

Ville Paananen & Miika Rahkonen

**LÄMPÖÄ ERISTÄVÄN MAALIN LÄMPÖOMINAISUUDET JA VOI-
MALAITOSYMPÄRISTÖN PALOKUORMAAN JA PALAMISEEN
LIITTYVÄT ASETUKSET JA SÄÄDÖKSET**

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutus
Tammikuu 2021**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Tammikuu 2021	Tekijä/tekijät Ville Paananen & Miika Rahkonen
Koulutusohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikka		
Työn nimi LÄMPÖÄ ERISTÄVÄN MAALIN LÄMPÖOMINAISUUDET JA VOIMALAITOSYMPÄRISTÖN PALOKUORMAAN JA PALAMI-SEEN LIITTYVÄT ASETUKSET JA SÄÄDÖKSET		
Työn ohjaaja Aki Suokko	Sivumäärä 34	
Työelämäohjaaja Juha Koski		
<p>Opinnäytetyössä tutkittiin GVK Coating Technology Oy:n kehittämän GeveTherm Energy-maalin lämpöominaisuuksia. Teoriaosuus koostuu voimalaitosympäristön rakentamiseen, palokuormaan ja palamiseen liittyvistä asetuksista ja säädöksistä.</p> <p>Mittauksissa oli tarkoitus todentaa GeveTherm lämmöneristysmaalien lämpöominaisuuksia. Mittaukset suoritettiin Centria-ammattikorkeakoulun olosuhdelaboratoriossa. Mittausvälineistönä käytimme Centria-ammattikorkeakoulun olosuhdelaboratorion dataloggeria, k-tyypin termopareja, multiplekseriä, virtausmittaria ja mittavälineisiin liittyviä ohjelmistoja. Mittaukset suoritimme käyttämällä ARC/1000-olosuhdekaappia.</p> <p>Tuloksista ilmenee lämpöeristemaalin lämmöneristävyys ja lämpöeristemaalin vaikutus kosketuslämpötilaan.</p>		

Asiasanat Kosketuslämpötila, lämmöneristävyys, palaminen, palokuorma, rakentaminen, voimalaitosympäristö
--

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date January 2021	Author Ville Paananen & Miika Rahkonen
Degree programme Electricity and automation		
Name of thesis THERMAL PROPERTIES OF HEAT INSULATING PAINT AND THE DECREES AND REGULATIONS RELATED TO FIRE LOAD AND COMBUSTION IN THE POWER PLANT ENVIRONMENT		
Instructor Aki Suokko	Pages 34	
Supervisor Juha Koski		
<p>The thesis investigates the thermal properties of GeveTherm Energy paint developed by GVK Coating Technology Oy. The theory part consists of decrees and regulations related to the construction of the power plant environment, fire load and combustion.</p> <p>The measurements were intended to verify the thermal properties of GeveTherm thermal insulation paints. The measurements were performed in the condition laboratory of Centria University of Applied Sciences. As the measuring equipment, we used the data logger, k-type thermocouples, multiplexer, flow meter and software related to equipment from the Centria University of Applied Sciences laboratory. The measurements were conducted using an ARC / 1000 condition cabinet.</p> <p>The results show the thermal insulation of the thermal insulation paint and the effect of the thermal insulation paint on the contact temperature.</p>		

<p>Key words Combustion, construction, contact temperature, fire load, power plant environment, thermal insulation</p>

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

c	Fysikaalinen vakio, valon nopeus
Fotoni	Sähkömagneettisen vuorovaikutuksen välittäjähiukkanen
K	Lämpötilan mittayksikkö, kelvin
kg/ m ²	Massa pinta-alaa kohden, kilogrammaa neliometriä kohden
Kvantti	Sähkömagneettisen vuorovaikutuksen välittäjähiukkanen
M ²	Pinta-ala, neliometri
m ³ /m ²	Tilavuus pinta-alaa kohden, kuutiometri neliometriä kohden
MJ/m ²	Energiamäärä pinta-alaa kohti, megajoule neliometriä kohden
Polymeerimatriisi	Molekyyleistä muodostuva kantava rakenne
Q	Fysikaalinen suure, lämpömäärä
R _S	Fysikaalinen suure, pintavastus
R _T	Fysikaalinen suure, lämmönvastus
T	Fysikaalinen suure, aika
U	Lämmönläpäisykerroin, lämpövirran tiheys
W/mK	Lämmönjohtavuus, watti kelvinmetriä kohden
°C	Lämpötilan johdannaisyksikkö, celsius
Φ	Lämpövirta, lämpömäärän muutosnopeus

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 YRITYS JA TUOTE-ESITTELY	2
3 PALOMÄÄRÄYKSET JA VAATIMUKSET RAKENTEILLE	
TEOLLISUUSRAKENTAMISESSA.....	3
3.1 Palokuorma.....	3
3.2 Palovaarallisuusluokka.....	3
3.3 Suojaustaso	4
3.4 Rakennuksen paloluokka	5
3.5 Palo-osastointi.....	7
3.6 Rakennustarvikkeiden paloluokitus.....	9
3.7 Lämmönsiirtyminen.....	11
3.7.1 Johtuminen	11
3.7.2 Konvektio	12
3.7.3 Säteily	13
3.8 Lämmöneristys	13
3.8.1 Lämmöneristysmateriaaleja.....	13
3.8.2 Lämmöneristykseen termit	16
3.8.3 Lämmöneristykseen laskenta.....	16
4 TESTATTAVAN MAALIN LÄMMÖNERISTYSKYVYN MITTAUKSET	19
4.1 Laitteisto.....	19
4.2 Mittaukset	24
4.3 Alustavat toimenpiteet ennen mittauksia.....	25
4.4 Mittauksen kulku	27
5 TULOKSET & JOHTOPÄÄTÖKSET.....	30
LÄHTEET	33
KUVAT	
KUVA 1. Maalaamaton rasia ja maalatut rasiat	19
KUVA 2. Agilent 34970A	20
KUVA 3. 34901A Multiplekseri.....	20
KUVA 4. K-tyyppin termopari	21
KUVA 5. ARC/1000-olosuhdekaappi	22
KUVA 6. Digitaalinen työntömitta.....	23
KUVA 7. Virtausmittari.....	23
KUVA 8. Massa-ajo.....	24
KUVA 9. Anturit massa-ajossa.....	25
KUVA 10. Sykliä aseteltu ARC/1000-olosuhdekaappiin.....	27
KUVA 11. Dataloggerin kanava-asetukset	28
KUVA 12. Termoparien aseteltu sisäpuolella	28

KUVA 13. Termoparien asettelu ulkopuolella	29
KUVA 14. Mittauksen koejärjestely	29

KUVIOT

KUVIO 1. Lämmönsiirtyminen	11
KUVIO 2. Kerroksellinen putkieristys	17
KUVIO 3. Rasian nro 1. seinämien ja kannen paksuudet.....	25
KUVIO 4. Rasian nro 2. seinämien ja kannen paksuudet sekä maalin kalvonpaksuus	26
KUVIO 5. Rasian nro 3. seinämien ja kannen paksuudet sekä maalin kalvonpaksuus.....	26
KUVIO 6. Kuvaaja mittaustuloksista	30

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Rakennuksen kokoa koskevat rajoitukset	6
TAULUKKO 2. Käyttötarkoituksen mukainen palo-osaston enimmäisala (neliömetriä) ja palo-osastojen jako osiin.....	8–9
TAULUKKO 3. Esimerkkejä eri paloluokkien materiaaleista	9
TAULUKKO 4. Viitepalotilanteen ja euroluokkien välinen yhteys.....	10
TAULUKKO 5. Aineiden lämmönjohtavuuksia	12
TAULUKKO 6. Rasioiden paino, pinta-ala ja maalin määrä	27
TAULUKKO 7. Olosuhdekaapin ja koteloiden sisälämpötilat	31

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin Salire Oy:lle, jonka toimipaikka sijaitsee Nivalassa. Salire Oy tarjoaa konsulttipalveluita yksityisille ja yrityksille. Yrityksen toimitusjohtaja Juha Koski toimi työelämäohjaajanamme. Koski työskentelee myös GVK Coating Technology Oy yrityksessä piiripäällikkönä Pohjois-Pohjanmaalla ja Pohjois-Suomessa. Opinnäytetyössä tutkittava tuote oli GVK Coating Technology Oy:n valmistama GeveTherm Energy-maali. Tuotteen tarkoitus on toimia lämpöeristeenä ahtaissa paikoissa ja parantaa energiatehokkuutta ja työturvallisuutta.

Mittaukset suoritettiin Centria-ammattikorkeakoulun olosuhdelaboratoriossa. Mittausvälineistönä käytimme Centria-ammattikorkeakoulun olosuhdelaboratorion dataloggeria, k-tyypin termopareja, multiplexeriä, virtausmittaria ja mittavälineisiin liittyviä ohjelmistoja. Mittauksen suoritimme käyttämällä ARC/1000-olosuhdekaappia. Maalaus tehtiin ruiskumaalauksella ja maalauksesta vastasi Centrian TKI-kehittäjä Petri Wirkkala.

2 YRITYS JA TUOTE-ESITTELY

Gvk Coating Technology Oy on vuonna 1946 perustettu maalialan yritys, jonka kotipaikka on Parainen. Yritys on keskittynyt kehittämään vesiohenteisia, käyttäjä- ja ympäristöystävällisten maalien sekä lakkojen kehittämiseen ja valmistamiseen. Gvk Coating Technology Oy valmistaa teollisuus-, tiemerkintä- sekä kauppamaaleja. Kaikki yrityksen maalit testataan saariston vaativissa sääolosuhteissa. Yrityksen toimitusjohtajana toimii Anssi Jari Seppinen. Työelämäohjaajamme Juha Sakari Koski toimii yrityksessä Pohjois-Pohjanmaan ja Pohjois-Suomen myynnin ja teknisen neuvonnan piiripäällikkönä. (Gvk 2017, 2)

GeveTherm Energy on vesiohenteinen dispersiopohjainen pinnoite teolliseen levitykseen. Sitä käytetään sekä ulkona että sisällä rakenteiden, esimerkiksi putkien, ilmastointi- ja jäähdytysjärjestelmien, lastiruumien, junavaunujen sekä sisätiloihin tuleviin moottoreiden lämmöneristykseen. Maali eristää pinnoitettavan kohteen pinnan esimerkiksi kuumat putkistot siten, että sen lämpötila on kosketukselle turvallinen. (Gvk 2018c.)

GeveTherm Energy maalin väri on valkoinen. Maalattavan pinnan laadun mukaan on pintaan käytettävä siihen soveltuvaa pohja- ja pintamaalia. Maali voidaan levittää käyttämällä matala- tai korkeapaineruis- kua. Lisäksi maali voidaan levittää pensselillä. Maalin riittoisuus on noin 0,5–1 litraa/m² riippuen maalikalvon paksuudesta ja alustasta. Suositeltu kerrospaksuus maalilla on 100–200 g/ m² märkänä. Kuivumisaika maalilla 20 °C:n lämpötilassa on n. 45 minuuttia. Maali on maalauksen jälkeen n. 15 minuutin kuluttua pölykuiva ja n. 30 minuutin kuluttua käsittelykuiva. (Gvk 2018c.)

3 PALOMÄÄRÄYKSET JA VAATIMUKSET RAKENTEILLE TEOLLISUUSRAKENTAMISSESSÄ

Teollisuudessa rakenteille on olemassa erilaisia määräyksiä ja vaatimuksia koskien paloturvallisuutta, jotka täytyy huomioida rakentamisessa. Jäljempänä lueteltuna määräyksiä ja vaatimuksia liittyen paloturvallisuuteen.

3.1 Palokuorma

Palokuormalla tarkoitetaan kaikkea palotilassa palavaa materiaalia ja irtaimistoa ja siitä vapautuvaa energiamäärää materiaalin palaessa täydellisesti. Palokuorman tiheys määräytyy palavasta materiaalista vapautuvasta energiamäärästä lattia-alaa kohden. Se ilmaistaan megajouleina neliömetrille (MJ/m^2). Rakennuksen palo-osastoille määritetään palokuormaryhmät käyttötarkoituksen ja palokuorman tiheyden avulla. Tuotanto- ja varastotilojen palokuorma määritetään tapauskohtaisesti. Palokuormaryhmien määrittely on esitelty alapuolella. (Jantunen 2017, 2–4.)

Palokuormaryhmät ovat:

- 1) alle $600 \text{ MJ}/\text{m}^2$ ja siihen kuuluvia tiloja ovat asunnot, majoitustilat, hoitolaitokset, työpaikkatilat, ravintolat, koulut, liikuntahallit, teatterit, kirkot, päiväkodit ja palo-osastoltaan alle 300m^2 myymälätilat.
- 2) vähintään $600 \text{ MJ}/\text{m}^2$, mutta enintään $1200 \text{ MJ}/\text{m}^2$ ja siihen kuuluvia tiloja ovat asuntojen irtaimistovarastoja sisältävät, alle 50 m^2 varastotilat, ajoneuvojen huolto- ja korjaustilat, messuhallit, kirjastot ja yli 300 m^2 myymälät.
- 3) yli $1200 \text{ MJ}/\text{m}^2$ ja siihen kuuluvia tiloja ovat yli 50 m^2 varastotilat. (Jantunen 2017, 2–4.)

3.2 Palovaarallisuusluokka

Palovaarallisuusluokalla tarkoitetaan rakennukseen kohdistuvaa mahdollista palo- tai räjähdysvaaraa. Teollisuudessa tuotanto- ja varastointitilat jaetaan kahteen palovaarallisuusluokkaan. Palovaarallisuusluokkaan 1 kuuluvia ovat tilat, joihin kohdistuu vähäinen tai kohtuullinen palovaara. Palovaarallisuusluokkaan 2 kuuluvia ovat tilat, joihin kohdistuu huomattava tai suuri palovaara tai joissa voi olla räjähdysvaara. (Jantunen 2017, 4.)

3.3 Suojaustaso

Teollisuus- ja varastointitilat varustetaan aina pelastus- ja sammutustyötä helpottavilla laitteilla rakennukselle määritellyn suojaustason mukaan. Tilojen suojaustaso vaikuttaa paloluokkaan, suurimpaan sallittuun osastokokoon, savunpoistoon sekä kantavien ja osastoivien rakennusosien paloluokkavaatimukseen. Suojauksen suunnittelu suoritetaan yhdessä paloviranomaisen ja vakuutusyhtiöiden kanssa. Eri suojaustasot on esitelty jäljempänä. (Särkijärvi & Hosia 1997, 2.)

Suojaustaso luokat ovat:

Suojaustasossa 1 vaaditaan tavallinen tai tehostettu alkusammutuskalusto. Tavallisella alkusammutuskalustolla tarkoitetaan yhden henkilön käytettävissä olevaa kalustoa palonalkujen sammuttamiseen. Kyseiseen kalustoon kuuluvat käsisammuttimet, palopostit sekä sammutuspeitteet. Tehostetussa alkusammutuskalustossa vaaditaan riittävän tehokasta palopostiverkostoa sekä raskaampia kemiallisia sammuttimia. (Särkijärvi & Hosia 1997, 2.)

Suojaustasossa 2 on vaatimuksena automaattinen paloilmoitin sekä suojaustason 1 mukainen alkusammutuskalusto. Automaattinen paloilmoitin on tärkeää kohteissa, jossa mahdollisimman nopea ja luotettava sammutusvoimien hälyttäminen lisää henkilöturvallisuutta sekä vähentää omaisuuteen kohdistuvia palovahinkoja. Viimeistään 10 minuutin kuluttua paloilmoituksesta on aloitettava tehokas sammutustyö. Suojaustasossa 3 vaaditaan automaattinen sammutusjärjestelmä sekä suojaustason 1 mukainen alkusammutuskalusto. Sprinklerilaitteisto sopii kohteisiin, joissa vesi sopii sammutusaineeksi. Tämän tyyppisissä kohteissa henkilöturvallisuus, suuret omaisuusarvot, suuret palo-osastot tai palotekninen luonne edellyttää tehokkaan sammutuskaluston. Vaahtolaitteisto sopii syttyvien nesteiden sekä monien kiinteiden aineiden sammutukseen. (Särkijärvi & Hosia 1997, 2.)

Kohdesuojauksessa on tarkoituksena suojata yksittäinen kohde kiinteällä sammutuslaitteistolla. Sitä käytetään yksittäisissä tiloissa, jotka ovat muita ympäröiviä tiloja palo- tai räjähdysvaarallisempi. (Särkijärvi & Hosia 1997, 2.)

3.4 Rakennuksen paloluokka

Rakennuksien paloluokat jaetaan kolmeen eri luokkaan. Rakennuksen paloluokat ovat P1, P2 ja P3. Paloluokat määräytyvät pääsääntöisesti rakennuksen korkeuden sekä kerrosluvun perusteella. (Särkijärvi & Hosia 1997, 3.)

P1-luokan rakennukselle ei ole kerrosluku- tai korkeusrajoituksia. P1-luokan rakennukseen voidaan sijoittaa paloturvallisuusluokkiin 1 tai 2 kuuluvia toimintoja. Kaksikerroksisen rakennuksen tulee aina täyttää P1-paloluokan vaatimukset, mikäli siinä harjoitettava toiminta kuuluu paloturvallisuusluokkaan 2 tai rakennuksessa työskentelee vakituisesti yli 50 henkilöä. Kaksikerroksista rakennusta korkeamman rakennuksen tulee täyttää aina P1-paloluokan vaatimukset. (Särkijärvi & Hosia 1997, 3.)

P2-paloluokan rakennus voi olla yksi- tai kaksikerroksinen. Kaksikerroksinen rakennus saa olla enintään 9 metriä korkea, mutta kuitenkin yksikerroksinen rakennus saa olla korkeampi kuin 9 metriä. Yksikerroksiseen rakennukseen tulee sijoittaa paloturvallisuusluokkaan 1 ja 2 kuuluvia toimintoja. Kaksikerroksiseen rakennukseen tulee sijoittaa paloturvallisuusluokkaan 1 kuuluvia toimintoja, mikäli rakennuksessa vakituisesti työskentelevien määrä ei ylitä 50 henkilöä. (Särkijärvi & Hosia 1997, 3.)

P3-paloluokan rakennus saa olla yksikerroksinen ja enintään 14 metriä korkea. P3-paloluokan rakennus tulee kysymykseen lähinnä paloturvallisuusluokassa 1. Mikäli rakennuksessa harjoitettava toiminta on paloturvallisuusluokkaan 2 kuuluvaa tällöin rakennuksen suojaustaso on 3. (Särkijärvi & Hosia 1997, 3.)

TAULUKKO 1. Rakennuksen kokoa koskevat rajoitukset (Jantunen 2011, 11.)

RAKENNUKSEN KOKOA KOSKEVAT RAJOITUKSET			
Rakennuksen ominaisuus	Rakennuksen paloluokka		
KERROSLUKU	P1	P2	P3
-yleensä	ei rajoitusta	enintään 2	enintään 2
-asuinrakennus, työpaikkarakennus	ei rajoitusta	enintään 8	enintään 2
-tuotanto- tai varastorakennus, autosuoja	ei rajoitusta	enintään 2	enintään 1
KORKEUS			
-yleensä	ei rajoitusta	enintään 9 m	enintään 9 m
-asuinrakennus, työpaikkarakennus 3–4 krs.	ei rajoitusta	enintään 14 m	ei sallittu
-asuinrakennus, työpaikkarakennus 5–8 krs.	ei rajoitusta	enintään 26 m	ei sallittu
-yksikerroksinen tuotanto- tai varastorakennus	ei rajoitusta	ei rajoitusta	enintään 14 m
KERROSALA			
Kerrosala yleensä			
-yksikerroksinen	ei rajoitusta	ei rajoitusta	enintään 2400 m ²
-kaksikerroksinen	ei rajoitusta	ei rajoitusta	enintään 1600 m ²
-yli kaksikerroksinen	ei rajoitusta	enintään 12 000 m ²	ei sallittu
Kerrosala tuotanto- ja varastorakennuksissa sekä autosuojissa			
-yksikerroksinen	ei rajoitusta	ei rajoitusta	ei rajoitusta
-kaksikerroksinen	ei rajoitusta	ei rajoitusta	ei sallittu
HUOM. Rakennuksen korkeus on julkisivupinnan ja vesikaton leikkausviivan korkeus maan pinnasta. Tarvittaessa lasketaan rakennuksen nurkkapisteiden korkeuksien keskiarvo			

3.5 Palo-osastointi

Rakennus on jaettava palo-osastoihin palon ja savun leviämisen rajoittamiseksi, jos sen koko, kerros luku tai rakennuksen käyttötarkoitus sitä edellyttää. Rakennuksen palo-osastointi tehdään myös poistumisen turvaamiseksi sekä pelastus- ja sammutustoimien helpottamiseksi. (Jantunen 2017, 9.)

P1- ja P2-paloluokan rakennuksen eri kerrokset on jaettava eri palo-osastoihin. Kellarikerrokset, asuin-kerrokset sekä ullakko ja P3-paloluokan useampaa kuin yhtä asuinhuoneistoa palvelevat kellarikerrokset täytyy muodostaa palo-osastoiksi. Tätä kutsutaan kerrososastoinniksi. Yhteen palo-osastoon voi kuulua useampia kerroksia, pois lukien majoitus- sekä potilashuoneistoja sisältävät osastot. (Jantunen 2017, 9.)

Palo-osastointiin liittyy seuraavat rajoitukset:

- 1) Yli 28 metriä korkeassa rakennuksessa samaan palo-osastoon saa enintään kuulua kaksi kerrosta. Lisäksi palo-osaston koko ei saa ylittää 2400 m².
- 2) Yli 56 metrin korkeudella palo-osastointi täytyy rajoittaa yhteen kerrokseen. Tämä rajoitus ei koske asuinhuoneistoja sekä porrashuonetta, joissa sallitaan kahden kerroksen palo-osastointi. Tällöin kahden kerroksen palo-osastoinnissa täytyy järjestää ulos pääsy kummastakin kerroksesta. (Jantunen 2017, 9.)

Rakennuksen palo-osaston koko on rajoitettava siten, ettei osastolla syttyvä tulipalo aiheuta kohtuuttoman suuria vahinkoja omaisuudelle. Rakennuksessa käyttötarkoitukseltaan tai palokuormaltaan eroavat tilat on jaettava eri palo-osastoihin. Kokoontumistilat, liiketilat, työpaikkatilat, majoitustilat sekä hoitolaitosten muut kuin yöpymistilat voivat olla samaa palo-osastoa. Tällöin tulee varmistaa, että palo-osastointi ei vaaranna henkilöturvallisuutta ja kaikki samaan osastoon kuuluvien tilojen palotekniset vaatimukset täyttyvät. (Jantunen 2017, 9.)

TAULUKKO 2. Käyttötarkoituksen mukainen palo-osaston enimmäisala (neliometriä) ja palo-osastojen jako osiin (Jantunen 2017, 9–10.)

Käyttötarkoitus	Rakennuksen paloluokka ja kerroslukumäärä			
	P1	P2 yli 2 krs. 1)	P2 1–2 krs.	P3
KERROKSET				
Asuinrakennukset	huoneistoittain	huoneistoit- tain	huoneistoittain	huoneistoittain
Majoitustilat ja hoitolai- tokset				
-yöpymistilat	800 ² (1200 ^{2*})	800 ²	800 ² (1200 ^{2*})	400 ² (600 ^{2*})
-muut tilat	1600(3200 [*])	1200	1600(2400 [*])	400(1200 [*])
Kokoontumis- ja liiketilat sekä työpaikkatilat				
-1-kerroksinen	2400(24000 [*])	ei mahd.	2400(9600 [*])	400(1200 [*])
-2-kerroksinen	2400(12000 [*])	ei mahd.	2400(4800 [*])	400(600 [*])
-yli 2-kerroksinen, työpaik- katilat	2400(9600 [*])	2400	ei mahd.	ei mahd.
-yli 2-kerroksinen, myymä- lätilat	2400(4800 [*])	300	ei mahd.	ei mahd.
-yli 2-kerroksinen, muut tilat	2400(4800 [*])	1200	ei mahd.	ei mahd.
Tuotanto- ja varastotilat, palovaarallisuusluokka 1				
-1-kerroksinen, yleensä	6000 ⁵⁾ (60000 [*])	ei mahd.	4000 ⁵⁾ (36000 [*])	2000(12000 [*])
-lämmöneristämätön raken- nus	12000(60000 [*])	ei mahd.	12000(36000 [*])	12000
-kasvihuone	24000 ⁵⁾	ei mahd.	24000 ⁵⁾	24000 ⁵⁾
-2-kerroksinen	4000 ⁵⁾ (24000 [*])	ei mahd.	2000 ⁵⁾ (12000 [*])	ei sallittu
-yli 2-kerroksinen	3000(9000 [*])	ei sallittu	ei mahd.	ei mahd.
Tuotanto- ja varastotilat, palovaarallisuusluokka 2				
-1-kerroksinen	2000 ⁵⁾ (12000 [*])	ei mahd.	1000 ⁵⁾ (6000 [*])	2000 [*]
-yli 1-kerroksinen	1000(6000 [*])	ei sallittu	ei sallittu	ei sallittu
Autosuoja				
-maan päällä rakennuksen osana	3000 ³⁾⁵⁾ (24000 [*])	ei mahd.	3000(24000 [*])	400(3000 [*])
-maan päällä erillinen auto- suoja	3000 ³⁾⁴⁾⁵⁾ (24000 [*])	ei mahd.	3000 ³⁾ (24000 [*])	1000(6000 [*])
-maan alla	1500 ⁵⁾ (10000 [*])	ei mahd.	1500 ⁵⁾ (10000 [*])	ei sallittu
ULLAKOT	1600	1600	1600	alapuolisten osas- tojen mukaan
KELLARIKERROKSET	800(2400 [*])	800(2400 [*])	800(2400 [*])	400(1200 [*])

Ullakot ja yläpohjan ontelot jaetaan 400 m² osiin. Alapohjan ontelot jaetaan 400 m² osiin, jos tilan pinnat eivät vähäisiä osia lukuun ottamatta täytä D-s2, d2-luokan vaatimuksia. ¹⁾ Rakennus on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla, lukuun ottamatta 2–4 kerroksista asuinrakennusta, jonka kaikki kerrokset kuuluvat asunnoittain samaan asuinhuoneistoon ja jonka korkeus on enintään 14 metriä. ²⁾ Palo-osasto on jaettava majoitushuoneittain osiin. ³⁾ Avoimen autosuojaosaston pinta-ala voi olla 50 prosenttia suurempi. ⁴⁾ Enintään viisikerroksisessa avoimessa autosuojassa voidaan enimmäisalaa käyttää kerrosten pinta-aloina, vaikka eri kerrosten väliset ajotiet yhtyvät. Tämä edellyttää kuitenkin, että välipohjien luokka on vähintään REI 60. ⁵⁾ Palo-osaston pinta-ala voi kasvattaa enintään 50 prosentilla, jos tila varustetaan hätäkeskukseen kytketyllä paloilmotimella ja tehokas sammutustyö voidaan aloittaa riittävän aikaisessa vaiheessa. ^{*} Kun rakennus tai tila on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla.

3.6 Rakennustarvikkeiden paloluokitus

Rakennustarvikkeet jaetaan seitsemään eri luokkaan. Luokkien merkinnät ovat A1, A2, B, C, D, E ja F. A1-luokan tarvikkeet eivät vaikuta palamiseen ja F-luokan tarvikkeet eivät täytä E-luokan vaatimuksia tai niiden palo-ominaisuuksia ei tunneta. Pääluokkien A1-F ja A2-D lisäksi käytetään lisämääreitä s1, s2 ja s3, jotka liittyvät rakennustarvikkeiden savunmuodostusominaisuuksia. Lisämääreitä ovat myös d0, d1 ja d2, jotka koskevat rakennustarvikkeista muodostuviin palaviin pisaroihin. E-luokassa käytetään myös tarvittaessa palavien pisaroiden muodostumista koskevaa lisämäärettä d2. Kaikki luokkamerkinnät ja lisämääreet mukaan ottaen saadaan yhteensä 40 euroluokkamerkintää. Suomessa on käytössä viisi eri yhdistelmää, jotka ovat: A1; A2-s1, d0; B-s1, d0; C-s2, d1 ja D-s2, d2. Palamattomaksi rakennustarvikkeeksi testattu on luokkamerkinnältään A1 tai A2-s1, d0. (Weckman 2001, 1–2.)

Taulukossa 3 on esitetty rakennustarvikkeita ja mihin pääluokkaan ne sijoittuvat.

TAULUKKO 3. Esimerkkejä eri paloluokkien materiaaleista (Weckman 2001, 2.)

Luokka	Materiaali
A1	Luonnonkivi, betoni, tiilet, keraamiset tuotteet, lasituotteet, teräs- ja monet muut metallituotteet jne.
A2	Samankaltaisia tuotteita kuin, A1:ssä, mutta ne voivat sisältää pieniä määriä orgaanisia aineita, esimerkiksi kipsilevyjä ohuella kartonkipinnoitteella.
B	Eri tavoin pinnoitettuja kipsilevyjä.
C	Fenolivaaho ja B-luokan tuotteita paksummilla palavilla pinnoitteilla.
D	Puutuotteet, joiden paksuus on vähintään noin 5 mm ja tiheys yli 400 kg/m ³
E	Huokoinen puukuitulevy, muovipohjaisia eristeitä jne.
F	Tuotteet, jotka eivät täytä E-luokan vaatimuksia tai joita ei ole testattu.

Luokitusjärjestelmän lähtökohtana on huonepalo, missä palo syttyyään leviää ja johtaa lopulta leimahdukseen. Standardissa palotilanne, jota kutsutaan viitepalotilanteeksi, jaetaan kolmeen vaiheeseen, jotka ovat:

1. Rajoitettu osa rakennusmateriaalista syttyy pienen liekin vaikutuksesta.
2. Palo leviää ja kasvaa, mikä lopulta johtaa huonetilan leimahdukseen. Tätä tilannetta simuloidaan siten, että altistetaan seinäpinnat nurkkaan sijoitetun yksittäisen palavan kohteen aiheuttamalle lämpösäteilylle sekä liekeille.
3. Leimahduksen jälkeen kaikki palavat rakennusmateriaalit osallistuvat palamiseen.

Palotilanteen ja euroluokkien välinen yhteys on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Viitepalotilanteen ja euroluokkien välinen yhteys. (Weckman 2001, 2.)

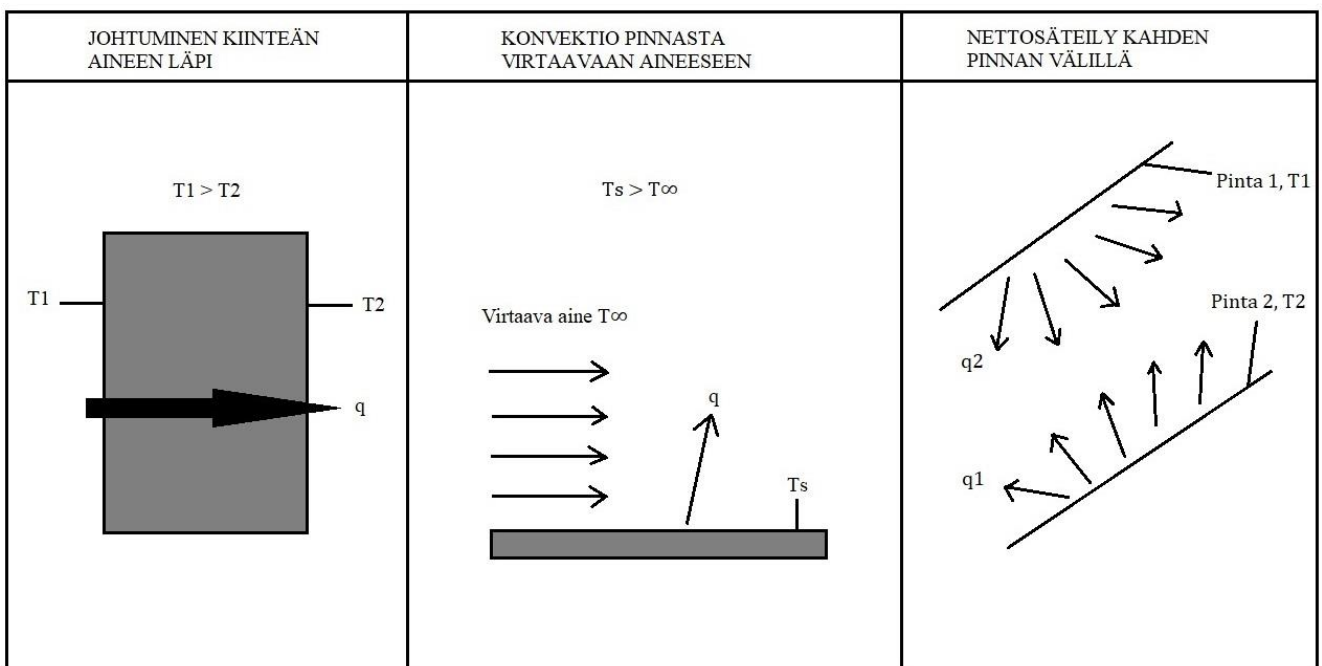
Luokka	Kuvaus
F	Tuotteet, joiden palotekninen käyttäytyminen ei ole määritelty tai, jotka eivät täytä luokkien A1, A2, B, C, D tai E vaatimuksia.
E	Tuotteet, jotka lyhyen ajan kestävät pienen liekin aiheuttaman rasituksen ilman, että palo olennaisesti leviää
D	Tuotteet, jotka täyttävät luokan E vaatimukset ja jotka myös kestävät pienen liekin rasituksen kauemmin ilman, että palo olennaisesti leviää. Lisäksi altistettaessa tuotteet yksittäiselle palavalle kohteelle, niistä vapautuu lämpöä hitaasti ja rajoitetusti.
C	Kuten luokka D, mutta ankarammin vaatimuksin. Lisäksi altistettaessa tuotteet yksittäiselle palavalle kohteelle, palaminen pinnassa saa levitä vain rajoitetusti.
B	Kuten luokka C, mutta ankarammin vaatimuksin.
A2	Tuotteet, jotka täyttävät samat vaatimukset kuin luokan B tuotteet standardin EN 13823 mukaisessa yksittäisen palavan esineen testissä. Lisäksi altistettaessa tuotteet täysin kehittyneelle palolle, ne eivät saa olennaisesti lisätä palokuormaa tai palon leviämistä.
A1	Luokan A1 tuotteet eivät osallistu palamiseen missään palon vaiheessa, mukaan lukien täysin kehittynyt palo. Sen vuoksi näiden tuotteiden oletetaan automaattisesti täyttävän kaikkien alempien luokkien vaatimukset
Lisäluokka	Kuvaus
s3	Savuntuotolle ei ole asetettu rajoituksia.
s2	Kokonaissavuntuotto samoin kuin savuntuoton kasvunopeus rajoitettu.
s1	Täyttää ankarammat vaatimukset kuin s2.
d2	Ei rajoituksia palavien pisaroiden tai osien muodostumisen suhteen.
d1	Palavat pisarat tai osat eivät saa palaa tiettyä aikaa kauemmin.
d0	Palavia pisaroita tai osia ei saa esiintyä.

3.7 Lämmönsiirtyminen

Lämmön siirtyminen tapahtuu spontaanisti aina korkeammasta lämpötilasta matalampaan eli tähän pätee termodynamiikan toinen pääsääntö, jonka mukaan lämpötilaerot pyrkivät tasoittumaan.

Lämpö siirtyy kolmella eri tavalla.

- Kulkeutuminen (Konvektio)
- Johtuminen
- Säteily



KUVIO 1. Lämmönsiirtyminen (mukaillen Vinha 2010, 1)

3.7.1 Johtuminen

Kun metalli- tai puukappaleen toista päätä lämmitetään eli siihen tuodaan lämpöenergiaa, kappaleessa olevien molekyylien liike-energia lisääntyy ja lämpötila nousee. Tämän seurauksena syntyy lämpötilaero, joka pyrkii tasoittumaan. Lämpöenergia siirtyy kappaletta pitkin johtumalla. Metallissa lämmön siirtyminen tapahtuu nopeammin kuin puussa. Lämmönsiirtyminen johtumalla tapahtuu, kun vierekkäin olevat molekyylit vaihtavat energiaa (eristeet, esim. puu) tai elektronit pääsevät liikkumaan (metallit). Tällöin kyse on elektronien mukana kulkevasta energiasta. Elektronien liike on paljon tehokkaampi tapa siirtää energiaa kuin atomien värähtelyjen avulla tapahtuva. Tästä syystä metallit johtavat lämpöenergiaa paremmin kuin puu. (Hautala & Peltonen 2001, 165–166.)

Lämpövirta saadaan laskettua kaavasta:

$$\Phi = \frac{Q}{t} = \lambda \frac{A\Delta T}{d} \quad (1)$$

missä A on pinta-ala, d on ainekerroksen paksuus, ΔT on lämpötilaero ($T_1 - T_2$) ja λ on aineen lämmönjohtavuus (W/mK).

TAULUKKO 5. Aineiden lämmönjohtavuuksia. (Haarto & Karhunen, 11; Gvk 2018a, 1; Gvk 2018b, 1; Gvk 2018c, 1; Lähdesmäki, 16, 25; Motiva, 21.)

Aine	λ (W/mK)
Kupari	360
Ikkunalasi	0,8
Vesi	0,59
Havupuu	0,14
GeveTherm Safe	0,087
Kalsiumsilikaatti	0,063
GeveTherm Energy	0,037
GeveTherm Dry	0,037
Mineraalivillat	0,033–0,039
Perliittirae-eriste	0,03–0,06
Polyuretaani	0,03
Ilma	0,026

3.7.2 Konvektio

Konvektio on lämmön siirtymistä virtauksen mukana nesteessä ja kaasuissa. Konvektio sisältää myös aina lämmönjohtumista. Konvektio jaetaan kahteen eri tyyppiin, vapaaseen ja pakotettuun. Sähköinen lämmityspatterin on esimerkki vapaasta konvektiosta, jossa kylmä ilma nousee patterin läpi lämmitessään vapaan konvektion avulla, koska ilman tiheys pienenee sen lämmitessä. Jos lämmitysjärjestelmään lisätään ulkoista energiaa fluidin virtaukseen, on kyseessä pakotettu konvektio. Esimerkiksi koneellisessa

ilmanvaihdossa on puhallin ja vesikeskuslämmitysjärjestelmissä pumppu tehostamassa lämpöä siirtävän fluidin liikettä ja samalla lämmönsiirtoa. (Hautala & Peltonen 2001, 173.)

3.7.3 Säteily

Kaikki kappaleet, jotka ovat absoluuttisen nollapisteen (0K) yläpuolella, lähettävät eli emittoivat sähkömagneettista säteilyä. Sähkömagneettinen säteily kuljettaa mukanaan energiaa. Jos tämä energia imeytyy eli absorboituu toiseen kappaleeseen, siirtyy kappaleeseen lämpöenergiaa. Säteily etenee valon nopeudella ja se koostuu energiapaketeista, joita sanotaan kvanteiksi sekä fotoneiksi. (Hautala & Peltonen 2001, 174.)

3.8 Lämmöneristys

Lämmön eristäminen vähentää kiinteistössä sekä kohteessa ympäristöön siirtyvää lämpöhäviötä, jolloin lämpötilan ylläpitämiseen tarvittava ulkoisen energian määrä vähenee. Kylmiä kohteita lämpöeristettäessä halutaan vähentää kohteeseen sitä lämpimämmästä ympäristöstä tulevaa lämpöenergiaa. Eristämisellä saavutetaan säästöä energiakustannuksissa ja parannetaan työturvallisuutta useissa kuumissa pinnoissa kuten venttiileissä ja putkistoissa. Huono eristäminen lisää kohteen termisiä jännityksiä, kulumista ja korroosiota, mikä johtaa venttiilien, putkistojen sekä muiden laitteiden nopeampaan kulumiseen. Puutteelliset ja täysin eristämättömät kohteet ovat turvallisuusriski. (Motiva 2016, 3.)

Opinnäytetyössä tutkittava eristemaali GeveTherm Energy on kehitetty sekä kylmän että lämpimän kohteen eristämiseen teollisuudessa. Eristemaali on varteenotettava vaihtoehto varsinkin ahtaissa kohteissa, missä perinteinen eristäminen koteloineen on vaikeaa.

3.8.1 Lämmöneristysmateriaaleja

Eristemateriaalin valinnalla on merkitystä. Matalissa lämpötiloissa eristeen tiheys vaikuttaa enemmän eristeen lämmönjohtavuuteen kuin eristemateriaali. Tähän on syynä se, että eristemateriaalit ovat yleensä hyvin huokoisia materiaaleja, jonka perustana on kiinteä matriisi sisältäen tavallisesti noin 90 % ilmaa. Lämmön siirtyminen eristeiden läpi tapahtuu pääasiassa lämpöjohtumisena ilman ja kiinteän matriisin kautta sekä lämpösäteilyn avulla. Eristeen lämmönjohtavuuteen vaikuttaa kosteus, lämpötila, eristeen ikä ja eristemateriaali. Jäljempänä on lueteltu eri eristemateriaaleja. (Motiva 2016, 14.)

Kuitupitoiset eristemateriaalit koostuvat pienistä kuiduista, jotka ovat joko orgaanisia tai epäorgaanisia aineita. Kuidut jakavat ilmatilan pieniin osiin. Kuitupitoisissa eristeissä käytetään yleensä sideaineita, jotka tavallisesti haihtuvat 250 °C:n lämpötilassa. Korkeisiin lämpötiloihin on tästä syystä valittava riittävän tiheitä eristeitä, jotta ne eivät painu kasaan sideaineen haihtuessa. Eristemateriaalien tuotekehityksessä ei ole viimeisen kolmenkymmenen vuoden aikana tapahtunut suuria muutoksia. Kuitumaisissa eristeissä kuitujen pituutta ja suuntausta on muutettu vastaamaan paremmin käyttökohdetta ja eristeiden tiheyttä kasvatettu. Suurimmat muutokset ovat tapahtuneet terveystaajuuksissa, sillä eristeiltä edellytetään biohajoavuutta, jotta ne eivät aiheuttaisi elimistöön joutuessaan terveyshaittoja. Kuitupitoisia eristemateriaaleja on mm. mineraalivilla, kivivilla, lasivilla, lasikuitu, kalsium-magnesium-silikaatti, kalsiumsilikaatti ja keraamiset eristeet. (Motiva 2016, 16–17.)

Solumaiset eristemateriaalit ovat muovipohjaisia eristeitä, joilla on solumainen rakenne. Solut voivat olla avoimia tai suljettuja. Lämmöneristeenä käytetään pääsääntöisesti jäykkiä solumuoveja, joiden avoimien sekä suljettujen solujen määrien suhde tiedetään. Solumaisia eristemateriaaleja valmistetaan mm. polystyreeni-, polyuretaani-, polyvinyylikloridi- ja polyeteenisolumuoveista. Suomessa yleisimmät käytössä olevat solumaiset eristemateriaalit ovat valmistettu polystyreenistä ja polyuretaanista. (Lähdesmäki 2013, 20.)

Eristemaalien eristeominaisuudet perustuvat erittäin pieniin keraamisiin partikkeleihin, jotka muodostavat sisäänsä tyhjiön. Keraamipartikkeleita on yhdistetty polymeerimatriisiin. Mitä suurempi osuus maalista on keraamipartikkeleita, sitä kevyempiä maalit ovat. (Motiva 2016, 20–21.)

Eristemaalien lämmönjohtavuudet vaihtelevat 20 °C:n lämpötilassa 0,0012 W/mK:n ja 0,062 W/mK:n välillä. Eristemaalikerroksen 1 mm voi vastata jopa 50 mm:n paksuista villaeristystä. Tästä syystä eristemaalit sopivat hyvin vaikeasti eristettäviin kohteisiin ja kohteisiin, joissa on rajallisesti tilaa eristeelle. Tarvittavan maalieristeen paksuus vaihtelee 0,5–7,0 mm välillä, riippuen eristettävän aineen lämpötilasta. (Motiva 2016, 20–21.)

Eristemaalit ja -pinnoitteet asennetaan ruiskuttamalla tai pensselillä. Jotkut maalit voidaan pinnoittaa prosessin ollessa käynnissä, jolloin eristettävä pinta on lämmin, mikä nopeuttaa maalin kuivumista ja on kustannustehokkaampaa, koska prosessia ei tarvitse pysäyttää pinnoittamisen ajaksi. (Motiva 2016, 20–21.)

Eristemaaleja käytetään sekä kylmä- että lämpöeristykseen, mutta useimmiten niitä käytetään ympäristöään lämpimämmän kohteen lämpöeristämiseen. Maksimilämpötilat maaleille vaihtelevat 177–370 °C:n lämpötilan välillä. Niitä voidaan kumminkin käyttää kuumemmissa lämpötiloissa, mutta niiden lämmöneristävyys heikkenee, koska eristepinnoitteen polymeerimatriisi rikkoutuu. Keraamipartikkelit kuitenkin kestävät yli 370 °C:n lämpötiloja. Korkeammissa lämpötiloissa eristemaaleja on mahdollista käyttää myös yhdessä muiden eristeiden kanssa, esimerkiksi villaeristeet voidaan pinnoittaa eristemaalilla molemmiin puolin, jolloin pinnoite vähentää konvektiivista lämmönsiirtoa eristeen läpi ja pienentää vaadittua villaeristyspaksuutta. Jotkut eristemaalit kestävät -60 °C:n lämpötiloja. Eristemaalikerroksen käyttöikä normaaleissa olosuhteissa (-60 °C - +200 °C) on vähintään 15 vuotta. Maalien teho perustuu myös osaksi lämpösäteilyn heijastamiseen, joten ne toimivat päinvastoin kuin esimerkiksi lämpöä absorboivat aurinkokennomateriaalit. Säteilyä heijastavia pinnoitteita käytetään mm. lämpimissä maissa kylmäeristämiseen. Eristemaalit kestävät myös ultraviolettisäteilyä säteilyn heijastamisominaisuuden ansiosta. Putkistoissa eristemaali helpottaa vuotojen havaitsemista verrattuna koteloituihin eristeisiin. Kastuminen ei myöskään heikennä maali-eristeen eristävyttä, mutta joidenkin valmistajien eristemaalit tulee suojata kosteudelta suojaavalla pinnoitteella, joka on usein polyuretaanipohjainen. (Motiva 2016, 20–21.)

Eristemaalien vähäinen kysyntä johtuu toistaiseksi tunnettavuuden puutteesta sekä konservatiivisista eristysstandardeista. EU:n alueella eristemaalien heikkous on myös CE-merkinnän puuttuminen. Yhdysvalloissa ja Baltian maissa eristemateriaalit ovat kuitenkin sertifioituja. Eristemaaleilla on ollut eniten kysyntää energiasektorilla, erityisesti kaukolämpökohteissa sekä petrokemian alalla. Suurin kehitys maali-eristeissä on tapahtunut niiden maksimilämpötiloissa ja niiden kehitys jatkuu edelleen, ja tavoitteena on nostaa maksimilämpötila 500 °C:n lämpötilaan. (Motiva 2016, 20–21.)

Perliitti on piipohjainen mineraali, jota esiintyy luonnossa. Luonnon perliittikivestä valmistetaan paisuttamalla perliittiraetta. 1100 °C:n lämpötilassa perliitti laajenee 20-kertaiseksi alkuperäisestä koostaan ja siitä muodostuu valkoinen steriili hiukkanen. Perliittirae on kevyt ja se pitää hyvin muotonsa. Perliittirae puhalletaan eristettävään kohteeseen, jossa se muotoutuu myös epäsäännöllisen muotoisiin kohtiin. Puhallettavalla perliittirakeella voidaan myös täyttää pienet raot, joihin ei muita eristeitä mahdu. Perliittirae-eristeen tiheys on noin 130 kg/m³ ja lämmönjohtavuus vaihtelee 0,03–0,06 W/mK:n välillä. (Motiva 2016, 21.)

3.8.2 Lämmöneristyksen termit

Lämmöneristävydestä löytyy erilaisia termejä, joilla pystytään tarkastelemaan ja laskemaan lämmöneristävyttä. Jäljempänä on lueteltuna lämmöneristykseen liittyviä termejä.

- Lämmönjohtavuus λ (W/mK)
 - Keskimääräinen lämmönjohtavuus λ_{10} on laboratorio-olosuhteissa saatu arvo.
 - Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo λ_U ottaa huomioon rakenteessa olevat kylmäsillat ja todelliset olosuhteet mm. kosteuden.
- Lämmönläpäisykerroin U (W/m²K)
 - Käytetään myös merkintää k .
 - Puhutaan U -arvosta tai k -arvosta.
- Lämmönvastus R_T (m²K/W)
 - Vanha merkintä m .
 - Huomioitavaa on, että lämmönläpäisykerroin U on Lämmönvastuksen R_T käänteisarvo.
- Pintavastus R_S (m²K/W)
 - Sisäpuolinen pintavastus R_{si}
 - ulkopuolinen pintavastus R_{se}
 (Hirsi 2017, 27.)

3.8.3 Lämmöneristyksen laskenta

Lämmöneristyksen laskelma suoritetaan kerroksittain. Jokainen R -arvo lasketaan erikseen. Rakenteen R -arvo saadaan jakamalla rakenteen paksuus materiaalin lämmönjohtavuudella. Tämän jälkeen lasketaan kaikki R -arvot yhteen, jolloin saadaan arvo R_T (vain tuuletustilan sisäpuoliset rakenteen otetaan huomioon). Rakenteen pinnassa oleva seisova ilmakerros toimii yhtenä rakenneosana, jolloin R_T :hen pitää ottaa mukaan ulko- ja sisäpuolinen seisovan ilmakerroksen lämmönvastus eli R_{se} ja R_{si} . U -arvo on yhteenlasketun R -arvon (R_T) käänteisluku. Saatua U -arvoa verrataan viranomaisen antamaan maksimiarvoon. (Hirsi 2017, 27.)

Lämpövastus saadaan laskettua kaavasta:

$$R_T = R_{se} + R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \quad (2)$$

missä R_T on lämpövastus, R_{se} on ulkopuolinen pintavastus, R_{si} on sisäpuolinen pintavastus, d on rakenteen paksuus ja λ on lämmönjohtavuus.

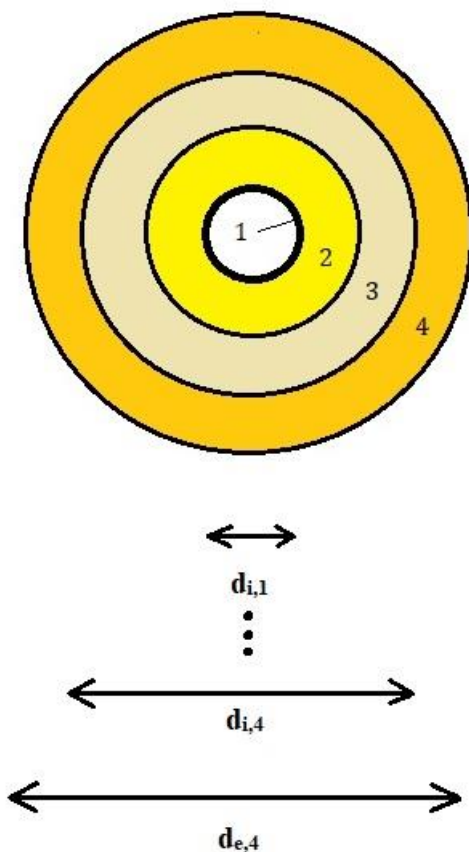
Lämmönläpäisykerroin saadaan laskettua kaavasta:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (3)$$

missä U on lämmönläpäisykerroin ja R_T on lämpövastus.

Tyypillinen eristettävä kohde on putkisto (kuvio 2).

Pyöreä kerroksellinen putki:



KUVIO 2. Kerroksellinen putkieristys (mukaiillen Shemeikka, Laitinen, Klobut, Saari, Kukkonen & Vesanen 2011, 52)

Lämmönläpäisykerroin pituusyksikköä kohti pyöreästä kerroksellisesta putkesta lasketaan standardin EN ISO 12241 mukaisesti kaavalla (4).

$$\frac{1}{U'} = \frac{1}{\alpha_{i,1} + \pi + d_{i,1}} + \frac{1}{2 * \pi} \sum_{j=1}^n \frac{1}{\lambda_j} * \ln \frac{d_{e,j}}{d_{i,j}} + \frac{1}{\alpha_{e,n} * \pi * d_{e,n}} \quad (4)$$

missä U' on putken lämmönläpäisykerroin pituusyksikköä kohti, (W/mK), $\alpha_{i,1}$ on putken sisäpinnan lämmönsiirtokerroin, (W/m²K), $d_{i,1}$ on putken sisähalkaisija, (m), λ_j on putkikerroksen, j, lämmönjohtavuus, (W/mK), $d_{e,j}$ on putkikerroksen j, ulkohalkaisija, (m), $d_{i,j}$ on putkikerroksen, j, sisähalkaisija, (m), $\alpha_{e,n}$ on putken ulkopinnan lämmönsiirtokerroin, (W/m²K) ja $d_{e,n}$ on putken ulkohalkaisija, (m).

Nestemäisillä lämmönsiirtoaineilla (esim. vesikiertoiset lämmönjakoverkostot) putken sisäpuolinen lämmönsiirtokerroin ($\alpha_{i,1}$) on useasti pakotetun konvektion takia suuri ja siten pintavastus ($1/(\alpha_{i,1} * \pi * d_{i,1})$) niin pieni muihin lämmönvastuksiin verrattuna, että se voidaan jättää huomioimatta. Kaasumaisilla aineilla (ilmanvaihtokanavat) sisäpuolinen lämpövastus tulee aina ottaa huomioon laskelmissa. (She-meikka ym. 2011. 52.)

Konvektiokertoimen määrittäminen on vaikeaa, sillä lämmönsiirtymisessä on lähes aina mukana kaikki kolme lämmönsiirtymistapaa, mutta usein vain yksi tai kaksi näistä dominoi ja on tarpeen huomioida. Yleensä kun on pakotettu konvektio kyseessä, on konvektio moninkertainen säteilyyn nähden ja kun on kyseessä vapaa konvektio, ovat nämä usein samaa suuruusluokkaa. (Suokko, 2020.)

4 TESTATTAVAN MAALIN LÄMMÖNERISTYSKYVYN MITTAUKSET

Mittauksen tarkoituksena oli tutkia GeveTherm Energy -lämmöneristysmaalin ja pohjamaalien vaikutusta lämmöneristävyteen olosuhdekaappia hyväksi käyttäen. Koejärjestelyssä päätimme käyttää kolmea pientä alumiinirasiaa. Rasia nro. 1. jätettiin maalaamatta. Rasia nro. 2. maalattiin kolmella eri maalilla: yksi kerros GVK Inox ruosteenestopohjamaalilla, yksi kerros GeveTherm Safe lämmöneristysmaalilla ja kolme kerrosta GeveTherm Energy lämmöneristysmaalilla. Rasia nro. 3. maalattiin kahdella eri maalilla: yksi kerros Gevetherm Safe lämmöneristysmaalilla ja kolme kerrosta Gevetherm Energy lämmöneristysmaalilla. Maalauksesta vastasi Petri Wirkkala ja maalaus suoritettiin maalivalmistajan ohjeiden mukaisesti.



KUVA 1. Maalaamaton rasia ja maalatut rasiat.

4.1 Laitteisto

Koejärjestelyn mittauksissa käytettävät laitteet olivat Agilent 34970A dataloggeri, 34901A 20-kanavainen multiplexeri, k-tyypin termopareja, Arctest ARC/1000-olosuhdekaappi sekä Labview-ohjelmointiympäristössä toteutettu ohjelma.



KUVA 2. Agilent 34970A.



KUVA 3. 34901A Multiplexeri.



KUVA 4. K-typin termopari.



KUVA 5. ARC/1000-olosuhdekaappi.



KUVA 6. Digitaalinen työntömitta.



KUVA 7. Virtausmittari.

4.2 Mittaukset

Mittauksessa käytimme 20 kpl termopareja. Jokaiseen rasiaan käytimme viisi kappaletta termopareja. Rasian sisälle asetimme yhden parin keskelle rasiaa mittaamaan rasian sisälämpötilaa ja kaksi termoparia kahdelle seinämälle, seinämän molemmin puolin. Loput termoparit asetimme eripuolille kaappiin, jotta pystyimme havaitsemaan lämpötilaeroja kaapin sisällä. Testaus aloitettiin massamittauksella, jossa asetimme kaikki termoparit olosuhdekaappiin, jotta pystyimme toteamaan poikkeamat termoparien välillä tai havaitsemaan vialliset termoparit. Olosuhdekaapissa on myös tuuletus, jonka virtauksen mittasimme testin alussa olevan 0,4 m/s, joka voidaan ottaa huomioon tuloksia tarkastellessa. Testiajo toteutettiin aloittamalla +20 °C:n lämpötilasta ja päätettiin +80 °C:n lämpötilaan. Alussa lämpötilaa pidettiin 20 minuutin ajan +20 °C:ssa ja sen jälkeen lämpötilaa lähdettiin nostamaan muutosnopeudella 1 °C / min +80 °C:n lämpötilaan. Kaappia pidettiin +80 °C:ssa 55 minuutin ajan, jolloin koejärjestelyn pituudeksi muodostui 135 minuuttia.



KUVA 8. Massa-ajo.



KUVA 9. Anturit massa-ajossa.

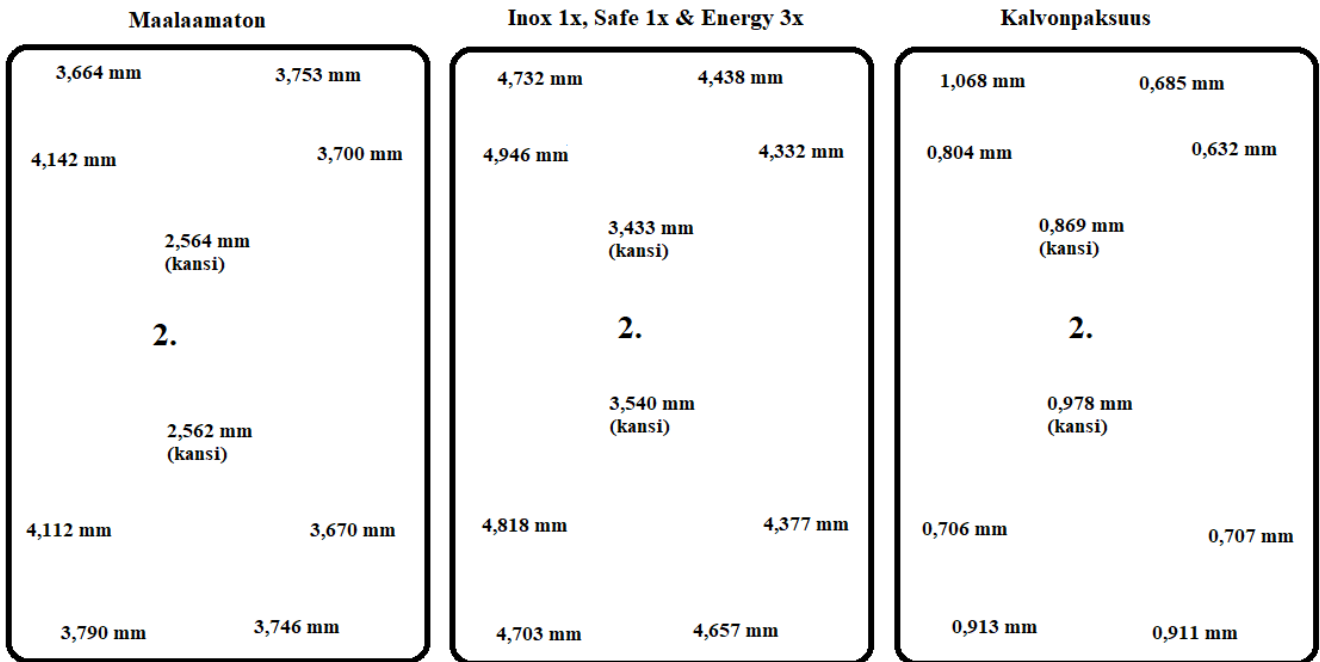
4.3 Alustavat toimenpiteet ennen mittauksia

Mittasimme ennen testiä molempien maalattujen rasioiden kohdalla maalin kalvon paksuuden ja paljonko maalia grammamääräisesti kului neliometriä kohden. Mittasimme digitaalisella työntömitalla ensin maalaamattoman rasian seinämien ja kannen paksuuden ja sen jälkeen mittasimme maalatuista rasioista samoista kohdista paksuudet, joista saimme selvitettyä kalvonpaksuuden eripuolilla rasiaa.

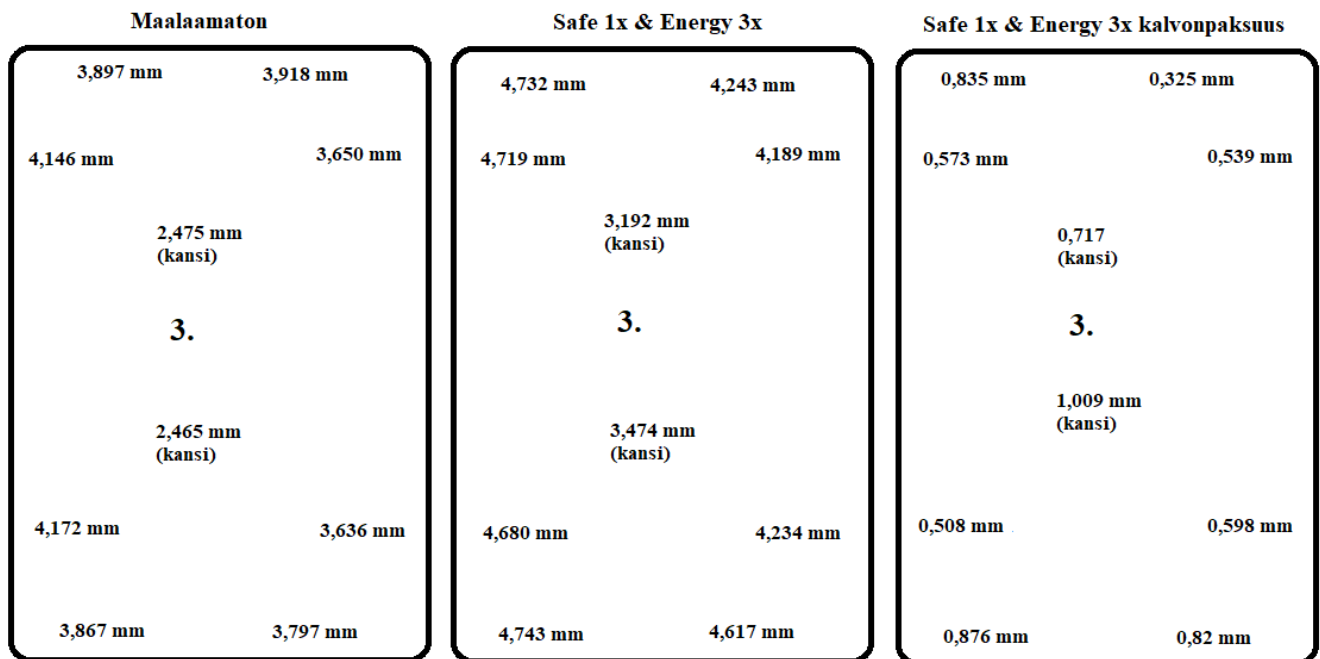
Maalaamaton

3,850 mm	3,721 mm
4,074 mm	3,725 mm
2,564 mm (kansi)	
1.	
2,465 mm (kansi)	
4,102 mm	3,652 mm
3,769 mm	3,881 mm

KUVIO 3. Rasian nro 1. seinämien ja kannen paksuudet.



KUVIO 4. Rasian nro 2. seinämien ja kannen paksuudet sekä maalin kalvonpaksuus.



KUVIO 5. Rasian nro 3. seinämien ja kannen paksuudet sekä maalin kalvonpaksuus.

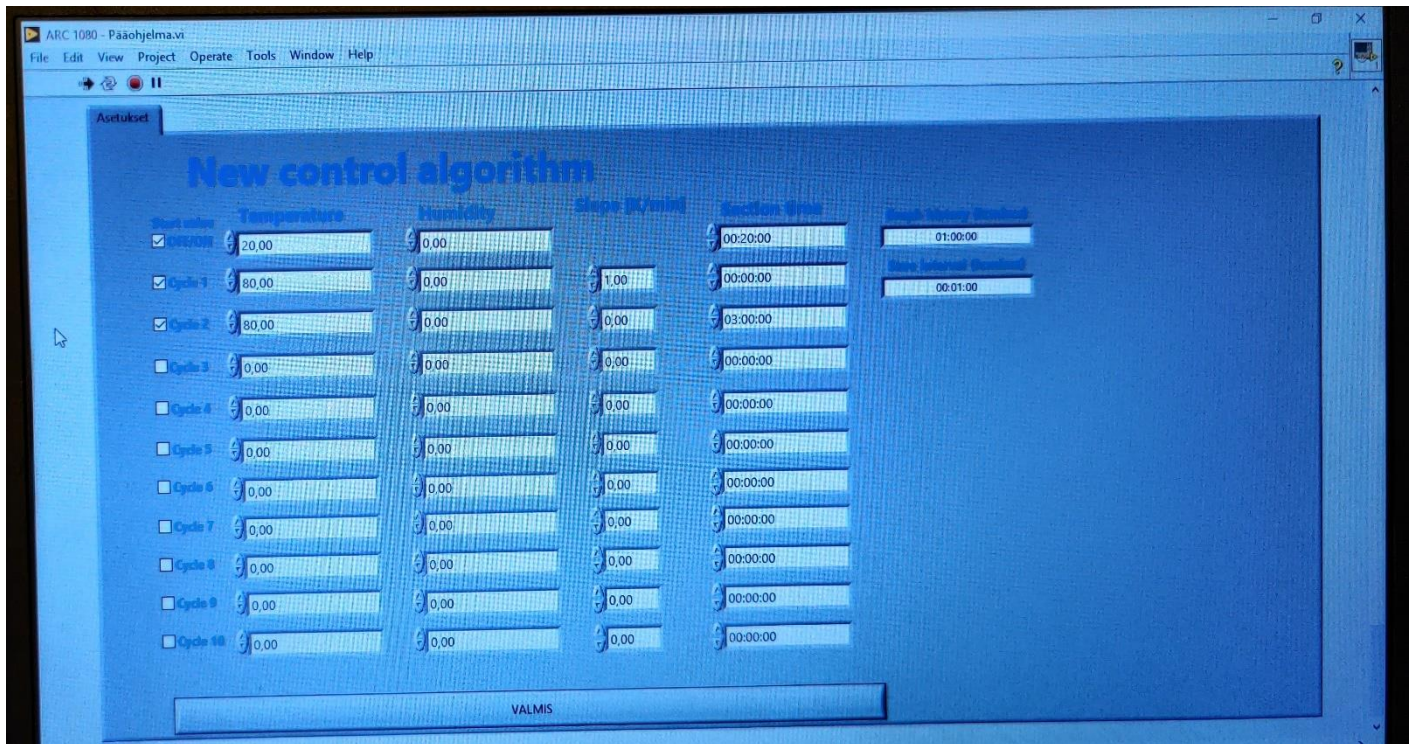
Maalin kalvonpaksuuden (g/m^2) selvitimme punnitsemalla aluksi rasiat ilman maalia ja maalauksen jälkeen ja laskemalla maalattavan kappaleen pinta-alan. Emme saaneet välipunnituksia, joista olisimme saaneet selville eri maalien määrät.

TAULUKKO 6. Rasioiden paino, pinta-ala ja maalin määrä.

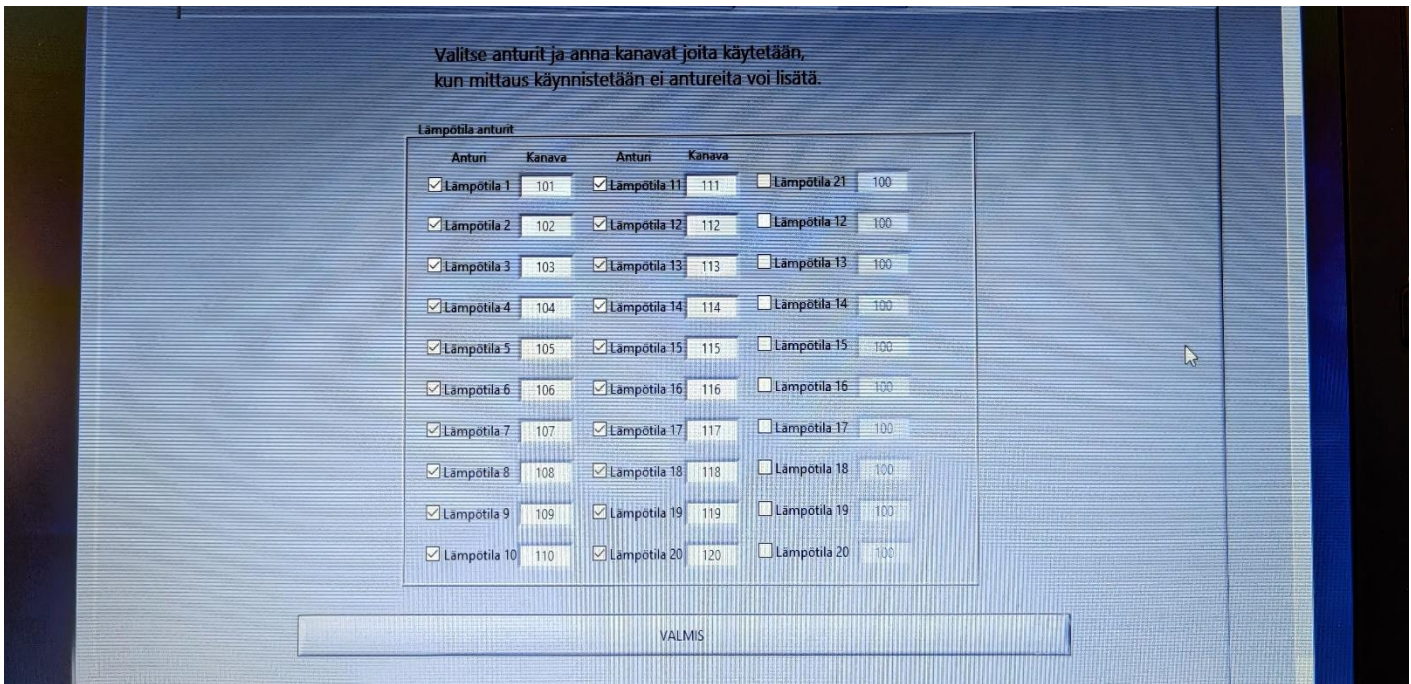
Rasia	Kannen paino/ g	Rungon paino/ g	Maalin paino/ g	Kannen pinta-ala/ m ²	Rungon pinta-ala/ m ²	Kokonais pinta-ala/ m ²	Kokonais maalmäärä g/m ²
1	142,77	231,32	0	0,0232	0,0264	0,0496	0,0000
2	155,56	243,75	25,22	0,0232	0,0264	0,0496	508,038
3	148,59	236,37	10,87	0,0232	0,0264	0,0496	218,968

4.4 Mittauksen kulku

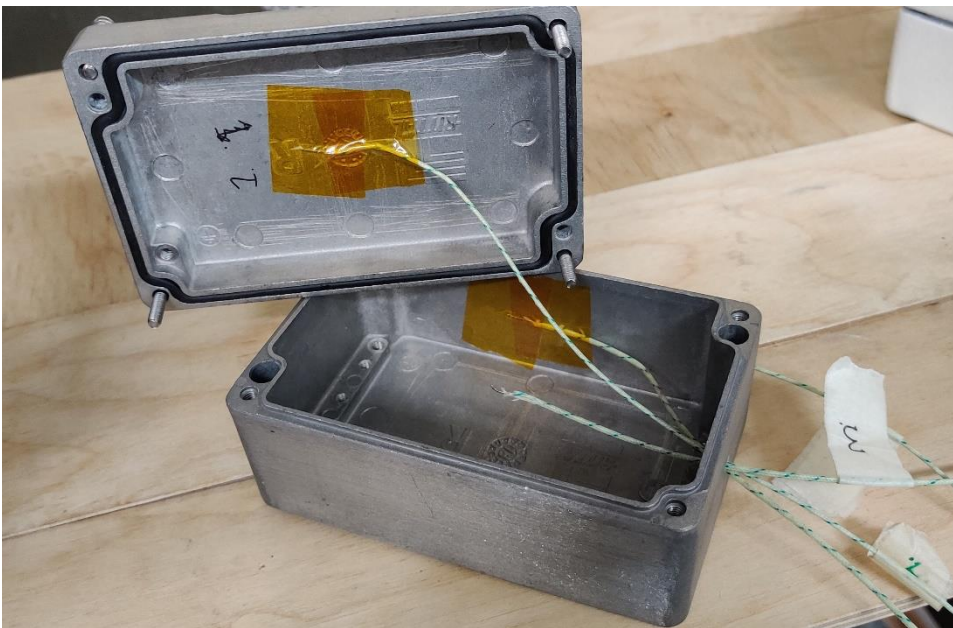
Mittauksen aloitimme asettamalla numeroidut termoparit oikeille paikoilleen rasioihin ja asetimme rasiat ARC/1000-olosuhdekaappiin. Tämän jälkeen asetimme syklit, jotka olosuhdekaappi ajaa läpi. Yhteensä tuli kolme sykliä. Ensimmäisessä syklissä lämpötilaa pidettiin 20 minuutin ajan +20 °C:ssa. Toisessa syklissä lämpötilaa nostettiin +20 °C:n lämpötilasta +80 °C:n lämpötilaan 60 minuutin aikana. Kolmannessa syklissä lämpötilaa pidettiin +80 °C:ssa lämpötilassa 55 minuutin ajan. Vielä ennen mittauksen aloittamista asetimme dataloggerin kanava-asetukset.



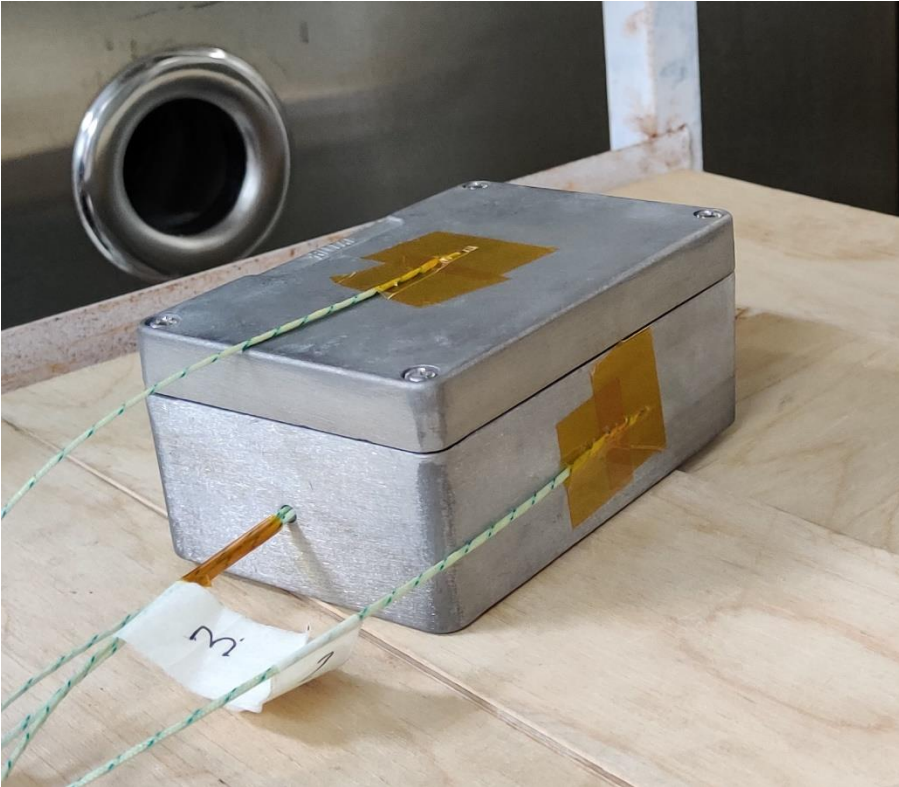
KUVA 10. Syklien asettelu ARC/1000-olosuhdekaappiin.



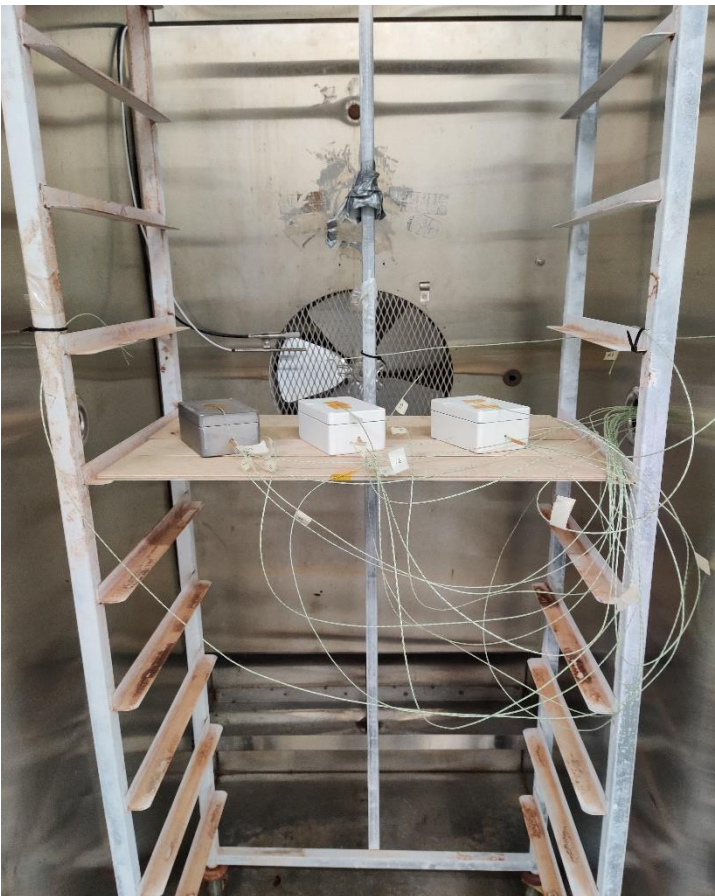
KUVA 11. Dataloggerin kanava-asetukset.



KUVA 12. Termoparien asettelu sisäpuolella.



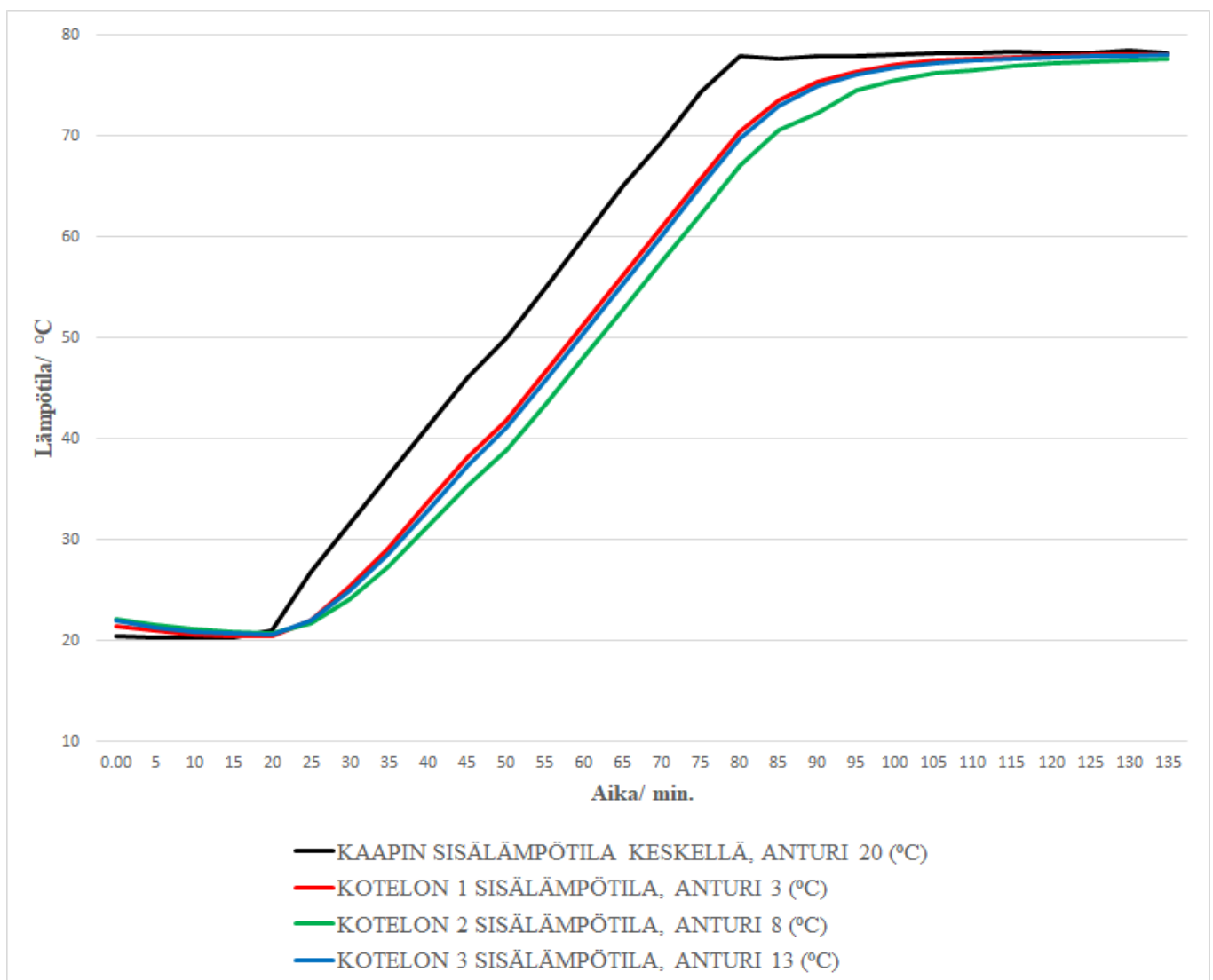
KUVA 13. Termoparien asettelu ulkopuolella.



KUVA 14. Mittauksen koejärjestely.

5 TULOKSET & JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän työn tarkoituksena oli todentaa lämmöneristysmaalin eristävyyttä ARC/1000-olosuhdekaappia hyödyntäen. Kuviosta 6 voimme nähdä varsinkin kotelon 2 kohdalla, että lämmöneristysmaalin ansiosta sisälämpötila pysyy alempana kuin maalaamattoman kotelon 1 sisälämpötila. Mittauksen alussa lämpötilat ovat hieman yli +20 °C:n, koska kaappi oli lämmennyt hieman eivätkä kotelot ehtineet täysin viilentyä ennen testin aloittamista. Tämäkin on tosin positiivinen huomio lämmöneristysmaalilla maalatuille koteloidelle, koska sen ansiosta viilentyminen oli hitaampaa kuin maalamattomalla kotelolla. Eristysmaalin kalvonpaksuus olisi saanut olla myös paksumpi, jotta lämpöeristysmaalattujen rasioiden sisälämpötiloissa olisi tullut selkeämpiä eroja maalaamattomaan rasiaan.



KUVIO 6. Kuvaaja mittaustuloksista.

TAULUKKO 7. Olosuhdekaapin ja koteloiden sisälämpötilat.

MITTAUKSEN KESTO (min.)	KAAPIN SISÄLÄMPÖTILA KESKELLÄ, ANTURI 20 (°C)	KOTELON 1 SISÄLÄMPÖTILA, ANTURI 3 (°C)	KOTELON 2 SISÄLÄMPÖTILA, ANTURI 8 (°C)	KOTELON 3 SISÄLÄMPÖTILA, ANTURI 13 (°C)
0:00	20,38	21,47	22,14	21,90
5	20,33	20,94	21,53	21,26
10	20,32	20,54	21,10	20,88
15	20,26	20,40	20,83	20,64
20	20,95	20,35	20,67	20,51
25	26,74	22,01	21,67	21,91
30	31,58	25,29	24,10	24,89
35	36,37	29,21	27,35	28,63
40	41,14	33,59	31,20	32,88
45	46,07	38,18	35,36	37,33
50	49,99	41,87	38,87	41,07
55	54,95	46,65	43,42	45,81
60	59,96	51,43	48,12	50,60
65	65,11	56,15	52,78	55,38
70	69,48	60,98	57,54	60,20
75	74,30	65,71	62,29	65,01
80	77,90	70,35	67,05	69,78
85	77,58	73,53	70,60	73,00
90	77,83	75,37	72,29	74,91
95	77,94	76,39	74,47	76,06
100	78,07	77,06	75,52	76,76
105	78,16	77,42	76,16	77,18
110	78,18	77,56	76,54	77,41
115	78,28	77,74	76,91	77,61
120	78,22	77,91	77,19	77,75
125	78,17	78,02	77,34	77,85
130	78,38	78,07	77,48	77,95
135	78,17	78,08	77,56	77,97

Kuviossa 6 musta käyrä kuvaa olosuhdekaapin sisälämpötilaa kaapin keskellä, punainen käyrä kuvaa maalamattoman kotelon sisälämpötilaa, vihreä käyrä kuvaa kolmella maalilla pinnoitetun kotelon sisälämpötilaa ja sininen käyrä kuvaa kahdella maalilla pinnoitetun kotelon sisälämpötilaa. Taulukossa 7 on esitelty numeraalisesti olosuhdekaapin ja koteloiden sisälämpötilat 5 minuutin välein koko mittauksen ajalta.

Koejärjestelyn lopuksi teimme aistinvaraisen havainnon myös GeveTherm Safe-eristemaalin ominaisuudesta alentaa kosketuslämpötilaa. Kun testi oli päättynyt ja rasiat olivat olleet +80 °C:n lämpötilassa, maalaamaton rasia oli niin kuuma, ettei sitä voinut käsin koskea polttamatta käsiään, mutta eristemaalattuja rasioita pystyi helposti pitämään käsissään. Mielenkiintoista tässä oli se, että kaikki termoparit kuitenkin näyttivät lähes samaa lämpötilaa koteloiden ulkopinnalle. Tämä on hyvä ominaisuus työturvallisuutta ajatellen. Hiukan avoimeksi kysymykseksi jäi, että vaikuttiko pinnalta tapahtuva konvektio ja/tai olosuhdekaapin ilman lämpötila termoparien lämpötilatulokseen, kun aistinvarainen havainto ei välittänyt lämpötilan mittaukseen asti. Tätä voisi tutkia jatkossa lisää.

Olisi ollut mielenkiintoista myös nähdä ero sisälämpötilojen viilentymisen kohdalla eristemaalatuissa rasioissa verrattuna maalaamattomaan rasiaan ja myös muita testejä eristemaalin kohdalla, kuten suoran liekin vaikutus ja kuumen kohteen lämmöneristyksen vaikutusta ympäristön lämpötilaan, mutta aikaa oli rajallisesti. Tarkoituksena oli myös testata maalia voimalaitosympäristössä, mutta koronatilanteen takia päädyimme tekemään testaukset vain oppilaitoksen omissa tiloissa.

LÄHTEET

- Gvk. 2017. Yritysesittely. Saatavissa: <https://gvk.mycashflow.fi/files/downloads/Yritysesittely%20A4%202017.pdf>. Viitattu 31.8.2020.
- Gvk. 2018a. Tuoteseloste. Saatavissa: https://gvk.mycashflow.fi/files/downloads/TS_Geverterm%20Dry%20TS%20AO.pdf. Viitattu 23.8.2020.
- Gvk. 2018b. Tuoteseloste. Saatavissa: https://gvk.mycashflow.fi/files/downloads/TS_Geverterm%20safe%20TS%20AO.pdf. Viitattu 23.8.2020.
- Gvk. 2018c. Tuoteseloste. Saatavissa: https://gvk.mycashflow.fi/files/downloads/TS_Geverterm%20energy%20TS%20AO.pdf. Viitattu 23.8.2020.
- Haarto, A. & Karhunen, M. Lämpöoppia. Saatavissa: http://fysiikka.turkuamk.fi/fysiikka/Infya/9_Lampo_oppia.pdf. Viitattu 23.8.2020.
- Hautala, M. & Peltonen H. 2001. Insinöörin (AMK) fysiikka osa 1. Jyväskylä: Lahden Teho-Opetus Oy.
- Hirsi, H. 2017. Rakentamisen tekniikat lämmöneristäminen. 28.9.2017. Saatavissa: https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/550353/mod_folder/content/0/2.%20L%C3%A4mm%C3%B6nerist%C3%A4minen.pdf?forcedownload=1. Viitattu 25.8.2020.
- Jantunen, J. 2011. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. 6.4.2011. 3/11. Saatavissa: https://www.finlex.fi/data/normit/37126-E1_2011-fi.pdf. Viitattu 7.7.2020.
- Jantunen, J. 2017. Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. 12.12.2017. 848/2017. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B66288BFB-A697-4FCB-B602-CE0316F2C37B%7D/134002>. Viitattu 24.7.2020.
- Lähdesmäki, K. 2013. RIL 255-2013 Luku 9. 28.06.2013. Saatavissa: https://www.ril.fi/media/luku-9_rakennusmateriaalit_28062013.pdf. Viitattu 27.8.2020.
- Motiva. 2016. Teollisuuden tekninen eristys & energiatehokkuus. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/12253/Teollisuuden_tekninen_eristys_energiatehokkuus.pdf Viitattu 25.8.2020
- Shemeikka, J., Laitinen, A., Klobut, K., Saari, M., Kukkonen, P. & Vesanen, T. 2011. Järjestelmien lämpöhäviöiden laskenta ja hyötysuhteiden määrittäminen. Lämmitysjärjestelmät ja lämmin käyttövesilaskentaopas. Saatavissa: <https://www.ym.fi/download/noname/%7BCA99FFCB-627B-48C8-8EB0-607F36B178A5%7D/30751>. Viitattu 6.9.2020.
- Suokko, A. 2020. Henkilökohtainen tiedonanto, keskustelu 8.8.2020.
- Särkijärvi, J. & Hosia, L. 1997. E2 Tuotanto- ja varastorakennusten paloturvallisuusohjeet 1997. 19.6.1997. Saatavissa: <https://www.ym.fi/download/noname/%7B012E937B-AD36-4CF5-B1F3-C3DF98AA9014%7D/101204>. Viitattu 7.7.2020.

Vinha, J. 2010. Lämpö ja lämmön siirtyminen. Saatavissa: <https://docplayer.fi/3499888-4-lampo-ja-lammon-siirtyminen.html>. Viitattu 23.8.2020.

Weckman, H. Rakennustarvikkeiden uudet eurooppalaiset paloluokitukset. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK030402.pdf>. Viitattu 25.7.2020.