

**MGO-LEVYN HYÖDYNTÄMINEN PALORAKENTEIDEN OSANA
KEVYISSÄ RAKENTEISSA**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Visamäki, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan insinööri

kevät, 2019

Valter Koskelainen

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan insinööri
Visamäki

Tekijä	Valter Koskelainen	Vuosi 2019
Työn nimi	MGO-levyn hyödyntäminen palorakenteiden osana kevyissä rakenteissa	
Työn ohjaaja	Ville Pulkkinen	

TIIVISTELMÄ

Kaupungistuminen ja tätä myötä yhä tiiviimpi rakentaminen vaativat huomioita myös paloturvallisuudessa. Tutkimuksen tavoitteena oli yhden projektikohteen toteuttamisessa kokeilla uudenlaista palosuojamateriaalia, Magnesiumoksidi eli MGO-levyä. Projektikohteessa noudatettiin EI60 palomääräystä, joka asetti rakentamiselle omanlaisia haasteita. MGO-levyn avulla pyrittiin kustannustehokkaaseen sekä palorasitusta hyvin kestäväan ratkaisuun ilman kompromisseja asunnon arkkitehtuurissa.

Projektikohteen suunnittelu alkoi vuonna 2017 ja valmistui 2018. Tutkimuksessa käydään läpi MGO-levyn hyödyntämistä suunnitteluvaiheesta käytäntöön. Lisäksi tutkimuksessa käsitellään palorakentamista erityisesti projektikohteessa. Johtopäätöksenä todetaan, että suunnitteluvaiheessa valittu MGO-levy osana palorakentamista on ollut onnistunut valinta niin projektin aikana kuin lopputuloksenkin kannalta. MGO-levyn avulla saavutettiin palomääräyksen vaatima paloturvallisuus rakenteisiin sekä arkkitehdin näkemys talon ulkomuotoa mukailevasta palo-osastoidusta seinästä.

Avainsanat Palorakentaminen, MGO-levy, palo-osastointi, palonkestävyys, paloturvallisuus

Sivut 30 sivua, joista liitteitä 1 sivu

Degree programme of Construction Engineering
Visamäki

Author	Valter Koskelainen	Year 2019
Subject	MGO-board as a part of fire structures in lightweight construction	
Supervisor	Ville Pulkkinen	

ABSTRACT

Urbanization and building houses close to each other in cities calls for attention in fire safety. The aim of this thesis is to try a new type of magnesium oxide board as fire safety material in one separate house building project. This construction project followed the fire regulation of the Finnish Government, EI60. With MGO-board, the aim was to use material that is cost efficient and fire resistant. Material choice also gave an opportunity to not make compromises architecturally.

Construction project started in 2017 with planning and designing, and was ready in 2018. In this thesis, the construction project is followed from planning to implementation. MGO-board has been used in multiple phases and those are represented in this thesis. This thesis' point of view is especially on fire safety. In conclusion, MGO-board is seen as a successful choice for fire safety constructions. EI60 fire safety standard is achieved by using MGO-board and building's architectural goals are met.

Keywords Fire construction, MGO-board, fire compartmentation, fire resistance, fire safety

Pages 31 pages including appendices 1 page

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	PALORAKENTAMINEN.....	2
2.1	Lainsäädäntö	2
2.2	Keskeiset käsitteet	3
2.3	Paloluokat ja palomääräykset	3
3	MGO-LEVY	5
3.1	MGO-levyn hyödyntäminen palorakenteissa	6
3.2	MGO-levyn ja yleisimmän palonsuojalevyn eroavaisuudet.....	6
4	PROJEKTIN TAVOITE	7
4.1	Projekti menetelmänä.....	8
5	MGO-LEVYN HYÖDYNTÄMINEN PALORAKENTEIDEN OSANA.....	9
5.1	Projektin lähtökohta.....	9
5.2	Projektin eteneminen.....	9
5.3	Suunnittelu	10
5.4	Toteutus	12
5.4.1	Palo-osastointi sisäpaloa vastaan.....	12
5.4.2	Palo-osastointi ulkopaloa vastaan ulkoseinässä	14
5.4.3	Palo-osastointi ulkopaloa vastaan räystäässä	15
5.5	Yhteenvedo	17
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	19
	LÄHTEET	20

Liitteet

Liite 1 Palomuurin U-arvo

1 JOHDANTO

Kaupunkisuunnittelun taustailmiöinä korostuvat nykypäivänä entisestään globaali kaupungistuminen sekä ilmastonmuutoksen vaikutukset rakentamiseen. Myös Suomi kaupungistuu ja täydennysrakentamisen rooli korostuu sen ekologisen kestävyuden ja taloudellisten vaikutusten vuoksi (Jalkanen, Kajaste, Kauppinen, Pakkala & Rosengren, 2017, s. 32–41.) Jalkanen ym. (2017, s. 39–40) korostavat, kuinka tiiviissä kaupungissa paranee niin tuottavuus, kuin ihmisten, ideoiden ja yritysten vuorovaikutus. Kuitenkin tiiviisti rakentaminen luo mahdollisuuksien lisäksi uudenlaisia haasteita rakentamiseen pienentyneiden tonttien ja rakennusten lähekkäisyyden myötä.

Erillispientalojen tyypillinen toteutusmuoto on omatoimirakentaminen, jossa tuleva asukas toimii rakennuttajana sekä hankkeen muissa tehtävissä taitojensa mukaan. Rakennuttaja usein koordinoi projektia ja teetättää erityistä ammattitaitoa vaativat tehtävät erillisurakoina. Omatoimirakentamisen etuna on kustannussäästö verrattuna rakennusliikkeiden avaimet käteen palveluihin etenkin silloin, kun omalle työlle ei ole tarvetta laskea hintaa. (Jalkanen ym., 2017, s. 54–55.) Omatoimirakentaminen vaatii siten rakennuttajalta taitoa hakea tietoa sekä koordinoida rakennusprojektia kokonaisvaltaisesti. Rakennusprojektin eri vaiheissa tiedonhaku eri rakennusratkaisuista sekä materiaaliveitohdoista on tärkeää. Maakuntakaavat, yleiskaavat ja asemakaavat vaikuttavat rakennussuunnitteluun ja rakennuttajan tulee tuntee myös rakennuslainsäädäntöä (Jalkanen ym., 2017).

Tiiviin rakentamisen yleistyessä paloturvallisuus tulee ottaa entistä tarkemmin huomioon niin rakennusmenetelmissä (palo-osastointi) kuin palamattomissa materiaaleissakin. Palo-osastointimateriaalit ovat tämän johdosta kehittyneet ja yleistyneet sillä tiivis rakentaminen on kasvattanut palamattomien materiaalien kysyntää. Palamattomien rakennusmateriaalien kysynnän kasvaessa on rakennusmateriaalitoimittajien täytynyt kehittää ja monipuolistaa valikoimaansa vastatakseen tiiviimmän rakentamisen haasteisiin. Yksi palorakentamisen uudenlainen vaihtoehto on palamaton magnesiittilevy eli MGO-levy, joka on ekologinen ja säänkestäväksi suunniteltu (EU Global Trading Oy, n.d.).

Tässä tutkimuksessa esitellään uudenlainen vaihtoehto palorakentamiseen kevyissä rakenteissa. Tutkimuksen tavoitteena on projektimuotoisesti esitellä uudenlaisen materiaalin soveltamista käytännössä sekä tuoda esiin MGO-levyn hyötyjä erityisesti palorakenteiden osana. Toistaiseksi MGO-levy on ollut varsin tuntematon pientalorakentamisessa, mutta hyvin yleinen teollisuus- ja suurkiinteistö rakentamisessa. Tästä johtuen tut-

kielma tuo uudenlaisen näkökulman palo-osastointimateriaalien hyödyntämiseen. Projektimuotoisen tutkielman kohteena on Tampereen kaupungin vuokratontille rakennettu pientalo.

Projekti kohde on rakennettu Tampereen kaupungin vuokratontille, jossa kaavamääräyksissä oli tehdä palo-osastointi sisä- ja ulkopuolista paloa vastaan (EI60) talon pohjoisseinälle vesikatteeseen asti. Kyseiselle seinälle ei saanut tehdä huoneiden pääikkunoita eikä siten myöskään hätäuloskäyntejä. Tampereen kaupunki ohjeisti käyttämään Oulun rakennusvalvonnan laatukorttia pientalojen paloturvallisuudessa (Oulun rakennusvalvonta, 2015). Kaavan määräämä paloluokka (P3) vaatisi sisäpuolista paloa vastaan, esimerkiksi yleisimmin käytettyä materiaalia eli kipsilevyä kantavien rakenteiden palosuojaukseksi. Kipsilevyn käyttäminen olisi johtanut siihen, että seinässä olisi huomattava kuormitus, seinästä olisi tullut normaalia massiivisempi ja kustannuksiltaan suurempi. Kipsilevyllä päädyttiin etsimään kevyempää ja kustannustehokkaampaa ratkaisua, mikä johti MGO-levyn tutustumiseen ja lopulta sen hyödyntämiseen osana palorakenteita kevyissä rakenteissa.

Tutkielman rakenne etenee palorakentamisen yleisimpien vaihtoehtojen käsittelyllä MGO-levyn tarkempien ominaisuuksien esittelyyn. MGO-levyn ominaisuuksia verrataan muihin yleisiin palorakentamisen materiaaleihin. Projektin tavoitteena on osoittaa miten MGO-levyä voidaan hyödyntää tiiviissä kaupunkirakentamisessa pientaloalueella ja millaisia etuja MGO-levyn hyödyntämisestä saadaan. Projekti on toteutettu käytännössä yhden pientalon kevyissä rakenteissa ja rakennusprojektin dokumentointia yhdistetään kirjallisuuden sekä palolainsäädäntöön tutkielman konkreettisuudessa.

Tutkielman tutkimuskysymyksiä ovat:

- Miten MGO-levyä voi hyödyntää osana kevyitä palorakenteita?
- Mitkä ovat MGO-levyn hyödyt?

2 PALORAKENTAMINEN

2.1 Lainsäädäntö

Maankäyttö- ja rakennuslain pykälän 117 b § mukaan:

Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan sen käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla paloturvalliseksi. Palon syttymisen vaara on rajoitettava. Rakennuksen kantavien rakenteiden on oltava sellaiset, että ne palon sattuessa kestävät vähimmäis-

ajan ottaen huomioon rakennuksen sortuminen, poistumisen turvaaminen, pelastustoiminta ja palon hallintaan saaminen. Palon ja savun kehittymistä ja leviämistä rakennuksessa sekä palon leviämistä lähistöllä oleviin rakennuksiin on pysyttävä rajoittamaan. Rakennuksen rakentamisessa on käytettävä paloturvallisuuden kannalta soveltuvia rakennustuotteita ja teknisiä laitteistoja. (Ympäristöministeriön asetus 848/2017).

2.2 Keskeiset käsitteet

Palomuurilla tarkoitetaan seinää, joka estää palon leviämisen sen toiselle puolelle. Palomuurin on kestettävä paloa määrätyn ajan verran. Lisäksi palomuurin on kestettävä siihen liittyvän rakennuksen tai sen osan sortumisen ja sortumisesta aiheutuvat iskut.

Palonkestävyydellä tarkoitetaan sitä, miten rakennusosa kykenee täyttämään sille asetetut kantavuusvaatimukset, osastoivuusvaatimukset tai molemmat. Palonkestävyydessä määritellään lisäksi ajallinen kestävyys sekä kuormitus, joka on kestettävä määritellyn paloaltistuksen vallitessa.

Palonkestävyysaika kuvaa ilmaistua aikaa, jonka rakennusosan on todettu täyttävän sille asetetut vaatimukset. Palonkestävyysaika ilmoitetaan minuutteina.

Palo-osastointi tarkoittaa rakennuksen sisäpuolista tilaa, josta palon leviäminen on määrätyn ajan estetty. Palo-osastointi voidaan toteuttaa osastoivin rakennusosin tai muulla tehokkaalla tavalla. Palo-osastoinnin toteuttamiseen on olemassa useita erilaisia ratkaisuja.

Palosulku viittaa osastoituun tilaan kahden palo-osaston välillä. Palosulkuun kuuluvat ovet, jotka erikseen avautuvat kumpaankin rajoittuvaan palo-osastoon. Ovien kuuluu avautua siten, ettei ovia tarvitse avata samaan aikaan. (Ympäristöministeriön asetus 848/2017).

2.3 Paloluokat ja palomääräykset

Pientalorakennukset jaetaan kolmeen paloluokkaan P1, P2 ja P3. Tutkimuksen kohteena oleva pientalo kuuluu paloluokkaan P3, johon pientalot tyypillisesti kuuluvat. P3 paloluokan rakennuksen rungolle ei aseteta kantavuusvaatimuksia palotilanteessa (Ympäristöministeriön asetus 848/2017). Kantavuusvaatimusten puuttuminen pientalojen paloluokassa merkitsee sitä, että palomuuria ei tarvitse rakentaa iskunkestäväksi.

Pientalojen palo-osastoinnissa noudatetaan kerrososastoinnin, käyttöta-
paosastoinnin ja pinta-alaosastoinnin periaatteita (Ympäristöministeriön
asetus 848/2017). Pientaloissa, jotka kuuluvat paloluokkaan P3, toteute-
taan palo-osastointi joko kerrososastoinnin tai käyttötapaosastoinnin pe-
riaatteiden mukaisesti. Palo-osastoinnin tarkoituksena on estää palon le-
viäminen osastosta ja se on siten yksi tärkeä osa rakenteellista paloturvallisuutta. (RIL 195-1-2005, 17).

Palo-osastoinnissa voidaan käyttää erilaisia materiaaleja, kuten esimer-
kiksi kipsilevyä, betonia, palovillaa tai esimerkiksi MGO-levyä. Materiaalin
valintaan vaikuttaa muun muassa hinta, työkustannukset, soveltuvuus ra-
kenteisiin, kestävyys sekä paloluokkien vastaavuus ja materiaalin ominai-
suudet.

Projektioteessa noudatettiin pohjoisseinässä palomääräystä EI60. Ym-
päristöministeriön asetuksen (848/2017) mukaan ”osastoivuusvaatimuk-
sen viereisissä tiloissa ollessa EI60, suoralla seinälle osastoraja ulotetaan
ulkoseinään siten, että palo ei leviä ulkoseinän tarvikkeiden kautta osas-
tosta toiseen osastoivuusvaatimuksen määräämänä aikana”. Tämän mää-
räyksen mukaan asetui siis vaatimus siitä, että palo-osastoidun seinän tu-
lee kestää sekä ulkopuolista, että sisäpuolista paloa vastaan. Näin ollen
pientalossa syttynyt tulipalo ei leviä naapuripaloon, sillä palo-osastoitu
seinä suojaa sisäpuolista paloa vastaan ja mikäli naapuritalossa syntyy
palo, suojaa palo-osastoitu seinä kohdetta myös ulkopuolista paloa vas-
taan. EI60 määräämä palonkestoaika tarkoittaa 60 minuutin suojaa paloa
vastaan jotta pientalosta ehditään poistumaan turvallisesti sekä palokun-
nalla on aikaa saapua kohteeseen.

Paloturvallisuuden rakennesuunnittelussa käytetään materiaalien palo-
luokkia. Luokat on koottu alla olevaan taulukkoon 1. EI60-palomääräys
vaatii, että palo-osastoinnissa käytetyt materiaalit ovat vähintään luokkaa
A2-s1, d0 eli lähes palamattomia. Määräys koskee ainoastaan palo-osas-
toidussa seinässä käytettyjä materiaaleja ja muualla rakennuksessa on
mahdollisuus käyttää myös muiden paloluokkien materiaaleja.

Taulukko 1. Rakennesuunnittelun paloluokat (Jämsä, 2014)

Rakennustarvikkeiden paloluokat	Rakennustarvikkeiden vastaavuudet
A1	1/I, palamaton
A2-s1, d0	1/I, lähes palamaton
B-s1, d0	1/I, palava
B-s2, d0	palava
C-s2, d1	1/II tai 1/-, palava
D-s2, d2	2/-, palava
E	-, ei määritelty

Projektikohteessa rakennustarvikkeina käytettiin A1- ja A2-s1 -paloluokan tarvikkeita eli kivivillaa, MGO-levyä sekä kipsilevyä. Edellä mainittujen materiaalien paloluokka vastaa palamatonta tai lähes palamatonta. Lisäksi palo-osastoidussa seinässä käytettiin ulkovuorilautaa ja runkotolppia, jotka kuuluvat D-s2 -paloluokkaan. Muihin paloluokkiin kuuluvia materiaaleja voitiin käyttää, sillä palo-osastoitu seinä kokonaisuudessaan täytti EI60-palomääräyksen. Näin ollen palomääräyksen täytyttyä myös palo-osastoidussa seinässä voidaan käyttää viranomaisen hyväksymiä palavia-kin materiaaleja muun muassa ulkoverhoiluun.

3 MGO-LEVY

MGO-levy eli magnesiumoksidi -levy valmistetaan pääosin magnesium oksidista ja magnesium sulfiitista. MGO-levy on veden-, palon-, kosteuden- ja tuulen kestävä ja lisäksi se eristää myös ääntä. MGO-levy on ympäristöystävällinen materiaali, joka ei sisällä myrkyllisiä ainesosia kuten asbestia, formaldehydiä tai ammoniakkaa. (EU Global Trading, n.d.).

MGO-levy on rakennusmateriaalina Suomessa vielä suhteellisen uusi, sillä VTT:n päästösertifikaatti ja M1-hyväksyntä on myönnetty vasta vuonna 2016. Yhdysvalloissa virallinen hyväksyntä rakennuskäyttöön on saatu vuonna 2003. Palonkestävyyden testit on suoritettu Euroopassa Iso-Britanniassa vuonna 2010. MGO-levyt on suojattu Trilite RMS -merkinnällä, joka takaa sertifikaattien päteväen ostettuun MGO-levyyn ja suojaa väärennöksiltä ja väärinkäytöiltä. (EU Global Trading, n.d.).

MGO-levy valmistetaan magnesiumoksidista (yli 40%), magnesiumsulfaatista (yli 20%) ja perliitistä (yli 15%). Korkealle puhdistettu MgO antaa levyille tulenkestävyyden, jota puukuuita ja perliitti täydentävät täyttömateriaaleina. Trilite RMS -MGO-levyt eivät myöskään sisällä korroosiota aiheuttavaa kloridia. MGO-levyjen paksuus vaihtelee 3–12 mm välillä (EU Global Trading, n.d.). Projektikohteessa on käytetty 10 mm paksuisia MGO-levyjä.

3.1 MGO-levyn hyödyntäminen palorakenteissa

MGO-levyn erityiset edut palorakenteissa on sen hyvä palonkestävyys ja levy luokitellaankin palamattomaksi materiaaliksi, paloluokka A1. Palorakenteissa sen etuna on muun muassa murtumattomuus, myrkyttömyys, syttymättömyys, korkea murtolujuus, iskunkestävyys ja homekasvuston esto. MGO-levyn käyttö on mahdollista niin sisä- kuin ulkorakenteissakin. (EU Global Trading, n.d.).

MGO-levylle on suoritettu standardien BS 476-20 ja BS 476-22 mukaiset, Britannian kansallisen standardin poltokoeraportit. Paloturvallisuus Oy:n MGO-levystä tekemän lausunnon mukaan Eurooppalainen EN-standardi noudattaa vastaavia menettelyjä, jolloin yleiset palonkestävyyden testauksen vaatimukset esitetään standardissa EN 1363-1. Sekä BS 476 että EN 1363 käyttävät palon lämpötilana standardin ISO 834 mukaista standardilämpötilan kehitystä. (EU Global Trading, 2017).

Tutkimuskohteen puurakenteisen ulkoseinän REI60 palonkestosta annettiin lausunto, jossa todettiin:

REI60 seinän rakenteet on suunniteltu molemminpuolista paloa vastaan, perustuen Turvallisuusraportti VTT-R-06706-12 ja Paloturvallisuus Oy:n palotekniseen lausuntoon. Kyseessä olevassa seinärakenteessa on esitetty käytettäväksi palamattomia eristeitä, esim. Paroc kivivillaa (min. $\rho=80 \text{ kg/m}^3$. Seinä- ja kattoverhoukset ovat 13mm kipsilevyä, ja palamattomia 10mm Trilite MGO-levy. Ulkovaipan palonpidättävyyttä on verrattu EN 1995-1-2 mukaan havupuisen sahatavaran hiiltymisnopeuteen 0.65 mm/min. Puurakenteisen ulkovaipan vahvuus on 55 mm > vaad. 39 mm => 60 min. palonpidättävyysvaatimus täyttyy.” (EU Global Trading, 2017).

3.2 MGO-levyn ja yleisimmän palonsuojalevyn eroavaisuudet

Kevyissä rakenteissa yleisimmin käytetty palonsuojalevy on tyypillisesti kipsilevy. MGO-levyn sekä kipsilevyn vertailua varten on valittu esimerkkiksi kipsilevyksi Knauf-palonsuojalevy KPS15.

Knauf-palonsuojalevyn palonkesto-ominaisuudet perustuvat kidevesipitoisuuteen, jolloin palotilanteessa kipsin sisältävä kidevesi höyrystyy ja kuluttaa lämpöenergiaa. Kideveden höyrystyessä se rajoittaa paloa ja hidastaa palon leviämistä. Palotilanteessa lämpötila kipsilevyn taustapuolella pysyy alle 100° C:ssa kunnes kidevesi on haihtunut kokonaan. Seinien palonkestävyys riippuu siitä, kipsilevyjen lukumäärästä sekä siitä, kummalle puolelle seinää kipsilevyt on asennettu. (Knauf, 2011.)

Taulukkoon 2 on kerätty keskeisimpiä MGO-levyn ja Knauf-palonsuojalevyn KPS15 ominaisuuksien eroavaisuuksia.

Taulukko 2. MGO-levyn ja Knauf-palonsuojalevyn ominaisuudet

Ominaisuus	MGO-levy (12mm)	Knauf-palonsuojalevy KPS 15 (15mm)
Valmistusmateriaali	magnesium oksidi	kalsiumsulfaatti-hydraatti
Palonkestävyys	EI120	EI30
Neliöpaino	13kg/m ²	14 kg/m ²
Tiheys	1050kg/m ³	930 kg/m ³

Kuten taulukon ominaisuuksista on huomattavissa, MGO-levy on palonkestävyysominaisuuksiltaan kipsilevyä kevyempää. Mikäli kevyiden rakenteiden palo-osastoinnissa käytetään tyyppillistä kipsilevyratkaisua, tulee kipsilevyjä käyttää limittäin useampia, jotta sama palonkestävyys kuin MGO-levyllä saavutetaan. Lisäksi kipsilevyä käytettäessä rakenteiden painokuorma kasvaa, sillä kipsilevyä on käytettävä määrällisesti MGO-levyä enemmän.

4 PROJEKTIN TAVOITE

Projekti sai alkunsa tutkielman kirjoittajan pientalohankkeesta, joka vaati erilaisia palorakenteiden ratkaisuja lähekkäin rakennettavien pientalojen vuoksi. Projektissa yhdistyvät siten konkreettinen rakennushanke ja tutkimustieto sekä rakennuslainsäädäntö koskien palo-osastointia. Tavalliset palo-osastointiratkaisut eivät sopineet kohteeseen parhaalla mahdollisella tavalla, joten uudenlaisia ratkaisuja pyrittiin löytämään. Eri vaihtoehtojen kautta päädyttiin hyödyntämään MGO-levyä sen ominaisuuksien ja kustannustehokkuuden vuoksi.

Projektin tavoitteena on käytännön rakennushankkeen myötä osoittaa, kuinka MGO-levyä voidaan käyttää palorakenteiden osana kevyissä rakenteissa. Tavoitteena on näyttää uusi vaihtoehto tavallisemmin käytettyjen vaihtoehtojen rinnalle ja käytännön kokemusten kautta tuoda esiin MGO-levyn ominaisuuksia sekä verrata saatuja kokemuksia ennako-odotuksiin. Projektissa yhdistyvät kirjallisuuden ja lainsäädännön kautta tavallisimpien palo-osastointiratkaisujen vertaaminen uudempaan ja toistaiseksi pientalorakentamisessa vähemmän käytettyyn MGO-levyyn käytännön rakennushankkeen kautta.

Projektissa esitellään rakennushanke suunnittelusta käytännön vaiheiden kautta toteutukseen sekä kerrotaan yleisesti MGO-levyn ominaisuuksista. Projektin myötä pyritään vastaamaan monipuolisesti tutkimuskysymyksiin siitä, miten MGO-levy eroaa tavallisimmista palo-osastoinnin materiaaleista ja mitä etuja MGO-levyn käyttämisellä voidaan saavuttaa sekä yhdistetään käytännön kokemuksia MGO-levyn hyödyntämisestä aikaisempiin tietoihin.

4.1 **Projekti menetelmä**

Projektimenetelmäni pyrkii saavuttamaan ennalta määritellyn tavoitteen (Kettunen, 2009, s.25). Projektityyppinä on useanlaisia, joista tässä tutkielmassa keskitytään rakennusprojektiin. Rakennusprojektit noudattavat tavallisesti pääpiirteittäin samaa toimintatapaa, mutta omaavat kuitenkin aina omat vahvat ominaispiirteensä, sillä jokainen rakennus on erilainen (Kettunen, 2009, s. 25). Rakennusprojektit tuovat haasteita erityisesti aikatauluttamisessa, kun taas rakennusprojektin vahvuuksina pidetään niiden selkeyttä johtuen tiettyihin vaiheiden noudattamisesta. Rakennusprojektille tyypillistä ovat muun muassa tiukat aikataulut, useiden toimijoiden kontrollointi ja valvonta sekä projektin etenemisen näkeminen konkreettisesti. (Kettunen, 2009, s.25)

Paasivaara, Suhonen ja Nikkilä (2008) jaottelevat projektin onnistumisen kannalta keskeisimmiksi vaiheiksi suunnittelu-, aloittamis- ja toteuttamisvaiheet sekä korostaa erityisesti suunnitteluvaiheen tärkeyttä, sillä tällöin tehdään keskeisimmät päätökset koskien projektia. Paasivaaran ym. (2008) mukainen ajattelu korostuu tässäkin tutkielmassa, sillä rakennusprojektissa suunnitteluvaihe on tärkeä osa koko rakennusprojektin onnistumisen kannalta. Seuraamalla, arvioimalla ja hallitsemalla riskejä voidaan vaikuttaa projektin onnistumiseen (Paasivaara ym., 2008).

Rakennusprojektissa korostuu ennen kaikkea aikatauluttamisen tärkeys. Projektit tehdään tyypillisesti tiukalla aikataululla, jolloin viivästys yhdessä vaiheessa voi vaikeuttaa toisen vaiheeseen ja siten lykätä koko projektin valmistumista (Kettunen, 2009, s. 25-26). Tutkielman projektissa on pyritty huomioimaan aikataulutuksen tärkeys ja jo suunnitteluvaiheessa on määriteltävä tavoiteaikataulu eri rakennusprojektin vaiheille. Näin projektia on myös helpompi hallita, kun vaiheet on pilkottu pienempiin osiin. Tutkimusprojektin aikataulua avataan tarkemmin luvussa viisi.

5 MGO-LEVYN HYÖDYNTÄMINEN PALORAKENTEIDEN OSANA

5.1 Projektin lähtökohta

Projekti sijoittuu Tampereen Vehmaisiin Kaukaniemen uudispientaloalueelle. Projektissa oleva tontti on pieni noin 350 m² ja talojen pienin etäisyysväli on kaksi metriä. Tampereen kaupunki on määrännyt asemakaavassa jokaisen rakentajan tekemään palo-osastoinnin ulko- ja sisäpuolista paloa vastaan (EI60) talon pohjoisseinälle, jolloin palo-osastointivaatimusta ei tule eteläseinälle (Tampereen kaupunki, 2015). Projektikohteena on kaksikerroksinen pitkästä tavarasta rakennettava puutalo ja taloon kytetty autotalli.

EI60-palomääräys koskee alle 1 metrin päähän rajasta olevia rakennuksia. Pientaloissa määräys on usein EI(M) 60, jossa (M) tarkoittaa palomuurinomaista rakennetta, jolloin ikkunoiden ja ovien on oltava samaa minuuttiluokkaa kuin osastoitava seinä (Oulun rakennusvalvonta, 2015). Projektikohteen kaavamääräyksessä oli, että palo-osastoidulle seinälle ei saa asentaa ovia tai ikkunoita, joten palomääräys noudattelee EI60-määräystä ulko- ja sisäpaloa vastaan.

Palo-osastointivaatimukseen kuului usean kipsilevyn käyttäminen kantavien kaksoisrunkojen suojaksi. Vaatimuksena oli 15 mm + 15 mm kipsilevyt, yhteensä 30 mm suojaus kaksoisrunkon molemmille puolille. Palorakenteiden vaatimus johti useissa muissa uudispientaloalueen kohteissa siihen, että palo-osastoitua seinä rakennettiin arkkitehtuurillisesti muurimaiseksi katon ylittäväksi seinäksi. Projektikohteessa pyrittiin siten löytämään palo-osastoinnille toteuttamiselle sellainen vaihtoehto, jossa pientalon julkisivun ilme voitaisiin pitää mahdollisimman perinteisen pientalon mukaisena, välttäen massiivista muurimaista seinää.

5.2 Projektin eteneminen

Kun palo-osastoidun seinän vaatimukset tiedettiin, alkoi eri toteutusvaihtoehtojen etsintä. Ensimmäisessä haluttiin löytää vaihtoehto perinteiselle kipsilevylle ja erilaisten materiaalivertailujen ja tiedonhaun lopputuloksena löytyi magnesiittilevy eli MGO-levy. MGO-levyn etuna oli lisäksi kevyemmän palo-osastoidun seinän rakentaminen ja arkkitehtuurisen ilmeen säilyttäminen, jolloin MGO-levyn ominaisuuksiin alettiin perehtyä syvemmin. MGO-levyn saama CE-sertifikaatti mahdollisti levyn käyttämisen palo-osastoinnin osana kevyissä rakenteissa.

Koska maahantuojan MGO-levyn testitulokset perustuivat MGO-levyn käyttöön kantamattomissa rakenteissa, tuli Tampereen kaupungin rakennusvalvonnalle antaa rakennesuunnittelijan tekemä lausunto kantavan seinän seinärakenteesta sekä MGO-levyn palotekninen lausunto. Vasta tämän jälkeen MGO-levyn hyödyntämistä osana palo-osastointia voitiin harkita ja suunnittelu aloittaa. Kun Tampereen kaupungin rakennusvalvonta hyväksyi MGO-levyn käytön osana palorakenteita kevyissä kantavissa rakenteissa, aloitettiin palo-osastoidun seinän suunnittelu.

5.3 Suunnittelu

Asemakaava määräsi hyvin pitkälle, miten omakotitalo-rakennuksen tulisi asettua tontille. Rakennuksen pohjoisseinän täytyi olla kiinni tontin pohjoisrajassa, jolloin salaoja- ja sadevesijärjestelmä sijoittuisi naapurin tontille. Näin ollen jokainen rakennuttaja veloitettiin tekemään omakotitalojen omistajien välille rasitesopimus, johon merkittiin myös palomuurin rakentamatta jättäminen ja sen korvaaminen palo-osastoinnilla vesikattoon asti. Tällöin palo-osastointivaatimusta ei muodostunut rakennuksen eteläseinälle.



Kuva 1. Kohteen sijainti asemakaavassa

Palo-osastoidun seinän ratkaisu olisi jouduttu kipsilevyillä tekemään niin, että seinä ulottuisi talon pulpettikaton korkeimman harjan sekä itä- ja länsiseinän ylitse niin sanottuina ulokkeina. Näin ollen palo-osastoitu seinä näyttäisi arkkitehtuurisesti siltä, että pientalo on kytkettynä massiiviseen seinään (ks. Kuva 2, pientalon palo-osastoitu seinä, vaihtoehtoinen ratkaisu). Suunnitteluvaiheessa haluttiin toteuttaa palo-osastoitu seinä niin, että se mukailisi talon perinteistä muotoa ilman seiiniä ylittäviä ulokkeita.



Kuva 2. Pientalon palo-osastoitu seinä, vaihtoehtoinen ratkaisu ilman MGO-levyä

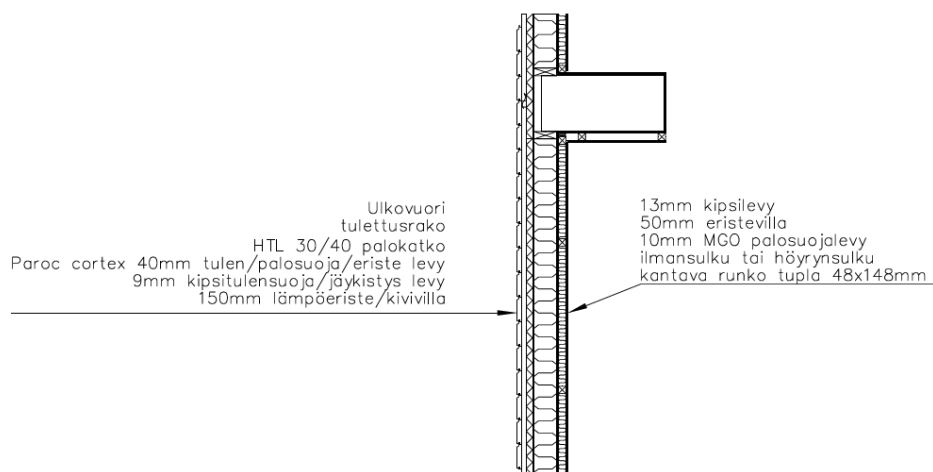


Kuva 3. Projektikohteen palo-osastoitu seinä, hyödynnetty MGO-levyä.

Suunnitteluvaiheessa lähdettiin liikkeelle kosteudenhallinnasta runkorakenteissa. Homevaurioiden välttämiseksi MGO-levy asennettaisiin ainoastaan palo-osastoidun seinän lämpimälle sisäpuolelle. Ulkopuolelle asennettaisiin kipsituulensuojalevy ja Paroc Cortex -kivillatuulensuojalevy tuulensuojalevy hengittävyden ja kosteudenpoiston vuoksi. Näin kosteus ei tiivisty seinän sisälle esimerkiksi kevättalvella lämmönvaihtelun vuoksi, vaan pääsee haihtumaan pois. Rakenteiden kosteusteknisissä suunnitelmissa tuleekin huomioida, että rakenteet toteutetaan erillisten kerrosten

avulla kosteusrasitukselta suojaamiseksi sekä suunnitellaan niin, että rakenteet pääsevät kuivumaan. Oikeiden materiaalin käyttöön tulee kiinnittää huomiota kosteusteknisissä ratkaisuissa ja lisäksi liitoksien sekä yksityiskohtien toimintaan.

Seuraavaksi tuli ottaa huomioon rungon jäykistäminen. Runko jäykistettiin ulkopuolelta 9 mm kipsituulensuojalevyllä. Sisäpuolelta runkoa jäykistää 10 mm MGO-levy. Näin rakennesuunnittelussa saatiin jäykistettyä palo-osastoitu seinä molemmilta puolilta.



Kuva 4. Suunnitelma palo-osastoidun seinän poikkileikkauksesta

Kuvassa 4 ilmenee suunnitelmiin kirjattu HTL 30/40 palokatko, joka hidastaa tuuletusraon palon etenemisen. Palokatossa laippojen epäkeskinen rei'itys estää tulen etenemisen sekä hidastaa lämmön nousua. Palokatko tulee palomääräysten mukaan asentaa noin kolmen metrin välein siten, että palokatko osuu välikerrokseen. Projektikohteessa palokatko on asennettu kolmen ja kuuden metrin korkeuteen.

5.4 Toteutus

5.4.1 Palo-osastointi sisäpaloa vastaan

Kohteen palo-osastointimateriaaleiksi valittiin EU Global Trading Oy:n MGO-levy ja Paroc-kivivilla. Sisältä palo-osastointi toteutettiin MGO-levyllä (10 mm palolevy) sekä koolauksella (50 mm). Lisäksi käytettiin Paroc-tuulensuojakivivillaa (150 mm), Ekovillan (50 mm), sekä 13mm EK- kipsilevyä. MGO-levyn saumat suojattiin paloakryyllillä, joka tiivistää saumat

ja mahdolliset raot, jolloin palon eteneminen runkoon hidastuu. Katon välipohjassa ja katon palosuojassa käytettiin MGO-levyä 1200 mm verran. Myös itä- ja länsiseinällä käännettiin palo-osastointia 1200 mm verran samoin, kuin palo-osastoitu seinällä. Välipalkistossa tehtiin palokatkot MGO-levystä.

Palo-osastoidun seinän runko sisältä toteutettiin tuplarunko (48 x 148 mm) runkotolpilla. Tuplarungon hiiltyminen rungossa on kaksi kertaa hitaampaa, jolloin tuplarunko ratkaisua hyödyntämällä pystyttiin vastaamaan EI60 palovaatimukseen. Tavallisella yhden rungon tolpalla tähän palovaatimukseen ei olisi päästy, sillä se ei olisi täyttänyt sortumisenkestovaatimuksia. Kuvassa 5 näkyy palo-osastointi sisäpuolista paloa vastaan. Seinät, seinien kulma ja katto on palo-osastoitu. Kuvan yläosassa valkoinen levy on jo asennettua MGO-levyä.



Kuva 5. Palo-osastointi sisäpuolista paloa vastaan

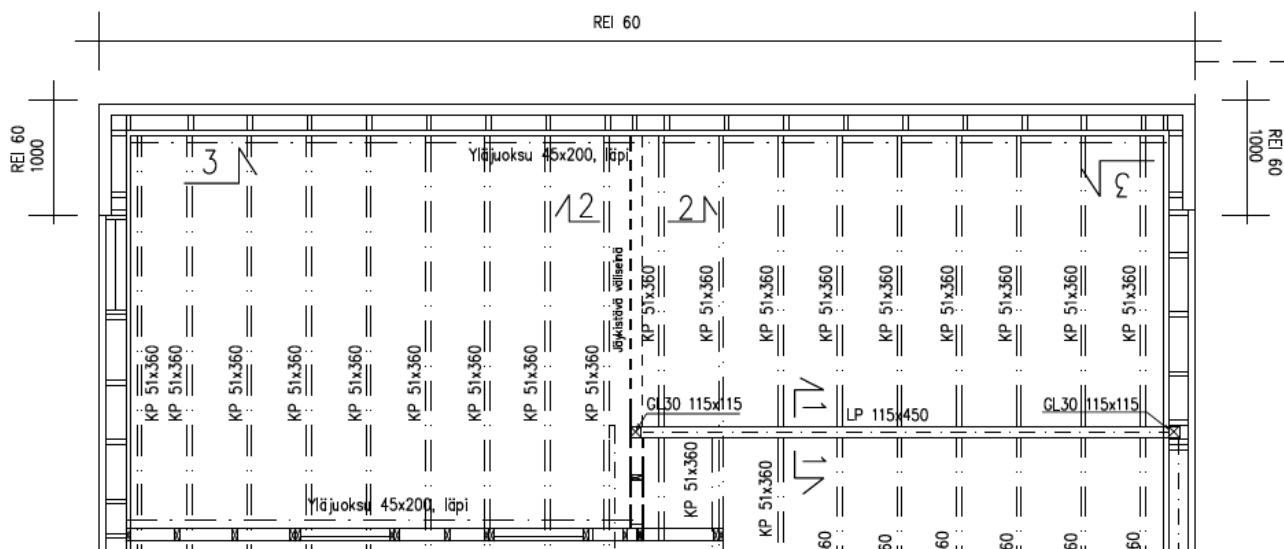
MGO-levyn asentamisaikaan vaikutti levyn ilmatiiviys ja kosteudenläpäisyominaisuudet. Tämän vuoksi MGO-levy asennettiin ilmasulkupaperin (tai vaihtoehtoisesti höyrysulkumuovin) päälle, jonka jälkeen koolattiin 48x48 mm rimalla ja asennettiin Ekovillan selluvillat koolaussäleihin. Ekovillan palokokeissa on todistettu yli 60 minuutin palonkestävyys (Puuinfo,

2011). Uloimmaksi seinässä asennettiin 13 mm EK-kipsilevy. Näin onnistuttiin luomaan rakenne, joka hengittää, kun selluvilla sitoo kosteaa ilmaa ja päästää sen takaisin sisätilaan. Mikäli MGO-levy olisi asennettu sisäseinässä uloimmaksi olisi kosteuden läpäiseminen huonompaa, sillä MGO-levy itsessään ei päästä kosteutta läpi.

EI60-palovaatimus saavutettiin sisäpaloa vastaan siten 10 mm MGO-levyllä (palonkesto 70 min) ja 13 mm kipsilevy (palonkesto 15 min).

5.4.2 Palo-osastointi ulkopaloa vastaan ulkoseinässä

Ulkopuolella palo-osastointi toteutettiin Paroc-tuulensuojakivivillalla (40 mm) sekä kipsituulensuojalevyllä (9 mm). Kantava tuplarunko on mitalistettu (48 mm x 148 mm). Ulkoseinän rakenteet toteutettiin niin, että tuplarunkoon laitettiin Paroc Extra 150 mm paksua kivivillaa. Tämän jälkeen jäykistettiin runko 9 mm kipsituulensuojalevyllä, jonka jälkeen asennettiin Paroc Cortex pro 40 mm tuulensuojakeriste A2-palo-ominaisuksiltaan. A2 palo-ominaisuus vastaa palamatonta materiaalia (Weckman, 2001). Seuraavaksi rakenteeseen lisättiin tuuletusrako 32 mm laudoituksella sekä 25 mm ulkovuorilaudoitus. MGO-levyä ei käytetty ulkoseinässä, sillä se oli asennettu jo sisäpuolista paloa vastaan. EI60-palovaatimukseen päästiin siten käyttämällä palo-ominaisuksiltaan kipsituulensuojalevyä.



Kuva 6. Palo-osastoinnin käänntö ulkoseinissä

Palo-osastointi käännettiin sivuseiniin 1200 mm, jolloin palo-osastoidulle seinälle vältyttiin tekemästä ulokkeita ja palo-osastoitu seinä mukaili talon muita seiniä. Määräyksenä palo-osastoinnin käänntämiselle oli minimissään 700 mm, mutta kohteessa käänntö toteutettiin 1200 mm matkalta katossa, sekä palo-osastoituun seinään kytketyillä seinillä. Lisäksi tuuletusraossa käytettiin palokatko profiilia sinkitystä peltiprofiilista.

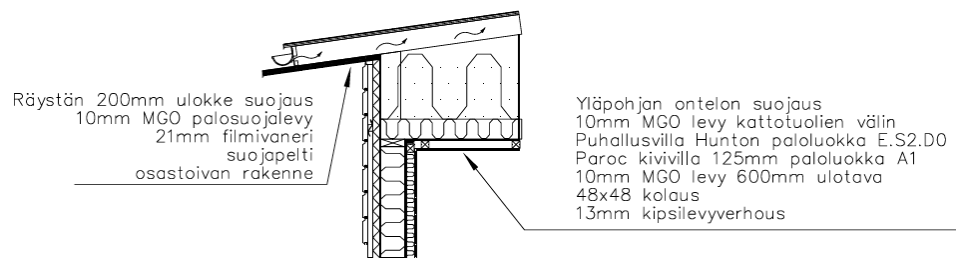


Kuva 7. Palo-osastointi ulkopuolista paloa vastaan

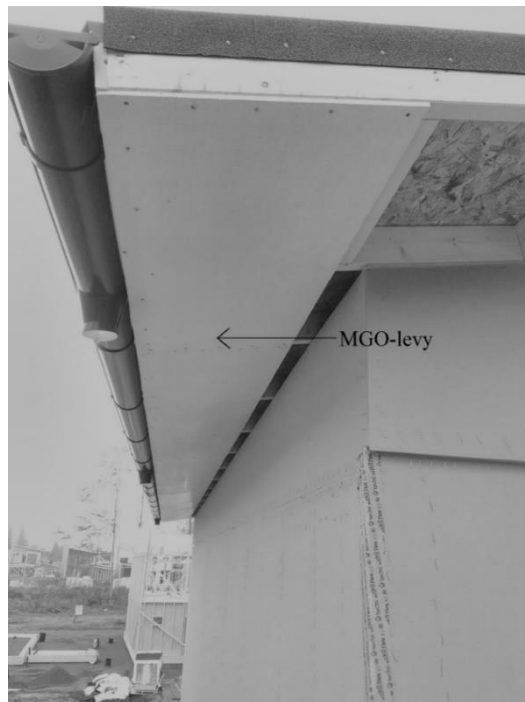
Kuvassa 7 on nähtävissä palo-osastoinnin toteutus ulkoseinässä ulkopuolista paloa vastaan. Kuvassa näkyy 40 mm Paroc Cortex tuulensuojakivivilla sekä HTL 30/40 palokatko. Palokatko näkyy kerroksien välipohjan korkeudessa heti tuulensuojarimojen yläpuolella. Kuvassa 7 puuttuu vielä kohteen toinen palokatko, joka asennetaan Paroc-tuulensuojakivivillan yläreunaan. Seinän alaosaan on laitettu jo ulkuvuorilautaa. Kuvassa palo-osastoitu räystäs on jo valmis.

5.4.3 Palo-osastointi ulkopaloa vastaan räystäässä

Räystään palosuojauksessa on huomioitava, mitkä kohdat ovat palon leviämisen kannalta kaikkein kriittisimpiä (Siikanen, 2008). Räystäs palosuojattiin MGO-levyllä alhaalta sekä tuulenohjauslippaa pidennettiin ja pellitettiin 250 mm. Jotta räystäs kestäisi 60 minuutin palon, se toteutettiin 10 mm MGO-levyn ja sen päälle ruuvatun 21 mm LVL-levyn avulla. Vesikourun ja vanerin väliin asennettiin peltilippa, joka antaa 30 minuuttia palonkestävyyttä. Kuvassa 8 on piirustus räystään palo-osastoinnista ja kuva 9 toteutuksen vaiheesta.



Kuva 8. Piirustus räystään palo-osastoinnista



Kuva 9. Kohteen räystäään keskeneräinen palo-osastointi

Kuvassa 9 on näkyvissä räystäään palosuojauksen vaihe, jossa MGO-levy on jo asennettu osittain vesikourun viereen, mutta peltilippa ja LVL-levy vielä puuttuvat.

Kuva 10. Kohteen räystäään valmis palo-osastointi



Kuvassa 10 puolestaan näkyy palo-osastoitu räystäs, jossa MGO-levy, LVL-levy ja pellitetty lipa sekä vesikouru on asennettu.

5.5 Yhteenveto

Palo-osastoitu seinä onnistuttiin toteuttamaan niin, että runkorasitus oli pienempi kuin mitä se olisi tuplakipsilevyillä toteutettuna. Lisäksi kohteen työtunteja onnistuttiin vähentämään MGO-levyratkaisua käyttämällä. Myöskään välipohjia ja välikattoa ei tarvinnut tehdä koko taloon tuplakipsilevyillä, jolloin onnistuttiin myös vähentämään materiaalin menekkiä ja siten myös materiaali- ja työkustannuksia. Kuvassa 11 näkyy valmis projekti-kohteen palo-osastoitu seinä.



Kuva 11. Valmistunut projektikohde

MGO-levyn avulla onnistuttiin lisäksi täydentämään räystään palovaatimusta. Tavallisesti räystään palo-osastoinnin vaatimus on EI30, joka voidaan toteuttaa esimerkiksi 35 mm LVL-levy. Tällöin räystään palo-osastointi kestää 30 minuuttia paloa vastaan. Projektikohteessa käytettiin MGO-levyä, joka luokitellaan palamattomaksi materiaaliksi ja näin ollen 10 mm paksulla MGO-levyllä ja tämän lisäksi asennetulla 21 mm LVL-levy saavutettiin korkeampi EI60 palo-osastointivaatimus.

U-arvo kuvastaa rakennuksen lämmönläpäisykerrointa. Mitä pienempi U-arvo on, sitä parempi on sen lämmöneristys. Projektikohteen U-arvo on $0,1527 \text{ W/m}^2\text{K}$. (Laskelma ks. liite 1). Projektikohteen U-arvo on pienempi kuin mitä vaatimusten mukainen $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

MGO-levyä voidaan hyödyntää osana palo-osastointiratkaisua sisä- ja ulkopuolista paloa vastaan. MGO-levy voidaan asentaa palo-osastoinnissa sekä pinta-, että täydentävänä rakenteena. MGO-levy vastaa myös korkeisiin palo-osastointivaatimuksiin, kuten EI60-EI120 vaatimuksiin, riippuen käytetyn levyn vahvuudesta.

MGO-levyn hyödyntämisen etuja ovat säästöt materiaali- ja työkustannuksissa. Lisäksi MGO-levyllä saavutetaan pienempi kuormarasitus ja rakenteita jäykistävä vaikutus. Näin ollen MGO-levy on tavallisiin palo-osastointiratkaisuihin nähden kevyempi, mutta paloa vastaan suojaavampi ratkaisu.

Rakennuttaja kokeili MGO-levyä ensimmäistä kertaa projektikohteessa. Aikaisempaa kokemusta MGO-levyn hyödyntämisestä ei siis ollut. Projektikohteen valmistuttua voidaan todeta, että MGO-levy vastasi suunnitelmiin ja odotuksiin hyvin, ja materiaalivalinta koettiin onnistuneeksi. MGO-levyä hyödyntämällä palo-osastoitu seinä saatiin arkkitehtuurisesti mukautumaan pientalon ulkonäköön, eikä palo-osastoidusta seinästä tullut muurimaisen näköistä vaan se näyttää tavalliselta pientalon ulkoseinältä.

MGO-levyn käytössä tulee kuitenkin huomioida, että ilma ja kosteus eivät läpäise materiaalia. Näin ollen kosteusteknisissä ratkaisuissa tulee kiinnittää erityistä huomioita siihen, mihin osaan seinää MGO-levy asennetaan, jotta rakenne pysyy tuulettavana ja hengittävänä, eikä lukitse kosteutta sisäänsä. Oikein asennettuna MGO-levy pitää seinärakenteen tuulettavana ja hengittävänä.

MGO-levy on suhteellisen uusi rakennusmateriaali Suomessa, eikä pientalorakentamisessa vielä kovin tunnettu. Näin ollen on hyvin todennäköistä, että MGO-levyn käyttö lisääntyy sen hyvin paloa suojaavien ominaisuuksien vuoksi. Kun kokemukset MGO-levystä lisääntyvät, voi MGO-levyn suosia palo-osastointiratkaisuissa kasvaa, sillä jo pientalorakentamisessa MGO-levyillä voidaan saavuttaa materiaali- ja työkustannussäästöjä.

Jatkotutkimusmahdollisuutena MGO-levyä voitaisiin tutkia kosteusteknisestä ja UV-rasituksen näkökulmasta esimerkiksi julkisrakennuksissa. Koska MGO-levy on Suomen markkinoilla suhteellisen uusi tuote, voidaan jatkotutkimuksena selvittää sen kestävyyttä Suomen ilmastossa ja etenkin pitkän aikavälin vaikutuksia materiaaliin.

LÄHTEET

- EU Global Trading. (n.d.). MGO-levy. Haettu 31.3.2018 osoitteesta <http://mgolevy.fi/>
- EU Global Trading. (2017). MGO-levyn palotekninen lausunto. Haettu 5.5.2018 osoitteesta <http://mgolevy.fi/wp-content/uploads/2017-02-24-MGO-levylausunto-Allekirjoitettu.pdf>
- Jalkanen, R., Kajaste, T., Kauppinen T., Pakkala, P. & Rosengren, C. (2017). *Kaupunkisuunnittelu ja asuminen*. Tallinna: Rakennustieto Oy.
- Jämsä, J. (2014). Rakenteellinen paloturvallisuus rakennesuunnittelussa. Pelastusopisto. Haettu 17.3.2019 osoitteesta https://www.rakennusteolisuus.fi/globalassets/koulutus--ja-esitysaineistot/2015/041115_rakenteellinen-paloturvallisuus-suunnittelussa.pdf
- Kettunen, S. (2009). *Onnistu projektissa*. Helsinki: WSOYpro.
- Knauf. (2011). Knauf levyopas. Haettu 29.4.2019 osoitteesta https://knauf.fi/fileadmin/user_upload/esitteet/knauf_levyopas_2011.pdf
- Oulun rakennusvalvonta. (2015). Pientalon paloturvallisuus. Haettu 27.5.2019 osoitteesta https://asiakas.kotisivukone.com/files/rakennustarkastusyhdistysrty.kotisivukone.com/Palokortti_paivitys_2015-10-30.pdf
- Paasivaara, L., Suhonen, M. & Nikkilä, J. (2008). *Innostavat projektit*. Siipoo: Silverprint.
- Paroc. (n.d.). Paroc kivivilla eritysratkaisut. Haettu 17.3.2019 osoitteesta <https://www.paroc.fi/>
- Puuinfo. (2011). Puukuitueristeellä REI-60 –palonkestävyysluokka seinärakenteelle - Rakenne kesti palokokeessa yli tunnin ajan. Haettu 17.3.2019 osoitteesta <https://www.puuinfo.fi/tiedote/puukuitueristeell%C3%A4-rei-60-%E2%80%93palonkest%C3%A4vyysluokka-sein%C3%A4rakenteelle-rakenne-kesti-palokokeessa>
- Rakennusvalvonta. (2018). Rakennusvalvontojen yhtenäiset käytännöt. Haettu 17.3.2019 osoitteesta www.pksrava.fi

Siikanen, U. (2008). *Puurakentaminen*. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. (2005). *Rakenteellinen paloturvallisuus*. Pientalo. Helsinki: Hakapaino.

Tampereen kaupunki. (2015). Kangasalantien ja Kaukajärventien risteyksen eteläpuolinen alue asemakaava nro 8455. Haettu 17.3.2019 osoitteesta https://www.tampere.fi/ytoteto/aka/nahtavillaolevat/8455/hyvaksytyt/8455_selostus_151019.pdf

Weckman, H. (2001). Rakennustarvikkeiden uudet eurooppalaiset paloluokitukset Suomen rakentamismääräyksissä. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017. Haettu 10.1.2019 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170848#Lidp448613616>

PALOMUURIN U-ARVO

Ohjelmaversio 1.03	
Suunnittelutoimisto X	Työn nro X Päiväys X Tekijä X
Sivu 2 / 2	
Rakennuskohde EI60 palomuri Vehmainen	Sisältö U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)

Puurakenteinen ulkoseinä	d [mm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	b [mm]	s [mm]
Sisäpinta			0,1300		
1 Kipsilevy	13	0,210	0,0619		
2 Lämmöneriste (sisältää koolauksen)	50	0,033	1,2513	48	600
3 MGO-levy	10	0,250	0,0400		
4 Ilman- ja höyrynsulku	0,2	0,330	0,0006		
5 Lämmöneriste (sisältää koolauksen)	150	0,033	3,7538	48	600
6 Kipsilevy	9	0,210	0,0429		
7 Lämmöneriste	40	0,031	1,2903		
Ulkopinta			0,1300		

<p>Rakenteen kokonaispaksuus 272 mm</p>	<p>MUURAUSSITEET ERISTEEN LÄPI</p> <p>Ei muuraussiteitä</p> <p>OSA-ALUEIDEN PINTA-ALAOSUUDET</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td>f_a</td> <td>0,846</td> <td><i>Eriste</i></td> </tr> <tr> <td>f_b</td> <td>0,074</td> <td><i>Pystykoolaus</i></td> </tr> <tr> <td>f_c</td> <td>0,074</td> <td><i>Vaakakoolaus</i></td> </tr> <tr> <td>f_d</td> <td>0,006</td> <td><i>Koolausristeys</i></td> </tr> </table> <p>OSA-ALUEIDEN LÄMMÖNVASTUKSET</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td>R_a</td> <td>7,756</td> <td>m²K/W</td> </tr> <tr> <td>R_b</td> <td>4,461</td> <td>m²K/W</td> </tr> <tr> <td>R_c</td> <td>6,658</td> <td>m²K/W</td> </tr> <tr> <td>R_d</td> <td>3,362</td> <td>m²K/W</td> </tr> </table> <p>U-ARVO</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td>R'_T</td> <td>7,216</td> <td>m²K/W</td> </tr> <tr> <td>R''_T</td> <td>6,701</td> <td>m²K/W</td> </tr> <tr> <td>U</td> <td>0,144</td> <td>W/m²K</td> </tr> <tr> <td>$\Delta U''$</td> <td>0,010</td> <td>W/m²K</td> </tr> <tr> <td>ΔU_g</td> <td>0,009</td> <td>W/m²K</td> </tr> <tr> <td>ΔU_f</td> <td>0,000</td> <td>W/m²K</td> </tr> </table> <div style="border: 1px solid black; background-color: yellow; padding: 5px; text-align: center; margin-top: 10px;"> <p>ULKOSEINÄN U-ARVO</p> <p>$U_c = 0,1527 \text{ W/m}^2\text{K}$</p> </div> <div style="border: 1px solid black; background-color: yellow; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>VIRHEILMOITUKSET</p> </div>	f_a	0,846	<i>Eriste</i>	f_b	0,074	<i>Pystykoolaus</i>	f_c	0,074	<i>Vaakakoolaus</i>	f_d	0,006	<i>Koolausristeys</i>	R_a	7,756	m ² K/W	R_b	4,461	m ² K/W	R_c	6,658	m ² K/W	R_d	3,362	m ² K/W	R'_T	7,216	m ² K/W	R''_T	6,701	m ² K/W	U	0,144	W/m ² K	$\Delta U''$	0,010	W/m ² K	ΔU_g	0,009	W/m ² K	ΔU_f	0,000	W/m ² K
f_a	0,846	<i>Eriste</i>																																									
f_b	0,074	<i>Pystykoolaus</i>																																									
f_c	0,074	<i>Vaakakoolaus</i>																																									
f_d	0,006	<i>Koolausristeys</i>																																									
R_a	7,756	m ² K/W																																									
R_b	4,461	m ² K/W																																									
R_c	6,658	m ² K/W																																									
R_d	3,362	m ² K/W																																									
R'_T	7,216	m ² K/W																																									
R''_T	6,701	m ² K/W																																									
U	0,144	W/m ² K																																									
$\Delta U''$	0,010	W/m ² K																																									
ΔU_g	0,009	W/m ² K																																									
ΔU_f	0,000	W/m ² K																																									