

Alexi Nurminen

Massiivitiilirakennuksen välipohjan uusiminen puurakenteiseksi välipohjaksi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

30.4.2018

Tekijä Otsikko	Alexi Nurminen Massiivitiilirakennuksen välipohjan uusiminen puurakenteiseksi välipohjaksi
Sivumäärä Aika	62 sivua + 11 liitettä 30.4.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Rakennetekniikka
Ohjaajat	Ryhmäpäällikkö, Timo Lahti Lehtori, Jouni Kalliomäki
<p>Tämä insinööri työ tehtiin Optiplan Oy:n korjausrakentamisen puolella työskentelevien rakennesuunnittelijoiden käyttöön ja sen sisältö on tarkoitettu hyödynnettäväksi suunnittelu-prosessissa. Työssä tutkittiin 1900-luvun alun massiivitiilirakennuksien puurakenteisten välipohjien kokonaisvaltaista uusimista kertopuu (LVL) välipohjaksi ja selvitettiin näiden eri rakenneratkaisujen toimivuutta sekä tehokkuutta.</p> <p>Työssä hyödynnettiin alan kirjallisuutta, internet lähteitä sekä asiantuntijoiden kommentteja. Tärkeimpinä lähteinä toimivat Eurokoodi 5 (SFS-EN1995-1-1+1-2) ja tämän kansallinen liite sekä puufon lyhennetty suunnitteluohje ja RIL 205-1-2017 puurakenteiden suunnitteluohje.</p> <p>Työssä käsiteltiin tärkeimmät tekijät, jotka vaikuttavat uuden välipohjan rakentamiseen. Rakennuksen kokonaisstabiiliteetti ja vanhat rakenteet olivat uuden välipohjan rakentamisen kannalta merkittävässä roolissa. Näiden lisäksi painotettiin uuden välipohjan geometriaa, liitosta täystiilimuuraukseen, rakenteellista mitoitusta ja pintarakenteiden valintaa.</p> <p>Insinööri työssä käytiin läpi myös massiivitiilirakennuksien ja 1900-luvun vaihteen välipohjien historiaa ja näiden ominaisuuksia, sillä haluttiin keskittyä vanhan ja uuden välipohjan vertailemiseen sekä näiden vaikutuksesta rakennuksen rakenteellisiin ominaisuuksiin.</p> <p>Lopputuloksena tehtiin kattava excel-laskentapohja, joka yhdistää välipohjan kaikki mitoitusvaiheet yhdeksi suunnitteluvaiheeksi. Laskentapohja huomioi kaikki välipohjan uusimisen reunaehdot ja tästä syystä sitä voidaan hyödyntää puurakenteisten välipohjien suunnitteluprosesseissa. Lisäksi työssä vertailtiin soveltuvia vaihtoehtoja tyyppitilanteisiin.</p>	
Avainsanat	Laskentapohja, Massiivitiilirakennus, Rakenteellinen mitoitus

Author Title Number of Pages Date	Alexi Nurminen Renewal of Intermediate Flooring of Massive Brick Building into Wooden Structure 62 pages + 11 appendices 30 April 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Degree Programme in Civil Engineering
Professional Major	Structural Engineering
Instructors	Timo Lahti, Group Leader Jouni Kalliomäki, Senior Lecturer
<p>This engineering thesis was produced for the structural engineers of the repair construction department of Optiplan Oy and its content is planned to function as an additional resource during the planning process. The aim of this thesis was to research how to comprehensively renew the wooden intermediate floors of massive brick buildings from the 20th century into intermediated laminated veneer lumber floors (LVL) and to determine the functionality and effectiveness of these structural solutions.</p> <p>The study was conducted by applying field specific literature, internet sources and annotations from professionals of the industry. Primary sources used in this study were Eurocode 5 (SFS-EN1995-1-1+1-2) and its national appendix as well as the shortened version of the design manual by Puuinfo and the RIL 205-1-2017 design manual for wooden structures.</p> <p>The study covered the primary factors that affect the construction of a new intermediate floor. The overall stability and old structures played a significant role in the construction process of the intermediate floor. In addition, the emphasis was on the geometry of the new intermediate floors, the jointing to a massive brick masonry, calculations of its structural dimensioning and the choice of the surface structure.</p> <p>In addition to these primary factors, this thesis also focused on the history and the features of massive brick buildings and the 20th century intermediate floors. The purpose was to concentrate on comparing the old and the new intermediate floorings and their impact on the structural features of the building.</p> <p>As a result, a comprehensive excel calculation spreadsheet was compiled to combine the various calculation phases of the intermediate flooring all together to a single design phase. The calculation spreadsheet takes into account all the preconditions of the intermediate floor renewal process and therefore it can also be utilized in the planning processes of the wooden intermediate floorings. The options that apply to the typical examples were also taken into consideration.</p>	
Keywords	Calculation spreadsheet, massive brick building, structural calculations, dimensioning

Sisällys

Lyhenteet

1	Insinööriyön johdanto ja tavoite	4
2	Vanhat rakenteet ja niiden reunaehdot välipohjan uusimiselle	5
2.1	Lähtötietotarpeet välipohjan uusimiselle	5
2.2	Uusimiseen vaikuttavat suojeluvaatimukset	6
2.3	Massiiviset täystiilimuurit 1900-luvun vaihteessa	6
2.3.1	2 ja 2½-tiilen massiiviset täystiilimuurit	6
2.3.2	Muut täystiilimuuraukset	8
2.4	Tiiliseinän rakenteellinen mitoitus	9
2.4.1	Tiilimuurauksen alustava kestävyys tarkastelu	9
2.5	Välipohjat 1900-luvun vaihteessa	13
2.5.1	Yleistä	13
2.5.2	Puupalkkirakenteinen välipohja (-1900)	13
2.5.3	I-rauta- ja ratakiskovälipohjat (1900-1915)	14
2.5.4	Rauta/teräsbetonivälipohjat (1905-)	15
2.5.5	Alalaattapalkisto (1910-1950)	16
2.5.6	Vanhan välipohjan jäykistyksen huomioiminen	18
3	Uuden välipohjan palkkien rakenteellinen mitoitus	22
3.1	Puurakenteiden suunnitteluperusteet	22
3.2	Murtorajatila (MRT)	23
3.2.1	Taivutus	24
3.2.2	Leikkaus	24
3.2.3	Kiepahdus	25
3.2.4	Leimapaine	26
3.2.5	Läpiviennit	27
3.3	Käyttörajatila (KRT)	29
3.3.1	Taipuma	29
3.3.2	Värähtely	30
3.4	Liitos tiilimuuraukseen	33
3.4.1	Konsoli	34

3.4.2	Loveaminen	35
4	Uuden välipohjan pintarakenteet	37
4.1	Yleistä ja vaatimukset	37
4.1.1	Akustiset vaatimukset	39
4.1.2	Palotekniset vaatimukset	39
4.2	Nykyvaatimukset täyttävät tyypilliset pintarakenteet	45
4.2.1	Kipsilevyrakenteiset pinnat	45
4.2.2	Kelluva betonilaatta	47
4.2.3	Kelluva massiivikipsilaatta	49
5	Insinööriyötä varten tehty laskentapohja	51
5.1	Välipohjan suunnitteluprosessi	51
6	Yhteenveto	58
	Lähteet	60
	Liitteet	
	Liite 1. Excel laskentapohja	
	Liite 2. Konsoli mitoitus	

Lyhenteet

Fraktiili	Prosenttipiste; rajaa tietyn prosenttimäärän havaintoarvoja alapuolelleen.
K-jako	Annettu mitta keskeltä keskelle. Esimerkiksi Kerto-S palkkien jako välipohja rakenteessa.
KRT	Käyttörajatila
LVL	Laminated veneer lumber. Havupuuvuiluista liimaamalla valmistettu järeä palkki- ja puulevytuote.
MPa	Jännityksen ja paineen yksikkö, Megapascal ($10^6 \cdot \text{Pa}$. Mpa) = N/mm^2 tai MN/m^2
MRT	Murtorajatila. Rakenteiden mitoituksessa käytettävä rajatila, jossa rakenteiden todellisia kapasiteetteja heikennetään ja kuormien arvoja suurennetaan normien antamien ohjeiden mukaisesti.
N	Voiman yksikkö, Newton. Rakenteiden kuormissa yksikkö kN ($10^3 \cdot \text{N}$). $1\text{kN} \approx 100 \text{ N}$.
NA	National Annex eli kansallinen liite. Jos eurokoodi poikkeaa tästä, tulee suunnittelussa noudattaa niitä.
Pinta-rakenteet	Välipohjan rakennetyypissä kaikki muut paitsi kantavat kerto-s palkit.
RIL	Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

1 Insinöörityön johdanto ja tavoite

Tässä insinöörityössä perehdytään massiivitiilirakennuksen välipohjan uusimiseen puurakenteiseksi välipohjaksi. Massiivitiilirakennuksilla tarkoitetaan rakennuksia, joiden kantavat ulkoseinät ja tyypillisemmin myös kantavat väliseinät on tehty noin 600 mm paksuisella tiilimuurauksella. Tämä rakennustyyli oli Suomessa yleinen 1900-luvun vaihteessa ja alkupuolella ja eniten näitä näkee pääkaupunkiseudulla. Suurin osa näistä rakennuksista alkaa olla jo yli 100 vuotta vanhoja ja niiden korjaustarve alkaa olla ajankohtainen. Näissä rakennuksissa tyypillisemmin rungot halutaan säilyttää, mutta välipohjat alkavat olla huonossa kunnossa ja niille halutaan saada uusi ratkaisu tai muuttaa niiden käyttötarkoitusta.

Puurakenteinen välipohja rajataan kantavien palkkien osalta LVL-palkeiksi. Työssä käsitellään puurakenteiden suunnittelua ja mitoitusta, eurokoodin määräysten mukaisesti. Niiden perusteella luodaan yritykselle laskentapohja tämänkaltaisten tapauksien mitoittamiseksi. Laskentapohjalla säästetään suunnitteluresursseja, parannetaan toteutusta ja minimoidaan riskejä. Insinöörityö tehdään Optiplan Oy:lle.

Optiplanilla on jo olemassa laaja laskentapohjakirjasto puurakenteisten välipohjien mitoittamiseen. Laskentapohjien tarkoitus on parantaa päivittäistä suunnittelutyötä ja minimoida laskennassa tehdyt virheet. Tällä hetkellä ongelmana on, että ei ole vain yhtä yleistä laskentapohjaa puurakenteisen välipohjan mitoittamiseen, vaan suunnittelija joutuu käyttämään useita pohjia. Näin ollen virheiden mahdollisuus suurenee ja mitoituksen yhteenvetotulosteita joutuu tekemään useampia. Tämä johtaa siihen, että luonnossuunnitteluvaiheessa suunnittelija joutuu kiireellisen aikataulun takia tarkastelemaan omasta mielestään vain määrävän ehdon. Näin ollen pääsuunnitteluvaiheessa voi tästä syystä tulla isoja muutoksia suunnitteluun. Yhtenäisen laskentapohjan tekeminen ei nykyään vaadi tietokoneen laskentakapasiteetiltakaan yhtään sen enempää, kuin erinäiset laskentapohjat.

Työssä käsitellään kantavien välipohjapalkkien liitos tiilimuuraukseen, josta rajataan konsoliliitos pois, johtuen vanhan tiilen huonosta kestävydestä. Palo- ja äänimitoitukset rajattiin taulukkomitoitukseen.

2 Vanhat rakenteet ja niiden reunaehdot välipohjan uusimiselle

2.1 Lähtötietotarpeet välipohjan uusimiselle

Tässä kappaleessa käydään läpi vanhat rakenteet ja niiden asettamat reunaehdot välipohjan uusimiselle. Vanhan välipohjarakenteen uusimiseen vaikuttavia ominaisuuksia ovat esimerkiksi seuraavat asiat:

- Välipohjan vaikutus rakennuksen kokonaisstabiileettiin
- Rakenteen tyyppi
- Rakenteen materiaalit
- Suojeluvaatimukset
- Nykyinen liitos tiilimuurukseen
- Rakenteen paino
- Rakenteen kunto

Ennen purkusuunnitelman tekemistä on hyvä selvittää vanhan välipohjarakenteen rakennetyyppi, kantavien rakenteiden kunto, kantavien rakenteiden liitos tiilimuurukseen ja välipohjan purkamisen vaikutus rakennuksen kokonaisstabiileettiin. Nämä voidaan selvittää tekemällä rakenteeseen muutamia rakenneavauksia tarvittaviin kohtiin ja silmäilemällä muuten rakennetta.

Välipohjille pitää tehdä haitta-aine kartoitus, jonka suorittaminen tuli pakolliseksi kaikkiin ennen vuotta 1994 rakennettuihin rakennuksiin. Haitta-aineita voi löytyä varsinkin välipohjan pintamateriaaleista sekä kantavista puupalkeista. Jos haitta-aineita löydetään, tehdään tarvittavat haitta-aine purut asianmukaisin keinoin. [16,17]

2.2 Uusimiseen vaikuttavat suojeluvaatimukset

Ennen rakennuksen rakenteisiin kajoamista, pitää selvittää rakennusta koskevat suojelumääräykset. Rakennukselle annetaan suojelumääräys, jos sillä esimerkiksi on rakennustaiteellista – tai kulttuurihistoriallista arvoa, se on maisemakulttuurin kannalta arvokas, puutarhahistoriallisesti tai puutarhataiteellisesti arvokas tai rakennuksella on jostain muusta erityispiirteistä nouseva arvo. Suojelumääräyksen tavoite taas on rakennuksen kulttuurihistoriallisten arvojen vaaliminen, purkamisen kieltäminen, ominaispiirteiden vaaliminen tai säilyttävän korjauksen edistäminen. Joissain tapauksissa voi suojelumääräys määrätä uuden välipohjan tyyppin esimerkiksi ovatko välipohjan kantavat rakenteet puuta vai terästä. Suojelumääräys esitetään suojeluluokittain, jotka ovat: SR-1, SR-2 ja SR-3. Näistä SR-1 on vaativin. [5,6]

2.3 Massiiviset täystiilimuurit 1900-luvun vaihteessa

2.3.1 2 ja 2½-tiilen massiiviset täystiilimuurit

Uusittava välipohja liitetään vanhaan seinään usein, joko konsolilla tai loveamisella. Asuinkerrostalojen yleisin ulkoseinärakenne oli aina toiseen maailmansotaan asti massiivinen täystiilimuuuri. Useimmiten tämä ratkaisu oli kahden suomalaisen normaalitiilen paksuinen, jolloin seinän kokonaisuus molemmilta puolilta rapattuna oli noin 600 mm. Sisäpinnat olivat yleensä rapattu ja maalattu tai tapetoitu, kun taas julkisivu joko puhtaaksi muurattu tai vaihtoehtoisesti rapattu sekä maalattu kalkkipitoisella maalilla. Vielä 1900-luvun alussa arvokkaimmissa asunnoissa sisäpinta saatettiin verhota koristeellisella puupaneelilla. [1]

Suomalainen normaalitiili on yleisimmin punatiiltä, jonka mitat ovat 270 mm x 130 mm x 75 mm. Muitakin tiilikokoja toki löytyy massiivitiilirakennuksista, mutta nämä ovat yleensä hieman pienempiä. Tämä johtuu siitä, että ulkomailta tuodut tiilet olivat yleisesti pienempiä kooltaan. Punatiilet olivat tyypillisemmin täystiiliä ja näiden väri saattoi vaihdella muurauksessa. Tämä aiheutui siitä, että punatiiltä poltettiin eri lämpötilassa ja näin ollen saatiin tiilille eri puristuskestävyyksiä. Mitä punaisempi eli rautapalanut tiili sitä isommassa asteessa sitä on poltettu ja sitä suurempi on puristuslujuus. Tämä perustuu tiilen tilavuuspainoon, joka kasvaa poltettaessa ja näin ollen puristuslujuus yleensä lisääntyy. Yleensä kestävämmät tiilet sijoitettiin seinärakenteessa sisäpuolelle

ja ulkopintaan muurattiin vaaleampia tiiliä. Poltetuimpien tiilien lämmöneristyskyky kuitenkin heikentyy polton yhteydessä. [1]

Jos kivitaloissa oli kerroksia viisi tai enemmän, niiden pohjakerrokset muurattiin aluksi vieläkin paksummiksi. Helsingin rakennusjärjestykset vaativat vuosina 1875-1917 alimman kerroksen ulkoseinän paksuudeksi, jopa 2½ tiilen täystiilimuurausta. [1]

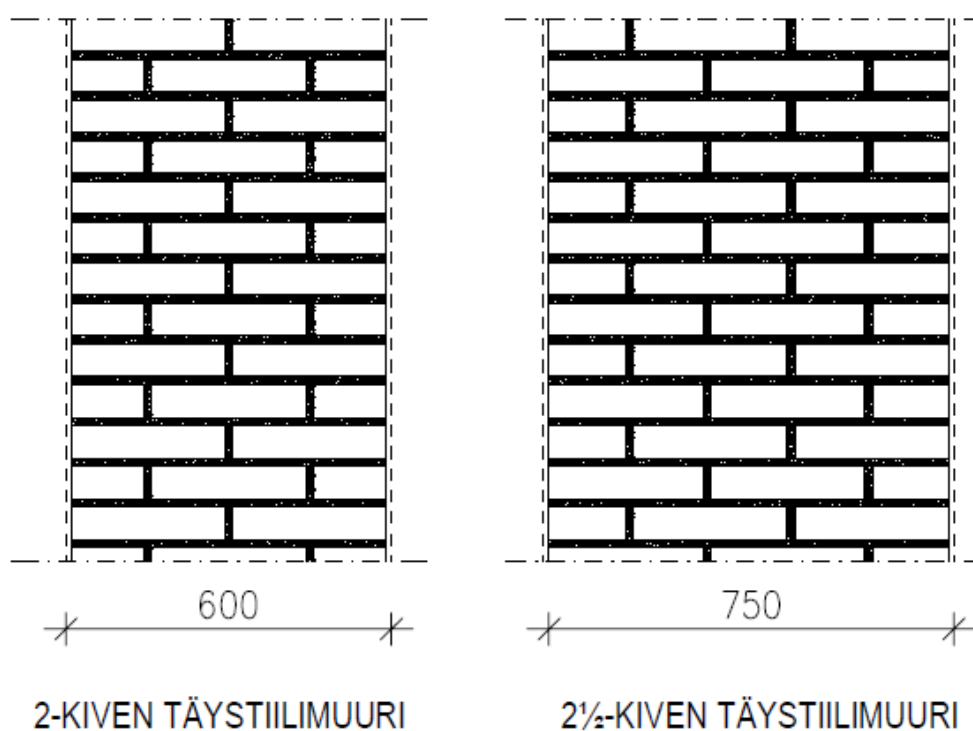
Molemmin puolin rapattuna tämän rakenteen paksuudeksi saatiin suomalaista normaaliitiiltä käytettäessä 750 mm. Ennen 1900-lukua isoimmissa kaupunkirakennuksissa nähtiin, jopa kolmen tiilen muurauksia (900 mm). Nämä ratkaisut koskivat lähinnä pilareita, joita jouduttiin rakentamaan isojen näyteikkunoiden takia. Näyteikkunat veivät suuren osan julkisivusta, joten kuormat piti viedä pilareiden kautta anturoille. 1900-luvun vaihteessa pilarien muuraaminen korvattiin raudoitettulla betonilla. [1]

Massiivisen täystiilimuurauksen tehtävä ulkoseinässä muodostui kantavasta ja eristävästä vaikutuksesta. Muurauksen paksuus palveli enemmänkin eristävyyttä, kuin kantokykyä. Yleensä ajateltiin, että tarvittiin kahden tiilen paksuinen muuraus saavuttamaan tarvittava lämmöneristys. Myös useat arkkitehdit kuten esimerkiksi Alexander Ruti ja G.E. Asp 1860-luvulta tukivat tätä toteamusta aina toiseen maailmansotaan asti jolloin kahden tiilen muuraus oli tyypillinen perusratkaisu, kunnes keksittiin parempia eristeratkaisuja. (Neuvonen, Mäkiö & Malinen 2002, 64.) Vielä vuonna 1938 julkaistussa talonrakennustekniikan yleisesityksen säännössä sanottiin, että ”punaisista tiilistä muuratut ulkoseinät on tehtävä kahden tiilen vahvaisiksi, jotta ne olisivat tarpeeksi lämmönpitäviä; muussa tapauksessa ne on jollakin tavoin eristettävä siten, että vastaava tulos saavutetaan.” (Neuvonen, Mäkiö & Malinen 2002, 65.) [1]

Ensimmäisten rakennusjärjestysten mukaan ulkoseinät saivat olla myös ohuempia ja pohjakerrosta lukuun ottamatta vuoteen 1895 asti vain 1½ tiilen paksuisia sekä vuosina 1895-1917 kahdessa ylimmässä kerroksessa vain 1¾ tiilen paksuisia. Vasta tämän jälkeen määritettiin kahden tiilen muuraus seinissä kerrosluvusta huolimatta. Samassa määräyksessä todettiin ulkoseinän tiilen materiaalin (punatiiltä) pakkasenkestävyys. [1]

Lämmöneristävyys 1900-luvun alussa kuvattiin k-arvon (kcal/m²h°C) eli lämmönläpäisyluvun avulla. Nykyään tämä luku ilmoitetaan U-arvolla (W/m²K) ja mittayksikkö on vaihtunut SI-järjestelmän mukaiseksi. Kahden tiilen ulkoseinän k-arvoksi, saadaan 0,98

kcal/m²h°C, mikä U-arvona antaisi lämmönläpäisykertoimeksi 1,14 W/m²K muuntoker-
toimen ollessa 1,163. Kahden tiilen muurauksesta, joka on toteutettu punatiilellä ja se-
mentinsekaisella kalkkilaastilla sekä molemmin puolin rapatulla seinällä saadaan k-
arvoksi 0,89 kcal/m²h°C eli 1,04 W/m²K. Tämä oli paras mitattu arvo tämän tyyppisissä
ulkoseinissä. Molemmat arvot ovat huomattavan korkeita verrattuna nykyajan vastaa-
vaan lämmöneristysvaatimukseen 0,28 W/m²K. Massiivisessa tiilirakenteisessa seinäs-
sä pitää kuitenkin huomioida, että vaikka sillä on heikko lämmöneristyskyky, lämpöka-
pasiiteetti eli lämmönvarauskyky säilyy korkeana. Tällä taas on merkitystä rakennuksen
lämpötaloudessa. [1]

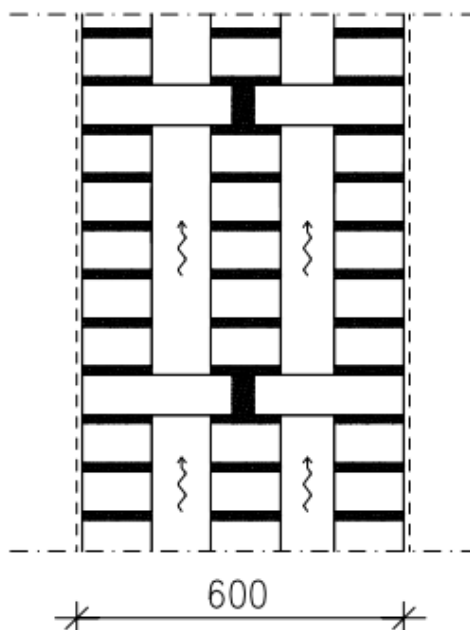


Kuva 1. Yleisimmät täystiilimuurit.

2.3.2 Muut täystiilimuuraukset

1900-luvun vaihteessa on ilmeisesti käytetty muitakin massiivisiä täystiilimuureja ja tämän tuli esiin eräässä Optiplan Oy:n projektissa, jossa olin itsekin osallisena. Ky-

seessä on Järvenpäässä sijaitseva korjauskohde. Rakennus on kaksikerroksinen, vuonna 1910 valmistunut rakennus, johon on tehty laajennussiipi vuonna 1912. Rakennuksen kantavat seinät on tehty kolmesta suomalaisesta normaalitiilestä, joiden väliin on jätetty ilmarako. Rakenteessa oli jätetty tietyin välein poikittain meneviä tiilisiteitä jäykistämään rakennetta. Kokonaispaksuudeksi tälle seinärakenteelle saadaan 600 mm. Alapuolella selventävä kuva rakennetyypistä.



Kuva 2. Rakennetyyppi, muurausten välissä ilmaraoit ja poikittain menevät tiilisiteet.

2.4 Tiiliseinän rakenteellinen mitoitus

2.4.1 Tiilimuurausten alustava kestävyden tarkastelu

Muurausta käytetään yleisimmin puristusrasitusten alaisissa rakenteissa. Tästä syystä muuratun rakenteen puristuslujuus on perussuure sen lujuutta arvioitaessa. Yksi tärkeimmistä tekijöistä muuratuissa seinärakenteissa on tiilien ja saumalaastien kunnon tarkastelu, sekä muurausten pysyminen puristettuna rakenteena uuden välipohjan valmistumisen myötä. Muuratun rakenteen taivutus- ja leikkauslujuuksiin vaikuttaa ratkaisevasti kivi- ja laastipintojen välinen tartunta. Tiilellä on hyvä puristuslujuus, mutta huono vetolujuus, eli se on hyvin samantapainen materiaali tässä suhteessa kuin beto-

ni. Näin ollen on tärkeää suunnitella tiilirakenteet puristetuiksi. Uuden tiilen puristuslujuus on 20...50 MPa. Vanhan 1900-luvun rakennuksen tiilien puristuslujuuden määrittäminen on haastavaa, mutta omien havaintojeni mukaan, jotka perustuvat Optiplan Oy:n projekteihin, niin lujuus on noin 6...12 MPa luokkaa massiivitiilirakennuksissa. Tiilen puristuskestävyys saadaan seuraavasta kaavasta. [15,2,26,27,28]

$$R_d = b * h * R \quad (1)$$

missä,

b	Tiilen leveys
h	Tiilen korkeus
R	Tiilen puristuskestävyys

Yksittäisen tiilen puristuslujuus ei ole niin merkittävä tekijä, mutta sekin on hyvä suunnittelijan selvittää. Näin ollen tiilen puristuslujuuden selvittyä, selvitetään koko tiilimuurin puristuslujuus seuraavalla tavalla. [15,2,27,28]

$$f_k = K * f_b^\alpha * f_m^\beta \quad (2)$$

missä,

K	Vakiokerroin
α ja β	Vakioita
f_b	Muurauskappaleiden normalisoitu puristuslujuuden keskiarvo vaikuttavan voiman suunnassa (N/mm ²)
f_m	Laastin puristuslujuus (N/mm ²)

RIL 206-2010 muurattujen rakenteiden suunnitteluohjeessa ei oltu määritelty laastin puristuslujuutta umpitiiltä käytettäessä. Tästä syystä seuraavassa kuvassa on esitetty Saksalaisesta suunnitteluohjeesta otettu taulukko, joka kertoo laastin lujouden umpitiiltä käytettäessä. Tämä suunnitteluohje perustuu eurokoodeihin. [15,2,27,29]

Tafel 7.14c Druckfestigkeit von Einstein-MW aus Vollziegeln sowie Kalksand-Vollsteinen und Kalksand-Blocksteinen mit NM

Stein- klasse	f_k [N/mm ²]			
	NM II	NM IIa	NM III	NM IIIa
4	2,8	-	-	-
6	3,6	4,0	-	-
8	4,2	4,7	-	-
10	4,8	5,4	6,0	-
12	5,4	6,0	6,7	7,5
16	6,4	7,1	8,0	8,9
20	7,2	8,1	9,1	10,1
28	8,8	9,9	11,0	12,4
36	10,2	11,4	12,7	14,3
48	10,2	11,4	15,1	16,9
60	10,2	11,4	15,1	16,9

Kuva 3. Taulukko laastin lujuudesta, jossa vasemmalla Steinklasse kertoo tiili luokan, joka määrittellään puristuslujuuden perusteella. Oikealla olevat luokat kertovat laastin lujuuden ja jos suunnittelija ei tiedä tarkalleen mitä luokkaa käyttää, niin valinta kannattaa tehdä huonoimman kestävyuden perusteella. [29]

Tiiliseinän toinen tärkeä seikka on varmistaa, että uuden välipohjan myötä tiiliseinä pysyy puristettuna eikä lähde kaatumaan vedon myötä. Tämä voidaan tarkastaa kahta alla mainittua kaavaa hyödyntämällä. Huomioitavaa on, että nämä kaavat ovat yksinkertaistettuja kaavoja, joita sovelsin perustusten ja tukimuurien rakennusteknisestä suunnittelusta. [15,2,27,28]

$$\sigma_{1.2} = \frac{N}{A} - \frac{M}{W}$$

(3)

missä,

- N Tiiliseinän puristava voima 1 metrin matkalla (normaalivoima, kN)
 A Tiiliseinän pinta-ala 1 metrin matkalla (poikkileikkausala, m²)
 M Välipohjasta aiheutuva momentti (kNm)

W Taivutusvastus (m^3)

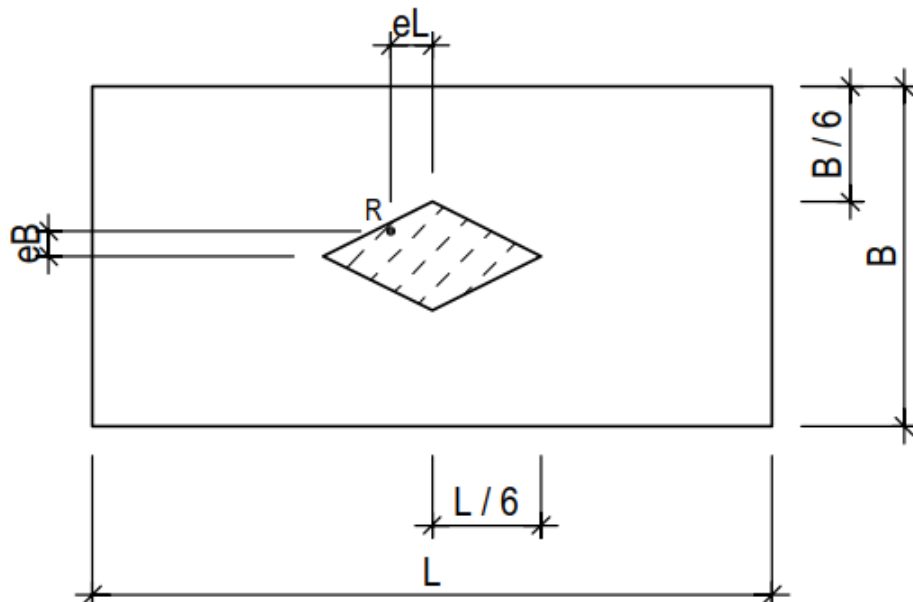
Tästä siis voidaan päätellä, että jos M/W olisi suurempi kuin N/A , niin tiilimuuraus tulisi vedetyksi. Toinen tapa tarkastella tämä on poikkileikkauksen sydänkuviolla. Sydänkuvio on poikkileikkauksen alue, jossa vaikuttava puristava normaalivoima aiheuttaa poikkileikkauksessa vain puristusjännitystilän. Eli kun puristava voima vaikuttaa poikkileikkauksen sydänkuviossa, on koko poikkileikkaus puristettu. Sydänalueen suuruus ja muoto määräytyvät kappaleen geometriasta. Sydänkuviion ja kuormituksen epäkeskisyydestä nähdään, onko poikkileikkaus puristettu. [15,2,27,28]

$$e = M / \Sigma Fy \quad (4)$$

missä,

M Välipohjasta aiheutuva momentti (kNm)

ΣFy $N+Rd$, jossa N on tiiliseinän puristava voima 1 metrin matkalla (kN) ja Rd on tiilen tukipaine (kN)



Kuva 4. Esimerkki sydänalueen sijainnista poikkileikkauksessa. Sydänalue on keskellä sijaitseva suunnikkaan muotoine alue. [15,19]

2.5 Välipohjat 1900-luvun vaihteessa

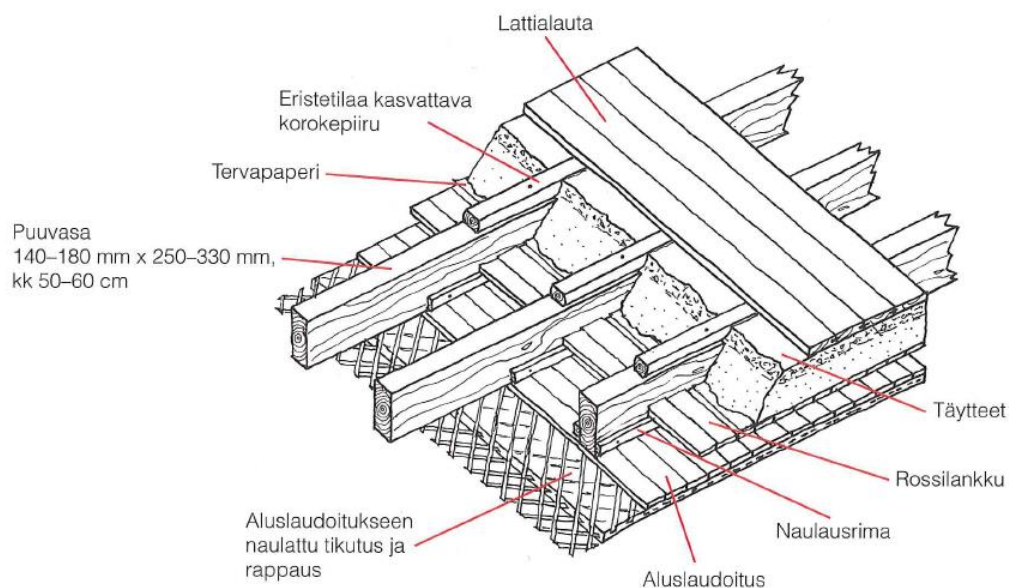
2.5.1 Yleistä

Vanhojen välipohjien rakennetyypin ja rakenneteknisten asioiden tietäminen on oleellista, vaikka vanha välipohja puretaan kokonaan. Tärkeimmiksi asioiksi tulevat vanhan välipohjan paino ja geometria, eli leveys ja paksuus. On myös hyvä tuntee näiden rakennefysikaaliset ominaisuudet. Näitä ovat esimerkiksi liitos seinärakenteeseen ja kosteuden tiivistyminen sinne. Tästä voidaan helposti päätellä, tiivistyykö kosteutta uuteen välipohjarakenteeseen myös. Seuraavissa kappaleissa on esitetty yleisimmät välipohjarakenteet 1900-luvun vaihteessa.

2.5.2 Puupalkkirakenteinen välipohja (-1900)

1900-luvun alkuvuosiin asti tavallisimmat asuinkerrostalojen välipohjat rakennettiin puusta. Yleisin tekotapa oli tehdä kantavat rakenteet jykevillä puuvasoilla, jotka olivat 100-200 mm leveitä ja 250-350 mm korkeita sahattuja tai veistettyjä hirsiiä. K-jako näissä oli tavallisimmin noin 150-300 mm. Näiden välipohjien yksi suurimmista ongelmista oli tiilimuurauksen sisään jäävän osan suojaaminen, sillä ne joutuivat helposti alttiiksi kosteudelle. Kosteuden muodostuminen muurauksen ja palkin pään väliin saatiin estettyä esimerkiksi suojaamalla päät tervalla tai tuohella, tai vaihtoehtoisesti jättämällä muuraukseen ilmakehä, jotka johtivat sisätiloista ullakolle. Muita haasteita olivat pitkät jännevälit sekä väliseinän pistekuormien varmistaminen. Näitä pyrittiin minimoimaan vasojen kylkeen naulatuilla lankuilla ja kuormien jakamisella muille palkeille. Tämän lisäksi välipohjat sidottiin tiilimuuraukseen ankkurivasoilla, joiden kiinnitysväli vaihteli kahden tai neljän palkin välillä. [1]

Puinen välipohjarakenne

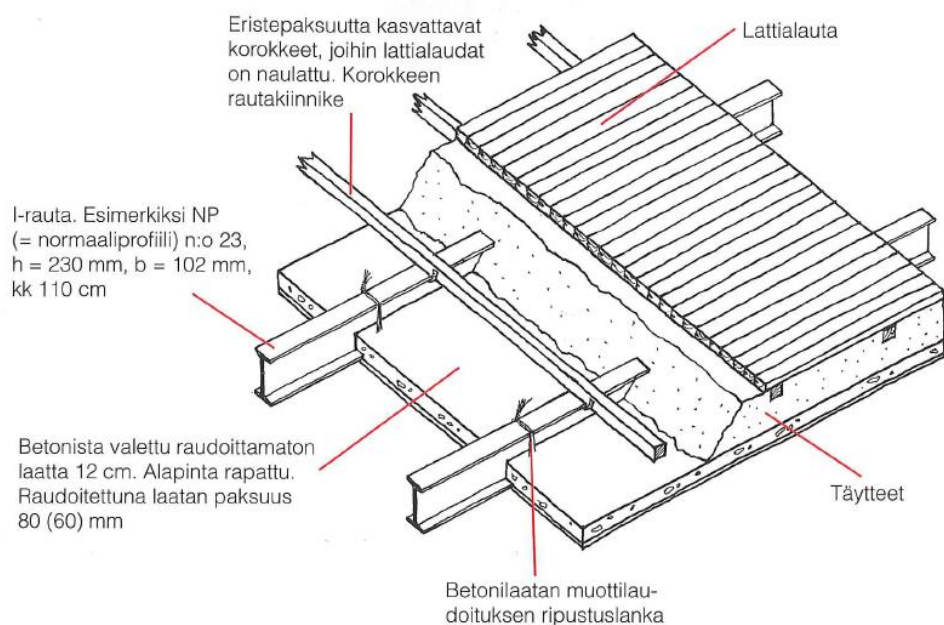


Kuva 5. Puupalkkirakenteinen välipohja. [1]

2.5.3 I-rauta- ja ratakiskovälipohjat (1900-1915)

Raudasta valmistettavia kantavia välipohjapalkkeja käytettiin jo 1800-luvun lopussa kellarin ja ensimmäisen kerroksen välillä sekä erittäin vaativissa rakennuksissa, mutta muualla ne yleistyivät vasta 1900-luvun alussa. Välipohjapalkkeja suosittiin vuoteen 1915 asti, mutta joitakin rakennuksia löytyy kyseisellä välipohjatyypillä tehtyinä vielä vuodelta 1930. Kantavina palkkeina käytettiin sekä ratakiskoja että I-palkkeja, ja näistä suosittiin enemmän I-palkkeja niiden paremman kantokyvyn takia. I-palkeista yleisimmät olivat Saksassa standardoidut normaaliprofiilit N.P tai N.Pr, joiden korkeus vaihteli 150-350 mm välillä. Näiden k-jako oli yleisesti ottaen 1000 mm ja jänneväli 5-6 metriä. Ankkurointi tiilimuuraukseen tapahtui samalla tavalla kuin puupalkeissakin eli kantavan muurauksen kylkeen niitatuilla tai pultatuilla ankkuriraidoilla. I-palkkien yleinen käyttö perustui niiden paloturvallisuuteen sekä alla mainittuun kantokykyyn. Jälkeenpäin kuitenkin huomattiin, että rauta laajenee ja menettää kantokykynsä noin 50 prosenttisesti jo 500 °C asteessa, joka täydessä palotilanteessa tapahtuu muutaman minuutin jälkeen. Edellä olevan vuoksi rautapalkkien suojaaminen tehtiin jatkossa valamalla ne betonin sisään. [1]

I-rautavälipohja



Kuva 6. I-rautavälipohja. [1]

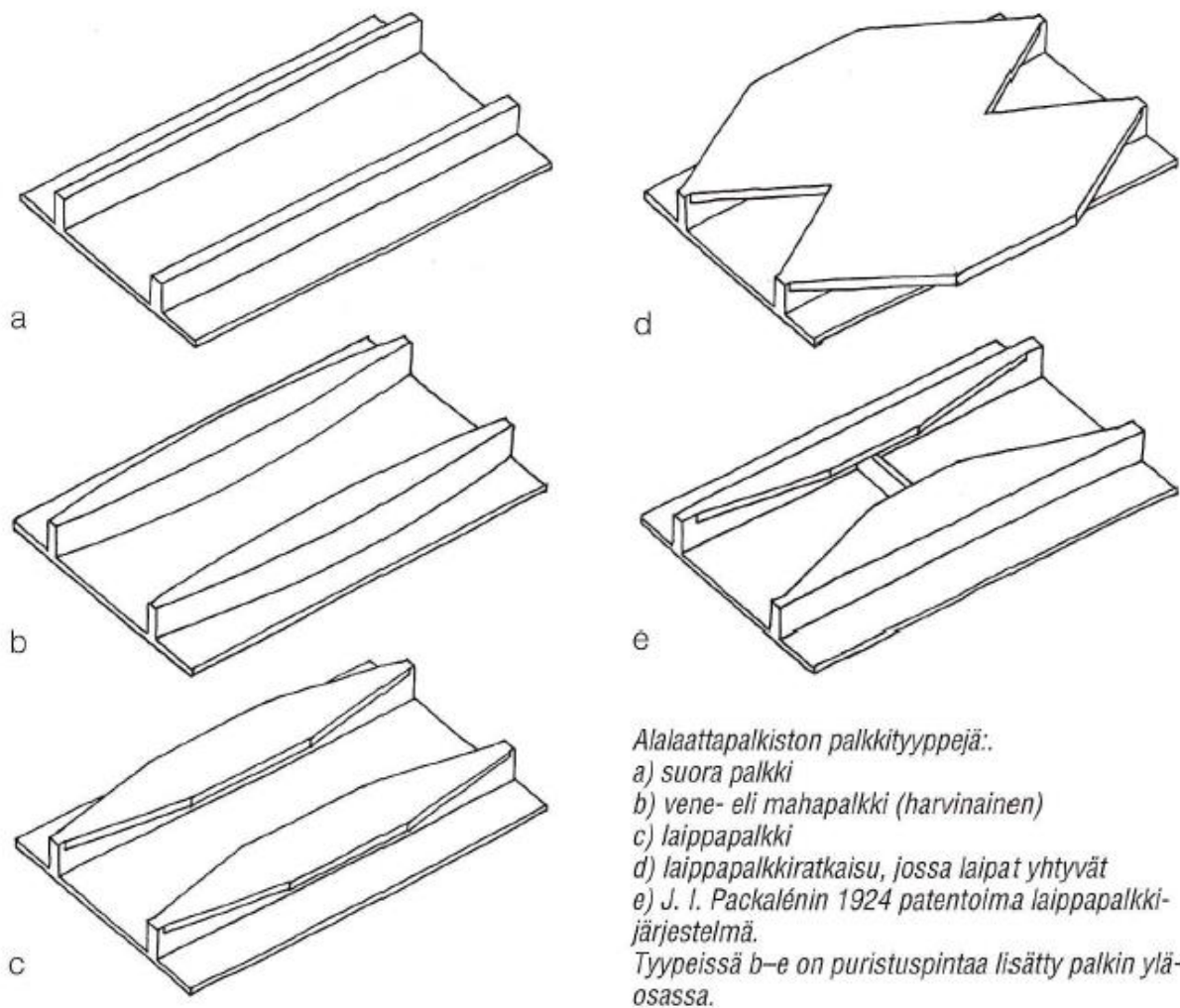
2.5.4 Rauta/teräsbetonivälipohjat (1905-)

Rautabetonivälipohjien ero rata- ja I-palkki rakenteiseen välipohjaan on siinä, että edellä mainitussa kantavana osana toimii rautapalkki, kun taas rautabetonissa rauta ja betoni toimivat yhdessä kantavana rakenteena. Raudan käyttö betonin kanssa yhdessä on mahdollista, koska niiden lämpölaajenemiskertoimet ovat tarvittavan lähellä toisiinsa. Samalla betoni toimii korroosiosuojana raudalle. Rauditus suunniteltiin siten, että puristusjäännitykset kohdistuvat lähinnä betoniin, ja vetojäännitykset rautaan. Raudituksen sijainnista oli paljon erilaisia variaatioita 1900-luvun alussa, ja ne pääosin muodostuivat sileistä pyöröraudoista. Hitsattu teräsverkko rantautui Suomeen vasta toisen maailmansodan aikoihin, mutta muualla maailmassa sitä käytettiin jo paljon aiemmin. Rautabetoni on tällä hetkellä yksi maailman käytetyimmistä ja tärkeimmistä rakennusmateriaaleista, jossa rauta on kuitenkin korvattu teräksellä ja betonin laatu on muuttunut. [1]

2.5.5 Alalaattapalkisto (1910-1950)

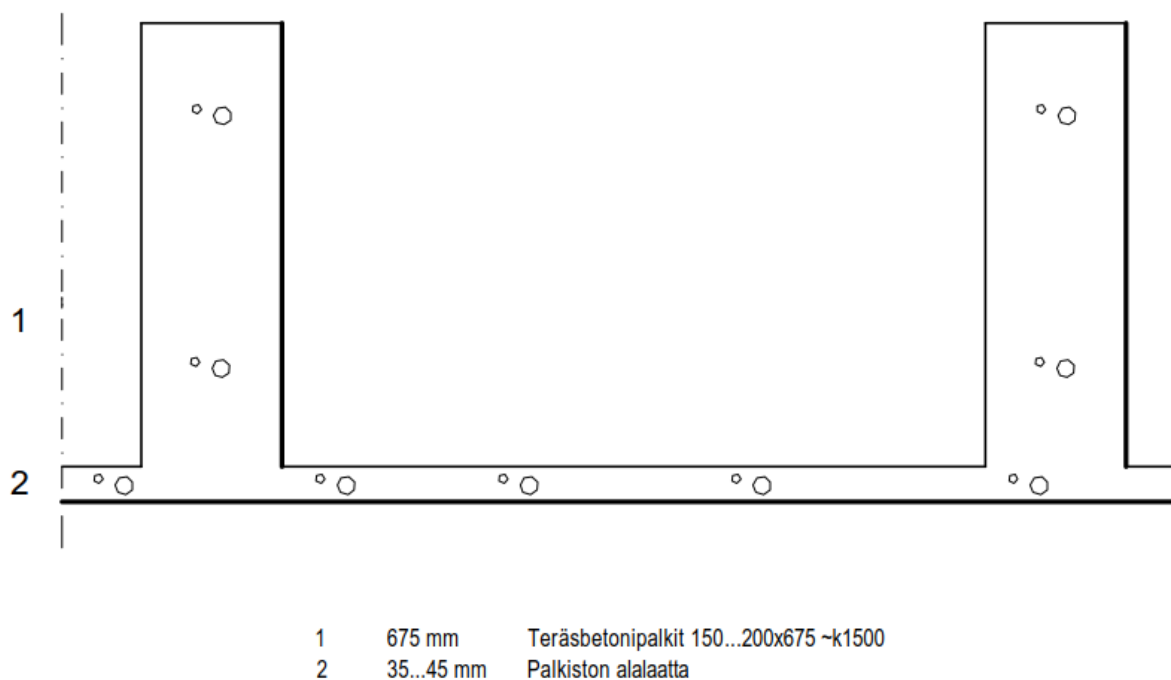
Alalaattapalkistoja alettiin valmistamaan vuonna 1910, mutta vasta vuonna 1920 ne syrjäyttivät rautabetonirakenteiset välipohjat yleisimpien rakenteiden joukosta. Alalaattapalkistolla tarkoitetaan kantavia rautabetonipalkkeja, jonka alapinnassa on ohut rautabetonilaatta ja jonka pintarakenne koostuu erillisestä lattiarakenteesta. Kokonaispaksuus on tyypillisimmillään 400-450 mm. Jänneväli palkeissa oli 5-6 metriä ja k-jako keskeltä keskelle 100-130 mm.

Palkkityyppejä on useita ja yksinkertaisin poikkileikkaus näistä on 300-400 mm korkea ja 100-150 mm leveä suorakaide, joka menee tasalevyisenä tuelta tuelle. Palkkeja muotoiltiin yleensä jännevälin pituudesta ja kuormista riippuen. Yksi näistä ratkaisuista oli vene- eli mahapalkki, missä palkkia venytetään jännevälin keskeltä. Näin minimoitiin palkin keskelle tuleva puristusjännitys. Variaatioita näistä on useita ja useimmiten palkit levitettiin vain yläosasta jättäen alaosan kauttaaltaan saman levyiseksi. Ankkureita näiden kiinnittämiseen ei enää tarvittu vaan yleisimmin toinen pää liittyi tiilimuuraukseen ja toinen pää liitettiin rakennuksen rungon suuntaiseen primääripalkkiin. Yleisimmät pintarakenteet alalaattapalkistolla ovat koolaukseen naulattava puulattia tai täytteiden päälle valettava rautabetonilaatta. [1]



Kuva 7. Erilaisia alalaattapalkistoja [1]

Näiden lisäksi olin osallisena Optiplan Oy:n projektissa, jossa suunniteltiin alalaattapalkiston korjaus. Kohde on pääkaupunkiseudulla sijaitseva 1900-luvun alussa rakennettu massiivitiilirakennus. Rakennuksessa on 4. kerrosta + kellari. Kohteen alalaattapalkisto vastasi edellä esitetyn kuvan suoraa palkkia. Havainnollistava kuva tästä alalaattapalkistosta esitetään alapuolella.



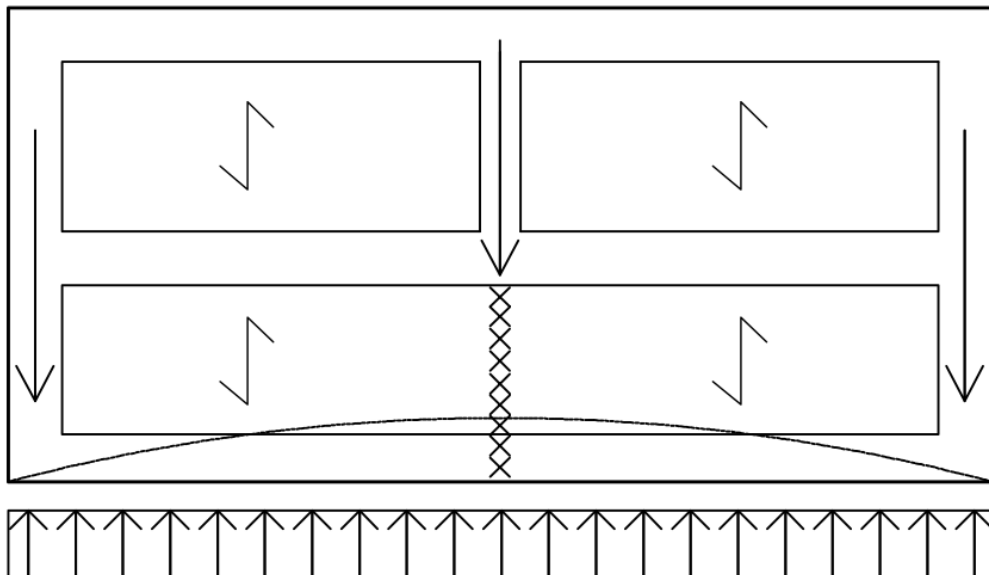
Kuva 8. Alalaattapalkisto Optiplan Oy:n korjauskohteessa.

Johtopäätöksenä voidaan sanoa, että uuden puurakenteisen välipohjan rakentaminen alalaattapalkiston tilalle voi aiheuttaa ongelmia. Usein puurakenteinen välipohja kerto-puupalkeilla tekee rakenteesta paksumman verrattuna alalaattapalkistoon. Näin ollen huonekorkeus pienenee ja jos halutaan päästä samoihin rakennepaksuuksiin, pitää palkkijako tehdä tiheämmäksi.

2.5.6 Vanhan välipohjan jäykistyksen huomioiminen

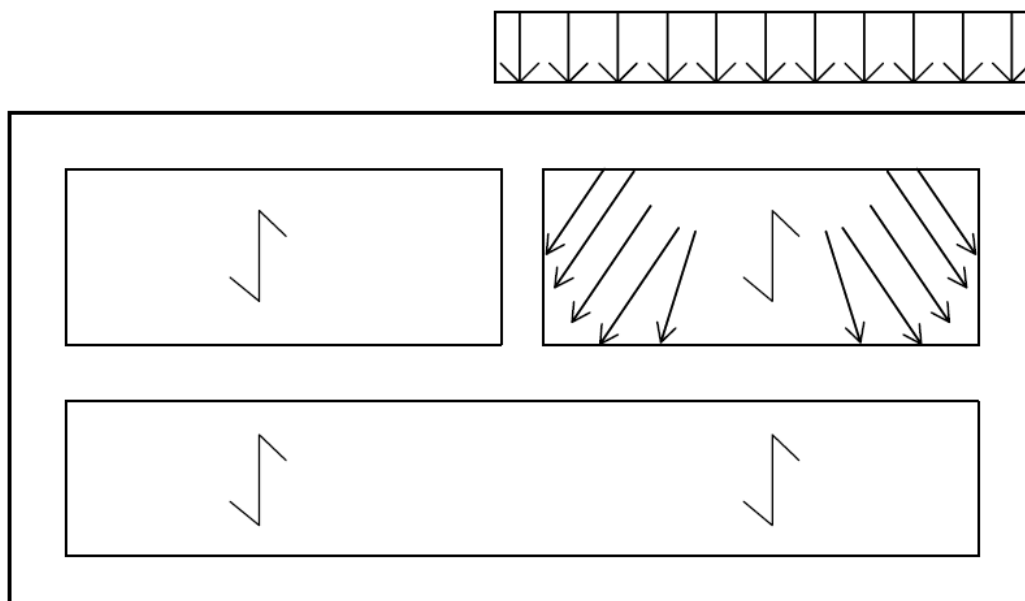
Kun vanhaa välipohjaa aletaan purkaa, täytyy ensimmäiseksi tarkastella purkamisen vaikutus rakenteen kokonaisstabiileettiin. Vanhojen välipohjien paino vaihtelee noin 0.8 – 6 kN/m² välillä, joka vaikuttaa suuresti rakenteen jäykistämiseen. Painoa lisää yleensä vielä se, jos välipohjassa on palopermanto, eli niin sanottu yläpohjan palokatko. Välipohjan purkaminen vaikuttaa rakenteen jäykkyyteen ja voi aiheuttaa tiilimuurauksen siirtymisen puristetusta rakenteesta vedetyksi rakenteeksi. Tämä lähinnä tarkoittaa, että rakennuksen kuormitus vähenee, mutta seinien vaakajäykistys pienenee jolloin esimerkiksi tuulikuorma vaikuttaa enemmän puretun välipohjan kohdalla. Näin

ollen myös yläpohja voi tietyissä tilanteissa alkaa vetämään seiniä rakennuksen keskele päin, joka vain vahvistaa tuulikuorman vaikutusta. Eli esimerkiksi rakennuksissa, joissa on enemmän kuin kaksi kerrosta, ei kannata purkaa kaikkia välipohjia samaan aikaan. Seuraavat kolme tapausta havainnollistavat tyypilliset rakennuksen jäykistyksen ja välipohjan purkamisen vaikutusta. Ensimmäinen kuva alapuolella on ylhäältäpäin tarkasteltava rakennus, jossa näytetään esimerkkinä kolme välipohjaa ja niiden kantosuunnat. Kuvassa alhaalla oleva voima kuvastaa tuulikuorman vaikutusta rakennuksen pitkälle sivulle. Nyt jos alimman välipohjan purkaa, niin voima ei enää välity keskimmaiselle kantavalle väliseinälle.



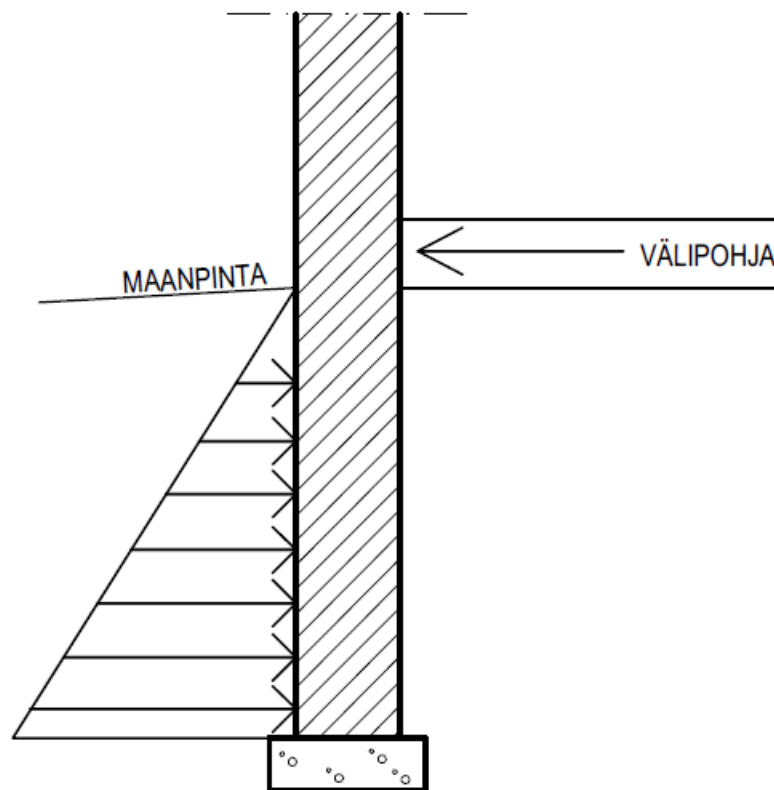
Kuva 9. Esimerkki kerroksesta, jossa välipohjan purkamisen jälkeen tuulikuorma ei välity keskimmaiselle jäykistävälle seinälle ja edessä oleva ulkoseinä joutuu rasituksen kohteeksi. Kaareva katkoviiva kuvaa tätä rasitusta.

Toinen kuva alapuolella havainnollistaa, kuinka välipohjaa voidaan ajatella jäykistävänä laattana. Näin ollen, jos välipohjan purkaisi oikeasta yläkulmasta, niin voima ei enää välittyisi sen kautta, vaan se pakottaisi voimat menemään molemmilta puolilta välipohjaa. Tämä täytyy suunnitella hyvin, jos ulkoseinä ei kestä yksinään vaikuttavaa tuulikuormaa.



Kuva 10. Esimerkki kerroksesta, jossa välipohjan purkamisen jälkeen tuulikuorma ei välity välipohjan kautta seinille.

Kolmas kuva alapuolella kuvaa kellarikerrosta, jossa maanpaine kuormittaa rakennusta vasemmalta ja välipohja jäykistää seinää toimimalla tukena. Tämän tarkoitus on havainnollistaa, että jos välipohjan purkaa, niin jäykistys heikentyy.



Kuva 11. Esimerkki kellarikerroksesta, jossa välipohja toimii tukena seinälle johon vaikuttaa maanpaine. Välipohjan purkaminen aiheuttaa tuen katoamisen kokonaan.

Kyseisen vaikutuksen estämiseksi stabiiliteettia on tarkasteltava huolella ja purkamisen yhteydessä hoidettava asianmukaiset tuennat kantaville seinille. Vanhan välipohjan ollessa huonossa kunnossa on tuennat myös hoidettava alapuolelle ja purku tehtävä hallitusti ja suunnitellusti.

3 Uuden välipohjan palkkien rakenteellinen mitoitus

Puurakenteiden suunnittelu toteutetaan siten, että standardissa EN 1990:2002 ja sitä koskevassa kansallisessa liitteessä esitetyt perusvaatimukset täyttyvät. Tämän insinööriyön mitoitus suoritettiin kertopuupalkeille ja niiden rajatilamitoitusosio esitellään myöhemmin tässä työssä. Välipohjarakenteeseen vaikuttaa monia eri kuormia ja näistä tavallisimmat ovat rakenteiden omapaino ja käytöstä johtuva hyötykuorma. Mitoitusta varten tehtiin Excel-tiedosto, joka helpottaa jatkossa samanlaisten tapauksien mitoittamista.

Puurakenteista välipohjaa suunniteltaessa rakenneratkaisuja on useita erilaisia. Näiden valitsemisessa on otettava huomioon välipohjan käyttötarkoitus, pintarakenteiden vaatimukset, rakenteeseen kohdistuvat kuormat sekä rakenteen arkkitehtuurillinen ulkonäkö. Tässä työssä tutkimus rajattiin kantavien rakenteiden osalta kerto-S palkkeihin (LVL). Näiden käyttösuositus perustuu niiden ylivertaisiin ominaisuuksiin kuten lujuus, helppo työstettävyys ja keveys. LVL-palkeista valikoitiin vertailuun yleisimmät palkkikoot 51x200, 51x260, 51x300 ja 51x360. Tyypillisimmät jännevälit massiivitiilirakennuksissa ovat 5-6 metrin pituisia. Pintarakennevaihtoehdot järjestettiin yleisimpiin ratkaisuihin ja niiden yhdistelemiseen. Näitä ratkaisuja käsitellään laajemmin osiossa 4.

3.1 Puurakenteiden suunnitteluperusteet

Eurokoodi 5 sisältää Suomessa puurakenteiden suunnittelun standardit SFS-EN 1995-1-1 ja SFS-EN 1995-1-2. Osa 1-1 sisältää puurakenteiden suunnittelun yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt ja osa 1-2 sisältää puurakenteiden palomitoituksen. Eurokoodi 5 sisältää myös siltojen suunnitteluosan (SFS-EN 1995-2), mutta sitä ei käsitellä tässä opinnäytetyössä. [4]

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL) on tehnyt tiivistetyssä muodossa olevan puurakenteiden suunnitteluohjeiden SFS-EN 1995-1-1 ja SFS-EN 1195-1-2, jotka sisältävät ohjeita syvällisen suunnittelun eurokoodeihin ja kansallisiin valintoihin perustuen. [2]

Puuinfo Oy on tehnyt oman lyhennetyn puurakenteiden suunnitteluohjeen, joka perustuu Eurokoodi 5 SFS-EN 1995-1-1 ja 1-2 standardeihin, sekä RIL 205-1-2017 ohjeisiin. Puuinfon ohje on tarkoitettu pienikokoisten ja tavanomaisten rakennuskohteiden suunnitteluun. [3]

Edellä mainittuja standardeja ja ohjeita hyödynnettiin tässä insinööriyössä.

3.2 Murtorajatila (MRT)

Murtorajatilalla tarkoitetaan yleisesti tilaa, jossa rakenne sortuu tai menettää kantokykynsä. Mitoituksen tavoite on laskea rakenteelle mahdollisimman tarkka käyttöaste, jossa se ei saavuta murtumispistettä. Käyttöasteen maksimi ilmoitetaan prosenteissa ja rakenteen murtumista kuvaa 100 % arvo. Mitoituksessa on kuitenkin hyvä ottaa huomioon omista ja määrittelemättömistä asioista johtuvat virheet, joten käyttöaste kannattaa asettaa noin 75 % tuntumaan. Mitoituksessa otetaan huomioon osavarmuuslukumenetelmä, jolla saadaan mitoitus menemään niin sanotulle varmalle puolelle. Eli siis kuormat kerrotaan tietyillä kertoimilla ja näin ollen saadaan tilanne muutettua pahemmaksi kuin se oikeasti olisi. Kertoimet määräytyvät rakenteen kantavien osien ja niille tulevien kuormien mukaan, sekä rakennuksen käyttötavan perusteella. [2,3,4]

Tämä mitoitus käsittelee asuin- tai toimistorakennuksessa olevaa välipohjaa. Kyseiset välipohjat mitoitetaan aikaluokissa pysyvä ja keskipitkä sekä käyttöluokassa 1. Seuraava kaava esittää muuttuvien kuormien aikaluokan ja pysyvän aikaluokan laskennan.

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

$$1.35 * G_{kj} \quad (6)$$

missä,

G_{kj} Pysyvien kuormien ominaisarvo (esim. omapaino)

$Q_{k,1}$ Määrävän muuttuvan kuorman ominaisarvo (esim. hyöty-, lumi- tai tuulikuorma)

$Q_{k,i}$	Muun muuttuvan kuorman ominaisarvo
K_{FI}	Seuraamusluokasta riippuva kuormakerroin
$\psi_{0,i}$	Muuttuvan kuorman yhdistelykerroin

3.2.1 Taivutus

Taivutustarkastelussa tarkastellaan kantavien palkkien taivutuskestävyyttä. Taivutuskestävyys lasketaan pysyvässä ja keskipitkässä luokassa sekä samalla seuraavien ehtojen on toteuduttava. [2,3,4]

$$\boxed{\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1} \quad (7)$$

$$\boxed{k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1} \quad (8)$$

missä,

$\sigma_{m,y,d}$ ja $\sigma_{m,z,d}$ Jännitysten mitoitusarvot pääakselien suhteen

$f_{m,y,d}$ ja $f_{m,z,d}$ Vastaavien taivutuslujuuksien mitoitusarvot

k_m Jännitysjakautuman ja materiaalin epähomogeeninen vaikutus kahteen suuntaan taivutetun poikkileikkauksen taivutuskestävyyteen

3.2.2 Leikkaus

Leikkaustarkastelulla mitoitetaan kyseisen kappaleen leikkauskestävyys. Poikkileikkauksen tehollisella leveydellä otetaan huomioon halkeamien vaikutus, joka tulee seuraavasta kaavasta. [2,3,4]

$$\boxed{b_{eff} = k_{cr} * b} \quad (9)$$

missä,

k_{cr} Kerroin LVL tuotteille

b Kerto-S palkin leveys

Tämän jälkeen tarkastellaan leikkauskestävyyden mitoitusehto.

$$\sigma_{v,d} \leq f_{v,d} \quad (10)$$

missä,

$$\sigma_{v,d} = \frac{3}{2} * \frac{Q_d}{b_{eff} * H} \quad (11)$$

Q_d Mitoitusleikkausvoima

H Palkin korkeus

$f_{v,d}$ Mitoitusleikkauslujuus

3.2.3 Kiepahdus

Kun palkki on taivutusrasitettu ja sen poikkileikkaus on korkea ja hoikka, se saattaa kiepahtaa tai kaatua kuorman vaikutuksesta. Näiden takia niiden kiertyminen akselinsa ympäri tai sivuttainen taipuma on estettävä. On myös huomioitavaa, että kiepahduskuorma saattaa olla pienempi kuin taivutusmurtokuorma. Kiepahduskestävyys on tarkasteltava kahdessa tapauksessa; momentin M_y vaikutus vahvemman akselin y suhteen, sekä tapauksessa, jossa momentti M_y ja puristusvoima N_c vaikuttavat yhdessä. [2,3,4]

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} * f_{m,d} \quad (12)$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} * f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (13)$$

missä,

$\sigma_{m,d}$	Taivutusjännityksen mitoitusarvo
$f_{m,d}$	Taivutuslujuuden mitoitusarvo
k_{crit}	Kerroin, jonka avulla otetaan huomioon kiepahdusriskin takia pienentynyt taivutuskestävyys
$\sigma_{c,0,d}$	Puristusjännityksen mitoitusarvo puun syysuunnassa
$f_{c,0,d}$	Puristuslujuuden mitoitusarvo puun syysuunnassa
$k_{c,z}$	Poikittaissuunnan nurjahduskerroin

3.2.4 Leimapaine

Leimapaine- eli tukipainetarkastelulla tarkistetaan tuen päällä olevan palkin tai tuen osan kestäminen tukipaineen takia. Tässä työssä tukena toimii tiilimuuraus palkin molemmissa päissä. Tukipaineen mitoitusehtona toimii seuraava kaava. [2,3,4]

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} * f_{c,90,d} \quad (14)$$

missä,

$\sigma_{c,90,d}$	Lasketaan tehollisen jännityspinta-alan A_{ef} perusteella
$k_{c,90}$	Lujuuden korotuskerroin
$f_{c,90,d}$	Mitoituspuristuslujuus

3.2.5 Läpiviennit

Välipohjiin yleisesti tulee LVI-tekniikkaa ja nämä joko ripustetaan välipohjan alapuolelle tai sitten tuodaan välipohjan sisällä. Jos LVI-tekniikka menee alakatossa niin tämä täytyy ainoastaan huomioida lisäkuormana, mutta jos ne menevät välipohjan sisällä palkkien läpi, täytyy palkit mitoittaa oikeankokoisille läpivienneille. Tyypillisin LVI-tekniikka, jota kantavien palkkien läpi tuodaan, on viemäriputki, jonka halkaisija yleisesti on 110 mm. Läpiviennit mitoitetetaan poikittaisen vedon-, leikkauksen- ja yhdistettyjen rasiusten suhteen. Kuormitukset valitaan reiän kohdalla vaikuttavista voimista. Nämä käsitellään alla.

$$d > 0,4 * H \quad (15)$$

missä,

d Reiän halkaisija

H Palkin korkeus

Ensimmäiseksi kannattaa tarkastella, että reiän mahtuu tekemään kyseiseen palkkiin ja tämän pystyy tarkastamaan helposti kertomalla palkin korkeus 0.4. Jos tämä on pienempi kuin reiän halkaisija, niin kannattaa valita isompi palkki. Tästä voidaan helposti jo päätellä tämän työn palkeista, että korkeuden täytyy olla vähintään 300 mm korkea. Seuraavaksi poikittaisen vedon tarkistuksen ehto.

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{f_{t,90,d}} \leq 1 \quad (16)$$

missä,

$\sigma_{t,90,d}$ Syysuuntaa vastaan kohtisuoran vetojäännityksen mitoitusarvo

$f_{t,90,d}$ Poikittaisen vetolujuuden mitoitusarvo

Poikittainen veto on yleensä mitoittava läpivientien tarkastelussa, joten jos käyttöaste siinä on hyvä, voidaan laskea jäännöspoikkileikkauksen tarkistus leikkaukselle, taivutukselle ja vedolle/puristukselle. Veto- ja puristusvaikutus riippuu, onko rakenne puristettu vai vedetty. Nämä saadaan seuraavista kaavoista.

$$\boxed{\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1} \quad \text{Leikkaus} \quad (17)$$

$$\boxed{\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1} \quad \text{Taivutus} \quad (18)$$

missä,

T_d Leikkausjännityksen mitoitusarvo, lasketaan tehollisen jännityspinta-alan A_{ef} perusteella

f_{vd} Leikkauslujuuden mitoitusarvo reiän kohdalla

$\sigma_{m,d}$ Taivutusjännityksen mitoitusarvo

$f_{m,d}$ Taivutuslujuuden mitoitusarvo

Vedon/puristuksen yhteisvaikutus taivutuksen kanssa saadaan seuraavasti. Välipohja on puristettu rakenne, joten vedon käyttöaste on automaattisesti 0.

$$\boxed{\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1} \quad \text{Veto} \quad (19)$$

$$\boxed{\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1} \quad \text{Puristus} \quad (20)$$

Puristuksen käyttöaste siis lisätään taivutuksen käyttöasteeseen ja näin saadaan niiden yhteisvaikutus. Jos palkissa on useampia reikiä, tulee reikien välisen ehjän puun pituuden olla vähintään palkin korkeuden verran.

3.3 Käyttörajatila (KRT)

Käyttörajatilalla yleisesti tarkoitetaan tilaa, jossa rakenteen käyttökelpoisuusvaatimukset eivät täyty. Näitä ovat esimerkiksi puurakenteessa taipuma ja värähtely. Muodonmuutostila johtuu yleisesti kosteuden, sekä kuormien vaikutuksesta rakenteeseen. Mitoituksen tarkoituksena on saada rakenteen muodonmuutokset riittävän pieneksi, jotta ne eivät vaikuta haittaavasti pintamateriaaleihin, lattioihin, keveisiin väliseiniin tai pinnoitteisiin eivätkä tuota haittaa toiminnan tai ulkonäkövaatimusten kannalta. [2,3,4]

3.3.1 Taipuma

Taipuma on yksi yleisimmistä mitoittavista tarkasteluista puupalkeilla. Puupalkit mitoiteaan yleisimmin välipohjarakenteessa taipumalle $W_{inst}=L/400$ ja $W_{net,fin}=L/300$. Harvinaisemmissa tapauksissa voidaan mitoittaa pääkannattimet myös $L/200$. Mitoitusvaatimukset alla. [2,3,4]

$$W_{inst} = \frac{5}{384} * \frac{g_k; q_k * L^4}{E_{0,mean} * I} \quad (21)$$

missä,

W_{inst} Hetkellinen taipuma pysyvistä ja muuttuvista kuormista

$E_{0,mean}$ Kimmokerroin

I Jäyhyysmomentti

$$W_{net,fin} = (1 + k_{def}) * W_{inst,g} + (1 + 0,3 * k_{def}) * W_{inst,q} \quad (22)$$

$W_{net,fin}$ Lopputaipuma pysyvistä ja muuttuvista kuormista

k_{def} Virumakerroin

3.3.2 Värähtely

Värähtelytarkastelussa tarkistetaan, että rakenteeseen ei aiheudu haitallista värähtelyä, ja näin ollen vaikuta rakennuksen käyttömukavuuteen. Haitallinen värähtely voi johtua esimerkiksi sauvan, rakenneosan ja rakenteen kuormista tai erilaisista koneista. Värähtelytaso arvioidaan mittaamalla tai laskemalla, ottamalla huomioon sauvan, rakenneosan tai rakenteen jäykkyys ja värähtelymuotoa vastaava vaimennussuhde. Välipohjissa vaimennussuhteen arvona voidaan käyttää $\zeta = 0,01$ (1 %), ellei jotain toista arvoa osoiteta oikeammaksi. Asuin- tai toimistorakennuksen ominaistaajuuden ehtona käytetään 9 Hz, eli rakenteelle pyritään saamaan $f_1 \geq 9$ Hz. Jos $f_1 < 9$ Hz täytyy tehdä värähtelylle erityistarkastelu. Ominaistaajuustarkastelun lisäksi välipohjarakenteelle on tehtävä suurin hetkellinen painumatarkastelu 1 kN staattisen pistevoiman aiheuttamana lattiapalkin kohdalla.[2,3,4]

Yhteen suuntaan kantavan lattian alin ominaistaajuus.

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot L^2} * \sqrt{\frac{(EI)_L}{m}} \quad (23)$$

missä,

$(EI)_L$ Lattian kantavaan suuntaan vastaava taivutusjäykkyys

I Jäyhyysmomentti (m^4)

m Lattian oman painon p -alayksikköä kohden ja hyötykuormasta osuuden 30 kg/m^2 yhteen laskettu massa

Kahteen suuntaan kantavan lattiarakenteen alin ominaistajuus.

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot L^2} * \sqrt{\frac{(EI)_L}{m}} * \sqrt{1 + \left[2 * \left(\frac{L}{b}\right)^2 + \left(\frac{L}{b}\right)^4 \right] * \frac{(EI)_b}{(EI)_L}} \quad (24)$$

missä,

$(EI)_b$ Lattian poikittaissuuntaa vastaava taivutusjäykkyys

b Lattiarakenteen leveys

1 kN staattisen pistevoiman aiheuttama suurin hetkellinen painuma lattiapalkin kohdalla.

$$\delta = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{F \cdot L^2}{42 \cdot k_\delta \cdot (EI)_l} \\ \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot s \cdot (EI)_l} \end{array} \right. \quad \text{ehtona: } \delta \leq 0,5 \text{ mm} \quad (25)$$

missä,

s Lattiapalkkien välinen etäisyys (m)

k_δ Kerroin. Yhteen suuntaan kantavassa rakenteessa rajoituksena $k_\delta \leq \underline{\underline{b/L}}$.

Värähtelyn laskennassa voi käyttää hyödyksi erilaisia pintarakenteita ja lattia rakennetta voi ajatella usein liittorakenteena. Tässä työssä valituilla pintarakenteilla täytyi tehdä kolme eri värähtely tarkastelua, yksi ilman liittovaikutusta ja kaksi erilaisen liittovaikutuksen kanssa. Liittovaikutuksen värähtely tarkastuksessa ensimmäiseksi otetaan huomioon vanerilevy ja tämän kiinnitys palkkeihin. Näin ajatellaan vanerin ja palkin rakennetta T-poikkileikkauksena. Nyt vanerilevyn kimmoisuus täytyy muuttaa kerto-s palkin kimmoisuutta vastaavaksi. T-poikkileikkauksen laskenta perustuu siihen, että vanerilevy kiinnitetään palkkiin kiinni naulaamalla tai ruuvaamalla ja tämän jälkeen liitos vielä liimataan työmaalla. Tätä voitaisiin hyödyntää myös muissa pintarakennemateriaaleissa, mutta näiden kiinnitys palkkiin vaadittavan jäykästi tulisi hankalaksi. Seuraavilla kaavoilla muutetaan vanerilevyn leveys vastaamaan LVL-palkin kimmokerrointa.

$$n = \frac{E_{kerto}}{E_{materiaali}} \quad (26)$$

$$B_{materiaali} = n * b \quad (27)$$

missä,

n Kimmoisuuden kerroin

B Materiaalin leveys (m)

Kun vanerilevy on saatu muutettua kerto-s palkin kimmoisuuteen, hyödynnetään mekaniikan Steinerin sääntöä ja lasketaan T-poikkileikkauksen painopiste, sekä jäyhyysmomentti. Nämä saadaan seuraavista kaavoista.

$$ypp = \frac{A_{vaneri} * (H_{kerto} + \frac{1}{2} H_{vaneri}) + A_{kerto} * \frac{1}{2} H_{kerto}}{A_{vaneri} * A_{kerto}} \quad (28)$$

$$e_{kerto} = \left(H_{vaneri} + \frac{H_{kerto}}{2} \right) - ypp \quad (29)$$

$$e_{vaneri} = ypp - \frac{H_{vaneri}}{2} \quad (30)$$

$$I_{kok} = \frac{B_{Kerto} * H_{Kerto}^3}{12} + A_{Kerto} * e_{Kerto}^2 + \frac{B_{Vaneri} * H_{Vaneri}^3}{12} + A_{Vaneri} * e_{Vaneri}^2 \quad (31)$$

missä,

ypp	T-poikkileikkauksen painopiste
A	Materiaalin pinta-ala ($H \times B = m^2$)
e	Kerros jäyhyysmomentin laskentaan
I	Jäyhyysmomentti ($B \times H^3 / 12 = m^4$)

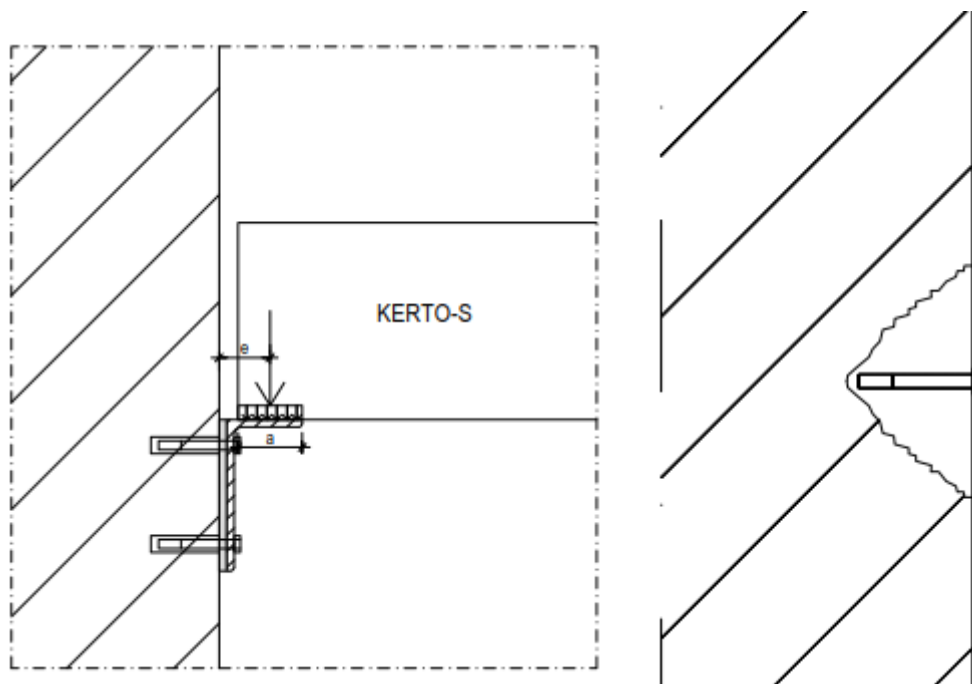
Kun T-poikkileikkauksen jäyhyysmomentti on saatu voidaan se yhdistää värähtelyn taivutusjäykkyyden kaavaan. Tarkasteltava kohde olisi vielä yksileikkeisen liitoksen (vanerin ja kertopuun) liukuman tarkastelu. Tätä tarkastelua ei näytetä tässä työssä, mutta se huomioidaan excel laskentapohjassa. Kelluvat materiaalit esimerkiksi betoni-valu voidaan hyödyntää värähtelymitoituksessa laskemalla sille taivutusjäykkyys ja lisäämällä tämä T-poikkileikkauksen taivutusjäykkyyteen. Jos muita materiaaleja olisi, ne hyödynnettäisiin vastaavalla tavalla laskentaan.

3.4 Liitos tiilimuuraukseen

Tyypillisimmät puurakenteiset välipohjaliitokset muurattuun rakenteeseen tehdään joko konsolilla tai seinään loveamisella. Tämä työ käsittelee molemmat tapaukset alla olevissa osioissa.

3.4.1 Konsoli

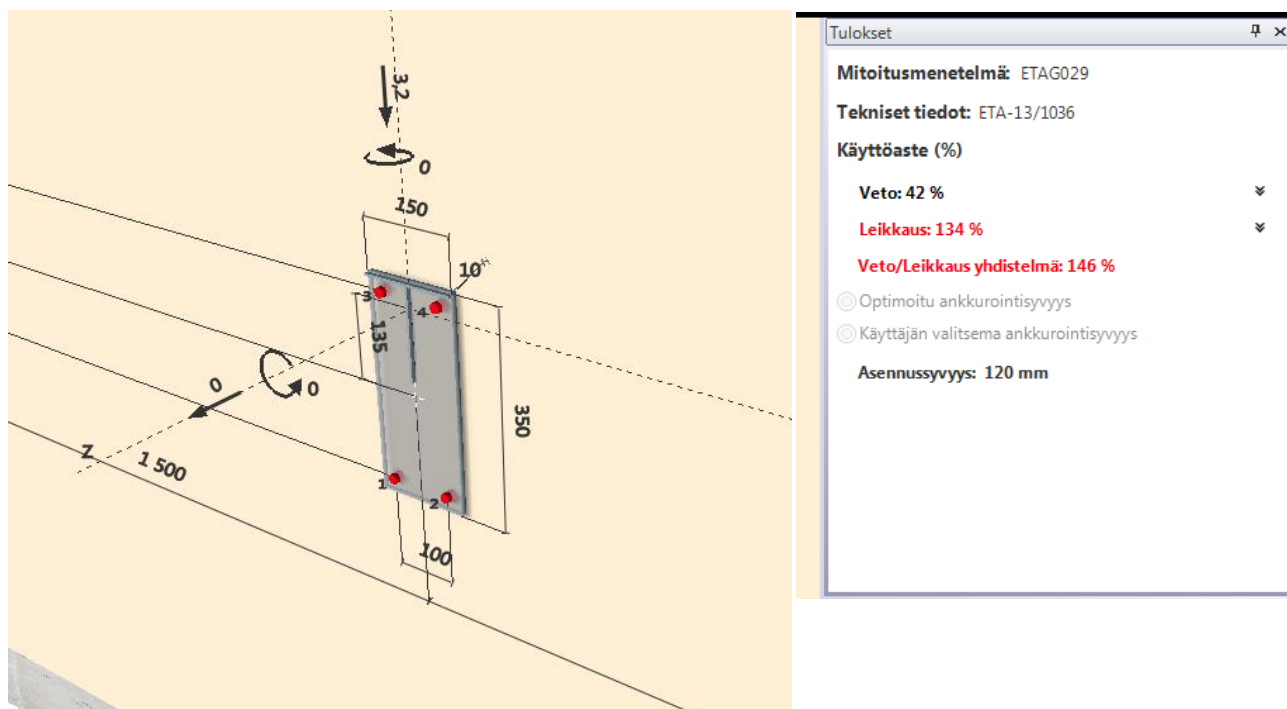
Tässä työssä tarkasteltiin luonnostasolla konsoliliitosta, jossa käytetään L-teräs osaa konsolina, joka kiinnitetään neljällä ruuvilla tiiliseinään. Toinen hyvä liitos tapa olisi ollut palkkikenkä liitos, mutta L-teräs simuloi hyvin myös tätä tapausta. Konsolitarkastelu toteutettiin Hilti Profis Anchor mitoitus ohjelmalla. Konsoliliitoksessa vanhan tiilimuurauksen ongelmaksi tulee tiilien ja saumojen kestävyys. Näin ollen ongelmaksi muodostuu kuormitusresultantin määrittäminen ja ruuvien sijainti. Eli paras mahdollinen tapaus olisi saada ruuvit mahdollisimman erille toisistaan. Joten näistä ongelmista johtuen ruuvien leikkaus- ja vetolujuus ylittyy, johtuen välipohjan kuormista, eli kiinnitykset kirkkaavat irti ja tiili murtuu reunasta. Tätä murtumista kutsutaan kartiomurtumiseksi, josta havainnollistava kuva alapuolella.



Kuva 12. Esimerkki konsoliliitoksesta ja kartiomurtumisesta.

Tässä työssä kävi juuri näin eli konsoli kestäisi muuten, mutta tiilimuuraus on liian hauras pitämään pultteja seinässä kiinni. Huomioitavia asioita liitoksessa on myös ensimmäiseksi se, että tiiliseinä on harvoin niin tasaiseksi muurattu, että siihen voisi suoraan kiinnittää teräslevyn. Seinä siis täytyisi tasoittaa levyn kohdalta ennen konsolin kiinnittämistä. Toiseksi teräsosat täytyisi palosuojata ja riippuen konsolirakenteesta epäkes-

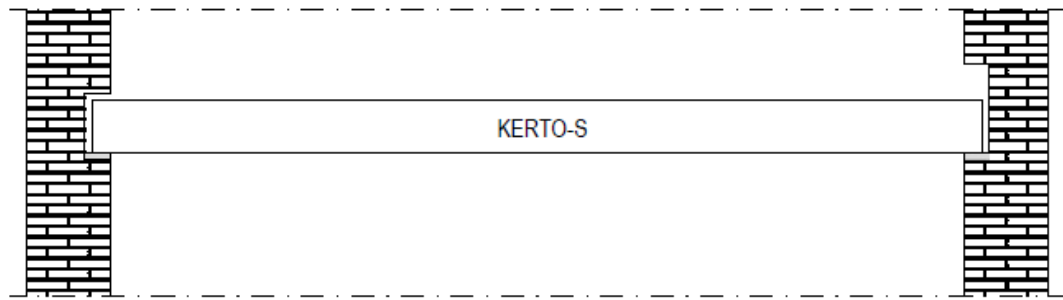
kisyyttä olisi vaikea määrittää. Näin ollen valitsin liitostavaksi seinään loveamisen. Alapuolella ruutukaappaus Hilti Profis Anchor ohjelmasta.



Kuva 13. Ote Hilti Profis Anchor-mitointiohjelmasta, jossa on mallinnettu kyseinen konsoliliitos.

3.4.2 Loveaminen

Kun konsoliliitosta ei voitu käyttää valittiin liitostyyppiksi loveaminen muuraukseen. Loveaminen tapahtuu tekemällä molemmille puolille muuraukseen 120 mm syvät aukot. Näin ollen palkin tukipinnaksi jää 100 mm ja asennusvaraa 20 mm. Toiselle puolelle täytyy loveta pystysuunnassa isompi aukko riippuen palkin koosta, jotta palkki saadaan ujutettua paikoilleen. Pystysuuntaisten lovien täytyy vaihdella puolelta toiselle, koska näin saadaan minimoitua samalle seinälle tulevien lovien koko. Leveysuunnassa palkeille on hyvä loveta molemmille puolille yhteensä noin 100 mm asennusvara eli 50 mm puolelle. Palkeille on hyvä valaa pieni tasausvalu, jotta ne saadaan asettumaan tasaisesti paikoilleen.



Kuva 14. Liitos muuraukseen loveamisella. Toinen pää tehdään matalammalla lovella.

Kun palkit ovat paikoillaan, täytyy suunnitella, miten palkit saadaan pysymään paikoillaan lovessa. Hyviä vaihtoehtoja ovat loven ja palkin pään umpeen valaminen, palkin kiilaus tai palkin muotoisen muotin tekeminen loveen ja tämän avulla loven valaminen oikeaan kokoon. Yksi huomioitava seikka on kosteuden vaikutus palkin päähän. Tiili on huokoinen materiaali eli se imee hyvin vettä, mutta myös kuivuu nopeasti. Vanhoissa puurakenteissa tätä yleisimmin hallittiin puun tervaamisella. [1] Näin ollen, jos julkisivu esimerkiksi ei ole rapattu tai suojattu muulla tavoin, niin kosteus voi siirtyä seinän läpi välipohjapalkin päähän. Toinen mahdollinen kosteuden siirtyminen tapahtuu, jos palkin pää ja lovi valetaan umpeen. Tämä voidaan ehkäistä käsittelemällä palkinpää homeenestoaineella tai pinnoittamalla palkin pää esimerkiksi bitumihuovalla. Näin ollen kiilaaminen voisi olla toimivampi ratkaisu.

4 Uuden välipohjan pintarakenteet

4.1 Yleistä ja vaatimukset

Pintarakenteet vaikuttavat rakenteen mitoitukseen painon, jäykkyyden ja vaatimusten osalta. Vaatimuksilla yleisesti tarkoitetaan ääni- ja paloteknisiä vaatimuksia. Edellä mainituilla asioilla esimerkiksi voidaan vaikuttaa värähtely mitoitukseen tai taipuman arvoon. Muuten oleellista on huoneiston käyttötarkoitus, jonka perusteella valitaan yleensä pintarakenteet. Tässä osiossa esitellään kolme eri pintarakennevaihtoehtoa.

Pinta- ja alakattoratkaisut valittiin tuotevalmistajien valmiista suosituksista ja nämä ovat tämän tyyppisissä puurakenteisissa välipohjissa yleisiä ratkaisuja. Tämä tutkielma ja laskentapohja ottaa ainoastaan huomioon kyseisten tuotevalmistajien tuotteet. Näin ollen muitakin materiaaleja voitaisiin käyttää, mutta niiden täytyy täyttää vähintään samat vaatimukset tai ylittää ne. Pintarakenne vaihtoehdot jaoteltiin kolmeen eri vaihtoehtoon; kipsilevytyt, kipsivalu ja betonivalu. Alla oleva taulukko esittelee rakennetyyppien valintaan vaikuttavia tekijöitä.

Taulukko 1. Rakennetyyppien valintaan vaikuttavia tekijöitä.

Rakennetyyppi	Levytyt	Betonivalu	Kipsivalu
Paino (\approx)	1.1 kN/m ²	2.4-2.9 kN/m ²	1.6-1.8 kN/m ²
Värähtelyominaisuudet	Huono	Hyvä	Kohtalainen
Paksuus 51x300 (\approx)	0.42 m	0.46-0.48 m	0.485-0.495 m
Äänivaatimukset $L'_{n,w} \leq 53\text{dB}$, $R_w \geq 55\text{ dB}$	Täyttää	Täyttää	Täyttää
Palovaatimukset REI 60	Täyttää	Täyttää	Täyttää

Kipsi- ja betonivalussa otettiin huomioon valun korkeus, joten näissä saadaan valita käyttö vapaammin, tarpeellisuuden mukaan. Pintarakennetta valittaessa on hyvä huomioida arkkitehdin määrittämä lattiamateriaali, sekä tilan käyttötarkoitus. Hyvä huomioitava asia on myös rakenteen paino, esimerkiksi betoni painaa enemmän kuin kipsilevytys. Näin ollen välipohjassa, jonka pintarakenteena on betonivalu, joudutaan yleensä kasvattamaan kuormien takia kantavien palkkien poikkileikkausta ja joka taas lisää rakennepaksuutta. Jos hyviä puolia halutaan ajatella, niin betonivalulla saadaan rakenteeseen jäykkyyttä ja minimoidaan värähtelyä, jota käytiin läpi tarkemmin mitoitus osiossa. Alakattoratkaisu valittiin kaikkiin rakennetyyppeihin samaksi. Tämä koostui kertos palkkeihin kiinnitettävästä harvalaudoituksesta, joka toimii kiinnityspintana akustiselle jousirangalle ja kaksinkertaiselle kipsilevytykselle. Akustiseksi jousirangaksi valikoitiin tuotevalmistaja Gyprocin AP 25 jousiranka 400 mm k-jaolla ja tämän perusteella valittiin kipsilevytykseen Gyprocin GN 13 normaali, sekä GF 15 Protect F. Näistä GN 13 on normaali 12,5 mm paksuinen kipsilevy, kun taas GF 15 Protect F on palonsuojaukseen kehitetty 15,5 mm paksuinen erikoislevy. Kipsilevyjen asennusjärjestyksen näkee tarkemmin jokaisesta rakennetyypistä. Muut tuotekohtaiset materiaalit käydään läpi jokaisessa rakennetyypissä erikseen ja huomioitavaa on myös, että jokaisessa tuotevalmistajan tuotteessa on asennus tehtävä kyseisen tuotevalmistajan mukaan, ellei sitä ole erikseen korvattu muulla ohjeella. [20,22]

4.1.1 Akustiset vaatimukset

Kaikki kolme alla esitettyä rakenneratkaisua täyttävät tietyt akustiikka ja palotekniset vaatimukset. Lämmöneristysvaatimuksia ei välipohjille tarvitse tarkastella, muuten kuin todella harvinaisissa tilanteissa. Tässä työssä taulukko mitoitettiin molemmat vaatimukset. Äänieristävyyden kohdalla välipohjille määritetään aina askeläänieristävyys ja ilmaääneneristävyys. Askeläänellä yleisesti tarkoitetaan muihin tiloihin kuuluvaa runkoääntä, joka johtuu esimerkiksi esineiden siirtelystä tai lattialla kävelystä. Tämä ilmoitetaan askeläänitasoluvulla $L_{n,w}$ tai $L'_{n,w}$. Näiden ero johtuu lähinnä siitä onko kyseessä rakenteen laboratoriomittaus vai mittaus rakennuksessa. Molemmat arvot annetaan desibeleissä (dB) ja vaatimus on huoneistojen välisessä välipohjassa oltava enintään ≤ 53 dB. Näin ollen mitä pienempään arvoon päästään sitä parempi askeläänieristävyys saadaan. Ilmaääneneristävyydellä taas tarkoitetaan äänilähteestä ilman välityksellä ympäristöön leviävää ääntä, esimerkkinä puhe ja koneista lähtevät äänet. Askeläänitasoluvun tavoin myös ilmaääneneristysluku ilmoitetaan desibeleinä ja merkitään, joko R_w tai R'_{w} , onko se mitattu laboratoriossa vai rakennuksessa. Ilmaääneneristysluvun vaatimus on huoneistojen välisessä välipohjassa oltava vähintään ≥ 55 dB. Näin ollen mitä suurempi arvo saadaan sitä parempi ilmaääneneristävyys saadaan. [24]

Tämä työ ei käsittele näiden arvojen mittaamista ja laskemista tarkemmin vaan vaadittavat arvot saadaan tuotekohtaisilla ratkaisuilla. Esimerkiksi tämän työn rakennetyypeissä on käytetty akustista jousirankaa, askeläänieristevillaa ja yleisimmiten pintamateriaalien alle tulee vielä askeläänieriste. Nämä kaikki on kehitetty juuri parantamaan molempia ääneneristävyyssarvoja. [24]

4.1.2 Palotekniset vaatimukset

Paloturvallisuus on rakennuksessa erittäin tärkeää ja se täytyy suunnitella sekä toteuttaa huolellisesti. Ensisijaisesti paloturvallisuudella halutaan välttää henkilövahingot ja tämän jälkeen omaisuuden ja ympäristön tuhoutumiset. Rakennusten rakenteellinen paloturvallisuus määritellään jo suunnitteluvaiheessa ja ne pyritään suunnittelemaan siten, että rakenteet kestävät palotilanteessa tulipalon aiheuttamat rasitukset, tietyn ennalta määrätyn ajan. Nämä määritetään rakennusten paloluokan avulla, jotka jakautuvat kolmeen eri luokkaan P1, P2 ja P3. [23,25]

Rakennuksen paloluokka valitaan rakennuksen koon, käyttötavan ja henkilömäärän mukaan. Näistä P1 luokka on vaativin ja näin ollen P3 vähiten vaativa. Paloluokka P3 tulee yleensä kyseeseen yksi tai kaksikerroksisissa asuinrakennuksissa. Paloluokka P2 taas on yli kaksi- mutta alle kahdeksankerroksisissa asuinrakennuksissa. Myös julkiset ja liikerakennukset koosta riippuen voivat kuulua tähän luokkaan. Paloluokka P1 kattaa siis kaikki muut kohteet, eli se tulee kysymykseen, jos rakennus on yli kahdeksankerroksinen. Tässä tilanteessa tarvikkeiden tulee olla palamattomia ja rakenteiden täytettävä tietyt palonkestovaatimukset. Nykyisessä määräyksessä on poikkeuksia palamattomuutta koskevasta vaatimuksesta, mutta näissä tapauksissa vaaditaan aktiivisia järjestelmiä, esimerkiksi sprinklaus. Seuraava taulukko selventää rakennusten paloluokan määräytymistä. [23,25]

Taulukko 2. Paloluokan riippuvuus rakennuksen käyttötarkoituksesta, koosta ja korkeudesta.

	Paloluokka P1	Paloluokka P2	Paloluokka P3
Kerrosten lukumäärä	Ei rajoitusta	Korkeintaan 2 Asuinrakennus, korkeintaan 4	Korkeintaan 2
Pinta-ala (m ²)	Ei rajoitusta	Ei rajoitusta	2400, 1-kerroksinen 1600, 2-kerroksinen
Henkilölukumäärä			
Hotelli	Ei rajoitusta	150, 1-kerroksinen 50, 2-kerroksinen	50, 1-kerroksinen 10, 2-kerroksinen
Hoitolaitos		100, 1-kerroksinen 25, 2-kerroksinen	10, 1-kerroksinen
Liikerakennus	Ei rajoitusta	Ei rajoitusta, 1-kerroksinen 250, 2-kerroksinen	500, 1-kerroksinen 50, 2-kerroksinen

Puurakenteiden suunnittelussa täytyy ottaa huomioon, että puu on palava materiaali ja näin ollen se lisää palokuormaa. Syttymispiste puulla on noin 250-300 °C. Tosin syttymispiste on riippuvainen ajasta, jossa puu on kyseisessä lämpötilassa. Noin 15 minuutissa ja 200 °C lämpötilassa puu saattaa syttyä ja toisaalta taas 400 °C lämpötilassa syttyminen saattaa tapahtua jo alle minuutissa. Puu syttyy myös lämpösäteilyn vaikutuksesta, joka täytyy ottaa huomioon suunnittelussa. Standardipaloaltistuksessa rakenteosien tulee täyttää vaatimukset R, E ja I seuraavasti. Osastoivissa rakenteissa vaaditaan tiiviys (E) ja vaadittaessa eristävyys (I). Kantavissa rakenteissa vaaditaan mekaaninen kestävyys (R). Näin ollen rakenteiden, joissa vaaditaan osastoivuutta ja kantavuutta, täytyy olla R, E ja vaadittaessa I. Nämä annetaan yleensä palonkestoajojen mukana, jotka on määritetty minuuteissa. Yleisimmät palonkestoajat puurakenteissa ovat 15, 30, 60, 90 ja 120 minuuttia. Näin ollen esimerkiksi merkintä R60 tarkoittaa, että kyseisen kantavan rakenteen mekaaninen kestävyys on 60 minuuttia. Huoneistojen välisissä välipohjissa täytyy palovaatimuksen aina täyttää REI60. [23,24]

Puurakenteiden palosuunnittelu tehdään joko mitoittamalla rakenne tai vaihtoehtoisesti käyttämällä tuotevalmistajien valmiita materiaaleja ja näiden arvoja. Puurakenteet voidaan suunnitella palotilannetta varten joko suojaamattomana tai suojattuna. Suojaamattomat rakenteet täytyy aina mitoittaa palolle, mutta suojattu rakenne voidaan koteoida erilaisilla palosuojatekniikoilla. Kuten tässäkin työssä, välipohjat yleisimmin ovat suojattuja rakenteita, joten voidaan käyttää taulukkomitoitettua rakennetyyppiä. Seuraavassa kappaleessa kerrotaan kuitenkin, miten puurakenteinen välipohjarakenne mitoitettaisiin palolle. [23,25]

4.1.2.1 Puurakenteisen välipohjan mitoitus palolle

Kyseisissä rakennetyypeissä on 100 mm paksuinen kivivilla eriste kantavien palkkien välissä. Tämän on ajateltu pysyvän palotilanteessa paikoillaan, kun alapuolinen rakenne on lähtenyt pois. Näin ollen voidaan ajatella, että kerto-S palkit hiiltävät ainoastaan alapuolelta. 51 mm paksuisilla LVL-palkeilla täytyy muutenkin palosuojaus hoitaa sivuilta, sillä näillä ei ole paljoakaan varaa hiiltä sivuilta. Eli palotilanteessa ne nurjautaisivat melko nopeasti, jos niitä ei suojattaisi, esimerkiksi juuri kiinnittämällä eristeet kunnolla. Mitoitus aloitetaan nimellisen jäännöspoikkileikkauksen laskennalla. Nimellinen jäännöspoikkileikkaus saadaan vähentämällä alkuperäisestä poikkileikkauksesta nimellisen hiiltymäsyvyyden mitoitussarvon verran palolle alttiina olevalta sivulta eli kannattajan alapinnasta. [3,23]

$$d_{char,n} = \beta_{n2}(t_f - t_{ch}) + \beta_{n3}(t - t_f) \quad (32)$$

$$\beta_{n2} = k_s * k_2 * k_n * \beta_0 \quad \text{kun, } t_{ch} \leq t \leq t_f \quad (33)$$

$$\beta_{n3} = k_s * k_3 * k_n * \beta_0 \quad \text{kun, } t \geq t_f \quad (34)$$

missä,

$d_{char,n}$ Nimellinen hiiltymissyvyyden mitoitussarvo (mm).

β_{n2} Nimellinen hiiltymisnopeus ennen levyn murtumista (mm/min).

β_{n3} Nimellinen hiiltymisnopeus levyn murtumisen jälkeen (mm/min).

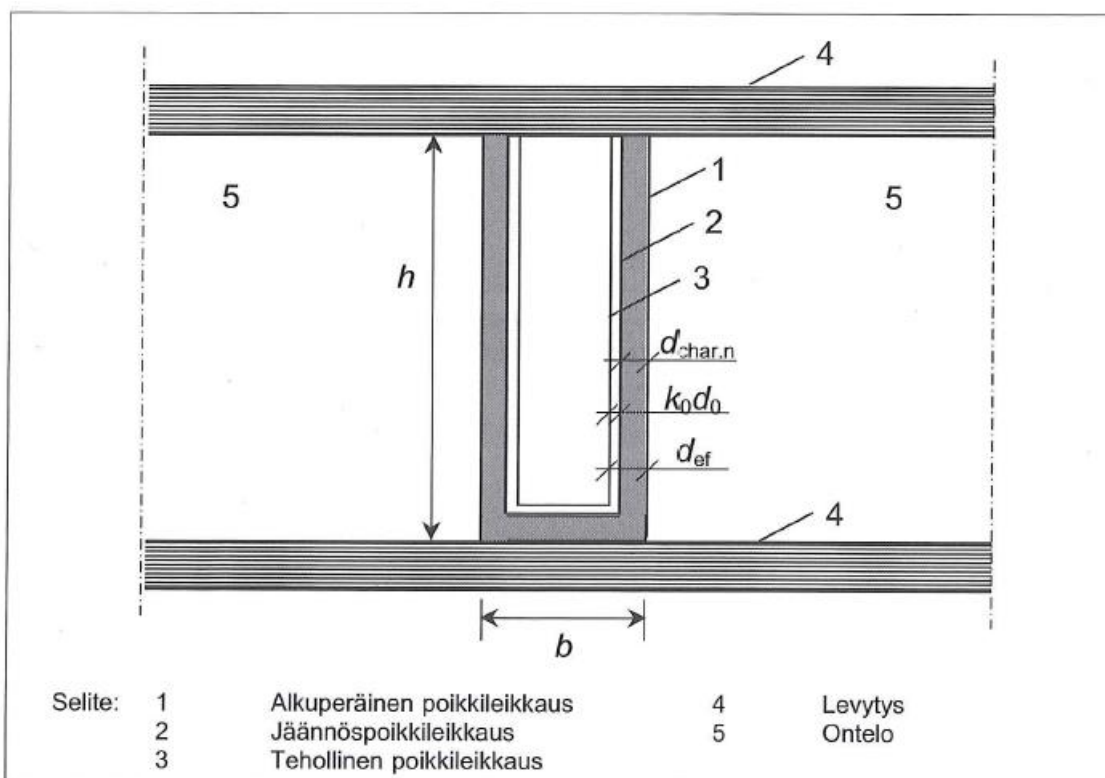
t_{ch} Rakenneosan hiiltymisen alkamishetki.

t_f Suojauksen murtumishetki

t Aika.

k_s Poikkileikkauserroin

- k_2 Eristyskerroin eristyksen putoamisen jälkeen
- k_n Kerroin, jolla epäsäännöllisesti hiiltynyt poikkileikkaus muutetaan nimelliseksi jäännöspoikkileikkaukseksi.
- β_0 Yksidimensionaalisen hiiltymisen hiiltymisnopeuden mitoitusarvo



Kuva 15. Jäännöspoikkileikkauksen ja tehollisen poikkileikkauksen määritelmät [3]

Tämän jälkeen tarvitaan laskennallinen taivutuslujuus 60 minuutin palossa.

$$f_{md,60} = k_{mod,fin,60} * \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (35)$$

$$f_{20} = k_{fi} * f_{mk} \quad (36)$$

missä,

$f_{md,60}$ Laskennallinen taivutuslujuus 60 minuutin palossa (MPa).

$k_{mod,fin,60}$ Muuntokerroin, kun palorasitus vain rakenteen toisella puolella.

$\gamma_{M,fi}$ Puun osavarmuusluku palotilanteessa

f_{20} Lujuusominaisuuden 20% fraktiili normaalilämpötilassa (MPa).

k_{fi} Kerroin

f_{mk} Materiaalin ominaistaivutuslujuus (MPa).

Näin ollen saadaan ehto.

$$\frac{M}{M_{60}} < 1 \quad (37)$$

$$M_{60} = W_{60} * f_{md,60} \quad (38)$$

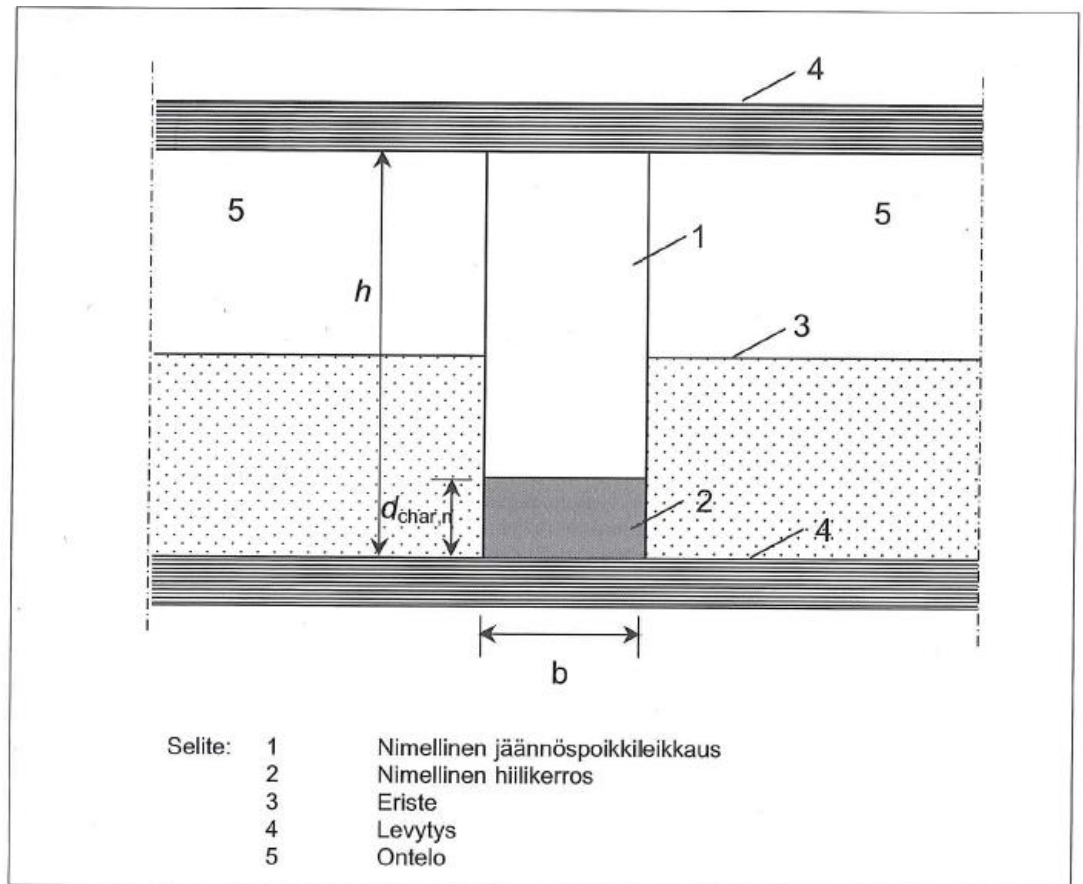
$$M = \frac{1}{8} * p * L^2 \quad (39)$$

missä,

M_{60} Momentin ääriarvo 60 minuutin palotilanteessa

W_{60} Taivutusvastus 60 minuutin palotilanteessa

M Momentin ääriarvo



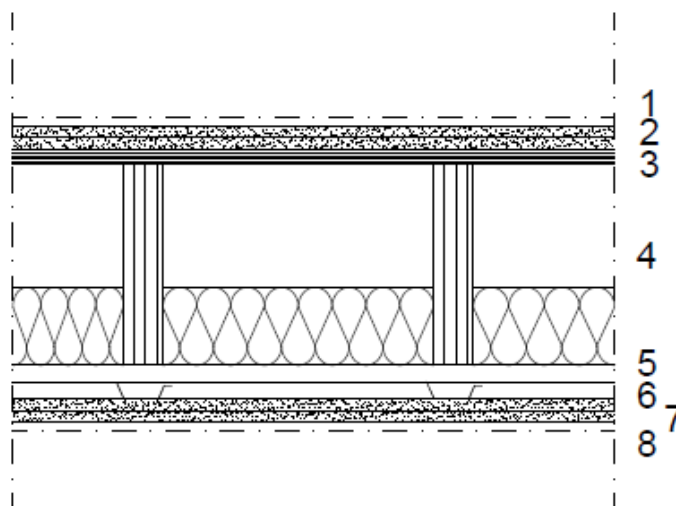
Kuva 16. Ontelossa olevan eristeen suojaaman puukannattajan nimellinen jäännöspoikkileikkaus. [3]

4.2 Nykyvaatimukset täyttävät tyypilliset pintarakenteet

4.2.1 Kipsilevyrakenteiset pinnat

Tämä rakennetyyppi on käyttötarkoitukseltaan ja ominaisuuksiltaan toimiva esimerkiksi tiloissa, joilta ei vaadita vedeneristävyyttä ja jonka pintaan tulee esimerkiksi kevyt ja helppoasenteinen lattiamateriaali. Kipsilevyjen hyvinä puolina on myös rakenteen paino, eli kipsilevyt ovat kevyitä ja näin ollen helppoja ja nopeita asentaa. Kuivumisaikojia ei myöskään tarvitse huomioida verrattuna betoni- tai kipsivaluun.

Tuotekohtaisina materiaaleina on valittu käytettävän eristeenä Isoverin KOL 100 mineraalivillaa ja kipsilevytyksissä Gyprocin GL 15 Lapikasta, joka on kova erikoislevy ja valmistettu juuri lattiarakenteita varten. Vanerilevynä tässä voi käyttää 18 mm paksua havuvaneria. Alapuolella olevasta rakennetyypistä näkee materiaalien järjestyksen, paksuuden ja tarvittavat vaatimukset. [20,22]



- | | | |
|----|-------------------|---|
| 1. | | Pintamateriaali ja -käsittely ARK mukaan |
| 2. | 31 mm | Kipsilevyt 2x15,5 mm Gyproc GL 15 Lapikas, levysaumot limitetään |
| 3. | 18 mm | Vanerilevy |
| 4. | | Kertopuupalkit, välissä mineraalivilla Isover KOL 100 mm |
| 5. | 22 mm | Harvalauta > 22x45 k600 |
| 6. | | Akustinen jousiranka Gyproc AP 25 k400 |
| 7. | 12,5 +
15,5 mm | Kipsilevy 12,5 mm Gyproc GN 13 Normaali +
kipsilevy 15,5 mm Gyproc GF 15 Protect F |
| 8. | | Pintamateriaali ja -käsittely ARK mukaan |

Askeläänieristävyys: $L'n,w \leq 53$ dB

Ilmaäänieristävyys: $R,w \geq 55$ dB

Palonkestoluokka: REI60

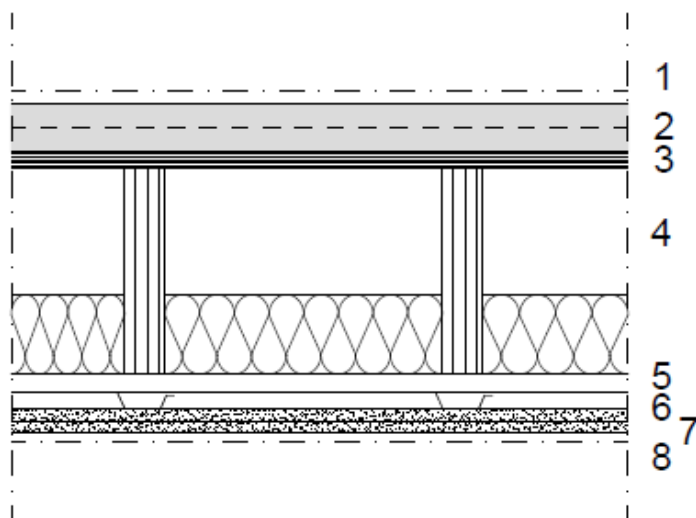
Kuva 17. Rakennetyyppi: Vanerilevy 18 mm + 2x 15,5 mm Gyproc GL 15 Lapikas. [20,22]

4.2.2 Kelluva betonilaatta

Betonivalu on järkevä ratkaisu esimerkiksi tiloissa, jotka vaativat lattiarakenteelta kestäväää tai helposti pinnoitettavaa pintaa. Näitä tiloja voivat esimerkiksi olla erilaiset tilat, joihin varastoidaan tavaraa, tai vedeneristystä tarvitsevat huoneet. Vedeneristysten kannalta betonivalut ovat hyviä ratkaisuja, koska kaatovalut saadaan hyvin tehtyä betonin päälle erikseen tai sitten kaadot voidaan tehdä jo lattiavaluun valmiiksi. Toinen hyvä puoli on vedeneristysten levittäminen betonipinnalle ja esimerkiksi pintarakenteena laatoituksen helppo asennus. Betonin huomattavat ominaisuudet ovat myös sen palonkestävyys ja puristuslujuus. [20,22]

Betonipinta voi olla epämiellyttävä ratkaisu, verrattuna kipsilevytykseen tai kipsivaluun, joihin nähden betoni on kalliimpaa, painavampaa ja sen kuivumisajat ovat pitkiä, mutta tilaaja ja suunnittelija tekevät sopivimman päätöksen ottaen huomioon tilan käyttötarkoituksen ja materiaalien soveltuvuuden. Valuissa pitää muistaa myös, että korjauskoh-teissa valujen käyttö voi olla helpompaa verrattuna levyihin, jos levyjä ei saada nostet-tua isoina määrinä suoraan kerrokseen ja ne pitäisi kantaa yksittäisinä paikalle. [20,22]

Betonivalun paksuuden kohdalla rajattiin se kolmeen eri tyyppisempään vaihtoehtoon, 60 mm, 70 mm tai 80 mm. Tämä työ käsitteli laatan kelluvana, eli laatta ei ole mistään kohtaa kiinnitetty rakennuksen runkoon. Teoriassa laatta voitaisiin myös suunnitella liittorakenteisena, mutta se ratkaisu rajattiin pois. Betonivalun raudoitus suunnitellaan laatan suunnitellun paksuuden mukaan, yleisimmin verkko keskeisesti asennettuna. Alapuolella olevasta rakennetyypistä näkee materiaalien järjestyksen, paksuuden ja tarvittavat vaatimukset. [20,22]



- | | | |
|----|-------------------|---|
| 1. | | Pintamateriaali ja -käsittely ARK mukaan |
| 2. | 60-80 mm | Betonivalu |
| 3. | 21 mm | Vanerilevy |
| 4. | | Kertopuupalkit, välissä mineraalivilla Isover KOL 100 mm |
| 5. | 22 mm | Harvalauta > 22x45 k600 |
| 6. | | Akustinen jousiranka Gyproc AP 25 k400 |
| 7. | 12,5 +
15,5 mm | Kipsilevy 12,5 mm Gyproc GN 13 Normaali +
kipsilevy 15,5 mm Gyproc GF 15 Protect F |
| 8. | | Pintamateriaali ja -käsittely ARK mukaan |

Askeläänieristävyys: $L'_{n,w} \leq 53$ dB

Ilmaääneneristävyys: $R_w \geq 55$ dB

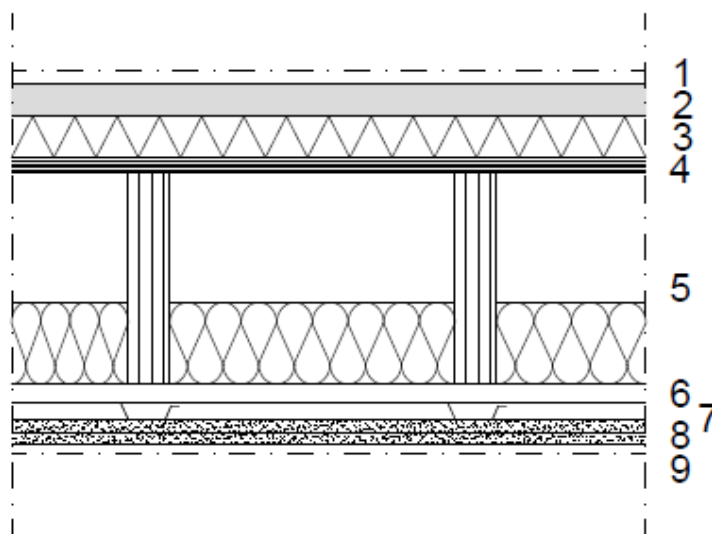
Palonkestoluokka: REI60

Kuva 18. Rakennetyyppi: Vanerilevy 21 mm + betonivalu [20,22]

4.2.3 Kelluva massiivikipsilaatta

Kipsivalu on kipsimassasta valettu pintalaatta, joka tässä tutkimuksessa rajattiin tyypillisempiin paksuuksiin, 40 mm tai 50 mm. Tämä työ käsitteli laatan kelluvana, eli laatta ei ole mistään kohtaa kiinnitetty rakennuksen runkoon. Teoriassa laatta voitaisiin myös suunnitella liittorakenteisena, mutta se ratkaisu rajattiin pois. Kipsivalu soveltuu erittäin hyvin juuri puurakenteisiin käytettäväksi, koska se on käytännöllinen ja taloudellinen ratkaisu. Kipsivalu on nopeammin kuivuvaa, ohuempi ja 25-30 % kevyempi verrattuna betonivaluun. Toinen hyvä puoli betoniin verrattuna kipsivalulattiassa on sen vetolujuus, joka vastaa betonin vetolujuutta. Hyvän taivutuslujuutensa ja kutistumattomuutensa vuoksi kipsivalulattia ei myöskään vaadi raudoitusta ja soveltuu näin ollen laajoillekin pinnoille tasoitteeksi. [20,22]

Energiatehokkuus ja palamattomuus ovat myös tärkeitä ominaisuuksia, jotka kipsivalu täyttää. Palo-ominaisuudeltaan kipsivalu toimii samalla tavalla kuin kipsilevytkin, eli varastoidut vesimolekyylit vapautuvat palotilanteessa muodostaen vesihöyryä. Tässä tilanteessa askeläänieristeenä käytetään Paroc SSB 1, 50 mm villaa kipsivalun alapuolella. Kipsivalun hyviä käyttökohteita on esimerkiksi normaalit oleskelutilat, sekä märkätilat. Alapuolella olevasta rakennetyypistä näkee materiaalien järjestyksen, paksuuden ja tarvittavat vaatimukset. [20,22]



- | | | |
|----|----------|--|
| 1. | | Pintamateriaali ja -käsittely ARK mukaan |
| 2. | 40-50 mm | Kipsivalu |
| 3. | 50 mm | Askeläänieristevilla Paroc SSB 1 |
| 4. | 18 mm | Vanerilevy |
| 5. | | Kertopuupalkit, välissä mineraalivilla Isover KOL 100 mm |
| 6. | 22 mm | Harvalauta > 22x45 k600 |
| 7. | | Akustinen jousiranka Gyproc AP 25 k400 |
| 8. | 12,5 + | Kipsilevy 12,5 mm Gyproc GN 13 Normaali + |
| | 15,5 mm | kipsilevy 15,5 mm Gyproc GF 15 Protect F |
| 9. | | Pintamateriaali ja -käsittely ARK mukaan |

Askeläänieristävyys: $L'_{n,w} \leq 53$ dB

Ilmaääneneristävyys: $R_{w} \geq 55$ dB

Palonkestoluokka: REI60

Kuva 19. Rakennetyyppi: Vanerilevy 18 mm + askeläänieristevilla Paroc SSB1, 50 mm + kipsivalu [20,22]

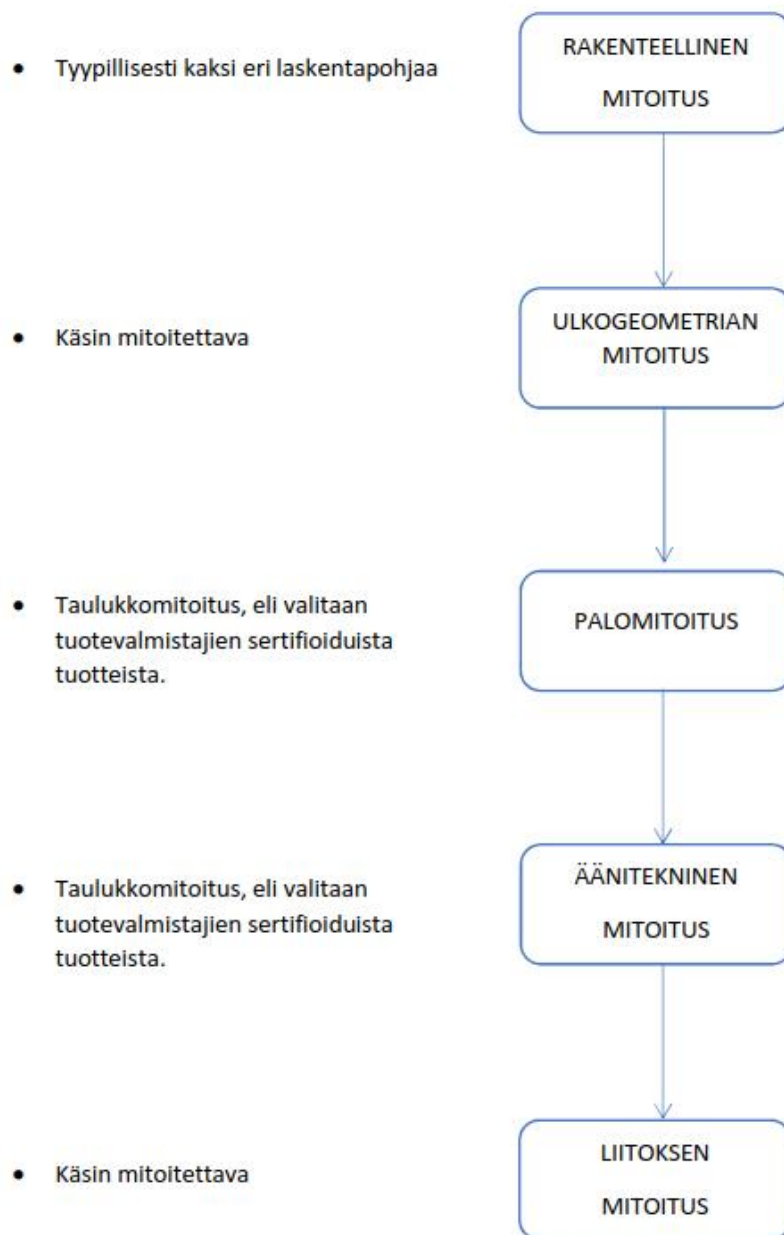
5 Insinööriyötä varten tehty laskentapohja

Tässä osiossa käsitellään insinööriyötä varten tehtyä laskentapohjaa ja tämän hyötyjä suunnitteluun.

5.1 Välipohjan suunnitteluprosessi

Välipohjan suunnitteluprosessi vanhaan rakennukseen yleisesti käsittää vanhan rakenteen tutkimisen ja uuden rakenteen suunnittelun ja mitoituksen. Vanhan rakenteen tutkiminen taas sisältää jo työssä läpi käytyjä asioita, eli suojelumääräykset, rakennetyypin ja vanhan rakenteen geometrian. Uuden välipohjan suunnittelu ja mitoitus käsittelee rakenteen tyyppiä, pintamateriaaleja, painoa ja rakenteellista mitoitusta. Normaalisti tämä on noin viiden vaiheen prosessi, mutta nyt tätä työtä varten tehty laskentapohja määrittää kaiken samassa. Alapuolella oleva vuokaavio havainnollistaa näitä viittä eri prosessia.

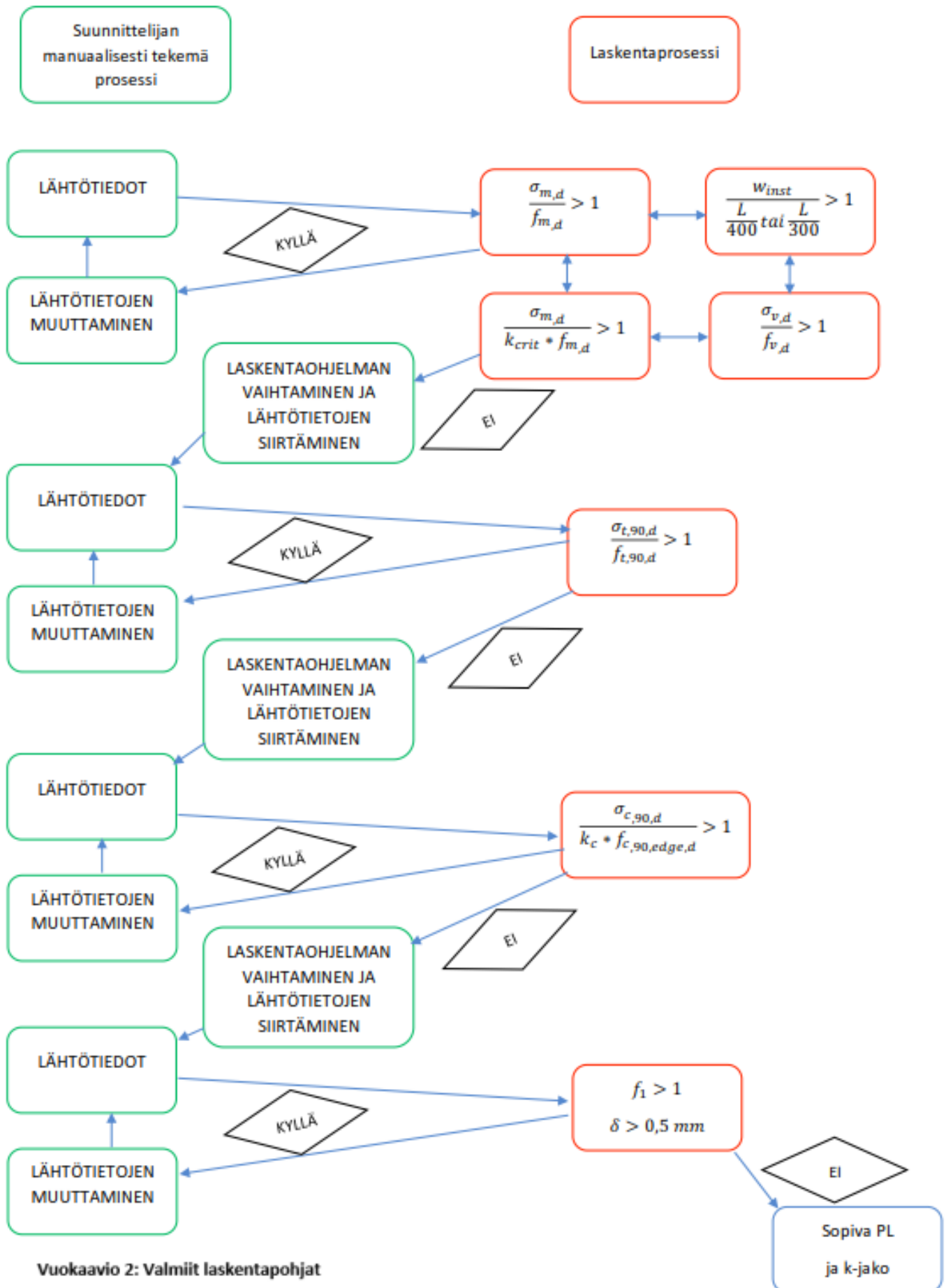
Vuokaavio 1: suunnitteluvaiheen prosessit.



Kyseinen vuokaavio on vain yksi esimerkki, eli jokainen suunnittelija määrittää itse järjestyksen kyseisille prosesseille. Huomioitavaa on, että jos jossain prosessissa käyttöehdot eivät täyty, niin kaikki prosessit täytyy suorittaa uusiksi.

Tätä insinööriä varten tehtiin oma laskentapohja, jonka tarkoituksena on mitoittaa uusi välipohja ja näin ollen nopeuttaa ja helpottaa suunnitteluvaiheen töitä. Yksi tärkeimmistä ominaisuuksista tämän pohjan käytössä on luonnosvaiheen suunnittelu ja tämän sisältämät reunaehdot. Esimerkiksi suunnittelija ei luonnosvaiheessa ehdi tarkastelemaan jokaista ehtoa ja näin ollen mitoittaa vain määräävän ehdon. Tämä johtaa siihen, että pääsuunnitteluvaiheessa joudutaan mitoittamaan kaikki muutkin tarkastelut ja näin ollen mitoittavaksi ehdoksi voi tulla joku muu kuin mitä luonnosvaiheessa ajateltiin. Tämä johtaa turhiin muutostöihin ja aikataulun, sekä kustannusten laajentumiseen. Tämä työ vertailee kolmea eri tapaa mitoittaa välipohjaratkaisu.

Ensimmäinen vaihtoehto on käsin mitoittaminen, eli lasketaan jokainen välivaihe ja ehto itse. Tämän huonoja puolia ovat hitaus ja suuri riski tehdä virhe laskennassa. Toinen on käyttää valmiita laskentapohjia. Näitä laskentapohjia ovat mm. Puuinfon ja Skol laskentapohjat. [21] Tämä nopeuttaa laskentaa paljon verrattuna käsin laskentaan, mutta virheen mahdollisuus on edelleen suuri siirrettäessä lähtötietoja laskentapohjasta seuraavaan. Huono puoli on myös tulosteen määrä. Kolmas on tämän työn oma laskentapohja. Tämä pohja laskee kaikki ehdot yhdellä kertaa eikä suunnittelijan tarvitse kuin kerran syöttää tarvittavat lähtötiedot. Ohjelma antaa valmiiksi suunnittelijalle sopivan vaihtoehdon poikkileikkauksen ja k-jaon suhteen. Näin ollen suunnittelija saa valita sopivan palkin ja hän näkee samalla myös käyttöasteen kyseiselle palkille ja määräävän ehdon. Pohja antaa myös valmiin välipohjapaksuuden kyseistä palkkia käytettäessä ja näin suunnittelija pystyy katsomaan, sopiiko se hänen suunnittelemaansa kohteeseen. Niin kuin on jo mainittu, tämä sopii todella hyvin luonnosvaiheen suunnitteluun. Alla on esitetty rakenteellista mitoitusta esittävä vuokaavio, jossa selitetään valmiiden suunnitteluohjelmien käyttämisen prosessi.



Laskentapohja toteutettiin Excel ohjelmalla. Tämä koostuu neljästä välilehdestä: lähtötiedot, mitoitus, materiaalit ja kertoimet. Laskentapohjan käyttäjän ei tarvitse huolehtia muusta, kuin lähtötieto välilehdestä, josta esimerkki kuva alapuolella.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	Puurakenteisen välipohjan laskenta							
3								
4	Lähtötiedot							
5								
6	Rakenteen jänneväli, L:		5000 mm		Kiinnitystapa:	Loveaminen		
7	Huoneen leveys, B:		10000 mm		Yhteensuuntaan kantava			
8	Kerroskorkeus, H:		2600 mm		Ikkuna ala:	0,3		
9	Seinän paksuus, B,seinä:		600 mm					
10								
11	Kuormat							
12								
13	Vanerilevy 18 mm + 2x15.5 mm Gyproc GL 15 Lapikas						0,412	
14	Puukoolaus + Gyproc Gypsteel GK-kannatinjärjestelmä + 2x 15 mm Gyproc GFL15 Fireline						0,1	
15	Lisäripustus: LVI						0,5	
16					Pysyvä	$g_{k,pintarakenteet} =$	1,0	kN/m ²
17								
18								
19	Hyötykuorma :		Luokka A:		$q_k =$	2,0		kN/m ²
20	Lisä hyötykuorma :				$q_k =$	0,5		kN/m ²
21								
22	Ääni:		$R'_{w} \geq 55$ dB		Palo:	REI 60		
23			$L'_{n,w} \leq 53$ dB					
24								

Kuva 20. Laskentapohjan lähtötieto välilehti.

Kuvassa keltaisena näkyvät ne ruudut, jotka käyttäjä joutuu asettamaan itse, eli lähtötiedot. Näihin kirjataan rakennuksen mitat, onko tuleva välipohja yhteen- vai kahteen suuntaan kantava, onko seinällä kuinka paljon ikkuna pinta-alaa ja minkälaiset pintarakenteet tulevat olemaan. Kun käyttäjä on asettanut lähtötiedot oikein, laskee ohjelma mahdolliset vaihtoehdot kantavien rakenteiden osalta ja ilmoittaa rakenteen kokonaispaksuuden. Alla oleva kuva esittää laskelman yhteenvetotaulukkoa.

28						
29	OHJE:	1. Määrävä Käyttöaste				
30		2. Määräävän käyttöasteen tyyppi				
31		3. KT=kiepahdustuet: käyttöaste on n. 70% (Ei kelpaa tai 1-5 kpl)				
32		51x200	51x225	51x260	51x300	51x360
33	k350	73,5% Painuma KT: 3	51,6% Painuma KT: 2	36% Taivutus KT: 2	27,2% Taivutus KT: 1	19,1% Taivutus KT: 1
34	k400	Kiepahdus KT: EIKELPAA	57,2% Painuma KT: 3	40,9% Taivutus KT: 2	30,9% Taivutus KT: 2	21,7% Taivutus KT: 1
35	k450	Kiepahdus KT: EIKELPAA	69,1% Taipuma Winst L/400 KT: 4	45,9% Taivutus KT: 3	34,6% Taivutus KT: 2	24,2% Taivutus KT: 2
36	k500	Kiepahdus KT: EIKELPAA	Kiepahdus KT: EIKELPAA	55,3% Taipuma Winst L/400 KT: 3	38,3% Taivutus KT: 2	26,8% Taivutus KT: 2
37	k550	Kiepahdus KT: EIKELPAA	Kiepahdus KT: EIKELPAA	66,7% Taipuma Winst L/400 KT: 4	43,7% Taipuma Winst L/400 KT: 3	29,4% Taivutus KT: 2
38	k600	Kiepahdus KT: EIKELPAA	Kiepahdus KT: EIKELPAA	Kiepahdus KT: EIKELPAA	51,8% Taipuma Winst L/400 KT: 3	31,9% Taivutus KT: 3
39	k650	Kiepahdus KT: EIKELPAA	Kiepahdus KT: EIKELPAA	Kiepahdus KT: EIKELPAA	60,6% Taipuma Winst L/400 KT: 4	35,3% Taipuma Winst L/400 KT: 3
40	k700	Kiepahdus KT: EIKELPAA	Kiepahdus KT: EIKELPAA	Kiepahdus KT: EIKELPAA	70,1% Taipuma Winst L/400 KT: 5	40,8% Taipuma Winst L/400 KT: 3
41	k750	Kiepahdus KT: EIKELPAA	Kiepahdus KT: EIKELPAA	Kiepahdus KT: EIKELPAA	Kiepahdus KT: EIKELPAA	46,8% Taipuma Winst L/400 KT: 4
42	k800	Kiepahdus KT: EIKELPAA	Kiepahdus KT: EIKELPAA	Kiepahdus KT: EIKELPAA	Kiepahdus KT: EIKELPAA	53,1% Taipuma Winst L/400 KT: 4
43	k850	Kiepahdus KT: EIKELPAA	Kiepahdus KT: EIKELPAA	Kiepahdus KT: EIKELPAA	Kiepahdus KT: EIKELPAA	59,8% Taipuma Winst L/400 KT: 5
44	k900	Kiepahdus KT: EIKELPAA	Kiepahdus KT: EIKELPAA	Kiepahdus KT: EIKELPAA	Kiepahdus KT: EIKELPAA	Kiepahdus KT: EIKELPAA

Kuva 21. Laskelmien yhteenveto. Vihreällä esitetty käyttöehdot täyttävät vaihtoehdot.

Alla oleva taulukko esittelee välipohjan kokonaisratkaisujen vertailua, käyttöasteen näkökulmasta. Taulukossa esitetään kolme eri tapausta, joissa on muuten samat arvot,

muuta kuin huonekoko vaihtelee ja pintarakenteet ovat erit. Näissä on ilmoitettu jokaisen tyyppin määräävät käyttöasteet, niiden prosentit ja pienin mahdollinen palkki koko. Nämä arvot saatiin laskentapohjasta.

Huone (bxh):	6000x10000	5000x10000	4000x1000
Kipsilevytyt	Taivutus 51 %, 51x260 k350	Taipuma 69 %, 51x225 k550	Taipuma 88 %, 51x200 k600
Kelluva betonilaatta	Taivutus 41 %, 51x360 k400	Taivutus 67 %, 51x260 k500	Taipuma 73 %, 51x200 k400
Kelluva kipsilaatta	Taivutus 50 %, 51x300 k400	Taipuma 54 %, 51x225 k400	Taipuma 87 %, 51x200 k550

Taulukko 3. Välipohjan kokonaisratkaisujen vertailu määräävissä käyttöasteissa.

6 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tutkimuskohde oli Optiplan Oy:lle hyvin ajankohtainen sekä se tuli tarpeeseen, sillä heillä ei ole ollut tämän kaltaista puurakenteisen välipohjan laskentapohjaa käytössään. Tätä työtä varten perehdyttiin puurakenteiden suunnitteluun ja mitoittamiseen, rakentamisen historiaan, sekä välipohjan hyötyihin rakennuksessa. Suunnittelun osuus toteutetaan massiivitiilirakennukselle, jotka olivat yleisiä 1900-luvun vaihteessa. Näiden välipohjat on tarkoitus uusida puurakenteisiksi. Välipohjan kantavien rakenteiden uusimisessa keskityttiin vain kerto-S palkkeihin, sillä nämä ovat tyypillisemmät palkkiratkaisut tämän tyyllisissä rakennuksissa.

Laskentapohjan tarkoitus on jatkossa parantaa Optiplan Oy:n suunnittelijoiden työtä projekteissa, joissa suunnitellaan uutta puurakenteista välipohjaa vanhaan rakennukseen. Laskentapohja mitoittaa MRT- ja KRT-tarkastelut, pois lukien palomitoituksen, joka tehdään taulukkomitoituksella samalla tavalla kuin akustiikankin. Yleisin mitoittava tekijä tämän kaltaisissa ratkaisuissa on värähtely. Laskentapohjaa voi soveltaa helposti muihinkin tapauksiin ja pienillä muutoksilla ulkoseinärakenteen ei tarvitsisi olla tiilimuuraus.

Lopputuloksena voidaan sanoa, että mitoittava tekijä yleensä puurakenteisessa välipohjassa tulee olemaan värähtely, taipuma tai kiepahdus. Näitä voidaan kompensoida erilaisin tavoin ja juuri kantavien palkkien koon kasvattamisella. Kantavista palkeista huomattiin tutkimuksen yhteydessä, että 200 mm korkeat palkit voidaan melkein suoraan rajata valinnoista pois. Tämän kokoisia palkkeja ei saatu kestämään juurikaan missään tyypillisimmissä huonemitoissa ja näiden reiittäminen on erityisen hankalaa esimerkiksi normaaleille viemäriputki läpivienneille. Pintarakenteiden osalta huomattiin, että kaikki tarkasteltavat vaihtoehdot ovat hyvin erilaisia verrattuina toisiinsa.

Oleellista on, että uusi välipohja painaa yleensä aina enemmän, kuin vanha paitsi, jos vanha välipohja koostuu betonista, esimerkiksi alalaattapalkistot. Alapuolella oleva taulukko esittelee painojen eroja.

Rakennetyyppi	Levytys	Betonivalu	Kipsivalu
Uuden paino verrattuna alalaattapalkistoon	4.91 kN/m ² , kevyempi	3.41 kN/m ² , kevyempi	4.31 kN/m ² , kevyempi
Uuden paino verrattuna muihin välipohjatyypeihin	0.29 kN/m ² , painavampi	1.79 kN/m ² , painavampi	0.89 kN/m ² , painavampi

Taulukko 4. Uuden välipohjan vertailu tyypillisiin 1900-luvun välipohjiin

Jäykkyydestä voidaan sanoa, että se on todella suuri, jos käytetään betoni- tai kipsivalua. Tämä yleisesti auttaa paremmin värähtelyn hallitsemisessa kuin kipsilevyrakente, mutta huomioitavaa on myös painon lisääntyminen. Tulevaisuudessa äsken mainittuja asioita tulisi tutkia enemmän. Muita tarkasteltavia asioita on esimerkiksi ikkunoiden sijainti seinärakenteessa. Niissä tärkeitä asioita on ikkunoiden päälle tulevat palkit ja miten seinä- ja välipohjarakenne kestää, jos ikkunoita on paljon. Liitostavat seinärakenteeseen ovat myös tärkeitä ja esimerkiksi konsoliliitosta olisi hyvä tarkastella enemmän ja miettiä, millä tavoin se saataisiin kestävämmän.

Tutkimusta varten tehdyllä laskentaohjelmalla on jatkossa helppo tarkistaa tämän työn kaltaisia tapauksia. Tätä laskentapohjaa on myös tulevaisuudessa mahdollista parantaa esimerkiksi lisäämällä palkkikokoja tai eri palkkityyppejä ja vaihtamalla seinärakente tiilirakenteesta johonkin muuhun.

Lähteet

- 1 Petri Neuvonen, Erkki Mäkiö, Maarit Malinen. Kerrostalot 1880-1940. Rakennustietosäätiö RTS ja Rakennustieto Oy. Karisto Oy, Hämeenlinna 2002.
- 2 RIL 205-1-2017. Puurakenteiden suunnitteluohje. 2017. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Grano Oy.
- 3 RIL 205-2-2009. Puurakenteiden suunnitteluohje. 2009. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Hansaprint Oy.
- 4 Puuinfo lyhennetty suunnittelu ohje
- 5 Eurokoodi 5, Puurakenteiden suunnittelu. Suomen standardisoimisliitto SFS.
- 6 Suojeltu rakennukset suomessa. Museovirasto. Verkkodokumentti. <http://www.nba.fi/fi/File/1836/suojellut-rakennukset-maaritykset-ja-kohdejoukot.pdf>. Luettu 14.2.2018
- 7 Rakennettu kulttuuriympäristö ja muinaismuistot. Maankäyttö ja rakennuslaki. Verkkodokumentti. < <http://www.ym.fi/download/noname/%7B46012383-09C9-48F2-8AFD-C502890568D6%7D/32121> >. Luettu 14.2.2018
- 8 EC5 Sovelluslaskelmat. Puuinfo. Verkkodokumentti. < <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/eurokoodit-ja-standardit/ec5-sovelluslaskelmat-asuinrakennus/ec5-sovelluslaskelmat-asuinrakennus0.pdf>>. Luettu 13.12.2018.
- 9 Gyproc tuotekortti. Gyproc. Verkkodokumentti. < <http://www.gyproc.fi/tuotekortti/3353/gyproc-gfe-15-protect-f-ergo.pdf> >. Luettu 21.2.2018.
- 10 Gyproc tuotekortti. Gyproc. Verkkodokumentti. < <http://www.gyproc.fi/tuotekortti/3139/gyproc-gl-15-lapikas.pdf> >. Luettu 21.2.2018.
- 11 Gyproc tuotekortti. Gyproc. Verkkodokumentti. < <http://www.gyproc.fi/tuotekortti/3141/gyproc-gn-13-normaali.pdf> >. Luettu 21.2.2018.
- 12 Gyproc tuotekortti. Gyproc. Verkkodokumentti. < http://www.gyproc.fi/Download/21952/AP25_akustinen_jousiranka_asennus.pdf >. Luettu 21.2.2018.

- 13 Ääneneristys puutalossa. Puuinfo. Verkkodokumentti. < <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/aneneristys-puutalossa/koko-ohje.pdf> >. Luettu 4.3.2018.
- 14 Tiilen historiaa Suomessa. Museovirasto. Verkkodokumentti. < <http://www.nba.fi/tiili/rakennusosat/runko.htm> >. Luettu 12.3.2018.
- 15 Lauri Salokangas, Jutila A, Syrjä R. Opetusmoniste. RAK-11.2100 Perustusten ja tukimuurien rakennustekninen suunnittelu.
- 16 Rakennusten paloluokat ja paloluokan määrittäminen. Rakennustieto. Verkkodokumentti. < <https://www.rakennustieto.fi/bin/get/id/5guoZSPW8%3A%2447%2411139%2446%24pdf.0.0.5gunJ4yOi%3A%2447%24handlers%2447%24net%2447%24statistacs%2495%24download%2495%24pdf%2446%24stato.5gv06pzjY%3AC1-111020/11139.pdf> >. Luettu 30.3.2018.
- 17 Valtioneuvoston asetus asbestityön turvallisuudesta. Finlex. Verkkodokumentti. < <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150798> >. Luettu 30.3.2018.
- 18 Laki eräistä asbestipurkutyötä koskevista vaatimuksista 684/2015 ja valtioneuvoston asetus asbestityön turvallisuudesta 798/2015
- 19 Petri Rantanen. Torninosturin perustusten mitoitus. Insinööriyö. 2014.
- 20 Gyproc käsikirja. Saint-Gobain Finland Oy/Gyproc. Verkkodokumentti. < http://www.gyproc.fi/Download/24907/Gyproc_K%c3%a4sikirja2018-042018_suojattu.pdf >. Luettu 20.3.2018.
- 21 Mitoitusohjelmat. Puuinfo. Verkkodokumentti. < <https://www.puuinfo.fi/mitoitusohjelmat> >. Luettu 5.12.2017.
- 22 Rakennetyyppikirjasto. Puuinfo. Verkkodokumentti. < https://www.puuinfo.fi/yleinen_rakennetyyppikirjasto >. Luettu 14.1.2018.
- 23 Puurakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Jouni Kalliomäki. Opetusmonisteet.
- 24 Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa. Suomen rakentamismääräyskoelma ympäristöministeriö. Verkkodokumentti. < <https://www.finlex.fi/data/normit/1917/c1.pdf> >. Luettu 21.3.2018.
- 25 Rakennusten paloluokitus. RakMK E1. Verkkodokumentti. < <http://www.finnisol.fi/Download/21754/liite5.pdf> >. Luettu 21.3.2018.

- 26 Muurattujen tiilirakenteiden suunnittelu. Rakennustieto. Verkkodokumentti. <
<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK98s402.pdf>>. Luettu 11.3.2018.
- 27 RIL 206-2010. Muurattujen rakenteiden suunnitteluohje. 2010. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Hansaprint Oy.
- 28 RIL 99. Muuratut rakenteet. 1975. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry. K.J. Gummerus Oy.
- 29 Schneider - Bautabellen für Ingenieure. 2016. Albert (Hrsg.) Blieschies. Bundesanzeiger Verlag GmbH.

Excel laskentapohja

L20		fx							
	A	B	C	D	E	F	G	H	
1									
2	Puurakenteisen välipohjan laskenta								
3									
4	Lähtötiedot								
5									
6	Rakenteen jänneväli, L:	4000 mm			Kiinnitystapa:	Loveaminen			
7	Huoneen leveys, B:	10000 mm			Yhteensuuntaan kantava				
8	Kerroskorkeus, H:	2600 mm			Ikkuna ala:				
9	Seinän paksuus, B _{seinä} :	600 mm							
10									
11	Kuormat								
12									
13	Vanerilevy 18 mm + 2x15.5 mm Gyproc GL 15 Lapikas						0,412		
14	Puukoolaus + Gyproc Gypsteel GK-kannatinjärjestelmä + 2x 15 mm Gyproc GFL15 Fireline						0,1		
15	Lisäripustus: LVI						0,5		
16					Pysyvä	$g_{k,pintarakenteet} =$	1,0	kN/m ²	
17									
18									
19	Hyötykuorma :	Luokka A:			$q_k =$	2,0	kN/m ²		
20	Lisä hyötykuorma :				$q_k =$	0,5	kN/m ²		
21									
22	Ääni:	$R'_w \geq 55$ dB			Palo:	REI 60			
23		$L'_{n,w} \leq 53$ dB							
24									

	A	B	C	D	E	F	G
29	OHJE:	1. Määräävä Käyttöaste					
30		2. Määräävän käyttöasteen tyyppi					
31		3. KT=kiepahdustuet: käyttöaste on n. 70% (Ei kelpaa tai 1-5 kpl)					
32		51x200	51x225	51x260	51x300	51x360	
33	k350	47% Painuma KT: 1	33% Painuma KT: 1	23,5% Taivutus KT: 0	19,2% Värähtely KT: 0	24,8% Värähtely KT: 0	
34	k400	52,2% Painuma KT: 1	36,6% Painuma KT: 1	26,7% Taivutus KT: 1	20,2% Taivutus KT: 0	22,8% Värähtely KT: 0	
35	k450	57% Painuma KT: 1	40% Painuma KT: 1	29,9% Taivutus KT: 1	22,6% Taivutus KT: 1	23,2% Värähtely KT: 0	
36	k500	61,6% Painuma KT: 2	44,1% Taivutus KT: 1	33,1% Taivutus KT: 1	25% Taivutus KT: 1	22,6% Värähtely KT: 1	
37	k550	73,8% Taipuma Winst L/400 KT: 3	52% Taipuma Winst L/400 KT: 2	36,4% Taivutus KT: 1	27,4% Taivutus KT: 1	22% Värähtely KT: 1	
38	k600	87,6% Taipuma Winst L/400 KT: 4	61,7% Taipuma Winst L/400 KT: 2	40,2% Taipuma Winst L/400 KT: 1	29,8% Taivutus KT: 1	21,6% Värähtely KT: 1	
39	k650	Kiepahdus KT: EI KELPAA	72,3% Taipuma Winst L/400 KT: 3	47% Taipuma Winst L/400 KT: 2	32,2% Taivutus KT: 1	22,5% Taivutus KT: 1	
40	k700	Kiepahdus KT: EI KELPAA	83,7% Taipuma Winst L/400 KT: 4	54,4% Taipuma Winst L/400 KT: 2	35,6% Taipuma Winst L/400 KT: 2	24,2% Taivutus KT: 1	
41	k750	Kiepahdus KT: EI KELPAA	95,9% Taipuma Winst L/400 KT: 5	62,4% Taipuma Winst L/400 KT: 2	40,8% Taipuma Winst L/400 KT: 2	25,9% Taivutus KT: 1	
42	k800	Kiepahdus KT: EI KELPAA	Kiepahdus KT: EI KELPAA	70,9% Taipuma Winst L/400 KT: 3	46,3% Taipuma Winst L/400 KT: 2	27,5% Taivutus KT: 2	
43	k850	Kiepahdus KT: EI KELPAA	Kiepahdus KT: EI KELPAA	79,9% Taipuma Winst L/400 KT: 3	52,2% Taipuma Winst L/400 KT: 2	30,3% Taipuma Winst L/400 KT: 2	
44	k900	Kiepahdus KT: EI KELPAA	Kiepahdus KT: EI KELPAA	89,4% Taipuma Winst L/400 KT: 4	58,4% Taipuma Winst L/400 KT: 2	34% Taipuma Winst L/400 KT: 2	
45							

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
1	Vakiot																							
2	LEVEYS: b	51 mm	51 mm	51 mm	51 mm	51 mm	51 mm	51 mm	51 mm	51 mm	51 mm	51 mm	51 mm	51 mm	51 mm	51 mm	51 mm	51 mm	51 mm	51 mm	51 mm	51 mm	51 mm	51 mm
3	KORKEUS: h	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm
4	PAUKU JALOK-KIILKO Palkin pituus: L	350 mm	400 mm	450 mm	500 mm	550 mm	600 mm	650 mm	700 mm	750 mm	800 mm	850 mm	900 mm	950 mm	1000 mm	1050 mm	1100 mm	1150 mm	1200 mm	1250 mm	1300 mm	1350 mm	1400 mm	1450 mm
5		4200 mm	4200 mm	4200 mm	4200 mm	4200 mm	4200 mm	4200 mm	4200 mm	4200 mm	4200 mm	4200 mm	4200 mm	4200 mm	4200 mm	4200 mm	4200 mm	4200 mm	4200 mm	4200 mm	4200 mm	4200 mm	4200 mm	4200 mm
6		1,6	1,14	1,13	1,11	1,10	1,10	1,09	1,08	1,08	1,08	1,08	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
7	kg/m ²	0,41	0,46	0,51	0,56	0,61	0,66	0,71	0,76	0,81	0,86	0,91	0,96	1,01	1,06	1,11	1,16	1,21	1,26	1,31	1,36	1,41	1,46	1,51
8	kg/m	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4
9	kg/m ³	0,78	0,89	1,00	1,12	1,23	1,34	1,45	1,56	1,67	1,79	1,90	2,01	2,12	2,23	2,34	2,45	2,56	2,67	2,78	2,89	3,00	3,11	3,22
10	kg/m ³	1,9	2,2	2,5	2,8	3,0	3,3	3,6	3,9	4,1	4,4	4,7	5,0	5,3	5,6	5,9	6,2	6,5	6,8	7,1	7,4	7,7	8,0	8,3
11	kg/m ³	0,74	0,85	0,96	1,06	1,17	1,28	1,38	1,49	1,59	1,70	1,81	1,91	2,01	2,11	2,21	2,31	2,41	2,51	2,61	2,71	2,81	2,91	3,01
12	kg/m ³	0,71	0,81	0,91	1,01	1,11	1,21	1,31	1,42	1,52	1,62	1,72	1,82	1,92	2,02	2,12	2,22	2,32	2,42	2,52	2,62	2,72	2,82	2,92
13	kg/m ³	1,8	2,1	2,4	2,6	2,9	3,2	3,4	3,7	3,9	4,2	4,5	4,7	5,0	5,3	5,6	5,9	6,2	6,5	6,8	7,1	7,4	7,7	8,0
14	kg/m ³	0,71	0,81	0,91	1,01	1,11	1,21	1,31	1,42	1,52	1,62	1,72	1,82	1,92	2,02	2,12	2,22	2,32	2,42	2,52	2,62	2,72	2,82	2,92
15	kg/m ³	1,8	2,0	2,3	2,5	2,8	3,0	3,3	3,5	3,8	4,0	4,3	4,5	4,8	5,0	5,3	5,6	5,9	6,2	6,5	6,8	7,1	7,4	7,7
16																								
17	Talvutus																							
18		0,55	0,62	0,68	0,75	0,82	0,89	0,96	1,03	1,09	1,16	1,23	1,30	1,37	1,43	1,50	1,57	1,64	1,71	1,78	1,85	1,92	1,99	2,06
19	kg/m	1,21	1,36	1,51	1,66	1,81	1,96	2,11	2,26	2,41	2,56	2,71	2,86	3,01	3,16	3,31	3,46	3,61	3,76	3,91	4,06	4,21	4,36	4,51
20	kg/m ³	3,53E-06	3,99E-06	4,45E-06	4,91E-06	5,37E-06	5,83E-06	6,29E-06	6,75E-06	7,21E-06	7,67E-06	8,13E-06	8,59E-06	9,05E-06	9,51E-06	9,97E-06	1,04E-05	1,09E-05	1,14E-05	1,19E-05	1,24E-05	1,29E-05	1,34E-05	1,39E-05
21	kg/m ³	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
22	kg/m ³	1,78	2,02	2,27	2,52	2,76	3,01	3,25	3,50	3,74	3,99	4,24	4,48	4,73	4,97	5,21	5,46	5,70	5,95	6,19	6,43	6,68	6,92	7,16
23	kg/m ³	4,46	5,01	5,55	6,09	6,63	7,17	7,71	8,26	8,80	9,34	9,88	10,42	10,96	11,50	12,04	12,58	13,12	13,66	14,20	14,74	15,28	15,82	16,36
24	kg/m ³	1,13E-05	1,31E-05	1,47E-05	1,63E-05	1,79E-05	1,95E-05	2,11E-05	2,27E-05	2,43E-05	2,59E-05	2,75E-05	2,91E-05	3,07E-05	3,23E-05	3,39E-05	3,55E-05	3,71E-05	3,87E-05	4,03E-05	4,19E-05	4,35E-05	4,51E-05	4,67E-05
25	kg/m ³	29,33	29,33	29,33	29,33	29,33	29,33	29,33	29,33	29,33	29,33	29,33	29,33	29,33	29,33	29,33	29,33	29,33	29,33	29,33	29,33	29,33	29,33	29,33
26	kg/m ³	16,1%	18,1%	20,2%	22,2%	24,2%	26,2%	28,2%	30,2%	32,2%	34,2%	36,2%	38,2%	40,2%	42,2%	44,2%	46,2%	48,2%	50,2%	52,2%	54,2%	56,2%	58,2%	60,2%
27	kg/m ³	39,3%	44,8%	50,2%	55,6%	61,0%	66,5%	71,9%	77,3%	82,8%	88,2%	93,6%	99,1%											
28																								
29																								
30																								
31	Kiepanitus																							
32	MRT ¹ = P ₁ /k ₁	0,91	1,03	1,14	1,25	1,37	1,48	1,59	1,71	1,82	1,94	2,05	2,16	2,27	2,38	2,49	2,60	2,71	2,82	2,93	3,04	3,15	3,26	3,37
33	MRT ² = P ₂ /k ₂	2,22	2,53	2,84	3,14	3,45	3,76	4,07	4,37	4,68	4,99	5,29	5,60	5,91	6,21	6,52	6,83	7,14	7,45	7,76	8,07	8,38	8,69	9,00
34																								
35	mm	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80
36	N/mm ²	20,932	20,932	20,932	20,932	20,932	20,932	20,932	20,932	20,932	20,932	20,932	20,932	20,932	20,932	20,932	20,932	20,932	20,932	20,932	20,932	20,932	20,932	20,932
37	kg/m ³	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450
38	N/mm ²	13,955	13,955	13,955	13,955	13,955	13,955	13,955	13,955	13,955	13,955	13,955	13,955	13,955	13,955	13,955	13,955	13,955	13,955	13,955	13,955	13,955	13,955	13,955
39	kg/m ³	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
40	kg/m ³	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473
41	kg/m ³	0,476	0,476	0,476	0,476	0,476	0,476	0,476	0,476	0,476	0,476	0,476	0,476	0,476	0,476	0,476	0,476	0,476	0,476	0,476	0,476	0,476	0,476	0,476

Valittu materiaali: KERTIOS SYRJ.																			
	fm,k	f0,k	f90,k	fc,k	f90,k	f1,k	E0mean	E0,05	E90mean	Gmean	G0,05	pk	pmean	β-	kfi	kh	γm	c	Kc,90 (fos 132th)
10	44,0	35,0	0,80	35,0	6,0	4,1	13800	11600	0	600	400	480	510	0,1	1,1	0,98	1,20	0,58	1
1 C18	18,0	11,0	0,50	18,0	2,2	2,0	9000	6000	300	560	380	330	380	0,2	1,25	1,00	1,4	0,78	1,25
2 C24	24,0	14,0	0,50	21,0	2,5	2,5	11000	7400	370	690	460	350	420	0,2	1,25	1,00	1,4	0,78	1,25
3 C30	30,0	18,0	0,60	23,0	2,7	3,0	12000	8000	400	750	500	380	460	0,2	1,25	1,00	1,4	0,78	1,25
4 C40	40,0	24,0	0,60	26,0	2,9	3,8	14000	9400	470	880	590	420	500	0,2	1,25	1,00	1,25	0,78	1,25
5 G124c	24,0	14,0	0,35	21,0	2,4	2,2	11600	9400	320	590	480	350	390	0,1	1,15	1,05	1,2	0,71	1,5
6 G128c	28,0	16,5	0,40	24,0	2,7	2,7	12600	10200	390	720	580	380	430	0,1	1,15	1,05	1,2	0,71	1,5
7 G128h	28,0	19,5	0,45	26,5	3,0	3,2	12600	10200	420	780	630	410	460	0,1	1,15	1,05	1,2	0,78	1,5
8 G132c	32,0	19,5	0,45	26,5	3,0	3,2	13700	11100	420	780	630	410	470	0,1	1,15	1,05	1,2	0,71	1,5
9 G132h	32,0	22,5	0,50	29,0	3,3	3,8	13700	11100	460	850	690	430	500	0,1	1,15	1,05	1,2	0,78	1,5
10 KERTIOS SYRJ.	44,0	35,0	0,80	35,0	6,0	4,1	13800	11600	600	400	480	510	510	0,1	1,1	0,98	1,2	0,58	1,4
11 KERTIOS LAP.	30,0	35,0	0,80	35,0	1,8	2,3	13800	11600	600	400	480	480	510	0,1	1,1	0,98	1,2	0,58	1,4
12 KERTO-Q (b>24 mm) SYRJ.	32,0	26,0	6,00	26,0	9,0	4,5	10500	8800	600	400	480	480	510	0,1	1,1	0,98	1,2	0,67	1,3
13 KERTO-Q (b>24 mm) LAP.	32,0	26,0	6,00	26,0	2,2	2,2	10500	8800	600	400	480	480	510	0,1	1,1	0,98	1,2	0,67	1,3
14 KERTO-T SYRJ.	27,0	24,0	0,50	26,0	4,0	2,4	10000	8800	400	300	410	480	480	0,1	1,1	0,97	1,2	0,58	1,4
15 KERTO-T LAP.	27,0	24,0	0,50	26,0	1,0	1,0	10000	8800	400	300	410	480	480	0,1	1,1	0,97	1,2	0,58	1,4

AIKALUOKKA: 1			
	1	2	3
Pysyvä	0,60	0,60	0,50
Pirkkäläishän	0,70	0,70	0,55
Keskkipitkä	0,80	0,80	0,65
Lyhytsäihän	0,90	0,90	0,70
Hetkellinen	1,10	1,10	0,90

KÄYTTÖLUOKKA: 1			
	1	1	1
Pysyvä	0,60	0,80	2,00
Pirkkäläishän	0,60	0,80	2,00
Keskkipitkä	0,80	0,80	2,00
Lyhytsäihän	0,90	0,80	2,00
Hetkellinen	1,10	0,80	2,00

$$k_{ov} = \left[\frac{1}{1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{ov,m}} \right]$$

kun $\lambda_{ov,m} \leq 0,75$
 kun $0,75 \leq \lambda_{ov,m} \leq 1,4$
 kun $1,4 < \lambda_{ov,m}$

Kdief:		
1	2	3
Suhdeväri	0,60	2,00
Ultrinapuu	0,60	2,00
LVL	0,60	2,00

Kortti	
1	
1,56-0,75λ _{ov,m}	
1/λ _{ov,m} √2	

Konsoli mitoitus



Profis Anchor 2.7.2

www.hilti.fi

Yritys:
Suunnittelija:
Osoite:
Puhelin / Faksi:
E-Mail:

Sivu: 1
Projekti:
Ala-projekti / Positionumero:
Pvm.: 29.4.2018

Suunnittelijan kommentit:

1 Syötetyt tiedot

Ankkurin tyyppi ja mitat:

HIT-HY 270 + HIT-V-F (5.8)

M16, HIT-SC 22x50+ 22x85



Tehollinen ankkurointisyvyys:

$h_{ef,opp} = 120 \text{ mm}$ ($h_{ef,alst} = 120 \text{ mm}$)

Materiaali:

5.8

Hyväksyntä:

ETA-13/1036

Julkaistu / Voimassa:

28.4.2015 | 28.4.2020

Mitoitusmenetelmä:

Mitoitusmenetelmä ETAG 029, Annex C

Tukikiinnitys:

$e_s = 0 \text{ mm}$ (ei tukikiinnitystä); $t = 10 \text{ mm}$

Pohjalevy:

$l_p \times l_y \times t = 150 \text{ mm} \times 350 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$; (Suositeltu pohjalevyn paksuus: ei laskettu)

Profiili:

T -profiili; (L x W x T x FT) = 150 mm x 150 mm x 4 mm x 4 mm

Alusmateriaali:

Tiilen sijoittelu: Tupla juoksulimitys; Tiili: Mz, 2DF (umpitiili), Savi, L x W x H: 240 mm x 115 mm x 113 mm;

$f_{t,x} = 12,00 \text{ N/mm}^2$; $E_{mod} = 3131,77 \text{ N/mm}^2$

Laasti: M2,5 - M9; Pystysaumat täytetty: Kyllä; pystysuora: 5 mm; vaakasuora: 5 mm

$E_{pilaari} = 1000,00 \text{ N/mm}^2$

rappaus

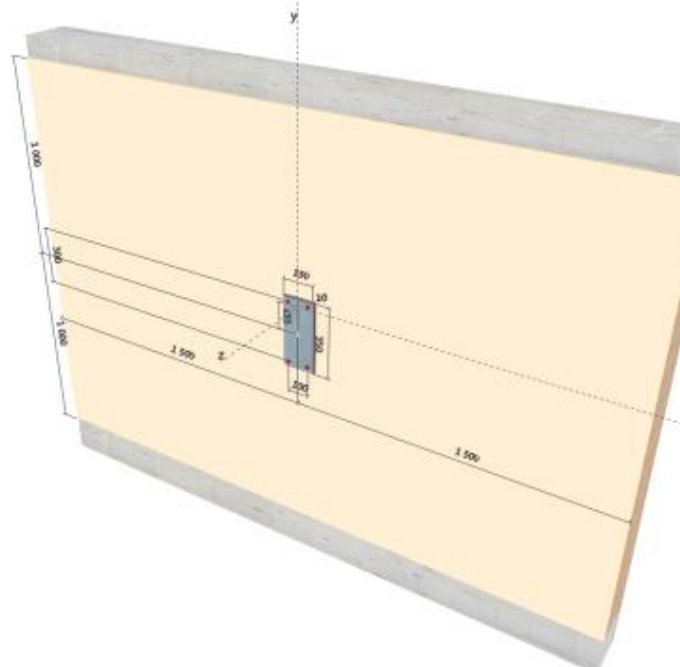
Asennus/ Käyttö:

Porareian olosuhde: kuiva; Käyttö olosuhteet: kuiva;

Puhdistus: Paineilma

Lämpötila lyhyt/pitkä: 80/50 °C

Geometria [mm]



Syötötiedot ja tulokset on tarkastettava, että ne vastaavat todellisia olosuhteita!
PRDFIS Anchor (c) | 2003-2009 Hilti AG, FL-9494 Schaan Hilti on rekisteröity tavaramerkki, jonka omistaa Hilti AG, Schaan



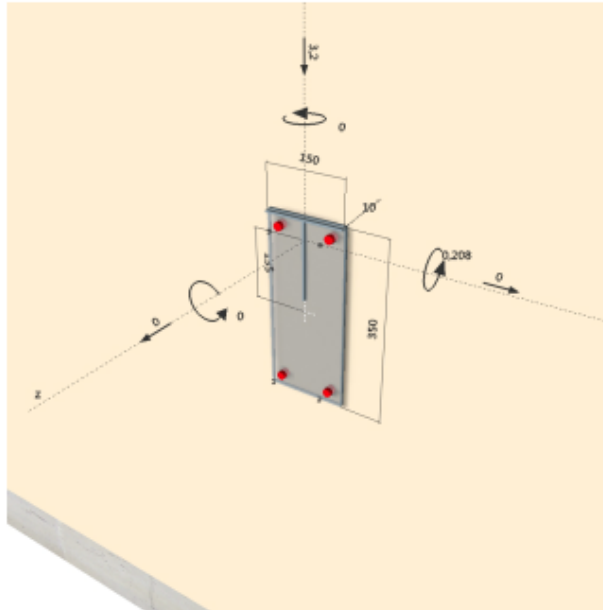
www.hilti.fi

Profis Anchor 2.7.2

Yritys:
Suunnittelija:
Osoite:
Puhelin / Faksi:
E-Mail:

Sivu: 2
Projekti:
Ala-projekti / Positionumero:
Pvm.: 29.4.2018

Geometria [mm] & Kuormitus [kN, kNm]



2 Kuormitustilanne/Ankurivoimaresultantti

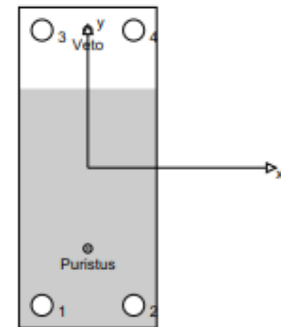
Kuormitustilanne: Suunnittelukuormat

Ankurireaktiot [kN]

Vetovoima: (+Veto, -Puristus)

Ankkuri	Vetovoima	Leikkausvoima	Leikkausvoima x	Leikkausvoima y
1	0,000	0,800	0,000	-0,800
2	0,000	0,800	0,000	-0,800
3	0,437	0,800	0,000	-0,800
4	0,437	0,800	0,000	-0,800

max. kokoonpuristuma: 0,01 [%]
max. kokoonpuristuma: 0,04 [N/mm²]
vetovoimaresultantti (x/y)=(0/150): 0,873 [kN]
puristusvoimaresultantti (x/y)=(0/-88): 0,873 [kN]



3 Vetokuorma (ETAG 029 Liite C, osio C.5.2.1)

	Kuorma [kN]	Kapasiteetti [kN]	Käyttöaste β_n [%]	Tila
Teräksen murtuminen*	0,437	52,667	1	OK
Tarunnan pettäminen*	0,437	2,100	21	OK
Brick breakout**	0,873	2,100	42	OK
Pullout of one brick**	1,747	5,327	33	OK

* eniten kuormitettu ankkuri **ankkuriryhmä (vetokuormitetut ankkurit)

3.1 Teräksen murtuminen

$N_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$N_{Ed,s}$ [kN]	N_{Ed} [kN]
79,000	1,500	52,667	0,437

Syöttötiedot ja tulokset on tarkastettava, että ne vastaavat todellisia olosuhteita!
Profis Anchor (c) 2003-2009 Hilti AG, FL-9494 Schaan Hilti on rekisteröity tavaramerkki, jonka omistaa Hilti AG, Schaan



www.hilti.fi

Profis Anchor 2.7.2

Yritys:

Sivu:

3

Suunnittelija:

Projekti:

Osoite:

Ala-projekti | Positionumero:

Puhelin / Faksi:

|

Pvm.:

29.4.2018

E-Mail:

3.2 Tartunnan pettäminen

$N_{Ra,p}$ [kN]	a_i	$\gamma_{M,m}$	$N_{Ra,p}$ [kN]	N_{Ra} [kN]
7,000	0,750	2,500	2,100	0,437

3.3 Brick breakout

s_i [mm]	s_e [mm]	$s_{cr,i}$ [mm]	$s_{cr,e}$ [mm]	c [mm]	c_{cr} [mm]
100	0	240	113	1450	115
$N_{Ra,s}$ [kN]	a_i	$a_{p,N}$	$\gamma_{M,m}$	$N_{Ra,s}$ [kN]	N_{Ra} [kN]
7,000	0,750	1,000	2,500	2,100	0,873

3.4 Pullout of one brick

A_{net}^M [mm ²]	A_{net}^V [mm ²]	f_{tko} [N/mm ²]	σ_d [N/mm ²]
55200	77970	0,20	0,00
$N_{Ra,ps}$ [kN]	$\gamma_{M,m}$	$N_{Ra,ps}$ [kN]	N_{Ra} [kN]
13,317	2,500	5,327	1,747

Syöttötiedot ja tulokset on tarkastettava, että ne vastaavat todellisia olosuhteita!
 PROFIS Anchor (c) 2003-2009 Hilti AG, FL-9494 Schaan Hilti on rekisteröity tavaramerkki, jonka omistaa Hilti AG, Schaan



www.hilti.fi

Profis Anchor 2.7.2

Yritys:	Sivu:	4
Suunnittelija:	Projekti:	
Osoite:	Ala-projekti / Positionumero:	
Puhelin / Faksi:	Pvm.:	29.4.2018
E-Mail:		

4 Leikkauskuorma (ETAG 029 Liite C, osio C.5.2.2)

	Kuorma [kN]	Kapasiteetti [kN]	Käyttöaste β_v [%]	Tila
Teräksen murtuminen (ilman vipuvartta)*	Ei relevantti	Ei relevantti	Ei relevantti	Ei relevantti
Teräksen murtuminen (vipuvarrella)*	0,800	5,761	14	OK
Local brick failure**	3,200	2,400	134	ei suositeltava
Brick edge failure in direction x**	1,600	412,114	1	OK
Pushing out of one brick in direction **	Ei relevantti	Ei relevantti	Ei relevantti	Ei relevantti

* eniten kuormitettu ankkuri **ankkuryhmä (relevantit ankkurit)

4.1 Teräksen murtuminen (vipuvarrella)

l [mm]	α_M			
23	1,00			
$N_{Ed} / N_{Rd,s}$	$1 - N_{Ed} / N_{Rd,s}$	$M_{Rd,s}^E$ [kNm]	$M_{Ed,s} = M_{Rd,s}^E (1 - N_{Ed} / N_{Rd,s})$ [kNm]	
0,008	0,992	0,167	0,166	
$V_{Rd,s}^M = \alpha_M \cdot M_{Rd,s} / l$ [kN]	$\gamma_{M2,V}$	$V_{Rd,s}^M$ [kN]	V_{Ed} [kN]	
7,201	1,250	5,761	0,800	

4.2 Local brick failure

s_x [mm]	s_y [mm]	$s_{cr,x}$ [mm]	$s_{cr,y}$ [mm]	c [mm]	c_{cr} [mm]
100	300	240	113	1450	115
$\alpha_{g,v}$	α_i	$V_{Rd,s}$ [kN]	$\gamma_{M,m}$	$V_{Rd,s}$ [kN]	V_{Ed} [kN]
2,000	0,750	4,000	2,500	2,400	3,200

4.3 Brick edge failure in direction x+

k	d_{nom} [mm]	h_{ef} [mm]	$f_{t,v}$ [N/mm ²]	c_1 [mm]
0,45	16	120	12,00	1450
$V_{Rd,c}$ [kN]	$\alpha_{g,v}$	$\gamma_{M,m}$	$V_{Rd,c}$ [kN]	V_{Ed} [kN]
515,143	2,000	2,500	412,114	1,600

5 Veto- ja leikkauskuormien yhdistelmä (ETAG 029 Liite C, kohta C.5.2.3)

β_H	β_V	α	Käyttöaste $\beta_{H,V}$ [%]	Tila
0,416	1,333	1,000	146	ei suositeltava

$$(\beta_H + \beta_V) / 1.2 \leq 1$$



www.hilti.fi

Profis Anchor 2.7.2

Yritys:	Sivu:	5
Suunnittelija:	Projekti:	
Osoite:	Ala-projekti / Positionumero:	
Puhelin / Faksi:	Pvm.:	29.4.2018
E-Mail:		

6 Varoitukset

- Pohjalevy oletetaan riittävän jäykäksi, jotta se ei muuta muotoaan kuormitusten vaikutuksesta.
- Vain ankkurista kohdistuva kuormituksen siirto on huomioitu. Muita mahdollisia kuormituksia ei otettu huomioon PROFIKSESSA!
- Seinän oletetaan olevan pystysuora- tarkistus vaaditaan(!); Poikkeaminen voi johtaa merkittävästi erilaiseen kuormien jakaantumiseen ja suurempiin vetovoimiin kuin laskettu. Muuratessa rakenteessa ei saa olla vaurioita (näkyviä tai näkymättömiä)!. Asennuksen aikana on varmistettava ankkureiden oikea sijoittelu suhteessa saumoihin ja reunoihin..
- The effect of the joints on the compressive stress distribution on the plate / bricks was not taken into consideration.
- If no significant resistance is felt over the entire depth of the hole when drilling (e.g. in unfilled butt joints), the anchor should not be set at this position or the area should be assessed and reinforced. Hilti recommends the anchoring in masonry always with sieve sleeve. Anchors can only be installed without sieve sleeves in solid bricks when it is guaranteed that it has not any hole or void.
- The accessories and installation remarks listed on this report are for the information of the user only. In any case, the instructions for use provided with the product have to be followed to ensure a proper installation.
- Yhdenmukaisuus voimassaolevien standardien kanssa (esim. ETAG 029) on käyttäjän vastuulla.
- The Young's modulus of the wall E_{wall} (not plastered!) is determined in accordance to EN 1996-1-1:2012
- Porausmenetelmä (isku, pyörivä) pitää olla hyväksynnän mukainen!
- Muuraus pitää olla rakennettu voimassaolevien määräysten mukaisesti.
- Huomioi että ETA-hyväksynnän kapasiteetit ovat voimassa vain hyväksynnän mukaisille testatuille materiaaleille (umpi/orto) tai samasta perusmateriaalista olevalle isompikokoiselle ja lujemmalle materiaalille (umpi) , ETAG 029 mukaisesti.
- A default value of $E_{plaster} = 1000,00 \text{ N/mm}^2$ was assumed.
- Puristuslujuus ($0,04 \text{ N/mm}^2$) rappaukselle / tiilelle pitää tarkistaa käyttäjän toimesta. Hilti ei ota vastuuta halkeamista tai vaurioista.

Kiinnitys ei täytä mitoitusohjeita!



www.hilti.fi

Profis Anchor 2.7.2

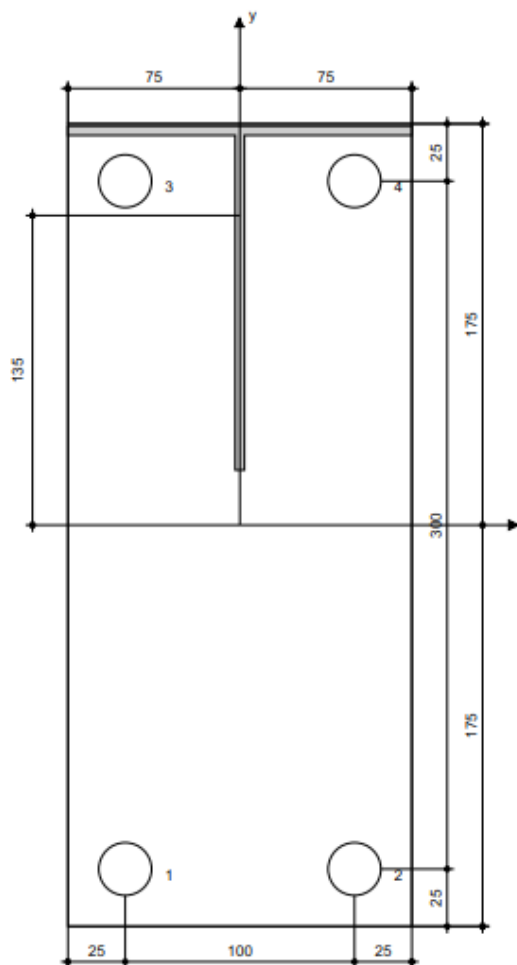
Yritys:
Suunnittelija:
Osoite:
Puhelin / Faksi:
E-Mail:

Sivu: 6
Projekti:
Ala-projekti / Positionumero:
Pvm.: 29.4.2018

7 Asennusohjeet

Pohjalevy, teräs: -
Profiili: T -profiili; 150 x 150 x 4 x 4 mm
Reiän halkaisija rakenteessa: $d_r = 23$ mm
Levyn paksuus (syötetty): 10 mm
Suositeltu pohjalevyn paksuus: ei laskettu
Drilling method: Hammer drilled
Puhdistus: Paineilma

Ankkurin tyyppi ja mitat:
HIT-HY 270 + HIT-V-F (5.8) M16, HIT-SC 22x50+ 22x85
Kiertömomentti: 0,008 kNm
Reiän halkaisija alusmateriaalissa: 22 mm
Reiän syvyys alusmateriaalissa: 135 mm
Alusmateriaalin minimipaksuus: 185 mm



Ankkureiden koordinaatit mm

Ankkuri	x	y	c_{ax}	c_{ax}	c_{ay}	c_{ay}
1	-50	-150	1450	1550	850	1150
2	50	-150	1550	1450	850	1150
3	-50	150	1450	1550	1150	850
4	50	150	1550	1450	1150	850

Syötöhdöt ja tulokset on tarkastettava, että ne vastaavat todellista tilausta!
PROFIS Anchor (c) 2003-2009 Hilti AG, FL-9494 Schaan Hilti on rekisteröity tavaramerkki, jonka omistaa Hilti AG, Schaan



Profis Anchor 2.7.2

www.hilti.fi

Yritys:
Suunnittelija:
Osoite:
Puhelin / Faksi:
E-Mail:

Sivu: 7
Projekti:
Ala-projekti / Positionumero:
Pvm.: 29.4.2018

8 Remarks; Your Cooperation Duties

- Any and all information and data contained in the Software concern solely the use of Hilti products and are based on the principles, formulas and security regulations in accordance with Hilti's technical directions and operating, mounting and assembly instructions, etc., that must be strictly complied with by the user. All figures contained therein are average figures, and therefore use-specific tests are to be conducted prior to using the relevant Hilti product. The results of the calculations carried out by means of the Software are based essentially on the data you put in. Therefore, you bear the sole responsibility for the absence of errors, the completeness and the relevance of the data to be put in by you. Moreover, you bear sole responsibility for having the results of the calculation checked and cleared by an expert, particularly with regard to compliance with applicable norms and permits, prior to using them for your specific facility. The Software serves only as an aid to interpret norms and permits without any guarantee as to the absence of errors, the correctness and the relevance of the results or suitability for a specific application.
- You must take all necessary and reasonable steps to prevent or limit damage caused by the Software. In particular, you must arrange for the regular backup of programs and data and, if applicable, carry out the updates of the Software offered by Hilti on a regular basis. If you do not use the AutoUpdate function of the Software, you must ensure that you are using the current and thus up-to-date version of the Software in each case by carrying out manual updates via the Hilti Website. Hilti will not be liable for consequences, such as the recovery of lost or damaged data or programs, arising from a culpable breach of duty by you.

