



PIENTALON RUNKORAKENTEET JA STABILITEETTI

Antti Luukkanen

Opinnäytetyö
Joulukuu 2014
Rakennustekniikka
Talorakennustekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka
Talorakennustekniikka

ANTTI LUUKKANEN:

Pientalon runkorakenteet ja stabiliteetti

Opinnäytetyö 55 sivua, josta liitteitä 0 sivua
Joulukuu 2014

Tässä lopputyössä esitellään keskeisimmät pientalon runkorakenteet ja rakenteissa yleisimmin käytetyt vaihtoehdot, erityisesti rakenteiden jäykistyksen ja stabiliteetin näkökulmasta.

Käsiteltävät rakenteet:

- Maanpaineseinä
- Ulkoseinä
- Välipohja
- Yläpohja

Jäykistys jää suunnittelussa usein liian vähälle huomiolle. Tämän työn on osaltaan tarkoitus auttaa keskittymään myös tähän tärkeään asiaan. Stabiliteetin menetys ja jäykistyksen puute on sortumissa usein päätekijä.

Jäykistys käsittää:

- koko rakennuksen jäykistyksen
- rakenneosien muodostaman kokonaisuuden sisäisen jäykistyksen

Koko rakennuksen jäykistyksessä on huomioitava kaikkien osien kokonaisuus ja osoitettava, miten eri osilta tulevat kuormat siirtyvät rakennustasolta toiselle ja mitkä voimat pitää siirtää aina perustuksiin saakka. Rakenteiden riittävä kiinnitys toisiinsa on oleellinen tekijä koko rakennuksen jäykistyksessä.

Asiasanat: runkorakenteet, stabiliteetti, jäykistys

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Civil Engineering
Option of Structural Engineering

ANTTI LUUKKANEN:

Frame structures and stability of a town house

Bachelor's thesis 55 pages, appendices 0 pages
December 2014

The theme of this final thesis was to introduce the main frame structures of a town house and the most commonly used options in the structures, in particular from the stiffening of the structures and stability point of view.

Presented structures:

- Retaining wall
- Outer wall
- Midsole
- Roof sole

Stiffening isn't usually covered as well as it should in the planning phase. The purpose of this thesis is to help maintaining focus also to this important element. Loosing stability and lacking of stiffness is usually the main reason in building collapses.

Stiffening covers:

- Stiffening of the entire building
- Internal stiffening of the structure parts

In the entire building stiffening, the whole of all parts has to be considered, presenting how the loads from different parts move from structure level to another, showing also which forces have to be moved all the way to the foundations. Sufficient mounting from structure to another is essential in the entire building stiffening.

Key words: frame structures, stability, stiffening

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	PIENTALON RUNGON TOIMINTA.....	7
2.1	Pystykuormat	7
2.2	Vaakakuormat	8
3	JÄYKISTYSPERIAATTEET	10
3.1	Jäykistysperiaatteet	10
3.2	Kuormien siirto ja jäykistystapa	11
3.3	Rakenneosien jäykistys	12
3.4	Koko rakennuksen jäykistys	13
4	RUNKORAKENNEVAIHTOEHDOT	15
4.1	Puu	15
4.1.1	Sahatavara	15
4.1.2	Hirsi.....	16
4.2	Muuratut rakenteet	17
4.3	Betoni	18
4.4	Teräs.....	19
5	ULKOSEINÄRAKENTEET	20
5.1	Puurunko	20
5.1.1	Sahatavara	20
5.1.2	Hirsirunko	22
5.2	Muuratut rakenteet	23
5.2.1	Harkkorunko	23
5.2.2	Tiilirunko	23
5.2.3	Siporex	24
5.3	Betonirunko	24
5.3.1	Kevytbetonirunko.....	25
5.3.2	Betonielementti	25
5.4	Maanpaineseinä	26
5.5	Maanpaineseinän jäykistäminen	28
5.6	Puuseinän jäykistäminen.....	29
6	VÄLIPOHJARAKENTEET	32
6.1	Puurakenne.....	32
6.2	Ontelolaatta	33
6.3	Siporex-laatat	33
6.4	Paikallavaluholvi	34
6.5	Elementit	34

6.6	Puurunkoisen välipohjan jäykistys	35
7	YLÄPOHJA	38
7.1	Naulalevyristikot.....	38
7.2	Kehärakenne	39
7.3	Palkkirakenne.....	39
7.4	Kivirakenne.....	40
7.5	Ontelo-, siporex- ja liittolaatta	41
7.6	Elementit.....	41
7.7	Kattoristikon jäykistys	41
8	RAKENTEEN VALINTAAN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ.....	45
8.1	Lämmönläpäisykerroin	46
8.2	Hengittävyys	47
8.3	Paloluokka	48
8.4	Massiivisuus.....	48
8.5	Egologisuus.....	49
8.6	Energiatohokkuus.....	50
8.7	Saatavuus ja työstettävyys	50
8.8	Kosteuden kesto ja sisäilman laatu	51
9	YHTEENVETO	53
	LÄHTEET.....	55

1 JOHDANTO

Tässä lopputyössä esitellään keskeisimmät pientalon runkorakenteet ja rakenteissa yleisimmin käytetyt vaihtoehdot, erityisesti jäykistyksen ja stabiiliteetin näkökulmasta. Lisäksi työssä esitetään rakenteen valintaan vaikuttavia tekijöitä.

Rakenteellisesti taloa tarkastellaan ylhäältä alas. Kattoon kohdistuu kuormia, jotka on välitettävä alapuolisille kantaville seinille. Näiden kuormat on välitettävä edelleen alapuoliselle rakenteille, aina perustusten kautta maaperään saakka. Rakennusta suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon pystysuuntaisten kuormien lisäksi myös vaakasuuntaiset kuormat. Pientalon vaakakuormien mitoituksessa otetaan huomioon yleensä vain tuuli-kuorma. Maanpaineeseinässä täytyy ottaa vastaan myös maan paineesta seinäpintaa vastaan muodostuva kuorma, sekä maanpinnalla vaikuttava hyötykuorma.

Kokonaisen rakennuksen jäykistyksessä huolehditaan siitä, että rakennuksen vaakasuuntaiset kuormat viedään hallitusti perustuksille. Yksittäisten rakenteiden jäykistyksessä katsotaan, että ne eivät nurjahda tai menetä muuten stabiiliuttaan. Rakenteen ulkopuoliset voimat pitää siirtää aina rakenteen ulkopuolisille tukirakenteille, joten tuulikuorma on vietävä aina perustuksille saakka.

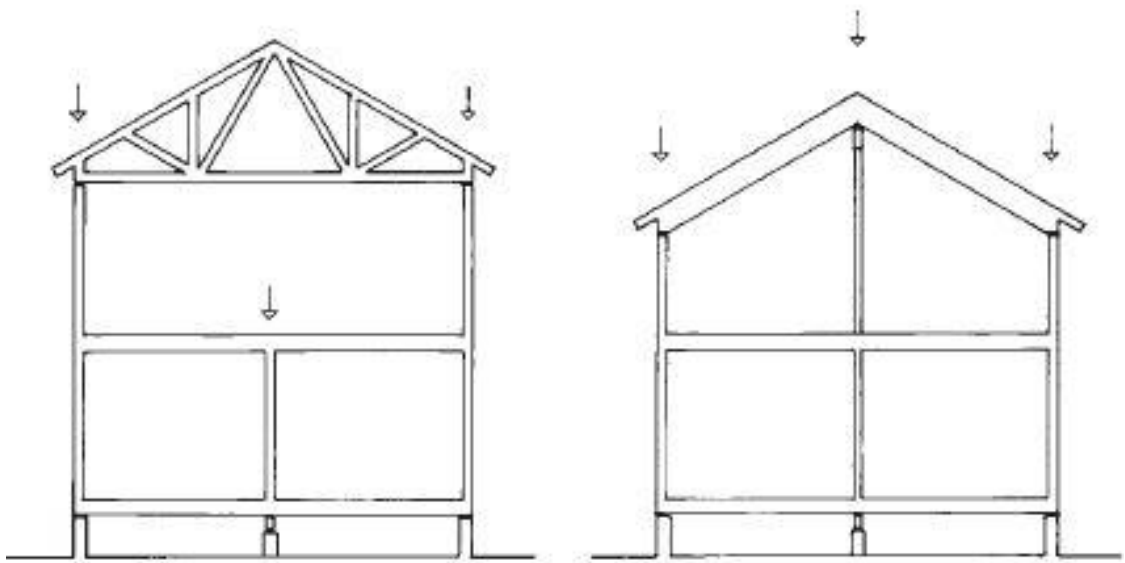
Rakenteiden sisäiset voimat voidaan tukea myös rakennekokonaisuuden sisällä. Esimerkiksi puristussauvan nurjahdustukea ei välttämättä tarvitse viedä perustuksille saakka. Jäykistävän rakenteen täytyy olla riittävän luja kestämään kaikki siihen kohdistuvat rasitukset.

Työssä esitetään ensin pientalon rungon toiminta, yleiset jäykistysperiaatteet ja tyypillisimmät runkorakennevaihtoehdot. Tämän jälkeen työssä pureudutaan syvemmin eri runkorakenteisiin ja niiden jäykistystapoihin ongelmakohtineen. Lopuksi esitetään rakenteen valintaan vaikuttavia tekijöitä ja pohditaan suunnittelun tärkeyttä rakennusprosessissa.

2 PIENTALON RUNGON TOIMINTA

2.1 Pystykuormat

Taloa runkoa mitoitettaessa lähdetään liikkeelle pystysuuntaisista kuormista, ja rakenteellisesti taloa tarkastellaan ylhäältä alas. Kattoon kohdistuu kuormia, jotka on välitettävä alapuolisille kantaville seinille. Nämä kuormat on välitettävä edelleen alapuoliselle rakenteille. Tarvittaessa kantava seinä voidaan korvata palkilla, joka tuetaan kantaviin seiniin tai erillisiin pilareihin. Rakennuksen kuormat johdetaan ylhäältä suoraan alas, jolloin kantavat seinät ja/tai pilarit ovat ylä- ja alakerrassa samalla kohdalla.



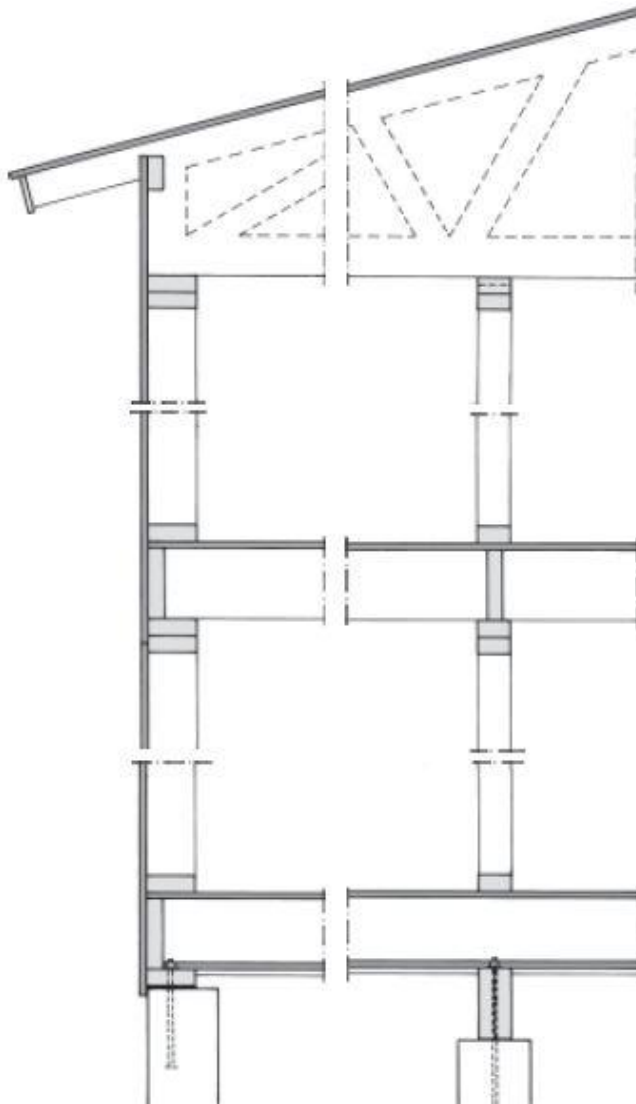
KUVA 1. Pientalon kantavat linjat (Lähde: Puuinfo). Kuva leikkautuu maan tasoon, tärkeätä on huomioida myös kantavien linjojen sijoituksen vaikutus anturoiden kokoon.

Ylimmän kerroksen kantavien linjojen sijoitteluun vaikuttavat yläpohjan rakenteet. Ristikkorakenteisen yläpohjan alla kantavia osia ovat tavallisesti vain ulkoseinät, jolloin kerroksen muut seinät voidaan sijoittaa vapaasti. Palkkirakenteinen yläpohja tarvitsee harjapalkin, joka puolestaan kannatetaan joko kantavilla seinillä tai pilareilla. Näiden tarve riippuu palkin pituudesta ja katon muista kuormista. Harjapalkin tuenta päätyseiniin tulee ottaa huomioon seinien aukotuksien suunnittelussa.

Puolitoista- ja kaksikerroksisissa rakennuksissa alakertaan tulee yleensä ainakin yksi kantava linja, jotta välipohjapalkisto saa välituen. Jos talossa on ristikkorakenteinen yläpohja, linjan paikka voidaan päättää palkiston ja alakerran tilajaon mukaan. Talossa,

jossa on palkkirakenteinen yläpohja, alakerran kantava linja sijoitetaan samalle kohdalle kuin yläkerrassa.

Alapohjapalkisto tarvitsee yleensä välituen. Se sijoitetaan samalle kohdalle kuin yläpuoliset kantavat rakenteet. Jos yläpuolella ei ole kantavia linjoja, välituen paikka voidaan päättää pelkästään palkiston tuennan ja tilajaon perusteella suunniteltuna.



KUVA 2. Ulko- ja väliseinän liitos ala-, väli- ja yläpohjaan (Lähde: Puuinfo)

2.2 Vaakakuormat

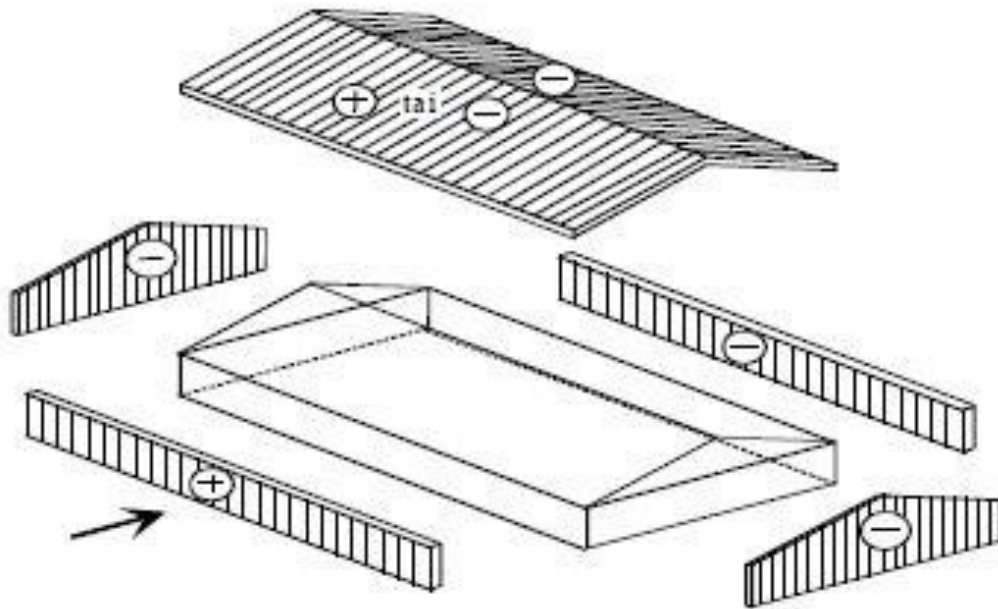
Rakennusten jäykistyksellä tarkoitetaan vaakakuormien vastaanottamista. Jäykistys jää usein suunnittelussa turhan pienelle huomiolle. Kuntien rakennusvalvonnat kehottavat suunnittelijoita tutkimaan alan uusimpia julkaisuja, esim. RIL 244, Puurakenteiden jäy-

kistykseen ja halkeilun hallinta sekä RIL 248, NR-kattorakenteiden jäykistys, jotta myös jäykistykseen suunnittelu hoidettaisiin asiaan kuuluvalla tavalla.

Jäykistys käsittää:

- koko rakennuksen jäykistykseen
- rakenneosien muodostaman kokonaisuuden sisäisen jäykistykseen

Koko rakennuksen jäykistyksessä on kaikkien osien kokonaisuus huomioitava ja osoitettava, miten eri osilta tulevat kuormat siirtyvät rakennustasolta toiselle ja mitkä voimat pitää siirtää aina perustuksiin saakka. Pientalon suunnittelussa vaakakuormitus laskeaan yleensä vain ja ainoastaan tuulikuormalle.



KUVA 3. Tuulikuormat (Lähde: VTT, Puurakenteiden jäykistys suunnittelun ohje)

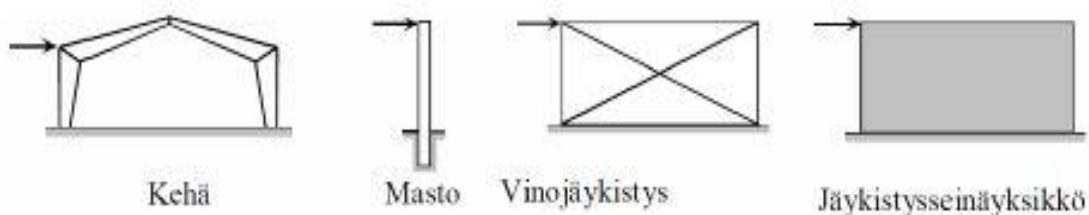
Tuulen puoleiselle seinälle tulee painetta ja suojan puoleiselle seinälle imua. Kokonais-tuulikuorma on edellä mainitun paineen ja imun summa. Tuulen suuntaisille seinille tulee imua. Katon tuulen puoleiselle lappeelle tulee painetta ja vastakkaiselle lappeelle kattokaltevuudesta riippuen joko painetta tai imua.

3 JÄYKISTYSPERIAATTEET

Koko rakennuksen jäykistyksellä tarkoitetaan stabiiliuden säilyttämiseen tarvittavia toimenpiteitä ja rakennusrunkoon kohdistuvien ulkoisten kuormien siirtämistä perustuksiin ja siitä edelleen maaperään. Kokonaisjäykistyksestä tulee huolehtia sekä työaikana että valmiissa rakennuksessa. Tavallisesti jäykistyskuormia aiheuttavat tuentavoimat, tuuli, rakenteiden vinous ja pystykuormien epäkeskisyys.

3.1 Jäykistysperiaatteet

Rakennuksien jäykistykseen käytetään neljää eri tapaa. Pystyrakenteiden jäykistystavat näkyvät kuvassa 4.



KUVA 4. Jäykistystavat (Lähde: VTT, Puurakenteiden jäykistys suunnittelun ohje)

Kehäjäykistyksessä rakennus jäykistetään pilarin ja kattorakenteen välille tehtävän momenttijäykän liitoksen avulla. Tavallisesti puukehiä käytetään vain tuulikuormien vastaanottamiseen, sillä suuremmilla kuormilla, kuten nosturien jarrukuormilla, nurkkaliitoksen koko saattaa kasvaa hyvinkin suureksi. Kehäjäykistystä käytetään yksikerroksisissa teollisuusrakennuksissa.

Mastojäykistyksessä rakennuksen kantava runko on pilari-palkkirakenne. Vaakasuntainen rakenne tukeutuu mastopilareihin nivelellisesti. Mastopilarit on kiinnitetty momenttijäykästi perustuksiin, jolloin pilarit siirtävät kuormat perustuksille osana kehää. Pituussuuntainen jäykistys voidaan toteuttaa esimerkiksi vetotangoilla tai mastopilareilla. Mastojäykistystä käytetään teollisuusrakennuksissa.

Vinojäykistyksessä (eli ristikkojäykistyksessä) rakennus jäykistetään tavallisesti ristikkäin asennetuilla vedetyillä terästangoilla, jotka asennetaan pilareiden ja kattopalkkien väliin. Ristikkäin asennettaessa toinen tanko toimii tietynsuuntaiselle kuormalle ja toinen taas vastakkaissuuntaiselle kuormalle. Vinojäykistystä käytetään hallirakennuksissa.

Levyjäykistyksessä rakennuksen seinä- ja yläpohjarakenteista muodostetaan levyjä. Vaakakuormat siirretään seinistä yläpohjaan, ohjautuen edelleen pääty- tai sivuseinien kautta perustuksille. Tässä jäykistystavassa pilarit voivat olla nivelellisesti kiinnitettyinä perustuksiin. Levyjäykistystä käytetään pienehköissä hallirakennuksissa sekä pientaloissa.

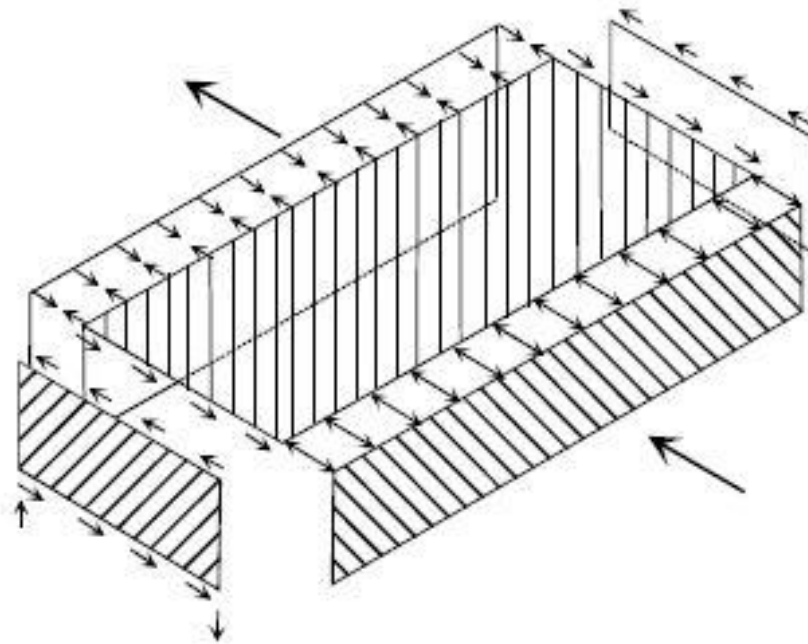
3.2 Kuormien siirto ja jäykistystapa

Pientalojen jäykistystapana on lähes poikkeuksetta levyjäykistys. Jäykistävät levyt sijaitsevat rakennusrungon ulko- tai sisäpinnassa, mahdollisesti välipohjassa ja yläpohjan alapinnassa. Levyjäykistys toimii sekä pituus- että poikkisuuntaisena jäykistysenä.

Pientalon jäykistysmitoituksessa otetaan huomioon yleensä pelkästään tuulesta aiheutuva vaakakuorma. Puolet tuulikuormasta siirretään seinän alaosan kautta suoraan perustuksille. Kattolappeeseen vaikuttava kuorma ja puolet sivuseinän kuormasta siirretään jäykistävälle vaakarakenteelle, eli ylä- tai välipohjalle, joiden kautta kuormat siirretään päätyseinien (tai sivuseinien) kautta perustuksille. Tässä tapauksessa voimia siirtävänä rakenteena toimii jäykkä väli- tai yläpohja.

Puinen ala- ja välipohjapalkisto jäykistetään useimmiten kiinnittämällä pontatut aluslattialevyt siten, että ne toimivat yhdessä koko rakennuksen vaakasuuntaisena levyjäykisteenä. Lisäksi palkistoa voidaan jäykistää palkkien väliin sijoitetuilla poikittaistuilla, jotka yhdessä kehäpalkin kanssa estävät palkkeja kaatumasta, sekä vähentävät palkiston värähtelyä.

Muut ratkaisut, kuten ontelolaatasto tai valettu betonilaatta, toimivat vaakasuuntaan luonnostaan levymäisinä, eikä niitä tarvitse yleensä erikseen jäykistää.



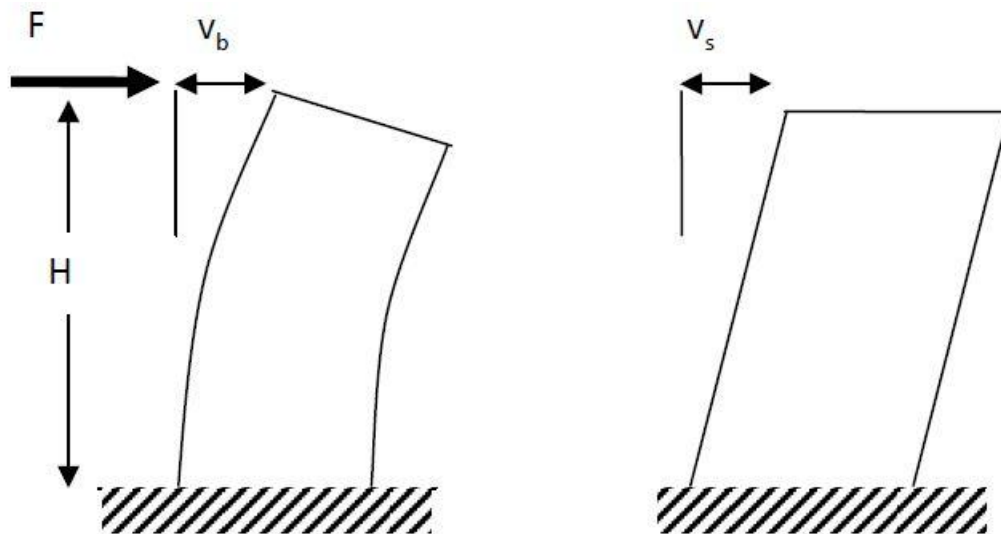
KUVA 5. Vaakakuormien siirto perustuksille (Lähde: VTT, Puurakenteiden jäykistys-suunnittelun ohje)

3.3 Rakenneosien jäykistys

Rakenneosien jäykistyksessä estetään stabiliteetin menettäminen tietyssä rakenteen osassa. Tämä voidaan tehdä vahvistamalla rakenneosaa tai tukemalla se muihin rakenteisiin siten, että kokonaisuudesta tulee riittävän jäykkä. Rakenneosien jäykistyksessä kuormia ei tarvitse välttämättä viedä perustuksille saakka.

Edellä mainitun kokonaisuuden muodostavat esimerkiksi kahden ristikon yläpaarteet ja näiden väliin rakennettu tukirakenne, joka estää yläpaarteiden nurjahtamisen sivulle.

3.4 Koko rakennuksen jäykistys



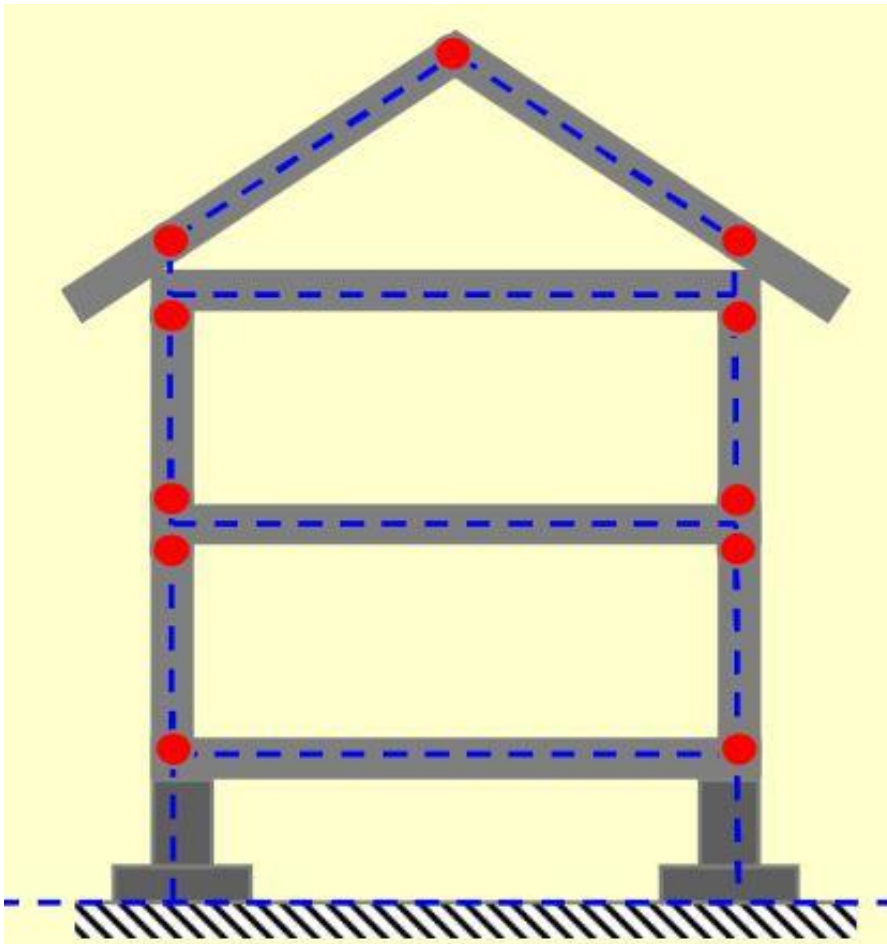
KUVA 6. Vasemmalla vaakarakenne toimii levynä, pystyrakenteiden päästessä taipumaan. Oikealla myös pystyrakenteet on jäykistetty toimimaan levynä.

Koko rakennuksen jäykistyksessä on huomioitava seuraavat asiat:

- rakennus ei kokonaisuudessaan kaadu
- jokaisen kerroksen seinät on jäykistetty
- ala-, väli- ja yläpohja on jäykistetty
- yksittäiset rakenteet ovat stabiileja

Jäykistykseen on jatkuttava tuelta tuelle, huomioiden rakenteiden ja nurkkien epäkeskisyydet. Lisäksi jäykistyksestä on huolehdittava rakennus- ja korjaustöiden aikana. Käyttörajan kuormat eivät saa aiheuttaa jäykistysseiniin halkeamia, eikä haitallisen suurien taipumien.

Rakenteiden kiinnitys toisiinsa on usein vaikeimmin suunniteltava ja toteutettava kohta koko rakennuksen jäykistyksessä. Rakenteiden tulee olla siten kiinnitetty, jotta ne eivät irtoa toisistaan, eikä myöskään liitoksien kohdalle aiheudu hallitsemattomia siirtymiä missään olosuhteissa. Vasta tämän jälkeen rakennuksen katsotaan olevan stabiili.



KUVA 7. Koko rakennuksen jäykistyksen kriittiset kohdat. Punaisten pisteiden alueet saattavat olla haastavia jäykistyksen kannalta.

4 RUNKORAKENNEVAIHTOEHDOT

Talon runko voidaan tehdä monesta eri materiaalista. Rakennustyyppit luokitellaan karkeasti puu- ja kivitaloihin, tarkempi jaottelu sisältää runkoaineiden mukaisen erittelyn. Runkoratkaisut voivat olla erilaisia puun ja kiven yhdistelmiä, täystiilitalo tehdään toisin kuin harkoista muurattu. Se, miltä talo ulospäin näyttää, ei kerro välttämättä mitään talon runkorakenteesta. Rungon ja julkisivun valintoihin vaikuttaa paljon myös rakentajien mieltymys niiden kestävyys- ja sopivuuteen suomalaiseen luontoon.

Rakennuksen rungon on kestävä koko rakennuksen ajattelun käyttöajan. Runkorakennusmateriaalien pitkäaikaiskestävyys on tärkeä seikka valintaa tehtäessä.

Pientalon runko muodostuu kantavista pysty- ja vaakarakenteista. Pystyrunkoina toimivat kantavat seinät ja pilarirakenteet, vaakarunkoina laatat ja palkkirakenteet.

Runkorakenteet voidaan toteuttaa monella eri tavalla. Vaihtoehtona on mm. puu- tai hirsirakenne, harkko, betoni tai poltettu tiili.

Talopaketeissa runkomateriaali on määritelty valmiiksi rakentajan puolesta. Yksilöllisesti paikalla rakennettavan talon osalta runkomateriaalin valintaan vaikuttaa suuresti koko rakennuksen budjetti.

4.1 Puu

4.1.1 Sahatavara

Yleisin rakennustapa on tehdä rakennukseen puurankarunko, jonka valitsee noin 3/4 rakentajista. Runko on helppo tehdä sahatavarasta, mutta suurin osa nykyisin toteutuvista puurankarunkoisista taloista on pakettitaloja. Myös platform- ja precut-järjestelmät soveltavat rankarungon periaatetta. Viime vuosina on yleistynyt myös polyuretaanin käyttö ulkoseinän sisäpinnalla. Näin päästään ohuempaan ja energiatehokkaaseen, sekä tiiviiseen seinään. Ulkopuolelle asennetaan joko tuulensuojalevy tai tuulensuojaeriste, tämän päälle kiinnitetään ulkoverhous.

Tiiliverhouksen yhteydessä jätetään 40 mm:n tuuletusväli ja puuverhouksessa minimissään 25 mm:n rako. Verhouksen taakse on taustan tuulettumisen varmistamiseksi järjestettävä ilmaraot alhaalle ja ylhäälle.

Puurungon hyvinä puolina voidaan pitää sen edullisuutta, sekä teollisessa tuotannossa, että paikalla rakentamisessa. Runko mahdollistaa erilaisia julkisivuvalintoja, mutta kuitenkin yleisimpiä ovat edelleen lauta- ja tiiliverhoukset.



KUVA 8. Puurunkoinen pientalo (Lähde: Suomirakentaa.fi)

4.1.2 Hirsi

Ulkonäkö- ja terveyssyyt ovat yleisimmät hirsirungon valintaan vaikuttavat tekijät. Hirsitaloa pidetään hengittävänä ja allergiaystävällisenä, siinä on myös oma tunnelmansa. Ulkonäköön vaikuttaa eniten se, kuinka hirsi on tehtaalla veistetty. Pyöreä hirsi valitaan useimmiten kesäasuntoihin ja höylähirsi omakotitaloihin. Nykyään nurkattomat kaupunkihirsitalot antavat mahdollisuuden rakentaa hirsitaloja myös asutuskeskuksiin. Hirsirungon valitsee noin joka kymmenes rakentajista.



KUVA 9. Hirsitalo

4.2 Muuratut rakenteet

Muurattaessa seinät tiilistä tai harkoista, tehdään yläpohja- ja vesikattorakenne kuitenkin yleensä puurakenteisena kuten puutaloissa. Sen sijaan välipohjat voidaan rakentaa kivimateriaalista, jolloin saadaan mm. äänieristykseltään hyviä rakenteita.



KUVA 10. Täystiilitalo (Lähde: Rakentaja.fi)

Perinteisten tiiliseinien ja kevytbetoni-harkkojen (Siporex) rinnalle ovat viime vuosien aikana tulleet lämpöhalkaistut kevytsora- tai betoni-harkot. Betonista valmistetaan myös ladottavia lämpöristettyjä harkkoja, joiden valutilat täytetään betonilla ladonnan yhteydessä. Harkkorakenteilla on mahdollisuus saavuttaa tiiviitä ja lämpimiä ulkoseiniä.

4.3 Betoni

Yksittäisiä omakotitaloja toteutetaan jonkin verran samanlaisista betonielementeistä (nk. sandwich-elementit), joista suurin osa kerrostaloistamme aina 60-luvun alusta alkaen on rakennettu. Betonielementtejä voidaan toimittaa pientalorakentajille myös elementtipiirustusten mukaan. Kellarin seinät voidaan koota betonielementeistä, vaikka yläpuolisten kerrosten rakenteet tehtäisiin muilla rakenteilla. Kellarin katto tehdään ki-virakenteena, jolla otetaan vastaan mahdolliset maanpaineet ja sidotaan elementit toisiinsa.



KUVA 11. Betonielementtitalo (Lähde: Rakentaja.fi)

Yleisin omakotitalon kellarin seinä on edelleenkin paikalla tehty, joko betonista valettu tai nykyään yhä useammin harkoista muurattu rakenne. Valittaessa rakennuksen väliseinien, välipohjien, ym rakenteita, on itse rakenteen teknisten ominaisuuksien lisäksi otettava huomioon niiden yhteensopivuus, materiaalien saatavuus, sopivuus rakennusajan kohtaan, ja monia muita tekijöitä.

4.4 Teräs

Pientaloja tehdään käytännössä todella harvoin teräsrunkoisina. Terästä voidaan käyttää esim pilareissa tai palkeissa, kun rakenteelta vaaditaan pitkän jännevälin lisäksi myös hoikkuutta.

Teräsrakentamista on kokeiltu pientaloihin ja joskus on rakennettu muovisiakin pientaloja, mutta kumpikaan materiaali ei ole ainakaan vielä yleistynyt pientalomarkkinoilla. Teräsrakenteisen tolpparunkoisen pientalon rakenteet on esitetty RT - ohjekortissa RT 82-10695 (vuodelta 2000).

5 ULKOSEINÄRAKENTEET

Yleisin pientalon ulkoseinärakenne on viime vuosina ollut tolpparunkoinen puuseinä, joka on eristetty mineraalivillalla ja verhottu ulkoa joko puulla tai tiilellä. Tolpparunko korvasi hirsirungon jälleenrakennuskaudella, jota ennen lamasalvostekniikalla valmistettu hirsirakennus oli ollut koko tunnetun asutushistorian ajan ainoa puutalorakenne. Tolpparunko tehdään joko paikalla, tai rakenteet asennetaan elementteinä.

Perinteinen tolpparunko voidaan toteuttaa nykyisin myös nk pre-cut-järjestelmällä, jossa runkorakenne toimitetaan työmaalle valmiiksi katkottuna ja numeroituna puutavarana. Lähinnä puukerrosrakentamiseen kehitettyä platform-menetelmää on alettu käyttää myös pientalorakentamisessa. Rakentamistapa on yleinen Pohjois-Amerikassa ja Kanadassa. Menetelmässä rakennetaan ensin vaakarakenne ja sen päältä tason päälle tulevat seinät ja edelleen seuraava vaakataso ja seinät jne. Suomalainen nimitys onkin lähinnä tasorakennejärjestelmä.

Pientaloja on tehdään aiempaa runsaammin myös kivirakenteisina. Seinät ovat joko tiili- tai betonirunkoisia, nykyään käytetään yhä useammin myös erilaisia harkkorakenteita.

Käytetty rakennusoikeus laskettiin aiemmin suoraviivaisesti kerrosalana, eli ulkoseinien ulkopintojen rajoittamana alana. Nykyisten määräysten mukaan rakennusoikeuden saa ylittää siltä osin, mikä menee ulkoseinän sisimmän 250 mm paksuisen osan ulkopuolelle. Näin ulkoseinä voidaan valita ilman, että rakennusoikeus vaikuttaa valintaa rajoittavasti.

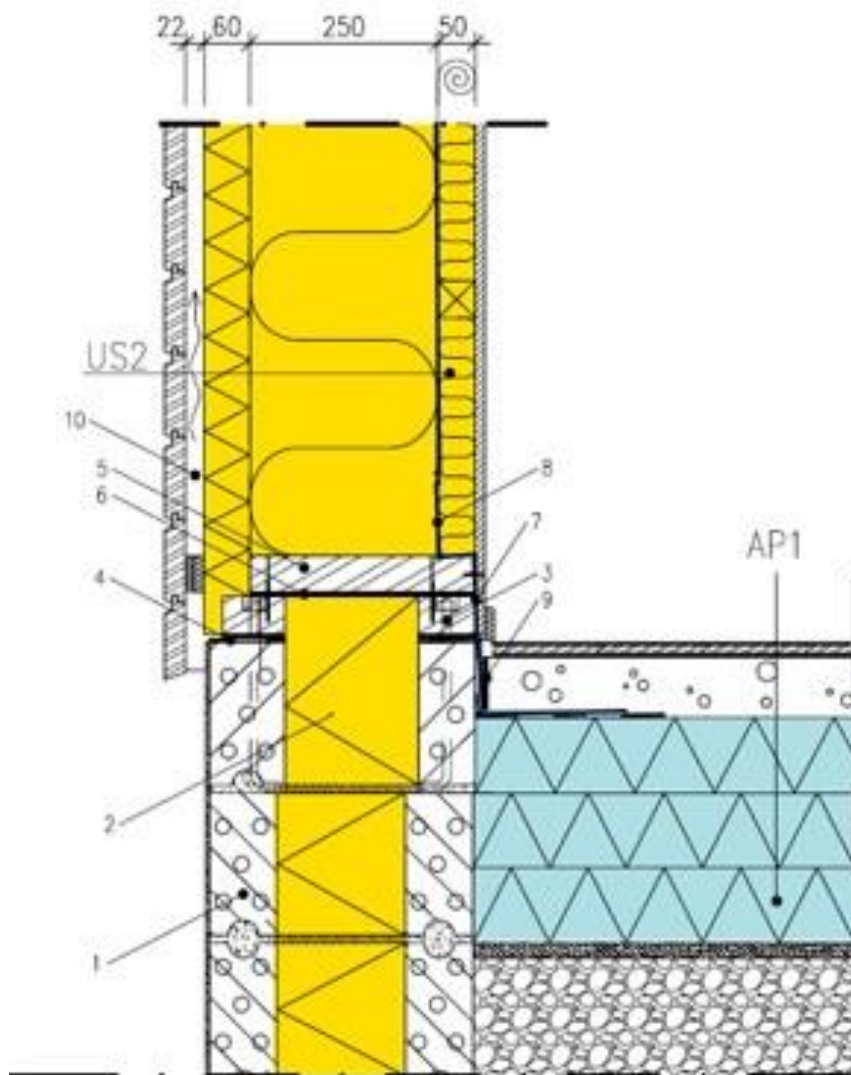
5.1 Puurunko

5.1.1 Sahatavara

Puurunko tehdään suoraan eristelevyyteen 600 mm:n jaotuksella, joka tehdään usein noin 50 mm paksusta ja 148–200 mm leveästä lankusta, joka koolataan ristiin n. 50 x 48–100 mm puutavaralla. Tämä, yhdessä kantavien väliseinien kanssa, riittää kantamaan seinien oman ja yläpuolisten rakennusosien painon. Paikalla rakennettaessa voi-

daan käyttää lisäksi noin 50 mm vaaka- tai pystykoolausta eristeineen, jolloin kylmäsillat saadaan mahdollisemman hyvin katkaistua.

Puurungossa on välttämätöntä käyttää sisäpuolista höyrynsulkua, koska rakenne ei itsessään ole höyrytiivis, eikä pysty sitomaan sisäilman kosteutta. Höyrynsulku asennetaan ja tiivistetään huolella, jotta se täyttää vaatimukset ja toimii suunnitellulla tavalla. Tärkeää on myös se, että höyrynsulkuna käytetään nimenomaan siihen tarkoitukseen valmistettua höyrynsulkumuovia. Puukuituisten eristeiden yhteydessä voidaan hyväksyä myös tiiviin paperin käyttö, koska puukuidulla on jonkin verran kykyä sitoa ja luovuttaa kosteutta.



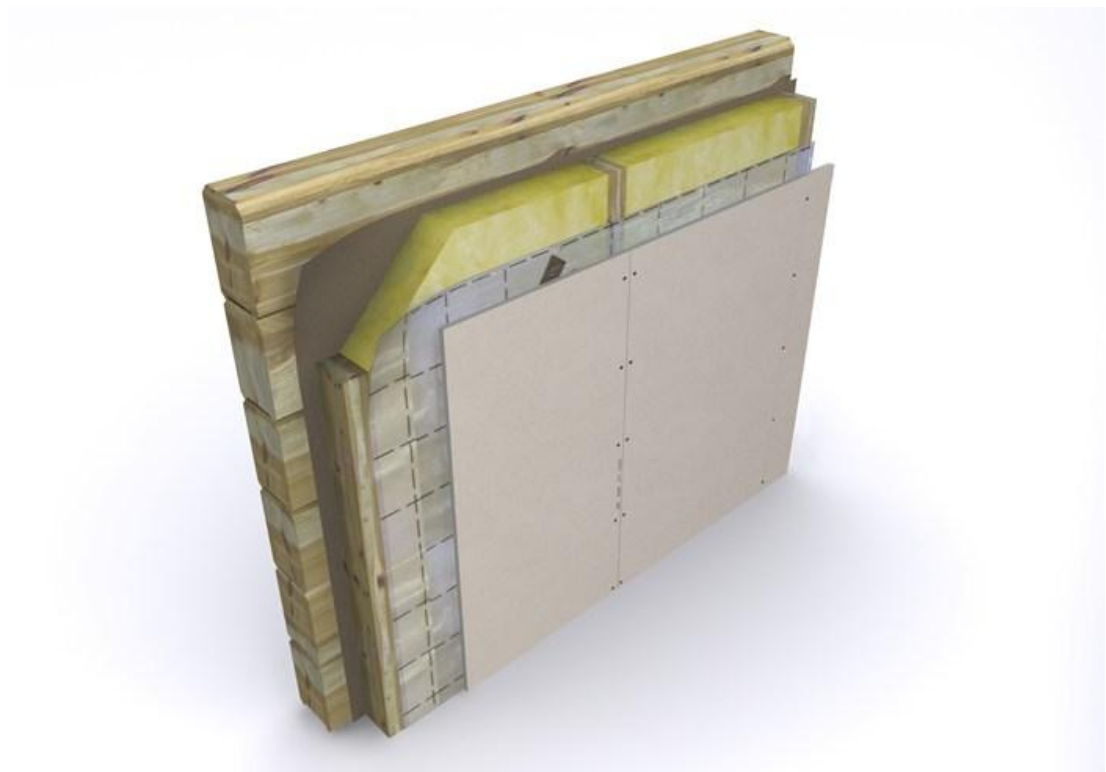
KUVA 12. Puurunkoisen ulkoseinän leikkaus (Lähde: Isover.fi)

5.1.2 Hirsirunko

Omakotitalojen hirsi on yleensä höylähirttä. Hirsitalovalmistajat ovat kehittäneet moderneja nurkattomia talomalleja, jotka sopivat myös taajamarakentamiseen perinteisiä hirsitaloja paremmin.

Massiivihirsitalon ulkoseinät rakennetaan yksiaineisena pelkästä hirrestä ilman sisä- tai ulkopuolisia eristeitä. Sitä pidetään kosteusteknisesti turvallisena rakenteena. Massiivihirsiseinä ei välttämättä täytä sinällään tiukimpia lämmöneristysmääräyksiä, mutta sitä voidaan kompensoida muiden rakennusosien paremmalla lämmöneristyksellä sekä hyvän hyötysuhteen ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla. Yhdistelmärakenteissa hirren sisä- tai ulkopuolelle voidaan asentaa erillinen lämmöneristekerros.

Hirsirakenteinen talo jäykistetään sitomalla hirsikehät toisiinsa. Hoikissa rakenteissa asennetaan terästankoja tiheämpään, jotta rakenne kestää sille tulevat kuormat.



KUVA 13. Hirsiseinän rakenne sisäpuolisella lisäeristyksellä (Lähde: Isover)

5.2 Muuratut rakenteet

5.2.1 Harkkorunko

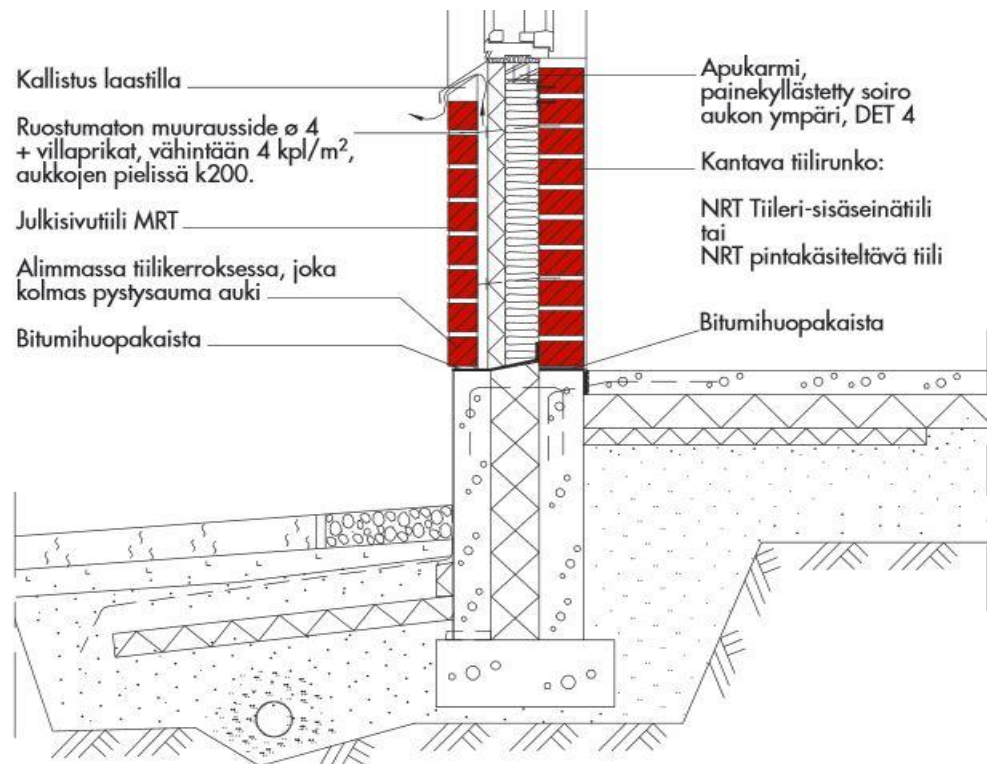
Kevytsoraharkot ovat yleisin perustuksissa käytettävä sokkelimateriaali, mutta siitä on helppo toteuttaa myös koko talon runko. Kevytsoraharkon valitsee noin 5 % rakentajista.

Ulkoseinissä käytetään yleensä lämpöeristettyjä harkkoja, jotka muurataan ilman pystysaumoja. Harkkorakenteisen talon julkisivu voidaan rapata kaksi- tai kolmikerrosrapauksella. Sisäpuoli esim. tasoitetaan ja maalataan tai se voidaan myös koolata ja päällystää rakennuslevyllä, mikä on omatoimiselle rakentajalle rappausta helpompi tapa sisäseinien suoristamiseksi. Rakentajat arvostavat muiden kivitalovaihtoehtojen tapaan ratkaisun kestävyyttä ja pitkäikäisyyttä. Ulkopinta rapataan, kevytsoraharkkoseinään pätee myös tärkeänä valintatekijänä ulkonäkö.

5.2.2 Tiilirunko

Useimmiten puhutaan tiilitalosta, vaikka vain pelkkä julkisivu on tiiltä. Aidossa tiilitalossa sekä kantava runko, että julkisivut muurataan tiilestä. Sisämuuri muurataan joko normaalilevyisistä tiilistä, tai nykyään useimmiten runkoponttitiilistä, jotka muurataan ohutsaumausmenetelmällä. Ulkovuoraukseen käytetään julkisivutiiltä, joka tuetaan runkomuurin tiilisiteisiin. Tiilimuurien väliin sijoitetaan lämmöneristekerros, tuulen suoja ja ilmarako. Täystiilitalojen osuus on 1-2 % luokkaa uusista omakotitaloista.

Täystiilitaloa on pidetty jo pidemmän aikaa kestäväenä ja helppohoitoisena vaihtoehtona. Sisäpuoli usein tasoitetaan ja pinnoitetaan. Päinvastoin kuin muissa kivitalovaihtoehtoissa, ei tiilitalon julkisivua yleensä rapata tai muutenkaan pintakäsitellä. Julkisivutiilien malleja eri pinta- ja väri vaihtoehtoilla löytyy useita.



KUVA 14. Kantavan täystiiliseinän rakenne (Lähde: Tiileri)

5.2.3 Siporex

Siporex-harkko toimii samanaikaisesti sekä kantavana elementtinä, että lämmöneristeenä. Siporex-seinä tehdään yhdellä muurauskerralla mittatarkoista harkkoista sekä aukkopalkkeista (kuva 26). Siporex-seinä jäykistyy liimaussauaman avulla joka suuntaan levymäiseksi rakenteeksi. Lisätukia saadaan tarvittaessa väliseinistä.

5.3 Betonirunko

Betonirunkoinen talo voidaan rakentaa joko tehdasvalmisteisista betonielementeistä tai paikalla valaen, mutta yleisimmin nykyisin lämpöeristetyistä betoniharkkoista. Muottiharkkoja ei muurata, vaan ne ladotaan päällekkäin 1/3- kiven limityksellä. Raudoitteet sijoitetaan niille suunniteltuihin hahloihin harkkojen väliin. Lopuksi ladonta valetaan täyteen betonilla.

Kestävät ja kantavat betonirakenteet voidaan toteuttaa täysin halutun muotoisina. Ratkaisu on erityisen hyvä yksilöllisesti suunniteltuihin taloihin.

Julkisivut usein rapataan, myös tiili- tai puuverhoukset mahdollisia.



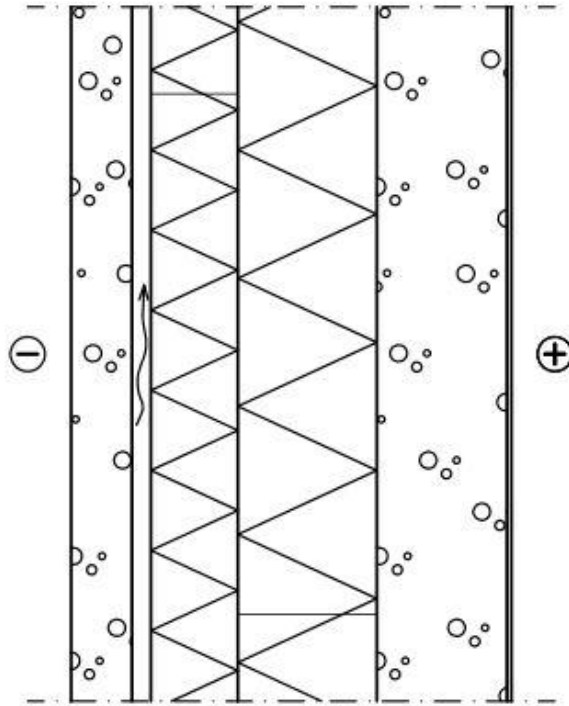
KUVA 15. Betoniharkkoseinä (Lähde: Elementtisuunnittelu.fi)

5.3.1 Kevytbetonirunko

Kevytbetonirunko rakennetaan huokoistetusta ja karkaistusta betonista valetuista harkkoista ohutsaumamenetelmällä. Kevytbetonista valmistetaan myös palkkeja ja väliseinälaattoja. Keveitä harkkoja on helppo työstää ja niillä voidaan toteuttaa hyvin monimuotoisia rakenteita. Erillistä lämmöneristyskerrosta ei tarvita. Julkisivu voidaan joko rapata, verhoilla tiilellä, tai puulaudoituksella.

5.3.2 Betonielementti

Yleisin betonielementtiseinätyyppi on betonisandwich-rakenne. Betonielementtiseinä koostuu betonisesta sisä- ja ulkokuoresta ja niiden välissä olevasta lämmöneristeestä. Eristeenä käytetään tuuletuksen aikaansaamiseksi yleensä jäykkää mineraalivillaeristettä. Elementit kiinnitetään jäykästi kaikilta reunoiltaan, jolloin ne toimivat levyrakanteina, tukeutuen ja jäykistäen toisensa.

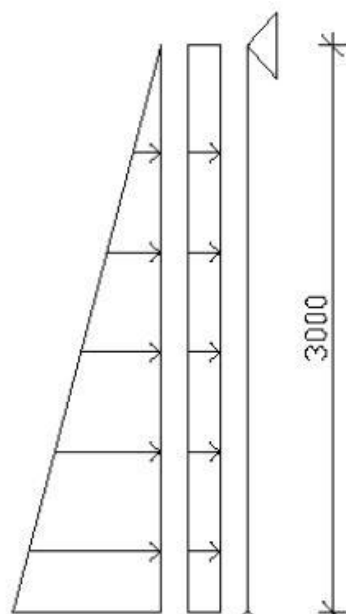


KUVA 16. Betonielementtiseinän leikkaus (Lähde: Rakentaja.fi)

5.4 Maanpainesseinä

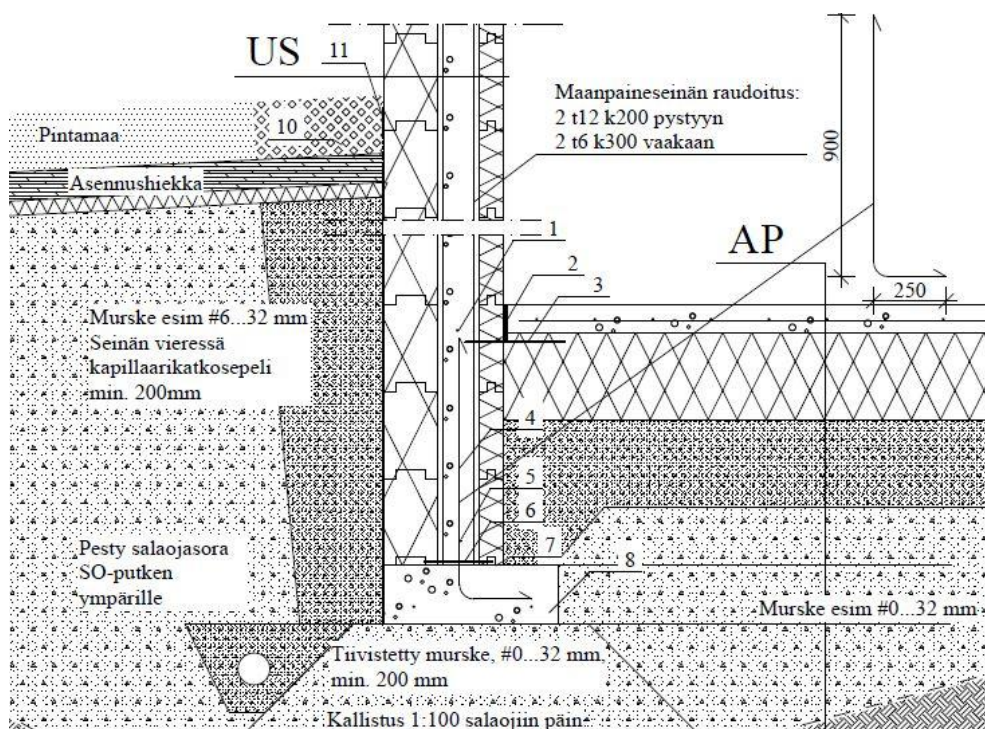
Rakennuksen seinistä suurimmat pystykuormitukset kohdistuvat yleensä kellarin sei-
niin. Kellarin seinät toimivat usein myös rakennuksen jäykistävinä osina ja niitä rasittaa
lisäksi maanpaine. Tämän vuoksi kellarin seinät tehdään yleensä raudoitettu-
na. Raudoitus toteutetaan joka vaakasuuntaisena (harkkoseinät) tai pystysuuntaisena
(elementti- ja paikallavaluseinät).

Kellarin seinien suositeltavat paksuudet ovat 160, 180, 200 ja 240 mm. Käytettävä pak-
suus määritellään kuormitusten mukaan. Seinään vaikuttava kuorma muodostuu maan
paineesta, joka kasvaa lineaarisesti syvyyden funktiona. Kuormaa muodostaa myös sei-
nän vieressä vaikuttava pintakuorma, jonka lasketaan lisäävän seinän painetta maan
tiivistymisen johdosta. Tämän kuorman lasketaan vaikuttavan tasaisen suuruisena koko
seinän matkalla, joskin kuorman täsmällistä arvoa on erittäin vaikeata määrittää.

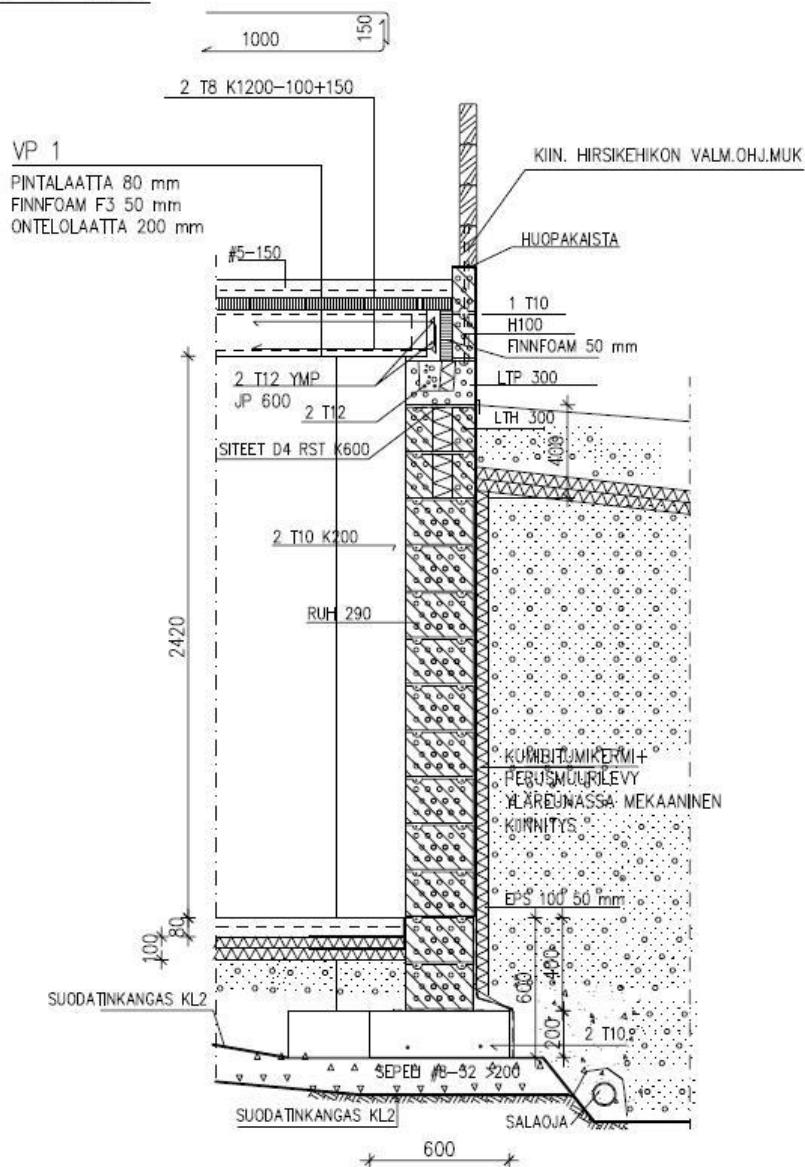


KUVA 17. Maanpaineseinän kuormat. Vasemmalla maanpaineen kolmiokuorma ja seuraavana tiivistymisestä aiheutuva tasainen kuorma.

Kellarin seinien yläpuolinen runkojärjestelmä vaikuttaa seinien rakenteeseen. Pilari-palkkirunkoisissa rakennuksissa on edullisinta viedä elementtipilarit kellarin lattian tasoon, jolloin kellarin seinät voivat olla suoria levyjä. Asennusaikana seinät voidaan tukea suoraan pilariin.



KUVA 18. Maanpaineseinäelementti, pystyraudoitus (Lähde: Rakentaja.fi)

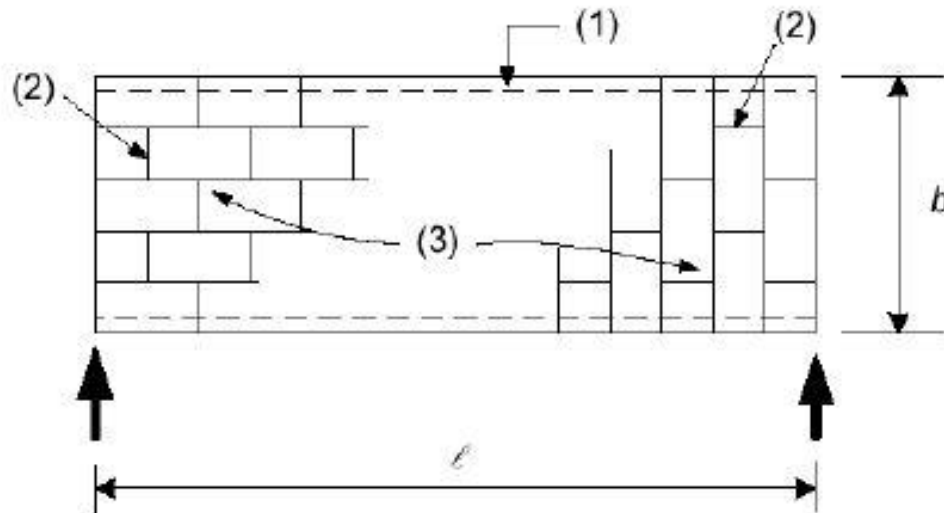


KUVA 19. Harkkorunkoinen maanpaineseinä, vaakaraudoitus (Lähde: Rakentaja.fi)

5.5 Maanpaineseinän jäykistäminen

Maanpaineseinissä kuormat otetaan vastaan vetorausdoituksella. Maanpaineseinän toimintaan vaikuttaa sen rakenne. Harkkorunkoinen seinä raudoitetaan vaakasuuntaan, kun elementti- ja paikallavaluseinä puolestaan pystysuuntaan. Seinä ankkuroidaan perustuksiin, sekä ala-, väli- ja yläpohjaan, jotka toimivat rakenteen jäykistävinä osina. Maanpaineseinässä käytetään tarvittaessa jäykisteenä väliseinää.

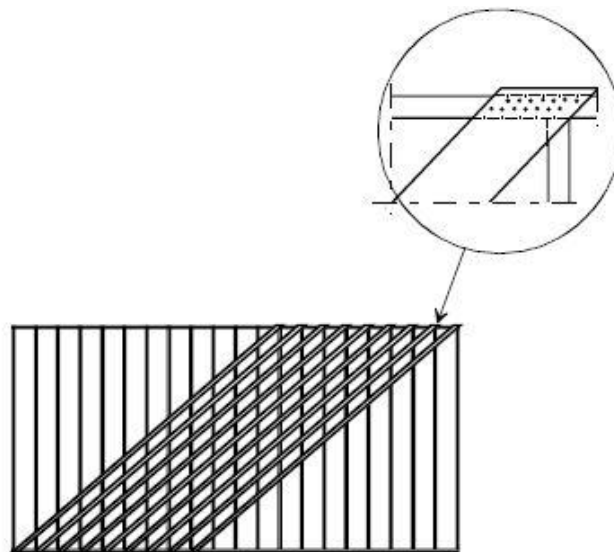
5.6 Puuseinän jäykistäminen



KUVA 20. Jäykistävä levykenttä (Lähde: VTT, Puurakenteiden jäykistys suunnittelun ohje)

Jäykistävän levykentän tehtävänä on siirtää seinille ja kattoon kohdistuvat vaakakuormat päätyseinille. Tämä rakenne voidaan mitoittaa rungon syvyisen korkuisena palkkina. Kun seinien jäykistys hoidetaan levyjäykistyksellä, niin on muistettava, että käytettäessä rungon ja levyn välissä koolausta, levyn jäykistävä vaikutus pienenee jopa 75 prosenttia.

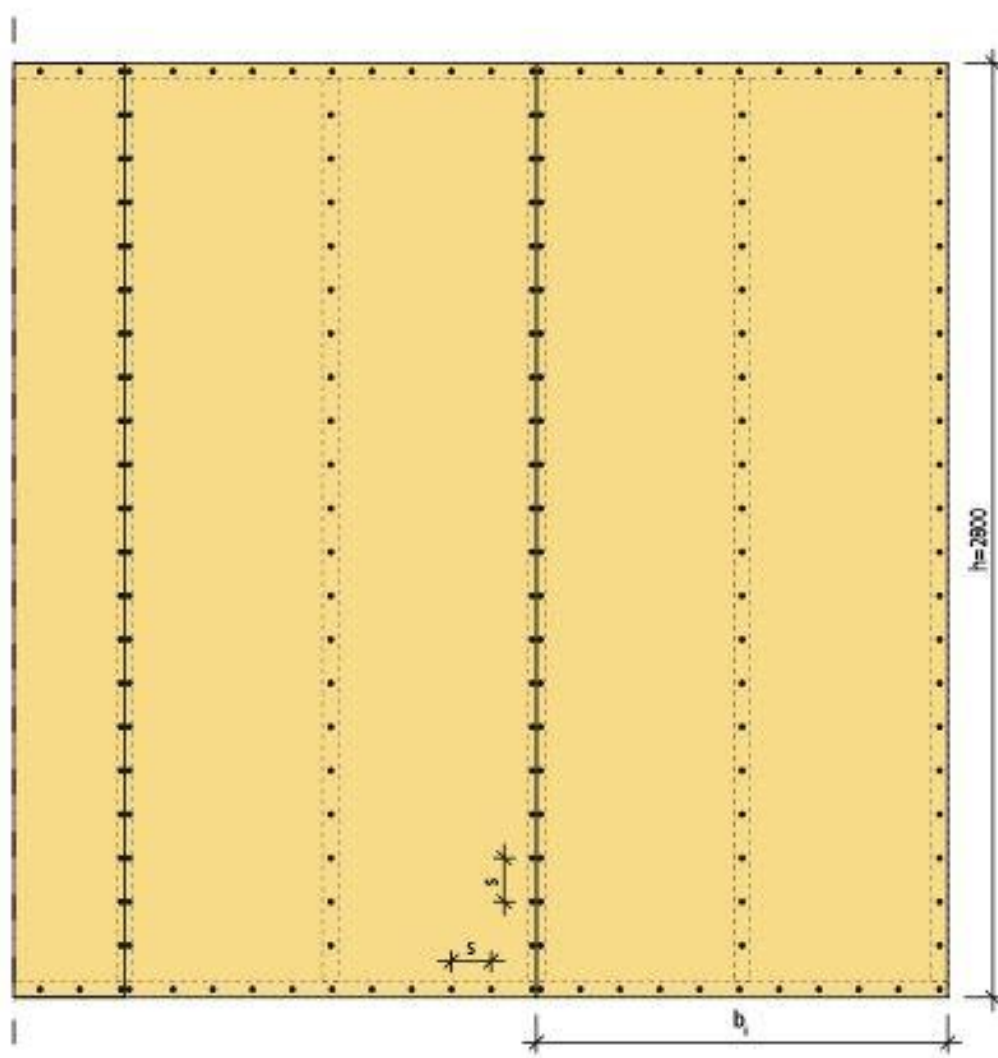
Sama huomio koskee myös välipohjan ja katon jäykistystä. Koolausta käytettäessä on suositeltavaa jäykistää runko vinolaudoituksella. Sisäpuoliseen koolaustilaan mahtuu sopivasti vinolaudoitusta 45 asteen kulmassa esim. seinien nurkkiin asennettuna.



KUVA 21. Seinän jäykistys vinolaudoituksella (Lähde: VTT, Puurakenteiden jäykistys-suunnittelun ohje). Kuvan liitos täytyy suunnitella huolella, kuten muutkin puurakenteiden liitokset, jotka halkeilevat erittäin herkästi.

Ulkopuolista ristiinkoolausta käytettäessä sisempi koolaus voisi myös olla 45° kulmassa, jolloin se runkoon suoraan kiinnitettynä toimii erinomaisesti jäykistävänä rakenteena.

Suurempien rakennuksien suunnittelussa tulee lisäksi huomioida kuormitusnormien mukaiset lisävaakavoimat, jotka aiheutuvat pääasiassa katon ja välipohjan omasta painosta, sekä lumi- ja hyötykuormista, ja niiden epäkeskisyydestä.



KUVA 22. Seinän levyjäykistys (Lähde: Puuinfo). Levyn nurkkien liitokset estävät levyn kiertymisen, jolloin seinä toimii jäykkänä levykenttänä.

Seinän levyjäykistysohjeessa kerrotaan liittimien tyyppi ja tiheys, sekä pysty- että vaakasuunnassa. Levy kiinnitetään myös keskeltä, jos sen alueella sijaitsee runkotolppia. Jokaisen jäykistävän osaseinän nurkat ankkuroidaan pysty- ja vaakavoimat huomioiden. Liittimet toimivat samalla myös runkotolppien nurjahdustukena tolppien heikompaan suuntaan.



KUVA 23. Rungon ankkurointi perustuksiin (Lähde: Puuinfo)

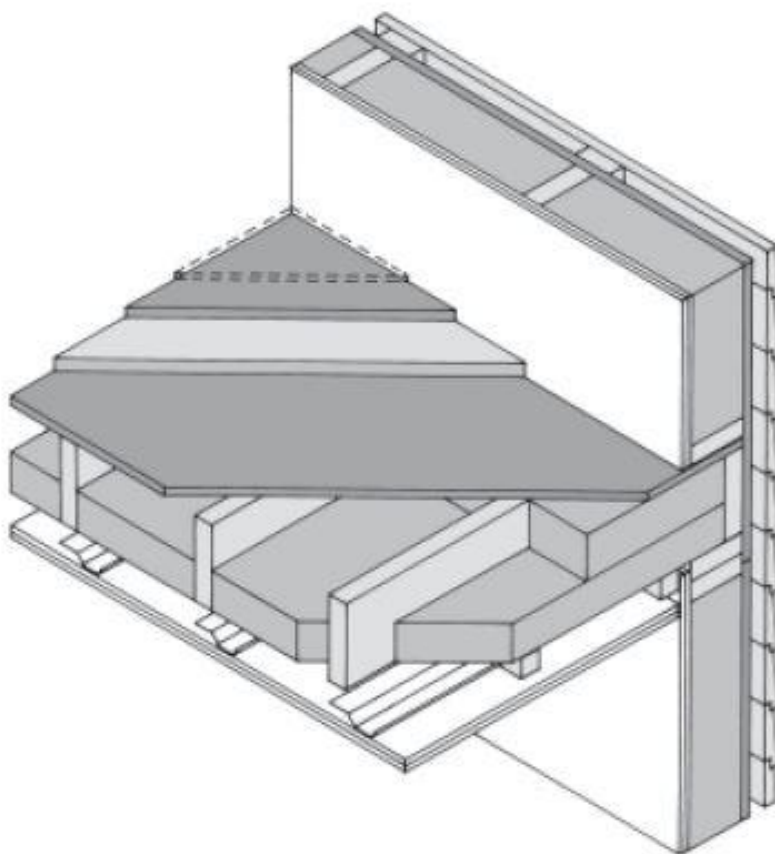
Seinä pitää muistaa myöskin ankkuroida huolella perustuksiin, jotta kaikki voimat saadaan siirrettyä maahan saakka. Tuulikuorma yrittää siirtää seinää sivusuuntaisen voiman lisäksi myös ylöspäin.

6 VÄLIPOHJARAKENTEET

6.1 Puurakenne

Puurakenteiset ala- ja välipohjarungot koostuvat palkeista, niihin kiinnitetystä aluslattialeevystä ja kehäpalkista, joka kiertää rakennuksen kauttaaltaan. Ala- ja välipohjapalkit ovat periaatteeltaan samanlaisia. Erot niiden runkorakenteissa johtuvat pääasiassa alapohjan lämmöneristyksestä. Ala- ja välipohjapalkit kiinnitetään aina kantavan rakenteen päälle. Alapohja voidaan toteuttaa myös maan varaisena laattana.

Puolitoista- ja kaksikerroksisissa rakennuksissa alakertaan tulee tavallisesti ainakin yksi kantava linja. Tämä johtuu siitä, että välipohjapalkisto tarvitsee välituen. Jos talossa on ristikkorakenteinen yläpohja, linjan paikka voidaan päättää palkiston ja alakerran tilajajon kannalta suunniteltuna. Talossa jossa on palkkirakenteinen yläpohja, alakerran kantava linja sijoitetaan samalle kohdalle kuin yläkerrassa.

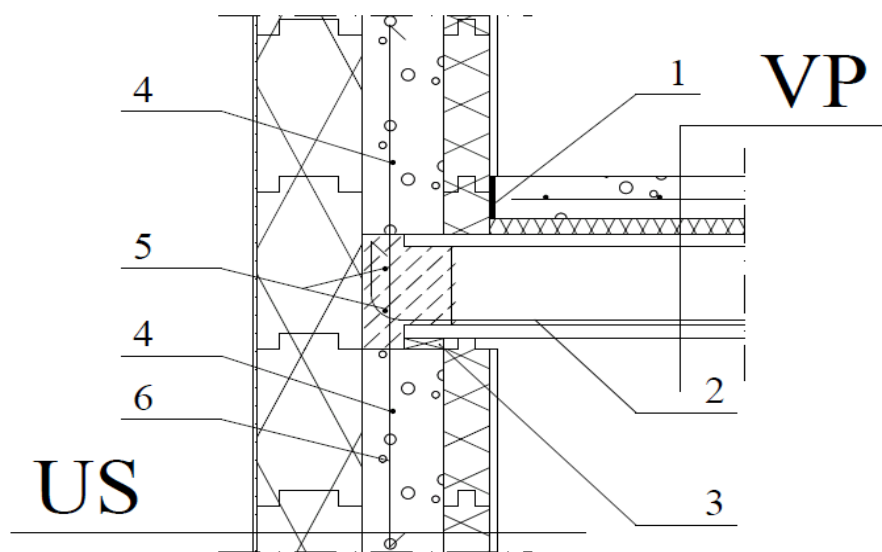


KUVA 24. Puisen välipohjan liitos (Lähde: Puuinfo). Kyseisessä liitoksessa ongelmana on sivuttaisen siirtymän hallinta, koska liitos pyrkii toimimaan nivelenä.

6.2 Ontelolaatta

Ontelolaatat ovat kustannustehokas ja nopea tapa tehdä rakennusten välipohjia ja kattoja. Ontelolaatan jänneväli on pitkä, 265 mm vahvana noin 12-14 metriä, joka voidaan huomioida rakennuksen runkoa suunniteltaessa.

Ontelolaattojen hyvänä puolena toimii myös nopea ja vaivaton asentaminen, kun suuri osa muotti-, raudoitus-, valu- ja purkutöistä jää pois. Asennustöitä nopeuttaa omalta osaltaan työmaalla laattaan tehtävien läpivientien helppous.



1. Solumuovikaista
2. Saumateräs T10 L=1000mm
3. Korokepala, yksittäinen pala enintään 20mm
4. Rengasteräs T10
5. Ontelolaataston rengasteräkset 2kpl T10
6. Tartuntateräs T10 k900 L=1000mm

US
- Neopor-valumuottiseinä (2-1001)

VP
- Ontelolaatta välipohja (6-1001)

KUVA 25. Ontelolaatan pään liitos seinään (Lähde: Rakentaja.fi).

6.3 Siporex-laatat

Siporex-laattoja valmistetaan pientalopuolelle 1-6m jänneväleihin. Elementeissä on koko matkalla poikkileikkaukseltaan muuttumaton raudoitus ja päissä poikittaiset ankkuritangot. Elementtien vakioleveydet ovat 300mm, 450mm ja 600mm, paksuuden ollessa yleensä joko 250mm tai 300mm.



KUVA 26. Siporex-laataston asennus

6.4 Paikallavaluholvi

Betonista paikallavalettu välipohja on ristiin raudoitettuna jäykkä rakenne joka suuntaan. Rakenteen suurimpia huomioita suunnitteluun aiheuttaakin sen paino, asennuksen aikainen tuenta ja reunojen kiinnitys. Ääni- ja värähtelyominaisuuksiltaan rakenne toimii hyvin.

6.5 Elementit

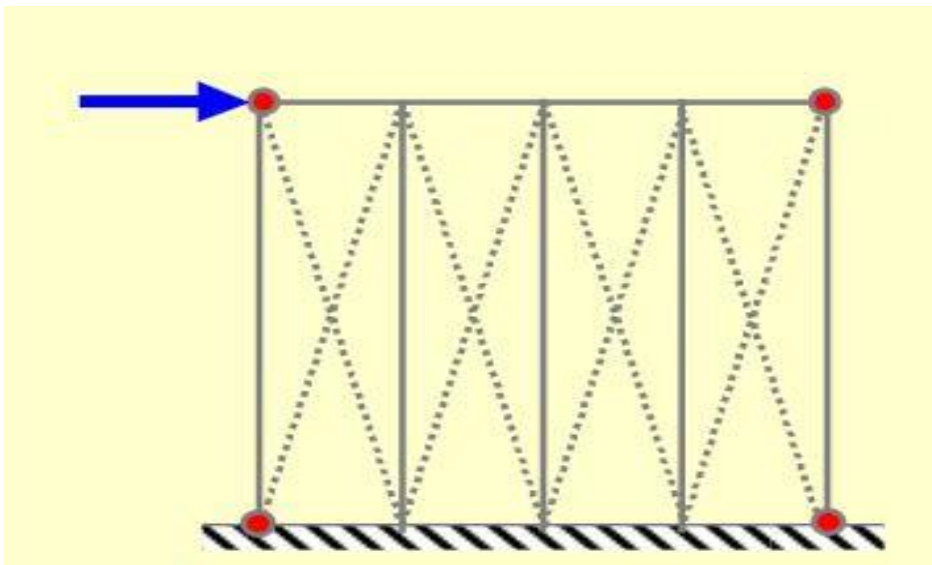


KUVA 27. Välipohjaelementti, 260mm eristeellä (Lähde: Rakentaja.fi)

Välipohjaelementtejä valmistetaan useasta eri materiaalista. Kaikkien vaihtoehtojen suunnittelussa lähtökohtana on rakenteen toiminta levymäisenä jäykistävänä laattana.

6.6 Puurunkoisen välipohjan jäykistys

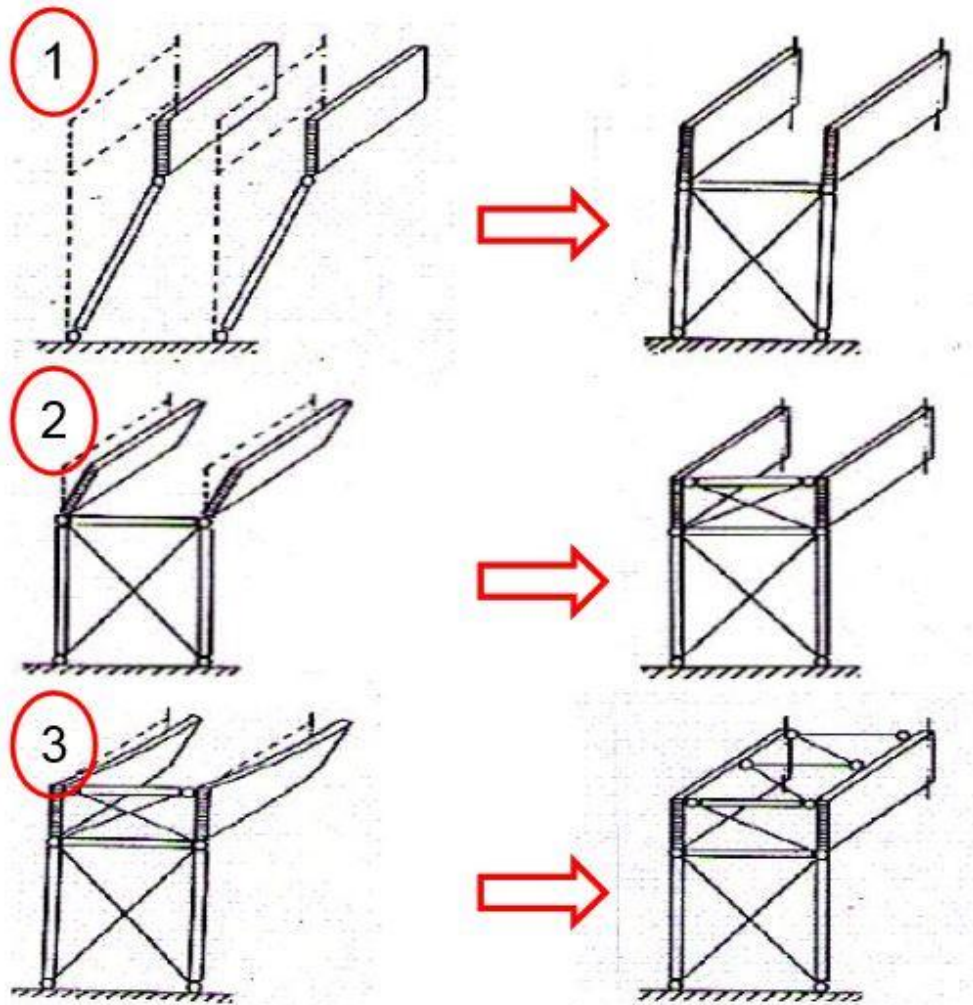
Välipohjan jäykistys täytyy aina toteuttaa erikseen, jos välipohja rakennetaan paikalla puutavarasta. Jäykistyksellä saadaan välipohja toimimaan levynä, joka oikein kiinnitettyä siirtää sivuseinään kohdistuvan tuulikuorman päätyseinään, ja päinvastoin.



KUVA 28. Palkkien päät pääsevät siirtymään nuolen suuntaan ilman jäykistystystä



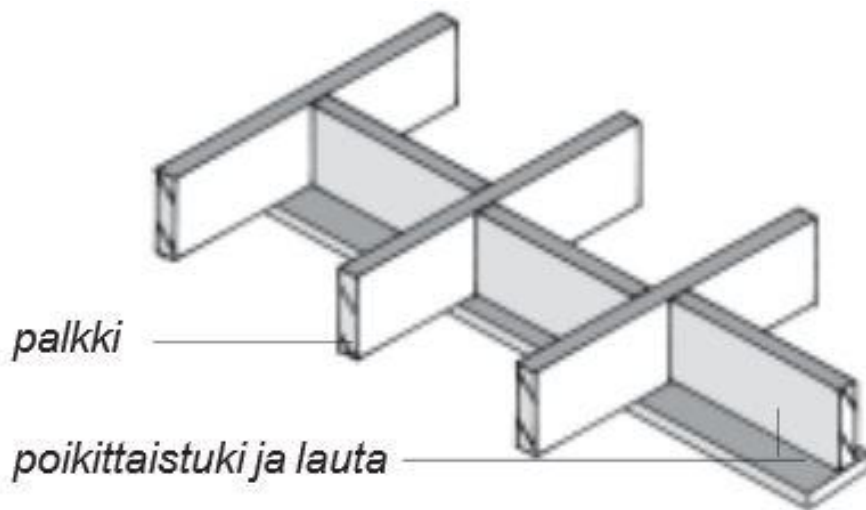
KUVA 29. Välipohjapalkisto (Lähde: Rakentaja.fi)



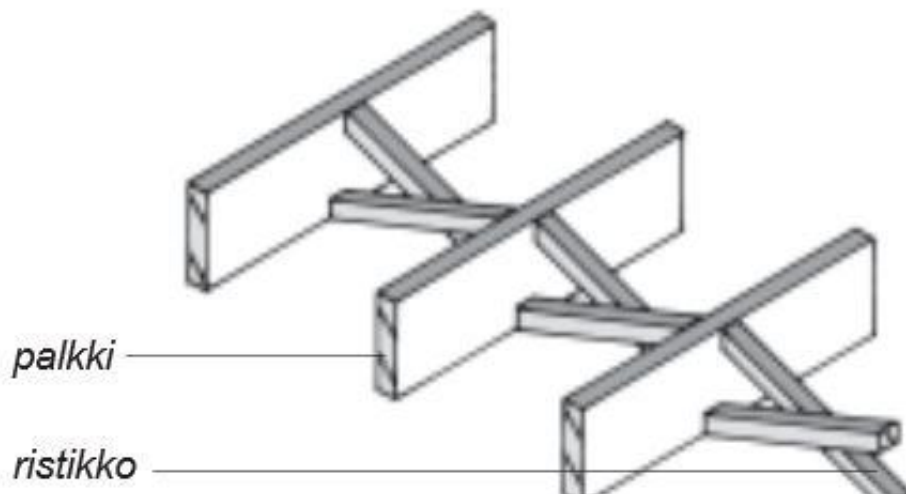
KUVA 30. Palkiston tuenta ja jäykistys

Kehäpalkki kiertää rakennuksen kauttaaltaan. Se välittää seiniin kohdistuvia kuormia ja estää siihen kiinnitettyjen palkkien kaatumisen. Aluslattialevy kiinnitetään palkkien päälle ja se ulottuu kehäpalkin ulkoreunaan. Oikein kiinnitettynä aluslattialevy toimii koko rakennuksen vaakasuuntaisena jäykisteenä ja myös työalustana seuraavan kerroksen pystyrakenteita koottaessa.

Palkiston värähtelyn ja taipumien hallinta tekee puisista vaakarakenteista miellyttäviä käyttää. Lisäksi palkistoa voidaan jäykistää palkkien väliin sijoitetuilla poikittaistuilla. Poikittaistuet jakavat pistemäiset kuormat yhden palkin sijasta usealle palkille ja tasaa-
vat palkistoon kohdistuvaa rasi-
tusta.



KUVA 31. Palkiston lisäjäykistys poikittaistuilla



KUVA 32. Palkiston lisäjäykistys ristikkojäykisteillä

Lisäjäykisteet tulee sijoittaa jokaiseen palkkiväliin. Jäykistelinjojen keskinäisen etäisyyden palkkien suunnassa tulisi olla enintään noin 2,1 metriä. Käytännössä jokaisella jännevälillä on siten vähintään yksi lisäjäykistelinja. Jäykisteet sijoitetaan vuoronperään limittäin siten, että ne voidaan kiinnittää päistä naulaamalla.

7 YLÄPOHJA

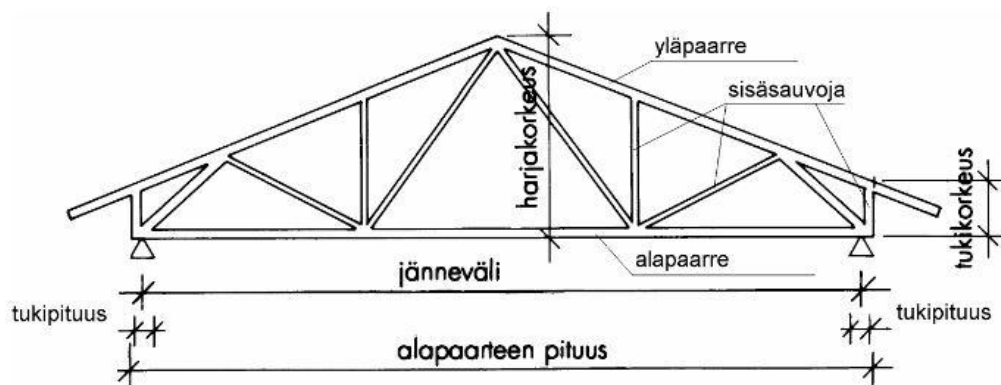
Yläpohjan täytyy kyetä siirtämään lumi- ja tuulikuormat seinien tai pilareiden kautta perustuksille. Yläpohjassa on oltava tarpeeksi paksu lämmöneristekerros. Yläpohjassa pitää olla toimiva tuuletus suoraan ulkoilmaan, jotta rakenteisiin tiivistynyt vesihöyry pääsee vapaasti poistumaan tuuletusilman mukana. Katon kantavat rakenteet sijaitsevat talon yläpohjassa.

Yläpohjat jaetaan rakenteen oman painon perusteella kevyisiin puuyläpohjiin ja raskaisiin kiviyläpohjiin. Pientalon yläpohja tehdään tavallisesti puurakenteisena, jolloin katon kantavat rakenteet voivat olla ristikoita, kehiä tai palkkeja. Puurakenteiden etuja ovat niiden keveys, asennustyön helppous ja hinta. Yläpohja voidaan tehdä myös kivirakenteisena joko ontelolaatoista, siporex-lankuista tai liittorakenteisena esim. kuorilaatatetekniikalla betonista. Edellytyksenä kivirakenteisen ratkaisun käytölle on, että myös talon runko on kivirakenteinen.

Vuosisadan alussa yläpohjissa käytettiin sahatavarapalkkeja tai kirveellä veistettyjä hirsä, jotka tukeutuivat harjaorteen ja ulkoseinille. 1950-luvun lopulla yleistyivät yksikerroksiset pientalot, joiden katon kaltevuuskulma muuttui huomattavasti vuosisadan alkuvuosikymmenien kattokaltevuutta loivemmaksi. Loivan harjakaton kantavaksi rakenteeksi yleistyi naulattu kattoristikko. 1970-luvulla alkoi kattoristikoiden teollinen valmistus, jossa liitokset toteutetaan naulalevyliitoksina. Näitä naulalevykattoristikoita kutsutaan NR-ristikoiksi. Myös palkkirakenteisia yläpohjia tehdään nykyisin paljon vinojen sisäkattojen suosion seurauksena.

7.1 Naulalevyristikot

Pientalon kantavana rakenteena NR-ristikko on osoittautunut edullisimmaksi vaihtoehdoksi niin urakoitsijoille, kuin myös paikallarakentajille. Äärimmäisen harvoin paikallarakentajakaan ryhtyy naulaamaan ristikoita työmaallaan pitkästä tavarasta, vaan valmisristikot tilataan tehtaalta työmaalle ja nostetaan suoraan paikoilleen rungon päälle.



KUVA 33. Naulalevyristikon rakenne

Yleisin ristikoiden jako eli kk-väli on pientaloissa k900, jolloin vierekkäisten ristikoiden väli on 900 mm. Myös jako k1200 on yleisesti käytössä. NR-ristikon suunnittelee juuri tähän erikoistunut suunnittelutoimisto tai kattotuolitehtaan oma suunnitteluosasto. Talohankkeen varsinainen rakennesuunnittelija laatii tätä varten kattotuolikaavion, jossa näkyy kattotuolin päämitat, kattokaltevuus, kuormitukset, jakoväli ja erilaisten kattotuolityyppien määrä. Edullisinta on pyrkiä minimoimaan kattotuolityyppien määrä, koska jokainen uusi ristikkotyyppi lisää suunnittelijan ja tuotantolaitoksen työmäärää ja samalla ristikkotoimituksen hintaa. Rakentajan on helppo pyytää ristikkovalmistajilta tarjouksia kattotuolikaaviolla. Valmistajan tarjoukseen sisältyy myös lopullisten ristikkosuunnitelmien tekeminen.

7.2 Kehärakenne

Kehärakenteet tehdään kuten ristikot, mutta ne kuljetetaan yleensä työmaalle osina, jotka kootaan rakennesuunnitelman mukaan katolla toimiviksi kehärakenteiksi. Kehärakenteella saadaan ullakolta käyttöön huonetilaa tai käyttöullakotilaa, koska kehärakenteen keskialueella ei ole pysty- tai vinotukia avointa tilaa pirstomassa. Tyypillinen käyttökohde kehille- on puolitoistakerroksinen elementtirakenne puutalo, jossa katon kaltevuus on vähintään 1:3.

7.3 Palkkirakenne

Vinojen sisäkattojen kantava rakenne voidaan toteuttaa kerto- tai liimapuupalkeilla. Vino sisäkatto saadaan aikaan asentamalla palkit kaltevaan tasoon, jolloin palkkien vä-

liin jäävä tila täytetään eristeellä. Vinoissa sisäkatoissa voidaan käyttää myös erikoisvalmisteisia NR-ristikoita, kuten saksiristikoita tai pulpettiristikoita.

Tässä vasarakenteeksiin kutsutussa yläpohjassa harjan palkki (hirsitalossa nk kurkihirsi) on yleensä melko massiivinen, koska sille tulee suurin osa katon lumikuormasta. Tämä täytyy huomioida myös jäykistystä suunniteltaessa.



KUVA 34. Hirsirakennuksen palkkirakenteinen yläpohja

7.4 Kivirakenne

Kivirakenteinen yläpohja muodostuu kiviaineisesta laattarakenteesta, joka asennetaan joko vaakasuoraan tai kaltevaan tasoon. Laatan päälle tehdään lämmöneristys ja varsinainen vesikatto yleensä puusta. Raskas yläpohja vaikuttaa herkästi talon pohjapiirustuksiin, koska kantavia linjoja tarvitaan usein myös rakennuksen keskellä. Kivirakenteisen yläpohjan etu on siinä, että sen päälle voidaan tehdä mikä katto tahansa. Myös tasakatto voidaan suunnitella tukevalle ja kestäväälle yläpohjalle.

7.5 Ontelo-, siporex- ja liittolaatta

Kaikkia näitä vaihtoehtoja käytetään myös yläpohjissa. Toiminta kuten välipohjissa, asennus tehdään yleensä vinoon. Kyseisiä rakenteita käytettäessä myös muut rakenteet ovat yleensä kivistä tehtyjä.

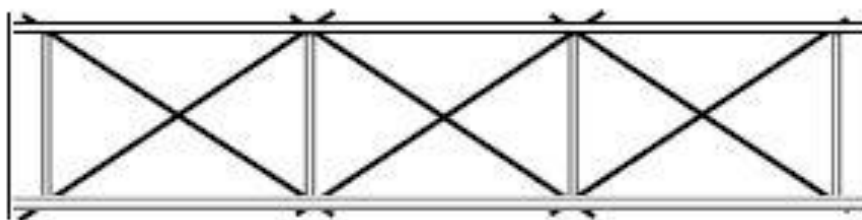
7.6 Elementit

Yläpohja voidaan tehdä kattoelementeistä, varsinkin jos halutaan vinoa kattopintaa. Elementtirakentamisen hyvänä puolenä on asennustoleranssien pienuus myös eristyksen suhteen.



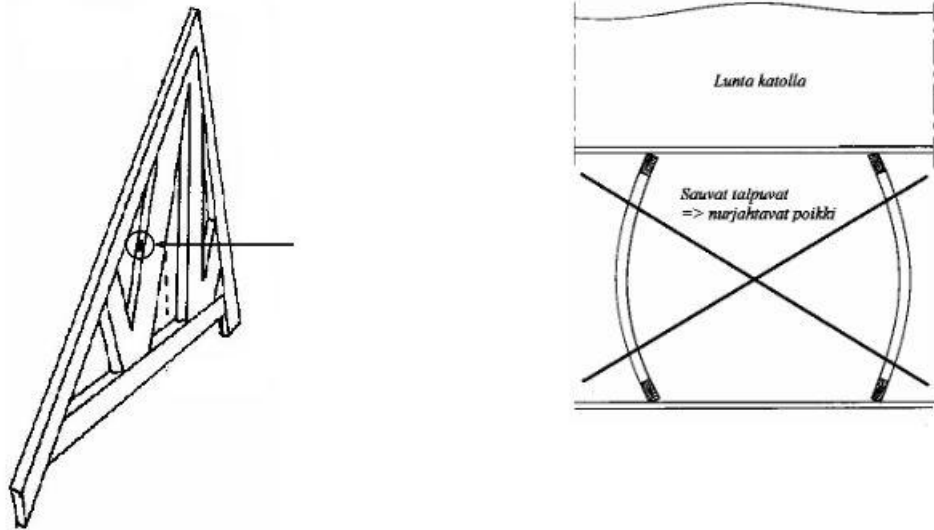
KUVA 35. Yläpohjaelementti, 340mm eristeellä (Lähde: Rakentaja.fi)

7.7 Kattoristikon jäykistys



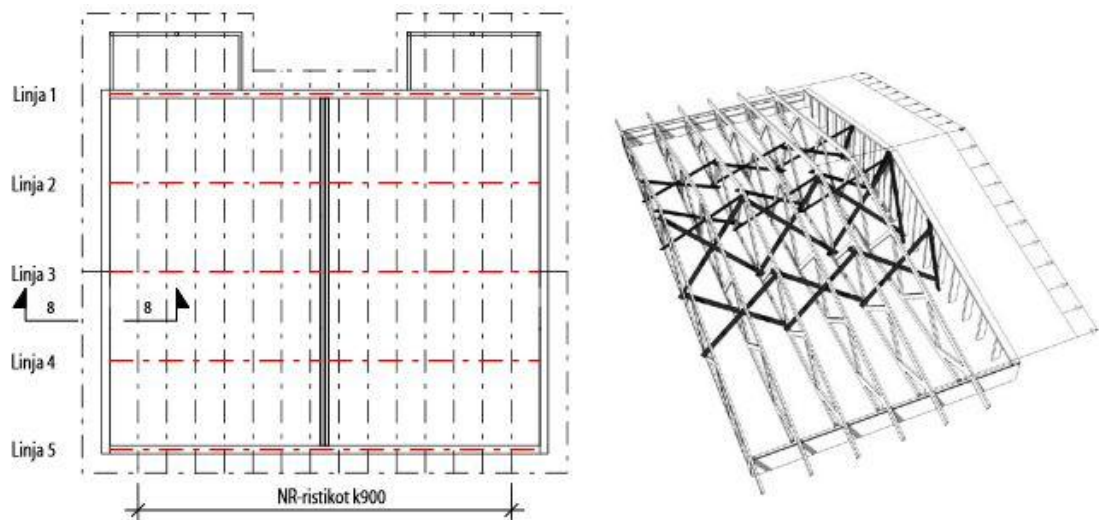
KUVA 36. Ristikon yläpaarten jäykistäminen (Lähde: VTT, Puurakenteiden jäykistys-suunnittelun ohje)

Ristikot on tuettava paitsi asennusaikana, myös rakennuksen käytön ajaksi. Suositeltavaa on rakentaa vähintään kaksi ristikoihin nähden poikkisuuntaista "ristikkoa", joissa on erilliset ylä- ja alapaarteet sekä vinosauvat. Näiden tuuliristikoiden on oltava riittävän lujia, sekä jäykkiä. Liian joustava nurjahdustuki ei pysty estämään puristusvoimasta tulevaa nurjahdusvoimaa ja siirtymän seurauksena nurjahdusvoima tulee suuremmaksi kuin laskentakaavoja määriteltäessä on oletettu.



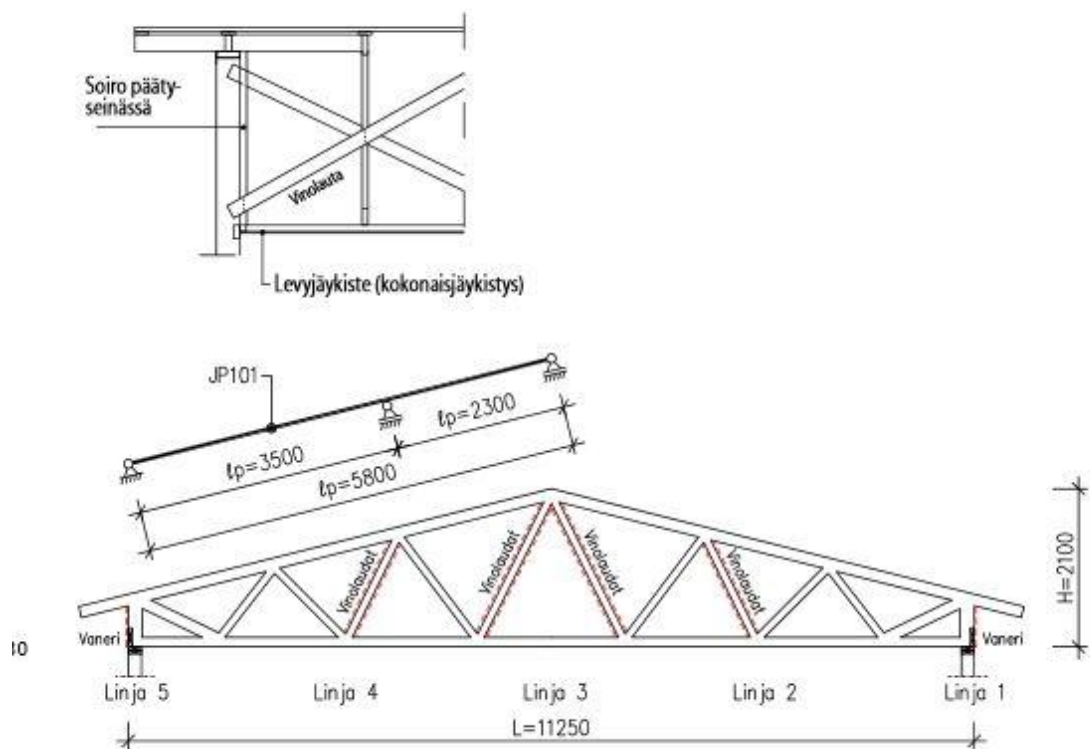
KUVA 37. Ristikön nurjahdus (Lähde: VTT, Puurakenteiden jäykistysuunnittelun ohje)

Kattoristikot kiinnitetään useimmiten rakennuksen runkoon kulmarauodoilla. NR-kattoristikoiden asennusohjeessa kielletään vinonaulauksen käyttö, sillä se voi halkaista alapaarteesta irtokiilan, joka ei ota vastaan tukipainetta. Kattoristikon liitos runkoon on voimaliitos, joka välittää kattorakenteisiin kohdistuvien kuormien aiheuttamia tukivoimia runkoon ja sitä kautta perustuksiin



KUVA 38. Ristikon jäykistäminen (Lähde: Puuinfo)

Leikkaus 8-8



KUVA 39. Ristikon jäykistäminen (Lähde: Puuinfo)

Kuvissa 38 ja 39 on esitetty EC5 sovelluslaskelmien mukainen esimerkki NR-kattoristikon jäykistämisestä. NR-ristikkoyläpohjan jäykistys toteutetaan jäykistelinjojen 1, 2, 3, 4 ja 5 avulla. Linjat 2, 3 ja 4 toteutetaan vinolaudoilla, jotka tehdään ristikoiden asennusvaiheessa, jolloin ne toimivat myös työnaikaisina tukina. Nämä kiinnite-

tään päätyseinässä oleviin soiroihin sekä ristikoiden uumasauvoihin. Jäykistelinjat 1 ja 5 toteutetaan ulkoseinän tuulensuojalevyksellä.

Jäykistelinjojen välissä jäykistävänä vaakarakenteena toimii päätyseinän yläohjauspuu, jonka tulee olla jatkuva ulkoseinältä harjalle saakka. Yläohjauspuun tehtävä on välittää yläpaarteen nurjauhdustuentavoimat ja päätykolmion tuulikuorma jäykistelinjoille.

Ristikoiden väliin tulee asentaan myös vaakasuuntainen jäykistyskenttä vähintään yhteen ristikkoväliin talon sivuseinältä toiselle. Tällöin yläpohja voi toimia jäykkänä kokonaisuutena.

Lisäksi tulee tutkia vesikatteen ruoteiden ja niiden liitosten kestävyys, sekä kaikkien jäykisterakenteiden kestävyys liitoksineen. Tarkempia ohjeita ristikkorakenteiden jäykistyksestä on esitetty ohjeessa RIL 248-2008.

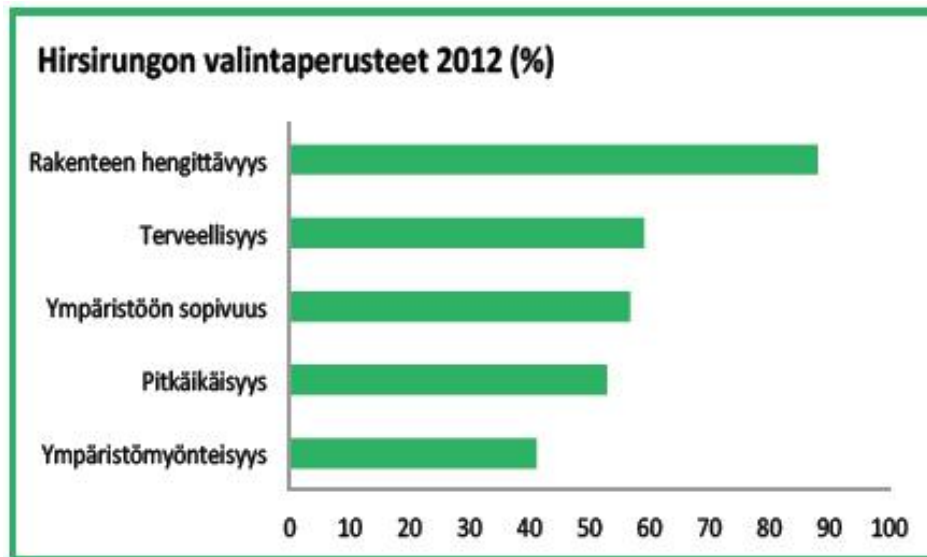
8 RAKENTEEN VALINTAAN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

Runkomateriaali ei sinänsä määritä rakennettavan talon energiatehokkuutta. Energiatehokas talo voidaan rakentaa mistä materiaalista tahansa.

Puurunko on nopeampi pystyttää kuin kivirakenteinen runko, mutta toisaalta tiilitalossa on pystytettynä jo sellaisenaan valmis seinä- ja julkisivupinta. Kaikkein nopeimmin, jopa muutamassa päivässä nousee joko puu- tai betonielementtirakenteinen talo. Elementtirakenteiden etuna on myös se, että ne on valettu tai koottu ideaalisissa olosuhteissa kuivassa tehdashallissa.

Rakentajalle on tarjolla useita rakennevaihtoehtoja ja niiden yhdistelmiä, sekä runsaasti erilaisia rakennusmateriaaleja. Yleisesti käytettävät rakenteet ja materiaalit ovat luonnollisen valinnan kautta osoittautuneet hyväksyttäviksi, joten rakentaja voi melko luotavaisena tehdä valintansa niiden joukosta ja painottaa itselleen tärkeitä ominaisuuksia. Referenssikohteiden avulla löytää tukea päätöksenteolle. Omakotirakentajat jakavat tunnetusti kokemuksiaan uusille rakentajille.

Valintaperusteet muuttuvat ajan mukana ja uusia on pyrkimässä edellisten rinnalle. Viime vuosina on kiinnitetty huomiota erityisesti materiaalien ympäristövaikutuksiin ja terveellisyyteen. Nykyisin on syytä tarkastella valittavia rakenteita myös lisääntyneen talotekniikan ja tiukentuneiden energiamääräysten näkökulmasta.



KUVA 40. Hirsi- ja kivirungon valintakriteerejä (Lähde: suomirakentaa.fi)

8.1 Lämmönläpäisykerroin

Rakennuksen vaipan osien (ulkoseinät, yläpohja, alapohja) lämmönläpäisykerroin ilmoitetaan U-arvona (aiemmin tunnettu K -arvona). Arvoille on asetettu rakentamismääräyksissä enimmäisarvot.

Rakentamissäännöksiä ja niiden kehitystä voi seurata Ympäristöministeriön sivuilta (ymparisto.fi). Sieltä löytää runsaasti tietoa, jonka avulla on ennakoitavissa myös tulevia rakentamisen kehitysnäkymiä ja ajan suosituksia valtakunnan tasolla.

Uusitut lämmöneristysvaatimukset löytyvät Suomen rakentamismääräyskokoelman osista RakMK C3 Lämmöneristys, määräykset (2010) ja RakMK C4 Lämmöneristys, ohjeet (2003). Määräyksissä esitetään vaipan rakenteiden suurimmat sallitut vertailuarvot. Niitä pidetään käytännössä sallittuina lämmönläpäisykertoimien (U-arvo) enimmäisarvoina, joista kuitenkin voidaan määräysten rajoissa poiketa. Rajoitusten avulla rajoitetaan rakennuksen lämmityksen lämpöenergiatarvetta.

Alla on esitetty edelliset (vuosien 1985, 2003 ja 2008) ja nykyiset lämpimän vaipan ulkoilmaan rajoittuvien rakennusosien lämmönläpäisykertoimien (U-arvo) enimmäisarvot eli vertailuarvot ($\text{W/m}^2\text{K}$):

Rakennusosa	1985	2003	2008	2010
Seinä	0,28	0,25	0,24	0,17
Hirsiseinä ***)				0,40
Yläpohja, tuulettuva alapohja	0,22	0,16	0,15	0,09
Ryömintätilaan rajoittuva alapohja		0,20	0,19	0,17
Maata vastaan oleva rakennusosa *)	0,36	0,25	0,24	0,16
Ikkuna **)	2,1	1,4	1,4	1,0
Ovi		1,4	1,4	1,0

*) jos arvo on pienempi kuin 0,15, tulee se ottaa huomioon routasuojauksessa

**) ikkunapintaa saa olla enintään 15 % varsinaisesta kerrosalasta

(lasketaan karmimitoin) ja 50 % seinäpinta-alasta

***) hirsirakenteisen ulkoseinän keskimääräisen paksuuden tulee olla kuitenkin vähintään 180 mm (eli laskennallinen $U = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$).

8.2 Hengittävyys

Rakenteiden hengittävyys puhuttaa myös niiden valintatilanteessa. Sillä tarkoitetaan vaipparakenteen (ulkoseinän, yläpohjan ja alapohjan) kykyä päästää rakenteiden läpi erilaisia ilmassa esiintyviä kaasuja, kuten vesihöyryä, hiilidioksidia, typpeä ja muita

ilman sisältämiä osakaasuja. Kaasut siirtyvät osapaine-eron vaikutuksesta siihen suuntaan, missä paine on pienempi. Vesihöyry pyrkii siten siirtymään yleensä lämpimästä huonetilasta kohti kylmempää ulkoilmaa. Hengittävyydellä ei siis tarkoiteta ilmapuotaja. Osa rakentajista haluaa, että talon vaippa hengittää ja osa, että se on mahdollisimman tiivis, jotta voitaisiin hallita sisäilman laatua kehittyneillä ilmastointijärjestelmillä. Tässä puhutaan osittain eri asioista: edellinen tarkoittaa kaasutiiveyttä ja jälkimmäinen ilmatiiveyttä.

8.3 Paloluokka

Rakennukset kuuluvat kukin johonkin kolmesta paloluokasta P1, P2 tai P3. Pientalot kuuluvat lähes poikkeuksetta vaatimattomimpaan eli P3-luokkaan, jossa kantaville rakenteille ei aseteta erityisiä palonkestovaatimuksia. Rakennus saa olla enintään 2-kerroksinen (poikkeuksena asuin- ja toimistorakennukset, joita voidaan rakentaa nykyisin tietyin edellytyksin aina 4-kerroksiseksi asti).

Autotalli ja kattilahuone muodostetaan erillisiksi palo-osastoiksi. Osastoivan rakenteen tulee täyttää palonkestoluokan EI30 vaatimukset. Se tarkoittaa, että rakennusosan (esimerkiksi osastoivan seinän) tulee täyttää tiiveyden (E) ja eristävyys (I) suhteen puolen tunnin (30 min) palonkestovaatimus.

8.4 Massiivisuus

Rakenteiden massiivisuus vaikuttaa rakennuksen energian kulutukseen, mutta ei niin suoraviivaisesti kuin usein kuulee esitetävän. Massiivisuudesta on hyötyä, kun lämmitysjärjestelmä reagoi hitaasti sisälämpötilan muutoksiin. Kevyet rakenteet sopivat yleensä rakennukseen, jossa lämmitys reagoi herkästi lämpötilojen muutoksiin. Tällainen lämmitysmuoto on mm. suora sähkölämmitys. Alalta on tehty tutkimuksia, mutta tulkinnoissa lähdetään usein erilaisista lähtökohdista ja selvää yksiselitteistä vastausta ei ole. Raskaat rakenteet mahdollistavat passiivisen aurinkoenergian hyödyntämisen eli niiden avulla voidaan varastoida etelä- ja länsi-ikkunoiden läpi tulevaa auringonsäteilyn sisältämää energiaa. Rakenteisiin varastoidusta lämmöstä on hyötyä myös lämmityskatkosten aikana.

8.5 Egologisuus

Materiaalien kierrätettävyys, uusiutuvuus ja terveellisyys ovat nousseet yhä voimistuvan ekologisen asenteen myötä merkittäviksi materiaalien ja rakenteiden valintakriteereiksi. Tällä hetkellä on selvimmin pystytty sääntelemään terveellisyyteen vaikuttavat tekijät: materiaalien on täytettävä mm. emissioiden eli päästöjen osalta tietyt kriteerit. Ympäristövastuullisiksi katsotuille tuotteille on alettu jakaa erilaisia ympäristömerkkejä. Ekologisuus on noussut keskeiseksi kilpailutekijäksi eri rakennusalan tuotteiden keskuudessa, samoin terveellisyys. Esimerkiksi parhaaseen sisäilmaluokkaan S1 (sisäilmaluokat ovat S1, S2 ja S3) pyrittäessä on sisämateriaalien täytettävä materiaaleille asetetuista luokista M1, M2 ja M3 parhaille, eli M1-luokan materiaaleille asetetut useammanlaatuiset vaatimukset. Rakennustarvike-esitteistä voi huomata, että markkinoilla olevat tuotteet täyttävät yleensä kaikki M1-luokan vaatimukset.

Lähteet	Epäpuhtaudet
Ulkoilma – Liikenne – Teollisuus – Energiantuotto – Maaperä	Häkä, hiukkaset, orgaaniset kaasut, typen oksidit, melu Rikin yhdisteet, typen oksidit, orgaaniset ja epäorgaaniset kaasut, hiukkaset, hajut, melu Typen oksidit, hiukkaset Radon, hiukkaset, bioaerosolit
Rakennusmateriaalit – Betoni, kivi – Lastulevy – Puu – Muovit – Tasoitteet – Injektiomassat	Radon Formaldehydi Formaldehydi, orgaaniset kaasut Orgaaniset kaasut Ammoniakki Styreeni
Sisustusmateriaalit – Maalit – Lakat – Kalusteet	Orgaaniset kaasut Formaldehydi, orgaaniset kaasut Formaldehydi, orgaaniset kaasut
Ihminen – Aineenvaihdunta – Toiminnot – Tupakointi – Lemmikkieläimet	Hajut, hiilidioksidi, hiukkaset Kosteus, hajut, kaasut Hajut, hiukkaset, häkä, formaldehydi, orgaaniset kaasut Biologiset pölyt, eritteet

KUVA 41. Tärkeimpiä sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä (Lähde: TTKK)

8.6 Energiatehokkuus

Vuodesta 2008 alkaen rakennuslupahakemukseen on vaadittu liitettäväksi energiatodistus, jossa ilmoitetaan suunnittelijan laskema rakennuksen vuotuinen energiantarve kerrosalaysikköä kohti (eli energiatehokkuusluku). Laskelmat tehdään Jyväskylän ilmastolosuhteiden mukaan. Energiatehokkuusluku määrittää energiatehokkuusluokan (ET-luokat A-G, joista A-luokka on paras). Luokitus muistuttaa ulkonaisestikin kodinkoneiden vastaavaa luokitusta.

Energiantarvelaskelman tulokseen vaikuttaa osaltaan ilmanvuotoluku. Luku määritetään mittaamalla (ilmanvaihto suljettuna) epätiiveyksistä aiheutuva ilman vaihtuminen, kun huoneistoon aiheutetaan 50 Pa ali- tai ylipaine. Aiemmin oletusarvona (ilman mittausta) oli 4 l/h eli ilman oletettiin vaihtuvan neljä kertaa tunnissa. Vuoden 2010 määräyksissä vaatimuksena on ilmanvuotoluku $50n = 2$ l/h. Tavoitteena olisi luku 0,6, mikä on myös passiivitalon vaatimus. Varsinaisen ilmanvaihdon tulee vaihtaa tilan ilmamäärä kerran kahdessa tunnissa.

Vanhemmissa (1960- ja 1970 – luvun) pientaloissa on mitattu tiiveyslukuja 5-10 ja joistakin kohteista ei ole voitu saada minkäänlaisia mittaustuloksia. Energialasku on vuosikymmenien aikana ollut salakavalan suuri. Ilmastoinnin lämmön talteenottovaatimus (LTO) oli vuoden 2008 määräyksissä vielä 30% lämmöstä. Vuoden 2010 määräyksissä tavoite on 50 % ja passiivitalossa peräti 80 %.

Rakennuksen vaippa ja ilmanvaihto yhdessä muodostavat kokonaisuuden, jonka energiantarve ei saa ylittää määräyksissä esitettyjen vertailuarvojen avulla laskettua energiantarvetta. Jatkossa sekä tiiveys että ilmanvaihdon lämmön talteenotto tulevat korostumaan pyrittäessä täyttämään yhä kiristyvät vaatimukset.

8.7 Saatavuus ja työstettävyys

Rakentamisessa käytetään pääasiassa sellaisia materiaaleja, joita on globaalisti runsaasti saatavilla. Hyvälaatuisen materiaalin saatavuus saattaa kuitenkin olla paikallisesti haastavaa ja kallista, jos sitä joudutaan kuljettamaan kaukaa. Varsinkin pientalorakentamisessa käytetään usein lähialueilta helposti saatavia materiaaleja.

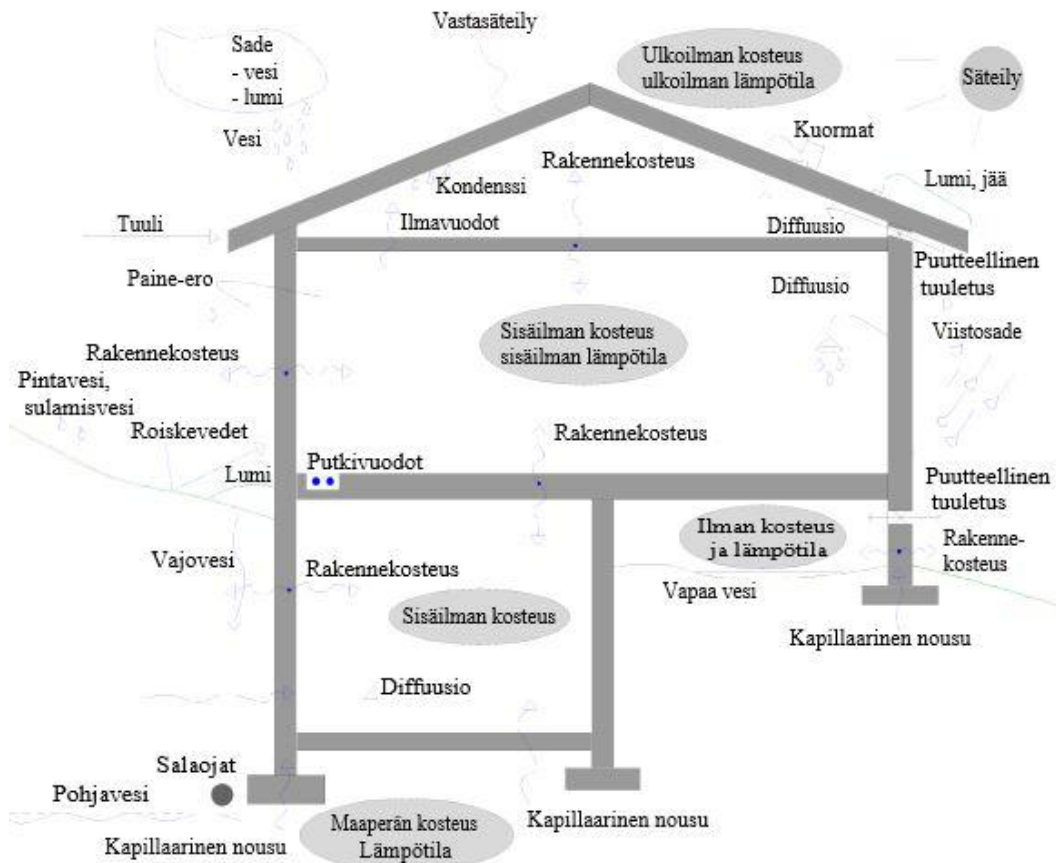
Jos rakennettavan talon muoto sisältää muitakin kuin suoria kulmia, saattaa tämäkin tekijä vaikuttaa suuresti runkomateriaalin valintaan. Toisia materiaaleja on helpompi työstää kuin toisia.

8.8 Kosteuden kesto (homehtumisen estäminen)

Rakenteet ja rakennusmateriaalit sisältävät erilaisia määriä vettä. Rakennekosteudella tarkoitetaan sitä vesimäärää, joka rakenteesta poistuu ennenkuin rakenne on kosteustasapainossa ympäristönsä kanssa. Rakenteista poistuva kosteus vaihtelee suuresti riippuen rakennusmateriaalista, kuljetuksesta, varastoinnista, rakenteen suojauksesta rakentamisen aikana jne. Esimerkiksi yhdestä kuutiosta paikalla valettua betonia poistuu keskimäärin 85 kg vettä. Rakenteiden kuivattaminen on usein ongelmallista. Rakentamisen tiukka aikataulu vaatisi nopeaa rakenteiden kuivattamista. Korkeat kuivatuskustannukset ja käytännön ongelmat työmaalla estävät kuivatuksen yleistymistä. Usein liian aikaisessa vaiheessa asennettavat pintarakenteet estävät osaltaan riittävää kuivumista.

Kosteus- ja homevaurioille riskialtteimpia kohtia rakennuksessa ovat pääsääntöisesti ne osat, joihin kohdistuva kosteusrasitus on suuri. Vesikatto, maata vasten olevat rakenteet ja kosteat tilat ovat kosteusteknisesti rakennuksen rasitetuimpia osia. Siten myös vauriot niissä ja niihin liittyvissä rakenteissa ovat yleisimpiä. Toisaalta myös sellaiset rakenteet, joiden kuivuminen on erityisen hidasta (esim. maanvarainen laatta, jonka alapinnassa on muovikalvo ja päällysteenä tiivis muovimatto), ovat riskialttiita esimerkiksi vuotojen ja vesivahinkojen yhteydessä.

Kun rakenne pääsee hallitsematonta kosteutta, eikä rakenne pääse kuivumaan, se alkaa usein homehtumaan. Home aiheuttaa ihmisille erilaisia reaktioita, asiasta on julkisuudessa puhuttu viime aikoina paljon. Vanhoillekin rakenteille voidaan usein toteuttaa parannuksia kosteuden hallintaan liittyen, kunhan rakenne ei ole mennyt vielä täysin käyttökelvottomaan kuntoon.



KUVA 42. Kosteuden lähteitä (Lähde: TTKK)

Suunnittelulla ja toteutuksella on erittäin suuri merkitys, kuinka hyvin rakennusmateriaalit toimivat eri käyttötarkoituksissa. Hyväkään materiaali ei toimi oikein, jos se on huonosti suunniteltu tai rakennettu. Toisaalta heikommankin materiaalin voi saada hyvällä suunnittelulla ja toteutuksella toimimaan hyvin.

9 YHTEENVETO

Rakentajalle on tarjolla useita rakennevaihtoehtoja ja niiden yhdistelmiä sekä runsaasti erilaisia rakennusmateriaaleja. Yleisesti käytettävät rakenteet ja materiaalit ovat luonnollisen valinnan kautta osoittautuneet hyväksyttäviksi, joten rakentaja voi melko luotavaisena tehdä valintansa niiden joukosta ja painottaa itselleen tärkeitä ominaisuuksia. Rakentaja etsii tukea päätöksenteolle usein myös referenssikohteiden avulla.

Valintaperusteet muuttuvat ajan mukana ja uusia on pyrkimässä edellisten rinnalle. Viime vuosina on kiinnitetty huomiota erityisesti materiaalien ympäristövaikutuksiin ja terveellisyyteen. Nykyisin on syytä tarkastella valittavia rakenteita myös lisääntyneen talotekniikan ja tiukentuneiden energiamääräysten näkökulmasta.

Tiedon löytäminen tässä työssä esitettyihin asioihin on kohtuullisen helppoa, kun lähes kaiken tarvittavan löytää internetistä. Hankaluuden asioiden löytämiseen ja tutkimiseen muodostaakin nykyään se, miten informaatiotulvan osaa suodattaa. Ohjeita ja mielipiteitä on tarjolla paljon, ja saattaa olla vaikea valita, mihin niistä voi luottaa. Parasta on uskoa vain virallisia lähteitä, käyttäen ammattitaitoisia suunnittelijoita ja rakentajia.

Kuten työssä on todettu, jäykistys jää usein suunnittelussa turhan pienelle huomiolle. Yksi syy asiaan on jäykistyksen suunnittelun monimutkaisuus useissa eri rakenneratkaisuissa.

Seinän levyjäykistyksessä tulee kiinnittää huomiota erityisesti kiinnitysten yksityiskohtiin, jotta seinä toimii kokonaisena jäykistettynä rakenteena. Myös seinän kiinnitys erityisesti perustuksiin täytyy tarkastella huolella. Maanpaineeseinässä on tärkeää ymmärtää kuormien muodostuminen, sekä pysty- tai vaakaraudoituksen toimintaperiaate.

Välipohjan toiminta levynä on täytyy suunnitella huolella. Välipohjan kiinnitys on kriittinen paikka, usein tarvitaan lisäjäykisteenkin vuoksi väliseiniä, jotta vältetään tuulen paineen aiheittama vaakasuuntainen siirtymä.

Yläpohjan toiminta erityisesti yleisimmän NR-ristikkorakenteen ratkaisussa vaatii huolellista suunnittelua. Tuet ja niiden kiinnitykset jokaiseen suuntaan ovat joskus hankalia toteuttaa käytännössä, ja rakentaja päätyy herkästi toteuttamaan suunniteltua hei-

komman liitoksen. Tukirakenteet tulee suunnitella siten, että myös tiivis eristäminen on edelleen mahdollista (mm puhallusvillan leviäminen).

Koko rakennuksen jäykistyksessä on huomioitava, että rakenteet ovat sisäisesti stabiileja, ja jokaisen kerroksen seinät, sekä ylä-, väli- ja alapohja on jäykistetty. Tämän lisäksi rakennus ei saa kokonaisuudessaan kaatua. Jäykistyksen on jatkuttava tuelta tuelle, huomioiden rakenteiden ja nurkkien epäkeskisyydet.

Rakenteiden kiinnitys toisiinsa on usein vaikeimmin suunniteltava ja toteutettava kohta koko rakennuksen jäykistyksessä. Rakenteiden tulee olla siten kiinnitetty, jotta ne eivät irtoa toisistaan, eikä myöskään liitoksien kohdalle aiheudu hallitsemattomia siirtymiä missään olosuhteissa. Vasta tämän jälkeen rakennuksen katsotaan olevan stabiili.

Haluan loppuun muistuttaa tämän työn lukijoita siitä usein unohtuvasta tosiasiasta, että suurin osa rakennushankkeen kustannuksista muodostuu jo varhaisessa suunnitteluvaiheessa. Suunnittelijaa kannattaa käyttää siinäkin tapauksessa, jos rakentaja päätyy valmistalovaihtoehtoon. Hyvä suunnittelija tuottaa rakentajalle kestävän ja teknisesti toimivan talon lisäksi usein myös merkittäviä kustannussäästöjä. Suunnittelupalkkio ei ole siis se kohta, missä rakentajan kannattaa yrittää säästää rakennushanketta valmistellessaan.

LÄHTEET

1. RIL 248-2008. NR-kattorakenteen jäykistyksen suunnittelu. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
2. RIL 244-2007. Puurakenteiden jäykistyksen ja halkeilun hallinta. Suunnittelu- ja valmistusohjeet. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
3. RIL 201-1-2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Eurokoodi. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
4. RIL 205-1-2009. Puurakenteiden suunnitteluohje. Eurokoodi. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
5. EC5 Sovelluslaskelmat – Asuinrakennus. 2010. Puuinfo Oy.
6. VTT, Puurakenteiden jäykistysuunnittelun ohje.
7. Suomirakentaa.fi.
8. Puuinfo, Avoin puurakennusjärjestelmä.
9. Elementtisuunnittelu.fi.
10. Rakentaja.fi.