

PIENTALON RAKENNESUUNNITTELU

Loma-asunto

Kunnari Marko

Opinnäytetyö

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

2023

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Marko Kunnari	Vuosi	2023
Ohjaaja	Ville Airas		
Toimeksiantaja	Lapin AMK		
Työn nimi	Pientalon rakennesuunnittelu, Loma-asunto		
Sivumäärä	47 + 14		

Opinnäytetyön tavoitteena oli mitoittaa loma-asunnon kantavia rakenteita ja määrittellä sen kautta vaadittavat materiaalit ja rakennepaksuudet, sekä tuottaa valmiita laskentapohjia tulevaisuuden mitoituksia varten. Mitoituksessa käytettiin Excel- ja Mathcad-ohjelmia käsinlaskennassa. Tarkistukset ja tulosvertailu käsinlaskennalle tehtiin Finnwoodin puurakenteiden laskentaohjelmalla, josta ei ole liitetty vertailutuloksia tähän opinnäytetyöhön, koska käsinlaskennan tulokset ovat liitteinä, ja tulokset olivat vastaavia. Excel- ja Mathcad-ohjelmilla laskennasta muodostui valmiita laskentapohjia, joita on tarkoitus hyödyntää tulevissa mitoitusvaiheissa, ja se oli yksi tämän opinnäytetyön päätavoitteista. Palkkeja mitoitettiin 3kpl ja pilareita 1kpl. Opinnäytetyön mitoittavan rakennuksen kaikki kuvat on piirretty Autocad 2020-ohjelmalla.

Lähdemateriaalina olivat opintojen luentomonisteet, joihin oli ilmoitettu lähdemateriaali, joka useimmiten johdatti Puuinfon ja Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry materiaaleihin. Luentomateriaaleissa oli usein asia esitetty ymmärrettävämmässä muodossa ja selkeillä esimerkeillä, kuin verrattuna kaikki mitoitusvaihtoehdot huomioon ottavissa lähdemateriaaleissa. Molemmat tiedonlähteet yhdistettynä sai kattavasti tietoa jatkaa mitoituksia.

Opinnäytetyön keskeisimpänä tuloksena muodostui valmiita laskentapohjia ja kokonaisuuksien ymmärrys yksittäiselle rakenteelle mitoituksia tehdessä. Mitoituksen järjestyksen ymmärtäminen oli yksi keskeisimpiä asioita. Kaikki mitoitus tapahtui kuormitusten määrittelyssä lasketuilla arvoilla ja jos ne eivät ole oikein, niin mitoitetut rakenteet ovat virheelliset, joka aiheuttaa liian suuria tai liian pieniä rakenteita.

Tässä opinnäytetyössä asioiden osaaminen on pyritty todentamaan enemmän rakenteiden mitoituksilla, kuin sanallisesti mitoituksen kulkua kertoen.

Avainsanat

rakennesuunnittelu, rakenteet, pientalo

Study Programme in Civil Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Marko Kunnari	Year	2023
Supervisor(s)	Ville Airas		
Commissioned by	Lapin AMK		
Title	Structural design of a Small House, Cottage		
Number of pages	47 + 14		

The objective of this thesis study was to dimension the load-bearing structures of a holiday home, and to determine the required materials and structural thicknesses, while producing ready-made calculation templates for future dimensioning.

Excel and Mathcad programs were used for manual calculations in the dimensioning process. The manual calculations were verified and compared to results obtained using Finnwood's wood structure calculation program, which was not included in the thesis since the results were similar. The Excel and Mathcad programs produced ready-made calculation templates that are intended to be utilized in future dimensioning tasks, which was one of the main objectives of the thesis. Three beams and one column were dimensioned in the studied structure. All images of the structure were drawn using AutoCAD 2020. The study materials included lecture notes, which referred to source materials that mostly led to materials from Puuinfo and the Finnish Association of Civil Engineers (RIL). The lecture materials often presented the subject matter in a more understandable form with clear examples, compared to the source materials that took all dimensioning options into account. By combining both sources of information, comprehensive knowledge was obtained to continue the dimensioning process.

The main result of the thesis was the creation of ready-made calculation templates and a better understanding of the overall structure when dimensioning individual parts. Understanding the order of dimensioning was one of the key aspects. All dimensioning was carried out using values obtained from load calculations, and if they are incorrect, the dimensioned structures will be erroneous, resulting in structures that are either too large or too small. In this thesis, the proficiency of the subject matter is demonstrated through structural dimensioning, rather than verbally describing the process of dimensioning.

Keywords

structural design, structures, a small house

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	MITOITETTAVA RAKENNUS	7
3	KUORMITUSMÄÄRITTELYT	9
3.1	Pysyvät kuormat	9
3.2	Muuttuvat kuormat	10
3.2.1	Hyötykuorma	10
3.2.2	Tuulikuorma	11
3.2.3	Lumikuorma	16
3.3	Vesikaton omapaino	18
3.4	Yläpohjan omapaino	20
3.5	Seinän omapaino	21
3.6	Alapohjan omapaino	22
4	PALKIN JA PILARIN MITOITUS	23
4.1	Parametrit mitoitukseen	24
4.2	Taipuma	28
4.3	Taivutus	30
4.4	Leikkaus	32
4.5	Tukipituus	33
4.6	Nurjahdus	35
5	MITOITETTAVAT RAKENTEET	38
5.1	Vesikattopalkki	38
5.2	Yläpohjapalkki	39
5.3	Runkotolppa	40
5.4	Yläsidepuu	40
5.5	Yläpohjapalkin kannatinpalkki	40
5.6	Ikkunapalkki	41
5.7	Kuistinpalkki	41
5.8	Kuistinpalkin runkotolppa	42
5.9	Alasidepuu	42
5.10	Alapohjapalkki	43
5.11	Alapohjan kannatinpalkki	43

5.12	Jäykistys.....	44
6	POHDINTA.....	46

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoitus on tuottaa muistilista ja valmiita suunnittelupohjia pientalon rakennesuunnittelua varten. Yhdistetään rakennesuunnittelijakoulutuksen useiden kurssien opintoja yhteen dokumentaatioon, jotta koulusta valmistuneena ja satunnaisesti mitoituksia tekevänä on helpompi muistilistan perusteella ottaa huomioon suunnittelussa vaadittavat asiat. Suunnittelupohjat helpottavat ja nopeuttavat tulevaisuuden mitoitustehtäviä.

Opinnäytetyön aiheeseen johti se, että opintojen aikana en löytänyt muistilistan tapaista listausta siitä, mitä asioita on mitoitettava pientalon suunnittelussa. Lista antaa kokonaiskuvan suunnittelun etenemisestä ja varmistaa, että tarvittavat asiat tulevat mitoitetuksi. Lista päivittyy työkokemuksen karttuessa opintojen jälkeen.

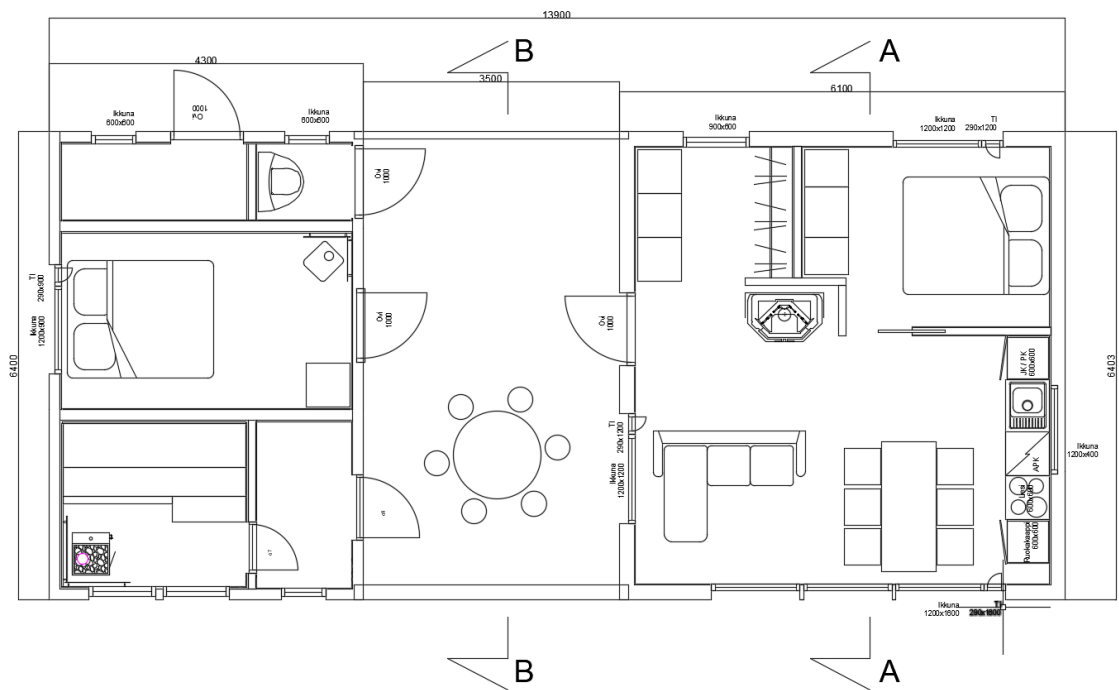
Opinnäytetyössä mitoitetaan suunnittelemaani puurankarakenteiseen loma-asuntoon rakennemateriaalit laskettavien kuormitusten perusteella. Rakennuspaikka on Rovaniemellä järven rannalla. Loma-asunto on pulpettikattoinen ja se toteutetaan palkkirakenteisena huopakatteella. Alapohja on tuulettuva betonipilarein maapohjaan tuettu puupalkkirakenteinen.

Pientalovariaatioita on lukuisia ja sen vuoksi kaikkia mahdollisia rakennevaihtoehtoja ei käsitellä tässä opinnäytetyössä vaan mitoitetaan tässä loma-asunnossa tarvittavat rakenteet. Esimerkiksi kattorakenne on palkkirakenne ja se voitaisiin toteuttaa ristikkorakenteenakin, mutta ristikkorakennetta ei käsitellä tässä työssä.

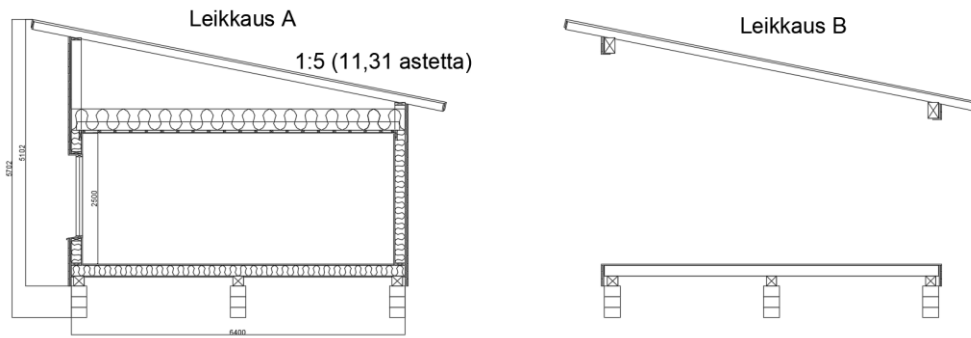
Palo- ja jäykistysmitoitus, maapohjan kantavuusmitoitukset ja betonipilareiden mitoitus rajataan tämän opinnäytetyön ulkopuolelle.

2 MITOITETTAVA RAKENNUS

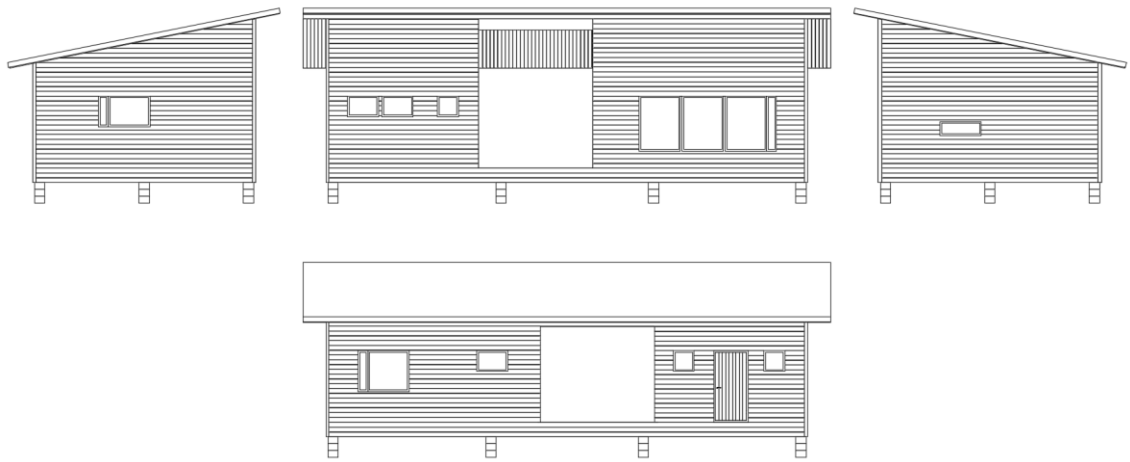
Rakennuksen pohjakuvasta (kuvio 1) käy ilmi, että rakennus on kaksiosainen, jossa on yhtenäinen kattorakenne, joka luo katetun kuistin rakennusten väliin. Kuistiin tulee avattavat lasitukset molemmille puolille rakennusta, jotta saadaan suojaa tuulelta sekä lumi- ja vesisateelta. Lasitus tekee rakennuksesta yhtenäisen tuulikuormaa mitoitettaessa. Leikkauskuvista (kuvio 2) havainnollistetaan punaisella mitoitettavia kohteita, kun opinnäytetyössä jäljempänä mitoitetaan rakenteita. Julkisivukuvassa (kuvio 3) on kuistin kohdalla jätetty kuistin vesikatonkantopinna valkoiseksi, jotta sen sijainti erottuu rakenteesta. Rakennuksen mitat lapesivulta katsottaessa (kuvio 3): leveys: 13.9m, korkeus: 5.7m ja syvyys: 6.4m



Kuvio 1. Rakennuksen pohjakuva



Kuvio 2. Leikkauskuvat A ja B



Kuvio 3. Julkisivukuvat

3 KUORMITUSMÄÄRITTELYT

Kuormien määritykset perustuvat Eurokoodin mukaisiin säädöksiin ja määräyksiin. Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry on julkaissut eurokoodista tiivistettynä ohjeita ja normia kirjoina, joissa esimerkkien avulla esitetään eurokoodin käyttöä. Tässä opinnäytetyössä kuormitusmäärittelyt perustuvat *RIL 201-1-2017 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat* sekä *RIL 205-1-2017 Puurakenteiden suunnitteluohje* kirjoihin. Puuinfo on julkaissut edellä mainituista kirjoista lyhennetyn ohjeen, joka on saatavissa ilmaiseksi Puuinfon nettisivuilta.

Tässä opinnäytetyössä kuormitus tarkastellaan mitoitettavaan kohteeseen todellisista ulkoisista ja omapainosta aiheutuvista kuormista. Kuormituksena voitaisiin käyttää myös yleisesti määritettyjä rakenteiden neliöpainoja kullekin rakenneosalle.

Kuormitus lisääntyy rakenteille ylhäältä alaspäin, kun rakenteiden omapaino kasvaa ja hyötykuormat rakenteilta siirretään kantaville rakenteille. Esimerkiksi yläsidepuu ottaa kuorman vastaan kattorakenteilta kun alasidepuulle lasketaan kuorman myös yläpohjan ja seinienkin tuottama kuorma kattorakenteiden lisäksi.

3.1 Pysyvät kuormat

Pysyväksi kuormaksi määritetään aikaluokitusten mukaisesti omapaino, pysyvästi rakenteeseen kiinnitetyt koneet, laitteet ja kevyet väliseinät sekä maanpaine (Puuinfo 2020a, 15).

Rakennuskohteen omapaino lasketaan nimellismittojen ja tilavuuspainojen avulla. Jos kyseessä ovat tehdasvalmisteiset rakennusosat ja laitteet, niiden paino ilmoitetaan yleensä valmistajan ohjeissa. Jos taas käytetään kuivaa havupuutavaraa tai siitä valmistettuja materiaaleja, tilavuuspainona käytetään arvoa $5,0 \text{ kN/m}^3$. Kun tarkastellaan kantamattomia, kevyitä väliseiniä, jotka on kiinnitetty rakenteisiin, niiden omapaino käsitellään tasaisena lattiakuormana. Tässä tapauksessa käytetään vähintään arvoa $0,3 \text{ kN/m}^2$. (Puuinfo 2020a, 10.)

Vesikatemateriaalina käytetään bitumista palahuopakatetta ja se vaatii alustakseen aluskatteen, jotta vaadittava vesitiiveys saavutetaan. Tässä opinnäytetyössä on käytetty Kerabit:n valmistamaa Bitumipaanukate Kerabit K+, ja sen nimellispaino on 3600 - 4100 g/m² (Kerabit. Kate).

Aluskatteena havuvaneroinnin päällä käytetään Kerabit 700 UB tuotetta ja sen nimellispaino on 700 g/m² (Kerabit. Aluskate).

Rakennuksen lämmöneristysmateriaalina yläpohjassa, seinissä ja alapohjassa käytetään selluvillaa ja sen ominaispaino levyvillana on 42 kg/m³ (Ekovilla).

Katolle mahdollisesti asennettavat aurinkopaneelit on otettava huomioon mitoituksessa. Ne ovat kiinteästi asennettavia, niin sen vuoksi ne luokitellaan omapainoon kuuluvaksi. Koska vielä ei ole tarkkaa paneelin merkkiä tai kokoa tiedossa niin varataan omapainoksi 12kg/m². Aurinkopaneelien kiinnitysteline lisää neliöpainoa noin 6kg aurinkopaneelia kohden eli noin 3kg/m². Yhteispainoksi tulee siis 15kg/m² (Aurinkovirta).

3.2 Muuttuvat kuormat

Muuttuvat kuormat huomioidaan kuormaa kasvattavilla kertoimilla, jotta mitoituksessa rakenteiden todellinen kestävyys on riittävä. Muuttuvan kuorman suuruus ja suunta vaihtelee. Muuttuvia kuormia ovat keskipitkässä aikaluokassa hyöty- ja lumikuormat, sekä hetkellisessä aikaluokassa tuuli- ja onnettomuuskuormat. (RIL 205-1-2017, 32.)

3.2.1 Hyötykuorma

Tilojen käyttö aiheuttaa hyötykuormaa, joka määrittyy tilan käyttötarkoituksen mukaisesti. Rakennettava rakennus on rinnastettavissa asuintilaksi, joten hyötykuormien ominaisarvotaulukon (taulukko1) mukaisesti $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$. (Puuinfo 2020a, 11.)

Taulukko 1. Tavallisimpien hyötykuormien ominaisarvot (Puuinfo 2020a, 11)

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

* Asunnon sisäiset portaat $Q_k = 1,5$ kN

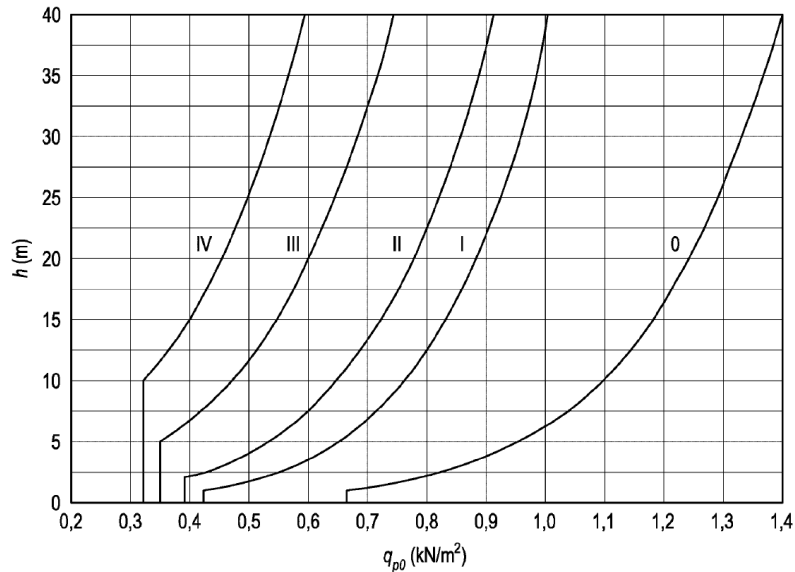
3.2.2 Tuulikuorma

Tuulikuorman mitoituksessa voidaan käyttää yksinkertaistettua menettelyä rakennuksen tavanomaisuudesta johtuen. Tuulikuorman suuruuteen vaikuttaa yhtenä tekijänä maastoluokka, joka määritetään taulukon 2 mukaisesti luokkaan kolme. Kohde sijaitsee järven rannalla, mutta metsän ympäröimänä saadaan suojaa tuulelta. Aukkoa ei tarvitse vähentää tuulikuormaa laskettaessa, koska aukkoon rakennetaan avattavat lasiseinät. (Puuinfo 2020a, 12.)

Taulukko 2. Tuulikuormituksen maastoluokat (Puuinfo 2020a, 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.

Tasaista maastoa vastaava nopeuspaineen ominaisarvo $q_p(h)$ 0.37 kN/m² saadaan kuviosta 4, kun rakennuksen korkeus on 5.7m ja maastoluokka kolme (Puuinfo 2020a, 13).



Kuvio 4. Nopeuspaineen ominaisarvo $q_{p0}(h)$ eri maastoluokissa, kun tuulennopeuden perusarvo on $v_b = 21 \text{ m/s}$ (Puuinfo 2020a, 13)

Rakennuksen seinään vaikuttava voimakerroin c_f määritetään rakennuksen hoikkuuden ja sivusuhteen mukaisesti. Jos rakennuksen korkeus on pienempi kuin 15 metriä, niin käytetään hoikkuuden määrittämissä kaavaa 1. (Puuinfo 2020a, 13.)

$$\lambda = \frac{2h}{b} \quad (1)$$

missä

λ	on	hoikkuus ja voimakertoimen määrittämissä käytettävä kerroin
h	on	rakennuksen korkeus [m]
b	on	rakennuksen leveys tuuleen kohtisuorassa suunnassa [m]

Hoikkuudeksi laskettu arvo lapesivulle kuviossa 5:

$$b := 13.9 \text{ m} \quad h := 5.7 \text{ m} \quad \lambda := \frac{2h}{b} = 0.82$$

Kuvio 5. Hoikkuuden laskenta lapesivulle kaavalla 1

Hoikkuudeksi laskettu arvo päätysivulle kuviossa 6:

$$\begin{aligned} b &:= 6.4 \text{ m} \\ h &:= 5.7 \text{ m} \quad \lambda := \frac{2h}{b} = 1.781 \end{aligned}$$

Kuvio 6. Hoikkuuden laskenta päätysivulle kaavalla 1

Sivusuhdetta määriteltäessä käytetään kaavaa 2 (Puuinfo 2020a, 13).

$$\frac{d}{b}$$

(2)

missä

d on rakennuksen pituus tuulen suunnassa [m]

b on rakennuksen leveys tuulta vastaan kohtisuorassa [m]

Sivusuhte laskettu arvo lapsivulle kuviossa 7.

$$\begin{aligned} d &:= 6.4 \text{ m} \\ b &:= 13.9 \text{ m} \quad \frac{d}{b} = 0.46 \end{aligned}$$

Kuvio 7. Sivusuhte laskenta lapsivulle kaavalla 2

Sivusuhte laskettu arvo päätysivulle kuviossa 8.

$$\begin{aligned} d &:= 13.9 \text{ m} \\ b &:= 6.4 \text{ m} \quad \frac{d}{b} = 2.172 \end{aligned}$$

Kuvio 8. Sivusuhte laskenta päätysivulle kaavalla 2

Taulukosta 3 määritetään voimakerroin c_f , kun käytetään kaavalla 1 ja 2 saatuja tuloksia, jotka interpoloidaan lineaarisesti. Interpoloimalla saatu arvo on lapsivulle 1.35 ja päädyille arvo 1.00. (Puuinfo 2020a, 13.)

Taulukko 3. Voimakerroin c_f huomioiden rakennuksen mittasuhteiden ja hoikkuuden vaikutus (Puuinfo 2020a, 13)

Sivusuhte d/b									
λ	0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	10	50
≤ 1	1,2	1,2	1,37	1,44	1,28	0,99	0,60	0,54	0,54
3	1,29	1,29	1,48	1,55	1,38	1,07	0,65	0,58	0,58
19	1,40	1,40	1,60	1,68	1,49	1,15	0,70	0,63	0,63

Lasketaan projektion pinta-ala A_{ref} kaavan 3 mukaisesti (Puuinfo 2020b, 16).

$$A_{ref} := h \cdot b = 79.23 \text{ m}^2 \quad (3)$$

missä

A_{ref}	on	rakenteen tuulta vastaan kohtisuora projektiopinta-ala
h	on	rakennuksen korkeus [m]
b	on	rakennuksen leveys tuulta vastaan kohtisuorassa [m]

Kokonaistuulikuorman ominaisarvo $F_{w,k}$ voidaan määrittellä matalissa pientaloissa yksinkertaistetun menetelmän mukaan kaavalla 4 ja saatu tulos kuviossa 9 (Puuinfo 2020b, 16).

$$F_{w,k} = c_f q_p(h) A_{ref} \quad (4)$$

missä

$F_{w,k}$	on	vaakasuurteen kokonaistuulikuorma [kN]
c_f	on	rakenteen voimakerroin
$q_p(h)$	on	rakennuksen korkeutta h vastaava nopeuspaine [kN/m ²]
A_{ref}	on	rakenteen tuulta vastaan kohtisuora projektiopinta-ala [m ²]

Lapesivun vaakasuuntainen kokonaistuulikuorma:

$$b := 13.9 \text{ m}$$

$$h := 5.7 \text{ m}$$

$$c_f := 1.35$$

$$A_{ref} := h \cdot b = 79.23 \text{ m}^2$$

$$q_p(h) := 0.37 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$F_{w,k} := c_f \cdot q_p(h) \cdot A_{ref} = 39.575 \text{ kN}$$

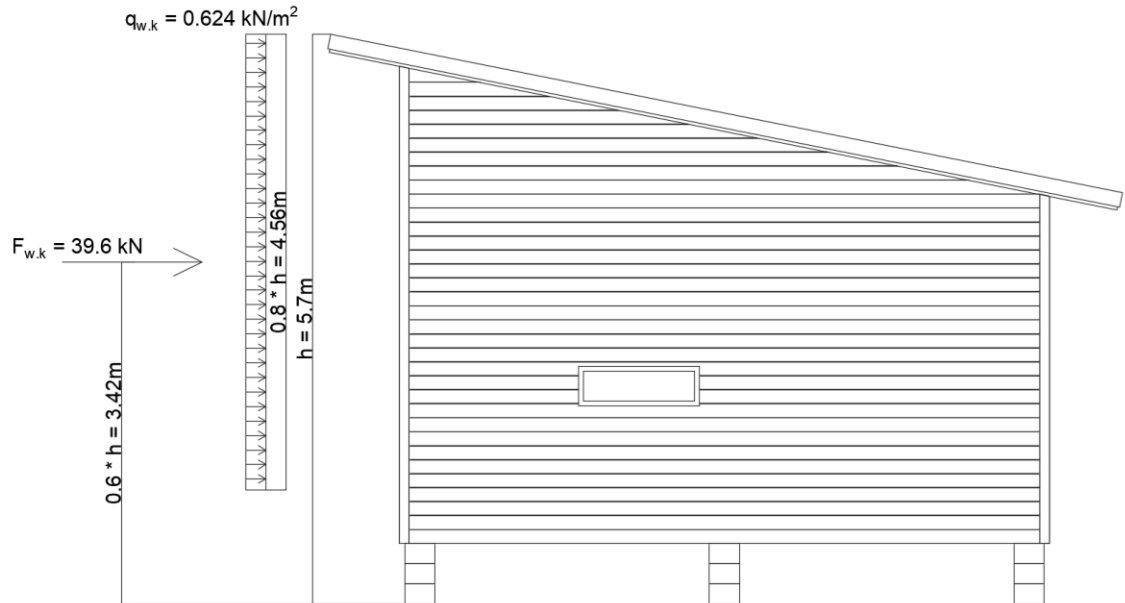
Kuvio 9. Lapesivun vaakasuuntainen kokonaistuulikuorma

Kokonaistuulikuorman resultantin ominaisarvo $F_{w,k}$ lasketaan kaavalla 4. Tämän jälkeen $F_{w,k}$ sijoitetaan korkeudelle, joka on 0,6 kertaa rakennuksen korkeus. Tällä korkeudella otetaan huomioon katon paikallisten suurempien tuulenpainoiden ja kittavoimien vaikutus. Sitten $F_{w,k}$ muutetaan tasaiseksi kuormaksi kaavalla 5, joka sisältää kertoimen 1,25. Tämä kerroin tulee laskusta, jossa koko projektiopinnan tuulenpaine korvataan tasaisella kuormalla, joka sijoitetaan rakennuksen yläosaan (korkeus on 0,8 kertaa rakennuksen korkeus). Tämä tasainen kuorma on havainnollistettu kuviossa 10. (Puuinfo 2020b, 16.)

$$q_{w,k} := 1.25 \cdot c_f \cdot q_p(h) = \frac{F_{w,k}}{0.8 \cdot A_{ref}} = 0.624 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (5)$$

missä

$F_{w,k}$	on	vaakasuuntainen kokonaistuulikuorma [kN]
c_f	on	rakenteen voimakerroin
$q_p(h)$	on	rakennuksen korkeutta h vastaava nopeuspaine [kN/m ²]
A_{ref}	on	rakenteen tuulta vastaan kohtisuora projektiopinta-ala [m ²]
0.8	on	yläosan kuormituspituuden kerroin

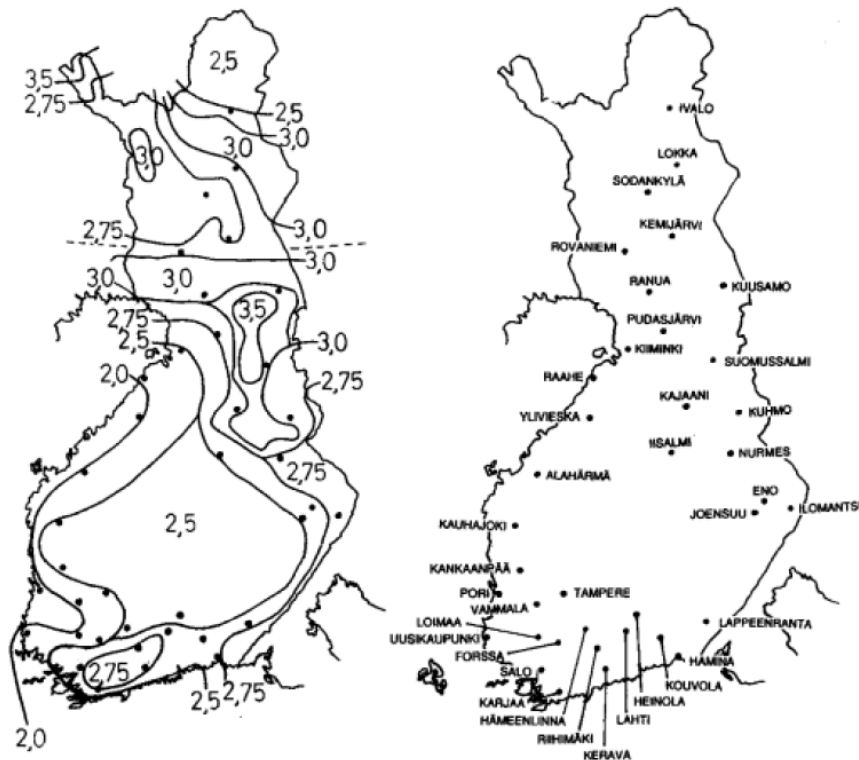


Kuvio 10. Tuulikuormakaavio

3.2.3 Lumikuorma

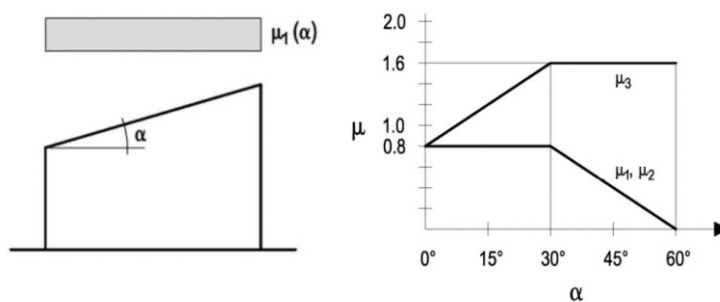
Eurokoodin mukainen lähtökohta lumikuorman määrittämiseen on peruslumi-kuorma maassa. Peruslumi-kuorma edustaa sitä lumikuormaa maassa, joka ylittyy kerran 50 vuodessa. Peruslumi-kuorman kartat perustuvat Suomen ympäristökeskuksen lumen vesiarvojen mittaukseen, joita on suoritettu jo vuodesta 1936. Peruslumi-kuorman arvo maassa merkitään s_k ja yksikkö kN/m^2 . (Makkonen 2010.)

Peruslumi-kuorma maassa arvo katsotaan rakennettavan kohteen paikkakunnalle kartasta, joka esitetään kuviossa 11.



Kuvio 11: Peruslumikuorma maassa ominaisarvo s_k . (Puuinfo 2020a, 11)

Eurokoodin mukainen muotokerroin μ_1 lumikuormalle pulpettikatolla määritellään kaltevuuden mukaisesti. Mitoitettavan kohteen pulpettikaton kattokaltevuus on 1:5 eli 11 astetta. Kuvassa arvo μ_2 on harjakatolle ja arvo μ_3 on sahakatolle. Muotokerroin määritetään kuviossa 12. (Puuinfo 2020a, 13.)



Kuvio 12: Eurokoodin mukainen lumikuorman muotokerroin kattokaltevuuden mukaan. (Puuinfo 2020a, 13)

Eurokoodissa lumikuorma katolla (s) määritetään kaavalla 6. Tässä tapauksessa tulos määrittyy muotokertoimen ja lumikuorma maassa arvojen perusteella. Tulos Rovaniemen kohdalle havainnollistetaan laskutehtävällä kuviossa 13. (RIL 205-1-2017,36.)

$$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (6)$$

missä

μ_1	on	muotokerroin
C_e	on	tuulensuojaisuuskerroin
C_t	on	lämpökerroin
s_k	on	peruslumikuorma maassa

$\mu_1 := 0.8$	Muotokerroin
$C_e := 1.0$	Tuulensuojaisuuskerroin
$C_t := 1.0$	Lämpökerroin
$s_k := 3.0 \cdot \frac{kN}{m^2}$	Peruslumikuorma maassa
$s := \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2.4 \frac{kN}{m^2}$	Peruslumikuorma katolla

Kuvio 13. Rovaniemelle laskettu lumikuorma katolla

3.3 Vesikaton omapaino.

Vesikaton omapaino lasketaan kuviossa 14, ja rakennekerrokset on listattuna alapuolella.

- bitumi- ja aluskate: Kerabit K+ ja Kerabit 700 UB.
- aluskatelevy: OSB-4, 18 x 1200 x 2700 mm.
- kattopalkki 51 x 300 x 8000 mm Kerto-S k600.
- aurinkopaneelit

$$\text{Bitumikate} := 0.041 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0.007 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0.048 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Katelevy} := 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 0.018 \text{ m} = 0.09 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Kattopalkki} := \frac{\left(5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}\right) \cdot (0.051 \text{ m} \cdot 0.300 \text{ m})}{0.6 \text{ m}} = 0.128 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Aurinkopaneelit} := 0.015 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Vesikatto} := \text{Bitumikate} + \text{Katelevy} + \text{Kattopalkki} + \text{Aurinkopaneelit} = 0.281 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Kuorman muutos vaakaprojektioksi :

$$\text{Vesikatto} = 0.281 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$G_{\text{katto.kerroin}} := \frac{1}{\cos(11.31^\circ)} = 1.02$$

$$G_{\text{katto}} := \text{Vesikatto} \cdot G_{\text{katto.kerroin}} = 0.286 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Kuvio 14. Vesikaton omapainon laskenta.

Vesikaton omapainona käytetään 0.29 kN/m².

3.4 Yläpohjan omapaino

Yläpohjan omapaino lasketaan kuviossa 15, ja rakennekerrokset on listattuna alapuolella.

- yläpohjapalkki 50x200mm sahatavara k900
- selluvilla 400mm
- koolaus 50x50mm k300
- kattopaneeli 13mm, sahatavara

$$Yläpohjapalkki := \frac{\left(5 \frac{kN}{m^3}\right) \cdot (0.05 \text{ m} \cdot 0.200 \text{ m})}{0.9 \text{ m}} = 0.056 \frac{kN}{m^2}$$

$$Selluvilla := 0.42 \frac{kN}{m^3} \cdot 0.4 \text{ m} = 0.168 \frac{kN}{m^2}$$

$$Kattokoolaus := \frac{\left(5 \frac{kN}{m^3}\right) \cdot (0.05 \text{ m} \cdot 0.05 \text{ m})}{0.3 \text{ m}} = 0.042 \frac{kN}{m^2}$$

$$Kattopaneeli := \left(5 \frac{kN}{m^3}\right) \cdot 0.013 \text{ m} = 0.065 \frac{kN}{m^2}$$

$$Yläpohja := Yläpohjapalkki + Selluvilla + Kattokoolaus + Kattopaneeli = 0.33 \frac{kN}{m^2}$$

Kuvio 15. Yläpohjan omapainon laskenta.

Yläpohjan omapainona käytetään 0.33kN/m².

3.5 Seinän omapaino

Seinän omapaino lasketaan kuviossa 16, ja rakennekerrokset on listattuna ulkopuolelta alapuolella.

- ulkoverhouspaneeli 23mm
- pystykoolaus/ilmarako 25mm
- tuulensuojalevy 12mm (tiheys: 235 kg/m³)
- rankarunko 200x50mm / lämmöneriste selluvilla 200mm
- kosteussulkupaperi
- sisäverhouspaneeli 13mm

$$\text{Seinä.paneelit} := 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot (0.023 \text{ m} + 0.013 \text{ m}) = 0.18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Seinä.runko} := \frac{\left(5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}\right) \cdot (0.05 \text{ m} \cdot 0.225 \text{ m})}{0.6 \text{ m}} = 0.094 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Seinä.Tuulensuoja} := 2.35 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 0.012 \text{ m} = 0.028 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Seinä.Selluvilla} := 0.42 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 0.2 \text{ m} = 0.084 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Seinä} := \text{Seinä.paneelit} + \text{Seinä.runko} + \text{Seinä.Tuulensuoja} + \text{Seinä.Selluvilla} = 0.386 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Kuvio 16. Ulkoseinän omapainon laskenta.

Seinän omapainona käytetään 0.39kN/m²

3.6 Alapohjan omapaino

Alapohjan omapaino lasketaan kuviossa 17, ja rakennekerrokset sisältäpäin on listattuna alapuolella.

- lattialauta 28mm
- kosteussulkupaperi
- alapohjapalkit 50x200mm k600 / lämmöneriste selluvilla 200mm
- tuulensuojalevy 12mm
- tuulensuojalevyn kannatinlaudat 22mm.

$$\text{Alapohja.Lattia} := 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot (0.028 \text{ m}) = 0.14 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Alapohja.palkit} := \frac{\left(5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}\right) \cdot (0.05 \text{ m} \cdot (0.2) \text{ m})}{0.6 \text{ m}} = 0.083 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Alapohja.Selluvilla} := 0.42 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 0.2 \text{ m} = 0.084 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Alapohja.Tuulensuoja} := 2.35 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 0.012 \text{ m} = 0.028 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Alapohja.laudat} := \frac{\left(5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}\right) \cdot (0.05 \text{ m} \cdot (0.022) \text{ m})}{0.6 \text{ m}} = 0.009 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

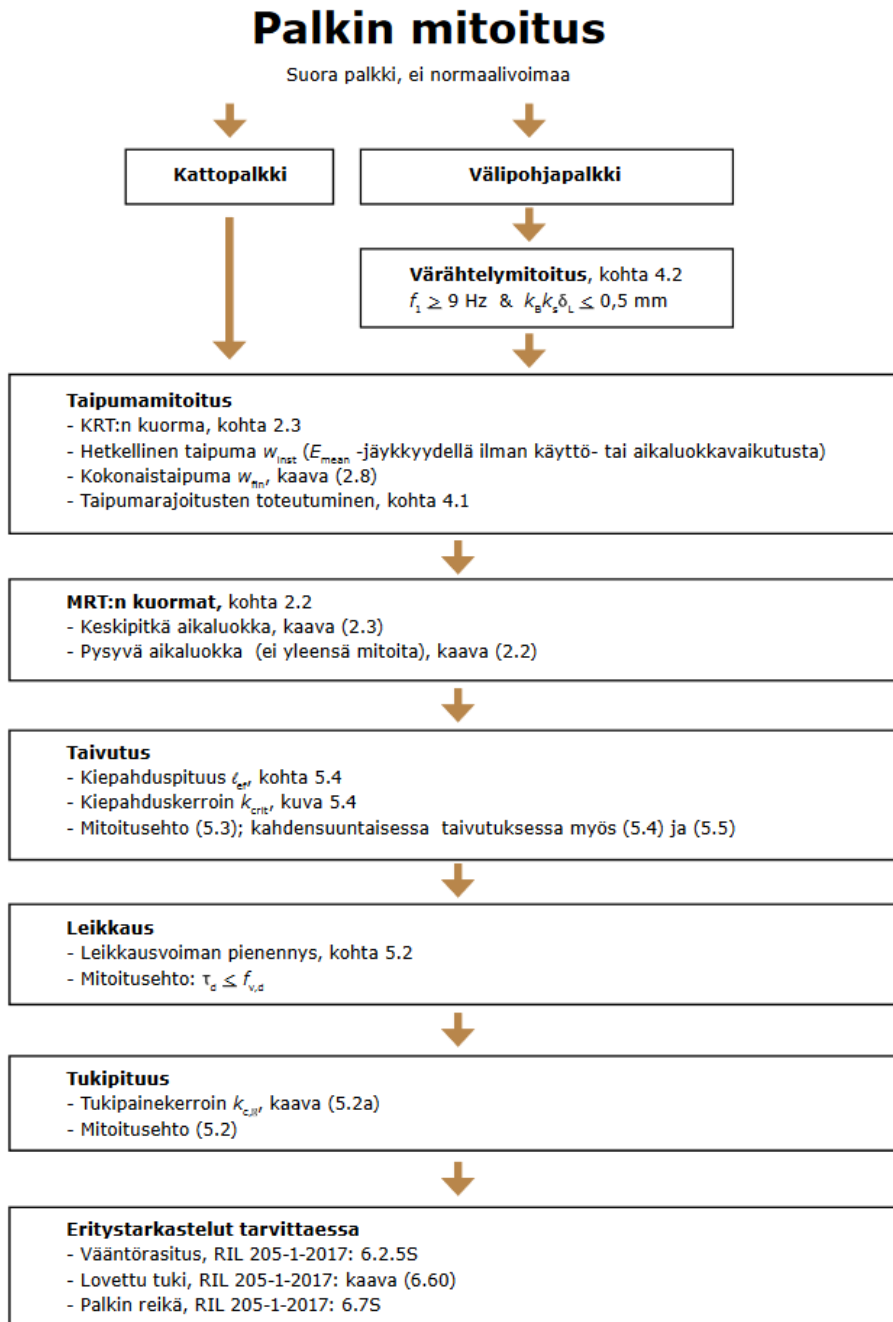
$$\text{Alapohja} := \text{Alapohja.Lattia} + \text{Alapohja.palkit} + \text{Alapohja.Selluvilla} + \text{Alapohja.Tuulensuoja} + \text{Alapohja.laudat} = 0.345 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Kuvio 17. Alapohjan omapainon laskenta.

Alapohjan omapainona käytetään 0.35 kN/m^2 ja kun lisätään siihen taulukosta 1, kohdasta A: asuintilat, välipohjan hyötykuorma 2 kN/m^2 , niin saadaan mitoituksessa käytettävä alapohjan tuottama kuormitus.

4 PALKIN JA PILARIN MITOITUS

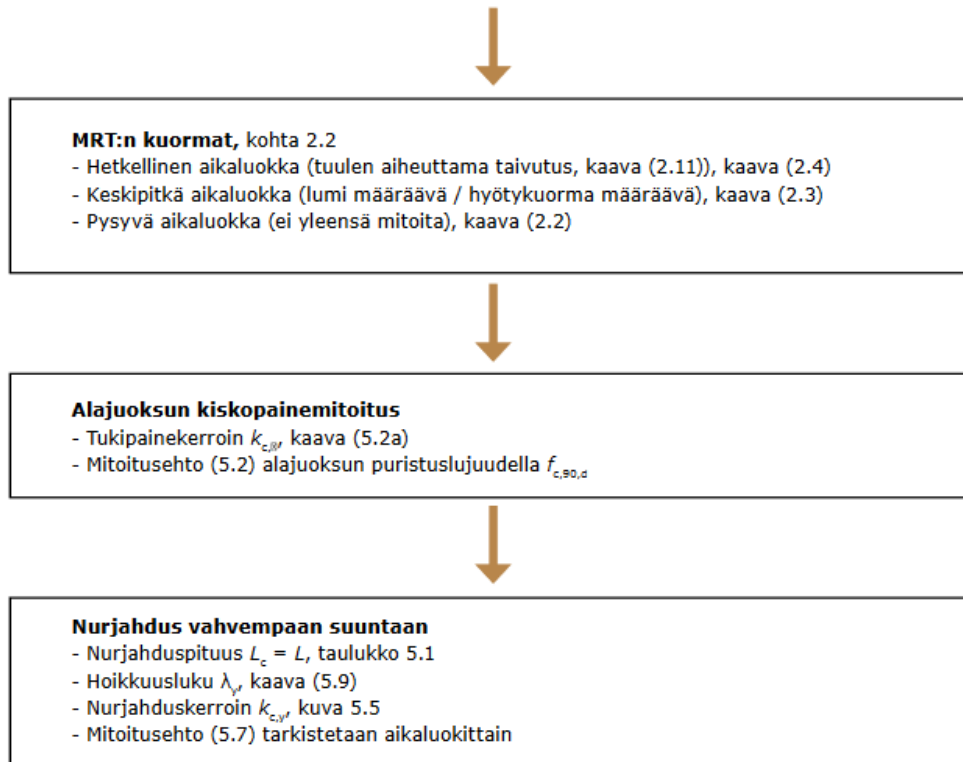
Puufon nettisivuilla on opinnäytetyön tekohetkellä vapaasti ladattavissa Eurokoodi 5 lyhennetty suunnitteluohje. Ohjeessa käsitellään selkeästi palkkien ja tolppien mitoituksessa tarvittavia määrittämiä. Seuraavana on ohjeesta kuvankaappauksena (kuviot 18 ja 19) otetut vuokaaviot, joissa muistilistan omaisesti on esitetty mitoituksessa vaadittavia asioita.



Kuvio 18. Palkin mitoitus muistilista (Puufon 2020a, 51)

Seinätolpan mitoitus

Tuettu heikommassa suunnassa levytyksellä



Kuvio 19. Tolpan mitoitus muistilista (Puuinfo 2020a, 50)

4.1 Parametrit mitoitukseen

Mitoituksessa tarvittava arvoja on useita ja osa niistä saadaan taulukoista ja osa lasketaan ohjeissa ja määräyksissä annettujen kaavojen avulla. Useasti materiaalin mitat määrittävät rakenteellisten valintojen perusteella. Esimerkkinä eristeiden paksuun määrittää seinätolppien leveyden, kun taas paksuus määrittää nurjahduskestävyyden ja leimapaineen mitoituksen kautta.

Kuormitusmäärittelyiden jälkeen lasketaan suunniteltujen rakennusmateriaalien mukaisesti materiaaleille lujuusominaisuuden mitoitussarvo $f_{x,d}$ kaavalla 7. Laskussa käytetään k_{mod} muunnoskerrointa (taulukko 4), jonka avulla otetaan huomioon kuorman keston ja kosteuden vaikutus. Jaettava arvo $f_{x,k}$ on materiaalien lujuusominaisuuden ominaisarvo, joka saadaan materiaalien ominaisarvotaulukoista 5 ja 6. Jakajana on Y_M materiaaliominaisuuden osavarmuusluku (taulukko 7), jolla pienennetään ominaisarvoa, jotta mitoituksessa käytettävä lujuus on kes-

tävämmällä puolella. Taulukoita luettaessa on tiedettävä rakennuksen käyttöluokka ja aikaluokka. Käyttöluokan määrittelee se, että missä kosteus ja lämpötilaolosuhteissa rakenne sijaitsee. (Puuinfo 2020a, 15.)

Rakenne luokitellaan käyttöluokkiin 1, 2 tai 3. Käyttöluokkajärjestelmä on suunniteltu pääasiassa lujuusarvojen luokittelua ja määriteltyjen ympäristöolosuhteiden aiheuttaman muodonmuutoksen laskemista varten (Puuinfo 2020a, 15).

Käyttöluokka 1 edellyttää, että materiaalien kosteus vastaa 20 °C:n lämpötilaa ja ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ylittää arvon 65 % vain muutamana viikkona vuodessa. Havupuun kosteus ei yleensä ylitä 12 % käyttöluokassa 1. Käyttöluokka 1 kattaa puurakenteet, jotka ovat lämmitetyissä sisätiloissa tai vastaavissa kosteusolosuhteissa. Lämpöeristekerroksessa olevat rakenteet ja palkit, joiden vetopuoli on lämmöneristeen sisällä, kuuluvat yleensä myös käyttöluokkaan 1. (Puuinfo 2020a, 15.)

Käyttöluokka 2 määritellään tilanteisiin, joissa materiaalien kosteus on lämpötilaa 20°C vastaava ja olosuhteiden suhteellinen kosteus ilmassa ylittää arvon 85 % vain muutamina viikkoina vuodessa. Käyttöluokassa 2 havupuun kosteus ei yleensä nouse yli 20 prosentin. Tähän käyttöluokkaan kuuluvat ulkoilmassa olevat puurakenteet, jotka ovat sijoitettu katetun ja tuuletetun tilan alle ja ovat hyvin suojattuja kosteudelta sivuilta ja alta. Esimerkkejä käyttöluokan 2 rakenteista ovat rossipohjat ja kylmät ullakkotilan puurakenteet. (Puuinfo 2020a, 15.)

Käyttöluokalle 3 on tyypillistä, että ilmasto-olosuhteet johtavat korkeampiin kosteusarvoihin kuin käyttöluokassa 2. Tähän käyttöluokkaan kuuluvat ulkona suoraan sään vaikutukselle alttiina olevat puurakenteet, kosteassa ympäristössä olevat rakenteet tai rakenteet, jotka ovat veden välittömässä vaikutuksessa. Käyttöluokan valinnassa tulee ottaa huomioon puun tasapainokosteuden lisäksi myös kosteuden vaihtelut, sillä ne voivat vaikuttaa puurakenteeseen jopa enemmän kuin tasainen kosteus. Käyttöluokkaan 3 kuuluessa on erityisesti huomioitava puutavaran halkeiluvaara. (Puuinfo 2020a, 15.)

Kuormien aikaluokkien määrittämiseen käytetään vakiokuorman kestoa, joka vaikuttaa rakenteeseen tietyn ajan sen käyttöiän aikana. Aikaluokkien arvot on esitetty taulukossa 8.

$$f_{x.d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{x.k}}{\gamma_M} \quad (7)$$

missä

- k_{mod} on muunnoskerroin, kuorman kesto ja kosteus
- $f_{x.k}$ on materiaalien lujuusominaisuuden ominaisarvo
- γ_M on materiaaliominaisuuden osavarmuusluku

Taulukko 4. Muunnoskerroimen k_{mod} arvot (Puuinfo 2020a, 17)

Materiaali	Käyttöluokka	Kuorman aikaluokka		
		Pysyvä	Keskipitkä	Hetkellinen
Sahatavara, Pyöreä puutavara, Liimapuu, LVL, Vaneri, CLT	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	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

Taulukko 5. Sahatavaran ja liimapuun ominaislujuudet, jäykkyysominaisuuudet ja tiheydet yleisimmissä lujuusluokissa (Puuinfo 2020a, 17)

Lujuusluokka	Sahatavara			Liimapuu		Halkaistu liimapuu	
	C18 (T1)	C24 (T2)	C30 (T3)	GL24c	GL30c	GL30cs ¹⁾	
Ominaislujuudet (N/mm ²)							
Taivutus	$f_{m,k}$	18	24	30	24	30	28
Veto	$f_{t,0,k}$	10	14,5	19	17	19,5	18,7
	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
Puristus	$f_{c,0,k}$	18	21	24	21,5	24,5	23,3
	$f_{c,90,k}$	2,2	2,5	2,7	2,5	2,5	3,0
Leikkaus	$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	3,5	3,5	3,5
Jäykkyysominaisuuudet (N/mm ²)							
Kimmomoduuli	$E_{0, \text{mean}}$	9000	11000	12000	11000	13000	12500
	$E_{90, \text{mean}}$	300	370	400	300	300	300
Liukumoduuli	G_{mean}	560	690	750	650	650	650
Tiheydet (kg/m ³)							
Ominaisstiheys	ρ_k	320	350	380	365	390	390
Tiheyden keskiarvo	ρ_{mean}	380	420	460	400	430	430

Taulukko 6. Kerto-S, Kerto-T ja Kerto-Q LVL:n ominaislujuudet, kokovaikutuseksponentit, jäykkyysominaisuuudet ja tiheydet (Puuinfo 2020a, 18)

Tyyppi		Kerto-S	Kerto-T	Kerto-Q
Paksuus (mm)		21 - 90	27 - 75	27 - 69
Ominaislujuudet (N/mm²)				
Taivutus syrjällään	$f_{m,k}$	44	27	32
Kokovaikutuseksponentti	s	0,12	0,15	0,12
Taivutus lappeellaan	$f_{m,0, \text{flat}, k}$	50	32	36
Veto syysuuntaan	$f_{t,0,k}$	35	24	26
Veto poikittain syrjällään	$f_{t,90, \text{edge}, k}$	0,8	0,5	6,0
Puristus syysuuntaan	$f_{c,0,k}$	35	26	26
Puristus poikittain syrjällään	$f_{c,90, \text{edge}, k}$	6	4	9
Puristus poikittain lappeellaan	$f_{c,90, \text{flat}, k}$	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
Jäykkyysominaisuuudet (N/mm²)				
Kimmomoduuli	E_{mean}	13800	10000	10500
Liukumoduuli	$G_{\text{edge, mean}}$	600	400	600
Tiheydet (kg/m³)				
Ominaisstiheys	ρ_k	480	410	480
Tiheyden keskiarvo	ρ_{mean}	510	440	510

Taulukko 7. Suomessa käytettävät materiaalien osavarmuusluvut γ_M (Puuinfo 2020a, 15)

Perusyhdistelmät:	
Sahatavara ja pyöreä puutavara yleensä	1,3
Liimapuu, CLT	1,25
LVL, vaneri, OSB-levy	1,2
Muu lastulevy, kuitulevyt	1,3
Liitokset	1,3
Onnettomuusyhdistelmät	1,0

Taulukko 8. Kuormien aikaluokat ja kuormien jaottelu aikaluokkiin (Puuinfo 2020a, 15)

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

4.2 Taipuma

Rakenteen muodonmuutosten tulee pysyä riittävän pienenä, jotta vältetään mahdolliset vahingot pintamateriaaleille, katoille, lattioille, keveille väliseinille, pinnoitteille ja estetään haitta toiminnan ja ulkonäkövaatimusten kannalta. Tämä edellyttää huolellista suunnittelua ja oikeiden materiaalien valintaa sekä kosteuden hallintaa rakenteessa. On tärkeää huomioida kuormien ja kosteuden vaikutukset rakenteeseen ja varmistaa, että muodonmuutokset pysyvät hyväksyttävällä tasolla koko rakenteen käyttöajan ajan. (Puuinfo 2020a, 10.)

Kun halutaan rajoittaa palkin, ristikon tai laatan taipumista tai rakennuksen vaakasiirtymää, käytetään kuormien ominaisuuksien yhdistelmää, joka rajoitetaan taulukossa 9 esitetyillä arvoilla. Kuitenkin, jos rakenteen tai rakennuksen tyyppi (esim. helposti halkeavat rakenteet), käyttötarkoitus (esim. vedenpoiston luiskat)

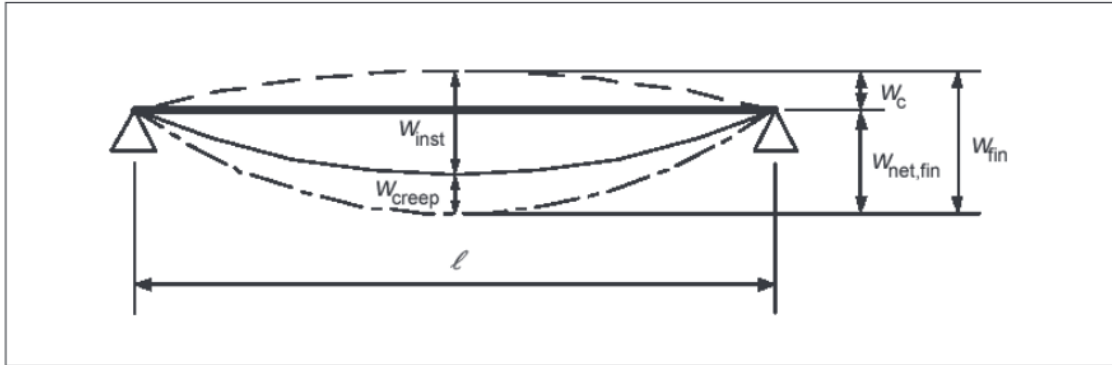
tai toiminnan luonne (esim. nosturirata) sitä edellyttää, voidaan käyttää muita arvoja, jotka sopivat paremmin tarkoitukseen. On tärkeää huomioida, että käyttörajatilan taipumat ja vaakasiirtymät eivät aiheuta vahinkoa pintamateriaaleille, katoille, lattioille, keveille väliseinille tai pinnoitteille, ja että ne täyttävät toiminnan ja ulkonäkövaatimukset. (Puuinfo 2020a, 21.)

Taulukko 9. Taipumien ja rakennuksen vaakasiirtymien enimmäisarvot. Ulokkeiden taipuma jännevälin suhteen saa olla kaksinkertainen. (Puuinfo 2020a, 21).

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

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, kuten esimerkiksi kaaret, mahapalkit, saksiristikot, bumerangipalkit.
⁴⁾ Hallirakennuksissa vaakasiirtymistä ei ole yleensä haittaa, jolloin sitä ei tarvitse tarkistaa. Kerrostaloissa suositellaan vaakasiirtymän rajoittamista enintään arvoon $H/500$ ylimmän kerroksen lattiatasolla.
⁵⁾ Lattialevyn taipumaa laskettaessa kuormituk-
sena on lyhytaikainen pistekuorma $Q_k = 2$ kN ja levyn omapaino.

Kuormasta aiheutuva hetkellinen taipuma w_{inst} lasketaan kuormien ominaisyhdistelmälle käyttämällä kimmo-, liuku- ja siirtymäkertoimien keskiarvoja taulukoista 5 ja 6. Taipuman muodostuminen kuvataan kuviossa 20. (Puuinfo 2020a, 21.)



Kuvio 20. Taipuman muodostuminen (Puuinfo 2020a, 21)

Lopputaipuma lasketaan kaavalla 8 ja taipuma muodostuu kuvion 20 mukaisista osista (Puuinfo 2020a, 21).

$$W_{\text{net,fin}} = W_{\text{inst}} + W_{\text{creep}} - W_{\text{c}} = W_{\text{fin}} - W_{\text{c}} \quad (8)$$

missä

W_{c} on esikorotus (jos sellaista käytetään)

W_{inst} on hetkellinen taipuma

W_{creep} on viruman aiheuttama lisätaipuma

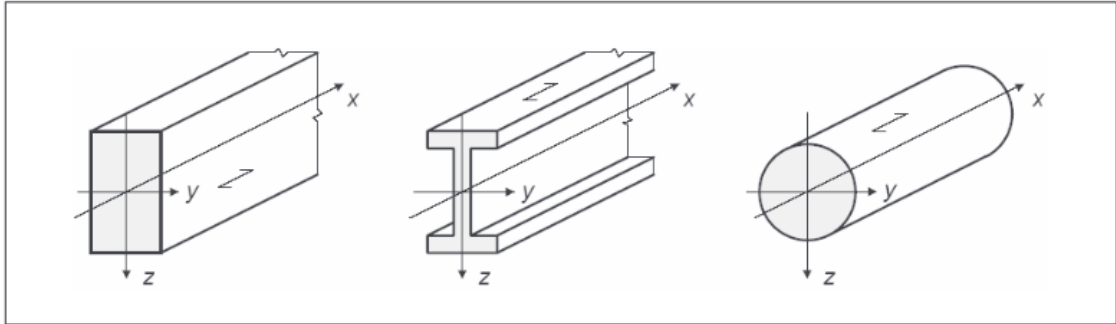
W_{fin} on kokonaistaipuma

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

Taipuma on laskettu tässä opinnäytetyössä havainnollisesti Mathcad-ohjelmalla liitteessä 3.

4.3 Taivutus

Taivutusmitoituksessa todennetaan, että taivutusjännitys ei ole suurempi kuin taivutuskestävyys. Taivutusta tarkastellaan rakenteen akseleiden suunnassa kuvion 21 mukaisesti. (RIL 205-1-2017, 71.)



Kuvio 21. Sauvan akselit (RIL 205-1-2017, 71)

Taivutuksessa seuraavien ehtojen (kaava 9 ja 10) tulee olla voimassa (RIL 205-1-2017, 74).

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (9)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (10)$$

missä

$\sigma_{m,y,d}$ ja $\sigma_{m,z,d}$ on jännitysten mitoitusarvot kuvion 21 mukaisten pääakseliensuhteen tapahtuvassa taivutuksessa

$f_{m,y,d}$ ja $f_{m,z,d}$ on vastaavien ($f_{m,y,k}$ ja $f_{m,z,k}$) taivutuslujuuksien mitoitusarvot

Kertoimella k_m otetaan huomioon jännitysjakautuman ja materiaalin epähomogeenisuuden vaikutus kahteen suuntaan taivutetun poikkileikkauksen taivutuskestävyyteen (RIL 205-1-2017, 74).

Kertoimen k_m arvo valitaan seuraavasti (RIL 205-1-2017, 74).

- sahatavaralle, liimapuulle, LVL:lle ja CLT:lle:
 - suorakaidepoikkileikkaukset: $k_m = 0,7$
 - muut poikkileikkaukset: $k_m = 1,0$
- muille puisille rakennetuotteille poikkileikkauksesta riippumatta $k_m = 1,0$
- Taivutus ja kiepahdus on laskettu tässä opinnäytetyössä havainnollisesti Mathcad-ohjelmalla liitteessä 3.

4.4 Leikkaus

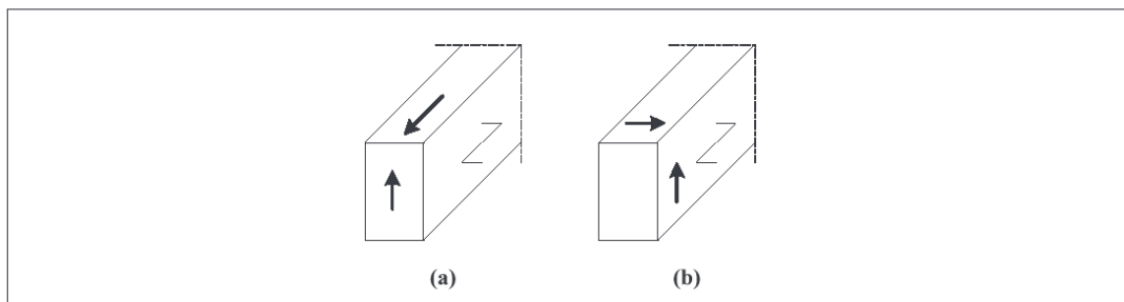
Kun leikkausjännityksellä on kuvion 22(a) mukaisesti syysuuntainen komponentti tai kun molemmat leikkausjännityskomponentit ovat kuvion 22(b) mukaisesti kohtisuorassa syysuuntaa vastaan, tulee kaavan (11) ehdon toteutua (RIL 205-1-2017, 74).

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (11)$$

missä

T_d on leikkausjännityksen mitoitusarvo

$f_{v,d}$ on tilannetta vastaava leikkauslujuuden mitoitusarvo



Kuvio 22. Sauva, jossa on (a) syysuuntainen leikkausjännityskomponentti ja (b) sauva, jossa molemmat leikkausjännityskomponentit ovat syysuuntaa vastaan kohtisuoria (RIL 205-1-2017, 75)

Leikkaus on laskettu tässä opinnäytetyössä havainnollisesti Mathcad-ohjelmalla liitteessä 3.

4.5 Tukipituus

Tukipituus on määritettävä, jotta tukipaine eli leimapaine ei kasva niin suureksi, että rakenne murtuu poikittaisen puristuksen kuormituksesta. Kaavan 12 mukainen ehto täytyy olla voimassa. (RIL 205-1-2017, 72.)

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} f_{c,90,d} \quad (12)$$

missä

$\sigma_{c,90,d}$	on	kosketuspinnalla puristusjännityksen mitoitusarvo
$f_{c,90,d}$	on	puristuslujuuden mitoitusarvo syysuuntaan kohtisuorassa puristuksessa
$k_{c,\perp}$	on	tukipainekerroin

Tukipainekerroin lasketaan kaavalla 13 (RIL 205-1-2017, 72).

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} k_{c,90} \quad (13)$$

missä

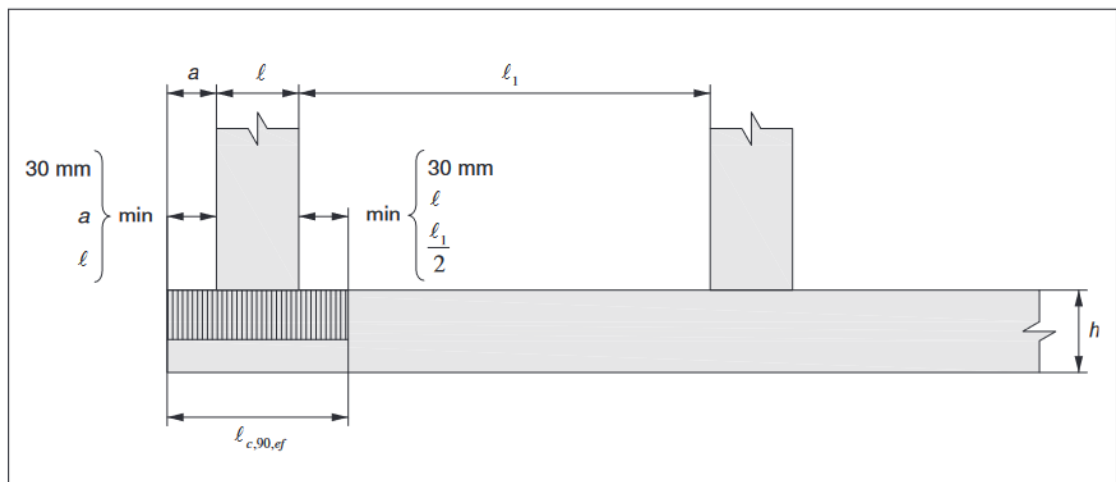
l	on	kosketuspinnan pituus puun syiden suunnassa
$l_{c,90,ef}$	on	tehollinen kosketuspinnan pituus
$k_{c,90}$	on	kerroin, jonka avulla otetaan huomioon kuorman sijainti, puun halkeamismahdollisuus ja puristuman suuruus

Tehollinen kosketuspinnan pituus $l_{c,90,ef}$ määritetään lisäämällä kosketuspinnan pituuteen l molemmin puolin 30 mm tai Kerto-LVL:n syrjäpinnoilla 15 mm kuitenkin enintään a , l tai $l_1/2$. asia on havainnollistettu kuviossa 23. Kertoimelle $k_{c,90}$ käytetään arvoa 1,0, paitsi seuraavissa tapauksissa edellyttäen, että kuvion 23 ja 24 mukainen puristuspintojen välinen etäisyys $l_1 \geq 2h$. (RIL 205-1-2017, 72.)

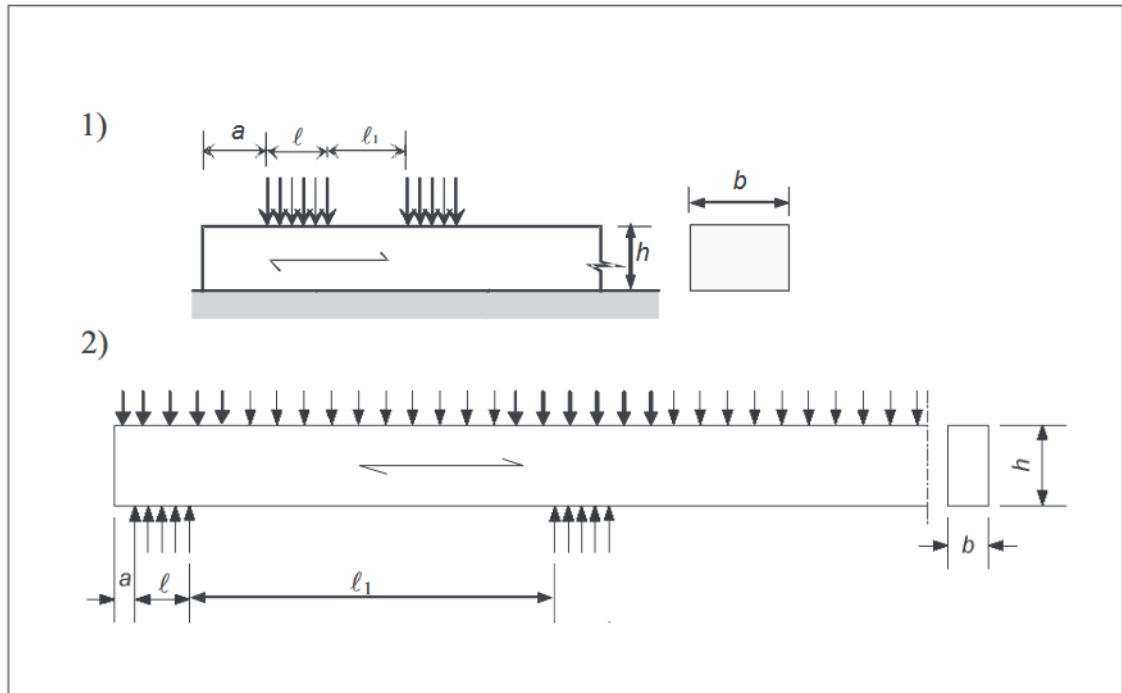
- $k_{c,90} = 1,25$ havupuisella sahatavaralla ja CLT:n lapepinnalla
- $k_{c,90} = 1,5$ havupuisella liimapuulla
- $k_{c,90} = 1,4$ Kerto-LVL:n lapepinnalla

Kuvion 25 tapauksessa 2) kertoimelle $k_{c,90}$ voidaan käyttää seuraavia korotettuja arvoja edellyttäen, että palkilla on tasan jakautunut kuormitus tai pistekuormia, joiden etäisyys tuen reunasta $\geq 2h$ (RIL 205-1-2017, 72).

- $k_{c,90} = 1,5$ havupuisella sahatavaralla
- $k_{c,90} = 1,75$ havupuisella liimapuulla edellyttäen että tukipituus $l \leq 400$ mm
- $k_{c,90} = 1,6$ Kerto-LVL:n lapepinnalla.



Kuvio 23. Tehollinen kosketuspinnan pituus (RIL 205-1-2017, 73)

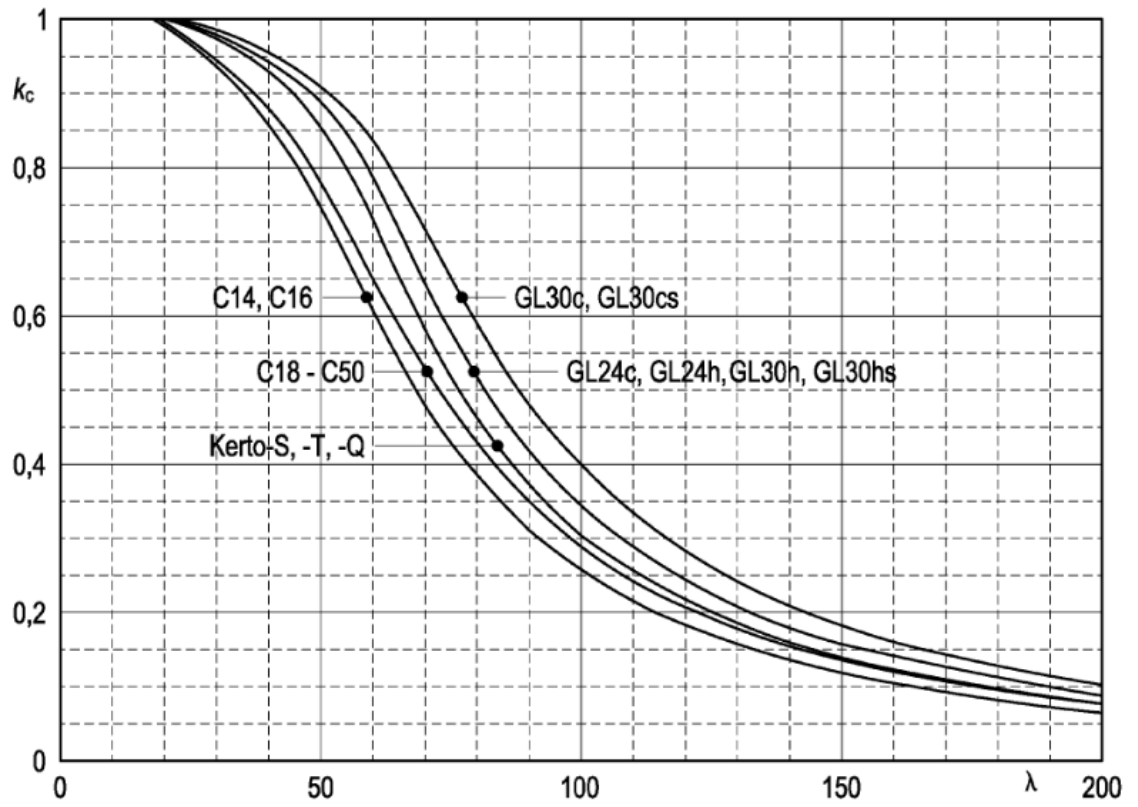


Kuvio 24. Tukipaine 1) jatkuvalla tuella lepäävän sauvan kuormituspisteissä ja 2) palkin tukipinnoilla tai kuormituspisteissä (RIL 205-1-2017, 73)

Tukipituus ja tukipaine on laskettu tässä opinnäytetyössä havainnollisesti Mathcad-ohjelmalla liitteessä 3.

4.6 Nurjahdus

Puristetun sauvan nurjahdus otetaan huomioon mitoituksessa pienentämällä puristuslujuutta kertoimella k_c . Kerroin k_c voidaan määrittää kuviosta 26 hoikkuusluvun λ perusteella. Puristetun rakenteen hoikkuusluku λ saa olla pysyvissä rakenteissa enintään 200. (RIL 205-1-2017, 80.)



Kuvio 25. Nurjahduskertoimen k_c riippuvuus hoikkuudesta λ (Puuinfo 2020a, 27)

Nurjahduspituus L_c kerroin luetaan taulukosta 10.

Taulukko 10. Puristussauvan nurjahduspituuksia L_c , kun sauvan pituus on L (Puuinfo 2020a, 26)

Tuentatapa	Nurjahduspituus L_c
Sauva on jäykästi kiinnitetty toisesta ja nivelellisesti toisesta päästään (esim. jäykkäkantainen hallin päädyn "tuulipilari")	$0,85 L$
Sauva on nivelöity molemmista päistään (normaali tapaus)	$1,0 L$
Sauva on poikittaistuettu nurjahduksen suunnassa välein a	$1,0 a$
Sauva on jäykästi kiinnitetty toisesta päästään ja on vapaa toisesta päästään ("mastopilari")	$2,5 L$

Hoikkuus ja nurjahdus on laskettu tässä opinnäytetyössä havainnollisesti Mathcad-ohjelmalla liitteessä 4.

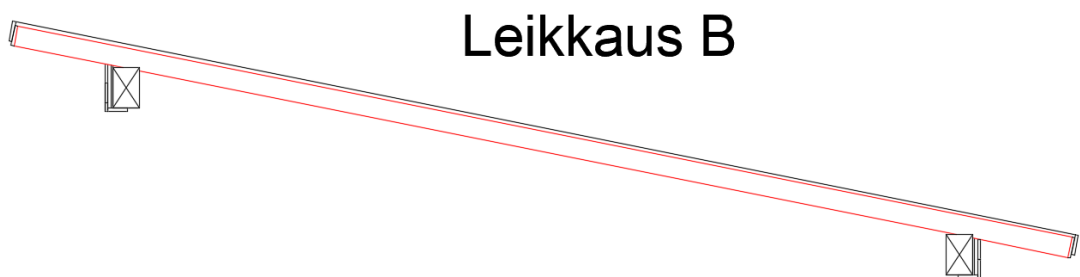
5 MITOITETTAVAT RAKENTEET

5.1 Vesikattopalkki

Vesikattopalkiksi on mitoitettu FinnKerto-S syrjällään 51 x 300 mm. Vesikaton rakennekerrokset: Bitumi- ja aluskate: Kerabit K+ ja Kerabit 700 UB Aluskatelevy: OSB-4, 18 x 1200 x 2700 mm. Kattokannatinpalkki 51x300x8000mm, jonka sijainti rakennuksessa havainnollistetaan punaisella kuviossa 26. Taivutus käyttöaste mitoituksessa 59 %, tukipaine mitoitettavalle palkille 35 % , leikkaus käyttöaste 39 % ja taipuman käyttöaste 95 %, joka oli poikkileikkauksen määräävä tekijä. Mitoituksessa tarvittavia määryksiä on listattuna alapuolella.

- omapaino 0.29kN/m²
- kantavien seinien vapaaväli 6m
- palkkijako k700, kuormana vesikaton omapaino ja lumikuorma
- käyttöluokka 2
- tavanomainen asuinrakennus => Seuraamusluokka CC2.
- luotettavuusluokka/kuormakerroin KFI=1,0.
- käyttöikäluokka 4 = 50v.

Palkin laskenta suoritetaan liitteen 1 mukaisesti.



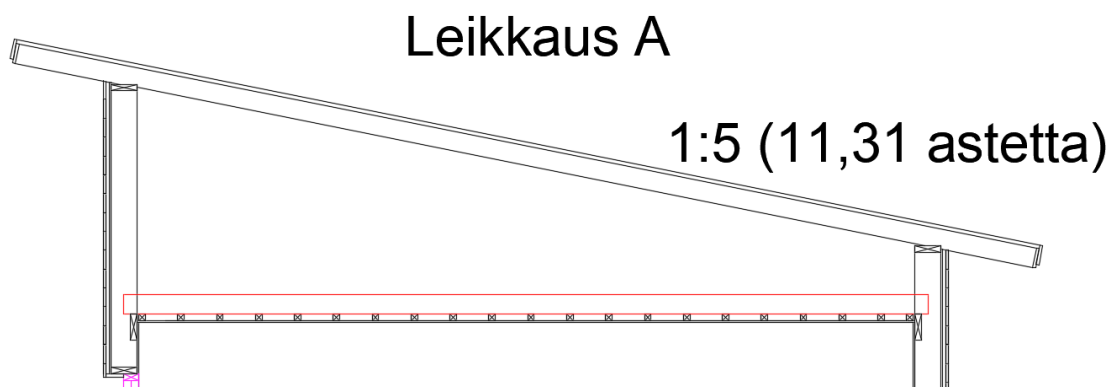
Kuvio 26. Vesikattopalkin sijainti rakennuksessa

5.2 Yläpohjapalkki

Yläpohjapalkiksi on mitoitettu C24 sahatavara 50 x 200. Yläpohjan rakennekerrokset: 400mm selluvilla lämmöneriste, yläpohjapalkki 50x200x6200mm, kosteussulkupaperi, 50x50mm koolaus ja sisäkattopaneeli. Yläpohjapalkin sijainti rakennuksessa havainnollistetaan punaisella kuviossa 27. Taivutus käyttöaste mitoituksessa 50 %, tukipaine mitoitettavalle palkille 15 % , leikkaus käyttöaste 10 % ja taipuman käyttöaste 85 %, joka oli poikkileikkauksen määräävä tekijä. Mitoituksessa tarvittavia määriä on listattuna alapuolella.

- omapaino 0.32kN/m^2
- kantavien seinien vapaaväli 6m
- palkkijako k900 kuormana yläpohjan omapaino
- käyttöluokka 2
- tavanomainen asuinrakennus => Seuraamusluokka CC2.
- luotettavuusluokka/kuormakerroin $KFI=1,0$.
- käyttöikäluokka 4 = 50v.

Palkin laskenta suoritetaan liitteen 2 mukaisesti.



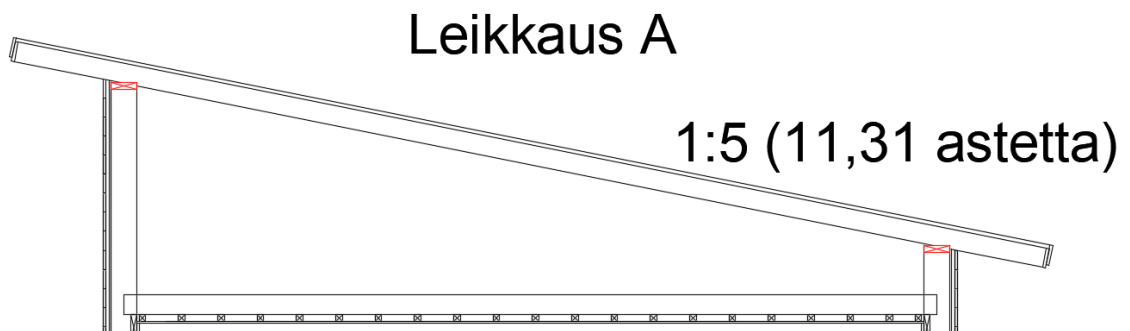
Kuvio 27. Yläpohjapalkin sijainti rakennuksessa

5.3 Runkotolppa

Seinän rakennekerrokset ulkopäin: ulkoverhouspaneeli, pystykoolaus/ilmarako, tuulensuojalevy, rankarunko 50x200mm / lämmöneriste selluvilla, kosteussulkupaperi ja sisäverhouspaneeli. Mitoitus rajataan tämän opinnäytetyön ulkopuolelle, koska mitoitus tehdään kuten kuistin runkotolpille, niin oppimisen kannalta mitoitukselle ei ole tarvetta.

5.4 Yläsidepuu

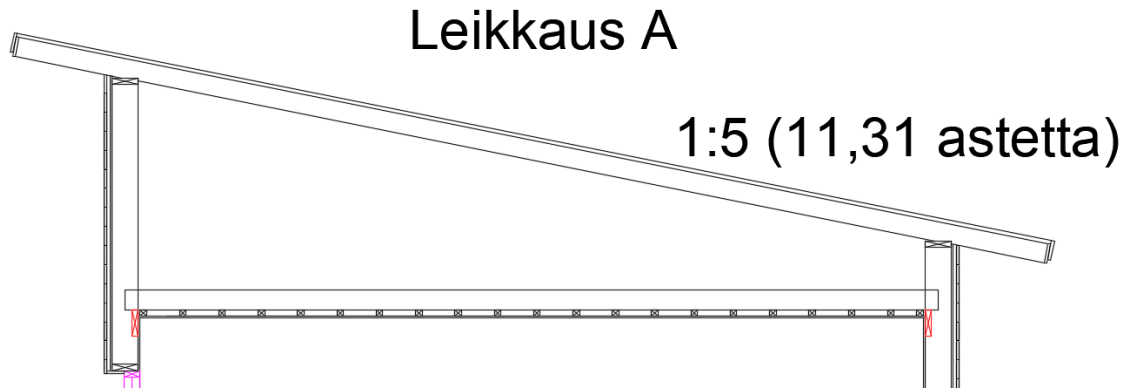
Yläsidepuu C24 sahatavara 50x200mm on mitoitettu ja taipumamitoitus oli määrävänä tekijänä 10 %. Mitoitusta ei havainnollisteta tässä opinnäytetyössä, koska se ei poikkea aikaisemman palkin mitoituksesta. Yläsidepuun sijainti rakennuksessa havainnollistetaan punaisella kuviossa 28.



Kuvio 28. Yläsidepuun sijainti rakennuksessa

5.5 Yläpohjapalkin kannatinpalkki

Alustavasti kannatinpalkiksi on suunniteltu 50x200mm sahatavara C24, mutta materiaali tarkentuu mitoituksen jälkeen. Mitoitus rajataan tämän opinnäytetyön ulkopuolelle, koska mitoitus tapahtuu kuten yläpohjapalkilla. Palkin sijainti rakennuksessa havainnollistetaan punaisella kuviossa 29.



Kuvio 29. Yläpohjapalkin kannatinpalkin sijainti rakennuksessa

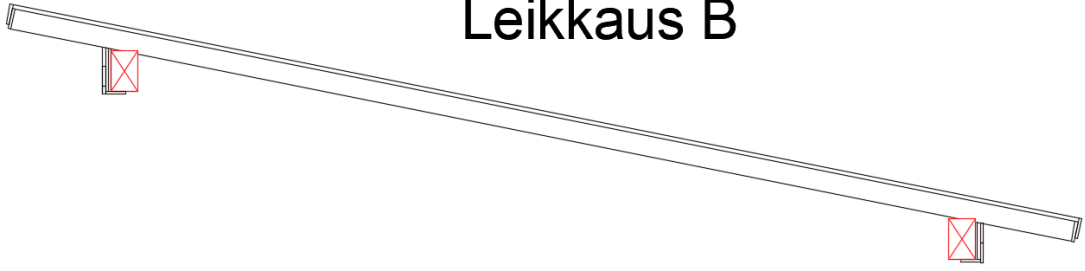
5.6 Ikkunapalkki

Mitoituksen edetessä lasketaan, että riittääkö ikkunoiden kohdalla yläpohjapalkin kannatinpalkki kannattamaan myös ikkunoiden kohdat, vai onko järkevää pienentää yläpohjankannatinpalkkia ja asentaa erilliset palkit ikkunoiden kohdalle. Mitoitus rajataan tämän opinnäytetyön ulkopuolelle, koska mitoitus tapahtuu kuten yläpohjapalkilla.

5.7 Kuistinpalkki

Kuistin kohdalla ei ole runkotolppia, joten palkkien on kannatettava katon kuormat kuistin kohdalla. Kannatinpalkiksi on mitoitettu 200 x 300 x 3800 mm sahatavara C24. Taivutuslujuuden ja kiepahdusmitoituksen käyttöasteeksi mitoitettiin 61 %. Taipuman käyttöaste on 84 %, leikkausmitoituksen käyttöaste on 31 %, vesikatotopalkilta tukipainemitoitus on 41 %, ja runkotolpalle tukipainemitoitus on 75 %. Kannatinpalkin sijainti rakennuksessa havainnollistetaan punaisella kuviossa 30. Palkin laskenta suoritetaan liitteen 3 mukaisesti.

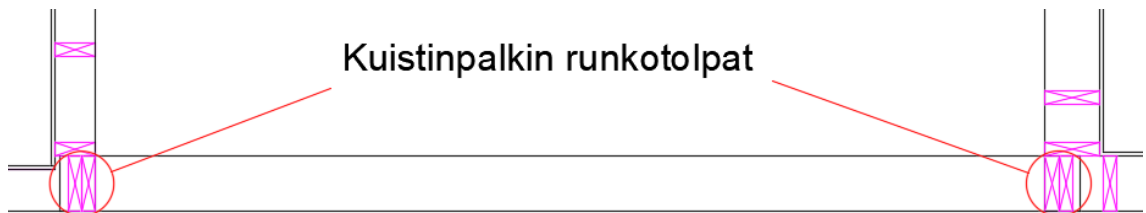
Leikkaus B



Kuvio 30. Kuistin kohdalla vesikaton kannatinpalkin sijainti rakennuksessa

5.8 Kuistinpalkin runkotalppa

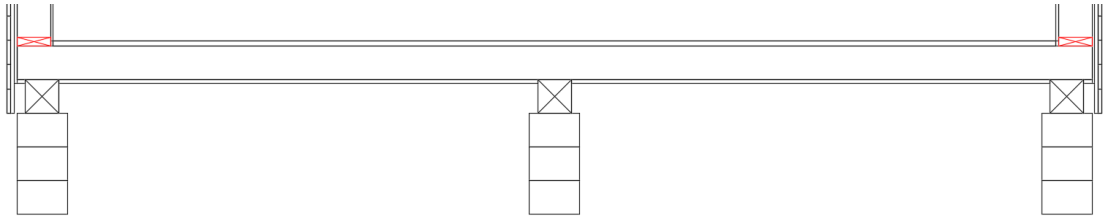
Runkotalpiksi on mitoitettu C24 sahatavara 100 x 200 mm. Eristepaksuus määrittää 200mm syvyyden, ja tukipaine sekä nurjahduskestävyys mitoittavat 100 mm paksuuden. Käyttöasteeksi tulee n. 70 %. Runkotalpan sijainti rakennuksessa havainnollistetaan punaisella kuviossa 31. Runkotalpan laskenta suoritetaan liitteen 4 mukaisesti.



Kuvio 31. Kuistin palkin runkotalppien sijainti rakennuksessa

5.9 Alasidepuu

Alasidepuu mitoitetaan ja tarkistetaan sen riittävyys siirtää kuormat alapohjaan ja alapohjapalkille. Mitoituksessa huomataan onko tarvetta lisätä syrjälleen tukipuu alasidepuun yläpuolelle tai alapohjapalkkien päätyyn kehäpalkiksi. Mitoitus rajataan tämän opinnäytetyön ulkopuolelle, koska mitoitus tapahtuu kuten yläpohjapalkilla. Alasidepuun sijainti rakennuksessa havainnollistetaan punaisella kuviossa 32.

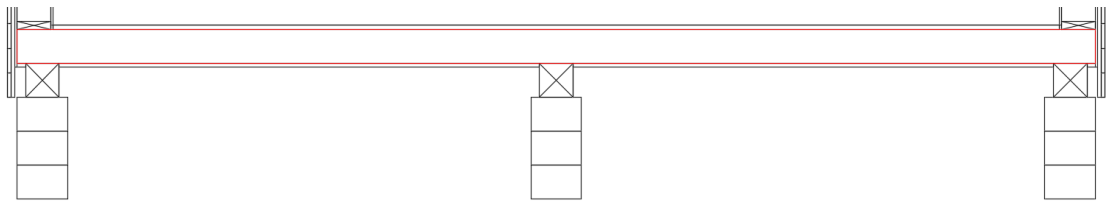


Leikkaus A

Kuvio 32. Alasidepuun sijainti rakennuksessa

5.10 Alapohjapalkki

Alapohjapalkkina suunniteltu C24 sahatavara 50 x 200 mm, mutta materiaali tarkentuu mitoituksen jälkeen. Mitoitus rajataan tämän opinnäytetyön ulkopuolelle, koska mitoitus tapahtuu kuten yläpohjapalkilla. Palkin sijainti rakennuksessa havainnollistetaan punaisella kuviossa 33.

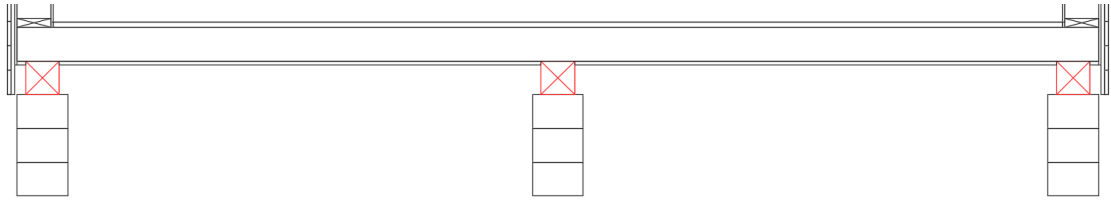


Leikkaus A

Kuvio 33. Alapohjapalkin sijainti rakennuksessa

5.11 Alapohjan kannatinpalkki

Alapohjan kannatinpalkki siirtää koko rakennuksen yläpuoliset kuormat pilariperustuksille. Palkki mitoitetaan ja materiaali tarkentuu mitoituksen jälkeen. Mitoitus rajataan tämän opinnäytetyön ulkopuolelle, koska mitoitus tapahtuu kuten yläpohjapalkilla. Palkin sijainti rakennuksessa havainnollistetaan punaisella kuviossa 34.



Leikkaus A

Kuvio 34. Alapohjapalkin sijainti rakennuksessa

5.12 Jäykistys

Pientalon jäykistäminen on tärkeä toimenpide, jolla varmistetaan rakennuksen kestävyys ja turvallisuus vaakakuormituksia vastaan. Näitä kuormituksia ovat esimerkiksi tuuli, maanjäristykset, lumikuormat ja maaperän liikkuminen. Tuuli on yksi merkittävimmistä vaakakuormituksista. Tuulen vaikutus pientaloon riippuu rakennuksen muodosta, korkeudesta, sijainnista ja ympäröivän maaston ominaisuuksista. Rakennuksen tulee olla suunniteltu kestävä paikalliset tuuliolosuhteet ja määräykset. Jäykistämistoimenpiteet voivat vaihdella riippuen pientalon rakenteesta ja sen heikkouksista. Maanjäristys on Suomessa epätodennäköisin vaakakuorman aiheuttaja, mutta lumikuorma ja maapohjan pettämisen vuoksi maaperän liikkuminen on otettava jäykistyksessä huomioon. (RIL 244-2007, 13-30.)

Ristikkorakenteet ovat yksi tehokkaimmista tavoista jäykistää pientaloa. Ne ovat yleensä puusta tai teräksestä valmistettuja kolmiomaisia rakenteita, jotka asennetaan lattia-, katto- tai seinärakenteisiin. Ristikkorakenteet vähentävät rakennuksen taipumista ja vääntymistä sekä siirtävät vaakakuormituksia pystykuormitukseksi perustuksille. (RIL 244-2007, 13-30.)

Jäykistysseinät ovat yleensä puusta tai teräksestä valmistettuja seinäpaneeleita, jotka asennetaan rakennuksen sisälle tai ulkopuolelle. Havuvanerit ja kipsilevyt ovat yleisiä jäykistyslevyjä jäykisteseinissä. (RIL 244-2007, 13-30.)

Kattorakenteiden lujittaminen voi auttaa vähentämään pientalon taipumista ja vääntymistä. Kattotuolit voidaan vahvistaa lisälaudoituksella, metallisilla kulma-raudoilla tai esimerkiksi puurakenteisilla ristikkopukeilla ja ristikkopalkeilla. (RIL 244-2007, 13-30.)

Jos pientalon perustukset ovat heikot, niitä voidaan vahvistaa lisäämällä pilareita tai tukiseiniä. Pilareiden ja tukiseinien avulla voidaan lisätä perustusten jäykkyyttä ja kestävyyttä. (RIL 244-2007, 13-30.)

Jäykistyksen mitoitus rajataan tämän opinnäytetyön ulkopuolelle.

6 POHDINTA

Pientalon rakennesuunnittelussa on mitoitettavia kohteita lukuisia ja niiden variaatioita on tapauskohtaisesti useita. Opinnäytetyön aihetta valitessa ei vielä ollut ymmärrystä siitä, että kuinka montaa asiaa on otettava huomioon ja miten eri materiaalivalinnat vaikuttavat kuormitukseen. Työn edetessä kävi ilmi, että olisi helpompaa ja edullisempaa tehdä rakennus kattoristikoidilla, koska nyt palkkirakenteella suunniteltuna on oltava kertopuupalkki vesikatolle ja yläpohjapalkkina myös kattoristikoon verrattuna vahvempaa puurakennetta. Ristikkorakenne toisi molemmat edellä mainitut rakenteet ja olisi kustannustehokkaampaa ajallisesti ja taloudellisesti.

Palkkien ja pilareiden mitoitusta suunnitellessa tuntuivat mitoitukset selkeiltä, koska kursseilla oli ollut hyviä mitoitusesimerkkejä. Mitoituksen edetessä kuitenkin huomasin että esimerkit eivät kaikilta osin olleetkaan suoraan kopioitavissa, vaan joutuu yhdistämään ja soveltamaan useiden eri tehtävien mitoituksia. Soveltamalla joutui tutkimaan asiaa ja palauttamaan mieleen opittuja asioita, joita ei pitkään aikaan ole ollut tarvetta käyttää. Puuinfon ja kurssien materiaaleilla pystyi mitoituksessa etenemään lopputulokseen.

Laskentaohjelmina käytin Excel- ja Mathcad-ohjelmia. Molemmissa ohjelmissa oli omat hyvät ominaisuudet ja molemmilla pystyy mitoituksia tekemään. Mathcadin etuna on se, että voi kaavoja käyttää samassa muodossa kuin ne esitetään mitoitushjeistuksissa. Arvot muuttujille annettaessa tulos saadaan kaavasta helposti luettavassa muodossa oikeilla laatuysiköillä näkyviin, sillä ohjelma osaa ottaa huomioon laatuysiköt. Excel-ohjelmassa on osattava mitoittajan huolehtia yksiköiden oikeellisuudesta. Excel-ohjelmassa on hyvänä ominaisuutena se, että laskentapohjan kun on tehnyt, niin siihen saa visuaalisesti helposti ehtomäärityksiä. Esimerkiksi jos käyttöaste ylittää 100 %, niin silloin teksti tai ruutu muuttuu punaiseksi, ja helpottaa mitoituksen lopputuloksen tulkintaa. Voi olla että ohjelmien syvemmällä opettelulla molemmista löytyisi tarvittavat toiminnot, mutta se selviää tulevaisuudessa kun käyttökokemus ohjelmista kasvaa.

Opinnäytetyön aiheen valinta viivästyi liikaa, sillä olisi ollut huomattavasti helpompaa tehdä lopputyötä silloin kun oli asian omaksunut kurssilla ja osasi hyödyntää

ja soveltaa opittua. Kurssin opettajalta olisi myös ollut helppo kysyä neuvoa omassa lopputyössä kohtaamiinsa haasteisiin.

Aloitin vieraan alan opinnot, koska halusin ymmärtää miksi rakennukset rakennetaan nykyisillä menetelmillä, ja miksi ne pysyvät paikallaan sortumatta. Rakennesuunnittelu koulutus on antanut vastauksia juurikin niihin kysymyksiin joita olen usein miettinyt ja tämäkin opinnäytetyön aihe on esimerkki siitä, että aihe on kiinnostava ja hyödyllinen.

Työn ohessa opiskelevana on vaikea löytää riittävästi aikaa perehtyä aiheeseen ja sen vuoksi on monessa mitoitettavassa kohdassa merkintä, että mitoitus rajataan tämän opinnäytetyön ulkopuolelle. Kohteen rakenteiden mitoitus jatkuu tämänkin opinnäytetyön palautuksen jälkeen, jotta kaikkiin kohtiin saadaan mitoitettua rakenteet, koska kohde on tarkoitus rakentaa.

LÄHTEET

Aurinkovirta. Viitattu 19.3.2023 <https://aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/aurinkopaneelit>.

Ekovilla. Viitattu 18.3.2023 <https://ekovilla.com/tuotteet/ekovillalevy>.

Kerabit. Aluskate. Viitattu 18.3.2023 <https://tuotteet.kerabit.fi/tuotteet/katot/aluskermit-ja-aluskatteet/37/kerabit-700-ub>.

Kerabit. Kate. Viitattu 18.3.2023 <https://tuotteet.kerabit.fi/tuotteet/katot/bitumi-paanukatto/4/kerabit-k>.

Makkonen, L. 2010. Lumen ja jään kerääntymiseen liittyvät kuormitukset.

Puuinfo. 2020a. Eurokoodi 5. Lyhennetty suunnitteluohje 5. painos. Viitattu 17.3.2023 <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Eurokoodi-5-Lyhennetty-suunnitteluohje-5.-PAINOS-2020-P%C3%84IVITYS-22.7.-web.pdf>.

Puuinfo. 2020b. Eurokoodi 5. Sovelluslaskelmat, Asuinrakennus. Viitattu 17.3.2023 <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/ec5-sovelluslaskelmat-asuinrakennus0.pdf>.

Rakentajain kalenteri 2011 (pp. 87-92). Rakennustieto Oy. Viitattu 25.3.2023 <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK110303.pdf>.

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

RIL 244-2007. 2007. Puurakenteiden jäykistyksen ja halkeilun hallinta. Suunnittelu- ja valmistusohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

LIITTEET

Liite 1. Vesikattopalkin mitoitus EXCEL-ohjelmalla

Liite 2. Yläpohjapalkin mitoitus EXCEL-ohjelmalla.

Liite 3. Kuistin vesikaton kannatinpalkin mitoitus MathCad-ohjelmalla.

Liite 4. Kuistin vesikaton kannatinpalkin pilarin mitoitus MathCad-ohjelmalla.

Liite 1 1(4).Vesikattopalkin mitoitus EXCEL-ohjelmalla.

Vesikatto Kertopuupalkin mitoitus			
Esitietoja:	Käyttöluokka:	2	
	Lyhin Mitoittava Aikaluokka:	keskipitkä	
	korjauskertoin (taulukosta) k_{mod} :	0,8	
	korjauskertoin(taulukosta) k_{def} :	0,8	
	Seuraamusluokka (CC1, CC2 tai CC3):	CC2	
	Seuraamusluokan mukainen kerroin k_{FI} :	1	
	pysyvän kuorman kerroin MRT:	1,15	
	muuttuvan kuorman kerroin MRT:	1,5	
Palkin tiedot:	palkin leveys b :	51	mm
	palkin korkeus h :	300	mm
	palkin poikkileikkauksen pinta-ala A :	15300	mm ²
	kantavien seinien vapaaväli L_1 :	6,075	m
	Palkin jänneväli + 5%, jos ei tiedetä tukileveyttä $L_{5\%}$:	6,37875	m
	palkin pituus kun tiedetään tukileveys L_2 :	6,2	m
	kantavien palkkien palkkiväli k :	0,7	m
	palkin taivutuslujuuden ominaisarvo (taulukosta) $f_{m,k}$:	44	N/mm ²
	materiaalin osavarmuuskerroin(taulukosta) γ_M :	1,2	
	Palkin leikkauskestävyys (taulukosta) $f_{v,k}$:	4,1	N/mm ²
	Palkin puristuskestävyys syrjällä (taulukosta) $f_{c,90,k}$:	6	N/mm ²
	Taivutuslujuuden korjauskertoin (taulukosta) k_h : (taivutus- ja vetolujuudessa lasketaan, mutta puristuksessa ei)	1	
Kuormat:	vesikaton omapaino (pysyvä kuorma) G_{k1} :	0,27	kN/m ²
	palkin omapaino (pysyvä kuorma) G_{k2} :	0	kN/m ²
	välipohjan yläpuolisten kantamattomien väliseinien paino (pysyvä kuorma) G_{k3} :	0	kN/m ²
	lumikuorma (muuttuvakuorma) Q_{k1} :	2,4	kN/m ²
	tuulikuorma (muuttuvakuorma) Q_{k2} :	0	kN/m ²
Kuormitukset:	pysyvät kuormat g_k :	0,189	kN/m
	muuttuvat kuormat q_k :	1,68	kN/m

Liite 1 2(4).Vesikattopalkin mitoitus EXCEL-ohjelmalla.

Taivutusmitoitus:	Poikkileikkauksessa vaikuttava Taivutusmomentti MRT 1-aukkoisen palkki tasaisella kuormalla M_d : $M_d=(q*L^2)/8$	13,153	kNm
	laskelmissa käytettävä mitoitusarvo $f_{m,d}$: $f_{m,d}=k_{mod}*k_h*(f_{m,k}/\gamma_M)$	29,333	N/mm ²
	Suorakaideprofiilin poikkileikkauksen taivutusvastus W : $W=(b*h^2)/6$	765000	mm ³
	taivutusjännitys $\sigma_{m,d}$: $\sigma_{m,d}=M_d/W$	17,193	N/mm ²
	Mitoitusehto: $\sigma_{m,d} < f_{m,d}$	OK	
	Käyttöaste: $\sigma_{m,d} / f_{m,d}$:	59	%
Leikkausmitoitus:	Tasaisen kuorman 1-aukkoisen Tukireaktiot: $A_y = B_y$ Leikkausvoima $V_d = A_y$	10,949	kN
	Palkin Mitoituksen leikkauskestävyys $f_{v,d}$: $f_{v,d}=k_{mod}*(f_{v,k}/\gamma_M)$	2,733	N/mm ²
	Suorakaide Palkin leikkausjännitys $\sigma_{v,d}$: $\sigma_{v,d}=(3*V_d)/(2*A)$	1,073	N/mm ²
	Mitoitusehto: $\sigma_{v,d} \leq f_{v,d}$	OK	
	Käyttöaste: $\sigma_{v,d} / f_{v,d}$:	39	%
Tukipaine palkille:	Palkin puristuslujuuden mitoitusarvo $f_{c,90,d}$: $f_{c,90,d}=k_{mod}*(f_{c,90,k}/\gamma_M)$	4	N/mm ²
	Oletus, koska määritetään tukipinta-alaa: Tukipaine on yhtäsuuri kuin kestävyys: $\sigma_{c,90,d} = f_{c,90,d}$		
	Vaadittava pinta-ala on tukipaine / kuormituksella A_t : $A_t=N_d/\sigma_{c,90,d}$	2737	mm ²
	Vaadittava tukipinnan pituus palkin suunnassa X : $X=A_t/b$	53,674	mm
	Mitoitusehto: $\sigma_{c,90,d} < f_{c,90,d}$		

Liite 1 3(4).Vesikattopalkin mitoitus EXCEL-ohjelmalla.

Tukipaine tunnetulle kertospuu palkille mitoitettuna:	Kertopuulle kertoimen määrittäminen: $k_{c,90}$	1	
	Palkin kosketuspinnan pituus puun syiden suunnassa l :	125	mm
	Tehollinen kosketuspinnan pituus $l_{c,90,ef}$, kun palkki ylittää 50mm, 50mm:n kannattimen: 15mm+l+15mm	155	mm
	Kosketuspinnan pinta-ala, A :	6375	mm ²
	Tukipainekerroin $k_{c,\perp}=(l_{c,90,ef}/l)*k_{c,90}$:	1,24	
	Tukipaine $\sigma_{c,90,d}$ = Kuorma/kosketuspinnan pinta-alalla:	1,718	N/mm ²
	Käyttöaste: $\sigma_{c,90,d}/(f_{c,90,d}*k_{c,\perp})$	35	%
	Mitoitusehto: $\sigma_{c,90,d} < f_{c,90,d}*k_{c,\perp}$	OK	
Tukipaine tunnetulle sahapuiselle kannatinpalkille mitoitettuna:	korjauserroin (taulukosta) k_{mod} :	0,8	
	materiaalin osavarmuuskerroin(taulukosta) γ_M :	1,3	
	Palkin puristuskestävyys syrjällä (taulukosta) $f_{c,90,k}$	2,5	N/mm ²
	Palkin puristuslujuuden mitoitusarvo $f_{c,90,d}$: $f_{c,90,d}=k_{mod}*(f_{c,90,k}/\gamma_M)$	1,54	N/mm ²
	Sahapuulle kertoimen määrittäminen: $k_{c,90}$	1,25	
	Palkin kosketuspinnan pituus puun syiden suunnassa l :	51	mm
	Tehollinen kosketuspinnan pituus $l_{c,90,ef}$, kun palkki ylittää 50mm, 50mm:n kannattimen: 30mm+l+30mm	111	mm
	Palkin kosketuspinnan pituus puun syihin nähden 90 l :	125	mm
	Kosketuspinnan pinta-ala 125mm * 51mm, A :	6375	mm ²
	Tukipainekerroin $k_{c,\perp}=(l_{c,90,ef}/l)*k_{c,90}$:	2,7205882	
	Tukipaine $\sigma_{c,90,d}$ = Kuorma/kosketuspinnan pinta-alalla:	1,718	N/mm ²
	Käyttöaste: $\sigma_{c,90,d}/(f_{c,90,d}*k_{c,\perp})$	41	%
	Mitoitusehto: $\sigma_{c,90,d} < f_{c,90,d}*k_{c,\perp}$	OK	

Liite 1 4(4).Vesikattopalkin mitoitus EXCEL-ohjelmalla.

Taipumamitoitus:	Arvioidaan leikkausmuodonmuutoksen tarpeellisuus: Voidaan jättää huomioimatta jos $L/h > 12$	21	Ei huomioida
	Yksikkökuorma taipuman määrittelyssä q_{ref} :	1	kN/m
	Kimmomoduuli (taulukosta) $E_{0,mean}$:	13800	N/mm ²
	Liukumoduuli (taulukosta) G_{mean} :	600	N/mm ²
	Jäyhyysmomentti $I = (b \cdot h^3) / 12$:	114750000	mm ⁴
	Referenssikuormalla laskettu taipuma w_{ref} :	12	mm
	Hyötykuorma A, Yhdistelykerroin ψ_2 :	0,3	
	Pysyvän kuorman ja referenssikuorman suhde:	0,189	
	Muuttuvan kuorman ja referenssikuorman suhde:	1,68	
	Lopputaipuma pysyvistä kuormista:	4	mm
	Lopputaipuma muuttuvista kuormista:	25	mm
	Taipuma yhteensä kuormista:	29,4	mm
	Taipumaehto: Taipuman oltava pienempi kuin $L/200$:	31,0	mm
	Käyttöaste:	95,0	%
	Mitoitusehto:	OK	

Liite 2 1(3). Yläpohjapalkin mitoitus EXCEL-ohjelmalla.

Yläpohja Sahatavarapalkin mitoitus			
Esitietoja:	Käyttöluokka:	2	
	Lyhin Mitoittava Aikaluokka:	Pysyvä	
	korjauskertoin (taulukosta) k_{mod} :	0,6	
	korjauskertoin(taulukosta) k_{def} :	0,8	
	Seuraamusluokka (CC1, CC2 tai CC3):	CC2	
	Seuraamusluokan mukainen kerroin k_{F1} :	1	
	pysyvän kuorman kerroin MRT:	1,35	
	muuttuvan kuorman kerroin MRT:	1,5	
Palkin tiedot:	palkin leveys b :	50	mm
	palkin korkeus h :	200	mm
	palkin poikkileikkauksen pinta-ala A :	10000	mm ²
	kantavien seinien vapaaväli L₁ :	6	m
	Palkin jänneväli + 5%, jos ei tiedetä tukileveyttä L_{5%} :		m
	palkin pituus kun tiedetään tukileveys L₂ :	6,05	m
	kantavien palkkien palkkiväli k :	0,9	m
	palkin taivutuslujuuden ominaisarvo (taulukosta) f_{m,k} :	24	N/mm ²
	materiaalin osavarmuuskerroin(taulukosta) γ_M :	1,3	
	Palkin leikkauskestävyys (taulukosta) f_{v,k} :	4	N/mm ²
	Palkin puristuskestävyys syrjällään (taulukosta) f_{c,90,k} :	2,5	N/mm ²
	Taivutuslujuuden korjauskertoin (taulukosta) k_h : (taivutus- ja vetolujuudessa lasketaan, mutta puristuksessa ei)	1	
	Kuormat:	välipohjan omapaino (pysyvä kuorma) G_{k1} :	0,33
palkin omapaino (pysyvä kuorma) G_{k2} :		0	kN/m ²
välipohjan yläpuolisten kantamattomien väliseinien paino (pysyvä kuorma) G_{k3} :		0	kN/m ²
hyötykuorma (muuttuvakuorma) Q_{k1} :		0	kN/m ²
hyötykuorma (muuttuvakuorma) Q_{k2} :		0	kN/m ²
Kuormitukset:	pysyvät kuormat g_k :	0,297	kN/m
	muuttuvat kuormat q_k :	0	kN/m

Liite 2 2(3). Yläpohjapalkin mitoitus EXCEL-ohjelmalla.

Taivutusmitoitus:	Poikkileikkauksessa vaikuttava Taivutusmomentti MRT 1-aukkoisen palkki tasaisella kuormalla $M_d:$ $M_d=(q*L^2)/8$	1,834	kNm
	laskelmissa käytettävä momentti $f_{m,d}:$ $f_{m,d}=k_{mod}*k_h*(f_{m,k}/\gamma_M)$	11,077	N/mm ²
	Suorakaideprofiilin poikkileikkauksen taivutusvastus $W:$ $W=(b*h^2)/6$	333333,33	mm ³
	taivutusjännitys $\sigma_{m,d}:$ $\sigma_{m,d}=M_d/W$	5,503	N/mm ²
	Mitoitusehto: $\sigma_{m,d} < f_{m,d}$	OK	
	Käyttöaste: $\sigma_{m,d} / f_{m,d}:$	50	%
Leikkausmitoitus:	Tasaisen kuorman 1-aukkoisen Tukireaktiot: $A_y = B_y$ Leikkausvoima $V_d = A_y$	1,213	kN
	Palkin Mitoituksen leikkauskestävyys $f_{v,d}:$ $f_{v,d}=k_{mod}*(f_{v,k}/\gamma_M)$	1,846	N/mm ²
	Suorakaide Palkin leikkausjännitys $\sigma_{v,d}:$ $\sigma_{v,d}=(3*V_d)/(2*A)$	0,182	N/mm ²
	Mitoitusehto: $\sigma_{v,d} \leq f_{v,d}$	OK	
	Käyttöaste: $\sigma_{v,d} / f_{v,d}:$	10	%
Tukipaine pinta-alalle mitoitettuna:	Palkin puristuslujuuden mitoitusarvo $f_{c,90,d}:$ $f_{c,90,d}=k_{mod}*(f_{c,90,k}/\gamma_M)$	1,154	N/mm ²
	Oletus, koska määritetään tukipinta-alaa: Tukipaine on yhtäsuuri kuin kestävyys: $\sigma_{c,90,d} = f_{c,90,d}$		
	Vaadittava pinta-ala on tukipaine / kuormituksella $A_t:$ $A_t=N_d/\sigma_{c,90,d}$	1051	mm ²
	Vaadittava tukipinnan pituus palkin suunnassa $X:$ $X=A_t/b$	21,023	mm
	Mitoitusehto: $\sigma_{c,90,d} < f_{c,90,d}$		

Liite 2 3(3). Yläpohjapalkin mitoitus EXCEL-ohjelmalla.

Tukipaine tunnelle kannatinpalkille mitoitettuna:	Havupuulle kertoimen määrittäminen: $l_1 > 2h$: $k_{c,90}$	1,25	
	Palkin kosketuspinnan pituus puun syiden suunnassa l:	50	mm
	Tehollinen kosketuspinnan pituus $l_{c,90,ef}$, kun palkki ylittää 50mm, 50mm:n kannattimen: $30mm+l+30mm$	110	mm
	Kosketuspinnan pinta-ala, A:	2500	mm ²
	Tukipainekerroin $k_{c,l}=(l_{c,90,ef}/l)*k_{c,90}$:	2,75	
	Tukipaine $\sigma_{c,90,d}$ = Kuorma/kosketuspinnan pinta-alalla:	0,485	N/mm ²
	Käyttöaste: $\sigma_{c,90,d}/(f_{c,90,d}*k_{c,l})$	15	%
	Mitoitusehto: $\sigma_{c,90,d} < f_{c,90,d} * k_{c,l}$	OK	
Taipumamitoitus:	Arvioidaan leikkausmuodonmuutoksen tarpeellisuus: Voidaan jättää huomioimatta jos $L/h > 12$	30	Ei huomioida
	Yksikkökuorma taipuman määrittelyssä q_{ref} :	1	kN/m
	Kimmomoduuli (taulukosta) $E_{0,mean}$:	11000	N/mm ²
	Liukumoduuli (taulukosta) G_{mean} :	690	N/mm ²
	Jäyhyysmomentti $I=(b*h^3)/12$:	33333333	mm ⁴
	Referenssikuormalla laskettu taipuma w_{ref} :	48	mm
	Hyötykuorma A, Yhdistelykerroin ψ_2 :	0,3	
	Pysyvän kuorman ja referenssikuorman suhde:	0,297	
	Muuttuvan kuorman ja referenssikuorman suhde:	0	
	Lopputaipuma pysyvistä kuormista:	26	mm
	Lopputaipuma muuttuvista kuormista:	0	mm
	Taipuma yhteensä kuormista:	25,9	mm
	Taipumaehto: Taipuman oltava pienempi kuin $L/200$:	30,3	mm
	Käyttöaste:	85	%
Mitoitusehto:	OK		

Liite 3 1(6). Kuistin vesikaton kannatinpalkin mitoitus MathCad-ohjelmalla

Kuistin vesikaton kannatinpalkin mitoitus

$$L_k := \frac{8 \text{ m}}{2} = 4 \text{ m}$$

Kuorman kerääntymispituus eli puolet vesikattopalkista

$$\mu := 0.8$$

Katon muotokerroin, kattokulma 11.31°

$$s_{kk} := 0.7 \text{ m}$$

Kattopalkkijako

$$g_{katto} := 0.29 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Vesikaton omapaino

$$q_{lum} := 2.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Lumikuorma katolla, Rovaniemi

$$G_k := g_{katto} \cdot L_k \cdot s_{kk} = 0.812 \text{ kN}$$

Pysyvä kuorma. Tukireaktio yhdeltä palkilta

$$Q_k := q_{lum} \cdot L_k \cdot s_{kk} = 6.72 \text{ kN}$$

Muuttuva kuorma. Tukireaktio yhdeltä palkilta

MRT- yhdistelyt:

$$P_{d1} := 1.35 \cdot G_k = 1.096 \text{ kN}$$

$$P_{d2} := 1.15 \cdot G_k + 1.5 \cdot Q_k = 11.014 \text{ kN}$$

$$P_d := \max(P_{d1}, P_{d2}) = 11.014 \text{ kN} \quad \text{Mitoituksessa käytettävä MRT kuormitus}$$

KRT- yhdistely:

$$P_k := G_k + Q_k = 7.532 \text{ kN}$$

Taivutusmitoitus sahatavarapalkki:

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

palkin leveys

$$h := 300 \text{ mm}$$

palkin korkeus

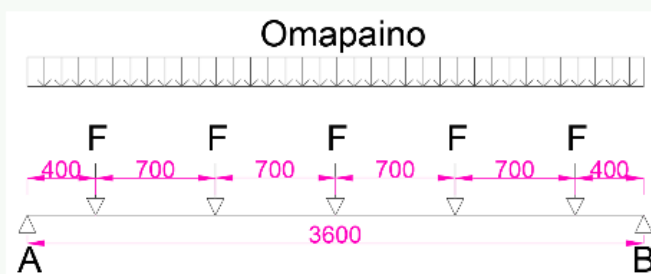
$$l_1 := 100 \text{ mm}$$

palkin tukileveys

$$L := 3.5 \text{ m} + l_1 = 3.6 \text{ m}$$

palkin pituus+tukileveys

Määräävä kuormitusilanne:



$$F := P_d = 11.014 \text{ kN}$$

$$G_{op} := \left(5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}\right) \cdot (b \cdot h) \cdot L = 1.08 \text{ kN}$$

Palkin omapaino

$$A_{y,t} := \frac{F \cdot 0.4 \text{ m} + F \cdot 1.1 \text{ m} + F \cdot 1.8 \text{ m} + F \cdot 2.5 \text{ m} + F \cdot 3.2 \text{ m} + G_{op} \cdot 1.8 \text{ m}}{L} = 28.075 \text{ kN}$$

Tukireaktio

$$M_d := F \cdot 0.4 \text{ m} + F \cdot 1.1 \text{ m} + \frac{F \cdot 1.8 \text{ m}}{2} + \frac{G_{op} \cdot L}{8} = 26.919 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Liite 3 2(6). Kuistin vesikaton kannatinpalkin mitoitus MathCad-ohjelmalla

Materiaalin taivutuslujuus:

Mitoitusehto: $\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$

Rakenne on ulkoilmassa kuivana oleva rakenne => käyttöluokka 2

$k_{mod} := 0.8$ aikaluokka: keskipitkä ja käyttöluokka 2

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

$\gamma_M := 1.3$ sahatavaran materiaaliosavarmuusluku

$k_h := 1.0$ taivutuslujuuden korjauskerroin

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

$W := \frac{b \cdot h^2}{6} = 3000000 \text{ mm}^3$ poikkileikkauksen taivutusvastus

$\sigma_{m,d} := \frac{M_d}{W} = 8.973 \frac{N}{mm^2}$

$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d} = 1$ Arvolla 1 on ehtolause tosi

$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \cdot 100 = 60.8$ % Käyttöaste

Kiepahdusmitoitus:

Kriittinen taivutusjännitys

$c := 0.78$ sahatavara, havupuu

$a := s_{kk} = 0.7 \text{ m}$ kiepahduksen estävät poikittaistuet, kattopalkit

$l_{ef} := a + 2 \cdot h = 1.3 \text{ m}$ tehollinen kiepahduspituus

$E_{0.05} := 7400 \frac{N}{mm^2}$ Sahapuun Kimmokertoimen 5% fraktiili

$\sigma_{m,crit} := \frac{c \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 592 \frac{N}{mm^2}$ Kriittinen taivutusjännitys

Suhteellista hoikkuutta kuvaavan kertoimen $\lambda_{rel,m}$ määrittäminen:

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

$\lambda_{rel,m} := \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = 0.201$ Suhteellista hoikkuutta kuvaava kerroin

$k_{crit} := 1$ Taivutuslujuuden kerroin (kun $\lambda_{rel,m} \leq 0.75 = 1$)

Mitoitusehto: $\sigma_{m,d} < k_{crit} \cdot f_{m,d} = 1$ Arvolla 1 ehtolause tosi

$\frac{\sigma_{m,d}}{(k_{crit} \cdot f_{m,d})} \cdot 100 = 60.8$ % Käyttöaste

Liite 3 3(6). Kuistin vesikaton kannatinpalkin mitoitus MathCad-ohjelmalla

Taipuman määrittäminen:

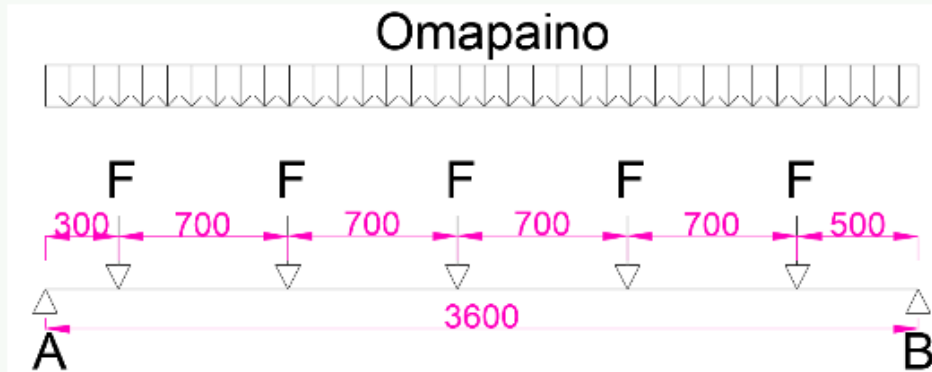
$L = 3.6 \text{ m}$	Palkin pituus
$h = 0.3 \text{ m}$	Palkin korkeus
$b = 0.2 \text{ m}$	Palkin leveys
$\frac{L}{h} = 12 < 12$	Ei tarvetta huomioida leikkausmuodonmuutosta
$E_{0,mean} := 11000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Keskimääräinen kimmomoduuli (havupuu)
$G_{mean} := 690 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Keskimääräinen liukumoduuli (havupuu)
$I := \frac{b \cdot h^3}{12} = 450000000 \text{ mm}^4$	Poikkileikkauksen jäyhyyshmomentti
$A := b \cdot h = 60000 \text{ mm}^2$	Poikkileikkauksen pinta-ala
$F_{ref,F} := 1 \text{ kN}$	Yksikkökuorma, kattopalkki
$F_{ref,o} := 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Yksikkökuorma, omapaino
$w_{ref,o} := \frac{5 \cdot F_{ref,o} \cdot L^4}{384 \cdot E_{0,mean} \cdot I} = 0.442 \text{ mm}$	Taipuma yksikkökuorma, omapaino
$w_{ref,F} := \frac{F_{ref,F} \cdot L^3}{48 \cdot E_{0,mean} \cdot I} = 0.196 \text{ mm}$	Taipuma yksikkökuorma, kattopalkki 1800mm
$l_{b1} := 400 \text{ mm}$	
$l_{b2} := 1100 \text{ mm}$	
$w_{ref,b1} := \left(\frac{F_{ref,F} \cdot l_{b1} \cdot L^2}{27 \cdot E_{0,mean} \cdot I} \cdot \sqrt{3 \cdot \left(1 - \frac{l_{b1}^2}{L^2} \right)^3} \right) \cdot 2 = 0.132 \text{ mm}$	Taipuma yksikkökuorma, kattopalkki 400mm
$w_{ref,b2} := \left(\frac{F_{ref,F} \cdot l_{b2} \cdot L^2}{27 \cdot E_{0,mean} \cdot I} \cdot \sqrt{3 \cdot \left(1 - \frac{l_{b2}^2}{L^2} \right)^3} \right) \cdot 2 = 0.319 \text{ mm}$	Taipuma yksikkökuorma, kattopalkki 1100mm
$w_{ref} := w_{ref,o} + w_{ref,F} + w_{ref,b1} + w_{ref,b2} = 1.089 \text{ mm}$	Yksikkökuorma, kokonaistaipuma

$k_{def} := 0.8$	Virumaluku, huomioi kosteusolosuhteet. Sahatavara, käyttöluokka 2
$\psi_2 := 0.2$	Yhdistelykerroin, lumikuorma $s_k \geq 2.75$
$G_k = 0.812 \text{ kN}$	Omakuorma. Tukireaktio yhdeltä palkilta
$Q_k = 6.72 \text{ kN}$	Lumikuorma. Tukireaktio yhdeltä palkilta
$F_{Gk} := \frac{G_k}{\text{kN}} = 0.812$	
$F_{Qk} := \frac{Q_k}{\text{kN}} = 6.72$	Laaduton luku, koska yksikkö on jo huomioitu referenssikuormassa
$w_{fin,G} := (1 + k_{def}) \cdot w_{ref} \cdot F_{Gk} = 1.592 \text{ mm}$	
$w_{fin,Q} := (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \cdot w_{ref} \cdot F_{Qk} = 8.489 \text{ mm}$	
$w_{fin} := w_{fin,Q} + w_{fin,G} = 10.081 \text{ mm}$	
$\frac{L}{300} = 12 \text{ mm}$	
$\frac{w_{fin}}{\left(\frac{L}{300} \right)} \cdot 100 = 84.009 \%$	Käyttöaste

Liite 3 4(6). Kuistin vesikaton kannatinpalkin mitoitus MathCad-ohjelmalla

Leikkausmitoitus:

Määräävä kuormitustilanne:



Tukireaktio A (lasketaan kiertäen tuen B ympäri vastapäivään)

$$A_{y,l} := \frac{F \cdot 0.5 \text{ m} + F \cdot 1.2 \text{ m} + F \cdot 1.9 \text{ m} + F \cdot 2.6 \text{ m} + F \cdot 3.3 \text{ m} + G_{op} \cdot 1.8 \text{ m}}{3.6 \text{ m}} = 29.604 \text{ kN}$$

$$V_d := A_{y,l} = 29.604 \text{ kN}$$

Mitoittava leikkausvoima

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

Palkin materiaalin leikkauskestävyys ominaisarvo

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

Palkin materiaalin leikkauskestävyys mitoitusarvo

$$A := b \cdot h = 0.06 \text{ m}^2$$

palkin poikkileikkauksen pinta-ala

$$\sigma_{v,d} := \frac{3 \cdot V_d}{2 \cdot A} = 0.74 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

palkin leikkausjännitys

Mitoituksen tarkistus ehtolauseella:

$$\sigma_{v,d} < f_{v,d} = 1$$

Arvolla 1 on ehtolause tosi

$$\frac{\sigma_{v,d}}{f_{v,d}} \cdot 100 = 30.067 \%$$

Käyttöaste

Liite 3 5(6). Kuistin vesikaton kannatinpalkin mitoitus MathCad-ohjelmalla

Tukipainemitoitus vesikattopalkilta:

Kattopalkilta tuleva kuorma:

$$P_d = 11.014 \text{ kN}$$

Kosketuspinnan pituus syiden suunnassa (kannatinpalkki):

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

Kosketuspinnan leveys (kannatinpalkki):

$$b_2 := 125 \text{ mm}$$

$$A := l \cdot b_2 = 6375 \text{ mm}^2 \quad \text{Kosketuspinnan pinta-ala}$$

$$l_1 > 2 h$$

$$k_{c.90} := 1.25 \quad \text{Sahatavara, havupuu}$$

$$l_{c.90.ef} := 30 \text{ mm} + l + 30 \text{ mm} = 111 \text{ mm}$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus, kun kannatinpalkki ohittaa vesikattopalkin ulkoreunan 75mm

$$k_{c.90_} := \frac{l_{c.90.ef}}{l} \cdot k_{c.90} = 2.721$$

Tukipainekerroin

Materiaalin puristuskestävyys syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa:

$$\lambda_M := 1.3$$

Havupuun materiaalin osavarmuuskerroin

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

Sahatavaran C24 ominaispuristuslujuus syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa

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

Materiaalin mitoituslujuus syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa

$$\sigma_{c.90.d} := \frac{P_d}{A} = 1.728 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

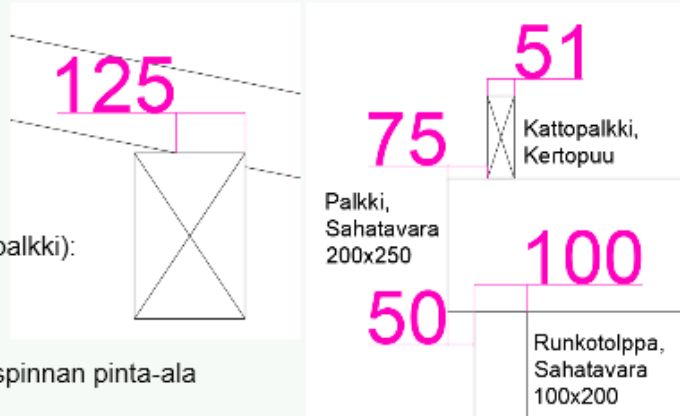
Tukipaine

$$\sigma_{c.90.d} < f_{c.90.d} \cdot k_{c.90_} = 1$$

Arvolla 1 ehto toteutuu!

$$\frac{\sigma_{c.90.d}}{f_{c.90.d} \cdot k_{c.90_}} \cdot 100 = 41.3 \%$$

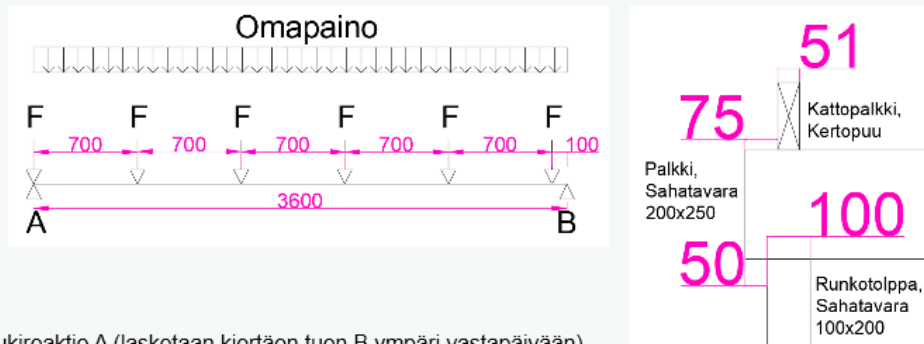
Käyttöaste



Liite 3 6(6). Kuistin vesikaton kannatinpalkin mitoitus MathCad-ohjelmalla

Kannatinpalkin ja runkotolpan välinen tukipaine

Määräävä kuormitusilanne:



Tukireaktio A (lasketaan kiertäen tuen B ympäri vastapäivään)

$$A_{y,t} := \frac{F \cdot 0.1 \text{ m} + F \cdot 0.8 \text{ m} + F \cdot 1.5 \text{ m} + F \cdot 2.2 \text{ m} + F \cdot 2.9 \text{ m} + F \cdot 3.6 \text{ m} + G_{op} \cdot 1.8 \text{ m}}{3.6 \text{ m}} = 34.499 \text{ kN}$$

$$l_3 := 100 \text{ mm}$$

Kosketuspinnan pituus syiden suunnassa (kannatinpalkki):

$$b_3 := 150 \text{ mm}$$

Kosketuspinnan leveys (kannatinpalkki):

$$A_3 := l_3 \cdot b_3 = 15000 \text{ mm}^2$$

Kosketuspinnan pinta-ala

$$l_1 > 2 h$$

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

Sahatavara, havupuu

$$l_{c,90,ef} := 30 \text{ mm} + l_3 + 30 \text{ mm} = 160 \text{ mm}$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus, kun kannatinpalkki ohittaa tolpan ulkoreunan 50mm

$$k_{c,90} := \frac{l_{c,90,ef}}{l_3} \cdot k_{c,90} = 2$$

Tukipaineerroin

Materiaalin puristuskestävyys syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa:

$$k_{mod} = 0.8$$

aikaluokka: keskipitkä ja käyttöluokka 2

$$\lambda_M := 1.3$$

Havupuun materiaalin osavarmuuskerroin

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

Sahatavaran C24 ominaispuristuslujuus syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa

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

Materiaalin mitoituslujuus syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa

$$\sigma_{c,90,d} := \frac{A_{y,t}}{A_3} = 2.3 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Tukipaine

$$\sigma_{c,90,d} < f_{c,90,d} \cdot k_{c,90} = 1$$

Arvolla 1 ehto toteutuu!

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{f_{c,90,d} \cdot k_{c,90}} \cdot 100 = 74.7 \%$$

Käyttöaste

(Käyttöaste 91.8%, jos palkki päättyy tolpan reunan tasalle.

$$l_{c,90,ef} := 30 \text{ mm} + l_3 + 0 \text{ mm} = 130 \text{ mm})$$

Liite 4 1(1). Kuistin vesikaton kannatinpalkin pilarin mitoitus MathCad-ohjelmalla.

Kuistin kannatinpalkin pilarin mitoitus:

$$b_{kp} := 2 \cdot 50 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

poikkileikkauksen leveys

$$h_{kp} := 200 \text{ mm}$$

poikkileikkauksen korkeus

$$A_{kp} := b_{kp} \cdot h_{kp} = 20000 \text{ mm}^2$$

poikkileikkauksen pinta-ala

$$L_{kp} := 4006 \text{ mm}$$

sauvan pituus

$$L_{c.kp} := L_{kp} = 4006 \text{ mm}$$

sauvan nurjahduspituus
(nivelet sauvan päissä)

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

C24, liukumoduulin 0,05 fraktiilin ominaisarvo

$$f_{c,0,k} := 21 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Puristuslujuuden ominaisarvo
Sahatavara C24

$$I_{kp} := \frac{h_{kp} \cdot b_{kp}^3}{12} = 16666666.667 \text{ mm}^4$$

jähyyshmomentti

$$i_{kp} := \sqrt{\frac{I_{kp}}{A_{kp}}} = 28.868 \text{ mm}$$

jähyyssäde

$$\lambda_{kp} := \frac{L_{c.kp}}{i_{kp}} = 138.772$$

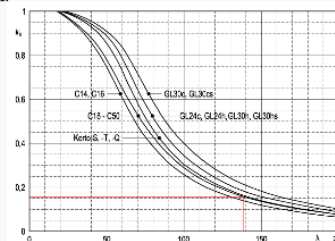
hoikkuusluku

$$\lambda_{rel.kp} := \frac{\lambda_{kp}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 2.353$$

muunnettu
hoikkuus

$$k_c := 0.16$$

nurjahduskerroin (käyrältä katsottuna)



Nurjahduskerroin laskemalla:

$$\beta_c := 0.2$$

massiivipuulle, alkukäyrästä johtuva arvo (käyryys < L/300)

$$k_{kp} := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel.kp} - 0.3) + \lambda_{rel.kp}^2) = 3.474$$

kc arvon laskentakerroin. Huomioidaan
hoikkuuden ja alkukäyräyden vaikutus.

$$k_{c.kp} := \frac{1}{k_{kp} + \sqrt{k_{kp}^2 - \lambda_{rel.kp}^2}} = 0.166$$

Poikkileikkauksessa vaikuttava puristusjännitys:

Mitoitus suoritetaan murtorajatilassa mitoitusehdolla: $\sigma_{c,0,d} < k_c \cdot f_{c,0,d}$

$$f_{c,0,k} := 21 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Puristuslujuuden ominaisarvo taulukosta

$$k_{mod} := 0.8$$

$$\gamma_M = 1.3$$

$$f_{c,0,d.kp} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 14.769 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Puristuslujuuden mitoitusarvo

$$A_{kp} = 20000 \text{ mm}^2$$

$$A_{y,l} = 34.499 \text{ kN}$$

Pilariin kohdistuva puristus kuorma

$$\sigma_{c,0,d.kp} := \frac{A_{y,l}}{A_{kp}} = 1.725 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d.kp}}{k_{c.kp} \cdot f_{c,0,d.kp}} \cdot 100 = 70.4$$

Käyttöaste on 70.4%. OK.

50x200 pilarin käyttöasteeksi tulisi 539%, eli
vaatii kaksi pilaria tai yhden 100x200 pilarin