

Opinnäytetyö AMK

Rakennus ja yhdyskuntatekniikka

Rakennussuunnittelu

2021

Nestori Jokinen

# PIENTALON RAKENNESUUNNITTELU JA MITOITUS

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennus ja yhdyskuntatekniikka

2021 | 53 sivua, 24 liitesivua

Nestori Jokinen

## PIENTALON RAKENNESUUNNITTELU JA MITOITUS

Opinnäytetyössä suunnitellaan yksikerroksinen omakotitalo Maskuun. Erityisenä piirteenä on kohteessa käytettävä mittaluokittelematon satavara. Työ kohdistuu pääsääntöisesti kantavien rakenteiden mitoitukseen.

Työssä tulee ilmi pientaloprojektissa yleisimmin käytettyjen materiaalien mitoituksia, kuten kertopuu-, sahatavara- C18, C24, liimapuu- ja betonirakenteita.

Talon suunnittelussa otetaan huomioon lain mukaiset rakennusmääräykset ja -ohjeet.

### ASIASANAT:

pientalo, suunnittelutarveratkaisu, puurunko, lämmin tuulettuva alapohja, mittaluokittelematon sahatavara

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering

2021 | 53 pages, 24 pages in appendices

Nestori Jokinen

## STRUCTURAL DESIGN AND DIMENSIONING OF A SMALL HOUSE

The goal of this thesis is to plan a single-story one-family home in Masku. Special feature of this project is the unclassified wood frame. The work is primarily focused in structural design of the supporting structures of the building.

The work covers most commonly used building materials such as laminated veneer lumber, sawn timber C18 and C24 classification, glued laminated timber and concrete.

All construction laws and instructions are followed during the project

### KEYWORDS:

small house, one-family home, wood frame, warm ventilated bottom base, unclassified wood, the need of a design solution

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 RAKENNUSHANKKEEN ALOITUS</b>	<b>8</b>
2.1 Lähtökohdat	8
2.2 Lupapiirustukset	8
2.3 Tontin valinta	12
2.3.1 Kaavamääräykset	13
2.3.2 Suunnittelutarveratkaisu	13
2.4 Rakennuspaikan valinta	14
2.5 Tontin maaperä	14
2.6 Kunnallistekniikka	14
<b>3 RAKENTEET</b>	<b>15</b>
3.1 Pohjaratkaisun suunnittelu	15
3.2 Alapohja	15
3.3 Ulkoseinät	15
3.4 Vesikatto	16
<b>4 SUUNNITTELUPERUSTEET</b>	<b>17</b>
4.1 Materiaaliominaisuudet	17
4.1.1 Puurakenteet	17
4.1.2 Betonirakenteet	23
4.2 Kuormat	25
4.2.1 Pysyvät kuormat	25
4.2.2 Hyötykuorma	26
4.2.3 Lumikuorma	27
4.2.4 Tuulikuorma	29
4.3 Kuormitusyhdistelmät	33
4.4 Murtorajatila	33
4.5 Käyttörajatila	36
<b>5 RAKENTEIDEN MITOITUS</b>	<b>38</b>
5.1 Betonirakenteiden mitoitus	38
5.2 Puurakenteiden mitoitus	42

5.2.1 Murtorajatila mitoitus	42
5.2.2 Käyttörajatilan mitoitus	48
5.3 Jäykistys	50
<b>6 LOPUKSI</b>	<b>52</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>53</b>

## LIITTEET

- Liite 1. Kuormat, 2 sivua.  
 Liite 2. Sahatavaran mitoitukset, 3 sivua  
 Liite 3. NR-ristikon kannatinpalkin mitoitus, 4 sivua  
 Liite 4. Liimapuurakenteiden mitoitus, 11 sivua  
 Liite 5. Teräsbetonilaatan mitoitus, 4 sivua

## KAAVAT

Kaava 1. Materiaaliominaisuuden mitoitusarvo	22
Kaava 2. Puristuslujuuden mitoitusarvo	23
Kaava 3 . Betoniteräksen mitoituslujuus	25
Kaava 4. Lumikuorman arvo katolla	27
Kaava 5. Katon muotokertoimen kaava.	28
Kaava 6. Kokonaistuulivoima	31
Kaava 7. Rakenteen kestävyys	35
Kaava 8. Käyttörajatilan kaava	36
Kaava 9. Käyttörajatilan ominaisyhdistelmä.	37
Kaava 10. Taivutusmitoituksen mitoitusehto	39
Kaava 11. Taivutusmitoituksen mitoitusyhtälö	39
Kaava 12. Tasapainoraudoituksen ehto	40
Kaava 13. Tehollisen puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus	40
Kaava 14. Vähimmäisraudoitus	40
Kaava 15. Laatalle sovellettu vähimmäisraudoituksen kaava	40
Kaava 16. Rauditus terästen jako	41
Kaava 17. Taivutusvoimakestävyys	42
Kaava 18. Leikkausvoimakestävyys	43
Kaava 19. Tehollinen leveys	43
Kaava 20. Tukipainekestävyys	44
Kaava 21. Tukipainekerroin	44
Kaava 22. Suhteellinen hoikkuus	46
Kaava 23. Jännitysten ehdot	47
Kaava 24. Kokonaistaipuma	48
Kaava 25. Lopputaipuma	49

## KUVAT

Kuva 1. Pohjapiirros	9
Kuva 2. Rakenneleikkaus	10
Kuva 3. Julkisivut itään ja länteen	11
Kuva 4. Julkisivut pohjoiseen ja etelään	12
Kuva 5. MA-aluekaavan tunnus	13
Kuva 6. Lumikuormien arvoja maassa, paikkakunnittain	27
Kuva 7. Maastoluokat	30
Kuva 8. Teräsbetonilaatan vapaakappalekuva	38
Kuva 9. Tukipaine jatkuvalla tuella ja palkin tukipinnoilla tai kuormitus pisteissä	46

## TAULUKOT

Taulukko 1. Kuormien aikaluokat	17
Taulukko 2. Muunnoskertoimen $k_{mod}$ arvot	19
Taulukko 3. Kuormien aikaluokat	20
Taulukko 4. Materiaalien osavarmuusluvun $\gamma_M$ arvoja	20
Taulukko 5. Sahatavaran ja liimapuun materiaaliominaisuuksia	21
Taulukko 6. Kertopuun materiaaliominaisuuksia	22
Taulukko 7. Virumaluvun $k_{def}$ arvot eri puumateriaaleille	23
Taulukko 8. Betonin ja teräksen materiaaliosavarmuusluvut	24
Taulukko 9. Betonin lujuusluokat	24
Taulukko 10. Esimerkkejä rakennusmateriaalien omapainoista	26
Taulukko 11. Tavallisimpien hyötykuormien ominaisarvot	26
Taulukko 12. Katon muotokertoimen kaavat	28
Taulukko 13. Tuulensuojaisuuskerroin $C_e$	29
Taulukko 14. Nopeuspaineen ominaisarvot $q_{p0}$ (h)	31
Taulukko 15. Tehollinen hoikkuus $\lambda$	32
Taulukko 16. Voimakkeroin $c_f$	32
Taulukko 17. Yhdistelykertoimen $\psi$ arvot rakennuksille	34
Taulukko 18. Seuraamusluokat ja niiden määrittely	34
Taulukko 19. Seuraamusluokista saadut arvot kertoimelle $K_{FI}$	35
Taulukko 20. Tasapainoraudoituksen mukaiset $\mu_{bd}$ ja $\beta_{bd}$	39
Taulukko 21. Tankovälisäännöt, kahdesta arvosta pienempi on määräävä	41
Taulukko 22. Rakenteiden taipumien ja vaakasiirtymien enimmäisarvoja	50

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä omakotitalon rakennesuunnitteluun ja mitoittamiseen. Työssä suunnitellaan omakotitalon rakenteet toimiviksi, pitkäikäisiksi ja kustannustehokkaiksi, niin työvaiheiden, kuin käytön osalta.

Työn tavoitteena on rakentaa suunnitelmien mukainen omakotitalo. Työssä käydään läpi pääsääntöisesti omakotitalon puurakenteiden suunnittelua ja mitoittamista. Lisäksi mitoitetaan kantava teräsbetoni holvilaatta. Työssä käydään läpi myös kaavamääräyksiä ja luvanhakuprosessin kohtia.

Työssä käytetään lähdemateriaalina Suomen Rakennusinsinööri liiton ja Suomen Betoniyhdistyksen kirjallisuutta, sekä eurokoodeja.

## 2 RAKENNUSHANKKEEN ALOITUS

### 2.1 Lähtökohdat

Rakennuskohteen lähtökohdat ja vaatimukset tulee selvittää ennen rakennusprojektiin ryhtymistä. Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus suunnitella ja mitoittaa noin 130-150m<sup>2</sup>:n kolmen makuuhuoneen omakotitalo. Erityisenä huomiona taloon toivotaan isoa saunaa, reilun kokoista kodinhoitohuonetta, isoa osittain katettua terassia ja avokeittiötä.

Pää rakennusmateriaalina käytetään omasta metsästä kaadettua kuusipuuta. Itse sahattu puumateriaali ei ole leimattua lujuuden C24 omaavaa puutavaraa, vaan se mitoitetaan lujuusluokittelemattomaksi. Tämä antaa sahatavaralle lujuuden C18. Alustavasti suunnitellaan omaa puutavaraa käytettävän mahdollisimman paljon. Esimerkiksi alajuoksu, runkotolpat ja yläjuoksu mitoitetaan itse sahatusta puutavarasta. Kaikki mitoittelemattomat rakenteet tulevat myös lujuusluokittelemattomasta sahatavarasta, kuten julkisivupaneelit, koolaukset, ruode- ja räystäslaudat. NR-ristikon kannatinpalkit tulevat ker-topuusta ja C24-mitallistetusta sahatavarasta. Rungon paksuudeksi tavoiteltiin 200 mm, mutta tukit olivat liian pieniä, joten päädyttiin 175 mm paksuun runkoon. Eristys toteutetaan Ekovillan hengittävällä rakenneratkaisulla.

Päälämmitysjärjestelmäksi on suunniteltu vesitakkaa, joka lämmittää varaajan käyttö- ja lämmitysvettä takkaa poltettaessa. Taloon tulee iso yli 1.5 m<sup>3</sup>:n varaaja, jossa on sähkövastukset ja se liitetään vesikiertoiseen lattialämmitykseen.

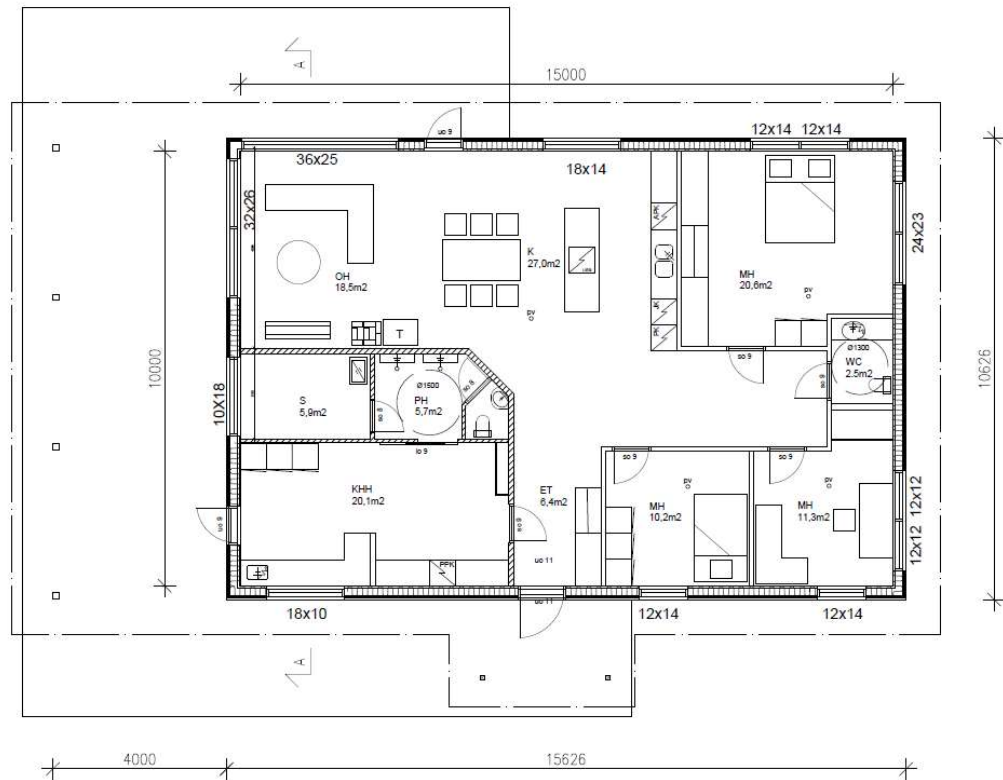
### 2.2 Lupapiirustukset

Rakennuslupaa haettaessa on kuntaan toimitettava kohteesta pääpiirustukset, johon kuuluu asema-, pohja-, leikkaus- ja julkisivupiirroksiset (Maskun kunta 2021b. Lupa-menettely)



Kuvassa 1 on esitetty kohteen pohjapiirros. Pohjapiirroksesta pitää tulla ilmi:

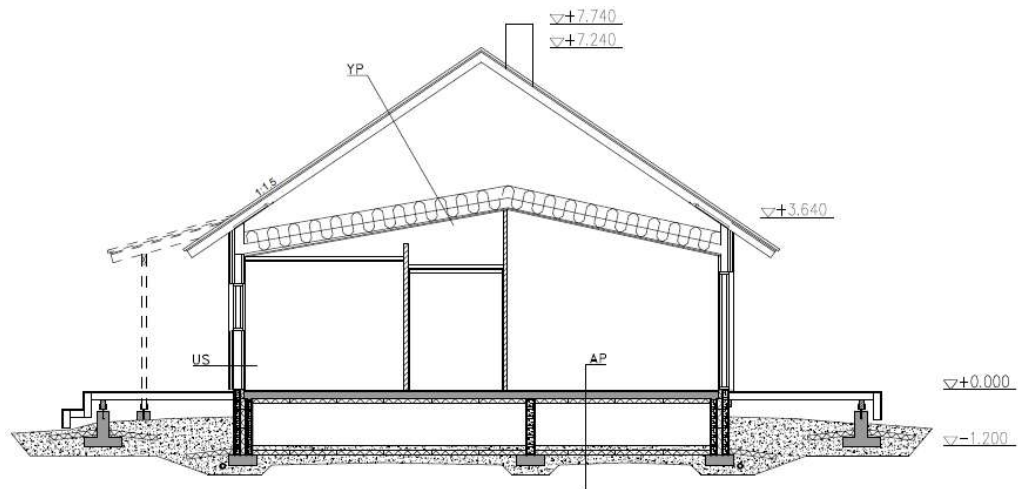
- rakennuksen päämitat
- rakenteet sekä niissä olevat aukot
- huoneiden ja tilojen käyttötarkoitukset
- pääasialliset kiinteät kalusteet ja varusteet
- ovien aukeamissuunnat, sekä leveydet



Kuva 1. Pohjapiirros.

Kuvassa 2 on esitetty kohteen leikkauspiirros. Leikkauspiirroksesta pitää tulla ilmi:

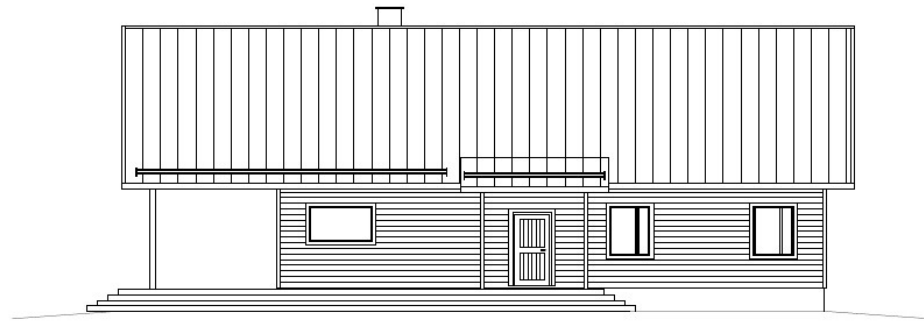
- rakenteet, rakennusosat, sekä niissä olevat aukot ja vaipan ulkopuoliset rakenteet, kuten räystäät ja lattian alapuoliset rakenteet
- kerroskorkeudet ja tarvittavat kerrosten ja tasojen korkeusasemat
- olemassa oleva maanpinta ja suunniteltu maanpinta
- ullakon tuuletus
- perustukset rakennesuunnitelmien mukaan



Kuva 2. Rakenneleikkaus.

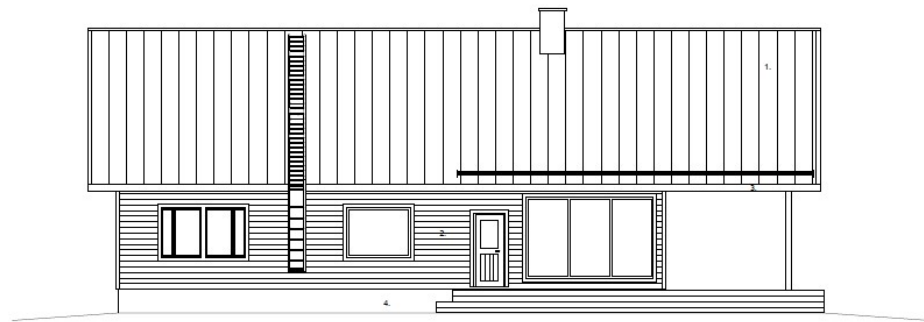
Kuvassa 3 ja 4 on esitetty kohteen julkisivupiirroksiset. Julkisivupiirroksista pitää tulla ilmi:

- ulkoseinän näkyvät rakennusosat ja pinnat kiinteineen laitteineen
- julkisivun ja vesikaton materiaalit
- ikkunat ja ovet
- näkyviin jäävät pilarit ja palkit
- räystäs ja sokkelilinja
- suunniteltu maanpinta
- savupiippu



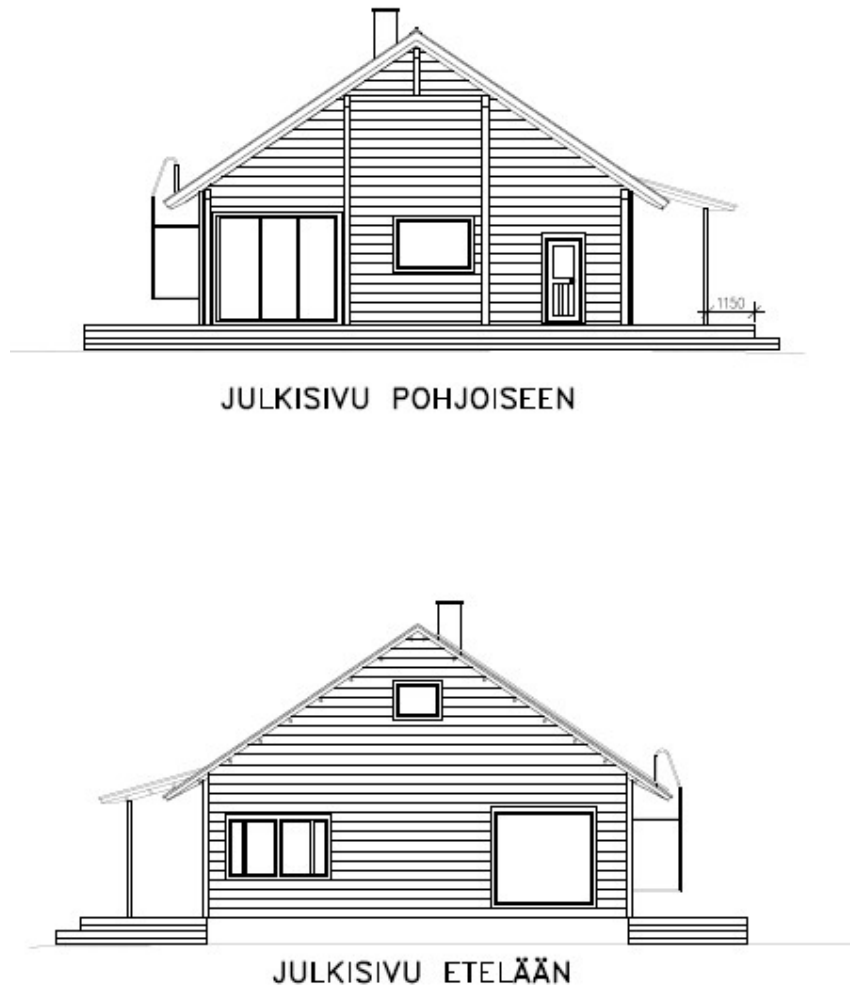
JULKISIVU ITÄÄN

1. KATTOPELTI, MUSTA
2. VAAKAPANEELI, HARMAA
3. MAALATTU, HEIJALAUTA, TUMMAN HARMAA
4. BETONI, HARMAA



JULKISIVU LÄNTEEN

Kuva 3. Julkisivut itään ja länteen.



Kuva 4. Julkisivut pohjoiseen ja etelään.

### 2.3 Tontin valinta

Tontin valinnassa ainoa ehto oli, että talo tullaan rakentamaan omille maille. Tontiksi valittiin veden läheisyydeltä hehtaarin kokoinen maa-alue, joka lohkottiin pankissa maa-tilan maista. Talon paikka tuli moreenisen kumpareen päälle, joka sopii pituudestaan ja leveydestään erinomaisesti rakennuksen pohjaksi.

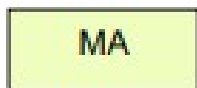
### 2.3.1 Kaavamääräykset

Tontti on MA-alue, eli alue on tarkoitettu maatalouden harjoittamiseen ja ensisijaisesti peltoviljelyyn. Kuvan 5 merkinnällä on osoitettu maisemakuvan kannalta arvokkaat viljelyalueet sekä metsäsarakeita.

Maskun kunnan rakennusvalvonnan sivuilla kerrotaan MA-aluekaavasta seuraavasti:

*Lähtökohtana on, että muu kuin maatalouskäyttöön tarkoitettu rakentaminen tulisi evätä MRL 43 § 1 momentin ehdollisen rakentamisrajoituksen perusteella tai suunnittelutarvealueella MRL 137 §:n perusteella. Muu kuin maatalouskäyttöä palveleva rakentaminen edellyttää kunnan myönteistä poikkeamispäätöstä, suunnittelutarveratkaisua tai molempia.*

*Alueella voidaan sallia maa- ja metsätaloutta palveleva rakentaminen, nykyisten rakennusten laajentaminen sekä haja-asutusluonteinen rakentaminen. Rakennuspaikan pinta-ala tulee olla vähintään 1 ha ja sille saa sijoittaa enintään 2-asuntoisen asuinrakennuksen ja yhteensä enintään 500 k-m<sup>2</sup>. Rakentaminen tulee sijoittaa siten, että rakennukset eivät sulje avoimia näkymiä ja ne sijoittuvat olemassa olevien pihapiirien, metsänreunojen tai metsäsarakeiden tuntumaan. Rakentessa tulee kiinnittää erityistä huomiota rakennuksen korkeusasemaan, muotoon, ulkomateriaaleihin ja väryykseen sekä sovittamiseen maisemaan ja ympäristöön. Rakennuspaikka tulee tarvittaessa liittää sopivin istutuksin ympäröivään maisemaan. (Maskunkunta 2021a. Asuminen ja ympäristö)*



Kuva 5. MA-aluekaavan tunnus.

### 2.3.2 Suunnittelutarveratkaisu

Suunnittelutarveratkaisusta maankäyttö- ja rakennuslaissa säädetyistä ja sen nojalla annetuista rakentamista koskevista säännöksistä säädetään maankäyttö- ja rakennuslain 16, 72 ja 137 §:ssä.

Maskun kunnan rakennusjärjestyksessä määritellyillä suunnittelutarvealueilla sekä ranta-alueilla, uuden rakennuksen rakentamiseen tarvitaan aina suunnittelutarveratkaisu. Samoin alueilla, joiden käyttöön liitettävien tarpeiden tyydyttämiseksi on syytä ryhtyä erityisiin toimenpiteisiin, kuten teiden, vesijohdon, viemärin rakentamiseen taikka vapaa-alueiden järjestämiseen. Suunnittelutarvealuetta koskevia säännöksiä sovelletaan myös sellaiseen rakentamiseen, joka ympäristövaikutusten merkittävyyden vuoksi edellyttää tavanomaista lupamenettelyä laajempaa harkintaa. (Maskun kunta 2021b. Lupamenettely)

## 2.4 Rakennuspaikan valinta

Tontin ollessa iso noin 11 000 m<sup>2</sup> voidaan talon paikkaa ja suuntaa tontilla muuttaa vapaasti. Tässä tapauksessa tontin keskellä on moreeninen kumpare, joka on ideaalinen paikka rakentaa omakotitalo. Korkeamman asemansa ansiosta talo pysyy kuivana, sillä vesi valuu rakennuksesta pois päin alas kumpareta pitkin.

## 2.5 Tontin maaperä

Pintamaat kaivamalla pois pystyttiin toteamaan, että tontti koostuu kivisestä moreenista, sekä kalliosta. Rakennuspaikalle ei tehty kattavampaa pohjatutkimusta, sillä kallioon ulottuvalla moreenilla on riittävä kantokyky. Lisäksi tässä kohtaa suunniteltiin rakennuksen tarkempi korkeus ja sijainti. Varmistui myös, että pärjätään perinteisellä 600x200 mm<sup>2</sup> anturalla.

## 2.6 Kunnallistekniikka

Tontille ei tule kunnan jätevesijärjestelmää, joten jätevedet käsitellään kiinteistö kohtaisesti. Kohteeseen tulee kaksoisviemärinti, jossa käymälä vedet johdetaan umpisäiliöön, josta se kuljetetaan muualle käsiteltäväksi. Harmaa jätevesi puhdistetaan pienpuhdistamossa. Lisäksi vesiliittymä kunnan verkostoon tulee kaivaa itse lähimmästä mahdollisesta pisteestä, joka kohteessa sijaitsee noin 500 metrin päässä.

## 3 RAKENTEET

### 3.1 Pohjaratkaisun suunnittelu

Pohjaratkaisu mietittiin kohteessa tarkkaan, verraten talopakettien valmiita pohjia ja omia ajatuksia ja tarpeita. Talopakettien pohjaratkaisuista saatiin hyvät lähtökohdat suunnittelulle. Pohjaratkaisu on muutokelpoinen vielä rakennusvaiheessa, sillä rakennukseen ei tule ainuttakaan kantavaa väliseinää. Ainoastaan märkätilojen kaadot rajoittavat tilamuu-toksia.

### 3.2 Alapohja

Alapohja suunnitellaan lämpimäksi ja tuulettuvaksi alapohjaksi, joka pitää maan kosteuden pois päärakenteista. Perustus tulee perinteisistä 200x600 mm<sup>2</sup>:n teräsbetoni antu-roista ja sokkeli tehdään muottiharkoista. Lattia tulee paikallaanvaluna kantavasta beto-nilaatasta, jonka paksuus 160 mm. Kustannussyistä päädyttiin kerta valuun, jossa vale-taan kerralla valmiin lattian pinta ja kantava laatta. Perinteisesti ensin valetaan kantava-laatta paksuudeltaan noin 200 mm, jonka päälle asennetaan eristeet ja viimeiseksi vale-taan lattialaatta betonista 80 mm tai kipsistä 40 mm-50 mm. Lattian lämmöneriste vaati-mus on pienempi lämpimän tuulettuvan alapohjan ansiosta, jonka keskilämpötila pysyy läpi vuoden +17 °C. Tuuletus tapahtuu ilmanvaihtokoneen avulla, jossa on tulo- ja pois-toilma.

### 3.3 Ulkoseinät

Yksi lähtökohdista heti projektin alusta oli, että puurunko tulisi pääsääntöisesti omasta puutavarasta, joka on havupuuta ja luokitellaan tässä työssä lujuusluokkaan C18. Sei-närakenteesta haluttiin myös hengittävä, jolloin päädyttiin Ekovillan tuoteratkaisuihin. Sii-hen kuuluu Ekovillan X5 ilmansulkupaperi ja Ekovilla puukuitueriste. Oikein tehtynä seinä rakenteesta saadaan kestävä ratkaisu, sillä rakenteisiin mahdollisesti, joko raken-nus- tai käyttövaiheessa päässyt kosteus pääsee poistumaan rakenteista seinän hengit-tävyyden ansiosta.

Runkotolpat ovat kooltaan 50 x 175 mm<sup>2</sup> k600. Tämän vuoksi tuulensuojalevyksi valittiin paksumpi bitumilla kyllästetty puukuitulevy, jonka paksuus on 25 mm. Näin saatiin kasvatettua seinän lämmönvastusta. Julkisivu koolataan ristiin 22x100 mm<sup>2</sup>:n laudalla. Julkisivumateriaaliksi höylättiin omista puista 28x170 mm<sup>2</sup>:n paneelia, joka maalataan maisemaan sopivaksi tumman harmaalla öljymaalilla.

Seinän sisäpintaan asennetaan ilmansulkupaperi, minkä jälkeen seinä koolataan vaakaa sahatavara 50x50 mm<sup>2</sup> k600. Koolaus mahdollistaa sähköjen viennin seinille ja 50 mm:n lisäeristyksen. Pintaan asennetaan erikoiskova kipsilevy, jonka rakennevahvuus on 12,5 mm. Pinnat tasoitetaan ja maalataan.

Aukonylityspalkit tulevat kertopuusta Kerto-LVL 63x400 mm<sup>2</sup> ja mitallistetusta sahatavarasta C24 48x198 mm<sup>2</sup>. Tasakerran yläjuoksuksi suunniteltiin sahatavara 50x175 mm<sup>2</sup>.

### 3.4 Vesikatto

Katteeksi harjakatolle valittiin lukkosaumapelti, joka muistuttaa perinteistä konesaumakattoa, mutta on huomattavasti konesaumakattoa nopeampi ja edullisempi asentaa. Ruodelaudat tulevat sahatavarasta 32x100 mm<sup>2</sup> k300. Kattoristikot tulevat valmiina kattotuolitehtaalta. Ne asennetaan 900 mm:n jaolla tasakerran päälle. Kattoristikot tuetaan jäykistesuunnitelmien mukaan ja yläpaarteen yläpintaan asennetaan aluskate ja 22 mm:n tuuletusrima, johon ruoteet kiinnitetään.

Yläpinnan eristeeksi ladotaan käsin 100 mm Ekovillan puukuitueristelevyä, jonka päälle puhalletaan 350 mm Ekovillan puhallusvillaa. Käsin ladottu kerros mahdollistaa tiiviin eristekerroksen ja ilmanvaihtokanavien läpiviennit on helppo tehdä heti käsiladonnan jälkeen. Kattoristikoiden alapintaan tulee ilmansulkupaperi ja lauta koolaus ristiin 400 mm:n jaolla. Sisäpintaan asennetaan kipsilevy tai lautaverhouspaneeli.

Terassin katto jatkuu harjakattona 5 m rakennuksen päädystä terassin ylle. Runko toteutetaan avoimella liimapuupilari-palkki-rakenteella. Pilarit, palkit ja kattoniskat jäävät näkyviin. Kattoniskoja yläpintaan tulee paneeliverhous. Aluskatteeksi tulee huopainen aluskermi, korotusrimat tulee niskoja kohdalle, joka sitoo aluskerran paikalleen. Korokerimien päälle asennetaan ruodelauta 300 mm jaolla. Vesikatteeksi tulee sama lukkosaumapelti, kuin rakennuksen kohdalla.



## 4 SUUNNITTELUPERUSTEET

### 4.1 Materiaaliominaisuudet

#### 4.1.1 Puurakenteet

##### Aikaluokat

Kuormien aikaluokat määritellään taulukon 1 mukaan rakenteen kuormituksen vaikuttavan ajan kestolla. Muuttuvalle kuormalle aikaluokka tulee määritellä kuorman tyypillisen vaikutusajan perusteella. (RIL 205-1-2007, 29)

Taulukko 1. Kuormien aikaluokat. (Puuinfo Oy 2018, 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 pinta-kuormat luokissa A-D Autotallien ja liikennöintialueiden hyötykuormat (luokat F ja G) Kosteuden vaihtelun aiheuttamat kuormitukset
Hetkellinen		Tuuli Onnettomuuskuorma

##### Käyttöluokat

Puurakenteet jaotellaan käyttöluokkiin 1–3.

##### Käyttöluokka 1

Käyttöluokassa 1 materiaalin kosteus on lämpötilaa 20 °C vastaava ja ympäröivän ilman RH ylittää 65 % vain muutamana viikkona vuodessa. Havupuun kosteus ei enimmäkseen ylitä 12 %:a. (SFS-EN 1995-1-1, 23)

## Käyttöluokka 2

Käyttöluokassa 2 materiaalin kosteus on lämpötilaa 20 °C vastaava ja ympäröivän ilman RH ylittää 85 % vain muutamana viikkona vuodessa. Havupuun kosteus ei enimmäkseen ylitä 20 %. (SFS-EN 1995-1-1, 23)

## Käyttöluokka 3

Käyttöluokassa 3 on tyypillistä, että olosuhteet ovat huomattavasti kosteampia kuin käyttöluokassa 2. (SFS-EN 1995-1-1, 23)

## Materiaaliominaisuudet

Materiaalien mitoittamisessa käytetään taulukosta 2 saatua lujuuden muunnoskerrointa  $k_{mod}$ . Arvo valitaan taulukosta 3 kuormitusajan ja käyttöluokan (luku 4.2) mukaan. Jos kuormitusyhdistelmän kaikki kuormat eivät kuulu samaan aikaluokkaan käytetään lyhyimmän aikaluokan mukaan ja tätä vastaavaa  $k_{mod}$  arvoa. (SFS-EN 1995-1-1, 27) Kohteen puurakenteiden mitoitukset tarkastellaan liitteissä 2-4.

Taulukko 2. Muunnoskertoimen  $k_{mod}$  arvot. (SFS-EN 1995-1-1, 28)

Materiaali	Standardi	Käyttö luokka	Kuorman aikaluokka				
			Pysyvä kuorma	Pitkäaikainen kuorma	Keskipitkä kuorma	Lyhytaikainen kuorma	Hetkellinen kuorma
Sahatavara	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Liimapuu	EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
LVL	EN 14374, EN 14279	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Vaneri	EN 636  A1> Tyyppi EN 636-1 Tyyppi EN 636-2 Tyyppi EN 636-3 <A1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
OSB- lastulevy	EN 300 OSB/2 OSB/3, OSB/4 OSB/3, OSB/4	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Muu lastulevy	EN 312  A1> Tyyppi P4, tyyppi P5 Tyyppi P5 Tyyppi P6, tyyppi P7 Tyyppi P7 <A1	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Kova kuitulevy	EN 622-2 HB.LA, HB.HLA1 tai 2 HB.HLA1 tai 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Puolikova kuitulevy	EN 622-3 MBH.LA1 tai 2 MBH.HLS1 tai 2 MBH.HLS1 tai 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	–	–	–	0,45	0,80
MDF-levy	EN 622-5 MDF.LA, MDF.HLS MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	–	–	–	0,45	0,80

(4) Käytettäessä puuta, jonka solut ovat asennettaessa veden kokonaan tai lähes kokonaan kyllästämiä ja joka todennäköisesti kuivuu kuormitettuna ollessaan, suurennetaan taulukon 3.2 mukaisia virumaluvun  $k_{def}$  arvoja luvun 1,0 verran.

(5) P Sormijatkosten tulee olla standardin EN 385 mukaisia.

Taulukko 3. Kuormien aikaluokat. (SFS-EN 1995-1-1, 23)

Kuorman aikaluokka	Ominaiskuorman vaikutusajan kertymän suuruusluokka
Pysyvä	yli 10 vuotta
Pitkäaikainen	6 kuukautta – 10 vuotta
Keskipitkä	1 viikko – 6 kuukautta
Lyhytaikainen	alle yksi viikko
Hetkellinen	

Materiaaliominaisuuksien osavarmuusluvun  $\gamma_M$  suositeltuja arvoja esitetään taulukossa

4. Osavarmuus ottavat huomioon materiaalien mahdolliset virheet ja vaikutukset, kuten

- mittaepätarkkuus
- valmistuksesta tai toteuttamisesta johtuvien rakenteellisten epätarkkuuksien vaikutukset
- materiaalien epämuodostumien aiheuttamat vaikutukset esimerkiksi puun oksat (SFS-EN 1995-1-1, 28)

Taulukko 4. Materiaalien osavarmuusluvun  $\gamma_M$  arvoja. (SFS-EN 1995-1-1, 25)

<b>Perusyhdistelmät:</b>	
Sahatavara	1,3
Liimapuu	1,25
LVL, vaneri, OSB-lastulevy	1,2
Muu lastulevy	1,3
Kova kuitulevy	1,3
Puolikova kuitulevy	1,3
MDF-levy	1,3
Huokoinen kuitulevy	1,3
Liitokset	1,3
Naulalevyt	1,25
<b>Onnettomuusyhdistelmät</b>	<b>1,0</b>

Rakenteen lujuuden määrittämisessä tarvitaan myös materiaalin ominaislujuuden ja jäykkyysominaisuuksien arvoja. Arvot saadaan taulukoista 5 ja 6.

Taulukko 5. Sahatavaran ja liimapuun materiaaliominaisuuksia. (Puuinfo Oy 2018, 17)

Lujuusluokka		Sahatavara			Liimapuu		Halkaistu liimapuu
		C18 (T1)	C24 (T2)	C30 (T3)	GL24c	GL30c	GL30cs <sup>1)</sup>
Ominaislujuudet (N/mm <sup>2</sup> )							
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
Jäykkyysominaisuudet (N/mm <sup>2</sup> )							
Kimmomoduuli	$E_{0,mean}$	9000	11000	12000	11000	13000	12500
	$E_{90,mean}$	300	370	400	300	300	300
Liukumoduuli	$G_{mean}$	560	690	750	650	650	650
Tiheydet (kg/m <sup>3</sup> )							
Ominaistiheys	$\rho_k$	320	350	380	365	390	390
Tiheyden keski-arvo	$\rho_{mean}$	380	420	460	400	430	430

Taulukko 6. Kertopuun materiaaliominaisuuksia. (Puuinfo Oy 2018, 18)

Tyyppi		Kerto-S	Kerto-T	Kerto-Q
Paksuus (mm)		21 - 90	27 - 75	27 - 69
<b>Ominaislujuudet (N/mm²)</b>				
Taivutus syrjällään	$f_{m,k}$	44	27	32
Kokovaikutuseksponentti	$\alpha$	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	$f_{v,0,k}$	2,3	1,3	1,3
<b>Jäykkyysominaisuudet (N/mm²)</b>				
Kimmomoduuli	$E_{mean}$	13800	10000	10500
Liukumoduuli	$G_{edge, mean}$	600	400	600
<b>Tiheydet (kg/m³)</b>				
Ominaisstiheys	$\rho_k$	480	410	480
Tiheyden keskiarvo	$\rho_{mean}$	510	440	510

Näillä taulukoista saaduilla tiedoilla voidaan muodostaa lujuusomaisuuden mitoitusarvo  $X_d$ , joka saadaan kaavasta 1. Kaavassa  $k_{mod}$  on muunnoskerroin, joka ottaa huomioon kuormituksen keston ajallisesti se käyttöluokan,  $X_k$  on lujuusomaisuuden ominaisarvo ja  $\gamma_M$  on materiaaliomaisuuden osavarmuusluku. (SFS-EN 1995-1-1, 25)

Kaava 1. Materiaaliomaisuuden mitoitusarvo. (SFS-EN 1995-1-1, 25)

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M}$$

Pitkäaikaisten taipumien laskennassa käytetään taulukosta 7 saatua virumalukua  $k_{def}$ . (Puuinfo, EC5 lyhennetty suunnitteluohje 2018, 16)

Taulukko 7. Virumaluvun  $k_{def}$  arvot eri puumateriaaleille. (Puuinfo Oy 2018, 17)

Materiaali	Standardit	Käyttöluokka		
		1	2	3
Sahatavara, Pyöreä puu	EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Liimapuu	EN 14080			
LVL, CLT syrjällään	EN 14374			
Vaneri, Kerto-Q lappeellaan, CLT lappeellaan	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: HB.LA, HB.HLA	2,25	3,00	–
Puolikova 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	–

#### 4.1.2 Betonirakenteet

Teräsbetonirakenteiden mitoituksessa käytetään taulukosta 8 saatuja materiaaliosavarmuuslukuja. (SFS-EN 1992-1-1, 26) Lisäksi kaavasta 2 saadaan puristuslujuuden mitoitusarvo. Mitoitusarvo kerrotaan betonin puristuslujuuskertoimella  $\alpha_{cc}$ , joka on Suomessa 0,85. Näin saadaan betonin puristuslujuuden mitoitusarvo. (Suomen Betoniyhdistys ry 2013, 38)

Kaava 2. Puristuslujuuden mitoitusarvo (Suomen Betoniyhdistys ry 2013, 38)

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Taulukko 8. Betonin ja teräksen materiaaliosavarmuusluvut. (SFS-EN 1992-1-1, 26)

Mitoitustilanteet	betonin $\gamma_C$	betoniteräksen $\gamma_S$
Normaalisti vallitseva ja tilapäinen	1,5	1,15

Taulukosta 9 saadut betonin lujuusarvot ovat täysin kehittyneitä lujuuksia, kun betonin ikä saavuttaa 28 vuorokauden iän. Edellytyksenä on, että betonia säilytetään standardiolosuhteissa (+20 °C). Nuoremman betonin lujuutta pystytään arvioimaan betoniteollisuuden laskentamenetelmillä. Vaativissa olosuhteissa voidaan lujuuden kehitystä seurata olosuhdekoekappaleiden avulla. (Suomen Betoniyhdistys ry 2013, 39)

Taulukko 9. Betonin lujuusluokat. (Suomen Betoniyhdistys ry 2013, 37)

Lujuusluokka	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50
$f_{ck}$ (MPa)	12	16	20	25	30	35	40
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50

Kohteessa käytettiin yhteensä kolmea eri betonikoostumusta. Perustuksissa eli antu-roissa käytettiin C25/30 betoni, jossa suurin raekoko oli 16 mm, harkoissa käytettiin saman lujuusluokan betonia, mutta pienemmällä raekoolla 8 mm ja lattialaatassa käytettiin C30/37 betonia, jossa suurin sallittu raekoko oli 16 mm. Raekoossa on huomioitava raudoituksen tiheys, etenkin muottiharkkoja valettaessa. Liian iso raekoko tiheään raudoitustussa muotissa tai harkossa voi aiheuttaa tukoksia, eikä betoni pääse joka paikkaan.

### Betoniteräokset

Betoniteräokset ovat betonin raudoittamiseen soveltuvia terästankoja, joista saadaan harjateräksiä valssaamalla tartuntaa parantavia harjoja. Yleisimmät harjateräokset



valmistetaan kuumavalssaamalla, mutta esimerkiksi raudoitusverkoissa käytetään vastuspistehitsauksen takia kylmävalssattua terästä. (Suomen Betoniyhdistys ry 2013, 50)

Betoniterästen lujuuden määrittelyperuste on myötölujuus  $f_y$ . Myötölujuuden ominaisarvon  $f_{yk}$  avulla saadaan kaavasta 3 mitoituslujuus  $f_{yd}$ . (Suomen Betoniyhdistys ry 2013, 51)

Kaava 3 . Betoniteräksen mitoituslujuus. (Suomen Betoniyhdistys ry 2013, 52)

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

## 4.2 Kuormat

### 4.2.1 Pysyvät kuormat

Kuormat voidaan jaotella niiden vaikutusajan perusteella pysyviin, muuttuviin kuormiin sekä onnettomuuskuormiin. Pysyviä kuormia ovat rakenteiden ja kiinteiden laitteiden omat painot. (SFS-EN 1990, 58.)

### Omapaino

Omana painona käytetään yleensä ominaisarvoa, joka lasketaan nimellismittojen ja tilavuuspainojen ominaisarvojen perusteella. Taulukon 10 mukaisesti rakennuksen omapainoon luokitellaan pysyvät ja kiinteät kuormat, kuten kantavat, ei-kantavat, kiinteät laitteet sekä maakerrosten ja sepelitäyttöjen painot. (RIL 205-1-2007, 31)

Taulukko 10. Esimerkkejä rakennusmateriaalien omapainoista.

Materiaali	Tilvuuspaino kN/m <sup>3</sup>
Teräsbetoni	25
Sepeli	19
Puu	5
Ekovilla	0,4
Puukuitulevy	2
Kipsilevy	7,6

#### 4.2.2 Hyötykuorma

Muuttuvat kuormat ovat esimerkiksi rakennuksen alapohjaan, aukonylityspalkkeihin ja vesikaton aiheuttavat hyötykuormat, tuulikuormat ja lumikuormat. (SFS-EN 1990-1-1, 58)

Rakennuksen hyötykuormat aiheutuvat tilojen käytöstä, eli ihmisistä ja liikuteltavista kalusteista tai laitteista. Hyötykuormat määräytyvät taulukon 11 mukaan tiloille niiden käyttötarkoituksen mukaan. Hyötykuorman arvoksi valitaan  $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$ .

Taulukko 11. Tavallisimpien hyötykuormien ominaisarvot (Puuinfo Oy 2018, 11)

Kuormitettujen tilojen luokat	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]			$Q_k$ [kN] (portaat suluissa)
	Välipohjat	Portaat	Parvekkeet	
<b>Luokka A:</b> Asuintilat	2,0	2,0	2,5	2,0 (2,0 <sup>*</sup> )
<b>Luokka B:</b> Toimistotilat	2,5	3,0	2,5	2,0 (2,0)
<b>Luokka C:</b> 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)
<b>Luokka D:</b> 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)
<b>Luokka E:</b> Varastotilat				
E1 Tavarän säilytys ja vastaanottotilat	7,5	3,0		7,0 (2,0)
<b>Luokka H:</b> Vesikatot ilman hyötykäyttöä		0,4		1,0

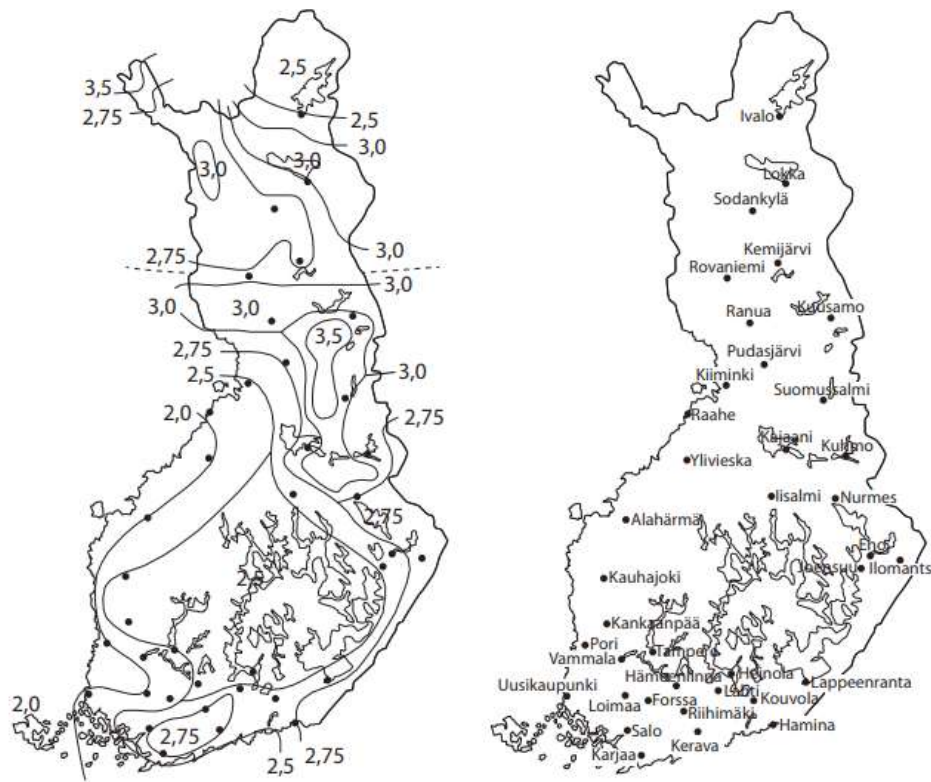
\* Asunnon sisäiset portaat  $Q_k = 1,5 \text{ kN}$

#### 4.2.3 Lumikuorma

Maanpinnan lumikuorman ominaisarvo  $s_k$  saadaan kuvasta 6, jossa on esitetty paikkakuntaakohtaisesti lumikuorman arvo. Lumikuorman arvo katolla on  $s$ , joka saadaan kaavasta 4 jossa  $\mu_i$  on katon muotokerron,  $C_e$  on tuulensuojaisuuskerron ja  $C_t$  on lämpökerron. (SFS-EN 1991-1-1-3, 30) Lumikuorma käydään läpi liitteessä 1. Rakennukseen saatiin kaksi lumikuorman eri arvoa katon lumiasteiden ja jyrkän kattokulman takia

Kaava 4. Lumikuorman arvo katolla. (SFS-EN 1991-1-1-3, 30)

$$s = \mu_i C_e C_t s_k$$



Kuva 6. Lumikuormien arvoja maassa, paikkakunnittain (Puuinfo Oy 2018, 11)

Lämpökerron  $C_t$  otetaan huomioon katon lumikuorman pienennys lämpöhäviöstä aiheutuvasta lumen sulamisesta ja täten lumikuormaan voidaan pienentää lämmönläpäisevyyden ollessa suuri ( $\geq 1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). Muissa tapauksissa  $C_t=1,0$ . (SFS-EN 1991-1-1-3, 30)

Taulukosta 12 saadaan katon muotokertoimen  $\mu_i$  kaava, joka riippuu katon muodosta. Tässä kohteessa katto on malliltaan harjakatto, jonka kaltevuus on välillä  $30^\circ$  ja  $60^\circ$ , jolloin muotokerroin saadaan kaavasta 2. (SFS-EN 1991-1-1-3, 32)

Taulukko 12. Katon muotokertoimen kaavat. (SFS-EN 1991-1-1-3, 32)

Katon kaltevuuskulma $\alpha$	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1(\alpha)$	$\mu_1(0^\circ) \geq 0,8$	$\mu_1(0^\circ) \frac{(60^\circ - \alpha)}{30^\circ}$	0,0
$\mu_2(\alpha)$	0,8	$0,8 \frac{(60^\circ - \alpha)}{30^\circ}$	0,0
$\mu_3(\alpha)$	$0,8 + 0,8 \alpha/30^\circ$	1,6	--

Kaavasta saatua kerrointa voidaan käyttää vain katon kohdissa, joissa ei ole estettä lumen liukumiselle katolta. Näissä tapauksissa, esimerkiksi terassin kohdalla, jossa on lumieste, tulee käyttää katon muotokertoimen arvona vähintään 0,8 (SFS-EN 1991-1-1-3, 32)

Kaava 5. Katon muotokertoimen kaava. (SFS-EN 1991-1-1-3, 32)

$$\mu_2 = 0,8 \frac{(60^\circ - \alpha)}{30^\circ}$$

Tässä rakennuskohteessa maastotyyppi, joka saadaan taulukosta 13 on normaali, jolloin  $C_e = 1,0$ , ja lämpökertoimen arvo  $C_t = 1,0$ , koska rakennuksen yläpohjassa ei ole lämpö häviöitä.

Taulukko 13. Tuulensuojaisuuskerroin  $C_e$ . (SFS-EN 1991-1-1-3, 30)

Maastotyyppi	$C_e$
Tuulinen <sup>a</sup>	0,8
Normaali <sup>b</sup>	1,0
Suojainen <sup>c</sup>	1,2

<sup>a</sup> *Tuulinen maasto*: laakea, esteetön, joka puolelle avoin alue, jolloin maasto, korkeat rakennuskohteet tai puut eivät suojaa tai suojaavat vain vähän.

<sup>b</sup> *Normaali maasto*: alue, jolla rakennuskohteeseen vaikuttava tuuli ei maaston, muiden rakennuskohteiden tai puiden takia huomattavasti poista lunta.

<sup>c</sup> *Suojainen maasto*: alue, jolla tarkasteltava rakennuskohde on huomattavasti alempana kuin ympäröivä maasto tai se on korkeiden puiden tai itseään korkeampien rakennuskohteiden ympäröimä.

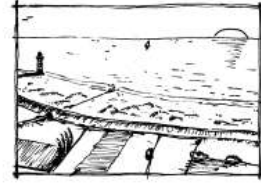
#### 4.2.4 Tuulikuorma

Tuulikuormat ovat vaihtelevia kuormia, jotka aiheuttavat umpinaisen rakenteen ulkopintoihin tai aukinaisen rakenteen sisäpintoihin vasten kohtisuoria voimia. Tuulikuorma voidaan esittää yksinkertaistettuna paineiden tai voimienjoukkona. Nämä vastaavat tuulenpuuskien suurimpia voimia ja luokitellaan muuttuviksi kiinteiksi kuormiksi. (SFS-EN 1991-1-1-4, 30)

Maastoluokan valinnalla aloitetaan tuulikuorman mitoitus, joka saadaan kuvasta 7. Rakennus sijaitsee pellon ympäröivällä metsäsaarekkeella, jota suojaa reilu puusto ja viereinen latorakennus. Valitaan maastoluokka 3. Tuulikuorma käydään läpi liitteessä 1, jossa rakennuksen kokonaistuulikuormaksi saadaan  $0.5 \text{ kN/m}^2$ .

**Maastoluokka 0**

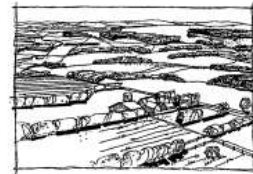
Meri, avoimen meren äärellä oleva rannikkoalue

**Maastoluokka I**

Järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä

**Maastoluokka II**

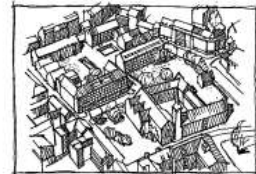
Alue, jolla on matalaa kasvillisuutta, kuten heinää tai ruohoa ja erillisiä esteitä (puita, rakennuksia), jotka ovat vähintään esteen 20-kertaisen korkeuden etäisyydellä toisistaan

**Maastoluokka III**

Alue, jolla on säännöllinen kasvipeite tai rakennuksia tai erillisiä esteitä, jotka ovat esteen 20-kertaista korkeutta lähempänä toisiaan (kuten kylät, esikaupunkialueet, pysyvä metsä)

**Maastoluokka IV**

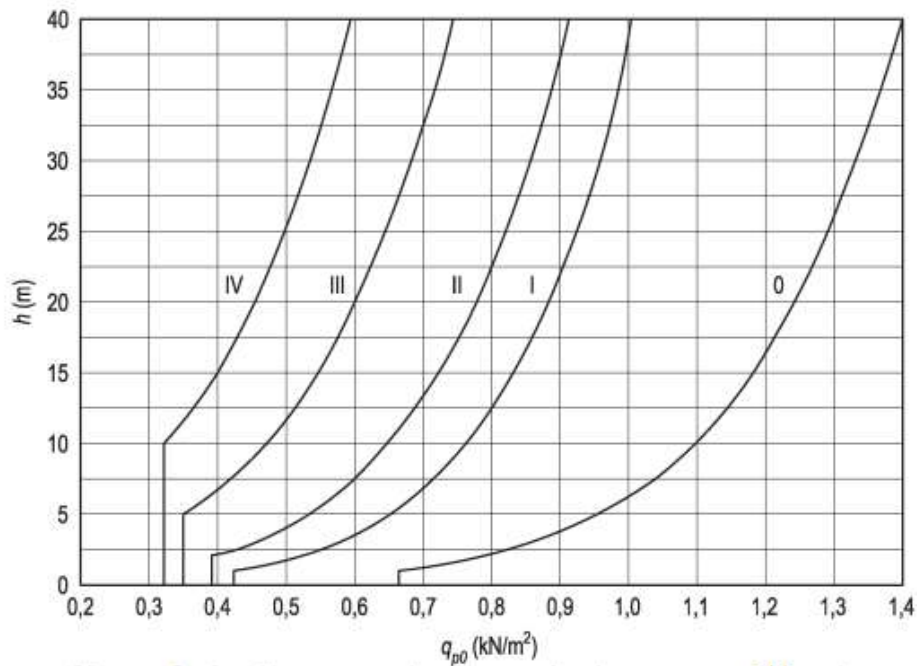
Alue, jolla vähintään 15 % alasta on rakennusten peitossa ja joiden keskimääräinen korkeus ylittää 15 m



Kuva 7. Maastoluokat. (SFS-EN 1991-1-4, 158)

Tuulikuorma voidaan laskea Suomessa yksinkertaistetulla menetelmällä, kun on kyseessä tavanomainen rakennuskohde. Tuulikuorman arvoon vaikuttaa maastoluokka ja tasaista maastoa vastaava tuulen nopeuspaineen ominaisarvo  $q_{p0}(h)$ , joka saadaan taulukosta 14. Taulukko huomioi maaston muodon ja rakennuksen korkeuden. Taulukosta saatua arvoa käytetään kaikissa rakennuksen tuulikuormien mitoituksissa. (Puuinfo, EC5 lyhennetty suunnitteluohje 2018, 12)

Taulukko 14. Nopeuspaineen ominaisarvot  $q_{p0}(h)$  eri maastoluokissa tuulennopeuden arvon ollessa  $v_b = 21$  m/s. (Puuinfo Oy 2018, 13)



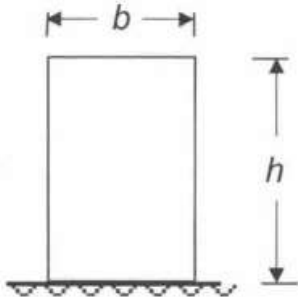
Kokonaistuulivoima  $F_w$  voidaan laskea kaavalla 6, kun sen korkeus on pienempi kuin leveys. Oletetaan, että koko rakennuksessa vallitsee harjalle saatu tuulennopeuspaine.

Kaava 6. Kokonaistuulivoima. (RIL 201-1-2017, 140)

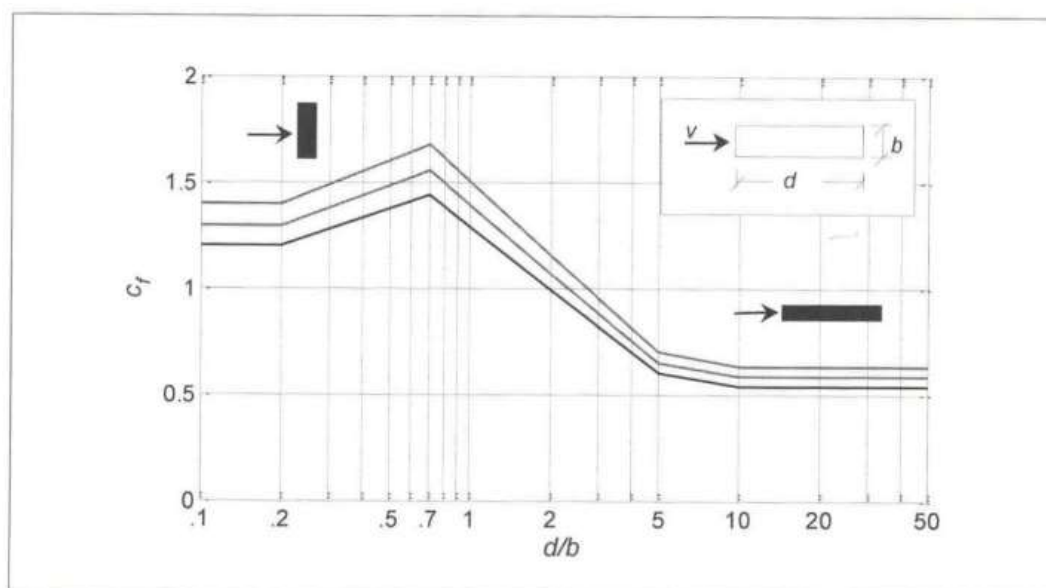
$$F_w = c_s c_d c_f q_p(h) A_{ref}$$

Matalien rakennusten suunnittelussa voidaan käyttää rakennekertoimen arvoa  $c_s c_d = 1,0$ , joka on varman puolella. Tehollinen hoikkuus  $\lambda$  saadaan taulukosta 15 rakennuksen poikkileikkauksen ollessa suorakulmainen. (RIL 201-1-2017, 140)

Taulukko 15. Tehollinen hoikkuus  $\lambda$ . (RIL 201-1-2017, 140)

Rakenteen mittasuhteet, tuuli kohtisuoraan tasoa vasten	Tehollinen hoikkuus $\lambda$
	<p>kun <math>h &lt; 15</math> m, <math>\lambda = 2 h/b</math>  kun <math>h \geq 50</math> m, <math>\lambda = 1,4 h/b</math></p> <p>Välialueella <math>15 \text{ m} &lt; h &lt; 50 \text{ m}</math> sovelletaan interpolointia.</p> <p>Huom: Tämä ohje ei koske hyvin hoikkia rakennuksia, joille <math>\lambda &gt; 10</math>.</p>

Voimakerronta  $c_f$ , joka sisältää kitkan vaikutukset, voidaan käyttää terävämäisen suora-kaidepoikkileikkauksen omaavassa rakennuksessa saadaan taulukosta 16 (RIL 201-1-2017, 141)

Taulukko 16. Voimakerron  $c_f$ . (RIL 201-1-2017, 141)



### 4.3 Kuormitusyhdistelmät

Kuormien mitoitusarvo  $E_d$  tulee määrävissä kuormitustapauksissa määrittää yhdistelmällä sellaiset kuormat, joiden esiintyminen on saman aikaista. (SFS-EN 1990, 78)

### 4.4 Murtorajatila

Murtorajatilaksi luokitellaan tilanteet joissa, rakenteen tasapainon menetys, vaurioituminen, murtuminen tai väsymisestä aiheutuva murtuminen aiheuttaa vaaraa ihmisten turvallisuudelle tai rakenteen varmuuteen. (RIL 201-1-2017, 28)

Tässä työssä tarkastellaan murtorajatilien kuormitusyhdistelmien osalta vain rakenneosien sisäistä vauriota tai liian suurta siirtymätilaa, kun rakenneosan rakennusmateriaalien lujuus on määrävä. (RIL 201-1-2017, 37)

Poikkileikkauksen mitoituksessa tulee tarkasteltaessa osoittaa, että

$$E_d \geq R_d$$

jossa  $E_d$  on voimasuureen mitoitusarvo, esimerkiksi sisäinen voima tai momentti, ja  $R_d$  on kestävyysvastuksen vastaava mitoitusarvo. (RIL 201-1-2017, 38)

### Murtorajatilien kuormitusyhdistelmät

Kuormien yhdistelyssä on tarkoituksena yhdistellä määrävissä kuormitustapauksissa sellaisten kuormien arvoja, jotka voidaan katsoa vaikuttavan saman aikaisesti. Muuttuvien kuormien ominaisarvon mukainen kuorma esiintyy harvoin ja vielä harvinaisempaa on, että useampi muuttuva kuorma olisi samaan aikaan ominaisarvon suuruinen. Kuormia laskettaessa voidaan huomioida taulukon 17  $\psi$  pienennyskertoimia. (RIL 201-1-2017, 39)

Taulukko 17. Yhdistelykertoimen  $\psi$  arvot rakennuksille. (SFS-EN 1990, 86)

Kuorma	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (ks. EN 1991-1-1)			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,6
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, ajoneuvon paino $\leq 30$ kN	0,7	0,7	0,6
Luokka G: liikennöitävät tilat, 30 kN < ajoneuvon paino $\leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Rakennusten lumikuormat (ks. EN 1991-1-3) <sup>*)</sup>			
Suomi, Islanti, Norja, Ruotsi	0,70	0,50	0,20
Muut CENin jäsenmaat, kun sijaintikorkeus on $H > 1000$ m merenpinnan yläpuolella.	0,70	0,50	0,20
Muut CENin jäsenmaat, kun sijaintikorkeus on $H \leq 1000$ m merenpinnan yläpuolella.	0,50	0,20	0
Rakennusten tuulikuormat (ks. EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (ks. EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
HUOM. Kertoimien $\psi$ arvot voidaan määrittellä kansallisessa liitteessä. <sup>*)</sup> Mikäli maata ei ole mainittu, kyseiset paikalliset olosuhteet selvitetään erikseen.			

Seuraamusluokilla määritellään rakenteen tai rakenneosan merkityksellisyys vaurion sattuessa. Seuraamusluokat saadaan taulukosta 18. (SFS-EN 1990, 136 ja 138)

Taulukko 18. Seuraamusluokat ja niiden määrittely. (SFS-EN 1990, 136)

Seuraamusluokka	Kuvaus	Rakennuksia sekä maa- ja vesirakennuskohteita koskevia esimerkkejä
CC3	<b>Suuret</b> seuraamukset hengenmenetysten <i>tai hyvin suurten</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Pääkatsomot; julkiset rakennukset, joissa vaurion seuraamukset ovat suuret (esim. konserttitalo)
CC2	<b>Keskisuuret</b> seuraamukset hengenmenetysten <i>tai merkittävien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Asuin- ja liikerakennukset; julkiset rakennukset, joissa vaurion seuraamukset ovat keskisuuret (esim. toimistorakennus)
CC1	<b>Vähäiset</b> seuraamukset hengenmenetysten <i>tai pienten tai merkityksettömien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Maa- ja metsätalousrakennukset, joissa ei yleensä oleskele ihmisiä (esim. varastorakennukset), kasvihuoneet

Yhdistelykaavioissa huomioitava kuormakerroin  $K_{FI}$  saa eri arvon seuraamusluokan mukaan. Kerrointa on käytettävä normaalisti vallitsevien ja tilapäisen mitoitustilanteiden

luotettavuuden tasoluokituksen aikaansaamiseksi. Kerrointa ei käytetä käyttörajatilatar-  
kastelussa. Kertoimen  $K_{FI}$  arvot saadaan taulukon 19 mukaisesti. (RIL 201-1-2017, 39)

Taulukko 19. Seuraamusluokista saadut arvot kertoimelle  $K_{FI}$ . (RIL 201-1-2017, 39)

Kuormakerroin $K_{FI}$	Seuraamusluokka
1,1	CC3
1	CC2
0,9	CC1

Rakenteen kestävyys (STR, Sarja B) kaavassa 7, jossa kuormakerroin ja seuraamus-  
luokka huomioiden yhdistetään:

- epäedullisen vaikutuksen aiheuttavat pysyvät kuormat ( $G_k$ ) kerrottuna kertoimella 1,15  $K_{FI}$
- edullisen vaikutuksen aiheuttavat pysyvät kuormat ( $G_k$ ) kerrottuna kertoimella 0,9
- esijännitys voimat  $P$  kerrottuna osavarmuuskertoimella  $\gamma_P$
- määräävä muuttuva kuorma  $Q_{k,1}$  kerrottu kertoimella 1,5  $K_{FI}$
- muiden samanaikaisten muuttuvien kuormien  $Q_{k,j}$  yhdistelyarvot ( $\psi_{0,i}, Q_{k,i}$ ) kerrottuna kertoimella 1,5  $K_{FI}$  (RIL 201-1-2017, 40-41)

Kaava 7. Rakenteen kestävyys. (RIL 201-1-2017, 40)

$$\left. \begin{matrix} 1,15K_{FI} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P P + 1,5K_{FI} Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

kuitenkin vähintään:

$$\left. \begin{matrix} 1,35K_{FI} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j}$$

#### 4.5 Käyttörajatila

Käyttörajajaloiksi katsotaan rajatilat, jotka vaikuttavat rakenteen tai rakenneosien toimintaan normaalissa käytössä. Nämä liittyvät rakenteen käyttömukavuuteen ja rakennuksen ulkonäköön. (RIL 201-1-2017, 30)

Käyttörajajalimitoituksella voidaan ottaa huomioon tilanteita, jotka aiheuttavat ulkonäöllisiä, rakenteen toimivuuksellisia tai käyttäjien mukavuuteen liittyviä värähtely-, taipumia- tai siirtymätilanteita. (RIL 201-1-2017, 42)

Käyttörajajalassa tulee osoittaa, että käyttökelpoisuuskriteerissä määritettyjen kuormien mitoitus arvo  $E_d$  ei ylitä käyttökelpoisuuskriteerin mukaista mitoitusarvoa  $C_d$ . (RIL 201-1-2017, 42)

Kaava 8. Käyttörajajalan kaava. (RIL 201-1-2017, 42)

$$E_d \leq C_d$$

#### Käyttörajajalan kuormitusyhdistelmä

Käyttörajajalan kuormitusyhdistelmät valitaan siten, että ne ovat käyttökelpoisuus ja toivomuskriteerin kannalta tarkoituksenmukaisia. (RIL 201-1-2017, 44)

Kaavan 9 mukaisesti ominaisyhdistelmää käytetään tavallisesti palautumattomille rajajaloille. Palautumaton rajatila tarkoittaa rajatilaa, jossa kaikki käyttökelpoisuusvaatimuksen ylittävät vaikutukset kuormista eivät palaudu kuormat poistettaessa. (RIL 201-1-2017, 44)

Kaava 9. Käyttörajan ominaisyhdistelmä. (RIL 201-1-2017, 44)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

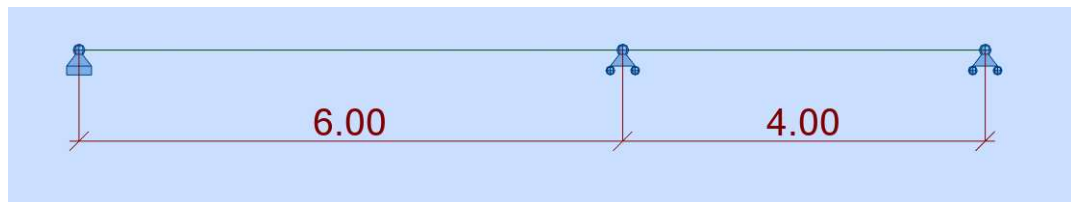
## 5 RAKENTEIDEN MITOITUS

### 5.1 Betonirakenteiden mitoitus

Alun perin kohteeseen oli tarkoitus asentaa ontelolaatat kantavaksi rakenteeksi tuulettuvalle alapohjalle, mutta toimitus syistä päädyttiin perinteiseen holvilaataan. Mitoitusmenetelmänä käytettiin yhteen suuntaan kantavaa laattaa, jossa teräsbetoni-laatta mitoite-  
taan metrin levyisenä palkkina. Kohteen teräsbetoni-laatan mitoitus käydään läpi liitteessä 5.

Rakennuksen leveydeksi eli lyhyemmäksi jännemitaksi tuli 10 metriä, päädyttiin mitoittamaan muuratun märkätilan väliseinän kohdalle sokkelikaistale, jolloin jänneväleiksi saatiin 4 ja 6 metriä.

Laatan alapinnan raudoitus mitoitetaan kuvan 7 mukaan kahdessa osassa. 4 ja 6 metrin yhteen suuntaan kantavina metrin levyisinä laattakaistaleina. Lisäksi tulee tarkistaa laatan yläpinnan raudoitus keskituen kohdalla.



Kuva 8. Teräsbetoni-laatan vapaakappalekuva

Holvilaatan ala- ja yläpinnan raudoitukset mitoitetaan taivutusraudoitukselle.

Yhteen suuntaan kantavalla laattalla taivutusmitoitusta tehdään pääsuunnassa, eli lyhyemmän suunnan mukaan. Pidemmän suunnan raudoitus suunnitellaan rakenteellisten ohjeiden mukaan. Tässä tapauksessa pidemmän suunnan raudoitus toimii jakoraudoituksena. Taivutusmitoitusta tehdään kaavan 10 mukaan lasketuille maksimimomenteille ja raudoituksen jakautuminen laatan leveydelle määritellään momenttijakauman ja likimääräisten rakenteellisten ohjeiden mukaan. (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 48)

Kaava 10. Taivutusmitoituksen mitoitusehto. (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 48)

$$m_{Rd} \geq m_{Ed}$$

Taivutusmitoitusta laskiessa tarvitaan suhteellisen momentin arvo  $\mu$ , jolla tarkistetaan suhteellisen momentin suhde tasapainoraidoitukseen. Tämä raja tulee harvoin vastaan, mutta se on aina tarkistettava osana laskentaprosessia. Kaavasta 11 saadaan  $\mu$ , jossa ulkoisten kuormien aiheuttama mitoitusmomentti  $m_{Ed}$ , poikkileikkauksen tehollinen korkeus  $d$ , betonin lujuuden mitoitusarvo  $f_{cd}$ , sekä tehollisen lujuuden kerroin  $\eta$ . (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 48–49)

Kaava 11. Taivutusmitoituksen mitoitusyhtälö. (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 48)

$$\mu = \frac{m_{Ed}}{\eta f_{cd} d^2}$$

Jos tasapainoraidoituksen ehto toteutuu kaavan 12 mukaan käyttäen taulukosta 20 saatuja arvoja, voidaan poikkileikkaukselle laskea tehollinen puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus  $\beta$  kaavasta 13, josta saadaan myös mekaanisen raidoituksen suhde  $\omega$ . (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 49)

Taulukko 20. Tasapainoraidoituksen mukaiset  $\mu_{bd}$  ja  $\beta_{bd}$ . (Suomen Betoniyhdistys ry 2013, 99)

Osavar- muus	$f_{yk} = 500 \text{ Mpa}$		$f_{yk} = 600 \text{ Mpa}$		$f_{yk} = 700 \text{ Mpa}$	
	$\beta_{bd}$	$\mu_{bd}$	$\beta_{bd}$	$\mu_{bd}$	$\beta_{bd}$	$\mu_{bd}$
$\gamma_s = 1,15$	0,493	0,372	0,458	0,353	0,428	0,336
$\gamma_s = 1,10$	0,485	0,367	0,450	0,349	0,419	0,331

Kaava 12. Tasapainoraudoituksen ehto. (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 49)

$$\mu \leq \mu_{bd}$$

Kaava 13. Tehollisen puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus ja mekaaninen raudoitussuhde. (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 49)

$$\beta = \omega = 1 - \sqrt{1 - 2\mu}$$

Vaadittu vetoraudoituksen pinta-ala leveysyksikkö kohden  $A_{s,vaad}$  saadaan kaavasta 14

Kaava 14. Vähimmäisraudoitus. (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 49)

$$A_{s,vaad} = \omega d \frac{\eta f_{cd}}{f_{yd}}$$

Raudoituksen vähimmäisraudoitusalan ehto  $A_{s,vaad} \geq A_{s,min}$  on vielä tarkistettava. Vähimmäisraudoitusala saadaan kaavasta 15. Joissakin tapauksissa vähimmäisraudoitusala voi kasvaa kohtuuttoman suureksi kuormituksen ollessa pieni ja rakenteen dimensiot määräytyvät muun kuin kuormituksen perusteella. Tällaisissa tapauksissa eurokoodi antaa mahdollisuuden käyttää vähimmäisraudoitusalanä 1,2 kertaista murtorajatilan raudoitusta. Haurastumisen riski on kuitenkin oltava pieni. (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 49, 80)

Kaava 15. Laatalle sovellettu vähimmäisraudoituksen kaava. (Suomen Betoniyhdistys ry 2013, 80)

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} d \\ 0,0013d \end{array} \right.$$



Tankoväli  $k$  saadaan kaavasta 16 sijoittamalla valittu tankopaksuus  $\phi$  ja merkitään yhden tangon poikkipinta-ala  $A_s(\phi)$ .

Kaava 16. Rauditus terästen jako. (Suomen Betoniyhdistys ry 2013, 49)

$$k = \frac{A_s(\phi)}{A_{s.vaad}}$$

Tarkistetaan vielä maksimi tankoväli  $S_{max.slabs}$ , joka saadaan taulukosta 21. (Suomen Betoniyhdistys ry 2013, 49)

$$k \leq S_{max.slabs}$$

Taulukko 21. Tankovälisäännöt, kahdesta arvosta pienempi on määräävä. (Suomen Betoniyhdistys ry 2013, 81)

$S_{max,slabs}$ (pienempi arvoista)	pääraudoitus	jakoraudoitus
maksimimomentin ja pistekuormien alueet	2h 250 mm	3h 400 mm
muut alueet	3h 400 mm	4h (3,5h) 600 mm (450 mm)

Teräsbetonilaatan leikkausmitoitus rajataan työn ulkopuolelle.

## 5.2 Puurakenteiden mitoitus

### 5.2.1 Murtorajatila mitoitus

#### Taivutuskestävyys

Taivutuskestävyyttä tarkasteltaessa tulee kaavan 17 ehtojen olla voimassa:

Kaava 17. Taivutusvoimakestävyys. (SFS-EN 1995-1-1, 38)

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

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

jossa:

$\sigma_{m.y.d}$  ja  $\sigma_{m.z.d}$  jännityksen mitoitusarvoja

$f_{m.y.d}$  ja  $f_{m.z.d}$  vastaavien taivutuslujuuksien mitoitusarvot

Kertoimen  $k_m$  avulla huomioidaan jännityksen uudelleen jakautuminen ja poikkileikkauksen materiaalin epähomogeenisuuden vaikutus. Kerroin  $k_m$  saa arvot: (SFS-EN 1995-1-1, 38)

Puutavaran ollessa sahatavaraa, liimapuuta tai LVL:

$k_m = 0,7$  suorakaidepoikkileikkauksilla

$k_m = 1,0$  muilla poikkileikkauksilla

Muut puiset rakennusmateriaalit poikkileikkauksesta riippumatta

$$k_m = 1,0$$

## Leikkaus

Kun voimatila on sellainen, että leikkausjännityksellä on syysuuntainen komponentti tai kun kummatkin leikkausjännityskomponentit ovat kohtisuorassa syysuuntaa vastaan, tulee seuraavan ehdon toteutua. (SFS-EN 1995-1-1, 38)

Kaava 18. Leikkausvoimakestävyys. (SFS-EN 1995-1-1, 38)

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

jossa:

$\tau_d$	leikkausjännityksen mitoitusarvo
$f_{v,d}$	leikkausvoiman mitoitusarvo

Taivutettujen sauvojen leikkauskestävyyttä laskettaessa on otettava huomioon halkeamisen vaikutus käyttämällä sauvan tehollista leveyttä  $b_{eff}$ , joka saadaan kaavasta 19. Kaavassa  $b$  on tarkasteltavan sauvan leveys ja  $k_{cr}$  on käyttöluokassa 1 sahatavaralle osoitettu kerroin 0,67. Kertopuulla, liimapuulla ja sahatavaran käyttöluokan ollessa 2 tai 3 kerroin on 1,0. (SFS-EN 1995-1-1, 38)

Kaava 19. Tehollinen leveys. (SFS-EN 1995-1-1, 38)

$$b_{eff} = k_{cr} b$$

## Tukipainekestävyys

Tukipainekestävyys saadaan kaavasta 20. Syysuuntaan nähden kohtisuorassa vaikuttavan puristusjännityksen tulee täyttää ehto. (Puuinfo, EC5 lyhennetty suunnitteluohje 2018, 24)

Kaava 20. Tukipainekestävyys. (Puuinfo Oy 2018, 24)

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} f_{c,90,d}$$

jossa:

$\sigma_{c,90,d}$	kosketuspinnalla vaikuttavan puristusjännityksen mitoitussarvo
$f_{c,90,d}$	puristuslujuuden mitoitussarvo syysuuntaa vastaan kohtisuorassa puristuksessa
$k_{c,\perp}$	tukipainekerroin, jonka arvo saadaan kaavasta 21

Kaava 21. Tukipainekerroin. (Puuinfo Oy 2018, 24)

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90cef}}{l} k_{c,90}$$

jossa:

$l$	puun syiden suuntainen kosketuspinnan pituus
$l_{c,90cef}$	kosketuspinnan tehollinen pituus, joka saadaan lisäämällä puristusjännityksen kosketuspinnan pituuden $l$ molemmille puolille 30 mm. Kuitenkin enintään kuvan 8 mukaisesti etäisyys reunasta $a$ , puristusjännitys kosketuspinnan leveys tukipinnan syidensuunnassa $l$ tai puolet puristuspintojen välisestä etäisyydestä $l_1/2$ . (Puuinfo, EC5 lyhennetty suunnitteluohje 2018, 24)
	eli:

$$\min \begin{cases} a \\ l \\ l_1/2 \\ 30 \text{ mm} \end{cases}$$

$k_{c,90}$  käytetään arvoa 1,0, paitsi kun kuvan 9 mukaisesti puristuspintojen välinen etäisyys  $l_1 \geq 2h$ , jolloin  $k_{c,90}$  saa kertoimet

$k_{c,90} = 1,25$  sahatavaran ollessa havupuista,

$k_{c,90} = 1,5$  liimapuun ollessa havupuista ja

$k_{c,90} = 1,4$  kertopuun lapepinnalla

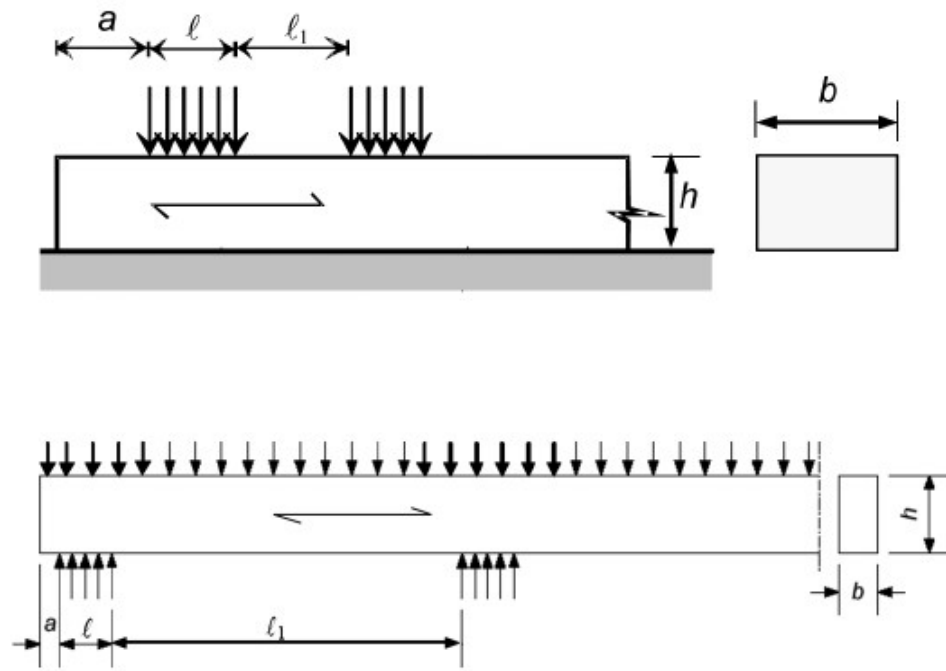
Kertoimelle  $k_{c,90}$  voidaan käyttää korotettuja arvoja edellyttäen, että palkilla on tasaisesti jakautunut kuormitus tai pistekuormia, joiden etäisyys tuen reunasta  $\geq 2h$ , jolloin  $k_{c,90}$  saa kertoimet

$k_{c,90} = 1,5$  sahatavaran ollessa havupuista,

$k_{c,90} = 1,75$  liimapuun ollessa havupuista tukipituuden ollessa  $l \leq 400 \text{ mm}$  ja

$k_{c,90} = 1,6$  kertopuun lapepinnalla

(Puuinfo Oy 2018, 24)



Kuva 9. Tukipaine jatkuvalla tuella ja palkin tukipinnoilla tai kuormitus pisteissä. (Puuinfo Oy 2018, 24)

### Nurjahdus

Puristettujen sauvojen nurjahduskestävyyttä laskettaessa rakenneosan suhteelliset hoikkeudet  $\lambda_{rel}$  saadaan seuraavista kaavoista 22:

Kaava 22. Suhteellinen hoikkuus. (SFS-EN 1995-1-1, 41)

$$\lambda_{rel.y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}}$$

$$\lambda_{rel.z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}}$$

jossa:

$\lambda_{rel.y}$ ja $\lambda_y$	taivutusta z-akselin suuntaan vastaava hoikkuusluku ja siitä laskettu hoikkuus
$\lambda_{rel.z}$ ja $\lambda_z$	taivutusta y-akselin suuntaan vastaava hoikkuusluku ja siitä laskettu hoikkuus
$E_{0.05}$	alempaa viiden prosentin fraktiilia vastaava, syysuuntaista kuormitusta vastaavan kimmokertoimen arvo

Taipumisen aiheuttaman geometrisen epälineaarisuuden takia jännitysten tulee täyttää seuraavat ehdot kaavan 23 mukaan:

Kaava 23. Jännitysten ehdot. (SFS-EN 1995-1-1, 41–42)

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.y}f_{c.0.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.y.d}} + k_m \frac{\sigma_{m.z.d}}{f_{m.z.d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z}f_{c.0.d}} + k_m \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.y.d}} + \frac{\sigma_{m.z.d}}{f_{m.z.d}} \leq 1$$

jossa:

$$k_{c.y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel.y}^2}}$$

$$k_{c.z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel.z}^2}}$$

$$k_y = 0.5(1 + \beta_c(\lambda_{rel.y} - 0.3) + \lambda_{rel.y}^2)$$

$$k_z = 0.5(1 + \beta_c(\lambda_{rel.z} - 0.3) + \lambda_{rel.z}^2)$$

ja jossa  $\beta_c$  saa arvon:

$\beta_c$	0,2 sahatavaralle
	0,1 liimapuulle ja Kerto LVL:lle

Puutavaran ollessa sahatavaraa, liimapuuta tai LVL:

$k_m = 0,7$  suorakaidepoikkileikkauksilla

$k_m = 1,0$  muilla poikkileikkauksilla

Muissa puissa rakennusmateriaaleissa poikkileikkauksesta riippumatta

$k_m = 1,0$

### 5.2.2 Käyttörajan mitoitus

#### Taipuma

Käyttörajan kuormitus aiheuttaa kokonaistaipuman  $W_{fin}$ , joka määritetään kaavalla

24

Kaava 24. Kokonaistaipuma. (Puuinfo, EC5 lyhennetty suunnitteluohje 2018, 10)

$$W_{fin} = \max \begin{cases} (1 + k_{def})W_{inst.G} + (1 + 0,2k_{des})W_{inst.lumi} + (0.7 + 0.3k_{def})W_{inst.hyöty} \\ (1 + k_{def})W_{inst.G} + (1 + 0,3k_{des})W_{inst.lumi} + (0.7 + 0.2k_{def})W_{inst.hyöty} \end{cases}$$

jossa:

$k_{def}$  virumaluku (Tauluko 18)

$W_{inst.G}$  pysyvän kuorman aiheuttama hetkellinen taipuma

$W_{inst.lumi}$  lumikuorman aiheuttama hetkellinen taipuma

$W_{inst.hyöty}$  hyötykuorman aiheuttama hetkellinen taipuma



Lopulliseksi taipumaksi määritetään kaavalla 25  $W_{net.fin}$ , joka on kokonaistaipuman arvo  $W_{fin}$ , josta vähennetään esikorotus  $W_c$ . Kohteessa ei käytetä esikorotettuja palkkeja, joten

Kaava 25. Lopputaipuma. (Puuinfo Oy 2018, 21)

$$W_{net.fin} = W_{fin}$$

Kun palkin taipumisesta on haittaa rakenteelle, kuormien ominaisyhdistelmästä aiheutuvat käyttörajatilan taipumat rajoitetaan taulukon 22 mukaisiksi. Kohteessa taipumat mitoitetaan muun muassa terassin primaari palkeille ja ikkuna-aukon ylitys palkeille. Näissä on rakenteen teknillisiä ja ulkonäöllisiä tekijöitä. Tuulikuormaa ei tarvitse huomioida yhdessä muiden muuttuvien kuormien kanssa käyttörajatilatarkastelussa, kun se ei ole määräävä muuttuva kuorma. (Puuinfo Oy 2018, 21)

Taulukko 22. Rakenteiden taipumien ja vaakasiirtymien enimmäisarvoja. (Puuinfo Oy 2018, 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 <sup>4)</sup>	-	$H/300$	-
$l$ on jänneväli $H$ on rakennuksen tarkasteltavan kohdan korkeus <sup>1)</sup> Koskee pelkästään lattioita <sup>2)</sup> Koskee suoria ja esikorotettuja rakenteita, mutta ei tukipisteiden välillä kaarevia tai taitteellisia kannattimia. <sup>3)</sup> Koskee esikorotettuja sekä tukipisteiden välillä kaarevia tai taitteellisia rakenteita, kuten esimerkiksi kaaret, mahapalkit, saksiristikot, bumerangipalkit. <sup>4)</sup> Hallirakennuksissa vaakasiirtymistä ei ole yleensä haittaa, jolloin sitä ei tarvitse tarkistaa. Kerrostaloissa suositellaan vaakasiirtymän rajoittamista enintään arvoon $H/500$ ylimmän kerroksen lattiatasolla. <sup>5)</sup> Lattialevyn taipumaa laskettaessa kuormituk- sena on lyhytaikainen pistekuorma $Q_k = 2 \text{ kN}$ ja levyn omapaino.			

### 5.3 Jäykistys

Rakennuksen tulee kestää ulkoisista vaaka- ja pystykuormista aiheutuvien vaakakuormien aiheuttamat rasitukset. Nämä kuormat tulee saattaa perustuksille saakka. (RIL 244-207, 10)

Rakennuksen seinät jäykistetään sisä- ja ulkopuolelta. Normaalisti 25 mm:n puukuituinen tuulensuojalevy ja sisäpuolen kipsilevy riittäisi omakotitalon jäykisteeksi, mutta isojen ikkunoiden ja terassin kattorakennelman, joka tukeutuu rakennuksen pätyyn, varmistettiin jäykkyyttä vielä seinän sisäpuolelta. Jäykisteeksi asennettiin rakennuksen nurkkiin 45°:n kulmassa sahatavara 50x200 mm<sup>2</sup>:n vinojäykisteet. Jäykisteet kiinnitetään ala- ja yläjuoksuihin, sekä välissä oleviin runkotolppiin. Nämä tulevat runkotolppien

sisäpintaan, koolauksen väliin. Koolausten pintaan asennetaan erikoiskova kipsilevy, joka toimii yhdessä muiden jäykisteiden kanssa.

Yläpohjan jäykistys toteutettiin kattotuolien alapaarteen yläpinnassa, sekä yläpaarteen alapinnassa 45°:n kulmassa kulkevilla kahdella 22x100 mm<sup>2</sup>:n jäykistelaudoilla joka nurkasta. Lisäksi kattotuoleissa kulkee neljä pystyjäykiste linjaa, jotka pitävät kattotuolit pystyssä. Pystyjäykistys tehdään vinolautajäykistyksellä, jossa kolme kattoristikkoa yhdistetään kahdella vinolaudalla. Kuormat johtuvat rakenteista aina perustuksille saakka.

Terassin katto jäykistetään pontatun verhouspaneelin ja teräs pantojen avulla. Teräs-pannat kiinnitetään paneelin päälle ja ruuvataan niskojen kohdalta kiinni puuruuvein. Pannat asennetaan 45°:n kulmassa katon niskoisiin nähden ja niistä muodostuu niin sanottut henkselit. Kattoon aiheutuvat kuormat siirtyvät talon runkoon ja terassin katon perustuksille.

## 6 LOPUKSI

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja mitoittaa omakotitalon kantavat rakenteet. Työn pohjalta voidaan laatia nyt rakennekuvat kohteesta ja sen rakenteista.

Haastavinta työssä oli terassin liimapuurakenteiden geometrinen suunnittelu. Tavoitteena oli suunnitella mahdollisimman avoimet ja sirot rakenteet. Varsinkin liimapuurakenteen lopputulos ja ulkonäkö miellyttävät silmää.

Opinnäytetyötä tehdessä minulle selvisi rakenteiden kriittisimmät kohdat ja jatkossa tiedän mihin rakenteisiin tulee perehtyä tarkemmin. Esimerkiksi pitkän jännevälillä omaavat liimapuupalkit kannatta alustavasti mitoittaa taipumalle ja kertopuut leikkaukselle. Ennen liimapuupalkkien tarkempaa mitoitusta kannattaa hahmotella rakenteeseen kohdistuvat kuormat ja mitoittaa pilarin poikkileikkaus, joka yleensä määrää palkin leveyden. Runkotolpat ovat alhaisesti kuormitettuja rakenteiden ollessa matalia, varsinkin omakotitaloissa, joissa eristepaksuus määrää yleensä runkotolpan leveyden.

Työstä sain myös useita laskentapohjia vastaavien rakenteiden mitoitukseen. Lisäksi lupaprosessiin tutustuminen auttaa jatkossa asiakkaiden kanssa, jotka ovat mahdollisesti aloittamassa rakennushanketta. Toimin projektissa myös vastaavana mestarina ja olen oppinut paljon myös vastaavan mestarin vastuu alueista ja tehtävistä.

## LÄHTEET

Puuinfo Oy. 2018. Eurokoodi 5 lyhennetty suunnitteluohje. 4. painos. Helsinki: Puuinfo Oy. Viitattu 25.2.2021 <https://www.puuinfo.fi/eurokoodi-5-lyhennetty-suunnitteluohje>.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2017. RIL 201-1-2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3, EN 1991-1-4. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2017. RIL 205-1-2017. Puurakenteiden suunnitteluohje. Eurokoodi EN 1995-1-1. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Suomen standardisoimisliitto SFS ry. 2002. EN 1991-1-1 + AC. Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat, tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

Suomen standardisoimisliitto SFS ry. 2006. EN 1990 + A1 + AC. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

Suomen standardisoimisliitto SFS ry. 2011. EN 1991-1-4 + AC + A1. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat. 2. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

Suomen standardisoimisliitto SFS ry. 2014. EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC. Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. 3. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

Suomen standardisoimisliitto SFS ry. 2015. EN 1991-1-3 + AC + A1. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-3: Yleiset kuormat. Lumikuormat. 2. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

Maskun kunta 2021a. Asuminen ja ympäristö. Viitattu 20.5.2021 <https://www.masku.fi/asuminen-ja-ymparisto/kaavoitus-ja-maankaytto-2/>

Maskunkunta 2021b. Lupamenettely. Viitattu 21.5.2021 <https://www.masku.fi/asuminen-ja-ymparisto/rakentaminen-2/lupamenetely/luvan-hakeminen/rakentaminen-asemakaava-alueen-ulkopuolella/suunnittelutarveratkaisut/>

## Lumikuorma

$$s_k := 2.25 \frac{kN}{m^2}$$

Lumikuorman ominaisarvo Maskussa

$$C_t := 1.0$$

Lämpökerroin

$$C_e := 1.0$$

Tuulensuojakerroin

$$\alpha := 33.7 \text{ deg}$$

Kattokaltevuus

$$\mu_{2.1} := 0.8 \cdot \frac{(60 \text{ deg} - \alpha)}{30 \text{ deg}} = 0.7$$

Katon lumikuorman muotokerroin

$$\mu_{2.2} := 0.8$$

Katon lumikuorman muotokerroin,  
kun katolla on lumiesteet

$$q_{k.lumi.1} := \mu_{2.1} \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 1.58 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{k.lumi.2} := \mu_{2.2} \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 1.8 \frac{kN}{m^2}$$

## Tuulikuorma

Tarkastelu suoritetaan voimakerroinmenetelmällä

Maastoluokka III

$$h := 7.5 \text{ m}$$

Rakennuksen korkeus

$$b := 16 \text{ m}$$

Rakennuksen pitkä sivu

$$d := 11 \text{ m}$$

Rakennuksen lyhyt sivu

Nopeuspaine

$$q_{p0} := 0.42 \frac{kN}{m^2}$$

Tuulen puuskanopeuspaine

$$q_p := q_{p0} = 0.42 \frac{kN}{m^2}$$

$$c_s c_d := 1$$

Kun rakennuksen korkeus on alle 15m

Kun tuulee talon lyhyemmän sivun suuntaisesti

$$\lambda := \frac{2 h}{b} = 0.94$$

$$\frac{d}{b} = 0.69$$

Sivumittojen suhde

saadaan,

$$c_f := 1.22$$

Voimakerroin

$$q_{w.k} := c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p = 0.51 \frac{kN}{m^2}$$

Tuulen pinta-alakuorma

Kun tuulee talon pidemmän sivun suuntaisesti

$$\lambda := \frac{2 h}{d} = 1.36$$

$$\frac{b}{d} = 1.45$$

Sivumittojen suhde

saadaan,

$$c_f := 1.2$$

Voimakerroin

$$q_{w.k} := c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p = 0.5 \frac{kN}{m^2}$$

Tuulen pinta-alakuorma

## Alajuoksun ja runkotolpan mitoitus

Liite 2(1)

$$\gamma_M := 1.3$$

Osavarmuusluku sahatavaralle

$$k_{mod} := 0.8$$

Muunnoskerroin

$$q_{k.lumi.2} := 1.8 \frac{kN}{m^2}$$

Sahatavara C18

$$f_{m.k} := 18 \text{ MPa}$$

$$f_{c.0.k} := 18 \text{ MPa}$$

$$f_{c.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.0.k}}{\gamma_M} = 11.08 \text{ MPa}$$

$$f_{c.90.k} := 2.2 \text{ MPa}$$

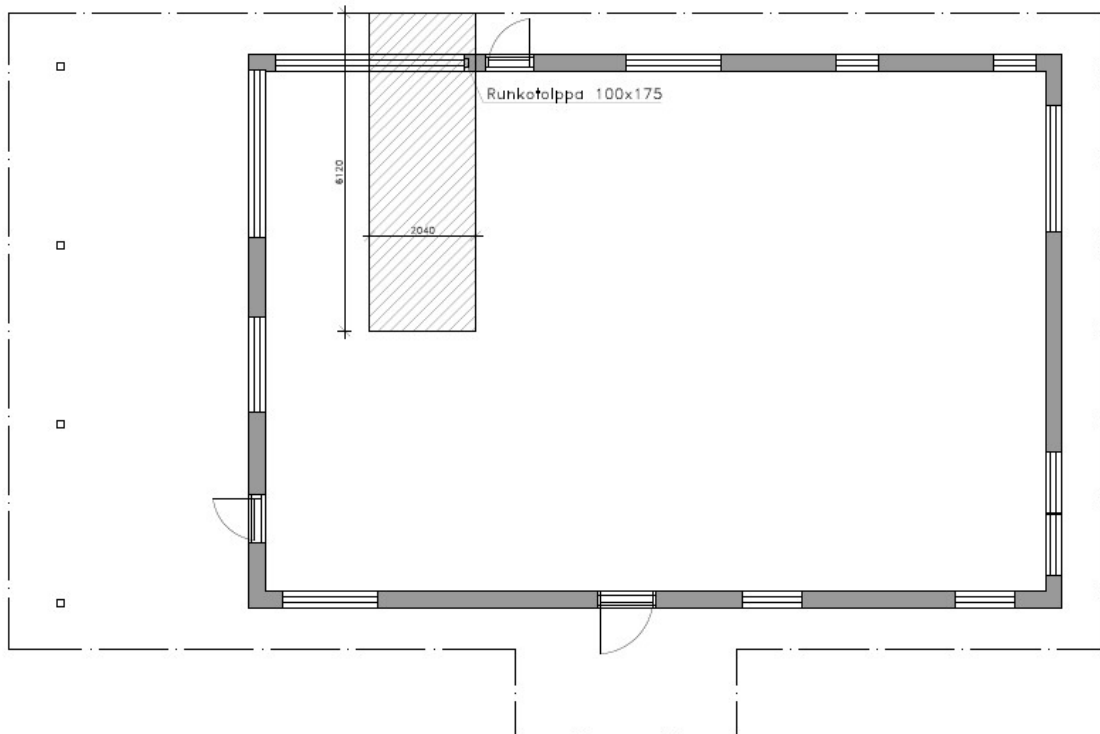
$$f_{c.90.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.90.k}}{\gamma_M} = 1.35 \text{ MPa}$$

$$E_{0.05} := 6000 \text{ MPa}$$

$$E_{0.mean} := 9000 \text{ MPa}$$

## Alajuoksun tukipainekestävyys

Alajuoksu tarkastellaan olohuoneen  
ikkunan viereistä runkotolppaa





Liite 2(2)

$$L := 6120 \text{ mm}$$

Kuormitusalan pituus

$$B := 2040 \text{ mm}$$

Kuormitusalan leveys

$$A := L \cdot B = 12.48 \text{ m}^2$$

Kuormituksen pinta-ala

$$g_{k,yp} := 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Yläpohjan omapaino

$$q_{k,lumi.2} = 1.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Luomikuorma

$$N_d := 1.15 \cdot A \cdot g_{k,yp} + 1.5 \cdot A \cdot q_{k,lumi.2} = 40.89 \text{ kN}$$

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

Runkotolpan leveys

$$h := 175 \text{ mm}$$

Runkotolpan korkeus

$$\sigma_{c.90.d} := \frac{N_d}{b \cdot h} = 2.34 \text{ MPa}$$

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

$$l_{c.90.ef} := 30 \text{ mm} + b + 30 \text{ mm} = 160 \text{ mm}$$

Tehollinen kosketuspinnan leveys

$$k_c := \frac{l_{c.90.ef}}{b} \cdot k_{c.90} = 2$$

Tukipainekerroin

Käyttöaste

$$\frac{\sigma_{c.90.d}}{k_c \cdot f_{c.90.d}} = 0.86 \leq 1.0 \text{ OK!}$$

## Runkotolpan mitoitus

$$b = 100 \text{ mm}$$

$$N_d = 40.89 \text{ kN}$$

$$h = 175 \text{ mm}$$

$$f_{c.0.d} = 11.08 \text{ MPa}$$

$$l_{tolppa} := 3.2 \text{ m}$$

Tolpan pituus

$$W := \frac{b \cdot h^2}{6} = 510416.67 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{c.0.d} := \frac{N_d}{b \cdot h} = 2.34 \text{ MPa}$$

Puristusjännitys

$$L_c := 1.0 \cdot l_{tolppa} = 3.2 \text{ m}$$

Nurjahduspituus

$$i := \frac{h}{\sqrt{12}} = 50.52 \text{ mm}$$

Jäyhyysäde

$$\lambda := \frac{L_c}{i} = 63.34$$

Hoikkuuskerroin

$$\lambda_{rel} := \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} = 1.104$$

Suhteellinen hoikkuus

$$\beta_c := 0.2$$

Sahatavaralle

$$k := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0.3) + \lambda_{rel}^2) = 1.19$$

Kerroin

$$k_c := \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = 0.61$$

Nurjahduskerroin

## Käyttöaste

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_c \cdot f_{c.0.d}} = 0.345 \leq 1.0 \text{ OK!}$$

Keskipitkä aikaluokka

Käyttöluokka 1

Palkin materiaali

Kerto-s

$$f_{m.k} := 44 \text{ MPa}$$

$$E_{0.mean} := 13800 \text{ MPa}$$

$$f_{v.k} := 4.1 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M := 1.2$$

$$f_{c.90.edge.k} := 6 \text{ MPa}$$

$$k_{mod} := 0.8$$

Kuormat

$$g_{k.1} := 0.5 \frac{kN}{m^2}$$

Yläpohjan omapaino

$$g_{k.2} := 0.2 \frac{kN}{m^2}$$

Yläpohjan omapaino  
räystään kohdalla

$$q_k := 1.8 \frac{kN}{m^2}$$

Lumikuorma

Ominaiskuormien aiheuttamat voimasuureet

$$L := 10.0 \text{ m}$$

Ristikon jänneväli

$$L_1 := 3.62 \text{ m}$$

Ristikoiden kannatuspalkin jänneväli

$$k := 0.9 \text{ m}$$

Räystään kuormitusleveys

Ristikon tukireaktio yläpohjan omapainosta

$$F_{g.k} := \frac{L}{2} \cdot g_{k.1} + k \cdot g_{k.2} = 2.68 \frac{kN}{m}$$

Ristikon tukireaktio lumikuormasta

$$F_{q.k} := \left( \frac{L}{2} + k \right) \cdot q_k = 10.62 \frac{kN}{m}$$

Palkin tukireaktiot yläpohjan omapainosta

$$B_{g.k} := \frac{F_{g.k} \cdot L_1}{2} = 4.851 \text{ kN}$$

$$A_{g.k} := B_{g.k} = 4.851 \text{ kN}$$

Palkin tukireaktiot lumikuormasta

$$B_{q.k} := \frac{F_{q.k} \cdot L_1}{2} = 19.222 \text{ kN}$$

$$A_{q.k} := B_{q.k} = 19.222 \text{ kN}$$

Maksimimomentti yläpohjan omapainosta

$$M_{g.k} := \frac{F_{g.k} \cdot L_1^2}{8} = 4.39 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Maksimimomentti lumikuormasta

$$M_{q.k} := \frac{F_{q.k} \cdot L_1^2}{8} = 17.396 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Maksimi leikkausvoima yläpohjan omapainosta

$$V_{g.k} := A_{g.k} = 4.851 \text{ kN}$$

Maksimi leikkaus lumikuormasta

$$V_{q.k} := A_{q.k} = 19.222 \text{ kN}$$

**Palkin lähtötiedot**

$$h := 400 \text{ mm}$$

$$b := 63 \text{ mm}$$

## Taivutuskestävyys

**Maksimi taivutusmomentti**

$$M_d := 1.15 \cdot M_{g.k} + 1.5 \cdot M_{q.k} = 31.143 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

**Taivutusjännitys**

$$\sigma_{m.y.d} := \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = 18.537 \text{ MPa}$$

**Taivutuslujuus**

$$f_{m.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m.k}}{\gamma_M} = 29.333 \text{ MPa}$$

**Mitoitusehto**

$$\frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} = 0.632 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

**Leikkausvoimakestävyys****Maksimi leikkausvoima**

$$V_d := 1.15 \cdot V_{g,k} + 1.5 \cdot V_{q,k} = 34.412 \text{ } \textcolor{blue}{kN}$$

**Leikkausjännitys**

Palkki on kertopuuta

$$b_{ef} := b$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = 2.048 \text{ } \textcolor{blue}{MPa}$$

**Leikkauslujuus**

$$f_{v,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 2.733 \text{ } \textcolor{blue}{MPa}$$

**Mitoitusehto**

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = 0.749 \quad \leq \quad 1.0 \quad \text{OK!}$$

**Taipuma**

$$I := \frac{b \cdot h^3}{12} = 336000000 \text{ mm}^4$$

Hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista

$$w_{inst.G} := \frac{5}{384} \cdot \frac{F_{g.k} \cdot L_1^4}{E_{0.mean} \cdot I} = 1.292 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma muuttuvista kuormista

$$w_{inst.Q} := \frac{5}{384} \cdot \frac{F_{q.k} \cdot L_1^4}{E_{0.mean} \cdot I} = 5.121 \text{ mm}$$

**Lopputaipuma**

$$k_{def} := 0.6$$

$$w_{fin} := \left( (1 + k_{def}) \cdot w_{inst.G} + (1 + 0.2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst.Q} \right) = 7.804 \text{ mm}$$

**Mitoitusehto**

$$\text{Taipumaraja} \quad w_{fin} \leq w_{sall} := \frac{L_1}{300} = 12.067 \text{ mm}$$

$$\frac{w_{fin}}{w_{sall}} = 0.647 < 1.0 \quad \text{OK}$$

**Terassin katon liimapuurakenteiden mitoitus**

Terassin katto muodostuu liimapuu rakenteesta, jossa käytetään kattoniskoja, palkkeja ja pilareita.

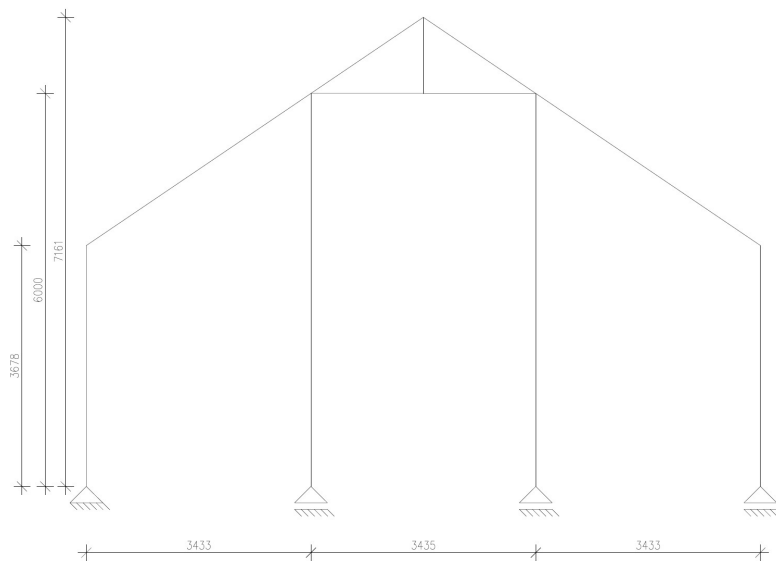
Mitoitus tehdään vain niiltä kohdilta, joissa kuormitus on suurimmillaan.

Kattoniskat tulevat halkaistusta liimapuusta 66 mm x 225 mm

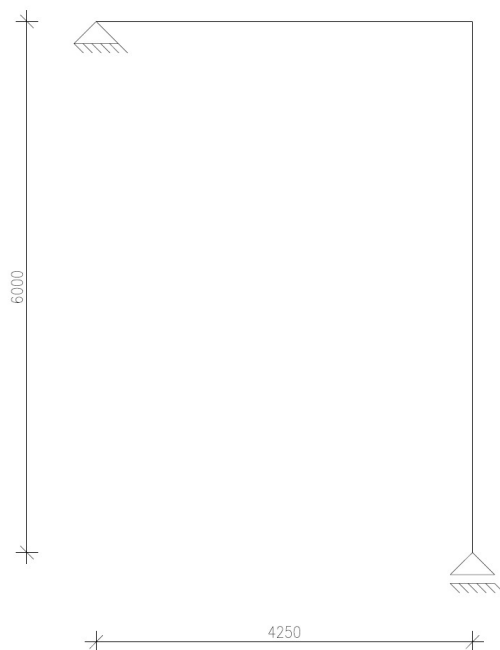
Palkit tulevat 140 mm x 225 mm / 270 mm

Pilarit ovat 140 mm x 140 mm

Alla rakenteen vapaakappale kuvat rakentesta



Sivusta



## Kattoniskan mitoitus

Palkin materiaali

GL30c

Keskipitkä aikaluokka  
Käyttöluokka 2

$$f_{m,k} := 30 \text{ MPa}$$

$$E_{0,mean} := 13000 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} := 3.5 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M := 1.25$$

$$f_{c,90,edge,k} := 6 \text{ MPa}$$

$$k_{mod} := 0.8$$

$$L := 6035 \text{ mm}$$

Niskan pituus

$$L_1 := 4317 \text{ mm}$$

Niskan suurempi jänneväli

Kuormat

$$g_k := 0.4 \frac{kN}{m^2}$$

Terassin yläpohjan omapaino

$$q_k := 1.8 \frac{kN}{m^2}$$

Lumikuorma

Ominaiskuormien aiheuttamat voimasuureet

$$k := 0.9 \text{ m}$$

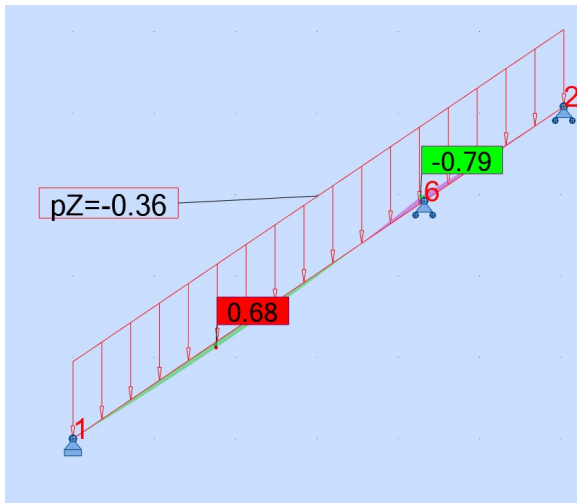
Kattoniskojen jako

$$G_k := k \cdot g_k = 0.36 \frac{kN}{m}$$

$$Q_k := k \cdot q_k = 1.62 \frac{kN}{m}$$



# Kuormitusten aiheuttamat voimat

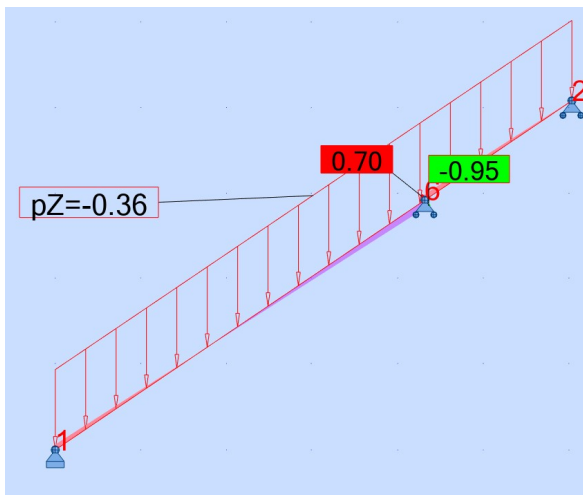
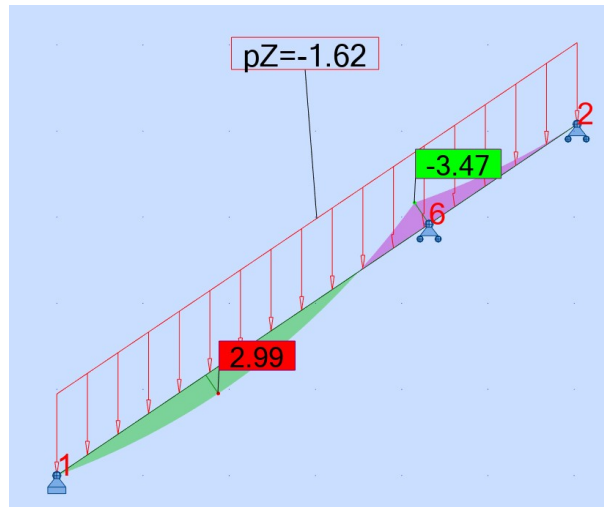


Maksimimomentti yläpohjan omapainosta

$$M_{g.k} := 0.79 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Maksimimomentti lumikuormasta

$$M_{q.k} := 3.47 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

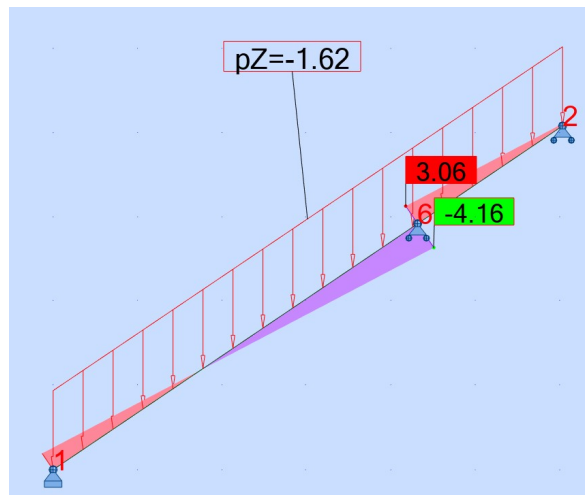


Maksimi leikkausvoima yläpohjan omapainosta

$$V_{g.k} := 0.95 \text{ kN}$$

Maksimi leikkaus lumikuormasta

$$V_{q.k} := 4.16 \text{ kN}$$



**Palkin lähtötiedot**

$$h := 225 \text{ mm}$$

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

**Taivutuskestävyys****Maksimi taivutusmomentti**

$$M_d := 1.15 \cdot M_{g,k} + 1.5 \cdot M_{q,k} = 6.114 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

**Taivutusjännitys**

$$\sigma_{m,y,d} := \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = 10.978 \text{ MPa}$$

**Taivutuslujuus**

$$f_{m,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 19.2 \text{ MPa}$$

**Mitoitusehto**

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} = 0.572 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

**Leikkausvoimakestävyys****Maksimi leikkausvoima**

$$V_d := 1.15 \cdot V_{g,k} + 1.5 \cdot V_{q,k} = 7.333 \text{ kN}$$

**Leikkausjännitys**

Palkki on liimapuuta

$$b_{ef} := b$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = 0.741 \text{ MPa}$$

**Leikkauslujuus**

$$f_{v,d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 2.24 \text{ MPa}$$

**Mitoitusehto**

Liite 4(5)

$$\frac{\tau_d}{f_{v.d}} = 0.331 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

**Taipuma**

$$I := \frac{b \cdot h^3}{12} = 62648437.5 \text{ mm}^4$$

Hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista

$$w_{inst.G} := \frac{5}{384} \cdot \frac{G_k \cdot L_1^4}{E_{0.mean} \cdot I} = 1.999 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma muuttuvista kuormista

$$w_{inst.Q} := \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_k \cdot L_1^4}{E_{0.mean} \cdot I} = 8.996 \text{ mm}$$

**Lopputaipuma**

$$k_{def} := 0.8$$

$$w_{fin} := \left( (1 + k_{def}) \cdot w_{inst.G} + (1 + 0.2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst.Q} \right) = 14.033 \text{ mm}$$

**Mitoitusehto**

$$\text{Taipumaraja } w_{fin} \leq w_{sall} := \frac{L_1}{300} = 14.39 \text{ mm}$$

$$\frac{w_{fin}}{w_{sall}} = 0.975 < 1.0 \quad \text{OK}$$

**Kattoniskan kannatinpalkin mitoitus**

Mitoitetaan keskituella sijaitseva palkki, sillä se on raskaiten kuormitettu.

GL30c

$$f_{m,k} := 30 \text{ MPa}$$

$$E_{0,mean} := 13000 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} := 3.5 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M := 1.25$$

$$k_{mod} := 0.8$$

$$L := 4220 \text{ mm}$$

Palkin pituus

**Kuormat**

$$g_k := 0.95 \text{ kN}$$

Kattoniskojen aiheuttama kuormitus tuella katon omasta painosta.

$$q_k := 4.16 \text{ kN}$$

Kattoniskojen aiheuttama kuormitus tuella lumikuormasta

Ominaiskuormien aiheuttamat voimasuureet

$$k := 0.9 \text{ m}$$

kattoniskojen jako

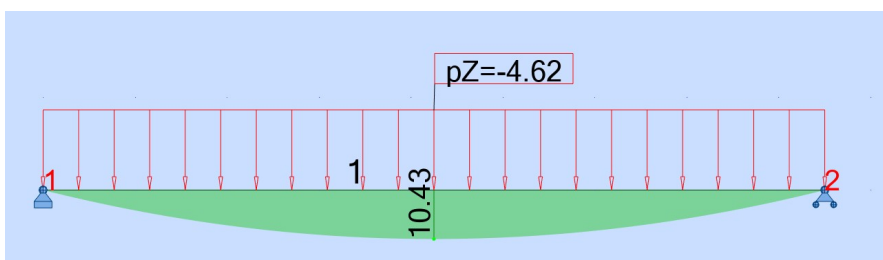
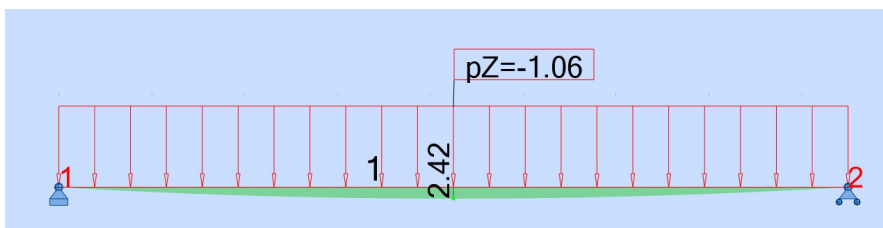
$$G_k := \frac{g_k}{k} = 1.056 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Kuormitus jaettu metrin matkalle

$$Q_k := \frac{q_k}{k} = 4.622 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Kuormitus jaettu metrin matkalle

Kuormituksen aiheuttamat voimat

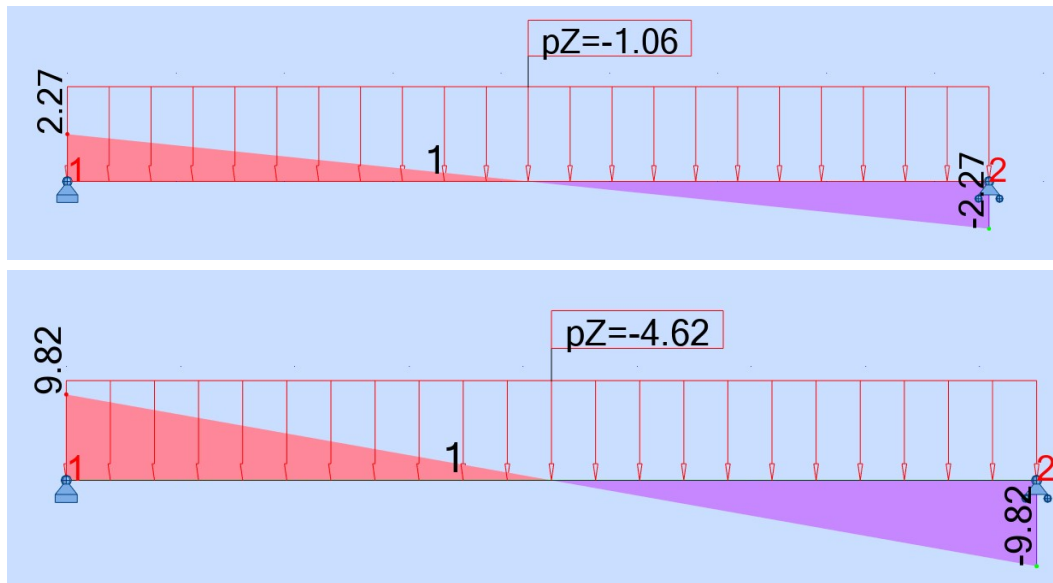


Maksimimomentti yläpohjan omapainosta

$$M_{g,k} := 2.42 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Maksimimomentti lumikuormasta

$$M_{q,k} := 10.43 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



Maksimi leikkausvoima yläpohjan omapainosta

$$V_{g,k} := 2.27 \text{ kN}$$

Maksimi leikkaus lumikuormasta

$$V_{q,k} := 9.82 \text{ kN}$$

**Palkin lähtötiedot**

$$h := 270 \text{ mm}$$

$$b := 140 \text{ mm}$$

**Taivutuskestävyys****Maksimi taivutusmomentti**

$$M_d := 1.15 \cdot M_{g.k} + 1.5 \cdot M_{q.k} = 18.428 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

**Taivutusjännitys**

$$\sigma_{m.y.d} := \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = 10.834 \text{ MPa}$$

**Taivutuslujuus**

$$f_{m.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m.k}}{\gamma_M} = 19.2 \text{ MPa}$$

**Mitoitusehto**

$$\frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.d}} = 0.564 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

**Leikkausvoimakestävyys****Maksimi leikkausvoima**

$$V_d := 1.15 \cdot V_{g.k} + 1.5 \cdot V_{q.k} = 17.341 \text{ kN}$$

**Leikkausjännitys**

Palkki on liimapuuta

$$b_{ef} := b$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = 0.688 \text{ MPa}$$

**Leikkauslujuus**

$$f_{v.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v.k}}{\gamma_M} = 2.24 \text{ MPa}$$

**Mitoitusehto**

$$\frac{\tau_d}{f_{v.d}} = 0.307 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

**Taipuma**

$$I := \frac{b \cdot h^3}{12} = 229635000 \text{ mm}^4$$

Hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista

$$w_{inst.G} := \frac{5}{384} \cdot \frac{G_k \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I} = 1.46 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma muuttuvista kuormista

$$w_{inst.Q} := \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_k \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot I} = 6.394 \text{ mm}$$

**Lopputaipuma**

$$k_{def} := 0.8$$

$$w_{fin} := \left( (1 + k_{def}) \cdot w_{inst.G} + (1 + 0.2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst.Q} \right) = 10.045 \text{ mm}$$

**Mitoitusehto**

$$\text{Taipumaraja } w_{fin} \leq w_{sall} := \frac{L}{300} = 14.067 \text{ mm}$$

$$\frac{w_{fin}}{w_{sall}} = 0.714 < 1.0 \quad \text{OK}$$

## Liimapuupilarin mitoitus

Liite 4(10)

Materiaali      GL30c

Mitoitetaan pidempi pilari pari, joka on myös eniten kuormitettu

$$k_{mod} := 0.8 \qquad b := 140 \text{ mm} \qquad L := 6 \text{ m}$$

$$\gamma_M := 1.25 \qquad h := 140 \text{ mm}$$

$$k_r := 0.8 \quad \text{Kiinnityksen huomioiva pienennyskerroin}$$

Materiaaliominaisuudet

$$f_{c.0.k} := 24.5 \text{ MPa} \qquad f_{c.0.d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c.0.k}}{\gamma_M} = 15.68 \text{ MPa}$$

$$E_{0.05} := 10800 \text{ MPa}$$

$$G_k := 2.27 \text{ kN} \qquad \text{Liimapuupalkin aiheuttama tukireaktio omapainosta}$$

$$Q_k := 9.82 \text{ kN} \qquad \text{Liimapuupalkin aiheuttama tukireaktio lumikuormasta}$$

$$N_{Ed} := 1.15 \cdot G_k + 1.5 \cdot Q_k = 17.341 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c.0.d} := \frac{N_{Ed}}{b \cdot h} = 0.885 \text{ MPa}$$

Nurjahdus tarkistelu

$$L_{0z} := 1.0 \cdot L = 6 \text{ m}$$

Nurjahduspituus

$$i := \frac{h}{\sqrt{12}} = 40.415 \text{ mm}$$

Poikkileikkauksen jäyhyysäde

$$\lambda := \frac{L_{0z}}{i} = 148.461$$

$$\lambda_{rel} := \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} = 2.251$$

Suhteellinen hoikkuus



$\beta_c := 0.1$  liimapuulle

$$k := \frac{1}{2} \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0.3) + \lambda_{rel}^2) = 3.131 \quad \text{Vakio } k$$

$$k_c := \frac{1}{k + \sqrt{k^2 + \lambda_{rel}^2}} = 0.143 < 1.0 \quad \text{tarvitsee huomioida}$$

Mitoitusehto

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_c \cdot f_{c.0.d}} = 0.394 < 1.0 \quad \text{OK}$$

## Lähtötiedot

Laatan paksuus  $h := 160 \text{ mm}$

Kaistaleen leveys  $b := 1000 \text{ mm}$

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

Suojapeite  $c_{nom} := 25 \text{ mm}$

max raekoko  $d_g := 16 \text{ mm}$

Betoni C30/37

Raudoitus B500A

$f_{ck} := 30 \text{ MPa}$

$f_{yk} := 500 \text{ MPa}$

Materiaaliosavarmuusluvut

$\gamma_c := 1.50 \quad \gamma_s := 1.15$

$\eta := 1$

Lujuusarvot

$f_{cd} := 0.85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 17 \text{ MPa}$

$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \text{ MPa}$

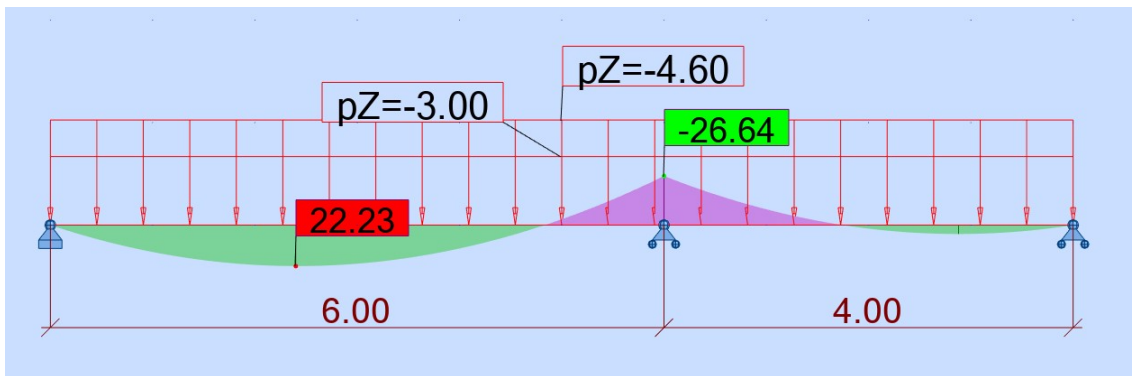
Kuormitukset

$g_k := h \cdot \rho \cdot b = 4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Laatan omapaino

$q_k := 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Hyötykuorma



Mitoituskuorma

$$P_{Ed} := 1.15 \cdot g_k + 1.5 \cdot q_k = 7.6 \frac{kN}{m}$$

$$M_{Ed.alapinta} := 22.23 \text{ kN} \cdot m$$

$$M_{Ed.yläpinta} := 26.64 \text{ kN} \cdot m$$

### Alapinnan raudoitteen mitoitus

Poikkileikkaussuureet

Arvioidaan tankopaksuus  $\phi := 12 \text{ mm}$

$$d := h - c_{nom} - 1.1 \cdot \phi - \frac{1.1 \cdot \phi}{2} = 115.2 \text{ mm}$$

Mitoitus

Suhteellinen momentti

$$\mu := \frac{M_{Ed.alapinta}}{b \cdot (d)^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}} = 0.099$$

Puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus

$$\beta := 1 - \sqrt{1 - 2 \mu} = 0.104 < \beta_{bd} := 0.493$$

Rauditus myöntää  
murtotilassa

Mekaaninen raudoitussuhde

$$\omega := \beta$$

Vaadittu rauditusala

$$A_{s.vaad} := \omega \cdot b \cdot d \cdot \frac{\eta \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = 468.157 \text{ mm}^2$$

Valitaan raudoitustangot

$$\phi := 12 \text{ mm} \quad A_s := \pi \frac{\phi^2}{4} = 113.097 \text{ mm}^2$$

Lasketaan tankoväli

$$k := \frac{A_s}{A_{s.vaad}} = 0.242 \text{ m}$$

Valitaan alapinnan tukiraudoitukseksi  
T12 k200

Poikittainen jakorauditus

$$A_{s.jako} := 0.2 \cdot A_{s.vaad} = 93.631 \text{ mm}^2$$

Valittu rauditus ja tankoväli

$$\phi_{jako} := 6 \text{ mm}$$

$$A_{s.\phi.jako} := \pi \cdot \frac{\phi_{jako}^2}{4} = 28.274 \text{ mm}^2$$

$$k := \frac{A_{s.\phi.jako}}{A_{s.jako}} = 0.302 \text{ m}$$

Kohteessa käytetään rauditusverkkoa,  
joten jakoraudoitteeksi tulee T12 k200

**Yläpinnan raudoitteen mitoitus**

Poikkileikkaussuureet

Arvioidaan tankopaksuus  $\phi := 12 \text{ mm}$ 

$$d := h - c_{nom} - 1.1 \cdot \phi - \frac{1.1 \cdot \phi}{2} = 115.2 \text{ mm}$$

Suhteellinen momentti

$$\mu := \frac{M_{Ed,yläpinta}}{b \cdot (d)^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}} = 0.118$$

Puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus

$$\beta := 1 - \sqrt{1 - 2 \mu} = 0.126 < \beta_{bd} := 0.493$$

Raudoitus myöntää  
murtotilassa

Mekaaninen raudoitussuhde

$$\omega := \beta$$

Vaadittu rauditusala

$$A_{s,vaad} := \omega \cdot b \cdot d \cdot \frac{\eta \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = 567.643 \text{ mm}^2$$

Valitaan raudoitustangot

$$\phi := 12 \text{ mm} \quad A_s := \pi \frac{\phi^2}{4} = 113.097 \text{ mm}^2$$

Lasketaan tankoväli

$$k := \frac{A_s}{A_{s,vaad}} = 0.199 \text{ m}$$

Valitaan alapinnan tukiraudoitukseksi  
T12 k150

Poikittainen jakorauditus

$$A_{s,jako} := 0.2 \cdot A_{s,vaad} = 113.529 \text{ mm}^2$$

Valittu rauditus ja tankoväli

$$\phi_{jako} := 6 \text{ mm}$$

$$A_{s,\phi,jako} := \pi \cdot \frac{\phi_{jako}^2}{4} = 28.274 \text{ mm}^2$$

$$k := \frac{A_{s,\phi,jako}}{A_{s,jako}} = 0.249 \text{ m}$$

Kohteessa käytetään rauditusverkkoa,  
joten jakoraudoitteeksi tulee T12 k150