

# **Kosteusvaurioitunut Toja-levyrakenne ja kustannustehokkaan korjaustavan vaikutus energiatehokkuuteen**

**-Case 1960-luvun 1 ½ kerroksinen pientalo**

LAB-ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

2022

Pekka Roos

## Tiivistelmä

Tekijä(t) Roos, Pekka	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2022
	Sivumäärä 25	
Työn nimi <b>Kosteusvaurioitunut Toja-levyrakenne ja kustannustehokkaan korjaustavan vaikutus energiatehokkuuteen</b> -case 1960-luvun 1 ½ kerroksinen pientalo		
Tutkinto ja koulutusala Rakennusmestari (AMK), Rakennusalan työnjohdon koulutus		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio (jos opinnäytetyöllä on toimeksiantaja) Magater Oy		
Tiivistelmä Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on esittää kosteusvaurioituneen Toja-levyn kustannustehokkain korjaustapa. Työssä vertailtiin kolmea eri korjausvaihtoehtoa Ratu-korteista löytyvillä työmenekeillä sekä laskettiin uuden ja vanhan rakenteen välinen energiatehokkuuden muutos. Työssä käytiin läpi 1960- ja 1970-luvun pientalojen kellarikerroksen Toja-levytettyä perusmuurirakennetta sekä kerrottiin kosteusvaurioon johtanut tapahtumasarja.		
Asiasanat Toja-levy, kosteusvaurio, työmenekki, energiatehokkuus		

## Abstract

Author(s) Roos, Pekka	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2022
	Number of Pages 25	
Title of Publication <b>Replacing moisture damaged Toja-plate with PIR-plate</b> -case 1960's 1 ½ storey small house		
Degree and field of study Construction Site Manager (UAS)		
Name, title and organisation of the client (if the thesis work is commissioned by another party) Magater Oy		
Abstract <p>This thesis was carried out for Magater Oy to present a cost-effective method of carrying out the necessary repairs of Toja-plates damaged due to water or moisture in basements.</p> <p>Three different practices of repair were compared between each other based on resource requirements from the Ratu-index. Energy efficiency was compared between new and old structure.</p> <p>This thesis analyses the Toja-plated foundations of small houses constructed in the 1960's and 1970's. The sequence of events leading to the damage due to moisture or water is also explained.</p>		
Keywords Toja-plate, moisture damage, energy efficiency		

## Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Case 1960-luvun 1 ½ kerroksinen talo.....	2
2.1	Projektin lähtökohdat .....	2
2.2	Vaurioon johtaneita syitä pientaloissa .....	3
2.3	Kosteusvaurion aiheuttajia .....	4
3	Rakennustöiden vaatimukset.....	6
4	Kosteusvaurion korjaus.....	7
4.1	Rajaus vaurioiden mukaan .....	7
	Korjaustöiden luokat .....	8
5	Toja-levy.....	9
6	Kustannusrakenne.....	10
6.1	Toteutuskulut.....	10
6.2	Uuden rakenteen valinta .....	11
6.3	Puukuidun mekaaninen poistaminen .....	12
6.4	Tiivistykset.....	12
6.5	Ilmanvaihto tuulettuvassa välitilassa .....	13
7	Vertailtavat rakenteet.....	16
7.1	Eri rakenteet .....	16
7.2	Vaihtoehto 1: PIR-levy .....	16
7.3	Vaihtoehto 2: Lisälämmöneristys silikaattilevyillä .....	18
7.4	Vaihtoehto 3: Kevytrakenteinen kipsilevyseinä .....	21
8	Kustannuserot eri toteutustapojen välillä ja valittu rakenne .....	23
9	Energiatehokkuus: Uusi vs. vanha.....	24
10	Yhteenveto ja pohdinta .....	25

## Liitteet

Liite 1. Rakennusluvan tarve, Maankäyttö ja rakennuslaki 5.2.1999/132

Liite 2. U-arvot laskettuna vanhalle ja uudelle rakenteelle

Liite 3. Rakenneparannusten tuomat energia säästöt

## Lähteet

# 1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena on vertailla kolmea erilaista tapaa korjata kosteusvaurioitunut Toja-levyrakenne ja vertailla niiden kustannustehokkuutta keskenään.

Opinnäytetyölle on selkeä tarve. Toja-levyllä eristettyjä kellarillisia taloja on Suomessa tuhansia, 1930–1960-lukujen aikaisten talojen rakennustekninen käyttöikä on jo ylitetty monelta osin.

Rakennusten yli- tai alikorjaus ei ole kansantaloudellisesti järkevää, joten korjauslaajuus ja soveltuvat korjaustavat ovat aina tärkeitä määrittää tapauskohtaisesti. (Weijo ym. 2019, 8)

Esimerkkikohteena käytetään 1960-luvun lopulla loivaan rinteeseen rakennettua omakotitaloa Etelä-Suomessa. Työn kohteena olevan talon kellarikerroksessa olevien tilojen asumismukavuutta haluttiin lisätä lievästi kosteusvaurioituneen riskirakenteen korjaamisen ohessa.

Esittelyssä tarkastellaan kolmea eri rakenneratkaisua. Ratu-korteista saaduilla työmenekkiarvoilla vertaillaan kustannustehokkuutta erilaisten seinärekenemallien kesken. Ratu-korteista saatu tieto on puolueetonta, luotettavaa ja ajantasaista ja koottu rakentamisen ammattilaisten tarpeisiin. (Rakennustieto)

Opinnäytetyössä tarkasteltavien rakenteiden rakennusfysikaaliset ominaisuudet ja toiminta sekä materiaalien hinnat rajattiin opinnäytetyön ulkopuolelle. Opinnäytetyössä vertailtavien rakenneratkaisujen mahdollisia kosteusteknisiä riskejä kuitenkin arvioitiin ja valitun ratkaisun lämmöneristävyyden parannusta tarkasteltiin vertailemalla uuden rakenteen U-arvoa vanhan rakenteen U-arvoon.

## 2 Case 1960-luvun 1 ½ kerroksinen talo

### 2.1 Projektin lähtökohdat

Opinnäytetyön kohteena oli 1960-luvulla valmistunut talo, joka oli täydellisen peruserin-  
nuksen tarpeessa. Kohteessa ei ollut tehty minkäänlaisia remontteja viimeisen 50 vuoden  
aikana. Kellarikerroksessa sijainneet sauna- ja pesutilat sekä makuuhuone oli saneerattava  
kokonaisuudessaan. Kellaritilojen asumismukavuutta haluttiin parantaa tekemällä tilamuu-  
toksia.

Jo projektin suunnitteluvaiheessa voitiin silmämääräisesti todeta seinäeristeenä käytetyn  
Toja-levyjen kastuneen. Salaojituksen peittäminen oli aiheuttanut pitkäkestoisen kosteusra-  
situksen, mikä puolestaan on johtanut puukuitulastuja sisältävän levyrakenteen mikrobivau-  
rioihin. Vanhassa koksivarastossa oli Toja-levyn pintarappaus osittain lattian rajasta hävin-  
nyt kokonaan. Näistä ns. valmiista rakenneavauksista voitiin todeta eristelevyjen paikoittain  
vaurioituneen kosteuden vaikutuksesta.

Kuvassa 1 voidaan havaita vaurioitunutta rakennetta seinän ja alapohjan liittymästä.



Kuva 1. Avattu seinärakenne seinän ja alapohjan liittymäkohdasta (Kuva: Pekka Roos, 2019)

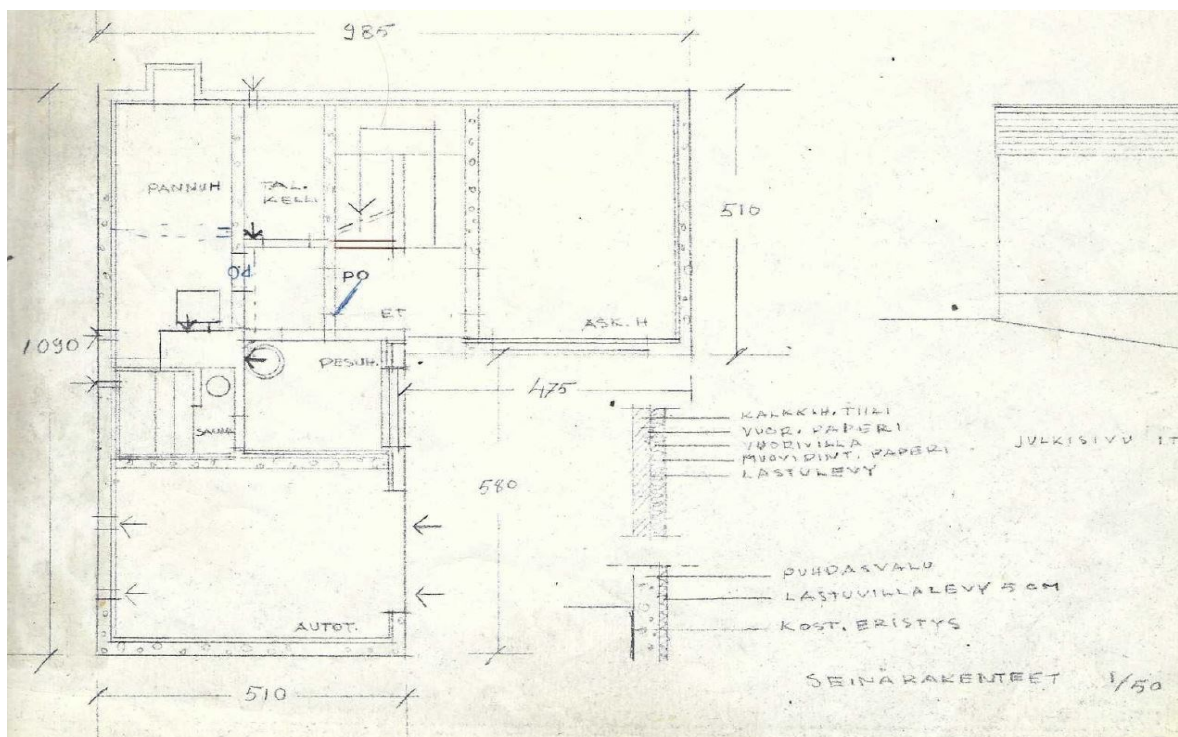
Erilaisia korjaustapoja saattaa rakenne puhtaaksi on monia. Paras tapa olisi poistaa mikro-  
bivaurioitunut rakenne kokonaisuudessaan. Toja-levyjen purkamisen yhteydessä huomatiin  
kuitenkin puukuitulastujen mekaanisen poistamisen ja seinien oikaisun olevan kustan-  
nustehotonta. Toja-levyä oli käytetty muottiseinämänä betonia valettaessa. Valussa oli

käytetty myös ns. säästökiviä, suurimpien olleen halkaisijaltaan noin 200 mm. Koska kiviä oli myös ilmeisesti survomalla painettu muottiväliin, oli työn toteutuksen yhteydessä tullut Toja-levyyn tuli painaumuksia. Mahdollisesti myös osa asennetuista Toja-levyistä oli vaurioituneita jo niiden asennusta. Puukuituja oli uppoutuneena muurin epätasaiseen pintaan, mistä johtuen perusmuurin sisäpinta oli puukuitulastujen mekaaniseen poistoon erittäin haasteellinen ja työläs.

## 2.2 Vaurioon johtaneita syitä pientaloissa

Rakennuksen alle sijoitettava kellarikerros yleistyi vasta sotien jälkeisellä rakennuskaudella, jolloin tarvittiin nopeasti suuri määrä kustannuksiltaan alhaisia ja neliöltään tehokkaita pientaloja. Koko talon laajuinen tai osittainen kellarikerros yleistyi varsinkin asutuskeskusten tonteilla, joissa tilaa piharakennuksille ei välttämättä ollut. Näitä kellarillisia, puolitoistakerroksisia rintamamiestaloja rakennettiin 1940- ja 1950-luvuilla paljon, samoin vielä 1960-luvun alussa. (SPU Systems Oy 2012, 19.)

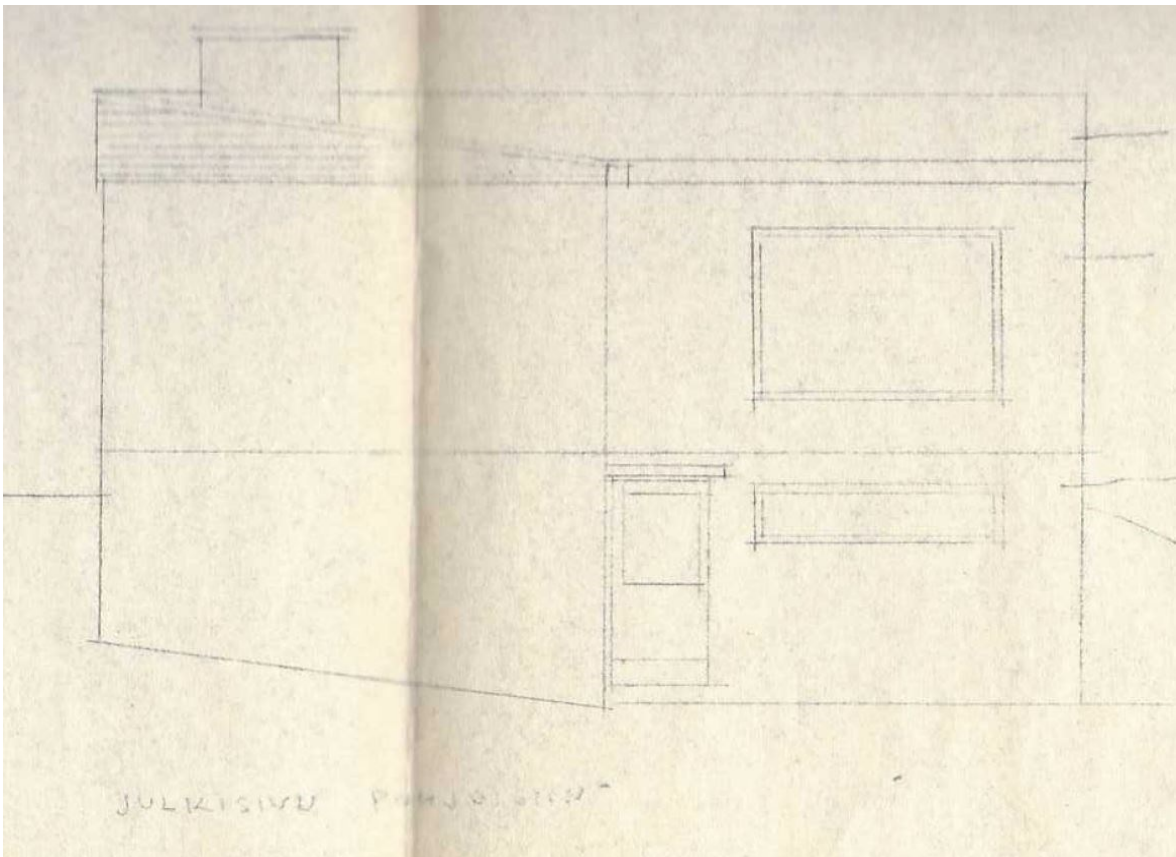
Opinnäytetyö kohteeksi valikoitunutta taloa alettiin rakentamaan 1964. Alla kuvassa 2 on tyypillinen 1960–1970-luvun talon kellarikerroksen pohjakuva.



Kuva 2. Kellarin pohjakuva. (Roos 2019)

### 2.3 Kosteusvaurion aiheuttajia

Tämän 1969 loivaan rinteeseen valmistuneen asuinrakennuksen naapurustoon oli jälkeensä rakennettu taloja, joiden piha-alueita oli tasattu ajamalla maa-ainesta alarinteeseen, jolloin tämä ensimmäisenä alueelle valmistunut talo jäi ns. monttuun. Lisäksi talon ylemmällä sivustalla kulkevaa tietä oli korotettu asfaltoinnin yhteydessä. Näistä syistä pintavesirasitus oli noussut moninkertaiseksi alkuperäiseen tilanteeseen verrattuna. Kuvassa 3 näkyvissä korkeat maanpinnat.



Kuva 3. Julkisivu pohjoiseen. (Roos 2019)

Kohteessa ei ollut toimivaa sadevesijärjestelmää vaan sade- ja sulamisvedet ohjautuivat suoraan seinien vierustoille. Sateiden jälkeen seinustoilla oli havaittavissa sadevesilammikoita vielä seuraavanakin päivänä. 1960-luvulla asennetut tiisialojaputket olivat tukkeutuneet hiekan, saven ja juurikasvuston yhteisvaikutuksesta. Toimintatapa tiisialojaputkien kanssa oli seuraavanlainen: määrävälein muodostettiin putken tai kahden pituinen sora-silmä, mistä vesi pääsee sisälle putkeen. Näistä väleistä putkeen pääsi myös maa-ainesta, mikä aiheutti ajan kuluessa putkien tukkeutumisen, mikä taasen johti veden pinnan



nousemisen kyseisen talon kellarikerroksenrakenteisiin. Kuvassa 4 näkyy tukkeutunut tiilisalaojaputki.



Kuva 4. Maa-aineksella täytynyt tiilisalaojaputki (raksystems.fi)

### **3 Rakennustöiden vaatimukset**

Rakennushankkeeseen ryhtyvän on täytettävä omat lakien ja säädösten mukaiset velvollisuutensa sekä noudatettava hyvää rakennustapaa. Hyvä rakennustapa on rakennusalan normi, mikä kattaa alalla yleisesti hyväksytyjä ja käytettyjä menettelyjä.

Lisäksi rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus käyttötarkoituksensa ja ympäristöstä aiheutuvien olosuhteittensa edellyttämällä tavalla suunnitellaan ja rakennetaan siten, että se on terveellinen ja turvallinen rakennuksen sisäilma, kosteus-, lämpö- ja valaistusolosuhteet sekä vesihuolto huomioon ottaen. Rakennuksesta ei saa aiheutua terveyden vaarantumista sisäilman epäpuhtauksien, säteilyn, veden tai maapohjan pilaantumisen, savun, jäteveden tai jätteen puutteellisen käsittelyn tai rakennuksen osien ja rakenteiden kosteuden vuoksi. (MRL 117 c §)

Opinnäytetyö kohteessa oli kyse perusparannustyöstä, mikä ei täyttänyt rakennusluvan hakemisen vaatimuksia koska kantavia rakenteita eikä rakennuksen käyttötarkoitusta lähdetty muuttamaan (MRL 125 §, liite 1).

## 4 Kosteusvaurion korjaus

### 4.1 Rajaus vaurioiden mukaan

Korjausrakentamisessa on omat vaikeutensa, sillä se ei useinkaan tarkoita sitä, että korjamalla rakenne saatetaan entiseen kuntoonsa, vaan sitä pyritään myös parantamaan. Toisena vaikeutena korjausrakentamisessa on uusien materiaalien käyttö. Onkin erityisen tärkeää arvioida suunniteltujen toimenpiteiden vaikutusta rakenteen toimintaan (Björkholtz 1997).

Vanhempia pientaloja remontoimassa on vaikea arvioida kohteessa käytettyjä rakenteita ennen rakenneavauksia. Myös rakennuksen piirustuksiin saattaa liittyä paljon haasteita. Piirustussarjoja ei korjausrakennuskohteissa ole aina saatavilla, alkuperäisiä kuvia ei ole välttämättä luovutettu omistussuhteiden vaihtuessa, kuvasarjat ovat vajaita tai niitä ei muuten vain ole talletettuina kaupungin arkistoihin. Kosteusvauriotapauksissa purkutöiden laajuus ilmenee purkutöiden edetessä. Tarvittavat toimenpiteet jäljelle jääville rakenteille selviävät tarkemmin purkutöiden valmistuttua. Kuvassa 5 esitellään erään toimitilakohteen vaurion aiheuttaja, purkutöiden yhteydessä seinän sisältä löytynyt paineistettu piirustuksiin merkaamaton vesijohto.



Kuva 5. Piirustuksiin merkaamaton paineistettu vesijohto (Roos 2020)

## Korjaustöiden luokat

Kosteusvaurion korjaustöiden luokat jaetaan neljään eri vaativuusluokkaan todetun vaurion laajuuden ja laadun mukaisesti luokkiin A, B, C ja D (M. Abellin, liite 1).

Luokka A on tavanomainen kosteusvaurion korjaustyö, joka ei vaadi rakennusvalvonnan lupaa. Vaurio on pääosin pintarakenteissa ja rajattavissa. Kosteusvaurio, syy ja haitta-aiheet on selvitetty. Kohteessa seinärakenne oli kastunut ja kuivunut toistuvasti vuosien saatossa, ja purkutöitä tehdessä rakenteet pölisivät ja tuntuivat kuivilta. Tarkempia kosteusmitauksia ei purettaville rakenteille tehty.

Luokka B tarkoittaa vaativaa kosteusvaurion korjaustyötä, joka puolestaan edellyttää rakennusvalvonnan luvan. Rakennuksessa on helposti rajattavia ja korjattavia mikrobivaurioita tai korjaustyö edellyttää uutta rakennesuunnittelua.

Luokka C on poikkeuksellisen vaativa kosteusvaurion korjaustyö, joka vaatii rakennusvalvonnan luvan. Rakennuksessa on useita kosteus- ja mikrobivaurioituneita rakennusosia tai näiden laajuus on suuri ja koskee useita eri syistä vaurioituneita rakenteita. Kosteusvaurion korjaustyön suunnitelman lisäksi tarvitaan myös useiden erityisalojen suunnitelmien laatimista, tai rakennuksessa on sisäilmaongelmia aikaisemmasta kosteusvaurion korjauksesta huolimatta. Rakennustyön tai suunnitteluvaiheen vaativuus edellyttää erikoismenettelyä.

Luokka D tarkoittaa rakennushanketta, joka sisältää sekä kosteusvauriokorjauksia että muitakin muutos-, laajennus- tai korjaustoimenpiteitä. Tämä luokka vaatii niin ikään rakennusvalvonnan luvan.

## 5 Toja-levy

Toja-levy on puukuitusementtilevyä, joka on valmistettu sementillä toisiinsa sidotuista puulastuista. Se on kovaa ja jäykkää, mutta kastuessaan siihen kertyy mikrobikasvustoja. Toja-levy on tullut alun perin markkinoille 1930-luvulla Heraklith-levy-nimellä. Nimi vaihtui 1950-luvulla Toja-levyksi ja myöhemmin vielä Tojax-levyksi 1956. Muita eristeestä käytettyjä nimiä ovat sementtikuitulevy, lastuvillalevy ja lastuvillasementtilevy (Raksystems Insinööritöimistö Oy)

Tojax-levy on homogeeninen eli tasakoosteinen levy, joka koostuu puulastuista ja sementistä, jotka on puristettu muotissa levyksi. Lisäaineena käytettiin kalsiumkloridia, jonka ansiosta sementin reaktiot nopeutuivat. Lisäksi sementti tarttui puulastuihin paremmin. (Rakennustarkkailija).

Pitkään kosteina pysyvissä rakennusosissa voi alkaa kasvamaan home- ja lahosieniä, hiivoja ja bakteereita, joita yhteisesti nimitetään mikrobeiksi (U. Siikanen 2008).

Puukuitusementtilevyä on saatavilla edelleenkin. Ruotsalainen perheyrittys Träullit valmistaa nimeään kantavaa sementti-puulastuvillalevyä. Träullit-levy on luokiteltu rakennusmateriaalien päästöluokkaan M1, mikä tarkoittaa, ettei tuotteella ole voimakasta ominaishajua, ja se on vähäpäästöinen M1-vaatimusten mukaisesti.

Kuvassa 6 pihalle nosteltuja tulipalon sammutustöissä vaurioituneita Toja-levyjä.

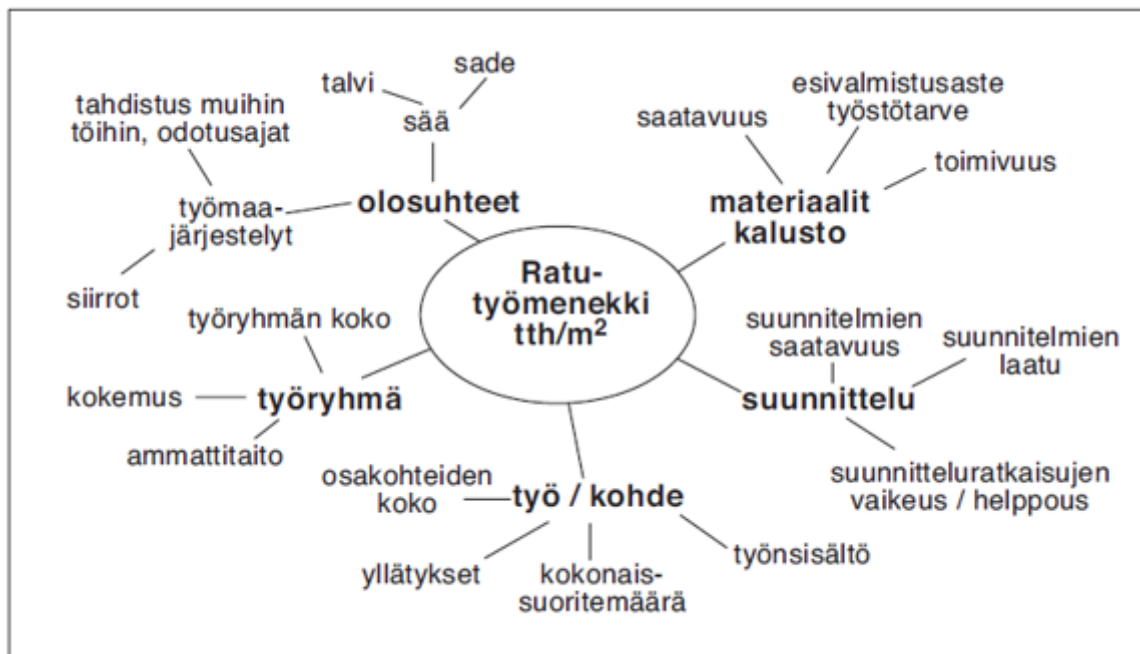


Kuva 6. Toja-levyjä (S. Martiskainen, Tulityöseminaari 2016)

## 6 Kustannusrakenne

### 6.1 Toteutuskulut

Opinnäytetyssä rakennustarvikkeiden hintoja ei käsitellä, vaan siinä tarkastellaan ainoastaan työmenekkejä Rakennustöiden menekit 2020:ssa (Ratu KI-6035) saaduilla arvoilla. Kohteessa työmenekkeihin vaikuttivat suurentavasti kellaritilojen ahtaus ja kerrallaan toteutettavien työvaiheiden pienet pinta-alat. Lisäksi talon yläkerta oli asuttuna koko remontin ajan, jolloin kovaa ääntä aiheuttavat työvaiheet oli sovittava etukäteen ja ajoitettava käyttäjien toiveiden mukaisesti. Myös pölynhallinta oli haasteellista. Asuintiloihin johtavat portaat katkaisivat työmaa-alueen, minkä takia liikkuminen kellarikerroksen eri osissa hidastui huomattavasti. Kuvassa 7 esitetään mitkä eri seikat vaikuttavat työmenekkeihin.



Kuva 7. Työmenekkiin vaikuttavia tekijöitä. (Ratu KI-6035)

## 6.2 Uuden rakenteen valinta

Purkutöiden huolellisen suunnittelun tavoite on toteuttaa purkutöitä mahdollisimman tehokkaasti, taloudellisesti sekä työturvallisuus- ja ympäristövaatimukset täyttäen (Ratu 1221-S). Huolellisesta suunnittelusta huolimatta monesti vasta purkutöiden valmistuttua voidaan todeta, ovatko alkuperäiset suunnitelmat toteutuskelpoiset, ja jos ovat, niin missä määrin. Opinnäytekohteessa yllättäväksi tekijäksi osoittautui purkutöiden jälkeen perusmuurin epätasaisuus sekä perusmuuriin kiinnittyneet puukuitulastut. Mittaehdot johtivat päätelmään, ettei useamman viikon hionnallakaan saataisi kaikkia puulastuja poistettua 100-prosenttisesti. Kuvassa 8 perusmuurin epätasaisuus on selvästi havaittavissa.



Kuva 8. Perusmuurin pintaa Toja-levyn irrottamisen jälkeen (Roos 2019).

Hengittävä seinärakenne oli jätettävä pois betoniin jätettävien puukuitujen vuoksi; muutoin mahdolliset mikrobikasvustot eli homeet kulkeutuisivat huoneilmaan seinärakenteen lävitse.

Hengittävällä seinärakenteella tarkoitetaan sellaista ulkovaipanrakennetta, joka sallii ilman sisältävien kaasujen osapaineiden tasoittumisen diffuusiona rakenteen läpi. Rakenteen hengittäminen ei siis tarkoita vapaata ilmavirtausta rakenteen läpi. (Puuinfo.fi)

Mahdollisen homeen pääsyn estäminen huoneilmaan varmistettiin asentamalla rakennusfysikaalisesti tiivis materiaali, ja lisäksi lisättiin rakenteeseen tuuletusväli. Toisen pettäessä toinen vielä toimii varmennuksena (ns. vyö ja henkselit -ratkaisu).

### 6.3 Puukuidun mekaaninen poistaminen

Timanttihionnalla ja poravasaralla piikkaamalla suoritettava puukuitulastun poistaminen täydellisesti olisi ollut kustannustehotonta. Kts. edellinen kuva. Betonia olisi joutunut arviolta poistamaan paikoitellen jopa 50 mm. Näin suuret materiaalipoistot olisivat vaikuttaneet perusmuurin kantavuuteen, jolloin olisi vaadittu rakennusaikaista lisätuentaa, unohtamatta jälkeinpäin tehtäviä perusmuurin vahvistusvaluja. Tähän ei opinnäytetyössä oteta kantaa tätä huomautusta enempää. Lisäksi kuluja olisi tullut oikaisutyöhön vaadittavien työkalujen ja pölynhallintajärjestelmien vuokrauksista sekä jätemaksuista.

Suurista seinän epätasaisuuksista johtuen käytetään suurimpia ratu-korteista löytyneitä arvoja seinän oikaisemiseksi sekä perusmuurissa olevan puukuitulastujen poistamiseksi.

### 6.4 Tiivistykset

Tiivistämisen päätavoite on rakenteiden ilmatiivyyden parantaminen. Kiitettävään lopputulokseen päästään hyvällä suunnitelmien valvonnalla ja tunnollisella toteutuksella. Tiivistyskorjaus on hyvä vaihtoehto, kun purku- tai rakennustöiden hinta nousisi muutoin suhteettoman kalliiksi suhteessa muihin tehtäviin töihin, tai vaihtoehtoisesti halutaan hallita riskejä, jotka mahdollisesti konkretisoituisivat pikaisestikin tai vasta myöhemmin kauempana tulevaisuudessa. Kyseisessä kohteessa oli kyse molemmista vaihtoehdoista, hinnasta sekä riskienhallinnasta.



## 6.5 Ilmanvaihto tuulettuvassa välitilassa

Painovoimaisen ilmanvaihtovaihtojärjestelmän teho perustuu pääasiassa ulko- ja sisälämpötilaneron sekä tuulen aiheuttamaan paine-eroon. Kohteessa kellari kerrokseen johdettiin raitista ulkoilmaa rakenteiden läpi kulkevan ilmastointiputken kautta. Putki varustettiin sisäpuolella Mobairin korvausilmaventtiilillä, kuvassa 9 makuuhuoneen korvausilmaventtiili.



Kuva 9. Mobair korvausilmaventtiili.

Tuuletusvälin alipaineistaminen voidaan järjestää esimerkiksi lisäämällä huippuimuri tai vastaava tuuletinpotkuri perusmuurin tuuletusaukon yhteyteen. Sähkökäyttöinen puhallin on aina ylimääräinen riski talotekniikassa, eikä kohteessa haluttu jättää rakenteen toimivuutta ainoastaan teknisen laitteen varaan. Tässä talossa ei asennettu puhallinta lainkaan, koska seinän välitila saatiin liitettyä savupiipun ylimääräiseen hormiin helposti 80 cm pitkällä ilmastointiputkella. Tällä tavoin saatiin korkeuseroa tuuletusaukkojen välille, mikä lisää tuuletuvuutta selvästi verrattuna vain sokkelien ylä- ja alareunassa oleviin tuuletusaukkoihin verrattuna.

Seuraavassa taulukossa 1 esitetään alipaineistuksen sopivuutta rakenneratkaisussa.



Taulukko 1. Tuuletetun välitilan soveltuminen kohteeseen. (T. Lammi 2016)

Taulukko 1 kohdassa 6 mainittu riittävä tiiviyys haluttiin varmistaa mahdollisimman hyvin. Therma-eristeillä saavutetaan matala- ja passiivitalorakentamisessa vakiintunut ilmanpitävyystaso noudattamalla huolellisesti asennusohjeita (Kingspan asennusohjeet). Kohteessa

asennusohjeiden mukaisesti ylipursuneiden saumavaahtojen leikkaamisen jälkeen kaikki saumat teipattiin alumiiniteipillä, ja kaikki rasianreiät ja ikkuna-aukot vaahdotettiin ja teipattiin tiiviiksi. Saunassa ja suihkuhuoneessa alimman laatan osalta PIR-levyssä oleva alumiinilaminaatti poistettiin ja tämän tilalle asennettiin vesieristys kulma- ja nurkkanauhoineen.

## 7 Vertailtavat rakenteet

### 7.1 Eri rakenteet

Opinnäytetyöhön valitun toteutuksen vaihtoehtoisiksi rakennetyypeiksi otin tarkasteltavaksi rakennustyömailla yleisesti käytettyjä seinärakennemalleja. Opinnäytetyössä käsiteltäviin seinärakennemalleihin poimittiin työmenekit ratu-kortista (Rakentamisen menekit 2020) näiden loppusummia tth/m<sup>2</sup> lopuksi vertailtiin.

### 7.2 Vaihtoehto 1: PIR-levy

Kingspan Therma TW50 on polyisosyanuraattieristelevy (PIR). Niissä suljettujen solujen määrä on yli 90 % ja eristävyttä parantaa ilmaa heikommin lämpöä johtava täytekaasu (Rakenteellinen energiatehokkuus korjausrakentamisessa). Levyissä on kuituvapaa ydin ja diffuusiotiivis alumiinilaminaatti molemmiin puolin. Therma TW50 Seinäeriste on Suomessa valmistettu, CE-tuotemerkitty ja M1-luokiteltu lämmöneriste. Therma-eristeiden etuja on monia: Eristeiden asentaminen on helppoa ja nopeaa. Säästö työvaiheissa ja materiaaleissa on selkeä, sillä erillistä höyrysulkua ei rakenteeseen tarvitse asentaa. Lisäksi ohuilla rakenneratkaisuilla löytyy enemmän hyödynnettävää tilaa. Kuvassa 10 PIR-levy.



Kuva 10. Kingspanin PIR-levy. (Kingspan.com)

#### *Kosteusteknillinen turvallisuus*

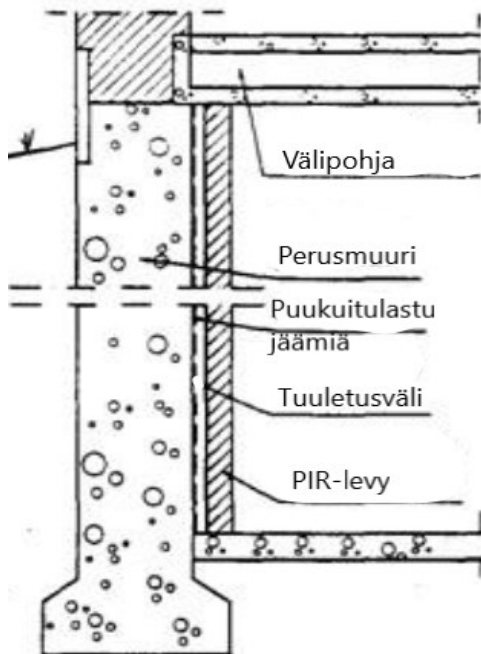
Therma-eristeet kestävät kosteusrasitusta, ne eivät vety, kutistu, lahoa tai homehdu. Rakenteiden toimivuus pitää kuitenkin varmistaa huolella, jos rakenteet ovat altistuneet kosteudelle.

### *Palotekniset ominaisuudet*

Kingspan-eristeiset ratkaisut täyttävät niille asetetut palomääräykset. Palotilanteessa Therma-eristeet hiiltävät hitaasti, jolloin hiiltynyt kerros hidastaa osaltaan palon läpituantumista eristekerroksessa.

### *Vesihöyrynvastus*

Alumiinilaminaattipintaisen Therma-eristeen vesihöyrynvastus on moninkertainen verrattuna 0,2 mm muovikalvoon. Therma-eristeitä käytettäessä ei tarvita erillistä höyrynsulkua. Kuvassa 11 PIR-levyllä toteutettu seinärakenne.



Kuva 11. (mukailtu: Sauli Paloniitty)

Alla taulukossa 2 esiteltynä rakennustöiden työmenekit valmiin seinärakenteen toteuttamiseksi (Ratu-6035).

rankalinjojen mittaus ja merkintä	0,03 tth/m <sup>2</sup>
työnaikainen mittaus	0,01 tth/m <sup>2</sup>
1.rungon pystytys	0,11 tth/m <sup>2</sup>
eristys	0,04 tth/m <sup>2</sup>
2.rungon pystytys	0,11 tth/m <sup>2</sup>
eristys	0,04 tth/m <sup>2</sup>
1-puoleinen levytys, kipsi	0,12 tth/m <sup>2</sup>
Kipsilevyjen saumaus ja osittain tasoitus	0,07 tth/m <sup>2</sup>
<b>Yhteensä</b>	<b>0,53 tth/m<sup>2</sup></b>

Taulukko 2. Menekkien T3-arvoja

### 7.3 Vaihtoehto 2: Lisälämmöneristys silikaattilevyillä

Silikaattilevyn huokoinen rakenne tekee levystä avoimen höyrydiffuusiolle. Materiaalin hydrofobinen suunnittelu ja pH-arvo 9,5 estävät ”homeystävällisen” ympäristön muodostumista rakennusmateriaalissa. Itiöiden itämisprosessi suljetaan pois (Alimex.fi). Jotta sisäilmaan ei pääse kulkeutumaan epäpuhtauksia perusmuurista, on kaikki mikrobivaurioitunut puukuitulastu mekaanisesti poistettava. Silikaattilevyn asentamista varten perusmuuri on oikaistava ja tasoitettava asiaan kuuluvilla tuotteilla, järjestelmiä on useita. Eri valmistajia ovat mm. Weber, Köster ja Keim.

Alla taulukossa 3 esiteltynä rakennustöiden työmenekit valmiin seinärakenteen toteuttamiseksi (Ratu-6035).

pintabetonin purku, vaativa	0,8 tth/m <sup>2</sup>
siivous, jätteen pois kuljetus <30m	0,05 tth/m <sup>2</sup>
paikkausrappaus vaativa kohde	3 tth/m <sup>2</sup>
harkkojen liimaus seinäpintaan	0,25 tth/m <sup>2</sup>
hienotasointus, verkotus, hienotasointus	0,14 tth/m <sup>2</sup>
<b>Yhteensä</b>	<b>4,24 tth/m<sup>2</sup></b>

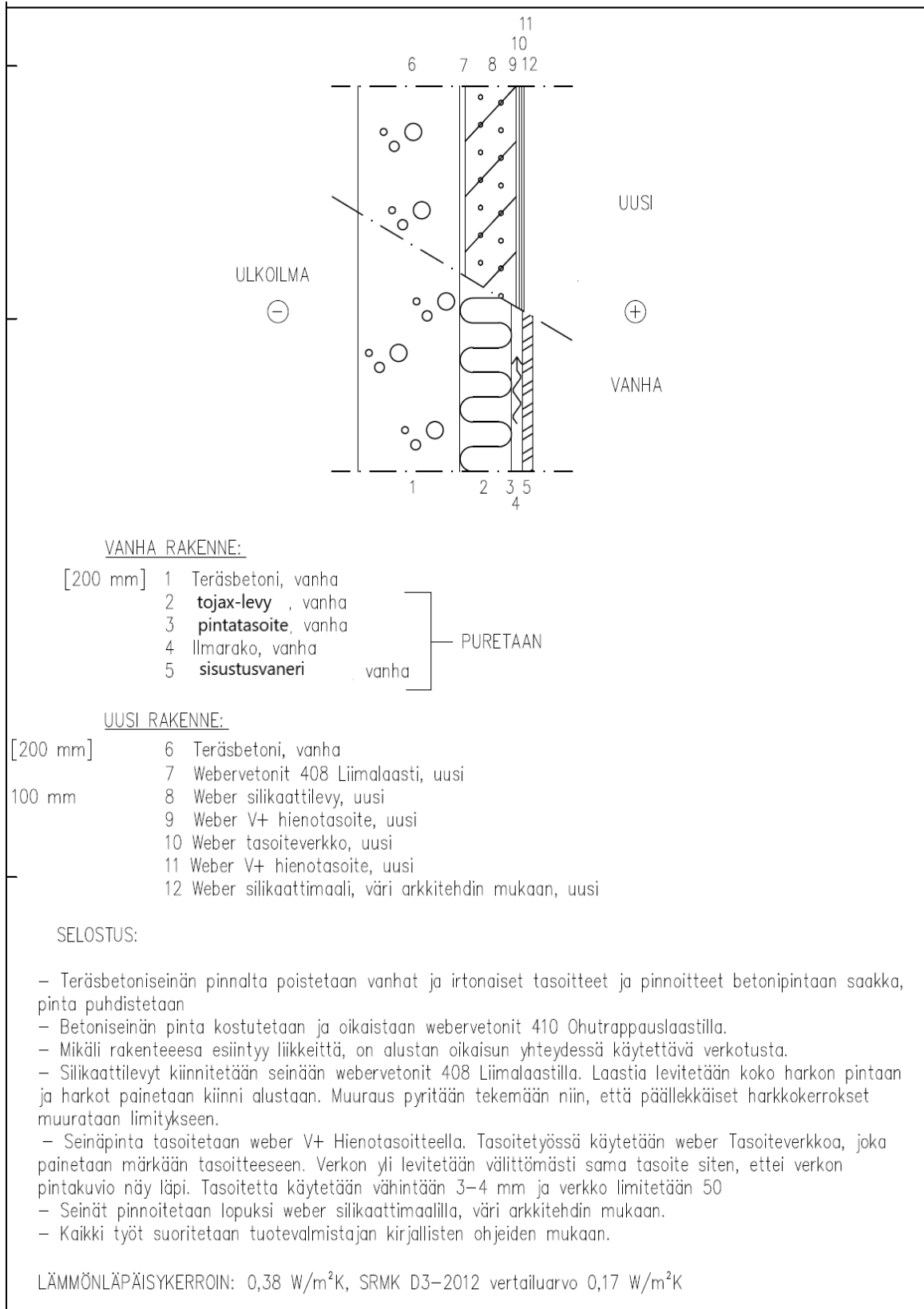
Taulukko 3. Menekkien T3-arvoja.

Kuvassa 12 painetaan Köster Hydrosilikaattilevy seinään kiinni, jonka jälkeen tasoitustyöt voidaan aloittaa.



Kuva 2. Homevaurioiden korjaukset Köster-hydrosilikaattilevyillä (Köster vedeneristysjärjestelmät, hydrosilikaattilevy).

Kuvassa 13 esitetään Weberin tuotteilla toteutettu vanha purettu rakenne sekä uusi hydro-silikaattilevyllä eristetty seinärakenne



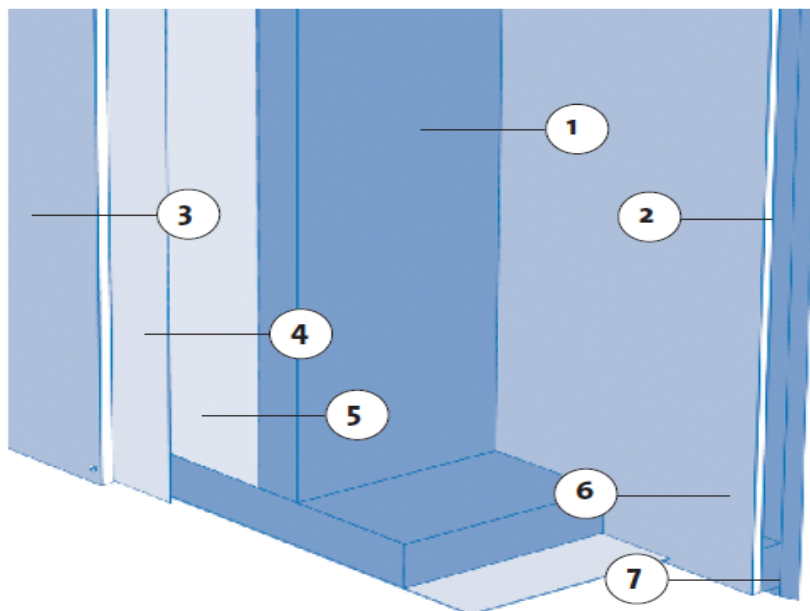
Kuva 13. (mukailtu Granlund Oy)



## 7.4 Vaihtoehto 3: Kevytrakenteinen kipsilevyseinä

Tämä otettiin vertailuun mukaan erittäin yleisenä seinärakennetyyppinä. Tähän ratkaisuun jäisi kuitenkin tekninen riskirakenne. Jos välitilaan pääsee kosteutta ja/tai tuuletus ei toimi riittävästi, alkaa koko uusi rakenne kostua. Kostumisesta seuraa kipsilevyn irtoaminen runkorakenteesta ja lopulta murentuminen ja rullautuminen välitilan pohjalle. Koko uusi rakenne homehtuu ja korjaustyöt joudutaan uusimaan ennen suunnitellun käyttöiän päättymistä. Tuuletusvällisessä kellarinseinä ratkaisumallissa ei ole suositeltavaa käyttää mitään mikrobivaurioille alttiita materiaaleja. Rakennemallissa laskettiin mukaan puukuitujen poisto riskirakenteensa takia. Kuvassa 14 vaihtoehtoinen seinärakenne kipsilevyllä toteutettuna.

### Gyproc Puurunkoisen ulkoseinän rakenne



1. Rangat väh. 45x95, mahdolliset vaakakoolaukset väh. 45x47.
2. Ohjauspuu väh. 35x95
3. Sisäpuolinen kipsilevyverho: 12,5 mm Gyproc-levyt; Gyproc Normaali/Normaali Ergo, Gyproc Erikoiskova/Erikoiskova Ergo, Habito GH 13, Gyproc Kylppäri -märkätilalevy, Glasroc GHOE 13 Ocean -märkätilalevy, tai 15 ja 18 mm Gyproc GFL FireLine
4. Isover Vario höyrnsulku
5. Lämmöneristys ISOVER KL-33, KL-37 tai vastaava
6. 9,5 mm Glasroc H Storm GHS 9 tai 9,5 mm Gyproc GTS Tuulensuojalevy ja Gyproc tiivistysteipit
7. Ulkoverho

Kuva 4. Gyproc-käsikirja, kevytrakennejärjestelmät.

Alla taulukossa 4 esiteltynä rakennustöiden työmenekit valmiin seinärakenteen toteuttamiseksi (Ratu-6035).

pintabetonin purku, vaativa	0,8 tth/m <sup>2</sup>
siivous,jätteen pois kuljetus<30m	0,05 tth/m <sup>2</sup>
rankalinjojen mittaus ja merkintä	0,03 tth/m <sup>2</sup>
työnaikainen mittaus	0,01 tth/m <sup>2</sup>
1.rungon pystytys	0,11 tth/m <sup>2</sup>
eristys	0,04 tth/m <sup>2</sup>
2.rungon pystytys	0,11 tth/m <sup>2</sup>
eristys	0,04 tth/m <sup>2</sup>
1-puoleinen levytys, kipsi	0,12 tth/m <sup>2</sup>
Kipsilevyjen saumaus ja osittain tasoitus	0,07 tth/m <sup>2</sup>
Yhteensä	1,38 tth/m <sup>2</sup>

Taulukko 4, menekit T3 arvoja.

## 8 Kustannuserot eri toteutustapojen välillä ja valittu rakenne

Opinnäytetyö kohteessa valittiin uudeksi seinärakenteeksi vaihtoehto 1, Kingspanin Thermalla toteutettu tuuletusvälillinen seinäratkaisu. Rakenne on työmenekkien perusteella selvästi kustannustehokkain tapa toteuttaa uusi seinärakenne.

Työmenekkilaskujen mukaan vaihtoehto 1 on lähes 2,5 kertaa nopeampi tapa toteuttaa kuin riskin omaava vaihtoehto 3 ja noin 8 kertaa nopeampi kuin vaihtoehto 2.

Kellaritiloissa työstettävät yhtenäiset seinäpinnat ovat pituudeltaan verrattain lyhyitä ja rikkonaisia ikkunoista, ovista ja kantavista seinärakenteista johtuen. Kokonaishintavaikutus tehtävälle työlle on huomattavasti suurempi tehtävää neliötä kohden kuin suurempia yhtenäisiä tiloja rakennettaessa. Kokonaisaikaa laskettaessa työvuoroaika kerrotaan luvulla 1,3. Tämä Rakennustöiden menekit 2020-kirjasta saatu TL-3 arvo perustuu työn hidastumiseen ahtaissa paikoissa. Kohteessa on seinä neliöitä noin 80. Ratu-arvoilla laskettuna valitun tavan seinien rakentamiseen kuluisi yhteensä  $80\text{m}^2 \times 0,53\text{tth}/\text{m}^2 \times 1,3 = 55 \text{ h}$ .

Silikaattilevy-toteutukseen kuluisi aikaa samalla kaavalla laskettuna noin 440 h.

Nämä tulokset kerrottuna tuntihinnalla 40 € alv 0 % saadaan tulojen erotukseksi 15400 €.

## 9 Energiatohokkuus: Uusi vs. vanha

Opinnäytetyössä todettiin myös energiatohokkuuden parantuneen. Työssä vertailtiin vanhan ja uuden materiaalin lämmönjohtavuuskykyä ilman ympäröiviä rakenteita, tunnus  $\lambda$  sekä laskettiin molempien seinärakenteiden U-arvo.

Laskelmista voidaan todeta uuden ja vanhan seinärakenteen U-arvot. Seinärakenteen U-arvon todettiin parantuneen 15-kertaiseksi koko seinärakenteen osalta. Toja-levyn arvo  $\lambda = 0,45 \text{ w/mk}$  (T. Nuutinen 2013) ja PIR-levyn vastaava arvo on  $0,022 \text{ w/mk}$ . Näistä arvoista voidaan laskea PIR-levyn johtavan lämpöä noin 20 kertaa huonommin.

Laskelmista todettiin myös, että vuodessa energiaa kuluu  $8600 \text{ kWh}$  vähemmän, kun haluttu sisälämpötila on  $20 \text{ °C}$  ja vuoden keskimääräinen ulkolämpötila mittausspaikalla on  $6,5 \text{ °C}$ . Tämän päivän, 9.5.2022 sähkö- ja sähkönsiirto veloituksilla laskettuna taloudellinen säästö olisi  $1053 \text{ €}$  vuodessa.

Rakenneparannusten edut energian kulutuksen ja taloudellisuuden kannalta osoitettu laskelmin liitteessä 3.

Alla olevassa taulukosta 5 esitetään laskennassa käytetyn materiaalin tuotetiedot

Ominaisuus	Arvo
Lämmönjohtavuus $\lambda_D$ (EN 13165)	$\lambda_D$ -arvo $0,022 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
Vakiomitat (EN 822)	$1200 \times 2400 \text{ mm}$
Pontti	ympäritäyspontattu
Palokäyttäytyminen (EN 13501-1)	E
Tiheys (EN 1602)	n. $30 \text{ kg/m}^3$
Puristuslujuus 10% puristuma (EN 826)	$\geq 100 \text{ kPa}$
Mittapysyvyys - pituus & leveys (EN 1604, 48 tuntia, $70 \text{ °C}$ ja $90\% \text{ RH}$ )	$\leq 2,0\%$
Mittapysyvyys - pituus & leveys (EN 1604, 48 tuntia, $-20 \text{ °C}$ )	$\leq 1,0\%$
Umpisoluisuus (EN ISO 4590)	$\geq 90\%$
Päästöluokitus	M1

Taulukko 5. tuotetiedot Therma TW50 -levystä. (Kingspan.fi)

## 10 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyössä vertailtiin kolmea erilaista tapaa korjata kustannustehokkaasti kosteusvaurioitunut Toja-levyrakenne. Valitun rakennetyypin valintaan vaikuttivat tehtävän työn hinta ja materiaalien sopivuus kohteeseen rakennusteknisesti. Merkittävin hintaerovaikutus tehtävälle kokonaisuudelle muodostuu pois jäävistä työvaiheista, joista suurimmat ovat selkeästi perusmuurin puhdistustyöt puulastukuitujen osalta sekä perusmuurin oikaisutyöt eristemateriaaleja varten. Työssä tehtyjen tarkastelujen perusteella valituista tapauksista edullisimmaksi voitiin todeta PIR-levyllä tehty ratkaisu. PIR-levyllä toteutettu tuuletusväilillinen malli on merkittävästi edullisempi toteuttaa kuin tapa, jolla kaikki mikrobivaurioitunut materiaali puretaan kokonaisuudessaan.

Jos työn tuloksia haluttaisiin kaupallistaa, pitäisi rakennusfysikaalisia ominaisuuksia tutkia tarkemmin ja laatia yksityiskohtaiset suunnitelmat mm. väli- ja alapohjan osalta. Lämpöä ulospäin vuotavan eristeen, Toja-levyn, korvaaminen uudenaikaisilla eristeillä aiheuttaa eristeiden ulkopuolisten rakenteiden jäähtymistä. Lämpövuotoa ei enää juurikaan ole, jolloin ala- ja välipohjan liittymät ovat mahdollisia riskin omaavia kohtia rakenteissa. Tuuletusväilillistä ratkaisua tulisi tutkia lisää myös seinän ulkopuolisten ratkaisujen osalta, onko esimerkiksi nykysuositusten mukaista pystysuoraan perusmuuria vasten asennettavaa lämmöneristettä tarpeen käyttää lainkaan. Lisäksi tulisi tarkastella pakkasen ja maan lämmön vaikutusta perusmuuriin sekä eristettynä että ilman eristystä.

## Lähteet

Alimex Oy: Homevaurioiden korjaaminen silikaattilevyllä. Viitattu: 16.03.2022.

Saatavissa: <https://www.alimex.fi/tuotteet/koster-homevaurioiden-korjaukset-hydrosilikaattilevyilla/>

Caruna verkkopalveluhinnasto 2021 Viitattu 9.5.2022

Fortum sähkönhinta. Viitattu 9.5.2022

Saatavissa: <https://www.fortum.fi/kotiasiakkaille/sahkoa-kotiin/sahkosopimukset/vakaa>

Ilmatieteenlaitos, vuoden keskilämpötilat Suomessa. Viitattu 9.5.2022

Saatavissa: [https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarvelvut?6Q0hW0Ue3EKANmx4TUFVNx\\_q=y%253D2021](https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarvelvut?6Q0hW0Ue3EKANmx4TUFVNx_q=y%253D2021)

J. Kauppinen ym. Rakenteellinen energiatehokkuus korjausrakentamisessa. Viitattu 8.5.2022.

Saatavissa: [https://www.rakennusteollisuus.fi › rek\\_27042017](https://www.rakennusteollisuus.fi › rek_27042017)

Kingspan asennusohjeet Viitattu 11.5.2022

Saatavissa: <https://www.kingspan.com/fi/fi-fi/tuotteet/eristeet/tietopankki/suunnittelu-ja-tyoohjeet>

Köster vedeneristysjärjestelmät, hydrosilikaattilevy. Viitattu 10.4.2022.

Saatavissa: <https://www.alimex.fi/wp-content/uploads/2021/06/koster-homevaurioiden-korjaukset.pdf>

Lammi, Toni 2016: Epäpuhtauksien hallinta rakenteiden alipaineistuksen avulla. Opinnäytetyö. Viitattu 10.04.2022.

Saatavissa: <https://vahanen.com/wp-content/uploads/2016/10/Toni-Lammi-26.8.2016-Epapuhtauksien-hallinta-rakenteiden-alipaineistuksen-avulla.pdf>

Nuutinen, Tuomas 2013: Paiholan sairaala-alueen luhtitalojen kuntotutkimukset. Viitattu 11.5.2022.

Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/55106/Nuutinen\\_Tuomas\\_2013\\_03\\_14.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/55106/Nuutinen_Tuomas_2013_03_14.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

S. Paloniitty: Vanhat rakenteet, diaesitys. Viitattu: 22.3.2022.

Saatavissa: <https://slideplayer.fi/slide/2866857/>

Rakennustöiden menekit 2020, Ratu 6035. Viitattu 01.03.2022

Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/Ratu%20KI-6035>

Reiman, Marjut – Hyvärinen, Anne – Viitanen, Hannu: Homekorjaustyömaan kosteudenhallinta, opetusmateriaali. Viitattu: 22.2.2022.

Saatavissa: <https://hometalkoot.fi/guides>

U. Siikanen 2008 Viitattu 11.5.2022.

Saatavissa: <https://kosteusvauriokorjaus.savonia.fi/materiaalipankki/send/26-rakentajainkalenteri/285-rakennusten-lampo-ja-kosteusfysikaalisia-nakokohtia>

Vanhoja ja vähän uudempiakin rakennusmateriaaleja. Viitattu 15.3.2022.

Saatavissa: <https://rakennustarkkailija.com/2017/09/22/vanhoja-ja-vahan-uudempiakin-rakennusmateriaaleja/>

Kuva 1. Avattu seinärakenne seinän ja alapohjan liittymäkohdasta (Roos 2019)

Kuva 2. Kellarin pohjakuva (Roos 2019)

Kuva 3. Julkisivu pohjoiseen (Roos 2019)

Kuva 4. Maa-aineksella täyttynyt tiilisalojaputki. Viitattu 10.3.2022.

Saatavissa: <https://raksystems.fi/ajankohtaista/rintamamiestalo-kosteusongelma-kellarissa/>

Kuva 5. Piirustuksiin merkkaamaton paineistettu vesijohto (Roos 2020)

Kuva 6. Toja-levyjä. Sampo Martiskainen, Tulityöseminaari 8.9.2016. Viitattu 11.3.2022.

Saatavissa: [http://sppl.fi/files/3158/Tulityöseminaari\\_2016\\_Sampo\\_Martiskainen.pdf](http://sppl.fi/files/3158/Tulityöseminaari_2016_Sampo_Martiskainen.pdf)

Kuva 7. Työmenekkiin vaikuttavia tekijöitä. Rakennustöiden menekit, Ratu KI-6035.

Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/Ratu%20KI-6035>

Kuva 8. Perusmuurin pintaa Toja-levyn irrottamisen jälkeen. (Roos 2019)

Kuva 9. Kingspanin PIR-levy.

Saatavissa:

<https://www.kingspan.com/fi/fi-fi/tuotteet/eristeet/therma/therma-tw50-seinaeriste>

Kuva 10. Sauli Paloniitty, Vanhat rakenteet. Viitattu ja mukailtu 10.3.2022.

Saatavissa: <https://slideplayer.fi/slide/2866857/>

Kuva 11. Homevaurioiden korjaukset Köster-hydrosilikaattilevyillä.

Saatavissa:chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ali-mex.fi/wp-content/uploads/2021/06/koster-homevaurioiden-korjaukset.pdf

Kuva 12. mukailtu Granlund Oyn aineistoista.

Kuva 13. Gyproc-käsikirja, kevytrakennejärjestelmät.

Saatavissa: [https://www.gyproc.fi/sites/gypsum.nordic.master/files/gyproc-site/document-files/fi/Gyproc\\_Ksikirja2018-122018-web.pdf](https://www.gyproc.fi/sites/gypsum.nordic.master/files/gyproc-site/document-files/fi/Gyproc_Ksikirja2018-122018-web.pdf)

Taulukko 1. Tuuletetun välitilan soveltuminen kohteeseen. Toni Lammi, 2016.

Saatavissa: <https://vahanen.com/wp-content/uploads/2016/10/Toni-Lammi-26.8.2016-Epauhtauksien-hallinta-rakenteiden-alipaineistuksen-avulla.pdf>

Taulukko 2, 3 ja 4. Menekkien T3-arvoja.

Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/Ratu%20KI-6035>

Taulukko 5. Kingspan Therma TW50:n tuotetiedot. Kingspan Oy.

Saatavissa: <https://www.kingspan.com/fi/fi-fi/tuotteet/eristeet/therma/therma-tw50-seinaeriste>



## 125 §

### **Rakennuslupa**

Rakennuksen rakentamiseen on oltava rakennuslupa.

Rakennuslupa tarvitaan myös sellaiseen korjaus- ja muutostyöhön, joka on verrattavissa rakennuksen rakentamiseen, sekä rakennuksen laajentamiseen tai sen kerrosalaan laskettavan tilan lisäämiseen.

Muuta kuin edellä säädettyä rakennuksen korjaus- ja muutostyötä varten tarvitaan rakennuslupa, jos työllä ilmeisesti voi olla vaikutusta rakennuksen käyttäjien turvallisuuteen tai terveydellisiin oloihin.

Rakennuslupa tarvitaan myös sellaiseen rakennuksen vaippaan tai teknisiin järjestelmiin kohdistuvaan korjaus- ja muutostyöhön, jolla voidaan vaikuttaa merkittävästi rakennuksen energiatehokkuuteen. Rakennuslupaa ei kuitenkaan tarvita, jos kyseessä on rakennus, jonka energiatehokkuutta ei tarvitse 117 g §:n 2 momentin nojalla parantaa. ([21.12.2012/958](#))

Rakennuksen tai sen osan käyttötarkoituksen olennaista muuttamista varten tarvitaan rakennuslupa. Luvanvaraisuutta harkittaessa otetaan huomioon käyttötarkoituksen muutoksen vaikutus kaavan toteuttamiseen ja muuhun maankäyttöön sekä rakennukselta vaadittaviin ominaisuuksiin. Lupaa edellyttävänä käyttötarkoituksen muutoksena pidetään muun ohella loma-asunnon käytön muuttamista pysyvään asumiseen. Vähittäiskaupan suuryksikön toteuttamisella on katsottava olevan edellä tarkoitettua vaikutusta maankäyttöön, jollei aluetta ole asemakaavassa erityisesti osoitettu tähän tarkoitukseen.

Määräajan paikallaan pysytettävää rakennusta varten rakennuslupaan voidaan asettaa määräaika.

## Liite 2. U-arvot laskettuna Toja- ja PIR-levyrakenteille

### U-arvo Toja-levy rakenne

U-arvo kertoo, kuinka monta wattia lämpötehoa siirtyy rakenteen läpi yhtä neliometriä kohden, kun rakenteen yli on yhden lämpötila-asteen lämpötilaero. Sisä- ja ulkopuolen pintavastukset on merkitty taulukkoon R, sis ja R, ulko .

Materiaali	Paksuus m	Lämmönjohtavuus $\lambda$ W/mK	Ri m <sup>2</sup> K/W
R, ulko	-	-	0,13
Betoni	0,2	2,5	0,5
Toja-levy	0,1	0,45	0,22
Sisärappaus	0,02	2,5	0,008
R, sis	-	-	0,13
<b>R, total</b>			<b>yhteensä 0,988</b>

$$U = 1/R, total = 1/0,988 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W} = \mathbf{1,01 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

### U-arvo PIR-levy rakenne

Materiaali	Paksuus m	Lämmönjohtavuus $\lambda$ W/mK	Ri m <sup>2</sup> K/W
R, ulko	-	-	0,13
PIR-levy	0,1	0,022	4,54
Kipsilevy	0,013	0,21	0,06
R, sis	-	-	0,13
<b>R, total</b>			<b>yhteensä 4,86</b>

$$U = 1/R, total = 1/4,86 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W} = \mathbf{0,21 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

### Liite 3

Rakenneparannusten tuomat energiasäästöt vuodessa sisälämpötilalla 20 °C paikkana Helsinki Kaisaniemi missä vuoden 2021 keskilämpötila oli 6,5 C (Ilmatieteenlaitos).

Haluttu sisälämpötila 20 °C

Toja-rakenne U-arvo 1,01 W/mK

Qvanha  $1,01 \text{ W/m}^2\text{°C} \times (20\text{°C} - 6,5\text{°C}) = 13,64 \text{ W/m}^2 \times 91,3 \text{ m}^2 = 1245 \text{ W} \times 8760\text{h} = 10909108 \text{ W/h} : 1000\text{h} = \mathbf{10900 \text{ kWh}}$

PIR-rakenne U-arvo 0,21 W/mK

Quusi  $0,21 \text{ m}^2\text{°C} \times (20\text{°C} - 6,5\text{°C}) = 2,84 \text{ W/m}^2 \times 91,3 \text{ m}^2 = 259 \text{ W} \times 8760\text{h} = 2267398 \text{ W/h} : 1000\text{h} = \mathbf{2267 \text{ kWh}}$

**Qsäästö** = Qvanha – Quusi = 10900 KWH – 2267 KWH = **8633 kWh**

Säästö vuodessa

Yleissähkö Fortum 9.5.2022 hinta 7,64 c/kWh

Sähkön siirto Caruna 2021 hinnasto 4,56 c/kWh

**Yhteensä 12,2 c/kWh**

**Euromääräinen säästö vuodessa  $12,2 \text{ c/kWh} \times 8633 \text{ kWh} = \mathbf{1053 \text{ € / a}}$**