

RANKARAKENTEISEN SEINÄN JÄY- KISTÄMINEN VAAKAVOIMIA VAS- TAAN

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Mikko Virtanen	
Työn nimi Rankarakenteisen seinän jäykistäminen vaakavoimia vastaan	
Päiväys 3.6.2024	Sivumäärä/Liitteet 48/1
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) A-Insinöörit Suunnittelu Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Puutaloissa on yleisimmin käytetty rankarunkoista runkojärjestelmää. Rakentamistapaa on käytetty laajasti pientalojen rakentamisessa, mutta myös puukerrostaloissa käytetään rankarunkoisia elementtejä eri jäykistämistavoin. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella kipsilevyjäykisteisen rankarunkoisen seinän ja seinälohkon jäykistämistä sekä ankkurointia vaakavoimia vastaan. Suomessa pääasiallisena vaakavoimana esiintyy tuulikuorma, mutta muualla maailmassa myös maanjäristykset otetaan huomioon vaakavoimia laskiessa. Työn tavoitteena oli syventää omaa osaamista puurakennesuunnittelussa.</p> <p>Opinnäytetyössä perehdyttiin rankarunkoisen seinän eri materiaalivaihtoehtoihin niin runkojen, kuin jäykistelevyjen osalta. Työssä havainnollistettiin seinärakenteen suunnittelua vaakavoimia vastaan kolmen eri laskentateorian avulla sekä laskettiin tarvittavat jäykisteet ja ankkuroinnit pientalon jäykistävälle seinälle. Laskentateorioina käytettiin kipsilevyjäykistysrakenteiden suunnitteluohjetta sekä RIL 205-1-2017 yksinkertaistettua ja yleistä mitoitusmenetelmää. Opinnäytetyössä selvitettiin muun muassa vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvoa, ulkoisia pystyvoimia, yksittäisen levyn vaakavoimaa, vaakavoimaa vastaavaa leikkausvoimakestävyyttä, yksittäisen levyn sekä kokonaisen seinälohkon siirtymää, kuormituskestävyyttä sekä seinälohkon ankkurointivoimaa. Laskentateorioiden vertailuarvoina käytettiin Puuinfon levyjäykisteen mitoitusohjelmaa.</p> <p>Työn tuloksena saatiin eroavaisuuksia yksinkertaistetun analyysin ja yleisen mitoitusmenetelmän välillä vaakavoimaa vastaavassa leikkausvoimakestävyydessä. Kokonaisuudessaan työstä saatiin kattava esimerkkilaskelma kaksikerroksisen omakotitalon jäykistämiseen sekä jäykistävän seinän pystysuuntaiseen ja vaakasuuntaiseen ankkurointiin.</p>	
Avainsanat Rankarunko, vaakavoima, kipsilevy, ankkurointi	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Master's Degree Programme In Civil Engineering	
Author(s) Mikko Virtanen	
Title of Thesis Stiffening a Timber Frame Wall against Horizontal Forces	
Date 3 June 2024	Pages/Appendices 48/1
Client Organisation /Partners A-Insinöörit Suunnittelu Oy	
<p>Abstract</p> <p>In wooden houses, the most commonly used frame system is the timber frame. This construction method has been widely used in the construction of detached houses, but timber frame elements are also used in wooden apartment buildings with various bracing methods. The purpose of this thesis was to examine the bracing and anchoring of a drywall board-braced timber frame wall and wall segment against horizontal forces. In Finland, the primary horizontal force is wind load. Elsewhere in the world, earthquakes are also considered when calculating horizontal forces. The aim of the thesis was to deepen the author's own expertise in timber structure design.</p> <p>The thesis explored different material options for the frames and bracing panels of timber frame walls. The study illustrates the design of wall structures against horizontal forces using three different calculation theories and calculates the necessary bracing and anchoring for the bracing wall of a small house. The calculation theories used were the design guide for drywall board bracing structures and the simplified and general design methods from RIL 205-1-2017. The thesis examined, among other things, the design value of horizontal shear force resistance, external vertical forces, the horizontal force of an individual panel, shear force resistance corresponding to horizontal force, the displacement of an individual panel and an entire wall segment, load resistance, and the anchoring force of the wall segment. The design values from Puuinfo's bracing panel design program were used as reference values for comparison of the calculation theories.</p> <p>The results revealed differences between the simplified analysis and the general design method in terms of shear force resistance corresponding to horizontal force. Overall, the thesis provided a comprehensive example calculation for the bracing of a two-story detached house and the vertical and horizontal anchoring of the bracing wall.</p>	
<p>Keywords</p> <p>Timber frame, horizontal force, drywall board, anchoring</p>	

ALKUSANAT

Tämä insinöörityö on opinnäytetyö, eikä sitä voida käyttää rakennesuunnitelmien asiakirjana eikä rakennesuunnitteluohjeena.

Kuopiossa 6.6.2024

Mikko Virtanen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	8
2	HIILINEUTRAALI JA VÄHÄPÄÄSTÖINEN RAKENTAMINEN	9
3	LEVYJÄYKISTYS PUURANKARUNKOISISSA RAKENNUKSISSA	10
3.1	Toimintaperiaate	10
3.2	Levymateriaalit ja rungot	13
3.3	Rakennustyytit	15
3.3.1	Jäykistysseinät	17
3.3.2	Jäykistävät vaakarakenteet	18
4	ANKKUROINTI	20
4.1	Seinän etureunan ankkurointi	20
4.2	Yhdistetty ankkurointi	21
5	LEVYJÄYKISTEEN MITOITUSMENETELMÄT	23
5.1	Laskentateoriat ja suunnitteluohjeet	23
5.1.1	Kipsilevyjäykistysrakenteiden suunnitteluohje (versio 1, 24.1.2017)	23
5.1.2	Jäykistysseinien yksinkertaistettu analyysi (RIL 205-1-2017)	25
5.1.3	Levyjäykisteen yleinen mitoitusmenetelmä	28
6	TEORIAM KÄYTÄNNÖSSÄ	30
6.1	Käsinlaskenta	30
6.1.1	Yksinkertaistettu analyysi	31
6.1.2	Levyjäykisteen yleinen mitoitusmenetelmä	32
6.1.3	Kipsilevyjäykistysrakenteiden suunnitteluohje	33
7	ESIMERKKILASKELMAT	36
7.1	Kuormat	37
7.2	Jäykistysseinän ankkurointi	40
7.3	Kulmalevyn kestävyys	41
7.4	Vaakasuuntainen ankkurointi	42
7.5	Levyjen rasitus	44
8	TULOKSET	46
9	POHDINTA	47
	LÄHTEET	48
	LIITE 1 ESIMERKKILASKELMAN KUORMITUSLEVEYDET	49

KUVALUETTELO

Kuva 1 Rankarakenteinen seinärakenne (Virtanen 2024).	10
Kuva 2 Vuotava rakenne talvella (Tiivistalo 2023).	11
Kuva 3 Tiivis rakenne talvella (Tiivistalo 2023).	12
Kuva 4 Kivivilla PAROC eXtra 100 565x870 (Paroc 2019).	12
Kuva 5 Kipsilevy (Puutoimi julkaisuaika tuntematon).	13
Kuva 6 Viilupuu (Puuinfo 2020).	14
Kuva 7 Vanerilevy (Puutoimi julkaisuaika tuntematon).	14
Kuva 8 Rankarunkoinen rakennus (Virtanen 2022).	15
Kuva 9 Havainnekuva suurelementistä (Puuinfo 2020).	16
Kuva 10 Rankarunkoinen suurelementti elementtitehtaalla (LapWall Oy 2018).	16
Kuva 11 Jäykistävän välipohjan leikkausvoima ja momentti (Puuinfo 2020).	18
Kuva 12 Välipohjarakenne (Puuinfo 2020).	19
Kuva 13 Ankkuroimaton seinä (Bay Area Retrofit 2023).	20
Kuva 14 Ankkuroitu seinä (Bay Area Retrofit 2023).	20
Kuva 15 Etureunan ankkurointi välipohjaan ja perustukseen (prEN 1995-1-1 2022, 269).	21
Kuva 16 Ankkuroinnin kiinnitys runkotolppaan (prEN 1995-1-1 2022, 269).	21
Kuva 17 Ankkurointi välipohjan läpi ja perustuksiin (prEN 1995-1-1 2022, 454).	22
Kuva 18 Ankkurointi pienemmillä kiinnikkeillä (prEN 1995-1-1 2022, 454).	22
Kuva 19 Kipsilevyjäykistysrakenteiden suunnitteluohje (Saikkonen Marko 2022).	23
Kuva 20 Kipsilevyjäykistysrakenteiden suunnitteluohje (Saikkonen Marko 2022).	23
Kuva 21 Ruuvauskaavio (Kipsilevyjäykistysrakenteiden suunnitteluohje 2022).	24
Kuva 22 Voimat, jotka vaikuttavat: a) seinälohkoon b) puurunkoon ja c) levyyn.	26
Kuva 23 Esimerkki kaksiosaisesta jäykistysseinästä, johon kuuluu ikkunallinen ja muita kapeampi seinälohko	27
Kuva 24 Levyn suurimmat sallittavat liitinvälit, kun jäykistysseinä on mitoitettu yksinkertaistetulla menetelmällä (Eurokoodi 5 – lyhennetty suunnitteluohje)	27
Kuva 25 Kiinnitystapakertoimet (Puuinfo levyjäykisteen mitoitusohjelma).	29
Kuva 26 Levyt kuorman kohtisuorassa suunnassa (Kipsilevyjäykistysrakenteiden suunnitteluohje 2022).	34
Kuva 27 Levyt kuorman suunnassa (Kipsilevyjäykistysrakenteiden suunnitteluohje 2022).	35
Kuva 28 Mitoitettava jäykistävä seinä (Kimara julkaisuaika tuntematon).	36
Kuva 29 Voimakerroin C_f (Eurokoodi 5 Lyhennetty suunnitteluohje 2020).	37
Kuva 30 Nopeuspaineen ominaisarvot $q_k(h)$ (Eurokoodi 5 Lyhennetty suunnitteluohje 2020).	37
Kuva 31 Kuormien jakautuminen kattorakenteeseen ja välipohjaan (Virtanen 2024).	39

Kuva 32 Kulmalevyjen, kiila-ankkurien ja ankkurinaulojen sijoittelu (Virtanen 2024).	41
Kuva 33 Ankkuroinnissa käytettävä kulmalevy (Wurth 2018).	42
Kuva 34 Reunapuristus (Rak-54.1200 Rakenteiden lujuusoppi)	43
Kuva 35 Puikkoliitosteoria (Puuinfo 2019).	44

1 JOHDANTO

Rankarunko on kantavaseinäinen rakennusjärjestelmä. Kantavat seinät voivat olla korkeudeltaan kerroskohtaisia, jolloin vaakarakenne kiinnitetään seinän päälle. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää kahden kerroksen korkuisia kantavia seiiniä, jolloin vaakarakenne kiinnitetään seinän kylkeen. (Puuinfo 2020.) Puurankarunkoiset rakennukset ovat yleinen näky modernissa rakennusmaailmassa, ja niitä käytetään monissa eri ympäristöissä niiden keveyden, kestävyys ja ympäristöystävällisyysominaisuuksien vuoksi. Tässä opinnäytetyössä keskitytään erityisesti levyjäykistyksen käyttöön puurankarunkoisissa rakennuksissa. Levyjäykistyksen toimintaperiaatteena on jäykistää rakennus vaakavoimia vastaan, joista tuulikuorma on merkittävin Suomessa.

Puurankarunkoisen rakennuksen jäykistämisessä on kuitenkin haasteita, erityisesti rakennuksen korkeuden ja rungon syvyyden kasvaessa. Korkeissa ja hoikissa rakennuksissa vaakavoimien aiheuttama kuorma kasvaa merkittävästi, ja tämän takia jäykistyksen suunnittelussa on otettava huomioon erilaiset tekijät, kuten rakennuksen geometria ja materiaalit. Myös seinärakenteen ankkurointi perustukseen on olennainen osa jäykistyskokonaisuutta.

Opinnäytetyössä käydään läpi rankarunkoisen seinän toimintaperiaatetta, vertaillaan rankarunkoisen seinän eri materiaalivaihtoehtoja, esitetään seinän ankkurointimahdollisuuksia ja lasketaan levyjäykistys kaksikerroksiselle omakotitalolle sekä pysty- ja vaakasuuntainen ankkurointi.

2 HIILINEUTRAALI JA VÄHÄPÄÄSTÖINEN RAKENTAMINEN

Suomessa julkisiin rakennushankkeisiin käytetään vuosittain noin 7 miljardia euroa, mikä vastaa noin 30 prosenttia kaikista julkisista hankinnoista. Vihreillä julkisilla hankinnoilla pyritään vähentämään ympäristöhaittoja julkisissa hankinnoissa. Tämä on merkittävä vaikuttamisen kohde, sillä julkisten hankintojen arvo kattaa noin 14 prosenttia koko EU:n bruttokansantuotteesta.

Vuonna 2014 päivitetty EU:n hankintadirektiivi ja siihen liittyvä Suomen hankintalain uudistus ovat parantaneet puitteita ympäristöhaittojen vähentämiseksi ja kestävän kehityksen periaatteiden huomioimiselle julkisissa hankinnoissa. Euroopan komissio laati vuonna 2016 suosituksen vihreiden julkisten toimitilahankkeiden kriteereiksi, ja näiden pohjalta ympäristöministeriö on laatinut vapaaehtoiset suositukset julkisille rakennushankkeille Suomessa. (Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon.)

Hiilineutraali ja vähäpäästöinen rakentaminen ovat keskeisiä käsitteitä kestävän kehityksen tavoitteiden saavuttamisessa. Näitä lähestymistapoja käytetään vähentämään rakennusalan hiilijalanjälkeä ja minimoidaan ympäristövaikutuksia rakennusten elinkaaren aikana. Keskeisiä näkökohtia hiilineutraaliin ja vähäpäästöiseen rakentamiseen ovat muun muassa materiaalien valinta, energiatehokkuus, uusiutuvan energian käyttö, jätehuolto ja kierrätys, rakennusten käytön optimointi ja elämänsyklin analyysi.

Hiilineutraali ja vähäpäästöinen rakentaminen edustavat kestävän kehityksen periaatteita rakennusallalla, ja niiden avulla voidaan vähentää merkittävästi rakennusalan ilmastovaikutuksia ja edistää kestävä kehitystä.

3 LEVYJÄYKISTYS PUURANKARUNKOISISSA RAKENNUKSISSA

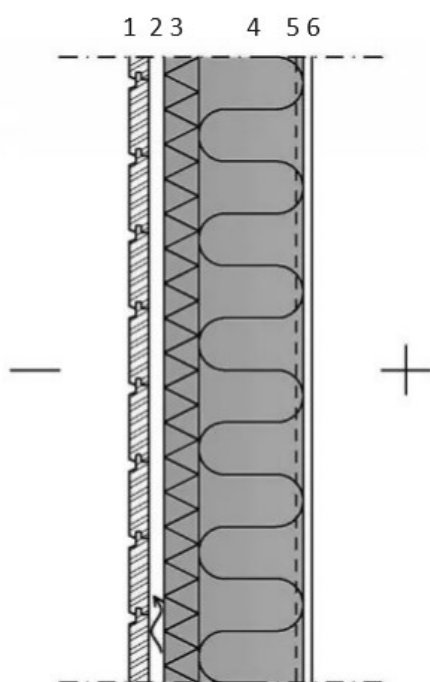
3.1 Toimintaperiaate

Rakennus tulee jäykistää vaakavoimia vastaan. Suomessa pääasiallisena vaakavoimana vaikuttaa tuulikuorma. Jäykistyksen haasteellisuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. rakennuksen korkeus sekä rakennuksen runkosyvyys. Mitä hoikempi ja korkeampi rakennus on, sitä kovemmalle vaakakuormien rasitukselle rakennus altistuu. Yli kaksikerroksisissa rakennuksissa jäykistävien rakenteiden sekä niiden liitoksien voimat kasvaa merkittävästi.

Puurakenteiset kerrostalot ovat betonirakenteisia huomattavasti kevyempiä omapainoltaan. Ongelmana rakennuksen keveydessä on se, että vaakakuormien aiheuttama noste pyrkii kaatamaan rakennusta. Suunnitteluhaasteena ilmenee siis rakennuksen kerroksittainen ankkurointi korkeissa ja hoikissa puurakenteisissa rakennuksissa.

Levyjäykisteen tarkoituksena on vastaanottaa vaakavoimasta F_d aiheutuva leikkausvoima Q . Levyjäykiste kiinnitetään rankoihin, jotka vastaanottavat vaakavoiman aiheuttaman momentin M . Levytys on kiinnitettävä jokaiseen runkotolppaan, koska levytys tukee myös runkotolpan heikompaa suuntaa nurjahdusta vastaan. Levy tulee kiinnittää myös levyn keskellä sijaitsevaan runkotolppaan levyn lommahduksen estämiseksi. (Puuinfo 2020.)

Rankarunkoinen seinä pitää sisällään eri kerroksia, joista jokaisella on oma tehtävänsä. Seinärakenteen sisäpuolinen levytys vaikuttaa merkittävästi jäykistysteknisten ominaisuuksien lisäksi palo- ja äänitekniiseen toimintaan. Suositeltavaa on käyttää kahta päällekkäistä levykerrosta seinän sisäpuolella, joista alimmaisena kerroksen vanerilevy toimii jäykistävänä sekä kiinnityspintana. Molemmat levykerrokset voivat toimia sekä palo- että ääniteknisinä levytyksinä.



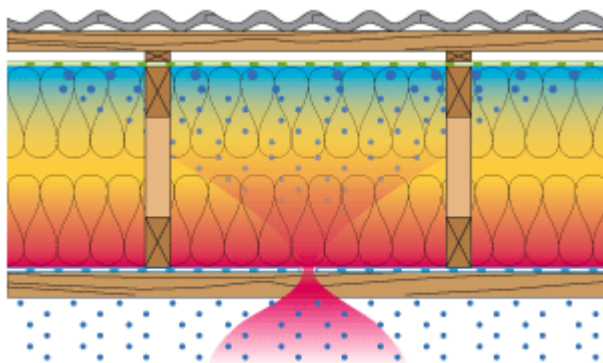
Kuva 1 Rankarakenteinen seinärakenne (Virtanen 2024).

Rakenne ulkoa sisälle

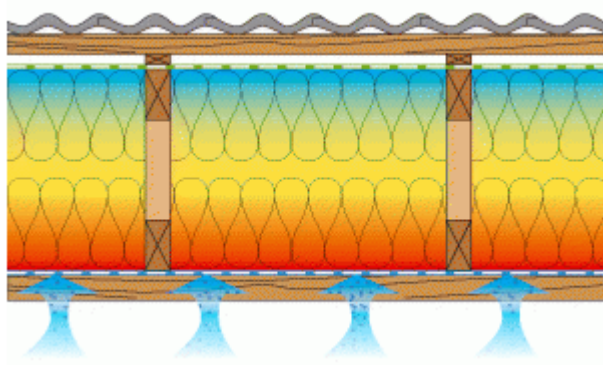
1. ulkoverhous
2. tuuletusrako
3. tuulensuoja ja lisälämmöneriste
4. kantava runko ja lämmöneriste
5. höyrynsulkumuovi
6. kipsilevy

Ilman- ja höyrynsulkukerroksen muodostamiseen käytetään yleisesti muovikalvoa, mutta nykyisin on olemassa myös ilman- ja höyrynsulkukankaita, jotka reagoivat ilmankosteuteen ja parantavat rakenteen kuivumiskykyä. Suunnittelun haasteena on varmistaa ilman- ja höyrynsulkukerroksen jatkuvuus rakenteiden liitosalueilla. Läpiviennit voidaan tiivistä tähän tarkoitettuilla tiivistystuotteilla.

Rakennuksen vaipan vuotaminen on yleisin kosteusvaurioiden aiheuttaja. Mikäli höyrynsulku vuotaa, se aiheuttaa nopeasti kosteusvaurioita rakenteessa, koska talviaikainen sisäilman kosteus pääsee tunkeutumaan kylmiin eristeisiin. Rakenteen tulee siis olla diffuusiotiivis, eli vesihöyryä läpäisemättömä. Kun käytetään riittävän korkean vesihöyryn vastustuskyvyn omaavaa tuotetta (sd -arvo > 8 m), voidaan puhua asianmukaisesta höyrynsulusta. Höyrynsulkumuovin kanssa käytetään lähes aina mineraalivillaa, joka ei sido kosteutta. Koska rakenne kuivuu ulospäin, on ulkoseinän diffuusiiovastuksen oltava mahdollisimman pieni. Erityisesti viileissä rakennuksissa voi höyrynsulun ulkopintaan tiivistyä kosteutta, mikä lisää kosteusriskiä. (Tiivistalo 2023.)



Kuva 2 Vuotava rakenne talvella (Tiivistalo 2023).



Kuva 3 Tiivis rakenne talvella (Tiivistalo 2023).

Rangan tukipainekestävyyteen ala- ja yläohjauspuussa vaikuttavat rankojen poikkileikkaus ja rankajako. Nämä ovat olennaisia tekijöitä perinteisissä rankaseinissä. Lämmöneristeen ominaisuudet vaikuttavat myös seinän palotekniseen toimintaan. Palossa sulamatonta lämmöneristettä, kuten kivivil-latuotteita tai paremmin kosteutta hylkivää villaa, kuten mineraalivillaa suositellaan tällaisiin käyttö-tarkoituksiin. (Puuinfo 2020).



Kuva 4 Kivivilla PAROC eXtra 100 565x870 (Paroc 2019).

Myös tuulensuojakerroksella on vaikutusta seinän palo-, ääni ja jäykistystekniseen toimintaan. Rakennuksen tuulensuojakerros on tärkeä osa rakennuksen ulkovaippaa, joka suunnitellaan suojaamaan rakennusta ulkoisilta ilmavirtauksilta ja kosteudelta. Tämä kerros on erityisen tärkeä etenkin korkeissa rakennuksissa, joissa tuulen aiheuttama paine-ero voi olla merkittävä.

Tuulensuojalevyjä käytetään rakennusten ulkoseinien ja kattojen rakenteissa tuulelta suojaavana, lämmittävänä ja kestävyyttä lisäävänä elementtinä. Tuulensuojalevyjä voi käyttää myös lämmöneristekerrosten välissä tuulelta suojaavana ja kylmäsiltoja estävänä elementtinä. Levyt on käsitelty parafiinilla, joka parantaa levyn sopeutumista pohjoismaisiin, kosteisiin olosuhteisiin. Levyt suojaavat rakennuksia, estäen kosteuden pääsemisen lämpöeristysten kerroksiin. Konvektiolle herkat tuulensuojalevyt laskevat vesihöyryn läpi. Täten ne takaavat rakenteen kuivumisen. Tuulensuojalevyt varastoivat lämpöä eivätkä anna rakenteen jäähtyä niin nopeasti. Se auttaa tasoittamaan tilan sisälämpötilaa. (Nordic Fibreboard 2021.)

Tyypillisiä materiaaleja ovat tuulensuojakipsilevyt tai eristävät esim. Runkoleijonan tuulensuojalevyt. Näiden materiaalien valinta riippuu rakennuksen sijainnista, ilmastosta ja rakenteen tarpeista. Puurunkoisen seinän ulkoverhouksen taustalla on oltava aina yhtenäinen tuuletusväli. Ulkoverhous voidaan toteuttaa erilaisilla tarkoitukseen soveltuvilla tuotteilla, kuten ulkoverhouspaneelilla.

3.2 Levymateriaalit ja rungot

Kipsi on usein käytetty rakennusmateriaali rakennuksen tuulensuojana sekä jäykistelevynä sen erinomaisen vesihöyryn läpäisevyyden, tuulitiiviiden sekä lujuuden ansiosta. Levy koostuu kartonkipinoista sekä kipsikivistä ja toimii hyvin akustiikkaominaisuuksien johdosta myös äänieristeenä. Kipsilevyn ytimeen sitoutunut vesi antaa tuotteelle hyvän palonkesto-ominaisuudet. Palotilanteessa kipsilevyn sitoutunut vesi höyrystyy ja siten hidastaa palon leviämistä. (Knauf 2024).



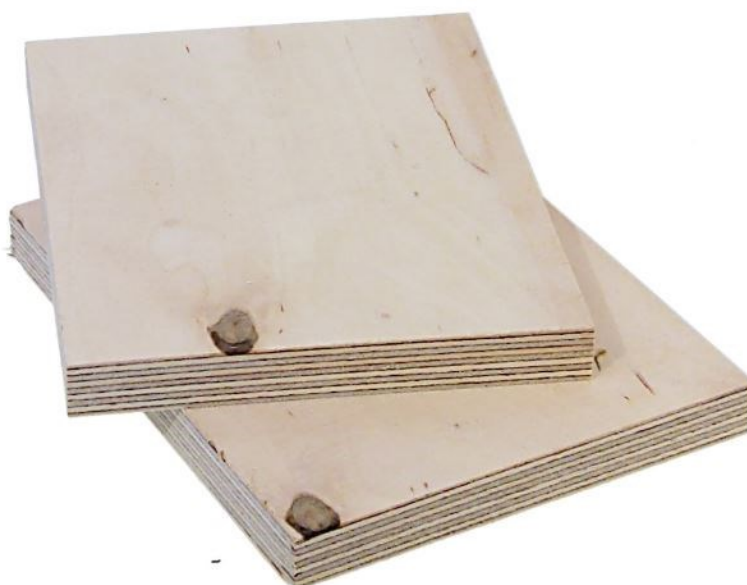
Kuva 5 Kipsilevy (Puutoimi julkaisuaika tuntematon).

LVL-levyjä eli viilupuuta käytetään jäykistävinä levyinä erityisesti silloin, kun tarvitaan suurta kestävyyttä tai jäykistävälle rakenteelle varattu tila on rajallinen. Suurta kestävyyttä vaativia tilanteita ovat muun muassa tavallista pidemmät rankajaot tai seinälle sijoitetut suuret ikkunat. Viilupuuta valmistetaan liimaamalla 3 mm paksuisia kuusiviiluja yhteen. Viilupuun enimmäisleveys on 2,5 metriä, mutta valmistustekniikka mahdollistaa jopa 25 metrin pituisten elementtien valmistamisen. (Lappia 2022).



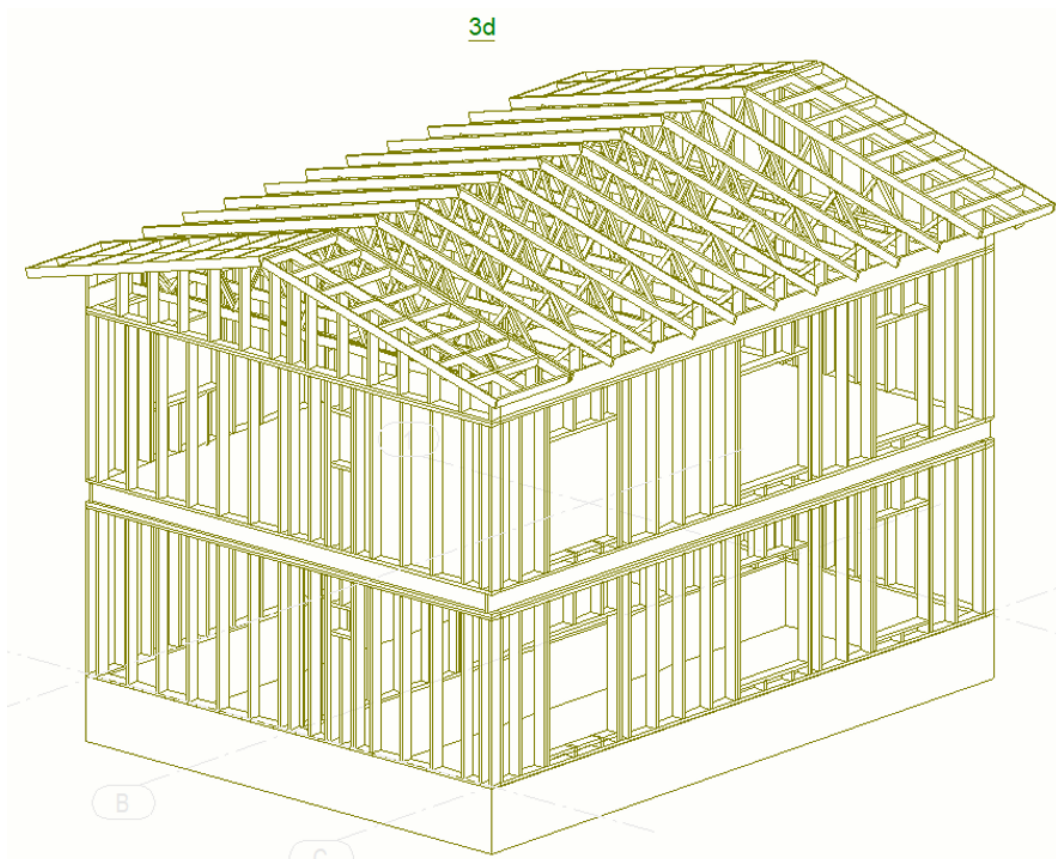
Kuva 6 Viilupuu (Puuinfo 2020).

Vaneri on laajasti maailmalla käytössä oleva rakennustuote. Perusominaisuuksiltaan vaneri on hyvin lujaa ja iskunkestävää. Vaneria käytetään seinissä ja välipohjissa jäykisteenä sen alhaisen hinnan sekä hyvien ominaisuuksien takia. Vanerit ovat rakenteeltaan joko koivu-, havu- tai sekavanereita. (Puuinfo 2020.)



Kuva 7 Vanerilevy (Puutoimi julkaisuaika tuntematon).

Rankarunkoinen seinä on toimintatavaltaan kantava seinä ja sen korkeus vaihtelee yhden ja kahden kerroksen väliltä. Kaksikerroksisessa rankarungossa vaakarakenne kiinnitetään rankarungon kylkeen, kun taas yhteen kerrokseen ulottuvassa seinässä vaakarakenne kiinnitetään rankarungon päälle. Tyypillisesti rankarunkoa käytetään 1–2 kerroksisissa rakennuksissa, mutta rankarunkoa voidaan käyttää myös 3–8 kerroksisissa kerrostaloissa. Tällöin tulee kuitenkin varautua alimpien kerrosten erityisen tiheään rankajakoon. (Puuinfo 2020.)

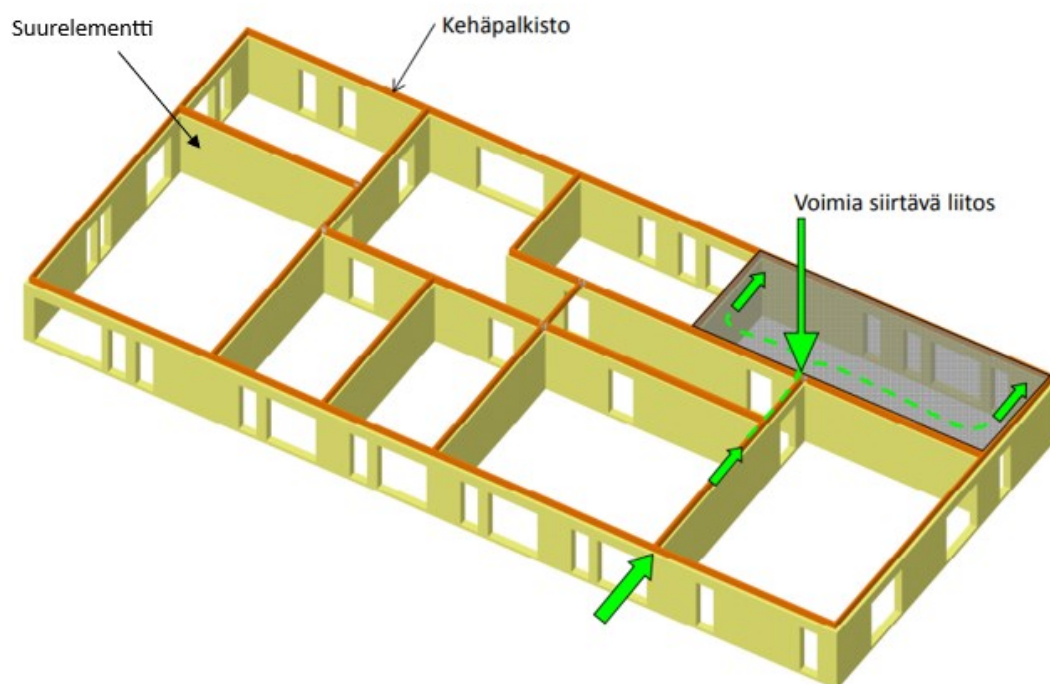


Kuva 8 Rankarunkoinen rakennus (Virtanen 2022).

Runkomateriaalina käytetään useimmiten sahatavaraa. Sahatavara voi olla joko rakennesahatavaraa tai liimattua sahatavaraa. Molempia tuotteita käytetään kantavissa rungoissa, mutta erityisesti rakennesahatavara on suunniteltu kantaviin runkoihin käytettäväksi. Rakennesahatavara on lujuusluokiteltua ja mitallistettua sahatavaraa, jonka lujuusluokka on useimmiten C24. Muita rankarungossa käytettyjä materiaaleja ovat LVL-P (Laminated Veneer Lumber – Paralled) tai LVL-C (Cross) viilupuut sekä liimapuu. (Puuinfo 2020.)

3.3 Rakennustyytit

Rankarunkoinen puukerrostalo on yleistävä rakennustyyppi. Sääsuojaassa rakennettu rankarunkoinen suurelementti tuodaan tehtaalta työmaalle hyvin pitkälle esivalmistettuna. Elementeistä löytyy ikkunat ja ovet valmiiksi asennettuina. Pitkälle viedyn esivalmistusasteen takia rungon pystyttäminen työmaalla on nopeaa, noin kerros viikossa. (Puuinfo 2020.)



Kuva 9 Havainnekuva suurelementistä (Puuinfo 2020).



Kuva 10 Rankarunkoinen suurelementti elementtitehtaalla (LapWall Oy 2018).

Ulkoseinäelementit toimivat puukerrostalon jäykistävinä seininä ja ovat useimmiten yhden kerroksen korkuisia ja seinän pituisia suurelementtejä. Tyypillisesti suurelementin runko on joko yksirunkoinen tai ristirunkoinen. Ristirunkoisessa suurelementissä runko on kahdessa eri tasossa limitettynä. Huomioitavaa on, että kantavat seinät tulee sijoittaa samoilla kohdilla eri kerrosten välillä. Tämä tulee ottaa huomioon rakennuksen tilasuunnittelussa. Ulkoseinien lisäksi puukerrostalossa huoneistojen väliset seinät ovat jäykistäviä ja kantavia pitkien jännemittojen takia. (Puuinfo 2022).

Pientaloista yli puolet toteutetaan levyjäykisteisinä rankarunkoina niiden vankkarakenteisuuden ja tehokkaan jäykistyksen ansiosta. Runko muodostuu useimmiten 600 mm välein pystytetyistä runkoltolpista, jotka kiinnittyvät ylä- ja alajuoksuihin. Seinien jäykistyksessä käytetään levyjä, jotka kiinnitetään rankarunkoon.

Muita rankarunkoisia rakennuksia voivat olla mainittujen lisäksi:

- toimisto- ja liikerakennukset
- teollisuusrakennukset, kuten puunjalostuksessa ja varastoinnissa
- koulut ja julkiset rakennukset, joiden kerrosmäärä on maltillinen
- mökit ja loma-asunnot

3.3.1 Jäykistysseinät

Levyjäykisteinen runko muodostuu jäykistävästä seinistä ja vaakarakenteista. Jäykistävät vaakarakenteet siirtävät kuormia jäykistäville seinärakenteille, joista kuormat siirretään edelleen perustuksille. Pientalot jäykistetään lähes poikkeuksetta levytyksellä. Jäykistävät levyt sijaitsevat seinärakenteen sisä- tai ulkopinnassa. Levyt lisäävät rakenteen jäykkyyttä ja vähentävät taipumista esimerkiksi tuulen ja muualla maailmassa maanjäristyksien vaikutuksesta. Rankarunkoiset seinät mahdollistavat hyvän eristystason, mikä parantaa pientalojen energiatehokkuutta

Rankarunkoinen seinä mahdollistaa nopean ja tehokkaan rakentamisen, sillä runko ja seinät voidaan valmistaa elementteinä tehtaalla ja koota paikan päällä lyhentäen valmistusaikaa ja kustannuksia. Seinätyyppi tarjoaa myös suunnittelijoille joustavuutta erilaisten arkkitehtuurisien ratkaisujen toteuttamiseen. Seinäratkaisuja voidaan muokata vastaamaan erilaisia esteettisiä ja toiminnallisia vaatimuksia.

Puurakenteisissa kerrostaloissa jäykistävät seinät ovat olennainen osa rakennuksen stabiiliteettia ja kestävyyttä. Jäykistävät seinät ovat suunniteltu lisäämään rakennuksen jäykkyyttä ja vastustamaan esimerkiksi tuulen, ja muualla ulkomailla maanjäristyksen, aiheuttamia voimia. Jäykistävät seinät sijaitsevat yleensä rakennuksen pituussuunnassa ja ne muodostavat rakenteellisen verkoston, joka estää rakennuksen kiertymistä ja taipumista. Näitä seinärakenteita voi olla esimerkiksi puusta, betonista tai teräksestä, mutta puukerrostaloissa materiaali on yleensä puista CLT-elementtiä.

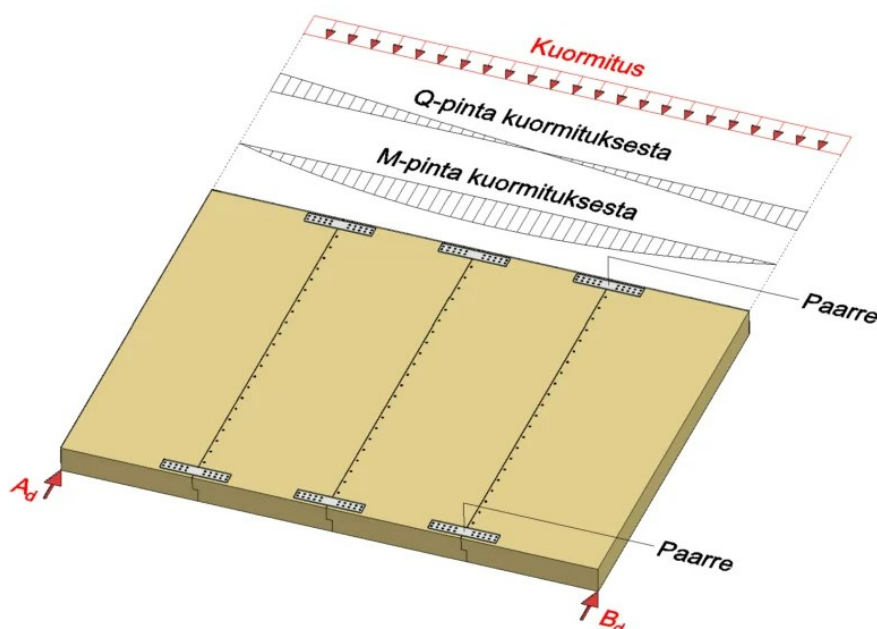
Jäykistävien seinien suunnittelussa otetaan huomioon rakennuksen kokonaisjäykkyys sekä paikallisen kuormitukset ja olosuhteet. Riittävän jäykistykseen varmistaminen on tärkeää rakennuksen turvallisuuden ja kestävyyskannalta, erityisesti alueilla, joilla on korkeampi tuulikuormitus tai mahdollisuus maanjäristyksiin. Lisäksi jäykistävät seinät voivat tarjota myös äänieristystä ja paloturvallisuutta riippuen käytetyistä materiaaleista ja rakenteen kokonaisuudesta.

Levyjäykisteisessä rankarungossa yhdistyy vahva rakenne, energiatehokkuus ja tehokas rakentaminen. (Puuinfo 2020).

3.3.2 Jäykistävät vaakarakenteet

Puurakenteiset välipohjat ovat yksi kestävä rakentamisen ratkaisusta, jotka ovat yhtä suosituimpia ympäristöystävällisyyden ja energiatehokkuuden vuoksi. Puurakenteisia välipohjia on käytetty erityisesti asuinrakennuksissa, mutta niitä käytetään myös toimisto- ja liikerakennuksissa. Rakennusratkaisun etuna on niiden keveys, joka helpottaa niiden asennusta ja vähentää rakennuksen kokonaispainoa. Ne myös tarjoavat erinomaisen eristyskyvyn, mikä auttaa säästämään energiaa ja lämmityskustannuksia. Lisäksi puurakenteiset välipohjat ovat helppoja korjata ja muokata, mikä tekee niistä kätevän vaihtoehdon moniin rakennustyyppisiin.

Massiivipuulevyistä tehty levyjäykisteinen välipohja toimii samojen periaatteiden mukaisesti kuin jäykistävä seinä. Massiivipuulevyt vastaanottavat leikkausvoiman Q ja välipohjarakenteen reunoilla olevat paarteet vastaanottavat momentin M . (Puuinfo 2020.)



Kuva 11 Jäykistävän välipohjan leikkausvoima ja momentti (Puuinfo 2020).

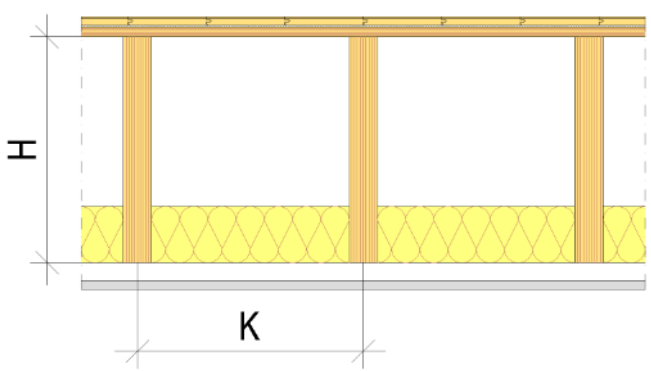
Jäykistetty vaakarakenne, joka on tehty massiivipuulevyistä, ei välttämättä tarvitse erillistä jatkuvaa paarretta, koska massiivipuulevyt voivat luonnollisesti vastaanottaa paarrereunan voiman. Tällöin riittää, että paarrereunan voima siirretään massiivipuulevyjen liitosten yli esimerkiksi teräslevyjen avulla.

Massiivipuulevyjen liitoksissa leikkausvoima siirretään ruuviliitoksella. Jos tarvitaan suurempaa lujuutta ja jäykkyyttä massiivipuulevyjen liitoksissa, suositellaan käytettäväksi vinoruuviliitosta.

Jos vaakakuormitus kohdistuu rinnakkaisille massiivipuulevyjen pitkille sivuille, massiivipuulevyt voidaan suunnitella toimimaan rinnakkaisina palkkeina, joille kuormitus jakautuu levyjen jäykkyyksien mukaisesti. (Puuinfo.)

Jäykistävät välipohjat ovat joustavia rakenteita materiaaliominaisuuksien sekä liitoksissa käytettävien liittimien takia. Välipohja koostuu jäykistävästä palkistosta, jonka päällä on usein kaksi kerrosta vaneri-, lastu- tai kipsilevyä.

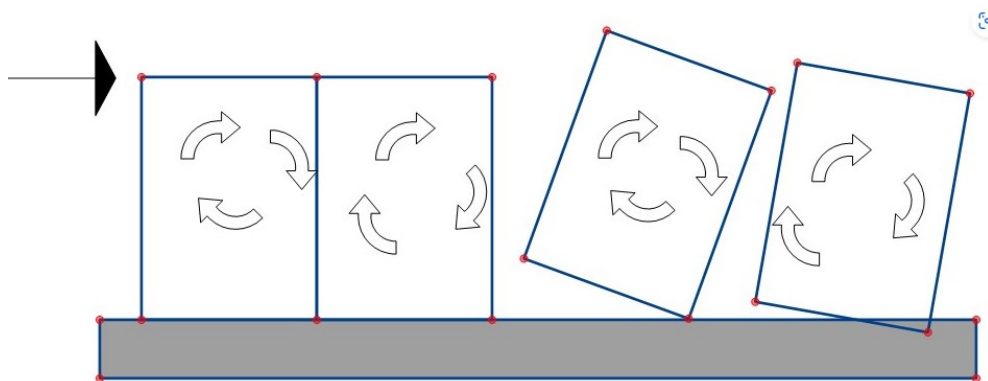
Puun ja betonin yhdistäminen on myös mahdollinen vaihtoehto välipohjissa. Laattavälipohjat ovat yleisiä puurakenteisissa kerrostaloissa ja muissa suurissa rakennuksissa. Ne koostuvat puupalkkien päälle asennetuista betonilaatoista tai -levyistä. Tämä rakenne yhdistää puun kestävyuden ja betonin jäykkyyden, mikä tekee siitä erittäin tehokkaan ratkaisun suurten tilojen kantamiseen.

Välipohjarakenne	H	K	δ (1 kN)	f_1	L
	400 mm	400 mm	0,50 mm	16 Hz	6,0 m
	360 mm	400 mm	0,50 mm	17 Hz	5,4 m
	300 mm	400 mm	0,50 mm	19 Hz	4,5 m

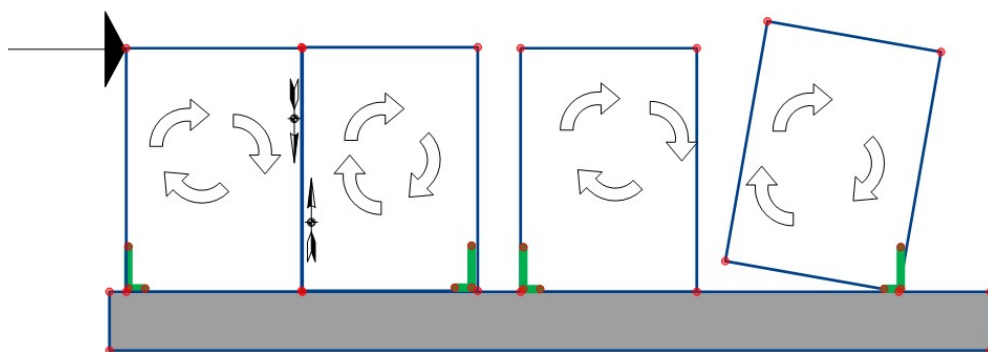
Kuva 12 Välipohjarakenne (Puuinfo 2020).

4 ANKKUROINTI

Ankkuroinnin tehtävä on estää seinän pituussuuntainen kaatuminen. Kuvassa 13 seinä ei ole ankkuroitu, joten seinälle ei ole tukea kaatumista vastaan. Kuvassa 14 yksittäinen ankkuroitu seinä ei kaadu vaakasuuntaisen voiman vaikutuksesta. Kun useamman seinän yhdistelmä on ankkuroitu päistään, seinien reunimmaisiet runkotolpat on kiinnitettävä toisiinsa. (Bay Area Retrofit 2023.)



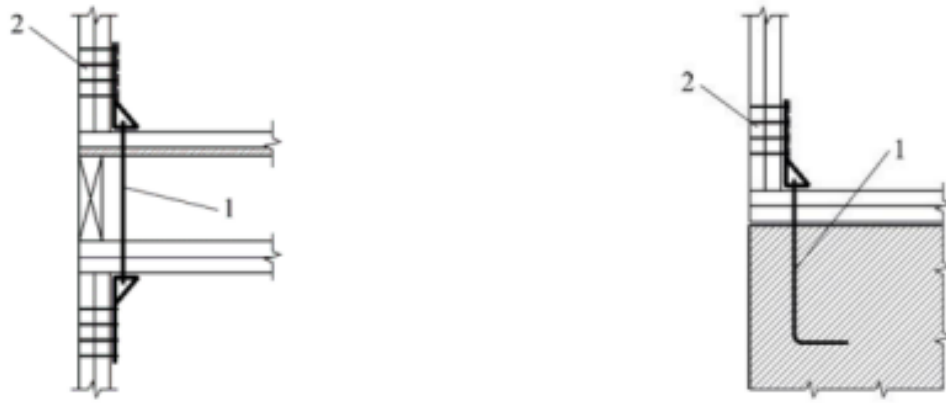
Kuva 13 Ankkuroimaton seinä (Bay Area Retrofit 2023).



Kuva 14 Ankkuroitu seinä (Bay Area Retrofit 2023).

4.1 Seinän etureunan ankkurointi

Yleisen osion mukaisessa mitoituksessa seinän tuenta kaatumista vastaan on toteutettava joko etureunan ankkuroinnilla tai riittävän suuren pystyvoiman kohdistamisella seinän etureunalle. Seinä voidaan ankkuroida joko perustuksiin tai välipohjaan kuvan 15 esittämällä tavalla. Kuvassa 16 esitetään tarkemmin ankkuroinnin ja seinän välisen kiinnityksen toteutus. Ankkurointi on tehtävä vähintään ensimmäiseen runkotolppaan. (prEN 1995-1-1 2022, 268.)



Kuva 15 Etureunan ankkurointi välipohjaan ja perustukseen (prEN 1995-1-1 2022, 269).

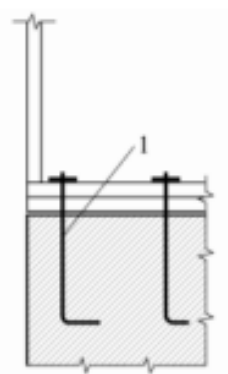
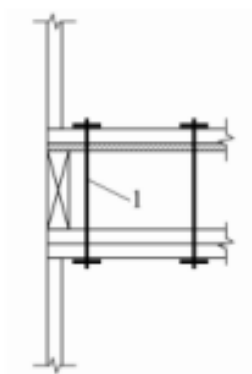


Kuva 16 Ankkuroinnin kiinnitys runkotoipaan (prEN 1995-1-1 2022, 269).

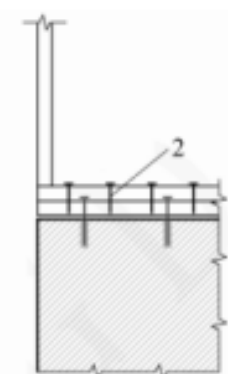
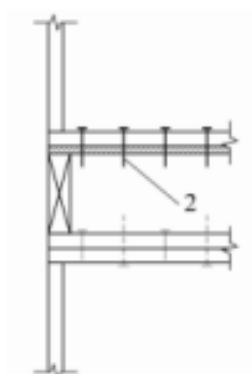
4.2 Yhdistetty ankkurointi

Yhdistettyä ankkurointia ei voida toteuttaa samalla tavalla kuin etureunan ankkurointia. Yhdistettyä ankkurointia ei voida korvata riittävällä pystyvoimalla, vaan ankkurointi tehdään ainoastaan alajuoksuun, jolloin runkotoipien ei tarvitse kiinnittyä perustukseen. (prEN 1995-1-1 2022, 453–454.)

Kuvan 17 mukaisessa monikerroksisessa rakennuksessa runkotoipien ankkuroinnin sijaan alajuoksu ankkuroidaan alla olevaan rakenteeseen, eli perustukseen tai välipohjaan.



Kuva 17 Ankkurointi välipohjan läpi ja perustukseen (prEN 1995-1-1 2022, 454).



Kuva 18 Ankkurointi pienemmillä kiinnikkeillä (prEN 1995-1-1 2022, 454).

5 LEVYJÄYKISTEEN MITOITUSMENETELMÄT

5.1 Laskentateoriat ja suunnitteluohjeet

5.1.1 Kipsilevyjäykistysrakenteiden suunnitteluohje (versio 1, 24.1.2017)

Levyt kuorman kohtisuorassa suunnassa



Kuva 19 Kipsilevyjäykistysrakenteiden suunnitteluohje (Saikkonen Marko 2022).

$$R_d = \frac{nR_{vd}}{\gamma H}$$

Kuormituskestävyys

$$u = \left(\frac{\beta H^2}{K} + \frac{H}{BtG} \right) \left(\frac{mF_k}{n} \right)$$

Yläreunan vaakasuuntainen siirtymä

$$N_d = \frac{mHF_d}{nB}$$

Reunimmaisen runkotolpan ankkurointivoima

Levyt kuorman suunnassa



Kuva 20 Kipsilevyjäykistysrakenteiden suunnitteluohje (Saikkonen Marko 2022).

$$R_d = \frac{nR_{vd}}{\gamma H}$$

Kuormituskestävyys

$$u = \left(\frac{\beta B^2}{K} + \frac{B}{HtG} \right) \left(\frac{mF_k}{n} \right)$$

Yläreunan vaakasuuntainen siirtymä

$$N_d = \frac{mBF_d}{nH}$$



Reunimmaisen runkotolpan ankkurointivoima

H	levyn korkeus (mm)
B	levyn leveys (mm)
t	levyn paksuus (mm)
G	levyn liukumoduuli (N/mm ²)
n	levyjen lukumäärä kuorman suunnassa
m	levyjen lukumäärä kuorman kohtisuorassa suunnassa
γ	ruuvauskaavion huomioon ottava kerroin (-/mm)
β	ruuvauskaavion huomioon ottava kerroin (-/mm)
R _{vd}	levyn ja runkopuun välisen kiinnikeliitoksen laskentaleikkauskestävyys (N)
K	levyn ja runkopuun välisen kiinnikeliitoksen siirtymäkerroin (N/mm)
F _d	seinän yläreunaan kohdistuva laskentakuorma (N)
F _k	seinän yläreunaan kohdistuva ominaiskuorma (N)

Jos seinälohkossa on levytys molemmilla puolilla, noudatetaan seuraavia sääntöjä:

- Jos levyt ja liittimet ovat tyypiltään ja mitoiltaan samanlaiset, niin seinän vaakaleikkausvoimakestävyys lasketaan molempien levytysten summana
- Jos käytetään erityyppisiä levyjä, mutta siirtymäkertoimeltaan samanlaisia liittimiä, voidaan yleensä ottaa huomioon 75 % heikomman puolen vaakaleikkausvoimakestävyydestä. Muissa tapauksissa vahvemman puolen vaakaleikkausvoimakestävyyteen saadaan lisätä enintään 50 % heikomman puolen kestävyydestä.

Ruuvauskaaviot

Ruuvaus- kaavio	Levy- koko	1200mm*2400mm		1200mm*2700mm		1200mm*3000mm		1200mm*3200mm	
	Ruuviväli	Kerroin γ [*10 ⁻⁵ /mm]	Kerroin β [*10 ⁻⁸ /mm ²]	Kerroin γ [*10 ⁻⁵ /mm]	Kerroin β [*10 ⁻⁸ /mm ²]	Kerroin γ [*10 ⁻⁵ /mm]	Kerroin β [*10 ⁻⁸ /mm ²]	Kerroin γ [*10 ⁻⁵ /mm]	Kerroin β [*10 ⁻⁸ /mm ²]
 5)	100mm	3,68	6,87	3,24	5,92	2,91	5,22	2,76	4,91
	150mm	5,59	10,41	4,93	8,98	4,41	7,90	4,13	7,34
	200mm	7,46	13,91	6,35	11,58	5,88	10,54	5,55	9,88
 6)	100mm	3,50	6,54	3,10	5,66	2,76	4,95	2,58	4,59
	150mm	5,33	9,94	4,69	8,56	4,19	7,52	3,86	6,87
	200mm	7,00	13,08	5,96	10,89	5,49	9,87	5,09	9,08

Kuva 21 Ruuvauskaavio (Kipsilevyjäykistysrakenteiden suunnitteluohje 2022).

5.1.2 Jäykistysseinien yksinkertaistettu analyysi (RIL 205-1-2017)

Tässä kohdassa esitettyä yksinkertaistettua menetelmää käytetään vain sellaisten jäykistysseinien yhteydessä, jotka on ankkuroitu kunkin jäykistävän osaseinän päästä tai kunkin seinälohkon kohdalta. Tällöin jäykistävän osaseinän päässä oleva pystysauva on ankkuroitu alapuoliseen rakenteeseen tai seinän alajuoksu on ankkuroitu tasavälein siten, että vähintään yksi kiinnityspiste tulee kunkin lohkon eli jäykistävän levyn kohdalle

Seuraavassa tarkastellaan kuormitusta, jossa voima $F_{v,Ed}$ vaikuttaa seinän yläreunaan, kun pystykuormat tai ankkurointi estävät samalla seinän nousemisen paikaltaan. Seinänvaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo $F_{v,Rd}$ voidaan määrittää yksinkertaistetulla menetelmällä, kun

- seinä koostuu yhdestä tai useammasta lohkoista, joihin jokaiseen kuuluu levy, joka on kiinnitetty puurungon toiselle puolelle
- liitinväli on vakio pitkin jokaisen levyn reunoja
- jokaisen levyn leveys on vähintään $h/4$

Seinän vaakaleikkausvoimakestävyys 1. kerroksessa

Kun seinä koostuu useasta seinälohkosta, seinän vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo

$$F_{v,Rd} = \sum F_{i,v,Rd}$$

Missä $F_{i,v,Rd}$ on seinälohkon vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo seuraavien kohtien mukaisesti.

Seinälohkoa rasittavaa kuvan 14 mukaista vaakavoimaa $F_{i,v,Ed}$ vastaava leikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo.

Seinälohkoa rasittavaa kuvan 14 mukaista vaakavoimaa vastaava vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo saadaan kaavasta:

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd} * b_i * c_i}{s}$$

$F_{f,Rd}$ yksittäisen liittimen leikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo

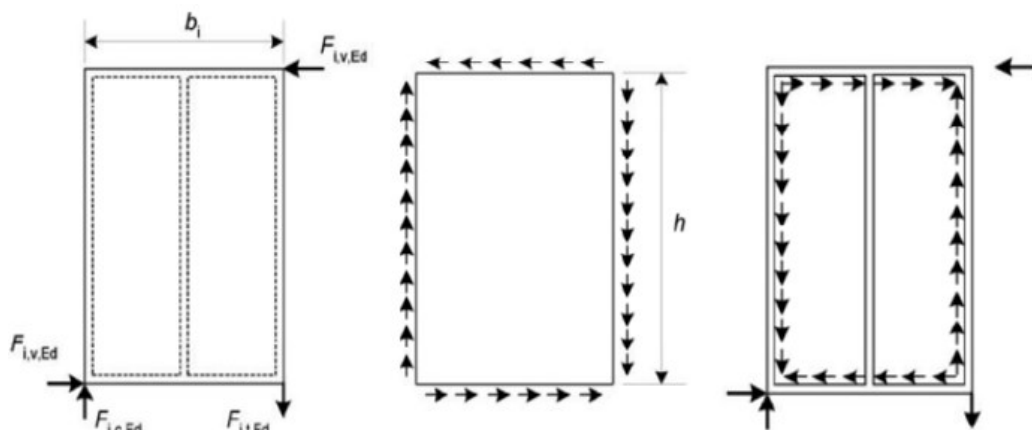
b seinälohkon leveys

s liitinväli

$$C_i = \frac{2 * b_i}{h} \quad \text{kun } b_i < \frac{h}{2} \quad (\text{kaava B.7.7})$$

$$C_i = 1 \quad \text{kun } b_i \geq \frac{h}{2}$$

missä h on seinän korkeus



Kuva 22 Voimat, jotka vaikuttavat: a) seinälohkoon b) puurunkoon ja c) levyyn.

Kuvan 22 mukaiset ulkoiset pystyvoimat $F_{i,c,Ed}$ ja $F_{i,t,Ed}$ määritetään kaavasta:

$$F_{i,c,Ed} = F_{i,t,Ed} = \frac{F_{i,v,Ed}h}{b_i}$$

missä h on seinän korkeus

- Pystyvoimasta $F_{i,t,Ed}$ saa vähentää pysyvstä kuormasta johtuvan runkotolpan puristusvoiman $F_{i,g,d} = 0,9G_{kj,inf}$

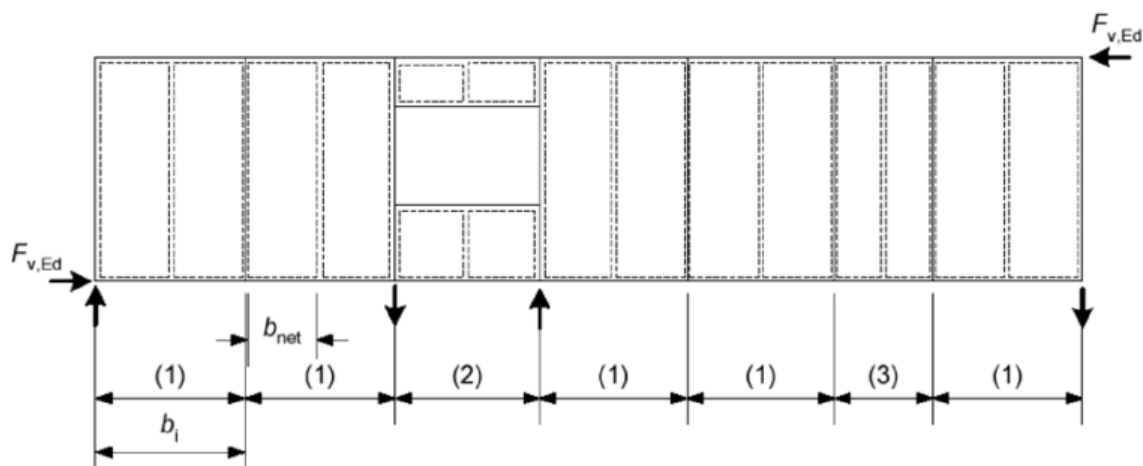
Kuvan 23 mukaisilla ovi- tai ikkuna-aukkoja sisältävillä seinälohkoilla voidaan siirtää ulkoisia voimia siten, että niillä voidaan kytkeä yhteen jäykistävät osaseinät.

Levyn leikkauslommahdus voidaan jättää huomioimatta, mikäli $b_{net}/t \leq 100$, kun b_{net} on tolppien välinen vapaa väli ja t on levyn paksuus.

Jotta keskitolpan voidaan katsoa muodostuvan tuen levyille, saa liitinväli keskitolpassa olla enintään levyn reunojen liitinväli kaksinkertaisena.

Jos jokainen lohko on valmisosa, osoitetaan, että leikkausvoimat siirtyvät asianmukaisesti lohkojen välillä.

Pystytolppien ja vaakasuuntaisten puusauvojen välisillä kosketusalueilla tarkistetaan syysuuntaan vastaan kohtisuora puristuskestävyys.

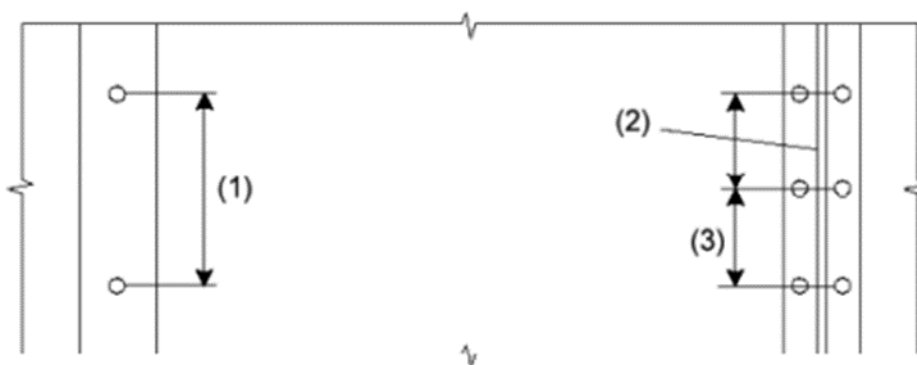


Kuva 23 Esimerkki kaksiosaisesta jäykistysseinästä, johon kuuluu ikkunallinen ja muita kapeampi seinälohko

- (1) Normaalilevyinen jäykistävä seinälohko
- (2) Aukollinen seinälohko (ei huomioida jäykistävänä rakenneosana)
- (3) Kapea seinälohko (jäykistyskestävyyden saa laskea mukaan)

Seinälohkoille, joissa on levytys molemmilla puolilla, noudatetaan seuraavia sääntöjä:

- Jos levyt ja liittimet ovat tyypiltään ja mitoiltaan samanlaiset, niin seinän vaakaleikkausvoimakestävyys lasketaan molempien levytysten summana
- Jos käytetään erityyppisiä levyjä, mutta siirtymäkertoimeltaan samanlaisia liittimiä, voidaan yleensä ottaa huomioon 75 % heikomman puolen vaakaleikkausvoimakestävyydestä. Muissa tapauksissa vahvemman puolen vaakaleikkausvoimakestävyyteen saadaan lisätä enintään 50 % heikomman puolen kestävyydestä.



Kuva 24 Levyn suurimmat sallittavat liitinvälit, kun jäykistysseinä on mitoitettu yksinkertaistetulla menetelmällä (Eurokoodi 5 – lyhennetty suunnitteluohje)

- (1) Suurin liitinväli välitolpissa enintään $2x$ (liitinväli reunalla) kuitenkin enintään 300 mm
- (2) Levyn reuna
- (3) Naulaväli enintään 150 mm ja ruuviväli enintään 200 mm

Levyn liitinväli saa olla reunoilla enintään 150 mm, kun liittimet ovat nauvoja, ja 200 mm, kun liittimet ovat ruuveja. Välitolpilla suurin liitinväli saa olla enintään reunojen liitinväli kaksinkertaisena tai 300 mm, sen mukaan, kumpi on pienempi.

5.1.3 Levyjäykisteen yleinen mitoitusmenetelmä

Yleistä mitoitusmenetelmää, jossa otetaan huomioon jäykistävän levyn kiinnitystapa, käytetään yksinkertaistetun analyysin vaihtoehtona

Yksittäisen levyn jäykkyyskerroin määritetään kaavasta

$$C_{i,v} = 1 / \left(\beta_i * \frac{s_i * h_i^2}{K_{ser,i} * b_i^3} + \frac{h_i}{b_i * G_{mean,i} * t_i} \right)$$

missä

β_i	kuvasta 5 saatava kerroin
s_i	liitinjako
h_i	levyn korkeus
b_i	levyn leveys
t_i	levyn paksuus
$G_{mean,i}$	levyn liukumoduuli
$K_{ser,i}$	liittimien siirtymäkerroin

Yksittäisen levyn vaakavoima määritetään kaavasta

$$F_{i,v,Ed} = \left(\frac{C_{i,v}}{\Sigma C_{i,v}} \right) * F_{v,Ed}$$

missä

$F_{v,Ed}$	levyjonoa kuormittava vaakavoima
$C_{i,v}$	yksittäisen levyn jäykkyyskerroin
$\Sigma C_{i,v}$	levyjonossa olevien levyjen jäykkyyskerroinien summa

Yksittäistä levyä rasittavaa vaakavoimaa $F_{i,v,Ed}$ vastaava leikkausvoimakestävyys määritetään kaavasta

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{fRd,i} * b_i}{\gamma_i * s_i}$$

missä

$F_{fRd,i}$	levyn liittimien leikkausvoimakestävyys
b_i	levyn leveys

γ_i kuvasta 5 saatava kerroin

S_i liitinjako

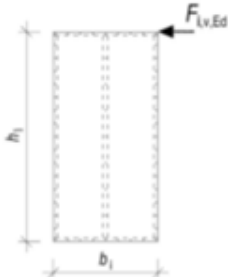
Yksittäisen levyn leikkausvoiman aiheuttama siirtymä määritetään kaavasta

$$\omega_i = \frac{F_{i,v,Ek}}{C_{i,v}}$$

missä

$F_{i,v,Ek}$ levyä kuormittava vaakavoima käyttörajatilassa

$C_{i,v}$ levyn jäykkyyserroin

Nro	Kiinnitystapa	γ - kerroin	β - kerroin
2		$\sqrt{\frac{4}{\left(2 + \frac{h}{b}\right)^2} + \frac{9}{\left(\frac{b}{h} + 3\right)^2}}$ <p>Kerroin 0,989969</p>	$\frac{4}{2\left(\frac{h}{b}\right)^2 + \left(\frac{h}{b}\right)} + \frac{6}{1 + 3\left(\frac{h}{b}\right)}$ <p>Kerroin 0,960105</p>

Kuva 25 Kiinnitystapakertoimet (Puuinfo levyjäykisteen mitoitusohjelma).

6 TEORIAT KÄYTÄNNÖSSÄ

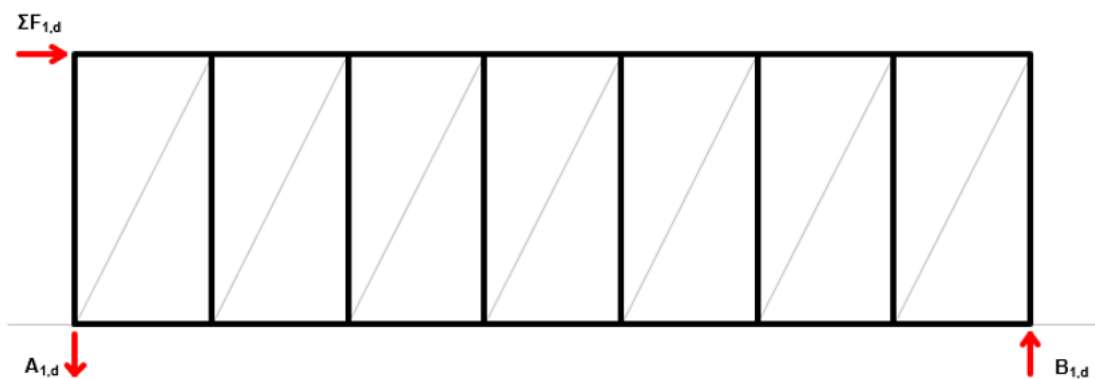
Laskelmat on tehty kahdelle seinälohkolle, jossa seitsemän peräkkäistä levyä kuorman kohtisuorassa suunnassa sekä neljä levyä kuorman suunnassa ilman ovi- tai ikkuna-aukkoja. Laskelmien vertailuarvoina on käytetty Puuinfon levyjäykisteen mitoitusohjelmaa.

6.1 Käsinsäily

Lähtötiedot:

- levyjä 7 kpl
- kuorman osavarmuusluku 1,50
- kuorma (MRT)
 - $F_{v,Ed}$ 12 kN
 - $F_{v,Ek}$ 8 kN
- kuorman pitkäaikaisuus 20 %
- sallittu siirtymä 6 mm

- EN 520 kipsikartonkilevy – tyyppi N – 13 – 1200x2700
- runkomateriaali sahatavara C24
- rankajako 600 mm
- harvakierteinen kipsilevyruuvi – 3,9x32 – tyyppi N
- liitinjako 100 mm



6.1.1 Yksinkertaistettu analyysi

Seinälohkoa rasittavaa vaakavoimaa vastaava vaakaleikkausvoimakestävyyden mitoitusarvo

Lähtötiedot:

$$F_{f,Rd} \quad 338,46 \text{ N}$$

$$b \quad 1200 \text{ mm}$$

$$c \quad 0,89$$

$$s \quad 100 \text{ mm}$$

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd} b c}{s} = \frac{338,46 \text{ N} * 1200 \text{ mm} * 0,89}{100 \text{ mm}}$$

$$F_{i,v,Rd} = 3,61 \text{ kN}$$

Ulkoiset pystyvoimat

$$F_{i,v,Ed} \quad 12 \text{ kN}$$

$$h \quad 2700 \text{ mm}$$

$$b \quad 1200 \text{ mm}$$

$$F_{i,c,Ed} = F_{i,t,Ed} = \frac{F_{i,v,Ed} h}{b_i} = \frac{12 * 2700 \text{ mm}}{1200 \text{ mm}}$$

$$F_{i,c,Ed} = 27 \text{ kN}$$

6.1.2 Levyjäykisteen yleinen mitoitusmenetelmä

Yksittäisen levyn jäykkyyserroin

$$\beta_i \quad 0,96$$

$$s \quad 100 \text{ mm}$$

$$h_i \quad 2700 \text{ mm}$$

$$b_1 \quad 1200 \text{ mm}$$

$$t_i \quad 12,5 \text{ mm}$$

$$G_{mean,i} \quad 900$$

$$K_{ser,i} \quad 800$$

$$C_{i,v} = \frac{1}{\beta_i * \frac{s_1 * h_i^2}{K_{ser,i} * b_i^3} + \frac{h_i}{b_1 * G_{mean,i} * t_i}} = \frac{1}{0,96 * \frac{100\text{mm} * 2700^2\text{mm}}{800 * 1200^3\text{mm}} + \frac{2700\text{mm}}{1200\text{mm} * 900 * 12,5\text{mm}}}$$

$$C_{i,v} = 1415,82 \text{ N/mm}$$

Yksittäisen levyn vaakavoima

$$F_{v,Ed} \quad 12 \text{ kN}$$

$$C_{i,v} \quad 1415,82 \text{ N/mm}$$

$$\Sigma C_{i,v} \quad 1399,6 \text{ N/mm}$$

$$F_{i,v,Ed} = \left(\frac{C_{i,v}}{\Sigma C_{i,v}} \right) * F_{v,Ed} = \left(\frac{1415,82 \text{ N/mm}}{1399,6 \text{ N/mm}} \right) * 12 \text{ kN}$$

$$F_{i,v,Ed} = 12,14 \text{ kN}$$

Vaakavoimaa vastaava leikkausvoimakkestävyys

$$F_{fRd,i} \quad 338,46 \text{ N}$$

$$b_i \quad 1200 \text{ mm}$$

$$\gamma_i \quad 0,99$$

$$s_i \quad 100 \text{ mm}$$

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{fRd,i} * b_i}{\gamma_i * s_i} = \frac{338,46 \text{ N} * 1200 \text{ mm}}{0,99 * 100 \text{ mm}}$$

$$F_{i,v,Rd} = 4,10 \text{ kN}$$

Yksittäisen levyn leikkausvoiman aiheuttama siirtymä

$$F_{i,v,Ek} \quad 8 \text{ kN}$$

$$C_{i,v} \quad 1415,82 \text{ N/mm}$$

$$\omega_i = \frac{F_{i,v,Ek}}{C_{i,v}} = \frac{8 \text{ kN}}{1415,82 \text{ N/mm}}$$

$$\omega_i = 5,65 \text{ mm (krt)}$$

$$\omega_i = 8,48 \text{ mm (mrt)}$$

Kaksitukisen vaakarakenteen keskimääräinen leikkausvoiman aiheuttama siirtymä tason jännevälillä

$$\omega_{mean} = \frac{\omega_{i,1} + \omega_{i,2} + \omega_{i,3} \dots \omega_{i,n}}{2}$$

$$= \frac{5,65 \text{ mm} + 5,65 \text{ mm} + 5,65 \text{ mm} + 5,65 \text{ mm} + 5,65 \text{ mm} + 5,65 \text{ mm} + 5,65 \text{ mm}}{2}$$

$$\omega_{mean} = 19,78 \text{ mm}$$

6.1.3 Kipsilevyjäykistysrakenteiden suunnitteluohje

Lähtötiedot:

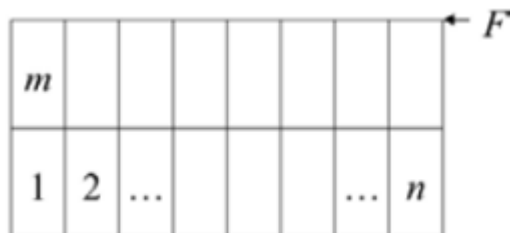
H	levyn korkeus	2700 mm
B	levyn leveys	1200 mm
t	levyn paksuus	12,5 mm
G	levyn liukumoduuli	900
n	levyjen lukumäärä kuorman suunnassa	1 (4)
m	levyjen lukumäärä kuorman kohtisuorassa suunnassa	1 (7)
γ	ruuvauskaavion huomioon ottava kerroin	$3,24 * 10^{-5}$
β	ruuvauskaavion huomioon ottava kerroin	$5,92 * 10^{-8}$
Rvd	levyn ja runkopuun välisen kiinnikeliitoksen	338,46 N
	laskentaleikkauskestävyys	
K	levyn ja runkopuun välisen kiinnikeliitoksen	800 N/mm
	siirtymäkerroin	
F_d	seinän yläreunaan kohdistuva laskentakuorma	12000 N

F_k

seinän yläreunaan kohdistuva ominaiskuorma

8000 N

Levyt kuorman kohtisuorassa suunnassa



Kuva 26 Levyt kuorman kohtisuorassa suunnassa (Kipsilevyjäykistysrakenteiden suunnitteluohje 2022).

Kuormituskestävyys

$$R_d = \frac{nRvd}{\gamma H} = \frac{1 \cdot 338,46 \text{ N}}{3,24 \cdot 10^{-5} \cdot 2700 \text{ mm}}$$

$$R_d = 3,87 \text{ kN}$$

Yläreunan vaakasuuntainen siirtymä

$$u = \left(\frac{\beta H^2}{K} + \frac{H}{BtG} \right) \left(\frac{mF_k}{n} \right) = \left(\frac{5,92 \cdot 10^{-8} \cdot 2700^2}{800 \text{ N/mm}} + \frac{2700 \text{ mm}}{1200 \text{ mm} \cdot 12,5 \text{ mm} \cdot 900} \right) \left(\frac{7 \cdot 8000 \text{ N}}{4} \right)$$

$$u = 5,92 \text{ mm}$$

Reunimmaisen runkotolpan ankkurointivoima

$$N_d = \frac{mHF_d}{nB} = \frac{1 \cdot 2700 \text{ mm} \cdot 12000 \text{ N}}{7 \cdot 1200 \text{ mm}}$$

$$N_d = 3,9 \text{ kN}$$

reunimmainen runkotolppa

$$R_d \cdot 7 \text{ kpl} = 27,1 \text{ kN}$$

$$\frac{F_d}{R_d \cdot 7 \text{ kpl}} = \frac{12 \text{ kN}}{27,1 \text{ kN}} = 44,3 \% \quad \text{käyttöaste}$$

Levyt kuorman suunnassa

m				$\leftarrow F$
...				
2				
1	2	...	n	

Kuva 27 Levyt kuorman suunnassa (Kipsilevyjäykistysrakenteiden suunnitteluohje 2022).

Kuormituskestävyys

$$R_d = \frac{nR_v d}{\gamma H} = \frac{1 \cdot 338,46 \text{ kN}}{3,24 \cdot 10^{-5} \cdot 2700 \text{ mm}}$$

$$R_d = 3,87 \text{ kN}$$

Yläreunan vaakasuuntainen siirtymä

$$u = \left(\frac{\beta B^2}{K} + \frac{B}{HtG} \right) \left(\frac{m F_k}{n} \right) = \left(\frac{5,92 \cdot 10^{-8} \cdot 1200^2}{800 \text{ N/mm}} + \frac{800 \text{ N/mm}}{2700 \text{ mm} \cdot 12,5 \text{ mm} \cdot 900} \right) \left(\frac{4 \cdot 8000 \text{ N}}{4} \right)$$

$$u = 0,32 \text{ mm}$$

Reunimmaisen runkotolpan ankkurointivoima

$$N_d = \frac{m B F_d}{n H} = \frac{4 \cdot 1200 \text{ mm} \cdot 12000 \text{ N}}{4 \cdot 2700 \text{ mm}}$$

$$N_d = 5,3 \text{ kN}$$

$$R_d \cdot 4 \text{ kpl} = 15,48 \text{ kN}$$

$$\frac{F_d}{R_d \cdot 4 \text{ kpl}} = \frac{12 \text{ kN}}{15,58 \text{ kN}} = 76 \% \quad \text{käyttöaste}$$

7 ESIMERKKILASKELMAT

Esimerkkilaskelmissa on laskettu kaksikerroksiselle omakotitalolle (Kimara K 106) levyjäykisteet ja ankkurointi pysty- ja vaakasuunnassa. Laskelmissa on huomioitu jäykistävän seinän ikkunat, joita ensimmäisessä kerroksessa on yksi kappale ja toisessa kerroksessa kaksi kappaletta. Tällöin kokonaisia 1200x2700 mm kipsilevyjä seinän sisäpuolelle mahtuu alakertaan viisi kappaletta ja yläkertaan kolme kappaletta.



Kuva 28 Mitoitettava jäykistävä seinä (Kimara julkaisuaika tuntematon).

Seinän ulkomitta d	7,1 m	
Seinän sisämitta	6,5 m	
Täysien levyjen lukumäärä	5 kpl	H1
Täysien levyjen lukumäärä	3 kpl	H2
Korkeus h	7,30 m	
Leveys tuulen suunnassa b	8,30 m	

7.1 Kuormat

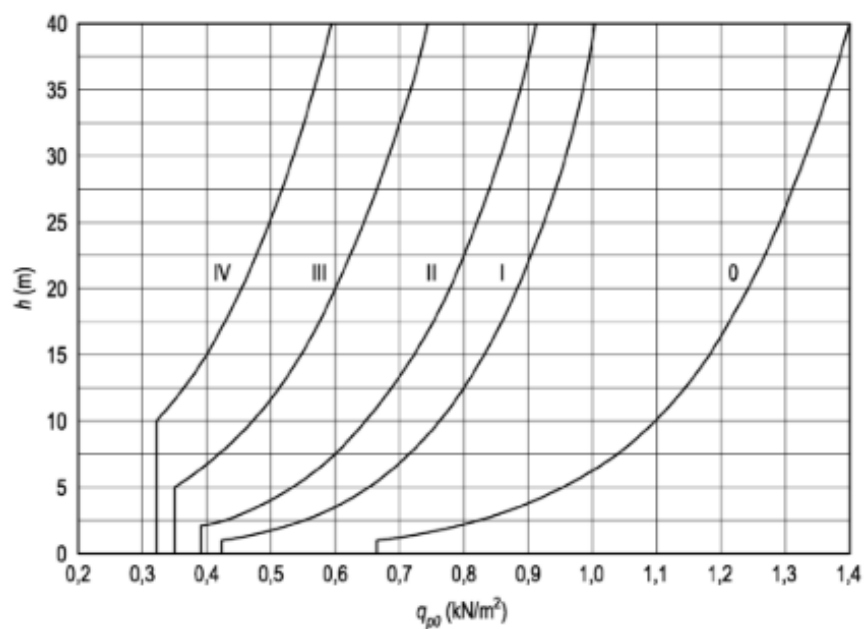
$$\text{Tehollinen hoikkuus } \lambda = \frac{2 \cdot h}{b} = \frac{2 \cdot 7,3}{8,3} = 1,76$$

$$\text{Sivusuhte } \frac{d}{b} = \frac{7,1}{8,3} = 0,86$$

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

Kuva 29 Voimakerroin C_f (Eurokoodi 5 Lyhennetty suunnitteluohje 2020).

Voimakerroin C_f	1,38	interpoloitu
$q_{k(h)}$	0,45 kN/m ²	
$q_{w,k}$	0,77 kN/m ²	$1,25 \cdot C_f \cdot q_k(h)$
MRT kerroin	1,5	
$q_{w,d}$	1,16 kN/m ²	MRT



Kuva 30 Nopeuspaineen ominaisarvot $q_k(h)$ (Eurokoodi 5 Lyhennetty suunnitteluohje 2020).

Tuulen kohtisuorassa suunnassa olevan seinän pituus on 8,3 metriä, jolloin kuormitusleveys seinälle on 4,15 metriä. H1 kuormakorkeudella tarkoitetaan välipohjaan kohdistuvaa kuormaa ja H2 kuormakorkeudella vesikatosta ja seinän yläosasta kohdistuvaa kuormaa yläpohjaan.

Kuormaleveys	4,15 m
--------------	--------

Kuormakorkeus H1	2,7 m
------------------	-------

Kuormakorkeus H2	3,25 m
------------------	--------

Katto

Kuormaleveys	4,15 m
--------------	--------

Kuormakorkeus	3,25 m
---------------	--------

H2	15,70 kN	$2,075 * 3,25 * q_{w,d}$
----	----------	--------------------------

	2,62 kN/levy
--	--------------

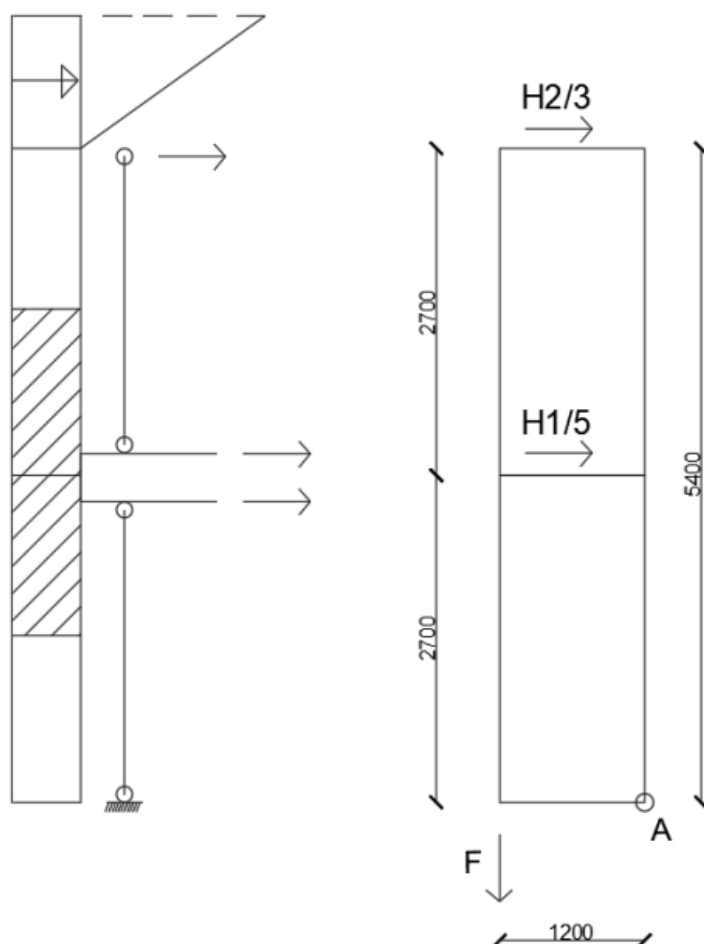
Välipohja

Kuormaleveys	4,15 m
--------------	--------

Kuormakorkeus	2,7 m
---------------	-------

H1	13,05 kN	$2,075 * 2,7 * q_{w,d}$
----	----------	-------------------------

	2,17 kN/levy
--	--------------



Kuva 31 Kuormien jakautuminen kattorakenteeseen ja välipohjaan (Virtanen 2024).

$$A = \frac{H2}{3} * 5,4 + \frac{H1}{5} * 2,7 - F * 1,2 = 0$$

$$F = \frac{1}{1,2} \left(\frac{H2}{3} * 5,4 \right) + \left(\frac{H1}{5} * 2,7 \right)$$

Ankkurointivoima F

Ankkurointivoimassa lasketaan seinärakenteelle kohdistuvat pystyvoimat, jotka tasapainotetaan asianmukaisella ankkuroinnilla.

$$F = \frac{1}{1,2} (5,23 * 5,4) + (2,61 * 2,7) = 21,22 \text{ kN}$$

H_{tot}

$$5,23 \text{ kN} + 2,61 \text{ kN} = 7,84 \text{ kN/levy}$$

Valitaan: Gyproc GR13 EK

kiinnikeväli 100 mm

Gyproc levyjen kiinnitys runkotolppiin, ei vaakakoolauksiin.

7.2 Jäykistysseinän ankkurointi

Jäykistysseinä ankkuroidaan kulmalevyn läpi perustukseen kunkin osaseinän päästä kiila-ankkureilla. Kulmalevy kiinnitetään runkotolppaan 4x40 mm ankkurinauloilla.

Levyn korkeus $h = 2,7 \text{ m}$

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

Katon omapainon viivakuorma seinälle $q_k = \frac{B}{2} * 0,5 = 1,8 \text{ kN/m}$

Ankkurinaula 4x40

Naulan pituus $l = 40 \text{ mm}$

Naulan paksuus $d = 4 \text{ mm}$

Tunkeumaehdot $12 * d = 48$

$$8 * d = 32$$

Kulmalevyn paksuus $t_1 = 2,5$

Kulmalevyn tunkeutuma $t_2 = l - t_1 = 37,5$

Puun tiheyden mukaan laskettu kerroin $kp = \sqrt{\frac{pk}{350}} = 1$

Korjauskerroin $ks = \left(0,6 + 0,9 * \frac{t_2}{12 * d}\right) * kp = 1,275$

Aikavaikutuskerroin $k_{mod} = 1,1$

Materiaaliosavarmuusluku $\gamma_M = 1,4$

Naulan ominaisuusleikkauskestävyys $R_k = 120 * d^{1,7} * N = 1,267 \text{ kN}$

Naulan mitoitusleikkauskestävyys $R_d = \left(\frac{K_{mod}}{\gamma_M}\right) * K_s * R_k = 1,269 \text{ kN}$

Kiila-ankkuri Hilti HST3 M10/160

Suunniteltu vetokestävyys $N_{rd} = 8 \text{ kN}$

Seinälohkolle tulevat vaakakuormat $28,75 \text{ kN}$

Seinälohkon ankkurointivoima $21,22 \text{ kN}$

Tarkastetaan kiila-ankkureiden kestävyys

$$\frac{21,22kN}{3 \cdot 8kN} = 0,88 < 1$$

kestää

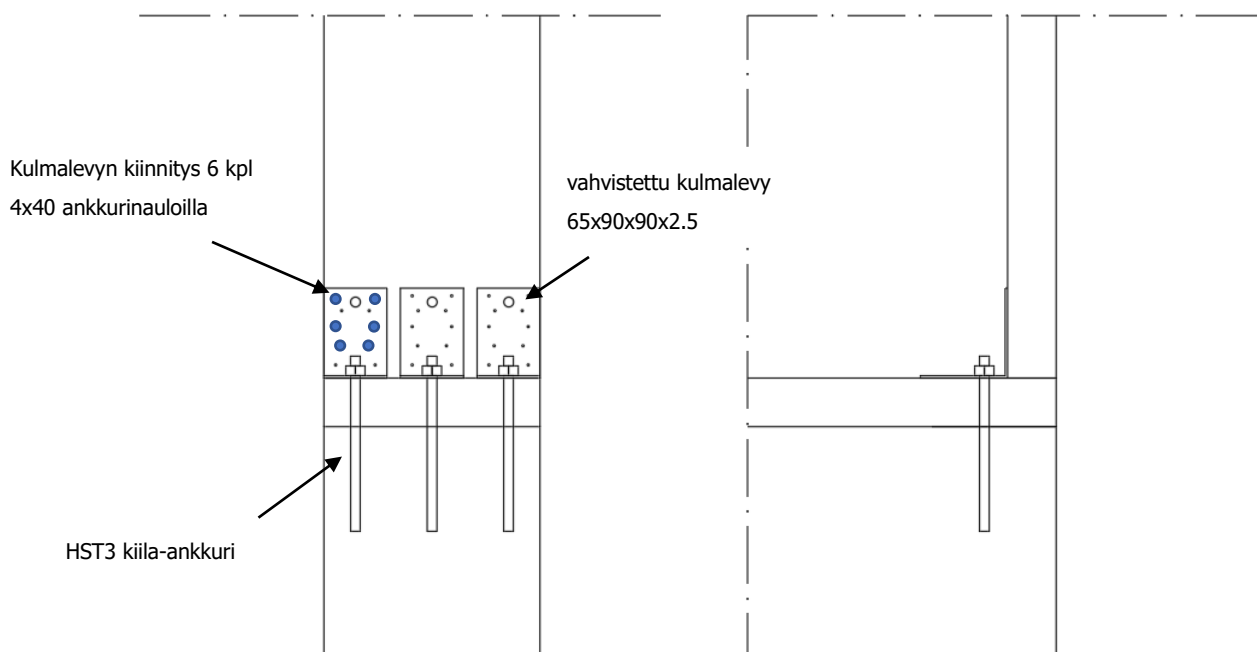
Lasketaan 4x40 mm ankkurinaulojen tarvittava määrä kulmalevyn läpi runkotolppaan.

$$n = \frac{F_{1.t.Ed}}{3 \cdot R_d} = \frac{21,22kN}{3 \cdot 1,269} = 5,57$$

valitaan 6 kpl

Jäykistysseinän osaseinän päätyjen ankkurointi 3 kpl Hilti HST3 M10/160 kiila-ankkureilla ja 4x40 mm ankkurinauloilla 6kpl/liitos.

Ankkurinauloja kiinnittäessä huomioitava Eurokoodi 5 määräämät vähimmäisreunaetäisyydet.

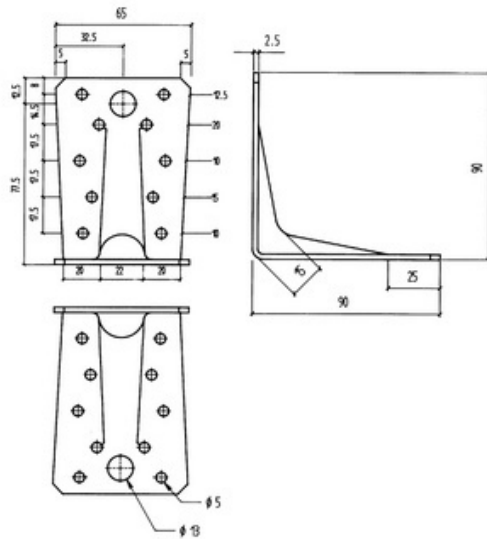


Kuva 32 Kulmalevyjen, kiila-ankkurien ja ankkurinaulojen sijoittelu (Virtanen 2024).

7.3 Kulmalevyn kestävyys

Würth 90x90x65x2,5 kulmalevy, tyyppi A

Levyn korkeus	90 mm	
Levyn leveys	65 mm	
Levyn paksuus	2,5 mm	kulmavahvistettu
Levyn taipuma	250 N/mm ²	kestää
Levyn vetolujuus	360 N/mm ²	kestää



Kuva 33 Ankkuroinnissa käytettävä kulmalevy (Wurth 2018).

7.4 Vaakasuuntainen ankkurointi

Alajuoksu ankkuroidaan vaakasuunnassa Sormat S-CSA+ HEX 10x100/15/45 ML betoniruuville. Vaakasuuntaisessa ankkuroinnissa määrävänä tekijänä ruuvien ja alajuoksun välinen liitos sekä puun reunapuristuslujuus.

Ruuvien myötömomentti

$$M_y = 0,3 f_{u,k} d^{2,6}$$

Missä,

$f_{u,k}$ 510 N/mm² ruuvien vetomurtolujuuden ominaisarvo

$$M_y = 60910,4 \text{ Nmm}$$

Lasketaan alaohjauspuun reunapuristuskestävyys

$$f_{h,0,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * d) * P_k$$

Missä,

d = ruuvien paksuus

P_k = puun ominaistiheys

$$f_{h,0,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * 10) * 470$$

$$f_{h,0,k} = 34,68 \text{ N/mm}^2$$

Lasketaan keskimääräinen reunapuristus, joka kohdistuu ruuvien reiän reunaan alaohjauspuussa

$$A_s = h * d$$

Missä,

d = ruuvien halkaisija

h = ainepaksuus

$$A_s = 48 * 10 = 480 \text{ mm}^2$$

Keskimääräiseksi reunapuristukseksi saadaan

$$R_k = F_{h,0,k} * A_s$$

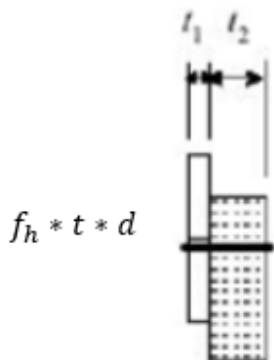
$$R_k = 16646,4 \text{ N}$$

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} = 11890,3 \text{ N}$$

Missä,

$$\gamma_M = 1,4$$

$$R_d = 11,89 \text{ N/mm}^2$$



Kuva 34 Reunapuristus (Rak-54.1200 Rakenteiden lujuusoppi)

Lasketaan ruuviliitoksen leikkausvoimakestävyys R_k

$$R_k = \min \left(0,4 * f_h * t_u * d * \sqrt{1 + \frac{3 * M_y}{f_h * d * t_u^2}} \right)$$

Missä,

t_u = alaohjauspuun paksuus

$$R_k = \min (0,4 * 34,68 * 48 * 10 * \sqrt{1 + \frac{3 * 0,06 * 10^6}{34,68 * 10 * 48^2}})$$

$$R_k = 7,38 \text{ kN}$$

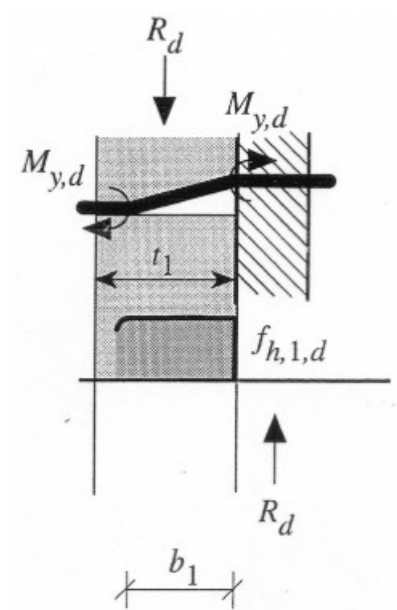
$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}$$

Missä,

$$\gamma_M = 1,4$$

$$R_d = 5,27 \text{ kN}$$

Yhden betoniruuvin leikkauslujuus 5,27 kN



Kuva 35 Puikkoliitosteoria (Puuinfo 2019).

Lasketaan betoniruuvin tarvittava määrä alaohjauspuussa

$$\frac{H1 + H2}{5,27 \text{ kN}}$$

$$\frac{13,03 + 15,70}{5,27} = 5,45 \text{ kpl}$$

Valitaan ankkurointiväliksi 1,2 metriä, kun käytetään betoniruuvia Sormat HEX 10x100.

7.5 Levyjen rasitus

$$H1 = 13,03 \text{ kN}$$

$$H2 = 15,70 \text{ kN}$$

Lasketaan levytyksen ja liittimien välisen liitoksen leikkauskestävyys R_{vd}

$$R_{vd} = K_{mod} * R_{vk} / \gamma_M$$

Missä

$$K_{mod} = 1,1$$

$$R_{vk} = 744 \text{ N}$$

liittimen ominaisleikkauslujuus (sertifikaatti)

$$\gamma_M = 1,3$$

$$R_{vd} = 1.1 * \frac{744}{1,3}$$

$$R_{vd} = 629,54 \text{ N}$$

Lasketaan yhden Gyproc GR13 EK levyn kuormituskestävyys R_d

$$R_d = \frac{nR_{vd}}{\gamma_H}$$

Missä

$$n = 1$$

$$\gamma = 3,24$$

$$H = 2700 \text{ mm}$$

$$R_d = \frac{1 * 629,54}{3,24 * 10^{-5} * 2700}$$

$$R_d = 7196 \text{ N}$$

$$7,2 \text{ kN}$$

Gyproc GR13 EK levyn kuormituskestävyys $R_d = 7,2 \text{ kN}$

$$7,13 \text{ kN} * 3 \text{ kpl} = 21,39 \text{ kN}$$

$$\frac{15,70}{21,39} = 73\% \quad \text{H2}$$

Alimmaisista levyistä laskettaessa huomioon otetaan H1 ja H2 kuormitukset

$$13,03 \text{ kN} + 15,70 \text{ kN} = 28,73 \text{ kN}$$

$$7,2 \text{ kN} * 5 \text{ kpl} = 36 \text{ kN}$$

$$\frac{28,73}{36} = 80\% \quad \text{H1}$$

8 TULOKSET

Vaakavoimaa vastaava leikkausvoimakestävyys

Yksinkertaistettu analyysi 3,61 kN

Yleinen mitoitusmenetelmä 4,10 kN

Vaakavoimaa vastaavassa leikkausvoimakestävyudessa yksinkertaistettu analyysi jättää tuloksen selvästi varman puolelle.

Esimerkkilaskelmissa jäykistettiin kaksikerroksinen omakotitalo Gyproc GR13 EK kipsilevytyksellä. Levykapasiteeteiksi saatiin 73 % ja 80 %. Pystysuuntainen ankkurointi järjestettiin kolmella kiila-ankkurilla kulmalevyn läpi perustukseen ja vaakasuuntainen ankkurointi 1,2 metrin välein Sormat M10 betoniruuveilla.

Ankkuroinnissa käytettiin Wurthin kulmavahvistettua 65x90x90x2,5 kulmalevyä.

9 POHDINTA

Työ oli alusta alkaen miellyttävä tehdä oman mielenkiintoni kohdistuessa puurakenteisiin. Työn aikana sain oppia itse opinnäytetyön sisällöstä, mutta myös ohjelmista ja eri lähteistä, joita työssä käytettiin. Puuinfon levyjäykisteen mitoitusohjelma olikin työn selkäranka, jonka antamiin arvoihin vertasin omia käsinlaskennan arvoja. Arvojen vertailu ja ylipäätään tietämys siitä, mitä mitoitusohjelma laskee ja mistä arvot syntyvät, olikin työn opettavaisimpia asioita.

Työn aikana huomioni kiinnittyi, miten monella eri tavalla rankarunkoinen rakennus voidaan suunnitella. Rakenteelle on olemassa useita eri materiaaliveikkoja niin rungon, eristeiden, ulkoverhoilun kuin sisäverhoilunkin osalta. Perustoimintaperiaate säilyy kuitenkin aina materiaalista riippumatta. Ei ole siis merkitystä, onko ulkoverhoilu tiiliverhous vai vaakapanelointi, tai levyjäykisteenä kipsilevy vai vanerilevy.

Levyjäykisteen suunnitteluvaiheessa kiinnitin huomioni, miten moni asia vaikuttaa jäykisteen lopputuloksiin. Levyvaihtoehdoista on valittava oikea levy jäykisteeksi, joskin pientaloissa päädytään kipsilevyn lähes poikkeuksetta. On kuitenkin vaihtoehtona valita esimerkiksi vaneria tai LVL-levyä, jolloin levyn antama jäykistekapasiteetti kasvaa huomattavasti. Kiinnitystavoissa löytyy eroavaisuuksia ja jokaiselle kiinnitystavalle löytyy myös omat kiinnitystapakertoimet, jotka vaikuttavat oleellisesti laskennan lopputuloksiin. On myös tehtävä päätös liitinjaoista, eli onko yhden ruuvien väli esimerkiksi sata vai sataviisikymmentä millimetriä. Ruuveista puhumattakaan, joista löytyy useita eri vaihtoehtoja eri leikkausvoimakestävyyksillä sekä tartuntapitoisuuksilla. Pientaloissa rungon yhdenpuoleinen levytys riittää useimmiten, mutta kuormitusten ylittäessä sallitun rajan, voidaan asia ratkaista isomman kuormituskestävyyden levytyksellä tai tarvittaessa molemminpuolisella levytyksellä.

Huomattuani kohtalaisen suuren vaakavoiman kohdistuessa yhteen levyyn, valitsin erikoiskovan kipsilevyn jäykisteeksi. Valinta osuikin ilmeisen oikeaan levykapasiteettien noustessa 80 prosenttiyksikköön. Työssä mielenkiintoista oli perehtyä eri levyjen, kulmalevyjen, ruuvien ja kiila-ankkureiden ominaisuuksiin ja kapasiteetteihin. Etenkin betoniruuvien ja kulmalevyjen osalta suunnittelijalle ominaista tietoa oli hyvin helposti löydettävissä. Ankkurointivoiman vähentämiseksi voidaan käyttää jäykistäviä väliseiniä.

Työssä käyttämiäni teorioita on vaikeaa verrata suoraan keskenään, koska jokaisessa teoriassa lasketaan hieman eri asioita. Yksinkertaistetun- ja yleisen mitoitusmenetelmän tuloksia verratessa huomioni kiinnittyy kuitenkin vaakavoimaa vastaavan leikkausvoimakestävyyden arvoon. Koska yksinkertaistettu menetelmä on nimensä mukaisesti yksinkertainen, jättää se tuloksen prosentuaalisesti huomattavastikin varman puolelle. Yksinkertaistetulla analyysillä tulokseksi saatiin 3,61 kN, kun taas yleisellä mitoitusmenetelmällä sama arvo on 4,10 kN.

LÄHTEET

Kipsilevyjäykistysrakenteiden suunnitteluohje, Saikkonen Marko 2022. Pdf-tiedosto. Julkaistu 22.8.2022. gyproc-levyjäykistys-suunnitteluohje-082022.pdf. Viitattu 25.2.2024.

Knauf 2024. Levymateriaalit ja rungot. <https://knauf.com/fi-FI/knauf-oy/kompetenssit/kestava-kehitys/kipsi>. Viitattu 3.5.2024

Lappia 2022. Levymateriaalit ja rungot. <https://www.lappia.fi/wp-content/uploads/2022/03/Teollinen-puurakentaminen-v1.0.pdf>. Viitattu 3.5.2024

Nordic Fibreboard. Tuulensuojalevy 2021. <https://nordicfibreboard.com/hu/2-uncategorised/270-tuulensuojalevy>. Viitattu 15.5.2024.

Overturning and Hold Downs julkaisuaika tuntematon. Verkkojulkaisu. <https://bayarearetrofit.com/shear-wall-overturning/>. 26.2.2024.

Puuinfo 2020. Rungon toimintaperiaate. <https://puuinfo.fi/rakenteet/rankarakenteet/rungon-toimintaperiaate/>. Viitattu 15.10.2023.

Puuinfo 2020. Rakennuksen jäykistys. <https://puuinfo.fi/rakenteet/rankarakenteet/rakennuksen-jaykistys/>. Viitattu 15.10.2023.

RIL 205-1-2009 & RIL 201-1-2008. EC5 Sovelluslaskelmat 2010. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Viitattu 25.2.2024.

RIL 205-1-2017 & RIL 205-2-2019. Eurokoodi 5 lyhennetty suunnitteluohje 2020. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Viitattu 25.2.2024.

Tiivistalo julkaisuaika tuntematon. Höyrynsulkumuovi, ilmansulkupaperi vai hygrokalvo? Diffuusiotiivis rakenne. Verkkojulkaisu. <https://www.tiivistalo.fi/hoyrynsulkujen-ominaisuudet/>. Viitattu 23.3.2024.

Ympäristöministeriö julkaisuaika tuntematon. Vastuualueet. Rakentaminen ja alueidenkäyttö. Vähähiilinen rakentaminen. Verkkojulkaisu. <https://ym.fi/vahahiilinen-rakentaminen>. Viitattu 23.3.2024.

1995-1-1 (2022). Eurocode 5: Design of timber structures. General rules and rules for buildings. Working draft to CIB. Viitattu 24.3.2024.

LIITE 1 ESIMERKKILASKELMAN KUORMITUSLEVEYDET

