusasiat on esitetty viittauksin käytettyihin normeihin tekstissä ja vertailulaskelmissa. Laskennan kannalta ratkaisevia ja harvinaisempia laskentamenetelmiä käsitellään välipohjarakenteiden toimintaa ja eurokoodimitoitusta käsittelevissä luvuissa.

4.1 Katsaus puuvälipohjarakenteisiin

Puisista välipohjarakenteista on olemassa lukuisia variaatioita. Yksinkertaisimmillaan välipohja koostuu puupalkistosta, jonka päälle lattialaudoitus tai muu vastaava pinta rakennetaan. Rakenne on kuitenkin ääniteknisesti erittäin heikko, ei tarjoa suojaa kantavalle rakenteelle palotilanteessa eikä myöskään sovellu käytettäväksi pidemmällä jänneväleillä. Puukerrostaloissa ja muissa vaativissa kohteissa, joissa välipohjalle asetetaan suurempia vaatimuksia kuin pientalojen huoneistojen sisäisissä välipohjissa, rakenteet ovat monimutkaisia sisältäen useita erilaisia rakennekerroksia ja materiaaleja.

Tolppanen, Karjalainen, Lahtela ja Viljakainen (2013, 62–63) ovat kirjassaan luettelleet esimerkkejä erilaisista puukerrostalojen välipohjarakenteista. Välipohjatyyppejä voidaan luokitella niiden kantavien rakenteiden mukaan. Kuvassa 1 on esitetty Tolppasen ym. kirjaa mukaillen erilaisia välipohjia.

1. rankarakenteinen välipohja
2. CLT-rakenteinen välipohja
3. NR-palkkivälipohja
4. ripalaattavälipohja (LVL-palkit)
5. ripalaattavälipohja (liimapuupalkit)
6. NR-palkkirakenteinen puu-betoniliittolaatta
7. palkkirakenteinen puu-betoniliittolaatta
8. käännetty ripalaatta.



Kuva 1. Esimerkkejä puukerrostalon välipohjarakenteista. Vasemmalla välipohjan rakennepoikkileikkaus, oikealla kantava rakenne.

Kaikissa em. välipohjatyypeissä on kantavan rakenteen lisäksi esitetty kansirakenne, joka muodostaa alustan lattian pinnalle, toimii osana ääniteknistä massaa ja toimii osana puurakenteen palonsuojausta. Välipohjan alapinnassa on alakattolevytys, joka osallistuu myös ääneneristykseen ja suojaa puurakennetta alapuoliselta palolta.

Materiaaleina välipohjan osissa voidaan käyttää lähes mitä tahansa puutuotteita. Palkisto voidaan tehdä sahatavarasta, liimapuusta, viilupuusta, ohutumapalkeista tai NR-ristikkopalkeista. Vaihtoehtona on käyttää CLT-levyä välipohjan kantavana laattana. Kansirakenteessa rakennuslevynä voidaan käyttää vaneria, ohutta CLT- tai OSB-levyä tai Kerto-Q-levyä. Rakenteet voidaan kasata liimaruuvauksella ripalaatoiksi tai voidaan käyttää puurakennetta yhdessä betonin tai teräksen kanssa liittorakenteena. (Tolppanen ym. 2013, 64.)

Usein välipohjarakenteet räätälöidään kohteeseen sopiviksi, mutta markkinoilla on myös useita teollisia välipohjarakennejärjestelmiä. Esimerkkeinä mainittakoon SEPA Groupin SEPA 2000 -puubetoniliittolaatta ja MetsäWoodin Kerto-Ripa-lattiaelementti.

4.2 Puuvälipohjien rakennusmateriaalit

Seuraavissa kappaleissa on esitetty lyhyt kooste laskentaohjelmassa käytettävistä materiaaleista, niiden valmistuksesta ja saatavilla olevista kappalemitoista.

Sahatavara

Sahatavara on perinteisesti erittäin yleisesti käytetty materiaali etenkin pientalorakentamisessa. Sahatavaralla tarkoitetaan kaikilta sivuilta sahattua ja tarvittaessa höylättyä puutavaraa. Sahatavaraa on saatavilla sahapintaisena, mitallistettuna eli karkeahöylätynä tai höylättyinä.

Sahatavaran tie valmiiksi tuotteeksi alkaa metsästä, jossa puu kaadetaan ja josta se kuljetetaan sahalaitokselle. Sahalla puu kuoritaan, sievennetään, mitataan, sahataan ja särmätään, minkä jälkeen laudat ja lankut lajitellaan. Valmis tuoresahatavara viedään kuivaamoon, jossa se kuivataan haluttuun kosteuteen. Tämän jälkeen sahatavara lajitellaan, tasataan ja pakataan valmiiksi kuormiksi. (Sipi 2006.)

Kantavissa rakenteissa edellytetään, että käytettävä sahatavara on lujuuslajiteltua ja standardin EN 14081-1 mukaista. Jokainen lujuuslajiteltu kappale leimataan lajittelun yhteydessä. Havupuussa käytetään lujuusluokkia C14...C50, jotka esitetään standardissa EN 338. Suomessa yleisimmät lujuusluokat ovat C18, C25, C30, C35 ja C40. Sahatavaraa voidaan myös jatkaa, ja tämän sormijatkettun sahatavaran tulee olla standardin EN 385 mukaista. (RIL 205-1-2009, 46–47.)

Sahatavaraa valmistetaan monilla eri poikkileikkausmitoilla, joskin sahatavan tukin koko rajoittaa suurempien dimensioiden valmistusta ja saatavuutta. Yleisimmin rakennesahatavaraa käytetään mitallistettuna. Taulukossa 2 esitetään mitallistetun sahatavaran dimensioita ja niiden saatavuutta. Jatkamattoman sahatavaran pituus on yleensä 2,7...5,4 m ja sormijatkettua sahatavaraa on saatavilla jopa 12...14 m pitkänä (RT 21-10978, 6–7).

Taulukko 2. Mitallistetun sahatavaran yleisimmät dimensiot ja niiden saatavuus (RT 21-10978, 6.)

PAKSUUS [mm]	LEVEYS [mm]												
	48	66	73	95	98	120	123	145	148	173	198	223	248
20 ¹⁾													
42													
48													

¹⁾ hienosahattu pinta

 = vakiokoko
 = harvemmin tuotettava koko

Liimapuu

Liimapuu on sahatavaran jatkojaloste, joka valmistetaan höylätystä enintään 45 mm paksuista lamelleista, joita on liimattu vähintään neljä kappaletta päällekkäin. Liimapuun tulee olla standardin SFS-EN 14080 mukaista, ja se valmistetaan standardin SFS-EN 386 mukaan. Liimauksen jälkeen liimapuut höylätään ja niitä voidaan myös muotoilla tilaajan tarpeiden mukaan. Liimapuupalkkien leveys on 90...265 mm ja korkeus 180...2000 mm valmistajan mukaan. Leveysvaihtoehtoja on saatavilla 25 mm:n porrastuksella, ja korkeus määräytyy yleensä lamellimäärän perusteella eli 45 mm:n porrastuksella (Puuinfo 2013b). Liimapuuta on saatavilla myös halkaistuna, ja siinä käytettävät leveydet ovat 42, 56, 66 ja 78 mm (Siikanen 2010, 105). Yleisimmät standardin EN 1194 mukaiset ovat liimapuun lujuusluokat GL24c, GL28c, GL28h, GL32c ja GL32h. Merkintä c (combined) tarkoittaa, että liimapuu on kasattu usean eri lujuusluokan sahatavarasta, ja merkintä h (homogenous) tarkoittaa, että liimapuu on kasattu yhden lujuusluokan sahatavarasta. Homogeeninen liimapuu on yleensä vaikeammin saatavilla.

Viilupuu (LVL, laminated veneer lumber)

Viilupuu tarkoittaa kantaviin rakenteisiin tarkoitettua viiluista liimattua rakennepuutavaraa, joka Suomessa valmistetaan 3 mm:n kuusiviiluista. Viilupuu on standardin SFS-EN 14374 mukaista. Suomessa viilupuuta valmistaa MetsäWood Kerto-tuotemellä. Kerto-S ja Kerto-T tehdään pituussuuntaan liimatuista viiluista. Kerto-Q:ssa on myös ristiin liimattuja kerroksia ja se muistuttaa siten rakenteeltaan enemmän vaneria.

Enimmäisleveys viilupuulle on n. 2,5 m ja enimmäispituus 25 m valmistajittain. Valmistettavan levyn paksuus on 27...75 mm 6 mm:n välein. Kerto-S-palkkeja on saatavilla vakio korkuisina taulukon 3 mukaisesti. (Puuinfo 2013b.)

Taulukko 3. Kerto-S palkkien yleisimmät dimensiot ja niiden saatavuus (Puuinfo 2013b.)

Viilupuupalkkien (Kerto-S) yleisimmät poikkileikkausmitat									
KORKEUS	LEVEYS								
	200	225	260	300	360	400	450	500	600
27	X	X	○	○	○	○	○	○	○
33	X	X	X	○	○	○	○	○	○
39	X	X	X	X	X	○	○	○	○
45	X	X	X VK	X	X VK	○	○	○	○
51	X VK	X	X	X VK	X	X VK	○	○	○
57	X	X	X	X	X	X	X	○	○
63	X	X	X	X	X	X	X	X	○
75	X	X	X	X	X	X	X	X	X

VK = varastokoko, pituudet 6 m, 8 m, 10 m ja 12 m
X = vakio koko
○ = harvemmin tuotettu koko

Vaneri

Vaneri on viiluista ristiin liimattua puulevyä, jossa yleensä käytetään Suomessa raaka-aineena sorvattu kuusi- tai koivuviilua. Ohutviiluiset vanerit valmistetaan 1,4 mm:n viiluista ja paksuviiluisen havuvaneri 2,0...3,2 mm:n viiluista. Suomalaisia vakiovanereita ovat:

- koivuvaneri, joka valmistetaan pelkästään koivuviilusta
- combivaneri, joka valmistetaan sekä koivu- että havuviiluista
- havuvaneri, jossa käytetään ainoastaan havuviilua.

Vaneria on normaalisti saatavissa 4...30 mm:n paksuisena viilupaksuuksien kerrannaisina. Vanerin leveys on 1,2...2,5 m ja pituus 1,2...3,6 m valmistajan ja vanerityypin mukaan. Kestävyydeltään ja lujuudeltaan parasta on koivuvaneri, kun taas paksuviiluisen havuvaneri on ominaisuuksiltaan heikointa. Vanerin kulutuksen sekä kosteuden kestävyttä voidaan parantaa erilaisilla pinnoitteilla ja pintakäsittelyillä. (Metsäteollisuus ry 2006, 5–21.)

Betoni

Betonin käyttö tulee usein kyseeseen vaativissa puuvälipohjarakenteissa, koska sillä saadaan lisättyä akustista massaa. Kun käytetään betonia yhdessä puun kanssa liittorakenteena, saadaan myös lisättyä huomattavasti välipohjan jäykkyyttä. Betoni on keinotekoisia kiveä, joka valmistetaan sementistä, vedestä ja runkoaineesta, yleensä murskatusta kivistä tai luonnonmuovaamasta sorasta. Lisäksi betonimassan voidaan käyttää lisäaineita, joilla parannetaan muun muassa betonin työstettävyyttä ja kovettuneen betonin lujuutta ja säilyvyyttä. Betoni kovettuu massassa olevan sementin ja veden hydratoitumisen seurauksena, mutta lujuuden kehitys on melko hidasta ja normaalisti kovettuva betoni saavuttaa vasta n. 80 % loppulujuudestaan 14 vrk:n ikäisenä. Betonilla syntyy sitoutumisen alkuvaiheessa plastista kutistumaa ja myöhemmin kuivumiskutistumaa sekä kuormituksesta johtuvaa virumaa. Kutistuma aiheuttaa halkeilua ja viruma taipumien kasvua. Betonia voidaan sekoittaa työmaalla tai se voidaan tilata valmiina betoniasemilta. (Suomen Betoniyhdistys ry 2004.) Eurokoodimitoituksessa käytetään betonilla C-lujuusluokkia, jotka perustuvat betonin lieriölujuuteen. Lujuusluokan tunnuksessa, esimerkiksi C25/30, ilmoitetaan ensimmäisellä lieriölujuus (MPa) ja jälkimmäisellä kuutiolujuus (MPa).

Liimat

Puuvälipohjien kasaamiseen voidaan käyttää liimoja. Julkaisun RIL 205-1-2009 mukaan liimasauman tulee säilyä ehjänä rakenteen koko käyttöiän ajan. Kaikissa käyttöluokissa voidaan käyttää standardin EN 301 tyyppin I liimoja, esimerkiksi resorsinoli- ja resorsinolifenoliliimoja. Tyyppin II liimat soveltuvat käytettäväksi vain käyttöluokassa 1 ja 2, ja vain väliaikaisesti yli 50 °C:n lämpötilassa. Liimauksen käyttö rakenteissa on luvanvaraista, sitä saa käyttää vain tehdas, jolla on ilmoitetun laitoksen myöntämä vaatimuksenmukaisuustodistus kyseisten tuotteiden liimauksesta. Liimausta voidaan kuitenkin hyödyntää mitoituksessa osittain taipuma- ja värähtelymitoituksessa, vaikkei sitä tehtäisikään luvanvaraisena. Liimauksen tulee kuitenkin olla standardin mukainen.

4.3 Eurokoodimitoitus

Eurokoodit ovat kantavien rakenteiden suunnittelua koskevia eurooppalaisia standardeja. Eurokoodisarja koostuu 58 osasta, jotka sisältävät kokonaisvarmuuden määrittämisperusteet, erilaiset kuormat ja kuormitukset sekä rakennusmateriaalikohtaiset ohjeet. Niiden soveltaminen eri maissa vaatii kansallisten liitteiden laatimista, josta Suomessa vastaa pääosin ympäristöministeriö. Eurokoodien julkaisemisesta Suomessa vastaa Suomen standardisoimisliitto SFS. (Ympäristöministeriö 2013.)

Yksittäisten standardien käyttö edellyttää, että niille on vahvistettu kansalliset liitteet, jotka julkaistaan ympäristöministeriön asetuksina. Ensimmäiset asetukset mahdollistivat eurokoodien käytön 1.11.2007 alkaen, jota ennenkin voitiin käyttää eurokoodien esistandardeja kansallisten soveltamisasiakirjojen kanssa. (Ympäristöministeriö 2013.)

Eurokoodit ovat vielä rinnakkaiskäytössä rakennusmääräyskokoelman B-osan määräysten ja ohjeiden kanssa, mutta B-osa uudistetaan niin, että se sisältää ainoastaan rakenteita koskevat vaatimukset ja rinnakkaiskäyttö päättyy. Rinnakkaiskäyttö tarkoittaa sitä, että voidaan valita käytettäväksi toinen menetelmä, mutta niitä ei voida käyttää ristiin. Kirjoitushetkellä 9.11.2013 B-sarjan uudistusta ei ollut vielä julkaistu ja rinnakkaiskäyttö oli edelleen mahdollinen. (Ympäristöministeriö 2013.)

Eurokoodin pääosat ovat

- EN 1990, eurokoodi 0, Rakenteiden suunnitteluperusteet
- EN 1991, eurokoodi 1, Rakenteiden kuormat
- EN 1992, eurokoodi 2, Betonirakenteiden suunnittelu
- EN 1993, eurokoodi 3, Teräsrakenteiden suunnittelu
- EN 1994, eurokoodi 4, Betoni-teräshiittorakenteiden suunnittelu
- EN 1995, eurokoodi 5, Puurakenteiden suunnittelu
- EN 1996, eurokoodi 6, Muurattujen rakenteiden suunnittelu
- EN 1997, eurokoodi 7, Geotekninen suunnittelu
- EN 1998, eurokoodi 8, Rakenteiden suunnittelu kestävyys-suhteen maanjäristyksessä
- EN 1999, eurokoodi 9, Alumiinirakenteiden suunnittelu.

Puurakenteiden suunnittelu edellyttää ainakin osien EN 1990, EN 1991 ja EN 1995 käyttöä, mutta esimerkiksi teräслиittimiä tai puu-betoniliittorakenteita suunniteltaessa on käytettävä myös kyseisten materiaalien standardeja suunnittelussa. Sovellusohjeena Suomessa voidaan puurakenteiden suunnittelussa käyttää julkaisuja RIL 201-1-2011 ja RIL 201-2-2011, Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat sekä RIL 205-1-2009 ja RIL 205-2-2009, Puurakenteiden suunnittelu. Jälkimmäiset osat julkaisusta käsittelevät palomitoitusta.

Eurokoodin osassa EN 1990 määritetään rakenteita ja suunnittelua koskevat vaatimukset, rajatilamitoituksen perusteet, käytettävät perusmuuttajat, rakenneanalyysin ja kokeellisen mitoituksen periaatteet ja osavarmuusmenetelmän käyttö varmuuden osoittamisessa. EN-1991-1-1 käsittelee materiaalien tilavuuspainoja, rakenteiden omaa painoa ja rakennusten hyötykuormia.

4.4 Välipohjarakenteen kuormat

Välipohjarakenteita kuormittavat normaalista rakenteen omapaino ja käytöstä syntyvät hyötykuormat. Rakenteen omapaino lasketaan suunnitelmissa esitetyistä rakenteen nimellimitoista käyttäen eurokoodissa annettuja materiaalien. Kuivalla havupuutavaraalla ja siitä liimaamalla valmistetuilla rakennusmateriaaleilla kuten liimapuulla, LVL:llä ja vanerilla, käytetään tilavuuspainona $\gamma = 5 \text{ kN/m}^3$. Muille materiaaleille käytetään julkaisusta RIL 201-1-2011 saatavia arvoja. Raudoitettun betonin tilavuuspainona käytetään $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$.

Suomessa käytettävät välipohjien hyötykuormat saadaan standardin SFS-EN 1991-1-1 voimassa olevasta kansallisesta liitteestä tai julkaisusta RIL 201-1-2011. Välipohjien tyypilliset hyötykuormat on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Rakennusten välipohjien, portaiden ja parvekkeiden hyötykuormat.

Kuormitettujen tilojen luokat	q_k [kN/m ²]			Q_k [kN]
	Välipohjat	Portaat	Parvekkeet	
Luokka A	2,0	2,0	2,5	2,0
Luokka B	2,5	3,0	2,5	2,0
Luokka C				
- C1	2,5	3,0	2,5	3,0
- C2	3,0	3,0	3,0	3,0
- C3	4,0	3,0	4,0	4,0
- C4	5,0	3,0	5,0	4,0
- C5	6,0	6,0	6,0	4,0
Luokka D				
- D1	4,0	3,0	4,0	4,0
- D2	5,0	6,0	5,0	7,0

4.5 Käsiteltävien välipohjarakenteiden rajaus

Välipohjat ovat yksinomaan vaakarakenteita, joiden pääasiallinen käyttötarkoitus on pystykuormien siirtäminen kantaville pystyrakenteille. Välipohjat ovat toisin sanoen taivutettuja rakenteita, joita kuormittaa välipohjan tasoa vastaan kohtisuora kuormitus. Välipohjilla on myös usein tehtävänä toimia osana rakennuksen jäykistystä ja täten siirtää vaakakuormia jäykistäville rakenneosille, mutta tämä välipohjan tason suuntaisen kuormitus on rajattu laskentaohjelman toiminnan ja samalla teoreettisen tarkastelun ulkopuolelle.

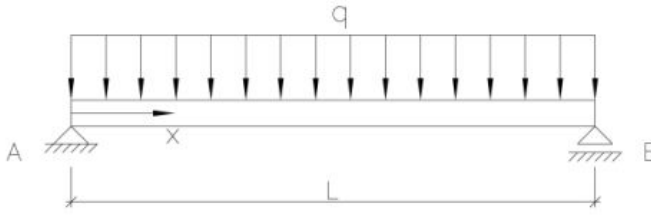
Puurakenteiset välipohjat perustuvat usein palkkirakenteiden käyttöön tai niiden toimintaa voidaan tarkastella palkkirakenteena. Poikkeuksia ovat ristiin kantavat rakenteet, kuten neljältä sivulta tuettu CLT-laatta tai arinapalkistot. Välipohjarakenteet voivat toimia staattisesti määrättyinä rakenteina (1-aukkoiset vapaasti tuetut välipohjat) tai staattisesti epämääräisinä rakenteina. Työssä keskitytään tarkastelemaan vain 1-aukkoisia vapaasti tuettuja rakenteita laskentasovelluksen rajauksen mukaisesti.

4.6 Rasiusten ja taipuman laskenta

Kun palkkia kuormitetaan, siihen syntyy sisäisiä rasiuksia, jotka pitävät sen koossa. Kun tarkastellaan palkkia, jonka kuormitus poikkileikkauksen symmetriatason suuntaista ja keskeistä palkin akselin suhteen, yksinkertaistuu rasiustilan määrittäminen tasosta tiikan tehtäväksi. Tällöin palkissa vaikuttaa ainoastaan normaalivoima N , leikkausvoima Q ja kuormitustasoa vastaan kohtisuora taivutusmomentti M . Yksiaukkoisella

vapaasti tuetulla palkilla tukireaktiot määritetään jäykän kappaleen statiikan ehtojen mukaan. (Salmi 2005, 177–179.) Taipuma lasketaan kimmoteoriaan perustuvilla menetelmillä. Yksinkertaisissa tapauksissa, kuten laskentaohjelmassa tarkasteltavassa rakenteessa, taipuman kaavat saadaan suoraan taulukko- ja käsikirjoista. Rasiusten ja taipumien laskentaan tarvittavat kaavat on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Yksiaukkoisen vapaasti päistään tuetun palkin tukireaktioiden, rasiusten ja taipuman kaavat

Rakennemalli	
Tukireaktiot	$A = B = \frac{ql}{2}$
Leikkausvoima	$Q(x) = q\left(\frac{l}{2} - x\right)$
Maksimileikkausvoima	$Q_{max} = \frac{ql}{2}, \text{ kohdissa } x = 0 \text{ ja } x = l$
Taivutusmomentti	$M(x) = \frac{qlx}{2}\left(1 - \frac{x}{l}\right)$
Maksimimomentti	$M_{max} = \frac{ql^2}{8}, \text{ kohdassa } x = \frac{l}{2}$
Kiertymä	$\theta_A = -\theta_B = \frac{ql^3}{24EI}$
Taipuma	$w(x) = \frac{q}{24EI}(l^3x - 2lx^3 + x^4)$
Suurin taipuma	$w_{max} = \frac{5ql^4}{384EI}, \text{ kohdassa } x = \frac{l}{2}$

4.7 Rakenteen kestävyden osoittaminen

Perusvaatimuksena rakenteiden mitoituksessa on, että rakenteet suunnitellaan ja toteutetaan niin, että ne kestävät kaikki todennäköisesti esiintyvät kuormat. Eurokoodin mitoitusmenetelmät perustuvat rajatilamitoitukseen. Rakenteen kestävyttä tarkasteltaessa tulee osoittaa, että murtorajatilaa ei ylitetä missään kyseeseen tulevassa mitoitus-tilanteessa, kun käytetään asianmukaisia kuormia, materiaali- ja tuoteominaisuuksia sekä mittatietoja. Kestävyys osoitettaessa kuormien vaikutuksen mitoitusarvon täytyy olla pienempi tai yhtä suuri kuin rakenteen kestävyden mitoitusarvo. (RIL 201-1-2011, 27–28.)

Tarkasteltaessa rakenteen kestävyttä murtorajatilassa, kuormalle tai kuormien vaikutuksille käytetään osavarmuusluvuilla korotettuja kuormitusyhdistelmiä. Tällöin mitoitusarvot lasketaan SFS-EN 1990 kansallisen liitteen mukaan. Julkaisussa RIL 205-1-2009 on esitetty yksinkertaistettu laskentakaava kuormituksen mitoitusarvoille (kuva 2).

Rakenteen kestävyttä tarkasteltaessa mitoituskuorma lasketaan aikaluokittain seuraavalla kuormitusyhdistelyllä:

$$\begin{cases} 1,15K_{FI}G_{kj} + 1,5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI}\sum_{i>1}\psi_{0,i}Q_{k,i} & \text{muuttuvien kuormien aikaluokat} \\ 1,35K_{FI}G_{kj} & \text{pysyvä aikaluokka} \end{cases} \quad (2.1.1S)$$

missä G_{kj} pysyvien kuormien ominaisarvo
 $Q_{k,1}$ määräävän muuttuvan kuorman ominaisarvo
 $Q_{k,i}$ muun muuttuvan kuorman ominaisarvo
 K_{FI} taulukon 2.1-FI mukainen seuraamusluokasta riippuva kuormakerroin
 $\psi_{0,i}$ taulukossa 2.2-FI esitetty muuttuvan kuorman yhdistelykerroin

Mikäli pysyvien kuormien yhteisvaikutus lisää rakenteen kestävyttä, pysyvien kuormien ominaisarvo G_{kj} kerrotaan kertoimen $1,15K_{FI}$ sijasta luvulla $0,9$. Mikäli maanpaine tai rakenteeseen pysyvästi kiinnitetyt koneet tai laitteet lisäävät rakenteen kestävyttä, niitä ei oteta huomioon kuormitusyhdistelyssä.

Kuva 2. Yksinkertaistettu kaava kuormituksen mitoitusarvojen laskentaan (RIL 205-1-2009, 25.)

Puurakenteilla rakenteen kestävyteen vaikuttaa huomattavasti kuormitusnopeus. Sen vuoksi jokaiselle kuormalle on aina määritettävä aikaluokka, joka huomioidaan rakenteen lujuutta ja kestävyttä laskettaessa. Aikaluokat on esitetty julkaisun RIL 205-1-

2009 taulukoissa 2.3 ja 2.4-FI. Myös puun kosteus vaikuttaa lujuuteen ja ajan myötä syntyvän viruman suuruuteen. Tämän vuoksi rakenteelle määritetään käyttöluokka, joka kuvaa käyttöympäristön tavanomaista lämpötilaa, suhteellista kosteutta ja puun tasapainokosteutta ympäristössä. Käyttöluokat on esitetty julkaisussa RIL 205-1-2009 luvussa 2.3.1.3.

Lujuuden ja kestävyuden mitoitusarvot puurakenteilla lasketaan kaavoista 1 ja 2,

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

$$R_d = k_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M}, \quad (2)$$

joissa

X_d = lujuusominaisuuden mitoitusarvo

R_d = kestävyuden mitoitusarvo

X_k = lujuusominaisuuden mitoitusarvo

R_k = kestävyuden mitoitusarvo

k_{mod} = kuorman keston ja kosteusvaikutuksen muunnoskerroin

γ_M = materiaaliominaisuuden mitoitusarvo.

Muilla rakenteissa käytettäville materiaaleille lujuuden ja kestävyuden mitoitusarvojen laskentamenetelmät on esitetty kyseisten materiaalien eurokoodistandardeissa.

Standardissa EN 1995, puurakenteiden suunnittelu, esitetään menetelmät kestävyys- ja lujuusarvojen määrittelyyn sekä annetaan mitoitusehdot erilaisiin kestävyystar- kasteluihin. Rakenteiden sisäisten voimien ja jännitysten laskennassa viitataan lineaarisen kimmoisen materiaalimallin käyttöön, joten jännitykset lasketaan kimmoteorian yleisten periaatteiden mukaan. Liitoksissa voidaan käyttää kimmoplastisia menetelmiä, jos liitokset ovat riittävän sitkeitä rakenteen sisäisten voimasuureiden uudelleen jakautumiseen. (RIL 205-1-2009, 61.)

4.7.1 Normaalijännityksien laskenta

Kuula ja Salmi (2012, 39–57) ovat kirjassaan selostaneet yksityiskohtaisesti taivutetun palkin teoriaa yksi- ja moniaineisille mielivaltaisille poikkileikkauksille. Kirjassa esitettyjen periaatteiden mukaisesti vapaan poikkileikkauksen jännitykset voidaan laskea seuraavassa esitettyllä tavalla.

Kun tarkastellaan palkista pituussuunnassa leikattua differentiaalista kappaletta, se käyristyy taivutusrasituksesta. Kuperalla puolella eli vetopuolelle syntyy venymää ja koveralla puolella puristumaa. Tasa, jossa venymä $\epsilon_x = 0$, kutsutaan neutraalitasoksi. Koska Hooken lain mukaan venymällä ja jännityksellä on yhteys $\sigma = \epsilon E$, saadaan palkissa vaikuttavien taivutusrasitusten ja jännitysten välille yhteys käyristymän kautta. Yleisessä muodossa, jossa poikkileikkaus voi olla epähomogeeninen kuten esimerkiksi useasta eri materiaalista kasattu välipohja, saadaan taivutusjännitys laskettua kaavasta

$$\sigma_M = \frac{ME_i}{(EI)} y, \quad (3)$$

jossa

M = poikkileikkauksessa vaikuttava taivutusmomentti

E_i = tarkasteltavan osan kimmokerroin

(EI) = on koko poikkileikkauksen taivutusjäykkyys

y = tarkasteltavan kohdan etäisyys poikkileikkauksen neutraaliakselista

Taivutusjäykkyys lasketaan tällöin Steinerin lauseella

$$(EI) = \sum E_i (I_i + A_i y_i^2), \quad (4)$$

jossa

A_i = poikkileikkauksen osan i poikkipinnan ala

y_i = poikkileikkauksen osan i painopisteen etäisyys koko poikkileikkauksen painopisteestä

Poikkileikkauksen painopiste sijaitsee tällöin poikkileikkauksen vetojäykkyysskeskiössä, jonka etäisyys tarkastelutasosta saadaan laskettua kaavalla

$$y_0 = \frac{\sum S_i E_i}{\sum A_i E_i} = \frac{\sum A_i E_i y_{0,i}}{\sum A_i E_i}, \quad (5)$$

jossa

S_i = yksittäisen osan staattinen momentti tarkastelutason y_0 suhteen

$y_{0,i}$ = yksittäisen osan painopisteen etäisyys tarkastelutasosta.

Normaalirasitusten vaikutuksesta poikkileikkaukseen syntyy venymää tai puristumaa, jonka oletetaan olevan vakio koko poikkileikkauksessa. Kuten taivutuksessakin, saadaan Hooken lain avulla normaalijännityksille yleisessä muodossa kaava

$$\sigma_N = \frac{NE_i}{(EA)}, \quad (6)$$

jossa

N = poikkileikkauksessa vaikuttava normaalivoima

E_i = tarkasteltavan osan i kimmokerroin

(EA) = poikkileikkauksen vetojäykkyys

Vetojäykkyys poikkileikkaukselle saadaan laskettua kaavasta

$$(EA) = \sum A_i E_i, \quad (7)$$

jossa

A_i = poikkileikkauksen osan i poikkipinta-ala

Edellisistä kaavoista saaduista normaalijännityksistä saadaan superpositioperiaatteen mukaisesti yhdistämällä poikkileikkauksessa vaikuttava kokonaisnormaalijännitys kaavalla

$$\sigma = \sigma_N + \sigma_M = \frac{ME_i}{EI} y + \frac{NE_i}{EA} \quad (8)$$

4.7.2 Leikkausjännitysten laskenta

Kuula ja Salmi eivät esitä yleistä laskutapaa epähomogeenisten poikkileikkausten leikkausjännitysten laskentaan, mutta vastaava kaava saadaan yleistettyä homogeenisen poikkileikkausten leikkausjännitysten laskentakaavasta

$$\tau = \frac{QS}{Ib} \quad (9)$$

huomioimalla materiaalien kimmokertoimet kaavassa. Näin saadaan

$$\tau = \frac{Q(SE)}{(EI)b} , \quad (10)$$

jossa

Q = leikkausvoima poikkileikkauksessa

(SE) = tarkasteltavan leikkauspinnan rajaaman kappaleen osien staattisten momenttien ja kimmokertoimien tulojen summa koko poikkileikkauksen neutraaliakselin suhteen

b = tarkasteltavan leikkauspinnan leveys.

Saatu kaava vastaa standardin EN 1995-1-1 liitteessä B esitettyä mekaanisesti liittimien palkkien mitoitusmenetelmän leikkausjännitysten kaavaa. Usein eri materiaaleista kasattuja poikkileikkauksia käsiteltäessä redusoidaan muiden osien leveydet vastaamaan yhden osan kimmokerrointa, joten kaavat ovat eri muodossa. Lienee kuitenkin perusteltua käyttää laskentasovelluksessa kauttaaltaan tapaa, jossa kimmokerroimia kuljetetaan mukana läpi laskennan. Niin joudutaan EN 1995-1-1 liitteen B menetelmää käyttäessä kuitenkin tekemään laskelmien tulkittavuuden vuoksi.

4.7.3 Suorakaidepoikkileikkauksen jännitysten laskentakaavat

Edellä esitetystä yleisistä kaavoista saadaan johdettua suorakaidepoikkileikkaukselle yleisesti käytetyt yksinkertaistetut kaavat (taulukko 6).

Taulukko 6. Tasalevyisen suorakaidepoikkileikkauksen maksimijännitysten laskenta-
kaavat

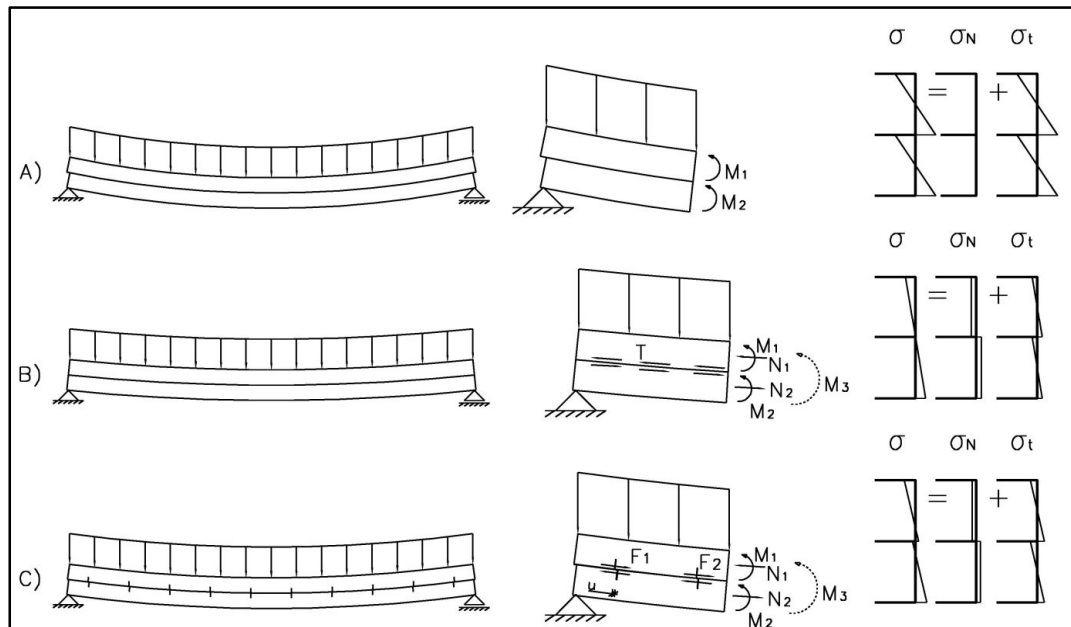
Jännitys	Kaava	Merkinnät
Leikkausjännitys τ	$\tau_{max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{Q}{A}$	$A = bh$
Normaalijännitys normaali- rasituksesta σ_N	$\sigma_N = \frac{N}{A}$	$A = bh$
Normaalijännitys taivutus- rasituksesta (taivutusjänni- tys) σ_M	$\sigma_{M,max} = \frac{M}{I} \cdot \left(\pm \frac{h}{2} \right) = \pm \frac{M}{W}$	$I = \frac{bh^3}{12}, W = \frac{bh^2}{6}$
Yhdistetty normaalijännitys $\sigma = \sigma_N + \sigma_M$	$\sigma = \sigma_N + \sigma_{M,max} = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W}$	
Merkinnät: b = poikkileikkauksen leveys h = poikkileikkauksen korkeus		

4.7.4 Mekaanisesti liitettyjen poikkileikkausten toiminta

Edellä käsitellyissä laskentakaavoissa sovelletaan teknistä taivutusteoriaa, jossa oletetaan, että koko poikkileikkaus pysyy taivutuksessa tasana. Teoria on likimääräistys, jossa leikkausjännitysten vaikutusta palkin muodonmuutoksiin ei huomioida. Käytännön insinöörisovellutuksissa oletus kuitenkin johtaa riittävän tarkkaan tulokseen. (Outilinen, Salmi & Vulli 2007, 176)

Teoria ei kuitenkaan sovellu käytettäväksi rakenteilla, joissa leikkausrasituksella on huomattava vaikutus jännitysten jakautumiseen ja muodonmuutosten suuruuteen. Tällaisia ovat esimerkiksi mekaanisin liittimin useasta osasta kootut poikkileikkaukset. Kun rakennetta rasitetaan, osien välisissä saumoissa vaikuttaa leikkausvoima. Tämän voiman vaikutuksesta liitoksissa syntyy muodonmuutoksia, joiden vuoksi liitettyjen osien välillä syntyy liukumaa. Poikkileikkaus ei pysy tällöin enää tasana eikä tekninen taivutusteoria ole enää voimassa. (Ceccotti 2003, 409–418.)

Hyvän käsityksen kiinnityksen vaikutuksesta poikkileikkauksen toimintaan saadaan vertaamalla kahdesta osasta muodostettua palkkia, jossa osien välillä ei ole lainkaan kiinnitystä, ja palkkia, jossa osat on kiinnitetty täysin jäykästi toisiinsa. Kun osien välillä ei ole lainkaan kiinnitystä, osat pääsevät liukumaan vapaasti toistensa suhteen, jolloin palkki käyttäytyy kahtena erillisenä osana ja palkin jäykkyys muodostuu osien jäykkyyksien summana. Jos osat on liitetty täysin jäykästi toisiin, osien välinen liukuma estyy ja syntyvä leikkausvoima pitää palkin kasassa. Palkki käyttäytyy tällöin yhtenä poikkileikkauksena ja sen jäykkyys voidaan laskea Steinerin lauseen avulla. (Ceccotti 2003, 409–418.) Kuvassa 3 on esitetty kiinnityksestä riippuva ero palkin toiminnassa. Palkissa A taivutusta vastustavan momentin voidaan katsoa muodostuvan osien momenttien summaa ja palkissa B momentti muodostuu osien ja niiden välisen vuorovaikutuksen momenttien summana.



Kuva 3. Kahdesta osasta kootun palkin osien välisen kiinnityksen vaikutus palkin toimintaan. Palkin A osien välillä ei ole kiinnitystä, palkin B osat on kiinnitetty täysin jäykästi toisiinsa ja palkin C osien välillä on puolijäykkä kiinnitys.

Edellä esitetyt mallit kiinnittämättömien palkkien ja täysin jäykästi kiinnitettyjen palkkien toiminnasta esittävät ylä- ja alarajaa palkin jäykkyydelle, kun osien välinen kiinnitys on puolijäykkä. Puolijäykästi kiinnitetyn palkin osien välillä vaikuttava työntövoima muodostuu liitinvoimista, jotka ovat verrannollisia liitinsiirtymiin. Kuvassa 3 on esitetty myös kahdesta osasta mekaanisin liittimin kootun palkin toimintaa.

Kun käsitellään puolijäykästi kiinnitettyjä poikkileikkauksia, niiden jännityksiä ja rakenteen muodonmuutoksia, joudutaan laskettaessa käyttämään menetelmiä, jotka ainakin likimääräisesti huomioivat kiinnitystason vaikutuksen. Menetelmiä on useita, mutta laskentaohjelman valmistuksen kannalta oleellisin on nk. ” γ -menetelmä”, joka esitetään standardin SFS-EN 1995-1-1 liitteessä B mekaanisin liittimin koottujen poikkileikkausten yksinkertaistettuna laskentamenetelmänä. Menetelmässä teknistä taivutusteoriaa sovelletaan vain yksittäisiin osiin. Liukumien vaikutukset yhdistetyn rakenteen toimintaan huomioidaan palkin pituudesta, tuentatavasta, liittimien jäykkyydestä, liitinjaoista ja osien vetojäykkyyksistä riippuvilla γ -kertoimilla. Käytettävät kaavat on johdettu olettaen, että kuormitusjakauma on sinimuotoinen, liitos on jatkuva ja että liitosjäykkyys ja poikkileikkaus ovat vakioita koko palkin matkalla (VTT 1996, B11). Suurimmassa osassa tapauksista oletukset eivät pidä paikkaansa, mutta virheet sovellettaessa menetelmää yleisempiin tapauksiin yksiaukkoisella palkilla jäävät kuitenkin pieniksi (Ceccotti 2003, 418.).

Mekaanisesti liittimin koottujen palkkien yksinkertaistettu laskentamenetelmä perustuu seuraaviin olettamuksiin (RIL 205-1-2009, 138–139):

- palkit ovat vapaasti tuettuja jännevälillä ollessa
- yksittäiset osat ovat täysimittaisia tai sormijatkettuja
- osat kiinnitetään toisiinsa mekaanisin liittimin, joiden siirtymäkerroin on K
- liitinväli on vakio tai muuttuu leikkausvoiman mukaisesti välillä s_{\min} ja s_{\max} siten, että $s_{\max} \leq 4s_{\min}$
- kuorma aiheuttaa sinimuotoisen tai parabolisen momenttijakauman ja leikkausvoiman.

Menetelmä soveltuu käytettäväksi laskentaohjelman välipohjarakenteiden käsittelyyn, sillä edellä annetut ehdot ovat voimassa kyseisessä rakennemallissa, kunhan ehdot huomioidaan etenkin liittimien mallintamisessa ja puristuspuolen levytys asetetaan tiiviisti yhteen elementtilaatoissa. Tehollinen taivutusjäykkyys lasketaan tällöin kaavasta 11.

$$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^3 (E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2), \quad (11)$$

jossa käytetään merkintöjä

$$A_i = b_i h_i \quad (12)$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12} \quad (13)$$

$$\gamma_2 = 1 \quad (14)$$

$$\gamma_i = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_i A_i S_i}{K_i l^2}}, \text{ kun } i = 1 \text{ ja } i = 3 \quad (15)$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 E_1 A_1 (h_1 + h_2) - \gamma_3 E_3 A_3 (h_2 + h_3)}{2 \sum_{i=1}^3 \gamma_i E_i A_i}. \quad (16)$$

Niissä

b_i = osan i leveys

h_i = osan i korkeus

E_i = osan i kimmokerroin

K_i = $K_{ser,i}$ käyttörajatilassa tai $K_{u,i}$ murtorajatilassa.

Normaalijännitykset poikkileikkauksessa lasketaan kaavoista

$$\sigma_i = \frac{\gamma_i E_i a_i M}{(EI)_{ef}} \quad (17)$$

$$\sigma_{m,i} = \frac{0,5 E_i h_i M}{(EI)_{ef}}, \quad (18)$$

joissa

M = tarkasteltavassa kohdassa vaikuttava taivutusmomentti.

Suurin leikkausjännitys uumassa saadaan laskettua kaavasta

$$\tau_{2,max} = \frac{\gamma_3 E_3 A_3 a_3 + 0,5 E_2 b_2 h_2^2}{b_2 (EI)_{ef}} V, \quad (19)$$

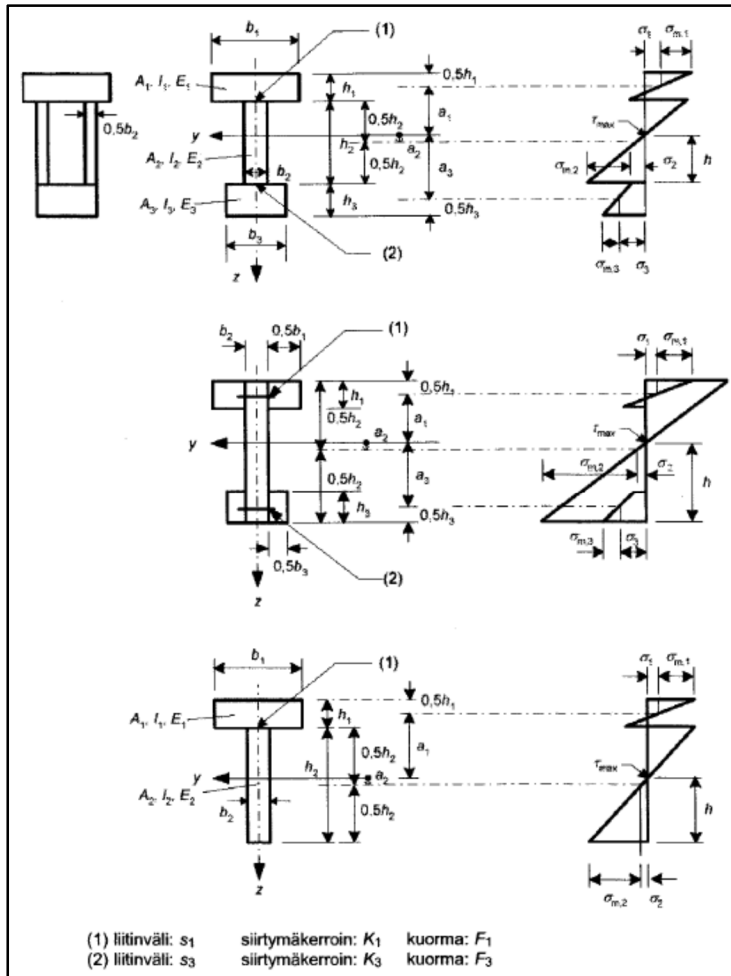
joissa

V = tarkasteltavassa kohdassa vaikuttava leikkausvoima.

Liittimessä i vaikuttava voima saadaan laskettua kaavasta

$$F_i = \frac{\gamma_i E_i A_i a_i s_i}{(EI)_{ef}} V, \quad (20)$$

Muut merkinnät, jännitysjaakaumat ja soveltuvat poikkileikkausmuodot on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Mekaanisin liitettyjen palkkien poikkileikkausmuodot, merkinnät ja jännitysjaakaumat (RIL 205-1-2009, 138)

4.7.5 Puu-betoniliittorakenteet

Puuosista kootut poikkileikkaukset saadaan helposti kasattua tehdasoloissa käyttämällä rakenteellista liimausta niin, että voidaan käytännössä olettaa liitos täysin jäykäksi. Puu-betoniliittorakenteissa, joissa betonilaatta valetaan suoraan puurakenteen

päälle, liimaus on mahdotonta. Tällöin joudutaan mekaanisten liitinten puolijäykkä toiminta huomioimaan rakenteiden suunnittelussa. Se, kuinka tehokkaasti betonin ja muun rakenteen yhteistoiminta saadaan hyödynnettyä, on täysin liitinten varassa.

Puu-betoniliittorakenteiden edut perustuvat siihen, että yhdistämällä puristuspuolen betonin suuri jäykkyys ja puristuslujuus sekä vetopuolen puun hyvä vetolujuus, saadaan aikaan jäykkä ja suhteellisen kevyt rakenne. Kantavuus on suurempi ja jäykkyys moninkertainen perinteiseen puuvälipohjaan verrattuna. Etuna on myös suuri tason jäykkyyden kasvu, eli rakenne käyttäytyy hyvin jäykästi vaakakuormien siirtämisessä jäykistäville rakenneosille. Betonilaatta toimii myös ääniteknisenä massana ja muodostaa tehokkaan palosuojauksen alapuoliselle puurakenteelle yläpuolista paloa vastaan. Suurimpana ongelmana ko. rakenteissa voidaan pitää sitä, että puun ja betonin liittäminen toisiinsa on vaikeaa. Materiaalien ominaisuudet ovat erilaiset, ja liitosjäykkyys riippuu hyvin paljon käytettävistä liittimistä. Käytetyt liittimet ovatkin keskeisessä asemassa rakenteen tehollisen jäykkyyden määräytymisessä. (VTT 1998, E13.)

Eurokoodi ei sisällä varsinaisesti mitään mitoitusohjeita puu-betoniliittorakenteille, joten mitoitusmenetelmän valinta edellyttää olemassa oleviin ohjeisiin ja tutkimuksiin nojautumista. Aiheesta on julkaistu mm. eurokoodin esistandardiin pohjautuvassa teoksessa Puurakenteet STEP 2 menetelmä puu-betoniliittorakenteiden mitoitukseen (VTT 1998, E13). Menetelmässä liittorakenteen toiminta mallinnetaan mekaanisin liittimin kootun palkin teorialla ja betonille sekä puulle käytetään laskennassa materiaali-kohtaisten standardien arvoja ja mitoitusohjeita.

Lukaszewska (2009) on tehnyt aiheesta väitöskirjan Luulajan teknillisessä yliopistossa. Yksinkertaistettuna laskentamenetelmänä on siinäkin esitetty eurokoodin mekaanisin liittimien kootun palkin teoriaa. Lukaszewska on lisäksi käsitellyt kattavasti laajasti ajallisten ja ympäristöllisten tekijöiden, kuten viruman, ja liitosten vaikutusta liittorakenteen toimintaan.

Ympäristöministeriö on antanut 15.6.2006 asetuksen puu-betoniliittolaattojen tyyppi-hyväksynnästä (Puu-betoniliittolaatat, Tyyppihyväksyntäohjeet 2006). Ohje koskee laattoja, joissa elementtinä valmistettu tai paikalla valettu betonilaatta on liitetty rakenteellisesti puupalkistoon. Ohjeessa edellytetään, että käytettäessä eurokoodijärjestelmää mitoituksessa suunnittelu perustuu standardeihin SFS-EN 1990, SFS-EN 1991, SFS-EN 1992-1-1, SFS-EN 1992-1-2, SFS-EN 1995-1-1 ja SFS-EN 1995-1-2.

Koska standardissa SFS-EN 1995-1-1 esitetään ainoastaan mekaanisin liittimin kootun palkin laskentamenetelmä, jolla osien välinen osittain jäykkä kiinnitys voidaan huomioida, sitä käytetään myös puu-betoniliittorakenteiden tarkasteluun puuvälipohjien laskentasovelluksessa.

Tarkasteltaessa puu-betoniliittorakenteita mekaanisin liittimin koottujen palkkien teorialla joudutaan rajaamaan laskennan yleispätevyyttä. Tilanteessa, jossa kotelolaattaa tai alalaipalla varustettuun ripalaattaan tehdään kansilevyn päälle liittorakenteinen betonilaatta, on uumapalkin lisäksi kolme osaa. γ -menetelmää voidaan soveltaa vain, kun korkeintaan uuman ala- ja yläpintaan on mekaanisesti liitetty osa. Tämän vuoksi liittorakenteen mitoitus joudutaan rajoittamaan niin, että uumapalkin täytyy olla jäykästi kiinnitetty laippoihin rakenteellisella liimauksessa. Näin I- tai T-poikkileikkaus toimii yhtenäisenä uumana ja liitetty betonilaatta rakenteen ylälaippana. Laskennassa koko poikkileikkauksen jäykkyys ja jännitykset voidaan tällöin laskea mekaanisin liittimin kootun palkin kaavojen avulla, kun asetetaan täydellinen yhteistoiminta ($\gamma_1 = 1$, $\gamma_3 = 1$) puuosien välille. Taivutusjäykkyyden kaava esitetään tällöin muodossa

$$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^3 (E_i I_i + E_i A_i a_i^2) + E_c I_c + \gamma_c E_c A_c a_c^2, \quad (21)$$

jossa

$$A_c = b_c h_c \quad (22)$$

$$I_c = \frac{b_c h_c^3}{12} \quad (23)$$

$$\gamma_c = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_c A_c s_c}{K_c l^2}} \quad (24)$$

$$e_c = \frac{h_2}{2} + h_1 + \frac{h_c}{2} \quad (25)$$

$$a_2 = \frac{\gamma_c A_c E_c e_c + E_1 A_1 \frac{(h_1 + h_2)}{2} - E_3 A_3 \frac{(h_2 + h_3)}{2}}{\sum_{i=1}^3 E_i A_i + \gamma_c E_c A_c}. \quad (26)$$

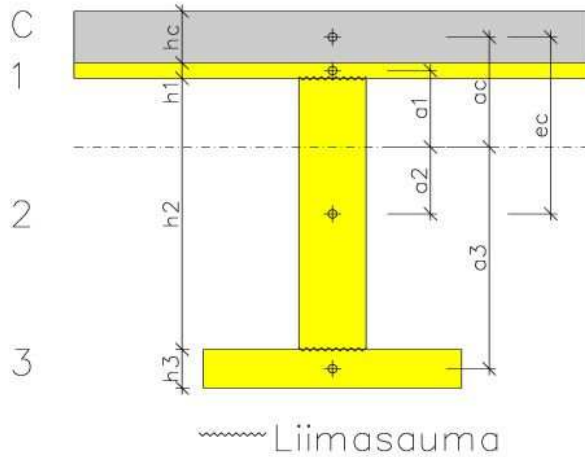
Näissä

b_c = betonipoikkileikkauksen leveys

h_c = betonipoikkileikkauksen korkeus

E_c = betonin kimmokerroin

K_c = betoniliittimen liitinjäykkyys $K_{ser,c}$ käyttörajatilassa ja $K_{u,c}$ murtorajatilassa.



Kuva 5. Liittopoikkileikkauksessa käytetyt merkinnät ja poikkileikkauksen rakenne.

4.7.6 Liitinjäykkyydet

Mekaanisin liittimin koottujen palkkien laskentamenetelmä edellyttää liittimien siirtymäkerrointen selvittämistä laskentaa varten. Puu-puuliitoksille annetaan eurokoodissa kaavat, joilla siirtymäkertoimet tavanomaisille liittimille voidaan laskea. Kaavat on esitetty standardin SFS-EN 1995-1-1 taulukossa 7.1 ja lyhennetty versio kirjassa RIL 205-1-2009 taulukossa 7.1. Puun ja betonin välisistä liitoksista jäykkyys saadaan laskeamalla kertomalla taulukosta saatavat arvot kahdella (RIL 205-1-2009, 89).

Taulukko 7. Puu-puuliitosten siirtymäkertoimen arvot puikkoliittimille (RIL 205-1-2009, 98)

Liitintyyppi	K_{ser} [N/mm]
Tappivaarnat	$\rho_m^{1,5} d / 23$
Pultit ^a	
Ruuvit	
Naulat, kun puuhun esiporataan reikä	$\rho_m^{1,5} d^{0,8} / 30$
Naulat ilman esiporausta	
^a Reiän välyys on lisättävä pulttiliitoksen siirtymään	

Kun liitoksen jäykkyyttä ei voida määrittää laskennallisesti, lujuus- ja jäykkyysominaisuudet tulee selvittää kokeellisesti. Liitinjäykkyyden merkitys rakenteen jännitysja-kaumaan ja muodonmuutokseen on suuri, ja väärän arvon käyttö voi johtaa epävarmalla puolella oleviin tuloksiin rakennelaskelmissa. (VTT 1998, E13.)

4.7.7 Laippojen tehollinen leveys

Leikkausmuodonmuutosten ja lommahduksen vuoksi leveässä laipassa vaikuttava jännityskenttä on epätasainen. Sen poikkileikkauksen jäykkyyttä heikentävä vaikutus huomioidaan puulevyistä tehdyillä laipoilla käyttämällä T- ja I-poikkileikkauksessa osalle tehollista leveyttä. Se lasketaan kaavoista

$$b_{ef} = b_{c,ef} + b_w, \text{ kun laippa on puristettu} \quad (27)$$

$$b_{ef} = b_{t,ef} + b_w, \text{ kun laippa on vedetty}, \quad (28)$$

joissa

b_w = uunapalkin leveys

$b_{c,ef}$ = laipan toimiva leveys puristuksessa

$b_{t,ef}$ = laipan toimiva leveys vedossa.

Puristuksessa toimiva leveys $b_{c,ef}$ ei saa ylittää taulukossa 8 leikkaukselle ja lommahdukselle annettuja arvoja eikä vedossa toimiva leveys $b_{t,ef}$ leikkaukselle annettua arvoa. Laipan leveys on kuitenkin korkeintaan kannatinväli, kun tarkastellaan yhtä palkkia.

Taulukko 8. Laipan toimivan leveyden enimmäisarvot. l on rakenteen jänneväli ja h_f laipan paksuus. (RIL 205-1-2009, 136.)

Laipan materiaali	Leikkaus	Lommahdus
Vaneri ja Kerto-Q-LVL, jossa pintaviilujen syysuunta on -uuman pituussuuntaan	0,1l	20h _f
-poikittain uumaan nähden	0,1l	25h _f
OSB-levy	0,15l	25h _f
Lastulevy tai kuitulevy, jossa kuidut ovat satunnaisesti suuntautuneet	0,2l	30h _f

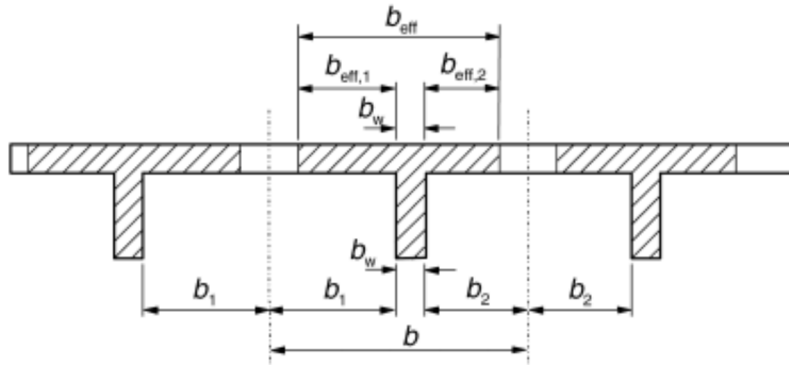
Myös betonilaatalle saadaan tehollinen leveys standardista SFS-EN 1992-1-1 ja se lasketaan kaavasta

$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \leq b, \quad (29)$$

jossa

$$b_{eff,i} = 0,2b_i + 0,1l_0 \leq 0,2l_0 \text{ ja } b_{eff,i} \leq b_i. \quad (30)$$

Mitta l_0 on momentin nollakohtien väli eli $l_0 = 1$, kun kyseessä yksiaukkoinen vapaasti tuettu rakenne. Muut merkinnät on esitetty kuvassa 5.

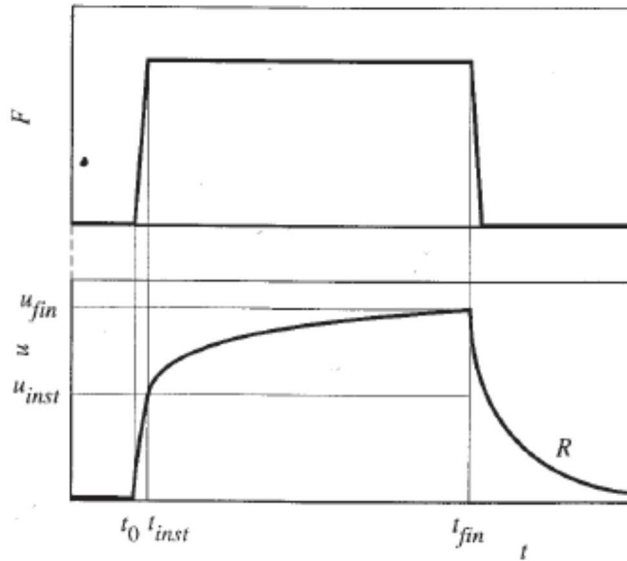


Kuva 6. Betonilaatan tehollisen leveyden parametrit (SFS-EN 1992-1-1, 58.)

4.7.8 Viruman vaikutus jännityksiin

Vaikka puurakenteiden muodonmuutoksia ja jännityksiä lasketaankin Hookeen lakiin perustuvalla elastisella mallilla, ei puun käyttäytyminen pitemmällä aikavälillä ole kimmoista vaan viskoelastista. Tämä tarkoittaa sitä, että tasaisesti kuormitettuna puuhun syntyy kuormituksen jatkuessa lisää muodonmuutoksia alun hetkellisen muodonmuutoksen lisäksi. Kun kuormitus poistetaan, muodonmuutos ei palaudu täysin ja puuhun jää pysyvää muodonmuutosta, jota kutsutaan virumaksi. Viruman syntymää kuvataan kuvassa 6. Syntynyt viruma ajassa t_{fin} on muodonmuutosten u_{fin} ja u_{inst} erotus. Viruma pienentää ajan myötä kappaleen jännityksiä, jos kuormitus saadaan aikaan vakiomuodonmuutoksella. Viruman nopeuteen vaikuttaa puun kosteus, kosteuden vaihtelunopeus, lämpötila ja käytetty puulaji. Edellä mainitut tekijät vaikuttavat myös

puun lujuusominaisuuksiin ja pitemmällä aikavälillä kuormitetun puun lujuus alenee. (Kärkkäinen 2003, 226–227; VTT 1996, A17.)



Kuva 7. Puun viskoelastinen käyttäytyminen. Kuvassa u on muodonmuutos, F on kuorma ja t on aika. R on väli, jossa muodonmuutos alkaa palautua. (VTT 1997, A17.)

Kun materiaalien virumisominaisuudet ovat erilaisia, kuten esimerkiksi sahatavarasta ja lastulevystä kootulla I-kannattimella, myös osien keskinäinen jännitys jakauma muuttuu ajan myötä kuormituksessa. Tämä otetaan huomioon eurokoodin mukaan laskemalla poikkileikkauksen jännitykset käyttäen kimmo-, liuku- ja siirtymäkertoimille lopputilan arvoja, jotka saadaan laskettua kaavoista (RIL 205-1-2009, 42)

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{(1 + \psi_2 k_{def})} \quad (31)$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{(1 + \psi_2 k_{def})} \quad (32)$$

$$K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{(1 + \psi_2 k_{def})}, \quad (33)$$

joissa

E_{mean} = kimmokertoimen keskiarvo

G_{mean} = liukukertoimen keskiarvo

K_{ser} = liitoksen siirtymäkerroin

k_{def} = käyttöluokasta riippuva materiaalin tai liitoksen virumaluku

ψ_2 = kuorman pitkäaikaisarvon yhdistelykerroin sille kuormalle, joka aiheuttaa lujuteen nähden suurimman jännityksen. Jos kyseessä on pysyvä kuorma, arvo on 1.

4.7.9 Betonin viruminen ja kutistuminen

Betonilla esiintyy samanlaista virumiskäyttäytymistä kuin puullakin: betonissa syntyy pysyviä muodonmuutoksia pitkäaikaisessa kuormituksessa. Lisäksi betonilla esiintyy huomattavaa kutistumista, joka ei ole riippuvainen kuormituksesta vaan rakenteen muodosta ja ympäröivän ilmankosteuden vaihtelusta. Betonin kutistuminen kasvattaa taipumia vapaasti tuetuissa rakenteissa ja lisää halkeilua moniaukkoisilla rakenteilla tukien läheisyydessä.

Virumisen vaikutus pitkäaikaiseen taipumaan tai lopputilan jännityksiin voidaan huomioida käyttämällä betonin kimmokertoimelle tehollista lopputilan arvoa kuten puuosillekin. Virumaluvun laskentaan annetaan ohjeet standardissa SFS-EN 1992-1-1 kohdassa 5.8.4 ja liitteessä B.

4.7.10 Mitoitusehdot murtorajatilassa

Tässä kappaleessa esitetään mitoitusehdot, jotka tarkastetaan rakenteen kestävyysosoittamiseksi laskentaohjelmassa. Viitteillä viitataan ao. kohtiin julkaisussa RIL 205-1-2009, puurakenteiden suunnittelu. Rakenteelle tehdään murtorajatilassa seuraavat mitoitusarkastelut, kun kyseessä on puupalkkivälipohja:

- palkin syynsuuntaan kohtisuoran puristuspuheen tarkastus tuella kohdan 6.1.5 mukaan
- taivutuskestävyyden tarkastus kohdan 6.1.6 mukaan
- kiepahduskestävyyden tarkastus kohdan 6.3.3 mukaan
- leikkauskestävyyden tarkastus kohdan 6.1.7 mukaan.

Kun mitoitetetaan rakennetta yhdistettynä poikkileikkauksena tai puu-betoniliittolaitana, tarkistetaan:

- palkin syynsuuntaan kohtisuoran puristuspuheen tarkastus tuella kohdan 6.1.5 mukaan

- uumapalkin yhdistetty veto- ja taivutuskestävyys kohdan 6.2.3 mukaan
- uumapalkin yhdistetty puristus- ja taivutuskestävyys kohdan 6.2.4 mukaan
- uumapalkin leikkauskestävyys kohdan 6.1.7 mukaan
- ylälaipan kestävyys kohdan 9.1.2 mukaan
- alalaipan kestävyys kohdan 9.1.2 mukaan
- laippojen ja uumapalkin välinen saumaleikkauskestävyys kohdan 9.1.2, jos osat on rakenteellisesti liimattu toisiinsa.

Jos rakenteessa on mekaanisin liittimin kiinnitettyjä osia, tarkastetaan liittimien kestävyys mekaanisin liittimin koottujen palkkien teorian avulla lasketuille liitinvoimille ko. liitinten kestävyyttä koskevan kohdan perusteella.

Kun kyseessä on puu-betoniliittorakenne, tarkastetaan myös betonin puristus- ja vetokestävyys standardista SFS-EN 1992-1-1 saataville murtorajatilan lujuusarvoille (VTT 1998, E13).

4.8 Rakenteen käyttökelpoisuuden varmistaminen

Liian suuret muodonmuutokset rakenteissa voivat aiheuttaa vahinkoa pinnoille, katoille, lattioille, väliseinille ja pinnoille tai heikentää muuten rakenteen toimintaa, viihtyvyyttä tai esteettisyyttä. Erilaiset rakenteiden värähtelyt koetaan häiritseviksi, ja ne heikentävät rakennusten käytettävyyttä. Näiden seikkojen vuoksi rakenteiden suunnittelussa edellytetään myös käyttörajatilamitoitusta.

Käyttörajatilat ovat rajatiloja, jotka kohdistuvat rakenteen tai rakennusosien toimintaan normaalikäytössä, ihmisten mukavuuteen tai rakennuskohteen ulkonäköön. Näissä rajatiloissa tarkastellaan siirtymiä, värähtelyitä tai mahdollisia syntyviä vaurioita. Tarkemmat ehdot käyttörajatiloista on esitetty kyseisissä materiaalistandardeissa, ja puurakenteiden ehdot standardissa SFS-EN 1995-1-1. (RIL 201-1-2011, 28.) Puurakenteilta edellytetään, että rakenteiden hetkelliset ja pitkäaikaiset taipumat rajoitetaan annettuihin arvoihin eivätkä välipohjien värähtelyt ylitä annettuja ohjearvoja (RIL 205-1-2009, 89-91) .

4.8.1 Taipuma

Jos rakenteen taipumista tai vaakasiirtymistä on haittaa, ne rajoitetaan annettuihin enimmäisarvoihin. Suomessa käytettävät taipumien enimmäisarvot on esitetty taulukossa 9 ja käytetyt merkinnät kuvassa 8, joissa

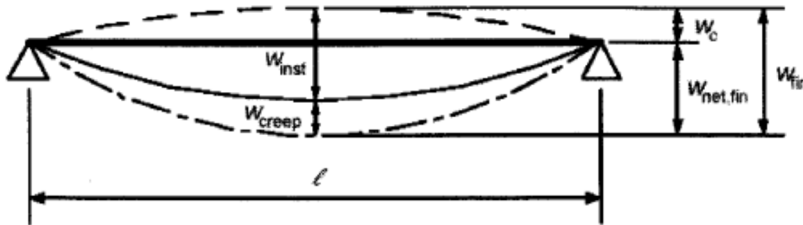
w_c = esikorotus

w_{inst} = hetkellinen taipuma

w_{creep} = viruman aiheuttama lisätaipuma

w_{fin} = kokonaistaipuma

$w_{net,fin}$ = lopputaipuma.



Kuva 8. Taipumien muodostuminen (RIL 205-1-2009, 90).

Taulukko 9. Taipumien ja vaakasiirtymien enimmäisarvot (RIL 205-1-2009, 90).

Taulukko 7.2-FI. Taipumien ja rakennuksen vaakasiirtymien enimmäisarvot. Ulkkeiden taipuma jännevälin suhteen saa olla kaksinkertainen.			
Rakenne	w_{inst} ¹⁾	$w_{net,fin}$ ²⁾	w_{fin} ³⁾
Pääkannattimet	$l/400$	$l/300$	$l/200$
Orret ja muut toisiokannattimet	-	$l/200$	$l/150$
Rakennuksen vaakasiirtymä ⁴⁾	-	$H/300$	-

l on jänneväli
 H on rakennuksen tarkasteltavan kohdan korkeus

1) Koskee pelkästään lattiaita.
2) Koskee suoria ja esikorotettuja rakenteita, mutta ei tukipisteiden välillä kaarevia tai taitteellisia kannattimia.
3) Koskee esikorotettuja sekä tukipisteiden välillä kaarevia tai taitteellisia rakenteita.
4) Hallirakennuksissa vaakasiirtymästä ei ole yleensä haittaa, jolloin sitä ei tarvitse tarkistaa.

Taulukon 9 mukaan rajataan välipohjilla hetkellinen taipuma arvoon $w_{inst} \leq L/400$, lopputaipuma arvoon $w_{net,fin} \leq L/300$ ja kokonaistaipuma arvoon $w_{fin} \leq L/200$, jos välipohjaan on tehty esikorotus.

Hetkellinen taipuma w_{inst} lasketaan käyttämällä rakenteelle kimmo-, liuku- ja siirtymäkertoimien keskiarvoja. Kuormien ominaisyhdistelmä lasketaan tällöin kaavasta

$$G_{kj} + Q_{k,1} \sum_{i>1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (34)$$

Jos rakenne koostuu virumaominaisuuksiltaan samanlaisista materiaaleista, lopputaipuma w_{fin} lasketaan kaavasta

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q,1} + \sum_{i>1} w_{fin,Q,i} \cdot \quad (35)$$

Tässä

$$w_{fin,G} = w_{inst,G}(1 + k_{def}) \quad (36)$$

$$w_{fin,Q,1} = w_{inst,Q,1}(1 + \psi_{2,1}k_{def}) \quad (37)$$

$$w_{fin,Q,i} = w_{inst,Q,i}(\psi_{0,i} + \psi_{2,i}k_{def}), \quad (38)$$

joissa

$\psi_{2,1}; \psi_{2,i}$ = muuttuvien kuormien pitkäaikaisarvon yhdistelykertoimet,
jotka saadaan RIL 205-1-2009 taulukosta 2.2

$\psi_{2,1}$ = ominaisyhdistelyssä käytettävä muuttuvan kuorman yhdistelykerroin, joka saadaan RIL 205-1-2009 taulukosta 2.2

k_{def} = virumaluku, joka saadaan RIL 205-1-2009 taulukosta 2.3.

Kun rakenne koostuu virumaominaisuuksiltaan erilaisista osista, lasketaan pitkäaikaiset kokonaismuodonmuutokset käyttämällä kimmo-, liuku- ja siirtymäkertoimien lopputilan arvoja ja kuormien pitkäaikaisyhdistelmää

$$G_{kj} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (39)$$

Lopputilan kokonaistaipuma w_{fin} saadaan laskemalla yhteen pitkäaikaiset kokonaismuodonmuutokset ja hetkelliset kokonaismuodonmuutokset. Hetkelliset kokonaismuodonmuutokset lasketaan käyttäen kimmo-, liuku- ja siirtymäkertoimien keskiarvoja ja muuttuvien kuormien lyhytaikaisen osuuden ominaisyhdistelmää

$$(1 - \psi_{2,1})Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\psi_{0,i} - \psi_{2,i})Q_{k,i} \quad (40)$$

Käyttörajan lopputilan keskiarvot kimmo-, liuku- ja siirtymäkertoimille lasketaan tällöin kaavoista

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{(1 + k_{def})} \quad (41)$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{(1 + k_{def})} \quad (42)$$

$$K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{(1 + k_{def})}, \quad (43)$$

joiden merkinnät on esitetty luvussa 4.7.8.

4.8.2 Välipohjan värähtely

Ihminen aistii välipohjien värähtelyjä kolmella tapaa: hän tuntee kiihtyvyyden vaikutukset tasapainoelimillään, näkee esimerkiksi riippuvien esineiden heiluntaa ja kuulee rakenteiden liikkeiden aiheuttamia ääniä, kuten narinaa tai astioiden helinää. Värähtelyt heikentävät ovat rakennuksen käyttömukavuutta. Värähtelyn kokemus riippuu myös siitä, onko havaitsija itse värähtelyn aiheuttaja, kuten lattialla kävelevä ihminen, vai pelkästään värähtelyn havaitsija, kuten samassa huoneessa istuva ihminen. Jälkimmäinen henkilö kokee todennäköisesti värähtelyn huomattavasti häiritsevämmäksi kuin ensimmäinen. Värähtelyn kokemus voidaan jakaa notkumiseen, jossa tunnetaan lattian liiallinen taipuminen tai häiritsevään värähtelyn tuntemukseen. (Smith 2003, 248).

VTT:n tiedotteessa Lattioiden värähtelyt (Talja, Toratti & Järvinen 2002) on annettu suositukset menetelmistä, joilla asuinrakennuksissa esiintyvien värähtelyiden suuruutta ja haitallisuutta voidaan arvioida. Kävelystä aiheutuva välipohjan värähtely riippuu pääasiassa lattian massasta ja rakenteen ominaistaajuudesta. Raskailla lattioilla värähtelyn voimakkuuteen vaikuttaa myös vaimennus. Massan ollessa suuri ja omi-

naistaajuus matala, värähtelyä hallitsee ominaisvärähtely. Pienellä massalla ja korkealla ominaistaajuudella hallitsevia ovat taipumat. Edellisten perusteella lattiat voidaan jakaa korkea- ja matalataajuuslattioihin.

Värähtelyn voimakkuus on jaettu julkaisussa kategorioihin kehon tuntemuksien ja esiin syntyvän värähtelyn aistittavuuden perusteella. Luokituksen perusteet ja luokien esimerkit on esitetty Taljan ym. (2002) ohjeessa. Suunnittelun kannalta oleelliset kriteerit on esitetty taulukossa 6. On kuitenkin huomattava, että nykyään ominaistaajuuden raja-arvona puurakenteisille välipohjille käytetään arvoa $f_0 \geq 9$ Hz.

Taulukko 10. Välipohjien laskennassa käytettävät raja-arvot lattian värähtelyiden hyväksyttävyydelle (Talja ym 2002).

Matalataajuuksiset lattiat		Korkeataajuuksiset lattiat, korotuslattiat ja kelluvat lattiat		Kaikki lattiat	
Kiihtyvyysehto		Taipumaehto		Kallistumaehto	
Luokka	$3 \text{ Hz} \leq f_0 \leq 10 \text{ Hz}$	Luokka	$f_0 > 10 \text{ Hz}$	Luokka	
A	$a \leq 0,03 \text{ m/s}^2$	A	$\delta \leq 0,12 \text{ mm}$	1	$\phi \leq 0,2 \text{ mm/1,2 m}$
B	$a \leq 0,05 \text{ m/s}^2$	B	$\delta \leq 0,25 \text{ mm}$	2	$\phi \leq 0,4 \text{ mm/1,2 m}$
C	$a \leq 0,075 \text{ m/s}^2$	C	$\delta \leq 0,5 \text{ mm}$	3	$\phi \leq 0,8 \text{ mm/1,2 m}$
D	$a \leq 0,12 \text{ m/s}^2$	D	$\delta \leq 1,0 \text{ mm}$	4	$\phi \leq 1,6 \text{ mm/1,2 m}$
E	$a > 0,12 \text{ m/s}^2$	E	$\delta > 1,0 \text{ mm}$	5	$\phi > 1,6 \text{ mm/1,2 m}$

Lattian alin ominaistaajuus riippuu lattian tuentatavasta, lattian taivutusjäykkyydestä kanto- ja poikittaissuuntaan, jännevälistä ja leveydestä sekä lattian massasta. Ulkoisella kuormituksella ei ole merkitystä ominaistaajuuteen. Suorakaiteen muotoisen lattian alin ominaistaajuus saadaan laskettua kaavasta 44 (RIL 205-1-2009, 92).

$$f_0 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \sqrt{1 + \left[2 \left(\frac{l}{B} \right)^2 + \left(\frac{l}{B} \right)^4 \right] \frac{(EI)_b}{(EI)_l}}, \quad (44)$$

jossa

l = lattian pituus

$(EI)_l$ = lattian pituussuuntaa vastaava taivutusjäykkyys

B = lattian leveys

$(EI)_B$ = lattian leveyssuuntaa vastaava taivutusjäykkyys
 m = välipohjan massa pinta-alayksikköä kohden.

Jos lattian palkkien suuntainen tuenta ei vaikuta ominaistajuuteen, voidaan ominaistajuus määrittää pelkästään kantosuunnan taivutusjäykkyyden ja lattian massan perusteella. Tällöin alin ominaistajuus saadaan laskettua kaavasta 45.

$$f_0 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \quad (45)$$

Kun lattiapalkit tukeutuvat pääkannattimiin, joiden pituus $L = b$, koko systeemin ominaistajuus saadaan laskettua kaavasta (Talja ym. 2002)

$$f_0 = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{f_{0,l}^2} + \frac{1}{f_{0,L}^2}}}, \quad (46)$$

jossa

$f_{0,l}$ = lattian alin ominaistajuus joustamattomilla tuilla laskettuna

$f_{0,L}$ = pääkannattimien alin ominaistajuus.

Pääkannattimien alin ominaistajuus lasketaan kaavasta (Talja ym. 2002)

$$f_{0,L} = \frac{\pi}{2L^2} \sqrt{\frac{(EI)_L}{m}}, \quad (47)$$

jossa

L = pääkannattimien pituus

$(EI)_L$ = pääkannattimien ja pintalaatan yhteinen taivutusjäykkyys.

Kun lattia on korkeataajuuksinen eli lattian ominaistajuus ylittää raja-arvon, voidaan olettaa, ettei kävelystä syntyvä heräte muodosta resonanssi-ilmiötä lattian kanssa. Tällöin tulee kuitenkin varmistua, ettei notkumisesta ole haittaa. Tämä varmistetaan tar-

kistamalla, että 1 kN:n staattisen lattiapalkin kohdalla vaikuttavan pistekuorman aiheuttama taipuma $\delta \leq 0,5$ mm. Jos huonetilat ovat pieniä, saadaan taipumarajaa korotetaan kertoimella k , joka lasketaan kaavasta (RIL 205-1-2009, 91)

$$k = \frac{1}{0,318 + 0,144L} \geq 1, \quad (48)$$

jossa

L = huoneen suurin sivumitta [m].

Taipuma voidaan laskea kaavoista (RIL 205-1-2009, 93)

$$\delta = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{Fl^2}{42k_\delta(EI)_l} \\ \frac{Fl^3}{48s(EI)_l} \end{array} \right. \quad (49)$$

$$k_\delta = \sqrt[4]{\frac{(EI)_B}{(EI)_l}} \leq \frac{B}{l}, \quad (50)$$

joissa

F = pistekuorma 1 kN

$(EI)_l$ = välipohjan taivutusjäykkyys pituussuuntaan

$(EI)_B$ = välipohjan taivutusjäykkyys leveyssuuntaan

s = lattiapalkkien välinen etäisyys

l = välipohjan jänneväli.

Jos lattia on neljältä sivulta tuettu, ei tekijää k_δ tarvitse rajoittaa arvoon B/l . Ohjeen RIL 205-1-2009 mukaan välipohjan värähtelyä korkeataajuuslattioilla koskee kaksi mitoitusehtoa:

$$f_1 \geq 9 \text{ Hz} \quad (51)$$

$$\delta \leq k \cdot 0,5 \text{ mm}, \quad (52)$$

joiden tulee täyttyä, ellei rakennuttajan kanssa toisin sovita.

Lattian jäykkyyksiä laskettaessa värähtelymitoituksessa käytetään kimmo-, liuku- ja siirtymäkertoimien keskiarvoja. Lattian jäykkyyden laskennassa voidaan hyödyntää kaikkia koolauksien, levytyksien ja pintalaatan jäykkyyksiä. Myös mahdollisten poikkittaisjäykisteiden vaikutus voidaan ottaa huomioon leveyssuuntaisessa jäykkyydessä.

4.9 Välipohjan palonkestävyys

Suomen rakennusmääräyskokoelman osassa E1 (2011) on asetettu yhdeksi olennaiseksi vaatimukseksi, että kantavien rakenteiden tulee palossa kestää niille asetetun. Vaatimusten katsotaan täyttyvän, kun rakennus suunnitellaan ja rakennetaan määräysten ja ohjeiden mukaisia paloluokkia ja lukuarvoja käyttäen. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää oletettuun palonkehitykseen perustuvaa menetelmää. Kantavien rakenteiden palonkestovaatimus määräytyy rakennuksen käyttötarkoituksen, koon, palokuormien ja paloluokan mukaan, jotka määritetään määräyksen taulukoita ja ohjeita noudattaen tapauskohtaisesti.

Puurakenteiden palonkestävyys määritellään eurokoodijärjestelmää käytettäessä standardin SFS-EN 1995-1-2 ohjeiden mukaan. Yksinkertaisessa palomitoituksen laskentamenetelmässä rakenneosan kestävyys palossa ajanhetkellä t perustuu jäljellä olevaan jäännöspoikkileikkaukseen ja palotilanteessa vallitseviin kuormiin sekä tapauksesta riippuen puun lämpenemisen alentamiin materiaaliominaisuuksiin. Rakenteen kantavuus osoitetaan sillä, että ehto

$$E_{d,fi} \leq R_{d,t,fi}, \quad (53)$$

jossa

$E_{d,fi}$ = palotilanteessa vallitsevan voimasuureen mitoitusarvo

$R_{d,t,fi}$ = vastaava kestävyuden mitoitusarvo palotilanteessa,

on voimassa koko vaaditun palonkestoajan. Palotilanteen voimasuureiden mitoitusarvot saadaan laskettu normaalilämpötilan voimasuureista kaavalla

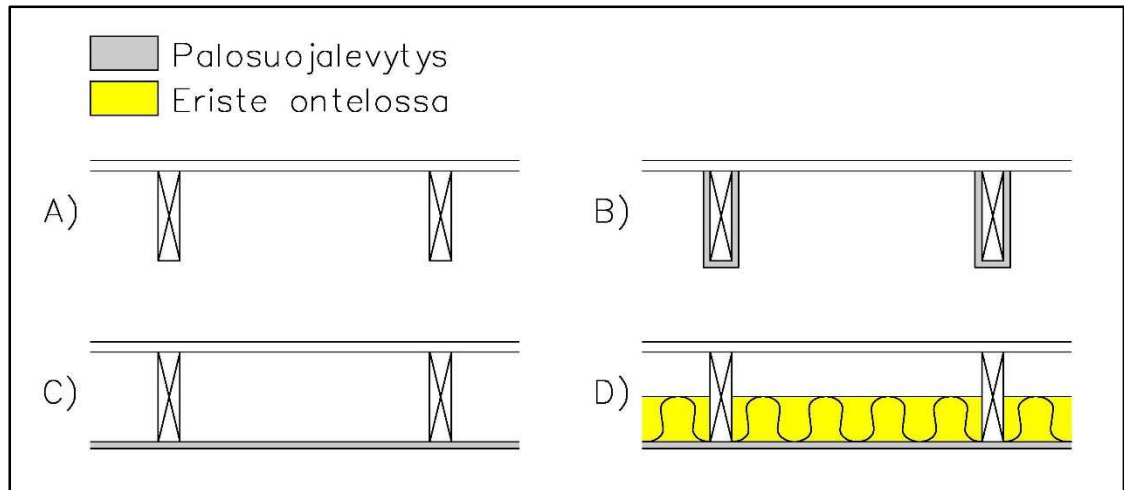
$$E_{d,fi} = \eta_{fi} E_d, \quad (54)$$

jossa

η_{fi} = kuorman mitoitusarvon pienennyskerroin palotilanteessa

E_d = normaalilämpötilassa standardin SFS-EN 1990 mukaan kuormien perusyhdistelmän avulla laskettu voimasuureen mitoitusarvo.

Standardin SFS-EN 1995-1-2 kansallisen liitteen mukaan pienennyskertoimelle käytetään arvoa $\eta_{fi} = 0,6$, paitsi luokan E hyötykuormille arvoa $\eta_{fi} = 0,7$. (SFS-EN 1995-1-2.)



Kuva 9. Välipohjatyyppit, jotka edellyttävät erilaisten laskentamenetelmien käyttöä.

Välipohja A on täysin palonsuojaamaton, välipohja B:ssä palkit on palosuojattu, välipohja C:n koko ontelotila on palonsuojattu ja välipohja D:n ontelotilassa on lisäksi mineraalivilla, jonka paksuus on ≥ 100 mm ja tiheys ≥ 30 kg/m³.

Välipohjarakenteen kestävyys laskentamenetelmä riippuu siitä, onko kantava rakenne suoraan palolle alttiina vai suojattuna ja miten rakenne on suojattu. Erilaiset tarkastelutapaukset, jotka edellyttävät eri laskentamenetelmien käyttöä jäännöspoikkeileikkausten laskennassa, on esitetty kuvassa 9. Tapauksessa A, jossa rakenne on kokonaan palonsuojaamaton, palkiston kestävyys mitoitetaan standardin SFS-EN 1995-1-2 kohdan 3.4.2 mukaan. Kohdassa käsitellään koko palon ajan suojaamattomien pintojen palomitoitusta. Kun rakenne on tyyppin B mukainen, kestävyys lasketaan standardin SFS-EN 1995-1-2 kohdan 3.4.3 mukaan. Kohta käsittelee palolta alkuaan suojattujen palkkien ja tolppien pintoja. Tapauksissa C ja D, jossa koko ontelotila on suojattu palolta levytyksellä, palkiston kestävyys mitoitetaan standardin SFS-EN 1995-1-2 kohdan 5.2 mukaan käyttämällä opastavaa liitteitä C tai D sen mukaan, onko ontelotila eristetty vai ei. Edellä mainittuja ohjeita on täydennetty ja tarkennettu standardin kansallisessa liitteessä ja menetelmät esitetään myös julkaisussa RIL 205-2-2009, puurakenteiden suunnitteluohje.

Palotilanteen kestävyttä laskettaessa tarvittavat materiaaliominaisuudet määritetään standardin SFS-EN 1995-1-2 kohdan 2.3 mukaan. Lujuus- ja jäykkyysominaisuuksien mitoitusarvot lasketaan kaavoista

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (55)$$

$$S_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{S_{20}}{\gamma_{M,fi}}, \quad (56)$$

joissa

f_{20} = lujuusominaisuuden 20 % fraktaali normaalilämpötilassa

S_{20} = jäykkyysominaisuuden 20 % fraktaali normaalilämpötilassa

$k_{mod,fi}$ = palotilanteeseen liittyvä muunnoskerroin. Muunnoskertoimet esitetään standardin kyseistä laskentamenetelmää koskevissa kohdissa

$\gamma_{M,fi}$ = puun osavarmuusluku palotilanteessa ($\gamma_{M,fi} = 1,0$).

Lujuus- ja jäykkyysominaisuuksien 20 % fraktaaliarvot lasketaan kaavoista

$$f_{20} = k_{fi} f_k \quad (57)$$

$$S_{20} = k_{fi} S_{05}, \quad (58)$$

joissa

k_{fi} = SFS-EN 1995-1-2 taulukosta 2.1 saatava kerroin

f_k = lujuusominaisuuden ominaisarvo

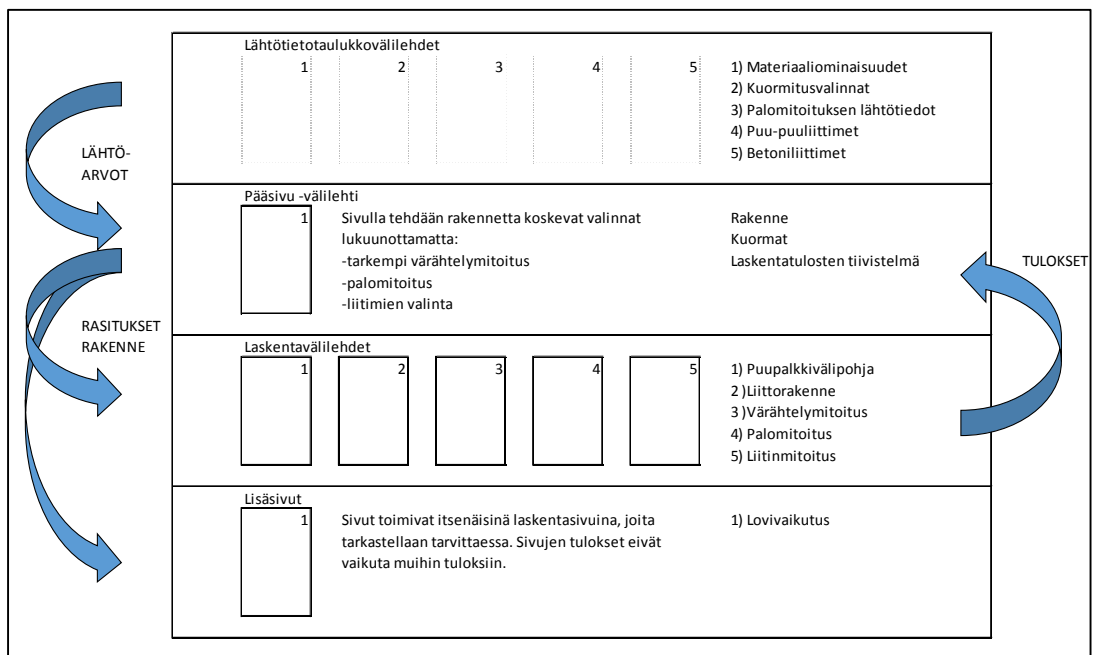
S_{05} = jäykkyysominaisuuden 5 % fraktaali normaalilämpötilassa.

5 LASKENTAOHJELMAN TOTEUTUS

Laskentaohjelma tehtiin käyttäen Microsoft Excel -taulukkolaskennan versioita 2010 ja 2013. Laskentaohjelman on todettu toimivan molemmissa versioissa samalla tavalla. Käyttäjä syöttää kaikki haluamansa valinnat käyttäen laskentapohjan alasvetovalikoita tai kenttiä, joihin voidaan syöttää numeerinen arvo. Varsinainen laskenta perustuu laskentakaavoihin, ja tarpeen vaatiessa laskenta on haarautettu ehtolauseita käyttäen. Koska joihinkin valikoihin on haluttu tehdä sisältö, joka muuttuu edellisten valintojen perusteella, on sovelluksessa käytetty myös Exceliin sisäänrakennetulla VBA-ohjelmointikielellä tehtyjä makroja.

5.1 Laskentaohjelman rakenne

Laskentasovellus tehtiin niin, että se koostuu useista erilaisista välilehdistä. Ajatuksena oli, että laskennan lähtötiedot syötetään etusivulla, jossa myös nähdään valintoja tehdessä samanaikaisesti rakenteen mitoitusehtojen täyttyminen. Varsinaiset laskentavälilehdet, joissa laskennan välivaiheet ovat nähtävissä, sijoitettiin omiin välilehtiinsä. Tarvittavat lähtötiedot, kuten materiaalitiedot, sijoitettiin myös omiin välilehtiinsä, jotka voidaan piilottaa käyttäjiltä ja estää tarpeeton tietojen muuttaminen. Laskentaohjelman välilehtisysteemi on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Laskentaohjelman rakenne. Välilehdet, joita ei näytetä käyttäjälle, on esitetty katkoviivalla. Kuvassa on esitetty lisäksi laskennan etenemissuunta.

Jokainen välilehti, lukuun ottamatta lähtötietovälilehtiä, koostuu yhdestä tai useammassa laskenta- tai valikkosivusta. Sivujen ulkoasu on tehty noudattaen Finnmap Consulting Oy:n Excel-laskentapohjamallia. Laskentaohjelman ulkoasu on nähtävissä liitteissä 3 ja 5 esitetyissä tulostetuissa vertailulaskelmista.

5.2 Mitoituksen kulku

Laskenta sovelluksella aloitetaan valitsemalla ensimmäiseltä sivulta rakenteen jänneväli, palkkijako, käyttöluokka, seuraamusluokka ja haluttu rakennetyyppi: puupalkkivälipohja, liittorakenne tai yhdistetty poikkileikkaus. Jos rakenteeseen kuuluu mekaanisia liittimiä, ne käydään valitsemassa liitinmitoitusvälilehdeltä. Rakenteen valinnan jälkeen valitaan rakenteen taipumarajat, kiepahdustuentojen väli ja tukipintojen pituudet.

Seuraavalla sivulla syötetään rakenteen pysyvät kuormat, valitaan laskeeko sovellus rakenteen oman painon automaattisesti mukaan kuormiin, ja valitaan hyötykuormat. Hyötykuormien syöttö on automatisoitu niin, että kun valitaan haluttu kuormaluokka ja välipohjan käyttötapa, laskentaohjelma hakee automaattisesti normissa annetun kuormat. Käyttäjä voi kuitenkin halutessaan muuttaa kuorman arvoa. Murtorajatilan kuormitusyhdistelmien mitoittavat rasitukset esitetään samalla sivulla.

Laskentaohjelman seuraavalla sivulla on esitetty laskennan tulosten tiivistelmät kolmelle eri tapauksella: puupalkkivälipohjalle, liittolaatalle ja yhdistetylle poikkileikkaukselle. Ensimmäisen tuloksen näytetään aina, mutta liittolaatan ja yhdistetyn poikkileikkauksen tulokset näkyvät vain, jos kyseinen rakenne on valittuna.

Varsinainen laskenta tapahtuu mitoitusvälilehdillä. Puupalkkivälipohjan mitoitusvälilehdellä lasketaan ja esitetään materiaaliominaisuuksien ominais- ja suunnitteluarvot, käytetyt pienennyskertoimet, eri mitoitusehtojen jännitykset ja lujuudet sekä kyseisten ehtojen käyttöaste. Puupalkkivälipohjan laskennassa tarkastetaan tukipaine, taivutus- ja kiepahduskestävyys, leikkauskestävyys, hetkellinen taipuma ja lopputaipuma sekä yksinkertainen värähtelymitoitus tarkastellen rakennetta yhteen suuntaan kantavana palkkina.

Liittorakennvälilehdellä esitetään materiaaliominaisuuksien ominais- ja suunnittelu-arvot ja käytetyt pienennyskertoimet. Varsinaisessa laskennassa tarkastellaan murtorajatilassa rakennetta ilman betonilaattaa alkutilassa sekä rakennetta liittorakenteena alkutilassa ja lopputilassa. Jokaisessa tarkastelussa lasketaan rakenteessa vaikuttavat taivutus- ja normaali-jännitykset sekä leikkausjännitykset uumapalkissa ja uuman ja laipan välisissä saumoissa. Betonilaatalle lasketaan taivutus- ja normaali-jännitykset. Jokaisesta osasta tarkistetaan siihen liittyvien mitoitussehtojen käyttöaste. Käyttörajatilatarkasteluissa lasketaan rakenteelle taivutusjäykkyys alku- ja lopputilassa, minkä jälkeen lasketaan taipumat ja tarkistetaan taipumarajojen täyttyminen. Liittorakenteelle tehdään myös yksinkertainen värähtelymitoitus, jossa rakennetta tarkastellaan yhteen suuntaan kantavana palkkina, sen jäykkyytenä käytetään käyttörajatilan alkutilan arvoa. Sekä liittorakenne että yhdistetty poikkileikkaus lasketaan samalla laskentavälilehdellä, mutta mitoitus ehdot tai muut arvot, joita ei tarvita, piilotetaan.

Jos yksinkertaistettu värähtelymitoitus ei tuota hyväksyttävää tulosta, voidaan värähtely tutkia tarkemmilla arvoilla värähtelyvälilehdellä. Lisäksi voidaan huomioida joustavien tukien vaikutus välipohjan värähtelymitoituksessa. Tällä välilehdellä syötetään myös tarvittavat lähtötiedot kyseisiä erityistarkasteluja varten. Rakenteelle lasketaan jäykkyydet kantosuunnassa ja poikittaissuunnassa. Tarkastettava rakenne perustuu etusivulla valittuihin rakenneosiin, ja käyttäjä valitsee, mitä osia käytetään jäykkyyksien laskennassa. Lisäksi laskennassa voidaan huomioida koolauksien ja poikittaisjäykisteiden vaikutus poikittaiseen jäykkyyteen. Jos halutaan tarkastella joustavilla tuilla olevaa välipohjaa, valitaan lisäksi primääripalkit, joiden jäykkyys huomioidaan kenttävärähtelytarkastelussa. Sekä jäykillä tuilla että joustavilla tuilla olevalle välipohjalle lasketaan ominaistaajuus, taipuma 1 kN:n pistekuormasta ja matalataajuuslattioiden mitoituskriteerin mukainen kiihtyvyys, minkä jälkeen ilmoitetaan käyttöasteet verrattuna raja-arvoihin.

Palomitoitusvälilehdellä lasketaan välipohjan palonkestävyys. Yksinkertaistuksena palomitoitus on tehty niin, että ainoastaan uumapalkkia käsitellään palotilanteessa kantavana rakenteena. Mitoitus voidaan tehdä suojaamattomalle, palosuojatulle tai palosuojattuun onteloon sijoitetulle palkille. Menetelmänä laskennassa käytetään standardin SFS-EN 1995-1-2 annettuja ohjeita, joihin viitattiin luvussa 4.9. Käyttäjä valitsee palonsuojalevytyksen, koolauksen, vaaditun palonkestoajan, ja onko välipohjan

ontelotila eristetty. Laskennan tuloksena esitetään taivutus-, kiepahdus- ja leikkauskestävyys sekä taipuma palotilanteessa.

Liittimet valitaan liitinten kapasiteetin laskentaa käsittelevällä välilehdellä. Valitun rakennetyypin mukaan käyttäjä voi valita käytettävät puu-betoniliittimet tai yhdistetyn poikkileikkauksen liittämistavan. Lisäksi valitaan, kuinka moneen jaksoon liittimen jaetaan palkin puoliskolla ja kuinka monta liitintä yhteen jaksoon halutaan. Valintojen perusteella lasketaan liitinten käyttöaste ja ilmoitetaan liitinjaksojen sijoitus palkilla tuelta lukien.

Opinnäytetyön aikana valmistettiin myös yksi lisävälilehti, joka ei varsinaisesti vaikuta mihinkään muualla ohjelman laskennan kulussa. Lisävälilehdellä voidaan tarkastaa palkin lovipään kestävyys tuella. Laskennassa käytetään rakenteeseen valitun uunapalkin tietoja ja laskennasta saatavia tukireaktioita, jolloin käyttäjä syöttää vain loven mitat, ja ohjelma laskee kyseisen loven käyttöasteen. Lovimitoitus perustuu julkaisun RIL 205-1-2009 kohdan 6.2 ohjeeseen lovettujen sauvojen mitoituksista.

5.3 Laskennan tulosteet

Tulostaminen laskentaohjelmasta onnistuu Excelin omalla tulostustoiminnolla, jossa haluttu tai halutut alueet valitaan ja tulostetaan valitsemalla tulostusasetuksiksi valinnan tulostus. Ohjelmasta tulostetaan aina kaikki aloitusvälilehden sivut, joissa lähtötietojen valinnat ja mitoituksen tulokset on esitetty. Kun tarvitaan laskennasta tarkempi erittely, tulostetaan tarvittavat lisäsivut. Ohjelmaan on kuitenkin tarkoitus tehdä jatkokehitysvaiheessa valikko, josta tarvittavat tulosteet voidaan valita ja tulostaa yhdellä komennolla. Samalla saadaan automaattinen juokseva numerointi tulosteiden nimiökenttiin. Sovellukseen ei tehty erillisiä tulostesivuja, vaan tulosteissa nähdään samat asiat kuin laskennan aikanakin.

6 LASKENTAOHJELMAN VERTAILU KÄSIN LASKENNAN TULOKSIIN

Laskennan oikeellisuuden varmistamiseksi työssä on tehty kaksi vertailulaskelmaa, joiden tuloksia verrataan laskentaohjelman antamiin tuloksiin. Vertailulaskelmien tarkasteltaviksi välipohjatyypeiksi on valittu liimattu ripalaattarakenne ja puu-betoniliittolaatta. Käsinlaskennassa käytettiin Mathcad 15 -laskentaohjelmaa, jolla varmistettiin että laskennassa ei syntynyt numeerisia virheitä pitkistä ketjulaskuista huolimatta.

6.1 Vertailuvälipohja 1

Ensimmäiseksi vertailuvälipohjaksi valittiin liimattu ripalaattarakenne, jossa kansilevy on vaneria ja rivat liimapuuta. Mitoituksen lähtötiedot ovat seuraavat

- Jänneväli $L = 5\,400$ mm ja lattian leveys $B = 5\,000$ mm.
- Välipohja on sisätiloissa oleva asuintilojen välipohja, $q_k = 2,0$ kN/m².
- Väliseinistä oletetaan tulevan pysyvää kuormaa $g_{k,1} = 0,3$ kN/m².
- Kansilevy on 21 mm:n paksuviiluininen havuvaneri, joka on rakenteellisesti liimattu tehdasoloissa palkistoon. Vanerin pintaviilun syysuunta on palkistoa vastaan kohtisuorassa.
- Ripoina ovat liimapuupalkit 66x360 GL28c. Palkkijako $s = 600$ mm.
- Kansilevyn päälle valetaan kelluva betoninen pintalaatta $h = 50$ mm, lujuusluokka on C16/20.
- Välipohja tukeutuu väliseinän päälle, väliseinän yläohjauspuu $b = 148$ mm.
- Välipohjalla ei ole palonkestovaatimusta.

Laskelman tulos oli hyväksyttävä. Laskennassa ilmeni virhe laippojen tehollisen leveyden laskentakaavoissa, mutta virheen korjattiin tarkastuksen yhteydessä. Tämän jälkeen välipohjan laskentaohjelmalla ja käsin laskettuna saadut tulokset täsmäsivät keskenään. Käsinlaskennan tulokset ovat liitteessä 2 ja laskentaohjelman tulosteet liitteessä 3.

6.2 Vertailuvälipohja 2

Toiseksi vertailuvälipohjaksi valittiin puu-betonilaatta, joka on rakennettu k/k1200 väleihin sijoitetuista jäleistä liimapuupalkeista ja VB-vinoruuvein liitetystä betonilaatasta. Yksinkertaistuksen vuoksi valun aluslevynä käytettävä kansilevy jätetään laskelmissa huomioimatta. Mitoituksen lähtötiedot ovat seuraavat

- Jänneväli $L = 6\,000$ mm ja lattian leveys $B = 15\,000$ mm.
- Välipohja on sisätiloissa oleva liikerakennuksen käytävän välipohja, $q_k = 4,0$ kN/m².
- Käytävällä ei ole väliseiniä.
- Palkisto on liimapuuta 165x405 GL32c. Palkkijako $s = 1\,200$ mm.

- Betonilaatan lujuusluokka on C25/30 ja laatan paksuus $h = 80$ mm.
- Betonilaatta liitetään palkistoon SFS Intec VB ristiruuvauksella.
- Välipohja tukeutuu pilari-palkkirungon varaan, jossa palkit ovat 190x495 GL32c ja niiden jänneväli $L_{\text{palkki}} = 4\ 200$ mm.
- Jokaisen pilarin kohdalle on tehty käytävään nähden poikittainen liikuntasauva betonilaattaa primääripalkkien taipuman aiheuttaman laatan halkeilun estämiseksi tuen läheisyydessä.
- Välipohjalta edellytetään R60 palonkestoa, eikä palkkeja ole palonsuojattu alapuolista paloa vastaan.

Laskelman tulos oli myös hyväksyttävä. Välipohjan laskentaohjelmalla ja käsin laskemalla saadut tulokset täsmäsivät keskenään. Laskennan kulussa löytyi muutamia pieniä virheitä, jotka korjattiin laskelman tarkastusvaiheessa. Käsinlaskennan tulokset ovat liitteessä 4 ja laskentaohjelman tulosteet liitteessä 5.

7 TULOSTEN TARKASTELU JA JATKOKEHITYSTARPEET

7.1 Tulokset

Opinnäyte on ollut erittäin antoisa laajuutensa ja monipuolisuutensa takia, mutta samalla myös melko raskas. Työtä aloittaessa ei ollut kovin tarkkaa tietoa tehtävän vaativuudesta. Suurin ongelma työn alkuvaiheissa oli Excelin käyttö, koska minulla ei ollut ennalta kovin laajaa kokemusta taulukkolaskennan käytöstä. Tarvittava osaaminen kehittyi etsimällä tarvittavat toiminnot ja komennot Excelin ohjeista ja internetin keskustelupalstoilta. Työ valmistui kuitenkin ilman suurempia ongelmia, vaikkakin aikataulussa jouduttiin hieman joustamaan. Työ on lisäksi luonut valmiuden tuottaa muitakin laskentasovelluksia tarpeen mukaan ja antanut mahdollisuuden tutustu puurakenteiden eurokoodinormeihin syvällisemmin.

Laskentaohjelmaan saatiin tehtyä kaikki toimeksiannossa sovitut toiminnot. Laskentaohjelmalla voidaan mitoittaa puupalkkivälipohja, yhdistetty poikkileikkaus ja liittorakenteinen välipohja, kuten toimeksiannossa oli määriteltä. Myös tarkka värähtelymitoitus, palomitoitus ja täydentävä lovetun palkin tarkistus saatiin liitettyä laskentaan. Laskentaohjelmaa on testattu jo joissain projekteissa, ja laskenta helpottaa huomattavasti vaihtoehtoisten välipohjaratkaisujen kokeilemistä. Laskennallisesti sovelluksella

voidaan suorittaa kattavia analyysyjä, joissa voidaan huomioida niin liitinten kuin vaihtelevien poikkileikkausvaihtoehtojen vaikutus rakenteen toimivuuteen, kunhan lähtötiedot on syötetty oikein. Suurimpana puutteena kuitenkin on vielä hieman alkeellinen käyttöliittymä, joka ei ole kaikin puolin riittävän havainnollinen ja käyttöä ohjaava, etenkin jos käyttäjä ei ole ennestään tuttu sovelluksen kanssa.

Käyttökokemuksieni perusteella välipohjarakenne voidaan mitoittaa muutamissa minuuteissa, jos rakennejärjestelmä on ennestään tuttu. Toisin sanoen, kun kyseessä on pelkästään rakenteen osien mitoitus, on työ erittäin nopeaa. Parhaiten tämä tulee esille tehtävissä, joissa haarukoidaan sopivia rakennepoikkileikkauksia erilaisille jänneväleille tai kuormille. Toisaalta laskentaohjelma soveltuu myös uusien ja erikoisempien välipohjarakenteiden tutkimiseen. Erityistä tarkkuutta edellyttää kuitenkin liittorakenteiden liittimien jäykkyyden ja lujuusarvojen valinta, koska niillä on erittäin suuri merkitys välipohjan jäykkyyteen ja kuormituskapasiteettiin.

Kävi myös selväksi, ettei puu-betoniliittorakenteiden mitoitukseen etenkin Suomessa ole juurikaan saatavilla tietoa. Aihe vaatisi ehdottomasti mitoitusohjeita ja tutkimuksiin perustuvaa tietoa rakenteiden toiminnasta ja erityispiirteistä.

7.2 Jatkokehitysehdotukset

Eräs mahdollinen jatkokehitysaie laskentasovellukseen olisi jatkuvien rakenteiden laskemisen mahdollisuus. Se laajentaisi käyttöaluetta huomattavasti nykyisestä esimerkiksi palkkien laskentaan, koska ne ovat huomattavasti useammin jatkuvia. Myös välipohjarakenteilla mahdollisuudesta olisi etua, mutta puu-betoniliittorakenteilla etu on kyseenalainen, koska betonilaatalla on taipumus halkeilla yläpinnastaan tukien kohdalla negatiivisen momentin vuoksi.

Välipohjalle voidaan syöttää vain tasaisia kuormia. Toinen kehityskohde laskentaan olisi erilaisten kuormajakaumien käyttö. Etenkin jatkuvilla rakenteilla, jos kyseinen lisäys laskentaohjelmaan tehdään, se olisi välttämätöntä. Toisaalta vaihtelevien kuormien käyttö lisää laskennan monimutkaisuutta huomattavasti, koska määräävät poikkileikkaukset joudutaan etsimään koko rakenteen pituudelta, jos pysyvät ja muuttuvat kuormitusjakaumat eroavat muodoltaan toisistaan. Nykyisessä versiossa kuormitukset ja mitoittavat rasitukset ovat helposti hallittavissa, koska niiden sijainti tiedetään ennakolta.

Eräs mielenkiintoinen kehityskohde olisi täysin vapaan poikkileikkauksen käytön mahdollistaminen laskennassa. Nykyään laskennassa tehtävät rakennevalinnat on rajattu niin, että mitoitusehdoissa pystytään huomioimaan kaikki tarvittavat asiat. Vapaa poikkileikkaus edellyttäisikin laskentarutiinien laajentamista.

Kattorakenteet, lukuun ottamatta ristikkoyläpohjia, poikkeavat rakenteellisesti vähän välipohjista. Kattopalkkien ja erilaisten kattolaattaelementtien mitoitus sopisi hyvin jatkokehittäväksi kohteeksi laskentasovellukseen. Nykyiselläkin versiolla voidaan laskea kattorakenteita, mutta tämä edellyttää, että rakenteet ovat vaakatasossa. Lisäämällä mahdollisuus vinoihin rakenteisiin, aksiaalirasitusten laskentaan ja niiden huomioimiseen poikkileikkauksen mitoitusehdoissa saataisiin laskentaohjelman käyttöalue laajennettua myös kattorakenteisiin.

Suomessa vähän käytetty, mutta Euroopassa yleisempi CLT on myös yksi materiaaleista, jota voidaan käyttää välipohjarakenteissa, joko yksinään kantavana rakenteena tai yhdessä muiden materiaalien osana välipohjarakennetta. Jos CLT-rakenteita mitoitetaan tulevaisuudessa kohteissa, olisi suotavaa saada laskentasovellukseen mahdollisuus myös CLT:n käyttöön. Ongelmana on kuitenkin, että nykyisin standardi SFS-EN 1995-1-1 ei tarjoa laskentamenetelmiä, joilla voitaisiin laskea useammasta kuin kolmesta osasta koostuvaa joustavin liitoksin koottua rakennetta. CLT-laatoilla useimmiten käytetään yksinkertaistettuna analyysina mekaanisin liittimin koottujen palkkien teoriaa, jossa kantosuunnan mukaiset lamellit huomioidaan poikkileikkauksen osina ja poikittaiset lamellit mallinnetaan joustavina liitoksina. Tämä mahdollistaa korkeintaan viisikerroksisen CLT-laatan mitoituksen. Tällöin rakenteeseen ei voida laskea mitään muuta mekaanisesti liitettyä osaa laatan lisäksi. Jatkossa tuleekin harkita, tehdäänkö CLT-laattojen mitoitukseen oma sovellus, jossa voidaan helpommin huomioida materiaalin mitoitukseen liittyvät erityispiirteet.

Palomitoitus on laskentasovelluksessa toteutettu niin, että ainoastaan uumapalkin kantokyky huomioidaan palotilanteessa. Oletus on varmalla puolella, ja pelkän palkin kantavuus riittää lähes poikkeuksetta, kunhan palonsuojaus on huomioitu asiallisesti tai suojaamattomissa rakenteissa käytetään riittävän järeää puutavaraa. Olisi kuitenkin edullista, että myös kantavan rakenteen muut osat voitaisiin huomioida palomitoituksessa, jotta esimerkiksi palonsuoja levytyksestä voitaisiin tapauskohtaisesti jättää le-

vykerroksia pois. Muiden osien huomiointi moninkertaistaa kuitenkin hiililymän määrittämisen laskentatyön ja tekee laskennan lopputuloksen huomattavasti nykyistä epävarmemmaksi.

Ehdoton kehittämistarve laskentasovellukseen nykyisellään on käytettävyyden ja käyttöliittymän parantaminen. Laskennasta on tehtävä nykyistä havainnollisempaa ja helpommin seurattavaa. Toinen käytettävyyteen liitettävä tärkeä kehityskohde on tehdä tulostuksesta mahdollisimman sujuvaa ja tulosteista sen taseisia, että niitä pystytään tulkitsemaan esimerkiksi ulkopuolisessa tarkastuksessa tai rakennusvalvonnassa.

Koska tuloste luodaan suoraan laskentavälilehdiltä, on laskentasovelluksen ulkoasussa huomioitava myös tulostettavuus.

Välipohjarakenteiden laskentaohjelman kehittäminen riippuu tietysti lopulta toimeksiantajan tarpeista ja käytettävissä olevista resursseista. On kuitenkin oletettavaa, että jos puurakentaminen jatkuu vilkkaana ja rakenneratkaisuja edelleen kehitetään, joten myös rakennelaskentaan vaaditaan entistä tehokkaampia ja monipuolisempia työkaluja.

LÄHTEET

Ceccotti, A. 2003. Composite structures. Teoksessa Thelandersson, S & Larsen, H (toim.). 2003. Timber Engineering. Wiltshire: Antony Rowe Ltd.

Ins.tsto Pauli Närhi. 2013. PupaX5, versio 1.1. Ohjelman käyttöohje.

Kuula, K. & Salmi, T. 2012. Rakenteiden mekaniikka. Tampere: Klingendahl Paino Oy.

Kärkkäinen, M. 2003. Puutieteen perusteet. Hämeenlinna: Karisto Oy.

Kärkkäinen, S. 2012. Eurokoodi-laskentaohjelmat puurakenteisten pientalojen suunnittelussa. Opinäytetyö. Savonia-ammattikorkeakoulu 2012. Saatavissa: <http://www.theseus.fi> [viitattu 5.10.2013].

Lukaszewska, E. 2009. Development of Prefabricated Timber-Concrete Composite Floors. Väitöskirja. Luleå University of Technology.

Metsä Wood. 2013. Finnwood. Internet-sivu. Metsä Wood 2013. Saatavissa: <http://www.metsawood.fi> [viitattu 5.10.2013].

Metsä Wood. 2012a. Finnwood 2.3 SR1. Esite. Metsä Wood 2012. Saatavissa: <http://www.metsawood.fi> [viitattu 5.10.2013]

Metsä Wood. 2012b. Ohjekirja, Finnwood 2.3 SR1. Ohjelman käyttöohje. Metsä Wood 2012.

Metsäteollisuus ry. 2006. Vanerikäsikirja. Lahti: Kirjapaino Markprint Oy.

Outinen, H., Salmi, T. & Vulli, P. 2007. Lujuusopin perusteet. Tampere: Klingendahl Paino Oy.

Puuinfo Oy. 2011. Puuvälipohjan värähtelymitoitushjelma, ohjelmaversio 1.2, 10.5.2011. Puuinfo 2011. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi> [viitattu 6.10.2013].

Puuinfo Oy. 2013a. Palkiston palomitoitusohjelma, ohjelmaversio 1.5, 28.3.2013.

Puuinfo 2013. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi> [viitattu 6.10.2013].

Puuinfo Oy. 2013b. Sahatavaran jatkojalosteet. Puuinfo 2013. Saatavissa:

<http://www.puuinfo.fi> [viitattu 21.10.2013].

RIL 205-1-2009. Puurakenteiden suunnitteluohje. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Hansaprint Oy.

RIL 201-1-2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Hansaprint Oy.

Salmi, T. 2005. Statiikka. Tampere: Klingendahl Paino Oy.

SFS-EN 1995-1-2. 2004. Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleistä. Puurakenteiden palomitoitus. Suomen standardoimisliitto SFS.

Siikanen, U. 2010. Puurakentaminen. Tampere: Esa Print Oy.

Sipi, M. 2006. Puutuoteteollisuus 5, sahatavaratuotanto. 3. tarkistettu painos. Helsinki: Edita Oy.

Smith, I. 2003. Vibrations of timber floors: Serviceability aspects. Teoksessa Thelandersson, S & Larsen, H (toim.). 2003. Timber Engineering. Wiltshire: Antony Rowe Ltd.

Suomen Betoniyhdistys ry. 2004. Betonitekniikan oppikirja 2004, by 201. 5. uudistettu painos. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy.

Talja, A., Toratti, T. & Järvinen, E. 2002. Lattioiden värähtely – Suunnittelu ja kokeellinen arviointi. VTT Tiedotteita 2124. Espoo 2002.

Tolppanen, J., Karjalainen, M., Lahtela, T. & Viljakainen, M. 2013. Suomalainen puukerrostalo - rakenteet, suunnittelu ja rakentaminen. Tampere: Juvenus Print – Suomen Yliopistopaino Oy.

VTT. 1998. STEP 2, Puurakenteet. Tampere: Tammer-Paino Oy.

VTT. 1996. STEP 1, Puurakenteet. Tampere: Tammer-Paino Oy.

Ympäristöministeriö. 2013. Tietoa eurokoodeista. Internet-sivu. Saatavissa:
<http://www.ym.fi> [viitattu 9.11.2013].

Puurakenteisen välipohjan taulukkolaskentaohjelma

Kuvaus opinnäytetyön sisällöstä

29.5.2013

Joonas Jaaranen

RA10S

1. Opinnäytetyön sisältö yleisesti

Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä Excel-pohjainen helppokäyttöinen taulukkolaskentasovellus, jolla voidaan suorittaa mitoitus murto-, käyttö- ja palotilanteessa erilaisille puurakenteisille välipohjarakenteille. Toimeksiantajana työlle on Finnmap Consulting Oy.

Laskentaohjelma tulee ainoastaan yrityksen omaan käyttöön. Opinnäytetyöhön liitetään ainoastaan tulosteita ohjelmasta, ei itse ohjelmaa.

2. Ohjelman kuvaus

Ohjelmalla voidaan suorittaa valitulle välipohjatyyppille

- murtorajatilatarkastelu, jossa tarkastetaan rakenteen tyypistä riippuvat tarkastukset
- käyttörajatilatarkastelu, jossa tarkastetaan rakenteen taipuma- ja värähtelytarkastukset
- palotilanteen tarkastelu, jossa tarkastetaan palotilanteen kestävyys suojaamattomalle tai suojatulle rakenteelle. Ohjelma on tarkoitettu etupäässä P1- ja P2-paloluokan rakenteiden tarkasteluun.

Opinnäytetyössä laskenta rajataan koskemaan 1-aukkoisia rakenteita, mutta optiona laskentapohjassa on myös useampiaukkoisten rakenteiden tarkastelu. Vaihtoehtoja tarkasteltaviksi rakennetyypeiksi ovat:

- yksinkertainen palkkirakenne
- liittorakenteet, kuten
 - ripalaatat
 - kotelolaatat
 - puu-betoni-liittolaatat
- optiona yhteen suuntaan kantavat CLT-laatat.

Lisäksi laskentapohjaan on tarkoitus liittää täydentävinä mitoitusosioina

- tukipainetarkastelu
- lovetun palkin leikkauskestävyystarkastelu
- liittorakenteen liitinten mitoitus
- kelluvan pintalaatan vaikutus värähtelyyn
- kenttävärähtelytarkastelu.

Em. osiot toteutetaan käytettävissä olevan ajan rajoissa.

Laskenta perustuu voimassa oleviin SFS-EN 1990, 1991 ja 1995 standardeihin.

Laskentapohja on suunnattu peruskäyttäjille, joten toteutuksessa pyritään siihen, että:

- laskentaa ohjataan yhdeltä välilehdeltä käsin ja laskennasta saadaan tuloste napin painalluksella
- tietojen syötössä pyritään yksinkertaisuuteen ts. suositaan nopeakäyttöisiä alavetovalikoita eli materiaalit, käyttöluokat, poikkileikkaukset, palonsuojaus yms. valitaan alavetovalikoista
- ohjelman ulkoasu vastaa Finnmap Consulting Oy:n omia laskentataulukoita
- kuormitukset voidaan syöttää valitsemalla tilan käyttötarkoitus tai tarvittaessa manuaalisesti.

Laskentaohjelman laadinnassa pyritään tekemään sen laajentaminen tulevaisuudessa helpoksi.

3. Opinnäytetyön teoriaosuus

Teoriaosuudessa tullaan käsittelemään laskentapohjan laatimiseksi tarvittavia tietoja:

- Excel-taulukkolaskentaohjelmien valmistus

- taustalla vaikuttava rakenteiden mekaniikka
- SFS-EN 1990, 1991 ja 1995 laskentaohjeet
- RakMK E1, paloturvallisuus –osan määräykset ja ohjeet
- muut tarpeelliseksi havaittavat lähteet.

4. Opinnäytetyön ohjaus

Finnmap Consulting Oy:n puolesta opinnäytetyön ohjaajina toimivat DI Timo Pekkinen ja Ins. Harri Moilanen sekä laskentateknisenä ohjaajana ja tarkastajana DI Ilkka Uotila.

5. Aikataulu

Laskentasovellus on tarkoitus saada käyttövalmiiksi syksyyn/loppukesään mennessä. Opinnäytetyö kokonaisuudessaan on tarkoitus saada valmiiksi lokakuun loppuun mennessä.

Vertailulaskelma 1, ripalaatan mitoitus

Käytettävät normit ja standardit:

SFS-EN 1990

SFS-EN 1991

SFS-EN 1995

SFS-EN 1992

Käytetyt sovellusohjeet:

RIL 205-1-2009, puurakenteiden suunnittelu

Lähtötiedot:

$$L_{\text{w}} := 5400 \text{ mm}$$

Välipohjan jänneväli

$$s := 600 \text{ mm}$$

Palkkijako

$$h_1 := 21 \text{ mm}$$

Vanerin paksuus

$$b_1 := s$$

Vanerin leveys tarkasteltavassa poikkileikkauksessa

$$h_2 := 360 \text{ mm}$$

Liimapuupalkin korkeus

$$b_2 := 66 \text{ mm}$$

Liimapuupalkin leveys

$$h_c := 50 \text{ mm}$$

Betonilaatan paksuus

Rakenteen kuormitukset:

$$\gamma_p := 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Puun tilavuuspaino

$$\gamma_c := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Betonin tilavuuspaino

$$P_{\text{g.1.k}} := \gamma_p \cdot \left(h_1 + \frac{h_2 \cdot b_2}{s} \right) + \gamma_c \cdot h_c$$

$$P_{\text{g.1.k}} = 1.553 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Välipohjan omapaino

$$P_{\text{g.2.k}} := 0.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Muut pysyvät kuormat

$$P_{\text{q.k}} := 2.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Välipohjan hyötykuorma, luokka A, RIL 205-1-2009, taul. 2.5-FI

$$g_k := s \cdot (P_{g,1,k} + P_{g,2,k})$$

$$g_k = 1.112 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Pysyvän kuormat viivakuorma palkille

$$q_k := s \cdot P_{q,k}$$

$$q_k = 1.2 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Hyötykuorman viivakuorma palkille

Kuormitusyhdistelmät (tarkastellaan yhdistelmää $K_{FI,1,15G_k} + K_{FI,1,5Q_k}$):

$$K_{FI} := 1.0$$

Seuraamusluokka CC2, RIL 205-1-2009, taul. 2.1-FI

$$q_d := K_{FI} \cdot 1.15 \cdot g_k + K_{FI} \cdot 1.5 \cdot q_k$$

$$q_d = 3.08 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Viivakuorma murtorajatilassa

Rasitukset:

$$M_d := \frac{q_d \cdot L^2}{8} = 11.22 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Suurin taivutusmomentti

$$V_d := \frac{q_d \cdot L}{2} = 8.31 \cdot \text{kN}$$

Suurin leikkausvoima

$$R_d := \frac{q_d \cdot L}{2} = 8.31 \cdot \text{kN}$$

Tukireaktiot

Materiaaliominaisuudet:

Aikaluokka: keskipitkä

Käyttöluokka: 1

Paksuviilinen havuvaneri 21mm:

$$k_{mod,1} := 0.8$$

k_{mod} -kerroin, RIL 205-1-2009, taul. 3.1

$$k_{def,1} := 0.8$$

Virumaluku, RIL 205-1-2009, taul. 3.2

$$\gamma_{M,1} := 1.25$$

Materiaalin osavarmuuskerroin, RIL 205-1-2009, taul. 2.10-FI

$$f_{m.k.1} := 12.8 \frac{N}{mm^2}$$

Materiaalin lujuuden ominaisarvot pintaviilun syysuuntaa vasten kohtisuoraan (kantosuunnassa), RIL 205-1-2009, taul. 3.9S

$$f_{c.k.1} := 13.2 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{r.k.1} := 0.82 \frac{N}{mm^2}$$

$$E_{M.mean.1} := 3770 \frac{N}{mm^2}$$

Materiaalin kimmokerroin taivutuksessa pintaviilun syysuuntaa vasten kohtisuoraan, RIL 205-1-2009, taul 3.9S

$$E_{N.mean.1} := 5290 \frac{N}{mm^2}$$

Materiaalin kimmokerroin vedossa ja puristuksessa pintaviilun syysuuntaa vasten kohtisuoraan, RIL 205-1-2009, taul 3.9S

$$E_{M.mean.1.90} := 8230 \frac{N}{mm^2}$$

Materiaalin kimmokerroin taivutuksessa pintaviilun syysuuntaan, RIL 205-1-2009, taul 3.9S

$$E_{N.mean.1.90} := 6710 \frac{N}{mm^2}$$

Materiaalin kimmokerroin vedossa ja puristuksessa pintaviilun syysuuntaan, RIL 205-1-2009, taul 3.9S

Lujuuksien suunnitteluarvot:

$$f_{m.d.1} := k_{mod.1} \cdot \frac{f_{m.k.1}}{\gamma_{M.1}} = 8.19 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c.d.1} := k_{mod.1} \cdot \frac{f_{c.k.1}}{\gamma_{M.1}} = 8.45 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{r.d.1} := k_{mod.1} \cdot \frac{f_{r.k.1}}{\gamma_{M.1}} = 0.52 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Liimapuu GL28c:

$$k_{mod.2} := 0.8$$

k_{mod} -kerroin, RIL 205-1-2009, taul. 3.1

$$k_{def.2} := 0.6$$

Virumaluku, RIL 205-1-2009, taul. 3.2

$$\gamma_{M.2} := 1.2$$

Materiaalin osavarmuuskerroin, RIL 205-1-2009, taul. 2.10-F1

$$k_{cr} := 0.67$$

$$k_h := \min \left[\left(\frac{600 \text{ mm}}{h_2} \right)^{0.1}, 1.1 \right]$$

$$k_h = 1.052$$

Sauvan koon vaikutuksen huomioon ottava kerroin, RIL 205-1-2009, kaava 3.2

$$f_{m.k.2} := 28 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Materiaalin lujuuden ominaisarvot, RIL 205-1-2009, taul. 3.4S

$$f_{t.0.k.2} := 16.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{c.90.k.2} := 2.7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{v.k.2} := 2.7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$E_{0.\text{mean}.2} := 12600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Materiaalin kimmokerroin, RIL 205-1-2009, taul. 3.4S

Lujuuksien suunnitteluvarvot:

$$f_{m.d.2} := k_h \cdot k_{\text{mod}.2} \cdot \frac{f_{m.k.2}}{\gamma_{M.2}} = 19.64 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{t.0.d.2} := k_h \cdot k_{\text{mod}.2} \cdot \frac{f_{t.0.k.2}}{\gamma_{M.2}} = 11.58 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{c.90.d.2} := k_{\text{mod}.2} \cdot \frac{f_{c.90.k.2}}{\gamma_{M.2}} = 1.80 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{v.d.2} := k_{\text{mod}.2} \cdot \frac{f_{v.k.2}}{\gamma_{M.2}} = 1.80 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Murtorajatilamitoitus

Tukipainekestävyys:

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

Tukipinnan pituus

$$\sigma_{c.90.d} := \frac{R_d}{b_2 \cdot l_a}$$

$$\sigma_{c.90.d} = 0.85 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Puristusjännitys kosketuspinnalla

$$k_{c.90} := 1.5$$

Havupuiselle liimapuulle, RIL 205-1-2009, s. 66

$$l_{c.90.ef} := l_a + 30\text{mm} = 178 \cdot \text{mm}$$

$$k_{c.I} := \frac{l_{c.90.ef}}{l_a} \cdot k_{c.90}$$

$$k_{c.I} = 1.804$$

Tukipainekerroin, RIL 205-1-2009, kaava 6.4S

Mitoitusehto

$$\frac{\sigma_{c.90.d}}{k_{c.I} \cdot f_{c.90.d.2}} = 26.2 \cdot \% \quad \text{OK!}$$

Osien poikkileikkaussuureet:

$$b_{c.ef} := \min(0.1 \cdot L, 25 \cdot h_1)$$

$$b_{c.ef} = 525 \cdot \text{mm}$$

Laipan toimiva leveys, RIL 205-1-2009, taul. 9.1

$$b_{ef} := \min(s, b_{c.ef} + b_2)$$

$$b_{ef} = 591 \cdot \text{mm}$$

Laipan tehollinen leveys, RIL 205-1-2009, kaava 9.12

$$A_{ef.1} := b_{ef} \cdot h_1 = 1.241 \times 10^4 \cdot \text{mm}^2$$

$$I_1 := \frac{b_{ef} \cdot h_1^3}{12} = 4.561 \times 10^5 \cdot \text{mm}^4$$

$$A_2 := b_2 \cdot h_2 = 2.376 \times 10^4 \cdot \text{mm}^2$$

$$I_2 := \frac{b_2 \cdot h_2^3}{12} = 2.566 \times 10^8 \cdot \text{mm}^4$$

Poikkileikkaussuureet alkutilassa:

$$z_0 := \frac{b_{ef} \cdot h_1 \cdot E_{N.mean.1} \cdot \frac{h_1}{2} + b_2 \cdot h_2 \cdot E_{0.mean.2} \cdot \left(h_1 + \frac{h_2}{2} \right)}{b_{ef} \cdot h_1 \cdot E_{N.mean.1} + b_2 \cdot h_2 \cdot E_{0.mean.2}}$$

$$z_0 = 166.7 \cdot \text{mm}$$

Poikkileikkauksen painopisteen sijainti

$$z_1 := \frac{h_1}{2} - z_0$$

$$z_1 = -156.2 \cdot \text{mm}$$

Vanerin painopisteen etäisyys poikkileikkauksen painopisteestä

$$z_2 := h_1 + \frac{h_2}{2} - z_0$$

$$z_2 = 34.3 \cdot \text{mm}$$

Liimapuupalkin painopisteen etäisyys poikkileikkauksen painopisteestä

$$EI := E_{M,\text{mean}.1} \cdot I_1 + E_{0,\text{mean}.2} \cdot I_2 + E_{N,\text{mean}.1} \cdot A_{\text{ef}.1} \cdot z_1^2 + E_{0,\text{mean}.2} \cdot A_2 \cdot z_2^2$$

$$EI = 5.19 \times 10^{12} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

Poikkileikkauksen taivutusjäykkyys alkutilassa

Poikkileikkaussuureet lopputilassa, MRT:

$$\psi_{2.1} := 0.3$$

Muuttuvan kuorman pitkäaikaisosuuden yhdistelykerroin, RIL 205-1-2009, taul. 2.2-F1

$$E_{M,\text{mean}.1,\text{fin}.u} := \frac{E_{M,\text{mean}.1}}{(1 + \psi_{2.1} \cdot k_{\text{def}.1})}$$

$$E_{M,\text{mean}.1,\text{fin}.u} = 3040 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Kansivanerin kimmokerroin taivutuksessa lopputilassa, MRT}$$

$$E_{N,\text{mean}.1,\text{fin}.u} := \frac{E_{N,\text{mean}.1}}{(1 + \psi_{2.1} \cdot k_{\text{def}.1})}$$

$$E_{N,\text{mean}.1,\text{fin}.u} = 4266 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Kansivanerin taivutuskimmo kerroin puristuksessa lopputilassa, MRT}$$

$$E_{0,\text{mean}.2,\text{fin}.u} := \frac{E_{0,\text{mean}.2}}{(1 + \psi_{2.1} \cdot k_{\text{def}.2})}$$

$$E_{0,\text{mean}.2,\text{fin}.u} = 10678 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Liimapuupalkin kimmokerroin lopputilassa, MRT}$$

$$z_{0,\text{fin.u}} := \frac{b_{\text{ef}} \cdot h_1 \cdot E_{\text{N.mean.1.fin.u}} \cdot \frac{h_1}{2} + b_2 \cdot h_2 \cdot E_{0,\text{mean.2.fin.u}} \cdot \left(h_1 + \frac{h_2}{2} \right)}{b_{\text{ef}} \cdot h_1 \cdot E_{\text{N.mean.1.fin.u}} + b_2 \cdot h_2 \cdot E_{0,\text{mean.2.fin.u}}}$$

$$z_{0,\text{fin.u}} = 168.1 \cdot \text{mm} \quad \text{Poikkileikkauksen painopisteen sijainti}$$

$$z_{1,\text{fin.u}} := \frac{h_1}{2} - z_{0,\text{fin.u}}$$

$$z_{1,\text{fin.u}} = -157.6 \cdot \text{mm} \quad \text{Vanerin painopisteen etäisyys poikkileikkauksen painopisteestä}$$

$$z_{2,\text{fin.u}} := h_1 + \frac{h_2}{2} - z_{0,\text{fin.u}}$$

$$z_{2,\text{fin.u}} = 32.9 \cdot \text{mm} \quad \text{Liimapuupalkin painopisteen etäisyys poikkileikkauksen painopisteestä}$$

$$EI_{\text{fin.u}} := E_{\text{M.mean.1.fin.u}} \cdot I_1 + E_{0,\text{mean.2.fin.u}} \cdot I_2 \dots \\ + E_{\text{N.mean.1.fin.u}} \cdot A_{\text{ef.1}} \cdot z_1^2 + E_{0,\text{mean.2.fin.u}} \cdot A_2 \cdot z_2^2$$

$$EI_{\text{fin.u}} = 4.33 \times 10^{12} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2 \quad \text{Poikkileikkauksen taivutusjäykkyys lopputilassa, MRT}$$

Poikkileikkaussuureet lopputilassa, KRT:

$$E_{\text{M.mean.1.fin}} := \frac{E_{\text{M.mean.1}}}{(1 + k_{\text{def.1}})}$$

$$E_{\text{M.mean.1.fin}} = 2094 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Kansivanerin kimmokerroin taivutuksessa lopputilassa, KRT}$$

$$E_{\text{N.mean.1.fin}} := \frac{E_{\text{N.mean.1}}}{(1 + k_{\text{def.1}})}$$

$$E_{\text{N.mean.1.fin}} = 2939 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Kansivanerin taivutuskimmokerroin puristuksessa lopputilassa, KRT}$$

$$E_{0,\text{mean.2.fin}} := \frac{E_{0,\text{mean.2}}}{(1 + k_{\text{def.2}})}$$

$$E_{0,\text{mean.2.fin}} = 7875 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Liimapuupalkin kimmokerroin lopputilassa, KRT}$$

$$z_{0,\text{fin}} := \frac{b_{\text{ef}} \cdot h_1 \cdot E_{\text{N.mean.1.fin}} \cdot \frac{h_1}{2} + b_2 \cdot h_2 \cdot E_{0,\text{mean.2.fin}} \cdot \left(h_1 + \frac{h_2}{2} \right)}{b_{\text{ef}} \cdot h_1 \cdot E_{\text{N.mean.1.fin}} + b_2 \cdot h_2 \cdot E_{0,\text{mean.2.fin}}}$$

$$z_{0,\text{fin}} = 169.9 \cdot \text{mm} \quad \text{Poikkileikkauksen painopisteen sijainti}$$

$$z_{1,\text{fin}} := \frac{h_1}{2} - z_{0,\text{fin}}$$

$$z_{1,\text{fin}} = -159.4 \cdot \text{mm}$$

Vanerin painopisteen etäisyys poikkileikkauksen painopisteestä

$$z_{2,\text{fin}} := h_1 + \frac{h_2}{2} - z_{0,\text{fin}}$$

$$z_{2,\text{fin}} = 31.1 \cdot \text{mm}$$

Liimapuupalkin painopisteen etäisyys poikkileikkauksen painopisteestä

$$EI_{\text{fin}} := E_{M,\text{mean.1,fin}} \cdot I_1 + E_{0,\text{mean.2,fin}} \cdot I_2 \dots \\ + E_{N,\text{mean.1,fin}} \cdot A_{\text{ef.1}} \cdot z_1^2 + E_{0,\text{mean.2,fin}} \cdot A_2 \cdot z_2^2$$

$$EI_{\text{fin}} = 3.13 \times 10^{12} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

Poikkileikkauksen taivutusjäykkyys lopputilassa, KRT

Poikkileikkauksen jännitykset alkutilassa:

$$\sigma_{m,d,1} := \frac{M_d \cdot E_{M,\text{mean.1}}}{EI} \cdot \frac{h_1}{2}$$

$$\sigma_{m,d,1} = 0.086 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kansilevyn taivutusjännitys levyn yläpinnassa

$$\sigma_{c,d,1} := \frac{M_d \cdot E_{N,\text{mean.1}}}{EI} \cdot -z_1$$

$$\sigma_{c,d,1} = 1.787 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kansilevyn keskimääräinen normaalijännitys

$$\sigma_{m,d,2} := \frac{M_d \cdot E_{0,\text{mean.2}}}{EI} \cdot \frac{h_2}{2}$$

$$\sigma_{m,d,2} = 4.905 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Uumapalkin taivutusjännitys palkin alapinnassa

$$\sigma_{t,d,2} := \frac{M_d \cdot E_{0,\text{mean.2}}}{EI} \cdot z_2$$

$$\sigma_{t,d,2} = 0.934 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Uumapalkin keskimääräinen normaalijännitys

$$SE_{12} := A_{ef.1} \cdot E_{N.mean.1} \cdot z_1$$

$$SE_{12} = 1.026 \times 10^{10} \cdot \text{N} \cdot \text{mm} \quad \text{Kansilevyn staattinen momentti}$$

$$\tau_{12.d} := \frac{V_d \cdot SE_{12}}{EI \cdot b_2}$$

$$\tau_{12.d} = 0.249 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Kansilevyn ja uumapalkin saumassa vaikuttava leikkausjännitys}$$

$$SE_{\max} := \frac{b_2 \cdot \left(z_2 + \frac{h_2}{2} \right)^2}{2} \cdot E_{0.mean.2}$$

$$SE_{\max} = 1.909 \times 10^{10} \cdot \text{N} \cdot \text{mm} \quad \text{Poikkileikkauksen painopisteen alapuolisen osan staattinen momentti}$$

$$\tau_{\max.d} := \frac{V_d \cdot SE_{\max}}{EI \cdot b_2}$$

$$\tau_{\max.d} = 0.463 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Suurin uumapalkissa vaikuttava leikkausjännitys (poikkileikkauksen neutraaliakselilla eli jännitysten 0-kohdassa)}$$

Poikkileikkauksen jännitykset lopputilassa:

$$\sigma_{m.d.1.fin} := \frac{M_d \cdot E_{M.mean.1.fin.u}}{EI_{fin.u}} \cdot \frac{h_1}{2}$$

$$\sigma_{m.d.1.fin} = 0.083 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Kansilevyn taivutusjännitys levyn yläpinnassa}$$

$$\sigma_{c.d.1.fin} := \frac{M_d \cdot E_{N.mean.1.fin.u}}{EI_{fin.u}} \cdot z_{1.fin.u}$$

$$\sigma_{c.d.1.fin} = 1.742 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Kansilevyn keskimääräinen normaalijännitys}$$

$$\sigma_{m.d.2.fin} := \frac{M_d \cdot E_{0.mean.2.fin.u}}{EI_{fin.u}} \cdot \frac{h_2}{2}$$

$$\sigma_{m.d.2.fin} = 4.979 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Uumapalkin taivutusjännitys palkin alapinnassa}$$

$$\sigma_{t.d.2.fin} := \frac{M_d \cdot E_{0.mean.2.fin.u}}{EI_{fin.u}} \cdot z_{2.fin.u}$$

$$\sigma_{t.d.2.fin} = 0.91 \cdot \frac{N}{mm^2} \quad \text{Uumapalkin keskimääräinen normaalijännitys}$$

$$SE_{12.fin} := A_{ef.1} \cdot E_{N.mean.1.fin.u} \cdot z_{1.fin.u}$$

$$SE_{12.fin} = 8.345 \times 10^9 \cdot N \cdot mm \quad \text{Kansilevyn staattinen momentti}$$

$$\tau_{12.d.fin} := \frac{V_d \cdot SE_{12.fin}}{EI_{fin.u} \cdot b_2}$$

$$\tau_{12.d.fin} = 0.243 \cdot \frac{N}{mm^2} \quad \text{Kansilevyn ja uumapalkin saumassa vaikuttava leikkausjännitys}$$

$$SE_{max.fin} := \frac{b_2 \cdot \left(z_{2.fin.u} + \frac{h_2}{2} \right)^2}{2} \cdot E_{0.mean.2.fin.u}$$

$$SE_{max.fin} = 1.597 \times 10^{10} \cdot N \cdot mm \quad \text{Poikkileikkauksen painopisteen alapuolisen osan staattinen momentti}$$

$$\tau_{max.d.fin} := \frac{V_d \cdot SE_{max.fin}}{EI_{fin.u} \cdot b_2}$$

$$\tau_{max.d.fin} = 0.464 \cdot \frac{N}{mm^2} \quad \text{Suurin uumapalkissa vaikuttava leikkausjännitys (poikkileikkauksen neutraaliakselilla eli jännitysten 0-kohdassa)}$$

Poikkileikkauksen jännitysten

mitoitusehdot:

Kansilevyn taivutuskestävyys alkutilassa:

$$\frac{\sigma_{m.d.1} + \sigma_{c.d.1}}{f_{m.d.1}} = 0.23 \leq 1 \rightarrow \text{OK!}$$

Kansilevyn taivutuskestävyys lopputilassa:

$$\frac{\sigma_{m.d.1.fin} + \sigma_{c.d.1.fin}}{f_{m.d.1}} = 0.22 \leq 1 \rightarrow \text{OK!}$$

Uumapalkin taivutuskestävyys alkutilassa:

$$\frac{\sigma_{m.d.2}}{f_{m.d.2}} + \frac{\sigma_{t.d.2}}{f_{t.0.d.2}} = 0.33 \leq 1 \rightarrow \text{OK!}$$

Uumapalkin taivutuskestävyys lopputilassa:

$$\frac{\sigma_{m.d.2.fin}}{f_{m.d.2}} + \frac{\sigma_{t.d.2.fin}}{f_{t.0.d.2}} = 0.33 \leq 1 \rightarrow \text{OK!}$$

Uumapalkin leikkauskestävyys alkutilassa:

$$\frac{\tau_{\max.d}}{k_{cr} \cdot f_{v.d.2}} = 0.384 \leq 1 \rightarrow \text{OK!}$$

Uumapalkin leikkauskestävyys alkutilassa:

$$\frac{\tau_{\max.d.fin}}{k_{cr} \cdot f_{v.d.2}} = 0.385 \leq 1 \rightarrow \text{OK!}$$

Uumapalkin ja kansilevyn saumaleikkauskestävyys:

$$f_{v.d} := \begin{cases} \min(f_{r.d.1}, f_{v.d.2}) & \text{if } b_2 \leq 8 \cdot h_1 \\ \min(f_{r.d.1}, f_{v.d.2}) \cdot \left(\frac{8 \cdot h_1}{b_2}\right)^{0.8} & \text{if } b_2 > 8 \cdot h_1 \end{cases}$$

$$f_{v.d} = 0.52 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Kansilevyn leikkauslujuus määrää leikkauskestävyyden

Alkutilassa:

$$\frac{\tau_{12,d}}{f_{v,d}} = 0.47 \leq 1 \rightarrow \text{OK!}$$

Lopputilassa:

$$\frac{\tau_{12,d,fin}}{f_{v,d}} = 0.46 \leq 1 \rightarrow \text{OK!}$$

Käyttörajatilamitoitus:
Hetkellinen taipuma

$$w_{inst} := \frac{5(g_k + q_k) \cdot L^4}{384 \cdot EI}$$

$$w_{inst} = 4.9 \cdot \text{mm}$$

$$w_{inst,sall} := \frac{L}{400}$$

$$w_{inst,sall} = 13.5 \cdot \text{mm}$$

$$\frac{w_{inst}}{w_{inst,sall}} = 0.37 \quad w_{inst} \leq w_{inst,sall} \rightarrow \text{OK!}$$

Lopputaipuma:

$$q_{inst} := (1 - \psi_{2.1}) \cdot q_k$$

$$q_{inst} = 0.84 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Muuttuvien kuormien lyhytaikainen osuus, kun tarkastellaan rakennetta, jonka osilla on erilaiset virumaluvut. RIL 205-1-2009, kaava 2.5.3S

$$q_{fin} := g_k + \psi_{2.1} \cdot q_k$$

$$q_{fin} = 1.47 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Kuormien pitkäaikainen osuus, kun tarkastellaan rakennetta, jonka osilla on erilaiset virumaluvut. RIL 205-1-2009, kaava 2.5.2S

$$w_{fin} := \frac{5}{384} \cdot \left(\frac{q_{inst}}{EI} + \frac{q_{fin}}{EI_{fin}} \right) \cdot L^4$$

$$w_{fin} = 7 \cdot \text{mm}$$

$$w_{\text{fin.sall}} := \frac{L}{300}$$

$$w_{\text{fin.sall}} = 18 \cdot \text{mm}$$

$$\frac{w_{\text{fin}}}{w_{\text{fin.sall}}} = 0.39$$

$w_{\text{fin}} \leq w_{\text{fin.sall}} \rightarrow \text{OK!}$

Värähtely:

$$m_0 := \left(\frac{\text{g}_k \cdot \text{m}}{\frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot \text{s}} \cdot 100 + 30 \right) \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$m_0 = 215.3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Välipohjarakenteen massa pinta-alayksikköä kohden

$$B := 5 \text{m}$$

Välipohjarakenteen leveys

$$k := \max \left(\frac{1}{0.318 + 0.114 \cdot \max \left(\frac{L}{\text{m}}, \frac{B}{\text{m}} \right)}, 1 \right)$$

$$k = 1.071$$

Huoneen koosta riippuva taipumarajoituksen korotuskerroin, RIL 205-1-2009, kuva 7.2-FI

Välipohjan jäykkyydet pituus- ja leveyssuunnassa:

$$E_{\text{betoni}} := 29 \text{GPa}$$

Betonin C16/20 kimmokerroin, SFS-EN 1992-1-1, taul. 3.1

$$EI_{\text{betoni}} := \frac{h_c^3 \cdot E_{\text{betoni}}}{12}$$

$$EI_{\text{betoni}} = 3.021 \times 10^5 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{m}}$$

Betonilaatan taivutusjäykkyys pituusyksikköä kohden pituus- ja leveyssuunnassa

$$EI_{\text{B.kansi}} := \frac{h_1^3 \cdot E_{\text{M.mean.1.90}}}{12}$$

$$EI_{\text{B.kansi}} = 6.352 \times 10^3 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{m}}$$

Kansilevyn taivutusjäykkyys pituusyksikköä kohden leveyssuunnassa

$$EI_L := \frac{EI}{s} + EI_{\text{betoni}}$$

$$EI_L = 8.951 \times 10^6 \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{m}}$$

Lattian pituussuuntainen taivutusjäykkyys pituusyksikköä kohden (sisältää betonilaatan ja ripalaatan jäykkyyden)

$$EI_B := EI_{\text{betoni}} + EI_{\text{B.kansi}}$$

$$EI_B = 3.084 \times 10^5 \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{m}}$$

Lattian leveysuuntainen taivutusjäykkyys pituusyksikköä kohden (sisältää betonilaatan ja kansilevyn jäykkyyden)

Välipohjan ominaistajuus:

$$f_1 := \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_L}{m_0}} \cdot \sqrt{1 + \left[2 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^2 + \left(\frac{L}{B} \right)^4 \right] \cdot \frac{EI_B}{EI_L}}$$

$$f_1 = 11.7 \cdot \text{Hz}$$

Neljätä sivulta tuetun laatan ominaistajuus, RIL 205-1-2009, kaava 7.5.-F1

Mitoitusehto:

$$\frac{9 \text{ Hz}}{f_1} = 0.77$$

$f_1 > 9 \text{ Hz} \rightarrow \text{OK!}$

Välipohjan taipumakriteeri (notkumisehto):

$$k_\delta := \sqrt[4]{\frac{EI_B}{EI_L}}$$

$$k_\delta = 0.431$$

RIL 205-1-2009, kaava 7.7-F1, neljältä sivulta tuettu laatta, arvoa ei tarvitse rajoittaa arvolla B/L

$$F := 1 \text{ kN}$$

$$\delta := \min \left(\frac{F \cdot L^2}{42 \cdot k_\delta \cdot EI_L}, \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot s \cdot EI_L} \right)$$

$$\delta = 0.18 \cdot \text{mm}$$

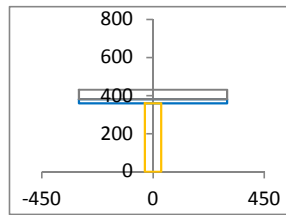
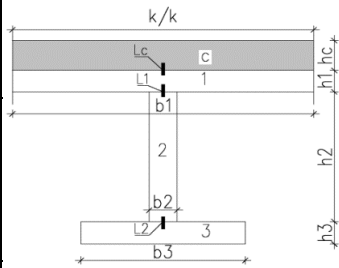
Taipuma 1 kN:n pistekuormasta

Mitoitusehto:


$$\frac{\delta}{k \cdot 0.5 \text{ mm}} = 0.34$$

$\delta < k \cdot 0.5 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$


Finnmap Consulting <small>FMC GROUP</small>	Työn nro	0	Rakennelaskelmat
	Tekijä	JEJ	Pos. xx xx
	Päiväys	6.1.14	Sivu A1 001
Rakennuskohde	Sisältö		
Laskurin kehitys, versio 0.6	Puurakenteisen välipohjan laskentaohjelma Vertailulaskelma 1, ripalaatta		
Välipohjarakenne			
Jänneväli:	5400 mm		
Palkkijako:	600 mm		
Käyttöluokka:	KL 1		
Seuraamusluokka:	CC2	$K_{FI} =$	1,0
Rakenteen tyyppi:	Yhdistetty poikkileikkaus		
c) BETONILAATTA			
Materiaali:	C16/20	$h_c =$	50 mm
(Huomioidaan vain värähtelymitoituksessa)			
Lc) BETONILIITIN			
Liitin:	Ei liittovaikutusta Käytettävä liittintyyppi ja liitinjako tai muu liitostapa määritellään kohdassa F), liitinmitoitus		
1) YLÄLAIPPA/KANSILEVY/ALUSLATTIALEVITYS			
Materiaalityyppi:	Vaneri	$b_1 =$	600 mm
Materiaali:	Paksuviilunen havuvaneri, PKKV	$h_1 =$	21/7ply mm
<input type="checkbox"/> Leveys suunnassa jatkuva?			
L1) LIITIN 1			
Liitin:	Rakenteellinen liimaus Käytettävä liittintyyppi ja liitinjako tai muu liitostapa määritellään kohdassa F), liitinmitoitus		
2) UUMAPALKKI			
Materiaalityyppi:	Liimapuu	$b_2 =$	66 mm
Materiaali:	GL28c	$h_2 =$	360 mm
<input type="checkbox"/> Leveys suunnassa jatkuva?			
L2) LIITIN 2			
Liitin:	Rakenteellinen liimaus Käytettävä liittintyyppi ja liitinjako tai muu liitostapa määritellään kohdassa F), liitinmitoitus		
3) ALALAIPPA			
Materiaalityyppi:		$b_3 =$	mm
Materiaali:		$h_3 =$	mm
<input type="checkbox"/> Leveys suunnassa jatkuva?			
Muut rakennetta koskevat tiedot			
Taipumarajat:	W_{inst}	$\leq L /$	400 =13,5 mm
	$W_{net,fin}$	$\leq L /$	300 =18,0 mm
	W_{fin}	$\leq L /$	200 =27,0 mm
Esikorotus:	w_c	$=$	0 mm
Kiepahdustuentojen väli:	Alapuoli	Kokonaan tuettu	
	Yläpuoli	Ei tuentaa	
Tukipintojen pituudet:	Tuki A	$l_a =$	148 mm
	Tuki B	$l_b =$	148 mm




Finnmap Consulting <small>FMC GROUP</small>	Työn nro	0	Rakennelaskelmat
	Tekijä	JEJ	Pos. xx xx
	Päiväys	6.1.14	Sivu A2 002
Rakennuskohde Laskurin kehitys, versio 0.6	Sisältö	Puurakenteisen välipohjan laskentaohjelma Vertailulaskelma 1, ripalaatta	
Rakenteen kuormitustiedot			
Rakenneosan käyttötarkoituksen ja rakenteen mukaiset kuormat:			
Pysyvät kuormat			
Rakenteiden pysyvät kuormat	$G_{k,1}$	0,30	kN/m ²
Rakennepoikkileikkauksen omapaino	$G_{k,2}$	1,55	kN/m ²
Pysyvät kuormat yhteensä	G_k	1,85	kN/m ²
<input checked="" type="checkbox"/> Huomioi rakenteen omapaino ($G_{k,2}$) kuormissa automaattisesti?			
Muuttuva kuormat			
Luokka A: asuintilat	$Q_{k,1}$	2,00	kN/m ²
Välipohjat			
Ei kuormaa	$Q_{k,2}$	0,00	kN/m ²
Viivakuormat			
$g_{k,1}$	0,18 kN/m	Yhdistelykertoimet	
$g_{k,2}$	0,93 kN/m	ψ_0	ψ_1
g_k	1,11 kN/m	1	1
$q_{k,1}$	1,20 kN/m	0,7	0,5
$q_{k,2}$	0,00 kN/m	0	0
			Aikaluokka
			Pysyvä
			Keskipitkä
			-
Kuormitusyhdistelmät			
MRT Rasitukset [kNm, KN]			
Kuormitusyhdistelmä	M_d	V_d	R_d
KY1: $1,35K_{FI}G_k$	5,47	4,05	4,05
KY2: $1,15K_{FI}G_k+1,5K_{FI}Q_{k,1}+1,5K_{FI}\psi_{0,2}Q_{k,2}$	11,22	8,31	8,31
KY3: $1,15K_{FI}G_k+1,5K_{FI}Q_{k,2}+1,5K_{FI}\psi_{1,2}Q_{k,1}$	9,25	6,85	6,85
			Aikaluokka
			Pysyvä
			Keskipitkä
			Keskipitkä
Tarkasteltava kuormitusyhdistelmä (MRT)			
KY2	M_d	V_d	R_d
	11,22	8,31	8,31
			Aikaluokka
			Keskipitkä
KRT			
Kuormitusyhdistelmä	Käyttörajoitilassa käytetään automaattisesti suurimman taipuman aiheuttavaa yhdistelmää		
KY1*: $G_k+Q_{k,1}+\psi_{0,2}Q_{k,2}$			
KY2*: $G_k+Q_{k,2}+\psi_{0,1}Q_{k,1}$			
Rakenteen palosuojaus			
Rakenteen palosuojaus määritellään kohdassa E), palomitoitus			
Värähtelymitoitus			
Rakenteen värähtelymitoituksen lähtötiedot määritellään kohdassa D), värähtelymitoitus			

	Työn nro	0	Rakennelaskelmat	
	Tekijä	JEJ	Pos.	xx xx
	Päiväys	6.1.14	Sivu	A3 003
Rakennuskohde	Sisältö			
Laskurin kehitys, versio 0.6	Puurakenteisen välipohjan laskentaohjelma Vertailulaskelma 1, ripalaatta			
Tiivistelmä laskennan tuloksista				
Välipohjarakenne, kun tarkastellaan välipohjapalkin kestävyyttä				
Mitoitusehto	Käyttöaste		Mitoittava kriteeri	
Poikkileikkauksen kestävyys	78%	OK!	Kiepahdukskestävyys	
Poikkileikkauksen palokestävyys	32%	OK!	Kiepahdukskestävyys palotilanteessa	
Tukipainekestävyys	26%	OK!	Tukipainekestävyys tuella A	
Lovetun pään kestävyys	58%	OK!	Loven kestävyys tuella A, lovi vahvistettu	
Taipuma	61%	OK!	Lopputaipuma	
Värähtelymitoitus	189%	YLITTYY!	Lattian taipumakriteeri	
Kokonaiskäyttöaste	189%	EI KESTÄ!	Lattian taipumakriteeri	
Tarkemmat tulokset mitoituksista kohdassa B), puupalkkivälipohjan mitoitus, kohdassa E), puurakenteen palomitoitus ja kohdassa G), lovivaikutus				
Välipohjarakenne, kun tarkastellaan välipohjaa puu-betoniliittorakenteena				
Mitotusehto	Käyttöaste		Mitoittava kriteeri	
<u>Yleiset</u>				
Tukipainekestävyys	-	-		
Lovetun pään kestävyys	-	-		
<u>Ilman betonin liittovaikutusta</u>				
Poikkileikkauksen kestävyys	-	-		
<u>Liittovaikutuksella alkutilassa</u>				
Poikkileikkauksen kestävyys	-	-		
Taipuma	-	-		
Värähtelymitoitus	-	-		
<u>Liittovaikutuksella lopputilassa</u>				
Poikkileikkauksen kestävyys	-	-		
Taipuma	-	-		
<u>Liitinmitoitus</u>				
Puu-betoniliitinten kestävyys	-	-		
Puu-betoniliitinten jako	-	-		
Kokonaiskäyttöaste	-	-		
Tarkemmat tulokset mitoituksista kohdassa C), liittolaatta, kohdassa F), liitinmitoitus, kohdassa E), puurakenteen palomitoitus ja kohdassa G), lovivaikutus				
Välipohjarakenne, kun tarkastellaan välipohjaa yhdistettynä poikkileikkauksena				
Mitotusehto	Käyttöaste		Mitoittava kriteeri	
<u>Yleiset</u>				
Tukipainekestävyys	26%	OK!	Tukipainekestävyys tuella A	
Lovetun pään kestävyys	58%	OK!	Loven kestävyys tuella A, lovi vahvistettu	
<u>Liittovaikutuksella alkutilassa</u>				
Poikkileikkauksen kestävyys	47%	OK!	Ylälaipan ja uuman saumaleikkaukskestävyys	
Taipuma	37%	OK!	Hetkellinen taipuma	
Värähtelymitoitus	118%	YLITTYY!	Lattian taipumakriteeri	
<u>Liittovaikutuksella lopputilassa</u>				
Poikkileikkauksen kestävyys	46%	OK!	Ylälaipan ja uuman saumaleikkaukskestävyys	
Taipuma	39%	OK!	Lopputaipuma	
<u>Liitinmitoitus</u>				
Puu-puuliitosten kestävyys	0%	OK!	Liitinten kestävyys murtorajatilassa	
Kokonaiskäyttöaste	118%	EI KESTÄ!	Lattian taipumakriteeri	
Tarkemmat tulokset mitoituksista kohdassa C), liittolaatta, kohdassa F), liitinmitoitus, kohdassa E), puurakenteen palomitoitus ja kohdassa G), lovivaikutus				
Huom!				
Tuloksissa ilmoitetaan vain yhden palkin värähtelymitoituksen tulos.				
Yksityiskohtainen laskenta on esitetty kohdassa D), värähtelymitoitus				


Finnmap Consulting <small>FMC GROUP</small>	Työn nro	0	Rakennelaskelmat
	Tekijä	JEJ	Pos. xx xx
	Päiväys	6.1.14	Sivu C1 004
Rakennuskohde	Sisältö		
Laskurin kehitys, versio 0.6	Puurakenteisen välipohjan laskentaohjelma		
	Vertailulaskelma 1, ripalaatta		
Materiaaliominaisuudet			
Puupoikkileikkaus			
	OSA 1	OSA 2	OSA 3
<u>Kokovaikutuskertoimet</u>			
$k_n =$	1,00	1,05	1,00
$k_l =$	1,00	1,05	1,00
<u>Lujuusominaisuudet [N/mm²]</u>			
$f_{m,k} =$	12,8	29,5	0,0
$f_{c,0,k} =$	13,2	24,0	0,0
$f_{t,0,k} =$	7,9	17,4	0,0
$f_{c,90,k} =$	4,0	2,7	0,0
$f_{v,k} =$	0,8	2,7	0,0
<u>Jäykkyysoinaisuudet [N/mm²]</u>			
$E_{M,mean} =$	3770	12600	0
$E_{N,mean} =$	5290	12600	0
$E_{0,05} =$	2639	10200	0
$G_{mean} =$	39	720	0
$G_{0,05} =$	27,3	580	0
<u>Osavarmuuskertoimet, virumaluvut ja muunnoskertoimet</u>			
$\gamma_M =$	1,25	1,2	1
$k_{def} =$	0,8	0,6	-
$k_{mod} =$	0,8	0,8	0,8
$k_{cr} =$	1	0,67	-
Pintabetonilaatta			
<u>Lujuusominaisuudet [N/mm²]</u>			
$f_{ck} =$	16,0		
$f_{ctm} =$	1,9		
$f_{ctk,0,05} =$	1,3		
<u>Jäykkyysoinaisuudet [N/mm²]</u>			
$E_{cm} =$	29000		
<u>Osavarmuuskertoimet, virumaluvut ja muunnoskertoimet</u>			
$\gamma_c =$	1,5		
$\phi_{(e_{\infty}, t_0)} =$	3,79		
$\phi_{ef} =$	1,81		
$\alpha_{cc} =$	0,85		
Puu-betoniliitos			
Liitin:	1		
$K_{ser,c} =$	0	N/mm	
$K_{u,c} =$	0	N/mm	
$S_{ef,c} =$	#ARVO!	mm	
Puu-puuliitos L1			
Liitin:	1		
$K_{ser,1} =$	-	N/mm	
$K_{u,1} =$	-	N/mm	
$S_{ef,1} =$	76,1	mm	
Puu-puuliitos L2			
Liitin:	1		
$K_{ser,2} =$	-	N/mm	
$K_{u,2} =$	-	N/mm	
$S_{ef,2} =$	900,0	mm	


	Työn nro	0	Rakennelaskelmat																																																	
	Tekijä	JEJ	Pos.	xx xx																																																
	Päiväys	6.1.14	Sivu	C2 005																																																
Rakennuskohde	Sisältö																																																			
Laskurin kehitys, versio 0.6	Puurakenteisen välipohjan laskentaohjelma																																																			
	Vertailulaskelma 1, ripalaatta																																																			
<p><u>Mitoitus murtorajatilassa</u></p> <p><u>Laskennan lähtöoletukset</u></p> <p>Huom! Laskennassa oletetaan, että liittorakenteen palkit on tuettu riittävästi kiepahdusta vastaan. Tarvittaessa kiepahdustarkastelu tulee suorittaa erikseen.</p> <p><u>Tukipainekestävyys</u></p> <p>Kuormitusyhdistelmä KY2</p> <p>$k_{mod} = 0,8$</p> <table> <thead> <tr> <th>Tuki</th> <th>A</th> <th></th> <th>B</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$R_d =$</td> <td>8,3</td> <td>kN</td> <td>8,3</td> <td>kN</td> </tr> <tr> <td>$l_{tuki} =$</td> <td>148</td> <td>mm</td> <td>148</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>$l_{tuki,ef} =$</td> <td>178</td> <td>mm</td> <td>178</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>$k_{c,90} =$</td> <td>1,5</td> <td></td> <td>1,5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$k_{c,\perp} =$</td> <td>1,80</td> <td></td> <td>1,80</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p><u>Tuki A</u></p> <table border="1"> <tr> <td>$\sigma_{c,90,d} =$</td> <td>0,85</td> <td>N/mm²</td> </tr> <tr> <td>$k_{c,\perp} f_{c,90,d} =$</td> <td>3,25</td> <td>N/mm²</td> </tr> <tr> <td></td> <td>26 %</td> <td>OK!</td> </tr> </table> <p><u>Tuki B</u></p> <table border="1"> <tr> <td>$\sigma_{c,90,d} =$</td> <td>0,85</td> <td>N/mm²</td> </tr> <tr> <td>$k_{c,\perp} f_{c,90,d} =$</td> <td>3,25</td> <td>N/mm²</td> </tr> <tr> <td></td> <td>26 %</td> <td>OK!</td> </tr> </table>					Tuki	A		B		$R_d =$	8,3	kN	8,3	kN	$l_{tuki} =$	148	mm	148	mm	$l_{tuki,ef} =$	178	mm	178	mm	$k_{c,90} =$	1,5		1,5		$k_{c,\perp} =$	1,80		1,80		$\sigma_{c,90,d} =$	0,85	N/mm ²	$k_{c,\perp} f_{c,90,d} =$	3,25	N/mm ²		26 %	OK!	$\sigma_{c,90,d} =$	0,85	N/mm ²	$k_{c,\perp} f_{c,90,d} =$	3,25	N/mm ²		26 %	OK!
Tuki	A		B																																																	
$R_d =$	8,3	kN	8,3	kN																																																
$l_{tuki} =$	148	mm	148	mm																																																
$l_{tuki,ef} =$	178	mm	178	mm																																																
$k_{c,90} =$	1,5		1,5																																																	
$k_{c,\perp} =$	1,80		1,80																																																	
$\sigma_{c,90,d} =$	0,85	N/mm ²																																																		
$k_{c,\perp} f_{c,90,d} =$	3,25	N/mm ²																																																		
	26 %	OK!																																																		
$\sigma_{c,90,d} =$	0,85	N/mm ²																																																		
$k_{c,\perp} f_{c,90,d} =$	3,25	N/mm ²																																																		
	26 %	OK!																																																		

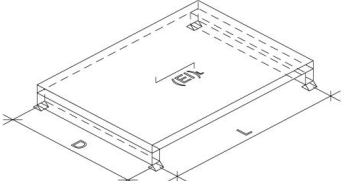
<h1 style="margin: 0;">Finnmap Consulting</h1> <small style="margin: 0;">FMC GROUP</small>		Työn nro		Rakennelaskelmat	
		Tekijä		Pos.	
		Päiväys		Sivu	
		0		xx xx	
		6.1.14		C4 006	
Rakennuskohde		Sisältö			
Laskurin kehitys, versio 0.6		Puurakenteisen välipohjan laskentaohjelma			
		Vertailulaskelma 1, ripalaatta			
Mitoitus liittorakenteena alkutilassa					
Kuormitusyhdistelmä KY2					
Md = 11,2 kNm		Vd = 8,3 kN		Rd = 8,3 kN	
OSA 1		OSA 2		OSA 3	
BETONILAATTA					
<u>Murtorajatilan materiaaliominaisuudet</u>					
$k_{mod} =$	0,8	0,8	0,8	$f_{cd} =$	- N/mm ²
$f_{m,d} =$	8,2	19,6	0,0 N/mm ²	$f_{ctd} =$	- N/mm ²
$f_{c,0,d} =$	8,4	16,0	0,0 N/mm ²		
$f_{t,0,d} =$	5,1	11,6	0,0 N/mm ²		
$f_{v,d} =$	0,52	1,80	0,00 N/mm ²		
<u>Poikkileikkaussuureet</u>					
$\gamma =$	1,00	1,00	1,00	$\gamma =$	-
$b_{ef} =$	591	66	0 mm	$b_{ef} =$	- mm
$h =$	21	360	0 mm	$h =$	- mm
$A_{ef} =$	12411	23760	0 mm ²	$A_{ef} =$	- mm ²
$I_{ef} =$	4,6E+05	2,57E+08	0,0E+00 mm ⁴	$I_{ef} =$	- mm ⁴
$a =$	-156,2	34,3	214,3 mm	$a =$	- mm
(EI)_{ef} = 5,19E+12 Nmm²					
<u>Normaalijännitykset</u>					
$\sigma_{N,0,d} =$	-1,8	0,9	0,0 N/mm ²	$\sigma_{N,0,d} =$	- N/mm ²
$\pm\sigma_{m,d} =$	0,1	4,9	0,0 N/mm ²	$\pm\sigma_{m,d} =$	- N/mm ²
$\sigma_{yläpinta,d} =$	-1,9	-4,0	0,0 N/mm ²	$\sigma_{yläpinta,d} =$	- N/mm ²
$\sigma_{alapinta,d} =$	-1,7	5,8	0,0 N/mm ²	$\sigma_{alapinta,d} =$	- N/mm ²
<u>Leikkausjännitykset ja työntövoimat</u>					
$T_{c,Ed,max} =$	-	kN/m			
$\tau_{12,d} =$	0,25 N/mm ²		$T_{12,Ed,max} =$	16,43 kN/m	
$\tau_{2,max,d} =$	0,46 N/mm ²				
$\tau_{23,d} =$	0,00 N/mm ²		$T_{23,Ed,max} =$	0,00 kN/m	
Mitoitusehdot					
<u>Ylälaippa</u>			<u>Alalaippa</u>		
$\frac{\sigma_{f,c,0,d}}{k_c f_{c,0,d}} \leq 1,0 \rightarrow$		21 % OK!	$\frac{\sigma_{f,t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1,0 \rightarrow$		- .
$\frac{\sigma_{f,c,max,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0 \rightarrow$		23 % OK!	$\frac{\sigma_{f,t,max,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0 \rightarrow$		- .
<u>Uumapaikki</u>			<u>Betonilaatta</u>		
$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1,0 \rightarrow$		- .	$\frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}} \leq 1,0 \rightarrow$		- .
$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1,0 \rightarrow$		33 % OK!	$\frac{\sigma_{ctd}}{f_{ctd}} \leq 1,0 \rightarrow$		- .
<u>Leikkausjännitykset</u>					
$\tau_{12,mean,d} \leq \begin{cases} \min(f_{1,v,d}; f_{2,v,d}), kun b_w \leq 8h_f \\ \min(f_{1,v,d}; f_{2,v,d}) \cdot \left(\frac{8h_f}{b_w}\right)^{0,8}, kun b_w > 8h_f \end{cases} \rightarrow$		47 % OK!			
$\frac{\tau_{2,max,d}}{k_{cr} f_{1,v,d}} \leq 1,0 \rightarrow$		38 % OK!			
$\tau_{23,mean,d} \leq \begin{cases} \min(f_{2,v,d}; f_{3,v,d}), kun b_w \leq 8h_f \\ \min(f_{2,v,d}; f_{3,v,d}) \cdot \left(\frac{8h_f}{b_w}\right)^{0,8}, kun b_w > 8h_f \end{cases} \rightarrow$		- .			

				Työn nro		0		Rakennelaskelmat			
				Tekijä		JEJ		Pos.		xx xx	
				Päiväys		6.1.14		Sivu		C5 007	
Rakennuskohde				Sisältö							
Laskurin kehitys, versio 0.6				Puurakenteisen välipohjan laskentaohjelma							
				Vertailulaskelma 1, ripalaatta							
Mitoitus liittorakenteena lopputilassa											
Kuormitusyhdistelmä KY2											
Md = 11,2 kNm			Vd = 8,3 kN			Rd = 8,3 kN					
OSA 1			OSA 2		OSA 3		BETONILAATTA				
Murtorajatilan materiaaliominaisuudet											
k_{mod}	0,8	0,8	0,8		f_{cd}	-	N/mm ²				
$f_{m,d}$	8,2	19,6	0,0	N/mm ²	f_{ctd}	-	N/mm ²				
$f_{c,0,d}$	8,4	16,0	0,0	N/mm ²	$E_{cm,fin}$	-	N/mm				
$f_{t,0,d}$	5,1	11,6	0,0	N/mm ²	$K_{u,c,fin}$	-	N/mm				
$f_{v,d}$	0,52	1,80	0,00	N/mm ²							
$E_{M,mean,fin}$	3040	10678	0	N/mm ²							
$E_{N,mean,fin}$	4266	10678	0	N/mm ²							
$K_{u,fin}$	0	-	0								
Poikkileikkaussuureet											
γ	1,00	1,00	1,00		γ	-					
b_{ef}	591	66	0	mm	b_{ef}	-	mm				
h	21	360	0	mm	h	-	mm				
A_{ef}	12411	23760	0	mm ²	A_{ef}	-	mm ²				
I_{ef}	4,6E+05	2,57E+08	0,0E+00	mm ⁴	I_{ef}	-	mm ⁴				
a	-157,6	32,9	212,9	mm	a	-	mm				
(E)ef = 4,33E+12 Nmm²											
Normaalijännitykset											
$\sigma_{N,0,d}$	-1,7	0,9	0,0	N/mm ²	$\sigma_{N,0,d}$	-	N/mm ²				
$\pm\sigma_{m,d}$	0,1	5,0	0,0	N/mm ²	$\pm\sigma_{m,d}$	-	N/mm ²				
$\sigma_{yläpinta,d}$	-1,8	-4,1	0,0	N/mm ²	$\sigma_{yläpinta,d}$	-	N/mm ²				
$\sigma_{alapinta,d}$	-1,7	5,9	0,0	N/mm ²	$\sigma_{alapinta,d}$	-	N/mm ²				
Leikkausjännitykset ja työntövoimat											
$T_{c1,Ed,max}$	-			kN/m							
$\tau_{12,d}$	0,24	N/mm ²	$T_{12,Ed,max}$	16,02	kN/m						
$\tau_{2,max,d}$	0,46	N/mm ²									
$\tau_{23,d}$	0,00	N/mm ²	$T_{23,Ed,max}$	0,00	kN/m						
Mitoitusehdot											
Ylälaippa				Alalaippa							
$\frac{\sigma_{f,c,0,d}}{k_c f_{c,0,d}} \leq 1,0 \rightarrow$ 21 % OK!				$\frac{\sigma_{f,t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1,0 \rightarrow$ - .							
$\frac{\sigma_{f,c,max,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0 \rightarrow$ 22 % OK!				$\frac{\sigma_{f,t,max,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0 \rightarrow$ - .							
Uumapalkki				Betonilaatta							
$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1,0 \rightarrow$ - .				$\frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}} \leq 1,0 \rightarrow$ - .							
$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1,0 \rightarrow$ 33 % OK!				$\frac{\sigma_{ctd}}{f_{ctd}} \leq 1,0 \rightarrow$ - .							
Leikkausjännitykset											
$\tau_{12,mean,d} \leq \begin{cases} \min(f_{1,v,d}; f_{2,v,d}), kun b_w \leq 8h_f \\ \min(f_{1,v,d}; f_{2,v,d}) \cdot \left(\frac{8h_f}{b_w}\right)^{0,8}, kun b_w > 8h_f \end{cases} \rightarrow$ 46 % OK!											
$\frac{\tau_{2,max,d}}{k_{cr} f_{1,v,d}} \leq 1,0 \rightarrow$ 39 % OK!											
$\tau_{23,mean,d} \leq \begin{cases} \min(f_{2,v,d}; f_{3,v,d}), kun b_w \leq 8h_f \\ \min(f_{2,v,d}; f_{3,v,d}) \cdot \left(\frac{8h_f}{b_w}\right)^{0,8}, kun b_w > 8h_f \end{cases} \rightarrow$ - .											

Finnmap Consulting <small>FMC GROUP</small>	Työn nro	0	Rakennelaskelmat
	Tekijä	JEJ	Pos. xx xx
	Päiväys	6.1.14	Sivu C6 008
Rakennuskohde	Sisältö		
Laskurin kehitys, versio 0.6	Puurakenteisen välipohjan laskentaohjelma		
	Vertailulaskelma 1, ripalaatta		
Mitoitus käyttörajatilassa			
	OSA 1	OSA 2	OSA 3
	BETONILAATTA		
Materiaaliominaisuudet alkutilassa			
$E_{M,mean} =$	3770	12600	0
$E_{N,mean} =$	5290	12600	0
			$E_{cm} =$ - N/mm ²
			$K_{ser,c} =$ - N/mm
Materiaaliominaisuudet lopputilassa			
$E_{M,mean,fin} =$	2094	7875	0
$E_{N,mean,fin} =$	2939	7875	0
$K_{ser,fin} =$	0	-	0
			$E_{cm,fin} =$ - N/mm
			$K_{ser,c,fin} =$ - N/mm
Poikkileikkaussuureet			
$b_{ef} =$	591	66	0 mm
$h =$	21	360	0 mm
$A_{ef} =$	12411	23760	0 mm ²
$I_{ef} =$	4,6E+05	2,57E+08	0,0E+00 mm ⁴
			$b_{ef} =$ - mm
			$h =$ - mm
			$A_{ef} =$ - mm ²
			$I_{ef} =$ - mm ⁴
Jäykkyys alkutilassa			
$\gamma =$	1,00	1,00	1,00
$a =$	-156,2	34,3	214,3 mm
$(EI)_{ef} =$	5,19E+12 Nmm²		
Jäykkyys lopputilassa			
$\gamma =$	1,00	1,00	1,00
$a =$	-159,4	31,1	211,1 mm
$(EI)_{ef} =$	3,1E+12 Nmm²		
Taipuma			
Hetkellinen taipuma			
$W_{inst,G} =$	2,4 mm		
$W_{inst,Q1} =$	2,6 mm		
$W_{inst,Q2} =$	0,0 mm		
$W_{inst} =$	4,9 mm	\leq	$L/400 = 13,5$ mm 37 % OK!
Lopputaipuma			
$W_{fin,G} =$	3,9 mm		
$W_{fin,Q1} =$	3,1 mm		
$W_{fin,Q2} =$	0,0 mm		
$W_{fin} =$	7,0 mm		
$-W_c =$	0 mm		
$W_{net,fin} =$	7,0 mm	\leq	$L/300 = 18,0$ mm 39 % OK!
Esikorotetun rakenteen sallittu taipuma			
$W_{fin} =$	7,0 mm	\leq	$L/200 = 27,0$ mm 26 % OK!
Värähtely			
$L =$	5,4 m		
$B =$	5 m		
$s =$	0,6 m		
$m =$	215 kg/m ²		
$(EI)_L =$	8,65E+06 Nm ² /m		
$k =$	1,07		
Lattiarakenteen alin ominaistajuus			
$f_1 =$	10,8 Hz		
$f_{1,vaad} =$	9 Hz	83 %	OK!
Taipumakriteeri			
$\delta =$	0,63 mm		
$\delta_{sall} = k \times 0,5mm =$	0,54 mm	118 %	Taipumakriteeri ylittyy!

	Työn nro	0	Rakennelaskelmat
	Tekijä	JEJ	Pos. xx xx
	Päiväys	6.1.14	Sivu D1 009
Rakennuskohde	Sisältö		
Laskurin kehitys, versio 0.6	Puurakenteisen välipohjan laskentaohjelma		
	Vertailulaskelma 1, ripalaatta		
Välipohjan yksityiskohtainen värähtelymitoitus			
Lähtötiedot			
Mitoitettava rakennetyyppi	(Yhdistetty poikkileikkaus)		
L =	5,4 m	Välipohjarakenteen jänneväli	
B =	5 m	Välipohjarakenteen leveys	
$f_{1,vaad}$ =	9 Hz	Vaadittu lattian ominaistajuus	
a_{sall} =	0,012 m/s ²	Lattian sallittu kiihtyvyys	
ζ =	1 %	Vaimennuskerroin	
k =	1,07	Huonekoon mukainen taipumakriteerin pienennyskerroin	
m =	215 kg/m ²	Lattian massa pinta-alaa kohden	
s =	0,6 m	Kannatinjako	
Välipohjan tuentatapa	4 sivulta tuettu		
Välipohjaa jäykistävät osat			
Pintalaatta	C16/20		50 mm
Aluslattialevytyks	Paksuviiluin havuvaneri, PKKV		21 mm
Poikkittaisjäykisteiden lukumäärä	0		
Vetolauta/koolausta	Ei koolausta		
Aluslattialevytyksen kiinnitys palkistoon (myös liittolaatalla poikittaissauunnassa)			
Kiinnikkeet	Rakenteellinen liimaus	Täysi liittovaikutus	
Kiinnikejako k/k =	200 mm		
Koolausten kiinnitys palkistoon ja poikkittaisjäykisteisiin			
Kiinnikkeet	Rakenteellinen liimaus	Täysi liittovaikutus	
Kiinnikejako k/k =	200 mm		
Jäykkyyden määrittäminen, kun palkkivälipohja			
Liittovaikutus huomioidaan	Kyllä		
Välipohjan poikittaisen jäykkyyden arviointimenetelmä			
Poikittaista jäykkyyttä laskettaessa on huomioitava, että rakenteen osan tulee olla jatkuva, jotta se kykenee siirtämään kuormaa			
Jos jonkun osan ei voida olettaa jatkuvan koko lattian leveydellä, tulee sen vaikutus jättää huomioimatta			
Huomioi betonilaatta poikittaisessa jäykkyydessä	Kyllä		
Huomioi kansilevy poikittaisessa jäykkyydessä	Kyllä		
Huomioi jäykisteet poikittaisessa jäykkyydessä	Ei		

	Työn nro	0	Rakennelaskelmat	
	Tekijä	JEJ	Pos.	xx xx
	Päiväys	6.1.14	Sivu	D2 010
Rakennuskohde	Sisältö			
Laskurin kehitys, versio 0.6	Puurakenteisen välipohjan laskentaohjelma Vertailulaskelma 1, ripalaatta			
Palkiston/liittorakenteen/yhdistetyn poikkileikkauksen täivutusjäykkyys pituusyksikköä kohden [Nm²/m]				
(EI)_L = 8648420,8 Nm²/m				
Betonilaatan taivutusjäykkyys pituusyksikköä kohden [Nm²/m]				
$E_{cm} =$	29000 N/mm ²	Betonilaatan kimmokerroin		
$h =$	50 mm	Betonilaatan paksuus		
$I =$	1,042E-05 m ⁴ /m	Betonilaatan jäyhyysmomentti pituusyksikköä kohden		
(EI)_L = 302083 Nm²/m		Betonilaatan taivutusjäykkyys pituus suunnassa		
(EI)_B = 302083 Nm²/m		Betonilaatan taivutusjäykkyys leveys suunnassa		
Aluslattialevytyksen taivutusjäykkyys pituusyksikköä kohden [Nm²/m]				
$E_{M,mean,II} =$	3770 N/mm ²	Levyn kimmokerroin pituus suunnassa		
$E_{M,mean,L} =$	8230 N/mm ²	Levyn kimmokerroin leveys suunnassa		
$h =$	21 mm	Levyn paksuus		
$I =$	7,718E-07 m ⁴ /m	Levyn jäyhyysmomentti		
(EI)_L = 2909 Nm²/m		Levyn taivutusjäykkyys pituus suunnassa		
(EI)_B = 6352 Nm²/m		Levyn taivutusjäykkyys leveys suunnassa		
Aluslattialevyn ja palkiston yhdistetty jäykkyys pituus suunnassa pituus yksikköä kohden [Nm²/m]				
	Kansilevy	Palkki		
$E_{N,mean} =$	5290	12600	N/mm ²	Osien kimmokertoimet normaalirasituksessa
$K_{ser} =$	-	-	N/mm	Liittimen siirtymäkerroin
$\gamma =$	1,00	1		Osien yhteistoiminta-asteet
$b_{ef} =$	591	66	mm	Osien teholliset leveydet
$h =$	21	360	mm	Osien korkeudet
$A_{ef} =$	12411	23760	mm ²	Osien teholliset pinta-alat
$a =$	-156,2	34,3	mm	Osien painopisteen etäisyys PL:n painopisteestä
$E_{ef,comp} = 1,954E+12$ Nmm²		Osien yhteistoiminnan jäykkyys lisä		
(EI)_L = 3256787 Nm²/m		Taivutusjäykkyyden lisäys pituus suunnassa		
Poikittaisen jäykistelinän taivutusjäykkyys pituus yksikköä kohden [Nm²/m]				
	Kansilevy	Jäykiste	Koolaus	
$E_{N,mean} =$	6710	-	0	N/mm ² Osien kimmokertoimet normaalirasituksessa
$K_{ser} =$	-	-	-	N/mm Liittimen siirtymäkerroin
$\gamma =$	1,00	-	1,00	Osien yhteistoiminta-asteet
$b_{ef} =$	1000	-	0	mm Osien teholliset leveydet
$h =$	21	360	0	mm Osien korkeudet
$A_{ef} =$	21000	-	0	mm ² Osien teholliset pinta-alat
$a =$	0,0	190,5	370,5	mm Osien painopisteen etäisyys PL:n painopisteestä
$E_{ef,comp} = 0$ Nmm²		Osien yhteistoiminnan jäykkyys lisä		
$\eta_{jäykiste} =$	0	kpl		Jäykisteiden lukumäärä
(EI)_B = 0 Nm²/m		Taivutusjäykkyyden lisäys leveys suunnassa		
Laatan kokonaisjäykkyys pituus suunnassa				
(EI)_{1,L} =	8648421 Nm²/m	Kantava rakenne		
(EI)_{2,L} =	302083 Nm²/m	Betonilaatta		
(EI)_{3,L} =	0 Nm²/m	Kansilevy		
(EI)_{4,L} =	0 Nm²/m	Liittovaikutus		
(EI)_L = 8950504 Nm²/m		Yhteensä		
Laatan kokonaisjäykkyys leveys suunnassa				
(EI)_{1,B} =	302083 Nm²/m	Betonilaatta		
(EI)_{2,B} =	6352 Nm²/m	Kansilevy		
(EI)_{3,B} =	0 Nm²/m	Liittovaikutus		
(EI)_B = 308435 Nm²/m		Yhteensä		
Ei poikittaisia jäykisteitä				

<h1 style="margin: 0;">Finnmap Consulting</h1> <p style="margin: 0; font-size: small;">FMC GROUP</p>	Työn nro	0	Rakennelaskelmat
	Tekijä	JEJ	Pos. xx xx
	Päiväys	6.1.14	Sivu D3 011
Rakennuskohde	Sisältö		
Laskurin kehitys, versio 0.6	Puurakenteisen välipohjan laskentaohjelma		
	Vertailulaskelma 1, ripalaatta		
<h3>Välipohjan värähtelymitoitus 2- tai 4-suuntaan kantavana rakenteena</h3>			
(EI) _L =	8950504 Nm ² /m	Välipohjan jäykkyys pituussuunnassa	
(EI) _B =	308435 Nm ² /m	Välipohjan jäykkyys leveysuunnassa	
K _δ =	0,43		
<u>Lattian ominaistaajuus</u>			
f ₁ =	11,7 Hz		
f _{1,vaad} =	9 Hz	77 % OK!	
<u>Taipumakriteeri</u>			
δ =	0,18 mm		
δ _{sall} =	0,54 mm	34 % OK!	
<u>Välipohjan kiihtyvyysskriteeri</u>			
b _{eff} =	3,333 m		
W =	38018 N		
R =	0,7		
P =	800 N		
ζ =	0,01		
a _{max} =	0,021 m/s ²		
a _{sall} =	0,012 m/s ²	172 % Kiihtyvyysskriteeri ylittyy!	
<h3>Kenttävärähtely (välipohja joustavilla tuilla)</h3>			
	Välipohjan pääkannatinpalkit	GL32c ▼	
	Palkin leveys b =	165 ▼ mm	
	Palkin korkeus h =	315 ▼ mm	
	Palkin pituus D =	1 mm	
Välipohjan alin ominaistaajuus			
f _{0,L} =	11,7 Hz		
Pääkannatinpalkkien alin ominaistaajuus			
f _{0,D} =	##### Hz		
<u>Koko lattiakentän alin ominaistaajuus</u>			
f ₀ =	11,7 Hz		
f _{0,vaad} =	9 Hz	77 % OK!	
<u>Lattiakentän taipumakriteeri</u>			
δ _{välipohja} =	0,18 mm		
δ _{pääpalkki} =	0,00 mm		
Σδ =	0,18 mm		
δ _{sall} =	0,54 mm	34 % OK!	
<u>Koko lattiakentän kiihtyvyysskriteeri</u>			
b _{eff} =	3,333 m		
L _{eff} =	0,004 m		
W _L =	38018 N		
W _B =	0 N		
W =	38018 N		
R =	0,7		
P =	800 N		
ζ =	0,01		
<u>Kiihtyvyysskriteeri</u>			
a _{max} =	0,021 m/s ²		
a _{sall} =	0,012 m/s ²	172 % Kiihtyvyysskriteeri ylittyy!	

Vertailulaskelma 2, puu-betoni-laatan mitoitus

Käytettävät normit ja standardit:

SFS-EN 1990

SFS-EN 1991

SFS-EN 1995

SFS-EN 1992

Käytetyt sovellusohjeet:

RIL 205-1-2009, puurakenteiden suunnittelu

Lähtötiedot:

$$L := 6000\text{mm}$$

Välipohjan jänneväli

$$s := 1200\text{mm}$$

Palkkijako

$$h_c := 80\text{mm}$$

Betoni-laatan paksuus

$$b_c := s$$

Betoni-laatan leveys tarkasteltavassa poikkileikkauksessa

$$h_1 := 405\text{mm}$$

Liimapuupalkin korkeus

$$b_1 := 165\text{mm}$$

Liimapuupalkin leveys

$$s_1 := 200\text{mm}$$

Liitinjako puu-betoniliittimillä

$$n_{\text{rivi}} := 2$$

Rinnakkaisten liitinten määrä

Rakenteen kuormitukset:

$$\gamma_p := 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Puun tilavuuspaino

$$\gamma_b := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Betonin tilavuuspaino

$$P_{\text{g.1.k}} := \gamma_p \cdot \left(\frac{h_1 \cdot b_1}{s} \right) + \gamma_b \cdot h_c$$

$$P_{\text{g.1.k}} = 2.278 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Välipohjan omapaino

$$P_{\text{q.k}} := 4.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Välipohjan hyötykuorma, luokka D, RIL 205-1-2009, taul. 2.5-FI

$$g_k := s \cdot P_{\text{g.1.k}}$$

$$g_k = 2.734 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Pysyvän kuormat viivakuorma palkille

$$q_k := s \cdot P_{q,k}$$

$$q_k = 4.8 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Hyötykuorman viivakuorma palkille

Kuormitusyhdistelmät (tarkastellaan yhdistelmää $K_{FI}1,15G_k + K_{FI}1,5Q_k$):

$$K_{FI} := 1.0$$

Seuraamusluokka CC2, RIL 205-1-2009, taul. 2.1-FI

$$q_d := K_{FI} \cdot 1.15 \cdot g_k + K_{FI} \cdot 1.5 \cdot q_k$$

$$q_d = 10.34 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Viivakuorma murtorajatilassa

Rasitukset:

$$M_d := \frac{q_d \cdot L^2}{8} = 46.55 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Suurin taivutusmomentti

$$V_d := \frac{q_d \cdot L}{2} = 31.03 \cdot \text{kN}$$

Suurin leikkausvoima

$$R_d := \frac{q_d \cdot L}{2} = 31.03 \cdot \text{kN}$$

Tukireaktiot

Materiaaliominaisuudet:

Aikaluokka: keskipitkä

Käyttöluokka: 1

Betoni C25/30:

$$\varphi_{t,t0} := 2.955$$

Betonin virumaluku, SFS-EN 1992-1-1, liite C:n laskentamenetelmä. Lähtöarvoina käytetään RH=50%, t0 = 28 vrk, sementti luokkaa N ja tarkasteluajankohta 50 v (suunniteltu käyttöikä)

$$\gamma_c := 1.5$$

Betonin osavarmuusluku, SFS-EN 1992-1-1, taul. 2.1N

$$f_{ck} := 25 \text{MPa}$$

Betonin lieriölujuuden ominaisarvo (t=28d) ominaisarvo, SFS-EN 1992-1-1, taul. 3.1

$$f_{ctk,005} := 1.8 \text{MPa}$$

Betonini vetolujuuden ominaisarvo, SFS-EN 1992-1-1, taul. 3.1

$$E_{cm} := 31000 \text{MPa}$$

Betonin sekanttimoduuli, SFS-EN 1992-1-1, taul. 3.1

$$\alpha_{cc} := 0.85$$

Pitkäaikaistekijät ja kuorman vaikutustavat huomioon ottava kerroin,
SFS-EN 1992-1-1, kohta 3.1.6

Lujuuksien suunnitteluarvot:

$$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 14.2 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{ctd} := \frac{f_{ctk.005}}{\gamma_c} = 1.2 \cdot \text{MPa}$$

Pitkäaikaiskuormaa vastaava virumaluku:

$$\psi_{2.1} := 0.3$$

Muuttuvan kuorman pitkäaikaisosuuden yhdistelykerroin,
RIL 205-1-2009, taul. 2.2-F1

$$M_{0Eqp} := \frac{(g_k + \psi_{2.1} \cdot q_k) \cdot L^2}{8}$$

$$M_{0Eqp} = 18.784 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Pitkäaikaisyhdistelmän taivutusmomentti käyttörajatilassa

$$M_{0Ed} := M_d$$

$$M_{0Ed} = 46.549 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Murtorajatilan taivutusmomentti

$$\varphi_{ef} := \varphi_{t.t0} \cdot \frac{M_{0Eqp}}{M_{0Ed}}$$

$$\varphi_{ef} = 1.192$$

Viruma-aste, SFS-EN 1992-1-1, kohta 5.8.4

Liimapuu GL28c:

$$k_{mod} := 0.8$$

k_{mod} -kerroin, RIL 205-1-2009, taul. 3.1

$$k_{def} := 0.6$$

Virumaluku, RIL 205-1-2009, taul. 3.2

$$\gamma_M := 1.2$$

Materiaalin osavarmuuskerroin, RIL 205-1-2009, taul. 2.10-F1

$$k_h := \min \left[\left(\frac{600 \text{mm}}{h_1} \right)^{0.1}, 1.1 \right]$$

$$k_h = 1.04$$

Sauvan koon vaikutuksen huomioon ottava kerroin, RIL 205-1-2009, kaava 3.2

$$f_{m.k} := 32 \frac{N}{mm^2}$$

Materiaalin lujuuden ominaisarvot, RIL 205-1-2009, taul. 3.4S

$$f_{t.0.k} := 19.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c.90.k} := 3.0 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{v.k} := 3.2 \frac{N}{mm^2}$$

$$k_{cr} := 0.67$$

$$E_{0.mean} := 13700 \frac{N}{mm^2}$$

Materiaalin kimmokerroin, RIL 205-1-2009, taul. 3.4S

Lujuuksien suunnitteluarvot:

$$f_{m.d} := k_h \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{m.k}}{\gamma_M} = 22.19 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{t.0.d} := k_h \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{t.0.k}}{\gamma_M} = 13.52 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.90.k}}{\gamma_M} = 2.00 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{v.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v.k}}{\gamma_M} = 2.13 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Puu-betoniliittimet (SFS VB ristiruuvaus ETA 13/0699 mukaan:

$$k_{def.L} := 0.6$$

Liittimien virumaluku käyttöluokassa 1

$$K_{ser} := 16800 \frac{N}{mm}$$

Liitinten siirtymäkerroin KRT

$$K_u := \frac{2}{3} \cdot K_{ser} = 11200 \cdot \frac{N}{mm}$$

$$F_{Rd} := k_{mod} \cdot \frac{10800N}{\gamma_M} = 7.2 \cdot kN$$

Murtorajatilamitoitus

Tukipainekestävyys:

$$l_a := 190\text{mm}$$

Tukipinnan pituus

$$\sigma_{c.90.d} := \frac{R_d}{b_1 \cdot l_a}$$

$$\sigma_{c.90.d} = 0.99 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Puristusjännitys kosketuspinnalla

$$k_{c.90} := 1.5$$

Havupuiselle liimapuulle, RIL 205-1-2009, s. 66

$$l_{c.90.ef} := l_a + 30\text{mm}$$

$$k_{c.I} := \frac{l_{c.90.ef}}{l_a} \cdot k_{c.90}$$

$$k_{c.I} = 1.737$$

Tukipainekerroin, RIL 205-1-2009, kaava 6.4S

Mitoitusehto

$$\frac{\sigma_{c.90.d}}{k_{c.I} \cdot f_{c.90.d}} = 28.5\%$$

OK!

Osien poikkileikkaussuureet:

$$b_1 := \min\left(0.2 \cdot \frac{s}{2} + 0.1L, 0.2 \cdot L\right)$$

$$b_1 = 720 \cdot \text{mm}$$

$$b_{\text{eff}} := \min(2 \cdot b_1, s)$$

$$b_{\text{eff}} = 1200 \cdot \text{mm}$$

Betonilaatan toimiva leveys, SFS-EN 1992-1-1, kohta 5.3.2.1

$$A_{\text{ef.c}} := b_{\text{eff}} \cdot h_c = 9.6 \times 10^4 \cdot \text{mm}^2$$

$$I_c := \frac{b_c \cdot h_c^3}{12} = 5.12 \times 10^7 \cdot \text{mm}^4$$

$$A_1 := b_1 \cdot h_1 = 6.683 \times 10^4 \cdot \text{mm}^2$$

$$I_1 := \frac{b_1 \cdot h_1^3}{12} = 9.134 \times 10^8 \cdot \text{mm}^4$$

Poikkileikkausten teholliset jäykkyyssarvot RIL 205-1-2009 9.1.3 mukaan

Poikkileikkaussuureet alkutilassa, KRT:

$$\gamma_{L.KRT} := \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_{cm} \cdot A_{ef.c} \cdot s_1}{n_{rivi} \cdot K_{ser} \cdot L^2}}$$

$$\gamma_{L.KRT} = 0.171$$

$$a_{1.KRT} := \frac{\gamma_{L.KRT} \cdot b_{eff} \cdot h_c \cdot E_{cm} \cdot \left(\frac{h_1}{2} + \frac{h_c}{2} \right)}{\gamma_{L.KRT} \cdot b_{eff} \cdot h_c \cdot E_{cm} + b_1 \cdot h_1 \cdot E_{0.mean}}$$

$$a_{1.KRT} = 86.6 \cdot \text{mm}$$

Poikkileikkauksen painopisteen etäisyys palkin painopisteestä

$$a_{c.KRT} := -\frac{h_c}{2} - \frac{h_1}{2} + a_{1.KRT}$$

$$a_{c.KRT} = -155.9 \cdot \text{mm}$$

Betoniastian painopisteen etäisyys poikkileikkauksen painopisteestä

$$EI_{KRT} := E_{cm} \cdot I_c + E_{0.mean} \cdot I_1 + \gamma_{L.KRT} \cdot E_{cm} \cdot A_{ef.c} \cdot a_{c.KRT}^2 + E_{0.mean} \cdot A_1 \cdot a_{1.KRT}^2$$

$$EI_{KRT} = 3.33 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2$$

Poikkileikkauksen taivutusjäykkyys alkutilassa

Poikkileikkaussuureet alkutilassa, MRT:

$$\gamma_{L.MRT} := \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_{cm} \cdot A_{ef.c} \cdot s_1}{n_{rivi} \cdot K_u \cdot L^2}}$$

$$\gamma_{L.MRT} = 0.121$$

$$a_{1.MRT} := \frac{\gamma_{L.MRT} \cdot b_{eff} \cdot h_c \cdot E_{cm} \cdot \left(\frac{h_1}{2} + \frac{h_c}{2} \right)}{\gamma_{L.MRT} \cdot b_{eff} \cdot h_c \cdot E_{cm} + b_1 \cdot h_1 \cdot E_{0.mean}}$$

$$a_{1.MRT} = 68.3 \cdot \text{mm}$$

Poikkileikkauksen painopisteen etäisyys palkin painopisteestä

$$a_{c.MRT} := -\frac{h_c}{2} - \frac{h_1}{2} + a_{1.MRT}$$

$$a_{c.MRT} = -174.2 \cdot \text{mm}$$

Betoniastian painopisteen etäisyys poikkileikkauksen painopisteestä

$$EI_{MRT} := E_{cm} \cdot I_c + E_{0.mean} \cdot I_1 + \gamma_{L.MRT} \cdot E_{cm} \cdot A_{ef.c} \cdot a_{c.MRT}^2 + E_{0.mean} \cdot A_1 \cdot a_{1.MRT}^2$$

$$EI_{MRT} = 2.93 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2 \quad \text{Poikkileikkauksen taivutusjäykkyys alkutilassa}$$

Poikkileikkaussuureet lopputilassa, MRT:

$$E_{\text{cm.fin.MRT}} := \frac{E_{\text{cm}}}{(1 + \varphi_{\text{ef}})}$$

$$E_{\text{cm.fin.MRT}} = 14140 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Betonin kimmokerroin taivutuksessa lopputilassa, MRT}$$

$$E_{0.\text{mean.fin.MRT}} := \frac{E_{0.\text{mean}}}{(1 + \psi_{2.1} \cdot k_{\text{def}})}$$

$$E_{0.\text{mean.fin.MRT}} = 11610 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Liimapuupalkin kimmokerroin lopputilassa, MRT}$$

$$K_{\text{u.fin}} := \frac{K_{\text{u}}}{(1 + \psi_{2.1} \cdot k_{\text{def.L}})}$$

$$K_{\text{u.fin}} = 9492 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}} \quad \text{Puu-betoniliitinten siirtymäkerroin lopputilassa, MRT}$$

$$\gamma_{\text{L.fin.MRT}} := \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_{\text{cm.fin.MRT}} \cdot A_{\text{ef.c}} \cdot s_1}{n_{\text{rivi}} \cdot K_{\text{u.fin}} \cdot L^2}}$$

$$\gamma_{\text{L.fin.MRT}} = 0.203$$

$$a_{1.\text{fin.MRT}} := \frac{\gamma_{\text{L.fin.MRT}} \cdot b_{\text{eff}} \cdot h_{\text{c}} \cdot E_{\text{cm.fin.MRT}} \cdot \left(\frac{h_1}{2} + \frac{h_{\text{c}}}{2} \right)}{\gamma_{\text{L.fin.MRT}} \cdot b_{\text{eff}} \cdot h_{\text{c}} \cdot E_{\text{cm.fin.MRT}} + b_1 \cdot h_1 \cdot E_{0.\text{mean.fin.MRT}}}$$

$$a_{1.\text{fin.MRT}} = 63.6 \cdot \text{mm} \quad \text{Poikkileikkauksen painopisteen etäisyys palkin painopisteestä}$$

$$a_{\text{c.fin.MRT}} := -\frac{h_{\text{c}}}{2} - \frac{h_1}{2} + a_{1.\text{fin.MRT}}$$

$$a_{\text{c.fin.MRT}} = -178.9 \cdot \text{mm} \quad \text{Betonilaatan painopisteen etäisyys poikkileikkauksen painopisteestä}$$

$$EI_{\text{fin.MRT}} := E_{\text{cm.fin.MRT}} \cdot I_{\text{c}} + E_{0.\text{mean.fin.MRT}} \cdot I_1 \dots \\ + \gamma_{\text{L.fin.MRT}} \cdot E_{\text{cm.fin.MRT}} \cdot A_{\text{ef.c}} \cdot a_{\text{c.fin.MRT}}^2 + E_{0.\text{mean.fin.MRT}} \cdot A_1 \cdot a_{1.\text{fin.MRT}}^2$$

$$EI_{\text{fin.MRT}} = 2.33 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2 \quad \text{Poikkileikkauksen taivutusjäykkyys alkutilassa}$$

Poikkileikkaussuureet lopputilassa, KRT:

$$E_{\text{cm.fin.KRT}} := \frac{E_{\text{cm}}}{(1 + \varphi_{\text{ef}})}$$

$$E_{\text{cm.fin.KRT}} = 14140 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Betonin kimmokerroin taivutuksessa lopputilassa, MRT}$$

$$E_{0.\text{mean.fin.KRT}} := \frac{E_{0.\text{mean}}}{(1 + k_{\text{def}})}$$

$$E_{0.\text{mean.fin.KRT}} = 8563 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Liimapuupalkin kimmokerroin lopputilassa, MRT}$$

$$K_{\text{ser.fin}} := \frac{K_{\text{ser}}}{(1 + k_{\text{def.L}})}$$

$$K_{\text{ser.fin}} = 10500 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}} \quad \text{Puu-betoniliitinten siirtymäkerroin lopputilassa, MRT}$$

$$\gamma_{\text{L.fin.KRT}} := \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_{\text{cm.fin.KRT}} \cdot A_{\text{ef.c}} \cdot s_1}{n_{\text{rivi}} \cdot K_{\text{ser.fin}} \cdot L^2}}$$

$$\gamma_{\text{L.fin.KRT}} = 0.22$$

$$a_{1.\text{fin.KRT}} := \frac{\gamma_{\text{L.fin.KRT}} \cdot b_{\text{eff}} \cdot h_{\text{c}} \cdot E_{\text{cm.fin.KRT}} \cdot \left(\frac{h_1}{2} + \frac{h_{\text{c}}}{2} \right)}{\gamma_{\text{L.fin.KRT}} \cdot b_{\text{eff}} \cdot h_{\text{c}} \cdot E_{\text{cm.fin.KRT}} + b_1 \cdot h_1 \cdot E_{0.\text{mean.fin.KRT}}}$$

$$a_{1.\text{fin.KRT}} = 83.2 \cdot \text{mm} \quad \text{Poikkileikkauksen painopisteen etäisyys palkin painopisteestä}$$

$$a_{\text{c.fin.KRT}} := -\frac{h_{\text{c}}}{2} - \frac{h_1}{2} + a_{1.\text{fin.KRT}}$$

$$a_{\text{c.fin.KRT}} = -159.3 \cdot \text{mm} \quad \text{Betonilaatan painopisteen etäisyys poikkileikkauksen painopisteestä}$$

$$EI_{\text{fin.KRT}} := E_{\text{cm.fin.KRT}} \cdot I_{\text{c}} + E_{0.\text{mean.fin.KRT}} \cdot I_1 \dots + \gamma_{\text{L.fin.KRT}} \cdot E_{\text{cm.fin.KRT}} \cdot A_{\text{ef.c}} \cdot a_{\text{c.fin.KRT}}^2 + E_{0.\text{mean.fin.KRT}} \cdot A_1 \cdot a_{1.\text{fin.KRT}}^2$$

$$EI_{\text{fin.KRT}} = 2.01 \times 10^{13} \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^2 \quad \text{Poikkileikkauksen taivutusjäykkyys alkutilassa}$$

Poikkileikkauksen jännitykset alkutilassa:

$$\sigma_{\text{m.d.c}} := \frac{M_{\text{d}} \cdot E_{\text{cm}}}{EI_{\text{MRT}}} \cdot \frac{h_{\text{c}}}{2}$$

$$\sigma_{m.d.c} = 1.972 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \text{Betoniilaatan taivutusjännitys}$$

$$\sigma_{N.d} := \frac{\gamma_{L.MRT} \cdot M_d \cdot E_{cm}}{EI_{MRT}} \cdot a_{c.MRT}$$

$$\sigma_{N.d} = 1.036 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \text{Betoniilaatan keskimääräinen normaalijännitys}$$

$$\sigma_{c.d} := \sigma_{m.d.c} + \sigma_{N.d}$$

$$\sigma_{c.d} = 3.008 \cdot \text{MPa} \quad \text{Puristusjännitys betoniilaatan yläpinnassa}$$

$$\sigma_{t.d} := \sigma_{m.d.c} - \sigma_{N.d}$$

$$\sigma_{t.d} = 0.936 \cdot \text{MPa} \quad \text{Vetojännitys betoniilaatan yläpinnassa}$$

$$\sigma_{m.d.1} := \frac{M_d \cdot E_{0.mean}}{EI_{MRT}} \cdot \frac{h_1}{2}$$

$$\sigma_{m.d.1} = 4.412 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \text{Uumapalkin taivutusjännitys palkin alapinnassa}$$

$$\sigma_{t.d.1} := \frac{M_d \cdot E_{0.mean}}{EI_{MRT}} \cdot a_{1.MRT}$$

$$\sigma_{t.d.1} = 1.489 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \text{Uumapalkin keskimääräinen normaalijännitys}$$

$$T_d := \frac{V_d \cdot A_1 \cdot E_{0.mean} \cdot a_{1.MRT}}{EI_{MRT}}$$

$$T_d = 66.325 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Suurin liittimiin vaikuttava työntövoima}$$

$$SE_{\max} := \frac{b_1 \cdot \left(a_{1.MRT} + \frac{h_1}{2} \right)^2}{2} \cdot E_{0.mean}$$

$$SE_{\max} = 8.291 \times 10^{10} \cdot \text{N} \cdot \text{mm} \quad \text{Poikkileikkauksen painopisteen alapuolisen osan staattinen momentti}$$

$$\tau_{\max.d} := \frac{V_d \cdot SE_{\max}}{EI_{MRT} \cdot b_1}$$

$$\tau_{\max.d} = 0.533 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \text{Suurin uumapalkissa vaikuttava leikkausjännitys (poikkileikkauksen neutraaliakselilla eli jännitysten 0-kohdassa)}$$

Poikkileikkauksen jännitykset lopputilassa:

$$\sigma_{m.d.c.fin} := \frac{M_d \cdot E_{cm.fin.MRT}}{EI_{fin.MRT}} \cdot \frac{h_c}{2}$$

$$\sigma_{m.d.c.fin} = 1.13 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \text{Betonilaatan taivutusjännitys}$$

$$\sigma_{N.d.fin} := \frac{\gamma_{L.fin.MRT} \cdot M_d \cdot E_{cm.fin.MRT}}{EI_{fin.MRT}} \cdot a_{c.fin.MRT}$$

$$\sigma_{N.d.fin} = 1.027 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \text{Betonilaatan keskimääräinen normaalijännitys}$$

$$\sigma_{c.d.fin} := \sigma_{m.d.c.fin} + \sigma_{N.d.fin}$$

$$\sigma_{c.d.fin} = 2.157 \cdot \text{MPa} \quad \text{Puristusjännitys betonilaatan yläpinnassa}$$

$$\sigma_{t.d.fin} := \sigma_{m.d.c.fin} - \sigma_{N.d.fin}$$

$$\sigma_{t.d.fin} = 0.103 \cdot \text{MPa} \quad \text{Vetojännitys betonilaatan yläpinnassa}$$

$$\sigma_{m.d.l.fin} := \frac{M_d \cdot E_{0.mean.fin.MRT}}{EI_{fin.MRT}} \cdot \frac{h_1}{2}$$

$$\sigma_{m.d.l.fin} = 4.698 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \text{Uumapalkin taivutusjännitys palkin alapinnassa}$$

$$\sigma_{t.d.l.fin} := \frac{M_d \cdot E_{0.mean.fin.MRT}}{EI_{fin.MRT}} \cdot a_{l.fin.MRT}$$

$$\sigma_{t.d.l.fin} = 1.476 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \text{Uumapalkin keskimääräinen normaalijännitys}$$

$$T_{d.fin} := \frac{V_d \cdot A_1 \cdot E_{0.mean.fin.MRT} \cdot a_{l.fin.MRT}}{EI_{fin.MRT}}$$

$$T_{d,fin} = 65.738 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{Suurin liittimiin vaikuttava työntövoima}$$

$$SE_{max,fin} := \frac{b_1 \cdot \left(a_{1,fin,MRT} + \frac{h_1}{2} \right)^2}{2} \cdot E_{0,mean,fin,MRT}$$

$$SE_{max,fin} = 6.783 \times 10^{10} \cdot \text{N} \cdot \text{mm} \quad \text{Poikkileikkauksen painopisteen alapuolisen osan staattinen momentti}$$

$$\tau_{max,d,fin} := \frac{V_d \cdot SE_{max,fin}}{EI_{fin,MRT} \cdot b_1}$$

$$\tau_{max,d,fin} = 0.548 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Suurin uumapalkissa vaikuttava leikkausjännitys (poikkileikkauksen neutraaliakselilla eli jännitysten 0-kohdassa)}$$

Poikkileikkauksen jännitysten mitoitus ehdot:

Betonilaatan puristuskestävyys alkutilassa:

$$\frac{\sigma_{c,d}}{f_{cd}} = 0.21 \leq 1 \rightarrow \text{OK!}$$

Betonilaatan puristuskestävyys lopputilassa:

$$\frac{\sigma_{c,d,fin}}{f_{cd}} = 0.152 \leq 1 \rightarrow \text{OK!}$$

Betonilaatan vetokestävyys alkutilassa:

$$\frac{\sigma_{t,d}}{f_{ctd}} = 0.78 \leq 1 \rightarrow \text{OK!}$$

Betonilaatan vetokestävyys lopputilassa:

$$\frac{\sigma_{t,d,fin}}{f_{ctd}} = 0.09 \leq 1 \rightarrow \text{OK!}$$

Uumapalkin taivutuskestävyys alkutilassa:

$$\frac{\sigma_{m,d,1}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{t,d,1}}{f_{t,0,d}} = 0.31 \leq 1 \rightarrow \text{OK!}$$

Uumapalkin taivutuskestävyys lopputilassa:

$$\frac{\sigma_{m.d.1.fin}}{f_{m.d}} + \frac{\sigma_{t.d.1.fin}}{f_{t.0.d}} = 0.32 \leq 1 \rightarrow \text{OK!}$$

Uumapalkin leikkauskestävyys alkutilassa:

$$\frac{\tau_{\max.d}}{k_{cr} \cdot f_{v.d}} = 0.373 \leq 1 \rightarrow \text{OK!}$$

Uumapalkin leikkauskestävyys lopputilassa:

$$\frac{\tau_{\max.d.fin}}{k_{cr} \cdot f_{v.d}} = 0.383 \leq 1 \rightarrow \text{OK!}$$

Liitinten kapasiteetti alkutilassa

$$F_{Ed} := \frac{s_1 \cdot T_d}{n_{rivi}} = 6.632 \cdot \text{kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = 0.92 \leq 1 \rightarrow \text{OK!}$$

Liitinten kapasiteetti lopputilassa

$$F_{Ed.fin} := \frac{s_1 \cdot T_{d.fin}}{n_{rivi}} = 6.574 \cdot \text{kN}$$

$$\frac{F_{Ed.fin}}{F_{Rd}} = 0.91 \leq 1 \rightarrow \text{OK!}$$

Käyttörajalimitoitus:

Hetkellinen taipuma

$$w_{inst} := \frac{5(g_k + q_k) \cdot L^4}{384 \cdot EI_{KRT}}$$

$$w_{inst} = 3.8 \cdot \text{mm}$$

$$w_{inst,sall} := \frac{L}{400}$$

$$w_{inst,sall} = 15 \cdot \text{mm}$$

$$\frac{w_{inst}}{w_{inst,sall}} = 0.25$$

$$w_{inst} \leq w_{inst,sall} \rightarrow \text{OK!}$$

Lopputaipuma:

$$q_{inst} := (1 - \psi_{2.1}) \cdot q_k$$

$$q_{inst} = 3.36 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Muuttuvien kuormien lyhytaikainen osuus, kun tarkastellaan rakennetta, jonka osilla on erilaiset virumaluvut. RIL 205-1-2009, kaava 2.5.3S

$$q_{fin} := g_k + \psi_{2.1} \cdot q_k$$

$$q_{fin} = 4.17 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Kuormien pitkäaikainen osuus, kun tarkastellaan rakennetta, jonka osilla on erilaiset virumaluvut. RIL 205-1-2009, kaava 2.5.2S

$$w_{fin} := \frac{5}{384} \cdot \left(\frac{q_{inst}}{EI_{KRT}} + \frac{q_{fin}}{EI_{fin.KRT}} \right) \cdot L^4$$

$$w_{fin} = 5.2 \cdot \text{mm}$$

$$w_{fin,sall} := \frac{L}{300}$$

$$w_{fin,sall} = 20 \cdot \text{mm}$$

$$\frac{w_{fin}}{w_{fin,sall}} = 0.26$$

$$w_{fin} \leq w_{fin,sall} \rightarrow \text{OK!}$$

Värähtely:

$$m_0 := \left(\frac{g_k \cdot m}{\frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot \text{s}} \cdot 100 + 30 \right) \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$m_0 = 257.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Välipohjarakenteen massa pinta-alayksikköä kohden

$$B := 15\text{m}$$

Välipohjarakenteen leveys

$$k := \max\left(\frac{1}{0.318 + 0.114 \cdot \max\left(\frac{L}{m}, \frac{B}{m}\right)}, 1\right)$$

$$k = 1$$

Huoneen koosta riippuva taipumarajoituksen korotuskerroin, RIL 205-1-2009, kuva 7.2-FI

Välipohjan jäykkyydet pituus- ja leveysuunnassa:

$$EI_{\text{betoni}} := \frac{h_c^3 \cdot E_{\text{cm}}}{12}$$

$$EI_{\text{betoni}} = 1.323 \times 10^6 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{m}}$$

Betonilaatan taivutusjäykkyys pituusyksikköä kohden pituus- ja leveysuunnassa

$$EI_L := \frac{EI_{\text{KRT}}}{s}$$

$$EI_L = 2.776 \times 10^7 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{m}}$$

Lattian pituussuuntainen taivutusjäykkyys pituusyksikköä kohden (sisältää liittolaatan jäykkyyden)

$$EI_B := EI_{\text{betoni}}$$

$$EI_B = 1.323 \times 10^6 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{m}}$$

Lattian leveysuuntainen taivutusjäykkyys pituusyksikköä kohden (sisältää betonilaatan)

Välipohjan ominaistaajuus:

$$f_{1,L} := \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_L}{m_0}} \cdot \sqrt{1 + \left[2 \cdot \left(\frac{L}{B}\right)^2 + \left(\frac{L}{B}\right)^4 \right] \cdot \frac{EI_B}{EI_L}}$$

$$f_{1,L} = 14.4 \cdot \text{Hz}$$

Neljältä sivulta tuetun laatan ominaistaajuus, RIL 205-1-2009, kaava 7.5.-FI

Joustavien tukien vaikutus:

$$L_{\text{palkki}} := 4200\text{mm}$$

Primääripalkin jänneväli

$$E_{\text{mean}} := 13700 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Pääkannattimen kimmokerroin GL32c

$$b_{\text{palkki}} := 190\text{mm}$$

Pääkannatinpalkin leveys

$$h_{\text{palkki}} := 495\text{mm}$$

Pääkannatinpalkin korkeus

$$EI_D := E_{\text{mean}} \cdot \frac{b_{\text{palkki}} \cdot h_{\text{palkki}}^3}{12} \cdot \frac{1}{\frac{L}{2}} + EI_{\text{betoni}}$$

$$EI_D = 1.009 \times 10^7 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{m}}$$

Pääkannatinpalkin ja betonilaatan yhdistetty taivutusjäykkyys pituusyksikköä kohden

$$m_{0,D} := m_0 + b_{\text{palkki}} \cdot h_{\text{palkki}} \cdot 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1}{\frac{L}{2}}$$

$$m_{0,D} = 273.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Välipohjarakenteen massa, kun massaan lisätään pääkannatinpalkin paino

$$f_{1,D} := \frac{\pi}{2 \cdot L_{\text{palkki}}} \cdot \sqrt{\frac{EI_D}{m_{0,D}}}$$

$$f_{1,D} = 17.1 \cdot \text{Hz}$$

Pääkannattimen alin ominaistaajuus

$$f_1 := \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{f_{1,L}^2} + \frac{1}{f_{1,D}^2}}}$$

$$f_1 = 11 \cdot \text{Hz}$$

Koko rakenteen alin ominaistaajuus

Mitoitusehto:

$$\frac{9\text{Hz}}{f_1} = 0.82$$

$f_1 > 9 \text{ Hz} \rightarrow \text{OK!}$

Välipohjan taipumakriteeri (notkumisehto):

$$k_{\delta} := \sqrt[4]{\frac{EI_B}{EI_L}}$$

$$k_{\delta} = 0.467$$

$$F := 1 \text{ kN}$$

$$\delta_1 := \min\left(\frac{F \cdot L^2}{42 \cdot k_{\delta} \cdot EI_L}, \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot s \cdot EI_L}\right)$$

$$\delta_1 = 0.066 \cdot \text{mm}$$

RIL 205-1-2009, kaava 7.7-F1, neljältä sivulta tuettu laatta, arvoa ei tarvitse rajoittaa arvolla B/L

Välipohjan taipuma 1 kN:n pistekuormasta

$$\delta_2 := \frac{F}{2} \cdot \frac{L_{\text{palkki}}^3}{48 \cdot E_{\text{mean}} \cdot \frac{b_{\text{palkki}} \cdot h_{\text{palkki}}^3}{12}}$$

$$\delta_2 = 0.029 \cdot \text{mm}$$

Pääkannatinpalkkien taipuma 1 kN:n pistekuormasta

$$\delta := \delta_1 + \delta_2 = 0.095 \cdot \text{mm}$$

Koko rakenteen suurin taipuma 1 kN:n pistekuormasta

Mitoitusehto:

$$\frac{\delta}{k \cdot 0.5 \text{ mm}} = 0.191$$

$$\delta < k \cdot 0,5 \text{ mm} \rightarrow \text{OK!}$$

Palomitoitus:

$$t_{\text{req}} := 60 \text{ min}$$

Vaadittu palonkesto aika

$$\beta_n := 0.7 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

Puun hiiltymisnopeus, joka huomioi kulmapyöristysten vaikutuksen, SFS-EN 1995-1-2 taul. 3.1

$$d_{\text{char.n}} := t_{\text{req}} \cdot \beta_n$$

$$d_{\text{char.n}} = 42 \cdot \text{mm}$$

Nimellinen hiiltymäsyvyyden mitoitusarvo, SFS-EN 1995-1-2 kaava 3.3

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

$$k_0 := 1$$

SFS-EN 1995-1-2, taul. 4.1

$$d_{ef} := d_{char,n} + d_0 \cdot k_0$$

$$d_{ef} = 49 \cdot \text{mm}$$

Tehollinen hiiltymäsyvyys, SFS-EN 1995-1-2, kaava 4.1

$$h_{ef} := h_1 - d_{ef}$$

$$h_{ef} = 356 \cdot \text{mm}$$

Yläpinnaltaan palolta suojatun palkin tehollinen korkeus

$$b_{ef} := b_1 - 2 \cdot d_{ef}$$

$$b_{ef} = 67 \cdot \text{mm}$$

Molemmilta sivuiltaan palolle alttiin palkin tehollinen leveys

$$W_{ef} := \frac{b_{ef} \cdot h_{ef}^2}{6}$$

$$W_{ef} = 1.415 \times 10^6 \cdot \text{mm}^3$$

Palkin tehollinen taivutusvastus hiiltymän jälkeen

$$k_{fi} := 1.15$$

kfi -kerroin, SFS-EN 1995-1-2 taul. 2.1

$$k_{mod,fi} := 1$$

$$\gamma_{M,fi} := 1$$

$$f_{m,d,fi} := k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$f_{m,d,fi} = 36.8 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Taivutuslujuuden mitoitusarvo palotilanteessa, SFS-EN 1995-1-2 kaava 2.1

$$\eta_{fi} := 0.6$$

Pienennyskerroin SFS-EN 1995-1-2 kansallinen liite, kohta 2.4.2

$$M_{d,fi} := \eta_{fi} \cdot M_d$$

$$M_{d,fi} = 27.9 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Taivutusmomentti palotilanteessa

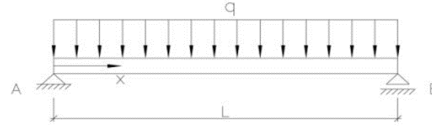
$$\sigma_{m,d,fi} := \frac{M_{d,fi}}{W_{ef}}$$

Rakennuskohde	Sisältö
Laskurin kehitys, versio 0.6	Puurakenteisten välipohjien laskentaohjelma Vertailulaskelma 2, puu-betoniliittolaatta

Välipohjarakenne

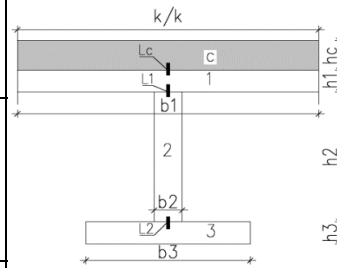
Jänneväli: mm
Palkkijako: mm
Käyttöluokka:
Seuraamusluokka: $K_{FI} = 1,0$

Rakenteen tyyppi:



c) BETONILAATTA

Materiaali: $h_c = \text{input} \text{ mm}$

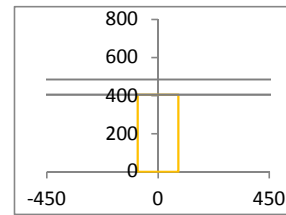


Lc) BETONILIITIN

Liitin: SFS VB vinoruuvaus 45-45, GL32c
Käytettävä liitintyyppi ja liitinjako tai muu liitostapa määritellään kohdassa F), liitinmitoitus

1) YLÄLAIPPA/KANSILEVY/ALUSLATTIALEVITYS

Materiaalityyppi:
Materiaali: $b_1 = \text{input} \text{ mm}$
 Leveysuunnassa jatkuva? $h_1 = \text{input} \text{ mm}$



L1) LIITIN 1

Liitin: Rakenteellinen liimaus
Käytettävä liitintyyppi ja liitinjako tai muu liitostapa määritellään kohdassa F), liitinmitoitus

2) UUMAPALKKI

Materiaalityyppi: $b_2 = \text{input} \text{ mm}$
Materiaali: $h_2 = \text{input} \text{ mm}$
 Leveysuunnassa jatkuva?

L2) LIITIN 2

Liitin: Rakenteellinen liimaus
Käytettävä liitintyyppi ja liitinjako tai muu liitostapa määritellään kohdassa F), liitinmitoitus

3) ALALAIPPA

Materiaalityyppi:
Materiaali: $b_3 = \text{input} \text{ mm}$
 Leveysuunnassa jatkuva? $h_3 = \text{input} \text{ mm}$

Muut rakennetta koskevat tiedot

Taipumarajat:

W_{inst}	$\leq L /$	<input type="text" value="400"/>	=15,0 mm
$W_{net,fin}$	$\leq L /$	<input type="text" value="300"/>	=20,0 mm
W_{fin}	$\leq L /$	<input type="text" value="200"/>	=30,0 mm

Esikorotus:

w_c	=	<input type="text" value="0"/>	mm
-------	---	--------------------------------	----


Kiepahdustuentojen väli:

Alapuoli	<input type="text" value="Ei tuentaa"/>
Yläpuoli	<input type="text" value="200"/>


Tukipintojen pituudet:

Tuki A	$l_a =$	<input type="text" value="190"/>	mm
Tuki B	$l_b =$	<input type="text" value="190"/>	mm

Finnmap Consulting <small>FMC GROUP</small>	Työn nro	0	Rakennelaskelmat		
	Tekijä	JEJ	Pos.	xx xx	
	Päiväys	6.1.14	Sivu	A2 002	
Rakennuskohde	Sisältö				
Laskurin kehitys, versio 0.6	Puurakenteisten välipohjien laskentaohjelma				
	Vertailulaskelma 2, puu-betoniliittolaatta				
Rakenteen kuormitustiedot					
Rakenneosan käyttötarkoituksen ja rakenteen mukaiset kuormat:					
Pysyvät kuormat					
Rakenteiden pysyvät kuormat	$G_{k,1}$	0,00	kN/m ²		
Rakennepoikkileikkauksen omapaino	$G_{k,2}$	2,28	kN/m ²		
Pysyvät kuormat yhteensä	G_k	2,28	kN/m ²		
<input checked="" type="checkbox"/> Huomioi rakenteen omapaino ($G_{k,2}$) kuormissa automaattisesti?					
Muuttuva kuormat					
Luokka C: kokoonurmistilat, C3: esteettömät alueet	$Q_{k,1}$	4,00	kN/m ²		
Välipohjat					
Ei kuormaa	$Q_{k,2}$	0,00	kN/m ²		
Viivakuormat					
$g_{k,1}$	0,00 kN/m	Yhdistelykertoimet			Aikaluokka
$g_{k,2}$	2,73 kN/m	ψ_0	ψ_1	ψ_2	
g_k	2,73 kN/m	1	1	1	Pysyvä
$q_{k,1}$	4,80 kN/m	0,7	0,7	0,3	Keskipitkä
$q_{k,2}$	0,00 kN/m	0	0	0	-
Kuormitusyhdistelmät					
MRT Rasitukset [kNm, KN]					
Kuormitusyhdistelmä	M_d	V_d	R_d	Aikaluokka	
KY1: $1,35K_{FI}G_k$	16,61	11,07	11,07	Pysyvä	
KY2: $1,15K_{FI}G_k+1,5K_{FI}Q_{k,1}+1,5K_{FI}\psi_{0,2}Q_{k,2}$	46,55	31,03	31,03	Keskipitkä	
KY3: $1,15K_{FI}G_k+1,5K_{FI}Q_{k,2}+1,5K_{FI}\psi_{1,2}Q_{k,1}$	36,83	24,55	24,55	Keskipitkä	
Tarkasteltava kuormitusyhdistelmä (MRT)	M_d	V_d	R_d	Aikaluokka	
KY2	46,55	31,03	31,03	Keskipitkä	
KRT					
Kuormitusyhdistelmä	Käyttörajoitilassa käytetään automaattisesti suurimman taipuman aiheuttavaa yhdistelmää				
KY1*: $G_k+Q_{k,1}+\psi_{0,2}Q_{k,2}$					
KY2*: $G_k+Q_{k,2}+\psi_{0,1}Q_{k,1}$					
Rakenteen palosuojaus					
Rakenteen palosuojaus määritellään kohdassa E), palomitoitus					
Värähtelymitoitus					
Rakenteen värähtelymitoituksen lähtötiedot määritellään kohdassa D), värähtelymitoitus					

	Työn nro	0	Rakennelaskelmat	
	Tekijä	JEJ	Pos.	xx xx
	Päiväys	6.1.14	Sivu	A3 003
Rakennuskohde	Sisältö			
Laskurin kehitys, versio 0.6	Puurakenteisten välipohjien laskentaohjelma Vertailulaskelma 2, puu-betoniliittolaatta			
Tiivistelmä laskennan tuloksista				
Välipohjarakenne, kun tarkastellaan välipohjapalkin kestävyyttä				
Mitotusehto	Käyttöaste		Mitoittava kriteeri	
Poikkileikkauksen kestävyys	47%	OK!	Taivutuskestävyys	
Poikkileikkauksen palokestävyys	76%	OK!	Taipuma palotilanteessa	
Tukipainekestävyys	28%	OK!	Tukipainekestävyys tuella A	
Lovetun pään kestävyys	73%	OK!	Loven kestävyys tuella A, lovi vahvistettu	
Taipuma	68%	OK!	Hetkellinen taipuma	
Värähtelymitoitus	103%	YLITTYY!	Lattian ominaistajuus	
Kokonaiskäyttöaste	103%	EI KESTÄ!	Lattian ominaistajuus	
Tarkemmat tulokset mitoituksesta kohdassa B), puupalkkivälipohjan mitoitus, kohdassa E), puurakenteen palomitoitus ja kohdassa G), lovivaikutus				
Välipohjarakenne, kun tarkastellaan välipohjaa puu-betoniliittorakenteena				
Mitotusehto	Käyttöaste		Mitoittava kriteeri	
<u>Yleiset</u>				
Tukipainekestävyys	28%	OK!	Tukipainekestävyys tuella A	
Lovetun pään kestävyys	73%	OK!	Loven kestävyys tuella A, lovi vahvistettu	
<u>Ilman betonin liittovaikutusta</u>				
Poikkileikkauksen kestävyys	49%	OK!	Uuman leikkauskestävyys	
<u>Liittovaikutuksella alkutilassa</u>				
Poikkileikkauksen kestävyys	78%	OK!	Betonilaatan vetokestävyys	
Taipuma	25%	OK!	Hetkellinen taipuma	
Värähtelymitoitus	63%	OK!	Lattian ominaistajuus	
<u>Liittovaikutuksella lopputilassa</u>				
Poikkileikkauksen kestävyys	38%	OK!	Uuman leikkauskestävyys	
Taipuma	26%	OK!	Lopputaipuma	
<u>Liitinmitoitus</u>				
Puu-betoniliitinten kestävyys	92%	OK!	Liitinten kestävyys murtorajatilassa	
Puu-betoniliitinten jako	40%	OK!	Betoniliitinten jako	
Kokonaiskäyttöaste	92%	OK!	Liitinten kestävyys murtorajatilassa	
Tarkemmat tulokset mitoituksesta kohdassa C), liittolaatta, kohdassa F), liitinmitoitus, kohdassa E), puurakenteen palomitoitus ja kohdassa G), lovivaikutus				
Välipohjarakenne, kun tarkastellaan välipohjaa yhdistettynä poikkileikkauksena				
Mitotusehto	Käyttöaste		Mitoittava kriteeri	
<u>Yleiset</u>				
Tukipainekestävyys	-	-		
Lovetun pään kestävyys	-	-		
<u>Liittovaikutuksella alkutilassa</u>				
Poikkileikkauksen kestävyys	-	-		
Taipuma	-	-		
Värähtelymitoitus	-	-		
<u>Liittovaikutuksella lopputilassa</u>				
Poikkileikkauksen kestävyys	-	-		
Taipuma	-	-		
<u>Liitinmitoitus</u>				
Puu-puuliitosten kestävyys	-	-		
Kokonaiskäyttöaste	-	-		
Tarkemmat tulokset mitoituksesta kohdassa C), liittolaatta, kohdassa F), liitinmitoitus, kohdassa E), puurakenteen palomitoitus ja kohdassa G), lovivaikutus				
Huom!				
Tuloksissa ilmoitetaan vain yhden palkin värähtelymitoituksen tulos.				
Yksityiskohtainen laskenta on esitetty kohdassa D), värähtelymitoitus				


Finnmap Consulting <small>FMC GROUP</small>	Työn nro	0	Rakennelaskelmat
	Tekijä	JEJ	Pos. xx xx
	Päiväys	6.1.14	Sivu C1 004
Rakennuskohde	Sisältö		
Laskurin kehitys, versio 0.6	Puurakenteisten välipohjien laskentaohjelma		
	Vertailulaskelma 2, puu-betoniliittolaatta		
Materiaaliominaisuudet			
Puupoikkileikkaus			
	OSA 1	OSA 2	OSA 3
<u>Kokovaikutuskertoimet</u>			
$K_n =$	1,00	1,04	1,00
$K_l =$	1,00	1,04	1,00
<u>Lujuusominaisuudet [N/mm²]</u>			
$f_{m,k} =$	0,0	33,3	0,0
$f_{c,0,k} =$	0,0	26,5	0,0
$f_{t,0,k} =$	0,0	20,3	0,0
$f_{c,90,k} =$	0,0	3,0	0,0
$f_{v,k} =$	0,0	3,2	0,0
<u>Jäykkyysoinaisuudet [N/mm²]</u>			
$E_{M,mean} =$	0	13700	0
$E_{N,mean} =$	0	13700	0
$E_{0,05} =$	0	11100	0
$G_{mean} =$	0	780	0
$G_{0,05} =$	0	630	0
<u>Osavarmuuskertoimet, virumaluvut ja muunnoskertoimet</u>			
$\gamma_M =$	1	1,2	1
$k_{def} =$	-	0,6	-
$k_{mod} =$	0,8	0,8	0,8
$k_{cr} =$	-	0,67	-
Pintabetonilaatta			
<u>Lujuusominaisuudet [N/mm²]</u>			
$f_{ck} =$	25,0		
$f_{ctm} =$	2,6		
$f_{ctk,0,05} =$	1,8		
<u>Jäykkyysoinaisuudet [N/mm²]</u>			
$E_{cm} =$	31000		
<u>Osavarmuuskertoimet, virumaluvut ja muunnoskertoimet</u>			
$\gamma_c =$	1,5		
$\phi_{(e_{\infty}, t_0)} =$	2,96		
$\phi_{ef} =$	1,19		
$\alpha_{cc} =$	0,85		
Puu-betoniliitos			
Liitin:	4		
$K_{ser,c} =$	16800	N/mm	
$K_{u,c} =$	11200	N/mm	
$S_{ef,c} =$	200,0	mm	
Puu-puuliitos L1			
Liitin:	1		
$K_{ser,1} =$	-	N/mm	
$K_{u,1} =$	-	N/mm	
$S_{ef,1} =$	84,6	mm	
Puu-puuliitos L2			
Liitin:	1		
$K_{ser,2} =$	-	N/mm	
$K_{u,2} =$	-	N/mm	
$S_{ef,2} =$	1000,0	mm	


	Työn nro	0	Rakennelaskelmat																																																	
	Tekijä	JEJ	Pos.	xx xx																																																
	Päiväys	6.1.14	Sivu	C2 005																																																
Rakennuskohde	Sisältö																																																			
Laskurin kehitys, versio 0.6	Puurakenteisten välipohjien laskentaohjelma																																																			
	Vertailulaskelma 2, puu-betoniliittolaatta																																																			
<p><u>Mitoitus murtorajatilassa</u></p> <p><u>Laskennan lähtöoletukset</u></p> <p>Huom! Laskennassa oletetaan, että liittorakenteen palkit on tuettu riittävästi kiepahdusta vastaan. Tarvittaessa kiepahdustarkastelu tulee suorittaa erikseen.</p> <p><u>Tukipainekestävyys</u></p> <p>Kuormitusyhdistelmä KY2</p> <p>$k_{mod} = 0,8$</p> <table border="0"> <tr> <td><u>Tuki</u></td> <td>A</td> <td></td> <td>B</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$R_d =$</td> <td>31,0</td> <td>kN</td> <td>31,0</td> <td>kN</td> </tr> <tr> <td>$l_{tuki} =$</td> <td>190</td> <td>mm</td> <td>190</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>$l_{tuki,ef} =$</td> <td>220</td> <td>mm</td> <td>220</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>$k_{c,90} =$</td> <td>1,5</td> <td></td> <td>1,5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$k_{c,\perp} =$</td> <td>1,74</td> <td></td> <td>1,74</td> <td></td> </tr> </table> <p><u>Tuki A</u></p> <table border="1"> <tr> <td>$\sigma_{c,90,d} =$</td> <td>0,99</td> <td>N/mm²</td> </tr> <tr> <td>$k_{c,\perp} f_{c,90,d} =$</td> <td>3,47</td> <td>N/mm²</td> </tr> <tr> <td></td> <td>28 %</td> <td>OK!</td> </tr> </table> <p><u>Tuki B</u></p> <table border="1"> <tr> <td>$\sigma_{c,90,d} =$</td> <td>0,99</td> <td>N/mm²</td> </tr> <tr> <td>$k_{c,\perp} f_{c,90,d} =$</td> <td>3,47</td> <td>N/mm²</td> </tr> <tr> <td></td> <td>28 %</td> <td>OK!</td> </tr> </table>					<u>Tuki</u>	A		B		$R_d =$	31,0	kN	31,0	kN	$l_{tuki} =$	190	mm	190	mm	$l_{tuki,ef} =$	220	mm	220	mm	$k_{c,90} =$	1,5		1,5		$k_{c,\perp} =$	1,74		1,74		$\sigma_{c,90,d} =$	0,99	N/mm ²	$k_{c,\perp} f_{c,90,d} =$	3,47	N/mm ²		28 %	OK!	$\sigma_{c,90,d} =$	0,99	N/mm ²	$k_{c,\perp} f_{c,90,d} =$	3,47	N/mm ²		28 %	OK!
<u>Tuki</u>	A		B																																																	
$R_d =$	31,0	kN	31,0	kN																																																
$l_{tuki} =$	190	mm	190	mm																																																
$l_{tuki,ef} =$	220	mm	220	mm																																																
$k_{c,90} =$	1,5		1,5																																																	
$k_{c,\perp} =$	1,74		1,74																																																	
$\sigma_{c,90,d} =$	0,99	N/mm ²																																																		
$k_{c,\perp} f_{c,90,d} =$	3,47	N/mm ²																																																		
	28 %	OK!																																																		
$\sigma_{c,90,d} =$	0,99	N/mm ²																																																		
$k_{c,\perp} f_{c,90,d} =$	3,47	N/mm ²																																																		
	28 %	OK!																																																		

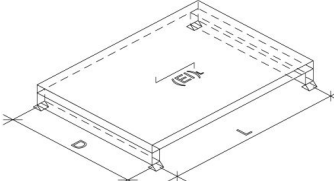
Finnmap Consulting FMC GROUP	Työn nro	0	Rakennelaskelmat
	Tekijä	JEJ	Pos. xx xx
	Päiväys	6.1.14	Sivu C4 006
Rakennuskohde	Sisältö		
Laskurin kehitys, versio 0.6	Puurakenteisten välipohjien laskentaohjelma		
	Vertailulaskelma 2, puu-betoniliittolaatta		
Mitoitus liitorakenteena alkutilassa			
Kuormitusyhdistelmä KY2			
Md =	46,5 kNm	Vd =	31,0 kN
		Rd =	31,0 kN
OSA 1	OSA 2	OSA 3	BETONILAATTA
Murtorajatilan materiaaliominaisuudet			
$k_{mod} =$	0,8	0,8	0,8
$f_{m,d} =$	0,0	22,2	0,0 N/mm ²
$f_{c,0,d} =$	0,0	17,7	0,0 N/mm ²
$f_{t,0,d} =$	0,0	13,5	0,0 N/mm ²
$f_{v,d} =$	0,00	2,13	0,00 N/mm ²
		$f_{cd} =$	14,2 N/mm ²
		$f_{ctd} =$	1,20 N/mm ²
Poikkileikkaussuureet			
$\gamma =$	1,00	1,00	1,00
$b_{ef} =$	0	165	0 mm
$h =$	0	405	0 mm
$A_{ef} =$	0	66825	0 mm ²
$I_{ef} =$	0,0E+00	9,13E+08	0,0E+00 mm ⁴
$a =$	-134,2	68,3	270,8 mm
		$\gamma =$	0,12
		$b_{ef} =$	1200 mm
		$h =$	80 mm
		$A_{ef} =$	96000 mm ²
		$I_{ef} =$	51200000 mm ⁴
		$a =$	-174,2 mm
(EI)_{ef} =	2,93E+13 Nmm²		
Normaalijännitykset			
$\sigma_{N,0,d} =$	0,0	1,5	0,0 N/mm ²
$\pm\sigma_{m,d} =$	0,0	4,4	0,0 N/mm ²
$\sigma_{yläpinta,d} =$	0,0	-2,9	0,0 N/mm ²
$\sigma_{alapinta,d} =$	0,0	5,9	0,0 N/mm ²
		$\sigma_{N,0,d} =$	-1,0 N/mm ²
		$\pm\sigma_{m,d} =$	2,0 N/mm ²
		$\sigma_{yläpinta,d} =$	-3,0 N/mm ²
		$\sigma_{alapinta,d} =$	0,9 N/mm ²
Leikkausjännitykset ja työntövoimat			
$T_{c,Ed,max} =$	66,32 kN/m		
$\tau_{12,d} =$	0,00 N/mm ²	$T_{12,Ed,max} =$	0,00 kN/m
$\tau_{2,max,d} =$	0,53 N/mm ²		
$\tau_{23,d} =$	0,00 N/mm ²	$T_{23,Ed,max} =$	0,00 kN/m
Mitoitusehdot			
Ylälaippa		Alalaippa	
$\frac{\sigma_{f,c,0,d}}{k_c f_{c,0,d}} \leq 1,0$	→ - .	$\frac{\sigma_{f,t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1,0$	→ - .
$\frac{\sigma_{f,c,max,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0$	→ - .	$\frac{\sigma_{f,t,max,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0$	→ - .
Uumapaikki		Betonilaatta	
$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1,0$	→ - .	$\frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}} \leq 1,0$	→ 21 % OK!
$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1,0$	→ 31 % OK!	$\frac{\sigma_{ctd}}{f_{ctd}} \leq 1,0$	→ 78 % OK!
Leikkausjännitykset			
$\tau_{12,mean,d} \leq \begin{cases} \min(f_{1,v,d}; f_{2,v,d}), kun b_w \leq 8h_f \\ \min(f_{1,v,d}; f_{2,v,d}) \cdot \left(\frac{8h_f}{b_w}\right)^{0,8}, kun b_w > 8h_f \end{cases}$	→ - .		
		$\frac{\tau_{2,max,d}}{k_{cr} f_{1,v,d}} \leq 1,0$	→ 37 % OK!
$\tau_{23,mean,d} \leq \begin{cases} \min(f_{2,v,d}; f_{3,v,d}), kun b_w \leq 8h_f \\ \min(f_{2,v,d}; f_{3,v,d}) \cdot \left(\frac{8h_f}{b_w}\right)^{0,8}, kun b_w > 8h_f \end{cases}$	→ - .		


<h1 style="margin: 0;">Finnmap Consulting</h1> <small style="margin: 0;">FMC GROUP</small>				Työn nro		0		Rakennelaskelmat			
				Tekijä		JEJ		Pos.		xx xx	
				Päiväys		6.1.14		Sivu		C5 007	
Rakennuskohde				Sisältö							
Laskurin kehitys, versio 0.6				Puurakenteisten välipohjien laskentaohjelma							
				Vertailulaskelma 2, puu-betoniliittolaatta							
<u>Mitoitus liittorakenteena lopputilassa</u> Kuormitusyhdistelmä KY2											
Md = 46,5 kNm			Vd = 31,0 kN			Rd = 31,0 kN					
OSA 1			OSA 2			OSA 3					
BETONILAATTA											
<u>Murtorajatilan materiaaliominaisuudet</u>											
$k_{mod} =$	0,8	0,8	0,8		$f_{cd} =$	14,2	N/mm ²				
$f_{m,d} =$	0,0	22,2	0,0	N/mm ²	$f_{ctd} =$	1,20	N/mm ²				
$f_{c,0,d} =$	0,0	17,7	0,0	N/mm ²	$E_{cm,fin} =$	14139	N/mm				
$f_{t,0,d} =$	0,0	13,5	0,0	N/mm ²	$K_{u,c,fin} =$	9492	N/mm				
$f_{v,d} =$	0,00	2,13	0,00	N/mm ²							
$E_{M,mean,fin} =$	0	11610	0	N/mm ²							
$E_{N,mean,fin} =$	0	11610	0	N/mm ²							
$K_{u,fin} =$	0	-	0								
<u>Poikkileikkaussuureet</u>											
$\gamma =$	1,00	1,00	1,00		$\gamma =$	0,20					
$b_{ef} =$	0	165	0	mm	$b_{ef} =$	1200	mm				
$h =$	0	405	0	mm	$h =$	80	mm				
$A_{ef} =$	0	66825	0	mm ²	$A_{ef} =$	96000	mm ²				
$I_{ef} =$	0,0E+00	9,13E+08	0,0E+00	mm ⁴	$I_{ef} =$	51200000	mm ⁴				
$a =$	-138,9	63,6	266,1	mm	$a =$	-178,9	mm				
(E)ef = 2,33E+13 Nmm²											
<u>Normaalijännitykset</u>											
$\sigma_{N,0,d} =$	0,0	1,5	0,0	N/mm ²	$\sigma_{N,0,d} =$	-1,0	N/mm ²				
$\pm\sigma_{m,d} =$	0,0	4,7	0,0	N/mm ²	$\pm\sigma_{m,d} =$	1,1	N/mm ²				
$\sigma_{yläpinta,d} =$	0,0	-3,2	0,0	N/mm ²	$\sigma_{yläpinta,d} =$	-2,2	N/mm ²				
$\sigma_{alapinta,d} =$	0,0	6,2	0,0	N/mm ²	$\sigma_{alapinta,d} =$	0,1	N/mm ²				
<u>Leikkausjännitykset ja työntövoimat</u>											
$T_{c1,Ed,max} =$	65,74 kN/m										
$\tau_{12,d} =$	0,00	N/mm ²	$T_{12,Ed,max} =$	0,00	kN/m						
$\tau_{2,max,d} =$	0,55	N/mm ²									
$\tau_{23,d} =$	0,00	N/mm ²	$T_{23,Ed,max} =$	0,00	kN/m						
<u>Mitoitusehdot</u>											
<u>Ylälaippa</u>					<u>Alalaippa</u>						
$\frac{\sigma_{f,c,0,d}}{k_c f_{c,0,d}} \leq 1,0 \rightarrow -$					$\frac{\sigma_{f,t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1,0 \rightarrow -$						
$\frac{\sigma_{f,c,max,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0 \rightarrow -$					$\frac{\sigma_{f,t,max,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0 \rightarrow -$						
<u>Uumapalkki</u>					<u>Betonilaatta</u>						
$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1,0 \rightarrow -$					$\frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}} \leq 1,0 \rightarrow$ 15 % OK!						
$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1,0 \rightarrow$ 32 % OK!					$\frac{\sigma_{ctd}}{f_{ctd}} \leq 1,0 \rightarrow$ 9 % OK!						
<u>Leikkausjännitykset</u>											
$\tau_{12,mean,d} \leq \begin{cases} \min(f_{1,v,d}; f_{2,v,d}), kun b_w \leq 8h_f \\ \min(f_{1,v,d}; f_{2,v,d}) \cdot \left(\frac{8h_f}{b_w}\right)^{0,8}, kun b_w > 8h_f \end{cases} \rightarrow -$											
$\frac{\tau_{2,max,d}}{k_{cr} f_{1,v,d}} \leq 1,0 \rightarrow$ 38 % OK!											
$\tau_{23,mean,d} \leq \begin{cases} \min(f_{2,v,d}; f_{3,v,d}), kun b_w \leq 8h_f \\ \min(f_{2,v,d}; f_{3,v,d}) \cdot \left(\frac{8h_f}{b_w}\right)^{0,8}, kun b_w > 8h_f \end{cases} \rightarrow -$											


Finnmap Consulting <small>FMC GROUP</small>	Työn nro	0	Rakennelaskelmat
	Tekijä	JEJ	Pos. xx xx
	Päiväys	6.1.14	Sivu C6 008
Rakennuskohde	Sisältö		
Laskurin kehitys, versio 0.6	Puurakenteisten välipohjien laskentaohjelma		
	Vertailulaskelma 2, puu-betoniliittolaatta		
Mitoitus käyttörajatilassa			
	OSA 1	OSA 2	OSA 3
	BETONILAATTA		
Materiaaliominaisuudet alkutilassa			
$E_{M,mean} =$	0	13700	0
$E_{N,mean} =$	0	13700	0
			$E_{cm} =$ 31000 N/mm ²
			$K_{ser,c} =$ 16800 N/mm
Materiaaliominaisuudet lopputilassa			
$E_{M,mean,fin} =$	0	8563	0
$E_{N,mean,fin} =$	0	8563	0
$K_{ser,fin} =$	0	-	0
			$E_{cm,fin} =$ 14139 N/mm
			$K_{ser,c,fin} =$ 10500 N/mm
Poikkileikkaussuureet			
$b_{ef} =$	0	165	0 mm
$h =$	0	405	0 mm
$A_{ef} =$	0	66825	0 mm ²
$I_{ef} =$	0,0E+00	9,13E+08	0,0E+00 mm ⁴
			$b_{ef} =$ 1200 mm
			$h =$ 80 mm
			$A_{ef} =$ 96000 mm ²
			$I_{ef} =$ 51200000 mm ⁴
Jäykkyys alkutilassa			
$\gamma =$	1,00	1,00	1,00
$a =$	-115,9	86,6	289,1 mm
$(EI)_{ef} =$	3,33E+13 Nmm²		
Jäykkyys lopputilassa			
$\gamma =$	1,00	1,00	1,00
$a =$	-119,3	83,2	285,7 mm
$(EI)_{ef} =$	2,0E+13 Nmm²		
Taipuma			
Hetkellinen taipuma			
$W_{inst,G} =$	1,4 mm		
$W_{inst,Q1} =$	2,4 mm		
$W_{inst,Q2} =$	0,0 mm		
$W_{inst} =$	3,8 mm	\leq	$L/400 =$ 15,0 mm 25 % OK!
Lopputaipuma			
$W_{fin,G} =$	2,3 mm		
$W_{fin,Q1} =$	2,9 mm		
$W_{fin,Q2} =$	0,0 mm		
$W_{fin} =$	5,2 mm		
$-W_c =$	0 mm		
$W_{net,fin} =$	5,2 mm	\leq	$L/300 =$ 20,0 mm 26 % OK!
Esikorotetun rakenteen sallittu taipuma			
$W_{fin} =$	5,2 mm	\leq	$L/200 =$ 30,0 mm 17 % OK!
Värähtely			
$L =$	6 m		
$B =$	15 m		
$s =$	1,2 m		
$m =$	258 kg/m ²		
$(EI)_L =$	2,78E+07 Nm ² /m		
$k =$	1,00		
Lattiarakenteen alin ominaistajuus			
$f_1 =$	14,3 Hz		
$f_{1,vaad} =$	9 Hz	63 % OK!	
Taipumakriteeri			
$\delta =$	0,14 mm		
$\delta_{sall} = k \times 0,5mm =$	0,50 mm	27 % OK!	


	Työn nro	0	Rakennelaskelmat
	Tekijä	JEJ	Pos. xx xx
	Päiväys	6.1.14	Sivu D1 009
Rakennuskohde	Sisältö		
Laskurin kehitys, versio 0.6	Puurakenteisten välipohjien laskentaohjelma		
	Vertailulaskelma 2, puu-betoniliittolaatta		
Välipohjan yksityiskohtainen värähtelymitoitus			
Lähtötiedot			
Mitoitettava rakennetyyppi	(Puu-betoniliittorakenne)		
L =	6 m	Välipohjarakenteen jänneväli	
B =	15 m	Välipohjarakenteen leveys	
$f_{1,vaad}$ =	9 Hz	Vaadittu lattian ominaistaajuus	
a_{sall} =	0,012 m/s ²	Lattian sallittu kiihtyvyys	
ζ =	1 %	Vaimennuskerroin	
k =	1,00	Huonekoon mukainen taipumakriteerin pienennyskerroin	
m =	258 kg/m ²	Lattian massa pinta-alaa kohden	
s =	1,2 m	Kannatinjako	
Välipohjan tuentatapa	4 sivulta tuettu		
<u>Välipohjaa jäykistävät osat</u>			
Pintalaatta	C25/30	80 mm	
Aluslattialevytyks	-	- mm	
Poikkittaisjäykisteiden lukumäärä	0		
Vetolauta/koolausta	Ei koolausta		
<u>Aluslattialevytyksen kiinnitys palkistoon (myös liittolaatalla poikittaissauunnassa)</u>			
Kiinnikkeet	Rakenteellinen liimaus	Täysin liittovaikutus	
Kiinnikejako k/k =	200 mm		
<u>Koolausten kiinnitys palkistoon ja poikkittaisjäykisteisiin</u>			
Kiinnikkeet	Rakenteellinen liimaus	Täysin liittovaikutus	
Kiinnikejako k/k =	200 mm		
<u>Jäykkyyden määrittäminen, kun palkkivälipohja</u>			
Liittovaikutus huomioidaan	Kyllä		
<u>Välipohjan poikittaisen jäykkyyden arviointimenetelmä</u>			
Poikittaista jäykkyyttä laskettaessa on huomioitava, että rakenteen osan tulee olla jatkuva, jotta se kykenee siirtämään kuormaa			
Jos jonkun osan ei voida olettaa jatkuvan koko lattian leveydellä, tulee sen vaikutus jättää huomioimatta			
Huomioi betonilaatta poikittaisessa jäykkyydessä	Kyllä		
Huomioi kansilevy poikittaisessa jäykkyydessä	Kyllä		
Huomioi jäykisteet poikittaisessa jäykkyydessä	Ei		

		Työn nro	0	Rakennelaskelmat	
		Tekijä	JEJ	Pos.	xx xx
		Päiväys	6.1.14	Sivu	D2 010
Rakennuskohde		Sisältö			
Laskurin kehitys, versio 0.6		Puurakenteisten välipohjien laskentaohjelma			
		Vertailulaskelma 2, puu-betoniliittolaatta			
Palkiston/liittorakenteen/yhdistetyn poikkileikkauksen täivutusjäykkyys pituusyksikköä kohden [Nm²/m]					
$(EI)_L = 27764556 \text{ Nm}^2/\text{m}$					
Betonilaatan taivutusjäykkyys pituusyksikköä kohden [Nm²/m]					
$E_{cm} = 31000 \text{ N/mm}^2$	Betonilaatan kimmokerroin				
$h = 80 \text{ mm}$	Betonilaatan paksuus				
$I = 4,267E-05 \text{ m}^4/\text{m}$	Betonilaatan jäyhyysmomentti pituusyksikköä kohden				
$(EI)_L = 1322667 \text{ Nm}^2/\text{m}$	Betonilaatan taivutusjäykkyys pituus suunnassa				
$(EI)_B = 1322667 \text{ Nm}^2/\text{m}$	Betonilaatan taivutusjäykkyys leveys suunnassa				
Aluslattialevytyksen taivutusjäykkyys pituusyksikköä kohden [Nm²/m]					
$E_{M,mean,II} = 0 \text{ N/mm}^2$	Levyn kimmokerroin pituus suunnassa				
$E_{M,mean,L} = 0 \text{ N/mm}^2$	Levyn kimmokerroin leveys suunnassa				
$h = 0 \text{ mm}$	Levyn paksuus				
$I = 0 \text{ m}^4/\text{m}$	Levyn jäyhyysmomentti				
$(EI)_L = 0 \text{ Nm}^2/\text{m}$	Levyn taivutusjäykkyys pituus suunnassa				
$(EI)_B = 0 \text{ Nm}^2/\text{m}$	Levyn taivutusjäykkyys leveys suunnassa				
Aluslattialevyn ja palkiston yhdistetty jäykkyys pituus suunnassa pituus yksikköä kohden [Nm²/m]					
	Kansilevy	Palkki			
$E_{N,mean} = 0$	0	13700	N/mm ²	Osien kimmokertoimet normaalirasituksessa	
$K_{ser} = -$	-	-	N/mm	Liittimen siirtymäkerroin	
$\gamma = 1,00$	1,00	1		Osien yhteistoiminta-asteet	
$b_{ef} = 0$	0	165	mm	Osien teholliset leveydet	
$h = 0$	0	405	mm	Osien korkeudet	
$A_{ef} = 0$	0	66825	mm ²	Osien teholliset pinta-alat	
$a = -202,5$	-202,5	0,0	mm	Osan painopisteen etäisyys PL:n painopisteestä	
$E_{ef,comp} = 0$	0	Nmm ²		Osien yhteistoiminnan jäykkyys lisä	
$(EI)_L = 0$	0	Nm ² /m		Taivutusjäykkyyden lisäys pituus suunnassa	
Poikittaisen jäykistelinän taivutusjäykkyys pituus yksikköä kohden [Nm²/m]					
	Kansilevy	Jäykiste	Koolaus		
$E_{N,mean} = 0$	0	-	0	N/mm ²	Osien kimmokertoimet normaalirasituksessa
$K_{ser} = -$	-	-	-	N/mm	Liittimen siirtymäkerroin
$\gamma = 1,00$	1,00	-	1,00		Osien yhteistoiminta-asteet
$b_{ef} = 165$	165	-	0	mm	Osien teholliset leveydet
$h = 0$	0	405	0	mm	Osien korkeudet
$A_{ef} = 0$	0	-	0	mm ²	Osien teholliset pinta-alat
$a = -202,5$	-202,5	0,0	202,5	mm	Osan painopisteen etäisyys PL:n painopisteestä
$E_{ef,comp} = 0$	0	Nmm ²		Osien yhteistoiminnan jäykkyys lisä	
$n_{jäykiste} = 0$	0	kpl		Jäykisteiden lukumäärä	
$(EI)_B = 0$	0	Nm ² /m		Taivutusjäykkyyden lisäys leveys suunnassa	
Laatan kokonaisjäykkyys pituus suunnassa					
$(EI)_{1,L} = 27764556 \text{ Nm}^2/\text{m}$	Kantava rakenne				
$(EI)_{2,L} = 0 \text{ Nm}^2/\text{m}$	Betonilaatta		Jäykkyys huomioitu kantavassa rakenteessa		
$(EI)_{3,L} = 0 \text{ Nm}^2/\text{m}$	Kansilevy		Jäykkyys huomioitu kantavassa rakenteessa		
$(EI)_{4,L} = 0 \text{ Nm}^2/\text{m}$	Liittovaikutus		Jäykkyys huomioitu kantavassa rakenteessa		
$(EI)_L = 27764556 \text{ Nm}^2/\text{m}$	Yhteensä				
Laatan kokonaisjäykkyys leveys suunnassa					
$(EI)_{1,B} = 1322667 \text{ Nm}^2/\text{m}$	Betonilaatta		.		
$(EI)_{2,B} = 0 \text{ Nm}^2/\text{m}$	Kansilevy		Virhe, kansilevy ei ole yhtenäinen puulevy		
$(EI)_{3,B} = 0 \text{ Nm}^2/\text{m}$	Liittovaikutus		Ei poikittaisia jäykisteitä		
$(EI)_B = 1322667 \text{ Nm}^2/\text{m}$	Yhteensä				

<h1 style="margin: 0;">Finnmap Consulting</h1> <p style="font-size: small; margin: 0;">FMC GROUP</p>	Työn nro	0	Rakennelaskelmat
	Tekijä	JEJ	Pos. xx xx
	Päiväys	6.1.14	Sivu D3 011
Rakennuskohde	Sisältö		
Laskurin kehitys, versio 0.6	Puurakenteisten välipohjien laskentaohjelma		
	Vertailulaskelma 2, puu-betoniliittolaatta		
<h3>Välipohjan värähtelymitoitus 2- tai 4-suuntaan kantavana rakenteena</h3>			
(EI) _L =	27764556 Nm ² /m	Välipohjan jäykkyys pituussuunnassa	
(EI) _B =	1322667 Nm ² /m	Välipohjan jäykkyys leveysuunnassa	
K _δ =	0,47		
<u>Lattian ominaistaajuus</u>			
f ₁ =	14,4 Hz		
f _{1,vaad} =	9 Hz	62 % OK!	
<u>Taipumakriteeri</u>			
δ =	0,07 mm		
δ _{sall} =	0,50 mm	13 % OK!	
<u>Välipohjan kiihtyvyysskriteeri</u>			
b _{eff} =	5,606 m		
W =	85084 N		
R =	0,7		
P =	800 N		
ζ =	0,01		
a _{max} =	0,003 m/s ²		
a _{sall} =	0,012 m/s ²	29 % OK!	
<h3>Kenttävärähtely (välipohja joustavilla tuilla)</h3>			
	Välipohjan pääkannatinpalkit	GL32c	
	Palkin leveys b =	190	mm
	Palkin korkeus h =	495	mm
	Palkin pituus D =	4200	mm
<h4>Välipohjan alin ominaistaajuus</h4>			
f _{0,L} =	14,4 Hz		
<h4>Pääkannatinpalkkien alin ominaistaajuus</h4>			
f _{0,D} =	17,1 Hz		
<u>Koko lattiakentän alin ominaistaajuus</u>			
f ₀ =	11,0 Hz		
f _{0,vaad} =	9 Hz	82 % OK!	
<u>Lattiakentän taipumakriteeri</u>			
δ _{välipohja} =	0,07 mm		
δ _{pääpalkki} =	0,03 mm		
Σδ =	0,10 mm		
δ _{sall} =	0,50 mm	19 % OK!	
<u>Koko lattiakentän kiihtyvyysskriteeri</u>			
b _{eff} =	5,606 m		
L _{eff} =	4,000 m		
W _L =	85084 N		
W _B =	42495 N		
W =	62176 N		
R =	0,7		
P =	800 N		
ζ =	0,01		
<u>Kiihtyvyysskriteeri</u>			
a _{max} =	0,005 m/s ²		
a _{sall} =	0,012 m/s ²	40 % OK!	

Finnmap Consulting <small>FMC GROUP</small>	Työn nro	0	Rakennelaskelmat
	Tekijä	JEJ	Pos. xx xx
	Päiväys	6.1.14	Sivu E2 012
Rakennuskohde	Sisältö		
Laskurin kehitys, versio 0.6	Puurakenteisten välipohjien laskentaohjelma		
	Vertailulaskelma 2, puu-betoniliittolaatta		
Puupalkin mitoitus palotilanteessa			
Palonkestovaatimus	<input type="text" value="R60"/>	Valitse palkin sivut, jotka ovat alltiina palolle	
Palosuojalevytys	<input type="text" value="Ei levytystä"/>	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>  <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	
<u>Palosuojaatun puupalkin hiiltymä</u>			
$t_{req} =$	- min		
$t_{ch} =$	- min		
$t_f =$	- min		
$t_a =$	- min		
$k_2 =$	-		
$k_3 =$	-		
$\beta_n =$	- mm/min		
$\beta_{n2} =$	- mm/min		
$\beta_{n3} =$	- mm/min		
$d_{char,n} =$	- mm		
$k_0 =$	-		
$d_{ef} =$	- mm		
<u>Palosuojaamattoman puupalkin hiiltymä</u>			
$\beta_n =$	0,7 mm/min		
$d_{char,n} =$	42,0 mm		
$k_0 =$	1		
$d_{ef} =$	49,0 mm		
<u>Kiinnikkeiden riittävä tunkeuma hiiltymättömään puuhun, kun palosuojattu palkki</u>			
$l_a =$	- mm		
$h_p =$	- mm		
$d_{char,0} =$	- mm		
$l_f =$	- mm		
<u>Nimellinen jäännöspoikkileikkaus</u>			
$b_{ef} =$	67,0 mm		
$h_{ef} =$	356,0 mm		
$A_{ef} =$	23852,0 mm ²		
$W_{y,ef} =$	1415218,7 mm ³	31,4 %	.
$I_{y,ef} =$	2,5E+08 mm ⁴	27,6 %	.
Palolapaarteen mitoitus			
Kun halutaan mitoittaa ristikon paloalapaarre, valitaan alapuolinen palonsuojaus ja vaadittu palonkesto aika kohdasta "puuvälipohjan palomitoitus" sekä yläpuolinen palotilanne ja vaadittu palonkesto aika kohdasta "puupalkin mitoitus palotilanteessa".			
<u>Nimellinen jäännöspoikkileikkaus</u>			
Alapuolinen palo			
$A_{ef} =$	66825,0 mm ²		
$W_{y,ef} =$	4510687,5 mm ³	100,0 %	Ei hiiltymää
$I_{y,ef} =$	9,1E+08 mm ⁴	100,0 %	.
Yläpuolinen palo			
$A_{ef} =$	23852,0 mm ²		
$W_{y,ef} =$	1415218,7 mm ³	31,4 %	.
$I_{y,ef} =$	2,5E+08 mm ⁴	27,6 %	.

		Työn nro	0	Rakennelaskelmat	
		Tekijä	JEJ	Pos.	xx xx
		Päiväys	6.1.14	Sivu	E3 013
Rakennuskohde		Sisältö			
Laskurin kehitys, versio 0.6		Puurakenteisten välipohjien laskentaohjelma			
		Vertailulaskelma 2, puu-betoniliittolaatta			
Mitoitustapa		Puupalkki			
Palotilanteen rasitukset					
η_{fi} =	0,6				
$Q_{d,fi}$ =	6,2 kN/m				
$M_{d,fi}$ =	27,9 kNm	$V_{d,fi}$ =	18,6 kN		
Materiaaliominaisuudet					
<u>Välipohjan palomitoitus/</u>		<u>Puupalkin palomitoitus/</u>			
paloalapaarteen mitoitus alapuoliselle palolle		paloalapaarteen mitoitus yläpuoliselle palolle			
a_0 =	-				
a_1 =	-				
$k_{mod,fi}$ =	-	$k_{mod,fi}$ =	1,00		
b_0 =	-				
b_1 =	-				
$k_{mod,E,fi}$ =	-	$k_{mod,E,fi}$ =	1,00		
$\gamma_{M,fi}$ =	-	$\gamma_{M,fi}$ =	1		
k_{fi} =	-	k_{fi} =	1,15		
k_{cr} =	-	k_{cr} =	0,67		
<u>Poikkileikkauksen taivutuskestävyys</u>		<u>Poikkileikkauksen taivutuskestävyys</u>			
a =	- mm	a =	200 mm		
L_{ef} =	- mm	L_{ef} =	912 mm		
c =	-	c =	0,71		
$\sigma_{m,crit}$ =	- N/mm ²	$\sigma_{m,crit}$ =	109,0 N/mm ²		
$\lambda_{rel,m}$ =	-	$\lambda_{rel,m}$ =	0,54		
k_{crit} =	-	k_{crit} =	1,00		
<u>Ilman kiepahdusta</u>		<u>Ilman kiepahdusta</u>			
$\sigma_{m,d,fi}$ =	- N/mm ²	$\sigma_{m,d,fi}$ =	19,7 N/mm ²		
$f_{m,d,fi}$ =	- N/mm ²	$f_{m,d,fi}$ =	36,8 N/mm ²		
	-		54 % OK!		
<u>Kiepahdus huomioidaan</u>		<u>Kiepahdus huomioidaan</u>			
$\sigma_{m,d,fi}$ =	- N/mm ²	$\sigma_{m,d,fi}$ =	19,7 N/mm ²		
$k_{crit} f_{m,d,fi}$ =	- N/mm ²	$k_{crit} f_{m,d,fi}$ =	36,8 N/mm ²		
	-		54 % OK!		
<u>Poikkileikkauksen leikkauskestävyys</u>		<u>Poikkileikkauksen leikkauskestävyys</u>			
k_{cr} =	0,67	k_{cr} =	0,67		
$T_{d,fi}$ =	- N/mm ²	$T_{d,fi}$ =	1,2 N/mm ²		
$f_{v,d,fi}$ =	- N/mm ²	$f_{v,d,fi}$ =	1,7 N/mm ²		
	-		71 % OK!		
<u>Palkin taipuma palotilanteessa</u>		<u>Palkin taipuma palotilanteessa</u>			
$w_{inst,fi}$ =	- mm	$w_{inst,fi}$ =	30,3 mm		
$w_{inst,fi,sall}$ =	- mm	$w_{inst,fi,sall}$ =	40,0 mm		
	-		76 %		

	Työn nro	0	Rakennelaskelmat						
	Tekijä	JEJ	Pos.	xx xx					
	Päiväys	28.1.14	Sivu	F1	014				
Rakennuskohde Laskurin kehitys, versio 0.6	Sisältö Puurakenteisten välipohjien laskentaohjelma Vertailulaskelma 2, puu-betoniliittolaatta								
Puu-betoniliitoksen liittimet <u>Liittimen valinta</u> Liintyyppi <input type="text" value="SFS VB vinoruuvaus 45-45, GL32"/> <input type="text" value="Nro 4"/>									
<u>Liittimen siirtymäkertoimet ja ominaiskestävyys</u> $K_{ser} = 16800 \text{ N/mm}$ Liittimen siirtymäjäykkyys käyttörajatilassa $K_u = 11200 \text{ N/mm}$ Liittimen siirtymäjäykkyys murtorajatilassa $R_k = 10800 \text{ N}$ Liittimen ominaiskestävyys <u>Liittimen virumakerroin</u> $k_{def} = 0,6$									
HUOM! Liittimet mitoitetaan jäykälle liitokselle									
<u>Liitinjako</u> $L = 6000 \text{ mm}$ $j = 1$ jaksoa Jaksojen lukumäärä palkin puolikkaalla $n_r = 2$ kpl Rinnakkaisten liitinten lukumäärä (tarkistettava mahtuvatko liittimet!) $n_i = 15$ kpl Liittimen lukumäärä/jakso									
Jakso	1	-	-	-	-	-	-	-	
$n_i =$	15	-	-	-	-	-	-	-	kpl
$\Sigma n_i =$	15	-	-	-	-	-	-	-	kpl
$x_{0i} =$	0	-	-	-	-	-	-	-	mm
$x_{1i} =$	3000	-	-	-	-	-	-	-	mm
$l_i =$	3000	-	-	-	-	-	-	-	mm
$s_{liitin} =$	200	-	-	-	-	-	-	-	mm
$s_{min} =$	200 mm							$n_{tot} = 30$	kpl
$s_{vaad} =$	80 mm	40 % OK!						$n_{tot} * n_r = 60$	kpl
$s_{max} =$	200 mm								
$s_{ef} =$	200 mm								
<u>Liitinrasitukset murtorajatilassa</u> Määräävä kuormitusyhdistelmä KY2 alkutilassa Keskipitkä aikaluokka									
$k_{mod} =$	0,8								
$\gamma_M =$	1,2								
$R_d =$	7200 N								
$V_d =$	31,03 kN								
$T_{d,max} =$	66,32 kN/m								
Jakso	1	-	-	-	-	-	-	-	
$T_{d,max,i} =$	66,3	-	-	-	-	-	-	-	kN
$s_{liitin} =$	200	-	-	-	-	-	-	-	mm
$F_{d,max,i} =$	6632	-	-	-	-	-	-	-	N
KA	92 %	-	-	-	-	-	-	-	
KA. MAX	92%	OK!							