

Ali Mohseni

P1-LUOKAN ASUINKERROSTALOJEN MUOVIERISTEISET ULKOSEINÄRAKEN- TEET

Kandidaatintutkielma
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Toukokuu 2020

TIIVISTELMÄ

Ali Mohseni: P1-luokan asuinkerrostalojen muovieristeiset ulkoseinärakenteet
(P1-class apartment buildings' plastic insulated exterior walls)

Kandidaatintyö

Tampereen yliopisto

Rakennustekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma

Toukokuu 2020

Tämä kandidaatintyö tehtiin A-Insinöörit Suunnittelu Oy:lle ja sen keskeisenä tarkoituksena oli tutkia kuutta erilaista P1-luokkan kuuluvien asuinkerrostalojen rakennetyyppien (ulkoseinä) lämmön- ja palon eristämiskykyä. Rakennetyypeille laskettiin U-arvo sekä käsin että DOF-lämpö nimisellä ohjelmalla. Laskennassa käytettiin eristeiden valmistajien nettisivustolla olevia tietoja, kuten lämmönjohtavuusarvoja. Lisäksi tarkasteltujen rakennetyyppien eristeiden paksuutta muunnettiin vastamaan matalaenergia ulkoseinän U-arvoa (0,9).

Työssä tutkittiin myös rakennetyyppinä muodostavien rakennekerrosten palo-ominaisuuksia (erityisesti palavan osan eli lämmöneristeen), ja tutustuttiin P1-luokan ulkoseiniä koskeviin palomääräyksiin ja rakennetyypeille asetettuihin vaatimuksiin. Palo-osiossa selvitettiin myös P1-luokan asuinkerrostalojen paloteknisen toimivuuden suunnittelussa huomioon otettavia asioita. Lisäksi hyödyntämällä valmistajilta saatavia tietoja, on selvitetty miten kyseen omaisissa rakennetyypeissä käytettäviä lämmöneristeitä (Kingspan Therma TW57, Kingspan Therma TW58 ja EPS-lämmön eristeet.) tulisi suojata, jotta ulkoseinät olisivat paloturvallisia.

Tarkasteltavista rakennetyypeistä neljän rakennetyypin (RT1, RT2, RT4 ja RT6) U-arvo vastasi rakentamismääräyskokoelman uudiskohteen 0,17 vertailuarvoa. Yksi rakennetyyppi (RT5) alitti edellä mainitun U-arvon, ja yksi (RT3) taas ylitti tämän vertailuarvon. Kaikki rakennetyypit täyttävät niille asetettuja vaatimuksia. Täten voidaan todeta, että rakennetyypit ovat paloturvallisia.

ABSTRACT

This bachelor's thesis was made for A-Insinöörit Suunnittelu Oy and its main purpose was to study thermal and fire insulation capacities of six different types of structures (exterior walls of P1-class apartment buildings). The U-values were calculated both with Excel and with a program called DOF-lämpö. Values (such as thermal conductivity values λ) which are used in the calculations are from the thermal insulation manufacturers' website. In the same section the insulation thickness of the considered types of structures was also converted to correspond to the U-value of the low energy exterior wall (reference value 0.9).

In this thesis the fire properties of the structural layers which form the structural types (especially the combustible part, ie the thermal insulation) were also studied and the fire regulations and requirements for the structural types of P1-class exterior walls were introduced. In the fire section, the issues that must be taken into account in the design of the fire technical functionality of P1-class apartment buildings were also clarified. In addition by using information from manufacturers, it has been clarified how the thermal insulation used in the relevant construction types (Kingspan Therma TW57, Kingspan Therma TW58 and EPS thermal insulation) should be protected to make the external walls firesafe.

Of the structure types considered, the U-value of four structure types (RT1, RT2, RT4 and RT6) corresponded to the reference value of (0.17) for the new building projects in the Finnish assembly of building regulations. One type of structure (RT5) fell below the above-mentioned U-value and one (RT3) exceeded this reference value. All the structure types meet the requirements. Thus, it can be stated that these types of structures are firesafe.

ALKUSANAT

Tämä kandidaatintyö on laadittu A-Insinöörit Suunnittelu Oy:n toimeksiannosta ja se on tehty osana Tampereen yliopiston rakennustekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelmaa.

Haluan erityisesti kiittää ohjaajani Jussi Lehtistä hyvistä neuvoista, tuesta ja asiantuntevasta ohjauksesta. Kiitos myös Eero Tuomiselle Tampereen yliopistosta työn tarkastamisesta.

Lopuksi haluan osoittaa suurimman kiitokseni perheelleni: vanhemmilleni, aviovaimolleni ja lapsillemme. Kiitos, että olette jaksaneet tukea minua opinnoissani ja elämässäni.

Tampereella, 30.5.2020

Ali Mohseni

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. RAKENNUSFYSIKAALISESTI TOIMIVA ULKOSEINÄRAKENNE	2
3. RAKENTEIDEN LÄMPÖTEKNISET PERUSTEET	4
3.1 Lämpö.....	4
3.2 Lämmön siirtymismuodot	4
3.2.1 Johtuminen	5
3.2.2 Säteily.....	7
3.2.3 Konvektio.....	8
4. RAKENNETYYPPIEN U-ARVOJEN LASKEMINEN	10
4.1 Ulkoseiniä koskevat määräykset	10
4.2 Tarkasteltavat rakennetyypit	13
4.3 Laskentaesimerkit ja rakenteiden U-arvot	16
4.3.1 Käsin lasketut U-arvot.....	16
4.3.2 DOF-ohjelmalla lasketut U-arvot	23
5. RAKENNETYYPEISSÄ KÄYTETTYJEN ERISTEIDEN PALO-OMINAISUUDET	29
5.1 Paloturvallinen ulkoseinä	29
5.2 Tarkasteltavien rakennetyyppien palotekninen toimivuus.....	32
5.2.1 Kingspan Therma TW 57 ja Kingspan Therma TW 58 eristeiset rakennetyypit	32
5.2.2 Kooltherm eristeiset rakennetyypit	38
5.2.3 EPS-eristeiset rakennetyypit	44
6. RAKENNUSAIKAISEN KOSTEUDEN KUIVUMINEN MUOVI-ERISTEISESSÄ ULKOSEINÄSSÄ.....	47
7. YHTEENVETO.....	48

LÄHTEET	49
LIITE A:	50
LIITE B:	53
LIITE C:	56
LIITE D:	59

LYHENTEET JA TERMIT

- 1) **tasauslaskelmalla** tarkastetaan, että rakennuksen lämpöhäviö on enintään yhtä suuri kuin määräykset täyttävän vertailurakennuksen lämpöhäviö.
- 2) **lämmönläpäisykertoimella U** ($W/(m^2 K)$) lämpövirran tiheyttä, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen;
- 3) λ_{Design} **Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo**. Lämmönläpäisykertoimen laskennassa käytettävä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo
- 4) **lämmönjohtavuudella λ** ($W/(m K)$) lämpövirran tiheyttä jatkuvuustilassa pituusyksikön paksuisen tasa-aineisen ainekerroksen läpi, kun lämpötilaero ainekerroksen pintojen välillä on yksikön suuruinen
- 5) **lämmönvastuksella R** ($m^2 K/W$) termisessä jatkuvuustilassa olevan tasapaksun ainekerroksen tai kerroksellisen rakenteen lämmönvastusta, joka ilmoittaa rakenteen eri puolilla olevien isotermisten pintojen lämpötilaeron ja ainekerroksen läpi kulkevan lämpövirran tiheyden suhteen
- 6) **pistemäisellä lisäkonduktanssilla X**, (W/K) pistemäisen kylmäsilan (esimerkiksi terässide) aiheuttamaa lisäystä jatkuvuustilassa rakennusosan läpi kulkevaan lämpövirtaan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen
- 7) **sisä- ja ulkopuolen pintavastuksella R_{si} ja R_{se}**, ($m^2 K/W$) rakennusosan pinnan ja sisä- tai ulkopuolisen ympäristön välisen rajakerroksen lämmönvastusta

q lämpövirran tiheys

T lämpötila

d materiaalikerroksen paksuus.

R lämmönvastus

ΔU_f mekaanisista kiinnikkeistä aiheutuva korjaustekijä

α kerroin

A_f yhden kiinnikkeen poikkipinta-ala m^2

n_f kiinnikkeiden lukumäärä neliometriä kohden $1/m^2$

C4 Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C4, rakennusten lämmöneristys

1. JOHDANTO

Rakennusten ulkoseinärakenteet koostuvat eri rakennekerroksista, joilla on tärkeä merkitys rakenteen toimivuuden kannalta. Rakennekerroksien erilaisia ominaisuuksia hyödyntäen suunnitellaan rakenne, joka kestää sekä ulkoisia, että sisäisiä rasituksia. Toisin sanoen seinän tulee vastata sille asetettuja vaatimuksia, joita ovat palon-, lämmön- ja ääneneristävyys, ulkonäkö, kantavuus, turvallisuus jne. Tässä tutkimuksessa keskitytään kuuteen P1-luokan asuinkerrostalon ulkoseinärakennetyypin lämmön- ja palon eristämiskykyyn, jossa otetaan huomioon rakenteen sisältämien kylmäsiltojen vaikutusta (muuraus siteet, ansaat) sekä verrataan rakenteelle laskettuja U-arvoja materiaalivalmistajien ilmoittamiin arvoihin. Työssä tutustutaan myös palomääräyksiin ja selvitetään rakennetyypeille asetettuja vaatimuksia.

Tutkimuksen tavoitteena on tutkia edellä mainittujen rakenteiden energiatehokkuutta rakenteiden ominaisuuksia selvittäen ja U-arvoja laskien. On mainittava, että työssä on myös tarkoitus selvittää rakennetyyppejä muodostavien rakennekerrosten palo-ominaisuuksia (erityisesti palavan osan eli lämmöneristeen). Tutkimuksen pääongelmaksi on asetettu edellä mainittujen rakennetyyppien erilaisten ominaisuuksien heijastaminen määräyksiin ja omiin tavoitteisiin. Asiaa selvitetään jakamalla työ kolmeen osaan. Ensimmäisessä osassa tutkitaan rakennetyyppien energiatehokkuutta kirjallisuudesta saatavan tiedon ja laskettujen U-arvojen avulla. U-arvoja lasketaan sekä käsin että DOF-ohjelman avulla. Toisessa osassa tutkitaan paloturvallisuutta tuotteen valmistajalta ja Suomen rakentamismääräyskokoelman määräyksistä saatavan tiedon avulla ja lopuksi vertaillaan tutkittuja rakennetyyppejä toisiinsa.

Tässä työssä rajaudutaan kuuteen P1-luokkaan kuuluvaan asuinkerrostaloon, joissa käytetään muovipohjaista lämmöneristettä. Tässä työssä tarkasteltavissa rakennetyypeissä käytetään Kingspan Therma TW57, Kingspan Therma TW58 ja EPS-lämmön eristeitä. Aikataulullisista syistä, Kandidaatintyö laajuusvaatimuksista ja tutkimuksen tilaajan tahdosta johtuen tutkimuksessa ei myöskään tutkita rakennetyyppien kaikkia mahdollisia ominaisuuksia vaan rajaudutaan edellä mainittuihin ominaisuuksiin. Lopuksi on mainittava, että kyseenomaisia rakennetyyppejä käytetään Suomessa ja ne on suunniteltu vastaamaan suomen olosuhteita niin, että täyttävät Suomen määräykset.

2. RAKENNUSFYSIKAALISESTI TOIMIVA ULKOSEINÄRAKENNE

Rakentamisessa pyritään hyvään rakentamisen laatuun eli yritetään saavuttaa tiettyjä asetettuja tavoitteita: turvallinen, terveellinen, riskitön, kosteudenkestävä, taloudellinen jne. Merkittävä osa rakentamisen laadun tavoitteista liittyvät rakennusfysiikkaan. Rakennusfysiikassa tarkastellaan rakennusten ja rakenteiden lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa sekä myös rakennusten akustiikka ja valaistusta. Rakennuksiin ja rakenteisiin syntyviin virheisiin ja vaurioihin liittyy useimmiten rakennuksen lämpö- ja kosteustekninen toiminta. Tämä asia on korostanut rakennusfysiikan roolia rakentamisessa. Energiankulutusmääräykset ovat yhä enemmän tiukentuneet ja sisäilman laatusoavatimukset ovat kasvaneet. Täten rakennusfysikaalisesta suunnittelusta on tullut haasteellisempaa.

Lämmön osalta rakennusfysikaalisen suunnittelun tärkeimpiä perustehtäviä ovat kolmen asian toteutumisen mahdollistaminen. Nämä asiat ovat energiatehokkaiden rakennusten tuottaminen (tavoitteena on pienentää rakennuksen lämpöenergian kulutusta), materiaalien ja rakenteiden turmeltumisen ehkäisyttämisen ja sisätilojen lämpöviihtyvyyden parantaminen. Kosteuden osalta puolestaan pyritään estämään ja rajoittamaan ylimääräisen kosteuden tunkeutumista rakenteisiin, varmistamaan rakenteiden riittävä kuivumiskyky, ehkäisemään rakenteiden ja materiaalien turmeltumista ja parantamaan sisätilan kosteusviihtyvyyttä. Ilman osalta suunnittelussa tavoitellaan rakennusvaipan ilmanpitiävyyden parantamista, ilmavirtausten aiheuttamia haittavaikutuksien ehkäistymistä rakennuksen sisällä ja vaipparakenteissa sekä sisäilman laadun parantamista. Käytännössä ideaalista lämpö- ja kosteustoimintaa ei voida saavuttaa ja on tehtävä kompromisseja. Tällä tavalla saadaan lopputulokseksi kokonaisuutena toimiva rakenne. Voidaan todeta, että yksi tärkeimmistä suunnittelijan tehtävistä onkin eri vaihtoehtojen tarkastelu ja vertailu sekä rakenteen kannalta tärkeimpien asioiden huomioiminen suunnittelussa.

Ulkoilmaan rajoittuvaa seinärakennetta kutsutaan ulkoseinäksi ja sille asetetaan erilaisia vaatimuksia. Nämä vaatimukset liittyvät rakenteen kestävyys, säänsietoon, lämmöneristykseen, paloturvallisuuteen ja ääneneristävyyteen. Ulkoseinä rakenne on toimiva, kun se eristää kylmältä ja toimii energiatehokkaasti, välittää perustuksiin sille tulevat kuormat, jäykistää rakennetta, toimii oikein säärasituksia vastaan (kosteustekninen toimivuus) ja on paloteknisesti turvallinen.

Vinhan mukaan ulkoseinärakenteita on mahdollista jakaa rakennusfysikaalisen toimintaansa perusteella kolmeen tyyppiin: massiivirakenteisiin seiniin (esim. hirsiseinät, kevytbetoniseinät ja massiivitiiliseinät), kerroksellisiin seinärakenteisiin (esim. puu- ja teräsrunkoseinät) ja sandwich-rakenteisiin seiniin (esim. betonielementtiseinät, eristeharkkoseinät, eriste- rappausseinät ja ohutlevypeltiseinät). Niiden lisäksi oma ryhmä on maanvastaiset seinärakenteet (esim. kellarin seinät). (Vinha 2012 s.362-381)

3. RAKENTEIDEN LÄMPÖTEKNISET PERUSTEET

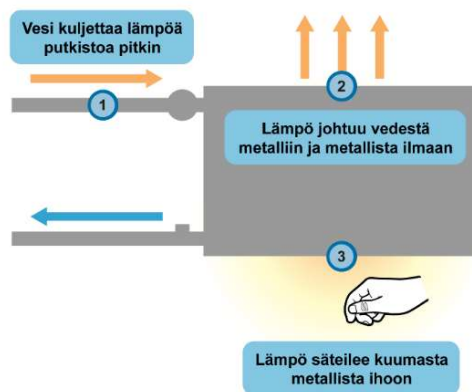
3.1 Lämpö

Aineen molekyylien ja atomien sisäistä liike-energiaa kutsutaan lämmöksi. Lämpötilan kasvaessa kasvaa myös aineen molekyylien liike-energia. Aineen olomuoto riippuu lämpötilasta. Kaasuissa molekyylit ovat vapaita, ne liikkuvat ja törmäävät toisiinsa ja siirtävät törmäyksien kautta energiaa toisille molekyyille. Nesteissä molekyylit liikkuvat vähemmän kuin kaasuissa ja säilyttävät aineen muotoa. Kiinteissä aineissa molekyylit eivät liiku edellä mainittujen tapaan. Ne pysyvät toisiinsa nähden paikallaan ja siirtävät värähtelyllään lämpöä aaltoliikkeenä ja johteessa myös vapaiden elektronien liikkeenä. (Björkholtz 1997)

3.2 Lämmön siirtymismuodot

Rakenteiden fysikaalisessa tarkastelussa otetaan monia asioita huomioon, joista lämmön siirtyminen on yksi tärkeimmistä ilmiöistä. Lämpöopin sääntöjen mukaan lämpötilaerot pyrkivät tasoittumaan. Jotta lämmönsiirtoa tapahtuisi spontaanisesti eli ilman ulkoista työtä, tarvitaan lämpögradienttia eli lämpötilaeroa. Spontaanisen lämmön siirron suunta on aina korkeammasta lämpötilasta (lämpimämmästä) matalampaan lämpötilaan eli kylmempään, lämpövirta asettuu kohtisuoraan isotermejä vastaan.

Lämpöä on mahdollista siirtyä kolmella eri siirtymismuodolla. Lämmön siirtymismuotoja ovat johtuminen, säteily ja konvektio (kuva 3.1). Näiden kolmen siirtymismuodon avulla siirtyy rakenteissa ja rakennusmateriaaleissa lämpöä, jonka suhteelliset osuudet riippuvat materiaalien ominaisuuksista. (Björkholtz 1997)



Kuva 3.1

Lämmön kolme siirtymistapaa. (peda.net 2018)

3.2.1 Johtuminen

Johtumisessa eli konduktiossa molekyylit värähtelevät muuttamatta paikkojaan, jolloin ilmiössä ei tapahdu materiaalsiirtoa. Termodynamiikan toisen lain mukaan lämpötilaero pyrkii tasoittumaan ja energiaa siirtyy kuumemmasta aineesta kylmempään. Toisin sanoen lämmön johtuminen on lämmön virtausta. (Björkholz 1997)

Lämpövirran tiheys q (W/m²) on fysikaalinen suure, jonka avulla selvitetään lämmön johtumisen suuruutta. Stationääritilassa lämpötilajakauman ollessa lineaarinen voidaan yksidimensioisessa tapauksessa homogeenisen aineen läpi johtuvaa lämpövirtaa laskea alla olevalla kaavalla (Fourierin laki)

$$q = \lambda \frac{T_1 - T_2}{d}, \quad (3.1)$$

missä

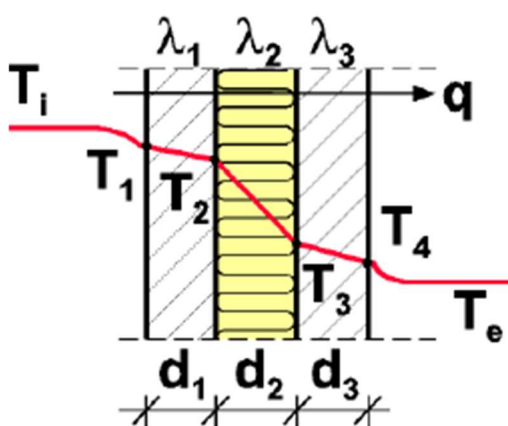
λ on aineen lämmönjohtavuus, W/mK.

$T_1 - T_2$ on materiaalikerroksen yli vallitseva lämpötilaero.

d on materiaalikerroksen paksuus.

Homogeenisista materiaalikerroksista koostuvan kerroksellisen rakenteen lämpövirran tiheys q lasketaan kaavalla

$$q = \frac{T_1 - T_2}{\Sigma R}. \quad (3.2)$$



Kuva 3.2 Lämmönjohtuminen kerroksellisen seinärakenteen läpi (Pentti 2019).

Lämmönjohtavuus λ on materiaalisuure, joka kuvaa aineen kykyä siirtää lämpöä johtamalla. Rakennusfysikaalisissa laskelmissa käytettävät lämmönjohtavuusarvot sisältävät kaikkea kolmea lämmönsiirtymistapaa (johtuminen, säteily ja konvektio) (taulukko 3.1), jolloin voidaan lämmön siirtymistä koskevissa laskelmissa, kuten esimerkiksi lämmönläpäisykertoimen (U-arvon) laskennassa, käyttää ainoastaan lämmönjohtavuuden arvoja.

Taulukko 3.1 Eräiden aineiden lämmönjohtavuuksia λ (Pentti 2019).

Aine	Normaalinen lämmönjohtavuus λ_n W/mK	Aine	Normaalinen lämmönjohtavuus λ_n W/mK
Lämmöneristeitä		Maa-aineksia	
polyuretaani	0,024-0,045	savi	1,4-2,3
polystyreeni	0,037-0,050	siitti	1,6-2,3
mineraalivilla	0,037-0,055	hiekkä, sora	1,8-2,3
korkki	0,045-0,055	moreeni	2,3
solulasi	0,06-0,07	kallio	3,5
lastuvillalevy	0,075-0,10	Metalleja	
sahanpuru, kutterinlastu	0,08-0,14	lyijy	35
kevytsora	0,10-0,13	valurauta	50
kevytbetoni	0,10-0,18	teräs	50-70
kevytsorabetoni	0,20-0,28	tina	65
Rakennuslevyjä		sinkki	110
huokoiset - kovat puu-		alumiini	160-220
kuitulevyt	0,055-0,13	kupari	350-390
vanerit	0,12-0,15	Muita aineita	
kipsilevy, lastulevy	0,15	freon CCl3F	0,008
asbestisementtilevy	0,60	hiilidioksidi	0,014
Muita rakennusaineita		ilma	0,023 (0°C) - 0,026 (20°C)
puu	0,14	vesi	0,55 (0°C) - 0,59 (20°C)
bitumi	0,18	jää	2,23 (0°C) - 2,44 (-20°C)
asfaltti	0,80	lumi 100-900 kg/m ³	0,05-2,21
ikkunalasi	0,8		
tiili murattuna	0,5-1,0		
rappauslaastit	0,9-1,2		
betoni	1,0-2,0		

Materiaalikerroksen lämmönvastus R (Km²/W) saadaan lämmönjohtavuuden λ ja materiaalikerroksen paksuuden d suhteella

$$R_i = \frac{\lambda_i}{d_i}, \quad (3.3)$$

Rakenteen lämmöneristyskykyä kuvataan lämmönläpäisykertoimella U (W/(m²K)), joka on lämmönvastuksen käänteisarvo. Mitä pienempi lämmönläpäisykerroin on, sitä paremmin rakenne eristää lämpöä.

$$U = \frac{1}{\sum R_i + R_{si} + R_{se}}, \quad (3.4)$$

missä

R_{si} on sisäpinnan pintavastus ($m^2/K/W$)

R_{se} on ulkopinnan pintavastus ($m^2 K/W$)

ΣR_i on rakenteen kerrosten lämmönvastukset ($m^2/K/W$).

Taulukko 3.2 Standardin (EN ISO 6946 2007) mukaiset pintavastukset.

	Lämpövirran suunta		
	Ylöspäin $m^2 K/W$	Vaakasuoraan $m^2 K/W$	Alaspäin $m^2 K/W$
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

3.2.2 Säteily

Säteilyssä ei tarvita väliainetta lämmön siirtämiseen. Tässä ilmiössä lämpö siirtyy valon nopeudella sähkömagneettisen aaltoliikkeen avulla. Kaikki aineet, joiden lämpötila on yli 0 K, säteilevät eli emittoivat lämpösäteilyä ympärilleen. (Björkholtz 1997)

Kappaleen absoluuttinen lämpötila ja materiaalin pinnan ominaisuudet määräävät säteilyn voimakkuuden E (W/m^2), jonka yläraja (nk. musta kappale) saadaan kaavasta

$$E_{max} = \sigma \cdot T^4, \quad (3.5)$$

missä

σ on Stefan–Boltzmannin vakio ($5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2 K^4$)

T on säteilyä lähettävän pinnan lämpötila (K).

Todellisilla pinnoilla taas säteilyvoimakkuus saadaan selville alla olevan kaavan avulla

$$E = \varepsilon \sigma \cdot T^4, \quad (3.6)$$

missä

ε on kokonaisiemissiviteetti ($0 \leq \varepsilon \leq 1$).

Pintaan tulevasta säteilyn lämpöenergiasta osa tunkeutuu materiaaliin, osa heijastuu ja osa absorboituu materiaaliin (kuva 3.3). Edellä mainituille säteilykomponenteille on voimassa yhtälö (Björkholtz 1997)

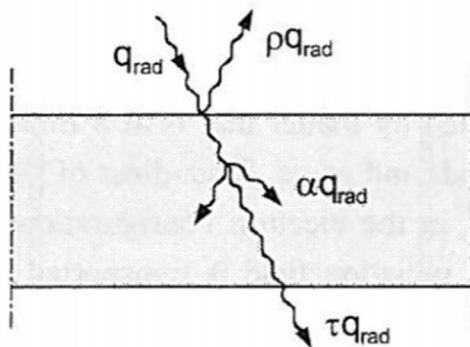
$$\alpha + \rho + \tau = 1, \quad (3.7)$$

missä

α on absorptiokerroin

ρ on heijastuskerroin

τ on läpäisykerroin.



Kuva 3.3 Materiaalin pintaan osuvan säteilyn jakautuminen (Hagentoft 2001).

3.2.3 Konvektio

Konvektiossa lämpöenergia siirtyy väliaineen eli fluidin (kaasun ja nesteen) virtauksen vaikutuksesta. Tämä virtaus voi tapahtua pakotetusti, eli se voi olla ulkoisten voimien seurausta (puhallin, tuuli, pumppu), tai luonnollisesti eli lämpötilaerojen aiheuttaman tiheyseron (noste) vaikutuksesta (kuva 3.4). Aineiden rajapinnan lähellä lämpöä siirtyy johtumisella. Virtaus kuljettaa lämmentyneen aineen pois kiinteästä pinnasta. On mainittava, että rajapinnalla voi myös tapahtua väliaineen faasimuutosta. (Björkholtz 1997)

Konvektiivisen lämpövirran tiheys q_{con} (W/m^2) saadaan kaavasta

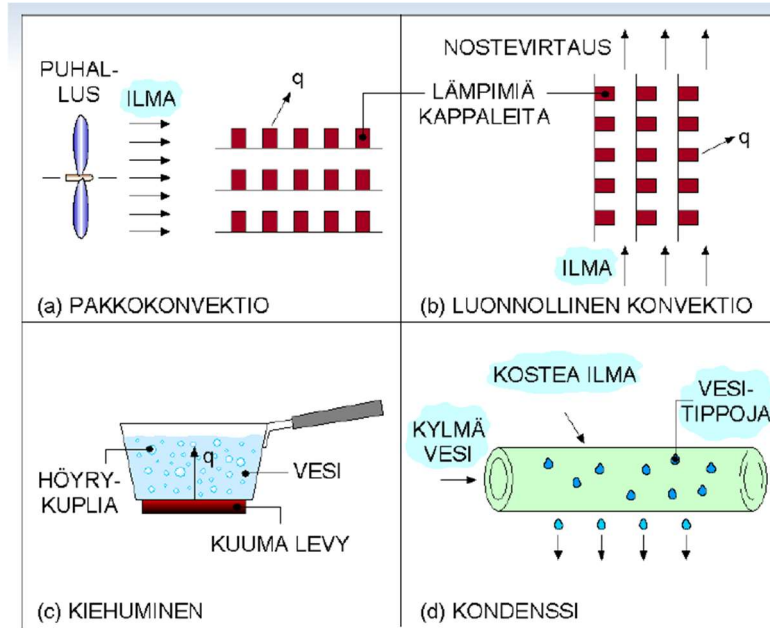
$$q_{con} = \alpha_{conv} \cdot (T_s - T_\infty), \quad (3.8)$$

missä

α_{conv} = konvektiivinen lämmönsiirtokerroin ($W/(m^2K)$)

T_s = pinnan lämpötila (K)

T_∞ = väliaineen lämpötila rajakerroksen ulkopuolella (K).



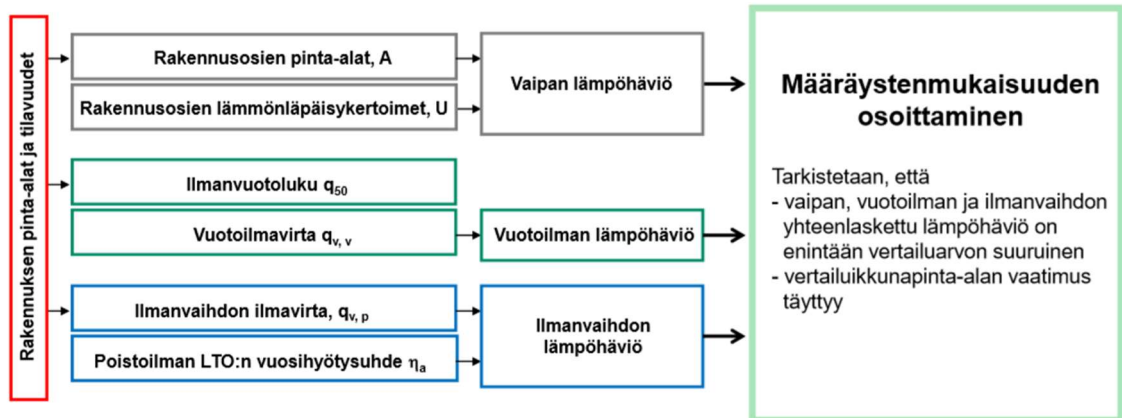
Kuva 3.4 Mahdolliset konvektiotapaukset ja faasimuutoslämmönsiirtyminen. (Pentti 2019)

4. RAKENNETYYPPIEN U-ARVOJEN LASKEMINEN

4.1 Ulkoseiniä koskevat määräykset

Ympäristöministeriön asetuksen (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017) mukaan suunnittelijoiden (Pääsuunnittelija, erityissuunnittelija ja rakennussuunnittelija) tulee huolehtia, että rakennus käyttötarkoituksensa mukaisesti on ”1) energiatehokkuudeltaan joko laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luvun) tai rakenteellisen energiatehokkuuden mukainen; 2) on rakennuksen lämpöhäviöltään vähäiselle energiantarpeelle edellytykset luova; 3) on energiatehokas laskennalliselta kesäajan huonelämpötilaltaan, energiankäytön mittaamiseltaan, lämmön ja sähkön tehon tarpeeltaan sekä käytettäessä koneellista ilmanvaihtojärjestelmää myös ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteholtaan.”. Energiatehokkuutta voidaan tarkastella ja ”mitoittaa” eri kulutustasoilla. Nämä ovat Primäärienergiataso, Ostoenergiataso, Hyötöenergiataso ja Lämpöhäviötaso. Suunnittelijoita ohjataan sekä lämpöhäviötasolla, että primäärienergiatasolla. (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017)

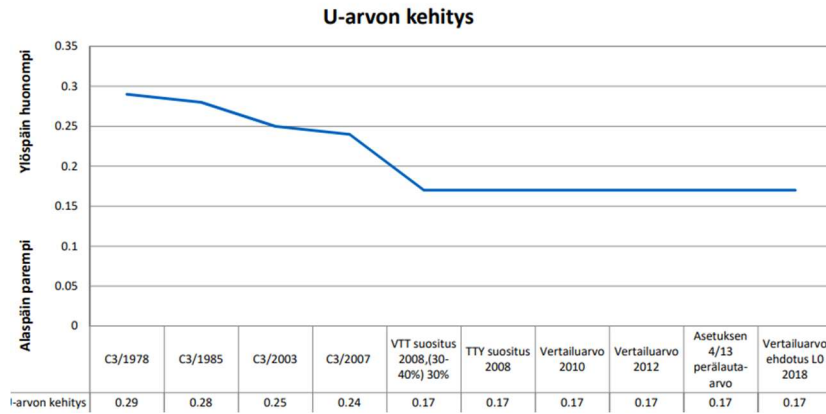
Rakennuksen vaipan energiatehokkuuden tarkastelussa on siirrytty rakennusosakohtaisesta U-arvojen tarkastelusta koko vaipan käsittävään ominaislämpöhäviön tarkasteluun (kuva 4.1.3). Asetuksen mukaan rakennuksen lämpöhäviö on rakennuksen vaipan (kuva 4.1.4), vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu lämpöhäviö (kuva 4.1.1). Rakennuksen lämpöhäviö voi olla enintään vertailuarvoilla (kuva 4.1.2) rakennukselle määritetyn vertailulämpöhäviön (vertailuratkaisun lämpöhäviö) suuruinen. Lämpöhäviöiden tasauskohteita ovat rakennusosien lämmönläpäisykertoimet (U-arvot), ikkunapinta-ala, ilmanvuotoluku ja vuotoilmavirta ja ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde. Vaatimuksien täyttymistä voidaan osoittaa rakennuksen lämpöhäviöiden tasauslaskennalla. On mainittava, että jos jonkin osatekijän (vaippa, vuotoilma, ilmanvaihto) lämpöhäviön on suurempi kuin sen vertailulämpöhäviö tulee toisesta osatekijästä vähentää vähintään vastaavaa lämpöhäviö. (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017)



Kuva 4.1.1 Rakennuksen lämpöhäviön taseuslaskennan vaiheet ja määräystenmukaisuuden osoittaminen (Taseuslaskentaopas 2018, s.11)

Lämpimät tilat	Lämmönläpäisykertoimen vertailuarvo W/(m ² K)
a) Seinä	0,17
b) massiivipuuseinä, vähintään 180 mm	0,40
c) yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,09
d) ryömintätilaan rajoittuva alapohja	0,17
e) maata vasten oleva rakennusosa	0,16
f) ikkuna, kattoikkuna, ovi	1,0
Loma-asumiseen suunniteltava pientalo	Lämmönläpäisykertoimen vertailuarvo W/(m ² K)
a) Seinä	0,24
b) massiivipuuseinä, vähintään 130 mm	0,80
c) yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,15
d) ryömintätilaan rajoittuva alapohja	0,19
e) maata vasten oleva rakennusosa	0,24
f) ikkuna, kattoikkuna, ovi	1,4
Puolilämmin tila, siirtokelpoinen rakennus	Lämmönläpäisykertoimen vertailuarvo W/(m ² K)
a) Seinä	0,26
b) massiivipuuseinä, vähintään 180 mm	0,60
c) yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,14
d) ryömintätilaan rajoittuva alapohja	0,26
e) maata vasten oleva rakennusosa	0,24
f) ikkuna, kattoikkuna, ovi	1,4

Kuva 4.1.2 Vaipan vertailuarvot ja massiivipuurakenteinen huomioiminen (Ympäristöministeriö 1010/2017).



Kuva 4.1.3 Lämmönläpäisykerroimen (U-arvo) muutoskehitys vuodesta 1978 lähtien

$$\sum H_{\text{joht}} = \sum (U_{\text{ulkoseinä}} A_{\text{ulkoseinä}}) + \sum (U_{\text{yläpohja}} A_{\text{yläpohja}}) + \sum (U_{\text{alapohja}} A_{\text{alapohja}}) + \sum (U_{\text{ikkuna}} A_{\text{ikkuna}}) + \sum (U_{\text{ovi}} A_{\text{ovi}})$$

jossa

$\sum H_{\text{joht}}$ rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö, W/K

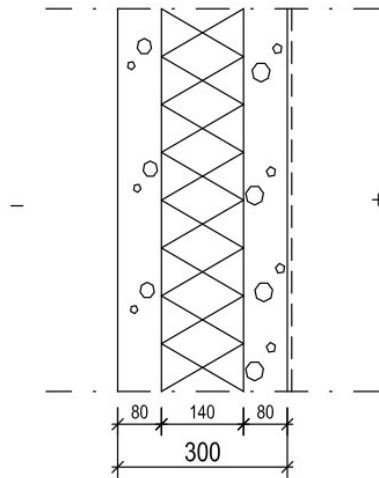
U rakennusosan lämmönläpäisykerroin, W/(m²K)

A rakennusosan pinta-ala, m².

Kuva 4.1.4 Rakennuksen vaipan lämpöhäviö lasketaan kuvassa esitetyllä kaavalla (Ympäristöministeriö 1010/2017).

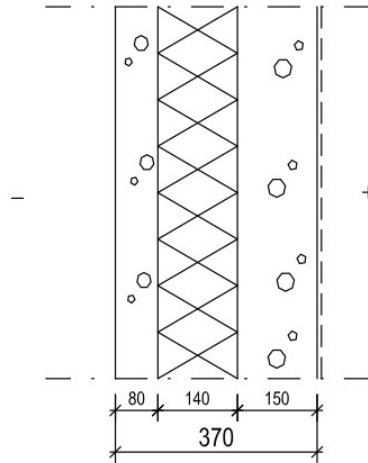
4.2 Tarkasteltavat rakennetyypit

Työssä tarkastellaan kuutta erilaista rakennetyyppiä, jossa käytetään muovipohjasta lämmöneristettä. Rakennetyypit koostuvat sekä tuuletusraollisista ulkoseinärakenteista, että tuuletusraottomista ulkoseinärakenteista. Näissä rakennetyypeissä käytetään Kingspanin ja Thermisolin valmistamia lämmöneristeitä.



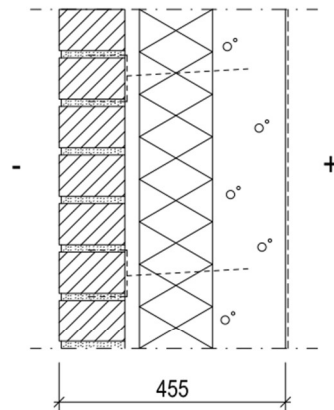
80 mm	ULKOKUORI PAKKASENKESTÄVÄ BETONI XC3,4 JA XF1
140 mm	LÄMMÖNERISTE 0,022 W/mK KINGSPAN THERMA TW58
80 mm	EI-KANTAVA SISÄKUORI ELEMENTTISUUNNITELMIEN MUKAAN

Kuva 4.2.1 Rakennetyyppi RT1.



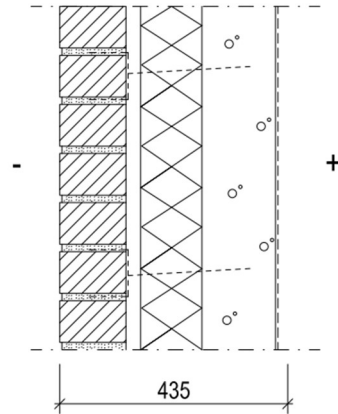
- 80 mm ULKOKUORI
PAKKASENKESTÄVÄ BETONI XC3,4 JA XF1
- 140 mm LÄMMÖNERISTE **0,022**
KINGSPAN THERMA TW58
- 150 mm KANTAVA SISÄKUORI ELEMENTTISUUNNITELMIEN MUKAAN

Kuva 4.2.2 Rakennetyyppi RT2.



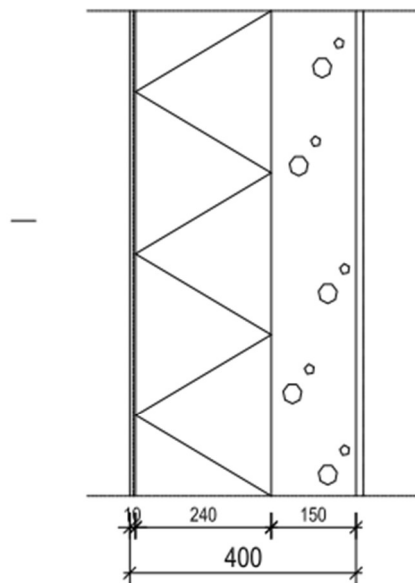
- 135 mm ULKOKUORIMUURAUUS RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN
- 30 mm ILMARAKO
- 140 mm LÄMMÖNERISTE 0,025W/mK
ESIM. KINGSPAN THERMA TW57
- 150 mm KANTAVA SISÄKUORI ELEMENTTISUUNNITELMIEN MUKAAN, C30/37, XC1
KANTAVA SISÄKUORI 160 mm KUN OSASTOINTI >EI 60.

Kuva 4.2.3 Rakennetyyppi RT3.



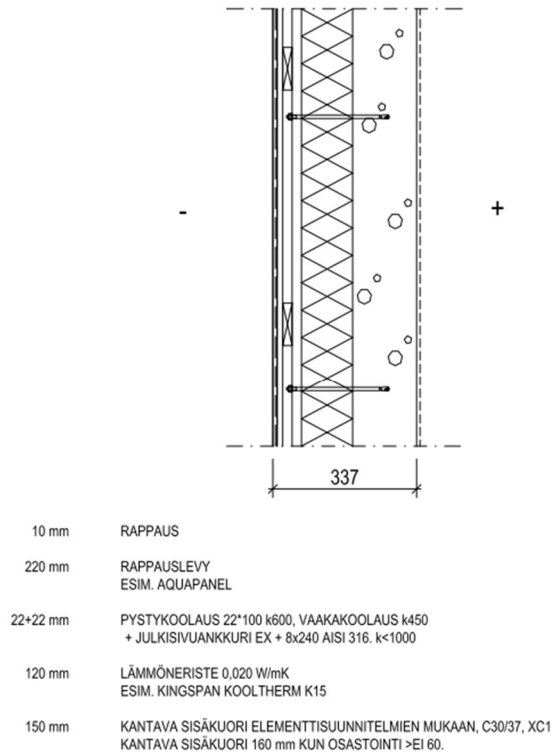
135 mm	ULKOKUORIMUURAUUS RAKENNUSSELOSTUKSEN MUKAAN
30 mm	ILMARAKO
120 mm	LÄMMÖNERISTE 0,020W/mK KINGSPAN KOOLTHERM K15
150 mm	KANTAVA SISÄKUORI ELEMENTTISUUNNITELMIEN MUKAAN, C30/37, XC1 KANTAVA SISÄKUORI 160 mm KUN OSASTOINTI >EI 60.

Kuva 4.2.4 Rakennetyyppi RT4.



10 mm	OHUTRAPPAUS
240 mm	LÄMMÖNERISTE EPS 60S SEINÄ (THERMISOL), LAMBDA DESIGN 0,039 W/m²K
150/160 mm	KANTAVA TERÄSBETONISEINÄ, (160mm, kun EI90)

Kuva 4.2.5 Rakennetyyppi RT5 (tässä rakennetyypissä voidaan käyttää myös Platina nimistä eristettä, jonka lambda arvo on 0,31).



Kuva 4.2.6 Rakennetyyppi RT6.

4.3 Laskentaesimerkit ja rakenteiden U-arvot

4.3.1 Käsin lasketut U-arvot

Tarkasteltavien rakennetyyppien U-arvon selvittämisessä hyödynnetään luvussa 3.2 esitettyjä kaavoja. Edellä mainituilla kaavoilla laskettava lämmönläpäisykerroin ei ota muuraussiteiden ja diagonaaliensa aiheuttamia kylmäsiltoja huomioon. Nämä kylmäsiltoja otetaan huomioon C4 rakentamismääräyskokoelmassa esitettyllä kaavalla 4.1. Rakentamismääräyskokoelmasta C4 löytyy α kertoimelle oma kaava, mutta selostuksessa sanotaan, että ”jos kiinnike läpäisee eristekerroksen kokonaan, kertoimen arvo on 0,8”. Näin ollen tätä arvoa käytetään tämän työn laskuissa. VTT:n tutkimusraportissa todetaan, että likiarvo 0,8 on joissakin tapauksissa liian suuri ja joissakin liian pieni. Täten määritetään α kerroin myös VTT:n tutkimusraportin mukaisella tavalla ja lasketaan tällä α -arvolla U-arvot vertailun vuoksi. Tutkimusraportissa todetaan, että muille ansaan paksuuksille, materiaaleille ja eristepaksuuksille voidaan ansaan aiheuttama lämmönläpäisykerroin lisäys laskea kohtuullisella tarkkuudella kaavasta 4.1 kertomalla taulukon 4.1 α arvot luvulla 0,75. (VTT-R-07901-11 2011)

Taulukossa 4.2 (RT1) lasketaan kyseenomaiselle rakennetyypille lämmönläpäisykerroin, jossa kylmäsilan vaikutusta ei ole huomioitu. Lämmönläpäisykertoimien selvittämistä varten tarvitaan lämmöneristeen ja muiden rakennekerrosten materiaalien lämmönjohtavuus arvoa λ , rakennekerrosten paksuutta ja sisä- ja ulkopuolen pintavastusten arvoja. Rakennetyypeissä RT1 ja RT 3 käytetään Kingspanin eristeitä, jolloin laskuissa voidaan hyödyntää valmistajan internetsivuilla ilmoittamaa lambda design arvoa λ_D arvoa. Betoniselle sisä- ja ulkokuorelle poimitaan lämmönjohtavuusarvo λ taulukosta 3.1 ja laskuissa käytetään standardin (EN ISO 6946 2007) mukaisia pintavastuksia (taulukko 3.2). Seuraavaksi lasketaan jokaiselle rakennekerrokselle lämmönvastus R kaavalla 3.3. ja summataan nämä yhteen, jolloin saadaan rakenteen kokonaislämmönvastus $\sum R$ selville. Tämän jälkeen voidaan laskea rakenteen lämmönläpäisykerroin U kaavalla 3.4.

Diagonaaliansaiden materiaali on ruostumatonta terästä, jolloin sen lämmönjohtavuus on 17 W/mK(C4 2012). Diagonaaliansaiden paksuudeksi on valittu 5 mm, tämän avulla saadaan yhden kiinnikkeen poikkipinta-alaa A_f selville. Diagonaalijako on 300 mm ja ansasjako on 0,4, jolloin kaavan 4.2 avulla voidaan laskea n_f arvo. Tämän jälkeen lasketaan korjaustekijä $\Delta U_{f(\text{diagonaali})}$ kaavalla 4.1 ja korjataan laskun alussa saatua U-arvoa huomioiden mekaanisten kiinnikkeiden aiheuttamaa vaikutusta. Toisin sanoen korjaustekijäksi saatua arvoa lisätään laskun alussa saatuun U-arvoon, jolloin saadaan rakennusosan U_{tot} selville. Taulukossa 4.3 on laskettu sekä korjaustekijä, että rakennusosan U_{Tot} arvo. (RakMk C4 2012, VTT-R-07901-11 2011)

Eristeen osittain tai kokonaan läpäisevien mekaanisten kiinnikkeiden ja muiden säännöllisten pistemäisten kylmäsiltojen korjaustekijä (ΔU_f) voidaan laskea likimääräisesti kaavalla (4.1)

$$\Delta U_f = \alpha \frac{\lambda_f A_f n_f}{d_0} \left(\frac{R_{f0}}{R_T} \right)^2, \quad (4.1)$$

jossa

ΔU_f on mekaanisista kiinnikkeistä aiheutuva korjaustekijä W/(m²K)

α on kerroin, kaava (12)

λ_f on kiinnikkeen lämmönjohtavuus W/(mK)

A_f on yhden kiinnikkeen poikkipinta-ala (m²)

n_f on kiinnikkeiden lukumäärä neliometriä kohden (1/m²)

d_0 on sen lämmöneristekerroksen kokonaispaksuus, johon kiinnike on asennettu (m)

R_{f0} on sen lämmöneristekerroksen lämmönvastus ilman kylmäsiltojen vaikutusta, jonka kiinnike läpäisee, kaava (13) (m^2K/W)

R_{Th} on tarkasteltavan rakennusosan kokonaislämmönvastus, johon kiinnike on asennettu (ilman korjaustekijöiden ja kylmäsiltojen vaikutusta) (m^2K/W).

Kaavassa (4.1) käytetty lukumäärä n_f lasketaan kaavalla (4.2) kun käytetään diagonaaliansaita

$$n_f = \frac{1}{(\text{diagonaalijako}) \cdot (\text{ansasjako})} \quad (4.2)$$

Kaavassa (4.1) käytetty lukumäärä n_f lasketaan kaavalla (4.3) kun käytetään muuraussiteitä

$$n_f = \frac{1}{(\text{ruutujako}) \cdot (\text{ruutujako})} \quad (4.3)$$

Kaavassa (4.1) käytetty kerroin lasketaan kaavalla (4.4)

$$\alpha = 0,8 \cdot \frac{d_{f0}}{d_0}, \quad (4.4)$$

jossa

d_0 on sen lämmöneristekerroksen kokonaispaksuus, johon kiinnike on asennettu (m)

d_{f0} on pituus (m), jonka kiinnikkeen huomattavasti ympäröivää lämmöneristettä paremmin lämpöä johtava osa kulkee tarkasteltavan lämmöneristekerroksen sisällä kohtisuoraan eristeen paksuuden suuntaisesti (lämpövirran suuntainen pituus) (m).

Kaavassa (4.1) käytetty lämmönvastus lasketaan kaavalla (13)

$$R_{f0} = \frac{d_{f0}}{\lambda_0}, \quad (4.5)$$

jossa

d_{f0} pituus (m), jonka kiinnikkeen huomattavasti ympäröivää lämmöneristettä paremmin lämpöä johtava osa kulkee tarkasteltavan lämmöneristekerroksen sisällä kohtisuoraan eristeen paksuuden suuntaisesti (lämpövirran suuntainen pituus) (m)

λ_0 sen lämmöneristekerroksen lämmönjohtavuus, jonka läpi kiinnike kulkee (W/mK).

Toista esimerkkilaskelmaa on myös laskettu samoilla kaavoilla ja laskentavaiheilla, joten yllä olevia asioita ei ole tarpeen toistaa. On kuitenkin mainittava, että tuuletusaron ilmarakenteen ja sen ulkopuolella olevien ainekerroksien lämmönvastuksia ei oteta laskennoissa huomioon ja tällöin voidaan ulkopinnan pintavastuksena käyttää arvoa 0,13 (sisäpuolen pintavastus). Toisessa esimerkissä diagonaaliensaiden sijaan on käytetty muuraus siteitä (5 kpl/m^2), jolloin n_f saadaan kaavasta 4.3. Lisäksi taulukossa 4.7 on selvitetty, miten suuri kunkin rakenteen lämmönkerroksen paksuuden tulisi olla, jotta rakennusosa saavuttaisi 0,9 lämmönläpäisykerroimen (matalaenergiatason ulkoseinä).

Taulukko 4.1 VTT:n raportissa esitetty α arvoja erilaisille pistoansaille ja eristepaksuuksille (VTT-R-07901-11 2011)

Langan halkaisija mm	Materiaali	Eristepaksuus mm	α
5	RST	240	0,94
5	teräs	240	0,90
10	teräs	240	0,81
5	RST	150	0,91
5	teräs	100	0,79
5	RST	50	0,78
5	teräs	50	0,65
10	teräs	50	0,47

Taulukko 4.2 Rakennetyyppi RT1:lle käsin laskettu U-arvo.

Rakennekerros	Lämmönjohtavuus λ [W/mK]	Paksuus d [m]	Lämmönvastus R [m ² K/W]	ΣR [m ² K/W]	Lämmönläpäisykerroin U (W/(m ² K),
Sisäpuolen pintavastus			0,13		
Sisäkuori (eikantava, betoni)	1,7	0,08	0,047059		
Therma TW58 (eriste)	0,022	0,14	6,363636		
Ulkokuori	1,7	0,08	0,047059		
Ulkopuolen pintavastus			0,04		
				6,627754	0,150881

Taulukko 4.3 Rakennetyyppi RT1:lle on käsin laskettu diagonaaliansaista aiheutuva lisäkerroin.

α	$0,75 \cdot 0,91 = 0,6825$	0,8
λ_f	17	17
A_f	0,0000196349	0,0000196349
Ansasjako	0,4	0,4
Diagonaalijako	0,3	0,3
d_0	0,14	0,14
R_{f0}	6,363636	6,363636
$R_T = \sum R$	6,627754	6,627754
n_f (diagonaali)	8,3333	8,3333
ΔU_f	0,012501	0,014653
$U_{tot} = \Delta U_f$ (diagonaali) + U	0,163382	0,165534

Taulukko 4.4 Rakennetyyppi RT3:lle käsin laskettu U-arvo.

Rakennekerros	Lämmönjohtavuus λ [W/mK]	Paksuus d [m]	Lämmönvastus R [m ² K/W]	ΣR [m ² K/W]	Lämmönläpäisykerroin U (W/(m ² K))
Sisäpuolen pintavastus			0,13		
Sisäkuori (kantava, betoni)	1,7	0,15	0,088235		
Therma TW57 (eriste)	0,025	0,14	5,6		
Tuuletusrako		0,03			
Ulkopuolen pintavastus			0,13		
				5,94826	0,16812

Taulukko 4.5 Rakennetyyppi RT3:lle on käsin laskettu diagonaaliinsaista aiheutuva lisäkerroin.

α	$0,75 \cdot 0,91 = 0,6825$	0,8
λ_f	17	17
A_f	0,0000196349	0,0000196349
Ruutujako	0,4473	0,4473
n_f	5	5
d_0	0,14	0,14
R_{f0}	5,6	5,6
$R_T = \Sigma R$	5,858235	5,858235
ΔU_f	0,007435	0,008715
$U_{tot} = \Delta U_f (\text{diagonaali}) + U$	0,17533	0,17658

Taulukko 4.6 Tarkasteltujen rakennetyyppien käsin lasketut U-arvot.

Rakennetyyppi	Eristeen paksuus d [m]	Lämmönjohtavuus λ [W/mK]	U-arvo($\alpha=0,6825$) (W/(m ² K))	U-arvo($\alpha=0,8$) (W/(m ² K))
RT1	0,14	0,022	0,1634	0,1656
RT2	0,14	0,022	0,1623	0,1645
RT3	0,14	0,025	0,1754	0,1766
RT4	0,12	0,02	0,1661	0,1675
RT5	0,24	0,039		0,156(ei ole kylmäsilta)
RT6	0,12	0,02	0,1648	0,1661

Taulukon 4.7 U-arvot on laskettu luvussa 4.3.1 esitettyyn laskun tavoin siten, että rakenteen U-arvo on saatu vastaamaan matalaenergiaseinän U-arvoa"

Taulukko 4.7 Tarkasteltujen rakennetyyppien eristeen paksuutta on muunnettu vastaamaan matalaenergia ulkoseinän U-arvoa (0,9).

Rakennetyyppi	Eristeen paksuus [m]	Lämmönjohtavuus λ [W/mK]	U-arvo($\alpha=0,6825$) (W/(m ² K))	U-arvo($\alpha=0,8$) (W/(m ² K))
RT1	0,290	0,022	0,0874	0,0896
RT2	0,290	0,022	0,0871	0,0893
RT3	0,305	0,025	0,0874	0,0887
RT4	0,235	0,02	0,0872	0,0880
RT5	0,340	0,039		0,0896 (ei ole kylmäsilta)
RT6	0,245	0,02	0,0871	0,0884

4.3.2 DOF-ohjelmalla lasketut U-arvot

Rakenteita tutkittiin myös DOF-Lämpö-ohjelmalla. Ohjelmalla voi määrittellä mielivaltaisen kerroksellisen rakenteen, joka voi olla seinä, katto tai lattia. DOF-lämpö ohjelmalla voidaan laskea rakenteille U-arvot, rakenteen lämpötilat, kyllästymiskosteuden ja kosteus määrän rakenteen eri osissa. Ohjelman avulla voidaan myös selvittää mahdollisen kosteuden kondensoitumismäärää ja lisäksi ohjelmalla saadaan määritettyä rakenteen lämpöhäviöt. Ohjelmaan syötetään perustiedot kuten tutkittava rakennusosa, rakennusosan pinta-ala, pintavastukset ja mahdollinen kylmäsiltojen vaikutuksen korjaustermi. Rakennekerroksille syötetään paksuudet, lämmönjohtavuudet ja vesihöyryn läpäisevyydet. Määritetään myös mahdolliset kylmäsilat. Tarkasteluhetkiksi voidaan käyttää ohjelmaan valmiiksi syötettyjä tarkasteluhetkiä, mutta arvoja voidaan määrittää itsekin. Tässä työssä käytetään rakentamismääräyskokoelman D3, säävyöhykkeen 2 tietoja.

Tässä työssä laskettiin myös U-arvo kaikille kuudelle rakennetyypille hyödyntämällä DOF-lämpö ohjelmaa, mutta kaikkia ei esitetä tässä osiossa, vaan lasketaan U-arvo kahdelle rakennetyypille (muiden rakennetyyppien U-arvo laskelmat löytyvät liiteosiosta). On mainittava, että DOF-lämpö ohjelmalla lasketut U-arvot ovat samoja kuin käsin lasketut U-arvot. Näin olleen niitä ei esitetä tässä osiossa (löytyvät liiteosiosta).

Ohjelmaan syötettiin rakennekerrosten ominaisuudet ja tiedot (kuva 4.3.2 ja kuva 4.3.4), jolloin ohjelma laski rakenteelle korjaustermiä, lämmönvastuksen sekä myös lämmönläpäisykertoimen (kuva 4.3.1 ja kuva 4.3.3). DOF-lämpö ohjelmalla lasketut U-arvot ja käsin lasketut U-arvot osoittautuivat samoiksi arvoksi. Edellä mainittujen arvojen lisäksi ohjelma piirtää lämpökäyrän mitoituslanteesta. Lämpökäyrässä esitetään rakenteen eri kerroksissa vallitsevaa lämpötilaa. Kuvien 4.3.2 ja 4.3.5 lämpökäyrien mukaan sekä RT1:ssä että RT 3:ssä seinän sisäpinnan lähellä lämpötila putoaa hieman huoneessa vallitsevasta lämpötilasta (21°C). Lämmöneristeen kohdalla lämpötila putoaa lineaarisesti (lämmöneriste lämmöneristää) ja eristeen ulkopinnassa se onkin melkein sama (ulkokuoren pinnassa oleva kerros lämmöneristää) kuin ulkona vallitseva lämpötila. Koska betonisen sisä- ja ulkokuoren lämmönjohtavuusarvo on suuri (2 W/mk), näiden kerrosten lämmöneristämiskyky ei ole kovin suuri toisin sanoen näiden kerrosten sisä- ja ulkopinnan lämpötila on melkein sama. DOF-lämmöllä on laskettu U-arvot myös muille tarkasteltaville rakennetyypeille (löytyvät liiteosiosta).

Rakennetyyppi RT1

PERUSTIEDOT	
Rakenne:	Seinä (ilman tuuletusrakoa)
Rakenneosan kok. pinta-ala (m ²):	1.00
Ulkopinnan pintavastus (m ² K/W):	0.04
Sisäpinnan pintavastus (m ² K/W):	0.13
Korjaustermi deltaU (W/m ² K):	0.0146
Korjaustermin selite:	Ilmaraon korjaustermi
Kylmäsiltojen päällekkäisyys:	Mahdollisimman kohdakkain
U-arvon laskentatulokset	
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläkiiarvo:	6.614 m ² K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alakiiarvo:	6.614 m ² K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastus:	6.614 m ² K/W
U-arvo (ilman korjaustermiä)	0.151 W/m ² K
Laskettu/annettu korjaustermi:	0.015 W/m ² K
U-arvo (korjaustermi huomioiden):	0.166 W/m ² K
U-arvo (pyöristetty arvo):	0.17 W/m ² K
Uudiskohteen vertailuarvo:	0.17 W/m ² K

Kuva 4.3.1 RT1 ($\alpha=0,8$) rakennetyypille DOF-lämpö ohjelmalla laskettu U-arvo.

Rakennetyyppi RT1

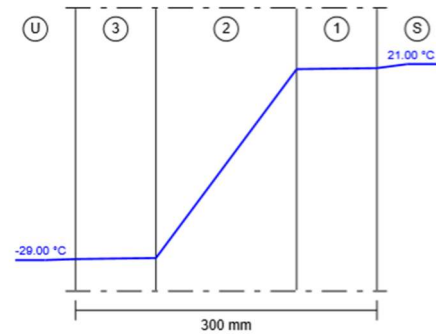
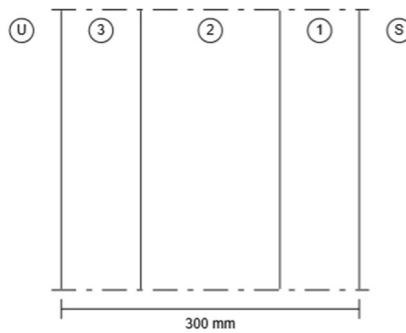
RAKENNEKERROKSET

Kerros:	Paksuus: (mm)	Materiaali:	Lambda: (W/mK)
1	80.00	Betoni, korkeatiheyksinen 2400 kg/m ³	2.000
2	140.00	THERMA TW58	0.022
3	80.00	Betoni, korkeatiheyksinen 2400 kg/m ³	2.000

Rakennetyyppi RT1

LÄMPÖTILAT ERI KERROKSISSA

Tarkasteluhetki/jakso:	Vyöhyke 2, Mitoitustilanne
Tarkastelupiste:	Lämpötila (Celsius):
Sisättilä:	21.00
Sisäpinta:	20.02
1-2:	19.71
2-3:	-28.40
Ulkopinta:	-28.70
Ulkotila:	-29.00



Kuva 4.3.2 DOF-lämpö ohjelmalla saadaan RT1 ($\alpha=0,8$) rakennetyypille kuvan mukainen lämpökäyrä.

Rakennetyyppi RT3

PERUSTIEDOT	
Rakenne:	Seinä (tuuletetulla ilmaraoilla)
Rakenneosan kok. pinta-ala (m ²):	1.00
Ulkopinnan pintavastus (m ² K/W):	0.13
Sisäpinnan pintavastus (m ² K/W):	0.13
Korjaustermi deltaU (W/m ² K):	0.0085
Korjaustermin selite:	Ilmaraon korjaustermi
Kylmäsiltojen päällekkäisyys:	Mahdollisimman kohdakkain
U-arvon laskentatulokset	
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläkiarvo:	5.978 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alakiarvo:	5.978 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastus:	5.978 m2K/W
U-arvo (ilman korjaustermiä)	0.167 W/m2K
Laskettu/annettu korjaustermi:	0.009 W/m2K
U-arvo (korjaustermi huomioiden):	0.176 W/m2K
U-arvo (pyöristetty arvo):	0.18 W/m2K
Uudiskohteen vertailuarvo:	0.17 W/m2K

Kuva 4.3.3 RT3 ($\alpha=0,8$) rakennetyypille DOF-lämpö ohjelmalla laskettu U-arvo.

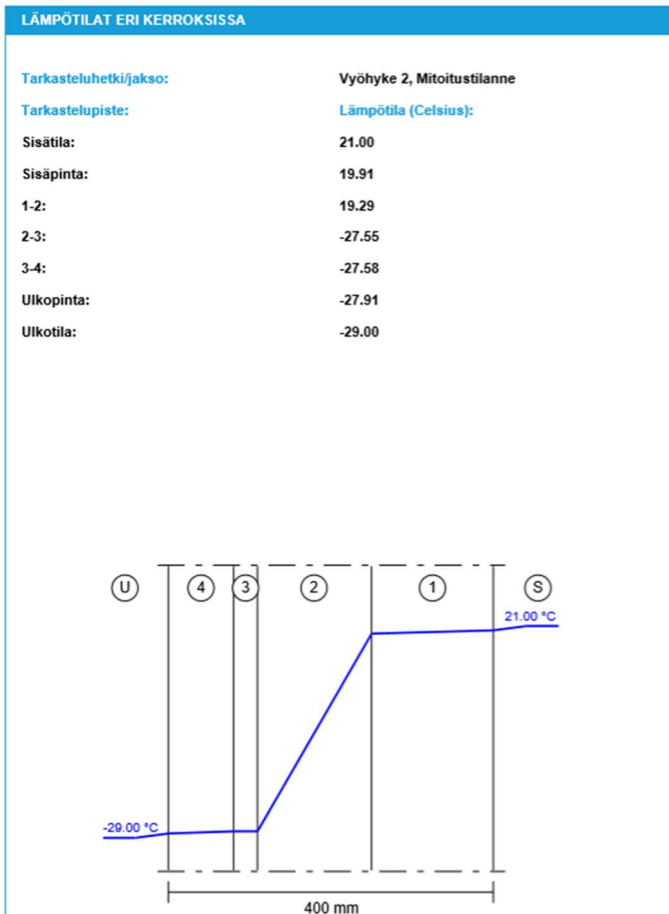
Rakennetyyppi RT3

RAKENNEKERROKSET			
Kerros:	Paksuus: (mm)	Materiaali:	Lambda: (W/mK)
1	150.00	Betoni, korkeatiheksinen 2400 kg/m ³	2.000
2	140.00	Therma TW57	0.025
3	30.00	Tuuletusväli	10.000
4	80.00	Betoni, korkeatiheksinen 2400 kg/m ³	2.000

The diagram shows a cross-section of a wall assembly with four distinct layers. From right to left, the layers are labeled 1, 2, 3, and 4. The total thickness of the assembly is indicated as 400 mm. The diagram is bounded by U and S symbols, representing the indoor and outdoor air environments respectively.

Kuva 4.3.4 RT2 ($\alpha=0,8$) rakennetyypin rakennekerrosten tiedot.

Rakennetyyppi RT3



Kuva 4.3.5 DOF-lämpö ohjelmalla saadaan RT3 ($\alpha=0,8$) rakennetyypille kuvan mukainen lämpö-käyrä.

5. RAKENNETYYPEISSÄ KÄYTETTYJEN ERISTEIDEN PALO-OMINAISUUDET

5.1 Paloturvallinen ulkoseinä

Tupakointi, tahallinen sytyttäminen, huolimattomuus tulenkäytössä ja sähkölaitteet ovat yleisimpiä sytymissyitä tulopaloihin. Vuonna 2018 Suomessa kuoli tulipaloissa 51 ihmistä, mikä on alhainen, kun sitä verrataan aikaisempien vuosien lukuihin. Rakentamistavoilla voidaan vaikuttaa merkittävästi palon leviämiseen ja hallitsemiseen, mutta palonsyttymistä on erittäin vaikeata estää rakenteellisesti. Rakentamista on viime vuosina ohjattu paloturvallisuuden kannalta parempaan suuntaan sekä viranomaisten parantuneen turvallisuusviestinnän avulla, että jatkuvasti lisääntyvillä ja tarkentuvilla palomääräyksillä. (Yle.fi 2018)

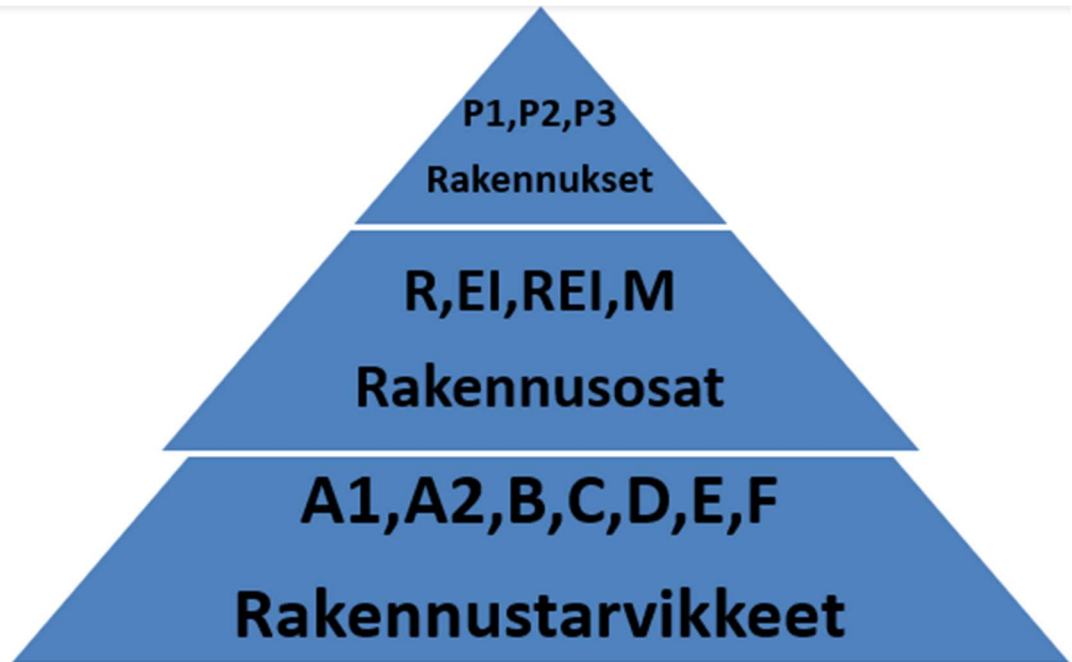
Rakennuksilla, rakennusosilla ja rakennustarvikkeilla on oma paloluokitusjärjestelmä (kuva 5.1.2). Paloluokituksessa kukin edellä mainituista jaetaan paloluokkiin. Paloluokkien avulla rajoitetaan rakennusten kokoa ja käyttötapaa. Rakennusten paloturvallisuussuunnittelu alkaa paloluokan määrittämisellä. Se riippuu rakennuksen käyttötarkoituksen vaativuudesta, kerroslukumäärästä ja koosta.

Rakennuksen paloluokkia on kolme. Nämä ovat P1, P2 ja P3. P1 paloluokkaan kuuluvat kaikkein vaativimmat rakennukset, joiden tulee kestää palotilanne sortumatta. Kerrostalot kuuluvat pääosin paloluokkaan P1, Teollisuusrakennukset luokkaan P2 ja pientalot luokkaan P3. Rakennusosien paloluokituksella halutaan estää rakennuksen sortuminen ja palon leviäminen joko kokonaan tai määrätyn ajan. Rakennusosien kantavuus R, tiiviys E ja eristävyys I sekä palonkestävyysaika määrittävät rakennusosan paloluokan. Rakennustarvikkeille taas paloluokitus perustuu rakennusmateriaalin käyttäytymiseen palossa sekä siihen, miten se osallistuu paloon. Niitä kuvataan seuraavilla merkinnöillä (poissulkien lattiapäällysteet ja putkimaisia lämmöneristeet): A1, A2, B, C, D, E, F. Lisämääreet s ja d kuvaavat rakennustarvikkeen savuntuottoa ja palava pisarointia.

”Luokkavaatimuksen täyttyminen on osoitettava kokeellisesti, laskennallisesti, yhdistämällä koe- ja laskennalliset tulokset tai käyttämällä hyväksyttävää **taulukkomitoitusta**. Luokkavaatimuksen mukaisuus määräytyy standardisoidun lämpötila-aikakäyrän perusteella.” (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017) Kuvassa 5.1.1 esitetään taulukkomitoituksessa tarvittavaa tietoa.

Käyttötarkoitus ja paloluokka	Ulkoseinän ulkopinta	Tuuletusvälin ulkopinta	Tuuletusvälin sisäpinta	Ehdot luokkien käytölle
Yli 56 m korkea rakennus	A2-s1, d0	A2-s1, d0	A2-s1, d0	
P1-paloluokan enintään 56 m korkea rakennus, yleensä	B-s1, d0	B-s1, d0	B-s1, d0	1)
Enintään 28 m korkea asuin- ja työpaikkarakennus, yleensä	B-s2, d0	B-s2, d0	B-s1, d0	6)
– asuinrakennus, kun korjaus- ja muutostyössä on käytetty lisälämmöneristystä, joka ei täytä eristävältä osaltaan B-s1, d0 -vaatimusta ja jonka paksuus on enintään 100 mm	B-s2, d0	B-s2, d0	B-s1, d0	7)
– ulkoseinän ulkopinnan osa mikäli osaa ympäröivät rakenteet suojaavat seinäpintaa palon leviämisläpäältä	D-s2, d2	D-s2, d2	B-s1, d0	6)
– asuinrakennus, ylin kerros	D-s2, d2	D-s2, d2	A2-s1, d0	6) 4)
Yli 14 m ja enintään 28 m korkea asuin- ja työpaikkarakennus	D-s2, d2 *	D-s2, d2 *	B-s1, d0*	1) 2) 3) 4) 5)
Enintään 14 m korkea asuin- ja työpaikkarakennus	D-s2, d2	D-s2, d2	B-s1, d0	1) 2) 3) 4)
1–2-kerroksinen ja enintään 28 m korkea tuotanto- tai varastorakennus sekä kokoontumis- ja liikerakennus	D-s2, d2	D-s2, d2	B-s1, d0	3) 4) 5) 6) 8)
P2-paloluokan rakennus				
Yli 2-kerroksinen ja enintään 28 m korkea rakennus, yleensä	B-s2, d0 *	B-s2, d0 *	K ₂ 10, A2-s1, d0*	
– asuin-, majoitus- ja työpaikkarakennus sekä kokoontumis- ja liikerakennus	D-s2, d2 *	D-s2, d2 *	K ₂ 10, A2-s1, d0*	2) 3) 4) 5)
Yli 2-kerroksinen ja enintään 14 m korkea asuinrakennus, jonka kellari ja kerrokset kuuluvat asuinnoittain samaan asuinhuoneistoon	D-s2, d2	D-s2, d2	B-s1, d0	2) 3) 4)
Enintään kaksikerroksinen rakennus, yleensä	D-s2, d2	D-s2, d2	D-s2, d2	
– hoitolaitokset	B-s2, d0 (D-s2, d2 *) ³⁾	B-s2, d0 (D-s2, d2 *) ³⁾	B-s1, d0	
P3-paloluokan rakennus	D-s2, d2	D-s2, d2	ei vaatimusta	
<p>Parvekkeissa noudatetaan ulkoseinän ulkopinnan vaatimuksia. Kuitenkin enintään 28 metriä korkean rakennuksen varatietä käyttöönsä suunnitellun parvekkeen pintojen vaatimus, pois lukien lattiat, on B-s2, d0. Edellä mainitusta poiketen, P2-paloluokan yli 2-kerroksisen rakennuksen parvekkeen palkit ja pilarit voivat olla D-s2, d2 -luokkaa, jos parveke on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla. Vaatimukset eivät koske vähäisiä pintoja, kuten käsijohteita. Avoimen luhtikäytävän osalta noudatetaan uloskäytävälle asetettuja vaatimuksia. Kuitenkin 2-kerroksisen P2-paloluokan rakennuksen luhtikäytävän seinät ja pilarit voivat olla D-s2, d2 -luokkaa. Yli 2-kerroksisen P2-paloluokan rakennuksen luhtikäytävän palkit ja pilarit voivat olla D-s2, d2 -luokkaa, jos luhtikäytävä on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla. Vaatimukset eivät koske vähäisiä pintoja, kuten käsijohteita. Julkisivuverhoilun kiinnitystarvikkeet voivat vähäisessä määrin olla D-s2, d2 -luokkaa enintään 28 m korkeassa rakennuksessa.</p> <p>1) Jos lämmöneriste ei eristävältä osaltaan täytä B-s1, d0-vaatimusta, ulkopinnan pintarakenteiden on suojattava eristettä palolta niin, että suojaus vastaa EI 30 rakennusosaa tai tuuletusvälin sisäpinta on varustettava K₂ 30, A2-s1, d0 suojaverhouksella.</p> <p>2) Lukuun ottamatta ensimmäistä kerrosta ja varateiden ylä- ja alapuolella olevia pintoja, joiden osallistuminen paloon voi vaarantaa varatien käytön.</p> <p>3) Palon leviämisen tuuletusväliin on oltava rajoitettu kerroksittain ja palon leviäminen vaakasuunnassa osastoidun porrashuoneen ulkoseinän tuuletusväliin on oltava estetty.</p> <p>4) Palon leviämistä julkisivusta ullakkoon ja yläpohjaan on rajoitettava niin, että se vastaa EI 30-rakennusosaa.</p> <p>5) Julkisivurakenteen laajojen osien putoamista palon sattuessa on rajoitettava.</p> <p>6) Jos lämmöneriste ei eristävältä osaltaan täytä B-s1, d0-vaatimusta, ulkopinnan pintarakenteiden on suojattava eristettä palolta niin, että suojaus vastaa EI 15 rakennusosaa tai tuuletusvälin sisäpinta on varustettava K₂10, A2-s1, d0 suojaverhouksella.</p> <p>7) 25 §:n mukaista eristekerroksen katkaisua vaakasuunnassa ei edellytetä, jos huomautuksen 6) vaatimukset täyttyvät.</p> <p>8) Ulkoseinän ikkunoineen ja muine aukkoineen on täytettävä EI 30 vaatimus.</p> <p>* Rakennus on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla.</p>				

Kuva 5.1.1 Ulkoseinän ulkopinnan ja tuuletusvälin pintojen luokkavaatimukset (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017)



A1 = Tarvikkeet, jotka eivät osallistu lainkaan paloon (palamaton).

A2 = Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on erittäin rajoitettu.

B = Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyvin rajoitettu.

C = Tarvikkeet, jotka osallistuvat paloon rajoitetusti.

D = Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyväksyttävissä.

E = Tarvikkeet, joiden käyttäytyminen palossa on hyväksyttävissä.

F = Tarvikkeet, joiden käyttäytymistä ei ole määritetty.

s1 = Savuntuotto on erittäin vähäistä.

s2 = Savuntuotto on vähäistä.

s3 = Savuntuotto ei täytä s1 eikä s2 vaatimuksia.

d0 = Palavia pisaroita tai osia ei esiinny.

d1 = Palavat pisarat tai osat sammuvat nopeasti.

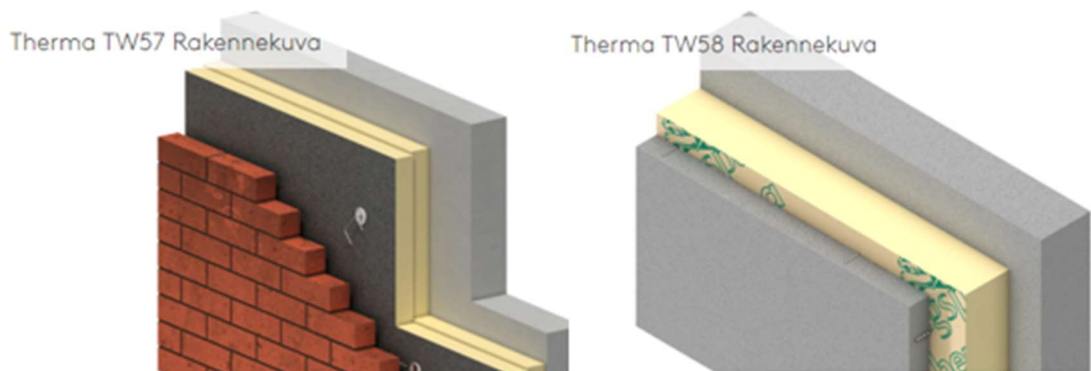
d2 = Palavien pisaroiden tai osien tuotto ei täytä d0 eikä d1 vaatimuksia.

Kuva 5.1.2 Rakennuksilla, rakennusosilla ja rakennustarvikkeilla on oma paloluokitusjärjestelmä (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017).

5.2 Tarkasteltavien rakennetyyppien palotekninen toimivuus

5.2.1 Kingspan Therma TW 57 ja Kingspan Therma TW 58 eristeiset rakennetyypit

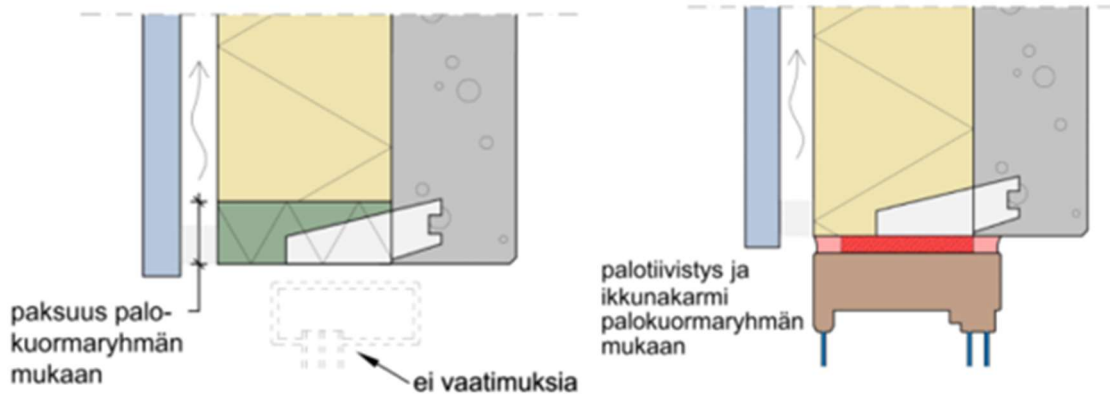
Rakennetyypeissä RT1, RT2 tai RT3 on käytetty joko Kingspan Therma TW57 tai Kingspan Therma TW58 (kuva 5.2.1). 848/2017 asetuksen 25 ja 26 pykälien avulla määritellään palosuojaukset Kingspan Therma TW57 tai Kingspan Therma TW58 -eristeiselle julkisivulle (taulukkomitoitus). Edellä mainittuja eristeitä on mahdollista käyttää P1-luokan julkisivuissa, kun tietyt kriteerit täyttyvät. Nämä kriteerit täyttyvät, kun rakennus on korkeudeltaan enintään 56 metriä, sen kantavarunko on palamaton (väh. A2-s1, d0 luokasta) kuten betoni ja rakenteessa käytettyä eristettä on suojattu sisäpuolelta, aukkojen pielistä ja ulkopuolelta palokuorman mukaan määräytyvän ajan verran. Kingspan TW57 eristeen tuuletusväliä vasten olevan tumman puolen luokka on B-s1, d0 ja sen eristävä osan luokka on D-s2, d0. Runkorakennetta vasten olevalle puolelle ei ole määritetty suoritusastoa. Kingspan TW 58 eristeen eristävän osan luokka on sama kuin TW 58 eristeen luokka ja runkorakennetta vasten olevalle puolelle ei ole myöskään määritetty suoritusastoa koska TW 58-eriste ei ole tarkoitettu käytettäväksi tuuletusraollisissa rakenteissa.



Kuva 5.2.1 Rakennetyypeissä RT1, RT2 ja RT3 käytetyt eristeet (Kingspan.fi 2019).

Betonirakenteessa sisäkuoren vähimmäispaksuus voidaan määrittellä SFS-EN 1992-1-2 ja Suomen kansallisen liitteen mukaisella taulukkomitoitusmenetelmällä. Betoniteollisuus ry:llä on laadittu aiheesta taulukkomitoitusohje. Lämmöneristeen sisäpuolinen palosuojaus on erittäin harvoin sisäkuoren paksuuden mitoittava tekijä. Aukon pieltä voidaan suojata kahdella tavalla. Voidaan käyttää puista apukarmia tai karmikenkää (kuva

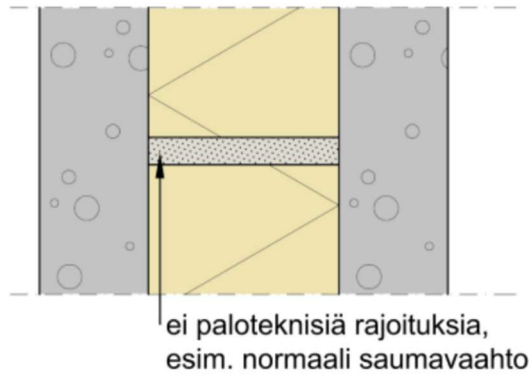
5.2.2). Aukon pielen suojaus ei yleensä määrää apukarmin vähimmäispaksuutta, mutta se voidaan määritellä EN 1995-1-2 mukaisilla puurakenteiden palomitoitusmenetelmillä ja hiiltymisnopeuksien avulla. Kun käytetään karmi kenkää, voidaan aukon pielen suojaus toteuttaa, joko puisen ikkunakarmin ja paloluokitellun tiivistyksen yhdistelmällä tai kuvan 5.2.2 mukaisesti asentamalla eristetilaan kivivillalakaista.



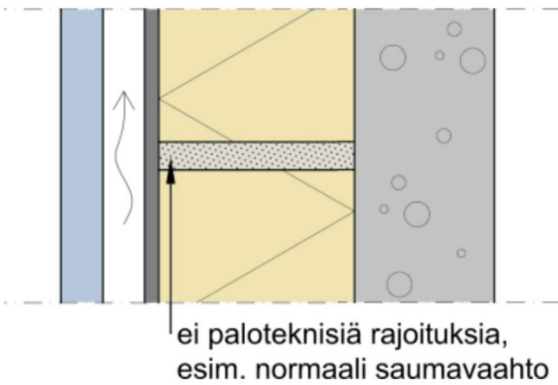
Kuva 5.2.2 Aukon pieltä voidaan suojata käyttämällä, joko puista apukarmia tai karmikenkää (Kingspan Therma™ TW57 ja TW58 P1-paloluokan rakennuksen julkisivussa 2019)

Rakenteen ulkopinta voidaan suojata kahdella tavalla. Rakenteessa voidaan käyttää K2-luokkaista (A2-s1, d0) tuuletuslevyä tai tuuletus väliä vasten olevan B-s1, d0 luokkaisen pinnan ja EI-luokkaisen ulkoverhouksen yhdistelmää. Jälkimmäistä tapaa käytettäessä ei ole tarvetta palon pääsyn estämiseen tuuletusväliin aukkojen pielissä. Vastaavasti jos käytetään toista tapaa, joudutaan estämään palon pääsyä tuuletustilaan aukkojen pielissä (ylhäällä, alhaalla ja sivuilla) rakenteella, joka vastaa palonkestoajaltaan ulkoverhouksen palonkestoaikaa. Jos lämmöneristeessä käytetään eristävää osaa, joka ei täytä D-s2, d2 vaatimuksia tulee käyttää kerrosten välisiä palokatkoja.

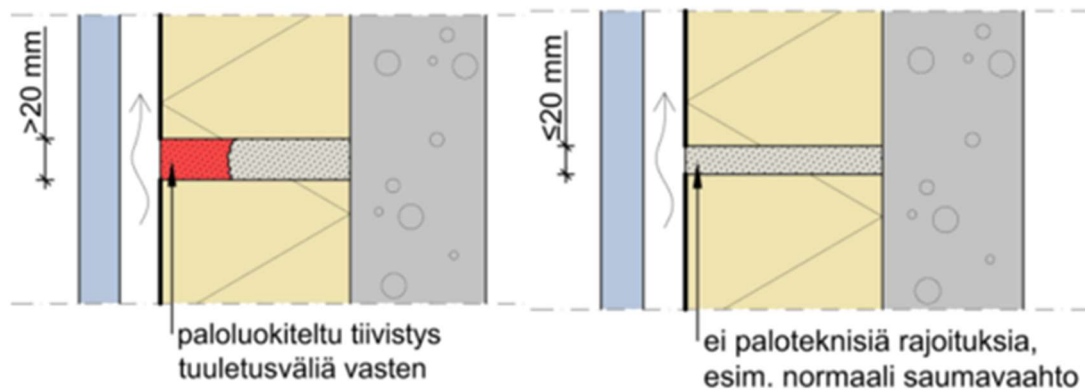
Lämmön eristeen ulkopinnalle eli tuuletusvälin sisäpinnalle on myös asetettu vaatimuksia. Tuuletusvälin sisäpinta ei saa olla luokaltaan B-s1, d0 luokkaa huonompaa. Betoni-sandwich rakenteessa eristeiden välisille saumoille ei ole asetettu paloteknisiä rajoitteita, sillä betoni peittää saumoja ja eikä rakenteessa ole tuuletusrakoa, jolloin on mahdollista käyttää normaalia saumavaahtoa saumojen tiivistyksessä (kuva 5.2.3). Tuuletetussa rakenteessakaan ei ole paloteknisiä rajoitteita eristeiden välisille saumoille, jos lämmöneristeen ulkopinnalla on erillinen suojaava kerros, joka suojaa saumoja palolta (kuva 5.2.4). Kun tuuletetussa rakenteessa käytetään Kingspanin Therma™ TW57 eristettä voidaan alle 20 mm avosaumat esimerkiksi tiivistä normaalilla saumavaahdolla, sillä niille ei ole asetettu paloteknisiä rajoituksia, mutta yli 20 mm avosaumojen ulkopintaan tarvitaan palon etenemistä hidastava tiivistettä (esim. palovaahdotiivistys (EN 13501-2) tai mineraalivillasullonta.) (kuva 5.2.5). (Kingspan Therma™ TW57 ja TW58 P1-paloluokan rakennuksen julkisivussa 2019)



Kuva 5.2.3 Kun ulkokuori suojaa eristettä, saumausmateriaalille ei ole paloteknisiä rajoituksia (Kingspan Therma™ TW57 ja TW58 P1-paloluokan rakennuksen julkisivussa 2019).



Kuva 5.2.4 Kun erillinen suojaava kerros suojaa eristettä, saumausmateriaalille ei ole rajoituksia (Kingspan Therma™ TW57 ja TW58 P1-paloluokan rakennuksen julkisivussa 2019)



Kuva 5.2.5 Eristeiden välisen sauman palotekniset rajoitukset (Kingspan Therma™ TW57 ja TW58 P1-paloluokan rakennuksen julkisivussa 2019).

Rakenteen RT1 sisäkuoren paksuus on 80 mm ja rakenteen RT2 sisäkuoren paksuus on 150 mm, mitkä suojaavat hyvin lämmöneristeen sisäpuolta. 80 mm paksuudella saavutetaan EI60 luokitus (betonin lujuus $\leq C50/60$, betonin paksuuden ja vapaan korkeuden suhde ≤ 40) eli sisäkuori säilyy tiiviinä ja eristää kuumuudelta 60 minuutin ajan, joka täyttää sekä asuintilojen lämmöneristeen sisäpuolisen suojausvaatimuksen (30 minuuttia), että varastotilan suojausvaatimuksen (45 minuuttia). Täten voidaan myös todeta, että 150 mm paksuinen sisäkuorikin täyttää vaadittavia vaatimuksia ja suojaa lämmön eristeen sisäpuolta. ” Puun hiiltymärajan sijainnin isotermin on EN 1995-1-2 mukaisessa tarkastelussa $+300\text{ °C}$. Hiiltymärajan takana 10 mm syvyydessä puun lämpötila on noin $+120\text{ °C}$ [Mikkola, E. Puun hiiltyminen. VTT Tutkimuksia 689. 1990. 40s], joka on alhaisempi lämpötila kuin esimerkiksi EI-luokitusarvoinen kriteeri ($+140\text{ °C}$). Puitse apukarmin vähimmäispaksuus voidaan siis määrittää EN 1995-1-2 mukaisen hiiltymän mukaan, johon lisätään 10 mm.”(Kingspan). Tällöin EN 1995-1-2 mukaisen hiiltymän mukaan havu ja lehtipuusta tehdyille tarvikkeille, jotka ovat tiheydeltään suurempia kuin 290 kg/m^3 saadaan 45 minuutin jälkeen hiiltymärajan syvyydeksi 30 mm ja kun tähän lisätään 10mm, saadaan apukarmin vähimmäispaksuudeksi 40 mm.

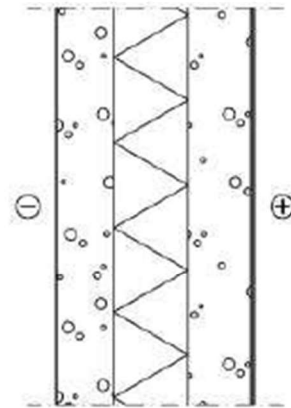
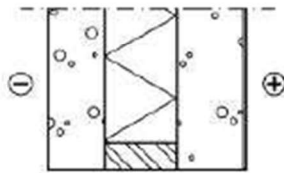
Molempien (RT1 ja RT2) rakennetyyppien apukarmin paksuus (noin 50 mm) on vähimmäispaksuutta suurempaa, jolloin vaatimukset täyttyvät. ” 60 mm paksulla ulkokuorella saavutetaan EI 30 luokitus (betonin lujuus $\leq C50/60$, betonin paksuuden ja vapaan korkeuden suhde ≤ 40)”. Ulkokuoren paksuus on molemmissa kohteissa 80 mm mikä takaa vähintään EI 30 palonkeston, täten myös täyttää vaatimukset ja antaa tarvittavan suojan lämmöneristeen ulkopinnalle. Koska kyseisissä rakenteissa käytetään lämmöneristeitä, jotka kuuluvat eristäväältä osaltaan D-s2, d0 luokkaan ja näin olleen täyttävät myös D-s2, d2 luokkavaatimuksen, kerrosten välisiä palokatkoja ei tarvitse asentaa. On myös mainittava, että koska betoni peittää eristeiden välisiä saumoja, voidaan näiden saumojen tiivistyksessä käyttää normaalia saumavaahtoa. Tässä esitellyt rakennetyypin RT1 palotekniset ominaisuudet on esillä kootusti kuvassa 5.2.6 ja RT3 rakenteen osalta kuvassa 5.2.7.

Rakennetyyppi RT1

Kohteen tiedot	
Rakennuksen korkeus	38 m
Rakennuksen käyttötarkoitus	Asunto
Rakennuksen paloluokka	P1
Ulkoseinään rajoittuvien tilojen palokuormaryhmät	Asuintilat alle 600 MJ/m ² , Varastotilat 600 – 1200 MJ/m ²
Sprinklaus	Ei sprinklausta

Ulkoseinän rakennetyyppi: SW-elementti

Betoninen ulkokuori	80 mm
Kingspan Therma™ TW58	140 mm lämmöneriste
Betoninen sisäkuori	80 mm
Aukkojen pielessä puiset apukarmit	48 mm



Kingspan Therma™ TW58 -eristeen palo-ominaisuudet

- tuote NPD (betonia vasten)
- eristävä osa D-s2, d0

Asetuksen (848/2017) mukaiset vaatimukset

1. Suojausvaatimus sisäpuolelta (16 § taulukko 6 ja 25 §)	Asuintilat 30 minuuttia (palokuorma alle 600 MJ/m ²) Varastotilat 45 minuuttia (palokuorma 600 – 1200 MJ/m ²)
2. Suojausvaatimus aukon pielessä (16 § taulukko 6 ja 25 §)	Asuintilat 30 minuuttia (palokuorma alle 600 MJ/m ²) Varastotilat 45 minuuttia (palokuorma 600 – 1200 MJ/m ²)
3. Suojausvaatimus ulkopuolelta (26 § taulukko 8)	E15 (rakennuksen korkeus enintään 28 metriä)
4. Ei kerrostenvälisiä kalkoja eristekerroksessa (25 §)	Lämmöneristeen eristävän osan luokka väh. D-s2, d2

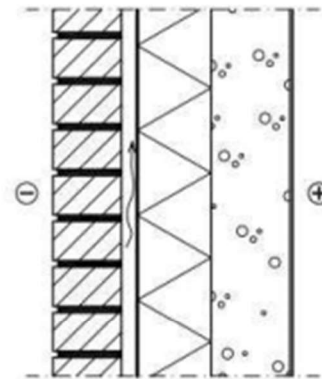
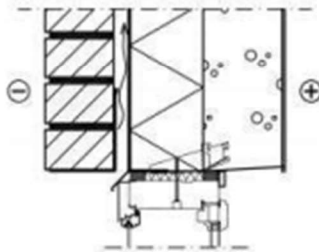
Kuva 5.2.6 Rakennetyyppi RT1:n tiedot ja asetuksen (848/2017) mukaiset vaatimukset (Kingspan Therma™ TW57 ja TW58 P1-paloluokan rakennuksen julkisivussa 2019).

Rakennetyyppi RT3

Kohteen tiedot	
Rakennuksen korkeus	38 metriä
Rakennuksen käyttötarkoitus	Asunto
Rakennuksen paloluokka	P1
Ulkoseinään rajoittuvien tilojen palokuormaryhmä	Asuintilat alle 600 MJ/m ² , Varastotilat 600-1200 MJ/m ²
Sprinklaus	Ei sprinklausta

Ulkoseinän rakennetyyppi: SK-elementti

Tiilimuuraus 135 mm
Tuuletusväli 30 mm
Kingspan Therma™ TW57 140 mm lämmöneriste
Betoninen sisäkuori 150 mm
Aukkojen pielissä karmikengät



Kingspan Therma™ TW57 -eristeen palo-ominaisuudet:

- tumma puoli B-s1, d0 (tuuletusväliä vasten)
- vaalea puoli NPD (betonia vasten)
- eristävä osa D-s2, d0

Asetuksen (848/2017) mukaiset vaatimukset

1. Suojausvaatimus sisäpuolelta (16 § taulukko 6 ja 25 §)	30 minuuttia (palokuorma alle 600 MJ/m ²)
2. Suojausvaatimus aukon pielissä (16 § taulukko 6 ja 25 §)	30 minuuttia (palokuorma alle 600 MJ/m ²)
3. Suojausvaatimus ulkopuolelta (26 § taulukko 8)	Ulkoverhoitus EI 30, tuuletusvälin sisäpinta B-s1, d0 ja tuuletusvälin suojaus aukon pielissä (rakennuksen korkeus enintään 56 metriä)
4. Ei kerrostenvälisiä katkoja eristekerroksessa (25 §)	Lämmöneristeen eristävän osan luokka väh. D-s2, d2

Kuva 5.2.7 Rakennetyyppi RT3:n tiedot ja asetuksen (848/2017) mukaiset vaatimukset (Kingspan Therma™ TW57 ja TW58 P1-paloluokan rakennuksen julkisivussa 2019).

Rakennetyypin RT 3 sisäkuoren paksuus (150 mm), ikkunakarmin paksuus (noin 50 mm) ja lämmön eristeen eristävä osa (D-s2, d0) täyttävät paloteknisiä vaatimuksia ja myös 135 mm:n kuorimuuraus (taulukko 5.1) täyttää ulkoverhoukselle vaadittavan EI 30 vaatimuksen. Rakennetyypissä käytetyn lämmöneristeen ulkopinta (tumma puoli) täyttää vaaditun vaatimuksen, sillä se kuuluu B-s1, d0 luokkaan. Kingspan Nurkkalaminaatilla palosuojataan ulkonurkan paljasta vaahtoydintä ja rakenteen eristelevyjen väliin jääviä yli 20 mm leveäitä avosauvoja tiivistetään palovaahdolla, mutta alle 20 mm saumoja tiivistetään normaalilla saumavaahdolla. Aukkojen pielissä ei käytetä palokatkoja, sillä palotilanteessa Kingspan ThermaTM TW57 -eristeen tumma erikoispinnoite paisuu ja tukkii enintään 30 mm tuuletusraon. Kaiken kaikkiaan voidaan todeta, että kyseensomaiset rakenteet ovat paloteknisesti toimivia ja täyttävät asetettuja vaatimuksia.

Taulukko 5.1 Muuratun seinän minimipaksuus (mm) eri palonkestävyysluokissa EI (osastoiva kantamaton rakenne), REI (osastoiva kantava rakenne) ja R (kantava osaston sisäinen rakenne) (B8 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007).

Palonkestävyysluokka, palonkestoaika (minuutteina)	Muuratun seinän minimipaksuus (mm)					
	30	60	90	120	180	240
EI	70	85	100	110	130	160
REI	100	100	100	110	180	235
R ¹	100	120	135	200	235	300

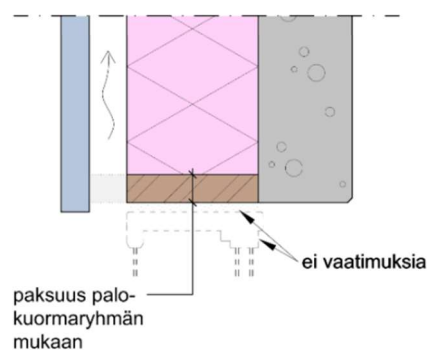
¹ Seinän pituus vähintään 1 m.

5.2.2 Kooltherm eristeiset rakennetyypit

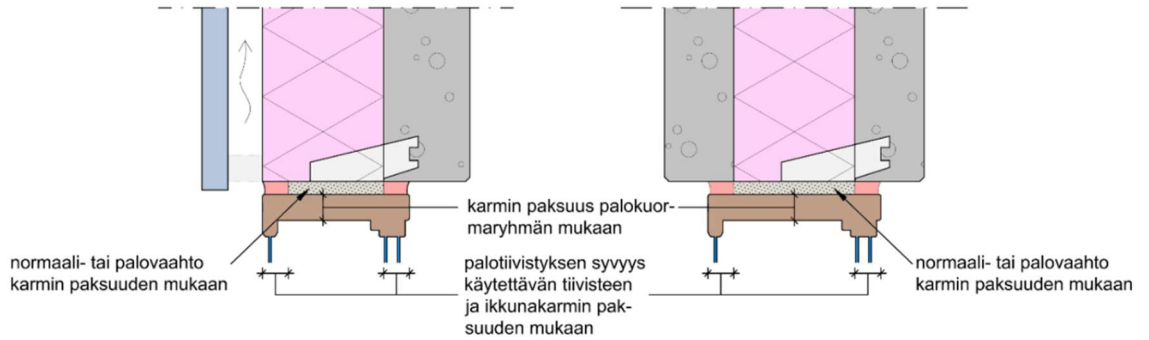
Rakennetyypit RT4 ja RT6 ovat Kingspan Kooltherm eristeisiä julkisivuja. Asetus antaa Kingspan Kooltherm eristeisille julkisivuille kolme vaihtoehtoista tapaa todistaa palosuojauksien toimivuuden. Nämä ovat taulukkomitoitus, täyden mittakaavan polttokoe ja kohdekohtainen palomitoitus. Kingspan Kooltherm K15 lämmöneristettä voidaan käyttää P1-luokan julkisivuissa, kun tietyt kriteerit täyttyvät. Nämä täyttyvät, kun rakennus on korkeudeltaan enintään 56, sen kantavarunko on palamaton (väh. A2-s1, d0 luokkaista) kuten betoni ja rakenteessa käytettyä eristettä on suojattu sisäpuolelta, aukkojen pielistä ja ulkopuolelta määrätyn ajan verran. Suojaukset ja periaatteet, joita seuraavaksi esitetään pohjautuvat taulukkomitoitukseen. Betonielementtirakenteessa eristeen sisäpintaa suojataan rakenteen sisäkuorella. Eristeen sisäpinnan suojaus on harvoin betonirakenteen sisäkuoren paksuutta määräävä tekijä, mutta sisäkuoren paksuutta voi määritellä taulukkomitoitusmenetelmällä (SFS-EN 1992-1-2 ja Suomen kansallinen liite).

Taulukkomitoitus tapaa hyödyntäessä käytetään aina suojausta aukkojen pielissä, jos rakenteessa käytettävän eristeen eristävä osa on luokaltaan huonompi kuin B-s1, d0 (Kingspan Kooltherm® eristäväosan luokka on C-s1, d0). Aukkojen pieltä voidaan suojata joko puisella apukarmilla tai karmikengällä. Aukon pielen suojaus ei yleensä määrää apukarmin vähimmäispaksuutta, mutta se voidaan määrittellä EN 1995-1-2 mukaisilla puurakenteiden palomitoitusmenetelmillä ja hiiltymisnopeuksien avulla. Puista apukarmia (kuva 5.2.8) käytettäessä voidaan tiivistyksissä käyttää normaaleja tiivistystuotteita (esim. normaalia saumavaahtoa), sillä suojaus oletetaan perustuvan vain puiseen apukarmiin ja laskennallisessa tarkastelussa oletetaan, että apukarmi on palolle alttiina ilman suojaa. Karmikengää ja puista karmia käytettäessä puisen karmin vähimmäispaksuus määräytyy samalla tavalla kuin puisen apukarmin vähimmäispaksuus. Karmin ja eristeen välinen saumaa tulee tiivistää luokitelluilla tiivistyksillä ja täten mahdollistaa karmin osallistumisen eristeen suojaamiseen (kuva 5.2.9). Puisen karmin tulee myös peittää koko eristekerroksen ja mahdolliset luokitellut tiivistykset.

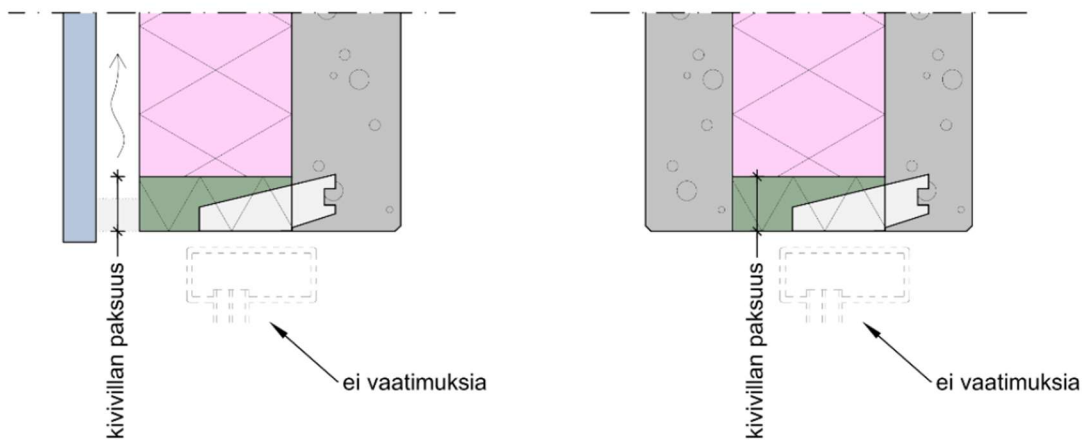
Varsinaiselle palotiivistykselle (esim. paloakryyli tai -silikoni) on myös asetettu vaatimuksia. Palotiivistyksen syvyyden mitta tulisi olla vähintään karmin vähimmäispaksuuden mitan verran ja sen pitäisi olla kokonaisuudessaan betonisen sisäkuoren / ulkokuoren ja puisen karmin välissä, jotta varmistuttaisiin, ettei palo pääse kiertämään ennenaikaisesti palotiivistyksen ohi. Aukkojen pielen suojauksessa voidaan vaihtoehtoisesti käyttää karmikengää ja alumiinikarmia, jolloin palosuojauksessa tulee käyttää kivivillakaistaa, jota usein asennetaan kokonaisuudessaan eristetilaan (kuva 5.3.1). Kivivillakaistan paksuuden ja tuotetyypin määrää tilan palokuormaryhmän mukaan määräytyvä suojausaika-vaatimus.



Kuva 5.2.8 Puinen apukarmin paksuus määräytyy palokuormaryhmän mukaan (Kingspan Kooltherm®-palosuunnitteluohje 2019)



Kuva 5.2.9 Karmikengän käyttö ja saumausmateriaalin ja rajoitukset (Kingspan Kooltherm® -palosuunnitteluohje 2019).

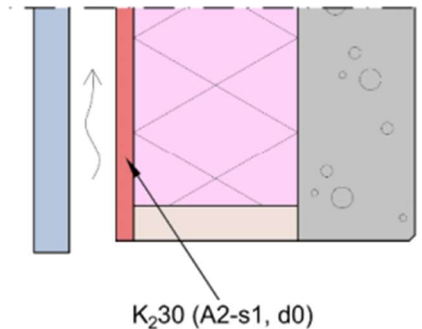


Kuva 5.3.1 Kivivillan käyttö palosuojauksessa (karmikengä ja alumiinikarmi) (Kingspan Kooltherm® -palosuunnitteluohje 2019).

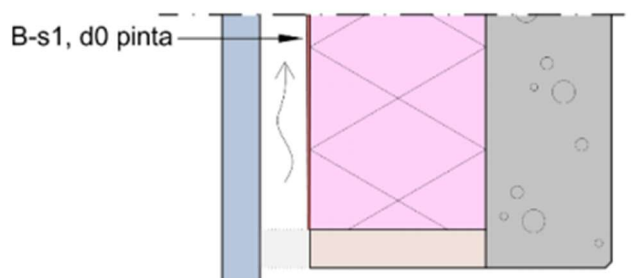
Enintään 56 m korkean rakennuksen eristettä voidaan suojata kahdella tavalla. Eristeen suojaus voidaan toteuttaa joko eristeen ulkopintaan tulevalle suojauskerroksella tai ulkopinnan pintarakenteella. Käytettäessä ensimmäistä tapaa (kuva 5.3.2) eristeen ulkopinnalle tulevalle suojauskerrokselle on asetettu vaatimuksia, mutta ulkopinnan pintarakenteille eli ulkoverhoukselle ja tuuletusväliä suojaavalle rakenteelle aukkojen reunoilla ei aiheudu lisävaatimuksia eristeratkaisusta. Suojauskerroksen tulee täyttää K₂30 suojauskerroksen vaatimus (esim. sementtikuitu-, kipsilevyt), tämä tarkoittaa, että suojauskerros koostuu vähintään A2-s1, d0 luokkaisista tarvikkeista.

Vastaavasti jos käytetään vaihtoehtoista tapaa (kuva 5.3.3), eristeen ulkopinnalta vaaditaan vähintään Bs1, d0 luokkaa ja tämän lisäksi ulkopinnan pintarakenteilta (5.3.4) vaaditaan eristeelle palosuojauksia, joka vastaa EI 30 rakennusosaa. Tuuletusväliä tulee suojata aukon kaikilta reunoilta (esim. ylä- ja sivuosissa voidaan käyttää palokatkoprofiileja tai onteloventtiilejä) vähintään 30 minuuttia, jotta välttyttäisiin palon ennenaikaisesta

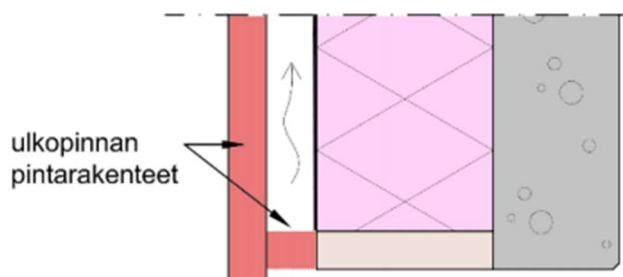
leviämisestä aukkojen reunoilta ja täten myös ulkoverhouksen suojaavuuden heikennyksestä. Ulkonurkissa Kingspan Kooltherm® -eristeenpaljasta vaahtoydintä tulee suojata saman luokan täyttävällä pinnalla kuin muuallakin tuuletusvälissä. (Kingspan Kooltherm® -palosuunnitteluohje. 2019, Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017)



Kuva 5.3.2 Suojauskerrokselle on asetettu vaatimus (Kingspan Kooltherm® -palosuunnitteluohje 2019).



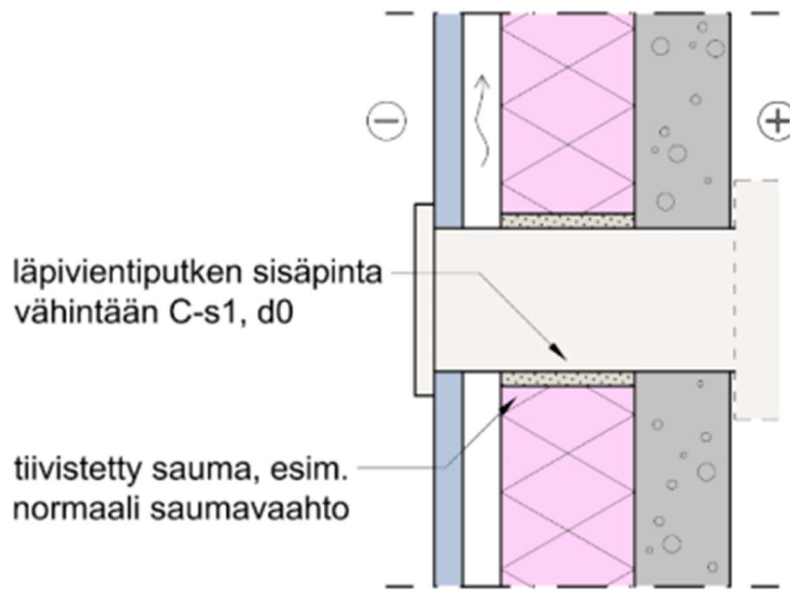
Kuva 5.3.3 Eristeen ulkopinnalta vaaditaan vähintään Bs1, d0 luokkaa (Kingspan Kooltherm® -palosuunnitteluohje 2019).



Kuva 5.3.4 Ulkopinnan pintarakenteet (Kingspan Kooltherm® -palosuunnitteluohje 2019).

On myös mainittava, että lämmön eristeen valinnasta ei synny lisärajoitteita julkisivuverhoilun kiinnitystarvikkeiden valintaan, kun käytetään taulukkomitoitusta. Saumojen tiivisyksessä käytetään samoja suojaus- periaatteita ja etäisyyksiä kuin Kingspan TW57 ja

TW 58 eristeisessä julkisivuissa (katso kpl 5.2.1). Julkisivurakenteessa läpivienti toteutetaan kuvan 5.3.5 mukaisesti niin, että läpivientikohdan eristettä suojataan vähintään C-s1, d0 luokan rakennusosalla ja tiivistetään sen ja eristeen välinen sauma. Ympäristöministeriön 848/17 asetuksen ja 25 pykälän mukaan, jos lämmöneristeessä käytetään eristävää osaa, joka ei täytä D-s2, d2 vaatimuksia tulee kerrosten välillä käyttää palokatkoja. (Kingspan Kooltherm® -palosuunnitteluohje. 2019, Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 2017)



Kuva 5.3.5 Läpiviennin toteuttaminen tuulettuvassa julkisivurakenteessa (Kingspan Kooltherm® -palosuunnitteluohje 2019).

Rakenteiden RT4 ja RT6 kantavan sisäkuoren paksuus on 150 mm. Tämä suojaa lämmöneristeen sisäpuolta hyvin. 80 mm paksuudella saavutetaan EI60 luokitus (betonin lujuus $\leq C50/60$, betonin paksuuden ja vapaan korkeuden suhde ≤ 40) eli se täyttää sekä asuintilojen lämmöneristeen sisäpuolisen suojausvaatimuksen (30 minuuttia), että varastotilan suojausvaatimuksen (45 minuuttia). Täten 150 mm paksuinen sisäkuorikin täyttää vaadittavia vaatimuksia ja suojaa lämmön eristeen sisäpuolta. Molempien rakennetyyppien puisen apukarmin paksuus (noin 50 mm) on suurempi kuin EN 1995-1-2 mukaan määräytyvä vähimmäispaksuus (kuva 5.3.6), jolloin voidaan todeta, että vaatimukset täyttyvät.

Ulkoverhouksen EI 30 vaatimus täytetään RT4:ssa 135 mm kuorimuurauksella ja RT6:ssa levyrappauksella. Koska kyseisissä rakenteissa käytetään lämmöneristeitä, jotka kuuluvat eristävältä osaltaan C-s1, d0 luokkaan ja näin olleen täyttävät myös D-s2, d2 luokkavaatimuksen, kerrosten välisiä palokatkoja ei tarvitse asentaa. Kingspanin Kooltherm 15 eristeen ulkopinta (tumma puoli) täyttää vaaditun vaatimuksen, sillä se kuuluu B-s1, d0 luokkaan. Palosuojalaminaattisoirolla (Kingspan Nurkkalaminaatti) suojataan

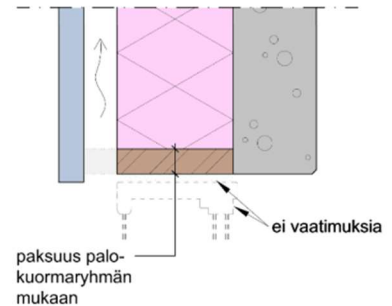
ulkonurkan paljasta vaahtoydintä ja rakenteen eristelevyjen väliin jääviä yli 20 mm leveitä avosauvoja tiivistetään palovaahdolla, mutta alle 20 mm saumoja tiivistetään normaalilla saumavaahdolla. Tuuletusväli suojataan aukon kaikilta reunoilta palokatko-
 fiilillä vähintään 30 minuuttia. Kaiken kaikkiaan voidaan todeta, että kyseenomaiset rakenteet ovat paloteknisesti toimivia ja täyttävät asetettuja vaatimuksia. Tässä esitellyn rakennetyypin RT 3 palotekniset ominaisuudet on esillä kootusti kuvassa 5.3.7.

Havu- ja lehtipuu (liimapuu ja sahatavara) $\geq 290 \text{ kg/m}^3$

- alle 600 MJ/m^2 tai spriklattuna ➔ apukarmi $\geq 20 \text{ mm}$
- $600 - 1200 \text{ MJ/m}^2$ ➔ apukarmi $\geq 30 \text{ mm}$
- yli 1200 MJ/m^2 ➔ apukarmi $\geq 39 \text{ mm}$

Lehtipuu (liimapuu ja sahatavara) $\geq 450 \text{ kg/m}^3$

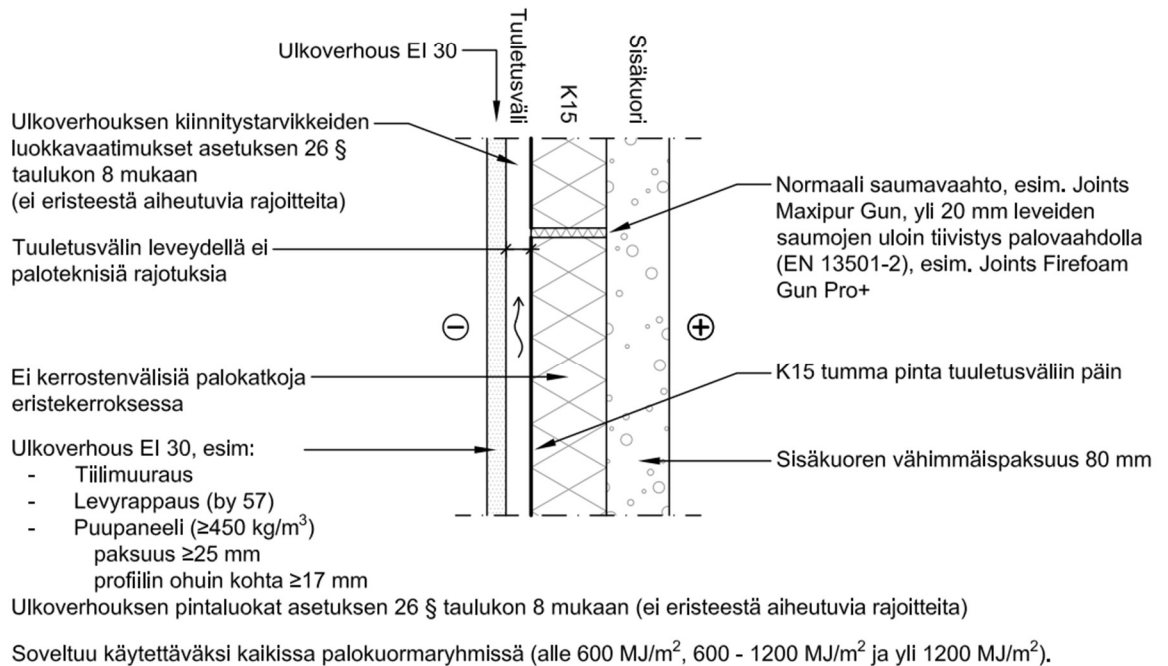
- alle 600 MJ/m^2 tai spriklattuna ➔ apukarmi $\geq 17 \text{ mm}$
- $600 - 1200 \text{ MJ/m}^2$ ➔ apukarmi $\geq 23 \text{ mm}$
- yli 1200 MJ/m^2 ➔ apukarmi $\geq 30 \text{ mm}$



Kuva 5.3.6 EN 1995-1-2 mukaan määräytyvät apukarmien vähimmäispaksuudet (Kingspan Kooltherm® -palosuunnitteluohje 2019).

<p>RAKENNELEIKKAUS, BETONIRUNKO JA EI 30 ULKOVERHOUS</p> <p>Paloturvallisuusasetuksen (848/2017) mukaiset palosuojaukset</p> <p>P1-paloluokan rakennus, ei käyttötarkoituusrajoitusta, korkeus enintään 56 metriä</p>	<p>Kuvan numero</p> <p>C1</p>
---	--------------------------------------

SISÄKUORIBETONI-ELEMENTTI JA TUULETETTU ULKOVERHOUS

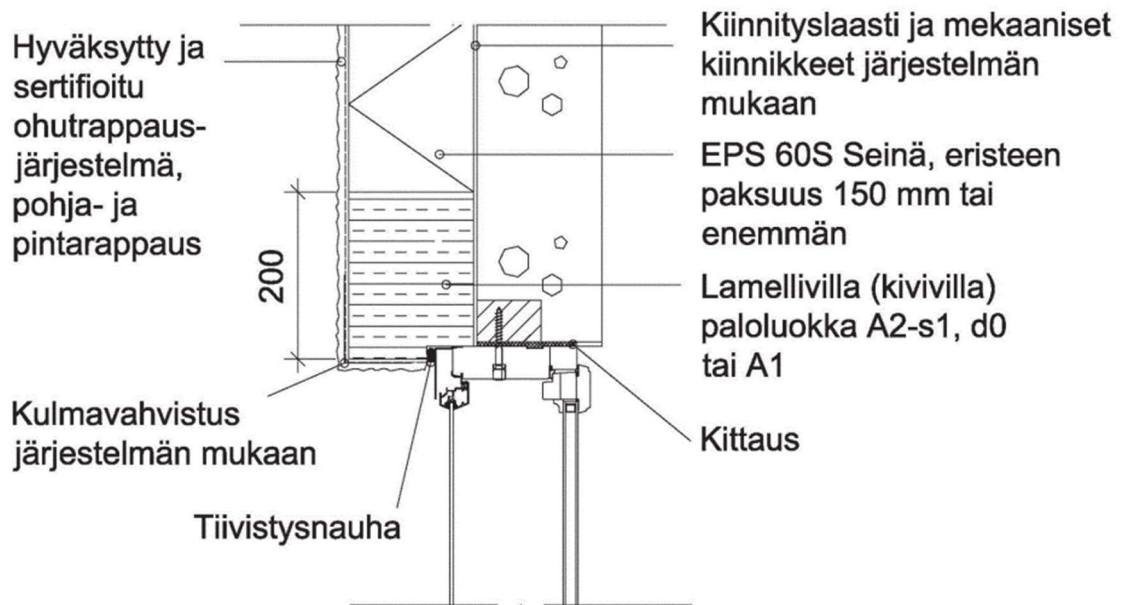


Kuva 5.3.7 Rakennetyyppi 3 tulee täyttää kuvassa esitetyt ehdot (Kingspan Kooltherm® -palosuunnitteluohje 2019).

5.2.3 EPS-eristeiset rakennetyypit

Rakennetyyppi RT 5:n lämmöneriste on EPS. EPS-seinäeristettä tulee kiinnittää seinärakenteeseen, jonka paloluokitus on vähintään A2-s1, d0 ja paksuus vähintään 60 mm. EPS-seinäeristettä tulee myös suojata ulkopuolelta esim. eristettä on täysin suojattava ohutrappauksella (ohutrappaus + EPS-seinäeristejärjestelmän paloluokitus vähintään B-s1, d0) (VTT 2010). "Lämmöneriste, joka ei eristävältä osaltaan täytä D-s2, d2 -luokan vaatimusta, on katkaistava enintään kahden kerroksen välein 28 metrin korkeuteen saakka ja tämän jälkeen kerroksen välein tarvikkeella, joka rajoittaa palon leviämisen etenemisen lämmöneristeessä." EPS-eristeen eristävä osan luokka on E, jolloin palokatkoja tulee käyttää rakenteen eristekerroksessa. Asetuksen mukaan palon leviämisen katkaisu on riittävä kun " ... palon eteneminen eristekerroksessa rajoittuu noin 30 minuuttia". Näin olleen tulee käyttää palokatkoa, jonka eristävä ydin on vähintään D-s2, d2 luokkaa (esim. Kingspan Kooltherm® -eristesoiroja). Tämän lisäksi tulee huolehtia,

että palon leviäminen on eristekerroksessa rajoitettu noin 30 minuutin ajan (KOOLTHERM 2018). Vaihtoehtoisesti voidaan paloleviämistä eristekerroksessa rajoittaa määrätyn ajan (vähintään 30 minuuttia) mineraalivillakaistalla (A2-s1,d0) (kuva 6) tai sijoittamalla mineraalivillakaista (A2-s1,d0) ikkunan yläpuolelle (VTT 2010).



Kuva 5.3.8 Suositeltava ikkuna-aukon yläpuolinen palosuojaus EPS-ohutrappausrakenteelle uudisrakennuskohteissa. (EPS-eristettyjen rakenteiden paloturvallisuus 2006)

Rakenteen RT5 kantavan teräsbetoniseinän paksuus on 150 mm. Tämä suojaa lämmöneristeen sisäpuolta hyvin. 80 mm paksuudella saavutetaan EI60 luokitus (betonin lujuus $\leq C50/60$, betonin paksuuden ja vapaan korkeuden suhde ≤ 40) eli se täyttää sekä asuintilojen lämmöneristeen sisäpuolisen suojausvaatimuksen (30 minuuttia), että varastotilan suojausvaatimuksen (45 minuuttia). Täten 150 mm paksuinen sisäkuorikin täyttää vaadittavia vaatimuksia ja suojaa lämmön eristeen sisäpuolta. Ohutrappauksella täysin suojattuna EPS+ohutrappausrakenteen täyttää paloluokan B as1 d0 vaatimukset, jolloin ehto täyttyy. Koska kyseisissä rakenteissa käytetään lämmöneristettä, joka kuuluu eristäväältä osaltaan E-luokkaan ja näin ollen eivät täytä D-s2, d2 luokkavaatimuksia, on käytetty kerrosten välisiä palokatkoja toisin sanoen on käytetty vähintään 150 mm kor-

keaa eristesoiroa kerrosten välillä, jolloin 30 minuutin palokatko vaatimus täyttyy. Palosuojalaminaattisoirolla (Kingspan Nurkkalaminaatti) suojataan ulkonurkan paljasta vaahtoydyntä ja rakenteen eristelevyjen väliin jääviä yli 20 mm leveäitä avosaumoja tiivistetään palovaahdolla, mutta alle 20 mm saumoja tiivistetään normaalilla saumavaahdolla. Näin olleen voidaan todeta, että kyseinen rakenne on paloteknisesti toimivia ja täyttää asetettuja vaatimuksia.

6. RAKENNUSAIKAISEN KOSTEUDEN KUIVUMI- NEN MUOVI-ERISTEISESSÄ ULKOSEINÄSSÄ

Tässä kandidaatintyössä tarkasteltavissa rakennetyypeissä on mukana sekä Sandwich-rakenteisia (ei tuuletusrakoa), että kuorirakenteisia (tuuletusraallinen) ulkoseiniä. Näissä betonirakenteisissa ulkoseinissä pääasiallinen kosteuden lähde on sisäkuoren (sisäpuolinen betoni) betonin rakennekosteus. Tämä kosteus käyttäytyy eri tavalla riippuen siitä, että läpäiseekö lämmöneristys vesihöyryä vai ei. (Björkholtz 1997)

Jos lämmöneristys on vesihöyryä läpäisevä materiaalia kuten mineraalivillaa, rakenteen kosteus siirtyy ulospäin. Sandwich-elementin kohdalla tämä tarkoittaa kosteuden kondensoitumista (tiivistyminen) ulkokuoren sisäpintaan. Tämän jälkeen tiivistynyt kosteus pyrkii betonin kautta ulos. Kuorirakenteessa taas tilanne on hieman parempi, sillä rakennekosteus ensin osittain tiivistyy julkisivuverhouksen taakse ja osittain tuulettuu tuuletusraon kautta. Kun käytetään lämmöneristettä, joka läpäisee vesihöyryä, voidaan sisäkuoren sisäpintaa maalata ennen kuin rakenteen kosteus on kuivunut kokonaan.

Tilanne on hieman huonompi kosteuden kuivumisen kannalta, kun käytetään lämmön eristettä, joka on vesihöyrytiivis (pinnoitetut solumuovit, joilla tarkoitetaan materiaalia, jonka pinnalla on esim. Al-folio), tällöin rakennekosteuden on kuivuttava kohti lämmintä puolta. Tämän takia seinän sisäpintaa ei saa maalata tiivillä maalilla ennen kuin rakennekosteus on ehtinyt kuivua. Käytännössä riippuen työnlaadusta ja työmaan kosteudenhallinnasta rakennekosteutta voi jäädä kuivumattomaksi huomattava määrä. Tällöin eristeen ja maalin ollessa vesihöyrytiivis, kysein omaisella kosteudella ei ole kuivumisreittiä kumpaankaan suuntaan, jolloin siitä seuraa monenlaisia ongelmia ulkoseinän rakennusfysikaaliselle toiminnalle. Tätä asiaa tullaan tutkimaan tarkemmin vuoden kuluttua diplomityössä.

7. YHTEENVETO

Tämän kandidaatintyön keskeisenä tarkoituksena oli tutkia kuuden erilaisen rakennetyypin kuuden erilaisen P1-luokan asuinkerrostalon ulkoseinän rakennetyypin lämmön- ja palon eristämiskykyä. Rakennetyypeille laskettiin U-arvot sekä käsin että DOF-lämpö nimisellä ohjelmalla. Laskennassa käytettiin eristeiden valmistajien nettisivustolla olevia tietoja kuten lämmönjohtavuusarvoja λ_D . U-arvojen laskennassa huomioitiin myös mekaanisista kiinnikkeistä syntyviä kylmäsiltoja. Rakennetyypeissä, joissa on hyvin tuuletettava ilmakerros, ilmakerroksen ja sen ulkopuolella olevien ainekerroksien lämmönvastoja ei ole otettu huomioon U-arvoa laskettaessa. Tällöin ulkopinnan pintavastuksena käytetään sisäpinnan pintavastusta vastaavaa arvoa. Rakennetyypit RT1, RT2, RT4 ja RT6 vastaavat U-arvoltaan rakentamismääräyskokoelman uudiskohteen 0,17 vertailuarvoa. RT5 alittaa edellä mainitun U-arvon ja RT3 taas ylittää tätä vertailuarvoa. Lisäksi tarkasteltujen rakennetyyppien eristeen paksuutta on taulukossa 4.7 muunnettu vastaamaan matalaenergia ulkoseinän U-arvoa (0,9).

Työssä tutkittiin myös rakennetyyppejä muodostavien rakennekerrosten palo-ominaisuuksia (erityisesti palavan osan eli lämmöneristeen) ja tutustuttiin P1-luokan ulkoseiniä koskeviin palomääräyksiin ja rakennetyypeille asetettuihin vaatimuksiin. Palo-osiossa selvitettiin P1-luokan asuinkerrostalojen paloteknisen toimivuuden suunnittelussa huomioon otettavia asioita. Lisäksi hyödyntämällä valmistajilta saatavia tietoja, on selvitetty miten kyseen omaisissa rakennetyypeissä käytettäviä lämmöneristeitä (Kingspan Therma TW57, Kingspan Therma TW58 ja EPS-lämmön eristeet.) tulisi suojata, jotta ulkoseinät olisivat paloturvallisia. Tässä työssä tarkasteltavissa rakennetyypeissä käytetään Kingspan Therma TW57, Kingspan Therma TW58 ja EPS-lämmön eristeitä. Kaiken kaikkiaan voidaan todeta, että rakennetyypit ovat paloturvallisia, sillä ne täyttävät niille asetetut vaatimukset.

LÄHTEET

Björkholtz, D. (1997). Lämpö ja kosteus, rakennusfysiikka. Helsinki, Rakentajain kustannus Oy.

B8 SUOMEN RAKENTAMISMÄÄRÄYSKOKOELMA (2007). Ympäristöministeriön asetus tiilirakenteista, www.ymparisto.fi

EN ISO 6946. (2007). Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculation method. Brussels, European Committee for Standardization.

Hagentoft, C.-E. (2001). Introduction to Building Physics. Lund, Studentlitteratur. 422 p.

Peda.net. (2018). Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 02.04.2020):

<https://peda.net/raseborg/kirkonkyl%C3%A4nkoulu/opetusryhm%C3%A4t/arkisto/5-luokka/ymp%C3%A4rist%C3%B6tieto/e50/e522/palaminen-ja-lampo/II/tI2/I2>

Pentti, M. (2019). Rakennusfysiikka. Tampere, Tampereen yliopisto. Luentomoniste.

RakMk C4. (2012). Lämmöneristys, ohjeet 2012. Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Helsinki, Ympäristöministeriö.

VTT-R-07901-11. (2011). VTT Tutkimusraportti. Betonielementtirakenteisen rakennuksen vaipan kylmäsiirtotarkastelut

Vinha, J. (2012). Rakennusten rakennusfysikaalisen suunnittelun ja rakentamisen periaatteet (s. s.362-381). Helsinki, Rakennustieto.

Yle.fi (2018). Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 02.04.2020): <https://yle.fi/uutiset/3-10646248>

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatodistuksesta, 1010/2017, www.ymparisto.fi.

Ympäristöministeriön tasauslaskentaopas 2018, Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen, www.ymparisto.fi.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta, 848/2017, www.ymparisto.fi.

Kingspan ThermaTM TW57 ja TW58 P1-paloluokan rakennuksen julkisivussa. (2019), 2019 Kingspan Insulation Oy.

Kingspan Kooltherm® -palosuunnitteluohje. (2019), 2019 Kingspan Insulation Oy.

Inha, T. (2006). EPS-eristettyjen rakenteiden paloturvallisuus, TTY.

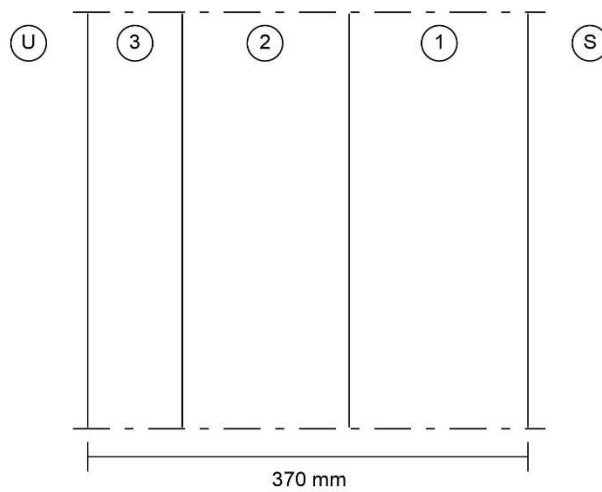
LIITE A:

Rakennetyyppi RT2

PERUSTIEDOT	
Rakenne:	Seinä (ilman tuuletusrakoa)
Rakenneosan kok. pinta-ala (m ²):	1.00
Ulkopinnan pintavastus (m ² K/W):	0.04
Sisäpinnan pintavastus (m ² K/W):	0.13
Korjaustermi deltaU (W/m ² K):	0.0145
Korjaustermin selite:	Ilmaraon korjaustermi
Kylmäsiltojen päällekkäisyys:	Mahdollisimman kohdakkain
U-arvon laskentatulokset	
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläkiiarvo:	6.649 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alalikiiarvo:	6.649 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastus:	6.649 m2K/W
U-arvo (ilman korjaustermiä)	0.150 W/m2K
Laskettu/annettu korjaustermi:	0.015 W/m2K
U-arvo (korjaustermi huomioiden):	0.165 W/m2K
U-arvo (pyöristetty arvo):	0.16 W/m2K
Uudiskohteen vertailuarvo:	0.17 W/m2K
www.laskentapalvelut.fi - DOF-LÄMPÖ 3.0 - 1.12.2017	

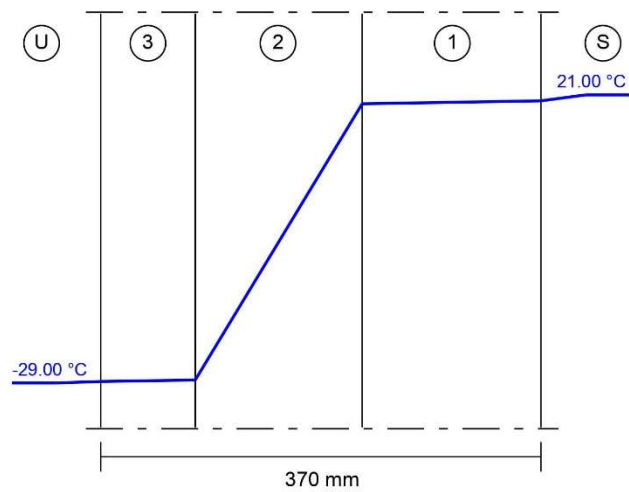
Rakennetyyppi RT2**RAKENNEKERROKSET**

Kerros:	Paksuus:	Materiaali:	Lambda:
	(mm)		(W/mK)
1	150.00	Betoni, korkeatiheyksinen 2400 kg/m3	2.000
2	140.00	THERMA TW58	0.022
3	80.00	Betoni, korkeatiheyksinen 2400 kg/m3	2.000



Rakennetyyppi RT2**LÄMPÖTILAT ERI KERROKSISSA**

Tarkasteluhetki/jakso:	Vyöhyke 2, Mitoitustilanne
Tarkastelupiste:	Lämpötila (Celsius):
Sisätila:	21.00
Sisäpinta:	20.02
1-2:	19.46
2-3:	-28.40
Ulkopinta:	-28.70
Ulkotila:	-29.00



LIITE B:

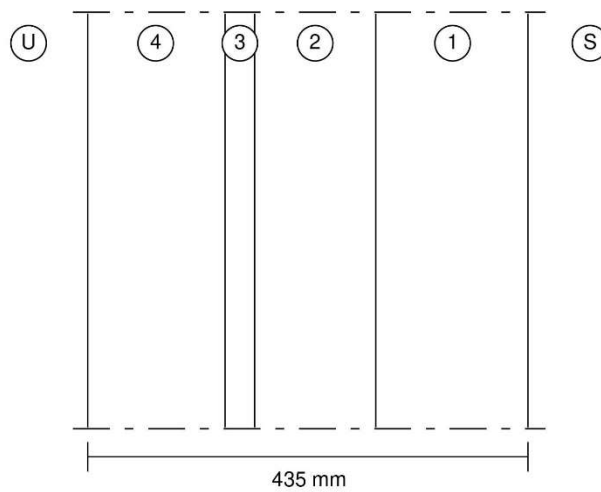
Rakennetyyppi RT4

PERUSTIEDOT	
Rakenne:	Seinä (tuulettulla ilmaraolla)
Rakenneosan kok. pinta-ala (m ²):	1.00
Ulkopinnan pintavastus (m ² K/W):	0.13
Sisäpinnan pintavastus (m ² K/W):	0.13
Korjaustermi deltaU (W/m ² K):	0.0099
Korjaustermin selite:	Ilmaraon korjaustermi
Kylmäsiltojen päällekkäisyys:	Mahdollisimman kohdakkain
U-arvon laskentatulokset	
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen ylälikiarvo:	6.442 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alaliikiarvo:	6.442 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastus:	6.442 m2K/W
U-arvo (ilman korjaustermiä)	0.155 W/m2K
Laskettu/annettu korjaustermi:	0.010 W/m2K
U-arvo (korjaustermi huomioiden):	0.165 W/m2K
U-arvo (pyöristetty arvo):	0.17 W/m2K
Uudiskohteen vertailuarvo:	0.17 W/m2K
www.laskentapalvelut.fi - DOF-LÄMPÖ 3.0 - 1.12.2017	

Rakennetyyppi RT4

RAKENNEKERROKSET

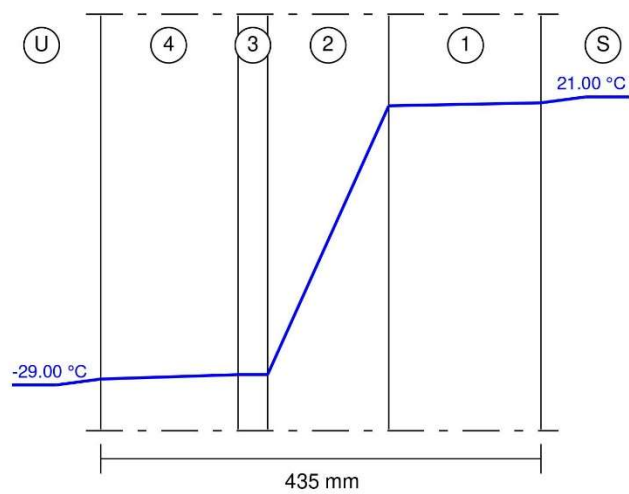
Kerros:	Paksuus: (mm)	Materiaali:	Lambda: (W/mK)
1	150.00	Betoni, korkeatiheyksinen 2400 kg/m ³	2.000
2	120.00	Kooltherm K15	0.020
3	30.00	Tuuletusväli	10.000
4	135.00	Tiili	1.300



Rakennetyyppi RT4

LÄMPÖTILAT ERI KERROKSISSA

Tarkasteluhetki/jakso:	Vyöhyke 2, Mitoitustilanne
Tarkastelupiste:	Lämpötila (Celsius):
Sisätila:	21.00
Sisäpinta:	19.99
1-2:	19.41
2-3:	-27.16
3-4:	-27.18
Ulkopinta:	-27.99
Ulkotila:	-29.00



LIITE C:

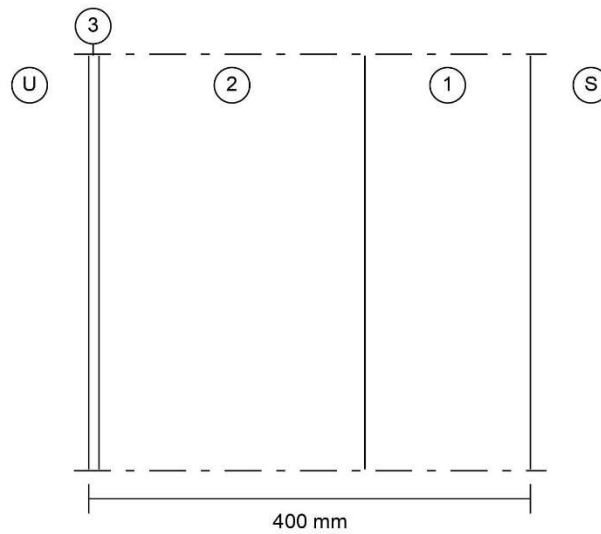
Rakennetyyppi RT5

PERUSTIEDOT	
Rakenne:	Seinä (ilman tuuletusrakoa)
Rakenneosan kok. pinta-ala (m ²):	1.00
Ulkopinnan pintavastus (m ² K/W):	0.04
Sisäpinnan pintavastus (m ² K/W):	0.13
Korjaustermi deltaU (W/m ² K):	0.0000
Korjaustermin selite:	Ilmaraon korjaustermi
Kylmäsiltojen päällekkäisyys:	Mahdollisimman kohdakkain
U-arvon laskentatulokset	
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläkiiarvo:	6.409 m ² K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alakiiarvo:	6.409 m ² K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastus:	6.409 m ² K/W
U-arvo (ilman korjaustermiä)	0.156 W/m ² K
Laskettu/annettu korjaustermi:	0.000 W/m ² K
U-arvo (korjaustermi huomioiden):	0.156 W/m ² K
U-arvo (pyöristetty arvo):	0.16 W/m ² K
Uudiskohteen vertailuarvo:	0.17 W/m ² K
www.laskentapalvelut.fi - DOF-LÄMPÖ 3.0 - 1.12.2017	

Rakennetyyppi RT5

RAKENNEKERROKSET

Kerros:	Paksuus: (mm)	Materiaali:	Lambda: (W/mK)
1	150.00	Betoni, korkeatiheyksinen 2400 kg/m ³	2.000
2	240.00	Therisol EPS60S seinä	0.039
3	10.00	Sementti, hiekka	1.000



Rakennetyyppi RT5

LÄMPÖTILAT ERI KERROKSISSA

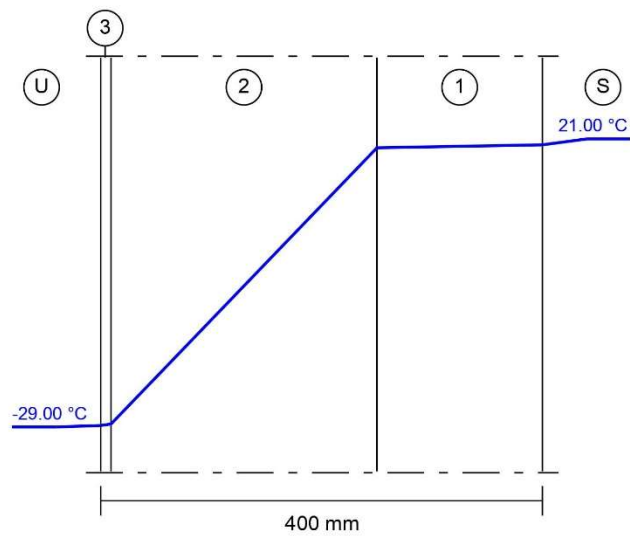
Tarkasteluhetki/jakso:

Vyöhyke 2, Mitoitustilanne

Tarkastelupiste:

Lämpötila (Celsius):

Sisätila:	21.00
Sisäpinta:	19.99
1-2:	19.40
2-3:	-28.61
Ulkopinta:	-28.69
Ulkotila:	-29.00



LIITE D:

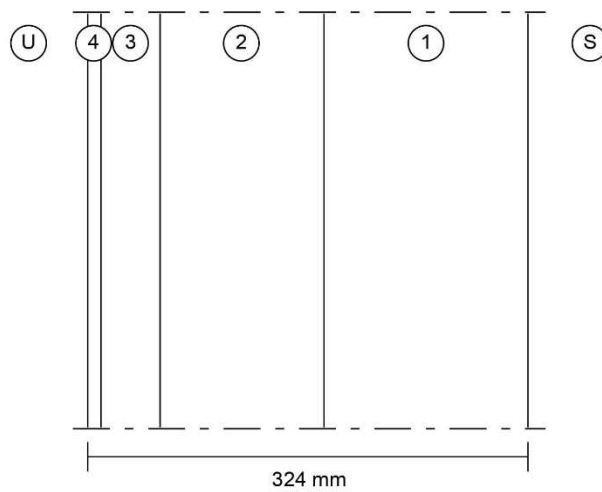
Rakennetyyppi RT6

PERUSTIEDOT	
Rakenne:	Seinä (tuulettulla ilmaraolla)
Rakenneosan kok. pinta-ala (m²):	1.00
Ulkopinnan pintavastus (m²K/W):	0.13
Sisäpinnan pintavastus (m²K/W):	0.13
Korjaustermi deltaU (W/m²K):	0.0099
Korjaustermin selite:	Ilmaraon korjaustermi
Kylmäsiltojen päällekkäisyys:	Mahdollisimman kohdakkain
U-arvon laskentatulokset	
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläkiiarvo:	6.349 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alakiiarvo:	6.349 m2K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastus:	6.349 m2K/W
U-arvo (ilman korjaustermiä)	0.157 W/m2K
Laskettu/annettu korjaustermi:	0.010 W/m2K
U-arvo (korjaustermi huomioiden):	0.167 W/m2K
U-arvo (pyöristetty arvo):	0.17 W/m2K
Uudiskohteen vertailuarvo:	0.17 W/m2K
www.laskentapalvelut.fi - DOF-LÄMPÖ 3.0 - 1.12.2017	

Rakennetyyppi RT6

RAKENNEKERROKSET

Kerros:	Paksuus: (mm)	Materiaali:	Lambda: (W/mK)
1	150.00	Betoni, korkeatiheyksinen 2400 kg/m ³	2.000
2	120.00	Kooltherm K15	0.020
3	44.00	Tuuletusväli	10.000
4	10.00	Sementti, hiekka	1.000



Rakennetyyppi RT6

LÄMPÖTILAT ERI KERROKSISSA

Tarkasteluhetki/jakso:	Vyöhyke 2, Mitoitustilanne
Tarkastelupiste:	Lämpötila (Celsius):
Sisätila:	21.00
Sisäpinta:	19.98
1-2:	19.39
2-3:	-27.86
3-4:	-27.90
Ulkopinta:	-27.98
Ulkotila:	-29.00

