

Joonas Luoma

**Puurunkoisen 2-kerroksisen pienrakennuksen
suunnittelu ja mitoitus**

Opinnäytetyö

Syksy 2011

Tekniikan yksikkö

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Seinäjoen ammattikorkeakoulu
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Rakennesuunnittelu

Tekijä: Joonas Luoma

Työn nimi: Puurunkoisen 2-kerroksisen pienkerrostalon suunnittelu ja mitoitus

Ohjaaja: Martti Perälä

Vuosi: 2011 Sivumäärä: 53 Liitteiden lukumäärä: 8

Työssä käydään läpi ohjeita ja määräyksiä pienrakennuksen perustusten ja alapohjan suunnittelusta sekä käsitellään ohjeistuksia routasuojauksesta ja salaojaputkien sijainnista ja niiden suojauksesta.

Mitoituksesta käsitellään perustusten mitoitusvaatimuksia sekä niiden kokoon vaikuttavia asioita. On otettava huomioon asiat suunniteltaessa asiakkaalle kaksikerroksista rakennusta anturaperustuksella ja maanvaraisella laatalla, puurungolla sekä puisilla portailla. Käsitellään siis käyttö- ja murtorajatilan kuormitusyhdistelmät, mitoittavat kuormat, puun eri materiaaliominaisuudet, jotka tulee ottaa huomioon pientalorakentamisessa. Betonin ja raudan osuus jää vain anturan mitoitusperusteisiin. Kaikille rakenteille suoritetaan myös palomitoitus. Työssä kerrotaan myös esimerkkejä ulko- ja väliseinärakenteista sekä ylä- ja välipohjarakenteista.

Rakennuksen suunnittelussa ensisijaisena on saada käyttömukava ja toimiva rakenne. Huonetilat pyritään pitämään riittävän avarina ilman häiritseviä rakenteita.

Avainsanat: anturaperustus, mitoitus, pienrakennus, puurunko

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Joonas Luoma

Title of thesis: Desing and calculation of structures of a two-storey wooden building

Supervisor: Martti Perälä

Year: 2011 Number of pages: 53 Number of appendices: 8

The thesis examines the instructions and regulations for the foundations of a low rise apartment and the building design of base floor. The guidelines deal with frost protection, and the location of drainpipes and their protection.

Dimensioning handles the design requirements for foundations as well as what affects their size. Therefore, what should be considered when designing a two-storey building with footing and on ground tile, timber frame and wooden stairs are the topics. Therefore, the subject is to calculate ultimate use load and normal use load combinations, dimensioning loads and different material properties of wood that should be taken into account in designing a small construction. Concrete and iron play only a little part in designing and there are calculations of strip foundation only. All structures should also be checked for fire design criteria. A small part of the work describes examples of the outer wall and inner wall structures and roof and floor structures.

The priority in building design is to make a comfortable and functional structure. In other words, to keep the rooms sufficiently spacious without interfering structures.

Keywords: footing, two-storey building

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	9
1 JOHDANTO	10
2 OHJEITA JA MÄÄRÄYKSIÄ PIENTALON SUUNNITTELUUN.....	11
2.1 Pientalon alusrakenteen valinta	11
2.1.1 Pohjasuhteiden selvitys.....	11
2.1.2 Pohjasuhteiden vaikutus perustuksiin	12
2.1.3 Pohja- ja maarakenteet määräykset	13
2.1.4 Salaojitus	13
2.2 Pientalon perustukset.....	15
2.2.1 Pientalon perustuksien vaatimukset.....	15
2.2.2 Pientalon perustustavat.....	15
2.3 Pientalon alapohjarakenteet.....	17
2.4 Pienrakennuksen seinänturan ja maanvaraisen laatan mitoitus	18
2.5 Routasuojarakenteet.....	19
2.6 Pientalon puurunkorakenteet	21
2.7 Runkorakenteiden mitoitus.....	21
2.7.1 Kuormat	22
2.7.2 Murto- ja käyttörajatilamitoitus	28
2.7.3 Käyttöluokat	29
2.7.4 Puun materiaaliominaisuuksia mitoituksessa.....	30
2.7.5 Rakenneosien mitoitus murtorajatila	34
2.7.6 Rakenneosien mitoitus käyttörajatila.....	39
2.8 Pientalon seinärakenteet.....	41
2.8.1 Ulkoseinärakenteet	41
2.8.2 Väliseinärakenteet	42
2.9 Ylä- ja välipohjarakenteet.....	43

2.10	Portaat	45
2.11	Paloturvallisuus.....	46
3	RAKENNUKSEN SUUNNITTELU	48
4	LOPPUPOHDINTA	51
	LÄHTEET	52
	LIITTEET.....	53

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Esimerkki reunavahvistetun laattaperustuksen salaojituksesta. (KH-91-00129).....	14
Kuvio 2. Periaatekuvat maanvaraisen ja tuulettuvan alapohjan routasuojauksesta. (RT 81-10590).....	20
Kuvio 3. Lumikuorman muotokertoimet. (Kevarinmäki 2010, 12).....	24
Kuvio 4. Kattotyyprien lumikuormakertoimet pulpetti-, harja- ja sahakatolle. (Kevarinmäki 2010, 12).....	24
Kuvio 5. Tuulen aiheuttama kuorma eri maastoluokissa. (Kevarinmäki 2010, 13)	26
Kuvio 6. Eri poikkileikkauksien akselit. (Kevarinmäki 2010, 25)	34
Kuvio 7. Esimerkki paloluokan EI 60 täyttävästä rakenteesta. (RT 82-10852).....	42
Kuvio 8. Esimerkki yläpohjasta, jossa kantava palkisto. (RT 82-10852)	44
Kuvio 9. Portaiden ja lepotason kantava palkisto.(RT 88-10743)	45
Taulukko 1. Seinäanturan mitoituskaavat. (Saariaho A., 2009)	18
Taulukko 2. Yleisimpien hyötykuormien ominaisarvoja. (Kevarinmäki 2010, 11) ..	23
Taulukko 3. Maastoluokan määritykset. (Kevarinmäki 2010, 12).....	25
Taulukko 4. Rakenteen voimakerroin. (Kevarinmäki 2010, 13).....	26

Taulukko 5. Ulkoseinien paikallisia nettotuulenpainekertoimia. (Kevarinmäki 2010, 14).....	27
Taulukko 6. Kattojen nettopainekertoimia suurimmalle tuulesta aiheutuvalle imulle. (Kevarinmäki 2010, 14).....	27
Taulukko 7. Murtorajatilan kuormitusyhdistelmät (Kevarinmäki 2010, 9)	28
Taulukko 8. Käyttörajatilan kuormitusyhdistelmät (Kevarinmäki 2010, 10)	29
Taulukko 9. Modifiointi kertoimet. (Kevarinmäki 2010, 17).....	30
Taulukko 10. Suomessa käytettävät osavarmuusluvut. (Kevarinmäki 2010, 15) ..	31
Taulukko 11. Sahatavaran (havupuu) ja liimapuun yleisimmin käytössä olevat materiaalin ominaislujuudet, jäykkyysominaisuudet ja tiheydet. (Kevarinmäki 2010, 17).....	32
Taulukko 12. Eri LVL:ien ominaislujuudet, kokovaikutusekspONENTIT, jäykkyysominaisuudet ja tiheydet. (Kevarinmäki 2010, 18).....	33
Taulukko 13. Jännitysten ja lujuuksien mitoitusarvojen laskenta kaavat. (Ylihärsilä H. 2009. Tietolehdet)	35
Taulukko 14. Kertoimia ja mitoitus ehtoja. (Ylihärsilä H. 2009. Tietolehdet)	36
Taulukko 15. Yhdistelmämitoituksen ehdot ja nurjahdus tarkastelu. (Ylihärsilä H. 2009. Tietolehdet)	37
Taulukko 16. Puupalkin kiepahduslaskenta. (Ylihärsilä H. 2009. Tietolehdet)	38
Taulukko 17. Virumakertoimet runkomateriaaleille eri käyttöluokissa. (Kevarinmäki 2010, 17).....	39

Taulukko 18. Palomitoituksessa käytettävät kuormitusyhdistelmät. (Kevarinmäki 2010, 10).....	47
--	----

Käytetyt termit ja lyhenteet

Antura	Perustusten osa, jonka päällä sokkeli on.
Alapohja	Alin maanpäällä sijaitsevan kerroksen lattiarakenne.
Arinamalli	Puupalkeista muodostuva saunan kiukaassa olevan arinan mallinen rakenne, jossa pitkittäiset ja poikittaiset sauvat ovat toisiinsa jäykästi kiinnitettyjä
Kapillaarisuus	Suure joka kuvaa kuinka hyvin vedenpinta nousee maa-aineksessa pintajännityksen avulla.
Käyttörajatila	Rakenteen tila, jonka ylittymisestä seuraa se, että rakenne alkaa käyttäytyä epäedullisesti käyttötarkoitukseen nähden.
Murtorajatila	Rakenteen tila, jonka ylittymisestä seuraa rakenteiden murtuminen ja romahtaminen, äärimmäinen kuormitustilanne rakenteenkäytössä.
Perustukset	Rakenne, jonka päälle rakennuksen seinät ja katto rakennetaan.
Pohjasuhteet	Maaperän ainekoostumus sekä kuorman kantokyky.
Sokkeli	Perustusten maanpäälle näkyvä osa.
Täyttökerros	Vaihdettavan maa-aineksen määrä rakentamisen perustuksien vakauttamiseksi.

1 JOHDANTO

Tarkoituksena on lähteä suunnittelemaan rakennusta, jossa alakerrassa on tilaa kolmelle autolle, pyörille sekä vähintään yhdelle mönkijälle. Yläkertaan tulisi mahtua biljardipöytä, baaritiski ja pienimuotoinen elokuvateatteri (penkit noin 15 hengelle). Katto tulisi toteuttaa pulpettikattona. Näiden pohjalta lähdettiin piirtämään 3D-kuvaa archicadillä, että saataisiin mahdollisimman realistisen kuvan rakennuksesta. Kyseisellä ohjelmalla saa laitettua objekteja, esimerkiksi auton tai ihmisen, realistisessa koossa rakennuksen sisään. Tämän perusteella on helppo todeta, onko tallissa tarpeeksi tilaa kolmelle autolle, kuinka paljon jää tilaa autojen ovien aukaisuille ja kuinka korkea huonekorkeus oikeasti on. Kun asiakas hyväksyy 3D-piirroksen, sen pohjalta aletaan miettiä rakenteita ja laskemaan niitä eurokoodien mukaan. Laskelmien perusteella asiakkaalle piirretään tarpeelliset lupakuvat rakennusluvan hakemista varten.

Käydään läpi hieman läpi erilaisia perustuksia ja pohjarakentamiseen liittyviä ohjeistuksia salaojitukselta ja routasuojauksesta sekä ylipäättään asioita, miksi tietyille maaperälle perustetaan tietyllä tavalla. Mitoituksessa keskitytään vain niihin asioihin, jotka koskevat suunniteltavaa rakennusta eli niitä asioita ei käsitellä kovin syvästi. Tämän vuoksi keskitytään työssä vain anturaperustusten mitoittamiseen sekä puupilarien ja palkkien mitoittamiseen eurokoodien laskenta-arvojen mukaan. Se tiedetään, että välipohjan kanssa saattaa tulla ongelmia, koska 1. kerrokseen ei haluta tilaa vieviä pilareita. Yläpohjakin on tarkoitus toteuttaa palkein, joten ristikkorakenteita ei tarkastella sen tarkemmin.

2 OHJEITA JA MÄÄRÄYKSIÄ PIENTALON SUUNNITTELUUN

2.1 Pientalon alusrakenteen valinta

Pientalon alusrakenteeseen kuuluvat perustukset, alapohja ja joissakin tapauksissa kellari. Perustukset voidaan valmistaa teräsbetonista paikalla valaen tai käyttämällä erilaisia perustuselementtejä kuten esimerkiksi sokkeli- tai anturaelementtejä tai harkkoja. (RT 81-10486 1992.)

Pientalon perustuksien valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat

- tontin pohjasuhteet
- maaston muodot
- piha-alueiden korkeustasojen valinta
- mahdollinen kellari
- perustusten yläpuoliset rakenteet
- perustamistöiden ajankohta. (RT 81-10486 1992.)

2.1.1 Pohjasuhteiden selvitys

Pohjasuhteilla on kohtalaisen suuri merkitys rakennuskustannuksiin, joten niiden alustava selvittäminen kannattaa aloittaa jo tontin hankintavaiheessa tai viimeistään, silloin kun aletaan suunnitella tontille tulevan rakennuksen sijaintia. Pohjatutkimuksilla pyritään selvittämään tontin korkeussuhteet, maan eri kerrokset, kallion tai kantavan kerroksen korkeusasema, pohjaveden korkeus, putkistojen purkutaso sekä maaperän radonpitoisuus. (RT 81-10486 1992.)

Pohjasuhteiden alustava selvitys voidaan arvioida tutkimalla maastoa silmämääräisesti, selvittämällä lähialueiden pientalojen perustamistavat ja mahdollisesti myös kyseisellä tontilla jo olevan rakennuksen perustamistapa sekä hankkimalla tietoja pohjatutkimuksista rakennusviranomaisilta. Jos näillä kolmella tavalla ei saada riittävää tietoa pohjasuhteista, kyseiselle tontille on tehtävä yksityiskohtainen pohjatutkimus suunnittelijan ohjeiden mukaisesti. Yleisimmin käytetty pohjatutkimusmenetelmä on maaperän kairaus, jolla selvitetään kerrosten tiiveys, lujuus ja kerrosrajat. Kairauksien avulla saadaan myös mahdolliset paalutussyvyudet. (RT 81-10486 1992.)

2.1.2 Pohjasuhteiden vaikutus perustuksiin

Rakennuksen korkeusaseman valintaan vaikuttavia asioita ovat esimerkiksi tontin pohjaveden pinnan korkeusasema, pintavesien hallinta sekä ympäröivien tonttien ja katujen korkeusasemat. Kellarittoman rakennuksen alin lattiataso tulee olla 200– 300 mm ulkopuolisen maanpinnan yläpuolella. (RT 81-10486 1992.)

Kantavalle maapohjalle tai kalliolle rakennettaessa perustamistapaskaala on melko laaja ja siihen eniten vaikuttavia tekijöitä ovat toiminnalliset ja taloudelliset lähtökohdat. (RT 81-10486 1992.)

Pehmeälle maapohjalle perustettaessa on otettava huomioon rakennuksen painosta sekä maataytöistä aiheutuva maakerrosten painuminen. Painuminen saattaa olla hyvin vaihtelevaa riippuen rakennuksen aiheuttamista erisuuruisista kuormista sekä painuvan kerroksen paksuudesta. Painumaa aiheuttamaa lisäkuormaa voidaan vähentää käyttämällä esimerkiksi erilaisia täytteitä tai alentamalla rakennuksen korkeusasemaa huomioiden tietenkin korkeusasemaan vaikuttavat tekijät. Vaihtoehtoisesti rakennus voidaan perustaa painumattomaksi paaluilla. (RT 81-10486 1992.)

2.1.3 Pohja- ja maarakenteiden määräykset

Pohja- ja maarakenteet tulee rakentaa kallion, sulan kerroksittain tiivistetyn täyttökerroksen, sulan luonnontilaisen maapohjan tai sulan louhitun kalliopohjan varaan. Pohjarakenteiden ja perustusten viereiset täytöt tulee myös tehdä tiivistäen kerroksittain sulasta, routimattomasta ja muutoinkin tarkoitukseen sopivasta materiaalista, jonka kapillaarisuus tulee olla pieni. Maa-aineen radonpitoisuus tulee myös ottaa huomioon. Louhetäyttöä käytettäessä tulee muistaa aina käyttää sekarakeista louhetta. Tällä pyritään välttämään täyttöön tulevat tyhjät tilat. Louheen päälle tuleva täytemateriaali täytyy kiilata pienlouheella tai -murskeella, että kyseiset tyhjät tilat jäisivät mahdollisimman vähäisiksi. (RT RakMK-21228 2003.)

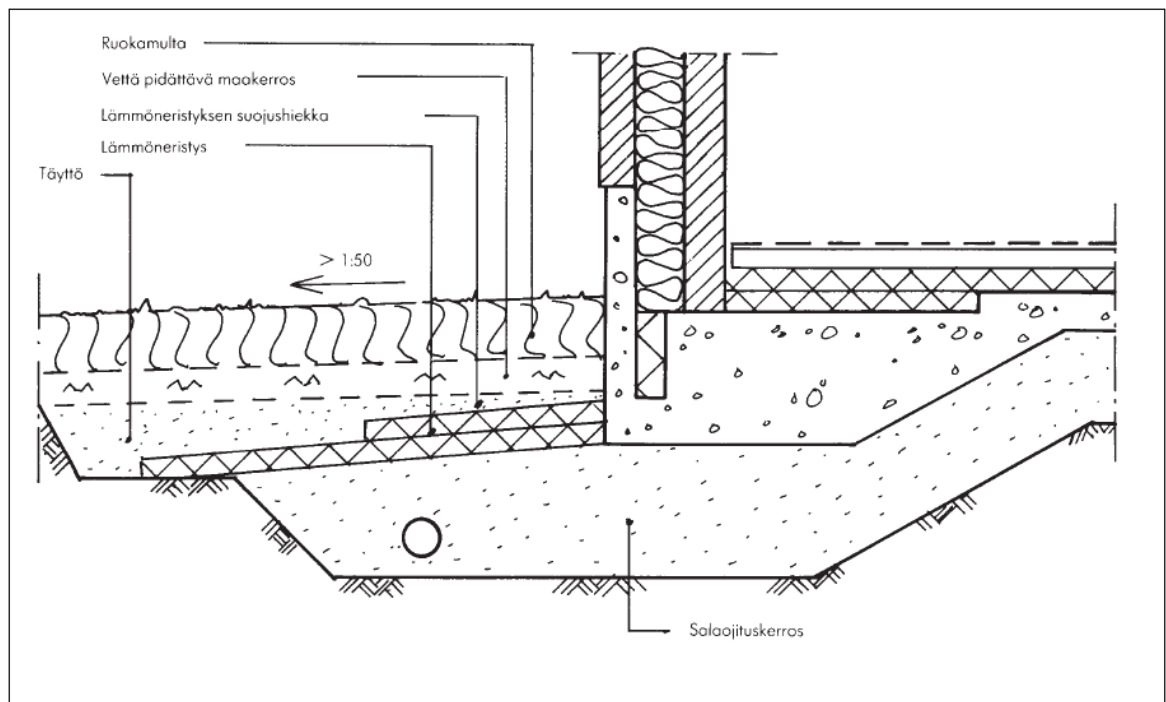
2.1.4 Salaojitus

Tontin salaojituksen tarkoituksena on estää veden haitalliset vaikutukset rakennuspohjaan ja rakenteisiin johdattamalla se tontin laidalla olevaan purkupaikkaan, joka yleensä on oja. Kuiva tonttialue vähentää myös teiden ja pihan routimista ja auttaa täten pitämään niiden kantavuusominaisuudet. (KH 91-00129 1989.)

Salaojituksen tarve ja putken koko selvitetään yleensä maaperätutkimuksen yhteydessä. Yleisesti omakotitalojen ja pienrakennusten salaojaputken halkaisijan tulee olla vähintään 80 millimetriä ja putken kaltevuus vähintään 1:100, jotta vesi virtaisi purkupaikkaan kohti. Kosteudesta ei ole varsinaisesti haittaa perustuksille, mutta alapohjarakenteet ja sen osat vaativat suojauksen. Tontin kuivatustarpeeseen yleensä vaikuttavat

- maalajit ja maakerroksen kapillaarisuus
- pohjaveden korkeus
- rakennuksen perustukset, niiden syvyys sekä lattiataso
- lähiympäristön rakennusten perustamistavat. (KH 91-00129 1989.)

Salaojat sijoitetaan yleensä hieman perustuksien alapinnan viereen ja alemmalle tasolle. Jos salaojaa ei saada esimerkiksi perusmuuria alemmalle tasolle kallion pinnan takia, perustuksen alapohjan puoleinen maa tulee ojittaa tai muuriin tehdä reiät salaojituksen tasoon 1,5–3,0 metrin välein. Yleissääntönä salaojaputken veden virtaus tulee olla vähintään 300 mm lattiatasoa alempana. Salaojaputkien etäisyys perustuksista ei saa kasvaa 1,5 metriä pidemmäksi. Kuviossa 1 on esitetty poikkileikkauksena reunavahvistetun laatan salaojituksesta. (KH 91-00129 1989.)



Kuvio 1. Esimerkki reunavahvistetun laattaperustuksen salaojituksesta. (KH 91-00129 1989.)

2.2 Pientalon perustukset

2.2.1 Pientalon perustuksien vaatimukset

Perustukset on suunniteltava siten, etteivät perustusten painumaerojen aikaansaamat muodonmuutokset aiheuta rakenteisiin haitallisia jännityksiä. Rakennusten ja rakenteiden kokonaispainumat ja kallistumat ovat liittyvien rakenteiden, putkijohtojen, työskentely- tai asu-
mismukavuuden, terveellisyyden ja ulkonäköseikkojen takia rajoitettava kohtuullisiksi. Perustusten ja muiden pohjarakenteiden käyttöikä on osoitettava käyttämällä ratkaisuja ja materiaaleja, joiden toiminta perustuksina ja muina pohjarakenteina tunnetaan riittävän pitkältä ajalta. Muussa tapauksessa ratkaisut ja materiaalit on koestettava puolueet-
tomassa tutkimuslaitoksessa sillä rasitusmäärän ja -tason yhdistelmällä, joka perustukseen tai muuhun pohjarakenteeseen voi kohdistua sen käyttöaikana. (RT RakMK-21228 2003.)

2.2.2 Pientalon perustustavat

Pientaloille tyypillisimpiä perustustapoja ovat

- maan- tai kallionvaraiset anturaperustukset
- maanvaraiset laattaperustukset
- paaluperustukset
- yhdistelmäperustukset. (RT 81-10486 1992.)

Maan- tai kallionvaraisia anturaperustuksia käytetään, kun pohjatutkimus on osoittanut maaperän olevan tarpeeksi kantavaa ja painumavaaraa ei ole. Anturaperustukset ovat tyypiltään joko perusmuuri- tai pilarianturoita. Maanvaraisten anturoiden leveys mitoitetaan yläpuolisten kuormien ja perustamistason alapuolella olevan maan kantokyvyn mukaan (taulukko 1). Perustamistasot määritetään pohjatutkimusten perusteella. Anturoita suunniteltaessa eri tasoille tulee ottaa huomioon, ettei ylempänä oleva antura kuormita alemmaa anturaa. Jos pientalo perustetaan kalliolle, se ei yleensä tarvitse erillistä anturaa, vaan perusmuuri tai -pilari perustetaan suoraan kallionpinnalle. Kallionpinnan ollessa vino ($>15^\circ$) käytetään terästartuntoja. Alapohja voi olla joko kantava tai maanvarainen. (RT 81-10486 1992.)

Maanvarainen laattaperustus on käytännöllinen kaikilla rakennuspohjilla, jos painumat pysyvät sallituissa rajoissa. Laattaperustuksella on myös mahdollisuutta tasata painumia tietyissä rajoissa. Maapohjan ollessa ainekseltaan epätasaista ja maa-ainepaksuus vaihtelee voimakkaasti rakennus voi kuitenkin kallistua. Laatta on aina reunoista vahvistettu eli paksumpi ja jos laatan keskiosiin kohdistetaan kantavien rakenteiden kuormaa, esimerkiksi seinälinjalla, tulee laattaa tältä osinkin vahvistaa. (RT 81-10486 1992.)

Paaluperustuksia käytetään silloin, kun painuman vaara on liian suuri laattaperustusta käytettäessä. Teräs- tai teräsbetonipaalut lyödään tiiviiseen maakerrokseen tai kallioon, jonka päälle voidaan valaa esimerkiksi pilariantura. Paaluilla perustettavissa pientaloissa alapohja täytyy tehdä kantavana. (RT 81-10486 1992.)

Yhdistelmäperustukset ovat nimensä mukaisesti edellä mainittujen perustustapojen yhdistelmiä ja niissä sovelletaan edellä mainittuja periaatteita. Näitä käytetään niissä tilanteissa, kun perustamisolosuhteet vaihtuvat rakennuksen eri osien kohdalla. Esimerkiksi rakennus saattaa olla osittain kallion päällä ja osittain maanvaraisesti perustettu. Kallion päälle voidaan suoraan tehdä perusmuuri tai -pilari, kun taas maanvaraiselle osalle täytyy tehdä antura. Näissä tapauksissa tulee ottaa erityisen tarkkaan huomioon mahdollisten painumaerojen kuormitus muulle rakenteelle. Kuormituksen aiheuttama rasisitus voidaan ehkäistä esimerkiksi liikuntasaumoin. (RT 81-10486 1992.)

2.3 Pientalon alapohjarakenteet

Alapohjarakenteet voidaan luokitella rakennusfysikaalisesti maanvastaisiin ja ryömintätilallisiin alapohjiin. (Nieminen 2008, 405–406.)

Maanvastaisessa alapohjassa betonilaatta toimii jo riittävänä ilmanläpäisyä ja vesihöyryn läpäisyä rajoittavana rakenteena, kun laatan ja seinärakenteiden liitokset tiivistetään kosteussululla, esimerkiksi bitumikermikaistoilla. Lämmöneristys tulee laittaa pääosin laatan alle. Eristyksenä käytetään kokoonpuristumatonta ja kosteutta kestävästä lämmöneristystä. Asennettaessa lattialämmitys, tulee lämpöeristettä lisätä tarpeen mukaan. Eristeen alapuolelle tulee laittaa kosteuden kapillaarisen nousun estävä sora- tai sepelikerros jonka paksuus tulee olla vähintään 200 millimetriä ja, jos maaperässä on liian suuria radonpitoisuuksia, voidaan sepelikerrokseen sijoittaa tuuletusputkisto. (Nieminen 2008, 405–406.)

Ryömintätilaiseen alapohjaan tulee laittaa riittävä ilmanläpäisyä ja vesihöyryn läpäisyä rajoittava kalvo, levy tai betonirakenne. Alapohjan rungon alapintaan tulee laittaa kosteutta kestävä, mutta myös lämpöä hyvin eristävä tuulensuojalevy. Jos käytetään betonirakenteista alapohjaa, tulee varmistaa, ettei alapohjan ja seinärakenteiden väliin pääse syntymään kylmäsiltoja. Ryömintätilan tuuletus voidaan parhaiten hoitaa suorilla tuuletusrei'illä. Tuulettuminen on erityisen tärkeää kesällä, jolloin ilmankosteus on suuri. Ryömintätilan korkeus täytyy olla vähintään 800 millimetriä. Myös tässä tapauksessa maapohja tulee eristää kauttaaltaan. (Nieminen 2008, 405–406.)

2.4 Pienrakennuksen seinänturan ja maanvaraisen laatan mitoitus

Taulukko 1. Seinänturan mitoituskaavat. (Saariaho 2009.)

	Seinänturan mitoittaminen
Seinänturan leveys	<p>Mitoitusehto:</p> $P_{Ek} = \frac{n_{Ek}}{b_F} \leq P_G$ <p>missä</p> <p>P_{Ek} on maaperän pohjapaine (käyttörajatilalaskenta taulukossa 8)</p> <p>P_G on maaperän kantavuus (mittaustulos)</p> <p>n_{Ek} on seinän normaaliarvon ominaisarvo (käyttörajatilalaskenta taulukossa 8)</p> <p>b_F on anturan leveys</p> <p>Raudoitettu seinäntura (murtorajatila taulukko 7):</p> $P_{Ed} = \frac{n_{Ed}}{b_F}$ $m_{I,Ed} = \frac{1}{2} \cdot P_{Ed} \cdot a^2$ <p>,kun sokkeli ja antura on liitetty saumattomasti.</p> $m_{II,Ed} = \frac{1}{8} \cdot P_{Ed} \cdot b_F^2$ <p>,kun antura kantaa harkkomuuria tai sokkelipalkkia.</p> <p>missä</p> <p>a on anturan reunan etäisyys sokkelin reunasta</p> <p>$m_{I/II,Ed}$ on raudoituksen mitoitusmomentti</p>
Raudoituksen laskenta	<p>suhteellinen momentti: $\mu = \frac{m_{I/II,Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$</p> <p>missä</p> <p>$b$ on 1 m matka seinänturalla</p> <p>d on anturan tehollinen korkeus (raudoituksen etäisyys anturan yläpintaan)</p> <p>f_{cd} on betonin mitoituspuristuslujuus</p> $f_{cd} = \frac{0,85 f_{ck}}{\gamma_c}$ <p>missä</p> <p>f_{ck} on betonin sylinteripuristuslujuuden ominaisarvo (C25/30)</p> <p>γ_c on betonin osavarmuusluku (1,5)</p> <p>puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus $\beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu}$</p> <p>sisäinen momenttivarsi $z = d \left(1 - \frac{\beta}{2}\right)$</p> <p>vetoraudoituksen pinta-ala $A_s = \frac{m_{I/II,Ed}}{z \cdot f_{sd}}$ (yhtä metriä kohden)</p> <p>missä</p> <p>teräksen mitoituslujuus $f_{sd} = \frac{f_{sk}}{1,15}$ (useimmiten teräs A500HW, $f_{sd}=435$ N/mm²)</p> <p>teräksen jakoväli $k = \frac{1000 \text{ mm} \cdot A_{s,1}}{A_s} \leq 150 \text{ mm}$ (halkeilua ei tarkasteta)</p> <p>missä</p> <p>$A_{s,1}$ on yhden teräksen poikkipinta-ala</p> <p>Anturassa tulee olla pituussuuntaiset teräkset (Φ=8..12 mm) halkeilun rajoittamiseksi ja leikkaustarkastelu tulee suorittaa.</p>

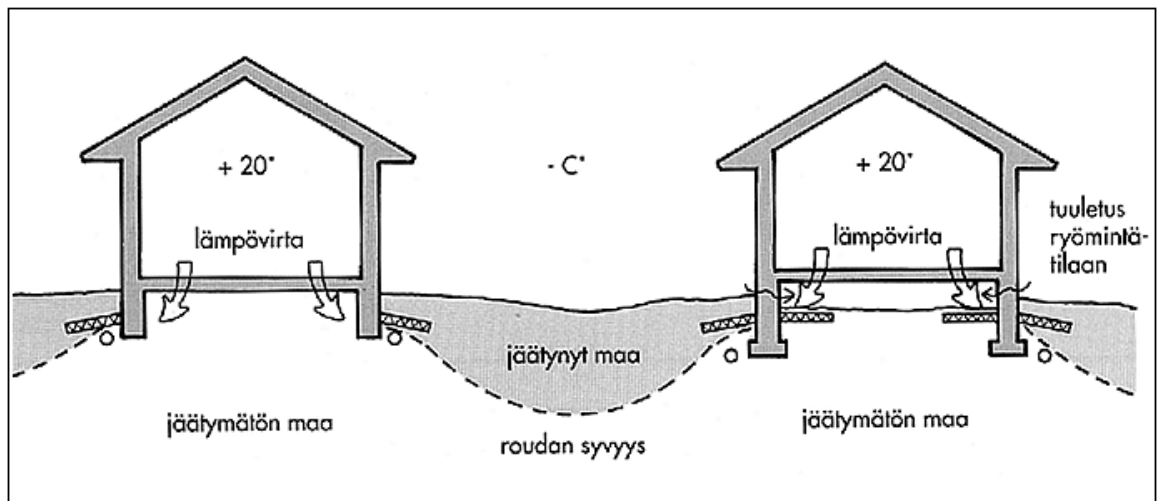
Maanvarainen laatta on asuin ja pienrakennuksissa yleisesti 80–100 mm. Siihen laitetaan yleensä keskeinen raudoitusverkko estämään betonin halkeilu ja tällaisessa käytössä kuormat eivät nouse niin suuriksi, että kestävyys olisi ongelma. Raudoituksen koko on yleensä 6/6 mm ja verkon silmäkoko 200/200 mm (teräs B500k). Maanvarainen laatta ei saa tulla seinään kiinni, koska se aiheuttaa laatalle turhia vetovoimia. Jos laatta, poislukien anturaperustus, tehdään reunavahvistetuna kantavien seinienkohdalta, reunavahvistetun laatan reunapalkin korkeus on yleensä n.500 mm ja leveys 300 mm ja raudoituksena käytetään esimerkiksi yläpinnassa 2T12:ta ja alapinnassa 2T10:tä, hakateräksinä T6k400:aa. Laatan paksuudeksi asetetaan 120–150 mm. (Saariaho 2009.)

2.5 Routasuojarakenteet

Routasuojausta tarvitaan aina, kun rakennusta perustetaan roudan syvyyden kannalta matalaan syvyyteen. Käytännössä Suomeen rakennettaeviin pienrakennuksiin tehdään aina jonkinlainen routasuojaus. Ainoastaan paalutettaessa ja rakennuksissa, joissa kellarikerroksen lattiapinta tulee routarajan alapuolelle, routasuojaus ei ole välttämätön. Rakennuksien perustuksien routateknisessä suunnittelussa ja mitoituksessa tarvitaan tietoja vuoden keskilämpötilasta, ilmastotekijöistä paikkakunnalla sekä mitoittava pakkasmäärä. Keskilämpötilana käytetään maaperän vuoden keskilämpötilaa routasyvyyden alapuolella. Liitteissä 2 on estelty ilmatieteen laitokselta saatuja vuoden keskilämpötilatietoja sekä VTT:n Yhdyskuntatekniikalta routimissyvyydestietoja sekä vuoden keskilämpötilojen perusteella laskettuja pakkasmääriä eri puolilla Suomea. Routasuojuuksia suunniteltaessa mitoittava pakkasmäärä on F50– taulukon arvo (Liite 2), jossa on ilmoitettu tilastollisesti kerran viidessäkymmenessä vuodessa toistuva pakkasmäärä. Paikkakuntaakohtaisen pakkasmäärän voidaan interpoloida käyrästöjen välisellä alueella, jos se on tarpeen. Routasuojuuksen paksuus on useimmiten 50 - 150 millimetriä. (RT 81-10590 1995.)

Maaperän koostumus ja ominaisuudet vaikuttavat myös olennaisesti routasyvyyteen ja routimisen määrään. Silttinen maaperä on erittäin routivaa, kun taas savi- ja moreenisen maaperän keskisuurta ja hiekkamoreenin vähäistä. Pohjaveden pinnan sijainti ja rinnetonttien pohjaveden virtaus vaikuttavat joltain osin maan routivuuteen, mutta salaojituksen avulla tämä saadaan kohtalaisen vähäiseksi. (RT 81-10590 1995.)

Lämpimän rakennuksen perustuksien ja alapohjarakenteen kautta siirtyvällä lämmöllä voidaan kontrolloida routasyvyyttä tekemällä perusmuuriin tarpeeksi tehokas lämmöneristys ja suhteellisen vähäinen alapohjan eristys alapohjan ollessa maanvarainen. Näin saadaan rakennuksen sisäisen lämmön avulla alapuolinen maakerros pysymään routimattomana ja näin ollen maaperän routasuojaa voidaan pienentää suhteessa eristämättömään perusmuuriin. Tuulettuvalla alapohjarakenteella tilanne on toinen, koska rakennuksesta tuleva lämpö on erittäin vähäistä, näin ollen rakennuksen alapuolinen maa tulee routasuojata. Kuviossa 2 näkyy periaatekuvaa routasuojauksen merkityksestä maanvaraisessa ja tuulettuvassa alapohjassa. (RT 81-10590 1995.)



Kuvio 2. Periaatekuvat maanvaraisen ja tuulettuvan alapohjan routasuojauksesta. (RT 81-10590 1995.)

2.6 Pientalon puurunkorakenteet

Puurunkoisissa pienrakennuksissa Suomessa on yleisesti käytössä avoin puurakennusjärjestelmä. Menetelmä perustuu saatavilla oleviin määrämittäisiin rakennustarvikkeiden hyötykäyttöön. Tällä vähennetään työmaalla tapahtuvaa rakennusmateriaalin työstämistä sekä hukkamateriaalin syntyä. Menetelmässä rakennetaan kerroksittain seinärakenteet olemassa olevan vaakakerroksen päälle. Näin ollen seuraavaa kerrosta rakennettaessa vaakakerrokset toimivat aina työskentelytasoina. Ulkoseinän runko tehdään normaalisti kerroskorkeuden mukaan määrämittään katkaistusta tiettyyn mittaan sahatusta puutavarasta. Rakenne mitoiteetaan tapauskohtaisesti rungolle lasketun rasituksen mukaan. Runkotolpat ovat normaalisti k600 jaolla eli etäisyys tolpan keskeltä seuraavan tolpan keskelle on 600 millimetriä. Tolpissa käytetään vähintään lujuusluokan T18-luokan puutavaraa. Väliseinän runko valmistetaan samoilla periaatteilla. Mitoitukseen vaikuttaa erityisesti se onko väliseinä kantava vai ei. (RT 82-10852 2005.)

Vaakarakenteissa, kuten välipohjassa lujuusluokka sahatavaralla on yleensä T24. Vaihtoehtoisesti vaakarakenteissa voidaan käyttää erilaisia teollisesti valmistettuja palkkeja kuten esimerkiksi liimapuupalkkeja. Palkisto ja palkkien jakoväli mitoiteetaan tapauskohtaisesti. Jakoväli on kuitenkin yleensä 400 tai 600 millimetriä. Puurunko jäykistetään yleensä tarkoitukseen soveltuvilla rakennuslevyillä. (RT 82-10852 2005.)

2.7 Runkorakenteiden mitoitus

Puurakenteita suunniteltaessa tulee täyttää EN 1990:2002 ja sitä koskevan kansallisen liitteen vaatimukset. Perusvaatimukset täyttyvät, kun käytetään Eurokoodi 0:n mukaista rajatilamitoitusta ja osavarmuuslukumenetelmää, kuormien ja niiden yhdistelmien osalta Eurokoodi 1:n menetelmiä ja käyttökelpoisuuden sekä säilyvyyden osalta Eurokoodi 5:n menetelmiä. Vastaavasti voidaan käyttää Suomen rakennusinsinööri liitto ry:n julkaisuja RIL 201-1-2008 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat sekä RIL 205-2009 Puurakenteiden suunnitteluohje. (Kevarinmäki 2010, 8-9)

Eri rajatilojen mitoituksissa huomioidaan

- materiaalien ominaisuudet, kuten lujuus ja jäykkyys.
- materiaalien ajasta riippuva toiminta, esimerkiksi viruminen
- ilmasto-olosuhteet, kuten ilman kosteuden vaihtelu ja lämpötila
- eri mitoitusilanteet. (Kevarinmäki 2010, 8–9)

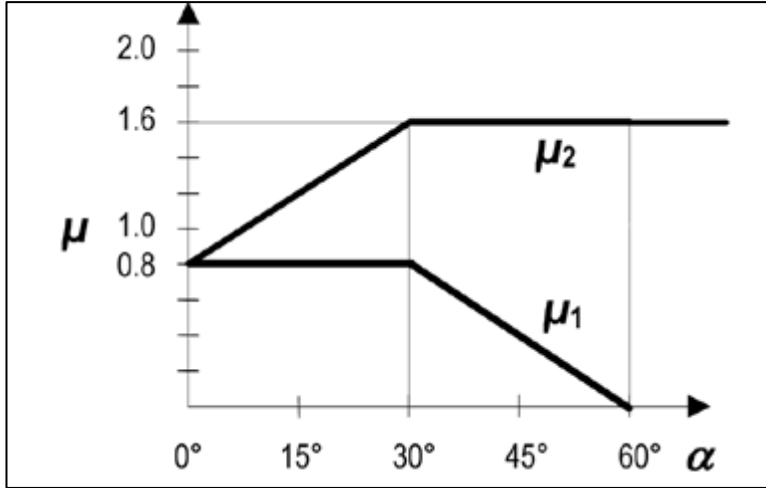
2.7.1 Kuormat

Kantaville rakenteille aiheutuvat kuormat jaotellaan neljään eri kuormatyyppiin. Omapaino on rakenteiden nimellismittojen ja nimellistilavuuden perusteella laskettava kuorma. Esimerkiksi kuivalle havupuutavaralle tai siitä liimaamalla valmistetulle rakennusmateriaalille käytetään arvoa $5,0 \text{ kN/m}^3$. Tehdasvalmisteisille materiaaleille tulee olla valmistajan ilmoittamat kuormitusarvot. Omaan painoon laskeaan kaikki kantavat ja ei kantavat rakennusosat, kiinteät laitteet sekä maakerrosten painot. Hyötykuormat tulevat rakenteen käytöstä aiheutuvista tasaisista kuormista, viivakuormista sekä pistekuormista, mitkä oletetaan liikkuviksi. Paikallisia kuorman vaikutuksia laskettaessa pistekuormaa aiheuttava hyötykuorman laskennalliseksi vaikutusalaksi laitetaan 2500 mm^2 , jos kuorman arvo on pienempi kuin $2,0 \text{ kN}$. Muussa tapauksessa vaikutusala on $10\,000 \text{ mm}^2$. Taulukossa 2 on esitelty tavallisimpien hyötykuormien ominaisarvot. (Kevarinmäki 2010, 10–14.)

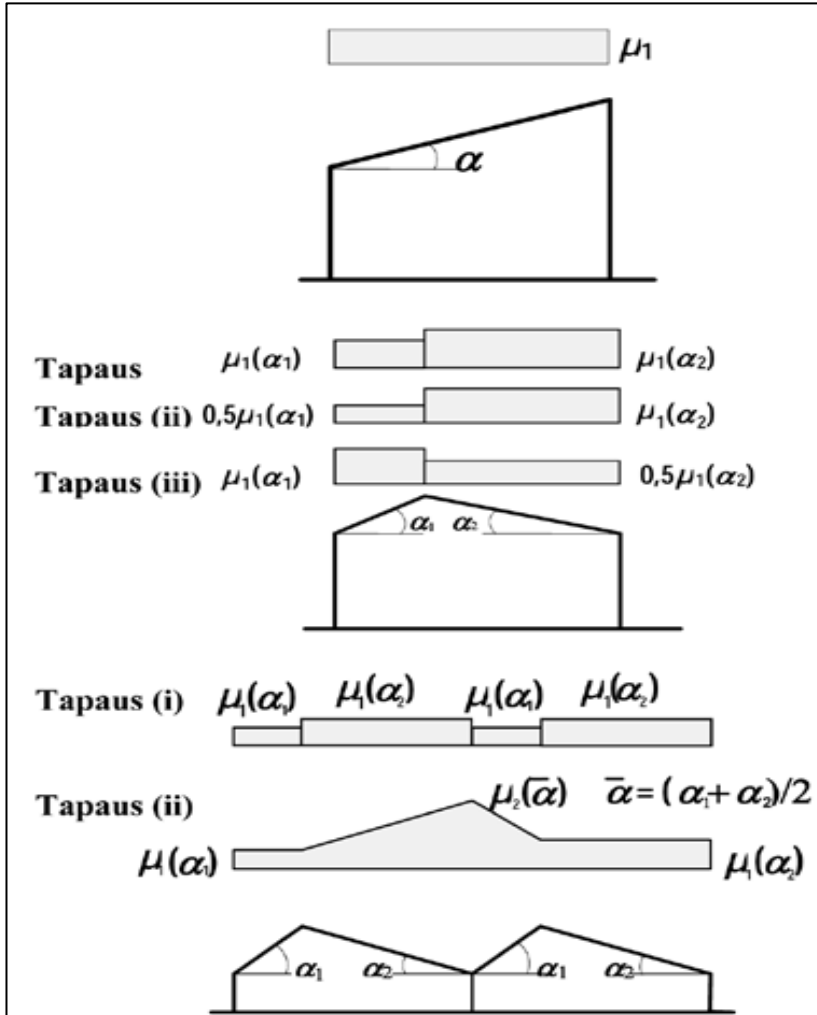
Taulukko 2. Yleisimpien hyötykuormien ominaisarvoja. (Kevarinmäki 2010, 11.)

Käyttötarkoitusluokka ja käyttötarkoitus	Tasainen kuorma (kN/m ²)	Pistekuorma (kN)	Vaakuorma (kN/m)
A: Asuintilat			
- Lattiat	2,0	2,0	0,5
- Portaat	2,0	2,0	0,5
- Parvekkeet	2,5	2,0	0,5
B: Toimistotilat			
-toimistotilat yleensä	2,5	2,0	0,5
C: Kokoontumistilat			
-C1: Pöytäalueet	2,5	3,0	0,5
-C2: Kiinteiden istuimien alueet	3,0	3,0	1,0
-C3: Esteettömät alueet	4,0	4,0	1,0
-C4: Liikuntatilat ja näyttämöt	5,0	4,0	1,0
-C5: Tungosherkät alueet	6,0	4,0	3,0

Kaksi muuta kuormatyyppiä ovat lumi- ja tuulikuormat. Nämä kuormat vaihtelevat rakennustyyppin, rakennuksen koon ja rakennuksen maantieteellisen sijainnin mukaan. Lumikuorman ominaisarvo saadaan kertomalla liitteen 3 kuvion antama ominaisarvo sekä kuvion 3 ja 4 kattotyyppien muotokertoimella. Esimerkiksi Heino-lassa sijaitsevan harjakattoisen rakennuksen, jonka lappeiden kaltevuus on 30°, saa lumikuorma laskenta arvon $0,8 \times 2,5 = 2,0$ kN/m². (Kevarinmäki 2010, 11–12.)



Kuvio 3. Lumikuorman muotokertoimet. (Kevarinmäki 2010, 12.)

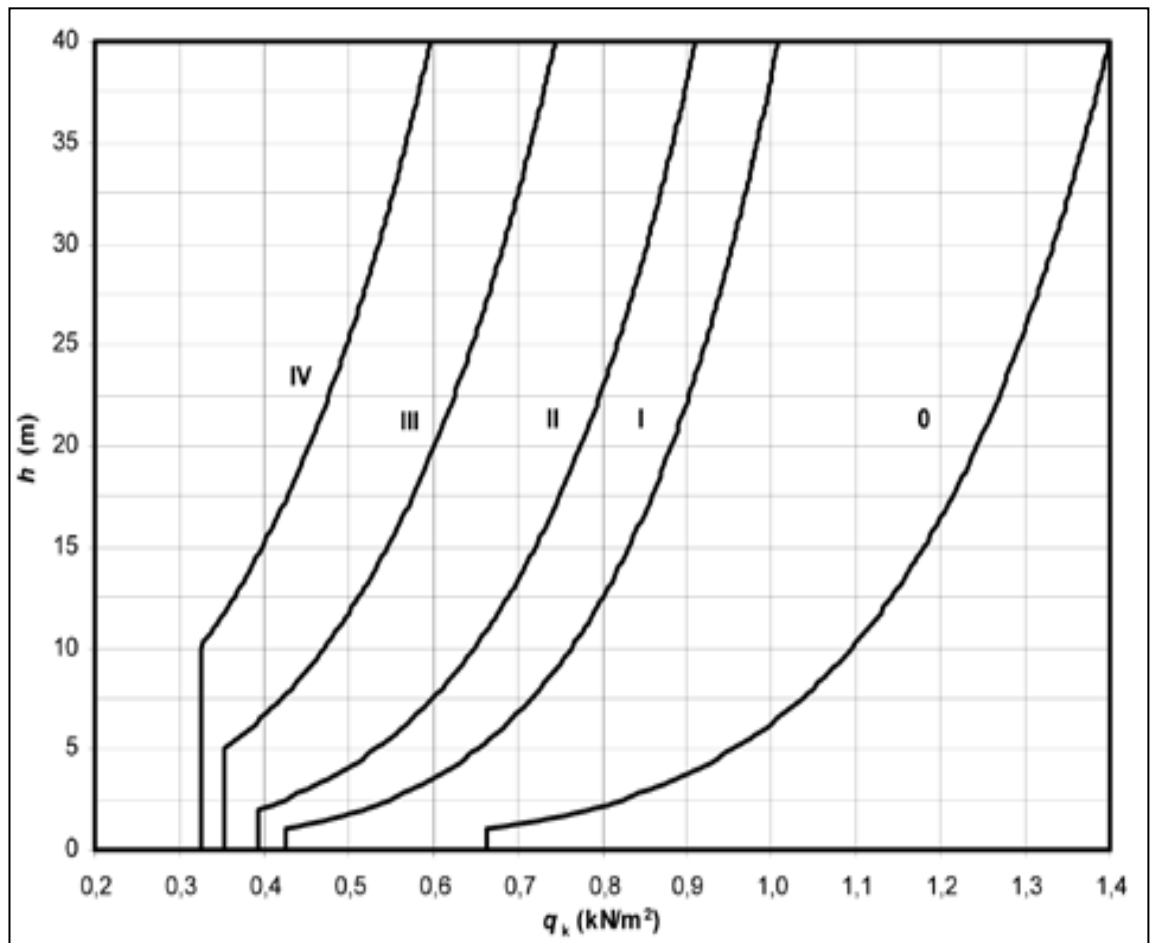


Kuvio 4. Kattotyypin lumikuormakertoimet pulpetti-, harja- ja sahakatolle. (Kevarinmäki 2010, 12.)

Tuulikuormaa voidaan laskea yksinkertaistetulla menetelmällä, joka on käyttökelpoinen tavanomaisten rakennuksen rakenteita mitoittaessa. Menetelmällä otetaan huomioon rakennuksen sijainnin avoimuus sekä rakennuksen muoto. Tuulen aiheuttamaa kuormaa ei useimmiten tarkastella yhdessä muiden muuttuvien kuormien kanssa, koska tuuli on vain harvoin mitoittava kuorma. Ainoa tilanne, missä sitä tarkastellaan, on tuulta vastaan olevia jäykistäviä rakenteita mitoittaessa. Tuulisilla alueilla kannattaa kuitenkin tarkistaa tuulen aiheuttama kuorma kattokannakkeiden kiinnityksien kestävyyyden osalta. Tuulikuorman aiheuttama ominaiskuorma vaakasuunnassa voidaan laskea kertomalla taulukosta 3 saatavan maastoluokan ja sen avulla tarkastellun kuvion 5 mukaisen arvo rakenteen voimakertoimella ja tarkasteltavan seinäpinnan pinta-alalla. Voimakerron saadaan taulukosta 4. (Kevarinmäki 2010, 12–14.)

Taulukko 3. Maastoluokan määrittäykset. (Kevarinmäki 2010, 12.)

Maastoluokka	Maaston kuvaus
0	Avomeri tai meren ranta
I	Järven ranta tai avoin alue, jossa vähän kasvillisuutta
II	Matalaa kasvillisuutta ja erillisiä puita tai rakennuksia, jotka ovat etäällä toisistaan. Esim. maatalousmaa.
III	Esikaupunkialue, teollisuus alue tai metsät. Myös matalat pientaloalueet ja kylät.
IV	Yhtenäiset kaupunkialueet, joiden pinta-alasta vähintään 15 % rakennettu ja rakennusten korkeus vähintään 15 m.



Kuvio 5. Tuulen aiheuttama kuorma eri maastoluokissa. (Kevarinmäki 2010, 13.)

Taulukko 4. Rakenteen voimakerroin. (Kevarinmäki 2010, 13.)

Rakenteen voimakerroin	Rakennetyypin kuvaus
1,3	Umpinainen rakennus yleensä
1,5	Pulpettikattoinen rakennus, jossa katteen kaltevuus on 5°-40° ja tarkastelu tehdään lappeen suuntaisesta tuulesta
1,6	Osittain avoin rakennus, jossa tuulenpuoleisella seinustalla aukkojen osuus korkeintaan 30 % rakennuksen seinämien kokonaispinta-alasta
2,1	Erillinen seinämä

Osapintamitoituksessa tarkastellaan tuulen aiheuttamaa kuormaa tietylle rakenteen osalle ja siksi sitä yleensä käytetään rakenteiden kiinnitysten ja rakenneosien taivutustarkasteluissa. Paine kohdistuu rakenteeseen kohtisuorassa pintaa vasten ja se pystytään määrittämään kertomalla kuvion 5 tuulen aiheuttamalla paineella ja taulukosta 5 tai 6 valitulla osapinnan nettotuulenpainekertoimella. (Kevarinmäki 2010, 13–14.)

Taulukko 5. Ulkoseinien paikallisia nettotuulenpainekertoimia. (Kevarinmäki 2010, 14.)

Ulkoseinät	Suurin imu/paine					
	nurkka-alue		keskialue		sisäänpäin	
tutkittava pinta-ala	≥10 m ²	≤1 m ²	≥10 m ²	≤1 m ²	≥10 m ²	≤1 m ²
nettotuulenpainekerroin	-1,5	-1,7	-1,1	-1,4	1,1	1,3

Taulukko 6. Kattojen nettopainekertoimia suurimmalle tuulesta aiheutuvalle imulle. (Kevarinmäki 2010, 14.)

Katot	Suurin imu/paine							
	nurkka-alue			reuna-alue			muu alue	
	≥10 m ²	≤1 m ²	räystäs	≥10 m ²	≤1 m ²	räystäs	≥10 m ²	≤1 m ²
Tasakatto (kaltevuus < 5°)	-2,1	-2,8	-3,5	-1,5	-2,3	-3,0	-1,0	-1,5
Pulpettikatto (kaltevuus 5°...15°)	-2,7	-3,2	-3,9	-2,2	-2,8	-3,5	-1,2	-1,5
(kaltevuus ≥30°)	-2,4	-3,2	-3,9	-1,8	-2,3	-3,0	-1,3	-1,6
Harjakatto (kaltevuus 5°...15°)	-2,0	-2,8	-3,5	-1,6	-2,3	-3,0	-1,0	-1,5
(kaltevuus ≥30°)	-1,4	-1,8	-2,5	-1,7	-2,3	-3,0	-1,2	-1,5

2.7.2 Murto- ja käyttörajatilamitoitus

Murto- ja käyttörajatilamitoituksen laskennassa käytetään materiaalien jäykkyysominaisuuksien keskimääräisiä arvoja. Rakenteen kestävyyttä ja tasapainoa tarkasteltaessa mitoituskorma lasketaan taulukon 7 kuormitusyhdistelmillä. (Kevarinmäki 2010, 9.)

Taulukko 7. Murto- ja käyttörajatilan kuormitusyhdistelmät (Kevarinmäki 2010, 9.)

Aikaluokat	Kuormitusyhdistelmä
Pysyvä (> 6 kk, esim. omapaino)	$1,35G_{kj}$
Keskipitkä (10 min - 6 kk, esim. lumi)	$1,15G_{kj} + 1,5Q_{k,1} + 1,05Q_{k,2}$
Hetkellinen (< 10 min, esim. tuuli)	$\max \begin{cases} 1,15G_{kj} + 1,5Q_{k,t} + 1,05Q_{k,1} + 1,05Q_{k,2} \\ 1,15G_{kj} + 1,5Q_{k,1} + 1,05Q_{k,2} + 0,9Q_{k,t} \end{cases}$
G_{kj} = pysyvien kuormien ominaisarvo $Q_{k,1}$ = lumi – ja hyötykuormien ominaisarvoista suurempi $Q_{k,2}$ = lumi – ja hyötykuormien ominaisarvoista pienempi $Q_{k,t}$ = tuulikuorman ominaisarvo	

Käyttörajatilamitoituksessa tarkastellaan kuormien ja kosteuden vaikutuksesta aiheutuvia rakenteen muodonmuutoksia, jotka tulee pysyä riittävän pieninä. Liiallinen muodonmuutos voisi aiheuttaa vahinkoa muille rakennusmateriaaleille sekä ylittää rakennuksen käyttötarkoitukselle. Taulukon 8 kuormitusyhdistelmien tulosten avulla tarkastetaan rakenteen taipumien, värähtelyjen ja virumien pysyvän sallituissa rajoissa (taulukko 18). (Kevarinmäki 2010, 10.)

Taulukko 8. Käyttörajan kuormitusyhdistelmät. (Kevarinmäki 2010, 10.)

Määrävä muuttuvakuorma	Kuormitusyhdistelmä
Hyöty- tai lumikuorma	$G_{kj} + Q_{k,1} + 0,7Q_{k,2}$
Tuulikuorma	$G_{kj} + Q_{k,t} + 0,7Q_{k,1} + 0,7Q_{k,2}$
$G_{kj} =$ pysyvien kuormien ominaisarvo $Q_{k,1} =$ lumi – ja hyötykuormien ominaisarvoista suurempi $Q_{k,2} =$ lumi – ja hyötykuormien ominaisarvoista pienempi $Q_{k,t} =$ tuulikuorman ominaisarvo	

2.7.3 Käyttöluokat

Rakenteet jaotellaan kolmeen eri käyttöluokkaan 1, 2 ja 3, joiden perusteella voidaan laskea ympäristöolosuhteista johtuvaa lujuuden heikkenemistä. Käyttöluokan valinnassa tulee erityisesti ottaa huomioon ilman kosteuden vaihtelu. Esimerkiksi hyvin kuiva puumateriaali on erittäin halkeilualtis. (Kevarinmäki 2010, 15.)

Käyttöluokassa 1 tyypillinen puun kosteus on verrattavissa 20 °C lämpötilan kosteuteen ja rakenteen ympäristön ilmankosteus ei ylitä 65 % kuin muutaman kerran vuodessa. Havupuun kosteus on enimmäkseen 12 % alapuolella. Käyttöluokan rakenne on lämmitetyssä sisätiloissa tai sitä vastaavassa kosteusoloissa, esimerkiksi välipohjapalkki, joka on eristeen sisässä. (Kevarinmäki 2010, 15.)

Käyttöluokan 2 puun kosteus on sama kuin 1 luokassa, mutta ilmankosteudelta sallitaan 85 % ylitys muutaman kerran vuodenaikana. Luokalle tyypillinen puurakenne on katetussa ja tuuletetussa tilassa sekä se on suojattu hyvin sivuilta ja alapuolelta tulevalta kosteudelta. Rakenne sijaitsee siis normaalisti kuivassa ulkoilmassa, missä sen kosteus on alle 20 %, kuten esimerkiksi kylmän ullakkotilan puurakenteet. (Kevarinmäki 2010, 15.)

Käyttöluokassa 3 kosteus ylittää 2 luokan ilmasto-olosuhteita suurempiin arvoihin. Rakenne voi sijaita kosteassa ulkoilmassa säälle alttiina tai veden välittömässä läheisyydessä. Kantavat rakenteet eivät yleensä ole tässä luokassa. (Kevarinmäki 2010, 15.)

2.7.4 Puun materiaaliominaisuuksia mitoituksessa

Rakenneosien kokoa ja materiaalia suunniteltaessa tulee niiden laskennassa ottaa huomioon kaksi edellä mainittua asiaa, käyttöluokka sekä kosteuspitäisyyden vaikutus. Laskennassa nämä kaksi asiaa huomioon ottava modifiointikerroin (k_{mod}) saadaan taulukon 9 arvoista. Jos kuormitusyhdistelmä muodostuu useammasta kuin yhdestä aikaluokasta valitaan modifiointikertoimelle arvo, mikä vastaa lyhytkestoisinta aikaluokkaa. Esimerkiksi katon kestävyyttä laskettaessa katon omapaino on pysyvää kuormaa ja lumen aiheuttama kuorma keskipitkää, joten modifiointikertoimena käytetään tässä tapauksessa käyttöluokan 2 ja keskipitkän aikakuorman kohdalta saatua 0,80 kerrointa. (Kevarinmäki 2010, 16–17.)

Taulukko 9. Modifiointi kertoimet. (Kevarinmäki 2010, 17.)

Materiaali	Käyttöluokka	Pysyvä aika-luokka	Keskipitkä aikaluokka	Hetkellinen aikaluokka
sahatavara, pyöreä puu, liimapuu, LVL, vaneri	1	0,60	0,80	1,10
	2	0,60	0,80	1,10
	3	0,50	0,65	0,90
lastulevy P4, OSB/2, kova kuitulevy EN 622-2	1	0,30	0,65	1,10
	2	0,20	0,45	0,80
lastulevy P6, OSB/3, OSB/4	1	0,40	0,70	1,10
	2	0,30	0,55	0,90
puolikovat kuitulevyt, esim. MDF.LA	1	0,20	0,60	1,10
	2			0,80
Lastulevyt, OSB/2, ja jotkut puolikovat kuitulevyt on käytettävissä ainoastaan luokassa 1.				

Puu on siitä erilainen materiaali verrattuna betoniin tai teräkseen, että se on paljon epätasaisempi materiaali lujuusominaisuuksiltaan verrattuna edellä mainittuihin. Esimerkiksi puupalkissa oleva oksa heikentää sitä. Tästä syystä puurakenteille lasketaan erilaisia osavarmuuslukuja edellä mainittua modifiointikerrointa käyttäen. Materiaalin lujuusominaisuuden mitoitusarvolla (X_d) lasketaan kaavalla 1. (Kevarinmäki 2010, 15.)

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

Kaavan 1 materiaalin osavarmuusluvun (γ_M) saadaan taulukosta 10 ja materiaalin lujuusominaisuuden ominaisarvo (X_k) taulukoista 11 ja 12. Liitoskestävyyksiä mittaessa käytetään liitettävän puumateriaalin osavarmuuslukua ja jos liitetään useita erilaisia materiaaleja, käytetään niiden suurinta osavarmuuslukua. (Kevarinmäki 2010, 15.)

Taulukko 10. Suomessa käytettävät osavarmuusluvut. (Kevarinmäki 2010, 15.)

Perusyhdistelmät	
Sahatavara ja pyöreä puutavara yleensä	1,4
Havusahatavara, jonka lujuusluokka \geq C35	1,25
Liimapuu, LVL	1,2
Puulevyt	1,25
Onnettomuusyhdistelmät	1,0

Taulukko 11. Sahatavaran (havupuu) ja liimapuun yleisimmin käytössä olevat materiaalin ominaislujuudet, jäykkyysominaisuudet ja tiheydet. (Kevarinmäki 2010, 17.)

Lujuusluokka		Sahatavara			Liimapuu	
		C18	C24	C30	GL28c	GL32c
Ominaislujuudet (N/mm²)						
Taivutus	$f_{m,k}$	18	24	30	28	32
Veto	$f_{t,0,k}$	11	14	18	16,5	19,5
	$f_{t,90,k}$	0,5	0,5	0,6	0,4	0,45
Puristus	$f_{c,0,k}$	18	21	23	24	26,5
	$f_{c,90,k}$	2,2	2,5	2,7	2,7	3,0
Leikkaus	$f_{v,k}$	2,0	2,5	3,0	2,7	3,2
Jäykkyysominaisuudet (N/mm²)						
Kimmomoduuli	E_{mean}	9000	11000	12000	12600	13700
	$E_{0,05}$	6000	7400	8000	10200	11100
	$E_{90,mean}$	300	370	400	390	420
Liukumoduuli	G_{mean}	560	690	750	720	780
	$G_{0,05}$	380	460	500	580	630
Tiheydet kg/m³						
Ominaistiheys	ρ_k	320	350	380	380	410
Tiheyden keskiarvo	ρ_{mean}	380	420	460	430	470

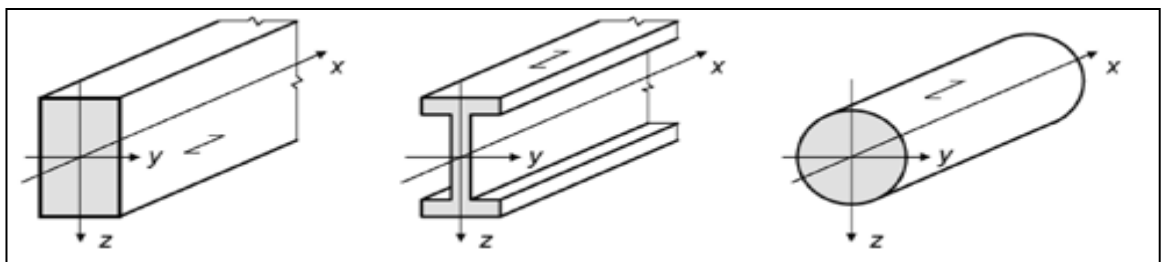
Taulukko 12. Eri LVL:ien ominaislujuudet, kokovaikutusekspONENTIT, jäykkyyso-minaisuudet ja tiheydet. (Kevarinmäki 2010, 18.)

Tyyppi Paksuus (mm)		Kerto-S	Kerto-T	Kerto-Q
		21 - 90	27 - 75	27 - 69
Ominaislujuudet (N/mm ²)				
Taivutus syrjällään	$f_{m,k}$	44	27	32
KokonaisvaikutusekspONENTTI	S	0,12	0,15	0,12
Taivutus lappeellaan	$f_{m,0.flat,k}$	50	32	36
Veto syysuuntaan	$f_{t,0,k}$	35	24	26
Veto poikittain syrjällään	$f_{t,90.edge,k}$	0,8	0,5	6,0
Puristus syysuuntaan	$f_{c,0,k}$	35	26	26
Puristus poikittain syrjällään	$f_{c,90.edge,k}$	6	4	9
Puristus poikittain lappeellaan	$f_{c,90.flat,k}$	1,8	1,0	2,2
Leikkaus syrjällään	$f_{v,k}$	4,1	2,4	4,5
Lappeellaan pintaviilun suuntaan	$f_{r,0,k}$	2,3	1,3	1,3
Jäykkyyso-minaisuudet (N/mm ²)				
Kimmomoduuli	E_{mean}	13800	10000	10500
	$E_{0,05}$	11600	8800	8800
Liukumoduuli	$G_{edge,mean}$	600	400	600
	$G_{0,05}$	400	300	400
Tiheydet kg/m ³				
Ominaisstiheys	ρ_k	480	410	480
Tiheyden keskiarvo	ρ_{mean}	510	440	510

Rakenteille voi myös olla mahdollista siirtää jatkuvaa kuormaa viereisille rakenteille. Tämän kaltaisissa tilanteissa voidaan kertoa laskelmissa toisiinsa yhdistettävien rakenneosasten kestävyysominaisuudet ja kuorman jakoluku ($k_{sys} = 1,1$). Esimerkkinä kattoristikoihin, joiden jakoväli on enintään 1,2 metriä, kiinnitettävät ruodelaudat voivat siirtää kuormaa viereiselle ristikolle. Kuorman jakolukua käytettäessä tulee kuormien kuitenkin olla lyhytaikaisia. (Ylihärsilä 2009 a.)

2.7.5 Rakenneosien mitoitus murtorajatila

Rakenneosia mitoittaessa täytyy laskea monia erilaisia materiaalin lujuuksia ja kuormien niihin aiheuttamia jännityksiä kolmen eri akselin suhteen. Kuviossa 6 on kerrottuna poikkileikkauksien kolme pääakselia. Laskelmilla täytyy osoittaa, että suunnitellun rakenteen lujuus on suurempi kuin kuormien aiheuttama jännitys. Taulukosta 13 selviää jännitysten ja lujuuksien laskentakaavat ja taulukosta 14 niissä huomioon otettavat asiat sekä kertoimet k_h ja k_l . Taulukoissa 15 ja 16 on esitelty eri jännitysyhdistelmien laskentatavat. (Ylihärsilä 2009 a.)



Kuvio 6. Eri poikkileikkauksien akselit. (Kevarinmäki 2010, 25.)

Taulukko 13. Jännitysten ja lujuuksien mitoitusarvojen laskentakaavat. (Ylihärsilä 2009 a.)

	Jännityksien mitoitusarvot	Lujuuksien mitoitusarvo
Veto	$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A_{netto}}$	$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot k_l \cdot k_{sys} \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_M}$
Puristus	tai $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A}$ $\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{eff}}$	tai $f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M}$ $f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M}$
Taivutus	tai $\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{I_y} \cdot z$ $\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{I_z} \cdot y$	tai $f_{m,y,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot k_{sys} \cdot f_{m,y,k}}{\gamma_M}$ $f_{m,z,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot k_{sys} \cdot f_{m,z,k}}{\gamma_M}$
Leikkaus	$\tau_{d,max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{z,d}}{A}$ (suorakaidepoikkileikkaus)	$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M}$
Lujuuksien ominaisarvot (esim. $f_{0,k}$) löytyvät taulukoista 10 ja 11		

Taulukko 14. Kertoimia ja mitoitussehtoja. (Ylihärsilä 2009 a.)

	Kertoimien ja mitoitussehtojen kaavoja
Veto k_h k_l	$k_h = \left(\frac{150}{h}\right)^{0,2} \leq 1,3$ Sahatavara, kun $h < 150$ mm $k_h = \left(\frac{600}{h}\right)^{0,1} \leq 1,1$ Liimapuulla, kun $h < 600$ mm $k_h = 1,0$ LVL h on tässä tapauksessa poikkileikkauksen leveys $k_l = \left(\frac{3000}{l}\right)^{\frac{s}{2}} \leq 1,1$ LVL, kun sauvan pituus l on muu kuin 3000 mm kerto-S $s=0,12$; kerto-T $s=0,15$; kerto-Q $s=0,12$
Puristus A_{eff} $k_{c,90}$	$A_{eff} = \max(l + 60 \text{ mm}) \cdot b$ 60mm, jos puristetun palkin molemmin puolin on palkkia 30 mm, muuten pienempi syitä vastaan kohtisuorassa puristuksessa: $\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$ missä $k_{c,90}$ on 1,0 jos seuraavista ehdoista mikään ei täyty Palkki on jatkuvilla tuilla ja puristavien pilareiden etäisyys toisistaan vähintään 2h $k_{c,90} = 1,25$ puu on havupuista sahatavaraa $k_{c,90} = 1,5$ puu on havupuista liimapuuta $k_{c,90} = 1,3$ kerto-Q on syrjällään $k_{c,90} = 1,4$ kerto-LVL Palkki on erillisillä tuilla ja puristavien pilareiden etäisyys toisistaan vähintään 2h $k_{c,90} = 1,5$ puu havupuista sahatavaraa $k_{c,90} = 1,75$ puu havupuista liimapuuta ja puristavan pilarin leveys ≤ 400 mm $\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$, kun puristus vinossa (kulma α) syysyyntaan.
Taivutus	Mitoitusehdot: $\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \cdot k_m \leq 1$ ja $\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \cdot k_m + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$ missä k_m on jännitysten uudelleen jakautumisen huomioiva kerroin suorakaide poikkileikkauksissa $k_m = 0,7$ muissa 1,0 Myös kiepahdus tulee tarkastaa (taulukko 15)!! $k_h = \left(\frac{150}{h}\right)^{0,2} \leq 1,3$ Sahatavara, kun $h < 150$ mm $k_h = \left(\frac{600}{h}\right)^{0,1} \leq 1,1$ Liimapuulla, kun $h < 600$ mm $k_h = \left(\frac{300}{h}\right)^s \leq 1,2$ LVL, $s =$ samat kuin vedon tapauksessa h on tässä tapauksessa poikkileikkauksen korkeus
Leikkaus	$A = k_{cr} \cdot b \cdot h$ Käyttöluokassa 1 oleva sahatavara- tai liimapuurakenne, $k_{cr} = 0,67$, kerroin huomioi kuivan puun halkeilujen vaikutuksen. Muissa olosuhteissa ja muilla la $k_{cr} = 1,0$.

Taulukko 15. Yhdistelmämitoituksen ehdot ja nurjahdustarkastelu. (Ylihärsilä 2009 a.)

Yhdistettyjä jännityksiä sekä nurjahduslaskenta	
Yhdistetty veto ja taivutus	<p>Mitoitusehdot:</p> $\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$ $\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$ <p>jännityksien ja lujuuksien kaavat sekä kertoimet esitetty taulukoissa 12 ja 13.</p>
Yhdistetty puristus ja taivutus	<p>Mitoitusehdot: (ei nurjahdus- ja kiepahdusvaaraa)</p> $\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$ $\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$ <p>jännityksien ja lujuuksien kaavat sekä kertoimet esitetty taulukoissa 12 ja 13.</p>
Nurjahdus	<p>Mitoitusehdot:</p> $\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$ $\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$ <p>$k_{c,y/z}$ on nurjahduserroin, joka saadaan</p> $k_{c,y/z} = \frac{1}{k_{y/z} + \sqrt{k_{y/z}^2 - \lambda_{rel,y/z}^2}}$ <p>missä $k_{y/z} = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y/z} - 0,3) + \lambda_{rel,y/z}^2]$</p> <p>$\beta_c = 0,2$ sahatavaralle ja $\beta_c = 0,1$ GL ja LVL</p> $\lambda_{rel,y/z} = \frac{\lambda_{y/z}}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$ <p>$E_{0,05}$ arvo saadaan taulukoista 10 ja 11.</p> $\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{\sqrt{12}h} \quad \text{tai} \quad \lambda_z = \frac{L_{c,y}}{\sqrt{12}b}$ <p>$\lambda_y, \lambda_{rel,y}$ ovat y-akselin suhteen vastaavat hoikkuusluku ja suht. hoikkuus. $\lambda_z, \lambda_{rel,z}$ ovat vastaavat luvut z-akselin suhteen.</p> <p>Nurjahdusvaara on, kun $\lambda_{rel,y}$ tai $\lambda_{rel,z}$ on suurempi kuin 0,3</p> <p>Jännityksien ja lujuuksien kaavat sekä kertoimet esitetty taulukoissa 12 ja 13.</p>

Taulukko 16. Puupalkin kiepahduslaskenta. (Ylihärsilä 2009 a.)

	Kiepahduslaskenta
Kiepahdus	<p>Mitoitusehdot: Pelkkä taivutusmomentti rasittaa palkkia: $\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}$</p> <p>missä k_{crit} on kiepahduskerroin</p> <p>Puristusvoima ja vahvemman suunnan taivutusmomentti rasittaa palkkia: $\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$</p> <p>missä $k_{c,z}$ arvo saadaan laskemalla taulukon 14 nurjahduksen osa-alueelta,</p> $k_{crit} = \begin{cases} 1 & , \text{ kun } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} & , \text{ kun } 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & , \text{ kun } 1,4 \leq \lambda_{rel,m} \end{cases}$ <p>missä</p> $\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\frac{c \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05}}}$ <p>c=0,78 havupuusahatavaralle c=0,71 liimapuulle c=0,67 Kerto-Q:lle c=0,58 Kerto-S:lle ja Kerto-Q:lle</p> <p>Palkki kiepahdustuettu vähintään tuilta $l_{ef} = l_a + 2h$ ja jos palkki on kiepahdustuettu välein a, voidaan tehollisena pituutena käyttää mittaa $l_{ef} = a + 2h$. Kuormituksen ollessa vakiomomentti on l_a vapaasti tuetulla palkilla palkin oma pituus l. Tasainen kuorma vapaasti tuetulla palkilla $l_a = 0,9l$. Pistekuorma jänteen keskellä vapaasti tuetulla palkilla $l_a = 0,8l$</p> <p>Jännityksien ja lujuuksien kaavat sekä kertoimet esitetty taulukoissa 12 ja 13.</p>

2.7.6 Rakenneosien mitoitus käyttörajatila

Käyttörajatila tarkoittaa rakenteiden tilaa, jonka ne saa maksimissaan poiketa normaalitilasta niille aiheutuvan kuorman takia. Käyttörajatilassa tarkastellaan siis rakenteiden käyttäytymistä normaalikäytössä tai asioita jotka vaikuttavat ihmisten mukavuuteen tai rakennuksen ulkonäköön. Käyttörajatilamitoituksen avulla otetaan huomioon kriteerit, jotka liittyvät esimerkiksi välipohjan jäykkyyteen. Toisaalta siinä tulee tarkasteltua myös rakenteiden mahdollisten liikkumien aiheuttamat vahingot pintamateriaaleille. (Ylihärsilä 2009 b.)

Taulukko 17. Virumakertoimet (k_{def}) runkomateriaaleille eri käyttöluokissa. (Kevärrinmäki 2010, 17.)

Materiaali	Käyttöluokka		
	1	2	3
Sahatavara, pyöreä puu			
Liimapuu	0,60	0,80	2,00
LVL			

Taulukko 18, Käyttörajatilamitoitukseen liittyviä kaavoja ja termejä. (Kevarinmäki 2010, 10–23.)

	Käyttörajatilan mitoituskaavoja
Taipu- ma	$w_{inst,1} = \frac{5}{384} \cdot \frac{pL^4}{E_{mean} \cdot I_y}$ <p>missä $w_{inst,1}$ on 1 kN/m (=p) tasaisen kuorman aiheuttama hetkellinen taipuma E_{mean} on kimmomoduuli taulukko 10 ja 11 L on jänneväli I_y on jäyhyysmomentti Näin ollen esimerkiksi pysyvän kuorman aiheuttama taipuma saadaan $w_{inst,1} \cdot G_{kj}$ $w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,l} + w_{inst,h}$</p> $w_{fin} = \max \left\{ \begin{array}{l} (1 + k_{def})w_{inst,G} + (1 + 0,2k_{def})w_{inst,l} + (0,7 + 0,3k_{def})w_{inst,h} \\ (1 + k_{def})w_{inst,G} + (1 + 0,3k_{def})w_{inst,h} + (0,7 + 0,2k_{def})w_{inst,l} \end{array} \right.$ <p>missä w_{inst} on hetkellinen taipuma w_{fin} on lopullinen taipuma k_{def} virumakerroin (taulukko 17) $w_{inst,G}$ on pysyvän kuorman aiheuttama hetkellinen taipuma $w_{inst,l}$ on lumikuorman aiheuttama hetkellinen taipuma $w_{inst,h}$ on mitoittavan hyötykuorman aiheuttama hetkellinen taipuma $w_{inst} \leq \frac{L}{400}$ ja $w_{fin} \leq \frac{L}{300}$</p>
Värähtely	$f_1 = \frac{\pi}{2L^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_L}{s \cdot m}} \quad (1) \quad \text{ehto } f_1 > 9 \text{ Hz}$ <p>missä L on jänneväli $(EI)_L$ on taivutusjäykkyys yhtä palkkia kohden ($E_{mean} \cdot I$) (2) s on palkkien välinen etäisyys metreinä. m on lattian omapaino (kg/m²) + pitkäaikainen hyötykuorma 0,3 q_k (kg/m²) Voidaan myös ottaa huomioon välipohjan levy materiaali työmaalla liimattuna. Tällöin t-poikkileikkauksen taivutusjäykkyys on $(EI)_L = 0,5 \cdot \left[(EI)_p + \left((2,2 - 0,1 \cdot L) \cdot (0,4 + s) \cdot (EI)_p \right) \right]$ missä s (metreinä) ja L (metreinä) samat kuin yllä $(EI)_p$ on taivutusjäykkyys yhtä palkkia kohden (kaavalla 2) Lopputulos $(EI)_L$ sijoitetaan yllä olevaan kaavaan 1</p>
Painuma	$k_B \cdot k_s \cdot \delta_L \leq 0,5 \text{ mm}$ <p>missä δ_L on laskennallinen 1 kN staattisen pistevoiman aiheuttama suurin hetkellinen taipuma, kun ei oteta huomioon kuorman jakautumista viereisille palkeille. Tässä tapauksessa käytetään värähtelyn $(EI)_L$ ensimmäistä arvoa (2) k_B on poikittaissuuntaisen jäykkyyden huomioon ottava kerroin 0,5. k_s on lattiapalkkien välimitasta riippuva kerroin, joka saadaan kaavasta $k_s = \sqrt{\frac{s}{0,6}} \geq 0,5$ s on palkkien välinen etäisyys metreinä.</p>

2.8 Pientalon seinärakenteet

2.8.1 Ulkoseinärakenteet

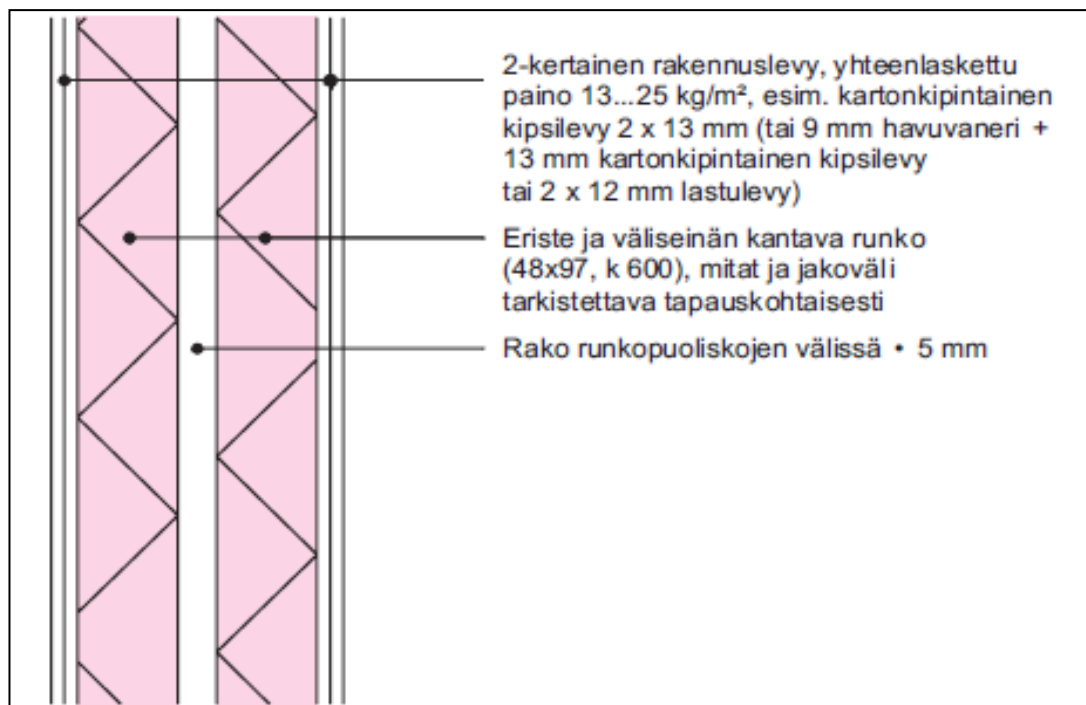
Ulkoseinärakenteet voidaan jaotella rakennusfysikaalisten ominaisuuksien perusteella massiivirakenteisiin seiiniin, kerroksellisiin seinärakenteisiin ja sandwich-rakenteisiin seiiniin. Massiivisia seiiniä ovat muun muassa hirsi- ja massiivitiiliseinät. Kerroksellisia seinärakenteita ovat esimerkiksi puu- ja teräsrunkoiset seinärakenteet. Pientalorakentamisessa yleisin seinätyyppi ovat puurunkoiset kerrokselliset seinärakenteet, mutta myös massiivisia seiiniä on hirsirakennuksissa ja joissakin omakotitalorakennuksissa sekä vapaa-ajan rakennuksissa. (Nieminen 2008, 403–404.)

Massiivirakenteisissa seinissä ei tarvita erikseen ulkoverhousta eikä ilman- ja höyrynsulkukerrosta vaan tiiveys saavutetaan tiivistämällä rakenteen saumat huolellisesti. Esimerkiksi hirsiseinät tiivistetään joustavan saumanauhan avulla. Seinän ulkopinta tulee suojata vettä hylkivällä pinnoitteella. Massiiviseiniä voidaan myös lisä eristää, jolloin lisälämmöneriste tulisi aina laittaa rakenteen ulkopuolelle. Eristeen pitää olla avohuokoista ja se tulee suojata yhtenäisellä tuulensuojakerroksella. (Nieminen 2008, 403–404.)

Kerroksellisissa seinärakenteissa seinän ulkopinnassa on aina ulkoverhous, jonka tarkoituksena on estää sadeveden pääsy seinärakenteeseen. Ulkoverhouksen alle täytyy aina jättää yhtenäinen ja riittävän suuri tuuletusväli. Esimerkiksi tiiliverhousta käytettäessä tuuletusvälin täytyisi olla vähintään 30 millimetriä sekä verhouksen alaosaan tulee jättää vähintään joka kolmas pystysauma auki. Puuverhouksessa tuuletus hoidetaan pysty- tai poikittaiskoolauksella. Näin pyritään varmistamaan rakenteen riittävä tuulettuminen. Rakenteen rungon ja eristeen ulkopintaan tulee asentaa tuulensuojalevy tai -kalvo. Eristeen sisäpintaa suojataan ilmatiiviillä sekä riittävän höyrynvastuksen omaavalla kalvolla, levyllä tai kivirakenteella. Tiiveyden takaamiseksi sulkukerrosta ei saisi tarpeettomasti reiittää esimerkiksi sähköasennusten takia. Jos kalvon tai levyn sisäpuolelle laitetaan lisälämmöneristystä, tulee koolauksen olla samalla kohtaa kuin kantavan rungon. Kuitenkin lämmöneristeestä tulee olla vähintään 75 % höyrynsulun ulkopuolella. (Nieminen 2008, 403–404.)

2.8.2 Väliseinärakenteet

Huoneiston sisäiset väliseinät voi olla kantavia tai ei-kantavia riippuen käyttötarkoituksesta. Kantavat seinät tehdään yleensä samaan aikaan kuin ulkoseinät, mutta mitoitus tehdään niille tulevan kuorman mukaan, joten ne eivät välttämättä ole samankaltaisia rakenteita ulkoseinän kanssa. Ei-kantavat voidaan tehdä myöhemmin ja yleensä se tehdään vain esimerkiksi 50x100 runkotolpilla. Huoneiston ja osastoivan väliseinärakenne valmistetaan siten, että ilmaääneneristävyyden tulee olla vähintään 55 dB sekä palonkestovaatimus vähintään EI 30. Tämän lainen rakenne saavutetaan esimerkiksi kuvion 7 rakenteella. (RT 82-10852 2005.)

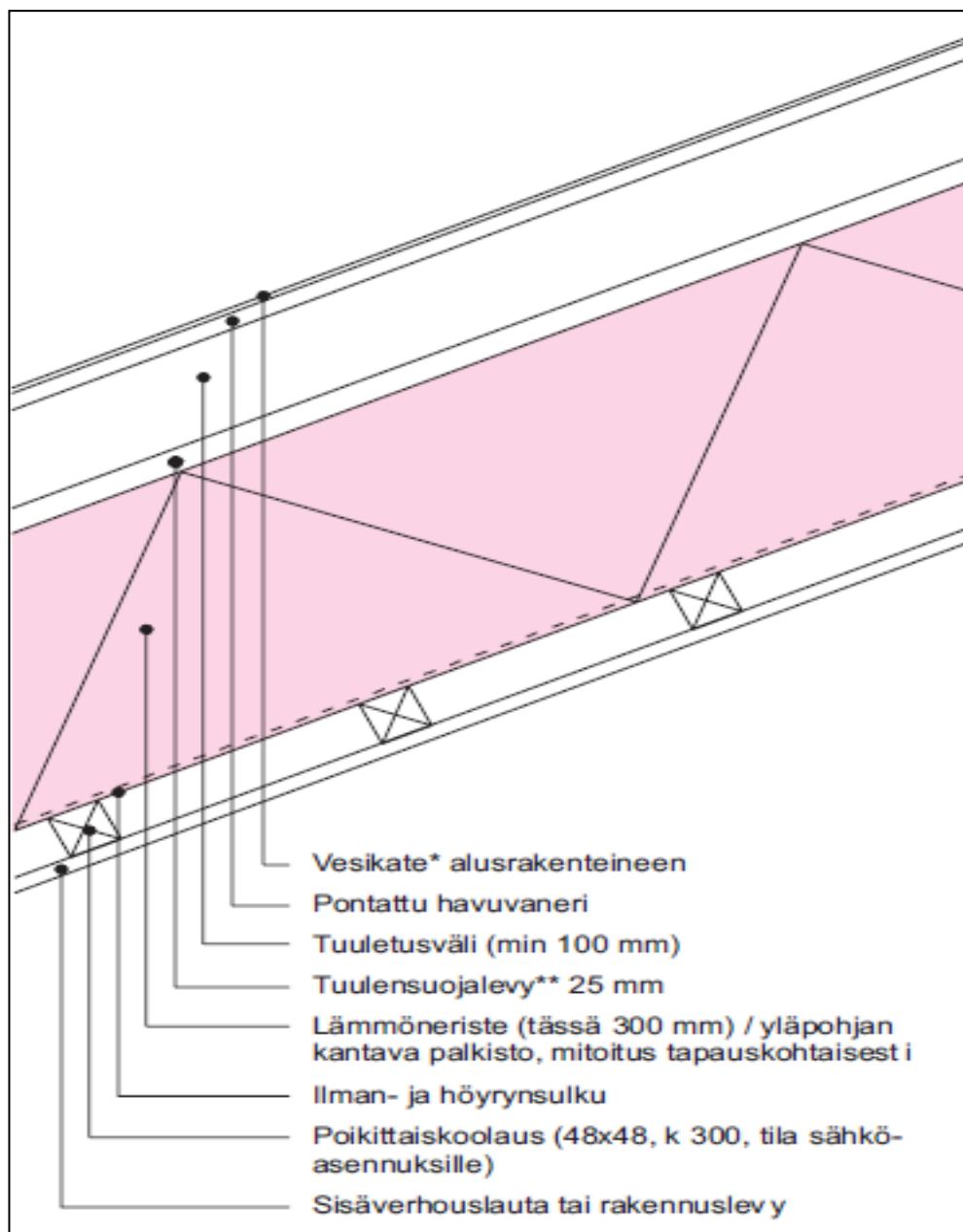


Kuvio 7. Esimerkki paloluokan EI 60 täyttävästä rakenteesta. (RT 82-10852 2005.)

2.9 Ylä- ja välipohjarakenteet

Välipohjissa palkisto ja sen päälle tuleva aluslattialevy tulee tehdä niin, että se ulottuu kantavien ulko- ja väliseinien päälle. Vaakasuuntainen jäykistys tapahtuu aluslattialevyjen avulla. Asuinrakennuksissa ääneneristys edellyttää lattian pinta-kerroksen tekemistä eristekerroksen päälle. (RT 83-11010 2010.)

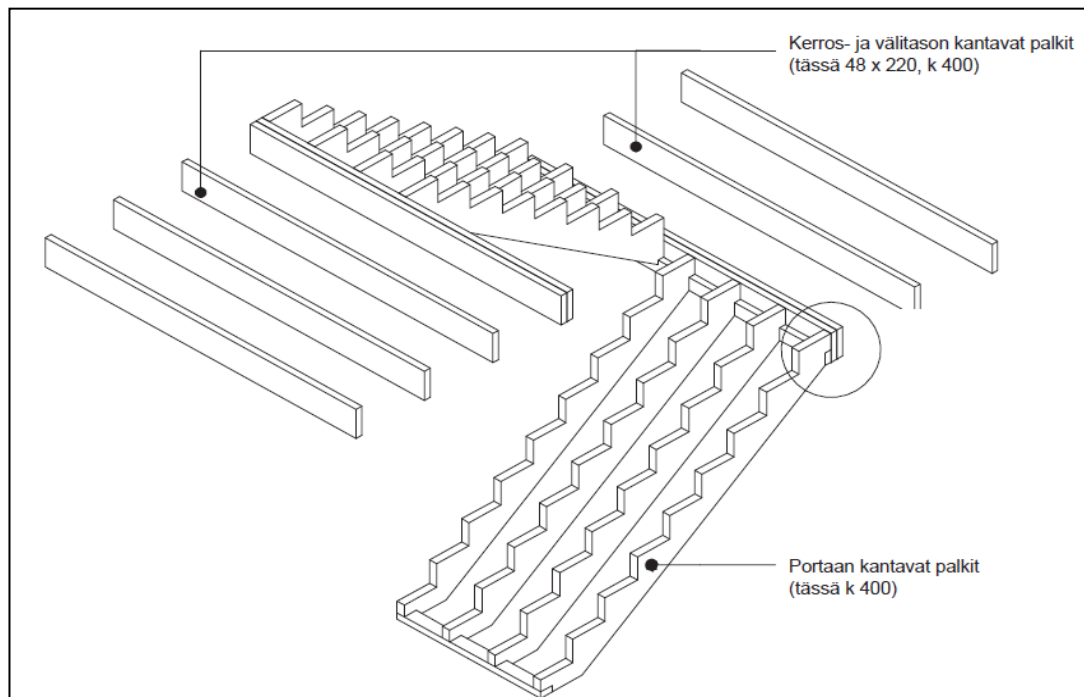
Yläpohja tulee suunnitella ilma- ja höyrytiiviksi, erityisesti läpivientien kohdalta tiiveys tulee varmistaa huolella. Tuuletus hoidetaan vesikatteen ja yläpohjan väliin jätettävällä tuuletusvälillä, minkä koko riippuu katteen kaltevuudesta ja pinta-alasta. Vesikatto ja materiaali, mistä se valmistetaan, riippuu suurimmaksi osaksi halutusta kate kaltevuudesta. Katto tulee suunnitella niin, että vesi saadaan poistettua sieltä vaurioittamatta muita rakenteita ja siten että katon liittyminen muihin rakenteisiin ei heikennä sen vedenpitävyyttä. Yleensä tämä suoritetaan räystäskourujen ja syöksytorvien avulla. Tasakatoissa voidaan käyttää kattokaivoja. Kuvi-ossa 8 esimerkki yläpohjarakenteesta, missä kantava palkisto on eristeen sisässä. (RT 83-11010 2010.)



Kuvio 8. Esimerkki yläpohjasta, jossa kantava palkisto. (RT 82-10852 2005.)

2.10 Portaat

Avoimen puujärjestelmän vakiomitoituksessa määritetään yleisesti pientalon kerroskorkeudeksi 3 metriä. Portaitten askelmien mitoituksessa sovelletaan tässä tilanteessa yleisohjetta: $2 \times \text{nousu} + \text{etenemä} = 600 - 640 \text{ mm}$. Kuitenkin nousujen vähimmäislukumäärä on 16, mikä rajoittaa nousukorkeuden 190 mm:iin. Matalamman kerroskorkeuden kohdalla voidaan tarvittavasti vähentää askelmäärää suhteessa kerroskorkeuteen. Porrassyöksyn vähimmäisleveys palomääräysten mukaan on 800 millimetriä. Portaiden kantava rakenne on tavallisesti portaiden suuntaiset puupalkit (kuvio 9), jotka on valmistettu esimerkiksi sahatavarasta tai liimapuusta. Ne mitoitetaan välipohjapalkkien tavoin murtorajatilamitoituksella. Porraskäytävät voidaan valmistaa höylätystä lattialaudoista tai rakennuslevyistä, esimerkiksi vanerista. Rakennuslevystä valmistettaessa ne kuitenkin yleensä pinnoitetaan tarkoituksen mukaisella materiaalilla, kuten parketilla. Portaiden kaiteet tulee olla vähintään 900 millimetriä korkeat ja pinnakaiteessa maksimi pinnaväli on 100 millimetriä. Kaiteen voi myös pintojen sijasta toteuttaa levymäisenä. (RT 88-10743 2001.)



Kuvio 9. Portaiden ja lepotason kantava palkisto. (RT 88-10743 2001.)

2.11 Paloturvallisuus

Paloturvallisuus on rakenteen käyttötarkoituksen ja käyttötapojen lisäksi yksi olennaisimmista teknisistä vaatimuksista. Autotallin ollessa erillinen ja yli 60 m²:in kokoinen ja etäisyyden ollessa vähintään 8 metriä muista rakennuksista sen katsotaan olevan paloteknillisesti oma rakennuksensa. Autotallin ollessa lähempänä kuin 8 m toisesta rakennuksesta se käsitellään paloteknisesti samana rakennelmana. Muun rakennuksen yhteydessä oleva autosuoja tulee rakentaa eri palo-osastoksi. (RT 08-10812 2003.)

Osastoivat rakennusosat ovat yleensä EI 60-luokkaa ja siksi myös materiaalien tulisi olla vähintään A2-s1, d0-luokassa. Kuitenkin P3-luokan rakennuksessa, jossa on autosuoja ja jonka pinta-ala on enintään 400 m², osastoivat rakennusosat voivat olla EI 30 ja käyttää D-luokan materiaaleja. Eli normaalin puurakenteisen autotalli, maksimi korkeus 9 metriä, voidaan rakentaa P3-paloluokkaan ja käyttää suojaustasoa 1, johon kuuluu alkusammutuskalusto, esimerkiksi käsisammutin. Käsisammuttimia tulee olla vähintään 1/200m² P3-luokan autosuojarakennuksissa. P3-luokassa ei toisaalta ole luokkavaatimuksia kantaville rakenteille, ainoastaan sisäpuolen pintamateriaaleille. Lattian pintana voidaan käyttää A2-luokan tarvikkeita. Maanvaraisessa laatussa voidaan käyttää esimerkiksi asfalttibetonia. (RT 08-10812 2003.)

Rakennusosien murtorajatilaa vastaava kuorman kantokyky määritellään palon kestävyysajan jälkeen hiiltymättä jääneelle poikkileikkaukselle. Puun hiiltymisnopeus normaalille sahatavaralle on 0,8 mm/min. Taulukossa 19 on esitelty palomitoituksessa käytettäviä kuormitusyhdistelmiä. Materiaalin lujuutta laskettaessa käytetään taulukon 10 mukaisesti osavarmuuslukua 1,0. Tungoskuormana voidaan kumminkin käyttää arvoa 2,0 kN/m². Jos puiisiin rakenteisiin on käytetty metallisia liittimiä, ne tulee suojata siten, että ne vastaavat muun rakenteen palonkestävyyttä. Suojaamiseen voidaan käyttää esimerkiksi mineraalivillaa. (RT 08-10812 2003.)

Taulukko 18. Palomitoituksessa käytettävät kuormitusyhdistelmät. (Kevarinmäki 2010, 10.)

Palomitoituksessa käytettävien kuormitustilanteiden määräävät kuormat	Kuormitusyhdistelmä
Hyöty ja lumikuorma (vaakarakenteille)	$G_{kj} + 0,5Q_{k,l} + 0,3Q_{k,h}$
Tuulikuorma (pystyrakenteille)	$G_{kj} + 0,2Q_{k,l} + 0,3Q_{k,h} + 0,2Q_{k,t}$
<p>G_{kj} = pysyvien kuormien ominaisarvo $Q_{k,l}$ = lumikuorman ominaisarvo $Q_{k,h}$ = hyötykuormien ominaisarvo $Q_{k,t}$ = tuulikuorman ominaisarvo</p>	

3 RAKENNUKSEN SUUNNITTELU

Suunnittelu aloitettiin piirtämällä archicadilla 3D-kuvaa tulevasta rakennuksesta. Tarkoituksena ei siis ole suunnitella sisustuksia sinne, vaan että siellä on tilaa kolmelle autolle ja yläkerta on sopiva asiakkaan käyttötarkoitusta varten. Aluksi suunniteltiin, että hyvä pohjakoko voisi olla 6 m x 13 m. Pidemmällä sivulla olisi yksi ovi sisäänkäyntiä varten sekä kolme sähkökäyttöistä nosto-ovea kutakin autoa varten. Lyhyemmällä sivuilla ei olisi aukkoja ja takaseinälle tulisi muutamia ikkunoita tuomaan valoa. Kun pohja saatiin piirrettyä ja sijoitettua pari autoa sinne, huomattiin että tilaa ei olisi tarpeeksi kolmelle autolle. Tämän takia leveyttä laajennettiin 15,5 metriin ja se alkoi näyttää hyvältä. Rakennuksen korkeus pyrittiin pitämään mahdollisimman matalana, joten alakerran sisäkorkeudeksi ajateltiin 2,2 metriä. Yläkerran matalaa päätyä noin 2 metriä korkeaksi ja korkeampi on mitä katon kaltevuus tuo tullessaan. Luonnoksen valmistuttua se esiteltiin asiakkaalle ja pohdittiin, onko rakennus käyttötarkoitukseen sopiva. Kokonaisuus oli hänen mukaansa muuten hyvä, mutta ikkunoita tuli lisätä ja rakennuksen pohjan pituus kasvatettiin 6 metristä 7 metriin.

Näitten kuvien perusteella lähdettiin mitoittamaan runkorakenteita. Ensimmäisenä laskenta aloitettiin kattopalkistosta, koska se tuntui järkevimmältä aloittaa ylhäältä päin. Alaspäin mentäessä rakenteet ottavat vastaan myös ylemmille rakenteille tulevan kuorman ja näiden rakenteiden oman painon. Yläpohjapalkin laskenta aloitettiin laskemalla kestäisikö GL32c 90x270 liimapuupalkki 900 millimetrin jaolla. Palkkien mitoituksessa huomioidaan taivutus- ja leikkauskestävyys sekä mahdollinen kiepahtaminen. Tässä tapauksessa, kuten myös tulevassa välipohjan mitoituksessa, kiepahdus on mahdotonta, koska katossa se on estetty palkin puristuspuolella olevilla ruoderakenteilla ja välipohjassa sijaitsevilla 2. kerroksen lattialevyrakenteilla. Staattisena laskentamallina on vapaasti tuettu yksiaukkoinen palkki. Liitteen 4 laskut osoittavat, että se ei ollut riittävä, joten palkin korkeutta kasvatettiin 405 mm:iin. Tämä kestää ja taipumakin pysyy sallituissa rajoissa. Kattopalkkia laskettaessa käytettiin tosin lattiarakenteen sallittua taipumaa vertauksena, mikä on hieman kriittisempi kuin yläpohjarakenteen. Ja asiakkaan toiveesta tarkastettiin kantavat rakenteet myös palomitoituksen kannalta. Liitteen 4 laskut osoittavat

myös rakenteen keston 30 minuutin palon aiheuttaman puun hiiltymisen ja sen aiheuttaman poikkileikkausmuutoksen jälkeen.

Seuraavana oli vuorossa välipohjapalkiston laskenta. Tarkoituksena oli, että välipohjan tulisi olla tarpeeksi kestävä ja jäykkä siinäkin tilanteessa, että yläkerrassa olisi yhdellä kerralla 30 ihmistä. Tämän takia käytettiin liitteessä 5 olevissa välipohjapalkin laskelmissa hyötykuormana tungoskuormaa, mikä on laskennassa käytettävistä hyötykuormista suurin. Koska jänneväli oli 7 metriä, palkiston väleihin suunniteltiin poikittaissuuntaiset palkit, jotka siis kiinnitetään jäykästi pääpalkistoon palkkien puolivälin kohdalle. Niin kutsuttua arinamallia voidaan laskea yksiaukkoi-sena vapaasti tuettuna palkkina, jonka jänneväli on puolet palkin oikeasta mitasta. Tämän perusteella kokeiltiin GL32c 90x270:tä ja palkkien jakoväliksi ajateltiin 400 millimetriä. Liimapuuta mietittiin heti siksi, koska asiakkaan vaatimukset olivat sellaiset, että tavallisen sahatavaran ei uskottu millään kestävänsä kuormia. Lasketta-vana ollut liimapuupalkki kesti murtorajatilan asettamat rasitukset ja myös käyttö-rajatilalaskennassa huomioitavat taipuma, värähtely ja painuma pysyivät sallituissa rajoissa. Välipohjapalkit kestivät myös 30 minuutin palon jälkeen palokuormamitoi-tuksessa liitteessä 5.

Pystyrungon kestävyyksistä laskettiin ainoastaan alakerran runko. Tämä siksi, että alakerran pilareille tulee suurempi kuorma kuin yläkerran ja yläkerran runko tehdään kuitenkin samanlaisesta rakennusmateriaalista kuin alakerran. Pilarin mitoi-tuksessa tarkistetaan sen yläkerran kuormien aiheuttaman jännityksen puristus-kestävyys ja tuulikuorman taivutuskestävyys sekä mahdollinen nurjahtaminen. Tuulen aiheuttama kuorma on niin pieni, että se ei tuota päänvaivaa. Sahatavaras-ta tehdyt C24 50x200 k600 pilarit kestävät liitteen 6 laskennan mukaan puristus-kuorman hyvin, mutta nurjahtaminen on todennäköistä pilarin heikompaan suun-taan. Hetken mietinnän jälkeen huomattiin laskennan osoittavan tilanteen, missä rakennus on siinä vaiheessa, että runko on pystyssä, mutta kuormitus on jo val-miin rakennuksen kuormitustapaus. Eli todellisuudessa seinärakenteen rakennus-levyt ja ulkoverhouksen koolaus toimii nurjahduksen estävänä rakenteena ja näin ollen nurjahduspituus on noin 400 mm. Tämän rakenne kestää kyllä. Palomitoituk-sessa pilarin jännityskestävyyden ja mitoittava kuorman suhde muuttui kestävämpään päin. Näin ollen tilanteen nurjahtamista ei edes tarkasteltu.

Puurungon osista jäljellä on vielä ala- ja yläjuoksun mitoitus. Tämä suoritettiin vain 1-kerroksen ala- ja yläjuoksulta samojen syiden perusteella kuin pilareiden mitoituksessa tehtiin. Yläjuoksun taivutus- ja leikkauskestävyys täytyi tarkastella, koska välipohjapalkisto on 400 millimetrin jaolla ja runko 600 millimetrin jaolla, joten välipohjapalkkeilta tuleva kuorma ei ole joka kohdassa pilarin yläpään kohdalla. Kestävyttä laskettiin samankokoisella ja samaa lujuusluokkaa olevalla sahatavaralla kuin runkotolpissa on. Yläjuoksussa käytettiin tuplapalkkia jo senkin takia, että pääty ja sivuseinät saadaan helpommin kiinnitettyä toisiinsa. Liitteestä 7 voi huomata, että alajuoksu kestää, mutta yläjuoksussa pitää käyttää vähintään C30-luokan sahatavaraa. Palokuormamitoituksessa näiden kestävyys ei ole merkittävässä roolissa.

Perustuksen suunniteltiin olevan antura ja sen päälle tulevat viisi harkkokierrosta. Liitteessä 8 on laskettuna anturan vaadittu koko sekä rauditus. Asiakkaalla ei ollut mitään maaperätutkimustietoja laskentaa varten, minkä vuoksi mitoitettiin suuntaa antavan koon anturaperustukselle huonosti kantavalla maaperällä. Lopputuloksena on 1,1 metriä leveä antura liitteen 8 laskelmien mukaisesti.

Vielä oli mitoitettavana puuportaat, koska se kuuluu olennaisena osana runkorakenteisiin, jos rakennuksessa on enemmän kuin yksi kerros. Liitteessä 9 on laskettuna portaiden kantavien palkkien GL32c 90x270 taivutus- ja leikkauskestävyys murtorajatilassa ja palokuormitustilassa. Ja kuten laskuista voi todeta, ne kestävät. Portaiden palkit laskettiin käyttäen niiden pituutena 5 metriä. Koska ohjeiden mukainen askelmien vähimmäismäärä on 16, tulee tämän mukaan askelmien pituudeksi 290 millimetriä ja askelman korkeudeksi 155 millimetriä.

4 LOPPUPOHDINTA

Tarkoituksena oli suunnitella 2-kerroksinen puurakenteinen autotalli ja harrastetila. Asiakkaan vaatimukset eivät aluksi tuntuneet hirveän vaativilta, mutta päästessäni laskentavaiheeseen työssäni huomasin joidenkin rakennuksen osien mitoittamisen olevan arvioitua työläämpää. Välipohjan suunnittelussa tiesin, että haasteita tulee, koska välipohjan paksuus tuli pysyä mahdollisimman pienenä. Muuten rakenteista tuli mielestäni asiakkaan toiveiden mukaiset niin murtorajakuormituksen, käyttörajatilamitoituksen ja palotilamitoituksen näkökulmasta. Palotilamitoituksesta sen verran, että portaiden mitoituksessa 30 minuutin jälkeen porraspalkki on niin ohut, että todellisuudessa sen kesto on siinä rajoilla kestäkö vai ei, mitoituksen mukaan kestää. Muuten rakenteet on mielestäni mitoitettu vähän ehkä liiankin kestäväksi. Toisaalta en hirveästi ottanut tuulen vaikutusta, koska rakennus tulee hyvin suojaasaan paikkaan. Välipohjapalkkien murtorajatilamitoitus herätti itsessäni kysymyksen staattisesta mitoituksesta jota käytin. Tein sen aiemmin saadun tiedon mukaan, mutta aloin miettiä sitä, miten se vastaa todellisuutta. Kysyin sitten, kaduin tätä hieman jälkikäteen, asiantuntijalta mielipidettä kyseisestä asiasta. Hänen mielestään se ei välttämättä ollut ihan realistinen malli. Joten asiaa täytyi hieman tutkia tarkemmin ja lähdinkin hänen opastuksella tutkimaan millaiset voimat palkeille tulee, kun mitoitus tehdään arinamallia hyväksikäyttäen. Tämä osoittautui liian työlääksi minulle käsin laskettavaksi, joten siirryin hänen ohjeistamana mallintamaan tätä Robot Millenium ohjelmalla. Ohjelma antoi hieman suurempia rakenteelle tulevia voimia. Käytin mallinnuksen antamista kahdesta maksimimomentista keskiarvoa, mikä mielestäni on erittäin varmallalla puolella, ja tämän perusteella rakenne kestää taivutuksen ja leikkauksen. Käyttörajatilassa minun mielestäni yksinkertaistettu menetelmä antaa riittävän tarkat arvot ja tämän vuoksi suunnittelemani rakenne on ehkä turhan jyrkkin. Loppujen lopuksi olen tyytyväinen saatuihin tuloksiin ja uskallan lähteä piirtämään lupakuvia näiden laskelmien perusteella. Anturan tarkan koon laskemiseksi ajattelin tutkia lähiympäristöön mahdollisesti tehtyjä tutkimuksia. Tämä siksi, että anturasta ei tehtäisi tarpeettoman isoa.

LÄHTEET

- Kevarinmäki, A. 2010. Puurakenteiden suunnittelu: Lyhennetty suunnitteluohje. [verkkojulkaisu]. Puuinfo Oy. [Viitattu: 21.3.2011]. Saatavana: [http://www.puuinfo.fi/kirjasto/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnitteluKH 91-00129](http://www.puuinfo.fi/kirjasto/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnitteluKH%2091-00129). 1989. Salaojien huolto ja kunnossapito. Helsinki: Rakennustieto
- KH 91-00129. 1989. Salaojien huolto ja kunnossapito. Helsinki: Rakennustieto.
- Nieminen T., Rautiola M., Eriksson L., Kukko H., Kurnitski J., Markku S., Pekkala V. & Saastamoinen O. 2007. Rakentajain kalenteri 2008. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- RT 08-10812. 2003. P3-luokan rakennusten palotekniset vaatimukset 2002. Helsinki: Rakennustieto.
- RT 81-10486. 1992. Pientalon perustamistavan valinta. Helsinki: Rakennustieto.
- RT 81-10590. 1995. Routasuojarakenteet. Helsinki: Rakennustieto.
- RT 82-10852. 2005. Puurakenteinen pienkerrostalo: Avoin puurakennusjärjestelmä. Helsinki: Rakennustieto.
- RT 83-11010. 2010. Yläpohjarakenteita. Helsinki: Rakennustieto.
- RT 88-10743. 2001. Puuportaat. Helsinki: Rakennustieto.
- RT RakMK-21228. 2003. Pohjarakenteet: Määräykset ja ohjeet 2004. Helsinki: Rakennustieto.
- Saariaho A., 2009. Betonirakenteet 2. Opetusmateriaali. Seinäjoen ammattikorkeakoulu.
- Ylihärsilä H. 2009 a. Puurakenteet 1: Tietolehdet. Opetusmateriaali. Seinäjoen ammattikorkeakoulu.
- Ylihärsilä H. 2009 b. Puurakenteet 1: Käyttörajatilamitoitus. Opetusmateriaali. Seinäjoen ammattikorkeakoulu.
- Ylihärsilä H. 2009 c. Puurakenteet 1: Murtorajatilamitoitus. Opetusmateriaali. Seinäjoen ammattikorkeakoulu.

LIITTEET

LIITE 1. Ilmatieteenlaitokselta saadut vuoden keskilämpötilat, ruotimissyvyudet sekä mitoittava pakkasmäärä.

LIITE 2. Lumikuorman ominaisarvot Suomessa.

LIITE 3. Yläpohjapalkin mitoitus.

LIITE 4. Välipohjapalkin mitoitus.

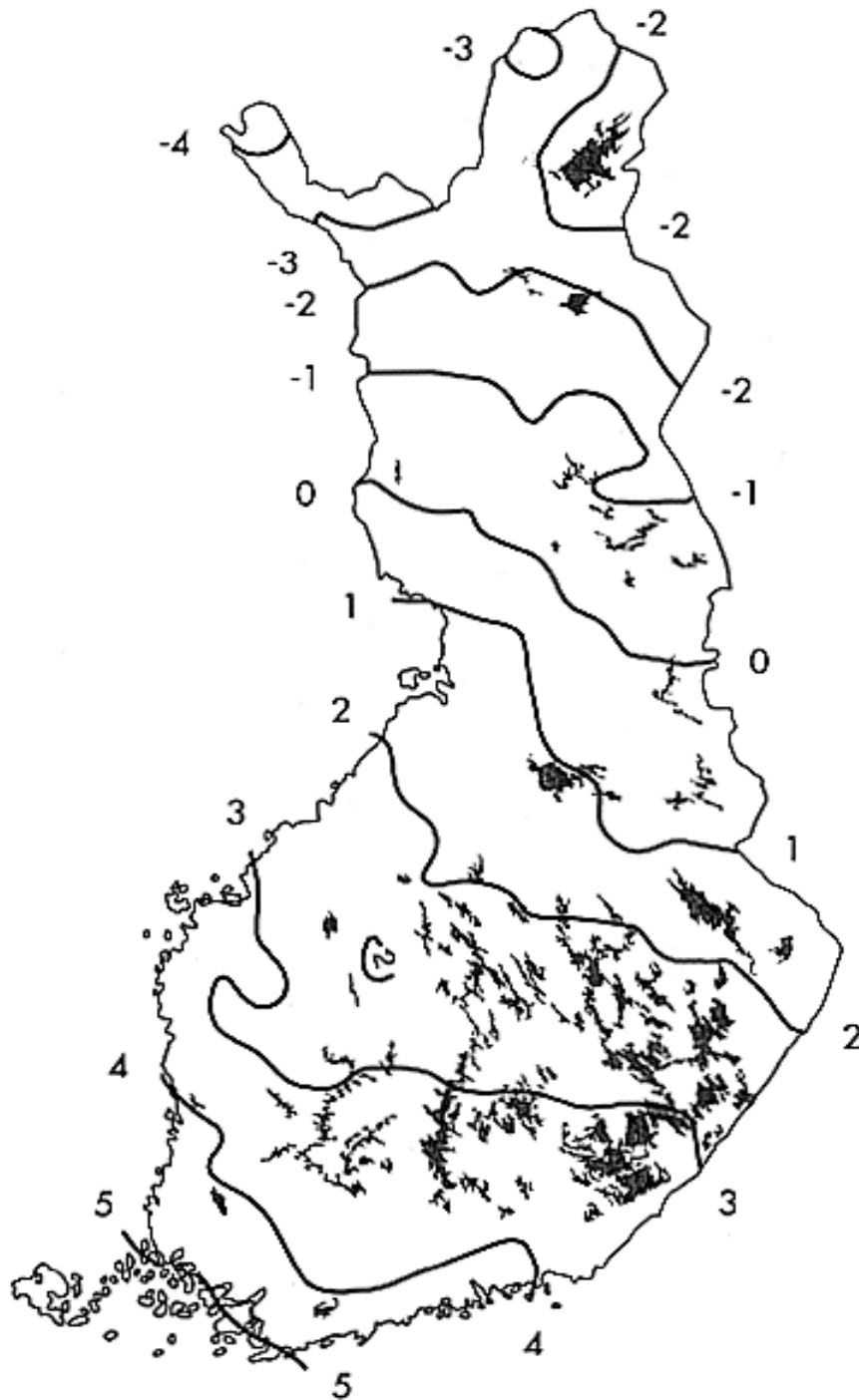
LIITE 5. 1.kerroksen runkopilarin mitoitus.

LIITE 6. 1.kerroksen ala- ja yläjuoksun mitoitus.

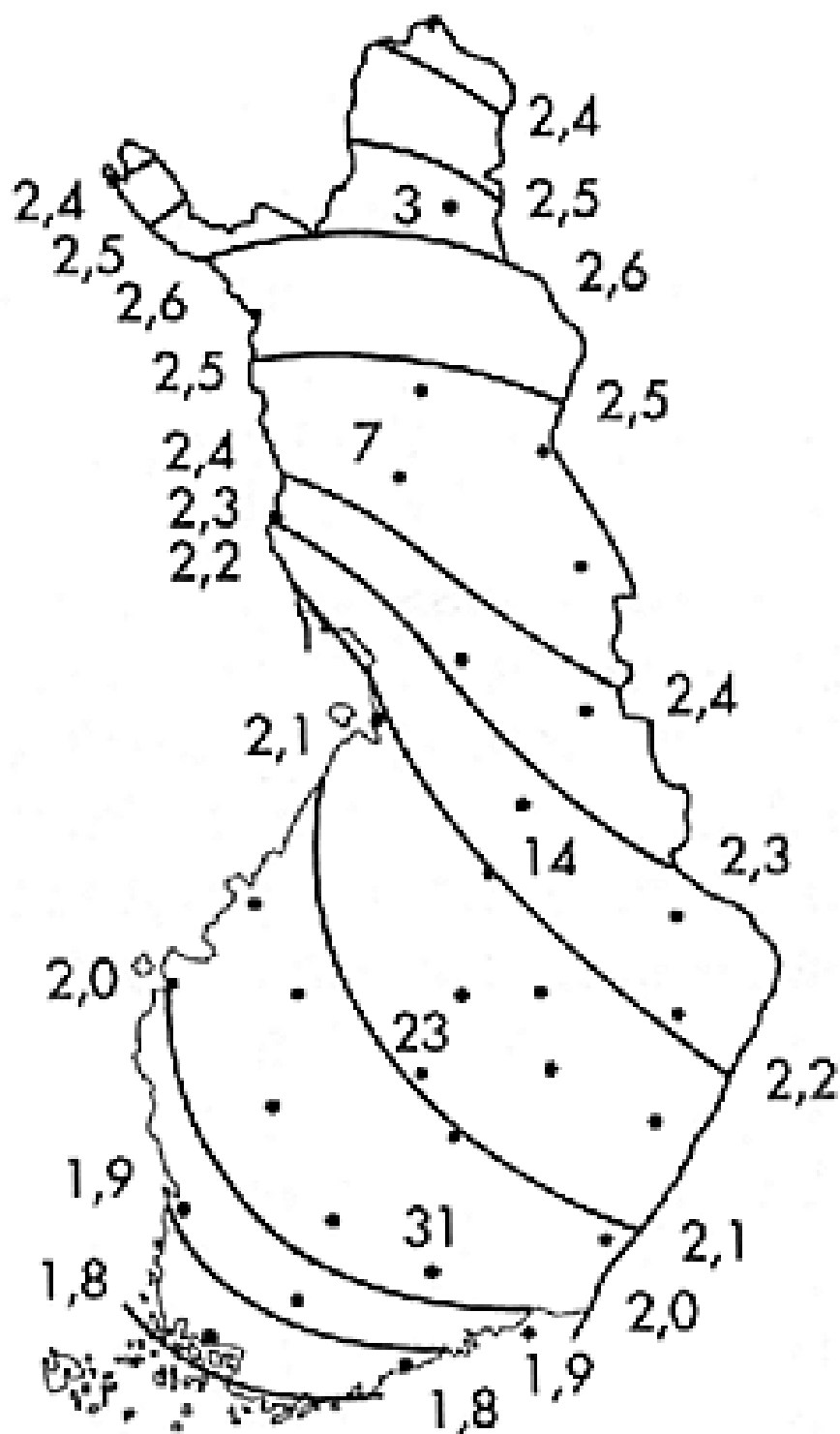
LIITE 7. Anturaperustuksen mitoitus.

LIITE 8. Puuportaiden mitoitus.

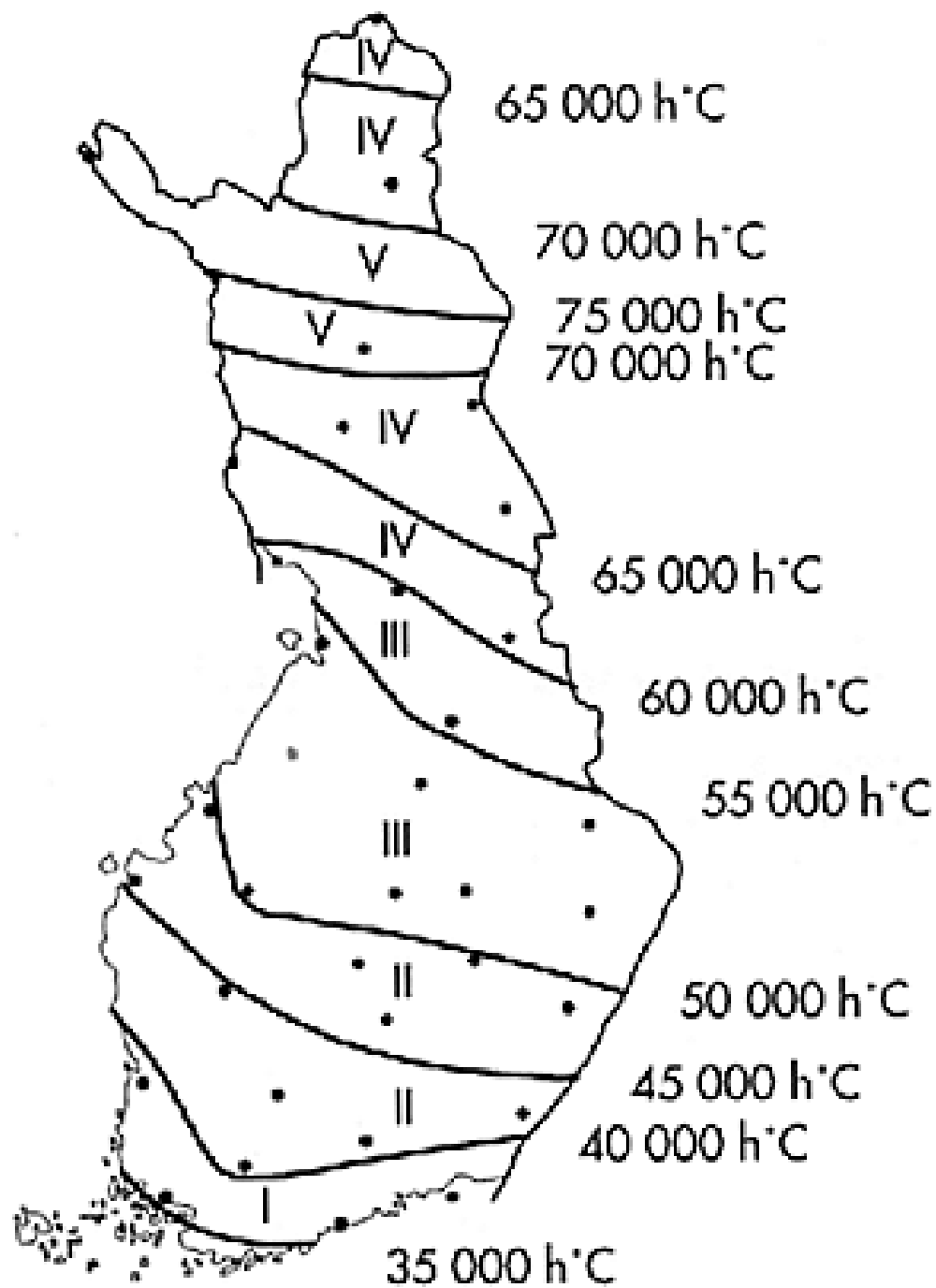
LIITE 1. Ilmatieteenlaitokselta saadut vuoden keskilämpötilat, ruotimissyvydet sekä mitoittava pakkasmäärä.



Kuvio 10: Vuoden keskilämpötilojen aluerajat Suomessa. (RT 81-10590)

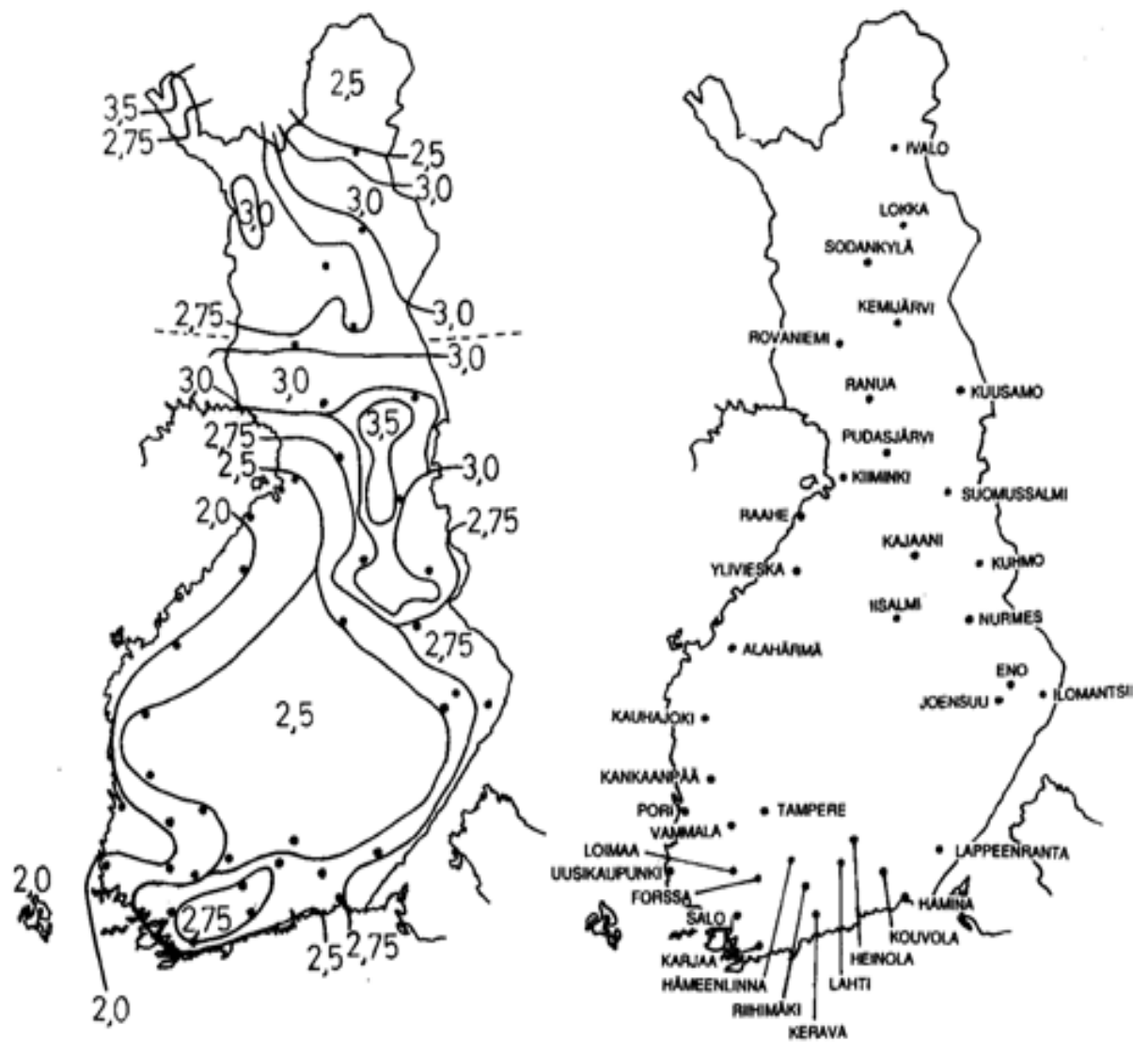


Kuvio 11: Keskimääräiset routimissyvyudet (m) Suomessa vuosina 1961-1990.
(RT 81-10590)



Kuvio 12: Mitoittavat pakkasmäärä ilmastovyöhykkeet F50. (RT 81-10590)

LIITE 2. Lumikuorman ominaisarvot Suomessa.



Kuvio 13. Maanpinnan lumikuorman (kN/m^2) ominaisarvovyökkeet. (Kevarinmäki 2010, 11.)

LIITE 3. Yläpohjapalkin mitoitus.

Palkki: GL32c 90x270

Jako: k=900 mm

Kaltevuus: < 30°

Aikaluokka: Keskipitkä

Käyttöluokka: 1

Lumikuorma: 2,5 kN/m² (Veteli)Palkille tuleva viivakuorma: $Q_l = 2,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \text{ m} = 1,8 \text{ kN/m}$ Palkin oma paino: $4,7 \text{ kN/m}^3$ Välipohjan muu oma paino: $0,8 \text{ kN/m}^2$

Välipohjan oman painon kuorma:

$$G_{jk} = 4,7 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,090 \text{ m} \cdot 0,270 \text{ m} + 0,8 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,9 = 0,83 \text{ kN/m}$$

Murtorajatilamitoitus

Murtorajatilan mitoituskkuorma:

$$1,15 \cdot 0,83 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 1,8 \text{ kN/m} = 3,66 \text{ kN/m}$$

Yksiaukkoisen palkin tasaisen kuorman aiheuttama mitoittava taivutusmomentti:

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot 3,66 \text{ kN/m} \cdot (7,07 \text{ m})^2 = 22,9 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys y-akselin suhteen:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{22,9 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{\frac{90 \cdot 270^3}{12} \text{ mm}^4} \cdot \frac{270}{2} \text{ mm} = 21,0 \text{ N/mm}^2$$

Taivutuslujuus y-akselin suhteen:

$$f_{m,y,d} = \frac{0,8 \cdot 1,08 \cdot 1,0 \cdot 32 \text{ N/mm}^2}{1,2} = 23,1 \text{ N/mm}^2$$

Yksiaukkoisen palkin tasaisen kuorman aiheuttama mitoittava leikkausvoima:

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot 3,66 \text{ kN/m} \cdot 7,07 \text{ m} = 13,0 \text{ kN}$$

Suurin leikkausjännitys:

$$\tau_{d,max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{13,0 \cdot 10^3 \text{ N}}{0,67 \cdot 90 \text{ mm} \cdot 270 \text{ mm}} = 1,20 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus y-akselin suhteen:

$$f_{v,d} = \frac{0,8 \cdot 1,0 \cdot 3,2 \text{ N/mm}^2}{1,2} = 2,1 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauksen mitoitusehto:

$$1,2 \text{ N/mm}^2 \leq 2,1 \text{ N/mm}^2 \quad OK$$

Taivutuksen mitoitus ehdot:

$$\frac{21,0 \text{ N/mm}^2}{23,1 \text{ N/mm}^2} = 0,91 \leq 1 \quad OK$$

$$0,7 \cdot \frac{21,0 \text{ N/mm}^2}{23,1 \text{ N/mm}^2} = 0,63 \leq 1 \quad OK$$

Käyttörajatilamitoitus

Käyttörajatilan mitoituskuorma:

$$0,83 \text{ kN/m} + 1,2 \text{ kN/m} = 2,03 \text{ kN/m}$$

Taipuma:

$$\frac{5}{384} \cdot \frac{1 \text{ N/mm} \cdot (7070 \text{ mm})^4}{13700 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{90 \cdot 270^3}{12} \text{ mm}^4} = 16,09 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma:

$$w_{inst} = 16,09 \text{ mm} \cdot 2,03 = 32,7 \text{ mm} \leq \frac{7070 \text{ mm}}{400} = 17,68 \text{ mm} \quad EI \quad OK$$

Kasvatetaan palkkia 90x405

taipuma:

$$\frac{5}{384} \cdot \frac{1 \text{ N/mm} \cdot (7070 \text{ mm})^4}{13700 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{90 \cdot 405^3}{12} \text{ mm}^4} = 4,77 \text{ mm}$$

$$w_{inst} = 4,77 \text{ mm} \cdot 2,03 = 9,7 \text{ mm} \leq 17,68 \text{ mm} \quad OK$$

Lopullinen taipuma:

$$w_{fin} = 0,83 \cdot 4,77 \text{ mm} \cdot (1 + 0,8) + 1,8 \cdot 4,77 \text{ mm} \cdot (1 + 0,2 \cdot 0,8) = 17,09 \text{ mm}$$

$$17,09 \text{ mm} \leq \frac{7070 \text{ mm}}{300} = 23,57 \text{ mm} \quad OK$$

Palokuormamitoitus 30 minuutin paloajalle

Palotilanteen mitoituskuorma:

$$0,83 \text{ kN/m} + 0,5 \cdot 1,8 \text{ kN/m} = 1,73 \text{ kN/m}$$

Yksiaukkoisen palkin tasaisen kuorman aiheuttama mitoittava taivutusmomentti:

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot 1,73 \text{ kN/m} \cdot (7,07 \text{ m})^2 = 10,8 \text{ kNm}$$

30 min hiltymisen jälkeen:

$$b = 90 - 30 \cdot 0,8 \text{ mm} = 66 \text{ mm}$$

$$h = 405 - 30 \cdot 0,8 \text{ mm} = 381 \text{ mm}$$

Taivutusjännitys y-akselin suhteen:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{10,8 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{\frac{66 \cdot 381^3}{12} \text{ mm}^4} \cdot \frac{381}{2} \text{ mm} = 6,76 \text{ N/mm}^2$$

Taivutuslujuus y-akselin suhteen:

$$f_{m,y,d} = \frac{0,8 \cdot 1,08 \cdot 1,0 \cdot 32 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 27,6 \text{ N/mm}^2$$

Yksiaukkoisen palkin tasaisen kuorman aiheuttama mitoittava leikkausvoima:

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot 1,73 \text{ kN/m} \cdot 7,07 \text{ m} = 6,12 \text{ kN}$$

Suurin leikkausjännitys:

$$\tau_{d,max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{6,12 \cdot 10^3 \text{ N}}{0,67 \cdot 66 \text{ mm} \cdot 381 \text{ mm}} = 0,55 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus y-akselin suhteen:

$$f_{v,d} = \frac{0,8 \cdot 1,0 \cdot 3,2 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 2,56 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauksen mitoitusehto:

$$1,2 \text{ N/mm}^2 \leq 2,56 \text{ N/mm}^2 \quad OK$$

Taivutuksen mitoitusehto:

$$6,76 \text{ N/mm}^2 \leq 27,6 \text{ N/mm}^2 \quad OK$$

LIITE 4. Välipohjapalkin mitoitus

Palkki: GL32c 90x270

Jako: k=400 mm

Pituus: 3500mm

Aikaluokka: Keskipitkä

Käyttöluokka: 1

Hyötykuorma: 6,0 kN/m²Palkille tuleva viivakuorma: $Q_h = 6,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,4 \text{ m} = 2,4 \text{ kN/m}$ Palkin oma paino: $4,7 \text{ kN/m}^3$ Välipohjan muu oma paino: $0,8 \text{ kN/m}^2$

Välipohjan oman painon kuorma:

$$G_{jk} = 4,7 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,090 \text{ m} \cdot 0,270 \text{ m} + 0,8 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,4 = 0,44 \text{ kN/m}$$

Murtorajatilamitoitus

Murtorajatilan mitoituskuorma:

$$1,15 \cdot 0,44 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 2,4 \text{ kN/m} = 4,11 \text{ kN/m}$$

Yksiaukkoisen palkin tasaisen kuorman aiheuttama mitoittava taivutusmomentti:

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot 4,11 \text{ kN/m} \cdot (3,5 \text{ m})^2 = 6,30 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys y-akselin suhteen:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6,30 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{\frac{90 \cdot 270^3}{12} \text{ mm}^4} \cdot \frac{270}{2} \text{ mm} = 5,76 \text{ N/mm}^2$$

Taivutuslujuus y-akselin suhteen:

$$f_{m,y,d} = \frac{0,8 \cdot 1,08 \cdot 1,0 \cdot 32 \text{ N/mm}^2}{1,2} = 23,1 \text{ N/mm}^2$$

Yksiaukkoisen palkin tasaisen kuorman aiheuttama mitoittava leikkausvoima:

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot 4,11 \text{ kN/m} \cdot 3,5 \text{ m} = 7,2 \text{ kN}$$

Suurin leikkausjännitys:

$$\tau_{d,max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{7,2 \cdot 10^3 \text{ N}}{0,67 \cdot 90 \text{ mm} \cdot 270 \text{ mm}} = 0,67 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus y-akselin suhteen:

$$f_{v,d} = \frac{0,8 \cdot 1,0 \cdot 3,2 \text{ N/mm}^2}{1,2} = 2,1 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauksen mitoitusehto:

$$0,67 \text{ N/mm}^2 \leq 2,1 \text{ N/mm}^2 \quad OK$$

Taivutuksen mitoitus ehdot:

$$\frac{5,76 \text{ N/mm}^2}{23,1 \text{ N/mm}^2} = 0,25 \leq 1 \quad OK$$

$$0,7 \cdot \frac{5,76 \text{ N/mm}^2}{23,1 \text{ N/mm}^2} = 0,18 \leq 1 \quad OK$$

Käyttörajatilamitoitus

Käyttörajatilan mitoituskuorma:

$$0,44 \text{ kN/m} + 2,4 \text{ kN/m} = 2,84 \text{ kN/m}$$

Taipuma:

$$\frac{5}{384} \cdot \frac{1 \text{ N/mm} \cdot (3500 \text{ mm})^4}{13700 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{90 \cdot 270^3}{12} \text{ mm}^4} = 0,97 \text{ mm}$$

Hetkellinen taipuma:

$$w_{inst} = 0,97 \text{ mm} \cdot 2,84 = 2,76 \text{ mm} \leq \frac{3500 \text{ mm}}{400} = 8,75 \text{ mm} \quad OK$$

Lopullinen taipuma:

$$w_{fin} = 0,44 \cdot 0,97 \text{ mm} \cdot (1 + 0,8) + 2,4 \cdot 0,97 \text{ mm} \cdot (1 + 0,2 \cdot 0,8) = 3,47 \text{ mm}$$

$$3,47 \text{ mm} \leq \frac{3500 \text{ mm}}{300} = 11,67 \text{ mm} \quad OK$$

Värähtely tarkastelu:

$$(EI)_L = 13700 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 \cdot \frac{0,09 \text{ m} \cdot (0,27 \text{ m})^3}{12} = 2,022 \cdot 10^6 \frac{\text{Nm}^2}{\text{m}}$$

$$m = (270 + 0,3 \cdot 600) \text{ kg/m}^2 = 450 \text{ kg/m}^2$$

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot (3,5)^2} \cdot \sqrt{\frac{2,022 \cdot 10^6 \frac{\text{Nm}^2}{\text{m}}}{450 \text{ kg/m}^2 \cdot 0,4 \text{ m}}} = 13,6 \text{ Hz} \geq 9,0 \text{ Hz} \quad OK$$

Painuma tarkastelu:

$$k_s = \sqrt{\frac{0,4}{0,6}} = 0,82 \geq 0,5 \quad OK$$

$$0,5 \cdot 0,82 \cdot 0,97 \text{ mm} = 0,40 \leq 0,5 \quad OK$$

palokuormamitoitus 30 minuutin paloajalle

Palotilan mitoituskuorma:

$$0,44 \text{ kN/m} + 0,5 \cdot 2,4 \text{ kN/m} = 1,64 \text{ kN/m}$$

Yksiaukkoisen palkin tasaisen kuorman aiheuttama mitoittava taivutusmomentti:

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot 1,64 \text{ kN/m} \cdot (7 \text{ m})^2 = 10,1 \text{ kNm}$$

30 min hiiltymisen jälkeen:

$$b = 90 - 30 \cdot 0,8 \text{ mm} = 66 \text{ mm}$$

$$h = 270 - 30 \cdot 0,8 \text{ mm} = 246 \text{ mm}$$

Taivutusjännitys y-akselin suhteen:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{10,1 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{\frac{66 \cdot 246^3}{12} \text{ mm}^4} \cdot \frac{246}{2} \text{ mm} = 15,2 \text{ N/mm}^2$$

Taivutuslujuus y-akselin suhteen:

$$f_{m,y,d} = \frac{0,8 \cdot 1,08 \cdot 1,0 \cdot 32 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 27,6 \text{ N/mm}^2$$

Yksiaukkoisen palkin tasaisen kuorman aiheuttama mitoittava leikkausvoima:

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot 1,64 \text{ kN/m} \cdot 7 \text{ m} = 5,74 \text{ kN}$$

Suurin leikkausjännitys:

$$\tau_{d,max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{5,74 \cdot 10^3 \text{ N}}{0,67 \cdot 66 \text{ mm} \cdot 246 \text{ mm}} = 0,53 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus y-akselin suhteen:

$$f_{v,d} = \frac{0,8 \cdot 1,0 \cdot 3,2 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 2,56 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauksen mitoitusehto:

$$0,53 \text{ N/mm}^2 \leq 2,56 \text{ N/mm}^2 \quad OK$$

Taivutuksen mitoitusehto:

$$15,2 \text{ N/mm}^2 \leq 27,6 \text{ N/mm}^2 \quad OK$$

**Robot milleniumilla laskettu, arinamallinnuksen suurin kenttämomentti va-
pailta tuilla oli: 26,1 kNm**

Ja momenttijäykillä tuilla: 8,9 kN

$$\text{Näitten Keskiarvo: } \frac{(26,1 \text{ kNm} + 8,9 \text{ kNm})}{2} = 17,5 \text{ kNm} = M_{Ed} \text{ Yhdelle palkille (7000 mm)}$$

Taivutusjännitys y-akselin suhteen:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{17,5 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{\frac{90 \cdot 270^3}{12} \text{ mm}^4} \cdot \frac{270}{2} \text{ mm} = 16,0 \text{ N/mm}^2$$

Taivutuslujuus y-akselin suhteen:

$$f_{m,y,d} = \frac{0,8 \cdot 1,08 \cdot 1,0 \cdot 32 \text{ N/mm}^2}{1,2} = 23,1 \text{ N/mm}^2$$

Yksiaukkoisen palkin tasaisen kuorman aiheuttama mitoittava leikkausvoima:

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot 4,11 \text{ kN/m} \cdot 7 \text{ m} = 14,4 \text{ kN}$$

Suurin leikkausjännitys:

$$\tau_{d,max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{14,4 \cdot 10^3 \text{ N}}{0,67 \cdot 90 \text{ mm} \cdot 270 \text{ mm}} = 1,33 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus y-akselin suhteen:

$$f_{v,d} = \frac{0,8 \cdot 1,0 \cdot 3,2 \text{ N/mm}^2}{1,2} = 2,1 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauksen mitoitusehto:

$$1,33 \text{ N/mm}^2 \leq 2,1 \text{ N/mm}^2 \quad OK$$

Taivutuksen mitoitusehdot:

$$\frac{16,0 \text{ N/mm}^2}{23,1 \text{ N/mm}^2} = 0,70 \leq 1 \quad OK$$

$$0,7 \cdot \frac{16,0 \text{ N/mm}^2}{23,1 \text{ N/mm}^2} = 0,49 \leq 1 \quad OK$$

LIITE 5. 1.kerroksen runkopilarin mitoitus

Pilari: Sahatavara C24 50x200

Jako: k=600 mm

Aikaluokka: Keskipitkä

Käyttöluokka: 2

Lumikuorma: 2,5 kN/m² (Veteli)

Lumesta pilarille tuleva pistekuorma: $Q_t = 2,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \text{ m} \cdot 3,5 \text{ m} \cdot \frac{0,6 \text{ m}}{0,9 \text{ m}} = 4,2 \text{ kN}$

Tungoskuorma: 6 kN/m²

Välipohjalta tuleva pistekuorma: $Q_h = 6,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,5 \text{ m} \cdot 0,4 \text{ m} \cdot \frac{0,6 \text{ m}}{0,4 \text{ m}} = 12,6 \text{ kN}$

Palkin oma paino: 4,7 kN/m³

Välipohjan muu oma paino: 0,8 kN/m²

pilarin oma paino: 4,2 kN/m³

Seinän muu oma paino: 0,8 kN/m²

Tuulikuorma: 0,35 kN/m²

Tuulikuorman aiheuttama taivutusmomentti murtorajatilassa:

$$\frac{1}{8} \left(1,35 \cdot 0,35 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,6 m \right) \cdot (2,3 m)^2 = 0,19 kNm$$

Rakenteen oman painon kuorma:

$$G_{jk} = \left(4,7 \frac{kN}{m^3} \cdot 0,090 m \cdot 0,405 m \cdot 3,5 m + 0,8 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,9 m \cdot 3,5 m \right) \cdot \frac{0,6 m}{0,9 m} +$$

$$\left(4,7 \frac{kN}{m^3} \cdot 0,090 m \cdot 0,270 m \cdot 3,5 m + 0,8 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,4 m \cdot 3,5 m \right) \cdot \frac{0,6 m}{0,4 m} +$$

$$\left(4,2 \frac{kN}{m^3} \cdot 0,050 m \cdot 0,200 m \cdot 2,3 m + 0,8 \frac{kN}{m^2} \cdot 2,3 m \cdot 0,6 m \right) = 11,0 kN$$

Murtorajatilamitoitus

Murtorajatilan mitoituskuorma:

$$1,15 \cdot 11,0 kN + 1,5 \cdot 12,6 kN + 1,05 \cdot 4,2 kN = 36,0 kN$$

Pilarin puristusjännitys:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{36,0 \cdot 10^3 N}{50 mm \cdot 200 mm} = 3,6 N/mm^2$$

Pilarin puristuslujuus:

$$f_{c,0,d} = \frac{0,8 \cdot 1,0 \cdot 21 N/mm^2}{1,4} = 12 N/mm^2$$

Taivutusjännitys y-akselin suhteen:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{0,19 \cdot 10^6 Nmm}{\frac{50 mm \cdot (200 mm)^3}{12}} \cdot \frac{200 mm}{2} = 0,57 N/mm^2$$

Taivutuslujuus y-akselin suhteen:

$$f_{m,y,d} = \frac{0,8 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 24 \text{ N/mm}^2}{1,4} = 17,9 \text{ N/mm}^2$$

Nurjahdustarkastelu:

$$\lambda_z = \frac{2300 \text{ mm}}{\frac{50 \text{ mm}}{\sqrt{12}}} = 159,4, \quad \lambda_{rel,z} = \frac{159,4}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21 \text{ N/mm}^2}{7400 \text{ N/mm}^2}} = 2,70 \geq 0,3$$

$$\lambda_y = \frac{2300 \text{ mm}}{\frac{200 \text{ mm}}{\sqrt{12}}} = 39,9, \quad \lambda_{rel,y} = \frac{39,9}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21 \text{ N/mm}^2}{7400 \text{ N/mm}^2}} = 0,68 \geq 0,3$$

Nurjahdusvaara molempiin suuntiin:

$$k_z = 0,5[1 + 0,2 \cdot (2,7 - 0,3) + 2,7^2] = 4,385$$

$$k_y = 0,5[1 + 0,2 \cdot (0,68 - 0,3) + 0,68^2] = 0,769$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{4,385 + \sqrt{4,385^2 - 2,70^2}} = 0,128$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{0,769 + \sqrt{0,769^2 - 0,68^2}} = 0,756$$

$$\frac{3,6 \text{ N/mm}^2}{0,756 \cdot 12 \text{ N/mm}^2} + \frac{0,57 \text{ N/mm}^2}{13,3 \text{ N/mm}^2} + \frac{0}{f_{m,z,d}} \cdot 0,7 = 0,440 \leq 1 \quad OK$$

$$\frac{3,6 \text{ N/mm}^2}{0,128 \cdot 12 \text{ N/mm}^2} + \frac{0,57 \text{ N/mm}^2}{17,9 \text{ N/mm}^2} \cdot 0,7 + \frac{0}{f_{m,z,d}} = 2,37 \geq 1 \quad EI \quad OK$$

palokuormamitoitus 30 minuutin paloajalle

Palotilan mitoitukskuorma:

$$11,0 \text{ kN} + 0,2 \cdot 4,2 \text{ kN} + 0,3 \cdot 12,6 \text{ kN} = 15,7 \text{ kN}$$

Tuulen aiheuttama momentti:

$$\frac{1}{8} \left(0,2 \cdot 0,35 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,6 \text{ m} \right) \cdot (2,3 \text{ m})^2 = 0,03 \text{ kNm}$$

30 min hiiltymisen jälkeen:

$$b = 50 - 30 \cdot 0,8 \text{ mm} = 26 \text{ mm}$$

$$h = 200 - 30 \cdot 0,8 \text{ mm} = 176 \text{ mm}$$

Pilarin puristusjännitys:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{15,7 \cdot 10^3 \text{ N}}{26 \text{ mm} \cdot 176 \text{ mm}} = 3,4 \text{ N/mm}^2$$

Pilarin puristuslujuus:

$$f_{c,0,d} = \frac{0,8 \cdot 1,0 \cdot 21 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 16,8 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto:

$$3,4 \text{ N/mm}^2 \leq 16,8 \text{ N/mm}^2 \quad OK$$

Taivutusjännitys y-akselin suhteen:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{0,03 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{\frac{26 \text{ mm} \cdot (176 \text{ mm})^3}{12}} \cdot \frac{176 \text{ mm}}{2} = 0,22 \text{ N/mm}^2$$

Taivutuslujuus y-akselin suhteen:

$$f_{m,y,d} = \frac{0,8 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 24 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 24,96 \text{ N/mm}^2$$

$$0,22 \text{ N/mm}^2 \leq 24,96 \text{ N/mm}^2 \quad OK$$

LIITE 6. 1.kerroksen ala- ja yläjuoksun mitoitus

Palkki: Sahatavara C24 50x200, yläjuoksu 2kpl

Aikaluokka: Keskipitkä

Käyttöluokka: 2

Alajuoksulle tuleva pistekuorma: 36,0 kN (MRT: seinäpilarin laskenta)

Tungoskuorma: $6 \text{ kN}/\text{m}^2$

Yläjuoksulle tuleva pistekuorma: $36,0 \text{ kN} - \left(4,2 \text{ kN}/\text{m}^3 \cdot 0,050 \text{ m} \cdot 0,200 \text{ m} \cdot 2,3 \text{ m} + 0,8 \text{ kN}/\text{m}^2 \cdot 2,3 \text{ m} \cdot 0,6 \text{ m}\right) = 34,8 \text{ kN}$ (MRT: seinäpilarin laskenta)

Alajuoksun puristusjännitys:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{36,0 \cdot 10^3 \text{ N}}{(50 + 60) \cdot 200} = 1,64 \text{ N}/\text{mm}^2$$

Alajuoksun puristuslujuus:

$$f_{c,90,d} = \frac{0,8 \cdot 1,0 \cdot 2,5 \text{ N}/\text{mm}^2}{1,4} = 1,43 \text{ N}/\text{mm}^2$$

Puristuksen mitoitusehto:

$$1,64 \text{ N}/\text{mm}^2 \leq 1,43 \text{ N}/\text{mm}^2 \cdot 1,25 = 1,78 \text{ N}/\text{mm}^2 \quad \text{OK}$$

Voidaan käyttää myös C30, jolloin ainakin kestää.

Yläjuoksun mitoittava momentti:

$$\text{Tukivoimat: } B_y = \frac{0,2 \text{ m} \cdot 34,2 \text{ kN}}{0,6 \text{ m}} = 11,6 \text{ , } A_y = 34,2 \text{ kN} - 11,6 \text{ kN} = 22,6 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 0,2 \text{ m} \cdot 22,6 \text{ kN} = 4,52 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{4,52 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{200 \text{ mm} \cdot \frac{(100 \text{ mm})^3}{12}} \cdot \frac{100 \text{ mm}}{2} = 4,52 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,y,d} = \frac{0,8 \cdot 1,08 \cdot 1,0 \cdot 24 \text{ N/mm}^2}{1,4} = 14,8 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto:

$$4,52 \text{ N/mm}^2 \leq 14,8 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK}$$

Leikkausjännitys:

$$\tau_{d,max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{22,6 \cdot 10^3 \text{ N}}{200 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm}} = 1,70 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus:

$$f_{v,d} = \frac{0,8 \cdot 1,0 \cdot 2,5}{1,4} = 1,43 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto:

$$1,70 \text{ N/mm}^2 \leq 1,43 \text{ N/mm}^2 \quad \text{EI OK}$$

Käytetään C30 sahatavaraa:

Leikkauslujuus:

$$f_{v,d} = \frac{0,8 \cdot 1,0 \cdot 3,0}{1,4} = 1,71 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto:

$$1,70 \text{ N/mm}^2 \leq 1,71 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK}$$

Kiepahdustarkastelua ei tarvitse, koska runkotolpat ja välipohjapalkit estävät kiepahduksen.

LIITE 7. Anturaperustuksen mitoitus

Betoni C30/37

Valittu anturan korkeus: $h=400$ mmraudoitus Φ 10 mm, A500HW

suojabetonikerros 50 mm.

Huonosti kantava maaperä $50 \text{ kN}/\text{m}^2$ Seinien paino: $2 \cdot 0,15 \text{ kN} = 0,3 \text{ kN}$ Katto+ välipohja: $2,91 \text{ kN} \cdot 2 = 5,82 \text{ kN}$ Lumikuorma: $6,30 \text{ kN}$ Välipohjalta tuleva kuorma: $10,92 \text{ kN}$ **Murtorajatilamitoitus**

Murtorajatilan mitoitettava kuorma:

$$1,15 \cdot (0,3 \text{ kN} + 5,82 \text{ kN}) + 1,5 \cdot (10,92 \text{ kN} + 6,30 \text{ kN}) = 32,87 \text{ kN}$$

Tarkastellaan anturaa metrin matkalla

$$\frac{1\text{m}}{0,6\text{m}} \cdot 32,87 \text{ kN} = 54,78 \text{ kN}/\text{m}$$

$$b_f = \frac{54,78 \text{ kN}/\text{m}}{50 \text{ kN}/\text{m}^2} = 1,1\text{m}$$

Raudoitus:

$$m_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot 50 \text{ kN}/\text{m} \cdot (1,1 \text{ m})^2 = 7,56 \text{ kNm}$$

$$d = 400\text{mm} - 50\text{mm} - \frac{10}{2} = 345 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{7,56 \cdot 10^6 Nmm}{(345 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot \frac{0,85 \cdot 30}{1,5} N/mm^2} = 0,0037$$

$$d = 400 \text{ mm} - 50 \text{ mm} - \frac{10}{2} = 345 \text{ mm}$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,0037} = 0,0037$$

$$z = 345 \text{ mm} \cdot \left(1 - \frac{0,0037}{2}\right) = 344 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{7,56 \cdot 10^6 Nmm}{344 \text{ mm} \cdot \frac{500}{1,15} N/mm^2} = 50,52 \text{ mm}^2 \text{ (metrin matkalla)}$$

valitaan lopulta $\Phi 8$ mm teräs

$$k = \frac{1000 \text{ mm} \cdot \left(\pi \cdot \left(\frac{8}{2}\right)^2\right) \text{ mm}^2}{50,52 \text{ mm}^2} = 1000 \text{ mm}$$

ehto: $k = \min 150 \text{ mm}$ betonin halkeilun estämisen takia

=> **T8k 150 tai T6k150**

Anturan korkeus h on niin suuri, että leikkaantumisesta ei ole vaaraa.

LIITE 8. Puuportaiden mitoitus.

Porraspalkki: GL32c 42x270

Jako: $k=600$ mm ja palkin pituus 5m (arvio), portaiden leveys 1200 mm

Aikaluokka: Keskipitkä

Käyttöluokka: 2

Palkille tuleva viivakuorma: $Q_l = 2,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,6 \text{ m} = 1,2 \text{ kN/m}$ Palkin oma paino: $4,7 \text{ kN/m}^3$ Portaiden muu oma paino: $0,4 \text{ kN/m}^2$

Välipohjan oman painon kuorma:

$$G_{jk} = 4,7 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,042 \text{ m} \cdot 0,270 \text{ m} + 0,4 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,6 \text{ m} = 0,30 \text{ kN/m}$$

Murtorajatilamitoitus

Murtorajatilan mitoituskuorma:

$$1,15 \cdot 0,30 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 1,2 \text{ kN/m} = 2,2 \text{ kN/m}$$

Yksiaukkoisen palkin tasaisen kuorman aiheuttama mitoittava taivutusmomentti:

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot 2,2 \text{ kN/m} \cdot (5 \text{ m})^2 = 6,9 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys y-akselin suhteen:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6,9 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{\frac{42 \cdot 270^3}{12} \text{ mm}^4} \cdot \frac{270}{2} \text{ mm} = 13,6 \text{ N/mm}^2$$

Taivutuslujuus y-akselin suhteen:

$$f_{m,y,d} = \frac{0,8 \cdot 1,08 \cdot 1,0 \cdot 32 \text{ N/mm}^2}{1,2} = 23,1 \text{ N/mm}^2$$

Yksiaukkoisen palkin tasaisen kuorman aiheuttama mitoittava leikkausvoima:

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot 2,2 \text{ kN/m} \cdot 5 \text{ m} = 5,5 \text{ kN}$$

Suurin leikkausjännitys:

$$\tau_{d,max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{5,5 \cdot 10^3 \text{ N}}{0,67 \cdot 42 \text{ mm} \cdot 270 \text{ mm}} = 1,1 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauskestävyys y-akselin suhteen:

$$f_{v,d} = \frac{0,8 \cdot 1,0 \cdot 3,2 \text{ N/mm}^2}{1,2} = 2,1 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauksen mitoitusehto:

$$1,1 \text{ N/mm}^2 \leq 2,1 \text{ N/mm}^2 \quad OK$$

Taivutuksen mitoitus ehdot:

$$\frac{13,6 \text{ N/mm}^2}{23,1 \text{ N/mm}^2} = 0,50 \leq 1 \quad OK$$

$$0,7 \cdot \frac{13,6 \text{ N/mm}^2}{23,1 \text{ N/mm}^2} = 0,35 \leq 1 \quad OK$$

palokuormamitoitus 30 minuutin paloajalle

Palotilan mitoituskuorma:

$$0,30 \text{ kN/m} + 0,5 \cdot 1,2 \text{ kN/m} = 0,9 \text{ kN/m}$$

Yksiaukkoisen palkin tasaisen kuorman aiheuttama mitoittava taivutusmomentti:

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot 0,9 \text{ kN/m} \cdot (5 \text{ m})^2 = 2,9 \text{ kNm}$$

30 min hiiltymisen jälkeen:

$$b = 42 - 30 \cdot 0,8 \text{ mm} = 18 \text{ mm}$$

$$h = 270 - 30 \cdot 0,8 \text{ mm} = 246 \text{ mm}$$

Taivutusjännitys y-akselin suhteen:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{2,9 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{\frac{18 \cdot 246^3}{12} \text{ mm}^4} \cdot \frac{246}{2} \text{ mm} = 16,0 \text{ N/mm}^2$$

Taivutuslujuus y-akselin suhteen:

$$f_{m,y,d} = \frac{0,8 \cdot 1,08 \cdot 1,0 \cdot 32 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 27,6 \text{ N/mm}^2$$

Yksiaukkoisen palkin tasaisen kuorman aiheuttama mitoittava leikkausvoima:

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot 0,9 \text{ kN/m} \cdot 5 \text{ m} = 2,3 \text{ kN}$$

Suurin leikkausjännitys:

$$\tau_{d,max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{2,3 \cdot 10^3 \text{ N}}{0,67 \cdot 66 \text{ mm} \cdot 246 \text{ mm}} = 1,2 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauslujuus y-akselin suhteen:

$$f_{v,d} = \frac{0,8 \cdot 1,0 \cdot 3,2 \text{ N/mm}^2}{1,0} = 2,56 \text{ N/mm}^2$$

Leikkauksen mitoitusehto:

$$1,2 \text{ N/mm}^2 \leq 2,56 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK}$$

Taivutuksen mitoitusehto:

$$16,0 \text{ N/mm}^2 \leq 27,6 \text{ N/mm}^2$$

OK