



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tuovi Helena Rahkonen

PUISEN VÄLI- JA YLÄPOHJA-
PALKISTON MITOITTAMINEN
EUROKOODIN MUKAAN

Tekniikka ja liikenne
2010

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikan koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

| | |
|--------------------|---|
| Tekijä | Tuovi Helena Rahkonen |
| Opinnäytetyön nimi | Puisen väli- ja yläpohjapalkiston mitoittaminen eurokoodin mukaan |
| Vuosi | 2010 |
| Kieli | suomi |
| Sivumäärä | 37 + 46 liitesivua |
| Ohjaaja | Tapani Hahtokari |

Tämä opinnäytetyö on tehty toimeksiantona hirsitalo valmistaja Finnlamellille. Opinnäytetyön aiheena on puisen väli- ja yläpohjapalkiston mitoittaminen eurokoodin mukaan.

Työn tavoitteena on helpottaa rakennesuunnittelijoiden siirtymistä eurokoodien käyttöön. Työssä annetaan tietoa siitä, miten tavanomaisen asuinrakennuksen puurakenteita mitoitetaan eurokoodien mukaan. Työ koostuu kahdesta osasta, teoriaosuudesta ja rakenteiden suunnitteluoppaasta.

Teoriaosuudessa käydään läpi ne asiat, jotka puurakenteiden mitoittamisessa täytyy ottaa huomioon. Siihen sisältyvät suunnitteluperusteet kuten kuormien määrittäminen ja puurakenteiden materiaaliominaisuudet. Välipohjan mitoittamisessa keskitytään värähtelymitoituksen selostamiseen.

Suunnitteluoppaassa esitellään, miten hirsirakenteisen asuinrakennuksen väli- ja yläpohja mitoitetaan käytännössä. Opasta varten suunniteltiin pelkistetty esimerkkirakennus, jonka pohjalta tehtiin sovelluslaskelmat. Sovelluslaskelmissa määritetään kuormat, rakenteiden materiaaliominaisuudet ja -kestävyydet. Lisäksi oppaassa on ohjeet uuden mitoitusohjelma Finnwood 2.3 käyttöön ottoon.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Rakennustekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

| | |
|--------------------|---|
| Author | Tuovi Helena Rahkonen |
| Title | Dimensioning of Wooden Intermediate Floor and Roofing Deck Based on Eurocode Standard |
| Year | 2010 |
| Language | Finnish |
| Pages | 37 + 46 Appendices |
| Name of Supervisor | Tapani Hahtokari |

The thesis was commissioned by Finnlamelli which manufactures log houses. The subject of thesis is the dimensioning of wooden intermediate floor and roofing deck based on Eurocode standard.

The purpose of this thesis was to ease the changeover of the Eurocodes for the structural engineers. It gives information how to dimension the wooden constructions of common residential building. The thesis is composed of two parts, the theory part and design guidebook.

The theory part examines the facts that need to be taken into account when dimensioning wooden constructions. It contains the design basics such as defining loads and material qualities of wood constructions. The dimensioning of intermediate floor concentrates on describing the vibration of the floor.

The design guidebook presents how intermediate floor and roofing deck are dimensioned in practice. A simplified model log house was designed for the guidebook and the application calculations were based on the log house. The application calculations contain the load definitions and qualities and resistance of the wooden material. In addition the guidebook contains the commissioning of the new dimensioning programme Finnwood 2.3.

Keywords Eurocode, Wood Construction, Structural Engineering

SISÄLLYS

KÄYTETYT TERMIT JA MÄÄRITELMÄT

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | JOHDANTO | 9 |
| 2 | EUROKOODI..... | 10 |
| 2.1 | Historia..... | 10 |
| 2.2 | Yleistä..... | 10 |
| 2.3 | Puurakenteet | 10 |
| 3 | SUUNNITTELUPERUSTEET..... | 12 |
| 3.1 | Yleistä..... | 12 |
| 3.2 | Murtorajatilat..... | 12 |
| 3.3 | Käyttörajatilat..... | 14 |
| 3.4 | Kuormat..... | 16 |
| 3.4.1 | Omapaino | 16 |
| 3.4.2 | Hyötykuorma | 16 |
| 3.4.3 | Lumikuorma..... | 17 |
| 3.4.4 | Tuulikuorma..... | 20 |
| 4 | MATERIAALIOMINAISUUDET | 24 |
| 4.1 | Yleistä..... | 24 |
| 4.2 | Kuormien aikaluokat | 26 |
| 4.3 | Käyttöluokka | 26 |
| 4.4 | Materiaaliominaisuuksien mitoitusarvot..... | 26 |
| 4.5 | Mittatietojen mitoitusarvot..... | 28 |
| 4.6 | Kestävyyden mitoitusarvot..... | 28 |
| 5 | PUISEN VÄLIPOHJAN MITOITUS..... | 29 |

| | | |
|--------------|--|----|
| 5.1 | Yleistä..... | 29 |
| 5.2 | Värähtelyn rajoittaminen..... | 29 |
| 5.3 | Ominaisaajuuden laskeminen..... | 30 |
| 5.4 | Taipumat..... | 32 |
| 5.5 | Värähtelymitoituksen yksinkertaistettu menetelmä | 33 |
| LÄHTEET..... | | 37 |

KÄYTETYT TERMIT JA MÄÄRITELMÄT

Nämä termit ja määritelmät on lainattu Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry:n julkaisuista RIL 201-1-2008 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat ja RIL 205-1-2007 Puurakenteiden suunnittelu. /5/ /6/

Murtorajatila

Tila, jossa noudatetaan rakenteen poikkileikkauksen kestävyuden mukaista rajatilaa.

Käyttörajatila

Tila, jonka ylittämisen jälkeen käyttökelpoisuusvaatimukset eivät enää täyty.

Palautumaton käyttörajatila

Käyttörajatila, jossa kaikki (käyttökelpoisuusvaatimuksen ylittävät) kuormien vaikutukset eivät palaudu, kun kuormat poistetaan.

Palautuva käyttörajatila

Käyttörajatila, jossa jokainen (käyttökelpoisuusvaatimuksen ylittävä) kuormien vaikutus palautuu, kun kuormat poistetaan.

Pysyvä kuorma (G)

Kuorma, joka vaikuttaa todennäköisesti koko annetun tarkastelujakson ajan ja jonka suuruuden vaihtelu ajan myötä on merkityksetöntä tai jonka muutos tapahtuu aina samaan suuntaan tiettyyn raja-arvoon asti.

Hyötykuorma (Q)

Hyötykuormat luokitellaan pääsääntöisesti muuttuviksi liikkuviksi kuormiksi.

Muuttuva kuorma (Q)

Kuorma, jonka suuruus vaihtelee ajan myötä.

Kiinteä kuorma

Kuorma, joka on jakautunut kiinteästi rakenteeseen niin, että kuorman suuruus ja suunta on määritetty yksikäsitteisesti koko rakenteelle, jos kuorman suuruus ja suunta tunnetaan yhdessä rakenteen pisteessä.

Liikkuva kuorma

Kuorma, jonka jakautuminen rakenteelle saattaa vaihdella.

Kuorman ominaisarvo (F_k)

Kuormaa ensisijaisesti edustava arvo.

Kuorman mitoitusarvo (F_d)

Arvo, joka saadaan kertomalla ominaisarvo F_k osavarmuusluvulla γ_f .

Kuormayhdistelmä

Mitoitusarvojen joukko, jota käytetään rakenteen luotettavuuden osoittamiseen eri kuormien vaikuttaessa samanaikaisesti.

Kantavat rakennusosat

Kantavat rakennusosat käsittävät kantavaan runkoon ja tukirakenteisiin kuuluvat osat; silloissa kantavia osia ovat kannatinpalkit, kantavat laatat ja tukina toimivat osat kuten vinoköydet.

Ei-kantavat rakennusosat

Ei-kantavat rakennusosat ovat rakenteeseen liittyviä täydentäviä osia tai pinnoitteita, joihin kuuluvat tienpäällyste ja ei-kantavat laitteet; niihin kuuluvat myös pysyvästi rakenteeseen kiinnitetyt koneet ja laitteet.

Kevyet väliseinät

Ei-kantavat väliseinät

Siirrettävät kevyet väliseinät

Siirrettävät kevyet väliseinät ovat sellaisia, joita voidaan siirtää välipohjaa pitkin tai lisätä tai poistaa rakennuksen valmistuttua ja pystyttää uudelleen toiseen paikkaan.

Maanpinnan lumikuorman ominaisarvo

Maanpinnalla vaikuttava lumikuorma, jonka vuotuinen ylittämistodennäköisyys on 0,02.

Katon lumikuorman ominaisarvo

Maanpinnan lumikuorman ominaisarvon ja asianomaisten kertoimien tulo.

Katon lumikuorman muotokerroin

Katon lumikuorman ja maanpinnan kinostumattoman lumikuorman välinen suhde ilman tuulisuuden ja lämmön vaikutusta

Tuulennopeuden perusarvo

Tuulennopeuden modifioimattomasta perusarvosta siten modifioitu arvo, että maaston rosoisuuden ja pinnanmuodostuksen vaikutus on otettu huomioon.

Painekerroin

Ulkopuolisen paineen kertoimien avulla saadaan tuulen vaikutus rakennusten ulkopintoihin, sisäpuolisen paineen kertoimien avulla saadaan tuulen vaikutukset rakennusten sisäpintoihin.

Voimakerroin

Voimakertoimilla saadaan tuulen kokonaisvaikutus rakenteeseen, rakenneosaan tai muuhun osaan kokonaisuutena, kitka mukaan luettuna, ellei sen vaikutusta nimenomaan jätetä huomiotta.

Ominaisarvo

Materiaali- tai tuoteominaisuuden arvo, jota määrättyllä todennäköisyydellä ei saavuteta hypoteettisessa lukumäärältään äärettömässä koesarjassa. Tämä arvo vastaa yleensä tiettyä materiaalin tai tuotteen ominaisuudelle oletettua tilastollisen jakauman fraktiilia.

Kestävyys

Sauvan, liitoksen tai rakenneosan tai niiden poikkileikkausten kyky kantaa kuormaa ilman mekaanista murtumista (ent. kapasiteetti), kuten taivutus-, nurjahdus-, liitos- ja palonkestävyys. Kestävyys-termiä voidaan käyttää myös säilyvyysominaisuuksia kuvaavissa yhdyssanoissa, kuten lahon- ja korroosionkestävyys.

LVL

LVL (Laminated Veneer Lumber) määriteltyinä standardien EN 14279 ja EN 14374 mukaisesti. LVL valmistetaan liimaamalla yhteen enintään 6 mm paksuja viiluja siten, että viilujen syyt ovat yhdensuuntaisia. LVL:ää voidaan valmistaa myös ristiviilutettuna. Viilujen lukumäärä on vähintään 5.

Jäykkyysominaisuus

Ominaisuus, jota käytetään rakenteen muodonmuutosta laskettaessa, kuten kimmokerroin, liukukerroin, siirtymäkerroin.

1 JOHDANTO

Kantavia rakenteita koskevat eurokoodistandardit otettiin Suomessa käyttöön vuoden 2007 syksyllä. Samaan aikaan on ollut kuitenkin mahdollista käyttää vielä Rakentamismääräyskokoelman määräyksiä ja ohjeita. Ympäristöministeriö uudistaa tällä hetkellä Rakentamismääräyskokoelman B-osaa, jonka myötä eurokoodeista tulee pääasiallinen suunnittelumenetelmä. Se lykkäsi tammikuussa 2010 uuden B-osan julkistamista ja uusi tavoite on julkistaa se keväällä 2011. Siihen asti voidaan vielä käyttää kansallisia määräyksiä.

Eurokoodien käyttöönotto ei ole ollut ongelmaton. Suunnittelutoimistot ja suunnittelijat ovat siirtäneet niihin perehtymistä koko ajan myöhemmäksi, koska niiden hallitseminen ei ole ollut vielä välttämätöntä. Suurena ongelmana on ollut myös materiaalin ja laskentaohjelmien puute. Uusien standardien käyttöönotto on aiheuttanut myös paljon epätietoisuutta ja ne ovat saaneet osakseen kritiikkiä monelta eri taholta.

Opinnäytetyön aihetta ehdotti työn toimeksiantaja Finnlamelli. Se on Suomen kolmanneksi suurin teollinen hirsitalovalmistaja. Yrityksen päätuotteena ovat lamellihirrestä valmistetut omakotitalot ja erilaiset vapaa-ajan asunnot. Jokaiseen kohteeseen tehdään rakennesuunnitelmat toimitussisällön mukaan.

Opinnäytetyö käsittelee hirsirakennuksen väli- ja yläpohjarakenteiden mitoittamista eurokoodien mukaan. Työ on jaettu kahteen osaan: teoriaosuuteen ja suunnitteluoppaaseen. Teoriaosuudessa esitellään puurakenteiden mitoitusperusteet ja selvitetään miten kuormat ja kestävyysominaisuudet sekä niissä tarvittavat kertoimet määritetään. Suunnitteluoppaassa esitellään esimerkkirakennuksen avulla, miten teoriaa voidaan soveltaa käytännön rakennesuunnittelussa. Oppaassa on lisäksi ohjeet, miten uusi mitoitusohjelma Finnwood 2.3 otetaan käyttöön. Ohjelma mitoittaa kaikki puurakenteet eurokoodien määräysten mukaan. Väli- ja yläpalkkistojen mitoitustaulukot ovat oppaan lopussa.

2 EUROKOODI

2.1 Historia

Euroopan yhteisön komissio päätti vuonna 1975 rakennustekniikkaan liittyvästä toimintaohjelmasta. Ohjelman tavoitteena oli poistaa kaupan teknisiä esteitä ja yhdenmukaistaa teknisiä vaatimuksia ja sääntöjä rakennusten sekä maa- ja vesirakennuskohteiden suunnittelussa. /4/

Varsinaisten EN-standardien kokoaminen aloitettiin vuonna 1998 esistandardien pohjalta. EN-standardeissa on kansallisesti määrättäviä parametreja (Nationally Determined Parameters NDP), joista on suositusarvot. Jokainen jäsenmaa voi antaa omia arvojaan kansallisessa liitteessä (National Annex NA)./8, 2/

Suomen ympäristöministeriö hyväksyi 18 ensimmäistä kansallista liitettä vuonna 2007. Siitä alkoi rinnakkaiskäyttökausi, jonka aikana talonrakentamisen kantavia rakenteita voidaan suunnitella joko eurokoodin ja niiden kansallisten liitteiden mukaan tai Suomen rakentamismääräyskokoelman B-osan määräysten ja ohjeiden mukaan. Kun suunnitellaan yhtenä kokonaisuutena toimivia rakenneosia, käytetään vain jompaakumpaa suunnittelujärjestelmää. /9/

Rinnakkaiskäyttöaika loppuu, kun ympäristöministeriö julkistaa Rakentamismääräyskokoelman uuden, eurokoodien pohjalta tehdyn, kantavien rakenteiden suunnittelua koskevan B-osan. Samalla vanha B-osa poistuu kokonaan käytöstä. Ympäristöministeriön tavoitteena oli julkistaa uudet määräykset 31.3.2010, mutta koska tavoitteeseen ei päästy, on uusi julkaisuaika aikaisintaan keväällä 2011. /7/

2.2 Yleistä

Suomen Standardoimisliitto SFS julkaisee eurokoodit Suomessa. Tällä hetkellä eurokoodisarjassa on 58 osaa. Niissä esitetään varmuutta ja erilaisia kuormia koskevat periaatteet ja vaatimukset. Kuormia ovat hyöty-, lumi- ja tuulikuormat sekä lämpö-, onnettomuus- ja nosturikuormitukset. Myös eri rakennusmateriaaleille on yksityiskohtaiset ohjeet.

Eurokoodien pääosat ovat: /8/

- EN 1990 Eurokoodi 0: Rakenteiden suunnitteluperusteet
- EN 1991 Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat
- EN 1992 Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu
- EN 1993 Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu
- EN 1994 Eurokoodi 4: Betoni-teräsliittorakenteiden suunnittelu
- EN 1995 Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu
- EN 1996 Eurokoodi 6: Muurattujen rakenteiden suunnittelu
- EN 1997 Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu
- EN 1998 Eurokoodi 8: Rakenteiden suunnittelu maanjäristys huomioon ottaen
- EN 1999 Eurokoodi 9: Alumiinirakenteiden suunnittelu

2.3 Puurakenteet

Puurakenteiden suunnittelu (SFS-EN 1995) jakautuu kahteen osaan:

- yleiset säännöt (SFS-EN 1995-1)
- sillat (SFS-EN 1995-2)

Yleiset säännöt jakautuu osiin:

- yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt (SFS-EN 1995-1-1)
- puurakenteiden palomitoitus (SFS-EN 1995-1-2)

Eurokoodi 5:n soveltamista varten Suomen kansallisessa liitteessä on esitetty vaihtoehtoisia menettelytapoja, arvoja ja luokitussuosituksia. Samassa yhteydessä on myös kerrottu, missä kansallisia valintoja voidaan tehdä. Kansallista valintaa voi käyttää esimerkiksi kohdissa kuormien jaottelu aikaluokkiin, rakenteiden jaottelu käyttöluokkiin, materiaaliosavarmuusluku sekä taipuman ja värähtelyn rajoittaminen. /4/

3 SUUNNITTELUPERUSTEET

3.1 Yleistä

Puurakenteet täytyy suunnitella siten, että kansallisen liitteen perusvaatimukset täyttyvät. Perusvaatimusten täyttymiseen vaaditaan, että suunnittelussa käytetään eurokoodi 0:n ja sen kansallisen liitteen mukaista rajatilamitoitusta ja osavarmuuslukumenetelmää, kuormat ja niiden yhdistelmät ovat eurokoodi 1:n ja sen kansallisen liitteen mukaisia sekä kestävyudet, käyttökelpoisuudet ja säilyvyudet eurokoodi 5:n ja sen kansallisen liitteen mukaisia. /3, 8/

Eurokoodien 0 ja 1 ja niiden kansallisten liitteiden sijaan voidaan käyttää Suomen rakennusinsinöörien liitto ry:n julkaisuja RIL 201-1-2008 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Julkaisua RIL 205–2009 Puurakenteiden suunnitteluohje voidaan käyttää eurokoodi 5:n sijaan. /3, 8/

Kun suunnitellaan tavanomaisia puurakenteita, on mahdollista käyttää Puuinfon julkaisua Puurakenteiden suunnittelu – Lyhennetty suunnitteluohje, joka on lyhennelmä julkaisuista RIL 205-1-2009 ja RIL 205-2-2009. Se on saatavilla Puuinfon internet-sivuilta ja se on myös julkaisun RIL 205-1-2007 liitteessä B. Lyhennetty suunnitteluohje on käyttöalueeltaan rajoitetumpi, ja siinä olevien suunnitteluohjeiden yksinkertaistuksista johtuen tulokset ovat varmemmalla puolella verrattuna RIL julkaisujen ohjeisiin. /3, 9/

Rakentamismääräyskokoelman A2-osan mukaan kantavat puurakenteet jaetaan neljään, AA-, A-, B- ja C-vaativuusluokkaan. Rakenteiden suunnittelijalla tulee olla käytettävää vaativuusluokkaa vastaava pätevyys, jonka rakennusvalvontaviranomainen toteaa rakennuslupakohtaisesti. /3, 9/

3.2 Murtorajatilat

Murtorajatilaja ovat rakenteen tasapainon menetys, vaurioituminen, murtuminen tai väsymisen aiheuttama vaurioituminen. Ne liittyvät ihmisten turvallisuuteen ja rakenteiden varmuuteen ja joissakin olosuhteissa myös aineen tai tavaran suojaamiseen. Murtorajatilassa rakenne mitoitetaan vedolle, puristukselle,

taivutukselle, leikkaukselle, väännölle, tukipaineelle ja näiden yhdistelmille. Jos murtorajatila ylittyy, rakenne menettää kantavuutensa. /6, 27/

Murtorajatilamitoituksessa käytettävät jäykkyysominaisuudet valitaan tapauskohtaisesti. Keskimääräisiä arvoja käytetään silloin, kun kaikkien sauvojen ajasta riippuvat ominaisuudet ovat samat. Kun materiaalien ajasta riippuvat ominaisuudet ovat erilaisia, käytetään lopputilan keskiarvoja.

Kun tarkastellaan rakenteen kestävyyttä, mitoituskuorma lasketaan aikaluokittain kaavalla:

$$\begin{cases} 1,35K_{FI}G_{kj} \\ 1,15K_{FI}G_{k,1} + 1,5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI}\sum_{i>1}\psi_{0,i}Q_{k,i} \end{cases} \quad (3.1)$$

missä

G_{kj} on pysyvien kuormien ominaisarvo

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

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

K_{FI} on seuraamusluokasta riippuva kuormakerroin

$\psi_{0,i}$ on muuttuvan kuorman yhdistelykerroin /5, 24-25/

Seuraamusluokkia on kolme: CC3 (suuret seuraamukset, hyvin suuret vahingot), CC2 (keskisuuret seuraamukset, merkittävät vahingot) ja CC1 (vähäiset seuraamukset, pienet tai merkityksettömät vahingot). /5, 26/

Lyhennyssä suunnitteluohjeessa yllä oleva kaava on esitetty yksinkertaisemmin, koska yhdistelykertoimet on haettu siinä valmiiksi. Sen mukaan murtorajatilan mitoituskuorma lasketaan aikaluokittain seuraavilla kuormitusyhdistelmillä.

$$\text{Pysyvä aikaluokka: } 1,35G_{kj} \quad (3.2)$$

$$\text{Keskipitkä aikaluokka: } 1,15G_{kj} + 1,5Q_{k,1} + 1,05Q_{k,2} \quad (3.3)$$

$$\text{Hetkellinen aikaluokka: } \max \begin{cases} 1,15G_{kj} + 1,5Q_{k,t} + 1,05Q_{k,1} + 1,05Q_{k,2} \\ 1,15G_{kj} + 1,5Q_{k,1} + 1,05Q_{k,2} + 0,9Q_{k,t} \end{cases} \quad (3.4)$$

Palomitoituksessa käytetään onnettomuustilanteen kuormitusyhdistelyä:

$$\max \begin{cases} G_{kj} + 0,5Q_{k,l} + 0,3Q_{k,h} \\ G_{kj} + 0,2Q_{k,l} + 0,3Q_{k,h} + 0,2Q_{k,t} \end{cases} \quad (3.5)$$

missä

G_{kj} on pysyvien kuormien ominaisarvo

$Q_{k,1}$ on lumi- ja hyötykuorman ominaisarvoista suurempi

$Q_{k,2}$ on lumi- ja hyötykuorman ominaisarvoista pienempi

$Q_{k,t}$ on tuulikuorman ominaisarvo

$Q_{k,l}$ on lumikuorman ominaisarvo

$Q_{k,h}$ on hyötykuorman ominaisarvo

Kaavoissa olevat plus-merkit tarkoittavat kuormien samanaikaisuutta, ei aritmeettista summaa.

Jos pysyvien kuormien yhteisvaikutus lisää rakenteen kestävyyttä, kertoimen 1,15 sijaan pysyvien kuormien ominaisarvo G_{kj} kerrotaan luvulla 0,9.

Nämä murtorajatilan ohjeet pätevät, kun voimasuureet lasketaan geometrisesti lineaarisen kimmoteorian mukaan, rakenteen kaikilla sauvoilla on sama virumaluku k_{def} (ks. taulukko 4.2), rakennuksen tai rakenteen seuraamusluokka on CC2 tai CC1 (RIL 205-1-2007) ja kun rakennetta kuormittaa samanaikaisesti korkeintaan omapaino, lumi, tuuli ja yksi A, B, tai C luokan hyötykuorma. /3, 9/

3.3 Käyttöraajatilat

Käyttöraajatilat liittyvät rakenteen tai rakenneosien toimintaan normaalikäytössä, ihmisten mukavuuteen tai rakennuskohteen ulkonäköön. Palautuva ja palautumaton käyttöraajatila tulee erotella mitoituksessa. Käyttöraajatilassa mitoitetaan rakenteen siirtymät, taipumat ja värähtelyt. Jos käyttöraajatila ylittyy, rakenne ei enää täytä sille asetettuja käyttökelpoisuuden ehtoja. /6, 28/

Kuormien vaikutuksista ja kosteudesta rakenteeseen syntyvän muodonmuutostilan tulee pysyä riittävän pienenä, kun huomioidaan, että se voi aiheuttaa vahinkoa katoille, lattioille, keveille väliseinille tai pinnoitteille tai tuottaa haittaa toiminnan

tai ulkonäkövaatimusten kannalta. Kuormia ovat normaalivoima, leikkausvoima, taivutusmomentti ja liitosten osien väliset siirtymät. Käyttörajatilatarkasteluissa käytetään kimmo-, liuku-, ja siirtymäkertoimien keskiarvoja. /5, 27/

Hetkellinen taipuma W_{inst} tai muodonmuutostila u_{inst} (ks. kuva 6.2) lasketaan kuormien ominaisyhdistelmälle kaavalla:

$$G_{kj} + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (3.6)$$

missä

| | |
|--------------|---|
| G_{kj} | on pysyvien kuormien ominaisarvo |
| $Q_{k,1}$ | on määräävän muuttuvan kuorman ominaisarvo |
| $Q_{k,i}$ | on muun muuttuvan kuorman ominaisarvo |
| K_{FI} | on seuraamusluokasta riippuva kuormakerroin |
| $\psi_{0,i}$ | on muuttuvan kuorman yhdistelykerroin |

Kokonaistaipuma W_{fin} (ks. kuva 6.2) ja lopputilassa vallitseva muodonmuutostila u_{fin} , kun rakenteessa on samanlaiset materiaalit ja liitokset, lasketaan kaavalla:

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q,1} + u_{fin,Q,i} \quad (3.7)$$

missä

| | |
|--|---|
| $u_{fin,G} = u_{inst,G}(1 + k_{def})$ | pysyvästä kuormasta G |
| $u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1}(1 + \psi_{2,1}k_{def})$ | määräävästä muuttuvasta kuormasta Q_1 |
| $u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i}(\psi_{0,i} + \psi_{2,i}k_{def})$ | muusta samanaikaisesta kuormasta Q_i |
| $\psi_{2,1}$ ja $\psi_{2,i}$ | muuttuvien kuormien pitkäaikaisarvon yhdistelykertoimia |
| $\psi_{0,i}$ | ominaisyhdistelyssä käytettävä muuttuvan kuorman yhdistelykerroin |
| k_{def} | virumaluku (ks. taulukko 4.2) /5, 27-28/ |

Lyhennyksessä suunnitteluohjeessa hetkellinen taipuma W_{inst} tai muodonmuutostila u_{inst} lasketaan seuraaville kuormitusyhdistelmille:

Hyöty- ja lumikuorman ollessa määräävä muuttuva kuorma:

$$G_{kj} + Q_{k,1} + 0,7Q_{k,2} \quad (3.8)$$

Tuulikuorman ollessa määräävä muuttuva kuorma:

$$G_{kj} + Q_{k,t} + 0,7Q_{k,1} + 0,7Q_{k,2} \quad (3.9)$$

Lyhennetyt suunnitteluohjeen mukaan kokonaistaipuma W_{fin} saadaan kaavalla:

$$W_{fin} = \max \left\{ \begin{array}{l} (1 + k_{def})W_{inst,G} + (1 + 0,2k_{def})W_{inst,lumi} + (0,7 + 0,3k_{def})W_{inst,hyöty} \\ (1 + k_{def})W_{inst,G} + (1 + 0,3k_{def})W_{inst,hyöty} + (0,7 + 0,2k_{def})W_{inst,lumi} \end{array} \right. \quad (3.10)$$

missä

$W_{inst,G}$ on pysyvän kuorman G_{kj} aiheuttama hetkellinen taipuma

$W_{inst,lumi}$ on lumikuorman $Q_{k,l}$ aiheuttama hetkellinen taipuma

$W_{inst,hyöty}$ on hyötykuorman $Q_{k,h}$ aiheuttama hetkellinen taipuma

3.4 Kuormat

3.4.1 Omapaino

Rakennuskohteen omapaino lasketaan käyttämällä nimellismittoja ja nimellisiä tilavuuspainoja. Nimellismitat ovat piirustuksissa esitetyt mitat, ja nimellisinä tilavuuspainoina käytetään todellisia arvoja, joita on listattu RIL 201-1-2008:ssa (osa 1.1 Liite A). Rakennuskohteen omaan painoon sisältyvät kantavat ja ei-kantavat rakennusosat, kiinteät laitteet sekä maakerrosten ja sepellysten painot. Vapaasti liikuteltavien väliseinien omapaino lisätään hyötykuormaan, ja sille ei saa käyttää pienempää arvoa kuin $g_k = 0,3 \text{ kN/m}^2$. /5, 31/

3.4.2 Hyötykuorma

Tilojen käyttötarkoitus määrittää, millaisia hyötykuormia rakennuksessa on. Hyötykuormina käytetään tilan käyttötarkoituksesta riippuvia tasan jakautuneita kuormia, pistekuormia ja vaakasuuntaisia viivakuormia. Tavallisimpien hyötykuormien ominaisarvot on esitetty taulukossa 3.1. Välipohjassa hyötykuorma oletetaan liikkuvaksi kuormaksi, joka vaikuttaa rakenteen

epäedullisimmassa kohdassa. Hyötykuormaa voidaan pienentää kertoimella α_A , kuormitusala on suurempi kuin 20 m^2 . /5, 31/

Taulukko 3.1. Tavallisimpien hyötykuormien ominaisarvot /3, 11/

| Käyttötarkoitukseluokka ja tila | tasainen kuorma q_k (kN/m ²) | pistekuorma Q_k (kN) | vaakakuorma q_k (kN/m) |
|-----------------------------------|--|------------------------|--------------------------|
| Luokka A: Asuintilat | | | |
| - Lattiat | 2,0 | 2,0 | 0,5 |
| - Portaat | 2,0 | 2,0 | 0,5 |
| - Parvekkeet | 2,5 | 2,0 | 0,5 |
| Luokka B: Toimistotilat | 2,5 | 2,0 | 0,5 |
| Luokka C: Kokoontumistilat | | | |
| -C1: Pöytäalueet | 2,5 | 3,0 | 0,5 |
| -C2: Kiinteiden istuimien alueet | 3,0 | 3,0 | 1,0 |
| -C3: Esteettömät alueet | 4,0 | 4,0 | 1,0 |
| -C4: Liikuntatilat ja näyttämöt | 5,0 | 4,0 | 1,0 |
| -C5: Tungokselle alttiit alueet | 6,0 | 4,0 | 3,0 |

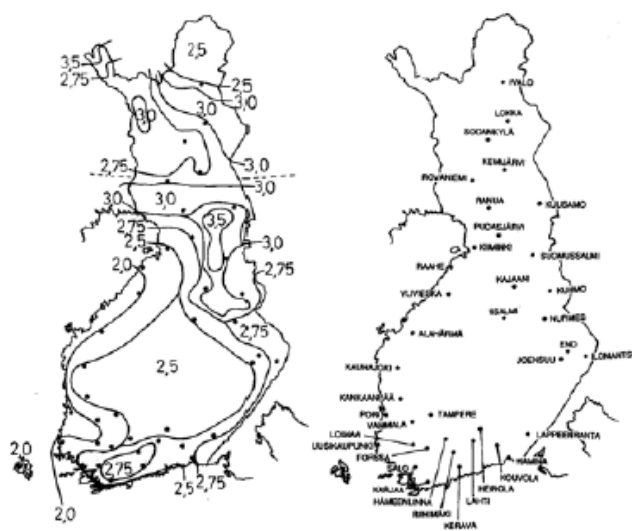
3.4.3 Lumikuorma

Maanpinnan lumikuormille on määritelty ominaisarvot S_k , jotka on esitetty kuvassa 3.1. Kattojen ominaislumikuormat lasketaan kaavalla:

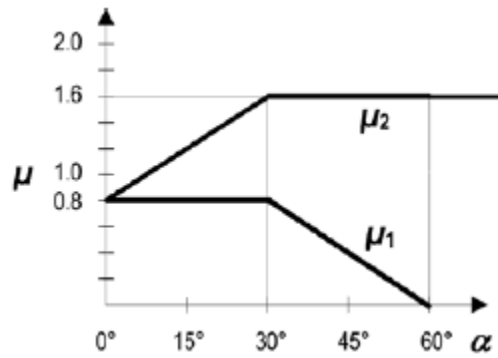
$$q_k = \mu_i S_k \quad (3.11)$$

missä μ_i on lumikuorman muotokerroin

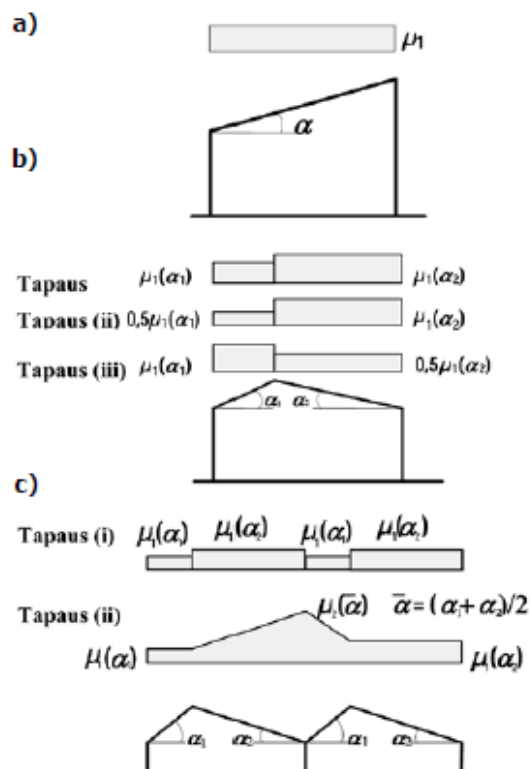
Lumikuorman muotokertoimien arvot määritetään kuvien 3.2 ja 3.3 mukaan. Jos katolla on jokin liukumiseste, muotokertoimena käytetään vähintään arvoa 0,8. /7, 33-36/



Kuva 3.1. Maanpinnan lumikuorman ominaisarvot S_k . /3, 11/



Kuva 3.2. Lumikuorman muotokertoimet kinostumattomalle (μ_1) ja kinostuneelle (μ_2) lumelle. /3, 12/



Kuva 3.3. Kattojen lumikuorman muotokertoimet a) pulpetti- b) harja- ja c) sahakatto. /3, 12/

Jos katto on vasten korkeampaa rakennuskohdetta, lumikuorman muotokerroin lasketaan kaavalla:

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w \quad (3.12)$$

missä

μ_s on ylemmältä katolta liukuvan lumen aiheuttaman lumikuorman muotokerroin

μ_w on tuulesta johtuvan lumikuorman muotokerroin /6, 98/

Liukumisesta johtuvan lumikuorman muotokerroin määritetään ylemmän kattolapteen kaltevuudesta α :

$$- \text{ kun } \alpha \leq 15^\circ, \mu_s = 0 \text{ ja} \quad (3.13)$$

$$- \text{ kun } \alpha \geq 15^\circ, \mu_s = \frac{\mu_1 b_y}{l_s} \quad (3.14)$$

missä

μ_1 on ylemmän katon lumikuorman muotokerroin

l_s on kaavan 3.13 mukainen kinostumispituus

b_y on kuvassa 3.4 esitetty ylemmän kattolapteen pituus

Tuulesta johtuvan kinostumisen muotokerroin:

$$\mu_w = \min \begin{cases} b_1 + b_2/2 \cdot h \\ \gamma \cdot h/s_k \\ 2,5 \end{cases}, \quad \text{kuitenkin } \mu_w \geq 0,8 \quad (3.15)$$

missä

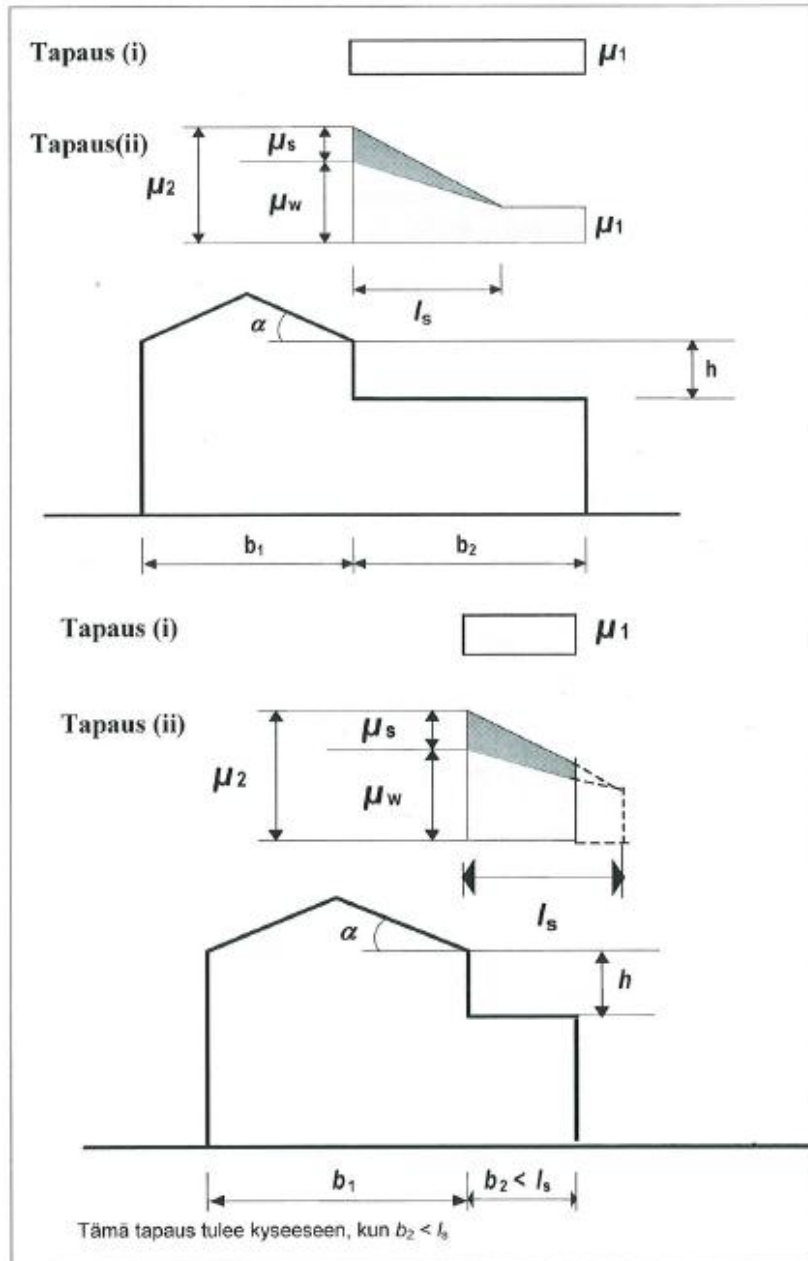
b_1, b_2 ja h ovat kuvassa 3.4 määritellyt mittoja

γ on lumen tiheys, jolle voidaan käyttää arvoa 2 kN/m^3

s_k on lumikuorman ominaisarvo /5, 35-36/

Kinostumispituus l_s :

$$l_s = 2h, \quad \text{rajoituksin: } 2 \text{ m} \leq l_s \leq 6 \text{ m} \quad (3.16)$$



Kuva 3.4. Korkeampaa rakennuskohdetta vasten olevien kattojen lumikuorman muotokertoimet μ_s , μ_w , μ_1 ja $\mu_2 / 6$, 36/

3.4.4 Tuulikuorma

Tuulikuorman laskemisessa voidaan käyttää yksinkertaistettua menettelyä, kun kyseessä on tavanomainen rakennus. Tuulikuorman suuruus riippuu osittain taulukon 3.2 mukaisesta maastoluokasta. Kuvan 3.5 mukainen tuulen

nopeuspaineen ominaisarvo $q_k(h)$ määritetään rakennuksen korkeuden h mukaan ja samaa arvoa käytetään rakennuksen kaikissa tuulikuormatarkasteluissa. /5, 37/

”Mitoitettaessa rakenteita tuulikuormalle erotetaan mitoitusapaukset A ja B.

- A) rakennuksen tuulta jäykistävien rakenteiden mitoitus kokonaistuulikuormalle (rakennuksen kokonaisstabiliteetti)
- B) rakennuksen tai rakenteen osapintojen ja niiden kiinnitysten mitoitus paikalliselle tuulipaineelle.” /5, 37/

Kun kyseessä on mitoitusapaus A, rakennuksen vaakasuuntainen kokonaistuulikuorman ominaisarvo lasketaan kaavalla:

$$F_{w,k} = c_f q_k(h) A_{ref} \quad (3.17)$$

missä

c_f on rakenteen voimakerroin (ks. taulukko 3.3)

$q_k(h)$ on rakennuksen korkeutta h vastaava nopeuspaine (ks. kuva 3.5)

A_{ref} on rakenteen tuulta vastaan kohtisuora projektiopinta-ala

Kokonaistuulikuorman määrittämisessä oletetaan sen resultantin vaikuttavan 0,6 h :n korkeudella. Sillä otetaan huomioon tuulesta aiheutuvan katon suuremman kitkavoiman vaikutus ja paikalliset katto-osan tuulenpaineen huippuarvot. /5, 39/

Kun kyseessä on mitoitusapaus B, rakenteen osapinnoille kohdistuva paikallinen tuulenpaine lasketaan kaavalla:

$$q_{w,k} = c_{p,net} q_k(h) \quad (3.18)$$

missä

$c_{p,net}$ on osapinnan nettotuulenpaine kerroin /5, 39/

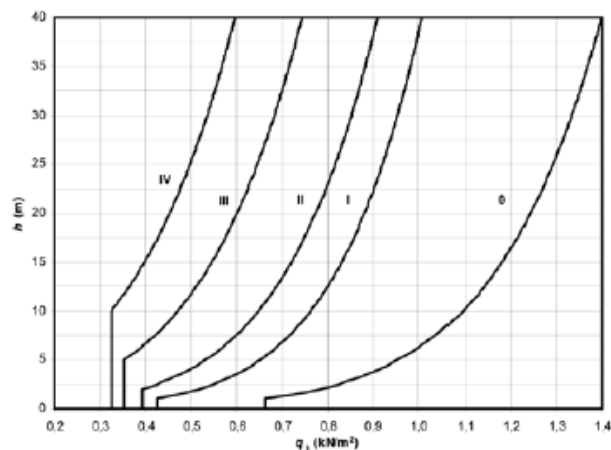
Tuulikuormaa ei yleensä tarvitse tarkastella yhdessä muiden muuttuvien kuormien kanssa, kun mitoitetään muita kuin tuulta vastaan jäykistäviä kantavia puurakenteita. /5, 37/

Taulukko 3.2. Maastoluokat. /3, 12/

| Luokka | Maaston rosoisuuden ja pinnanmuodon kuvaus. |
|--------|---|
| 0 | Avomeri tai merelle avoin rannikko. |
| I | Järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä. |
| II | Alue, jolla on matalaa kasvillisuutta ja erillisiä puita tai rakennuksia, joiden etäisyys toisistaan on vähintään 20 kertaa esteen korkeus. Esim. maatalousmaa. |
| III | Esikaupunki- tai teollisuusalueet sekä metsät. Matalat pientaloalueet ja kylät. |
| IV | Yhtenäiset laajat kaupunkialueet, joiden pinta-alasta vähintään 15% on rakennettu ja rakennusten keskimääräinen korkeus on yli 15 m. |

Taulukko 3.3. Yksinkertaistetussa menettelyssä käytettäviä voimakertoimia c_f . /3, 13/

| Kuvaus | c_f |
|---|-------|
| Umpinainen rakennus yleensä | 1,3 |
| Pulpettikattoinen umpinainen rakennus tarkasteltaessa kattolapteen suuntaista tuulta, kun katon kaltevuus on 5°...40° (toisessa suunnassa $c_f = 1,3$) | 1,5 |
| Osittain avoin rakennus, kun tuulen puoleisella sivulla olevien aukkojen pinta-ala on enintään 30 % rakennuksen ulkoseinien kokonaispinta-alasta. | 1,6 |
| Erillinen seinämä | 2,1 |

Kuva 3.5. Nopeuspaineen ominaisarvot $q_k(h)$ eri maastoluokissa. /3, 13/

Taulukko 3.4. Ulkoseinien paikallisen tuulenpaineen nettopaine kertoimia. /3, 14/

| Ulkoseinät | suurin imu nurkka-alueilla ¹⁾ | | suurin imu keskialueilla | | suurin paine sisäänpäin | |
|-------------------------|--|------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| | $A \geq 10$ | $A \leq 1 \text{ m}^2$ | $A \geq 10$ | $A \leq 1 \text{ m}^2$ | $A \geq 10$ | $A \leq 1 \text{ m}^2$ |
| tarkasteltava pinta-ala | | | | | | |
| $c_{p,net}$ | -1,5 | -1,7 | -1,1 | -1,4 | +1,1 | +1,3 |

¹⁾ Nurkka-alue ulottuu rakennuksen ulkonurkasta molempiin suuntiin etäisyydelle $e/5$, jossa $e = \min(b;2h)$, kun h on rakennuksen korkeus ja b on rakennuksen suurempi sivumitta. Muualle tuulen imulle voidaan käyttää keskialueen nettopaine kerrointa.

Taulukko 3.5. Kattojen nettopaine kertoimia $c_{p,net}$ suurimmalle paikalliselle tuulen imulle. Kertoimet eivät päde avoimille katoksille. /3, 14/

| kattotyyppi | katon kaltevuus ¹⁾ | nurkka-alueet ²⁾ | | | reuna-alueet ³⁾ | | | muu alue ⁴⁾ | |
|---------------|-------------------------------|-----------------------------|------------|----------|----------------------------|------------|----------|------------------------|------------|
| | | $A \geq 10$ | $A \leq 1$ | räys-täs | $A \geq 10$ | $A \leq 1$ | räys-täs | $A \geq 10$ | $A \leq 1$ |
| Tasakatto | $< 5^\circ$ | -2,1 | -2,8 | -3,5 | -1,5 | -2,3 | -3,0 | -1,0 | -1,5 |
| Pulpettikatto | $5^\circ \dots 15^\circ$ | -2,7 | -3,2 | -3,9 | -2,2 | -2,8 | -3,5 | -1,2 | -1,5 |
| | $\geq 30^\circ$ | -2,4 | -3,2 | -3,9 | -1,8 | -2,3 | -3,0 | -1,3 | -1,6 |
| Harjakatto | $5^\circ \dots 15^\circ$ | -2,0 | -2,8 | -3,5 | -1,6 | -2,3 | -3,0 | -1,0 | -1,5 |
| | $\geq 30^\circ$ | -1,4 | -1,8 | -2,5 | -1,7 | -2,3 | -3,0 | -1,2 | -1,5 |

¹⁾ Kaltevuuksilla $15-30^\circ$ käytetään lineaarista interpolointia.

²⁾ Nurkka-alue ulottuu rakennuksen ulkonurkasta molempiin suuntiin etäisyydelle $e/4$, jossa $e = \min(b;2h)$, jossa h on rakennuksen korkeus ja b on rakennuksen suurempi sivumitta.

³⁾ Katon reuna-alue ulottuu etäisyydelle $e/10$ ulkoseinälinjalta – ei kuitenkaan nurkka-alueille.

⁴⁾ Muut kuin nurkka- ja reuna-alueet. Tarkasteltaessa koko rakennuksen levyisen kattokannatteen kiinnitystä tuulen imulle, voidaan tuulenpaine laskea käyttäen pelkästään tämän sarakkeen nettopaine kerrointa.

4 MATERIAALIOMINAISUUDET

4.1 Yleistä

Puumateriaalin laskentalujuuksiin vaikuttavat kuormituksen kesto, ympäröivät kosteusolosuhteet ja materiaali. Materiaalien ja liitosten mitoituslujuuksia laskettaessa kuorman kesto ja kosteusvaikutus otetaan huomioon k_{mod} (ks. taulukko 4.1) muunnoskertoimella. Jos kuormayhdistelmässä on eri aikaluokkiin kuuluvia kuormia, lyhytaikaisin aikaluokka on määräävä. Kun lasketaan pitkäaikaista taipumaa, käytetään virumalukuja k_{def} . (ks. taulukko 4.2) /3, 16/

Taulukko 4.1. Muunnoskertoimen k_{mod} arvot. /3, 17/

| Materiaali | Käyttöluokka | Kuorman aikaluokka | | |
|---|--------------|--------------------|------------|-------------|
| | | Pysyvä | Keskipitkä | Hetkellinen |
| Sahatavara, Pyöreä puu, Liimapuu, LVL, Vaneri | 1 | 0,60 | 0,80 | 1,10 |
| | 2 | 0,60 | 0,80 | 1,10 |
| | 3 | 0,50 | 0,65 | 0,90 |
| Lastulevy P4 ¹⁾ , OSB/2 ¹⁾ , Kova kuitulevy EN 622-2 | 1 | 0,30 | 0,65 | 1,10 |
| | 2 | 0,20 | 0,45 | 0,80 |
| Lastulevy P6 ¹⁾ , OSB/3 ja OSB/4 | 1 | 0,40 | 0,70 | 1,10 |
| | 2 | 0,30 | 0,55 | 0,90 |
| Puolikovat kuitulevyt: MBH.LA ¹⁾ , MBH.HLS, MDF.LA ¹⁾ ja MDF.HLS | 1 | 0,20 | 0,60 | 1,10 |
| | 2 | - | - | 0,80 |

¹⁾Saadaan vain käyttöluokassa 1.

Taulukko 4.2. Virumaluvun k_{def} arvot puulle ja puutuotteille. /3, 17/

| Materiaali | Standardit | Käyttöluokka | | |
|---------------------------|---------------------------|--------------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| Sahatavara, Pyöreä puu | EN 14081-1 | 0,60 | 0,80 | 2,00 |
| Liimapuu | EN 14080 | | | |
| LVL | EN 14374, EN 14279 | | | |
| Vaneri, Kerto-Q lappeella | EN 636, VTT 184/03 | 0,80 | 1,00 | 2,50 |
| OSB-levy | EN 300: OSB/2 | 2,25 | - | - |
| | EN 300: OSB/3, OSB/4 | 1,50 | 2,25 | - |
| Lastulevy | EN 312: P4 | 2,25 | - | - |
| | EN 312: P6 | 1,50 | - | - |
| Kova kuitulevy | EN 622-2: HLA, HHLA | 2,25 | 3,00 | - |
| Puulikova kuitulevy | EN 622-3: MBH.LA, MBH.HLS | 3,00 | 4,00 | - |
| MDF-levy | EN 622-5: MDF.LA, MDF.HLS | 2,25 | 3,00 | - |

Taulukko 4.3. Sahatavaran ja liimapuun ominaislujuudet, jäykkyysominaisuudet ja tiheydet yleisimmissä lujuusluokissa. /5, 17/

| Lujuusluokka | Sahatavara | | | Liimapuu | | |
|---|----------------|----------|----------|----------|-------|-------|
| | C18 (T1) | C24 (T2) | C30 (T3) | GL28c | GL32c | |
| Ominaislujuudet (N/mm ²) | | | | | | |
| Taivutus | $f_{m,k}$ | 18 | 24 | 30 | 28 | 32 |
| Veto | $f_{t,0,k}$ | 11 | 14 | 18 | 16,5 | 19,5 |
| | $f_{t,90,k}$ | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,4 | 0,45 |
| Puristus | $f_{c,0,k}$ | 18 | 21 | 23 | 24 | 26,5 |
| | $f_{c,90,k}$ | 2,2 | 2,5 | 2,7 | 2,7 | 3,0 |
| Leikkaus | $f_{v,k}$ | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 2,7 | 3,2 |
| Jäykkyysominaisuudet (N/mm ²) | | | | | | |
| Kimmomoduuli | E_{mean} | 9000 | 11000 | 12000 | 12600 | 13700 |
| | $E_{90, mean}$ | 300 | 370 | 400 | 390 | 420 |
| Liukumoduuli | G_{mean} | 560 | 690 | 750 | 720 | 780 |
| Tiheydet (kg/m ³) | | | | | | |
| Ominaisstiheys | ρ_k | 320 | 350 | 380 | 380 | 410 |
| Tiheyden keskiarvo | ρ_{mean} | 380 | 420 | 460 | 430 | 470 |

Taulukko 4.4. Kerto-S, Kerto-T ja Kerto-Q LVL:n ominaislujuudet, kokovaikutusekspONENTIT, jäykkyysominaisuudet ja tiheydet (VTT Certificate No 184/03 ja sertifikaatti VTT-C-1781-21-07). /5, 18/

| Tyyppi | | Kerto-S | Kerto-T | Kerto-Q |
|---|-------------------|---------|---------|---------|
| Paksuus (mm) | | 21 - 90 | 27 - 75 | 27 - 69 |
| Ominaislujuudet (N/mm ²) | | | | |
| Taivutus syrjällään | $f_{m,k}$ | 44 | 27 | 32 |
| KokovaikutusekspONENTTI | S | 0,12 | 0,15 | 0,12 |
| Taivutus lappeellaan | $f_{m,0,flat,k}$ | 50 | 32 | 36 |
| Veto syysuuntaan | $f_{t,0,k}$ | 35 | 24 | 26 |
| Veto poikittain syrjällään | $f_{t,90,edge,k}$ | 0,8 | 0,5 | 6,0 |
| Puristus syysuuntaan | $f_{c,0,k}$ | 35 | 26 | 26 |
| Puristus poikittain syrjällään | $f_{c,90,edge,k}$ | 6 | 4 | 9 |
| Puristus poikittain lappeellaan | $f_{c,90,flat,k}$ | 1,8 | 1,0 | 2,2 |
| Leikkaus syrjällään | $f_{v,k}$ | 4,1 | 2,4 | 4,5 |
| Lappeellaan pintaviilun suuntaan | $f_{r,0,k}$ | 2,3 | 1,3 | 1,3 |
| Jäykkyysominaisuudet (N/mm ²) | | | | |
| Kimmomoduuli | E_{mean} | 13800 | 10000 | 10500 |
| Liukumoduuli | $G_{edge, mean}$ | 600 | 400 | 600 |
| Tiheydet (kg/m ³) | | | | |
| Ominaisstiheys | ρ_k | 480 | 410 | 480 |
| Tiheyden keskiarvo | ρ_{mean} | 510 | 440 | 510 |

4.2 Kuormien aikaluokat

Kuormien aikaluokat määritetään käyttämällä tietyn ajan vaikuttavan vakiokuorman kestoa rakenteen käyttöön aikana. Muuttuvan kuorman luokka määritetään arvioimalla kuorman tyypillinen ajallinen vaihtelu. Kun lasketaan lujuutta ja jäykkyyttä, kukin kuorma luokitellaan yhteen aikaluokkaan. /3, 14/

Eurokoodissa kuormat on jaettu viiteen eri aikaluokkaan: pysyvä (yli 10 vuotta), pitkäaikainen (6 kuukautta – 10 vuotta), keskipitkä (1 viikko – 6 kuukautta), lyhytaikainen (alle yksi viikko) ja hetkellinen. /5, 30/

Lyhennyksessä suunnitteluohjeessa kuormien jaotteluun käytetään kolmea taulukon 4.5 mukaista aikaluokkaa. Pitkäaikainen aikaluokka on liitetty pysyvään aikaluokkaan ja lyhytaikainen keskipitkään aikaluokkaan. Myös virumalukuja k_{def} on vähemmän. /3, 14/

Taulukko 4.5. Kuormien aikaluokat ja kuormien jaottelu aikaluokkiin. /3, 15/

| Kuorman aikaluokka | Ominaiskuorman vaikutusajan suuruusluokka | Kuormitukset |
|--------------------|---|--|
| Pysyvä | yli 6 kuukautta | Omapaino, koneet, laitteet, kevyet väliseinät, varastoitu tavara |
| Keskipitkä | 10 minuuttia - 6 kuukautta | Lumi, hyötykuormat, kosteusrasitukset, asennuskuormat |
| Hetkellinen | alle 10 minuuttia | Tuuli, onnettomuuskuormat |

4.3 Käyttöluokka

Käyttöluokkajärjestelmä ottaa huomioon rakenteessa vallitsevat ympäristöolosuhteet. Sen avulla jaotellaan lujuusarvoja ja lasketaan rakenteen määritellyissä ympäristöolosuhteissa tapahtuvia muodonmuutoksia.

Käyttöluokka 1

- Materiaalien kosteus vastaa tyypillisesti lämpötilaa 20 °C. Ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on yli 65 % vain muutamana viikkona vuodessa. Havupuun kosteus ei yleensä ole yli 12 %.
- Käyttöluokkaan kuuluu lämmitetyissä sisätiloissa tai vastaavissa kosteusoloissa oleva rakenne, esimerkiksi lämmöneristekerroksessa olevat rakenteet.

Käyttöluokka 2

- Materiaalien kosteus vastaa tyypillisesti lämpötilaa 20 °C. Ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on yli 85 % vain muutamana viikkona vuodessa. Havupuun kosteus ei yleensä ole yli 20 %.
- Käyttöluokkaan kuuluvat ulkoilmassa kuivana pysyvät rakenteet, esimerkiksi rossipohja ja kylmä ullakkotila.

Käyttöluokka 3

- Ilmasto-olosuhteista johtuen kosteusarvot ovat tyypillisesti suuremmat kuin käyttöluokassa 2.
- Käyttöluokkaan kuuluvat säälle alttiit, kosteassa tilassa tai veden välittömän vaikutuksen alaisena olevat rakenteet. Kun arvioidaan puurakenteen säilyvyyttä, käyttöluokka 3 jaetaan vielä kahteen kosteusaltistumista kuvaavaan alaluokkaan.

Käyttöluokkaa valittaessa tulee huomioida myös kosteuden vaihtelut. Joissakin tapauksissa se voi vaikuttaa rakenteeseen enemmän kuin korkea tasainen kosteus. Puutavaran halkeiluvaaraan tulee kiinnittää erityisesti huomiota käyttöluokassa 1. /3, 15/

4.4 Materiaaliominaisuuksien mitoitusarvot

Lujuusominaisuuden mitoitusarvo lasketaan kaavalla:

$$X_d = k_{\text{mod}} \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (4.1)$$

missä

X_k on lujuusominaisuuden ominaisarvo

γ_M on materiaaliominaisuuden osavarmuusluku (ks. taulukko 4.6)

k_{mod} on muunnoskerroin, jonka avulla otetaan huomioon kuorman keston ja kosteuden vaikutus (ks. taulukko 4.1) /5, 42/

Taulukko 4.6. Suomessa käytettävät materiaalien osavarmuusluvut γ_M . /3, 15/

| Perusyhdistelmät: | |
|---|------|
| Sahatavara ja pyöreä puutavara yleensä | 1,4 |
| Havusahatavara, jonka lujuusluokka \geq C35 | 1,25 |
| Liimapuu, LVL | 1,2 |
| Puulevyt | 1,25 |
| Liitokset | *) |
| Onnettomuusyhdistelmät | 1,0 |

(*Liitoskestävyyden mitoitusarvon laskennassa käytetään liittyvän puutuotteen osavarmuuslukua γ_M . Mikäli liittimellä yhdistetään kahta tai useampaa puutuotetta, joilla on eri osavarmuusluku, käytetään liitoskestävyydelle näistä suurinta γ_M :n arvoa).

4.5 Mittatietojen mitoitusarvot

Poikkileikkausten ja rakenneosien mittatietoina voidaan käyttää tuotestandardien, tyyppihyväksyntöjen, sertifikaattien tai toteutuspiirustusten nimellisarvoja. Eurokoodi 5:ssä määritellyt mittaepätarkkuuksien mitoitusarvot sisältävät sauvojen mittaepätarkkuudet sekä valmistuksesta ja toteutuksesta johtuvien rakenteen epätarkkuuksien ja materiaalien epähomogeenisuuden vaikutukset. /5, 43/

4.6 Kestävyyden mitoitusarvot

Kestävyyden mitoitusarvo lasketaan kaavalla:

$$R_d = k_{\text{mod}} \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (4.2)$$

missä

R_k on kestävyyden ominaisarvo

5 PUISEN VÄLIPOHJAN MITOITUS

5.1 Yleistä

Eurokoodien myötä välipohjan mitoittamisessa tulee ottaa huomioon värähtely ja 1 kN:n pistekuorman aiheuttama painuma. Se on merkittävä muutos, koska aikaisemmin Suomen Rakentamismääräyskokoelmassa niitä ei ole huomioitu lainkaan. Lisäksi asuinrakennusten hyötykuorma nousee arvosta 1,5 arvoon 2,0 kN/m² sekä taipumarajoiksi on asetettu uudet arvot. Välipohjan hetkellisen taipuman raja on L/400 ja lopputaipuman raja L/300. Eurokoodeista johtuen rakenteet tulevat muuttumaan, koska värähtely ja taipuma ovat useimmiten määrääviä mitoittaessa välipohjapalkistoa.

Ihminen kokee värähtelyt haitalliseksi joko kehon tai esineiden välityksellä. Asuin- ja toimistorakennuksissa värähtelyn katsotaan aiheutuvan kävelystä. Kävelevä henkilö itse ei yleensä tunne aiheuttamiaan värähtelyjä tai lattian notkumista, mutta paikallaan oleva henkilö voi kokea ne hyvin epämiellyttäväksi. Värähtely koetaan epämiellyttäväksi silloin, jos kävelyn kuormituskomponentit vahvistuvat resonanssi-ilmiön vuoksi, kantapään isku lattiaan aiheuttaa tärinää tai lattia notkuu liikaa. /2, 10/

Välipohjan värähtely riippuu pääasiassa sen massasta ja lattian ominaisvärähtelyn taajuudesta. Lisäksi vaimennus vaikuttaa värähtelyn voimakkuuteen raskailla lattioilla. Värähtelyä hallitsee kuormituksesta aiheutuvat taipumat, kun välipohjalla on pieni massa ja suuri ominaistajuus. Päinvastaisessa tapauksessa ominaisvärähtely on hallitseva. Tämän perusteella kevyet lattiat ovat korkeataajuuksisia ja raskaat lattiat matalataajuuksisia. /2, 10/

Lattiatyyppin, mittojen ja tukevien rakenteiden lisäksi myös valmistus- ja asennusepätkätyyppillä sekä eri rakennekerrosten ja niiden välisten liitosten joustoilla on vaikutusta lattian värähtelyominaisuuksiin. Jopa pienet materiaalin suoruus-, kontakti- tai asennusvirheet voivat huonontaa värähtelyominaisuuksia merkittävästi. /2, 15/

5.2 Värähtelyn rajoittaminen

Välipohjan värähtely otetaan huomioon käyttörajatilamitoituksessa. Jos lattian alin ominaistaajuus $f_1 \geq 9$ Hz, tarkistetaan että seuraava ehto toteutuu:

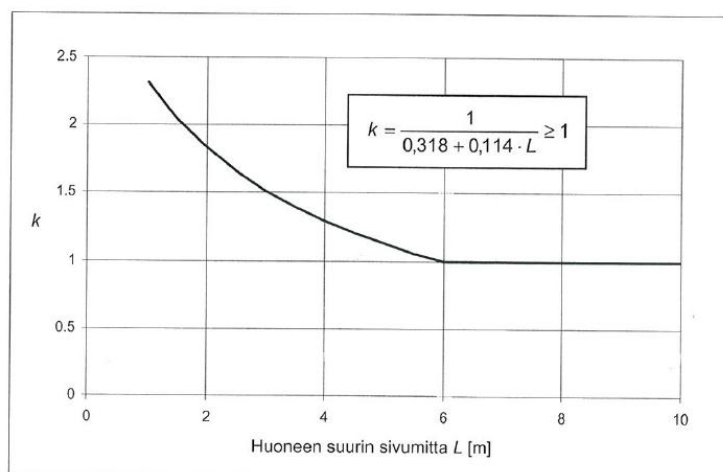
$$\delta \leq 0,5 \text{ mm} \quad (6.1)$$

missä

δ on 1 kN staattisen pistevoiman aiheuttama lattian suurin hetkellinen painuma lattiapalkin kohdalla

Kun huoneen koko on pieni, sallittua taipumaa voidaan korottaa kertoimella k (ks. kuva 6.1).

Kuva 6.1. Huoneen koosta riippuva taipumarajoituksen korotuskerroin k . /5, 91/



Paikalliselle pintalevyllä tai kelluvalle lattialle sallitaan lattiapalkin painuman lisäksi lisätaipuma, joka saa olla enintään 0,5 mm 1 kN:n voimasta. /5, 91-92/

5.3 Ominaistaajuuden laskeminen

Ominaistaajuuden laskemiseen on kaksi kaavaa. Kaavan valinta tehdään riippuen siitä onko lattiarakenne yhteen vai kahteen suuntaan kantava.

Yhteen suuntaan kantavan (kahdelta sivulta tuetun) välipohjan ominaistaajuus voidaan laskea kaavalla:

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_1}{m}} \quad (6.2)$$

Kahteen suuntaan kantavan (neljältä sivulta tuetun) välipohjan ominaistajuus voidaan laskea kaavalla:

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_1}{m}} \cdot \sqrt{1 + \left[2 \cdot \left(\frac{l}{B}\right)^2 + \left(\frac{l}{B}\right)^4 \right] \cdot \frac{(EI)_B}{(EI)_1}} \quad (6.3)$$

missä

l lattiarakenteen jänneväli [m]

B lattiarakenteen leveys[m]

$(EI)_1$ lattian kantavaa suuntaa l vastaava taivutusjäykkyys leveysyksikköä kohti [Nm^2/m]

$(EI)_B$ lattian poikittaissuuntaa B vastaava taivutusjäykkyys leveysyksikköä kohti [Nm^2/m]

m lattian oman painon ja pitkäaikaisen hyötykuorman ($\psi_2 q_k$) pinta-alayksikköä kohden yhteen laskettu massa [kg/m^2]

Värähtelymitoituksessa voidaan olettaa, että neljältä sivulta tuetun lattian tuki poikittaissuunnassa B on ilman joustovaroja kiinnitettävä väli- tai päätyseinä, johon lattian reunapalkki, poikittaiskoolaukset tai pintalevyt kiinnitetään.

Välipohjan kaikkien materiaalien jäykkyyttä saa hyödyntää lattian taivutusjäykkyyttä laskettaessa. Materiaaleja voi olla esimerkiksi koolaukset, levytykset ja pintabetonilaatta. Jos välipohjassa on poikittaisjäykisteitä, se otetaan huomioon taivutusjäykkyydessä $(EI)_B$.

Kun kyseessä on yhteen suuntaan kantava lattiarakenne, lattiapalkin kohdalla vaikuttava 1 kN:n aiheuttaman pistekuorma saa aikaan painuman, joka voidaan laskea kaavalla:

$$\delta = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{F \cdot l^2}{42 \cdot k_8 \cdot (EI)_1} \\ \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot s \cdot (EI)_1} \end{array} \right. \quad (6.4)$$

missä

F on 1 kN:n suuruinen voima

l on lattiarakenteen jänneväli [m]

$(EI)_1$ on lattian kantavaa suuntaa l vastaava taivutusjäykkyys leveysyksikköä kohti [Nm^2/m]

s on lattiapalkin välinen etäisyys

$$k_\delta = \sqrt[4]{\frac{(EI)_B}{(EI)_1}} \text{ rajoituksena } k_\delta \leq \frac{B}{l}$$

Kaavaa voi käyttää myös silloin, jos kyseessä on kahteen suuntaan kantava lattiarakenne. Silloin kerrointa k_δ ei tarvitse rajoittaa tekijällä $\leq B/l$.

Tätä ohjetta voidaan soveltaa myös silloin, kun lasketaan ominaistajuutta kaksi tai useampi aukkoisille jatkuville lattiapalkeille ja laatoille. Lattiarakenne ei kuitenkaan saa olla jatkuva eri huoneistojen välillä. /5, 92-93/

5.4 Taipumat

Käyttörajan taipumia ja vaakasiirtymiä rajoitetaan taulukon 6.1 mukaan, kun niistä on haittaa. Mikäli rakenteen tai rakennuksen tyypistä, käyttötarkoituksesta tai toiminnan luonteesta johtuen muut kuin taulukon arvot soveltuvat paremmin, käytetään niitä. Tuulikuormaa ei tarvitse yhdistellä muiden muuttuvien kuormien kanssa, jos se ei ole määräävä muuttuva kuorma. /5, 257/

Lopputaipuma $W_{\text{net,fin}}$ lasketaan kaavalla:

$$W_{\text{net,fin}} = W_{\text{inst}} + W_{\text{creep}} - W_c = W_{\text{fin}} - W_c \quad (6.5)$$

missä

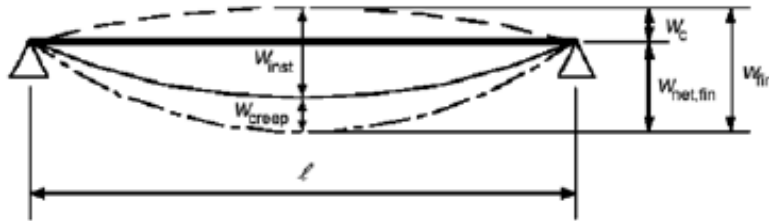
$W_{\text{net,fin}}$ on lopputaipuma

W_{inst} on hetkellinen taipuma

W_{creep} on viruman aiheuttama lisätaipuma

W_c on mahdollinen esikorotus

W_{fin} on kokonaistaipuma /5, 21/

Kuva 6.2. Taipuman muodostuminen. /3, 21/**Taulukko 6.1.** Taipumien ja rakennuksen vaakasiirtymien enimmäisarvot. Ulokkeiden taipuma jännevälin suhteen saa olla kaksinkertainen. /3, 21/

| Rakenne | $W_{inst}^{1)}$ | $W_{net,fin}^{2)}$ | $W_{fin}^{3)}$ |
|--|-----------------|--------------------|----------------|
| Pääkannattimet | $l/400$ | $l/300$ | $l/200$ |
| Orret ja muut toisiokannattimet | - | $l/200$ | $l/150$ |
| Rakennuksen vaakasiirtymä | - | $H/300$ | - |
| l on jänneväli H on rakennuksen tarkasteltavan kohdan korkeus ¹⁾ Koskee pelkästään lattioita ²⁾ Koskee suoria ja esikorotettuja rakenteita, mutta ei tukipisteiden välillä kaarevia tai taitteellisia kannattimia ³⁾ Koskee esikorotettuja sekä tukipisteiden välillä kaarevia tai taitteellisia rakenteita | | | |

5.5 Värähtelymitoituksen yksinkertaistettu menetelmä

Lyhennyksessä suunnitteluohjeessa on esitetty ohjeet värähtelymitoituksen yksinkertaistetulle menetelmälle. Sitä voidaan käyttää kun kyseessä on kuvien 6.3 tai 6.4 mukainen asuin- tai toimistorakennuksen välipohja.

Seuraavien ehtojen tulee täytyä käytettäessä yksinkertaistettua menetelmää:

$$f_1 \geq 9 \text{ Hz} \quad (6.6)$$

$$k_B \cdot k_S \cdot \delta_L = 0,5 \text{ mm} \quad (6.7)$$

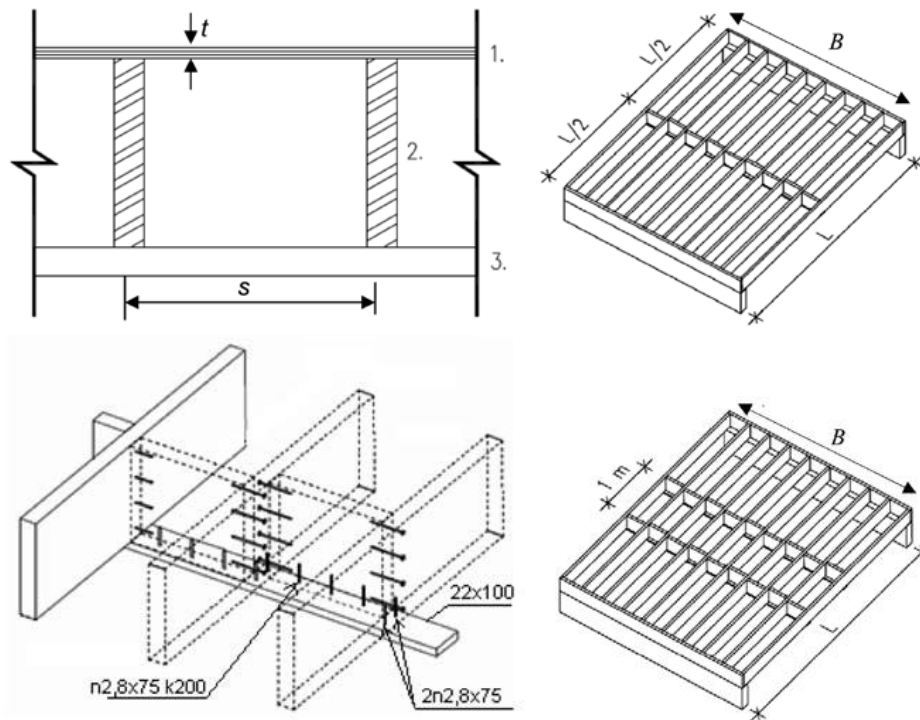
missä

k_B on lattian poikittaissuunnan jäykkyyden ja huoneen koon huomioon ottava kerroin

k_S on lattiapalkkien välisestä etäisyydestä riippuva kerroin

δ_L on laskennallinen, 1 kN:n staattisen pistevoiman aiheuttama suurin hetkellinen taipuma

Kuva 6.3. Poikittaisjäykistetty palkkirakenteinen välipohja $L \leq 7,2$ m. /5, 22/



Kahta poikittaisjäykistelinjaa käytetään, kun $L > 4$ m.

Välipohjan rakenteelliset osat:

1 - Lattialevy: vaneri (tai Kerto-Q) $t \geq s/25$ tai lastulevy $t \geq s/20$

2 - Puupalkit $s \leq 600$ mm: sahatavara, liimapuu tai LVL

3 - Poikittaisjäykisteen vetolauta $\geq 22 \times 100$ C18. Laudan naulaus palkkeihin $2n2,8 \times 75$ ja välikapuloihin $2,8 \times 75$ k200. Välikapuloiden korkeus vastaa lattiapalkkia

Lattiarakenteen alin ominaistaajuus lasketaan lausekkeesta

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_1}{s \cdot m}} \quad (6.8)$$

missä

l on lattiarakenteen jänneväli [m]

$(EI)_1$ on taivutusjäykkyys yhtä lattiapalkkia kohden [Nm^2]

s on lattiapalkkien välinen etäisyys [m]

m on lattian oman painon ja pitkäaikaisen hyötykuorman ($0,3q_k$) pinta-alayksikköä kohden yhteen laskettu massa [kg/m^2]

Palkkirakenteisen välipohjan kertoimena k_B voidaan käyttää arvoa 0,5 ja kerroin k_S saadaan kaavalla:

$$k_S = \sqrt{\frac{s}{0,6}} \geq 0,5 \quad (6.9)$$

missä

s on palkkiväli [m]

Jos lattialevy liimataan rakenteellisesti lattiapalkkeihin, taivutusjäykkyys $(EI)_1$ voidaan laskea hyödyntämällä ripalaatan liittovaikutusta. Työmaalla tehdyssä liimauksessa liittovaikutuksesta saa hyödyntää vain 50 %.

Rakenteellisesti liimatun T-poikkileikkauksen taivutusjäykkyys voidaan laskea likiarvoisesti kaavalla:

$$(EI)_T = (2,2 - 0,1 \cdot L) \cdot (0,4 + s) \cdot (EI)_P \quad (6.10)$$

missä

$(EI)_P$ on palkin taivutusjäykkyys

L on palkin jänneväli [m]

s on palkkiväli [m]

Työmaalla liimatun T-poikkileikkauksen taivutusjäykkyys lasketaan kaavalla:

$$(EI)_1 = 0,5 \cdot [(EI)_P + (EI)_T] \quad (6.11)$$

Kaava 6.11 pätee, kun lattiapalkin leveys $b \leq 50$ mm. Jos $b = 50 \dots 100$ mm, kaavan mukaista jäykkyyttä pienennetään kertoimella $k = 1,15 - 0,003b$.

Jos välipohjarakenteessa on kelluva betonilaatta, voidaan taivutusjäykkyys $(EI)_1$ laskea lattiapalkin ja betonilaatan taivutusjäykkyyksien summana. Betonilaatta oletetaan kannatinvälin s levyiseksi palkiksi. Jos välipohja on neljältä sivulta tuettu, sen ominaistaajuuden f_1 arvoa voidaan korottaa kertoimella k_f .

Korotuskerroin lasketaan kaavalla:

$$k_f = \sqrt{\frac{6}{B}} \geq 1 \quad (6.12)$$

missä

B on lattian tukiväli poikittaissuunnassa [m]

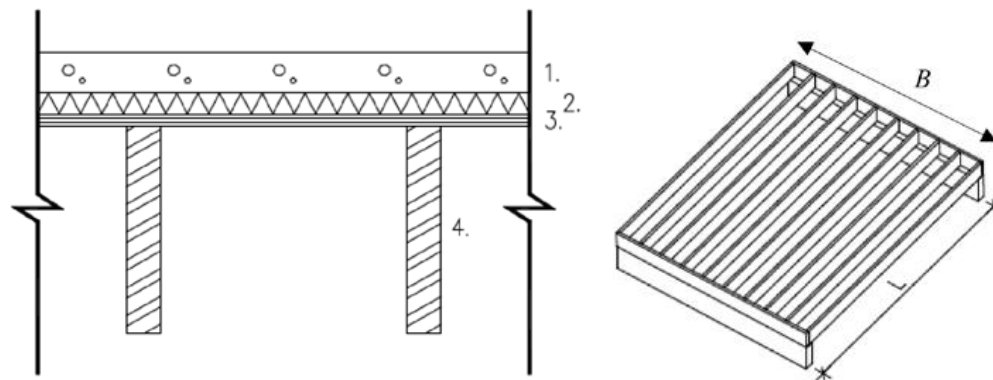
Kuvan 6.4 mukaiselle betonikantiselle välipohjalle kertoimet k_B ja k_S lasketaan kaavoilla:

$$k_B = 0,1 + \frac{L}{30} \quad (6.13)$$

$$k_S = \frac{s}{0,6} \geq 0,3 \quad (6.14)$$

/5, 22-23/

Kuva 6.4. Kelluvalla betonilaatalla varustettu puuvälipohja. /3, 23/



Välipohja voidaan tehdä myös ilman joustavaa kerrosta (2).

Välipohjan rakenteelliset osat:

1- Betonilaatta lujuuslk. $\geq K20$, $h \geq 60$ mm, kutistumaraudoitus $\geq 4\#150$.

2 – Joustava kerros.

3 – Vaneri (mitoitetaan valunaikaisille kuormille).

4 – Puupalkit $s \leq 600$ mm: sahatavara, liimapuu tai LVL.

LÄHTEET

/1/ Eurokoodiesite. 2009. Suomen standardisoimisliitto SFS. Helsinki. Saatavilla www-muodossa: <URL: <http://www.sfs.fi/files/sfseurokoodiesite.pdf>> [viitattu 12.3.2010]

/2/ Järvinen, Erkki – Talja, Asko – Toratti Tomi 2002. Tiedote 2124. Lattioiden värähtelyt. Suunnittelu ja kokeellinen arviointi. Espoo. VTT. Saatavilla www-muodossa: <URL:<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2124.pdf>>

/3/ Kevarinmäki, Ari. 2010. Eurokoodi 5. Lyhennetty suunnitteluohje. 2.painos. Puuinfo Oy. Saatavilla www-muodossa:
<URL:<http://www.puuinfo.fi/kirjasto/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu>>

/4/ SFS-EN 1995-1-1 Puurakenteiden suunnittelu. Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Suomen standardoimisliitto SFS. Helsinki.

/5/ Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. 2007. 205-1-2007 Puurakenteiden suunnitteluohje. Helsinki

/6/ Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. 2008. RIL 201-1-2008 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki

/7/ Ympäristöministeriö. Tiedote. 29.1.2010. Saatavilla www-muodossa:
<URL:<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=350390&lan=fi>>

/8/ <URL:<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=54079&lan=fi>>
[viitattu 12.3.2010]

/9/ <URL:<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=75938&lan=fi>>
[viitattu 12.3.2010]

LASKENTAOPAS

Tämä opas on laadittu helpottamaan rakennesuunnittelijoiden siirtymistä eurokoodien ja uuden laskentaohjelma Finnwood 2.3 käyttöön. Oppaassa käydään läpi puurakenteisen välipohjan ja vasarakenteisen yläpohjan mitoittamisessa esille tulevia asioita. Laskennassa käytettävästä esimerkkirakennuksesta on pyritty tekemään mahdollisimman yksinkertainen, jotta sen avulla voidaan esitellä eurokoodin mukaisen laskennan perusteet selkeästi ja yksiselitteisesti. Laskennan lähdeaineistona on käytetty Puuinfon julkaisua EC5 Sovelluslaskelmat – Asuinrakennus, joka on julkaistu vain pdf-muodossa Puuinfon internetsivuilla, osoitteessa <http://www.puuinfo.fi/kirjasto/ec5-sovelluslaskelmat-asuinrakennus>. Tekstissä ja esimerkkilaskuissa on viitattu teorigrafiikkaan ja Puuinfon Lyhennettyyn suunnitteluohjeeseen, joka on saatavilla osoitteesta <http://www.puuinfo.fi/kirjasto/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu> sekä Suomen Rakennusinsinöörien liiton julkaisun RIL 205-1-2009 liitteestä B.

1 ESIMERKKIRAKENNUS

1.1 Perustiedot

| | |
|-----------------------------------|--|
| Kohteen nimi | Hirsirakenteinen asuinrakennus |
| Osoite | Alajärvi |
| Kortteli | 01-100 |
| Pääasiallinen käyttötarkoitus | Asuinrakennus |
| Rakenteiden vaativuusluokka | B (RakMK osa A2) |
| Käyttöluokka | 1 (RIL 205-1-2007) |
| Seuraamusluokka | CC2 (RIL 205-1-2007) |
| Paloluokka | P3 (RakMK osa E1) |
| Pääasiallinen rakennusmateriaali | Puu |
| Pääasiallinen rakennustapa | Paikalla rakentaminen |
| Kerrosluku | 2 |
| Kokonaiskorkeus | 7,0 m |
| Bruttopinta-ala yhteensä | 160 m ² |
| Rakenteellinen järjestelmä | |
| Pääasialliset runkorakenteet | |
| Kantavat seinät | Hirsiseinä |
| Pääkannattimet | Sahatavara- ja liimapuupalkki |
| Ulkoseinät | |
| 1. ja 2. kerros | Lamellihirsiseinä |
| Väliseinät | |
| 1. ja 2. kerros | Kevyt väliseinä/Muurattu väliseinä |
| Välipohja | Paikalla rakennettu puupalkkivälipohja |
| Yläpohja | Kattovasayläpohja, lämpöeristetty |

Normit ja kuormitukset

Määräykset ja ohjeet

| | |
|--------------------|--|
| Puurakenteet | Eurocode 5 |
| Soveltamisohje | RIL 205-1-2009, Liite B Lyhennetty suunnitteluohje |
| Palonkestovaatimus | EI 30 osastointi huoneistojen välillä |

Kuormitukset

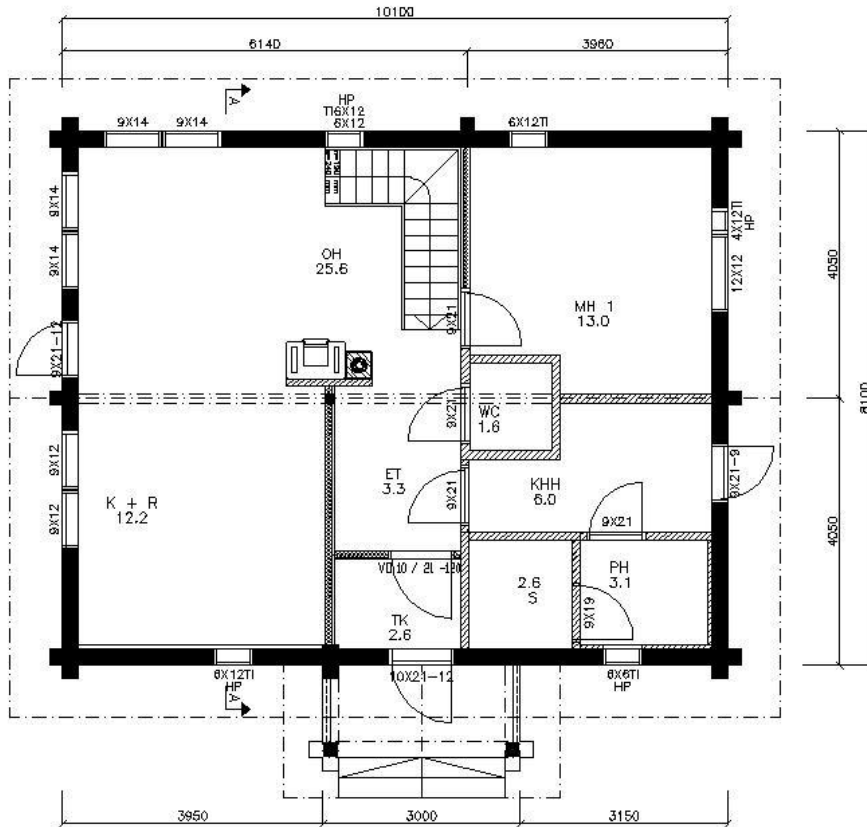
| | |
|--------------------------------|---|
| Yläpohja | 0,5 kN/m ² |
| Välipohja | 0,6 kN/m ² |
| Kevyet väliseinät välipohjalla | 0,3 kN/m ² (kohta 3.4.1) |
| Lumikuorma maan pinnalla | 2,5 kN/m ² (kuva 3.1) |
| Hyötykuorma | 2,0 kN/m ² (lattiat ja portaat) 2,5 kN/m ² (parvekkeet) (taulukko 3.1) |
| Tuulikuorma | 0,42 kN/m ² maastoluokka III kun h=7,0 m (kohta 3.4.4) |

Laskentamenetelmät

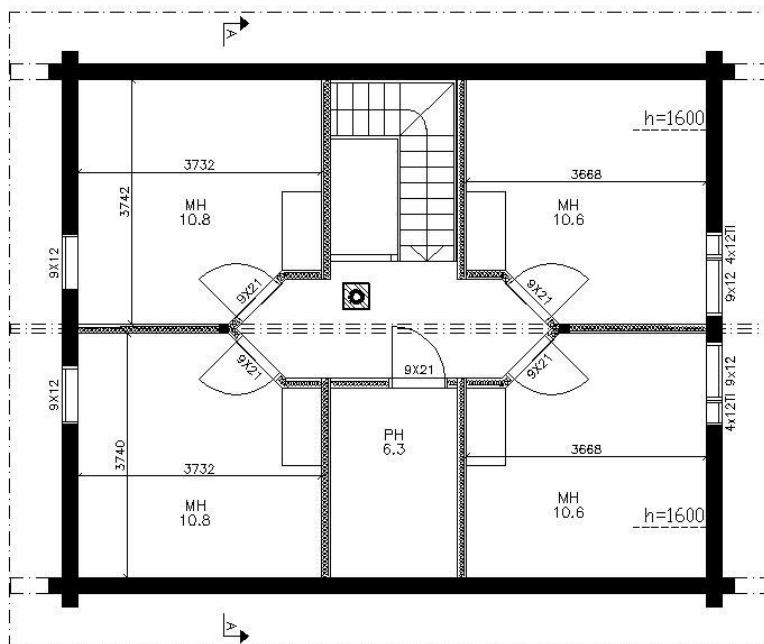
Laskelmat tehdään käsinlaskennalla ja Finnwood 2.3 mitoitusohjelmalla.

1.2 Rakennuksen esittely

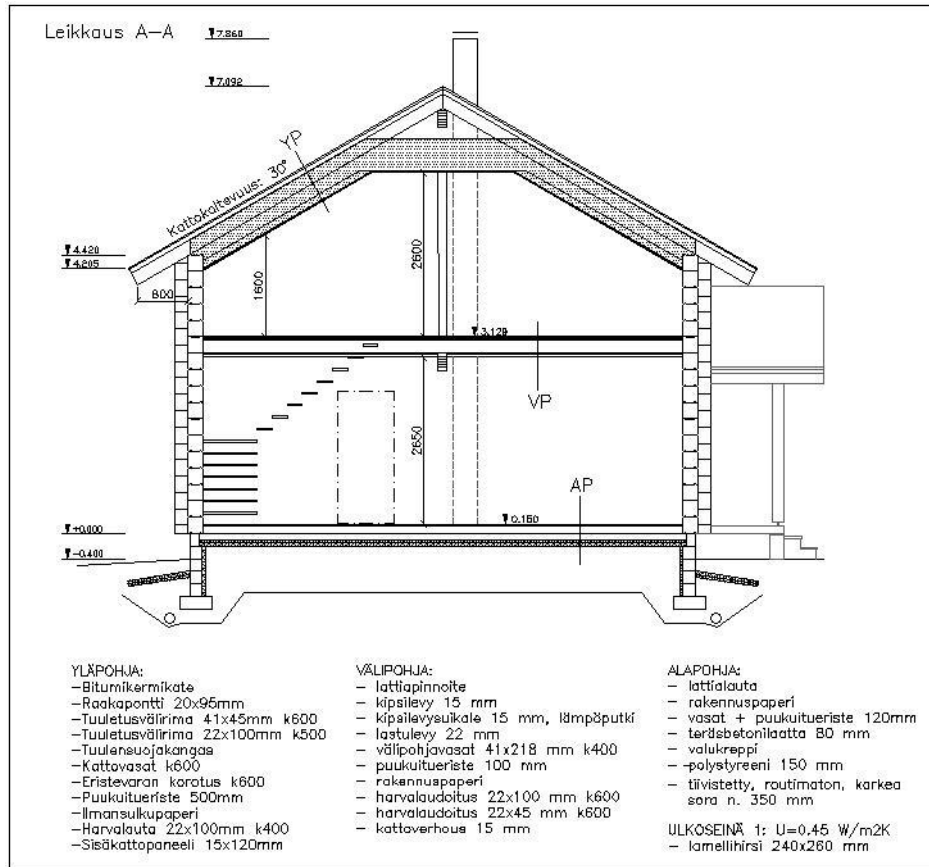
Kuva 1.1. 1. kerroksen pohjapiirros



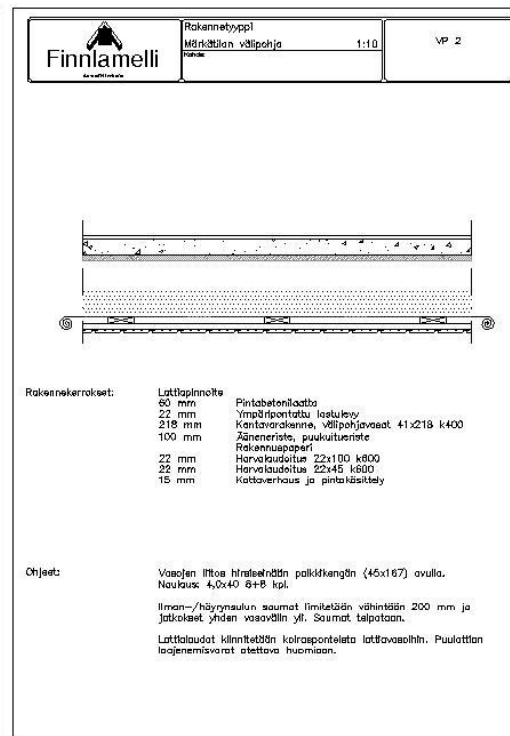
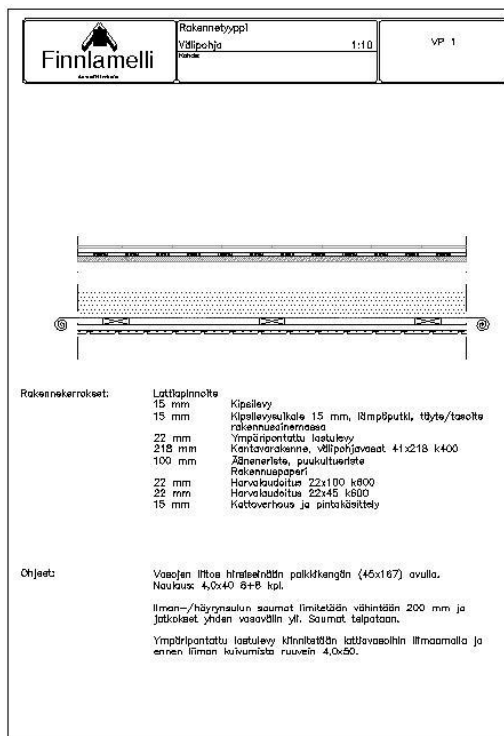
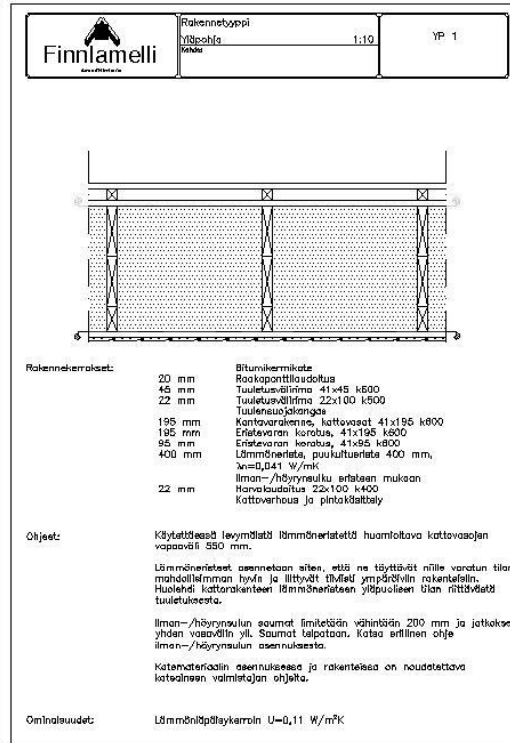
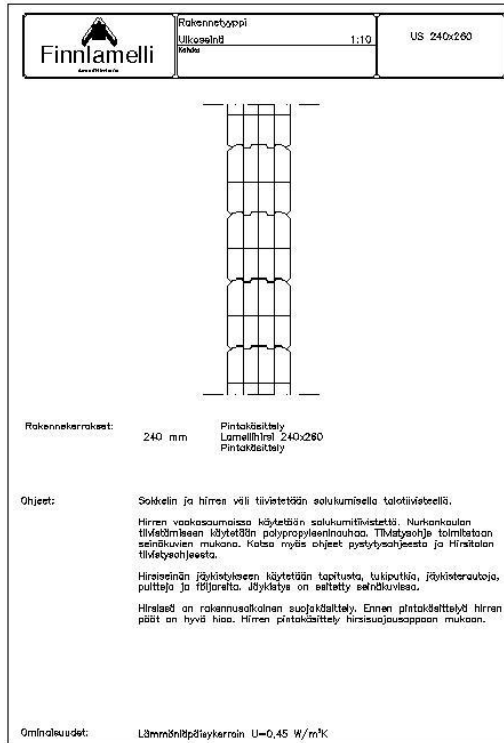
Kuva 1.2. 2. kerroksen pohjapiirros



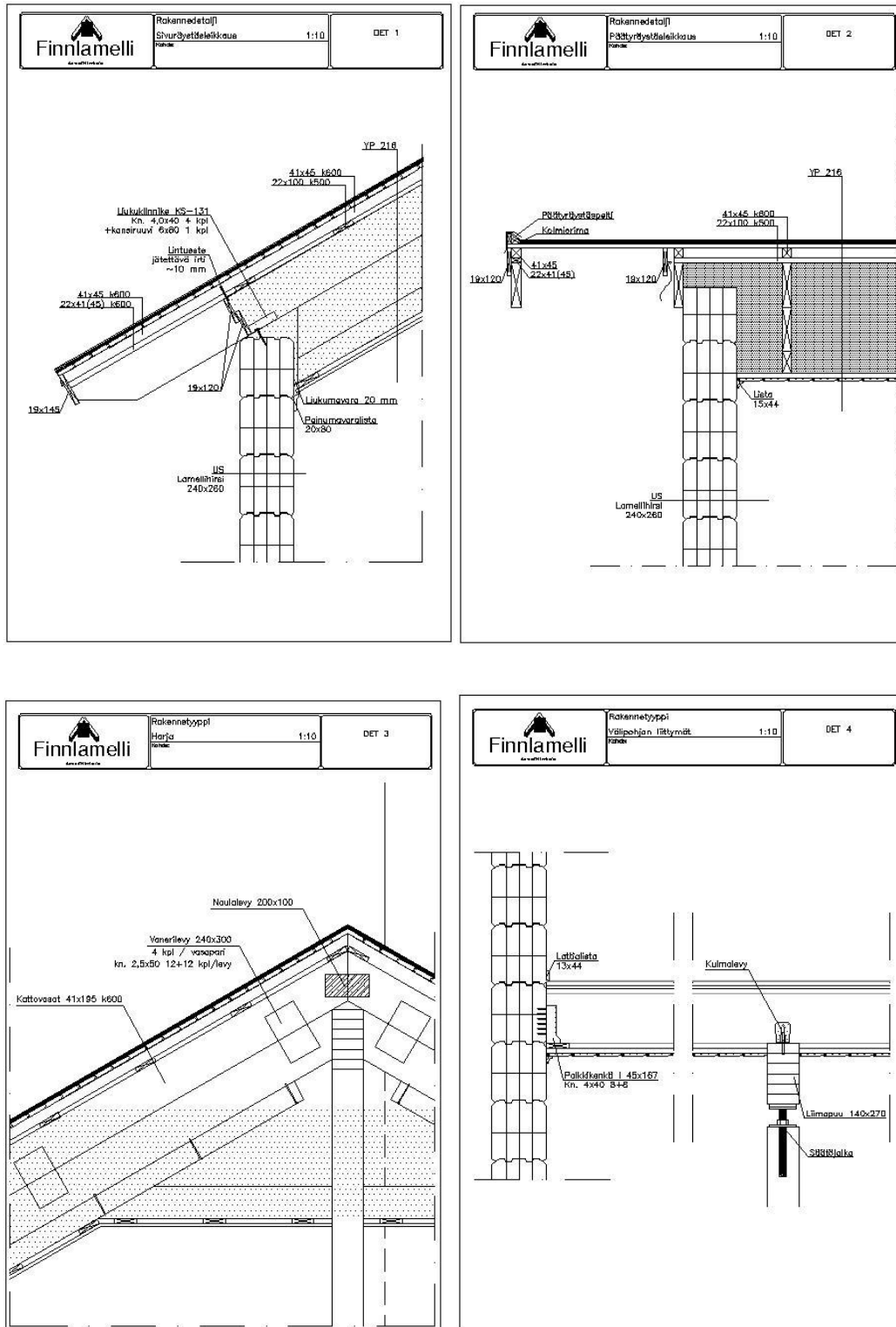
Kuva 1.3. Rakennuksen leikkauskuva A-A



Kuva 1.4. Rakennetyypit



Kuva 1.5. Rakenteiden liittymät



1.3 Kuormitukset

1.3.1 Välipohja

Välipohjan kuormia ovat välipohjan omapaino, hyötykuorma ja kevyiden väliseinien omapaino. Märkätilassa välipohjan omapaino on suuri betonisen pintalaatan takia. Välipohjan omapaino on $g_k=0,7 \text{ kN/m}^2$, hyötykuorman ominaisarvo $q_k=2,0 \text{ kN/m}^2$ ja kevyiden väliseinien omapaino $g_k=0,3 \text{ kN/m}^2$ (3.4.1).

1.3.2 Yläpohja

Yläpohjan kuormia ovat omapaino ja lumikuorma. Maanpinnan lumikuorman ominaisarvo on $s_k=2,5 \text{ kN/m}^2$, kun rakennus sijaitsee Alajärvellä. Harjakaton (kattokaltevuus $0-30^\circ$) muotokerroin, kun lumi ei kinostu, on $\mu_1=0,8$. Lumikuorman ominaisarvo katolla:

$$\mu_1 \cdot s_k = 0,8 \cdot 2,5 = 2,0 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{kaava 3.11})$$

Rakennuksen yläpohjassa on tasoero kuistin ja ylemmän katon välillä. Kuistin lumikuorman laskemisessa huomioidaan ylemmältä kattolapelta liukuvan lumen kasautuminen ja tuulesta johtuva lumen kinostuminen. Kuistin lumikuorman muotokerroin lasketaan kaavalla $\mu_2 = \mu_s + \mu_w$.

Liukumisesta johtuvan lumikuorman muotokerroin, kun $\alpha > 15^\circ$:

$$\mu_s = \frac{0,8 \cdot 4,0 \text{ m}}{2,0 \text{ m}} = 1,6 \quad (\text{kaava 3.14})$$

Tuulesta johtuvan kinostumisen muotokerroin lasketaan kaavalla:

$$\mu_w = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{10 \text{ m} + 1 \text{ m}}{2 \cdot 1,0 \text{ m}} \\ \frac{2 \frac{\text{kN}^3}{\text{m}} \cdot 1,0 \text{ m}}{2,5 \frac{\text{kN}^2}{\text{m}}} \\ 2,5 \end{array} \right. \quad \text{kuitenkin } \mu_w \geq 0,8 \quad (\text{kaava 3.15})$$

$$= \begin{cases} 5,5 \\ 0,8 \rightarrow 0,8 \\ 2,5 \end{cases}$$

Kuistin lumikuorman muotokertoimen μ_2 arvo on

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w = 1,6 + 0,8 = 2,4 \quad (\text{kaava 3.12})$$

ja kuistin lumikuorman ominaisarvo on

$$\mu_2 \cdot s_k = 2,4 \cdot 2,5 \text{ kN/m}^2 = 6,0 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{kaava 3.11})$$

1.3.3 Kuormitusyhdistelmät

Kaikissa laskuissa tutkitaan seuraavat kuormitusyhdistelmät.

Seuraamusluokka on CC2, $K_{FI} = 1,0$ (RIL 205-1-2007 taulukko 2.1).

KY1:

Kuormitusyhdistelmä käyttörajatilassa (pysyvä aikaluokka)

$$G_{kj}(\text{omapaino})$$

Kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (pysyvä aikaluokka)

$$1,35 G_{kj}(\text{omapaino}) \quad (\text{kaava 3.2})$$

KY2 välipohja:

Kuormitusyhdistelmä käyttörajatilassa (keskipitkä aikaluokka)

$$G_{kj}(\text{omapaino}) + Q_{k,1}(\text{hyöty})$$

Kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (keskipitkä aikaluokka)

$$1,15 G_{kj}(\text{omapaino}) + 1,5 Q_{k,1}(\text{hyöty}) \quad (\text{kaava 3.3})$$

KY2 yläpohja:

Kuormitusyhdistelmä käyttörajatilassa (keskipitkä aikaluokka)

$$G_{kj}(\text{omapaino}) + Q_{k,1}(\text{lumi})$$

Kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa (keskipitkä aikaluokka)

$$1,15 G_{kj}(\text{omapaino}) + 1,5 Q_{k,1}(\text{lumi}) \quad (\text{kaava 3.3})$$

1.3.4 Materiaaliominaisuudet

Sahatavara C24

(taulukko 4.3)

| | |
|--|--|
| $f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$ | taivutus |
| $f_{v,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$ | leikkaus |
| $f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$ | puristus |
| $E_{\text{mean}} = 11000 \text{ N/mm}^2$ | kimmomoduli |
| $\gamma_M = 1,4$ | materiaalin osavarmuusluku (taulukko 4.6) |
| $k_{\text{mod}} = 0,60$ | käyttöluokka 1, aikaluokka pysyvä (taulukko 4.1) |
| $k_{\text{mod}} = 0,80$ | käyttöluokka 1, aikaluokka keskipitkä (taulukko 4.1) |
| $k_{\text{def}} = 0,6$ | käyttöluokka 1, aikaluokka pysyvä (4.2) |

2 ESIMERKKILASKELMAT

2.1 Yleistä

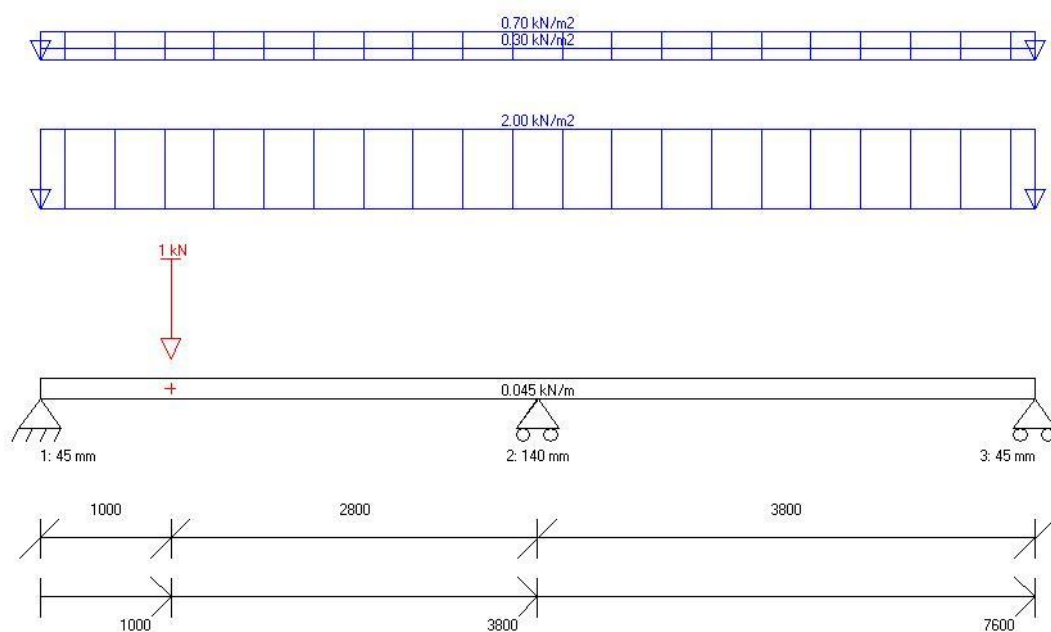
Esimerkkilaskuissa haetaan erilaiset varmuuskertoimet, määritetään niiden avulla rakenteiden kuormitukset ja lasketaan palkin kestävyysominaisuudet.

2.2 Välipohja

Perustietoja

- Välipohjapalkit kiinnitetään hirsiseiniin palkkikengillä
- Palkit tukeutuvat myös alakerran kantaviin väliseiniin ja liimapuupalkkiin
- Palkiston päällä oleva lastulevy liimataan ja ruuvataan palkkeihin kiinni työmaalla ja siitä muodostuvaa T-poikkileikkausta hyödynnetään värähtelymitoituksessa
- Palkiston jännevälin keskelle asennetaan yksi poikittaisjäykistelinja

Mitoitetaan välipohja kaksiaukkoisena palkkina pysyvässä ja keskipitkässä aikaluokassa. Mitoittavat voimasuuret saadaan Finnwood 2.3 ohjelman laskentatuloksista.



Kuva 2.1. Välipohjapalkin kuormituskaavio

Kuormat

$g_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$ välipohjan omapaino

$g_k = 0,3 \text{ kN/m}^2$ väliseinien omapaino

$q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$ hyötykuorma

Ominaiskuormien aiheuttamat voimasuureet

$L = 3,8 \text{ m}$ palkin jänneväli

$s = 0,4 \text{ m}$ palkkijako

Palkin lähtötiedot

$h = 218 \text{ mm}$ palkin korkeus

$b = 41 \text{ mm}$ palkin leveys

2.2.1 Taivutuskestävyys KY1**Maksimi taivutusmomentti**

$M_d = 1,08 \text{ kNm}$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 1,08 \cdot 10^6}{41 \cdot 218^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 3,33 \text{ N/mm}^2$$

 k_h -kerroin

Taivutus- ja vetolujuuden ominaisarvoja ei voi suurentaa k_h -kertoimella, koska sahatavarapalkin korkeus $h \geq 150 \text{ mm}$ (RIL 205-1-2007 3.2).

Taivutuslujuus

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{24 \cdot 0,6}{1,4}$$

$$f_{m,d} = 10,29 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 4.1})$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d} \rightarrow 3,33 \text{ N/mm}^2 < 10,29 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste 32 %

2.2.2 Leikkausvoimakestävyys KY1

Maksimi leikkausvoima

$$V_d = 1,43 \text{ kN}$$

Leikkausjännitys

Koska palkki on sahatavaraa, $b_{ef} = 0,67b = 27 \text{ mm}$ (kohta B.5.2).

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1430}{27 \cdot 218}$$

$$\tau_d = 0,36 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{2,5 \cdot 0,6}{1,4}$$

$$f_{v,d} = 1,07 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 4.1})$$

Mitoitusehto

$$\tau_d \leq f_{v,d} \rightarrow 0,36 \text{ N/mm}^2 < 1,07 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste 34 %

2.2.3 Tukipainekestävyys palkissa KY1

Tukireaktio

$$A_d = 0,86 \text{ kN}$$

Puristusjännitys palkissa

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{A_d}{b \cdot l} = \frac{860}{41 \cdot 45}$$

$$\sigma_{c,90,d} = 0,47 \text{ N/mm}^2$$

Palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{2,5 \cdot 0,6}{1,4}$$

$$f_{c,90,d} = 1,07 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 4.1})$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus

$l_{c,90,ef}$ määritetään lisäämällä kosketuspinnan pituuteen l molemmin puolin 30 mm, kuitenkin enintään a , l tai $l_1/2$. Lasketaan palkkien päässä olevan tuen painekestävyys, joten kosketuspinnan pituuteen lisätään 30 mm vain toiselle puolelle.

$$l_{c,90,ef} = l + 30 = 45 + 30 = 75 \quad (\text{B.5.1})$$

$k_{c,90}$ -kerroin

$$\text{Kun } l_1 \geq 2h \rightarrow k_{c,90} = 1,25 \text{ (sahatavara)} \quad (\text{B.5.1})$$

Tukipaine kerroin

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = \frac{75}{45} \cdot 1,25 \quad (\text{kaava B.5.2a})$$

$$k_{c,\perp} = 2,1$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} \rightarrow 0,47 \text{ N/mm}^2 < 2,1 \cdot 1,07 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava B.5.2})$$

Käyttöaste 21 %

2.2.4 Taivutuskestävyys KY2

Maksimi taivutusmomentti

$$M_d = 3,09 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 3,09 \cdot 10^6}{41 \cdot 218^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 9,52 \text{ N/mm}^2$$

Taivutuslujuus

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{24 \cdot 0,8}{1,4}$$

$$f_{m,d} = 13,71 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 4.1})$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d} \rightarrow 9,52 \text{ N/mm}^2 < 13,71 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste 69 %

2.2.5 Leikkausvoimakestävyys KY2

Maksimi leikkausvoima

$$V_d = 4,07 \text{ kN}$$

Leikkausjännitys

Koska palkki on sahatavaraa, $b_{ef} = 0,67b = 27 \text{ mm}$ (kohta B.5.2).

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{4070}{27 \cdot 218}$$

$$\tau_d = 1,04 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{2,5 \cdot 0,8}{1,4}$$

$$f_{v,d} = 1,43 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 4.1})$$

Mitoitusehto

$$\tau_d \leq f_{v,d} \rightarrow 1,04 \text{ N/mm}^2 < 1,43 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste 73 %

2.2.6 Tukipainekestävyys palkissa KY2

Tukireaktio

$$A_d = 2,44 \text{ kN}$$

Puristusjännitys palkissa

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{A_d}{b \cdot l} = \frac{2440}{41 \cdot 45}$$

$$\sigma_{c,90,d} = 1,32 \text{ N/mm}^2$$

Palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{2,5 \cdot 0,8}{1,4}$$

$$f_{c,90,d} = 1,43 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 4.1})$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus

$$l_{c,90,ef} = l + 30 = 45 + 30 = 75$$

$k_{c,90}$ -kerroin

$$\text{Kun } l_1 \geq 2h \rightarrow k_{c,90} = 1,25 \quad (\text{B.5.1})$$

Tukipainekerroin

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = \frac{75}{45} \cdot 1,25 \quad (\text{kaava B.5.2a})$$

$$k_{c,\perp} = 2,1$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} \rightarrow 1,32 \text{ N/mm}^2 < 2,1 \cdot 1,43 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste 48 %

2.2.7 Taipuma

Palkin jäyhyysmomentti

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{41 \cdot 218^3}{12}$$

$$I_y = 35,40 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Hetkellinen taipuma

$$w_{\text{inst}} = 5,68 \text{ mm}$$

Mitoitusehto

L = välipohjapalkin jänneväli

$$\text{Taipumaraja } w_{\text{inst}} \leq \frac{L}{400} \rightarrow 5,7 \text{ mm} < 9,5 \text{ mm} \quad (\text{taulukko 6.1})$$

Käyttöaste 60 %

Kokonaistaipuma

$$w_{\text{fin}} = 7,32 \text{ mm}$$

Mitoitusehto

L = välipohjapalkin jänneväli

$$\text{Taipumaraja } w_{\text{fin}} \leq \frac{L}{200} \rightarrow 7,3 \text{ mm} < 19 \text{ mm} \quad (\text{taulukko 6.1})$$

Käyttöaste 38 %

Lopputaipuma

$$w_{\text{net,fin}} \leq \frac{L}{300} \rightarrow 7,3 \text{ mm} < 12,7 \text{ mm} \quad (\text{taulukko 6.1})$$

Käyttöaste 57 %

2.2.8 Värähtely KY2

Välipohjan värähtelyn käsinlaskennassa käytetään Lyhennytyssä suunnitteluohjeessa esitettyä yksinkertaistettua menetelmää. Yksinkertaistuksista johtuen se antaa kuitenkin hieman huonompia tuloksia kuin tarkemmat laskentaohjelmat.

Palkin taivutusjäykkyys

$$(EI)_P = E_{\text{mean}} \cdot I_y = 11000 \cdot 35,4 \cdot 10^6$$

$$(EI)_P = 3,89 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2$$

Rakenteellisesti liimatun T-poikkileikkauksen taivutusjäykkyys

$$(EI)_T = (2,2 - 0,1L) \cdot (0,4 + s) \cdot (EI)_P \quad (\text{kaava 6.10})$$

$$(EI)_T = (2,2 - 0,1 \cdot 3,8) \cdot (0,4 + 0,4) \cdot 3,89 \cdot 10^{11}$$

$$(EI)_T = 5,66 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2$$

Työmaalla liimatun T-poikkileikkauksen taivutusjäykkyys

$$(EI)_L = 0,5 \cdot [(EI)_P + (EI)_T] = 0,5 \cdot [3,89 \cdot 10^{11} + 5,66 \cdot 10^{11}] \quad (\text{kaava 6.11})$$

$$(EI)_L = 4,78 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2$$

Lattian omapainon ja pitkäaikaisen hyötykuorman yhteinen massa

$$m = \frac{g_k + \psi_2 \cdot q_k}{9,81} = \frac{700 + 0,3 \cdot 2000}{9,81}$$

$$m = 132,5 \text{ N/m}^3 \text{ s}^2$$

Lattian ominaistajuus

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_L}{s \cdot m}} = \frac{\pi}{2 \cdot 3,8^2} \cdot \sqrt{\frac{4,78 \cdot 10^5}{0,4 \cdot 132,5}}$$

$$f_1 = 10,3 \text{ Hz} \quad (\text{kaava 6.8})$$

Mitoitusehto

$$f_1 \geq 9 \text{ Hz} \rightarrow 10,3 \text{ Hz} > 9 \text{ Hz}$$

Taipuma 1 kN:n pistekuormasta

$$\delta_L = 0,4 \text{ mm}$$

Mitoitusehto

$$\delta_L \leq 0,5 \quad (\text{kaava 6.7})$$

Käyttöaste 80 %

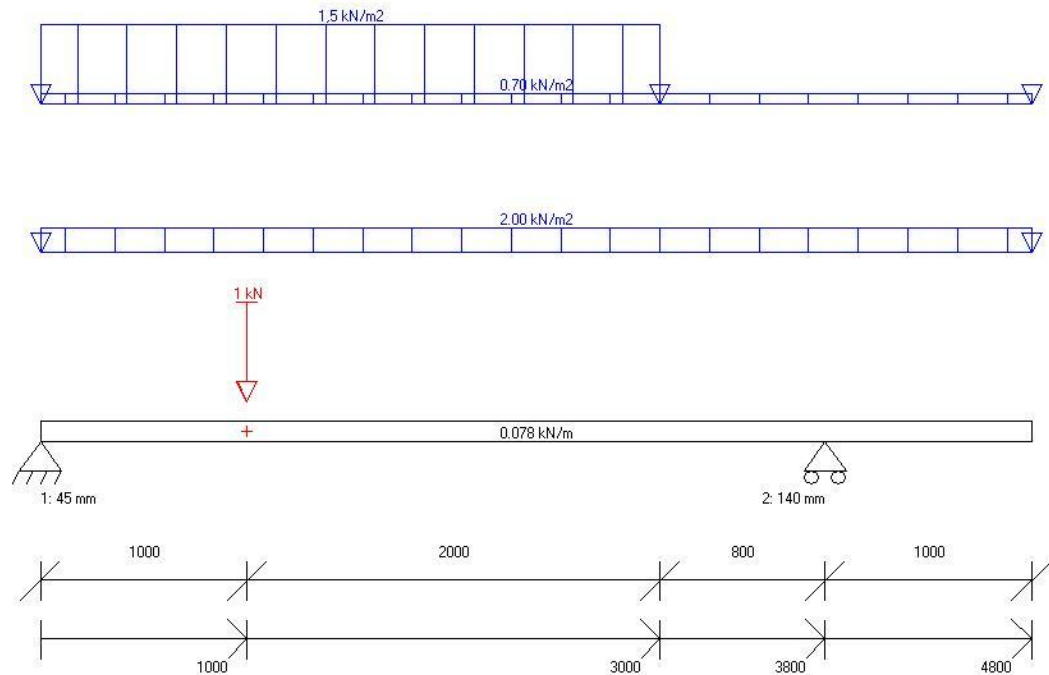
2.3 Märkätilan välipohja

Perustietoja

- Välipohjapalkit kiinnitetään hirsiseiniin palkkikengillä
- Palkit tukeutuvat alakerran kantaviin väliseiniin/liimapuupalkkiin
- Välipohjan omapaino on suurempi kuin hyötykuorma johtuen betonirakenteisesta pintalaatasta
- Palkiston päällä oleva vaneri liimataan palkkeihin työmaalla ja siitä muodostuvaa T-poikkileikkausta hyödynnetään värähtelymitoituksessa
- Palkiston jännevälän keskelle asennetaan yksi poikittaisjäykistelinja

Mitoitetaan märkätilan välipohjapalkki pysyvässä ja keskipitkässä aikaluokassa.

Koska palkissa on uloke ja betonilaatta ei ulotu koko palkin matkalle, mitoittavat voimasuureet saadaan Finnwood 2.3 ohjelmasta.



Kuva 2.2. Märkätilan välipohjan kuormituskaavio

Kuormat

| | |
|----------------------------|-----------------------|
| $g_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$ | välipohjan omapaino |
| $g_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$ | betonilaatan omapaino |
| $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$ | hyötykuorma |

Ominaiskuormien aiheuttamat voimasuureet

| | |
|----------------------|------------------|
| $L = 3,8 \text{ m}$ | palkin jänneväli |
| $a = 1,0 \text{ m}$ | ulokkeen pituus |
| $s = 0,25 \text{ m}$ | palkkijako |

Palkin lähtötiedot

| | |
|----------------------|----------------|
| $h = 218 \text{ mm}$ | palkin korkeus |
| $b = 82 \text{ mm}$ | palkin leveys |

2.3.1 Taivutuskestävyys KY1

Maksimi taivutusmomentti

$$M_d = 4,22 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 4,22 \cdot 10^6}{82 \cdot 218^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 6,50 \text{ N/mm}^2$$

k_h -kerroin

Taivutus- ja vetolujuuden ominaisarvoja ei voi suurentaa k_h -kertoimella, koska sahatavarakorkeus $h \geq 150 \text{ mm}$ (RIL 205-1-2007 3.2).

Taivutuslujuus

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{24 \cdot 0,6}{1,4}$$

$$f_{m,d} = 10,29 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 4.1})$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d} \rightarrow 6,50 \text{ N/mm}^2 < 10,29 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste 63 %

2.3.2 Leikkausvoimakestävyys KY1

Maksimi leikkausvoima

$$V_d = 4,67 \text{ kN}$$

Leikkausjännitys

Koska palkki on sahatavaraa, $b_{ef} = 0,67b = 55 \text{ mm}$ (kohta B.5.2).

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{4670}{55 \cdot 218}$$

$$\tau_d = 0,58 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{2,5 \cdot 0,6}{1,4}$$

$$f_{v,d} = 1,07 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 4.1})$$

Mitoitusehto

$$\tau_d \leq f_{v,d} \rightarrow 0,58 \text{ N/mm}^2 < 1,07 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste 54 %

2.3.3 Tukipainekestävyys palkissa KY1**Tukireaktio**

$$A_d = 4,67 \text{ kN}$$

Puristusjännitys palkissa

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{A_d}{b \cdot l} = \frac{4670}{82 \cdot 45}$$

$$\sigma_{c,90,d} = 1,27 \text{ N/mm}^2$$

Palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{2,5 \cdot 0,6}{1,4}$$

$$f_{c,90,d} = 1,07 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 4.1})$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus

$l_{c,90,ef}$ määritetään lisäämällä kosketuspinnan pituuteen l molemmin puolin 30 mm, kuitenkin enintään a , l tai $l_1/2$. Tässä tapauksessa tuki on palkkien päässä, joten kosketuspinnan pituuteen voi lisätä 30 mm vain toiselle puolelle.

$$l_{c,90,ef} = l + 30 = 45 + 30 = 75 \quad (\text{B.5.1})$$

 $k_{c,90}$ -kerroin

Kun $l_1 \geq 2h \rightarrow k_{c,90} = 1,25$ (sahatavara)

Tukipaine kerroin

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = \frac{75}{45} \cdot 1,25$$

(kaava B.5.2a)

$$k_{c,\perp} = 2,1$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} \rightarrow 1,27 \text{ N/mm}^2 < 2,1 \cdot 1,07 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste 57 %**2.3.4 Taivutuskestävyys KY2****Maksimi taivutusmomentti**

$$M_d = 4,77 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 4,77 \cdot 10^6}{82 \cdot 218^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 7,34 \text{ N/mm}^2$$

Taivutuslujuus

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{24 \cdot 0,8}{1,4}$$

$$f_{m,d} = 13,71 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 4.1})$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d} \rightarrow 7,43 \text{ N/mm}^2 < 13,71 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste 54 %**2.3.5 Leikkausvoimakestävyys KY2****Maksimi leikkausvoima**

$$V_d = 5,31 \text{ kN}$$

Leikkausjännitys

Koska palkki on sahatavaraa, $b_{ef} = 0,67b = 55 \text{ mm}$ (kohta B.5.2).

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{5310}{55 \cdot 218}$$

$$\tau_d = 0,66 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{2,5 \cdot 0,8}{1,4}$$

$$f_{v,d} = 1,43 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 4.1})$$

Mitoitusehto

$$\tau_d \leq f_{v,d} \rightarrow 0,66 \text{ N/mm}^2 < 1,43 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste 46 %

2.3.6 Tukipainekestävyys palkissa KY2

Tukireaktio

$$A_d = 5,55 \text{ kN}$$

Puristusjäännitys palkissa

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{A_d}{b \cdot l} = \frac{5550}{82 \cdot 45}$$

$$\sigma_{c,90,d} = 1,50 \text{ N/mm}^2$$

Palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{2,5 \cdot 0,8}{1,4}$$

$$f_{c,90,d} = 1,43 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 4.1})$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus

$$l_{c,90,ef} = l + 30 = 45 + 30 = 75$$

$k_{c,90}$ -kerroin

$$\text{Kun } l_1 \geq 2h \rightarrow k_{c,90} = 1,25 \quad (\text{B.5.1})$$

Tukipaine kerroin

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = \frac{75}{45} \cdot 1,25$$

$$k_{c,\perp} = 2,1$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} \rightarrow 1,50 \text{ N/mm}^2 < 2,1 \cdot 1,43 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste 50 %

2.3.7 Taipuma

Hetkellinen taipuma tukien välillä

$$w_{inst} = 8,44 \text{ mm}$$

Mitoitusehto

$$\text{Taipumaraja } w_{inst} \leq \frac{L}{400} \rightarrow 8,4 \text{ mm} < 9,5 \text{ mm} \quad (\text{taulukko 6.1})$$

Käyttöaste 88 %

Lopputaipuma tukien välillä

$$w_{net,fin} = 12,18 \text{ mm}$$

$$w_{net,fin} \leq \frac{L}{300} \rightarrow 12,2 \text{ mm} < 12,7 \text{ mm (lopputaipuma) (taulukko 6.1)}$$

Käyttöaste 96 %

2.3.8 Värähtely KY2

Palkin taivutusjäykkyys

$$(EI)_P = E_{mean} \cdot I_y = 11000 \cdot 70,79 \cdot 10^6$$

$$(EI)_P = 7,79 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2$$

Liimatun T-poikkileikkauksen taivutusjäykkyys

$$(EI)_T = (2,2 - 0,1L) \cdot (0,4 + s) \cdot (EI)_P \quad (\text{kaava 6.10})$$

$$(EI)_T = (2,2 - 0,1 \cdot 3,8) \cdot (0,4 + 0,25) \cdot 7,79 \cdot 10^{11}$$

$$(EI)_T = 9,22 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2$$

Työmaalla liimatun T-poikkileikkauksen taivutusjäykkyys

$$(EI)_L = 0,5 \cdot [(EI)_P + (EI)_T] = 0,5 \cdot [7,79 \cdot 10^{11} + 9,22 \cdot 10^{11}] \quad (6.11)$$

$$(EI)_L = 8,51 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2$$

Lattian omapainon ja pitkäaikaisen hyötykuorman yhteinen massa

$$m = \frac{g_k + \psi_2 \cdot q_k}{9,81} = \frac{2200 + 0,3 \cdot 2000}{9,81}$$

$$m = 285,4 \text{ N/m}^3 \text{ s}^2$$

Lattian ominaistajuus

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_L}{s \cdot m}} = \frac{\pi}{2 \cdot 3,8^2} \cdot \sqrt{\frac{8,51 \cdot 10^5}{0,25 \cdot 285,4}}$$

$$f_1 = 11,9 \text{ Hz} \quad (\text{kaava 6.8})$$

Mitoitusehto

$$f_1 \geq 9 \text{ Hz}$$

Taipuma 1 kN:n pistekuormasta

$$\delta_L = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot (EI)_L} = \frac{1000 \cdot 3800^3}{48 \cdot 8,51 \cdot 10^{11}}$$

$$\delta_L = 1,34 \text{ mm}$$

Betonirakenteisen pintalaatan vaikutus

$$k_B = 0,1 + \frac{L}{30} = 0,1 + \frac{3,8}{30} \quad (\text{kaava 6.13})$$

$$k_B = 0,23$$

Palkkijaon tihentämisen vaikutus

Kertoimella k_S huomioidaan välipohjapalkkien k-jako 400 mm.

$$k_S = \frac{s}{0,6} \geq 0,3 \rightarrow \frac{0,25}{0,6} = 0,417 \quad (\text{kaava 6.14})$$

Mitoitusehto

$$k_B \cdot k_S \cdot \delta_L \leq 0,5$$

(kaava 6.7)

$$k_B \cdot k_S \cdot \delta_L \leq 0,23 \cdot 0,417 \cdot 1,34 = 0,13 \text{ mm}$$

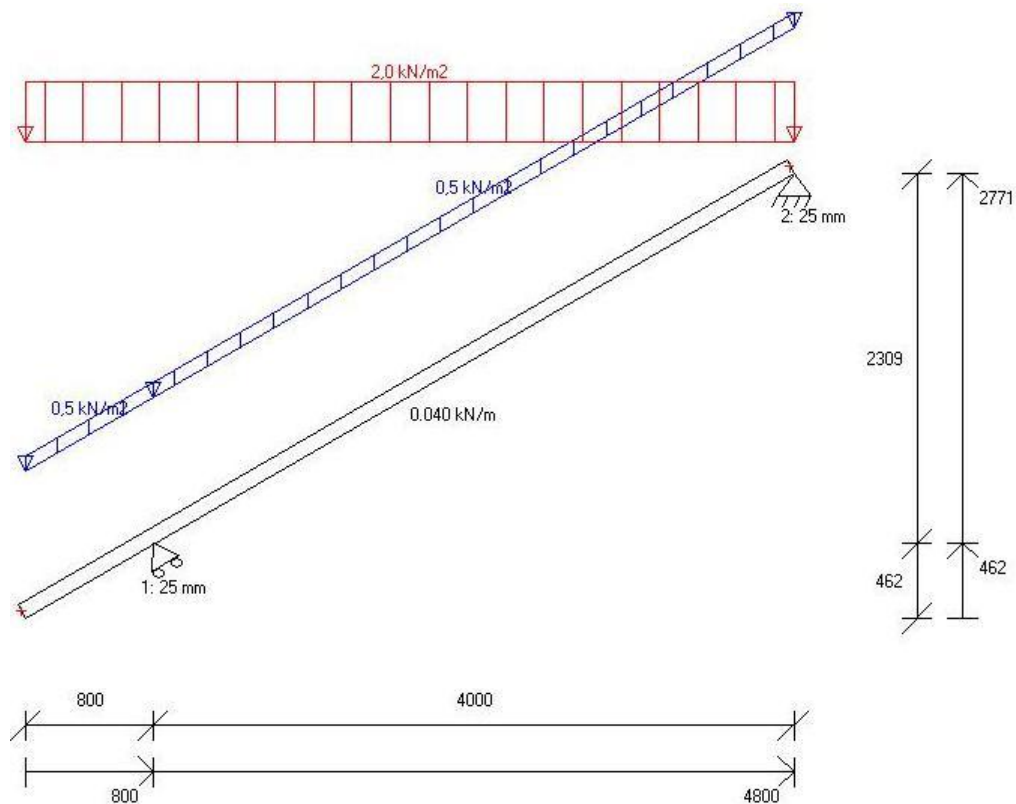
Käyttöaste 26 %

2.4 Yläpohja

Perustietoja

- Yläpohjapalkit tukeutuvat ulkoseiniin ja harjapalkkiin ja ne jatkuvat räystäälle asti
- Palkit kiinnitetään ulkoseiniin liukuraudoilla ja harjalla ne kiinnitetään toisiinsa naulauslevyillä
- Harjapalkin alle laitetaan tukipilareita säädettävillä kierrejaloilla, jos jännevälit kasvavat suuriksi
- Palkiston päällä on huopakate, raakapontti ja tuuletusrimat

Mitoitetaan yläpohjapalkki pysyvässä ja keskipitkässä aikaluokassa.



Kuva 2.3. Yläpohjapalkin kuormituskaavio

Kuormat

$$g_k = 0,5 \text{ kN/m}^2 \quad \text{yläpohjan omapaino}$$

$$q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2 \quad \text{lumikuorma}$$

Ominaiskuormien aiheuttamat voimasuureet

$$L = 4,0 \text{ m} \quad \text{tukiväli}$$

$$a = 0,8 \text{ m} \quad \text{ulokkeen pituus}$$

$$s = 0,6 \text{ m} \quad \text{palkkijako}$$

Maksimimomentti yläpohjan omapainosta

$$M_{g,k} = \frac{g_k \cdot s}{8 \cdot L^2} \cdot (L^2 - a^2)^2 = \frac{0,5 \cdot 0,6}{8 \cdot 4,0^2} \cdot (4,0^2 - 0,8^2)^2$$

$$M_{g,k} = 0,55 \text{ kNm}$$

Maksimimomentti yläpohjan lumikuormasta

$$M_{q,k} = \frac{q_k \cdot s}{8 \cdot L^2} \cdot (L^2 - a^2)^2 = \frac{2,0 \cdot 0,6}{8 \cdot 4,0^2} \cdot (4,0^2 - 0,8^2)^2$$

$$M_{q,k} = 2,21 \text{ kNm}$$

Maksimileikkausvoima yläpohjan omapainosta tuella A

$$V_{g,k} = \frac{g \cdot s}{2 \cdot L} \cdot (L^2 - a^2) \cdot s = \frac{0,5 \cdot 0,6}{2 \cdot 4,0} \cdot (4,0^2 - 0,8^2)$$

$$V_{g,k} = 0,58 \text{ kN}$$

Maksimileikkausvoima yläpohjan omapainosta tuella B

$$V_{g,k} = \frac{g \cdot s}{2 \cdot L} \cdot (L + a)^2 \cdot s = \frac{0,5 \cdot 0,6}{2 \cdot 4,0} \cdot (4,0 + 0,8)^2$$

$$V_{g,k} = 0,86 \text{ kN}$$

Maksimileikkausvoima yläpohjan lumikuormasta tuella A

$$V_{q,k} = \frac{q \cdot s}{2 \cdot L} \cdot (L^2 - a^2) \cdot s = \frac{2,0 \cdot 0,6}{2 \cdot 4,0} \cdot (4,0^2 - 0,8^2)$$

$$V_{q,k} = 2,30 \text{ kN}$$

Maksimileikkausvoima yläpohjan lumikuormasta tuella B

$$V_{q,k} = \frac{q \cdot 0,6}{2 \cdot L} \cdot (L + a)^2 \cdot s = \frac{2,0 \cdot 0,6}{2 \cdot 4,0} \cdot (4,0 + 0,8)^2$$

$$V_{q,k} = 3,46 \text{ kN}$$

Tukireaktio yläpohjan omapainosta tuella A

$$A_{g,k} = V_{g,k}$$

$$A_{g,k} = 0,58 \text{ kN}$$

Tukireaktio yläpohjan omapainosta tuella B

$$A_{g,k} = V_{g,k}$$

$$A_{g,k} = 0,86 \text{ kN}$$

Tukireaktio yläpohjan lumikuormasta tuella A

$$A_{q,k} = V_{q,k}$$

$$A_{q,k} = 2,30 \text{ kN}$$

Tukireaktio yläpohjan lumikuormasta tuella B

$$A_{q,k} = V_{q,k}$$

$$A_{q,k} = 3,46 \text{ kN}$$

Palkin lähtötiedot

$h = 195 \text{ mm}$ palkin korkeus

$b = 41 \text{ mm}$ palkin leveys

Laskennassa hyödynnetään eristevaran korotuspalkkia 41x195, joka kiinnitetään kattovasoihin vanerilevyillä. Näin ollen kattovasojen taivutus- ja leikkauskestävyyden laskennassa käytetään tuplapalkkia 2x41x195.

2.4.1 Taivutuskestävyys KY1**Maksimi taivutusmomentti**

$$M_d = 1,35 \cdot M_{g,k} = 1,35 \cdot 0,55$$

$$M_d = 0,74 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 0,74 \cdot 10^6}{82 \cdot 195^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 1,42 \text{ N/mm}^2$$

k_h -kerroin

Taivutus- ja vetolujuuden ominaisarvoja ei voi suurentaa k_h -kertoimella, koska sahatavarpalkin korkeus $h \geq 150 \text{ mm}$. (RIL 205-1-2007 3.2)

Taivutuslujuus

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{24 \cdot 0,6}{1,4}$$

$$f_{m,d} = 10,29 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 4.1})$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d} \rightarrow 1,42 \text{ N/mm}^2 < 10,29 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste 14 %

2.4.2 Leikkausvoimakestävyys KY1

Maksimi leikkausvoima

$$V_d = 1,35 \cdot V_{g,k} = 1,35 \cdot 0,86$$

$$V_d = 1,16 \text{ kN}$$

Leikkausjännitys

Koska palkki on sahatavaraa, $b_{ef} = 0,67b = 55 \text{ mm}$ (kohta B.5.2).

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1160}{55 \cdot 195}$$

$$\tau_d = 0,16 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{2,5 \cdot 0,6}{1,4}$$

$$f_{v,d} = 1,07 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 4.1})$$

Mitoitusehto

$$\tau_d \leq f_{v,d} \rightarrow 0,16 \text{ N/mm}^2 < 1,07 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste 15 %

2.4.3 Tukipainekestävyys palkissa KY1

Tukireaktio

$$A_d = 1,35 \cdot A_{g,k} = 1,35 \cdot 0,86$$

$$A_d = 1,16 \text{ kN}$$

Puristusjännitys palkissa

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{A_d}{b \cdot l} = \frac{1160}{41 \cdot 25}$$

$$\sigma_{c,90,d} = 1,13 \text{ N/mm}^2$$

Palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{2,5 \cdot 0,6}{1,4}$$

$$f_{c,90,d} = 1,07 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 4.1})$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus

$l_{c,90,ef}$ määritetään lisäämällä kosketuspinnan pituuteen l molemmin puolin 30 mm, kuitenkin enintään a , l tai $l_1/2$. Tässä tapauksessa kosketuspinnan pituuteen voidaan lisätä 30 mm molemmille puolille.

$$l_{c,90,ef} = l + 30 + 30 = 25 + 30 + 30 = 85 \quad (\text{B.5.1})$$

$k_{c,90}$ -kerroin

$$l_1 \geq 2h$$

$$k_{c,90} = 1,25 \text{ (sahatavara)}$$

Tukipainekerroin

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = \frac{85}{25} \cdot 1,25 \quad (\text{kaava B.5.2a})$$

$$k_{c,\perp} = 4,3$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} \rightarrow 1,13 \text{ N/mm}^2 < 4,3 \cdot 1,07 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava B.5.2})$$

Käyttöaste 25 %

2.4.4 Taivutuskestävyys KY2**Maksimi taivutusmomentti**

$$M_d = 1,15 \cdot M_{g,k} + 1,5 \cdot M_{q,k} = 1,15 \cdot 0,55 + 1,5 \cdot 2,21$$

$$M_d = 3,95 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 3,95 \cdot 10^6}{82 \cdot 195^2}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 7,60 \text{ N/mm}^2$$

Taivutuslujuus

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{24 \cdot 0,8}{1,4}$$

$$f_{m,d} = 13,71 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 4.1})$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d} \rightarrow 7,60 \text{ N/mm}^2 < 13,71 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste 55 %

2.4.5 Leikkausvoimakestävyys KY2**Maksimi leikkausvoima**

$$V_d = 1,15 \cdot V_{g,k} + 1,5 \cdot V_{q,k} = 1,15 \cdot 0,86 + 1,5 \cdot 3,46$$

$$V_d = 6,18 \text{ kN}$$

Leikkausjännitys

Koska palkki on sahatavaraa, $b_{ef} = 0,67b = 55 \text{ mm}$ (kohta B.5.2).

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b \cdot h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{6180}{55 \cdot 195}$$

$$\tau_d = 0,86 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{2,5 \cdot 0,8}{1,4}$$

$$f_{v,d} = 1,43 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 4.1})$$

Mitoitusehto

$$\tau_d \leq f_{v,d} \rightarrow 0,86 \text{ N/mm}^2 < 1,43 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste 60 %

2.4.6 Tukipainekestävyys palkissa KY2

Tukireaktio

$$A_d = 1,15 \cdot A_{g,k} + 1,5 \cdot A_{q,k} = 1,15 \cdot 0,86 + 1,5 \cdot 3,46$$

$$A_d = 6,18 \text{ kN}$$

Puristusjännitys palkissa

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{A_d}{b \cdot l} = \frac{6180}{41 \cdot 25}$$

$$\sigma_{c,90,d} = 6,03 \text{ N/mm}^2$$

Palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{2,5 \cdot 0,8}{1,4}$$

$$f_{c,90,d} = 1,43 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava 4.1})$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus

$$l_{c,90,ef} = 1 + 30 = 25 + 30 + 30 = 85 \quad (\text{B.5.1})$$

$k_{c,90}$ -kerroin

$$l_1 \geq 2h$$

$$k_{c,90} = 1,25 \text{ (sahatavara)}$$

Tukipainekerroin

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} \cdot k_{c,90} = \frac{85}{25} \cdot 1,25 \quad (\text{kaava B.5.2a})$$

$$k_{c,\perp} = 4,3$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} \cdot f_{c,90,d} \rightarrow 6,03 \text{ N/mm}^2 < 4,3 \cdot 1,43 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{kaava B.5.2})$$

Käyttöaste 98 %

2.4.7 Taipuma

Tukien väli

Palkin jäyhyysmomentti

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{82 \cdot 195^3}{12}$$

$$I_y = 50,67 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista

$$w_{inst,G} = \frac{g_k \cdot L^2 \cdot s}{384 \cdot E_{mean} \cdot I_y} \cdot (5L^2 - 12a^2)$$

$$= \frac{0,5 \cdot 4000^2 \cdot 0,6}{384 \cdot 11000 \cdot 50,67 \cdot 10^6} \cdot (5 \cdot 4000^2 - 12 \cdot 800^2)$$

$$w_{inst,G} = 1,62 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma lumikuormista

$$w_{inst,G} = \frac{q_k \cdot L^2 \cdot s}{384 \cdot E_{mean} \cdot I_y} \cdot (5L^2 - 12a^2)$$

$$= \frac{2,0 \cdot 4000^2 \cdot 0,6}{384 \cdot 11000 \cdot 50,67 \cdot 10^6} \cdot (5 \cdot 4000^2 - 12 \cdot 800^2)$$

$$w_{\text{inst,Q}} = 6,49 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma

$$w_{\text{inst}} = w_{\text{inst,G}} + w_{\text{inst,Q}} = 1,62 + 6,49$$

$$w_{\text{inst}} = 8,1 \text{ mm}$$

Kokonaistaipuma

$$k_{\text{def}} = 0,6 \quad (\text{taulukko 4.2})$$

$$w_{\text{fin,G}} = (1 + k_{\text{def}}) \cdot w_{\text{inst,G}} = (1 + 0,6) \cdot 1,62 \text{ mm} = 2,59 \text{ mm}$$

(pysyvät kuormat) (3.10)

$$w_{\text{fin,Q,1}} = (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{\text{def}}) \cdot w_{\text{inst,Q,1}} = (1 + 0,3 \cdot 0,6) \cdot 6,49 \text{ mm} = 7,66 \text{ mm}$$

(hyötykuorma) (3.10)

$$w_{\text{fin}} = 2,59 + 7,66 = 10,3 \text{ mm} \quad (\text{kokonaistaipuma})$$

Mitoitusehto

$$\text{Taipumaraja } W_{\text{net,fin}} \leq \frac{L}{200} \rightarrow 10,3 \text{ mm} < 20,0 \text{ mm}$$

Käyttöaste 52 %

3 FINNWOOD 2.3 LASKENTAOHJELMA

3.1 Ohjelman esittely

Finnwood 2.3 on Metsäliiton Puutuoteteollisuuden kehittämä puurakenteiden mitoitusohjelma. Se on saatavilla Finnforestin internetsivuilta, osoitteesta <http://www.finnforest.fi/ratkaisut/rakentaminen/finnwood/Pages/Default.aspx>, mistä löytyy myös ohjeet ohjelman lataamiseen.

Ohjelma mitoittaa yksittäisiä puurakenteita Eurokoodi 5:n (EN 1995-1-1), eurokoodin täydennysosan A1:2008, Suomen kansallisten liitteiden ja julkaisun RIL 205-1-2009 mukaisesti. Erilaisia mitoitettavia rakenneosia ovat lattia- ja kattopalkit, pilarit sekä Kerto-Ripa[®] -elementeillä toteutetut ala-, väli- tai yläpohjat. Materiaalivaihtoehtoja ovat rakennepuutavara, liimapuu, puuvalmiit tolpat ja erilaiset Kertotuotteet.

Ohjelmassa on valmiita laskentamallipohjia, jotka on jaoteltu rakennetyypeittäin. Käyttäjä saa itse valita k-jaon ja maksimijännevälin. Tuentavaihtoja ovat kiinteä niveltuki, liukuva ja kalteva niveltuki sekä kiinteä tuki. Välipohjan värähtelymitoituksessa on otettu huomioon palkkeihin liittyvät levyrakenteet ja koolaukset sekä palkkien jatkuvuus. Taipumamitoituksessa on huomioitu esikorotusmahdollisuus. (http://www.finnforest.fi/ratkaisut/rakentaminen/finnwood/Documents/Finnwood_2_3.pdf)

3.2 Aloittaminen

Tiedosto – uusi laskenta: valitaan listasta sopiva laskentamallipohja.

RAKENNEMALLI välilehti - Rakennemallin määrittäminen: Lisätään projektiotiedot. Valitaan tukien lukumäärä, jänneväli L1, tukipinnat S1 ja S2, palkkijako, mahdollinen korkeuden rajoitus ja poikkileikkaustyyppi.

Kuormitus välilehti – Peruskuormien määrittäminen: Tarkistetaan ja tarvittaessa muutetaan kuormien arvoja. Monia ohjelman antamia arvoja ei tarvitse muuttaa.

MITOITUS välilehti: Valitaan poikkileikkauksen tyyppi, materiaali ja koko sekä käyttö- ja seuraamusluokka. Valitaan mitkä tarkastelut tehdään ja tarkistetaan että eri tarkastelujen asetukset ovat oikein.

Laskentatulokset välilehti: Sisältää momentti-, leikkausvoima- ja taipumakuviot sekä tukireaktiot ja laskentatulosten taulukot.

TULOSTE välilehti: Tulostettavista tiedoista voi valita joko laajan tai lyhyen tulostusmuodon. Tulosteesta voi myös jättää vaihtoehtoja kokonaan pois.

3.3 Poikkileikkauksen lisääminen

Tietokannat – Suorakaidepoikkileikkaukset: Kirjoitetaan poikkileikkauksen nimi, valitaan sen muoto ja koko. Sen jälkeen painetaan Lisää-nappia. Olemassa olevia poikkileikkauksia voidaan myös muuttaa samalla tavalla. Poikkileikkausvalikoimassa voidaan valita ne poikkileikkaukset jotka halutaan MITOITUS-sivulla näkyväksi.

3.4 Yleiset laskenta-asetukset

Asetukset – Laskenta-asetukset: Rastitaan ne vaihtoehdot, jotka halutaan huomioida mitoituksessa. Lisätietoja saa painamalla Ohje-nappia.

3.5 Finnwood 2.3 ohjelman ohjeet

Ohjeet – Finnwood-ohjekirja: Kattavat ohjeet, joista löytyy myös kaikkien rakenteiden mitoitusperiaatteet.

3.6 Mitoittaminen

3.6.1 Välipohja

Tiedosto – Uusi laskelma: Valitaan kohdasta VÄLIPOHJAT vaihtoehto Lattiapalkit ja Luokka A (asuintilat) ja painetaan OK.

RAKENNEMALLI välilehti – Rakennemallin määrittäminen: Määritetään tukien lukumäärä, jänneväli, tukipituus ja muut tiedot. Projektitiedot-napista voi lisätä halutut tiedot ja lisätietoja saa Ohje-nappia painamalla (kuva 1).

Rakennetietojen määrittäminen

Lattiapalkki/laatta

Tukien lukumäärä: 2

Jänneväli- ja tukimitat [mm]:

C1: 0 L1: 4000 C2: 0

S1: 45 S2: 45

| | |
|-----------------------------------|---------------|
| Palkkijako/kuormitusleveys [mm]: | 400 |
| Lattiapalkin/laatan korkeus [mm]: | Ei rajoitusta |
| Poikkileikkaustyyppi: | Suorakaide |

Nimi/positio: ?

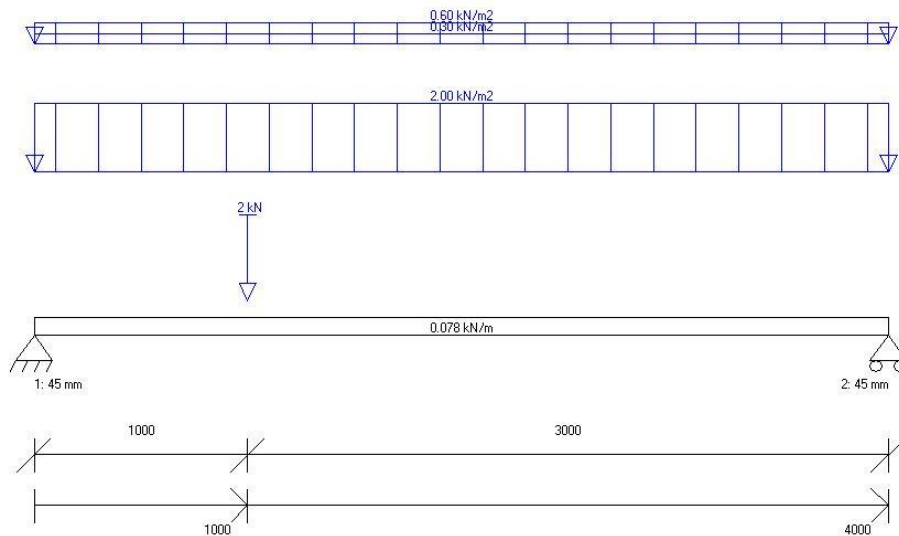
Projektitiedot...

Diagram: C1 — L1 — C2
S1 S2

OK Peruuta Ohje

Kuva 3.1. Rakennetietojen määrittäminen

Kuormitus välilehti: Tarkistetaan ja tarvittaessa muutetaan kuormien arvoja. Normaalisti ohjelman antamia arvoja ei tarvitse muuttaa. Kuormituskaaviosta on helppo tarkistaa palkin kuormat (kuva 2). Tarkistetaan vielä, että laskenta-asetuksissa on valittuna kohta ”Rakenneosan omapaino otetaan automaattisesti huomioon laskennassa”.



Kuva 3.2. Välipohjapalkin kuormituskaavio

MITOITUS välilehti: Valitaan poikkileikkaustyyppi, materiaali, käyttöluokka, seuraamusluokka ja poikkileikkaus. Asuinrakennuksen välipohjalla käyttöluokka on aina 1 ja seuraamusluokka CC2.

Palkistoa mitoitettaessa on tärkeää varmistaa että asetukset ovat oikein. Kiepahdustarkastelun asetuksista tarkistetaan että vaihtoehdot ”Rakenne on täysin sivuttaistuettu yläpuolelta ja alapuolelta” on valittuna. Kuormituksen vaikutustasoksi valitaan vaihtoehto ”kuormitus vaikuttaa rakenteen yläpintaan”. Tarkistetaan myös että taipumatarkastelun asetuksissa hetkellisen taipuman W_{inst} raja on $L/400$ ja lopputaipuman $W_{net,fin}$ raja on $L/300$.

Värähtelytarkastelun asetuksiin täytetään kuvan 3 mukaiset vaihtoehdot.

Asetukset

Värähtelyn parametrit | Ohje

| | |
|--|----------------------------------|
| Huoneen suurin mitta L [m]: | 4 |
| Lattiarakenteen leveys B [m]: | 5 |
| Välipohjan tuentatapa: | 2 reunaa tuettu |
| Ulokkeen lyhennys [mm]: | 0.0 |
| Poikittaisjäykisteet: | 1 jäykistelinja/jänneväli |
| Yläpuolinen lattialevy: | Lastulevy 22 mm (EN 312-6) |
| Liittorakennevaikutus: | Työmaalimaus |
| Kelluva rakenne / poikittaiskoolaus+levytys: | 100x22 k300 + 2x15 mm lattialevy |
| Alapuoliset poikittaiskoolaukset: | 100x22 k600 |

HUOM! Alimman ominaistaajuuden f_1 [Hz] laskemisessa tarvittava **pinta-alayksikön massa m [kg/m²]** lasketaan automaattisesti peruskuormien määrittämiskunaan syötetyistä kuormarvoista ja rakennesosan omapainosta, kun se otetaan automaattisesti huomioon laskennassa. Pinta-alayksikön massa on vapaasti määritettävissä värähtelymitoituksen "Asetukset"-ikkunassa, kun lattiapalkki/laatta muutetaan vapaaksi rakenteeksi.

OK Peruuta Ohje

Kuva 3.3. Värähtelytarkastelun asetukset

Huoneen suurin mitta on tapauskohtainen. On tärkeää, että siinä on oikea arvo, koska pienillä huonetiloilla taipumaa voidaan korottaa k-kertoimella. Välipohja voi olla myös 4 reunalta tuettu, jos lattiarakenteeseen kiinnitetään kiinteä väliseinä tai päätyseinä (RIL 205-1-2009). Kaikki rakenteen osat vaikuttavat palkiston värähtelyyn ja taipumaan, joten niiden valinnassa täytyy olla huolellinen.

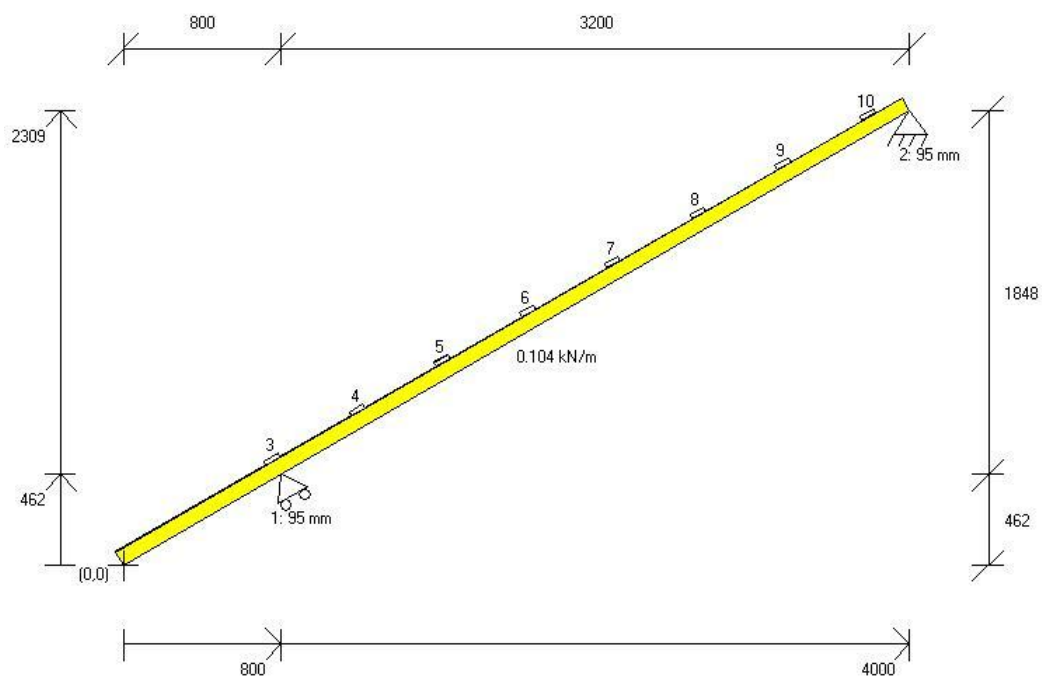
3.6.2 Hirsitalon kattovasa

Tiedosto - Uusi laskelma: Valitaan kohdasta VAPAAT RAKENTEET vaihtoehto Hirsitalon kattovasa ja painetaan OK.

RAKENNEMALLI välilehti – RAKENNEOSA: Määritetään vasan pituus, kaltevuuskulma ja pintakuormien leveys. Kun painetaan OK, ohjelma kysyy ”Haluatko siirtää viimeistä tukea myös”. Siihen vastataan kyllä.

RAKENNEMALLI välilehti – PÄÄTUET: Valitaan tukien tyypit, niiden vaakaprojektiosijainti sekä tuen leveys ja jäykkyys. Räystäspituus saadaan määrittämällä tuen vaakaprojektiosijainti.

RAKENNEMALLI välilehti – SIVUTTAISTUET: Valitaan tuen tyyppi ja sen vaakaprojektiosijainti. Tukea voidaan kopioida itse valitulla k-jaolla. Jokaisen sivuttaistuen sijaintia voi vielä muuttaa erikseen tuplaklikkaamalla sitä kuvassa (ks. kuva 4).



Kuva 4.4. Kattovasan tuet, etäisyydet ja sivuttaistuet.

KUORMITUS välilehti: Kuormitukset määritetään erikseen tukien välille ja räystäsulokkeelle. Varmistetaan, että kuormitusten alku- ja loppupisteet ovat oikeat. Tuulikuormia ei tarvitse huomioida kattovasojen laskennassa, joten ne voidaan poistaa kokonaan painamalla tuulikuormien numeroinnin kohdalla Poistanna. Valitaan lumen ominaisarvo rakennuksen paikkakunnan mukaan. Lumen muotokerroin määritetään katon kaltevuuden ja muiden vaikuttavien tekijöiden mukaan. Lumikuorman liikkuvaksi osuudeksi valitaan 20 %.

MITOITUS välilehti: Valitaan poikkileikkaustyyppi, materiaali, käyttöluokka, seuraamusluokka ja poikkileikkaus. Kattovasojen seuraamusluokka on CC2 ja se on käyttöluokassa 1, silloin kun sen vetopuoli on lämmöneristeen sisällä.

Vasoja mitoitettaessa on tärkeää varmistaa, että asetukset ovat oikein. Kiepahdustarkastelun asetuksista rakenneosan yläpuoliseksi sivutueksi valitaan vaihtoehto kiepahdustukiväli Lk1: 500 mm ja alapuoliseksi sivutueksi vaihtoehto rakenne on täysin sivuttaistuettu alapuolelta. Valitaan kuormituksen vaikutustasoksi vaihtoehto ”kuormitus vaikuttaa rakenteen yläpintaan”. Tarkistetaan myös että taipumatarkastelun asetuksissa lopputaipuman $W_{net,fin}$ raja on $L/200$.

3.6.3 Painumattoman rakenteen kattovasa

Tiedosto – Uusi laskenta: Valitaan KATOT kohdasta Toisiorakenteet ja sen alta Lapepalkki/Kattovasat ja 1-aukkoinen lapepalkki/kattovasa + räystäsuloke.

RAKENNEMALLI välilehti – Rakennemallin määrittäminen: Määritetään palkin jänneväli, ulokkeen pituus, tukipituus, kattokaltevuus, palkkijako ja muut tiedot.

Kuormitus välilehti - Peruskuormien määrittäminen: Määritetään kuormitusarvot. Lumikuorma kentän oikeassa reunassa on painike jolla avataan apuohjelma. Sen avulla voidaan valita rakennuksen paikkakunta, jonka perusteella ohjelma määrittää lumikuorman arvon. Muotokerroin määritetään katon kaltevuuden ja muiden vaikuttavien tekijöiden mukaan. Lumikuorman liikkuvaksi osuudeksi valitaan 20 %.

Tuulikuormia ei tarvitse huomioida kattovasojen laskennassa, joten ne voidaan poistaa kokonaan painamalla Peruskuormien määrittäminen -nappia ja muuttamalla tuulikuormien arvoiksi nollan.

Tarkistetaan vielä, että laskenta-asetuksissa on valittuna kohta ”Rakenneosan omapaino otetaan automaattisesti huomioon laskennassa”.

MITOITUS välilehti: Valitaan poikkileikkaustyyppi, materiaali, käyttöluokka, seuraamusluokka ja poikkileikkaus. Kattovasojen seuraamusluokka on CC2 ja se on käyttöluokassa 1, silloin kun sen vetopuoli on lämmöneristeen sisällä. Vasoja mitoitettaessa on tärkeää varmistaa että asetukset ovat oikein. Nurjahdustarkastelua ei tarvitse tehdä, joten sen edestä saa ottaa valinnan pois. Kiepahdustarkastelun asetuksista valitaan rakenneosalle ylä- ja alapuoliset sivutuet. Valitaan kuormituksen vaikutustasoksi vaihtoehto ”kuormitus vaikuttaa rakenteen yläpintaan”. Tarkistetaan myös että taipumatarkastelun asetuksissa lopputaipuman $W_{net,fin}$ raja on $L/200$.

4 VÄLIPOHJAPALKISTON MITOITUSTAULUKOT

Kuva 4.1. Yksiaukkoisen välipohjapalkiston mitoitus taulukko

| Välipohjajavasat C24 41x145...218 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2100 | 2200 | 2300 | 2400 | 2500 | 2600 | 2700 | 2800 | 2900 | 3000 | 3100 | 3200 | 3300 | 3400 | 3500 | 3600 | 3700 | 3800 |
| k600 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 | 218 | - | - | - | - |
| k400 | 145 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 | 218 | 218 |

| Välipohjajavasat Kerro-S 27x200...260 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2900 | 3000 | 3100 | 3200 | 3300 | 3400 | 3500 | 3600 | 3700 | 3800 | 3900 | 4000 | 4100 | 4200 | 4300 | 4400 | 4500 |
| k600 | 200 | 225 | 225 | 240 | 240 | 260 | 260 | 260 | 260 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| k400 | 200 | 200 | 200 | 200 | 225 | 225 | 225 | 225 | 240 | 240 | 240 | 260 | 260 | 260 | 260 | 260 | 260 |

| Välipohjajavasat Kerro-S 33x200...260 | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 3100 | 3200 | 3300 | 3400 | 3500 | 3600 | 3700 | 3800 | 3900 | 4000 | 4100 | 4200 | 4300 | 4400 | 4500 |
| k600 | 200 | 225 | 225 | 240 | 240 | 260 | 260 | 260 | 260 | - | - | - | - | - | - |
| k400 | 200 | 200 | 200 | 200 | 225 | 225 | 225 | 225 | 240 | 240 | 240 | 260 | 260 | 260 | 260 |

| Välipohjajavasat Kerro-S 39x200...260 | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 3200 | 3300 | 3400 | 3500 | 3600 | 3700 | 3800 | 3900 | 4000 | 4100 | 4200 | 4300 | 4400 | 4500 | 4600 |
| k600 | 200 | 225 | 225 | 225 | 225 | 240 | 240 | 260 | 260 | 260 | 260 | - | - | - | - |
| k400 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 225 | 225 | 225 | 225 | 225 | 240 | 240 | 240 | 260 | 260 |

| Välipohjajavasat Kerro-S 45x200...260 | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 3400 | 3500 | 3600 | 3700 | 3800 | 3900 | 4000 | 4100 | 4200 | 4300 | 4400 | 4500 | 4600 | 4700 | 4800 |
| k600 | 200 | 225 | 225 | 225 | 225 | 240 | 240 | 260 | 260 | 260 | 260 | - | - | - | - |
| k400 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 225 | 225 | 225 | 225 | 240 | 240 | 240 | 260 | 260 |

| Välipohjajavasat Kerro-S 51x200...260 | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 3600 | 3700 | 3800 | 3900 | 4000 | 4100 | 4200 | 4300 | 4400 | 4500 | 4600 | 4700 | 4800 | 4900 |
| k600 | 200 | 225 | 225 | 225 | 225 | 240 | 240 | 260 | 260 | 260 | - | - | - | - |
| k400 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 225 | 225 | 225 | 225 | 240 | 240 | 240 | 260 | 260 |

| Välipohjajavasat Kerro-S 57x200...260 | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 3700 | 3800 | 3900 | 4000 | 4100 | 4200 | 4300 | 4400 | 4500 | 4600 | 4700 | 4800 | 4900 | 5000 |
| k600 | 200 | 225 | 225 | 225 | 225 | 240 | 240 | 260 | 260 | 260 | - | - | - | - |
| k400 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 225 | 225 | 225 | 225 | 240 | 240 | 240 | 260 | 260 |

| Välipohjajavasat Kerro-S 63x200...260 | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 3800 | 3900 | 4000 | 4100 | 4200 | 4300 | 4400 | 4500 | 4600 | 4700 | 4800 | 4900 | 5000 | 5100 |
| k600 | 200 | 225 | 225 | 225 | 225 | 240 | 240 | 260 | 260 | 260 | - | - | - | - |
| k400 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 225 | 225 | 225 | 225 | 240 | 240 | 240 | 260 | 260 |

1-aukkoinen palkki

Käyttöloukka 1
 Suurin muutosluokka CC2
 Oma paino 0,6 kN/m²
 Ihvetykuorma 2,0 kN/m²
 Hetkellinen taipuma l/400
 Kokonaistaijuma L/300
 Värähelymitoitus huomioitu

Välipohjan rakenne:

Välipohjan lattiainen: Lastulevy 22 mm
 Lattianrakennusvaihtus: Työmaailmaus
 Poikkitaikoolaus: 100x22 k300
 I 7x15 lattiainen
 Alapuoliset poikkitaikoolauset: 100x22 k600
 Välipohjan tuetapa: 7-reunaa tuettu
 Poikkitaikojat: stecet: 1 jäykistelijä

Kuva 4.2. Kaksiaukkoisen välipohjapalkiston mitoitusaulukko

| Välipohjajasat C24 41x145...218 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2400 | 2500 | 2600 | 2700 | 2800 | 2900 | 3000 | 3100 | 3200 | 3300 | 3400 | 3500 | 3600 | 3700 | 3800 | 3900 | 4000 |
| k600 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 | 218 | - | - | - | - |
| k400 | 145 | 145 | 145 | 145 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 | 218 |

| Välipohjajasat Kerto-S 27x200...260 | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 3300 | 3400 | 3500 | 3600 | 3700 | 3800 | 3900 | 4000 | 4100 | 4200 | 4300 | 4400 | 4500 |
| k600 | 200 | 225 | 225 | 225 | 225 | 240 | 260 | 260 | - | - | - | - | - |
| k400 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 225 | 225 | 240 | 240 | 260 | 260 | 260 | 260 |

| Välipohjajasat Kerto-S 33x225...260 | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| | 3500 | 3600 | 3700 | 3800 | 3900 | 4000 | 4100 | 4200 | 4300 | 4400 | 4500 | 4600 | |
| k600 | 200 | 225 | 225 | 225 | 225 | 240 | 240 | 260 | - | - | - | - | |
| k400 | 200 | 200 | 200 | 200 | 225 | 225 | 240 | 240 | 260 | 260 | 260 | 260 | |

| Välipohjajasat Kerto-S 39x225...260 | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|--|
| | 3600 | 3700 | 3800 | 3900 | 4000 | 4100 | 4200 | 4300 | 4400 | 4500 | 4600 | | |
| k600 | 200 | 225 | 225 | 225 | 240 | 240 | 260 | 260 | - | - | - | | |
| k400 | 200 | 200 | 200 | 200 | 225 | 225 | 240 | 240 | 260 | 260 | 260 | | |

| Välipohjajasat Kerto-S 45x225...260 | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| | 3700 | 3800 | 3900 | 4000 | 4100 | 4200 | 4300 | 4400 | 4500 | 4600 | 4700 | 4800 | |
| k600 | 200 | 225 | 225 | 225 | 240 | 240 | 260 | 260 | - | - | - | - | |
| k400 | 200 | 200 | 200 | 200 | 225 | 225 | 240 | 240 | 260 | 260 | 260 | 260 | |

| Välipohjajasat Kerto-S 51x225...260 | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| | 3800 | 3900 | 4000 | 4100 | 4200 | 4300 | 4400 | 4500 | 4600 | 4700 | 4800 | 4900 | |
| k600 | 200 | 225 | 225 | 225 | 240 | 240 | 260 | 260 | - | - | - | - | |
| k400 | 200 | 200 | 200 | 200 | 225 | 225 | 240 | 240 | 260 | 260 | 260 | 260 | |

| Välipohjajasat Kerto-S 57x225...260 | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| | 3900 | 4000 | 4100 | 4200 | 4300 | 4400 | 4500 | 4600 | 4700 | 4800 | 4900 | 5000 | |
| k600 | 200 | 225 | 225 | 225 | 240 | 240 | 260 | 260 | - | - | - | - | |
| k400 | 200 | 200 | 200 | 200 | 225 | 225 | 240 | 240 | 260 | 260 | 260 | 260 | |

| Välipohjajasat Kerto-S 63x225...260 | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 3900 | 4000 | 4100 | 4200 | 4300 | 4400 | 4500 | 4600 | 4700 | 4800 | 4900 | 5000 | 5100 |
| k600 | 200 | 225 | 225 | 225 | 240 | 240 | 260 | 260 | 260 | 260 | - | - | - |
| k400 | 200 | 200 | 200 | 200 | 225 | 225 | 240 | 240 | 260 | 260 | 260 | 260 | 260 |

Z-aukkoisen palkki

Käyttöluokka 1

Seuraamusluokka CC2

Ormapaino 0,6 kN/m²Hyötykuorma 2,0 kN/m²

Hetkeellinen taipuma L/400

Kokonaistaipuma L/300

Värähtelymitoitus huomioitu

Välipohjan rakenne:

Yläpuolinen lattialaevy: Lastulevy 27 mm

Littorakennevaikutus: Työmaailmaus

Poikittaiskoolaus+levytys: 100x22 k300

+ 2x15 lattialaevy

Alapuoliset poikittaiskoolaukset: 100x22 k600

Välipohjan tuetatapa: 2 reunaa tuettu

Poikittaisjäykistyksen: 1 jäykistelinja

Kuva 5.2. Ulokkeellisen yläpohjapalkin mitoitus taulukko, räystäs 00 mm

| Kattovasat 41x145...218 k600 Omepaino 0.6 kll/m ² , kulma 33.7°, räystäs 600 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| q | q · μ | 2500 | 2600 | 2700 | 2800 | 2900 | 3000 | 3100 | 3200 | 3300 | 3400 | 3500 | 3600 | 3700 | 3800 | 3900 | 4000 |
| 2 | 1.4 | 145 | 145 | 145 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 | 218 | 218 |
| 2.5 | 1.8 | 145 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 |
| 2.75 | 1.9 | 145 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 |
| 3 | 2.1 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 |

| Kattovasat 41x145...218 k600 Omepaino 0.6 kll/m ² , kulma 26.6°, räystäs 600 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| q | q · μ | 2500 | 2600 | 2700 | 2800 | 2900 | 3000 | 3100 | 3200 | 3300 | 3400 | 3500 | 3600 | 3700 | 3800 | 3900 | 4000 | 4100 | 4200 |
| 2 | 1.6 | 145 | 145 | 145 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 |
| 2.5 | 2 | 145 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 |
| 2.75 | 2.2 | 145 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 |
| 3 | 2.4 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 |

| Kattovasat 41x145...218 k600 Omepaino 0.6 kll/m ² , kulma 18.4°, räystäs 600 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| q | q · μ | 2500 | 2600 | 2700 | 2800 | 2900 | 3000 | 3100 | 3200 | 3300 | 3400 | 3500 | 3600 | 3700 | 3800 | 3900 | 4000 | 4100 | 4200 |
| 2 | 1.6 | 145 | 145 | 145 | 145 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 |
| 2.5 | 2 | 145 | 145 | 145 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 |
| 2.75 | 2.2 | 145 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 |
| 3 | 2.4 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 |

| Kattovasat 41x145...218 k600 Omepaino 1.0 kll/m ² , kulma 33.7°, räystäs 600 mm | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| q | q · μ | 2400 | 2500 | 2600 | 2700 | 2800 | 2900 | 3000 | 3100 | 3200 | 3300 | 3400 | 3500 | 3600 | 3700 |
| 2 | 1.4 | 145 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 |
| 2.5 | 1.8 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 | 218 |
| 2.75 | 1.9 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 | 218 | 218 |
| 3 | 2.1 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 | 218 | 218 |

| Kattovasat 41x145...218 k600 Omepaino 1.0 kll/m ² , kulma 26.6°, räystäs 600 mm | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| q | q · μ | 2400 | 2500 | 2600 | 2700 | 2800 | 2900 | 3000 | 3100 | 3200 | 3300 | 3400 | 3500 | 3600 | 3700 | 3800 |
| 2 | 1.6 | 145 | 145 | 145 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 |
| 2.5 | 2 | 145 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 | 218 | 218 |
| 2.75 | 2.2 | 145 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 |
| 3 | 2.4 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 |

| Kattovasat 41x145...218 k600 Omepaino 1.0 kll/m ² , kulma 18.4°, räystäs 600 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| q | q · μ | 2400 | 2500 | 2600 | 2700 | 2800 | 2900 | 3000 | 3100 | 3200 | 3300 | 3400 | 3500 | 3600 | 3700 | 3800 | 3900 |
| 2 | 1.6 | 145 | 145 | 145 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 | 218 |
| 2.5 | 2 | 145 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 |
| 2.75 | 2.2 | 145 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 |
| 3 | 2.4 | 145 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 195 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 | 218 |