

Joni Vähäsöyrinki

**TUULETTUVA PUURUNKOINEN ALAPOHJA YMPÄRIVUOTISESTI ASUTTUUN
HIRSITALOON**

TUULETTUVA PUURUNKOINEN ALAPOHJA YMPÄRIVUOTISESTI ASUTTUUN HIRSITALOON

Joni Vähäsöyrinki
Opinnäytetyö
Kevät 2025
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma, Talonrakennustekniikka

Tekijä: Joni Vähäsöyrinki

Opinnäytetyön nimi: Tuulettuva puurunkoinen alapohja ympärivuotisesti asuttuun hirsitaloon

Työn ohjaajat: Pekka Kilpinen ja Petteri Typpö

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2025

Sivumäärä: 41 + 18 liitettä

Opinnäytetyön aiheena oli suunnitella DEN Finland Oy:lle kustannustehokkaita alapohjarakenteita ympärivuotisesti asutun hirsitalon pilariperusteiseen alapohjaan. Esimerkkikohteeksi valittiin Finnlamellin mallistosta löytyvä Välke 95 -hirsitalo. Tavoitteena oli vertailla alapohjasta syntyvien kustannusten perusteella halvimpia ratkaisuja sekä löytää kustannustehokkain rakenne alapohjaan. Lisäksi tavoitteena oli selvittää kustannustehokkain tapa toteuttaa pilariperustus.

Tasauslaskennan perusteella valittiin esimerkkikohteelle sopivin alapohjan U_c -arvo. Lämmöneristävyyden vaatimuksen täyttäviä rakennevaihtoehtoja suunniteltiin 11 kappaletta. U_c -arvot rakenteille laskettiin DOF-lämpö-ohjelmalla. Excel-ohjelmistolla tehtiin laskentapohja, jolla laskettiin työ- sekä materiaalikustannukset paikalla rakennetulle alapohjarakenteille. Tarkempaan tarkasteluun valittiin alapohjavaihtoehdot AP2, AP7 ja AP10. Tarkastelussa arvioitiin viemäriputkien eristämisestä syntyvä materiaalimenekki sekä palkkien kiinnityksestä ja koloamisesta ja palkkijaon tihenemisestä märkätilan kohdalla aiheutuvat kulut. Alapohjavaihtoehdon AP2 kantava runko oli suunniteltu kertopuulla ja eristyskerros Finnfoamilla. Alapohjavaihtoehto AP7:n kantava runko oli suunniteltu kertopuulla ja AP10:n TK-palkilla. Näissä eristeenä oli Ekovilla-puhallusvilla. Pilariperustusten kustannusvertailu tehtiin Excel-ohjelmistolla.

Halvimpaksi alapohjaksi muodostui Finnfoamin Rossipohjaeristeellä ja kertopuulla toteutettu alapohja AP2. Ekovilla-puhallusvilla eristeellä toteutetuilla rakenteilla, joissa kantavana runkona toimi kertopuu (AP7) tai TK-palkki (AP10), joiden kustannusero oli hyvin vähäinen. Mikäli LVIS-kustannukset huomioitaisiin alapohjien hinnoissa myös työmenekkien osalta, ne voisivat vaikuttaa lopputulokseen. Halvin perustusvaihtoehto oli paikallavalettu pilariperustus. Pilariharkkoperustus voisi olla edullisempi kuin paikallavalettu pilariperustus, jos myös muottikalustosta aiheutuvat kustannukset huomioitaisiin.

Opinnäytetyön toimeksiantajan pyynnöstä liitteet ovat salattuja.

Asiasanat: Tuulettuva alapohja, kantava rakenne, hirsitalo, pilariperustus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Civil Engineering, Option of House Building Engineering

Author: Joni Vähäsöyrinki

Title of thesis: Ventilated Wooden Base Floor for a Log House Inhabited all Year

Supervisors: Pekka Kilpinen and Petteri Typpö

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2025

Number of pages: 41 + 18 appendices

The topic of the thesis was to design cost-effective base floor structures for a log house made with a column foundation and inhabited all year round. The thesis was commissioned by DEN Finland Ltd. The Välke 95 log house from the Finnlamelli collection was selected for example. The aim was to compare the cheapest solutions based on the costs arising from the base floor and to find the most cost-effective structure for the base floor. Furthermore, another aim was to find out the most cost-effective way to made column foundations.

Based on the adjustment calculation, the most suitable U_c -value for the base floor was selected. Eleven structural options were designed. The U_c -values were calculated with the DOF-lämpö software. A spreadsheet was made with the Excel software, and work and material costs for the base floor built on site were calculated. The base floors options AP2, AP7 and AP10 were selected for more closer inspection. Material consumption arising from the insulation of sewage pipes was estimated. All costs of joining and mortising beams and arising from changes in the beam spacing were estimated. The structural frame of option AP2 was designed with LVL and insulation with Finnfoam. The structural frame of option AP7 was designed with LVL and at AP10 with TK-beam. AP7 and AP10 were insulated with Ekovilla blown wool. The cost comparison of the column foundation was made with the Excel software.

The cheapest option was AP2. The cost difference between AP7 and AP10 was minor. The cheapest column foundation was cast on side.

Keywords: Ventilated base floor, supporting structure, log house, column foundation

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TUULETTUVA ALAPOHJA	7
2.1	U _C -arvovaatimukset ympärivuotisesti asuttuun hirsitaloon sekä vapaa-ajan asuntoon.....	8
2.2	Kantavan palkiston mitoitus.....	9
2.2.1	Kiepahdus- ja nurjahdustuenta	10
2.2.2	Värähtelymitoitus sekä taipumarajat	11
2.3	Pilariperustus.....	12
3	TARKASTELTAVAT PALKKIVAIHTOEHDOT	13
3.1	Kertopuupalkki.....	13
3.2	TK-palkki	14
3.3	Easi-joist-palkki	15
4	TARKASTELTAVIEN RAKENNETYYPPIEN VALINTA	18
4.1	U _C -arvon valinta tasauslaskennan kautta saaduista tuloksista	18
4.2	Eristevaihtoehtojen U _C -arvot	20
5	TUULETTUVAN ALAPOHJAN RAKENNEVAIHTOEHTOJEN VERTAILU	22
5.1	Alapohjavaihtoehto 2	23
5.2	Alapohjavaihtoehto 7	24
5.3	Alapohjavaihtoehto 10	25
5.4	Materiaalikustannukset.....	27
5.5	Työkustannukset	27
5.6	LVIS-järjestelmien huomiointi	28
5.7	Tarkempi laskenta ja sen tulokset	29
6	PILARIPERUSTUSVAIHTOEHTOJEN KUSTANNUSVERTAILU	32
7	YHTEENVETO	34
	LÄHTEET	36
	LIITTEET	40

1 JOHDANTO

Tuulettuva puurunkoinen pilariperusteinen alapohja on hyvin yleinen ratkaisu loma-asunnoissa, joissa asutaan vain kesäisin eikä alapohjan lämmön eristävyydellä ole suuria vaatimuksia. Alapohjan lämmön eristävyydeltä vaaditaan huomattavasti enemmän, kun puhutaan ympärivuotisesti asutusta hirsitalosta. Tällaiselle alapohjaratkaisulle voi tulla tarve esimerkiksi tontilla, jossa maanpinnan korkeudet vaihtelevat suuresti, jolloin ei ole järkevää perustaa taloa perusmuurin varaan.

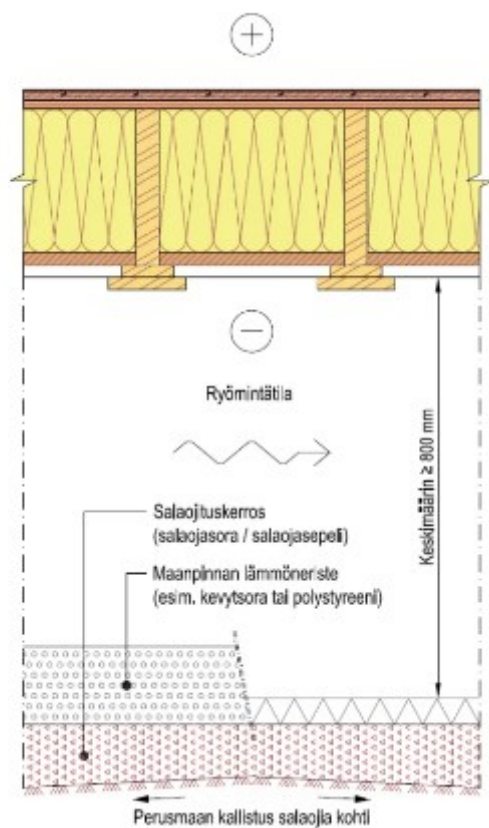
Tässä opinnäytetyössä selvitetään DEN Finland Oy:lle kustannustehokasta ratkaisua avoimeen pilariperusteiseen puurunkoiseen alapohjaan. Kyseistä ratkaisua käytetään ympärivuotisesti asutun hirsitalon alapohjavaihtoehtona. Työssä suunnitellaan kantavan alapohjan rakenne sekä vertaillaan rakenteen toteutusta puhallusvillalla ja Finnfoamilla. Järkevä U_c -arvo alapohjalle haetaan tasauslaskennan kautta Finnlamellin mallistosta löytyvälle Välke 95 -hirsitalolle. Laskennasta saatua alapohjan U_c -arvoa käytetään rakennepaksuuksia määriteltäessä. Kantavan palkiston suunnittelussa hyödynnetään Easi-joist-palkkia, TK-palkkia ja kertopuuta. Lopuksi vertaillaan kustannustehokasta peruspilareiden valmistusmenetelmää.

Työn tavoitteena on tuottaa kaksi käyttökelpoista rakenneleikkausta eri eristevaihtoehdoilla, jotka ulottuisivat ainakin lähelle tasauslaskennassa käytettävää vertailuarvoa $0,09 \text{ w/m}^2\text{K}$ ja vertailla niiden toteutuksista syntyviä kustannuksia. Lisäksi tutkitaan järkevintä tapaa toteuttaa peruspilarit.

DEN Finland Oy on Suomen markkinajohtaja pientalorakentamisessa, johon kuuluvat Finnlamelli, Designitalo ja Ainoakoti. Finnlamelli on keskittynyt ekologiseen hirsitalorakentamiseen. (1.) Työtä tehdään Finnlamellin näkökulmasta, joten syntyvät tulokset mahdollisesti vaikuttavat sen toimintaan.

2 TUULETTUVA ALAPOHJA

Pilariperusteinen tuulettuva alapohja on tyypillinen ratkaisu pienessä hirsirakennuksessa (kuva 1). Hirsitaloja on perustettu nurkkakivien varaan 1900-luvun alusta asti. Näin rakennus saatiin nostetua irti maasta ja vältettiin alimman hirsikerran lahoaminen. Tämä mahdollisti talon alle pääsyn sekä säännöllisen rakenteiden kunnontarkastuksen. (2.) Nykyään rakennetta arvostetaan hygroskoopin ilmansulun ja kosteusturvallisuuden vuoksi (3).



KUVA 1. Periaatekuva puurunkoisesta alapohjasta (4)

Erinomaisen ilmanvaihdon seurauksena puurunkoiseen alapohjaan ei pääse kondensoitumaan vettä kosteissa olosuhteissa. Tuuletusputkien avulla tuulettuvissa alapohjissa on aiheutunut kosteusongelmaa huonosti järjestetyn ilmanvaihdon takia. (5.) Lämpöteknillisesti tuulettuva alapohja

ja sen pilariperustus on haastava, koska kylmä ulkoilma on suoraan talon alapuolella. Alapohjarakenteen paksuus kasvaa merkittävästi, kun siltä vaaditaan suurta lämmöneristävyyttä. Tämä kasvattaa myös koko rakennuksen korkeutta. Lisäksi perustusten routasuojaus tarkoittaa käytännössä koko maapohjan eristämistä. (2.)

Puurunkoinen kantava alapohja koostuu kantavista palkeista, joiden väliin on asennettu lämmöneriste (4). Eristeenä voidaan käyttää mineraalieristeitä, puukuitueristeitä tai XPS-eristeitä (6). Lattian pintarakenne voidaan toteuttaa XPS-levyn päälle plaanovaluna tai normaalina valuna (7). Lattian pintarakenne voidaan toteuttaa myös kipsilevyillä, jolloin lattian omapaino on huomattavasti kevyempi ja lattia valmistuu nopeammin kuin betonilattia, koska valun kuivumista ei tarvitse odottaa. Lisäksi hankalat kulkuyhteydet rakennuspaikalle voivat olla este betonilattialle. (8.) Kipsivalulattia voidaan toteuttaa XPS-eristeen tai kipsilevyn päälle (9).

2.1 U_c -arvovaatimukset ympärivuotisesti asuttuun hirsitaloon sekä vapaa-ajan asuntoon

U-arvo tarkoittaa lämmönläpäisykerrointa, joka mittaa rakenteen läpi kulkeutuvaa energiaa neliön alueelta sekunnissa, kun lämpötilaero on yhden asteen. Käytettäessä U-arvoa täytyy sitä korjata tarvittaessa ilmarakojen, kylmäsiltojen tai käännettyjen kattojen korjaustekijöillä. Näin saadaan muodostettua korjattu lämmönläpäisykerroin U_c . Tätä käytetään tasauslaskennassa lämpöhäviöitä määrittäessä. (10, s. 9.)

Maankäyttö- ja rakentamislaki sekä -asetus asettaa vaatimukset uuden ympärivuotisesti asutun rakennuksen energiatehokkuudelle. Energiatehokkuutta arvioidaan laskennallisen ostoenergiankulutuksen perusteella. Energiatehokkuus ilmoitetaan E-luvun avulla, joka kuvastaa ostetun energian kulutusta nettoalaa kohden vuodessa painotettuna energiamuotojen kertoimilla. Suunniteltua ratkaisua verrataan samankokoiseen vakioituilla ratkaisuilla toteutettuun rakennukseen. Yksittäisille rakenteille on asetettu erilaiset lämpöhäviön raja-arvot. Näistä voidaan poiketa, mikäli valitaan muita rakennusosia paremmiksi kuin vertailuratkaisu edellyttäisi. Suunniteltu kokonaisenergiankulutus tulee olla pienempi kuin vertailuratkaisussa. Ulkoilmaan rajoittuvan alapohjan vertailuarvo on $0,09 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. (11.)

Loma-asunnoille tehdään samanlainen vertailu rakennuksen energiatehokkuutta määritettäessä. Loma-asunnoksi määritellään rakennus, jota on tarkoitus käyttää vähintään neljä kuukautta vuodessa. Eroavaisuutena ympärivuotisesti asuttuun rakennukseen ovat löysemät rakenneosien lämmönläpäisykertoimien vertailuarvot (taulukko 1). (11.)

TAULUKKO 1. Lämmönläpäisykertoimien vertailuarvot (11)

Rakennusosa	Ympärivuotisesti asuttu hirsitalo	Loma-asumiseen tarkoitettu hirsitalo
seinä	0,17 W/(m ² K)	0,24 W/(m ² K)
massiivipuuseinä	0,40 W/(m ² K)	0,80 W/(m ² K)
yläpohja ja ulkoilmaanrajoittuva alapohja	0,09 W/(m ² K)	0,15 W/(m ² K)
ryömintätilaan rajoittuva alapohja	0,17 W/(m ² K)	0,19 W/(m ² K)
maata vasten oleva rakennusosa	0,16 W/(m ² K)	0,24 W/(m ² K)
ikkuna, kattoikkuna, ovi, kattovalokupu, savunpoisto- ja uloskäyntiluukku	1,0 W/(m ² K)	1,4 W/(m ² K)

2.2 Kantavan palkiston mitoitus

Puurunkoisen alapohjan kuormat siirretään perustuksille kantavan palkiston avulla. Palkisto voi olla palkki- tai ristikkorakenteinen. Yleensä palkit ovat hoikkia rakenteita, jotka tarvitsevat kiepahdustuennan ja joskus myös nurjahdustuennan, jotta rakenteen maksimikestävyys saavutetaan kokonaan. (12.) Kuitenkin yleensä palkiston mitoittavaksi tekijäksi tulee värähtelymitoitus (13).

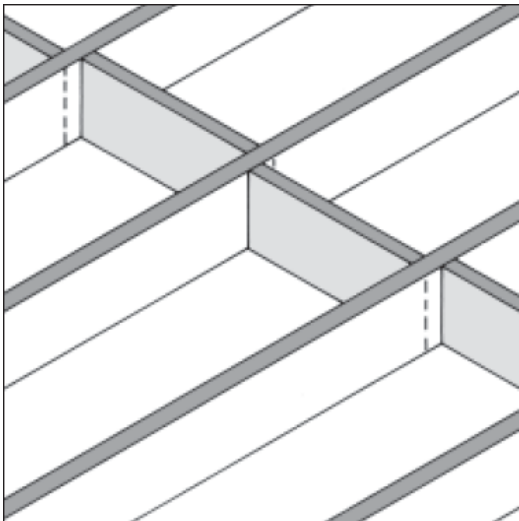
Käsinlaskennan tueksi Metsä Wood on luonut Finnwood-mitoitusohjelman puurakenteiden mitoitukseen. Ohjelmalla voidaan mitoittaa Kerto LVL sekä Metsä Woodin tuotteita. Finnwood-ohjelma

on helppokäyttöinen, ja se on suunniteltu mitoittamaan haluttu rakenne Eurokoodi 5:n ja sen lisäosien A1:2008+A2:2014 sekä RIL-ohjeiden mukaan. (14.)

2.2.1 Kiepahdus- ja nurjahdustuenta

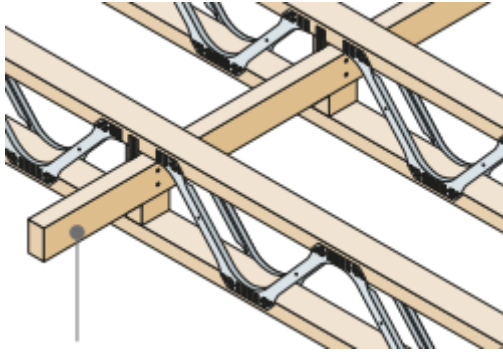
Kiepahdus tarkoittaa palkin poikkileikkauksen pyrkimystä kiertyä akselinsa ympäri, kun palkkiin kohdistuu taivutusrasitusta. Tällainen ilmiö esiintyy hoikissa ja korkeissa syrjällään olevissa palkkeissa. Nurjahdus taas muodostuu silloin kuin palkkiin kohdistuu puristava voima palkin pituus-suunnassa. Nurjahdus on enemmän ristikkorakenteisessa palkissa esiintyvä ongelma, jolloin ristikkopalkin yläpaarre täytyy tukea poikkileikkauksen heikommassa suunnassa. (12.)

Kertopuupalkiston kiepahdustuenta voidaan toteuttaa riittävän jäykällä levyllä. Muita tuenta vaihtoehtoja ovat yläpuolinen koolaus tai palkkien väliin asennettavat kiepahduksen estävät tukipalikat. (12.) Kuvassa 2 on esitetty palkiston kiepahduksen estävät poikittaispuut (kuva 2).



KUVA 2. Kiepahduksen estävät poikittaisjäykisteet kertopuupalkistossa (15, s. 62)

Ristikkorakenteinen palkisto nurjahdustuetaan yleensä rakennekentän jäykistyspalkeilla. Jäykistyspalkki sijaitsee poikittaissuunnassa palkistoon nähden. Jännevälän ylittäessä 4 000 mm on jäykistyspalkki pakollinen valmistajan ohjeen mukaisesti (Kuva 3.) (16, s. 22.)



KUVA 3. Jäykistepalkin sijainti Easi-joist-palkistossa (16, s.24)

2.2.2 Värähtelymitoitus sekä taipumarajat

Värähtelymitoituksessa on kyse 1 kN:n aiheuttamasta hetkellisestä taipumasta pistekuorman sijaitessa jännevälin keskellä. Suomessa sallittu taipuma on enintään 0,5 mm. Lisäksi toinen mitoittava tekijä on lattiarakenteen ominaistajuus. Ominaistaajuus saa olla Suomessa matalimmillaan 9 Hz. Taajuudet ja taipumarajat vaihtelevat hieman maakohtaisesti, joten ne on tarkastettava eurokoodin kansallisista liitteistä. (13.)

Ominaistaajuuteen vaikuttaa vahvasti rakenteen paino, jäykkyys ja jänneväli. Kevyellä puurakenteella ylitetään helposti ominaistaajuuden alaraja 9 Hz. Betonivalu voi aiheuttaa 9 Hz:n alarajan alituksen, jolloin rakenteelle ei voida tehdä taipumaan perustuvaa värähtelymitoitusta. Perusteluina 9 Hz:n raja-arvolle voidaan pitää, ettei siitä matalataajuisemmalle lattialle löydy mitoitusmenetelmää Suomessa. (13.)

Eurokoodiuudistuksen myötä värähtelymitoituksen raja-arvot todennäköisesti helpottuvat tulevaisuudessa (17). Tämänhetkisen tiedon mukaan ominaisvärähtelyn raja-arvoa laskettaisiin nykyi-

sestä 9 Hz:stä kahdeksaan sekä hetkellistä taipumarajaa nostettaisiin nykyisestä 0,5 mm:stä yhteen mm:iin (18). Luonnokset ovat lausuntokierroksilla ja mahdolliset uudet raja-arvot otetaan käyttöön vuosina 2025–2027 (17).

2.3 Pilariperustus

Hyvän kantavuuden omaavalle maaperälle voidaan toteuttaa pilariperustus. Tällaisia ovat esimerkiksi hiekkainen maaperä tai kallio. Parhaimmillaan pilariperustus sopii kohteisiin, joissa maasto on epätasaista ja kellarikerrosta ei haluta tehdä. Pohja aukaistaan vain peruspilareiden kohdalta, mikä luo kustannussäästöjä pohjan kaivuutyössä. (19, s. 59.)

Rakennuksesta tulevat kuormat johdetaan pilarikentän avulla maaperään. Pilariväli määräytyy hirsiseinien sekä maaperän kantokyvystä. Pilarin alle tehdään pieni antura, joka jakaa kuorman tasaisesti maapohjalle. (19, s. 59.) Perustettaessa suoraan kallion päälle on pilarit ankkuroitava kalliioon rakennuksen paikalla pysymisen varmistamiseksi (20).

Pilari voidaan tehdä paikallavalaen vaneri- tai lautamuotilla. Markkinoilla on myös betonilla täytettäviä valumuottiharkkoja, jotka ladotaan päällekkäin ja valetaan sisältä betonilla. (19, s. 62.) Muotitkolmiolta on saatavilla myös pahvisia pyöreitä valumuotteja halkaisijoiltaan 150–1 200 mm (21). Perustuspilareita on saatavilla myös valmiina elementteinä, jotka nostetaan nosturilla tai kaivinkoneella suoraan oikealle paikalle työmaalle (Kuva 4.) (22).



KUVA 4. Elementtivalmisteen perustuspilari (22)

3 TARKASTELTAVAT PALKKIVAIHTOEHDOT

Perinteisen hirsitalon alapohjat ovat kannatettu lähes poikkeuksetta seinähirsien väliin tukeutuville hirsillä. Nämä hirret muodostavat alapohjan kantavan rakenteen. Hirsien päälle on koolattu sahatavaraa, jotta alapohjaan on mahtunut mahdollisimman paljon eristettä. (23.) Alapohjan kantavana rakenteena voidaan myös käyttää lujuuslajiteltua sahatavaraa, kerto- ja liimapuupalkkeja. Palkit kiinnitetään alimpaan hirteen sidepuun avulla tai erilaisilla metallisilla kiinnikkeillä. (19, s. 72.)

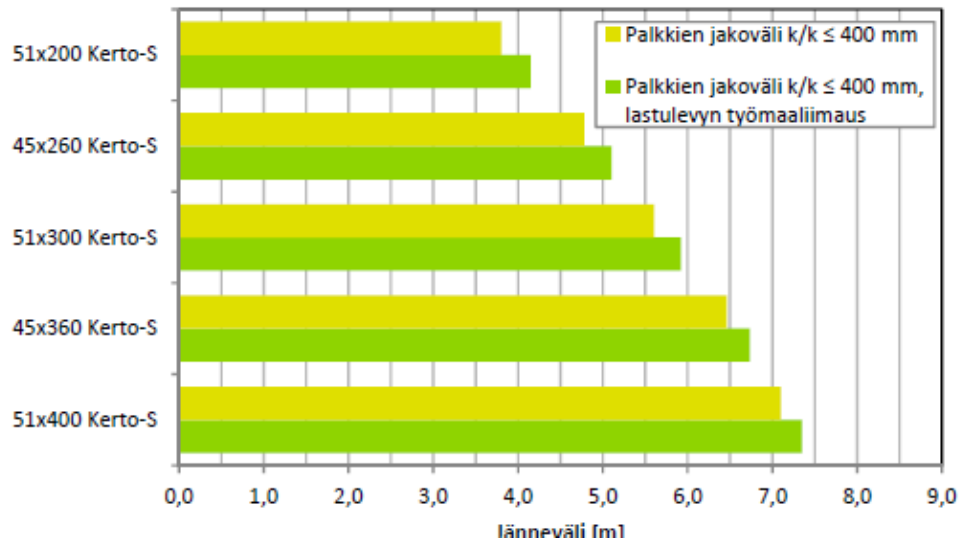
Alapohja voidaan toteuttaa myös ristikkorakenteisilla palkeilla, joita on ollut Suomessa markkinoilla reilun vuosikymmenen ajan. Ristikkorakenteiset palkit helpottavat asennusta keveyden ansiosta ja mahdollistavat pidemmät jännevälit sekä helpottavat LVISA-asennuksia. (24.)

3.1 Kertopuupalkki

Kerto-S-palkki koostuu 3 mm:n paksuisista havupuuvuiluista, jotka liimataan yhteen sään kestäväällä liimalla (25). Kertopuulla on erinomaiset lujuusominaisuudet. Palkin suuren jäykkyyden ansiosta värähtely saadaan helposti hallintaan alapohjarakenteissa säilyttäen pitkät jännevälit. (26.)

Kertopuuta valmistetaan vakiokoossa ja yleisimmät vakiokoot ovat paksuuden osalta 6 mm:n välein alkaen 45 mm:stä aina 63 mm:iin asti. Vakio leveys tuotteella on 200–600 mm. (27.) Valmistajalta voi tilata tuotetta suoraan paksuuksien vaihdella 27–75 mm ja leveyksien vaihdella 40–2500 mm. Pituutta tuotteella voi maksimissaan olla 25 000 mm (25). Paksuuksia 45 mm, 51 mm ja 75 mm saa hyvin rautakaupoista pituuksien vaihdella 6–12 metrin välillä (28).

Mitoitustaulukosta nähdään saavutettavat jännevälit vakiokokoisilla palkeilla (kuva 5). Taulukoita voidaan käyttää alustavassa mitoituksessa rakenteita määriteltäessä, mutta mitoitus on tehtävä kohdekohtaisesti rakennesuunnittelijan toimesta (26).



KUVA 5. Vakiokokoisilla poikkileikkauksilla saavutettavat jännevälit lattiarakenteissa palkin oma-paino ja asuinrakennuksen lattian hyötykuorma huomioon otettuna (26)

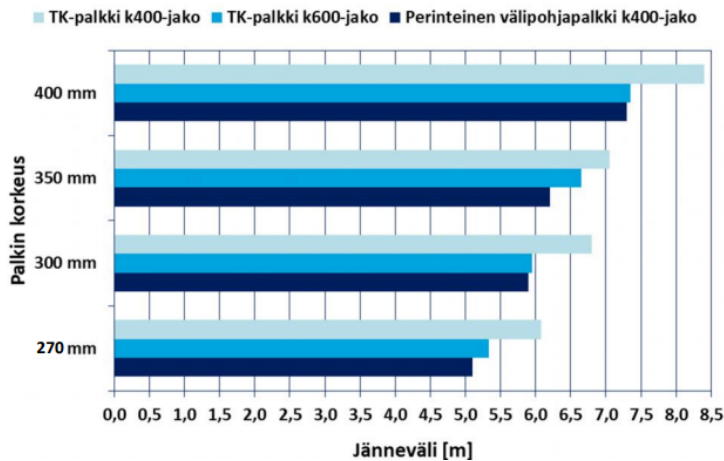
Kertopuupalkkiin voi kiinnittää yleisimpiä kiinnikkeitä ruuveja, nauvoja ja hakasia (25). Alimpaan hirteen palkki voidaan kiinnittää palkkikengillä tai alapuolisella sidepuulla, joka naulataan riittävän tiheästi. Palkin sivuttaissiirtymät sidepuun päällä estetään kulmarauodoilla.

3.2 TK-palkki

TK-palkki on Teeri-Kolmio Oy:n valmistama ristikkopalkki, joka on valmistettu lujuuslajitellusta sa-hatavarasta. Palkit valmistetaan Ylöjärvellä. Palkki koostuu ylä- sekä alapaarteesta, joiden väliin on sormiliitoksin liitetty vinosauvoitus. Mekaaniset kiinnikkeet ovat korvattu rakennuskäyttöön tar-koitettulla liimalla. Palkit koekuormitetaan tehtaalla 1,8-kertaisella nimelliskuormalla, joka palkin tu-lee kestää muuttumattomana. Avoimen rakenteen ansiosta talotekniikka voidaan kuljettaa palkis-ton sisällä. Esitteen mukaan palkki soveltuu rakennuksien välipohjiin. (29.) Valmistajalle lähetetyn kyselyn mukaan tuotetta on käytetty myös alapohjarakenteissa (30).

Määrämittaan katkaistut palkit nopeuttavat työvaiheen läpimenoaikaa. Lisäksi asennustyötä hel-pottavat palkkien keveys sekä kiinnitystarve, sillä pidennetyn yläpaarteen ansiosta erillisiä metalli-sia kiinnikkeitä ei tarvitse asentaa. Harvempi palkkijako vähentää myös tehtävän työn määrää sekä säästää kustannuksissa. (29.)

TK-palkkia valmistetaan korkeuksilla 270, 300, 350, 400, 500 ja 600 mm. Erityistapauksissa palkkia voidaan valmistaa halutun korkuisena. Palkin tuenta voidaan hoitaa joko ylä- tai alapaarteesta. Pituus voi olla 1 000–9 000 mm. (31.) Kuvasta 6 palkin jännevälit palkkikoon sekä palkkijaon mukaan.



KUVA 6. TK-palkeilla saavutettavat jännevälit, kun omapaino 0,6 kN/m² ja hyötykuorma 2,0 kN/m² on huomioitu (29)

3.3 Easi-joist-palkki

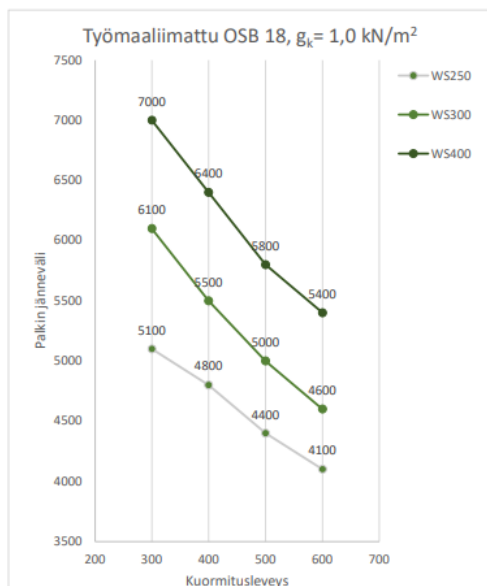
Suomessa Easi-joist-palkkeja valmistaa ainakin: Pohri Oy, Lauttaniemen Teollisuus Oy sekä Sepa Oy (32). Lisäksi Keminmaan puurakenne Oy ilmoitti valmistavansa Easi-joist-palkkeja (33). Easi-joist-palkit valmistetaan lujuuslajitellusta sahatavarasta sekä Wolf Systemsin valmistamista metallisista vinosauvoista. Ylä- ja alapaarteessa käytetty sahatavara on yleensä 48x73 mm tai 48x98 mm, tarvittaessa voidaan valmistaa myös leveämpänä (34). Easi-joist-palkit muistuttavat hyvin paljon NR-rakenteita ja ne suunnitellaan ristikkosuunnitteluohjelmalla. Tyypillisesti NR-suunnittelijat suunnittelevat Easi-joist-palkit, vaikka suunnitteluun ei tarvita sertifioitua naulalevyrakenteiden suunnittelun pätevyyttä. (32.) Saatavissa olevat palkkien korkeudet on esitetty taulukossa 2 (34).

TAULUKKO 2. Easi-joist-palkin kokotaulukko (34)

easi-joist®	PALKIN KORKEUS
WS250	256 mm
WS300	306 mm
WS400	419 mm

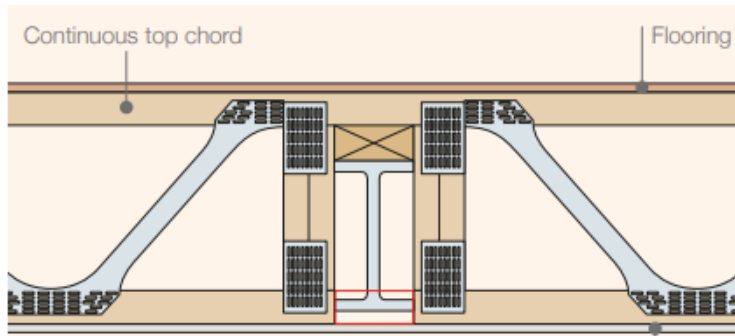
Kantavuusmitoituksen lisäksi Easi-joist-palkille tulee suorittaa eurokoodin mukainen värähtelymitoitus. Palkistorakennetta voidaan jäykistää poikkisuuntaan asennettavilla jäykistepalkeilla. Jäykistepalkkina voidaan käyttää sahatavaraa tai kertopuuta. Jäykisteellä voidaan alentaa huomattavasti askeleista sekä kodinkoneista lattiaan syntyvää värähtelyä. (32.) Alustavassa mitoituksessa voidaan hyödyntää mitoitustaulukkoa (kuva 7) (33).

Työmaaliimattu OSB 18, omapaino 1,0 kN/m²



KUVA 7. Easi-joist-palkeilla saavutettavat jännevälit. Omapaino sisältää väliseinäkuorman 0,3 kN/m² ja hyötykuorma on 2,0 kN/m² (33)

Avoimen palkiston takia LVIS-vedot ovat helppoja toteuttaa rakenteen sisällä. Esimerkiksi 110 mm:n viemäriputki mahtuu kulkemaan helposti palkistossa palkin koosta riippumatta. Palkki voidaan kannatella ala- tai yläpaarteesta. Tarvittaessa välitukikin voidaan upottaa palkiston sisälle (kuva 8). (16.)



KUVA 8. Välikannatin upotettuna Easi-joist-palkistoon (16)

4 TARKASTELTAVIEN RAKENNETYYPPIEN VALINTA

Rakennetyyppien suunnittelu aloitettiin tutustumalla tilaajan lähettämiin loma-asunnoissa käytössä oleviin rakennetyyppeihin. Rakenteissa oli käytetty kantavana palkistona kertopuuta ja eristeenä Finnfoamin rossipohjaeristettä tai puhallusvillaa (8). Rakennetyypeistä nähtiin tilaajan käyttämiä rakenneratkaisuja, jotka myöhemmin auttoivat uusien rakenteiden suunnittelussa. Nykyisiä rakenteita käytetään loma-asunnoissa, mutta ne eivät sovi sellaisenaan käytettäväksi ympärivuotisesti asuttuun hirsitaloon (8).

Alapohjan rakennetyyppejä suunniteltiin 11 kpl. Kantavana rakenteina alapohjissa AP1–AP9 toimi kertopuu. Kertopuun kokoja vaihdeltiin lattiarakenteen painon sekä tarvittavan eristekerroksen mukaan. Rakennetyypissä AP10 käytettiin TK-palkkia. Viimeisen rakennetyypin AP11 kantavaksi rakenteeksi valittiin Easi-Joist-palkki.

Alapohjiin AP1-AP3 suunniteltiin eristeiksi Finnfoamin rossipohjaeristeitä, EPS-levyjä sekä pienen lämmönjohtavuuden omaavaa Finnfoam PIR -eristettä. Seuraavat kaksi alapohjaa AP4–AP5 toteutettiin palavillalla. Lopuissa alapohjissa AP6–AP11 eristeenä käytettiin Ekovilla-puhallusvillaa. Ristikkorakenteen takia alapohjissa AP10–AP11 ei voitu edes kokeilla muita eristeitä kuin puhallusvillaa. Kaikkiin pala- ja puhallusvilloilla toteutettaviin rakenteisiin laitettiin alimmaksi kerrokseksi tuulensuojavilla. Rakennetyypit löytyvät liitteestä 1.

4.1 U_c -arvon valinta tasauslaskennan kautta saaduista tuloksista

Esimerkkikohteeksi valittiin Finnlamellin mallistosta löytyvä Välke 95 -hirsitalo (36). Kohteelle tehtiin tasauslaskenta laskentapalvelut.fi:ssä. Laskennassa käytettiin Välke-taloissa yleisesti käytössä olevien rakenteiden U_c -arvoja pois lukien ilmanvuotoluvun ja alapohjan arvoja. (8.) Ilmanvuotoluvuksi valittiin Vertian kantapalvelusta löytyvä keskiarvo 1,4 (37). Tilaajan käyttämä arvo oli 1,0, mutta laskennassa käytettiin arvoa 1,4, ettei tiiveysmittauksen jälkeen tarvitse tehdä korjaustoimenpiteitä (8). Alapohjan U_c -arvoksi valittiin suunnitteluarvo 0,09 W/m²K. Tarkemmat tasauslaskennan tiedot löytyvät liitteestä 2. Käytetyt U_c -arvot löytyvät taulukosta 3.

TAULUKKO 3. Laskennassa käytetyt U_C -arvot (8 ja 37)

U_C -arvot W/m ² K ja ilmanvuotoluku	
US1	0,53
YP1	0,07
AP	0,09
Ilmanvuotoluku	1,4
Ovet	1,0
Ikkunat	0,8

Tasauslaskelmat tehtiin myös käyttäen alapohjan U_C -arvoina 0,10 ja 0,11 W/m²K. Ominaislämpöhäviön vertailuratkaisu alitettiin niukasti vielä U_C -arvolla 0,10 W/m²K. Arvolla 0,11 W/m²K ylitetiin vertailuratkaisu. Alapohjassa käytettävällä U_C -arvolla 0,09 W/m²K saatiin pelivaraa muiden rakenteiden osalta. Esimerkiksi ikkunapinta-alaa voitaisiin kasvattaa vielä noin 16 %. (38.) Ominaislämpöhäviön vertailu- ja suunnitteluratkaisut ovat taulukoituna alapohjan U_C -arvoilla 0,09–0,11 W/m²K (taulukko 4).

TAULUKKO 4. Ominaislämpöhäviöt

Alapohjan U_C -arvo	Ominaislämpöhäviö W/K	
	Vertailuratkaisu	Suunnitteluratkaisu
0,09 W/m ² K	93,27	92,11
0,10 W/m ² K	93,27	92,98
0,11 W/m ² K	93,27	93,86

4.2 Eristevaihtoehtojen U_C -arvot

Alapohjassa (ulkoilmaan rajoittuva pilariperustus) vallitsevat ulkoilman olosuhteet lämpötilan sekä kosteuden osalta ja lämpö ei kulje maan kautta, siksi tulkittiin, että alapohjan U_C -arvo voitiin laskea standardin SFS EN-ISO 6946 mukaan. Mikäli ilman kulkua talon alle rajoitettaisiin tuuletusaukoilla varustetulla seinärakenteella, laskettaisiin alapohjan U_C -arvo standardin SFS EN-ISO 13370 mukaan. Kansallisessa ohjeessa RIL225-2023 ohjeistetaan standardien SFS EN-ISO 6946 ja SFS EN-ISO 13370 käyttöä. (39.) Tuuletusaukoin varustetun perusmuurin rajatessa alapohjaa tulee tarkastella myös rakenteen toimivuus kosteusteknisesti, sillä alapohjassa on tutkitusti vesihöyryn kondensoitumisriski puurakenteiden alapintaan (40).

Rakennetyyppien U_C -arvot laskettiin laskentapalvelut.fi:stä löytyvällä Dof-lämpö 3.0 -ohjelmalla (38). Ohjelmaan syötettiin aluksi projektin tiedot projektitiedot- ja perustiedot-välilehdille sekä valittiin käytettäväksi rakenteeksi alapohja, joka on ulkoilmaan rajoittuva. Tässä kohtaan voitiin ottaa käyttöön mahdolliset korjaustermit. Mekaanisten kiinnikkeiden aiheuttamaa korjaustermiä jouduttiin käyttämään AP11:ssä, koska metalliset Easi-Joist-sauvat lävistivät osan eristekerroksesta. Rakenteet suunniteltiin niin, että ilmarakojen korjaustaso oli 0 eli alapohjassa vietiin yhtenäinen eristekerros koko alapohjan alueelle. Mikäli rakenteeseen syntyisi koko eristekerroksen läpäisevä kylmäsilta, jouduttaisiin käyttämään korjaustasoa 1, joka nostaisi U -arvoa 0,01 W/m²K.

Seuraavaksi rakenne -välilehdellä muodostettiin halutunlainen alapohja. Rakenteeseen lisättiin kutakin alapohjaa vastaavat rakennekerrokset ja paksuudet (kuva 9).

DOF-LÄMPÖ

Projektitiedot	Perustiedot	Rakenne	Tarkasteluhetket	Tulokset	Tallennus
Lisää uusi kerros			Poista kaikki kerrokset		
Kerros:	mm:	Materiaali:	W/mK:	Kylmäsilta:	
1.	17.00	Muovi	0.250	-	 
2.	13.00	Gyproc GN 13	0.250	-	 
3.	15.00	Gyproc GL 15	0.250	-	 
4.	13.00	Gyproc GN 13	0.250	-	 
5.	25.00	Ilmarako 25 mm	0.111	koolaus 25x100 k300 (33.30%)	 
6.	0.30	Höyrynsulkumuovi (Polyeteeni 0,25mm)	0.330	-	 
7.	400.00	PAROC eXtra	0.036	Kertopuu 42x300 k600 (7.00%)	 
8.	30.00	PAROC Cortex 30 mm	0.033	-	 

KUVA 9. Alapohjan 5 rakennekerrokset (38)

Oikeassa laidassa olevan kynäpainikkeen kohdalta luotuun kerrokseen voitiin vaihtaa sopiva materiaali. Materiaalit löytyivät materiaalikirjastosta, johon oli koottu eri valmistajien tuotteita. Ohjelma valitsi automaattisesti käytetyn materiaalin valmistajan ilmoittaman lämmönjohtavuuden suunnitelluarvon λ_U . Puhallusvillojen osalta ei materiaalivalikossa ollut haluttua materiaalia, joten käytettiin eri valmistajan vastaavaa tuotetta, jossa λ_U -arvo oli hieman suurempi kuin käytettävässä tuotteessa. Easi-joist-palkin osalta ei päästy haluttuun lopputulokseen, joten käytettiin oikeaa eristeen lämmönjohtavuutta 0,038.

Tulokset -välilehdeltä tarkasteltiin ohjelman laskemaa U_C -arvoa (kuva 10). Joidenkin rakennetyyppien kohdalla ei päästy ensimmäisellä yrityksellä haluttuun U_C -arvoon 0,09 W/m²K. Niihin rakenteisiin, jotka eivät saavuttaneet rajaa, lisättiin vielä eristettä ja tarkistettiin tulos uudelleen.

DOF-LÄMPÖ

Projektitiedot Perustiedot Rakenne Tarkasteluhetket **Tulokset** Tallennus

Vyöhyke 1, Mitoitustilanne

U-arvon ja kosteyslaskennan tulokset:

Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläkiarvo:	11.525 m ² K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alalikiarvo:	11.285 m ² K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastus:	11.405 m ² K/W
U-arvo (ilman korjaustermiä)	0.088 W/m ² K
Laskettu/annettu korjaustermi:	0.000 W/m ² K
U-arvo (korjaustermi huomioiden):	0.088 W/m ² K
U-arvo (pyöristetty arvo):	0.09 W/m²K
Uudiskohteen vertailuarvo:	0.09 W/m²K

KUVA 10. Alapohjan 5 U_C -arvo (38)

5 TUULETTUVAN ALAPOHJAN RAKENNEVAIHTOEHTOJEN VERTAILU

Rakenteista tehtiin kustannuslaskelmat Excel-ohjelmistolla. Laskelman perusteella valittiin tarkemman vertailun kohteeksi kolme edullisimmasta päästä olevaa rakennetyyppiä, jotka ovat AP2, AP7 ja AP10. (Taulukko 5.) Alapohja AP1 oli kolmen halvimman vaihtoehdon joukossa, mutta sen sijaan tarkasteluun valittiin neljänneksi halvin alapohja AP7, jotta voitiin vertailla tuloksia eri palkkien ja eristeiden näkökulmasta.

Suunniteltu alapohjavaihtoehto AP11, mikä oli toteutettu 300 mm korkealla Easi-joist-palkilla ja 48 x 148 ristiinkoolauksella jätettiin tässä kohtaa tarkastelun ulkopuolelle, koska suuren määrän osan eristekerroksen lävistävien metallisauvojen takia rakenteen lämmöneristävyys heikkenee ja eristekerrosta pitäisi kasvattaa 70 mm muihin samalla eristeellä toteutettuihin rakenteisiin verrattuna. Easi-joist-palkkien valmistajan mukaan 400 mm korkean palkin hinta on lähes kaksinkertainen verrattuna 300 mm korkeaan palkkiin, joten sitä vaihtoehtoa ei tarkasteltu (33). Ohjeellisten mitoitus-taulukoiden perusteella arvioitiin, ettei saavutettava palkkijako Easi-joist-palkilla eroa merkittävästi tilatusta tarjouksesta TK-palkista.

TAULUKKO 5. Tarkempaan vertailuun valitut alapohjat alv 0 %

Kustannusvertailu	Tunnit	Työ	Materi	Yhteen	87,5	€/m2
AP1	61,45	2150,65	10132,84	12283,49		140,38
AP2	61,45	2150,65	9466,49	11617,13		132,77
AP3	57,65	2017,58	10783,08	12800,66		146,29
AP4	96,53	3378,56	10834,31	14212,87		162,43
AP5	83,83	2933,88	10830,40	13764,28		157,31
AP6	90,09	3153,04	9482,92	12635,96		144,41
AP7	81,62	2856,59	9563,99	12420,58		141,95
AP8	84,55	2959,34	10025,69	12985,03		148,40
AP9	86,77	3036,82	10388,80	13425,62		153,44
AP10	81,62	2856,59	9058,83	11915,43		136,18
AP11	83,05	2906,83	10745,78	13652,60		156,03

5.1 Alapohjavaihtoehto 2

Alapohjan kantavaksi rakenteeksi valittiin kertopuupalkki 57 x 240 ja eristeeksi Finnfoam. Palkisto mitoitettiin Finnwood -ohjelmalla. Palkisto pysyi samana koko alapohjan alueella, sillä esimerkiksi märkätilaan ei tullut ylimääräistä betonivalua. Yhdellä välitukilinjalla palkiston käyttöasteeksi saatiin 95,2 %. (LIITE 3.) Tällä käyttöasteella saatiin palkiston kantokyky tehokkaasti käyttöön, koska palkkijakoa ei voisi muuttaa harvemmaksi käytettävän vakiokokoisen Rossipohjaeristeen takia.

Ensimmäinen eristekerros toteutettiin Finnfoam Rossipohjaeristeellä FI-K600/250. Eristeleveys määräsi palkkijaon 607 mm leveäksi. Tyypillisesti eristettä käytetään 48 mm leveän palkin kanssa, jolloin eriste muodostaa yhtenäisen kerroksen alapohjan alueelle. Mikäli käytetään leveämpää palkkia kuin 48 mm, tulee palkkien vapaan välin olla 550 mm. (7.) Käytettäessä 57 mm leveää palkkia jää eristeen reunoille rako, joka täytetään uretaanivaahdolla. Palkiksi valittiin hieman tavalista leveämpi ja matalampi kertopuupalkki, koska eriste painuu palkin sisälle vain 185 mm. Rossipohjaeristeen päälle laskettiin tarvittavan vielä Finnfoam PIR ALK/90-eriste. Normaalia Finnfoam -eristettä olisi tarvittu 60 mm paksumpi kerros.

Yleisesti alapohjissa käytettiin muovikuitubetonin vahvuutena 60 mm. Tässä alapohjassa muovikuitubetonin kerrospaksuus pienennettiin 50 mm:iin oletuksella, että alapohjassa käytettyyn paksumpaan lisäeristeeseen on helpompi kolota pieniä viemäriveroja esimerkiksi saunan kuivakäivolta. Osan putkesta sijaitessa kolottuina eristeeseen saataisiin tarvittavat kaadot suoritettua 50 mm paksulla muovikuitubetonilaatalla. Vaikka betonimenekin laskennassa olisi käytetty samaa 60 mm kerrospaksuutta, olisi vastaava kokonaan normaalilla Finnfoamilla toteutettu rakenne noin 5 €/m² kalliimpi. Vastaavassa rakenteessa AP1 jouduttiin kasvattamaan kertopuupalkiston korkeus 300 mm:iin, jotta paksumpaa rossipohjaeristettä voitiin käyttää eristeenä. Palkiston kokonaiskäyttöaste laski 84,3 %:iin, jolloin palkistosta ei saatu kaikkea hyötyä irti.

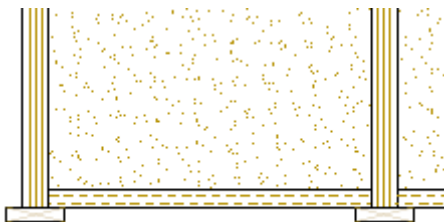
Rakenteen kokonaispaksuus on 445 mm ilman lattian pintamateriaalia. Alapohjan ja ulkoseinän liittymät piirrettiin kantavan ja ei-kantavan seinän sekä välituen kohdalta (LIITE 4). Alapohjan eristekerros suunniteltiin alkamaan hirren alapinnasta. Palkit laskeutuvat 50 mm alimman hirren alapuolelle ja lattiavalun yläpinta on 400 mm alimman hirren alapinnasta ylöspäin. Ei-kantavalle seinälle suunniteltiin seinään kiinnitettäväksi 48 x 198 lankku Rossipohjaeristelevyn tueksi, sillä en-

simmäisen kertopuupalkin keskikohta on vasta 607 mm:n kohdalla. Kantavassa suunnassa seinälle naulataan 48 x 148 lankku, johon kolotut kertopuupalkit asennetaan k607 jaolla. Palkit kiinnitetään kulmarauodoilla molemmin puolin palkkia molemmista päistä sekä keskeltä. Palkit hahmoteltiin pohjaluonnoskuvan päälle (LIITE 5).

5.2 Alapohjavaihtoehto 7

Alapohjavaihtoehto 7:n kantava palkisto toteutettiin kertopuulla 42 x 400 mm ja eristeenä käytettiin puhallettavaa Ekovillaa. Palkisto mitoitettiin Finnwood -ohjelmalla. Palkiston kuormitukset vaihtuvat kesken alapohjan, koska märkätilan kohdalle valettava betonilaatta lisää merkittävästi rakenteen omapainoa. Märkätilan kohdalla jouduttiin palkkijakoa tihentämään 600 mm:stä 400 mm:iin. Palkkien laskelmat löytyvät liitteistä 6 ja 7. Palkiston käyttöaste on jaolla 600 mm 89,1 % ja jaolla 400 mm 82,7 %. Palkistoon jätettiin hieman löysää, jotta voitaisiin tarvittaessa porata pieniä reikiä palkin yläreunaan vesiputkille. Tuulensuojalevyn hukan kannalta ei olisi järkevää kasvattaa jakoa 50 mm:llä

Eristeenä käytetään tuulensuojalevyn päälle puhallettavaa Ekovillaa. Eristepohja puhallusvillalle toteutetaan 30 mm tuulensuojalevyllä, joka kiinnitetään palkiston alapuolelle lautakoolauksella. Helpommin toteutettava vaihtoehto olisi naulata laudat palkkien alapuolelle palkkien suuntaisesti, jolloin tuulensuojavillat voitaisiin asentaa palkkiväleihin yläpuolelta. Tämä on kuitenkin rakennusfysikaalisesti huonompi vaihtoehto, koska rakenteeseen muodostuisi kylmäsilta palkiston kautta. Tämän takia jouduttaisiin palkiston korkeutta kasvattamaan, jotta eristemateriaalia mahtuisi rakenteeseen enemmän. Lisäksi riskinä on tuulensuojalevyjen taipuminen ja lopulta putoaminen palkkien välistä alapohjaan. (Kuva 11.)



KUVA 11. Rakennusfysikaalisesti huonompi vaihtoehto kiinnittää tuulensuojalevy

Vesihöyryn kulkeutumisen estävä höyrynsulku asennetaan heti lattialevyjen alapuolelle lautakoolauksen päälle. Tällä menetelmällä hyödynnetään koko käytettävissä oleva eristystila. Myös puhallusvillan ja höyrynsulun asentaminen helpottuu, kun ne voidaan asentaa 300 mm jaolla olevan lautakoolauksen päältä. Lattian levytys on tehtävä huolellisesti, ettei höyrynsulku rikkoonnu. Höyrynsulkukalvon sauma tuodaan aivan jalkalistan alle, jotta jalkalista puristaisi liitosta teippauksen lisäksi. Tällä parannettaisiin liitoksen ilmatiiveyttä.

Lattian pintarakenteeksi suunniteltiin 3-kertainen kipsilevy, jonka keskimmäiseen kerrokseen asennettiin lattialämmitysputkisto. Laskelmassa ei huomioitu levyjen yhteen liimaamisesta aiheutuvia kustannuksia, mutta keskimmäisestä levykerroksesta ei ole vähennetty putkistoista johtuvia levytömiä alueita, joten kipsilevyn GL15 määrä on reilusti todellista suurempi. Tämän arvioitiin tasoittavan materiaalikustannuksia.

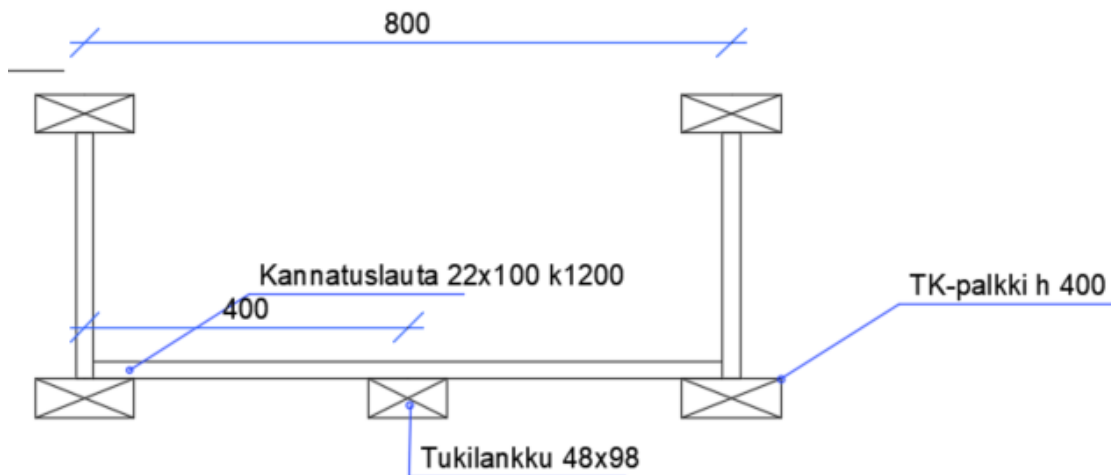
Rakenteen kokonaispaksuus on 494 mm ilman lattian pintarakennetta sekä tuulensuojalevyn kiinnityslautaa. Alapohjan ja ulkoseinän liittymät piirrettiin kantavan ja ei-kantavan seinän sekä välituen kohdalta (LIITE 8). Alapohja asemoitiin ulkoseinälle niin, että tuulensuojalevyn ulkopinta lähtee alimman hirren alapinnasta. Lattialevytyksen yläpinta asettui 494 mm alimman hirren alapinnasta ylemmäs. Lattialevytyksen koolaukselle sekä tuulensuojalevyn kiinnitysalustaksi ei-kantavalle seinälle suunniteltiin seinään naulattavat 48 x 98 lankut. Kantavalle seinälle naulataan 48 x 148 lankku, johon päistään lovetut kertopuut asennetaan märkätilan kohdalla jaolla k400 ja muun rakennuksen alueella k600. Palkit kiinnitetään kulmarauodoilla molemmin puolin palkkia molemmista päistä sekä keskeltä. Palkit hahmoteltiin pohjaluonnoskuvan päälle (LIITE 9).

5.3 Alapohjavaihtoehto 10

Alapohjavaihtoehto 10 toteutettiin 400 mm korkealla TK-palkilla. Palkkien valmistajalta Teeri-Kolmio Oy:ltä kysyttiin mahdollista hintaeroa 300 mm korkeaan palkkiin, jota korotettaisiin 100 mm korkealla ristiinkoolauksella. Matalampi palkki hylättiin heti alkuun, koska taipuman ja värähtelyn takia korkeampi palkki olisi parempi vaihtoehto eikä hinnassakaan olisi merkittävää eroa. Heiltä tilattiin tarjous esimerkkikohteen palkistosta, sillä heidän edustajansa mukaan tällä menetelmällä saataisiin todellisuutta vastaava hinta. Ammattilaiset mitoittavat palkiston erikoisohjelmistolla jokai-

seen kohteeseen yksilöllisesti. Palkisto mitoitettiin kahdelle eri kuormitukselle, sillä märkätilan kohdalla alapohjaan valetaan betonilaatta. Märkätilan kohdalla palkiston jaoksi saatiin k600 käyttöasteen ollessa 100 %. Tämä on valmistajan mukaan sallittua, koska yläpaarretuettujen palkkien kestävydessä on 2,5–3,0-kertainen ylikapasiteetti. Muualla alapohjan alueella palkkijako on k800 käyttöasteen ollessa 96 %. (41.) Palkisto piirrettiin pohjaluonnoksen päälle (LIITE 10).

Lämmöneristys ja lattian pintarakenteet toteutetaan samalla tavalla kuin alapohjassa 7. Muutoksena vain lattialevytyksen alapuolinen koolaus kasvatettiin 25 mm:stä 32 mm:iin palkiston harvemman jaon vuoksi. Tuulensuojalevyn hukan minimoimiseksi asennettiin kolmeen palkkiväliin, kuvan 12 mukainen kiinnitysalusta TK-palkkien väliin.



KUVA 12. Tuulensuojalevylle tehtävä kiinnitysalusta

Rakenteen kokonaispaksuus on 501 mm ilman lattian pintarakennetta ja tuulensuojalevyn kiinnityslautaa. Alapohjan ja ulkoseinän liittymät piirrettiin kantavan ja ei-kantavan seinän sekä välituen kohdalta (LIITE 11). Alapohja asetoitiin ulkoseinälle niin, että tuulensuojalevyn ulkopinta lähtee alimman hirren alapinnasta. Lattialevytyksen yläpinta asetui 501 mm alimman hirren alapinnasta ylemmäs. Lattialevytyksen alapuoliselle koolaukselle sekä tuulensuojalevyn kiinnitysalustaksi ei-kantavalle seinälle suunniteltiin seinään naulattavat 48 x 98-lankut. Kantavalle seinälle naulataan kaksi 42 x 148-lankua. TK-palkit asennetaan märkätilan kohdalla jaolla k600 ja muun rakennuksen alueella k800. Palkit kiinnitetään ruuvaamalla minimissään 65 mm kohdalta palkin päästä. (41.)

5.4 Materiaalikustannukset

Materiaalikustannukset laskettiin Excel-ohjelmistoon tehdyllä laskentapohjalla (LIITE 12). Rakennusmateriaalien hintoina käytettiin Taloon.com:n sivustolta löytyviä hintoja (42). Suurin osa hinnoista muutettiin vastaamaan kuutiohintoja, koska sillä hinnalla tavarat ostetaan tehtaalle (8). Nauhojen, ruuvien, niittien, ja teippien yksittäisiä hintoja ei lähdetty laskemaan erikseen. Laskelmassa käytettiin näiden osalta yhtä summaa, joka kattaisi ainakin suurimman osan tuotteiden menekistä.

Tarvikkeiden määrät laskettiin käsin esimerkkikohteen pohjakuvasta. Laskentapohjaan ne ilmoitettiin yksikköinä jm, kpl, m2, tonni tai m3. Määräsarakeeseen ilmoitetaan esimerkiksi puutavaran menekki jm:nä. Leveys- ja korkeussarakkeisiin syötetään materiaalin korkeus ja leveys metreinä. Laskentapohja muuttaa määrät kuutioiksi, jonka perusteella lopullinen hinta laskettiin. Excel-laskentapohjaan voidaan tarvittaessa vaihtaa uusi hinta, mikäli yrityksellä on eri hinta kyseisellä tuotteella. Materiaalihukat haettiin Rakennustieto-palvelusta (43).

Tarkemmassa laskennassa vaihdettiin kertopuulle tilaajalta saatu kuutiohintaa. Näin laskelmat pysyvät TK-palkin kanssa vertailukelpoisina. Muiden rakennusmateriaalien osalta ei lähdetty muuttamaan hintoja koska rakenteet ovat hyvin samanlaisia, niin kustannusten suhde pysyy samana, vaikka hinta muuttuisi. Tilaaja arvioi itse työn valmistuttua omat hinnat rakennustavaralle.

5.5 Työkustannukset

Kustannusarvion työkustannukset laskettiin oletuksella, että kaikki työvaiheet tehdään työmaalla tuntityönä. Työn hintana käytettiin kuvitteellista 35 €/h tuntihintaa. (8.) Työmenekit haettiin Rakennustieto-palvelusta. Työmenekit laskettiin T4-ajalla, Työvaihe aika T4 saatiin, kun kerrottiin työvuo-roikkaa T3 työvaiheen lisäkertoimella TL3. (43.) Elementtitehtaalle tyypillisempää olisi rakentaa alapohjat elementeistä ja arvioida työmenekkejä tämän kautta. Tässä alapohjassa oletettiin tehtaalla tehtävien elementtien esivalmiusasteen olevan niin pieni varsinkin puhallusvillalla toteutettu-

jen alapohjien osalta, ettei olisi järkevää kuljettaa työmaalle pelkkiä toisiinsa koolattuja alapohjapalkkeja. Alajärvellä sijaitsevalla Finnlamellin tehtaalla ei pystyttäisi edes toteuttamaan alapohjajälementtejä, puutteellisten tilojen vuoksi. (8.)

Laskentapohjaan syötettiin työn suoritekerroin, työn määrä sekä työmenekki. Näillä esitiedoilla saatiin jokaiseen työvaiheeseen kuluvat työtunnit. Mikäli jokin työvaihe suoritettaisiin alihankintana, voitaisiin sille varattuun sarakkeeseen syöttää myös urakkahinta.

5.6 LVIS-järjestelmien huomiointi

Alapohjien kantavista rakenteista syntyvien rajoitteiden takia selvitettiin viemäröinnin vaikutuksia koko alapohjarakenteen kustannuksiin. Alapohjassa AP10 voidaan viemäröinti toteuttaa kantavan rakenteen eristekerroksen sisällä avoimen ristikkorakenteen takia, jolloin putkia ei tarvitse eristää. Alapohjassa AP7 voidaan viemäreitä viedä pelkästään palkkien suuntaisesti, jotka liittyvät yhteen eristettyyn palkkien kanssa kohtisuorassa kulkevaan putkistoon. Alapohjan AP2 kova eriste rajoittaa viemärien vaakavedot, joten viemärit vedetään eristettynä ryömintätilassa.

Esimerkkikohteen Välke 95 -talon pohjapiirustuksesta arvioitiin viemäriputkilinjojen olevan noin 16 m (8). Pohjapiirustuksesta laskettiin karkea arvio käytettävistä putkitarvikkeista. Putkieristeenä käytettiin uretaanipinnoitteista 110 mm:n viemäriputkea. Näiden tietojen perusteella luotiin kustannusvertailu eristetyille, eristämättömälle ja osittain eristetyille viemäröinnille (LIITE 13). Materiaalien osalta huomattiin eristetyn viemäröinnin olevan 169 % kalliimpi kuin eristämätön viemäröinti.

Työmenekkejä ei lähdetty laskemaan LVIS- töiden osalta, mutta voidaan olettaa eristetyn viemäröinnin asennuksen olevan alapohjassa hitaampaa ahtaa työskentelytilan, kannakoinnin sekä eristämisen osalta, kuin avoimessa palkistossa. Korkealla kertopuulla toteutetussa alapohjassa tulee ylimääräistä työtä vesijohtojen takia, joita joudutaan koloamaan palkin yläreunaan palkistoa vasten kohtisuoraan asentaessa.

5.7 Tarkempi laskenta ja sen tulokset

Tarkemmassa laskennassa pyrittiin selvittämään mahdollisimman tarkasti alapohjiin syntyvät kustannuserät. Ylimääräisiä kustannuksia syntyy palkkien koloamisesta ja kiinnityksestä, viemäreiden eristämisestä sekä märkätilan kohdalla lattian pintarakenteen muuttumisesta kipsilevystä muovikuitubetoniin. Kulmarautojen asennuksesta ja palkkien koloamisesta arvioitiin tulevan ylimääräisiä työtunteja 3,7 h. Lisättävien lankkujen ja tuulensuojalevyjen kiinnitysalustojen työmenekkiä ei laskettu laskemaan, vaan sen oletettiin sisältyvän palkiston ja eristepohjan asennuksen työmenekkiin. Tarkemmat laskelmat löytyvät liitteestä 17.

Alapohjaan 2 tulee lisäkustannuksia päätyseinille lisättävistä eristettä kannattelevista 48 x 198 lankuista sekä kantavalle seinälle naulattavista 48 x 148 palkiston kannatuslankuista. Lisäksi kertopuupalkkien päiden koloamisesta ja kulmarautojen asennuksesta arvioitiin työtunteja tulevan 3,37 tuntia lisää.

Alapohjaan 7 tulee lisäkustannuksia päätyseinälle lisättävistä koolauksen sekä tuulensuojalevyn kiinnitysalustoista, joita ovat kaksi kappaletta 48 x 98 lankua molempiin päätyihin. Palkkien koloamisesta, kulmarautojen kiinnittämisestä sekä 48 x 148 palkiston kannatuslankuista aiheutuvat kulut lisättiin laskelmaan. Lattian pintarakenteen muutos 10 m² alueelle huomioitiin laskelmassa.

Alapohjan 10 osalta 6 palkin vähenemisen takia työmenekkiä laskettiin 0,08 tth/m² palkiston ja eristepohjan asentamisen osalta. Kertopuupalkkien kiinnitykseen tarvittavia kulmarautoja ei tarvita TK-palkistossa. Alapohjassa jouduttiin lisäämään kahdet 48 x 98 tuulensuojalevyn kannatuslankut päätyseinille sekä kolmeen palkkiväliin 48 x 98 lankut kiinnitysalustoiksi tuulensuojalevyille. Lisäksi tarvittiin rakennuksen pitkille seinille ylimääräiset 48 x 98 lankut tuulensuojalevyn kiinnitystä varten. TK-palkin yläpaarretuennan vaativan tukipituuden takia jouduttiin kantaville seinille asentamaan päällekkäiset 42 x 148 lankut. Lattiassa jouduttiin märkätilan kohdalle 10 m² alueelle vaihtamaan pintamateriaaliksi muovikuitubetoni. Tarkemman laskennan perusteella syntyivät uudet neliöhinnat alapohjavaihtoehdoille (taulukko 6).

TAULUKKO 6. Tarkemman laskennan neliöhinnat alv 0 %

Kustannusvertailu	Tunnit	Työ	Materi	Yhteen	87,5	€/m2
AP2	65,15	2280,24	8426,64	10706,88		122,36
AP7	86,51	3027,96	8720,30	11748,25		134,27
AP10	74,34	2601,91	9362,64	11964,55		136,74

Tarkemman materiaalimenekin sekä työmenekin perusteella huomattiin alapohjavaihtoehtojen järjestyksen olevan sama. Tämän jälkeen tarkasteluun otettiin välitukilinjan kannatinpalkki. Tilaajan mukaan on järkevää suunnitella välituki samalla palkilla kuin alapohjapalkisto (8). Alapohjien 2 ja 10 välituki toteutettiin rinnakkaisilla 57 x 240 kertopuilla ja alapohjan 7 välituki rinnakkaisilla 42 x 400 kertopuilla. Alapohjan 7 välitukipalkki on noin 19 % kalliimpi kuin alapohjien 2 ja 10. Alapohjassa 10 ei ole merkitystä, mitä kertopuuta siinä käytetään, koska ne joudutaan toimittamaan joka tapauksessa erikseen. Alapohjassa 10 käytettiin samaa välitukea kuin alapohjassa 2, jotta kustannuseroa tämän takia ei syntyisi. Alapohjan 10 osalta selvitettiin myös mahdollisuutta käyttää TK-palkkia välitukena, mutta se ei ollut valmistajan mukaan kustannustehokasta, sillä välitukeja jouduttaisiin tekemään kolme (42). Tämän jälkeen otettiin laskelmaan mukaan alapohjassa 2 viemäriputkiston eristyksestä aiheutuva kustannus, joka on eristeen osalta 169 % suurempi kuin eristämättömät viemärit alapohjissa 7 ja 10. (Taulukko 7.)

TAULUKKO 7. Kaikki kustannukset huomioituna alv 0 %

Kustannusvertailu	AP	Välituk	LVIS	YHT	87,5	€/m2
AP2	10706,88	299,4149	669,26	11675,56		133,4349
AP7	11748,25	356,2876	354,23	12458,77		142,386
AP10	11964,55	299,4149	248,93	12512,90		143,0045

Halvimmaksi alapohja vaihtoehdoksi saatiin 57 x 240 kertopuulla, Finnfoam eristeellä toteutettu alapohja 2, joka on noin 6,5 % halvempi kuin Ekovillalla ja kertopuupalkilla toteutettu alapohja 7 tai Ekovillalla ja TK-palkilla toteutettu alapohja 10. TK-palkin ja 42 x 400 kertopuupalkiston välillä kustannuseroa ei juuri ole. Huomioitavaa kuitenkin on, ettei laskelmassa ole huomioitu alapohjassa tarvittavaa viemäriputkien kiinnitystä sekä mahdollisia vesiputkien upotuksia ja reikien tekoa Finnfoam eristekerrokseen. Tuloksien tarkastelussa on huomioitava, että AP2 on toteutettu eri eristemateriaalilla kuin AP7 ja AP10.

Alapohjien U_c-arvoissa on vielä vähän pelivaraa ja tarkemmalla laskennalla voitaisiin optimoida eristekerroksien paksuuksia esimerkiksi tuulensuojalevyjen osalta. U_c-arvojen laskentatulokset alapohjista 2, 7 ja 10 löytyvät liitteistä 14–16.

6 PILARIPERUSTUSVAIHTOEHTOJEN KUSTANNUSVERTAILU

Työn lopuksi tehtiin kustannusvertailu kolmelle pilariperustustavalle. Pilarit toteutettiin paikallavalaen, valumuottiharkoilla tai elementtiratkaisulla. Esimerkkikohteeseen arvioitiin tarvittavia pilareita menevän 20 kappaletta ja niiden olevan 1200 mm korkeita. Kustannukset laskettiin Excel-ohjelmistoon tehdyllä laskentapohjalla (LIITE 18). BCE KP-1000 150/600 pilarin hinta säätölevyineen otettiin K-Raudan verkkokaupasta (44). Betonin hinnaksi arvioitiin 120 €/m³. Loppujen materiaalien hinnat otettiin taloon.com:n verkkokaupasta (42). Työmenekit haettiin Ratu-kortistosta (43).

Paikallavalettavassa vaihtoehdossa ensiksi muotitetaan, raudoitetaan ja valetaan neliön muotoiset anturanapit 200 x 600 mm. Seuraavana päivänä anturanappien päälle kasataan valumuotit ja valetaan 250 mm kanttiinsa olevat pilarit. Tässä perustusvaihtoehdossa työtä tulee valumuottien ka-sauksesta anturoiden ja pilarien osalta, raudoituksesta ja muottien purkamisesta.

Valumuottiharkkovaihtoehdossa muotitetaan, raudoitetaan ja valetaan neliön muotoiset anturanapit 200 x 600 mm. Seuraavana päivänä betonin kovettua kasataan anturan päälle tarvittava määrä valumuottiharkkoja, jotka lopuksi täytetään betonilla. Ylimääräistä kustannusta syntyy ostettavista valumuottiharkoista, mutta muottienpurkuvaihe jää pilareiden osalta kokonaan pois. Yleensä harkoilla tulee siistimpää ja suorempaa jälkeä kuin paikallavalaen.

Elementtiperustusvaihtoehdossa työmaalle toimitetaan säätöjaloin varustetut BCE:n valmistamat KP pilarielementit. Pilarielementit voidaan asentaa samana päivänä tasatulle sorapatjalle. Elementtien asennukseen tarvitaan kaivinkone tai nosturi.

Kustannusvertailun perusteella todettiin paikallavalaupilareiden olevan halvin vaihtoehto. Toisena on valumuottiharkoilla toteutettu perustus ja kallein vaihtoehto on elementtiperustus (taulukko 8).

TAULUKKO 8. Pilariperustusten kustannukset alv 0 %

Kustannusvertailu	Tunnit	Työ	Materiaalit	Yhteensä	20	€/kpl
PVP	20,50	717,57	1340,16	2057,73		102,8864
VMH	16,19	566,51	1532,22	2098,72		104,9362
ELEM	25,12	879,34	1845,20	2724,54		136,227

Kustannuslaskelmassa huomiottiin vain työn ja materiaalien osuus. Esimerkiksi paikallavalettavaan vaihtoehtoon tarvittaisiin muottikalusto sekä kahdesti vähäisen määrän betonia toimittava betoni-auto. Betoniauton käyntikerrasta syntyy 0,5–1,0 m³ hukkaan menevää betonia, mikä lisää kustannuksia. Betonoinnit voitaisiin suorittaa myös valmisbetonista itse sekoittamalla. Tämä pienentäisi betonin hukkaa, mutta lisäisi tehtävän työn määrää. Elementtien asennuksessa tarvittavaa nostokalustoa ei ole huomioitu laskelmassa. Kahdenkymmenen pilarin asennus sujuisi varmasti ammattitaitoisilta asentajilta ja kaivinkonekuskilta ripeämmin kuin Ratu-kortistosta ilmenevä työmenekki 1tth/kpl, mutta se ei muuta tilannetta, koska pelkät materiaalit ovat useamman sadan euron verran kalliimpia, kuin muissa vaihtoehdoissa (43). Lisäksi kyseisen pilarielementtivalmistajan valmistamia pilareita on saatavilla korkeuden puolesta vain 1200 mm:iin asti (22).

Laskentapohjalla kokeiltiin laskea myös, että muuttuisiko kustannusvertailun tulos, jos otettaisiin vertailuun 2000 mm korkea pilari. Työmenekit ovat sidottu neliöihin, kuutioihin sekä kappaleisiin, minkä takia kustannukset muuttuvat samassa suhteessa, joten laskentapohja ei ole hyvä tähän tarkoitukseen. Mikäli materiaalien hukat ja määräalennukset otettaisiin huomioon voisi laskentapohja toimia myös tähän tarkoitukseen.

7 YHTEENVETO

Hyvien rakennuspaikkojen vähenemisen seurauksena joudutaan joskus miettimään vaihtoehtoisia ratkaisuja talon perustamistavalle. Tontti voi olla jyrkkärinteinen eikä, kellarikerrosta haluta tehdä tai se ei ole rakennusoikeudellisesti mahdollista. Tämän takia talo on rakennettava pilareiden vaaraan. Tällöin alapohjan energiatehokkuus vaatimukset kasvavat ja tarve uusien rakenteiden kehittämiseksi syntyy. Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa kaksi kustannustehokasta rakennelikausta Finnlamellin valmistamien hirsitalojen ulkoilmaan rajoittuvaan alapohjaan. Työssä haettiin kustannustehokkainta ratkaisua alapohjalle suunnittelemalla erilaisia rakenteita ja laskemalla niiden valmistuksesta syntyvät kustannukset. Lopuksi laskettiin kustannustehokkain tapa toteuttaa pilariperustus.

Esimerkki kohteelle Välke 95 tehtiin tasauslaskenta, jonka perusteella tavoiteltavaksi alapohjan U_C -arvoksi valittiin 0,09 W/m²K. Tilaajalta saadun lähtöaineiston pohjalta suunniteltiin 11 erilaista rakennetyyppiä. Rakenteet suunniteltiin saavuttamaan U_C -arvon 0,09 W/m²K. Kustannusten arvioimiseen tehtiin Excel-laskentapohja, jolla arviottiin rakenteiden neliöhintaa työ- sekä materiaalikustannusten perusteella. Työ oletettiin tehtävän kokonaan työmaalla, koska todellista esivalmistusastetta ei tarkasteltu tässä työssä. Ensimmäinen laskentakierros materiaalin osalta toteutettiin taloon.com:in hinnoilla. Laskelman perusteella valittiin tarkempaan tarkasteluun kolme alapohjaa AP2, AP7, AP10. Alapohjan 10 osalta tilattiin Teeri-Kolmiolla palkkisuunnitelmat esimerkki kohteeseen. Laskelmiin tehtiin tarkennuksia materiaali ja työmenekkien osalta sekä lisättiin joitakin työvaihteita. Esimerkiksi märkätilan aiheuttama palkkijaon pieneminen huomioitiin tässä vaiheessa. Tilaajalta pyydettiin heidän tämänhetkinen kertopuun hinta, jotta vertailu TK-palkin kanssa voitiin suorittaa. Lisäksi laskelmassa huomioitiin välituesta aiheutuvat kulut sekä materiaalimenekin kasvaminen viemäriputkien eristämisen takia.

Vertailun tuloksena saatiin esimerkikohteeseen kustannustehokkaimmaksi ratkaisuksi AP2, joka on toteutettu 57 x 240 mm kertopuupalkilla sekä Finnfoam Rossipohjaeristeellä, joka oli selvästi halvempi kuin TK-palkilla ja 42 x 400 mm kertopuupalkilla toteutetut alapohjat AP7 ja AP10, joiden eristeinä käytettiin puhallusvillaa. Tulosten tarkastelussa kannattaa huomioida, että alapohja AP2

eroaa rakenteeltaan merkittävästi AP7 ja AP10 verrattuna, joten niitä ei voida verrata suoraan keskenään. Puhallusvillaeristeellä toteutettujen alapohjien välillä ei kustannuseroa juuri ollut. Tulokset on saatu noin 4 000 mm:n jänneväleillä toteutettuun alapohjaan. TK-palkin edustajan mukaan pidemmällä jänneväleillä alapohjien kustannusero voisi muuttua TK-palkkeihin perustuvan alapohjan eduksi (41).

Tilaaajan kannattaa kuitenkin vaihtaa materiaalien hinnoiksi heidän käyttämänsä hinnat sekä pohtia alapohjien esivalmistusastetta, sillä ne saattavat vaikuttaa tarkastelun lopputulokseen. Lisäksi olisi hyvä tarkastella todellisia LVIS-kustannuksia materiaali- ja työmenekkien osalta. Rakenteiden U_c -arvon laskennassa on jouduttu käyttämään joitakin yksinkertaistuksia käytetyn laskentamenetelmän takia. Mikäli rakenteet mallinnettaisiin 3D-ohjelmalla, voitaisiin lämmöneristekerroksia mahdollisesti hieman optimoida esimerkiksi tuulensuojalevyn paksuudessa. Alapohjan sijoituksessa seinärakenteen yläpuolelle on hyvä huomioida, että seinärakenteen korkeutta joudutaan kasvattamaan ainakin yhden hirsikerran verran.

Pilariperustusvaihtoehdoista halvimmaksi tuli paikallavalettu pilariperustus. Ero valumuottiharkoilla toteutettuun perustukseen on hyvin pieni. Laskelmissa ei huomioitu valumuoteista eikä rautojen taivutuksesta syntyviä kustannuksia. Valumuottiharkoilla toteutettu ratkaisu voisi olla edullisin, jos nekin huomioitaisiin. Elementtivaihtoehto oli selvästi kalliimpi muihin verrattuna, mutta se voisi tulla kannattavaksi yksittäisissä kohteissa. Silloin muottikalustoa eikä betoniautoa tarvittaisi ollenkaan.

Tätä opinnäytetyötä tilaaja voi hyödyntää uusien rakenteiden suunnittelussa sekä alapohjien kustannusten tarkastelussa. Kaikkia rakenteita kannattaisi vielä pohtia tapauskohtaisesti voisivatko ne olla edullisin vaihtoehto tietyn tyyppisessä rakennuksessa. Laskentapohja soveltuu kuitenkin huonosti eri kokoisten rakennusten vertailuun, sillä materiaalit ja menekit ovat sidottuja neliöihin, juoksumetreihin, ja kuutioihin. Kustannukset muuttuvat samassa suhteessa, mikäli alapohjan kokoa kasvatetaan tai pienennetään.

LÄHTEET

1. DEN Finland Oy 2025. Yrityksen esittely. Hakupäivä 4.1.2025. <https://den.fi/meista/>.
2. Jokelainen, Janne 2023. Liittyvät rakenneosat. Oppimateriaali. Hakupäivä 5.11.2024.
3. Norja, Hannele 2021. Pohjalaistalo sai hyvin tuulettuvan alapohjan. Pointti. Hakupäivä 15.11.2024. <https://pointti.fi/teema/pohjalaistalon-tuulettuva-alapohja/>.
4. Puuinfo Oy 2020. Suunnittelu. Tekniset tiedotteet. Ulkoilmalla tuulettu puualapohja. Hakupäivä 7.10.2024 <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/ulkoilmalla-tuulettu-puualapohja/>
5. Rajahalme, Juha 2021. Pientalon perustusten ja tuulettuvan alapohjan korjaus. Arkkitehtilehti. Hakupäivä 13.10.2024. <https://rakennusarkki.fi/wp-content/uploads/2021/05/POSTERI-Juha-Rajahalme.pdf>.
6. Puuinfo Oy, Saint-Gobain Oy, Rockwool oy, Ekovilla Oy, Finnfoam Oy & Kingspan Insulation Oy 2023. Puurunkoisen rakennuksen eristäminen. Puu-Lehti. Hakupäivä 5.11.2024. <https://puuinfo.fi/2023/02/28/puurunkoisten-rakennusten-eristaminen/>.
7. FinnFoam 2022. Weber Plaano lattiaratkaisu. Hakupäivä 5.11.2024. https://finnfoam.fi/wp-content/uploads/2022/11/FINNFOAM_FI_K600_Plaano_Ratkaisukortti_2022.pdf.
8. Typpö, Petteri 2024. Suunnittelupäällikkö. DEN Finland Oy. Keskustelut ja esimerkkikuvat syksyllä 2024 ja keväällä 2025.
9. Ahveniston Rakennus-Palvelu Oy. Kipsivalulattiat. Hakupäivä 27.11.2024. <https://www.ahvenistonrakennuspalvelu.fi/kipsivalulattia/lampolattiat/>.
10. Ympäristöministeriö. Tasauskantaopas 2018. Hakupäivä 6.11.2024. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tasauskantaopas-2018-310317-181217-\(002\)-8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf/acb4fd5e-e622-c6e7-c0f0-97aa59de0886/Tasauskantaopas-2018-310317-181217-\(002\)-8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf?t=1603260250564](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tasauskantaopas-2018-310317-181217-(002)-8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf/acb4fd5e-e622-c6e7-c0f0-97aa59de0886/Tasauskantaopas-2018-310317-181217-(002)-8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf?t=1603260250564).

11. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energia tehokkuudesta 1010/2017. Hakupäivä 6.11.2024. [Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen... 1010/2017 - Säädökset alkuperäisinä - FINLEX®](#).
12. Puuinfo Oy 2020. Rakenteet. Rankarakenteet. Palkiston ja NR-ristikoiden jäykistys. Hakupäivä 5.11.2024. <https://puuinfo.fi/rakenteet/rankarakenteet/palkiston-ja-nr-ristikoiden-jaykistys/>.
13. Puuinfo Oy 2020. Rakenteet. Rankarakenteet. Jännevälit. Hakupäivä 5.11.2024. <https://puuinfo.fi/rakenteet/rankarakenteet/jannevalit/>.
14. Puuinfo Oy 2023. Suunnittelu. Mitoitustyökalut. Finnwood 2.4.3 mitoitusohjelma. Hakupäivä 6.11.2024. <https://puuinfo.fi/suunnittelu/mitoitustyokalu/finnwood-mitoitusohjelma/>.
15. Viljakainen, Mikko 2004. Avoin puurakennusjärjestelmä – paikalla rakentaminen. Hakupäivä 15.11.2024. <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/suunnitteluperusteetkokooehje-1.pdf>.
16. Ristek Oy. Easi-Joist. Tekninen manuaali. Hakupäivä 9.1.2025. <https://ristek.fi/wp-content/uploads/2022/12/easi-joist-tech-guide-v8-6th-edition.pdf>.
17. Puuinfo Oy 2023. Puurakenteiden eurokoodiuudistus lausuntovaiheessa. Hakupäivä 19.11.2024. <https://puuinfo.fi/2023/10/11/puurakenteiden-eurokoodiuudistus-lausuntovaiheessa/>.
18. Toratti, Tomi. Eurokoodiseminaarin aineistot. Lattian värähtely suunnittelu. Puuteollisuus 2023. Hakupäivä 19.11.2024. <https://puutuoteteollisuus.fi/images/eurokoodiseminaari/4-Toratti%20lattian%20v%C3%A4r%C3%A4htely.pdf>.
19. Rakentajan tietokirja. & Keppo, J 2005. Pientalon perustustyöt. 5. uudistettu painos. Gummerus Kirjapaino Oy. Jyväskylä.
20. Tehan Oy. Pilariperustus. Hakupäivä 2.11.2024. <https://tehan.fi/pilariperustus>.

21. Muottikolmio Oy. Tuotteet. Rakennustyömaat. Muottitarvikkeet ja -aineet. Pyöreät pilarimuotit. Hakupäivä 21.11.2024. <https://muottikolmio.fi/tuotteet/rakennustyomaat/muottitekniikka/pyoreat-pilarimuotit/>.
22. Bcepillarimaailma 2024. Pilarien- kiinnitystarvikkeet. Hakupäivä 21.11.2024. <https://bcepillarimaailma.fi/pilarien-kiinnitystarvikkeet/>.
23. Rinne, Hannu 2018. Perinnemestari. Kunnostaminen. Artikkelit. Alapohja. Hakupäivä 15.10.2024. <https://perinnemestari.fi/kunnostaminen/artikkelit/alapohja>.
24. Valwood Oy. Posi-palkki. Hakupäivä 13.10.2024. <https://valwood.fi/posi-palkki/>.
25. Metsä group. Kerto LVL S-beam esite. Hakupäivä 13.10.2024. https://www.metsagroup.com/contentassets/e39dfa793cc343918376a4166feda0c4/kerto_lvl_sbeam_product_datasheet_fi.pdf.
26. Metsä group. Tuotteet ja palvelut. Digitaaliset työkalut. Kerto LVL käsikirja. Hakupäivä 15.10.2024. [Kerto@ LVL käsikirja](#).
27. Metsä group. Tuotteet ja palvelut. Tuotteet. Kerto LVL. Kerto LVL S-beam. Hakupäivä 17.11.2024. <https://www.metsagroup.com/fi/metsawood/tuotteet-ja-palvelut/tuotteet/kerto-lvl/s-beam/>.
28. K-rauta. Kertopuupalkki. Hakupäivä 17.10.2024. https://www.k-rauta.fi/etsi?products_per_page=36&query=kertopuupalkki.
29. Teeri-Kolmio Oy 2023. TK-palkki. Hakupäivä 17.11.2024. https://tk-palkki.fi/wp-content/uploads/2023/09/TK-PALKKI_Esite.pdf.
30. Jylänki, Heikki 2024. Tuotantopäällikkö. Teeri-Kolmio Oy. Sähköpostiviesti 28.11.2024.
31. Teeri-Kolmio Oy. Tk-palkki. Tekniset tiedot. Hakupäivä 17.11.2024. <https://tk-palkki.fi/#tekni-settiedot>.
32. Haveri, Tiia 2024. Puurakenteisen välipohjapalkkien vertailu. Opinnäytetyö. Oulun ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma. Hakupäivä 9.1.2024. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/851075/haveri_tii.pdf;jsessionid=B0C566FCC1B73CADE2E253E69CBCE5C3?sequence=2.
33. Nevanperä, Teemu 2024. Myyntineuvottelija. Keminmaan Puurakenne Oy. Sähköpostikeskustelu 9.12.2024.
34. Ristek Oy. Easi-Joist. Hakupäivä 9.1.2025. <https://ristek.fi/easi-joist/>.
35. Sepa Oy. Sepa Välipohjapalkki. Hakupäivä 9.1.2025. <https://www.sepa.fi/valipohjapalkki/>.

36. Finnlamelli 2024. Välke 95. Mallisto. Hakupäivä 8.10.2024. <https://www.finnlamelli.fi/mal-listo/valke-95/>.
37. Vertia 2025. Avoimet tilastot. Hakupäivä 7.10,2024. <https://kanta.vertia.fi/data/avoimet-tilastot/>.
38. Laskentapalvelut 2024. Energiatodistukset ja -selvitykset sekä U-arvo ja kastepiste. Hakupäivä 10.10.2024. https://www.laskentapalvelut.fi/index_for_JRF.php.
39. Alitalo, Sanna 2025. Lehtori. Oulun ammattikorkeakoulu. Sähköpostikeskustelu. 21.1.2025.
40. Paloniitty, Sauli 2024. Lämmin vai kylmä tuulettuva alapohja. Building Health Seminar. Hakupäivä 21.1.2025.
41. Puumalainen, Jyri 2025. Liiketoimintapäällikkö. Teeri-Kolmio Oy. Sähköpostikeskustelut keväällä 2025.
42. Taloon.com 2024. Rakennustarvikkeet. Hakupäivä 24.11.2024. <https://www.taloon.com/rakennustarvikkeet>.
43. Rakennustieto 2025. Ratu. Työkalu tuotannon suunnitteluun. Hakupäivä 24.11.2024. <https://ratu.rakennustieto.fi/>. Vaatii käyttöoikeuden.
44. K-Rauta 2025. BCE. Hakupäivä 9.1.2025. https://www.k-rauta.fi/tuotemerkit/bce?srsId=Afm-BOoqY7VYWw-rGRvVNPLtNGLU6XdiOm2RN2TeEHP2HaePe_pdeEjG2 .

LIITTEET

Opinnäytetyön toimeksiantajan pyynnöstä liitteet ovat salattuja

Liite 1. Rakennetyypit AP1–AP11

Liite 2. Tasauslaskenta Välke 95

Liite 3. AP2 palkiston laskelmat

Liite 4. Leikkaukset AP2

Liite 5. Palkkisuunnitelma AP2

Liite 6. AP7 palkiston laskelmat k600

Liite 7. AP7 palkiston laskelmat k400

Liite 8. Leikkaukset AP7

Liite 9. Palkkisuunnitelma AP7

Liite 10. Palkkisuunnitelma AP10

Liite 11. Leikkaukset AP10

Liite 12. Kustannuslaskelma alapohjille

Liite 13. LVIS kustannusvertailu

Liite 14. Uc-arvo AP2

Liite 15. Uc-arvo AP7

Liite 16. Uc-arvo AP10

Liite 17. Tarkempi kustannuslaskelma

Liite 18. Perustamiskustannukset