



# Lämmönlämpäisykertoimen laskentaoh- jeen muutoksen vaikutus maanvastaisiin rakenneratkaisuihin

Janina Kallio

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2024

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka (AMK)

**Kallio Janina**

**Lämmönlämpäisykertoimen laskentaohjeen muutoksen vaikutus maanvastaisiin rakenneratkaisuihin.**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2024, 95 sivua.

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

**Tiivistelmä**

Toimeksiantajana tutkimukselle toimi Ramboll Finland Oy korjausrakentaminen ja tutkimukset yksikkö. Rakennusinsinööriliitto julkaisi vuonna 2023 päivitetyn laskentaohjeen RIL 225-2023 Rakennusosien lämmönlämpäisykertoimien laskenta. Julkaisussa tuli muutoksia erityisesti maanvastaisten rakenteiden lämmönlämpäisykertoimen laskentaan verrattuna vanhaan laskentaohjeeseen RIL 225-2004. Tavoitteena oli selvittää, miten uusi laskentatapa vaikuttaa maanvastaisten rakenteiden U-arvoon ja sen myötä rakenteiden lämmöneristys tarpeeseen ja energiatehokkuuteen.

Tutkimuksessa eroja laskentaohjeiden välillä tutkittiin integratiivisella kirjallisuuskatsauksella, jonka perusteella suoritettiin tapaustarkastelut. Tapaustarkasteluissa vertailtiin maanvastaisen alapohjarakenteisen teollisuushallin ja ryömintätalaisen päiväkodin U-arvoja vanhalla ja uudella laskentatavalla määritettyinä sekä hyvin että huonosti lämmöneristettyinä. Ryömintätalaisessa alapohjarakenteessa tutkittiin myös tuulettavan vaikutusta U-arvoon. Lisäksi tutkittiin hyvin lämmöneristetyin kellarinseinärakenteen U-arvoja päiväkodissa. Uuden laskentatavan mukaiset laskelmat tehtiin päivitetyn laskentaohjeen mukaisesti ja vanhan laskentatavan mukaiset laskelmat tehtiin DOF-LÄMPÖ -laskentaohjelmalla.

Erot laskentaohjeiden välillä liittyivät suurilta osin siihen, että uusi laskentatapa ottaa maan vaikutuksen huomioon eri tekijöiden avulla paremmin kuin vanha laskentatapa. Uusi laskentaohje myös huomioi alapohjarakenteet paremmin kokonaisuuksina, kuin vanha laskentaohje. Tuloksina huomattiin, että uusi laskentaohje paransi jokaisen rakenteen arvoja huomattavasti. Suurin vaikutus oli huonosti lämmöneristetyin maanvastaisen alapohjarakenteen U-arvoon. Ryömintätalaiden alapohjarakenteiden U-arvo parani huomattavasti. Koneellisen tuuletuksen lisäämisellä ryömintätilaan oli suurempi vaikutus hyvin lämmöneristettyyn alapohjarakenteeseen kuin huonosti lämmöneristettyyn alapohjarakenteeseen. Osan rakenneratkaisujen lämmöneristemäärää pystyttiin vähentämään U-arvon vertailuarvon rajoissa.

Johtopäätöksenä rakenteisiin upotetun energian määrä pienenee, kun lämmöneristemäärä pystytään pienentämään. Uuden laskentaohjeen myötä rakenteiden U-arvot ovat entistä enemmän tapauskohtaisempia ja niiden esitysmuotoja tulee pohtia jatkossa. Tulosten myötä on mahdollista, että alapohjarakenteiden korjaustarve vähentyy.

**Avainsanat (asiasanat)**

RIL 225-2023, U-arvo, lämmönlämpäisykerroin, maanvastaiset rakenteet

**Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)**

Laskelmat liitteenä, 37 sivua. Ei salassa pidettäviä tiedostoja.

**Kallio Janina**

## **The Impact of Changes in the U-Value Calculation Guidelines on Ground-Supported Structures**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2024, 95 pages.

Degree Programme in Construction- and Civil engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

### **Abstract**

The research was commissioned by Ramboll Finland Oy, Repair Construction, and Investigations Unit. In 2023, the Association of Finnish Civil Engineers published an updated calculation guideline, RIL 225-2023, for calculating the thermal transmittance coefficients of building components. The publication brought changes, especially in the calculation of thermal transmittance coefficients for ground-supported structures compared to the old calculation guideline, RIL 225-2004. The objective was to investigate how the new calculation method affects the U-value of ground-supported structures and consequently their thermal insulation requirements and energy efficiency.

Differences between the calculation guidelines were examined through an integrative literature review, followed by case studies. The case studies compared the U-values of a ground-supported industrial hall and a crawl space daycare center calculated using both the old and new calculation methods, considering both well-insulated and poorly insulated scenarios. The impact of ventilation on the U-value of the crawl space structure was also studied. Additionally, the U-values of a well-insulated basement wall structure in the daycare center were examined. Calculations according to the new method were performed using the updated calculation guideline, while calculations according to the old method were done using the DOF-LÄMPÖ calculation software.

The differences in the calculation guidelines mainly stemmed from the fact that the new method better accounts for the influence of soil. The new calculation guideline also comprehensively considers subfloor structures compared to the old guideline. The results showed that the new calculation guideline improved the values of each structure, with the greatest impact observed on the U-value of poorly insulated ground-supported subfloor structures. The U-value of crawl space subfloor structures improved significantly. The addition of ventilation to the crawl space had a greater effect on well-insulated subfloor structures. In some structural solutions, insulation could be reduced within the limits of the U-value reference.

In conclusion, the amount of embedded energy in structures decreases when insulation quantities can be reduced. With the new calculation guideline, U-values of structures become more case-specific. As a result, it's possible that the need for repairs to subfloor structures may decrease.

### **Keywords/tags (subjects)**

RIL 225-2023, U-value, thermal transmittance, ground-supported structures

### **Miscellaneous (Confidential information)**

The calculations are attached, 37 pages. No confidential information.

## Sisältö

<b>Käsitteet .....</b>	<b>7</b>
<b>1 Johdanto .....</b>	<b>8</b>
<b>2 Työn lähtökohdat .....</b>	<b>9</b>
2.1 Toimeksiantaja .....	9
2.2 Tutkimusongelmat .....	9
2.3 Tutkimuksen tavoitteet .....	10
2.4 Tutkimusote, aineisto ja menetelmät .....	10
<b>3 Energiatehokkuus .....</b>	<b>11</b>
3.1 Rakennuksen energiaterhokkuus .....	12
3.2 U-arvo vaatimukset .....	13
3.3 Lämpöhäviö ja E-luku .....	15
<b>4 Lämmönläpäisykerroin .....</b>	<b>16</b>
4.1 Lämmönjohtavuudet.....	16
4.1.1 Lämpötilan muuntotekijä .....	17
4.1.2 Kosteuden muuntotekijä .....	17
4.1.3 Vanhenemisen muuntotekijä .....	19
4.2 Lämmönvastus .....	19
4.3 Korjaamaton ja korjattu lämmönläpäisykerroin .....	22
<b>5 Maanvastaiset rakenteet .....</b>	<b>23</b>
5.1 Maanvastainen alapohjarakenne.....	24
5.2 Ryömintätilliset alapohjarakenteet.....	27
5.2.1 Painovoimaisesti tuulettuva ryömintätilla .....	27
5.2.2 Koneellisesti tuulettuva ryömintätilla .....	29
5.3 Kellarikerros .....	30
5.3.1 Lämmitetty kellarikerros.....	31
5.3.2 Lämmittämätön ja osittain lämmitetty kellarikerros .....	32
5.4 Korjaamaton ja korjattu lämmönläpäisykerroin maanvastaisissa rakenteissa .....	33
<b>6 Tapaustarkastelut .....</b>	<b>34</b>
6.1 Teollisuushalli.....	34
6.1.1 Vanha rakennus .....	34
6.1.2 Uusi rakennus .....	35
6.2 Päiväkoti.....	37
6.2.1 Vanha rakennus .....	38

6.2.2	Uusi rakennus .....	40
6.2.3	Kellarillinen uusi rakennus .....	42
<b>7</b>	<b>Tulokset.....</b>	<b>44</b>
7.1	Teollisuushallin maanvastaiset alapohjarakenteet.....	44
7.2	Päiväkodin ryömintätilaiset alapohjarakenteet .....	46
7.3	Päiväkodin kellarinseinärakenne .....	49
<b>8</b>	<b>Johtopäätökset.....</b>	<b>49</b>
8.1	Laskentatavan vaikutus huonosti lämmöneristettyihin alapohjarakenteisiin .....	50
8.2	Laskentatavan vaikutus hyvin lämmöneristettyihin alapohja- ja kellarinseinärakenteisiin 51	
8.3	Korjaustermien vaikutus .....	52
8.4	Vaikutus energiatehokkuuteen .....	53
<b>9</b>	<b>Pohdinta.....</b>	<b>54</b>
9.1	Tulosten arviointi ja hyödynnettävyys .....	54
9.2	Luotettavuus ja eettisyys .....	55
9.3	Jatkokehitys ehdotukset .....	56
	<b>Lähteet .....</b>	<b>58</b>
	<b>Liitteet .....</b>	<b>59</b>
	Liite 1. Vanha teollisuushalli, RIL 225-2023.....	59
	Liite 2. Vanha teollisuushalli, DOF-LÄMPÖ .....	61
	Liite 3. Uusi teollisuushalli, RIL 225-2023.....	64
	Liite 4. Uusi teollisuushalli, DOF-LÄMPÖ.....	70
	Liite 5. Vanha päiväkotiki, RIL 225-2023 .....	73
	Liite 6. Vanha päiväkotiki, DOF-LÄMPÖ .....	77
	Liite 7. Uusi päiväkotiki, RIL 225-2023 .....	80
	Liite 8. Uusi päiväkotiki, DOF-LÄMPÖ .....	87
	Liite 9. Uusi päiväkotiki, kellarin seinä, RIL 225-2023 .....	90
	Liite 10. Uusi päiväkotiki, kellarin seinä, DOF-LÄMPÖ.....	93
	<b>Kuviot</b>	
	Kuvio 1. Teollisuushallin alapohjan mitat .....	34
	Kuvio 2. Vanhan teollisuushallin alapohjarakenne .....	35
	Kuvio 3. Uuden teollisuushallin alapohjarakenne .....	36
	Kuvio 4. Uuden teollisuushallin perusmuurirakenne.....	37
	Kuvio 5. Päiväkodin alapohjan mitat.....	38

Kuvio 6. Vanhan päiväkodin alapohjarakenne.....	39
Kuvio 7. Vanhan päiväkodin perusmuurirakenne.....	40
Kuvio 8. Uuden päiväkodin alapohjarakenne .....	41
Kuvio 9. Uuden päiväkotirakennuksen perusmuurirakenne .....	42
Kuvio 10. Uuden kellarillisen päiväkodin kellarinseinärakenne .....	43
Kuvio 11. Uuden kellarillisen päiväkodin alapohjarakenne .....	43

## **Taulukot**

Taulukko 1. Lämmönläpäisykerrointen vertailuarvot vuosina 2017 ja 2003 .....	14
Taulukko 2. Rakenneosan tyypillisen sisä- ja ulkopuolen pintavastukset (RIL 225-2023, 26)....	21
Taulukko 3. Teollisuushallin tulosten vertailu, liitteet 1-4.....	45
Taulukko 4. Päiväkodin tulosten vertailu, liitteet 5-8.....	47
Taulukko 5. Päiväkodin kellarinseinä tulosten vertailu, liitteet 9-10.....	49

## Käsitteet

Lämmönläpäisykerroin/U-arvo

Arvo, joka kertoo rakennusosan läpäisevän lämpövirran tiheyden, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla on yksikön suuruinen, jonka yksikkö on  $W/(m^2K)$ .

Lämmönjohtavuus,  $\lambda$

Kertoo lämpövirran tiheyden tasa-aineisen ainekerroksen läpi lämpötilan ollessa kerroksen pintojen välillä yksikön suuruinen, jonka yksikkö on  $W/(mK)$ .

Ilmoitettu lämmönjohtavuus,  $\lambda_D$

Rakennusmateriaalin ilmoitettu lämmönjohtavuuden arvo, joka määritetään CE-merkinnän tai muun hyväksyttävän menetelmän mukaan

Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo,  $\lambda_U$

Rakennustuotteen tai -materiaalin lämmönjohtavuus tietyissä olosuhteissa, jota käytetään laskelmissa.

Lämmönvastus, R

Kertoo rakenteen eripuolilla olevien pintojen lämpötilaeron ja rakenteen tai materiaalikerroksen läpi kulkevan lämpövirran tiheyden suuruuden, jonka yksikkö on  $m^2K/W$ .

# 1 Johdanto

Ilmastonmuutoksen myötä myös rakentamisalalla on alettu kehittää erilaisia energiaa säästäviä ratkaisuja ja tarkastelemaan rakenteiden energiatehokkuutta tarkemmin. Useisiin korjaushankkeisiin sisältyy aina joltain osin rakenteiden energiatehokkuuden parantaminen esimerkiksi tiivistämällä rakenteiden liitoksia tai lisäämällä lämmöneristettä. Jos rakennuksen vaipparakenteet ovat huonosti lämmöneristettyjä, lämpöä pääsee kulkeutumaan rakenteen läpi ulkoilmaan ja syntyy lämpöhäviötä. Ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen energiatehokkuudesta on määritelty laskentakaavat rakennuksen vaipan lämpöhäviön ja E-luvun laskentaan, joissa U-arvo on merkitsevässä roolissa. U-arvon laskentaan yleinen kaava on (RIL 225-2023, 35):

$$U = \frac{1}{R} \quad (1)$$

Lämmönläpäisykerroin, eli U-arvo on arvo, jolla kuvataan lämpövirran kulkemista vaipparakenteen läpi. Mitä pienempi arvo on, sitä paremmin lämpö pysyy rakenteen sisäpuolella, eikä pääse virtaamaan rakenteen läpi liikaa. Lämmöneristeellä on hyvän eristävyytensä ansiosta pieni U-arvo verrattuna muihin materiaaleihin, jolloin käytännössä lämmöneristeen määrä on ratkaiseva rakenteen U-arvon osalta. Rakennusinsinööriliitto julkaisi vuonna 2023 uuden standardeihin perustuvan laskentaohjeen RIL 225-2023, joka sisältää ohjeet lämmönläpäisykertoimen laskentaan ja esimerkkejä niistä. Ohje kumoaa edellisen ohjeen RIL 225-2004. Tässä työssä esitettyjen laskentakaavojen osalta on pääasiassa viitattu suunnitteluohjeisiin RIL 225-2023 ja RIL 225-2004, mutta niiden alkuperäislähteenä ovat standardit. Osassa kaavoista on viitattu myös suoraan ko. standardiin.

Maanvastaisilla rakenteilla tarkoitetaan rakenteita, jotka ovat kosketuksissa maahan, kuten lattiarakenteet ja kellarinseinät. Maanvastaiset rakenteet poikkeavat muista rakenteista siinä, että lämpövirta kulkee niissä kohti maata, toisin kuin muissa rakenteissa, joissa toisella puolella on vastassa ulkoilma. Uudessa laskentaohjeessa maan ja kosteuden vaikutusta U-arvoon on otettu enemmän huomioon kuin vanhassa ohjeessa. Näitä ja muita eroja laskentaohjeiden välillä sekä niiden vaikutusta lämmöneristystarpeisiin maanvastaisten rakenteiden osalta esitetään tässä opinäytetyössä.

## 2 Työn lähtökohdat

### 2.1 Toimeksiantaja

Toimeksiantajana opinnäytetyölle toimi Ramboll Finland Oy, korjausrakentaminen ja tutkimukset -yksikkö. Ramboll Finland Oy on tanskalaisen Ramboll-konsernin vuonna 1962 perustama tytäryhtiö, joka on yksi maamme suurimpia suunnittelu- ja konsulttialanyrityksiä. Sen toimitusjohtajana toimii tällä hetkellä Maija Jokela ja pääkonttori sijaitsee Espoon Perkkaalla. Vuonna 2022 yhtiö työllisti noin 2500 ihmistä ja teki liikevaihtoa 261 miljoonaa euroa.

Ramboll on vuonna 1945 Tanskassa perustettu suunnittelu- ja konsultointialan yritys ja nykyään se toimii jo 35 eri maassa. Ramboll on YK Global Compactin jäsen ja edistää liiketoiminnallaan merkittävästi kestävän kehityksen tavoitteiden kehitystä. Yhtiö toimii laajasti monilla eri toimialoilla: kiinteistöt & rakentaminen, infra & liikenne, kaupunkisuunnittelu, ympäristö & terveys, vesi, energia, johdon konsultointi sekä tietoliikenne.

### 2.2 Tutkimusongelmat

Vuonna 2023 julkaistussa laskentaohjeessa RIL 225-2023 on tullut vuoden 2004 versioon verrattuna muutoksia lämmönläpäisykertoimen laskentaan laskentatavan, korjaustermien ja lambda-arvojen osalta erityisesti maanvastaisiin rakenteisiin liittyen. Toimeksiantajan toimesta on käynnissä projekti, jossa päivitetään yrityksen sisäisiä U-arvon laskentaohjeita ja koulutusmateriaaleja uuden laskentaohjeen mukaisiksi. Opinnäytetyössä selvitetään, miten muutokset vaikuttavat lattiarakenteiden ja maanvastaisten seinien lämmöneristystarpeeseen ja sen myötä kestävän kehityksen tavoitteiden edistämiseen.

Tutkimuskysymykset opinnäytetyössä ovat:

- Miten laskennassa korjataan huonosti lämmöneristettyjen alapohjarakenteiden lämmönläpäisykerrointa?
- Miten uudistunut laskentatapa vaikuttaa hyvin lämmöneristettyjen alapohja- ja kellarinseinärakenteiden lämmöneristystarpeen määrittämiseen?
- Mitkä korjaustermit ovat rakennusosissa eniten merkitseviä?

Opinnäytetyöstä on rajattu pois muut rakennusosat ja niihin liittyvät menetelmät. Opinnäytetyössä ei ole otettu kantaa kosteusteknisiin vaikutuksiin, vaan on keskitytty ainoastaan lämpötekniisiin seikkoihin. Opinnäytetyössä pääpaino on ryömintätilaisten ja maanvastaisten alapohjarakenteiden tarkastelussa, koska toimeksiantajan toimesta on tehty jo selvityksiä koskien kellarinseinärakenteita, jonka takia tässä opinnäytetyössä ei ollut tarvetta syventyä yhtä tarkasti niihin.

### **2.3 Tutkimuksen tavoitteet**

Tavoitteena on selvittää, miten maanvastaisten rakenteiden U-arvon määrittäminen ja sitä kautta myös rakennetyypit ja materiaalivalinnat vaikuttavat rakennetyypin lämmönläpäisyyteen. Tässä opinnäytetyössä selvitetään, millainen merkitys maanvastaisilla rakenteilla on rakennuksen vaipan lämpöhäviön laskennassa ja kuinka suuri vaikutus korjaustermeillä on rakenteiden U-arvoon. Lisäksi pohditaan, millainen vaikutus tuloksilla on kestävä kehityksen tavoitteiden edistämiseen.

Lopputuloksena syntyy päätelmä siitä, kuinka paljon uusi laskentaohje vaikuttaa maanvastaisten rakenteiden lämmönläpäisykertoimiin ja sen myötä lämmöneristävyteen ja lämmöneristystarpeeseen. Työn avulla suunnittelijoille annetaan käsitys siitä, mitkä tekijät ovat merkityksellisiä kyseisissä laskelmissa ja mihin suunnittelussa kannattaa vaikuttaa.

### **2.4 Tutkimusote, aineisto ja menetelmät**

Tässä opinnäytetyössä tutkimusmenetelmänä käytetään kirjallisuuskatsausta. Tutkimustapana Vilka määrittelee kirjallisuuskatsauksen tutkimukseksi, jossa tutkitaan erilaisia alkuperäistutkimuksia ja tunnistetaan, arvioidaan, tulkitaan ja yhdistellään niistä saatavia tietoja tiivistäen ja johtopäätöksiä tekemällä (Vilka, H. 2023, 11). Menetelmä on sopiva työhön, jossa vertaillaan kahta eri ohjetta ja tehdään johtopäätöksiä saaduista tuloksista. Vilka avaa kirjassaan, että kirjallisuuskatsaus on kehittynyt monimenetelmälliseen suuntaan, jolloin on mahdollista saada laajempi ja syvällisempi kuva tutkimuksesta. Vilka nostaa esiin kriittisyyden katsauksen edetessä siten, että peilataan ratkaisuja koko ajan annettuihin tutkimuskysymyksiin. Tähän pyritään opinnäytetyön teossa siten, että kirjallisuuskatsausta tekemällä pyritään tuomaan esiin eroja laskentaohjeiden välillä. (Vilka, H. 2023. 11-15.)

Katsaustyyppiä valittaessa vaihtoehtoina olivat narratiivinen ja integratiivinen kirjallisuuskatsaus, koska molemmissa tavoitteena on luoda läpinäkyvä, tarkka ja toistettavissa oleva tutkimus. Vilkan mukaan integratiivinen eli osin kuvaileva kirjallisuuskatsaus eroaa narratiivisesta eli kuvailevasta kirjallisuuskatsauksessa siten, että prosessiin kuuluu oleellisesti kriittinen tarkastelu ja käsitteellinen taustoitus. Systemaattisen kirjallisuustyyppin tavoitteena on yhdistää tietoa suuresta määrästä erilaisia tutkimuksia ja sen heikkous on teorioiden muodostaminen, jonka takia se ei ole täysin sopiva tähän työhön. Meta-analyysi taas sopii vain empiirisiin tutkimuksiin, josta tässä opinnäytetyössä ei ole kyse. U-arvon määrittäminen opinnäytetyön aiheena antaa selkeän käsitteellisen raamin katsauksen etenemiselle, jota integratiivinen katsaustapa suosii. Lisäksi integratiivinen katsaustapa sallii tutkimuksen perustuvan teoreettisiin lähtökohtiin, johon opinnäytetyössä pyritään. Integratiivinen katsaustapa on siis sopivin menetelmä tähän opinnäytetyöhön. (Vilka, H. 2023, 25.)

Opinnäytetyössä verrataan päivittyntä laskentaohjetta vanhoihin laskentaohjeisiin sekä syvennetään erojen merkityksiä ja vaikutuksia laskelmin tapaustarkasteluiden avulla. Tapaustarkasteluissa selvitetään uuden laskentatavan vaikutus huonosti ja hyvin lämmöneristettyihin maanvastaisiin rakenteisiin uusien ja vanhojen rakenteiden avulla. Laskelmat suoritetaan uutta laskentaohjetta noudattaen ja näitä verrataan DOF-LÄMPÖ -laskentaohjelmalla saatuun U-arvoon, joka edustaa tutkimuksessa vanhaa laskentatapaa. Kyseinen laskentaohjelma on ollut tähän asti toimeksiantajalla käytössä U-arvojen määrittämisessä, eikä sitä ole päivitetty vielä uuden laskentaohjeen mukaiseksi ohjelman ylläpitäjän toimesta. Laskelmat kirjoitetaan selkeästi auki ja pyritään pitämään ne läpinäkyvinä ja selkeinä.

### **3 Energiatehokkuus**

Rakentamisella on merkittävä vaikutus ilmastoon, sillä yli puolet maapallon raaka-aineista käytetään rakentamiseen, vaikka vain noin 13 % maapallon kokonaispinta-alasta on rakennusten peitossa. Arvioiden mukaan 40 % Euroopan kokonaisenergiankulutuksesta ja noin kolmasosa hiilidioksidipäästöistä liittyy rakennuksiin. Häkkinen ja Kuittinen ovat arvioineet, että rakennusala on yksi kustannustehokkaimmista toimijoista päästöjen vähentämisessä. Euroopan komission asettamien tavoitteiden mukaan rakennusten aiheuttamia päästöjä tulisi vähentää 37–53 % vuoteen 2030 mennessä ja 88-91% vuoteen 2050 mennessä verrattuna vuoteen 1990. (Häkkinen T. & Kuittinen M. 2020, 18.)

Rakennetulla ympäristöllä on vaikutus ilmastoon elinkaarensa jokaisessa vaiheessa. Päästöjä syntyy mm. raaka-aineiden hankinnasta, tuotteiden valmistuksesta, kuljetuksista, maansiirroista ja rakentamisesta. Häkkinen ja Kuittinen kertovat suurimman osan päästöistä syntyvän rakennuksen käytön aikana, kun olosuhteet rakennuksessa pidetään halutunlaisina. Myös rakennuksen elinkaaren lopussa jätteiden käsittelyt ja kuljetukset lisäävät päästöjen kokonaismäärää. Ennen rakentamisen ilmastovaikutuksia on pyritty vähentämään parantamalla niiden energiatehokkuuksia. Tämä pysyy edelleen tärkeänä, mutta jatkossa tulee kiinnittää huomiota rakennusten koko elinkaareen. Eräs keskeinen keino tähän on kiertotalous. (Häkkinen T. & Kuittinen M. 2020, 18-19.)

### **3.1 Rakennuksen energiatehokkuus**

Rakenteiden lämpö- ja energiateknistä suunnittelua voidaan tarkastella lämmöneristyksen suunnittelun sekä sisäilman lämpöolojen ja muiden energiankulutukseen vaikuttavien tekijöiden näkökulmasta. Uuden rakennuksen energiaselvitystä tehdessä tarkastellaan rakennuksen E-lukua, energiakulutuskalkulaatiota, kesäaikaista huonelämpötilaa ja tarvittaessa jäähdytystehoa, rakennuksen lämpöhäviötä, rakennuksen lämmitystehoa, rakennuksen energiatodistusta sekä uusiutuvien energiamuotojen käyttöä. Lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen ja sen myötä U-arvojen määrittäminen kuuluu rakennusfysikaaliseen suunnitteluun. Muut tarkastelut tekee lähtökohtaisesti LVI-suunnittelija. Näitä tarkasteluita vaaditaan myös rakennuksen korjaus- ja muutostöissä. (RIL 225-1-2014, 25.)

Häkkinen ja Kuittinen rinnastavat materiaalitehokkuuden energiatehokkuuteen suunnittelun näkökulmasta (Häkkinen T. & Kuittinen M. 2020, 122). Rakenteiden vähähiilisyttä on mahdollista parantaa vähentämällä materiaalien tarvetta tai vähentämällä materiaalien aiheuttamia päästöjä ja valitsemalla vähähiilisempiä vaihtoehtoja. Huomioon tulee ottaa kuitenkin myös materiaalien tekniset, toiminnalliset ja taloudelliset ominaisuudet rakenteiden ja rakennusosien tasolla. Häkkinen ja Kuittinen toteavat kirjassaan, että rakennuksen hyvä energiatehokkuus vaatii mm. paksuja eristekerroksia, jotka eivät pelkää materiaalisäästöjen näkökulmasta olisi tehokkaita. Häkkinen ja Kuittinen kertovat, että jos näiden rakenteiden valmistuksesta, huollosta ja kierrätyksestä syntyvät päästöt ovat pienemmät kuin energiatehokkuuden parantumisen kautta saavutetut päästösäästöt, on materiaalin lisääminen hyödyllistä. (Häkkinen T. & Kuittinen M. 2020, 122.)

Irlantilaisessa korkeakoulussa on tutkittu myös sitä, millainen hyvin lämmöneristettyjen rakennusvaippon todellinen suorituskyky on paikan päällä. Todellisuudessa suurin osa hyvin lämmöneristetyistä rakennusvaipoista eivät toimi kuten teoreettisesti on odotettu niiden toimivan. Tämä tarkoittaa, että osa rakennuksen lämmöneristeistä ovat tarpeettomia ja lisäävät rakennukseen upotettua energiaa ilman hyödyllistä lisäystä lämmönvastukseen. Tämä antaa syyn pohtia esimerkiksi lisälämmöneristeiden lisäämisen merkityksellisyyttä. (O’Hegarty, Kinnane, Lennon & Colclough, 2021.)

Ympäristöministeriön asetuksen 1010/2017 mukaan jokaisen suunnittelijan on tehtäviensä mukaisesti huolehdittava uuden rakennuksen suunnittelussa, että rakennus on käyttötarkoituksensa mukaisesti E-luvun tai rakenteellisen energiatehokkuuden mukainen ja että se luo edellytykset vähäiselle energian tarpeelle. Lisäksi tulee huolehtia, että rakennus on energiatehokas laskennalliselta kesäajan huoneenlämmöltään, energiankäytön mittaamiselta, lämmitys-, sähkö- ja ilmanvaihtojärjestelmiltään. (A 1010/2017, 3§.)

### **3.2 U-arvo vaatimukset**

Vuonna 2003 julkaistussa rakentamismääräyskokoelman osassa C3 (RakMK C3, 2003, 5) on esitetty sen aikaiset vaatimukset rakenteiden U-arvoille. Vuonna 2010 päivitettyssä versiossa (RakMK C3, 2010, kohta 3.2.1) U-arvojen vertailuarvoja on tiukennettu huomattavasti ja nämä arvot ovat voimassa edelleen (A 1010/2017, 24 §). Vertailuarvot on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Lämmönläpäisykerrointen vertailuarvot vuosina 2017 ja 2003

Rakennusosa	Vertailuarvo, 2017, W/m <sup>2</sup> K	Vaatus, 2003, W/m <sup>2</sup> K
Ulkoseinä	0,17	0,25
Yläpohja	0,09	0,16
Ryömintätilainen alapohja	0,17	0,20
Maata vasten oleva rakennusosa	0,16	0,25
Ikkuna, ovi	1,0	1,4

Vertailuarvoja voidaan pitää tavoitearvoina rakenteiden U-arvoja tarkasteltaessa. Vertailuarvot on määritelty siten, että rakennuksen kokonaislämpöhäviö pysyy näillä arvolla asetuksen määräämissä rajoissa. Rakentamismääräyskokoelman osassa C3 (RakMK C3, 2003, 5) esitettiin vaatimukset rakennusosien U-arvoille, kun taas nykyisessä asetuksessa arvot ovat vertailuarvoja, joihin suunnittelijat pyrkivät. Vertaillen nykyisiä U-arvon vertailuarvoja vanhoihin vaatimuksiin, voidaan huomata merkittävä tiukentuminen. Tämä on seurausta siitä, että rakennuksien lämpöhäviötä on haluttu pienentää ja sen myötä parantaa rakennuksen kokonaisenergiatehokkuutta.

Rakenteen U-arvon laskennassa lämmöneristeen määrällä ja sen lämmönjohtavuudella on merkittävä vaikutus lopulliseen U-arvoon. U-arvo suositusten tiukentumisen myötä myös lämmöneristeen paksuudet rakenteissa ovat kasvaneet ja niiden lämmöneristävyttä on parannettu. Myös Häkkinen ja Kuittinen kertovat kirjassaan, että lämmöneristeen vähähiilisyttä voidaan kasvattaa myös materiaalien lämmöneristävyttä parantamalla, jolla vaikutetaan rakennuksen lämmitys- ja jäähdytysenergian tarpeeseen sekä tarvittavaan lämmöneristemäärään. Toisaalta he tuovat myös

esille, että paremmin eristävien lämmöneristeiden valmistuksesta syntyvä hiilijalanjälki on useimmissa tapauksissa vähäinen verrattuna sen aiheuttamaan energiatehokkuuden parantumiseen. (Häkkinen T. & Kuittinen M. 2020, 123).

### 3.3 Lämpöhäviö ja E-luku

Tarkasteltaessa rakennuksen energiatehokkuutta tutkitaan rakennuksen lämpöhäviön suuruutta. Lämpöhäviölaskelmissa otetaan huomioon kaikki ulkovaipan rakenneosat, jolloin esiin nousee yksittäisen rakenteen U-arvon merkitys. Ympäristöministeriön asetuksessa 1010/2017 kohdassa 24 § on esitetty kaava rakennuksen vaipan lämpöhäviön laskemiselle (A 1010/2017, 24 §):

$$\begin{aligned} \sum H_{joht} = & \sum(U_{ulkoseinä}A_{ulkoseinä}) + \sum(U_{yläpohja}A_{yläpohja}) + \\ & \sum(U_{alapohja}A_{alapohja}) + \sum(U_{ikkuna}A_{ikkuna}) + \sum(U_{ovi}A_{ovi}) \end{aligned} \quad (2)$$

missä

$$\sum H_{joht} = \text{rakennuksen lämpöhäviö, } \frac{W}{K}$$

$$U = \text{rakennusosan lämmönläpäisykerroin, } \frac{W}{m^2K}$$

$$A = \text{rakennusosan pinta – ala, } m^2$$

Tarkasteltaessa kaavaa 2 voidaan huomata, että esimerkiksi korjaushankkeissa voidaan nykyään muiden rakennusosien U-arvoja parantamalla kompensoida lämpöhäviölaskelmissa esimerkiksi maanvastaisten rakenteiden huonoja U-arvoja, joita on haasteellisempaa parantaa. Tällaista suoranaista mahdollisuutta ei ollut rakentamismääräyskokoelman osassa C3 (RakMK C3, 2003, 5) esitettyjen U-arvon vaatimusten osalta, sillä arvot on esitetty ainoastaan rakennusosakohtaisesti, eikä niitä ole kytketty mitenkään toisiinsa.

E-luku on laskennallinen energiatehokkuuden vertailuarvo, jonka yksikkönä käytetään  $kWh_E/(m^2a)$ . Se kertoo rakennuksen ostoenergiankulutuksen lämmitettyä nettoalaa kohden

vuodessa. E-luvulle on asetettu sen käyttötarkoitukseluokan mukaisesti raja-arvoja asetuksessa 1010/2017, joita ei saa ylittää. E-luvun laskennassa otetaan huomioon eri energiamuotojen kulutukset ja niitä painotetaan painokertoimin. (A 1010/2017, 7§.)

## 4 Lämmönläpäisykerroin

### 4.1 Lämmönjohtavuudet

Tuotevalmistajat ilmoittavat lämmönjohtavuuden arvon  $\lambda_D$  tai  $\lambda_U$  silloin, kun niitä koskevissa harmonisoiduissa tuotestandardissa niin edellytetään. Esimerkiksi lämmöneristeiden tuotestandardit edellyttävät näiden ilmoittamista, kun kantavien rakenteiden tuotestandardit eivät välttämättä tätä edellytä, mutta valmistajat saattavat sen kuitenkin ilmoittaa. Ohjeen RIL 225-2023 (19–20) mukaan ilmoitettu lämmönjohtavuuden arvo  $\lambda_D$  kertoo rakennustuotteen lämpöteknisen oletetun arvon, joka on määritetty 10 °C lämpötilassa, 50 % kosteudessa ja vanhennetuissa olosuhteissa. Vanhassa ohjeessa RIL 225-2004 (18–27) on annettu taulukoituina arvoja eri olosuhteissa eri lämmöneristeille. Molemmissa ohjeissa ohjeistetaan valitsemaan muiden rakennustuotteiden, kuin lämmöneristeiden lämmönjohtavuuksien suunnitteluarvot standardien taulukoista. Kyseinen voimassa oleva standardi tällä hetkellä on SFS-EN ISO 10456:2007+AC:2009, jonka arvoja on taulukoituna myös laskentaohjeen RIL 225-2023 liitteessä 1.

Ohjeessa RIL 225-2023 (62) suositellaan käyttämään materiaalivalmistajien laskemia tarkkoja arvoja määritettäessä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa  $\lambda_U$ . Jos näitä ei ole saatavilla, voidaan käyttää suoritustasoilmoituksen suoritustasoja. Sekä ohjeessa RIL 225-2023 että RIL 225-2004 ohjeistetaan laskemaan lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo  $\lambda_U$  seuraavalla kaavalla silloin, kun materiaalin lämmönjohtavuudelle ilmoitetun arvon referenssiolosuhteet eroavat suunnitteluolosuhteista (RIL 225-2023, 20; RIL 225-2004, 18):

$$\lambda_U = \lambda_D \cdot F_T \cdot F_M \cdot F_a \quad (3)$$

missä

$F_T$  = lämpötilan muuntotekijä

$F_M$  = kosteuden muuntotekijä

$F_a$  = vanhenemisen muuntotekijä

Uudessa ohjeessa RIL 225-2023 otetaan kantaa olemassa olevien rakenteiden lämmöneristeiden lämmönjohtavuuden arvon määrittämiseen, toisin kuin ohjeessa RIL 225-2004. Sen mukaan vanhojen rakenteiden lämmönläpäisykertoimia laskettaessa tulee käyttää rakentamisen aikaisten lämmöneristeiden lämmönjohtavuuksien arvoja, joita ei ole esitetty EN-standardeissa. Olemassa olevan rakenteen U-arvoa määritettäessä tulee varmistua myös siitä, että rakennekerrokset on luotettavalla tavalla selvitetty. (RIL 225-2023, 23.)

#### 4.1.1 Lämpötilan muuntotekijä

Lämmönjohtavuuden arvoa tulee korjata lämpötilan muuntotekijällä  $F_T$ , jos ilmoitettua arvoa ei ole määritetty 10 °C keskilämpötilassa. Muuntokertoimien arvoja voidaan käyttää 0 – (+30) °C välillä keskilämpötiloilla. Lämpötilan muuntotekijä määritetään seuraavasti (RIL 225-2023, 21):

$$F_T = e^{f_t(T_2 - T_1)} \quad (4)$$

missä

$f_t$  = lämpötilan muuntokerroin

$T_1$  = keskilämpötila, jota sovelletaan ilmoitettuun lämmönjohtavuuteen

$T_2$  = lämmöneristyksen suunnittelulämpötila

#### 4.1.2 Kosteuden muuntotekijä

Ohjeessa RIL 225-2023 (62–64) annetaan erillinen ohjeistus kosteuden muuntokertoimen määrittämiseen, kun kyseessä on maanvastainen rakenne, kun taas ohjeessa RIL 225-2004 ei ole eritelty erillisiä laskukaavoja kyseiseen tapaukseen. Ohjeessa RIL 225-2023 lämmönjohtavuuden suunnit-

teluarvon määrittämistä tarkennetaan erikseen routaeristeelle, käännetyille kattorakenteille, sokkelin ja kellarinseinän ulkopuoliselle lämmöneristykselle maata vasten sekä sokkelin sisäpuoliselle tai sokkelihalkaisun pystyeristykselle ja maanvastaisen alapohjan lämmöneristykselle. Kosteuden muuntotekijä lasketaan seuraavalla kaavalla (RIL 225-2023, 62):

$$F_m = e^{f_\psi \psi_{cor}} \quad (5)$$

missä

$f_\psi$  = kosteuden muuntokerroin SFS – EN ISO 10456: 2007 + AC: 2009 mukaisesti

$\psi_{cor}$  = kosteuden kosteuspitoisuuden laskenta – arvo

Kosteuspitoisuuden laskenta-arvoon vaikuttaa merkittävästi lämmöneristeen ominaisuudet ja rasi-tusolosuhteet sekä sen tulee löytyä materiaalinvalmistajan suoritustasoilmoituksesta. Suositelta-vaa on käyttää materiaalivalmistajien valmiiksi laskemia lämmönjohtavuuden arvoja. (RIL 225-2023, 62.)

Sokkelin ja kellarinseinän ulkopuolinen maata vasten olevan lämmöneristeen tapauksessa kosteus-pitoisuuden laskenta-arvoon vaikuttaa lämmöneristeen vesihöyrynläpäisevyys diffuusiolla. Kos-teuspitoisuuden laskenta-arvona käytetään veden imeytymiselle pitkäaikaisdiffuusiossa ilmoitet-tua arvoa  $\psi_{diff}$  standardin SFS-EN ISO 16536:2019 mukaisesti, käyttämällä veden lämpötilana 50 °C tai 25 °C. (RIL 225-2023, 63–63.)

Tarkasteltaessa sokkelin sisäpuolista tai sokkelihalkaisun pystyeristystä sekä maanvaraisen alapoh-jarakenteen maata vasten olevaa lämmöneristystä kosteuspitoisuuden laskenta-arvoon vaikuttaa lämmöneristeen veden absorptio upotuskokeessa. Kun kyseessä on normaalisti kuivatettu alapoh-jarakenne, kosteuspitoisuuden laskenta-arvo lasketaan kaavalla (RIL 225-2023, 63-64):

$$\psi_{cor} = \psi_{abs} \cdot 0,75 \quad (6)$$

Vedenpaine-eristetyissä alapohjissa kosteuspitoisuuden laskenta-arvo lasketaan seuraavalla kaavalla (RIL 225-2023, 64):

$$\psi_{cor} = \psi_{abs} \quad (7)$$

missä

$\psi_{abs}$  = ilmoitettu arvo veden absorptiolle upotuskokeessa standardin mukaisesti

#### 4.1.3 Vanhenemisen muuntotekijä

Materiaalin vanheneminen riippuu sen tyypistä, päällysteistä, rakenteista, ponneaineista, lämpötiloista ja paksuudesta. Kuitenkaan sääntöjä annetun materiaalin vanhenemisestä ajan funktiona ei ole olemassa. Muutostermiä ei tarvitse käyttää, jos vanheneminen on jo otettu huomioon ilmoitettua lämmönjohtavuuden arvoa määritettäessä. Standardissa SFS-EN ISO 10456:2007+AC:2007 ei esitetä lukuarvoja lämmönjohtavuuden vanhenemisen muuntotekijälle  $F_a$ , vaan todetaan ainoastaan, että rakennusaineen käyttöikä on 50 vuotta. (RIL 225-2023, 65; RIL 225-2004, 27.)

## 4.2 Lämmönvastus

Lämmönläpäisykertoimen määrittämiseksi tulee ratkaista rakenteen kokonaislämmönvastus, joka saadaan laskettua yksittäisten rakennekerrosten lämmönvastusten summana. Epähomogeenisissa rakenteissa, kuten puurunkoisissa seinissä, kokonaislämmönvastus saadaan ratkaistua lämmönvastuksen ylä- ja alalikiarvon keskiarvoina. (RIL 225-2004; RIL 225-2023.) Ylä- ja alalikiarvojen avulla laskemista ei käydä läpi tässä työssä, sillä tällaiset rakenteet on rajattu pois opinnäytetyöstä.

Vanhassa ympäristöministeriön lämmöneristykseen liittyvässä määräyksessä on ohjeistettu jakamaan alapohja reuna- ja sisäalueisiin, joiden avulla maan lämmönvastukset voidaan määrittää taulukoiden avulla olettaen, että rakenteet ovat pysyvästi kuivatettuja (RakMk C4, 2003, 5.4.5 & taulukko 6). Kyseisestä taulukosta voidaan huomata, että ilmoitetut lämmönvastukset alapohjan alapuoliselle ja perusmuurin viereiselle perusmaalle sisäalueella ovat jokaisella maa-aineksella ne-

linkertaiset verrattuna reuna-alueen lämmönvastuksiin. Uudessa standardissa on sen sijaan annettu taulukoituna maa-aineksille lämmönjohtavuusarvot (SFS-EN ISO 13370:2017, taulukko 7), joiden avulla määritetään ekvivalentti paksuus (RIL 225-2023, 47–50). Ekvivalenttipaksuuden määrittäminen uudessa standardissa korvaa vanhan ohjeen maa-aineksen lämmönvastusarvon valitsemisen.

Homogeenisen lämmöneristekerroksen lämmönvastuksena voidaan käyttää ilmoitetun arvon  $R_D$  avulla määritettyä suunnitteluarvoa  $R_U$ . Rakennekerroksen lämmönvastus voidaan määrittää myös kaavalla (RIL 225-2023, 25):

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (8)$$

missä

$d$  = materiaalikerroksen paksuus rakenneosassa

$\lambda$  = materiaalin lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo

Ilmakerrosten lämmönvastuksien määrittämiselle annetaan ohjeet standardissa SFS-EN ISO 13789:2017, jossa on annettu myös taulukko rakenteiden pintavastuksille. Pintavastukset määräytyvät lämpövirran suunnan mukaan. Tyypilliset pintavastukset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Rakenneosan tyypillisen sisä- ja ulkopuolen pintavastukset (RIL 225-2023, 26).

Pintavastus (m <sup>2</sup> K/W)	Lämpövirran suunta		
	Ylöspäin	Vaakasuoraan	Alaspäin
Sisäpuolen pintavastus $R_{si}$	0,10	0,13	0,17
Ulkopuolen pintavastus $R_{se}$	0,04	0,04	0,04

Rakenneosan kokonaislämmönvastuksen laskemisessa ei ole eroja ohjeiden RIL 225-2023 ja RIL 225-2004 välillä. Rakenneosalle, joka koostuu homogeenisista ja lämpövirtaa kohtisuorasti olevista tasapaksuista ainekerroksista, lasketaan kokonaislämmönvastus laskemalla sen sisältämien rakennekerrosten lämmönvastukset sekä pintavastukset yhteen (RIL 225-2023, 31):

$$R_{tot} = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (9)$$

missä

$R_{si}$  = sisäpuolinen lämmönvastus

$R_1 + R_2 + \dots + R_n$  = eri rakennekerrosten lämmönvastusten suunnitteluarvoja

$R_{se}$  = ulkopuolinen lämmönvastus

Ohjeen RIL 225-2023 (26) mukaan arvoa  $R_{si}$  käytetään lattian alapuolisen tilan sekä pohjalla että huipulla ja maanvastaisen alapohjarakenteen ulkopuolisena pintavastuksena käytetään arvoa 0 ulkopinna ollessa kosketuksissa maan kanssa.

### 4.3 Korjaamaton ja korjattu lämmönläpäisykerroin

Sekä ohjeessa RIL 225-2023 (16) että RIL 225-2004 (12) korjattu lämmönläpäisykerroin  $U_c$  määritellään lämpöhäviöiden tasauslaskennassa ja E-luvun laskennassa käytettäväksi U-arvoksi. Ohjeessa RIL 225-2023 (16) rajataan korjatun U-arvon koskevan ainoastaan ulkoilmaan rajoittuvia rakenteita, kun taas vanhassa ohjeessa RIL 225-2004 tätä ei ole eritelty. Arvo on saatu molempien ohjeiden mukaisesti lisäämällä laskettuun lämmönläpäisykertoimeen U korjaustermi  $\Delta U$ . Uudessa ohjeessa korjaustermi  $\Delta U$  saadaan kaavalla (RIL 225-2023, 36):

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r + \Delta U_\psi \quad (10)$$

missä

$\Delta U_g$  = ilmarakojen korjaustekijä

$\Delta U_f$  = mekaanisten kiinnikkeiden korjaustekijä

$\Delta U_r$  = käännettyjen kattojen korjaustekijä

$\Delta U_\psi$  = viivamaisten säännöllisten kylmäsiltojen korjaustekijä

Kaavassa ei ole otettu huomioon viivamaisten säännöllisten kylmäsiltojen korjaustekijää  $\Delta U_\psi$ , mutta tarvittaessa se voidaan lisätä korjattuun U-arvoon muiden korjaustekijöiden lisäksi (RIL 225-2023, 36). Ohjeessa RIL 225-2004 on määritelty korjaustermin  $\Delta U$  kaavaksi (RIL 225-2004, 28):

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r + \Delta U_a + \Delta U_{\psi X} \quad (11)$$

missä

$\Delta U_g$  = ilmarakojen korjaustekijä

$\Delta U_f$  = mekaanisten kiinnikkeiden korjaustekijä

$\Delta U_r$  = käännettyjen kattojen korjaustekijä

$\Delta U_a$  = lämmöneristeen ilmanläpäisevyyden korjaustekijä

$\Delta U_{\psi X}$  = kylmäsiltojen korjaustekijä

Ilmarako -termiä käytetään lämmöneristyksessä tai lämmöneristeen ja viereisen rakenteen välissä olevasta ilmatilasta, jota ei ole tarkoitettu tuuletukseen (RIL 225-2023, 36). Ilmaraon korjaustermin saamiseksi tarvittava ilmarakojen korjauskerroin määritetään taulukosta (RIL 225-2023, taulukko 5) korjaustason mukaan. Vanhassa ohjeessa korjaustason avulla määritetään myös ilmanläpäisevyyden korjaustermi (RIL 225-2004, 28). Molemmissa ohjeissa on annettu määritelmät sekä esimerkkejä korjaustasoista. Muiden korjaustekijöiden määrittämiseksi esitetään molemmissa ohjeissa kaavat, eivätkä ne eroa toisistaan.

## 5 Maanvastaiset rakenteet

Vanhassa laskentaohjeessa RIL 225-2004 ei ole esitetty erikseen ohjeita maanvastaisten rakenteiden U-arvojen määrittämiseksi, toisin kuin uudessa ohjeessa. Rakentamismääräyskokoelman osassa C4 (RakMK C4, 18) ohjeistetaan ainoastaan, että perusmaa otetaan huomioon enintään 200 mm lattiarakenteen alapinnan alapuolelta lämmönvastusta laskiessa ja yli 200 mm paksuiselle maakerrokselle käytetään arvoa 0,2 (m<sup>2</sup>K) /W. Uusina käsitteinä ohjeeseen RIL 225-2023 maanvastaisten rakenteiden tarkasteluihin on tuotu käsitteet suhteellinen lattiamitta ja ekvivalentti paksuus, jotka ovat merkittävässä roolissa maanvastaisia rakenteita tarkasteltaessa. (RIL 225-2023, 47–58.)

Suhteellinen lattiamitta B on määritelty ohjeen RIL 225-2023 (48) mukaan siksi, että voidaan ottaa huomioon maassa tapahtuvan lämmönsiirron kolmiulotteisuus. Suhteellinen lattiamitta lasketaan kaavalla (RIL 225-2023, 48):

$$B = \frac{A}{0,5 \cdot P} \quad (12)$$

missä

$A$  = lattian pinta – ala,  $m^2$

$P$  = lattian ympärysmitta, m

Ekvivalentti paksuus kertoo sellaisen maakerroksen paksuuden, jolla on sama lämmönvastus kuin maanvastaisella rakenteella. Ekvivalentti paksuutta on alettu käyttää lämmönläpäisykertoimen ilmoittamisen yksinkertaistamiseksi. (RIL 225-2023, 49.)

## 5.1 Maanvastainen alapohjarakenne

Kuten luvun 1 johdannossa jo määriteltiin, maanvastaisen alapohjarakenteen määritellään olevan rakenne, joka on koko pinta-alaltaan kosketuksissa maahan riippumatta siitä, tukeutuuko rakenne koko pinta-alaltaan maahan sekä sellainen, joka on maanpinnan tasalla tai lähellä maanpintaa. Se voi myös olla eristämätön tai tasaisesti eristetty koko pinta-alaltaan ja siinä voi olla sekä vaaka- että pystysuuntainen lisäeriste reunoilla, jolloin lämmönläpäisykerrointa voidaan korjata lisälämmöneristeen vaikutuksella. Ekvivalenttipaksuus  $d_t$  lasketaan seuraavasti (RIL 225-2023, 49-50):

$$d_t = w + \lambda (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (13)$$

missä

$w$  = seinän kokonaispaksuus, mukaan lukien kaikki kerrokset, m

$\lambda$  = maan lämmönjohtavuus,  $W/(mK)$

$R_f$  = lattialaatan lämmönvastus, mukaan lukien kaikki mahdolliset eristekerrokset

Ohjeen RIL 225-2023 (50) mukaan tavanomaisten betonilaattojen ja lattiapäällysteiden lämmönvastukset voidaan jättää huomioimatta sekä laatan alapuolisella sepelikerroksella oletetaan olevan sama lämmönvastus kuin maalla, joten sitä ei huomioida. Ohjeessa annetaan kolme erilaista kaavaa U-arvon määrittämiseksi, joka valitaan lattian lämmöneristyksen mukaan seuraavasti:

Jos  $d_t < B$  (eristämättömät tai jonkin verran eristetyt lattiat)

$$U = \frac{2\lambda}{\pi \cdot B + d_t} * \ln\left(\frac{\pi \cdot B}{d_t} + 1\right) \quad (14)$$

Jos  $d_t \geq B$  (hyvin eristetyt lattiat)

$$U = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B + d_t} \quad (15)$$

Hyvin eristetyille lattiarakenteille voidaan käyttää myös kaavaa:

$$U_g = \frac{1}{\left(R_t + R_{si} + R_{se} + \frac{w}{\lambda}\right) + R_g} \quad (16)$$

jossa  $R_g$  on maan tehollinen lämmönvastus ja lasketaan kaavalla:

$$R_g = \frac{0,457 \cdot B}{\lambda} \quad (17)$$

Toisin kuin ohjeessa RIL 225-2004, ohjeessa RIL 225-2023 on maanvastaisen alapohjan yhteydessä annettu mahdollisuus ottaa huomioon reunalla oleva vaak- tai pystysuuntainen lisälämmöneriste viivamaisena konduktanssina  $\psi_{g,e}$ , jonka arvo on negatiivinen. Perusmuuri voidaan kokonaisuudessaan ottaa huomioon pystysuuntaisena eristeenä, eikä ulkopuolisia lisälämmöneristeitä, kuten routasuojausta, huomioida tässä yhteydessä. Jos alapohjarakenteessa on saman aikaisesti sekä pysty-, että vaakasuuntainen lisälämmöneriste, otetaan huomioon vain sen vaikutus, kumpi pienentää U-arvoa enemmän. Reunalla olevan eristyksen ekvivalentti lisäpaksuudelle  $d'$  on ilmoitettu kaava (RIL 225-2023, 51):

$$d' = R' \cdot \lambda \quad (18)$$

missä

$R'$  = reunalla olevan eristyksen lisälämmönvastus, joka lasketaan kaavalla:

$$R' = R_n - \frac{d_n}{\lambda} \quad (19)$$

missä

$R_n$  = vaaka – tai pystysuuntaisen reunalla olevan eristuksen lämmönvastus, m<sup>2</sup>K/W

$d_n$  = reunalla olevan eristuksen paksuus, m

Reunalla oleva eristys voidaan ottaa huomioon vakio-olosuhdelaskennassa seuraavalla kaavalla (RIL 225-2023, 52):

$$U = U_0 + \frac{2\psi_{g,e}}{B} \quad (20)$$

missä

$U_0$  = lattian lämmöneristys ilman reunalla olevaa eristystä

Kun kyseessä on vaakasuuntainen reunalla oleva eristys, käytetään viivamaisen konduktanssin määrittämiseen kaavaa (RIL 225-2023, 52):

$$\psi_{g,e} = -\frac{\lambda}{\pi} \left[ \ln \left( \frac{D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left( \frac{D}{d_t + d'} + 1 \right) \right] \quad (21)$$

missä

$D$  = vaakasuuntaisen reunalla olevan eristuksen leveys, m

$d'$  = kaavalla 17 saatu arvo

Kun kyseessä on pystysuuntainen eristys reunalla, käytetään viivamaisen konduktanssin määrittämiseen kaavaa (RIL 225-2023, 53):

$$\psi_{g,e} = -\frac{\lambda}{\pi} \left[ \ln \left( \frac{2D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left( \frac{2D}{d_t + d'} + 1 \right) \right] \quad (22)$$

missä

$D$  = pystysuuntaisen reunalla olevan eristyksen (tai perustuksen) etäisyys maanpinnasta, m

$d'$  = kaavalla 17 saatu arvo

## 5.2 Ryömintätilaiset alapohjarakenteet

### 5.2.1 Painovoimaisesti tuulettuva ryömintätila

Ohjeessa RIL 225-2023 (54) määritellään ryömintätilaisen alapohjan olevan mikä tahansa alapohjarakenne, joka on irti maasta. Näiden RIL 225-2023 ohjeiden kerrotaan käsittelevän painovoimaisesti ulkoilmasta tuulettuvaa ryömintätilaista alapohjarakennetta, jota käsitellään kokonaisuutena. Rakentamismääräyskokoelman osassa C4 on maininta, että maan lämmönvastuksen saa ottaa huomioon silloin kun kyseessä on maanvarainen lattia tai kellarin ulkoseinä (RakMK C4, 18). Tämä tarkoittaa, ettei ryömintätilaista alapohjarakennetta tarkasteltaessa ole otettu huomioon maan vaikutusta, kuten päivitettyssä ohjeessa RIL 225-2023. Ryömintätilaiselle rakenteelle lämmönläpäisykerroin lasketaan kaavasta (RIL 225-2023, 54):

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x} \quad (23)$$

missä

$U_f$  = maanvaraisen lattian asennuslattiaosuuden lämmönläpäisykerroin, W/(m<sup>2</sup>K)

$U_g = \frac{1}{R_g}$  = lämmönläpäisykerroin maan kautta kulkevalle lämpövirralle, W/(m<sup>2</sup>K)

$U_x$  = ulkoympäristön ja ryömintätilan ekvivalentti lämmönläpäisykerroin, jossa otetaan huomioon lattian alla olevan tilan lämpövirta seinien läpi ja ilmanvaihto, W/(m<sup>2</sup>K)

Arvojen määrittämisen yhteydessä on tärkeää ottaa huomioon mahdollisten kylmäsiltojen vaikutus käyttämällä tarvittaessa niille tarkoitettua korjaustermiä sekä alapohjarakenteen lämpövirran suunnan määrittäessä sen lämmönvastusta. Arvot voidaan laskea seuraavilla kaavoilla (RIL 225-2023, 54–55):

$$U_{g,e} = \frac{2\lambda}{\pi B + d_g} \ln\left(\frac{\pi B}{d_g} + 1\right) \quad (24)$$

$$d_g = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (25)$$

missä

$R_f$  = asennuslattian asennustilan alapuolisen mahdollisen eristeen lämmönvastus, m<sup>2</sup>K/W

$$U_x = 2 \cdot \frac{h \cdot U_w}{B} + 1450 \cdot \frac{\varepsilon \cdot v \cdot f_w}{B} \quad (26)$$

missä

$h$  = ulkopuolisen maanpinnan yläpuolella olevan perusmuurin korkeus, m

$U_w$  = kellarikerroksen maanpäällisten seinien lämmönläpäisykerroin

$\varepsilon$  = tuuletusaukkojen pinta-ala kellarikerroksen ympärysmittaa kohden, m<sup>2</sup>/m

$v$  = keskimääräinen tuulennopeus 10 m korkeudella, m/s

$f_w$  = tuulensuojakerroin

Silloin kun ryömintätila on yli 0,5 metriä maanpinnan alapuolella, lasketaan  $U_g$  seuraavalla kaavalla (RIL 225-2023, 54):

$$U_g = U_{bf} + \frac{z \cdot P \cdot U_{bw}}{A} \quad (27)$$

### 5.2.2 Koneellisesti tuulettuva ryömintätila

Ohjeessa RIL 225-2023 ei anneta ohjeita koneellisesti tuulettuvan alapohjarakenteen lämmönläpäisykerroimen laskemiseen. Standardin SFS-EN ISO 11370:2017 liitteessä G esitetään laskentamenetelmät eritavoin tuulettuvien ryömintätilaisten alapohjarakenteiden lämmönläpäisykerroimen laskemiselle sekä ryömintätilan keskilämpötilalle. Ryömintätilaisen mekaanisesti ulkopuolelta tuulettuvan alapohjarakenteen lämmönläpäisykerroimen laskemiseksi on määritelty kaava (SFS-EN ISO 11370:2017, kaava G.6):

$$\frac{1}{U_{fg;sus}} = \frac{1}{U_{f;sus}} + \frac{1}{U_g + \frac{2hU_w}{B} + \frac{Vc_p\rho}{A}} \quad (28)$$

missä

$U_{f;sus}$  = asennuslattian lämmönläpäisykerroin

$U_g$  = maan lämmönläpäisykerroin

$U_w$  = ryömintätilan seinien lämmönläpäisykerroin

$h$  = lattian korkeus maanpinnasta

$B$  = suhteellinen lattiamitta

$c_p$  = ilman ominaislämpökapasiteetti, J/(kg·K)

$\rho$  = ilman tiheys kg/m<sup>3</sup>

$A$  = lattian pinta-ala,  $m^2$

$V$  = tilavuusilmanvaihtonopeus,  $m^3/s$

Tilavuusilmanvaihtonopeus saadaan kaavalla (SFS-EN ISO 13370:2017, kaava G.6):

$$V = 0,59 \cdot \varepsilon \cdot v \cdot f_w \cdot P \quad (29)$$

missä

$\varepsilon$  = tuuletusaukon pinta-ala kehäpituutta kohti,  $m^2/m$

$v$  = mitoitus tuulen nopeus 10 metrin korkeudessa,  $m/s$

$f_w$  = tuulensuojakerroin (SFS-EN ISO 13370:2017, kohta 7.2)

$P$  = ympärysmitta

### 5.3 Kellarikerros

Vanhassa laskentaohjeessa RIL 225-2004 ja rakentamismääräyskokoelman osassa C4 ei oteta kantaa myöskään kellarikerroksen rakenteiden U-arvon määrittämiseen, kun taas ohjeessa RIL 225-2023 ohjeistetaan, että silloin kun rakennuksessa osa tiloista on maanpinnan alapuolella, tulee käyttää kellarikerrokselle tarkoitettuja menettelyjä.

Menettelyiden lähtökohta on sama kuin maanvastaisessa alapohjassa, mutta huomioon otetaan kellarikerroksen lattian etäisyys maanpinnasta ja mahdollisuus, että kellarinseinät ja lattiat ovat eristystasoltaan erilaiset. Standardin soveltamisalaan ei kuulu rakennukset, joissa on osittain maanvastainen alapohja ja kellarikerros. Laskelmia voidaan kuitenkin soveltaa tällaiseen tapaukseen käyttämällä koko rakennuksen alalla puolikasta kellarikerroksen korkeutta. (RIL 225-2023, 55-56.)

### 5.3.1 Lämmitetty kellarikerros

Jotta voidaan laskea kellarikerroksen lattialle U-arvo, täytyy laskea suhteellinen lattiamitta kaavalla 12. Kellarikerroksen lattian lämmöneristys otetaan huomioon seinän ja maanvaraisen laatan yhdistettynä ekvivalenttipaksuutena  $d_t$ , joka saadaan kaavalla (RIL 225-2023, 56):

$$d_t = w + \lambda (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (30)$$

missä

$w$  = maanpinnan tasolla olevien seinien kokonaispaksuus, mukaan lukien kaikki seinän kerrokset

$R_f$  = lattialaatan lämmönvastus, mukaan lukien eristekerrokset, jotka ovat lattialaatan ala- ja yläpuolella, laatan sisällä sekä mahdollisessa lattiapäällysteessä

Ohjeessa RIL 225-2023 (56) ohjeistetaan, että tavanomaisten betonilaattojen ja ohuiden pintapäällysteiden lämmönvastukset voidaan jättää huomioimatta. Samoin kun aiemmin maanvastaisen alapohjan laskelmissa, valitaan laskentakaava lattian U-arvolle sen eristävyuden mukaan (RIL 225-2023, 56):

Jos  $(d_t + 0,5 z) < B$  (eristämättömät tai jonkin verran eristetyt lattiat)

$$U_{bf} = \frac{2\lambda}{\pi B + d_t + 0,5z} \ln \left( \frac{\pi B}{d_t + 0,5z} + 1 \right) \quad (31)$$

Jos  $(d_t + 0,5 z) \geq B$  (hyvin eristetyt lattiat)

$$U_{bf} = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B + d_t + 0,5z} \quad (32)$$

missä

$z$  = lattian etäisyys maanpinnasta

Kellarikerroksen seinien lämmönläpäisykertoimen  $U_{bw}$  laskentakaavan määrittämiseen vaikuttaa seinien ekvivalenttinen kokonaispaksuus (RIL 225-2023, 57):

$$d_w = w + \lambda (R_{si} + R_w + R_{se}) \quad (33)$$

missä

$R_w$  = kellarikerroksen seinien lämmönvastus, mukaan lukien seinien kaikki kerrokset

Kellarikerroksen seinien U-arvon laskentakaavaksi on määritelty (RIL 225-2023, 57):

Kun  $d_w \geq d_t$ :

$$U_{bw} = \frac{2\lambda}{\pi z} \left(1 + \frac{0,5d_t}{d_w+z}\right) \ln\left(\frac{z}{d_w} + 1\right) \quad (34)$$

Kun  $d_w < d_t$ :

$$U_{bw} = \frac{2\lambda}{\pi z} \left(1 + \frac{0,5d_t}{d_w+z}\right) \ln\left(\frac{z}{d_w} + 1\right) \quad (35)$$

Kellarikerroksen lopullinen lämmönläpäisykerroin lasketaan kaavalla (RIL 225-2023, 57):

$$U = \frac{(A \cdot U_{bf}) + (z \cdot P \cdot U_{bw})}{A + (z \cdot P)} \quad (36)$$

### 5.3.2 Lämmittämätön ja osittain lämmitetty kellarikerros

Laskentaohjeessa kerrotaan ohjeiden koskevan kellarikerroksia, joiden ilmanvaihto tapahtuu ulkoilmasta. Ulko- ja sisäympäristön väliselle lämmönläpäisykertoimelle on annettu kaava:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{A}{(A \cdot U_{bf}) + (z \cdot P \cdot U_{bw}) \cdot (h \cdot P \cdot U_w) + (0,33 \cdot n \cdot V)} \quad (37)$$

missä

$U_f$  = lattian lämmönläpäisykerroin sisäympäristön ja kellarikerroksen välillä

$U_w$  = kellarikerroksen maanpäällisten seinien lämmönläpäisykerroin

$n$  = kellarikerroksen ilmanvaihtomäärä,  $h^{-1}$  (jos ei ole tarkkaa tietoa, voidaan käyttää arvoa  $0,3 h^{-1}$ )

$V$  = kellarikerroksen ilmatilavuus

$U_{bw}$  = kaavan 35 mukaan

$U_{bf}$  = kaavan 31 tai 32 mukaan

Osittain lämmitetyille kellarikerrokselle ei anneta suoraan laskentakaavoja. On kuitenkin ohjeistettu, että lämmönläpäisykerroin osittain lämmitetyille kellarikerrokselle voidaan määrittää laske-  
malla erikseen kokonaan lämmitetyn ja lämmittämättömän kellarikerrosten lämpövirrat, jonka jäl-  
keen ne yhdistetään painottamalla maan kanssa kosketuksissa olevilla lämmitettyjen ja  
lämmittämättömien osien pinta-aloilla.

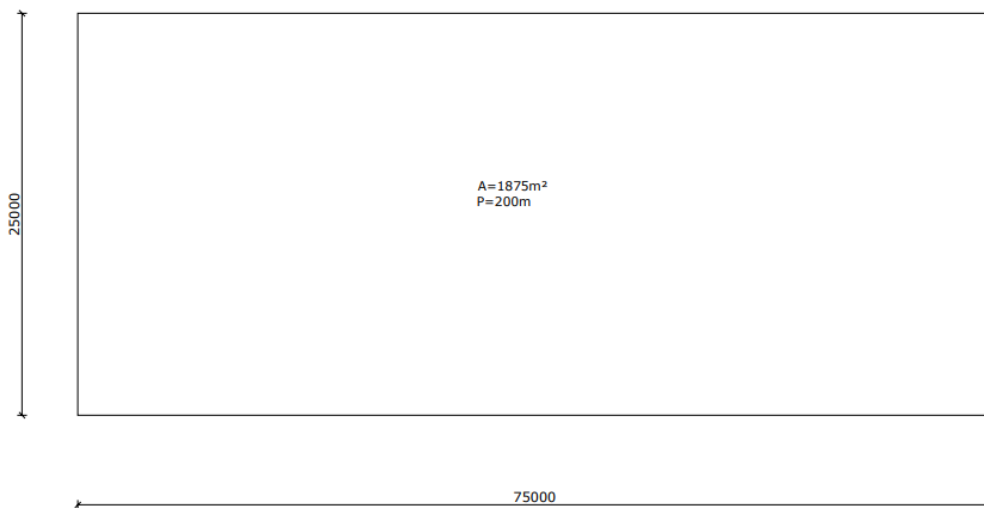
#### **5.4 Korjaamaton ja korjattu lämmönläpäisykerroin maanvastaisissa rakenteissa**

Ohjeessa RIL 225-2023 maanvastaisten rakenteiden U-arvojen osalta korjaustermejä pidetään vaihtelevasti mukana sekä korjatun ja korjaamattoman arvon raja on häilyvä. Tarkasteltaessa oh-  
jeen laskentaesimerkkejä esimerkissä 15 maanvastaisesta huonosti lämmöneristetyistä alapohjasta  
ei mainita ollenkaan korjaustermejä. Esimerkissä 17 ryömintätilaisesta alapohjasta sen sijaan lat-  
tiarakenteen U-arvoa  $U_f$  laskettaessa kaavalla 1, arvon mahdollinen korjaaminen esitetään, eikä  
tämän huomioonottamisen jälkeen lopulliseen U-arvoon tarvitse tehdä enää korjauksia. Myös  
maanvastaisen seinän tapauksessa korjaustermin mahdollisuus huomioidaan, mutta todetaan että  
korjauksia ei tarvitse tehdä. (RIL 225-2023, 139.)

## 6 Tapaustarkastelut

### 6.1 Teollisuushalli

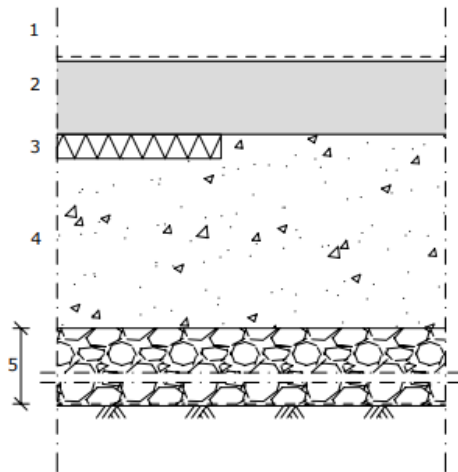
Teollisuusrakennuksen muoto ajateltiin tyypillisen teollisuushallin mukaisesti suorakaiteen muotoiseksi ja alapohjarakenteet maanvaraisiksi. Hallista tehtiin kaksi tapaustarkastelua, joista toisessa tarkasteltiin vanhaa, huonosti lämmöneristettyä alapohjarakennetta ja toisessa uutta, hyvin lämmöneristettyä alapohjarakennetta. Tarkastelut tehtiin luvussa 5.1 esitetyn teorian mukaisesti ottaen huomioon vaaka- ja pystysuuntaiset lisälämmöneristeet.



Kuvio 1. Teollisuushallin alapohjan mitat

#### 6.1.1 Vanha rakennus

Tapaustarkastelun lähtötietoja määritettäessä sovellettiin vanhan olemassa olevan vuonna 1984 rakennetun kohteen tietoja. Lähtökohtaisesti ajateltiin, että alapohjarakenne on keskialueelta lämmöneristämätön ja reuna-alueilla on vähän lämmöneristettä. Rakennuksessa ei ole erillistä perusmuuria, vaan ulkoseinäelementti toimii pienenä perusmuurina, jonka takia sen vaikutusta ei oteta huomioon laskelmissa. Lämmöneristeenä käytetään EPS-eristettä, jonka vettäminen huonontaa sen lämmöneristävyttä.



- |              |   |   |
|--------------|---|---|
|              | 1 | Pintamateriaali ja -käsittely   |
| 150 mm       | 2 | Teräsbetoni-laatta  |
| 150 / 200 mm | 3 | Lämmöneriste EPS 100 (R) 50 mm reuna-alueilla 5m etäisyydellä perusmuurista |
| 400 mm       | 4 | Tiivistetty salaajituksen sepeli #4...8 / 16...32                           |
|              | 5 | Perusmaa  |

Kuvio 2. Vanhan teollisuushallin alapohjarakenne

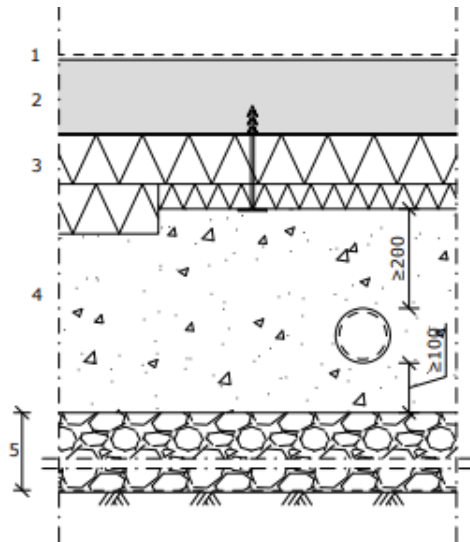
Liitteen 1 laskelmissa reuna-alueen lisälämmöneristeen rakentamisaikainen normaalin lämmönjohtavuuden arvo haettiin vuonna 1999 julkaistusta RT-kortista, jossa on esitetty eri EPS-eristeiden ominaisuuksia (RT 36-10690, 1999, 3). Koska kyseessä on rakentamisen aikainen normaalin lämmönjohtavuuden arvo, eikä kyseiselle materiaalille tiedetä tarkkaa kosteuspitäisyyden arvoa, ei lämmönjohtavuuden arvoa korjata.

Laskelmissa uudella laskentatavalla huomioon otettiin reunalla olevan lämmöneristeen vaikutus viivamaisen konduktanssin avulla luvussa 5.1 käsitellyn teorian mukaan. Laskentaohjelmalla ei ole mahdollista ottaa huomioon erikseen reuna-alueen lämmöneristystä. Päätettiin tarkastella vain lattian lämmöneristämätöntä keskiosaa, jolloin tuloksesta tulee epäedullisin.

### 6.1.2 Uusi rakennus

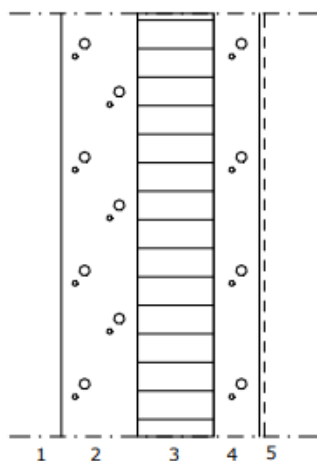
Uuden teollisuushallin lähtötietoja määritettäessä pyrittiin siihen, että alapohjarakenne on hyvin lämmöneristetty. Rakennuksessa on erillinen kuvion 4 mukainen perusmuuripalkki, jolloin sen vai-

kutus voidaan ottaa huomioon lisälämmöneristeenä. Alapohjarakennetta määritettäessä sovellettiin toimeksiantajan rakennetekniikan mallirakennetyyppiä uudelle teollisuushallille. Lämmöneristeinä alapohjarakenteessa käytetään raskaasti kuormitetun lattian XPS-eristettä, jonka vedenimu on hyvin pientä.



- |              |   |
|--------------|---|
|              | 1 Pintamateriaali ja -käsittely   |
| 150 mm       | 2 Teräsbetoni-laatta  |
| 150 / 200 mm | 3 Lämmöneriste, suulakepuristettu polystyreeni (XPS) 150 mm, 200 mm reuna-alueilla alle 1m etäisyydellä perusmuurista, $\lambda_{D,0,05} \leq 0,036$ W/mK. Pitkäaikainen puristuskestävyys $\geq 130$ kPa. Levyjen saumat limitetään. Laipalliset RST- tai muovikiinnikkeet $\varnothing 4,0 \geq 4$ kpl/m <sup>2</sup> |
| 400 mm       | 4 Tiivistetty salaojituksen sepeli #4...8 / 16...32   |
|              | 5 Perusmaa/ tiivistetty murskekerros/ täyttö, kallistus salaojiin 1:50, ks. pohjarakennussuunnitelmat, suodatinkangas N3 perusmaan päällä   |

Kuvio 3. Uuden teollisuushallin alapohjarakenne



**RAKENNE:**

	1 Sisätäyttö
150 mm	2 Teräsbetoni
150 mm	3 Lämmöneriste, XPS
90 mm	4 Teräsbetoni
	5 Perusmuurilevy

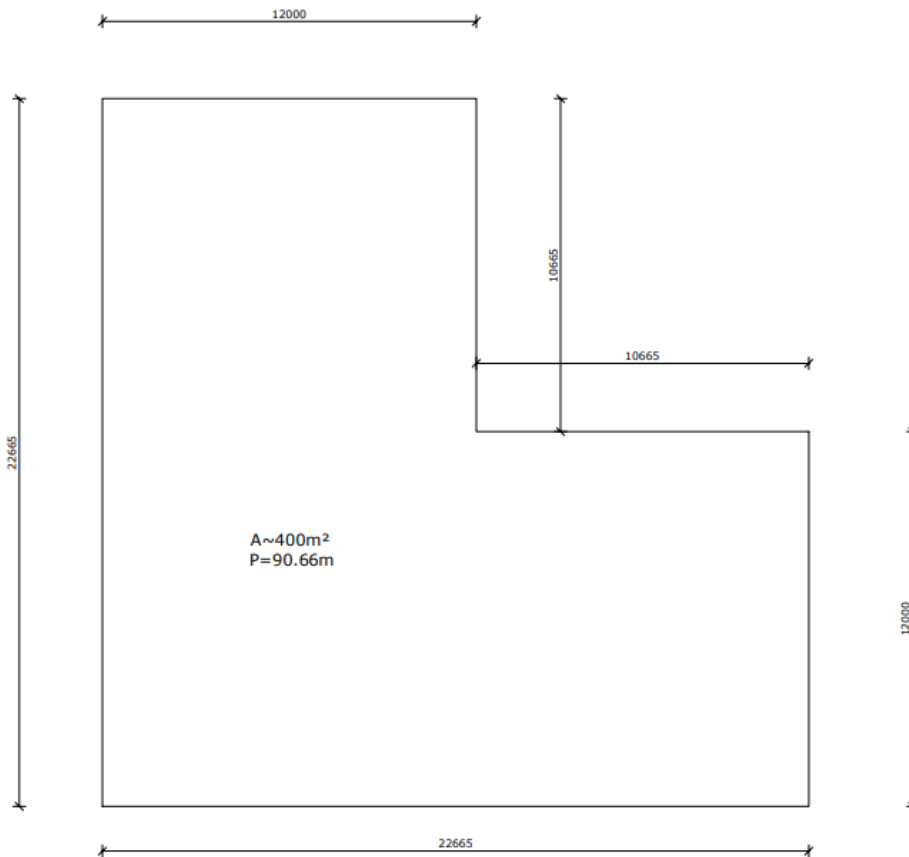
Kuvio 4. Uuden teollisuushallin perusmuurirakenne

Alapohjan lämmöneristeen lämmönjohtavuudelle käytettiin materiaalivalmistajan ilmoittamaa lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa, jossa on otettu huomioon eristeen kosteuspitoisuus. Perusmuurin lämmöneristeen lämmönjohtavuuden arvo on valmistajan ilmoittama arvo, jota korjattiin kosteuden muuntotekijällä käyttäen kosteuspitoisuuden arvona materiaalivalmistajan ilmoittamaa arvoa 0,7 %.

## 6.2 Päiväkoti

Päiväkotirakennusten muoto halutaan tyypillisesti olevan L- tai U-muotoinen, jonka takia tapaus- tarkasteluun määriteltiin L-muotoinen rakennus päiväkotirakennukselle tyypillisten mittojen mukaan. Muotoa valitessa toimeksiantajalla oli kiinnostus saada tietää, vaikuttaako rakennuksen sisänurkat U-arvon määrittämiseen. Päiväkotirakennuksen alapohjana valittiin käytettävän ryömintätilaista alapohjaa, joista molempia tarkastellaan sekä painovoimaisesti että koneellisesti tuuletettuna.

Tuuletusluukkujen pinta-ala on molemmissa tapauksissa 1 promillea pohjan pinta-alasta, rakennuspaikka on suojainen ja tuulen keskinopeus 10 metrin korkeudessa on 3,0 m/s. Molemmissa tapauksissa käytetään samoja rakennuksen mittoja, jotka on esitetty kuviossa 5. Näiden lähtötietojen perusteella ryömintätilaiselle päiväkotirakennukselle tehdään 4 erilaista luvun 6.2 mukaista tarkastelua. Lisäksi tehdään tarkastelu uudessa päiväkotirakennuksessa olevalle kellarinseinälle luvussa 6.3 esitetyn teorian mukaisesti.

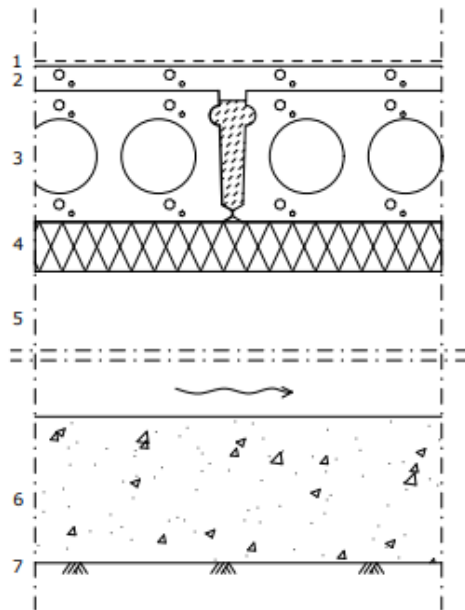


Kuvio 5. Päiväkodin alapohjan mitat

### 6.2.1 Vanha rakennus

Vanhassa päiväkotirakennuksessa lähtötiedoiksi määriteltiin huonosti lämmöneristetty alapohjarakenne, johon sovellettiin toimeksiantajan korjausrakennuksen mallirakennetyyppiä vanhasta ryömintätilaisesta alapohjarakenteesta. Perusmuurirakenteena sovellettiin vastaavanlaisen vuonna 1984 rakennetun rakennuksen kuvion 7 mukaista perusmuurirakennetta. Tarkastelut tehtiin sekä painovoimaisesti että koneellisesti tuulettuvalle ryömintätilaiselle alapohjarakenteelle, koska myös

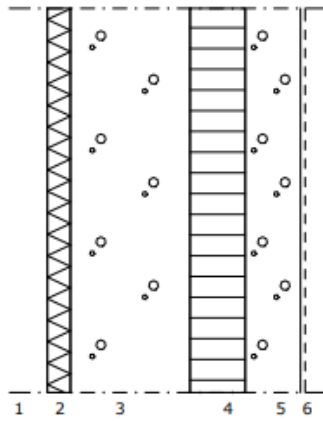
joihinkin peruskorjauskohteisiin saatetaan lisätä koneellinen tuuletus alapohjaan, jonka takia toimeksiantajaa kiinnosti sen vaikutus U-arvoon.



**RAKENNE:**

- mm	1 Pintarakenteet
50 mm	2 Pintabetonilaatta
265 mm	3 Ontelolaatta
100 mm	4 Lämmöneriste, EPS 65 (N)
800 mm	5 Painovoimaisesti tuulettuva ryömintätila
400 mm	6 Kevytsora
	7 Perusmaa/kallio

Kuvio 6. Vanhan päiväkodin alapohjarakenne



**RAKENNE:**

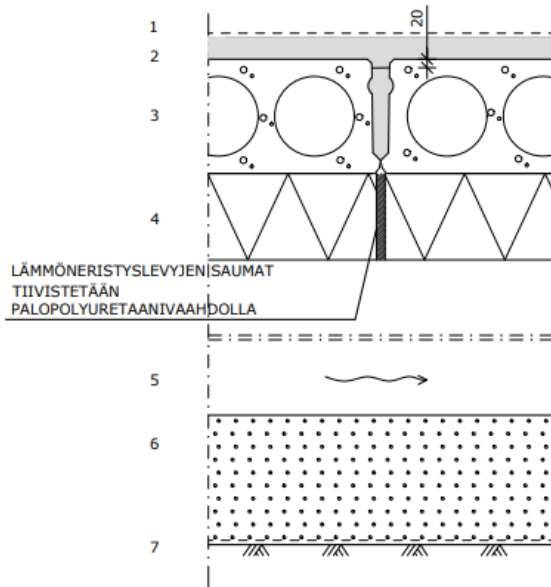
	1 Painovoimaisesti tuulettuva ryömintätila
50 mm	2 Lämmöneriste, EPS 60S
260 mm	3 Teräsbetoni
120 mm	4 Lämmöneriste, EPS
120 mm	5 Teräsbetoni
	6 Perusmuurilevy

Kuvio 7. Vanhan päiväkodin perusmuurirakenne

Lattiarakenteen ja perusmuurin lämmöneristeiden lämmönjohtavuuksille valittiin epäedullisimmat sopivat arvot RT 36-10690 -kortista. Koska kyseessä on rakentamisaikaiset normaaliset lämmönjohtavuuden arvot, eikä tiedossa ole lämmöneristeiden kosteuspitoisuuden arvoja, ei arvoja korjata kosteuden muuntotermillä. Ryömintätilan pohjassa lämmöneristeinä toimii kevytsorakerros.

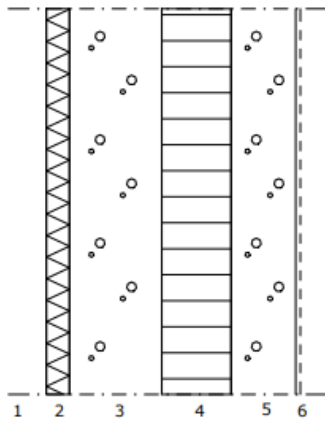
### 6.2.2 Uusi rakennus

Uudessa päiväkotirakennuksessa alapohjarakenne määritettiin toimeksiantajan rakennetekniikan mallirakennetyyppiä soveltaen. Rakennetta tutkitaan sekä painovoimaisesti tuuletettuna, että koneellisesti tuuletettuna. Haluttiin saada selville, kuinka suuri vaikutus koneellisella tuuletuksella on U-arvoon. Perusmuurirakenteena käytettiin vastaavanlaisessa kohteessa käytettyä rakennetta.



- |             |   |
|-------------|---|
| 1           | Pintamateriaali tai -käsittely  |
| 50 mm       | 2 Teräsbetonilaatta, C25/30, rauditusverkko 8-150 B500K   |
| OL + 200 mm | 3-4 Lämmöneristetyt ontelolaatat rakennepiirustusten mukaan. Eristeenä 200 mm EPS Grafit 80S Lattia eristelevy (vaikeasti syttyvä S-laatu, $\lambda_{Design} \leq 0,031$ ), joka on tehtaalla luotettavasti kiinnitetty laattaan. |
| 800 mm      | 5 Tuuletustila, tuuletus ja ilman kuivatus LVI-suunnitelmien mukaan (sokkelissa korvausilmaputket). Ryömintätilan lämpötilan oltava $\geq +2$ °C.   |
| 400 mm      | 6 Kapillaarikatko/ lämmöneriste kevytsora (esim. Leca®-sora KAP 4-20 mm)  |
|             | 7 Perusmaa  |

Kuvio 8. Uuden päiväkodin alapohjarakenne



**RAKENNE:**

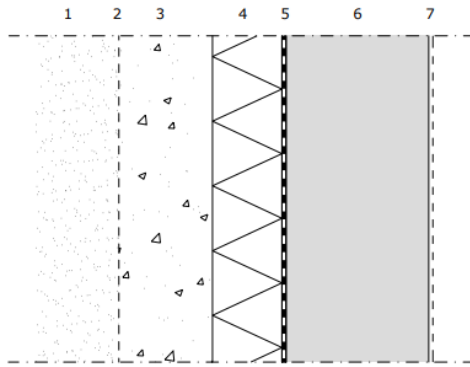
- |        |  |
|--------|--|
|        | 1 Painovoimaisesti tuulettuva ryömintätila |
| 50 mm  | 2 Lämmöneriste, EPS 60S                    |
| 200 mm | 3 Teräsbetoni                              |
| 150 mm | 4 Lämmöneriste, XPS                        |
| 140 mm | 5 Teräsbetoni                              |
|        | 6 Perusmuurilevy                           |

Kuvio 9. Uuden päiväkotirakennuksen perusmuurirakenne

Liitteen 7 laskelmissa lattiarakenteen lämmöneristeen lämmönjohtavuuden arvona käytettiin materiaalitoimittajan antamaa arvoa, johon ei ollut tarvetta tehdä korjauksia. Perusmuurin lämmönjohtavuuden arvona käytettiin materiaalivalmistajien ilmoittamia arvoja, joita täytyi vielä korjata kosteuden muuntotermillä. Korjauksessa käytettiin materiaalivalmistajan ilmoittamaa kosteuspi-toisuutta. Ryömintätilan pohjassa lämmöneristeenä toimii kevytsorakerros.

### 6.2.3 Kellarillinen uusi rakennus

Kellarinseinärakenteeksi ja alapohjarakenteeksi sovellettiin toimeksiantajan rakennustekniikan mallirakennetyyppejä. Kellarinseinärakennetta tutkitaan ainoastaan uutena rakenteena, sillä toimeksiantajan toimesta on jo selvitetty, että huonosti eristettyyn kellarinseinärakenteeseen uudella laskentaohjeella ei ole merkittävää vaikutusta.



1 Maanvastaisen seinän vierustäytöt perustamistapalausnonn tai pohjarakennusselostuksen mukaan

2 Suodatinkangas, luokka N3

3 Salaojituserkerros >200 mm.

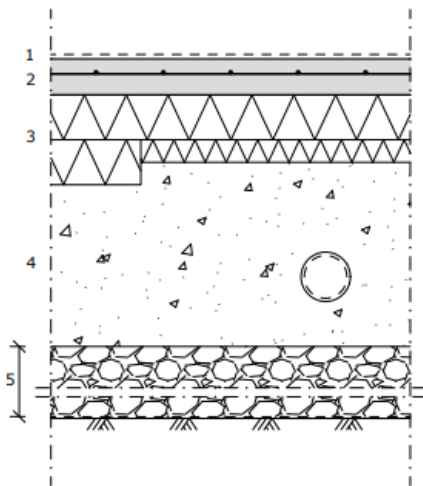
180 mm 4 Solumuovieriste EPS 120 Routa,  $\lambda_{\text{temp}} \leq 0,039$  W/mK, kiinnitys bitumilla

5 Vedeneristys modifioitu bitumikermi

300 mm 6 Teräsbetoniseinä

7 Pintamateriaali tai -käsittely

Kuvio 10. Uuden kellarillisen päiväkodin kellarinseinärakenne



1 Pintamateriaali ja -käsittely rakennus-/ huoneselostuksen mukaan

80 mm 2 Teräsbetonilaatta

150 / 200 mm 3 Lämmöneriste 150 mm, 200 mm reuna-alueilla alle 1m etäisyydellä perusmuurista, EPS 100 lattia

400 mm 4 Tiivistetty salaojituksen luokan sepeli #4...8 / 16...32

5 Perusmaa

Kuvio 11. Uuden kellarillisen päiväkodin alapohjarakenne

Liitteen 9 laskelmissa sekä kellarin lattian lämmöneristeen sekä kellarinseinän lämmöneristeen lämmönjohtavuuden arvona käytettiin materiaalivalmistajan ilmoittamia suunnitteluarvoja, joissa veden imeytyminen on otettu jo huomioon. Lämmönjohtavuuksien korjauksille ei siis ollut tässä tarkastelussa tarvetta.

## **7 Tulokset**

### **7.1 Teollisuushallin maanvastaiset alapohjarakenteet**

Taulukossa 3 on esitetty teollisuushalliin liittyvien tapaustarkasteluiden tulokset. U-arvoa ei ollut tarvetta korjata korjaustermeillä, joten korjattua arvoa ei ole huomioitu taulukossa. Sen sijaan kiinnostavaa oli se, kuinka nykyinen laskentaohje ottaa huomioon alapohjarakenteen reunalla olevat lisälämmöneristeet, joten taulukossa on esitetty päivitetyn laskentaohjeen mukaan lasketut U-arvot ennen ja jälkeen lisälämmöneristeen huomioon ottamisen. Vertailun vuoksi taulukkoon on esitetty myös DOF-LÄMPÖ -laskentaohjelmasta saatu arvo alapohjarakenteelle. Kuten luvussa 4.2 käsiteltiin, vanhassa laskentatavassa ohjeistettiin jakamaan lattiarakenne reuna- ja keskialueisiin. Laskentaohjelma ei ota huomioon reunalla olevan eristeen vaikutusta. Tarkastelussa määritettiin U-arvot DOF-LÄMPÖ -laskentaohjelmassa huonoimman mahdollisen lämmöneristepaksuuden mukaan, joten arvot on määritetty keskialueen rakenteilla.

Taulukko 3. Teollisuushallin tulosten vertailu, liitteet 1-4

Kohde	U-arvo, RIL 225-2023, W/(m <sup>2</sup> K)		U-arvo, DOF-LÄMPÖ, W/(m <sup>2</sup> K), korjattu	Laskentatapojen välinen ero
	Lisälämmöneristettä ei huomioitu	Lisälämmöneriste huomioitu		
Vanha teollisuushalli	0,33	0,23	2,13	Uusi laskentatapa ja lisälämmöneristeen huomiointi parantaa U-arvoa
Uusi teollisuushalli	0,12	0,12	0,22	Uusi laskentatapa parantaa U-arvoa, lisälämmöneristeen huomiointi ei vaikuta U-arvoon

Tarkasteltaessa lisälämmöneristeen huomioinnin vaikutusta, voidaan huomata, että suurin vaikutus on huonosti lämmöneristetyn alapohjarakenteen U-arvoissa. Lisälämmöneristeen huomiointi parantaa vanhan alapohjarakenteen U-arvoa merkittävästi, mutta arvo ei kuitenkaan yllä nykyiseen maanvastaisen alapohjan vertailuarvoon 0,16 W/(m<sup>2</sup>K). Hyvin lämmöneristetyn alapohjarakenteen tapauksessa lisälämmöneristeen vaikutus on niin pieni, että sen vaikutus ei näy lopullisessa U-arvossa.

Kun verrataan huonosti lämmöneristetyn alapohjarakenteen tapauksessa laskentaohjelmalla saatua arvoa ja päivitetyllä laskentatavalla saatua arvoa keskenään, voidaan huomata merkittävä parannus. Laskentaohjelmalla huomioon otettiin ainoastaan rakennuksen keskialue, joka on täysin

eristämätön. Myös hyvin lämmöneristetyin alapohjarakenteen arvossa uudella laskentamenetelmällä saatu arvo on liki puolet laskentaohjelman arvosta. Liitteen 3 laskelmissa kokeiltiin, täyttäsikö myös pienempi määrä lämmöneristettä vertailuarvon. Todettiin, että lämmöneristeen vähentämisellä 150 mm:stä 100 mm:iin vertailuarvo täytyisi hyvin lämmöneristetyssä alapohjarakenteessa.

Kuten luvussa 4.1 todettiin, U-arvoa määritettäessä materiaaleille tulee käyttää rakentamisaikaisia suunnitteluarvoja. Olevan rakenteen tarkastelussa arvona käytettiin siis normaalista lämmönjohtavuuden arvoa, jota ei ole korjattu nykyisen laskentaohjeen mukaisella kosteudenmuuntotermillä. Tiedossa ei ole arvoa vanhan lämmöneristeen kosteuspitoisuudelle, joten ei voida tietää, kuinka paljon se todellisuudessa vaikuttaisi lopputulokseen. Jos käytettäisiin nykyisen EPS-eristeen kosteuspitoisuuden arvoa 5 %, vaikutus olisi seuraava:

$$d = 0,05; \lambda_d = 0,041 \text{ W/(mK)} \text{ (RT 36-10690, 3); } \psi_{abs} = 5\%; f_\psi = 4 \text{ (SFS – EN ISO 10456:2007)}$$

$$\psi_{cor} = \psi_{abs} * 0,75 = 3,75\% = 0,0375 \quad (6)$$

$$F_m = e^{f_\psi \psi_{cor}} = e^{4 * 0,0375} = 1,1618 \quad (5)$$

$$F_T = F_a = 1$$

$$\lambda_U = \frac{0,041 \text{ W}}{\text{mK}} \cdot 1 \cdot 1,1618 = 0,048 \text{ W/(mK)} \quad (3)$$

Tällöin U-arvoksi tulisi  $0,23 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ . Tässä tarkastelussa reuna-alueen lämmöneristeen lämmönjohtavuuden korjaamisella ei ollut vaikutusta lopputulokseen.

## 7.2 Päiväkodin ryömintätilaiset alapohjarakenteet

Ryömintätilaiselle alapohjarakenteen U-arvolle on luvussa 3.2 esitetty ryömintätilaan rajoittuvalle lattiarakenteelle vertailuarvo. Uudessa laskentaohjeessa huomioon otettiin koko ryömintätilan ja perusmuurirakenteiden vaikutus. Ryömintätilaisen alapohjarakenteen U-arvoja ei ollut tarvetta

korjata varsinaisilla U-arvon korjaustermeillä. Taulukossa 4 on esitetty uuden laskentaohjeen mukaisesti lasketut arvot pelkälle lattiarakenteelle sekä koko ryömintätalalle, joita verrataan DOF-LÄMPÖ laskentaohjelmalla saatuun arvoon. Luvussa 6.2 pohdittiin, onko rakennuksen sisänurkilla vaikutusta U-arvoon. Kuten luvussa 5.1 todettiin, tässä ei otettu ulkopuolista lämmöneristystä huomioon, jolloin sisänurkalla ei ole vaikutusta lopputulokseen.

Taulukko 4. Päiväkodin tulosten vertailu, liitteet 5-8

Kohde	U-arvo, RIL 225-2023, W/(m <sup>2</sup> K)		U-arvo, DOF-lämpö, W/(m <sup>2</sup> K), korjattu	Laskentatapojen välinen suhteellinen ero
	Lattiarakenne	Koko ryömintätätilä		
Vanha päiväkoti, painovoimainen tuuletus	0,38	0,15	0,38	Uusi laskentatapa parantaa U-arvoa
Vanha päiväkoti, koneellinen tuuletus	0,38	0,15	0,38	Uusi laskentatapa parantaa U-arvoa
Uusi päiväkoti, painovoimainen tuuletus	0,15	0,14	0,15	Uusi laskentatapa parantaa U-arvoa
Uusi päiväkoti, koneellinen tuuletus	0,15	0,09	0,15	Uusi laskentatapa parantaa U-arvoa

Vanhojen laskentaohjeiden mukaan ryömintätilaisessa alapohjarakenteessa tarkastellaan vain ryömintätilaan rajoittuvan lattiarakenteen U-arvoa, jonka laskentatapa ei ole uudessa laskentaohjeessa muuttunut. Laskentaohjelmalla saatu arvo on siis sama arvo kuin uudessa laskentaohjeessa pelkän lattiarakenteen U-arvo. Uudessa laskentaohjeessa luvussa 5.2 käsitellyn teorian mukaisesti ryömintätilaisen lattiarakenteen U-arvossa huomioidaan perusmuurin, ryömintätilan pohjan sekä tuuletustavan vaikutus ja näin ollen tarkastellaan alapohjarakennetta kokonaisuutena.

Kun vanhan päiväkotirakennuksen painovoimaisesti ja koneellisesti tuuletetulle alapohjarakenteelle uudella laskentatavalla määritettyjä U-arvoja verrataan toisiinsa, ero ei ole kovin suuri. Molemmissa tapauksissa U-arvo kuitenkin paranee, kun huomioon otetaan pelkän lattiarakenteen sijaan koko alapohjarakenne. Kun verrataan uudella laskentatavalla koko alapohjarakenteen huomioon ottavaa arvoa ja laskentaohjelmalla saatua arvoa, arvo pienenee eli paranee yli puolella molemmissa tapauksissa.

Uuden päiväkodin ryömintätilaisen alapohjan U-arvojen erot painovoimaisesti tuuletetun ja koneellisesti tuuletetun ryömintätilan välillä ovat suuremmat. Koneellisesti tuuletetun alapohjan U-arvo on lähes puolet painovoimaisesti tuuletetun alapohjan U-arvosta. Painovoimaisesti tuuletetussa tapauksessa alapohjarakenteen U-arvo paranee melko vähän verrattuna vanhaan laskentatapaan. Koneellisesti tuuletetussa alapohjarakenteessa U-arvo pienenee uudella laskentatavalla määritettynä merkittävästi.

Uuden päiväkodin liitteen 7 laskelmissa kokeiltiin, kuinka paljon koneellisesti tuulettuvan alapohjarakenteen lämmöneristyksen määrää voitaisiin pienentää siten, että saavutettaisiin vertailuarvon mukainen U-arvo. Tuloksena lattiarakenteen lämmöneristysmäärää pystyttiin pienentämään 100 mm paksuuteen, sokkelihalkaisun lämmöneristettä 50 mm paksuuteen, sokkelin sisäpuolinen lämmöneriste voitiin poistaa kokonaan ja ryömintätilan pohjan kevytsorakerrosta voitiin pienentää 200 mm paksuuteen. Laskelmia tehdessä huomattiin, että lattiarakenteen lämmöneristeen määrällä oli huomattavasti suurempi vaikutus lopulliseen U-arvoon, kuin muilla lämmöneristeillä.

### 7.3 Päiväkodin kellarinseinärakenne

Taulukossa 5 on esitetty hyvin lämmöneristetyin kellarinseinärakenteen U-arvot laskettuna sekä uudella laskentatavalla, että laskentaohjelmalla. U-arvoja ei ollut tarvetta korjata korjaustermeillä, jonka takia taulukkoon ei ole erikseen esitetty korjattua ja korjaamatonta arvoa.

Taulukko 5. Päiväkodin kellarinseinä tulosten vertailu, liitteet 9-10

Kohde	U-arvo, RIL 225-2023, W/(m <sup>2</sup> K), Korjattu	U-arvo, DOF-lämpö, W/(m <sup>2</sup> K), Korjattu	Laskentaohjeiden välinen ero
Uusi päiväkotikellarinseinä	0,16	0,20	Uusi laskentatapa parantaa U-arvoa

Kun verrataan uuden ja vanhan laskentatavan tulosten eroja, paranevat kellarinseinän U-arvo huomattavasti. Kuten muissakin maanvastaisissa rakenteissa, myös tässä tulokseen vaikuttaa maanvaikutuksen huomioon ottaminen, mikä parantaa U-arvoa. Kuten luvussa 5.3 käsiteltiin, uudessa laskentaohjeessa on esitetty laskentaohjeet myös koko kellarikerroksen lämmönläpäisykertoimen määrittämiseksi. Vertailukelpoisuuden vuoksi tässä kuitenkin tarkasteltiin pelkästään kellarinseinän U-arvoa, eikä opinnäytetyössä ollut tällä kertaa mahdollisuutta tutkia koko kellarikerroksen U-arvoa. Kellarinseinän U-arvo täyttää luvussa 3.2 esitetyn maata vasten olevaa rakennusosaa koskevan vertailuarvon 0,16 W/(m<sup>2</sup>K).

## 8 Johtopäätökset

Tässä luvussa käsitellään tuloksista saatuja johtopäätöksiä jokaisen tutkimuskysymyksen osalta ja annetaan vastaukset tutkimuskysymyksiin. Lopuksi käsitellään myös tulosten vaikutusta rakennuksen energiatehokkuuteen. Luvussa 2.3 esitetyt opinnäytetyön tutkimuskysymykset ovat:

- Miten laskennassa korjataan huonosti lämmöneristettyjen alapohjarakenteiden lämmönläpäisykerrointa?

- Miten uudistunut laskentatapa vaikuttaa hyvin lämmöneristettyjen alapohja- ja kellarinseinärakenteiden lämmöneristystarpeen määrittämiseen?
- Mitkä korjaustermit ovat rakennusosissa eniten merkitseviä?

## 8.1 Laskentatavan vaikutus huonosti lämmöneristettyihin alapohjarakenteisiin

Tuloksia eri tapaustarkasteluiden välillä vertaillaessa huomattiin luvussa 7.1, että kaikista suurin vaikutus uudella laskentatavalla on huonosti lämmöneristettyyn maanvastaiseen alapohjaan. Laskentatapa ottaa huomioon reunalla olevan lisälämmöneristyksen, joka parantaa U-arvoa huomattavasti. Myös ohjeessa RIL 225-2023 sanotaan, että reunalla olevan eristyksen huomioon ottamisella saadaan hyvä likiarvo reunalla olevan lisälämmöneristyksen vaikutuksesta eristämättömiin alapohjiin, mutta laskentamenetelmä aliarvioi lisälämmöneristyksen vaikutusta lämmöneristetyissä lattioissa (RIL 225-2023, 51). Tämä todettiin laskelmia vertailllessakin, että vaikutus huonosti lämmöneristetyssä lattiarakenteessa on suurempi kuin hyvin lämmöneristetyssä lattiassa. Myös ekvivalenttipaksuudella huomioitava maan vaikutus ja maanvastaisille alapohjille spesifioidut laskentakaavat ottavat huomioon rakenteen edut ja sen myötä tuloskin on parempi.

Huonosti lämmöneristetyyn ryömintätillaisen alapohjarakenteen U-arvon laskeminen ei varsinaisen lattiarakenteen osalta ole muuttunut. Nykyisessä laskentaohjeessa luvussa 5.2 käsitellyn teorian mukaisesti ryömintätillaista alapohjarakennetta tarkastellaan kokonaisuutena ja siinä on otettu huomioon myös perusmuurin, ryömintätillan pohjan ja ilmanvaihdon vaikutus, jolloin kokonaisuudessaan ryömintätillaisen alapohjarakenteen U-arvo on parempi kuin ennen. Verrattaessa laskelman tuloksia vertailuarvoihin, tulee kuitenkin huomata, että vertailuarvot on esitetty ryömintätillan rajoittuvalle lattiarakenteelle. Arvot eivät tällöin perustu samoihin rakenteisiin, mutta itse U-arvon tulkitaan olevan vertailukelpoinen, jonka seurauksena rakennetta koskevaan lämmöneristävyyden tarkasteluun tulee helpotusta. Vanhan lattiarakenteen ryömintätillan tuuletustapa ei luvun 7.2 tulosten mukaan vaikuttanut tässä tapaustarkastelussa lopputulokseen merkittävästi.

Vanhojen ja huonosti lämmöneristettyjen alapohjarakenteiden osalta tulee kuitenkin kriittisesti tulkita U-arvon todenmukaisuutta. Luvussa 7.1 käsiteltiin sitä, kuinka paljon lämmöneristeen lämmönjohtavuuden arvo huonontuisi, jos sitä korjattaisiin luvun 4.1.2 teorian mukaisesti kosteuden muuntotermillä uusien EPS-eristeiden kosteuspitoisuuksien arvoilla. Todellisuudessa kosteuspitoisuuden arvo olisi vanhoilla EPS-eristeillä suurempi ja huonontaisi lämmönjohtavuuden arvoa

enemmän. Luvun 7.1 kokeilussa huomattiin, että lämmönjohtavuuden muuttaminen lisälämmöneristeelle ei vaikuttanut lopulliseen U-arvoon. Vaikutus U-arvoon olisi kuitenkin suurempi rakenteissa, joissa vanha lämmöneriste olisi koko lattian alueella ja vaikuttaisi koko rakenneosan lämmönvastukseen merkittävästi.

Vastauksena ensimmäiseen tutkimuskysymykseen voidaan todeta, että laskennassa korjataan huonosti lämmöneristettyjen alapohjarakenteiden lämmönläpäisykerrointa ottamalla alapohjarakenteet huomioon kokonaisuuksina. Maan ja kokonaisuuksien vaikutuksien huomioon ottaminen pääsääntöisesti parantavat U-arvoa. Maanvastaisen rakenteen lämmöneristeen  $\lambda$ -arvon kosteudenmuuntotekijälle spesifioitua laskentatapaa ei juurikaan voida hyödyntää vanhojen, huonosti lämmöneristettyjen rakenteiden osalta puutteellisten materiaaliakohtaisten tietojen takia.

## **8.2 Laskentatavan vaikutus hyvin lämmöneristettyihin alapohja- ja kellarinseinärakenteisiin**

Teollisuushallin hyvin lämmöneristetyssä alapohjarakenteessa laskentatapa vaikutti huomattavasti U-arvon laskentaan, vaikka reuna-alueiden lisälämmöneristeiden vaikutuksen huomioon ottamisella ei ollut juurikaan vaikutusta lopulliseen U-arvoon. Tämän myötä voidaan vahvistaa näkemystä siitä, että uuden laskentatavan maanvastaisille rakenteille spesifioidut laskentakaavat todellakin tuovat paremmin esille maanvastaisen rakenteen maan vaikutuksen tuomia etuja ja maan kautta kulkevan lämpövirran suuruutta, jonka myötä tulos on parempi myös hyvin lämmöneristetyllä maanvastaisella alapohjalla. Ohjeessa RIL 225-2023 on maininta, että laskentatapa ei ota huomioon reunalla olevaa lisälämmöneristystä hyvin lämmöneristetyssä maanvastaisessa alapohjarakenteessa yhtä hyvin kuin huonosti lämmöneristetyssä alapohjarakenteessa, mutta vaikutus on kuitenkin vähintään yhtä suuri kuin laskettu arvo (RIL 225-2023, 51).

Ryömintätilaisessa alapohjarakenteessa on hyvin lämmöneristetyn rakenteen osalta sama tilanne kuin huonosti lämmöneristetyn rakenteen osalta. Ennen on laskettu käytännössä pelkän lattiarakenteen lämmönläpäisykerroin ja uudessa ohjeessa huomioon on otettu myös ryömintätila ja sitä ympäröivät rakenteet. Tämä laskentatapa parantaa lämmönläpäisykerrointa huomattavasti. Erilliset laskentatavat koneellisesti ja painovoimaisesti tuulettetulle ryömintätilalle muuttavat hyvin lämmöneristetyn lattiarakenteen U-arvoa enemmän, kuin huonosti lämmöneristetyn. Koneellisesti

tuuletetun hyvin lämmöneristetyn lattiarakenteen U-arvo on huomattavasti parempi kuin painovoimaisesti tuuletetun. Luvussa 7.2 käsiteltiin sitä, kuinka paljon koneellisesti tuuletetun lattiarakenteen lämmöneristemääriä voitaisiin pienentää siten, että vertailuarvossa pysytään. Määrän pienentyminen oli merkittävä ja sillä on vaikutus rakennuksen materiaali- ja kustannustehokkuuteen.

Uudella laskentatavalla myös kellarin seinän U-arvo parantuu maan vaikutuksen huomioon ottamisen ansiosta. Uudessa laskentaohjeessa on annettu ohjeet myös koko kellarikerroksen U-arvon laskemiseen, jolloin tarkasteltaisiin kaikkia kellaria ympäröiviä rakenteita ja niiden avulla määritettäisiin kellarikerrokselle yksi U-arvo. Tämä todennäköisesti parantaisi U-arvoa myös, mutta sen vertaaminen vertailuarvoihin aiheuttaa samantyyppisiä ristiriitaisuuksia, kuin ryömintätalaisen alapohjarakenteen kohdalla esiintyi.

Vastauksena toiseen tutkimuskysymykseen voidaan todeta, että uusi laskentatapa parantaa myös uusien, hyvin lämmöneristettyjen rakenteiden U-arvoja. Myös näiden osalta suurin vaikutus on sillä, että rakenteita tarkastellaan kokonaisuuksina ja maan vaikutus otetaan huomioon. Tämän myötä alapohjarakenteista voidaan lämpöteknisten seikkojen puolesta mahdollisesti pienentää eristepaksuuksia. Kellarinseinärakenteen U-arvo parani myös, mutta mahdollisuutta eristepaksuuksien pienentämiseen sen osalta ei ole. Myös sen määrittämiseen vaikutti kellarin lattian eristävyys, joten kokonaisuus vaikutti myös sen osalta.

### **8.3 Korjaustermien vaikutus**

Kolmannen tutkimuskysymyksen vastaukseksi voidaan todeta, että varsinaisia U-arvon korjaustermejä ei ollut tarvetta käyttää yhdessäkään tapaustarkasteluiden laskelmista. Myöskään ohjeen RIL 225-2023 esimerkkilaskelmissa maanvastaisten rakenteiden osalta korjaustermejä ei ollut käytetty. Sen sijaan lisälämmöneristeiden huomioon ottaminen maanvastaisissa alapohjissa toimii ikään kuin korjausterminä, joka parantaa U-arvoa. Myös ekvivalenttipaksuudella ja suhteellisella lattiemitalla huomioon otettavalla maanvaikutuksella korjataan U-arvoa maanvastaisten rakenteiden osalta parempaan suuntaan vanhaan laskentatapaan verrattuna.

Kappaleessa 4.1.2 käsiteltiin lämmönjohtavuutta korjaavaa kosteuden muuntotekijää ja sitä, kuinka uudessa ohjeessa on esitetty spesifioitu määrittystapa, kun kyseessä on maanvastainen rakenne. Huonosti eristettyjä rakenteita tarkasteltaessa käytettiin eristeille vuonna 1999 julkaistun RT-kortin mukaisia normaalisia lämmönjohtavuuksia, jotka ovat tapaustarkasteluissa käytettävien rakennusten rakennusaikaisia lämmönjohtavuuksia. Normaalin lämmönjohtavuuden arvo on ollut annettu lämmönjohtavuuden arvo, jota ei ole ollut tarvetta korjata mitenkään. Todellisuudessa vanhojen EPS-eristeiden vedenimukyky on huomattavasti suurempi kuin uusien EPS-eristeiden, mutta siitä ei ole olemassa tutkittua tietoa, jonka avulla pystyttäisiin selvittämään, kuinka paljon se huonontaisi materiaalin lämmönjohtavuutta. Todennäköisesti lämmönjohtavuuden arvo on siis todellisuudessa suurempi.

Uusissa rakennuksissa käytetään tyypillisesti maata vasten olevina eristeinä XPS-eristettä, jonka vedenimukyky on alhaisempi. Lämmöneristevalmistaja Finnfoamin nettisivuilla XPS-eristeiden lämmönjohtavuuksille on annettu valmiit suunnitteluarvot, joita käytetään maanvastaisia rakenteita suunnitellessa. Uudessa ryömintätilaisessa alapohjassa käytettyjä EPS-lämmöneristeiden lämmönjohtavuuksia jouduttiin itse korjaamaan suunnitteluarvoksi, sillä niille ei ole vielä annettu niitä valmistajan toimesta. Suurin vaikutus lämmönjohtavuuden korjaamisella oli EPS-eristeissä, koska niiden kosteuspitoisuuden laskenta-arvot ovat XPS-eristeitä suurempia.

## **8.4 Vaikutus energiatehokkuuteen**

Luvussa 3.1 käsiteltiin sitä, että materiaalitehokkuus on yhtä lailla tärkeä kestävän kehityksen tavoite kuin energiatehokkuus. Kyseisessä luvussa todettiin myös, että rakennuksen hyvä energiatehokkuus vaatii paksuja eristekerroksia. Tapaustarkasteluissa päädyttiin kuitenkin siihen, että sekä uudessa ryömintätilaisessa alapohjassa että uudessa maanvastaisessa alapohjassa liitteiden 3 ja 7 laskelmissa lämmöneristeen määrää on mahdollista vähentää huomattavasti U-arvon näkökulmasta, kun tähdätään vertailuarvoon. Kyseessä olivat toimeksiantajan mallirakennetyypit, joten kyseiset eristemäärät ovat todennäköisesti tyypillisiä kyseisissä kohteissa. Lämmöneristeiden määrien vähentäminen säästää kustannuksia ja sitä kautta energiaa, joka materiaalien valmistukseen kuluu ja sen myötä vähentää rakennukseen upotettua energiaa. Rakennepaksuuksien pienenemisellä voi olla myös kustannus- ja resurssitehokkuuden näkökulmasta kerrannaisvaikutuksia.

Korjauskohteissa etenkin maanvastaiset alapohjarakenteet ovat tyypillisesti niitä, joiden korjaamisesta aiheutuvia raskaita toimenpiteitä halutaan vältellä, koska korjausvaihtoehdot ovat usein hyvin kevyitä tiivistystyyppisiä korjauksia tai koko rakenteen purkaminen ja uusiminen. Jotta rakennus saadaan tarpeeksi energiatehokkaaksi, voidaan luvussa 3.3 käsitellyissä lämpöhäviö tarkasteluissa kompensoida huonosti lämmöneristettyä alapohjaa parantamalla muiden rakennusosien lämmöneristystä. Erityisesti huonosti lämmöneristetyissä maanvastaisen alapohjan omaavissa rakennuksissa, joissa alapohjan U-arvo paranee laskentatavan myötä huomattavasti ja alapohjan korjaaminen on vaikeaa, myös kompensoivien lämmöneristeiden lisäämisen tarve muihin rakennusosiin vähenee ja syntyy materiaalisäästöä.

Uudenlaskentatavan vaikutusten myötä vähentynyt lämmöneristetarpeen määrä voi aiheuttaa myös sen, että rakennusten maanvastaisten rakenteiden korjaaminen vähenee entisestään, kun siellä tarvittava lämmöneristemäärä ei olekaan niin suuri kuin on luultu ja pieni lämmöneristemäärän puutos voidaan kompensoida muilla rakennusosilla tai vain reuna-alueisiin kohdistuvien toimenpitein. Alapohjarakenteiden korjaamisessa ja sinne lämmöneristeiden lisäämisessä syntyy usein betonijätettä ja tarve uudelle betonille, joka synnyttää päästöjä niin jätteen käsittelyn kuin uuden betonin tuottamisenkin kautta. Vähähiilisuuden kannalta on siis edullista, että etenkin maanvastaisia alapohjia ei olisi tarvetta lähteä uusimaan. Tätä edesauttaa myös se, että materiaalien ominaisuudet tunnetaan paremmin ja maanvastaisia rakenteita tarkastellaan spesifimmin, jolloin myös tämän hetken uudisrakentamisen korjaustarve tulevaisuudessa näiden rakenteiden osalta olisi mahdollisimman pieni.

## **9 Pohdinta**

### **9.1 Tulosten arviointi ja hyödynnettävyys**

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, kuinka päivittynyt laskentatapa vaikuttaa maanvastaisten rakenteiden lämmöneristävyyteen ja lämmöneristystarpeeseen sekä ymmärtää, kuinka rakennekerrosten valinta vaikuttaa rakennuksen kokonaisenergiatehokkuuteen. Tietoperusta koottiin vertaillen laskentaohjeita keskenään ja tuoden esiin niiden eroavaisuudet. Tämän myötä opinnäytetyöstä voidaan tarkastella osa-alueittain eroja laskentaohjeiden välillä.

Tulosten avulla toimeksiantaja voi arvioida ja kehittää mallirakennetyyppiensä lämmöneristemäärää, sekä kohdentaa paremmin tarkastelunsa muutoksen vaikutuksen myötä oleellisille rakenteille. Tulosten avulla esiin nousee erityisesti se, kuinka paljon arvo eroaa DOF-LÄMPÖ -laskentaohjelmalla saadusta arvosta. Tämän avulla suunnittelijat pystyvät päättelemään, kuinka suuntaa antava laskentaohjelmalla saatu arvo eri rakenneosien kohdalla enää on. Liitteiden laskelmista suunnittelijat pystyvät näkemään, kuinka paljon maanvastaisten rakenteiden laskentatapa on muuttunut.

Uudessa laskentatavassa maanvastaisten rakenteita tarkastellaan suurempina kokonaisuuksina kuin ennen. Tämän myötä esiin nousee se, kuinka monta vaikuttavaa tekijää laskelmissa on ja sen myötä myös tulokset ovat entistä enemmän tapauskohtaisia. Suoraan opinnäytetyössä saatuja U-arvoja ei esimerkiksi voi käyttää minkään kohteen rakenteisiin, koska arvoon vaikuttaa mm. rakennuksen koko ja perusmuurirakenne. Opinnäytetyötä hyödynnettäessä kannattaakin kiinnittää enemmän huomiota siihen, kuinka suuret erot ovat uuden ja vanhan laskentatavan välillä.

Laskentatapa vaikuttaa myös U-arvon esittämiseen rakennetyypeissä. Esimerkiksi alapohjarakenteen rakennetyyppiirustuksissa on ennen voitu esittää rakenneratkaisun U-arvo. Nyt kun alapohjan U-arvoon vaikuttaa myös monet muut tekijät, näin toimiminen ei aja asiaansa enää samalla tavalla. Suunnittelijoiden tulee jatkossa miettiä, millainen U-arvon esitystapa on relevantti.

DOF-LÄMPÖ laskentaohjelman käyttöä opeteltiin opinnäytetyötä tehdessä toimeksiantajan valmiiden ohjeiden avulla. Laskentaraportin perusteella ulkopuolisen on vaikea arvioida, onko laskelma tehty oikein, joten laskentaohjelman tulosten osalta tulee olla kriittinen. Suunnittelijat ovat mahdollisesti voineet määrittää myös esimerkiksi vain reunoilta lämmöneristetyn maanvastaisten alapohjarakenteen U-arvon eritavoin, kuin tässä opinnäytetyössä.

## **9.2 Luotettavuus ja eettisyys**

Opinnäytetyö perustuu hyvin pitkälti laskentaohjeeseen RIL 225-2023, josta on otettu opinnäytetyön teoriaosaan paljon kaavoja, niiden selityksiä ja teorioita. Kaavojen ja tietojen yhteydessä on viitattu asianmukaisesti laskentaohjeeseen. Laskentaohjeista peräisin olevaan tietoon on viitattu tarkasti, jotta vertaillessa laskentaohjeita tiedot eivät sekoitu keskenään. Teoreettiset tiedot on pidetty oikeellisina eikä niitä ole muokattu. Viittaus on tehty pääsääntöisesti RIL-laskentaohjeisiin,

vaikka tiedon alkuperäislähteenä ovat standardit, joihin laskentaohjeessa on viitattu. Opinnäytetyössä on oma sisäinen numerointi laskentakaavoille, joka on erillinen laskentaohjeissa esitetyistä kaavanumeroinneista. Liitteiden laskelmissa viitataan kaavanumeroilla tämän opinnäytetyön teoriaosuuden laskentakaavoihin.

Kuten luvussa 2.4 käsiteltiin, kirjallisuuskatsaus pysyi hyvin läpinäkyvänä ja uudelleen toistettavana. Myös tapaustarkasteluissa laskelmat esitettiin selkeästi vaihe vaiheelta eikä jätetty huomiota kertomatta. Kirjallisuuskatsauksen osalta Vilkkka tuo esiin kirjassaan useaan kertaan sitä, kuinka kriittinen tulee olla tutkimusten valitsemisessa lähteeksi (Vilkkka H, 2023, 92). Tässä tutkimuksessa lähteet olivat käytännössä jo osa toimeksiantoa, joten tämän osalta ei ole epäilystä lähteiden luotettavuudesta. Energiategohokkuuden osalta tietoa haettiin myös muista lähteistä, jotka olivat mahdollisimman ajantasaisia ja Rakennustiedon kustantamia, joiden osalta niiden pitäisi olla tarpeeksi luotettavia.

### 9.3 Jatkokehitys ehdotukset

Opinnäytetyössä saatujen tulosten vaikutuksia rakenteen kosteustekniseen toimivuuteen voitaisiin tutkia tarkemmin, esimerkiksi ryömintätilaisen alapohjarakenteen perusmuurin lämmöneristeen vähentämisen osalta. Ryömintätilan koneellisella tuuletuksella on myös omat vaikutuksensa rakenteeseen kosteusteknisesti mm. kosteuden tiivistymisen ja kulkeutumisen kannalta, joita voisi tarkemmin selvittää.

Vanhojen lämmöneristeiden käyttäytymisestä ja ominaisuuksista etenkin EPS-eristeen osalta on olemassa vähäisesti tietoa. Niiden ei kuitenkaan voida olettaa käyttäytyvän samoin, kun uudet lämmöneristeet, kuten jo luvussa 4.1 todettiin. Olisi kuitenkin rakenteen rakennusfysikaalisten ominaisuuksien kannalta olennaista, että eristeiden ominaisuuksista olisi olemassa tarkemmin tietoa. Jatkokehityksenä vanhojen eristemateriaalien ominaisuuksia ja käyttäytymistä erilaisissa tilanteissa voitaisiin tutkia kokeellisesti, joka auttaisi etenkin korjauskohteissa lisäämään ymmärrystä siitä, mitkä rakenteet vaativat enemmän huomiota kuntotutkijoilta ja korjaussuunnittelijoilta.

Tässä opinnäytetyössä vertailtiin vain uuden kellarinseinän U-arvoja uudella ja vanhalla laskentavalla määritettynä. Mielenkiintoista olisi selvittää, millainen vaikutus kellarin lattiarakenteella ja

luvussa 5.3.1 esitetyillä kaavavalinnoilla on kellarinseinän U-arvoon. Tätä voitaisiin tutkia vertailemalla hyvin ja huonosti lämmöneristettyjä kellarirakenteita toisiinsa. Mielenkiintoista olisi myös jatkokehityksenä selvittää, kuinka koko kellarikerroksen U-arvon määrittäminen uuden laskentatavan mukaisesti eroaisi siitä, että kellarikerrosta tarkasteltaisiin rakennusosakohtaisesti vanhan laskentatavan mukaan. Tämän jälkeen voitaisiin pohtia, onko tuloksella vaikutusta koko rakennuksen energiatehokkuuteen. Myös vaikutuksia erilaisiin uusiin ja vanhoihin kellarinseinärakenteisiin olisi mielenkiintoista tutkia laajemmin.

Laskentatavan muutosten vaikutuksia voitaisiin kartoittaa laajemmin erilaisille alapohjarakenteille eri kokosiin ja käyttötarkoituksellisiin rakennuksiin. Opinnäytetyössä tutkittiin ryömintätalaisen alapohjarakenteen osalta vain ontelolaattarakenteista lattiarakennetta. Voitaisiin selvittää millainen vaikutus olisi esimerkiksi alapohjiin, joissa lattiarakenne on palkisto. Rakennuksen koon vaikutusta U-arvoon voisi myös tutkia tarkemmin. Mielenkiintoista olisi tutkia kokeellisesti myös, kuinka Suomessa tyypillisesti toimivat rakenneratkaisut toimivat lämpöteknisesti todellisuudessa ja verrata tätä teoreettisesti määritettyyn U-arvoon, kuten irlantilaisessa tutkimuksessa on tehty (O’Hegarty, R., Kinnane, O., Lennon, D., Colclough, S., 2021).

## Lähteet

A 1010/2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Viitattu 4.1.2024 <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>

Häkkinen T. & Kuittinen M. 2020 Kohti vähähiilistä rakentamista. Helsinki: Rakennustieto Oy

O'Hegarty, R., Kinnane, O., Lennon, D., Colclough, S., 2021. In-situ U-value monitoring of highly insulated building envelopes: Review and experimental investigation. School of Architecture, Planning and Environmental Policy, University College Dublin, Ireland. Viitattu 21.4.2023 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778821007313>

Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia 2020–2050. 2020. Viitattu 6.3.2024. <https://ym.fi>

RakMK C3. 2003. Ympäristöministeriön asetus lämmöneristyksestä. Viitattu 25.2.2024. <https://www.finlex.fi>

RakMK C3. 2010. Ympäristöministeriön asetus lämmöneristyksestä. Viitattu 25.2.2024. <https://www.finlex.fi>

RakMK C4. 2003. Ympäristöministeriön asetus lämmöneristyksestä. Viitattu 22.1.2024. <https://www.finlex.fi>

RIL 225-1-2014. Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. Helsinki: RIL ry

RIL 225-2004. Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien laskenta. Helsinki: RIL ry

RIL 225-2023. Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien laskenta. Helsinki: RIL ry

RT 36-10690. 1999. EPS-Eristeet. Ohjetiedosto. Viitattu 29.3.2024 <https://janet.finna.fi/>, Rakennustieto.fi

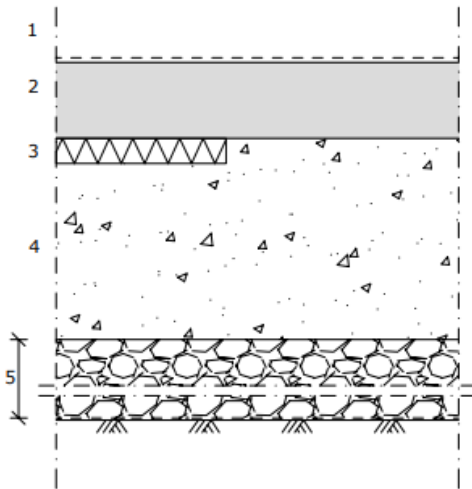
SFS-EN ISO 10456:2007+AC:2009. Building materials and products. Hygrothermal properties. Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values. Vahvistettu 25.1.2010. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS-EN ISO 13370:2017. Rakennusten lämpöominaisuudet. Lämpöhäviöt maaperän kautta. Laskentamenetelmät. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS ry. Vahvistettu 4.8.2017. Viitattu 17.1.2024. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

SFS-EN ISO 6946:2017. Rakennusosat. Lämmönvastus ja lämmönjohtavuus. Laskentamenetelmät. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS ry. Vahvistettu 4.8.2017. Viitattu 17.1.2024. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

Vilka, H. 2023. Kirjallisuuskatsaus metodina, opinnäytetyön osana ja tekstilajina. Tallinna: Art House Oy

## Liite 1. Vanha teollisuushalli, RIL 225-2023



- 1 Pintamateriaali ja -käsittely  
 150 mm 2 Teräsbetonilaatta  
 150 / 200 mm 3 Lämmöneriste EPS 100 (R) 50 mm reuna-alueilla 5m etäisyydellä perusmuurista  
 400 mm 4 Tiivistetty salaojituksen sepeli #4...8 / 16...32  
 5 Perusmaa

### Lattiarakenne:

Paksuus, m	Rakennekerros	Lämmönjohtavuus, $W/(mK)$	Lämmönvastus, $m^2K/W$	Kerros
	Sisäpuolen pintavastus		0,17	si
0,15	Betoni	2,5 <sup>1)</sup>	0,06	1
	Ulkopuolen pintavastus		0,0	se

Lämmönvastukset rakennekerroksille laskettu kaavalla  $R = \frac{d}{\lambda}$ , (8).

<sup>1)</sup> RIL 225-2023, liite 1, betoni 2% terästä

Reuna-alueen lämmöneristeen EPS 50 (R) lämmönvastus:

$$d = 0,05$$

$$\lambda_d = 0,041 W/(mK) \quad (\text{RT 36-10690, 3})$$

$$R = \frac{0,05 \text{ m}}{0,041 \text{ W/(mK)}} = 1,22 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (8)$$

$$R' = R_n - \frac{d_n}{\lambda} = 1,22 - \frac{0,05}{2,0} = 1,195 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (19)$$

$$d' = R' \cdot \lambda = 1,195 \cdot 2,0 = 2,39 \text{ m} \quad (18)$$

Suhteellinen lattiamitta:

$$B = \frac{A}{0,5 \cdot P} = \frac{1875 \text{ m}^2}{0,5 \cdot 200 \text{ m}} = 18,75 \text{ m} \quad (12)$$

Ekvivalentti paksuus:

$$d_t = w + \lambda (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (13)$$

$$w = 0 \text{ m}$$

$$\lambda = 2,0 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \text{ (hiekkä)}$$

$$R_f = 0,06 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$d_t = 0 \text{ m} + 2,0 \frac{\text{W}}{\text{mK}} (0,17 + 0,06 + 0) \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 0,46 \text{ m}$$

Lattiarakenteen lämmönläpäisykerroin ilman reunan lisälämmöneristettä:

koska  $d_t < B$

$$U = \frac{2\lambda}{\pi \cdot B + d_t} \cdot \ln\left(\frac{\pi \cdot B}{d_t} + 1\right) = \frac{2 \cdot 2,0}{\pi \cdot 18,75 + 0,46} \cdot \ln\left(\frac{\pi \cdot 18,75}{0,46} + 1\right) = 0,327 \text{ W/(m}^2\text{K)} \quad (14)$$

Viivamaisen konduktanssin arvo:

$$\psi_{g,e} = -\frac{\lambda}{\pi} \left[ \ln\left(\frac{D}{d_t} + 1\right) - \ln\left(\frac{D}{d_t + d'} + 1\right) \right] \quad (21)$$

$$= -\frac{2,0}{\pi} \left[ \ln\left(\frac{5,0}{0,46} + 1\right) - \ln\left(\frac{5,0}{0,46 + 2,39} + 1\right) \right] = -0,930$$

Rakenteen lopullinen U-arvo:

$$U = U_0 + \frac{2\psi_{g,e}}{18,75} = 0,327 + \frac{2 \cdot (-0,930)}{18,75} = 0,23 \text{ W/(m}^2\text{K)} \quad (20)$$

# DOF-LÄMPÖ 3.0

Rakennuskohde:	Vanha teollisuushalli
Suunnittelija:	Janina Kallio
Yritys:	Ramboll Finland Oy
Rakenneosan nimi/tunnus:	Maanvastainen alapohjarakenne
Rakennusluokka:	9 Muut rakennukset, lämmin tila

## Lisätiedot:

### Lisätietoja

Suunnittelija:

Janina Kallio

Paivays:

7.3.24

## PERUSTIEDOT

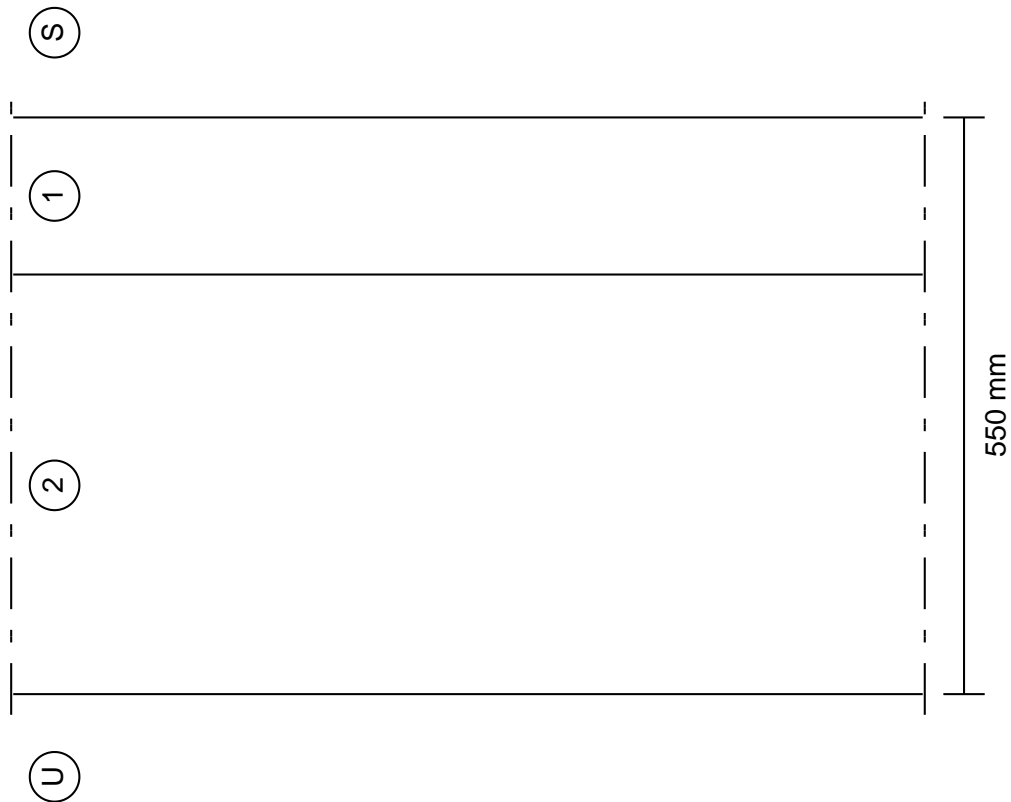
Rakenne:	Alapohja (maanvastainen)
Rakenneosan kok. pinta-ala (m <sup>2</sup> ):	1875
Ulkopinnan pintavastus (m <sup>2</sup> K/W):	0.04
Sisäpinnan pintavastus (m <sup>2</sup> K/W):	0.17
Korjaustermi deltaU (W/m <sup>2</sup> K):	0.0000
Korjaustermin selite:	
Kylmäsiltojen päällekkäisyys:	Täysin eri kohdissa

## U-arvon laskentatulokset

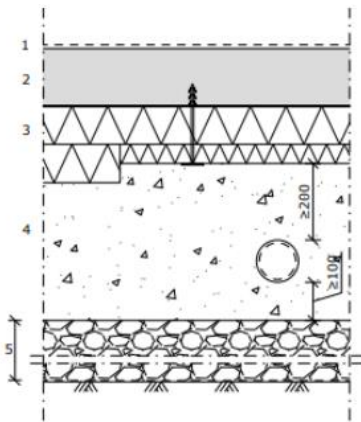
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläkiiarvo:	0.470 m <sup>2</sup> K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alalikiiarvo:	0.470 m <sup>2</sup> K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastus:	0.470 m <sup>2</sup> K/W
U-arvo (ilman korjaustermiä)	2.128 W/m <sup>2</sup> K
Laskettu/annettu korjaustermi:	0.000 W/m <sup>2</sup> K
U-arvo (korjaustermi huomioiden):	2.128 W/m <sup>2</sup> K
U-arvo (pyöristetty arvo):	2.13 W/m <sup>2</sup> K
Uudiskohteen vertailuarvo:	0.16 W/m <sup>2</sup> K

## RAKENNEKERROKSET

Kerros:	Paksuus: (mm)	Materiaali:	Lambda: (W/mK)	VHL: (kg/msPa)
1	150.00	Betoni, raudoitettu (2 % terästä)	2.500	1.538e-12
2	400.00	Hiekka ja sora	2.000	4e-12



### Liite 3. Uusi teollisuushalli, RIL 225-2023



- 1 Pintamateriaali ja -käsittely
- 150 mm 2 Teräsbetoni-laatta
- 150 / 200 mm 3 Lämmöneriste, suulakepuristettu polystyreeni (XPS) 150 mm, 200 mm reuna-alueilla alle 1m etäisyydellä perusmuurista,  $\lambda_{Design} \leq 0,036$  W/mK. Pitkäaikainen puristuskestävyys  $\geq 130$  kPa. Levyjen saumat limitetään. Laipalliset RST- tai muovikiinnikkeet  $\geq 4$  kpl/m<sup>2</sup>
- 400 mm 4 Tiivistetty salaojituksen sepeli #4...8 / 16...32
- 5 Perusmaa/ tiivistetty murskekerros/ täyttö, kallistus salaojiin 1:50, ks. pohjarakennussuunnitelmat, suodatinkangas N3 perusmaan päällä

#### Lattiarakenne:

Paksuus, m	Rakennekerros	Lämmönjohtavuus, $W/(mK)$	Lämmönvastus, $m^2K/W$	Kerros
	Sisäpuolen pintavastus		0,17	si
0,15	Betoni	2,5 <sup>1)</sup>	0,06	1
0,15	Lämmöneriste, XPS	0,036 <sup>2)</sup>	4,167	2
	Ulkopuolen pintavastus		0,0	se

Lämmönvastukset rakennekerroksille laskettu kaavalla  $R = \frac{d}{\lambda}$ , (8).

1)= RIL 225-2023, liite 1, betoni 2% terästä

2)=Finfoam FL-300, AP02,  $\psi_{abs} = 0,7\%$  huomioitu lämmönjohtavuuden arvossa

Suhteellinen lattiamitta:

$$B = \frac{A}{0,5 \cdot P} = \frac{1875m^2}{0,5 \cdot 200m} = 18,75m \quad (12)$$

Ekvivalentti paksuus:

$$d_t = w + \lambda (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (13)$$

$$w = 0,390m$$

$$\lambda = 2,0 \frac{W}{mK} (\text{sepeli}) (400mm)$$

$$R_f = 0,06 \frac{m^2K}{W} + 4,167 \frac{m^2K}{W} = 4,227 \frac{m^2K}{W}$$

$$d_t = 0,390m + 2,0 \frac{W}{mK} (0,17 + 4,227 + 0) \frac{m^2K}{W} = 9,184m$$

koska  $d_t < B$

$$U_0 = \frac{2\lambda}{\pi \cdot B + d_t} * \ln\left(\frac{\pi \cdot B}{d_t} + 1\right) = \frac{2 \cdot 2,0}{\pi \cdot 18,75 + 9,184m} * \ln\left(\frac{\pi \cdot 18,75}{9,184m} + 1\right) = 0,12W/(m^2K) \quad (14)$$

Vaakasuoran lisälämmöneristeen aiheuttama viivamainen lisäkonduktanssi:

$$d_n = 0,05m, \quad D = 1,0m$$

$$R_n = \frac{0,05m}{0,036W/(mK)} = 1,389m^2K/W \quad (8)$$

$$R' = R_n - \frac{d_n}{\lambda} = R' = 1,389 - \frac{0,05m}{2,0} = 1,364m^2K/W \quad (19)$$

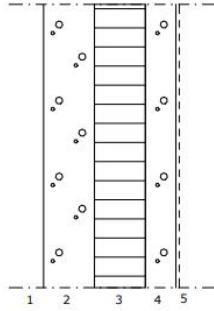
$$d' = R' * \lambda = 1,364 * 2,0 = 1,728m \quad (18)$$

$$\psi_{g.e} = -\frac{\lambda}{\pi} \left[ \ln\left(\frac{D}{d_t} + 1\right) - \ln\left(\frac{D}{d_t + d'} + 1\right) \right] \quad (21)$$

$$= -\frac{2,0}{\pi} \left[ \ln\left(\frac{1,0}{9,184} + 1\right) - \ln\left(\frac{1,0}{9,184 + 1,728m} + 1\right) \right] = -0,0100$$

Perusmuurin aiheuttama viivamainen lisäkonduktanssi:

$$\psi_{g.e} = -\frac{\lambda}{\pi} \left[ \ln\left(\frac{2D}{d_t} + 1\right) - \ln\left(\frac{2D}{d_t + d'} + 1\right) \right] \quad (22)$$



RAKENNE:

- |        |                     |
|--------|---------------------|
|        | 1 Sisätäyttö        |
| 150 mm | 2 Teräsbetoni       |
| 150 mm | 3 Lämmöneriste, XPS |
| 90 mm  | 4 Teräsbetoni       |
|        | 5 Perusmuurilevy    |

$$D = 0,5\text{m}$$

$$d' = R' * \lambda = \lambda \left( R_n - \frac{d_n}{\lambda} \right) \quad (18)$$

Perusmuurineristeenä Finnfoam CW-300 -eriste, jonka  $\lambda_d = 0,037$ , WL(T)0,7

Korjataan lämmönjohtavuutta kosteuden muuntotekijällä

$$F_m = e^{f_\psi \psi_{cor}} \quad (5)$$

$$\psi_{cor} = \psi_{abs} \cdot 0,75 = 0,7 \cdot 0,75 = 0,525\% = 0,0053 \quad (6)$$

$$f_\psi = 2,5 \text{ (SFS-EN ISO 10456:2007+AC2009, taulukko 4)}$$

$$F_m = e^{2,5 \cdot 0,00525} = 1,013$$

$$\lambda_u = 0,037 \cdot 1,013 = 0,038 \quad (3)$$

**Perusmuuri:**

Paksuus, m	Rakennekerros	Lämmönjohtavuus, $W/(mK)$	Lämmönvastus, $m^2K/W$	Kerros
	Sisäpuolen pintavastus		0,13	si
0,15	Betoni	2,5 <sup>1)</sup>	0,06	1
0,15	Lämmöneriste, XPS	0,038 <sup>2)</sup>	3,947	2
0,09	Betoni	2,5 <sup>1)</sup>	0,036	3
	Ulkopuolen pintavastus		0,04	se

Lämmönvastukset rakennekerroksille laskettu kaavalla  $R = \frac{d}{\lambda}$ , (8).

<sup>1)</sup>RIL 225-2023, liite 1, betoni 2% terästä

<sup>2)</sup>Finnfoam CW-300 -eriste, jonka  $\lambda_d = 0,037$ , WL(T)0,7

$$R_n = 0,036 + 3,947 + 0,06 = 4,043$$

$$d' = \lambda \left( R_n - \frac{d_n}{\lambda} \right) = 2 \cdot \left( 4,043 - \frac{0,39}{2,0} \right) = 7,69m \quad (19)$$

$$\psi_{g,e} = -\frac{\lambda}{\pi} \left[ \ln \left( \frac{2D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left( \frac{2D}{d_t + d'} + 1 \right) \right] = -\frac{2,0}{\pi} \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot 0,5}{9,184} + 1 \right) - \ln \left( \frac{2 \cdot 0,5}{9,184 + 7,69} + 1 \right) \right] = -0,02915 \quad (22)$$

Koska perusmuurin aiheuttama viivamaisen konduktanssin arvo pienentää U-arvoa enemmän, käytetään sitä.

Alapohjan lopullinen lämmönläpäisykerroin:

$$U = U_0 + \frac{2\psi_{g,e}}{B} = 0,12 + \frac{2 \cdot (-0,02915)}{18,75} = 0,12 W/(m^2K) \quad (20)$$

Täyttyykö vertailuarvo  $0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , jos eristettä olisi 100 mm?

**Lattiarakenne:**

Paksuus, m	Rakennekerros	Lämmönjohtavuus, $\text{W}/(\text{mK})$	Lämmönvastus, $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$	Kerros
	Sisäpuolen pintavastus		0,13	si
0,15	Betoni	2,5	0,06	1
0,10	Eriste, XPS	0,036	2,778	2
	Ulkopuolen pintavastus		0,0	se

$$R_f = 0,06 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} + 2,778 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 2,838 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$d_t = 0,390\text{m} + 2,0 \frac{\text{W}}{\text{mK}} (0,17 + 2,838 + 0) \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 6,406\text{m} \quad (13)$$

koska  $d_t < B$

$$U_0 = \frac{2 \cdot 2,0}{\pi \cdot 18,75 + 6,406} * \ln \left( \frac{\pi \cdot 18,75}{6,406} + 1 \right) = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \quad (14)$$

$$U = 0,14 + \frac{2 \cdot (-0,02915)}{18,75} = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \quad (20)$$

➔ Alapohjarakenteen U-arvo saataisiin viitearvon mukaiseksi myös 100 mm paksuisella eristeellä.

---

Täyttyykö vertailuarvo  $0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , jos eristettä olisi 50 mm?

**Lattiarakenne:**

Paksuus, m	Rakennekerros	Lämmönjohtavuus, $W/(mK)$	Lämmönvastus, $\text{m}^2\text{K}/W$	Kerros
	Sisäpuolen pintavastus		0,13	si
0,15	Betoni	2,5	0,06	1
0,05	Lämmöneriste, XPS	0,036	1,389	2
	Ulkopuolen pintavastus		0,0	se

$$R_f = 0,06 \frac{\text{m}^2\text{K}}{W} + 1,389 \frac{\text{m}^2\text{K}}{W} = 1,449 \frac{\text{m}^2\text{K}}{W}$$

$$d_t = 0,390\text{m} + 2,0 \frac{W}{\text{mK}} (0,17 + 1,449 + 0) \frac{\text{m}^2\text{K}}{W} = 3,628\text{m} \quad (13)$$

koska  $d_t < B$

$$U_0 = \frac{2 \cdot 2,0}{\pi \cdot 18,75 + 3,628\text{m}} * \ln \left( \frac{\pi \cdot 18,75}{3,628\text{m}} + 1 \right) = 0,18\text{W}/(\text{m}^2\text{K}) \quad (14)$$

$$U = 0,18 + \frac{2 \cdot (-0,02915)}{18,75} = 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \quad (20)$$

➔ Alapohjarakenteen U-arvoa ei saataisi viitearvon mukaiseksi 50 mm paksuisella eristeellä.

# DOF-LÄMPÖ 3.0

Rakennuskohde:	Uusi teollisuushalli
Suunnittelija:	Janina Kallio
Yritys:	Ramboll Finland Oy
Rakenneosan nimi/tunnus:	Maanvastainen alapohjarakenne
Rakennusluokka:	9 Muut rakennukset, lämmin tila

## Lisätiedot:

### Lisätietoja

Suunnittelija:

Janina Kallio

Paivays:

25.4.2024

## PERUSTIEDOT

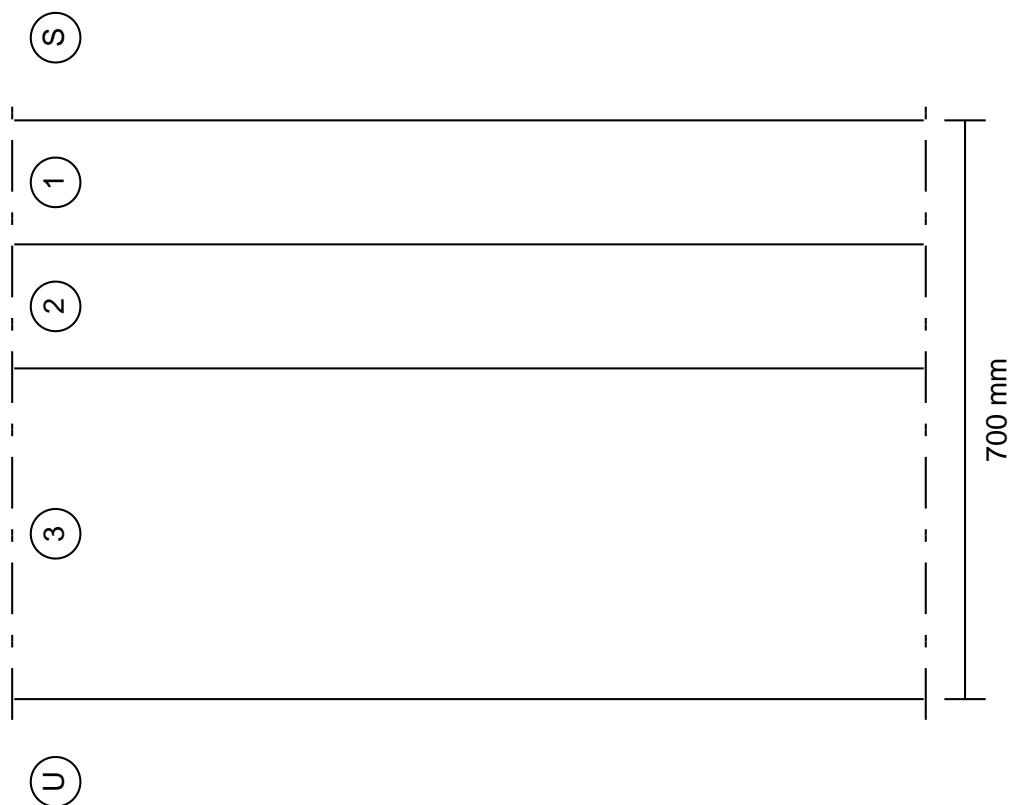
Rakenne:	Alapohja (maanvastainen)
Rakenneosan kok. pinta-ala (m <sup>2</sup> ):	1875
Ulkopinnan pintavastus (m <sup>2</sup> K/W):	0.04
Sisäpinnan pintavastus (m <sup>2</sup> K/W):	0.17
Korjaustermi deltaU (W/m <sup>2</sup> K):	0.0000
Korjaustermin selite:	
Kylmäsiltojen päällekkäisyys:	Täysin eri kohdissa

## U-arvon laskentatulokset

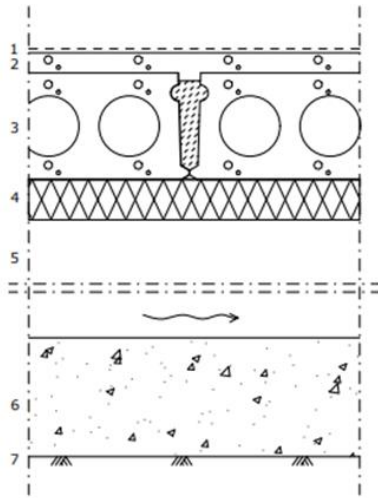
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläkiiarvo:	4.637 m <sup>2</sup> K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alalikiiarvo:	4.637 m <sup>2</sup> K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastus:	4.637 m <sup>2</sup> K/W
U-arvo (ilman korjaustermiä)	0.216 W/m <sup>2</sup> K
Laskettu/annettu korjaustermi:	0.000 W/m <sup>2</sup> K
U-arvo (korjaustermi huomioiden):	0.216 W/m <sup>2</sup> K
U-arvo (pyöristetty arvo):	0.22 W/m <sup>2</sup> K
Uudiskohteen vertailuarvo:	0.16 W/m <sup>2</sup> K

## RAKENNEKERROKSET

Kerros:	Paksuus: (mm)	Materiaali:	Lambda: (W/mK)	VHL: (kg/msPa)
1	150.00	Betoni, raudoitettu (2 % terästä)	2.500	1.538e-12
2	150.00	Finfoam FL-300/50	0.036	1.33e-12
3	400.00	Hiekka ja sora	2.000	4e-12



## Liite 5. Vanha päiväkotä, RIL 225-2023



### RAKENNE:

- mm	1 Pintarakenteet
50 mm	2 Pintabetonilaatta
265 mm	3 Ontelolaatta
100 mm	4 Lämmöneriste, EPS 65 (N)
800 mm	5 Painovoimaisesti tuulettuva ryömintätäila
400 mm	6 Kevytsora
	7 Perusmaa/kallio

Ryömintätäläisen painovoimaisesti tuulettuvan lattiarakenteen lämmönläpäisykerroin lasketaan kaavalla:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x} \quad (23)$$

Suhteellinen lattiamitta:

$$B = \frac{A}{0,5 \cdot P} = \frac{400}{0,5 \cdot 90,66} = 8,82 \text{ m} \quad (12)$$

### Lattiarakenne:

Paksuus, m	Rakennekerros	Lämmönjohtavuus, $W/(mK)$	Lämmönvastus, $m^2K/W$	Kerros
	Sisäpuolen pintavastus		0,17	si
0,05	Betoni	2,5 <sup>1)</sup>	0,02	1
0,265	Ontelolaatta		0,18 <sup>2)</sup>	2
0,1	EPS 65 (N)	0,045 <sup>3)</sup>	2,22	3
	Ulkopuolen pintavastus		0,04	se

Lämmönvastukset rakennekerroksille laskettu kaavalla  $R = \frac{d}{\lambda}$ , (8).

- 1) RIL 225-2023, liite 1, betoni 2% terästä
- 2) Elementtisuunnittelu.fi, ontelolaatat, taulukko 2
- 3) RT 36-10690, s. 3

Lattiarakenteen korjaamaton lämmönläpäisykerroin:

$$R_{tot} = 0,17 + 0,02 + 0,18 + 2,22 + 0,04 = 2,63 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (19)$$

$$U_f = \frac{1}{2,63} = 0,380 \text{ W/(m}^2\text{K)} \quad (1)$$

U-arvoon ei tarvitse tehdä korjauksia.

### Ryömintätilan pohja:

Paksuus, m	Rakennekerros	Lämmönjohtavuus, $W/(mK)$	Lämmönvastus, $m^2K/W$	Kerros
	Sisäpuolen pintavastus		0,17	si
0,4	Kevytsora	0,1 <sup>1)</sup>	4,0	1
	Ulkopuolen pintavastus		0,0	se

Lämmönvastukset rakennekerroksille laskettu kaavalla  $R = \frac{d}{\lambda}$ , (8).

- 1) RIL 225-2023, Liite 1

Lämmönläpäisykerroin maan kautta kulkevalle lämpövirralle:

$$U_g = \frac{2\lambda}{\pi B + d_g} \ln\left(\frac{\pi B}{d_g} + 1\right) \quad (24)$$

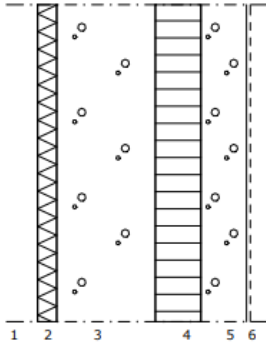
$$d_g = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (25)$$

$$w = 0,550 \text{ m}$$

$$d_g = 0,55 + 2,0 (0,17 + 4,0 + 0,04) = 8,97 \text{ m}$$

$$U_g = \frac{2 \cdot 2,0}{\pi \cdot 8,82 + 8,97} \ln\left(\frac{\pi \cdot 8,82}{8,97} + 1\right) = 0,154 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Perusmuurin lämmönläpäisykerroin:



**RAKENNE:**

	1 Painovoimaisesti tuulettuva ryömintätätilä
50 mm	2 Lämmöneriste, EPS 60S
260 mm	3 Teräsbetoni
120 mm	4 Lämmöneriste, EPS
120 mm	5 Teräsbetoni
	6 Perusmuurilevy

**Perusmuuri:**

Paksuus, m	Rakennekerros	Lämmönjohtavuus, $W/(mK)$	Lämmönvastus, $m^2K/W$	Kerros
	Sisäpuolen pintavastus		0,13	si
0,05	Eriste, EPS	0,041 <sup>1)</sup>	1,220	1
0,26	Betoni	2,5 <sup>2)</sup>	0,104	2
0,12	Eriste, EPS	0,041 <sup>1)</sup>	2,927	3
0,12	Betoni	2,5 <sup>2)</sup>	0,048	4
	Ulkopuolen pintavastus		0,04	se

Lämmönvastukset rakennekerroksille laskettu kaavalla  $R = \frac{d}{\lambda}$ , (8).

1) RT 36-10690, s. 3

2) RIL 225-2023, liite 1, betoni 2% terästä

$$R_{tot} = R_w = 0,13 + 1,220 + 0,104 + 2,927 + 0,048 + 0,04 = 4,469 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U_w = \frac{1}{4,469} = 0,224 \text{ W}/(m^2K) \quad (1)$$

$$U_x = 2 \cdot \frac{h \cdot U_w}{B} + 1450 \cdot \frac{\varepsilon \cdot v \cdot f_w}{B} \quad (26)$$

$$h = 0,915 \text{ m}$$

$$\varepsilon = \frac{0,001 \cdot 400m^2}{90,66m} = 0,0044 \text{ m}^2/m$$

$$v = 3,0 \text{ m/s}$$

$$f_w = 0,02 \text{ (suojattu maasto)}$$

$$U_x = 2 \cdot \frac{0,915 \cdot 0,224}{8,82} + 1450 \cdot \frac{0,0044 \cdot 3,0 \cdot 0,02}{8,82} = 0,0899 \text{ W}/(m^2K)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{0,380} + \frac{1}{0,154+0,0899} = 6,732 \quad (23)$$

$$U = 0,15 \text{ W}/(m^2K)$$

Lämmönläpäisykertoimeen ei tarvitse tehdä korjauksia.

Tarkastellaan tilannetta, jossa ryömintätila olisi koneellisesti tuuletettu.

$$\frac{1}{U_{fg;sus}} = \frac{1}{U_{f;sus}} + \frac{1}{U_g + \frac{2hU_w}{B} + \frac{Vc_p\rho}{A}} \quad (28)$$

$$U_{f;sus} = 0,380 \text{ W}/(m^2K)$$

$$U_g = 0,154 \text{ W}/(m^2K)$$

$$U_w = 0,224 \text{ W}/(m^2K)$$

$$h = 0,915 \text{ m}$$

$$V = 0,59 \cdot \varepsilon \cdot v \cdot f_w \cdot P = 0,59 \cdot 0,0044 \cdot 3,0 \cdot 0,02 \cdot 90,66 = 0,014 \text{ m}^3/s$$

$$c_p = 1008 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

$$\rho = 1,23 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\frac{1}{U_{fg;sus}} = \frac{1}{0,38} + \frac{1}{0,154 + \frac{2 \cdot 0,915 \cdot 0,224}{8,82} + \frac{0,014 \cdot 1008 \cdot 1,23}{400}} = 6,732$$

$$U_{fg;sus} = 0,15 \text{ W}/(m^2K)$$

# DOF-LÄMPÖ 3.0

Rakennuskohde:	Vanha päiväkoti
Suunnittelija:	Janina Kallio
Yritys:	Ramboll Finland Oy
Rakenneosan nimi/tunnus:	Ryömintätilainen alapohjarakenne
Rakennusluokka:	6 Opetusrakennukset ja p&#228;iv&#228;kodit

## Lisätiedot:

### Lisätietoja

Suunnittelija:

Janina Kallio

Paivays:

7.3.24

## PERUSTIEDOT

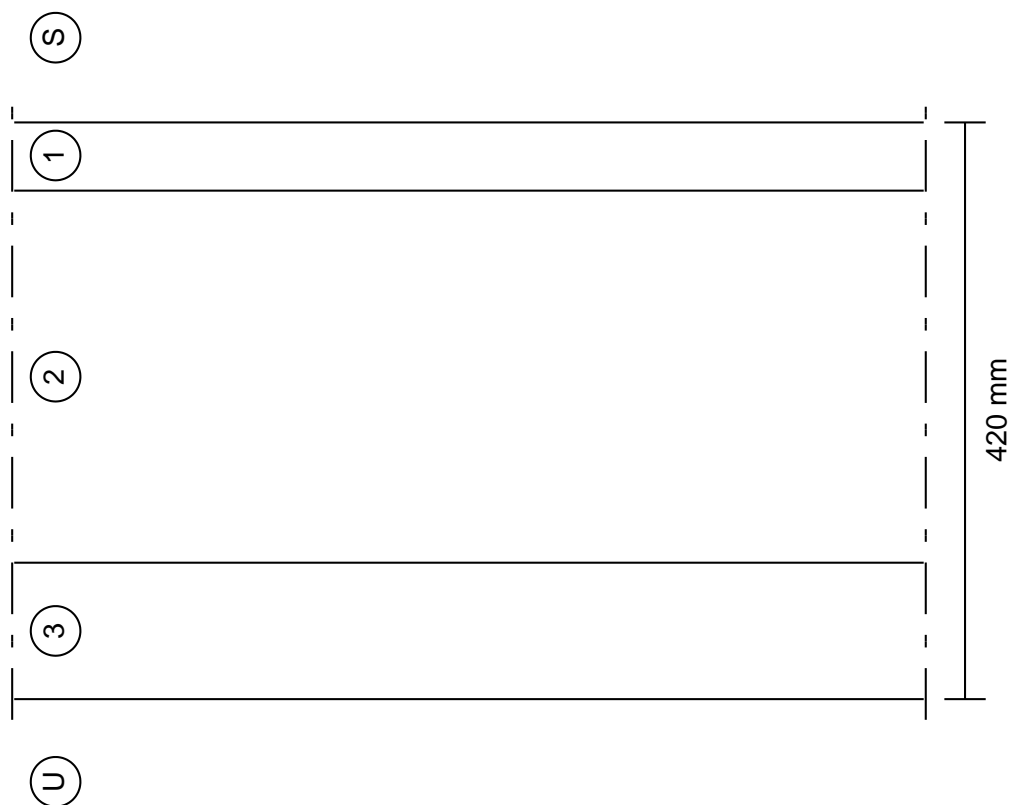
<b>Rakenne:</b>	<b>Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)</b>
<b>Rakenneosan kok. pinta-ala (m<sup>2</sup>):</b>	<b>400</b>
<b>Ulkopinnan pintavastus (m<sup>2</sup>K/W):</b>	<b>0.04</b>
<b>Sisäpinnan pintavastus (m<sup>2</sup>K/W):</b>	<b>0.17</b>
<b>Korjaustermi deltaU (W/m<sup>2</sup>K):</b>	<b>0.0000</b>
<b>Korjaustermin selite:</b>	
<b>Kylmäsiltojen päällekkäisyys:</b>	<b>Täysin eri kohdissa</b>

## U-arvon laskentatulokset

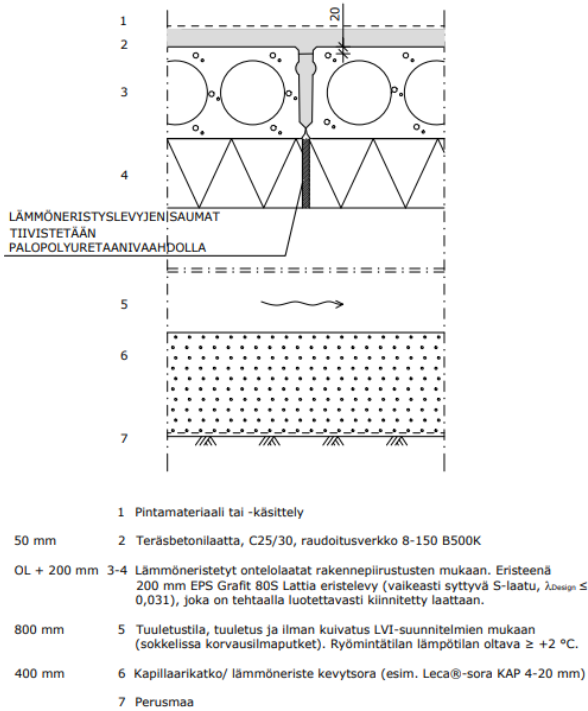
<b>Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläkiiarvo:</b>	<b>2.635 m2K/W</b>
<b>Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alalikiiarvo:</b>	<b>2.635 m2K/W</b>
<b>Rakennusosan kokonaislämmönvastus:</b>	<b>2.635 m2K/W</b>
<b>U-arvo (ilman korjaustermiä)</b>	<b>0.380 W/m2K</b>
<b>Laskettu/annettu korjaustermi:</b>	<b>0.000 W/m2K</b>
<b>U-arvo (korjaustermi huomioiden):</b>	<b>0.380 W/m2K</b>
<b>U-arvo (pyöristetty arvo):</b>	<b>0.38 W/m2K</b>
<b>Uudiskohteen vertailuarvo:</b>	<b>0.17 W/m2K</b>

## RAKENNEKERROKSET

Kerros:	Paksuus: (mm)	Materiaali:	Lambda: (W/mK)	VHL: (kg/msPa)
1	50.00	Betoni, raudoitettu (2 % terästä)	2.500	1.538e-12
2	270.00	Ontelolaatta O27	1.480	1.538e-12
3	100.00	EPS 65 N	0.045	6.67e-12



## Liite 7. Uusi päiväkotij, RIL 225-2023



Koneellisesti tuuletetun ryömintätillaisen alapohjan lämmönläpäisykerroin lasketaan kaavalla:

$$\frac{1}{U_{fg;sus}} = \frac{1}{U_{f;sus}} + \frac{1}{U_g + \frac{2hU_w}{B} + \frac{Vc_p\rho}{A}} \quad (28)$$

Suhteellinen lattiamitta:

$$B = \frac{A}{0,5 \cdot P} = \frac{400}{0,5 \cdot 90,66} = 8,82 \text{ m} \quad (12)$$

### Lattiarakenne:

Paksuus, m	Rakennekerros	Lämmönjohtavuus, $W/(mK)$	Lämmönvastus, $m^2K/W$	Kerros
	Sisäpuolen pintavastus		0,17	si
0,05	Betoni	2,5 <sup>1)</sup>	0,02	1
0,265	Ontelolaatta		0,018 <sup>2)</sup>	2
0,2	EPS Grafit 80S	0,031 <sup>3)</sup>	6,451	3
	Ulkopuolen pintavastus		0,04	se

Lämmönvastukset rakennekerroksille laskettu kaavalla  $R = \frac{d}{\lambda}$ , (8).

1) RIL 225-2023, liite 1, betoni 2% terästä

2) Elementtisuunnittelu.fi, ontelolaatat, taulukko 2

3) styroplast.fi

$$R_{tot} = 0,17 + 0,02 + 0,18 + 6,451 + 0,04 = 6,861 m^2 K/W \quad (9)$$

$$U_{f;sus} = \frac{1}{6,861} = 0,146 W/(m^2 K) \quad (1)$$

U-arvoon ei tarvitse tehdä korjauksia.

### Ryömintätilan pohja:

Paksuus, m	Rakennekerros	Lämmönjohtavuus, $W/(mK)$	Lämmönvastus, $m^2 K/W$	Kerros
	Sisäpuolen pintavastus		0,17	si
0,4	Kevytsora	0,1 <sup>1)</sup>	4,0	1
	Ulkopuolen pintavastus		0,04	se

Lämmönvastukset rakennekerroksille laskettu kaavalla  $R = \frac{d}{\lambda}$ , (8).

1) RIL 225-2023, Liite 1

$$U_g = \frac{2\lambda}{\pi B + d_g} \ln\left(\frac{\pi B}{d_g} + 1\right) \quad (24)$$

$$d_g = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (25)$$

$$w = 540$$

$$d_g = 0,54 + 2,0 (0,17 + 4,0 + 0,04) = 8,96 m$$

$$U_g = \frac{2 \cdot 2,0}{\pi \cdot 8,82 + 8,96} \ln\left(\frac{\pi \cdot 8,82}{8,96} + 1\right) = 0,154 W/(m^2 K)$$

$$c_p = 1008 J/(kg \cdot K)$$

$$\rho = 1,23 kg/m^3$$

$$h = 1,015 m$$

Tilavuusilmanvaihtonopeus saadaan kaavalla:

$$V = 0,59 \cdot \varepsilon \cdot v \cdot f_w \cdot P \quad (29)$$

$$f_w = 0,02 \text{ (suojattu maasto)}$$

Ryömintätilaisen alapohjan tuuletusaukkojen määräksi suositellaan vähintään 1 promillea pohjan pinta-alasta.

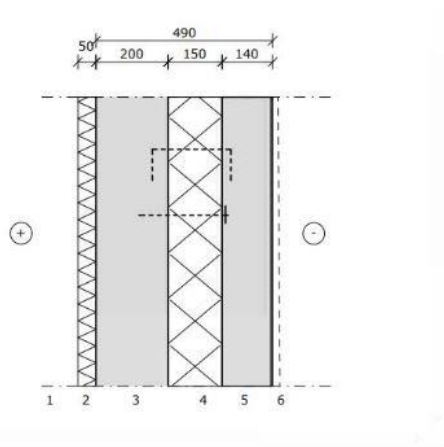
$$\varepsilon = \frac{0,001 \cdot 400m^2}{90,66m} = 0,0044 m^2/m$$

$$v = 3,0 m/s$$

$$P = 90,66 m$$

$$V = 0,59 \cdot \varepsilon \cdot v \cdot f_w \cdot P = 0,59 \cdot 0,0044 \cdot 3,0 \cdot 0,02 \cdot 90,66 = 0,014 m^3/s$$

### Perusmuuri rakenteen lämmönläpäisykerroin:



- |        |   |
|--------|---|
| 50 mm  | 1. Tuuletettu ryömintätila  |
| 200 mm | 2. Lämmöneriste, EPS 60S  |
| 150 mm | 3. Teräsbetoni rakennesuunnitelmien mukaan  |
|        | 4. Lämmöneriste, suulakepuristettu polystyreeni, XPS, esim. Finnfoam FF-PIR PLK. Eristelevyjen reunat pontattu. Eristeen lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvo enintään 0,022 W/mK. Kiinnitys betoniseinään ruostumattomien kiinnikkein vähintään 4-6 kpl/m <sup>2</sup> . |
| 140 mm | 5. Teräsbetoni rakennesuunnitelmien mukaan.   |
|        | 6. Bitumikermi/perusmuurilevy rakennesuunnitelmien mukaan   |

### EPS 60S lämmönjohtavuuden arvo:

$$\lambda_{declared} = 0,039 W/(mK) \text{ (styroplast.fi)}$$

$$WL(T)5 \quad (\text{SFS-EN 13163:2013 + A2:2016})$$

$$\psi_{cor} = \psi_{abs} \cdot 0,75 = 5 \cdot 0,75 = 3,75\% = 0,0375 \quad (6)$$

$$f_{\psi} = 4$$

$$F_m = e^{4 \cdot 0,0375} = 1,1618 \quad (5)$$

$$\lambda_u = 0,039 \cdot 1,1618 = 0,0453 W/(mK) \quad (3)$$

### FF-PIR PLK lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvo:

$$\lambda_{declared} = 0,022 W/(mK) \text{ (finnfoam.fi)}$$

WL(T)2 (finnfoam.fi)

$$\psi_{cor} = \psi_{abs} \cdot 0,75 = 2 \cdot 0,75 = 1,5\% = 0,015 \quad (6)$$

$$f_{\psi} = 2,5$$

$$F_m = e^{2,5 \cdot 0,015} = 1,03821 \quad (5)$$

$$\lambda_u = 0,022 \cdot 1,03821 = 0,023 \text{ W/(mK)} \quad (3)$$

### Perusmuuri:

Paksuus, m	Rakennekerros	Lämmönjohtavuus, W/(mK)	Lämmönvastus, m <sup>2</sup> K/W	Kerros
	Sisäpuolen pintavastus		0,13	si
0,05	Lämmöneriste, EPS 60S	0,0453	1,104	1
0,2	Betoni	2,5 <sup>1)</sup>	0,08	2
0,15	Lämmöneriste, FF-PIR PLK	0,023	6,522	3
0,14	Betoni	2,5 <sup>1)</sup>	0,056	4
	Ulkopuolen pintavastus		0,04	se

Lämmönvastukset rakennekerroksille laskettu kaavalla  $R = \frac{d}{\lambda}$ , (8).

<sup>1)</sup>= RIL 225-2023, liite 1, betoni 2% terästä

$$R_{tot} = R_w = 0,13 + 1,104 + 0,08 + 6,522 + 0,056 + 0,04 = 7,932 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (9)$$

$$U_w = \frac{1}{7,932} = 0,126 \text{ W/(m}^2\text{K)} \quad (1)$$

$$\frac{1}{U_{fg;sus}} = \frac{1}{0,1457} + \frac{1}{0,146 + \frac{2 \cdot 1,015 \cdot 0,126}{8,82} + \frac{0,014 \cdot 1008 \cdot 1,23}{400}} = 11,44$$

$$U_{fg;sus} = 0,09 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Lasketaan alapohjan U-arvo, jos alapohja olisi painovoimaisesti tuuletettu.

Painovoimaisesti tuuletetun ryömintätillaisen alapohjan lämmönläpäisykerroin lasketaan kaavalla:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x} \quad (23)$$

$$U_f = 0,146 \text{ W}/(m^2K)$$

$$U_g = 0,154 \text{ W}/(m^2K)$$

$$U_x = 2 \cdot \frac{h \cdot U_w}{B} + 1450 \cdot \frac{\varepsilon \cdot v \cdot f_w}{B} \quad (26)$$

$$U_w = \frac{1}{7,932} = 0,126 \text{ W}/(m^2K) \quad (1)$$

$$h = 1,015 \text{ m}$$

$$U_x = 2 \cdot \frac{1,015 \cdot 0,126}{8,82} + 1450 \cdot \frac{0,0044 \cdot 3,0 \cdot 0,02}{8,82} = 0,0724 \text{ W}/(m^2K)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{0,380} + \frac{1}{0,154 + 0,0724} = 7,049$$

$$U = 0,14 \text{ W}/(m^2K)$$

Selvitetään, kuinka paljon koneellisesti tuuletetun alapohjarakenteen lämmöneristettä voidaan vähentää, jotta pysytään vertailuarvossa  $0,17 \text{ W}/(m^2K)$ .

Kokeillaan tilannetta, jossa lattiarakenteen lämmöneristeen paksuus on 100 mm, sokkelihalkaisun lämmöneriste on 50 mm paksu ja sisäpuolinen lämmöneriste poistetaan sekä ryömintätilan pohjan kevytsoran määrä vähennetään 200 mm paksuuteen.

#### Lattiarakenne:

Paksuus, m	Rakennekerros	Lämmönjohtavuus, $W/(mK)$	Lämmönvastus, $m^2K/W$	Kerros
	Sisäpuolen pintavastus		0,17	si
0,05	Betoni	2,5 <sup>1)</sup>	0,02	1
0,265	Ontelolaatta		0,018 <sup>2)</sup>	2
0,1	EPS Grafit 80S	0,031 <sup>3)</sup>	3,226	3
	Ulkopuolen pintavastus		0,04	se

Lämmönvastukset rakennekerroksille laskettu kaavalla  $R = \frac{d}{\lambda}$ , (8).

1) RIL 225-2023, liite 1, betoni 2% terästä

2) Elementtisuunnittelu.fi, ontelolaatat, taulukko 2

3) styroplast.fi

$$R_{tot} = 0,17 + 0,02 + 0,18 + 3,226 + 0,04 = 3,636 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (9)$$

$$U_{f;sus} = \frac{1}{3,636} = 0,275 \text{ W/(m}^2\text{K)} \quad (1)$$

U-arvoon ei tarvitse tehdä korjauksia.

### Ryömintätilan pohja:

Paksuus, m	Rakennekerros	Lämmönjohtavuus, W/(mK)	Lämmönvastus, m <sup>2</sup> K/W	Kerros
	Sisäpuolen pintavastus		0,17	si
0,2	Kevytsora	0,1 <sup>1)</sup>	2,0	1
	Ulkopuolen pintavastus		0,04	se

Lämmönvastukset rakennekerroksille laskettu kaavalla  $R = \frac{d}{\lambda}$ , (8).

<sup>1)</sup>RIL 225-2023, Liite 1

$$U_g = \frac{2\lambda}{\pi B + d_g} \ln\left(\frac{\pi B}{d_g} + 1\right) \quad (24)$$

$$d_g = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (25)$$

$$w = 0,39$$

$$d_g = 0,39 + 2,0 (0,17 + 2,0 + 0,04) = 4,81 \text{ m}$$

$$U_g = \frac{2 \cdot 2,0}{\pi \cdot 8,82 + 4,81} \ln\left(\frac{\pi \cdot 8,82}{4,81} + 1\right) = 0,235 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

**Perusmuuri:**

Paksuus, m	Rakennekerros	Lämmönjohtavuus, $W/(mK)$	Lämmönvastus, $m^2K/W$	Kerros
	Sisäpuolen pintavastus		0,13	si
0,05	Lämmöneriste, EPS 60S	0,0453	1,104	1
0,2	Betoni	2,5 <sup>1)</sup>	0,08	2
0,05	Lämmöneriste, FF-PIR PLK	0,023	2,174	3
0,14	Betoni	2,5 <sup>1)</sup>	0,056	4
	Ulkopuolen pintavastus		0,04	se

Lämmönvastukset rakennekerroksille laskettu kaavalla  $R = \frac{d}{\lambda}$ , (8).

<sup>1)</sup>= RIL 225-2023, liite 1, betoni 2% terästä

$$R_{tot} = R_w = 0,13 + 0,08 + 2,174 + 0,056 + 0,04 = 2,48 \text{ m}^2K/W \quad (9)$$

$$U_w = \frac{1}{2,48} = 0,40 \text{ W}/(m^2K) \quad (1)$$

$$U_g = 0,156 \text{ W}/(m^2K)$$

$$\frac{1}{U_{fg;sus}} = \frac{1}{0,275} + \frac{1}{0,235 + \frac{2 \cdot 1,015 \cdot 0,40}{8,82} + \frac{0,014 \cdot 1008 \cdot 1,23}{400}} = 5,890$$

$$U_{fg;sus} = 0,17 \text{ W}/(m^2K)$$

→ Vertailuarvossa pysytään näillä lämmöneristepaksuuksilla.

# DOF-LÄMPÖ 3.0

Rakennuskohde:	Uusi päiväkoti
Suunnittelija:	Janina Kallio
Yritys:	Ramboll Finland Oy
Rakenneosan nimi/tunnus:	Ryömintätilainen alapohjarakenne
Rakennusluokka:	6 Opetusrakennukset ja p&#228;iv&#228;kodit

## Lisätiedot:

### Lisätietoja

Suunnittelija:

Janina Kallio

Paivays:

19.3.2024

## PERUSTIEDOT

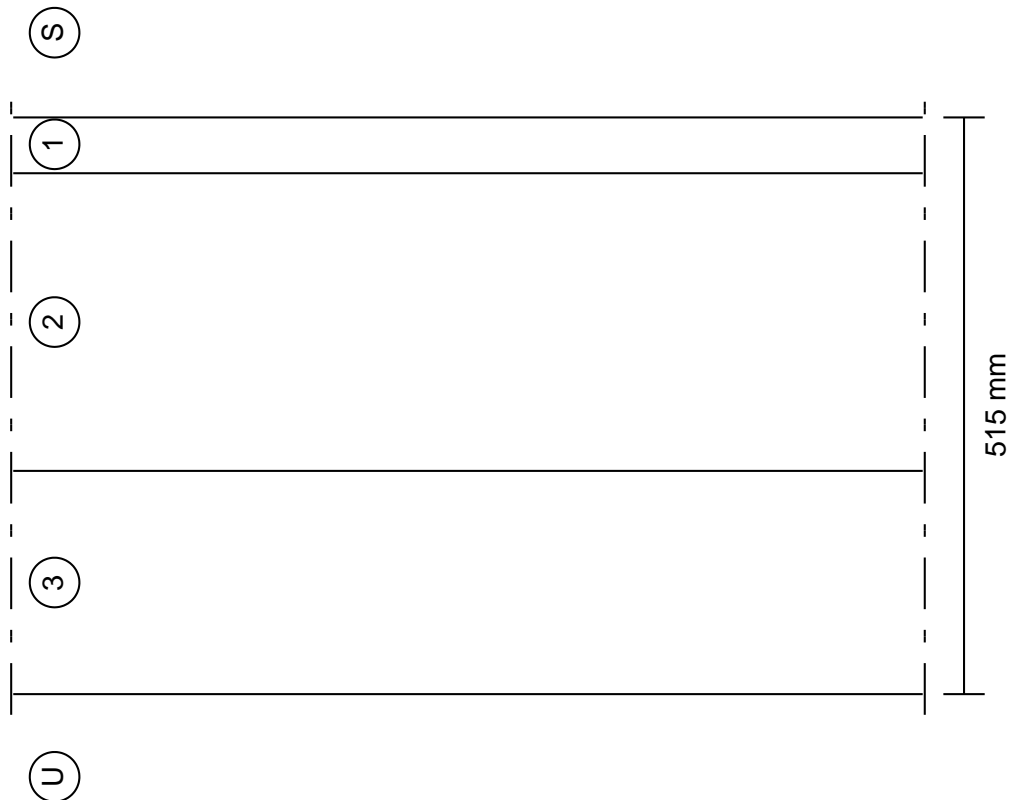
<b>Rakenne:</b>	<b>Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)</b>
<b>Rakenneosan kok. pinta-ala (m<sup>2</sup>):</b>	<b>1.00</b>
<b>Ulkopinnan pintavastus (m<sup>2</sup>K/W):</b>	<b>0.04</b>
<b>Sisäpinnan pintavastus (m<sup>2</sup>K/W):</b>	<b>0.17</b>
<b>Korjaustermi deltaU (W/m<sup>2</sup>K):</b>	<b>0.0000</b>
<b>Korjaustermin selite:</b>	
<b>Kylmäsiltojen päällekkäisyys:</b>	<b>Mahdollisimman kohdakkain</b>

## U-arvon laskentatulokset

<b>Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen yläkiiarvo:</b>	<b>6.861 m<sup>2</sup>K/W</b>
<b>Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alalikiiarvo:</b>	<b>6.861 m<sup>2</sup>K/W</b>
<b>Rakennusosan kokonaislämmönvastus:</b>	<b>6.861 m<sup>2</sup>K/W</b>
<b>U-arvo (ilman korjaustermiä)</b>	<b>0.146 W/m<sup>2</sup>K</b>
<b>Laskettu/annettu korjaustermi:</b>	<b>0.000 W/m<sup>2</sup>K</b>
<b>U-arvo (korjaustermi huomioiden):</b>	<b>0.146 W/m<sup>2</sup>K</b>
<b>U-arvo (pyöristetty arvo):</b>	<b>0.15 W/m<sup>2</sup>K</b>
<b>Uudiskohteen vertailuarvo:</b>	<b>0.17 W/m<sup>2</sup>K</b>

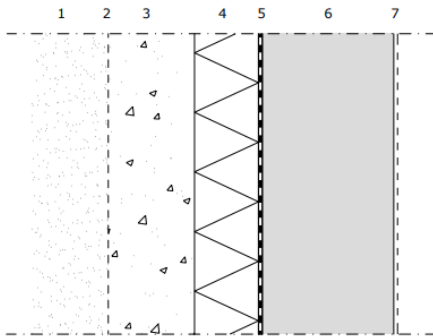
## RAKENNEKERROKSET

Kerros:	Paksuus: (mm)	Materiaali:	Lambda: (W/mK)	VHL: (kg/msPa)
1	50.00	Betoni	2.500	1.538e-12
2	265.00	Ontelolaatta O27	1.480	1.538e-12
3	200.00	EPS80 S OPTIMA/100	0.031	6.67e-12



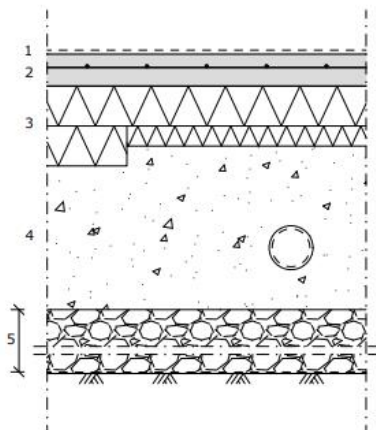
## Liite 9. Uusi päiväkotikoti, kellarin seinä, RIL 225-2023

### Kellarin seinärakenne:



- 1 Maanvastaisen seinän vierustäytöt perustamistapalauksunnon tai pohjarakennusolosuhteen mukaan
- 2 Suodatinkangas, luokka N3
- 3 Salaojituskерros >200 mm.
- 180 mm 4 Solumuovieriste EPS 120 Routa,  $\lambda_{\text{comp}} \leq 0,039 \text{ W/mK}$ , kiinnitys bitumilla
- 5 Vedeneristys modifioitu bitumikermi
- 300 mm 6 Teräsbetoniseinä
- 7 Pintamateriaali tai -käsittely

### Kellarikerroksen lattiarakenne:



- 1 Pintamateriaali ja -käsittely rakennus-/ huoneselostuksen mukaan
- 80 mm 2 Teräsbetonilaatta
- 150 / 200 mm 3 Lämmöneriste 150 mm, 200 mm reuna-alueilla alle 1m etäisyydellä perusmuurista, EPS 100 lattia
- 400 mm 4 Tiivistetty salaojituksen luokan sepeli #4...8 / 16...32
- 5 Perusmaa

Suhteellinen lattiamitta:

$$B = \frac{A}{0,5 \cdot P} = \frac{400}{0,5 \cdot 90,66} = 8,82 \text{ m} \quad (12)$$

$$z = 2,0 \text{ m}$$

### Kellarin lattia:

Paksuus, m	Rakennekerros	Lämmönjohtavuus, $W/(mK)$	Lämmönvastus, $m^2K/W$	Kerros
	Sisäpuolen pintavastus		0,17	si
0,08	Betoni	2,5 <sup>1)</sup>	0,032	1
0,15	EPS 100 Lattia	0,042 <sup>2)</sup>	3,571	2
	Ulkopuolen pintavastus		0,0	se

Lämmönvastukset rakennekerroksille laskettu kaavalla  $R = \frac{d}{\lambda}$ , (8).

<sup>1)</sup>RIL 225-2023, liite 1, betoni 2% terästä

<sup>2)</sup> styroplast.fi,  $\lambda_U$

$$d_t = w + \lambda (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (13)$$

$$w = 0,47 \text{ m}$$

$$d_t = 0,47 + 2,0 (0,17 + 0,032 + 3,571 + 0,0) = 8,016 \text{ m}$$

### Kellarin seinä:

Paksuus, m	Rakennekerros	Lämmönjohtavuus, $W/(mK)$	Lämmönvastus, $m^2K/W$	Kerros
	Sisäpuolen pintavastus		0,13	si
0,3	Betoni	2,5 <sup>1)</sup>	0,012	1
0,18	EPS 120 Routa	0,039 <sup>2)</sup>	4,615	2
	Ulkopuolen pintavastus		0,04	se

Lämmönvastukset rakennekerroksille laskettu kaavalla  $R = \frac{d}{\lambda}$ , (8).

1) RIL 225-2023, liite 1, betoni 2% terästä

2) styroplast.fi,  $\lambda_U$

$$d_w = w + \lambda (R_{si} + R_w + R_{se}) \quad (33)$$

$$w = 0,47 \text{ m}$$

$$d_w = 0,47 + 2,0 \cdot (0,13 + 0,12 + 4,615 + 0,04) = 10,28 \text{ m}$$

Koska  $d_w \geq d_t$ :

$$U_{bw} = \frac{2\lambda}{\pi z} \left(1 + \frac{0,5d_t}{d_t+z}\right) \ln\left(\frac{z}{d_w} + 1\right) \quad (34)$$

$$U_{bw} = \frac{2 \cdot 2,0}{\pi \cdot 2,0} \left(1 + \frac{0,5 \cdot 8,016}{8,016 + 2,0}\right) \ln\left(\frac{2,0}{10,28} + 1\right) = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

U-arvoa ei tarvitse korjata.

# DOF-LÄMPÖ 3.0

Rakennuskohde:	Uusi päiväkotiki
Suunnittelija:	Janina Kallio
Yritys:	Ramboll Finland Oy
Rakenneosan nimi/tunnus:	Kellarin seinä
Rakennusluokka:	6 Opetusrakennukset ja p&#228;iv&#228;kodit

## Lisätiedot:

### Lisätietoja

Suunnittelija:

Janina Kallio

Paivays:

25.4.2024

## PERUSTIEDOT

Rakenne:	Muu maanvastainen rakenneos
Rakenneosan kok. pinta-ala (m <sup>2</sup> ):	400
Ulkopinnan pintavastus (m <sup>2</sup> K/W):	0.04
Sisäpinnan pintavastus (m <sup>2</sup> K/W):	0.13
Korjaustermi deltaU (W/m <sup>2</sup> K):	0.0000
Korjaustermin selite:	
Kylmäsiltojen päällekkäisyys:	Täysin eri kohdissa

## U-arvon laskentatulokset

Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen ylälikiarvo:	5.005 m <sup>2</sup> K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alaliikiarvo:	5.005 m <sup>2</sup> K/W
Rakennusosan kokonaislämmönvastus:	5.005 m <sup>2</sup> K/W
U-arvo (ilman korjaustermiä)	0.200 W/m <sup>2</sup> K
Laskettu/annettu korjaustermi:	0.000 W/m <sup>2</sup> K
U-arvo (korjaustermi huomioiden):	0.200 W/m <sup>2</sup> K
U-arvo (pyöristetty arvo):	0.20 W/m <sup>2</sup> K
Uudiskohteen vertailuarvo:	0.16 W/m <sup>2</sup> K

## RAKENNEKERROKSET

Kerros:	Paksuus: (mm)	Materiaali:	Lambda: (W/mK)	VHL: (kg/msPa)
1	300.00	Betoni, raudoitettu (2 % terästä)	2.500	1.538e-12
2	180.00	EPS120 Pro Routa/120	0.039	4e-12
3	200.00	Salaojituserros	2.000	4e-12

