



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ville Takala

Betonirakenteisen asuinkerrostalon vedeneristys- ja tiivistysdetaljikirjasto

Opinnäytetyö
Kevät 2021
SeAMK Tekniikka
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka (rakennesuunnittelu)

Tekijä: Ville Takala

Työn nimi: Betonirakenteisen asuinkerrostalon vedeneristys- ja tiivistysdetaljikirjasto

Ohjaaja: Martti Perälä

Vuosi: 2021

Sivumäärä: 63

Liitteiden lukumäärä: 2

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia Ramboll Finland Oy:lle detaljikirjasto betonirakenteisen asuinkerrostalon rakennesuunnittelua varten. Detaljikirjasto sisältää rakenteisiin ja liitoksiin liittyviä vedeneristys- ja tiivistysdetaljeja. Detallit piirrettiin AutoCAD-ohjelmalla.

Työn teoriaosassa tarkastellaan detaljien suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä rakennusfysiikan kannalta. Rakennusfysiikkaosuudessa tarkastellaan ilmanpainetta, lämpöä ja kosteutta. Lisäksi työssä käydään läpi rakennusmääräyksiä ja muita detaljien suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä. Työn loppuosassa käydään läpi suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä rakenneosakohtaisesti.

Työn tuloksena tehtiin kattava määräykset täyttävä vedeneristystä ja tiivistystä käsittelevä detaljikirjasto. Laadittu detaljikirjasto toimii suunnittelijoiden työkaluna jokapäiväisessä suunnittelutyössä. Detaljikirjaston etuna on helppokäyttöisyys ja detaljien löytyminen helposti samasta paikasta. Tulevaisuudessa kirjastoa kehitetään määräysten ja rakenteiden muuttuessa.

¹ Asiasanat: detaljikirjasto, betonikerrostalo

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building construction (Structural Design)

Author: Ville Takala

Title of thesis: Waterproofing and sealing detail library of a concrete-built block of flats

Supervisor: Martti Perälä

Year: 2021

Number of pages: 63

Number of appendices: 2

The purpose of the thesis was to create a detail library for Ramboll Finland Ltd for the structural design of a residential apartment building of concrete. The detail library contains waterproofing and sealing details associated with structures and joints. The details were drawn with AutoCAD-program.

The theory section of the thesis examined factors influencing the details design in terms of building physics. The building physics section examined air pressure, heat, and humidity. In addition, the thesis studied building regulations and other factors affecting details design. The final section described the designing factors from structural basis.

As a result, a comprehensive detail library for waterproofing and sealing was made to meet the regulations. The created detail library serves as a tool for designers in everyday design work. The advantages of the detail library are ease of use and finding details in the same place easily. In the future, the library will be developed as regulations and structures change.

¹ Keywords: detail library, concrete floor house

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO	9
1.1 Työn tilaaja.....	9
1.2 Työn tavoite ja aiheen rajausta.....	9
2 RAKENNUSFYSIKAALISET OMINAISUUDET	10
2.1 Rakennuksen ilmanpainesuhteet	10
2.1.1 Savupiippuvaikutus	11
2.1.2 Tuulen vaikutus.....	11
2.1.3 Ilmanvaihdon vaikutus	12
2.2 Lämpö.....	12
2.2.1 Lämmönjohtavuus ja lämmönvastus.....	13
2.2.2 Lämmönläpäisykerroin (U-arvo).....	16
2.2.3 Lämpö rakenteessa	24
2.3 Kosteus.....	25
2.3.1 Kosteuslähteet	26
2.3.2 Kosteuden siirtyminen rakenteeseen.....	30
2.3.3 Vesihöyrynläpäisevyys ja -vastus	33
3 SUUNNITTELUUN VAIKUTTAVAT MÄÄRÄYKSET JA TEKIJÄT	35
3.1 Energiatehokkuus ja E-luku.....	35
3.2 Kosteustekninen toimivuus.....	37
3.3 Ilman- ja vesihöyrytiivetyys	38
3.3.1 Tiiveyden merkitys	38
3.3.2 Ilman- ja höyrynsulun suunnittelu ja toteutus	38
4 LIITOSTEN JA DETALJIEN SUUNNITTELU.....	41

4.1	Perustukset ja perusmuurit.....	41
4.2	Alapohjat.....	43
4.2.1	Maanvarainen alapohja.....	43
4.2.2	Ryömintätilallinen alapohja.....	44
4.3	Ulkoseinät.....	44
4.4	Ikkuna- ja oviliitokset.....	46
4.5	Yläpohjat.....	47
4.6	Välipohjat.....	49
4.7	Märkätilat.....	49
5	DETALJIKIRJASTON LUOMINEN.....	54
6	YHTEENVETO.....	55
	LÄHTEET.....	56
	LIITTEET.....	58

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Rakennuksen ilmanpaineeseen vaikuttavat tekijät ja niiden yhteisvaikutus.	11
Kuvio 2. Lämmön siirtyminen ikkunassa.	13
Kuvio 3. Tuulettumattoman ilmakerroksen lämmönvastuksen (R_{gu}) arvoja.	14
Kuvio 4. Katon ilmatilan lämmönvastus (R_u).	16
Kuvio 5. Esimerkki lämpövirran suuntaan nähden rinnakkaisia ainekerroksia sisältävästä rakennusosasta.	18
Kuvio 6. Esimerkki ylä- ja alalikiarvon laskennassa käytettävistä lohkoista/kerroksista.	20
Kuvio 7. DOFLÄMPÖ-ohjelmalla laskettu betonisandwich-elementin lämpötilajakauma.	25
Kuvio 8. Rakennuksen kosteustekniseen toimintaan vaikuttavia rasituksia.	26
Kuvio 9. Sisäilman kosteusluokkien kosteuslisän mitoitusarvot ulkolämpötilan suhteen.	29
Kuvio 10. Vesihöyryn diffuusion periaate.	31
Kuvio 11. Konvektio rakennuksessa.	32
Kuvio 12. Betonisandwich-elementin kosteuskäyrä.	34
Kuvio 13. Periaatekuva tiiviistä höyryn- ja ilmansulkukerroksesta.	39
Kuvio 14. Betonirakenteinen perusmuuri.	43
Kuvio 15. Esimerkki maanvaraisen laatan ilmatiivistyksestä.	44
Kuvio 16. Elementtien välinen elastinen sauma ilmatiivyyden ja sateenpitävyyden varmistamiseksi.	46
Kuvio 17. Betoniseinän ikkunaliitos.	47
Kuvio 18. Betoniseinän ja yläpohjan välinen liitos.	49
Kuvio 19. Esimerkki kivirakenteisesta löylyhuoneesta.	51

Kuvio 20. Lattiakaivon liitos betonirakenteisessa välipohjassa.	52
Kuvio 21. Esimerkki märkätilan kynnyseratkaisusta.	53
Taulukko 1. Sisä- ja ulkopuoliset pintavastukset.....	14
Taulukko 2. Maalajien lämmönjohtavuuksia λ_s	16
Taulukko 3. Rakennusosien lämmönläpäisykerrointen vertailuarvoja.....	21
Taulukko 4. Ilmaraoista aiheutuva korjauskerroin.....	24
Taulukko 5. Kapillaarinen nousukorkeus eri maalajeilla.	27
Taulukko 6. Ilman kyllästyskosteuden ja vesihöyrynpaineen arvoja lämpötilan suhteen.	28
Taulukko 7. Energiamuotojen kertoimet E-luvun laskennassa.....	35
Taulukko 8. Rakenteellisen energiatehokkuuden vaatimukset asuinrakennuksille.	37
Taulukko 9. Detaljien suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä.	41

Käytetyt termit ja lyhenteet

Absorptio	Nesteen tai kaasun imeytyminen nesteeseen tai kiinteään aineeseen.
Ilmanpaine	Ilman paino pinta-alayksikköä kohti.
Kylmäsilta	Rakenneosan kohta, jonka ainesosan läpi johtaa hyvin lämpöä muihin ympärillä oleviin aineisiin nähden.
Vesihöyryn diffuusio	Vesihöyryn osapaine-erojen aiheuttama ilmiö, jossa vesihöyryn eri pitoisuudet pyrkivät tasaantumaan keskenään.
Vesihöyryn konvektio	Vesihöyryn siirtymistä kaasujen mukana kokonaispaine-erojen vaikutuksesta.
Kosteus	Kemiallisesti sitoutumatonta vettä sen eri olomuodoissa (kaasumainen, nestemäinen, kiinteä)
Ilmansulku	Ainekerros, joka estää ilmavirtauksen rakenteen läpi puolelta toiselle.
Höyrynsulku	Ainekerros, joka estää vesihöyryn diffuusion rakenteeseen tai rakenteen sisällä.
Vedeneristys	Ainekerros, joka estää veden kulkeutumisen rakenteeseen ja kestää jatkuvaa veden rasiitusta.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tilaaja

Opinnäytetyön toimeksiantajana on Ramboll Finland Oy. Ramboll on kansainvälinen suunnittelu- ja konsultointialan yritys, joka tarjoaa teknistä suunnittelua, konsultointia, tuotekehitystä ja liiketoiminnan palveluja monilla eri toimialoilla. Yrityksessä työskentelee 16 500 asiantuntijaa, joista suomessa maanlaajuisesti 2 500 asiantuntijaa. (Ramboll Finland Oy, [viitattu 24.2.2021]). Työn tuloksena syntyvää detaljikirjastoa käytetään Ramboll Finland Oy:n rakennesuunnittelun toimialalla.

1.2 Työn tavoite ja aiheen rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena on luoda Ramboll Finland Oy:lle rakennesuunnittelun toimialalle yhtenäinen vedeneristys- ja tiivistysdetaljikirjasto. Taustalla on yrityksen tarve yhdistää rakenteelliset detaljit samankaltaisiksi sekä yhtenäistää suunnittelun toimintatapoja. Tällä hetkellä suunnittelijat käyttävät detaljien toteuttamiseen edellisten projektien tuotoksia ja aloittavat detaljien piirtämisen tyhjästä. Projekteilla on yleensä monia eri suunnittelijoita, joten yksityiskohdista on erilaisia versioita.

Detaljikirjaston tavoitteena on nopeuttaa ja helpottaa suunnittelijan työtä. Samalla suunnittelun laatu paranee, kun suunnitteluperusteet ovat samanlaiset ja detaljit on vakioitu. Aikaa ja resursseja ei kulu tiedon etsimiseen, vaan ne ovat saatavilla samasta paikasta. Detaljikirjasto rajattiin kattamaan betonirakenteisen asuinkerrostalon vedeneristys- ja tiivistysdetaljit. Detaljien suunnittelussa on kiinnitetty huomiota rakenteiden toteuttamisen helppouteen ja rakenteiden toimivuuteen.

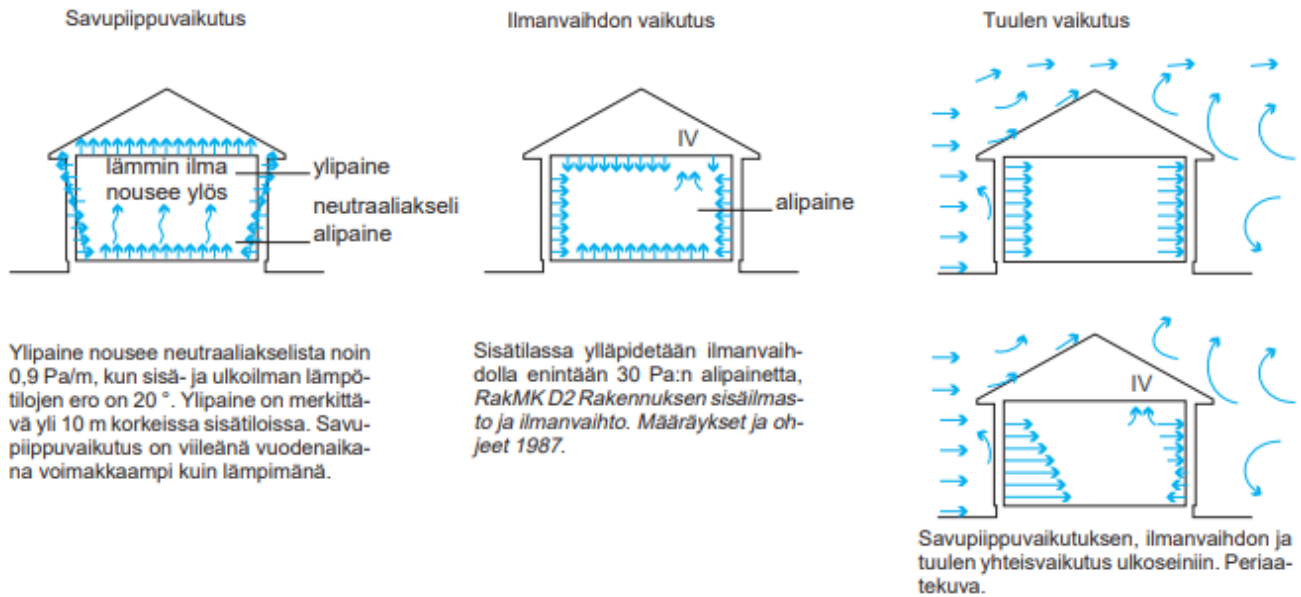
Opinnäytetyö rajataan kattamaan vedeneristys- ja tiivistysdetaljeja. Työssä käydään läpi detaljien suunnitteluun vaikuttavia lämpö- ja kosteusteknisiä tekijöitä. Työstä rajataan pois detaljien suunnitteluun vaikuttavat palo- ja äänitekniset tekijät. Lisäksi työssä käydään läpi määräyksiä ja rakennusosakohtaisia vaatimuksia sekä detaljien suunnitteluohjeita ja toteuttamistapoja.

2 RAKENNUSFYSIKAALISET OMINAISUUDET

Rakennusfysiikan merkitys on kasvanut rakentamisessa, koska rakennuksissa ja rakenteissa esiintyvät ongelmat johtuvat yleensä rakennuksen lämpö- ja kosteusteknisistä ongelmista. Lisäksi energiansäästövaatimukset ja ilmastonmuutos aiheuttavat uusia ilmiöitä, jotka vaikuttavat rakennusfysikaaliseen suunnitteluun. (RIL 255-2020 2020, 13.) Rakenteiden ja detaljien suunnittelussa on huomioitava rakennuksen ja rakenteiden lämpö- ja kosteustekninen toiminta, jotta ne toimivat rakennusfysikaalisesti oikein. Rakennesuunnittelijan tulee ymmärtää fysiikan ilmiöiden vaikutukset liitosten ja rakenteiden toimintaan. Luvussa 2 on käsitelty keskeisimpiä detaljien ja rakenteiden toimintaan vaikuttavia rakennusfysikaalisia ominaisuuksia. Rakennuksen ja rakenteiden kosteus- ja lämpötekniiseen toimintaan vaikuttavat erityisesti rakennuksen ilmanpainesuhteet ja niiden liikkeet sekä lämmön ja kosteuden siirtyminen rakenteeseen.

2.1 Rakennuksen ilmanpainesuhteet

Rakennuksen sisä- ja ulkopuolella sekä rakenteissa oleva ilma ja sen ominaisuudet vaikuttavat rakenteiden toimintaan. Ilman sisältämä kokonaispaine sisältää ilman osakaasujen yhdistyneet paineet. Ilman sisältämät kokonaispaine-erot aiheuttavat ilman ja sen sisältämän kosteuden sekä epäpuhtauksien liikettä. Ilmanvirtaus tapahtuu korkeammasta kokonaispaineesta (ylipaine) matalampaan kokonaispaineeseen (alipaine). (Sisäilmayhdistys ry 2008.) Tätä ilmanvirtausta kutsutaan konvektioksi. Konvektiota esiintyy sekä luonnollisena että pakotettuna. Ilman tiheyseroista johtuvaa luonnollista konvektiota esiintyy seinissä, ikkunoissa sekä ullakotiloissa. Tuulen, ilmanvaihdon ja lämmityksen sekä savupiippuvaikutuksen aiheuttamasta ilmanpaine-eroista johtuvaa ilmavirtausta kutsutaan pakotetuksi konvektioksi. (Siikanen 2017, 34–35.) Kuviossa 1. on esitetty rakennukseen ilmanvaihtoon vaikuttavia tekijöitä. Lähtökohtaisesti rakennus suunnitellaan alipaineiseksi.



Kuvio 1. Rakennuksen ilmanpaineeseen vaikuttavat tekijät ja niiden yhteisvaikutus (RT 05-10710 1999, 3).

2.1.1 Savupiippuvaikutus

Rakennuksen sisällä huoneilman lämmitessä ilmantiheys pienenee ja kevyt ilma pyrkii nousemaan ylöspäin ja tämän seurauksena rakennuksen yläosaan aiheutuu ylipainetta ja alaosaan alipainetta ulkoilman paineeseen verrattuna (Kuvio 1.) Korkeudella, jossa ilmanpaine on sama kuin ulkoilman paine, sijaitsee neutraaliakseli. Neutraaliakselin korkeuteen vaikuttavat rakennuksen aukot, kanavat, hormit sekä ovien ja ikkunoiden sijainti. Kokonaan suljetussa tilassa neutraaliakseli sijaitsee tilan keskellä. Savupiippuvaikutuksesta aiheutuvat paine-erot ovat määrältään pieniä, mutta käytännössä koko ajan olemassa olevia. Savupiippuvaikutuksesta vaipan sisälle rakennuksen yläosiin aiheutuva ylipaine aiheuttaa ilmavirtaa sisältä ulospäin, jolloin rakenteiden ja liitosten tiiviyteen pitää kiinnittää erityistä huomiota. Savupiippuvaikutus on suurimmillaan kylmänä ajanjaksona, jolloin ilman tiheyserot ovat suurimmillaan. (Siikanen 2017, 35–36.)

2.1.2 Tuulen vaikutus

Tuuli aiheuttaa rakennukseen painetta. Tuulenpaineen vaikutus ilmanpaine-eroihin riippuu tuulen suunnan ja voimakkuuden sekä rakennuksen korkeuden ja muodon mukaan. Ympäristön muodot ja muut rakennukset vaikuttavat myös tuulen aiheuttamaan ilmanpaineeseen. Tuulesta aiheutuu rakennukseen painejakauma, jossa tuulen kohtaamille seinäpinoille syntyy ylipainetta ja vastakkaiselle seinälle alipainetta. Katossa tuulen

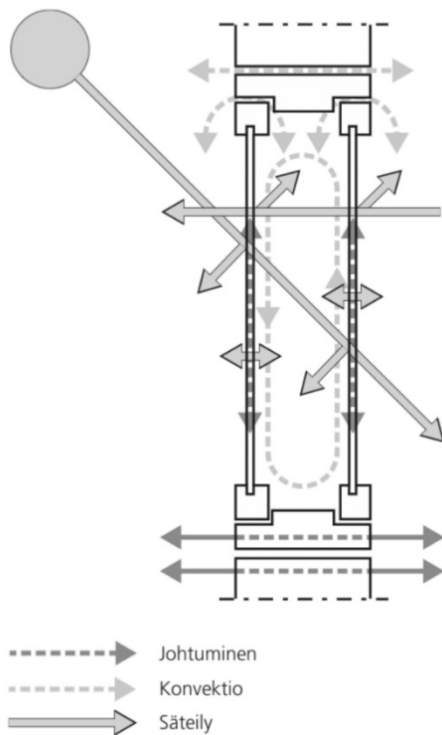
vastakkaiselle lappeelle ja tasakatolle syntyy rakennuksen sisäpuolelle alipainetta. Tuulen pyörteiden ja suunnanmuutosten takia painejakaumat vaihtelevat. Rakennuksen sisällä tuuli aiheuttaa paine-erojen muutosta, häiriötä ilmanvaihtoon sekä ilmavirtauksia rakennuksen läpi. Pitkäaikainen samansuuntainen tuuli lisää lämmön ja kosteuden liikkumista rakenteen läpi. Rakenteiden tiiviydellä on suuri vaikutus tuulen aiheuttamiin paine-eroihin. (Siikanen 2017, 37.)

2.1.3 Ilmanvaihdon vaikutus

Ilmanvaihdon aiheuttamaan paine-eroon vaikuttaa käytetyn ilmanvaihtojärjestelmän toiminta. Koneellinen ilmanvaihto suunnitellaan siten, että rakennukseen aiheutuu alipaine ulkoilmaan nähden. Alipaineen aiheuttaman paine-eron seurauksena ilma virtaa rakennukseen sisälle, jolloin ilma kuivattaa rakenteita. Rakennuksessa vallitseva alipaine on turvallinen ratkaisu kosteustekniseltä kannalta, mutta se vaatii rakennuksen vaipan ilmatiiviuden. Riittävä korvausilman saanti on tärkeässä osassa ilmanvaihtojärjestelmien toimintaa. Koneellinen ilmanvaihto yhdessä kylmien pintojen ja lämmitysjärjestelmien kanssa aiheuttaa rakennuksen sisälle hallitsemattomia ilmavirtauksia, jotka vaikuttavat asumisviihtyvyyteen. (Siikanen 2017 38.)

2.2 Lämpö

Lämpö tarkoittaa atomien tai molekyylien värähtelyliikettä. Lämmön siirtyminen rakenteessa voi tapahtua kolmella eri tavalla: johtumalla, säteilemällä tai konvektion avulla. Lämmön johtumista tapahtuu kiinteissä aineissa ja nesteissä, jolloin molekyylien liike-energia siirtyy väliaineessa molekyylistä toiseen ja lämpö pyrkii tasoittumaan lämpimästä kylmempään päin. Lämmön siirtyminen säteilemällä tapahtuu sähkömagneettisten aaltoliikkeiden mukana. Säteilyn kohdatessa kiinteän aineen, osa säteilystä heijastuu ja osa absorboituu. Konvektiossa lämpö liikkuu nesteen tai kaasun virtauksen avulla luonnollisesti tai pakotetusti. Luonnollisessa konvektiossa kaasun tai nesteen liike tapahtuu lämpötilaerojen aiheuttamista tiheyseroista. Pakotetussa konvektiossa kaasu tai neste liikkuvat esimerkiksi tuulen tai ilmanvaihdon aiheuttamista voimista. (Siikanen 2017, 40–41.) Kuviossa 2. on esitetty lämmön siirtymisen muotoja ikkunassa.



Kuvio 2. Lämmön siirtyminen ikkunassa (Siikanen 2017, 40).

2.2.1 Lämmönjohtavuus ja lämmönvastus

Lämmönjohtavuus λ (W/mK) kuvaa materiaalin kykyä johtaa lämpöä. Mitä suurempi lämmönjohtavuuden arvo on, sitä enemmän materiaali johtaa lämpöä. Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa λ_u käytetään rakenteiden lämpöteknisissä laskelmissa. Suunnitteluarvoina voidaan käyttää SFS-EN standardeissa tai erilaisissa oppaissa taulukoituja arvoja sekä valmistajien tyyppihyväksytyjä arvoja. Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo sisältää materiaalin lämmönjohtavuuteen vaikuttavia tekijöitä, kuten materiaalin lämpötilan ja kosteuspitoisuuden vaikutuksia. (Siikanen 2017, 41.)

Lämmönvastus R (m²K/W) tarkoittaa homogeenisen- tai monikerroksisen rakenteen kykyä vastustaa lämpöä. Lämmönvastus kuvaa rakenteen vastakkaisten pintojen lämpötilaeron ja ainekerroksen läpi kulkeutuvan lämpövirrantiheyden suhdetta. Sisäpuolinen R_{si} ja ulkopuolinen R_{se} pintavastus tarkoittaa rakennusosan sisä- tai ulkopuolen pinnan ja ympäristön välisen rajapinnan lämmönvastusta. (Siikanen 2017, 46–47.) Materiaalin paksuus ja lämmönjohtavuus vaikuttavat lämmönvastukseen. Sisä- ja ulkoilmaan rajoittuvat rakennusosien pinnat vastustavat myös lämmön kulkua. Taulukossa 1. on esitetty sisä- ja ulkopuolisten pintavastusten arvot.

Taulukko 1. Sisä- ja ulkopuoliset pintavastukset (Ympäristöministeriö 2012, 22).

Pintavastus m ² 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

Ilmakerroksen lämmönvastus R_g määräytyy ilmavälin tyypin mukaan. Ilmakerros voi olla hyvin tuulettuva, lievästi tuulettuva tai tuulettumaton. Rakennusosan ilmakerros on tuulettumaton R_{gu} , mikäli ilmavirtauksen pääsy sisä- tai ulkoilmasta ilmaväliin on estetty. Kuviossa 3. on esitetty tuulettumattoman ilmakerroksen lämmönvastuksien arvoja. Jos ilmavälin ulkopuolisessa rakenneosassa ei ole lämmöneristystä ja ilmaväliin johtaa ulkoilman puolelta pieniä aukkoja, voidaan tarkasteltava ilmaväli ottaa lämmönvastusta määrittäessä huomioon kuten tuulettumaton ilmakerros. Aukkojen sijainnin on estettävä tuuletusvirtaus ilmakerroksen puolelta toiselle. Tämän lisäksi ilmaväliin johtavien aukkojen yhteenlaskettu pinta-ala A_v ei saa ylittää raja-arvoja:

- 500 mm² pystysuorassa rakenteessa olevanpystysuoran ilmakerroksen pituusyksikköä (m) kohti
- 500mm² vaakasuoran ilmakerroksen pinta-alayksikköä (m²) kohti.

Rajoittavien pintojen yhdistetty emissiviteetti -	Ilmaraon paksuus (d_g) mm	Tuulettumattoman ilmakerroksen lämmönvastus (R_{gu}) m ² K/W		
		Lämpövirran suunta		
		Ylöspäin	Vaakasuoraan	Alaspäin
yleinen tapaus ei heijastavia pintoja $\varepsilon > 0,8$	5	0,11	0,11	0,11
	10	0,15	0,15	0,15
	15	0,16	0,17	0,17
	20	0,16	0,18	0,18
	50	0,16	0,18	0,21
	100	0,16	0,18	0,22
	300	0,16	0,18	0,23
toinen pinta heijastava $\varepsilon < 0,2$	5	0,17	0,17	0,17
	10	0,29	0,29	0,29
	15	0,34	0,38	0,38
	20	0,34	0,44	0,44
	50	0,34	0,44	0,67
	100	0,34	0,44	0,75
300	0,34	0,44	0,83	

Kuvio 3. Tuulettumattoman ilmakerroksen lämmönvastuksen (R_{gu}) arvoja (Ympäristöministeriö, 2012, 23).

Ilmakerros on lievästi tuulettuva, kun tarkasteltavaan ilmaväliin johtavien aukkojen yhteenlaskettu pinta-ala A_v on raja-arvojen välissä:

- enemmän kuin 500 mm², mutta enintään 1 500 mm² pystysuorassa rakenteessa olevan pystysuoran ilmakerroksen pituusyksikköä (m) kohti
- enemmän kuin 500 mm², mutta enintään 1 500 mm² vaakasuoran ilmakerroksen pinta-alayksikköä (m²) kohti.

Lievästi tuulettuvan ilmakerroksen ilmanvastus R_{gs} määritetään kaavalla (1)

$$R_{gs} = \left(\frac{1500-A_v}{1000}\right) R_{gu} + \left(\frac{A_v-500}{1000}\right) R_{si} \quad (1)$$

missä

A_v	ilmakerrokseen johtavien aukkojen yhteenslaskettu pinta-ala	mm ²
R_{gu}	tuulettumattoman ilmakerroksen lämmönvastus	m ² K/W
R_{si}	hyvin tuulettuvan ilmakerroksen lämmönvastus	m ² K/W

Ilmkerrosta pidetään hyvin tuulettuvana, kun tarkasteltavaan ilmaväliin johtavien kolojen yhteenslaskettu pinta-ala A_v :

- on enemmän kuin 1 500 mm² pystysuorassa rakenteessa olevan pystysuoran ilmakerroksen pituusyksikköä (m) kohti tai
- on enemmän kuin 1 500 mm² vaakasuoran ilmakerroksen pinta-ala-yksikköä (m²) kohti.

Mikäli rakennusosassa on hyvin tuulettuva ilmakerros, U-arvoa laskettaessa ilmkerrosta ja sen ulkopuolella sijaitsevia materiaalikerroksia ei oteta huomioon. Siinä tapauksessa voidaan ulkopinnan pintavastuksena käyttää sisäpinnan pintavastusta R_{si} taulukon 1. mukaisesti. (Ympäristöministeriö 2012, 22–24.) Kuviossa 4. on esitetty katon ilmatilan lämmönvastuksia tapauskohtaisesti. Arvot sisältävät tuulettuvan ilmavälin ja sen yläpuolisen vesikaton. Ulkopuolen pintavastus R_{se} ei sisälly edellä mainittuun lämmönvastukseen (Siikanen 2017, 48).

Katon rakennetyyppi	Lämmönvastus (R_u) $m^2 K/W$
Kate ilman aluskatetta	0,06
Tiilikatto, peltikatto tai muu vastaava vesikate aluskatteella tai sitä vastaavalla ainekerroksella	0,2
Kuten edellinen kohta, mutta matalaemissiviteettipinta (esimerkiksi alumiinipinnoite) aluskatteen alapinnassa	0,3
Yhtenäinen kermikate alusrakenteineen tai vastaava raoton vesikate	0,3

Kuvio 4. Katon ilmatilan lämmönvastus (R_u) (Siikanen 2017, 48).

Maanvastaisten ja ryömintätilaisten rakenteiden lämmönläpäisykertoimia laskettaessa otetaan huomioon maan lämmönvastus. Lämmönläpäisykerrointa laskettaessa käytetään maalajien lämmönjohtavuuden λ_s arvoina taulukon 2. mukaisia arvoja. Mikäli maalajia ei tiedetä, lämmönjohtavuutena voidaan käyttää arvoa 2,0 W/mK. Maanvastaisten rakennusosien lämpö- ja kosteustekninen toimivuus on oltava sellainen, ettei kosteus, routiminen tai pintojen kylmyys aiheuta haittaa rakenteille ja ympäristölle. Lisäksi on saavutettava lämpötekniisesti haluttu lämmöneristävyys. (Siikanen 2017, 48.) Lämmönläpäisykertoimeen vaikuttaa lisäksi lattian koko ja muoto, lämmöneristeet, seinä- ja lattiarakenteiden koko sekä maalajin ominaisuudet.

Taulukko 2. Maalajien lämmönjohtavuuksia λ_s (Siikanen 2017, 48).

Maalaji	Lämmönjohtavuus λ_s (W/(mK))
Savi, salaojitettu hiekka ja sora	1,5
Hiesu, salaojittamaton hiekka ja sora, moreeni	2,0
Kallio	3,5

2.2.2 Lämmönläpäisykerroin (U-arvo)

Lämmönläpäisykerroin U [W/m²K] kertoo rakennuksen vaipan lämmönläpäisykyvystä. Mitä pienempi rakennusosan U-arvo on, sitä parempi lämmöneristyskyky rakenteella on. U-arvo on rakennusosan kokonaislämmönvastuksen R_T käänteisluku ja arvo lasketaan kaavalla

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (2)$$

missä

R_T Rakennusosan kokonaislämmönvastus m^2K/W

(Ympäristöministeriö 2012, 6).

Rakennusosan kokonaislämmönvastus sisältää koko rakenteen lämmönvastuksen ja molempien puolien pintavastukset. Lämpö voi johtua rakennusosan sisällä eri ainekerrosten läpi. Kerrokset voivat poiketa toisistaan paksuudeltaan ja lämmönjohtavuudeltaan. Yksittäisen ainekerroksen lämmönvastus R lasketaan kaavalla

$$R = \frac{d}{\lambda_U} \quad (3)$$

missä

d	ainekerroksen paksuus	[m]
λ_U	ainekerroksen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo	W/mK

(Ympäristöministeriö 2012, 7.)

Rakennusosan lämmönjohtavuudeltaan poikkeavat kerrokset voivat olla lämpövirran suuntaan nähden peräkkäin tai rinnan. Peräkkäisten ainekerrosten kokonaislämmönvastus R_T määritetään kaavalla

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (4)$$

missä

R_{si}	sisäpuolen pintavastus	m^2K/W
R_1, R_2, \dots, R_n	rakennusosan ainekerrosten 1,2, ..., n lämmönvastukset	m^2K/W
R_{se}	ulkopuolen pintavastus	m^2K/W

(Ympäristöministeriö 2012, 7.)

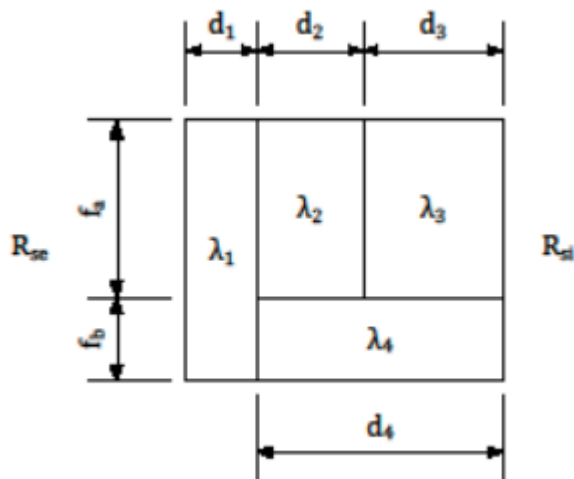
Jokaisen erillisen peräkkäisen ainekerroksen lämmönvastus (R_1, R_2, \dots, R_n) lasketaan kaavalla (3) ja sijoitetaan kaavaan (4). Kuviossa 5. on esitetty periaatekuva rakennusosasta, jossa on lämpövirran suuntaan olevia rinnakkaisia ainekerroksia. Mikäli rakennusosa sisältää lämpövirran kulkusuuntaan nähden lämmönjohtavuudeltaan poikkeavia, rinnakkain sijaitsevia ainekerroksia, lasketaan kokonaislämmönvastukselle ylälikiarvo R'_T ja alaliikiarvo R''_T . Mikäli ylä- ja alaliikiarvon suhde on enemmän kuin 1,5 tai rakenteessa on säännöllisiä metallisia viivamaisia kylmäsiltoja, lämmönläpäisykerrointa U ei voida laskea ylä- ja alaliikiarvojen avulla. Tällöin kylmäsiltojen vaikutus otetaan huomioon lisäämällä kylmäsiltojen aiheuttama lisäys (ΔU_ψ) U -arvoon. (Ympäristöministeriö 2012, 7–8.) Kylmäsilalla tarkoitetaan rakenteessa kohtaa, jonka lämmönvastus on ympäröivää rakennetta pienempi. Tällöin kylmäsilan läpi johtuu suurempi määrä lämpöä. Pistemäisellä kylmäsilalla tarkoitetaan rakenteessa olevaa

paikallista kohtaa, jolla ei ole pinnan suuntaista pysyvää poikkileikkausta. Viivamainen kylmäsilta sisältää rakenteen pinnan suuntaisen jatkuvan poikkileikkauksen. (Ympäristöministeriö 2012, 4–5.) Kokonaislämmönvastus on edellä mainittujen likiarvojen keskiarvo ja lasketaan kaavalla

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} \quad (5)$$

missä

R'_T	rakennusosan kokonaislämmönvastuksen ylälikiarvo	$\text{m}^2\text{K/W}$
R''_T	rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alaliikiarvo	$\text{m}^2\text{K/W}$



Kuvio 5. Esimerkki lämpövirran suuntaan nähden rinnakkaisia ainekerroksia sisältävästä rakennusosasta (Ympäristöministeriö 2012, 9).

Kokonaislämmönvastuksen ylälikiarvon R'_T laskennassa rakennusosa jaetaan lämpövirran kulkusuuntaan nähden itsenäisiin lohkoihin kuvion 6. vasemman puolen mukaan, mitkä ulottuvat koko rakennusosan läpi. Lohkot muodostuvat peräkkäisistä ainekerroksista, joiden lämmönjohtavuudet ovat erilaiset. Jokaisen lohkon kokonaislämmönvastus lasketaan kaavalla 4 pintavastukset mukaan huomioiden. Koko rakennusosan kokonaislämmönvastuksen ylälikiarvon laskemiseksi lohkojen kokonaislämmönvastukset sijoitetaan kaavaan

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_n}{R_{Tn}} \quad (6)$$

missä

R'_T	rakennusosan kokonaislämmönvastuksen ylälikiarvo	$\text{m}^2 \text{K/W}$
--------	--	-------------------------

f_a, f_b, \dots, f_n	lohkojen a, b, ..., n osuudet rakennusosan lämpövirran suuntaan nähden kohtisuorasta pinta-alasta	
$R_{Ta}, R_{Tb}, \dots, R_{Tn}$	lohkojen a, b, ..., n kokonaislämmönvastukset	$m^2 K/W$

Ympäristöministeriö 2012, 8).

Kokonaislämmönvastuksen alalikiarvon R''_T laskennassa rakennusosa jaetaan kohtisuoriin lämpövirran suuntaisiin kuvion 6. oikean puolen mukaisiin kerroksiin, jotka ulottuvat koko rakenteen läpi. Jokainen kerros on yhtenäinen lämmönjohtavuudeltaan lämpövirran suuntaan nähden. Jokaisen kerroksen rinnakkain sijaitsevat, lämmönjohtavuudeltaan toisistaan poikkeavat lämmönvastukset yhdistetään kaavalla

$$\frac{1}{R''_j} = \frac{f_a}{R_{ja}} + \frac{f_b}{R_{jb}} + \dots + \frac{f_n}{R_{jn}} \quad (7)$$

missä

R''_j	rakennusosan kerroksessa j yhdistettävien rinnakkaisten lohkojen a, b, ..., n yhteenlaskettu lämmönvastus	$m^2 K/W$
f_a, f_b, \dots, f_n	yhdistettävien rinnakkaisten lohkojen a, b, ..., n osuudet rakennusosan lämpövirran suuntaan nähden kohtisuorasta pinta-alasta	
$R_{ja}, R_{jb}, \dots, R_{jn}$	rakennusosan kerroksessa j yhdistettävien rinnakkaisten lohkojen a, b, ..., n lämmönvastukset	$m^2 K/W$

Rinnakkaisten lohkojen yhdistämisen jälkeen kokonaislämmönvastuksen alalikiarvo R''_T lasketaan kaavalla

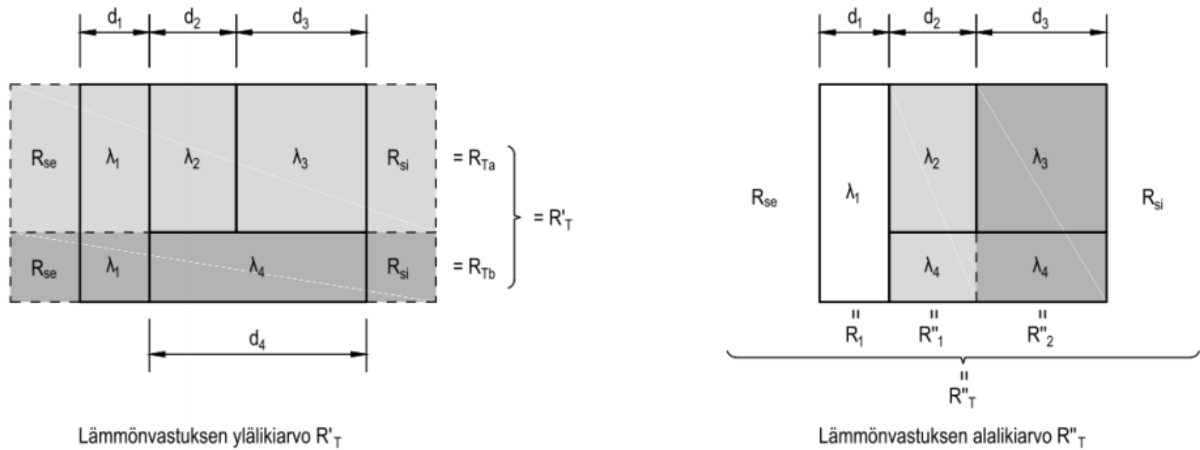
$$R''_T = R_{si} + (R''_1 + R''_2 + \dots + R''_j) + (R_1 + R_2 + \dots + R_k) + R_{se} \quad (8)$$

missä

R_{si}	sisäpuolen pintavastus	$m^2 K/W$
R_{se}	ulkopuolen pintavastus	$m^2 K/W$
$R''_1, R''_2, \dots, R''_j$	rakennusosan a, b, ..., j olevien rinnakkaisten lohkojen yhdistetyt lämmönvastukset (esimerkiksi lämmönvastukset R''_1 ja R''_2 kuviossa 5)	$m^2 K/W$
R_1, R_2, \dots, R_k	rakenneosan tasa-aineisista ja tasapaksuista aine-	$m^2 K/W$

kerroksista muodostuvien kerrosten 1, 2, ..., k lämmön- m² K/W
 vastukset (esimerkiksi lämmönvastus R_1 kuviossa 5.)

(Ympäristöministeriö 2012, 9.)



Kuvio 6. Esimerkki ylä- ja alakiarvon laskennassa käytettävistä lohkoista/kerroksista (Ympäristöministeriö 2012, 9).

Korjattu lämmönläpäisykerroin U_c tarkoittaa rakennusosan lopullista lämmönläpäisykerrointa, jota käytetään osoittaessa rakennusosan määräystenmukaisuutta tai laskettaessa rakennuksen energiankulutusta (Siikanen 2017, 50). Laskennallista energiatehokkuuden vertailulukua (E-luku) määritettäessä käytetään U -arvolle vertailuarvoja taulukon 3. mukaisesti. U -arvot voivat ylittää tai alittaa vertailuarvot, mutta niitä on kompensoitava muilla osatekijöillä tarvittavaan ominaislämpöhäviön alittamiseksi. (Tasauslaskentaopas 2018, 2017, 11). Energiatehokkuutta ja E-lukua käsitellään tarkemmin luvussa 3.

Taulukko 3. Rakennusosien lämmönläpäisykerrointen vertailuarvoja (Tasauslaskentaopas 2018, 14).

Rakennusosat	Vertailuarvo U-arvo, W/(m ² K)	
	Lämpimät tilat	Puolilämpimät tilat
Ulkoseinä	0,17	0,26
Massiivipuuseinä (paksuus ≥ 180 mm)	0,40	0,60
Yläpohja	0,09	0,14
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)	0,09	0,14
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)	0,17	0,26
Alapohja (maanvastainen)	0,16	0,24
Muu maanvastainen rakennusosa	0,16	0,24
Ulko-ovet, tuuletusluukut, kattoikkunat, kattovalokuvut	1,0	1,4

Korjattu lämmönläpäisykerroin U_c lasketaan kaavalla

$$U_c = U + \Delta U \quad (9)$$

missä

U rakennusosan lämmönläpäisykerroin W/m^2K

ΔU lämmönläpäisykerroimen korjaustermi W/m^2K

Lämmönläpäisykerroimen korjaustermi ΔU sisältää lämmöneristeen ilmarakojen korjaustekijän, mekaanisten kiinnikkeiden kuten teräsrankojen ja muiden säännöllisten pistemäisten kylmäsiltojen korjaustekijän sekä käännettyjen kattojen korjaustekijän. Mikäli korjaustermi on 3 % tai vähemmän rakennusosan U -arvosta, korjaustermiä ei huomioida laskennassa. Tällöin korjattu lämmönläpäisykerroin on yhtä suuri kuin kaavalla (2) laskettu U -arvo. Lämmönläpäisykerroimen korjaustermi määritetään kaavalla

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

missä

ΔU_f mekaanisista kiinnikkeistä aiheutuva korjaustekijä $W/m^2 K$

ΔU_g ilmaraoista aiheutuva korjaustekijä $W/m^2 K$

ΔU_r käännettyistä katoista aiheutuva korjaustekijä $W/m^2 K$

ΔU_ψ viivamaisista kylmäsiltoista aiheutuva korjaustekijä $W/m^2 K$

(Ympäristöministeriö 2012, 10.)

Lämmöneristeen läpäisevien mekaanisten kiinnikkeiden ja pistemäisten kylmäsiltojen korjaustekijä (ΔU_f) voidaan määrittää likimääräisesti kaavalla

$$\Delta U_f = \frac{\alpha \lambda_f A_f n_f}{d_0} \left(\frac{R_{f0}}{R_{Th}} \right)^2 \quad (11)$$

missä

α	kerroin kaava (12)	
λ_f	kiinnikkeen lämmönjohtavuus	W/mK
A_f	yhden kiinnikkeen poikkipinta-ala	m ²
n_f	kiinnikkeiden lukumäärä neliometriä kohden	1/m ²
d_0	lämmöneristekerroksen paksuus, johon kiinnike on asennettu	m
R_{f0}	lämmöneristekerroksen lämmönvastus ilman kylmäsiltojen vaikutusta, jonka kiinnike läpäisee kaava (13)	m ² K/W
R_{Th}	rakennusosan kokonaislämmönvastus ilman korjaustekijöiden ja kylmäsiltojen vaikutusta, kaava (4/5)	m ² K/W

missä kerroin α määritetään kaavalla

$$\alpha = 0,8 \frac{d_{f0}}{d_0} \quad (12)$$

jossa

d_0	lämmöneristekerroksen kokonaispaksuus, johon kiinnike on asennettu	m
d_{f0}	kiinnikkeen huomattavasti lämmöneristettä paremmin lämpöä johtavan osan lämpövirran suuntainen pituus tarkasteltavan lämmöneristekerroksen sisällä	m

Kaavassa (11) käytetty lämmönvastuksen arvo R_{f0} lasketaan kaavalla

$$R_{f0} = \frac{d_{f0}}{\lambda_0} \quad (13)$$

missä

d_{f0}	kiinnikkeen huomattavasti lämmöneristettä paremmin lämpöä johtavan osan lämpövirran suuntainen pituus tarkasteltavan lämmöneristekerroksen sisällä	m
λ_0	lämmöneristekerroksen lämmönjohtavuus, jonka läpi kiinnike kulkee	W/mK

Mikäli kiinnike läpäisee eristekerroksen kokonaan, käytetään kertoimelle α arvoa 0,8. (Ympäristöministeriö 2012, 10–11.)

Lämmöneristykseen mahdollisten ilmarakojen ja epätäydellisen asennuksen aiheuttama korjaustekijä määritetään kaavalla

$$\Delta U_g = \Delta U'' \left(\frac{R_1}{R_{Th}} \right)^2 \quad (14)$$

missä

$\Delta U''$	ilmaraoista aiheutuva korjauskerroin	W/m ² K
R_1	ilmarakoja sisältävän lämmöneristekerroksen lämmönvastus ilman kylmäsiltojen vaikutusta, kaava (3)	m ² K/W
R_{Th}	tarkasteltavan rakenneosan kokonaislämmönvastus korjaustekijöiden ja kylmäsiltojen vaikutusta, kaava (4)	m ² K/W

(Ympäristöministeriö 2012, 12)

Mikäli käytössä ei ole tarkempia tietoja, voidaan ilmaraoista aiheutuva korjauskerroin ($\Delta U''$) valita taulukosta 4. Tässä opinnäytetyössä ei käydä läpi käännettyjen kattorakenteiden eikä viivamaisten kylmäsiltojen aiheuttamia korjaustekijöitä. Viivamaisten kylmäsiltojen aiheuttamat lisäkonduktanssit on voitu huomioida materiaalivalmistajien määrittämässä lämmönläpäisykerrointen arvoissa. Korjaustekijöiden määrittämiseen vaaditut kaavat löytyvät esimerkiksi RakMk C4 2012 luonnosversiosta, tai SFS-EN standardeista.

Taulukko 4. Ilmaraoista aiheutuva korjauskerroin $\Delta U''$ (Ympäristöministeriö 2012, 12).

Taso	Ilmaraon kuvaus	$\Delta U''$ W/(m ² K)
0	Lämmöneristeessä ei ole ilmarakoja tai lämmöneristeessä on vain vähäisiä ilmarakoja, joilla ei ole merkittävää vaikutusta lämmönläpäisykerroimeen.	0,00
1	Lämmöneristeessä on eristeen läpäiseviä ilmarakoja, jotka eivät kuitenkaan aiheuta ilman kiertokulkua lämmöneristeen lämpimän ja kylmän puolen välillä.	0,01
2	Lämmöneristeessä on eristeen läpäiseviä ilmarakoja, jotka aiheuttavat ilman kiertokulkua lämmöneristeen lämpimän ja kylmän puolen välillä.	0,04

2.2.3 Lämpö rakenteessa

Määrittäessä rakenteessa sijaitsevaa mahdollista kosteuden tiivistymispaikkaa, täytyy tuntea kosteuteen liittyvien asioiden lisäksi lämpötilat rakennusosan eri kohdissa. Lämpötilan muutoksen oletetaan olevan suoraan verrannollinen eri ainekerrosten lämmönvastukseen. (Siikanen 2017, 55.) Rakenteen tietyn rakennekerroksen lämpötila voidaan laskea kaavalla

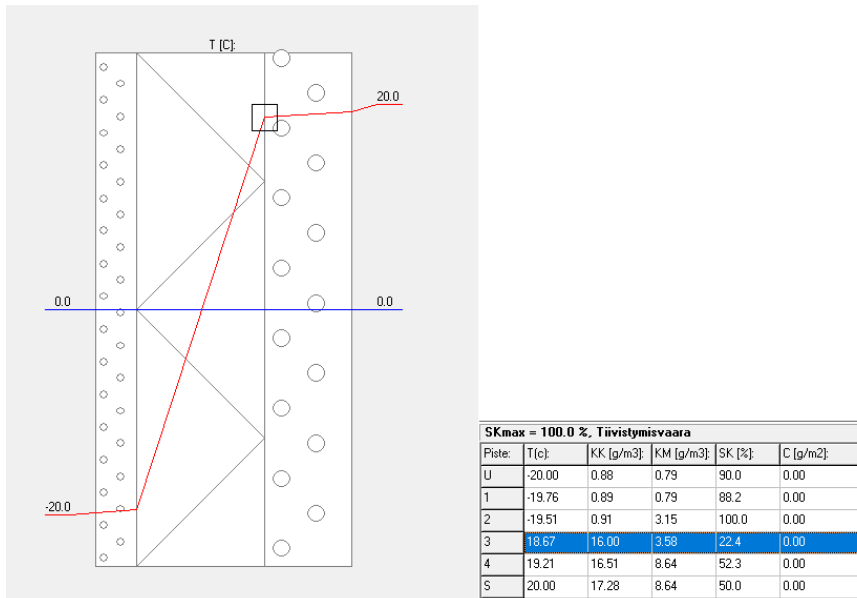
$$t_x = t_s - \frac{\sum R_x}{R_T} \cdot \Delta t \quad (11)$$

missä

t_s	sisäilman lämpötila	°C
$\sum R_x$	lämmönvastus sisäpinnasta kohtaan x	m ² K/W
R_T	rakenteen kokonaislämmönvastus	m ² K/W
Δt	sisä- ja ulkolämpötilan erotus	°C

(Rafnet 2004, 28.)

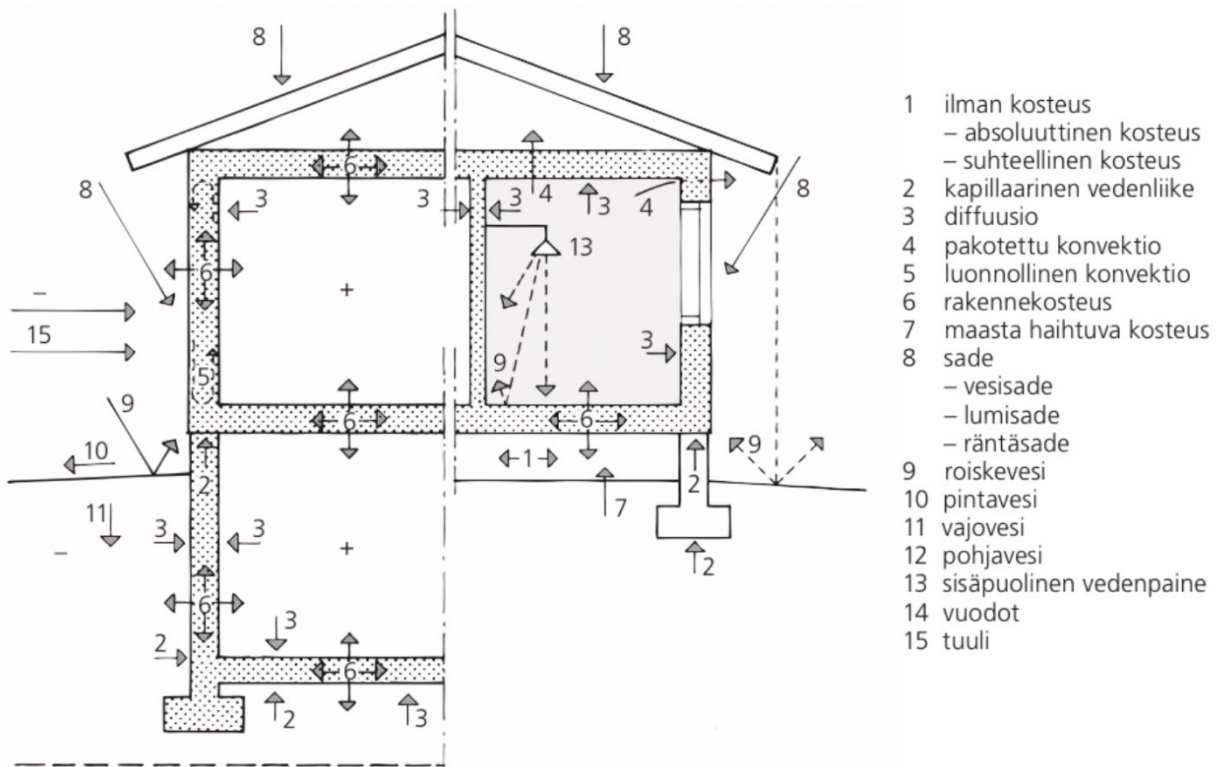
Kuviossa 7. on laskettu D.O.F tech Oy:n DOF-lämpö ohjelmalla betonisandwich-elementin lämpötilajakauma. Rakenteena 80 mm betonikuori ($\lambda_U = 1,700$ W/mK), 220 mm mineraalivilla ($\lambda_U = 0,035$ W/mK) ja 150 mm kantava betoniseinä ($\lambda_U = 1,700$ W/mK). Ulkolämpötila (piste U) kuvan tilanteessa -20°C ja sisälämpötila (piste S) +20°C, ulkoilman suhteellinen kosteus 90 % ja sisäilman 50 %. Pisteet 1 ja 4 kuvaavat rakenteen ulko- ja sisäpintojen lämpötilan arvoja. Pisteet 2 ja 3 sijaitsevat rakenneosien rajapinnoilla ja kuvaavat niiden lämpötiloja.



Kuvio 7. DOFLÄMPÖ-ohjelmalla laskettu betonisandwich-elementin lämpötilajakauma

2.3 Kosteus

Kosteudella tarkoitetaan kaasumaisessa (vesihöyry), nestemäisessä tai kiinteässä muodossa (jää) olevaa kemiallisesti sitoutumatonta vettä. Ympäristön ilma, huokoiset materiaalit ja rakenteet sisältävät kosteutta. Kosteusmäärät riippuvat aineiden ominaisuuksista sekä ilman lämpötilasta ja kosteuden määrästä. Jatkuvat rakennukseen ja rakenteisiin suuntautuvat kosteusrasitukset aiheuttavat kosteusvaurioita. Kosteusrasitukset voidaan jaotella ulkoisiin- ja sisäisiin kosteyslähteisiin. Pitkään jatkuneet raskaat kosteusolot voivat aiheuttaa mikrobien kasvamista ja homevaurioita. Mahdolliset rakenteiden kosteusvauriot ovat yleensä seurausta huonosta rakenteiden suunnittelusta, rakentamisvaiheen virheistä, huoltotöiden puutteista tai käyttövirheistä. (Siikanen 2017, 65–66.) Kuviossa 8. on esitetty rakennukseen vaikuttavia kosteusrasituksia.



Kuvio 8. Rakennuksen kosteustekniseen toimintaan vaikuttavia rasituksia (Siikanen 2017, 65).

2.3.1 Kosteuslähteet

Sade

Sadetta esiintyy vetenä, räntänä ja lumena. Sateen aiheuttamat rasitukset vaikuttavat eniten vesikattoihin, vaakapintoihin ja seinärakenteisiin. Suomessa sade on yleisimmin pystysadetta, joka rasittaa vaakasuoria- ja vinoja pintoja. Tuulenpaineen vaikutuksesta sadetta esiintyy myös viistosadetta, joka on tärkein rakennuksen vaippaan kohdistuva kosteusrasite. Tuulenpyörteen vaikutuksesta sade voi myös nousta ylöspäin seinärakenteen ulkopinnassa. Osa maahan osuneesta sateesta osuu roiskevetenä seinärakenteisiin, ja loput liikkuvat painovoimaisesti joko pintavetenä maan pintaa pitkin tai maan alle vajovetenä aiheuttaen kosteusrasitusta perustuksille. (Siikanen 2017, 66–67.)

Maaperän kosteus

Maaperässä vettä esiintyy pinta- ja vajovesien lisäksi pohjavetenä, kapillaarivetenä ja maan huokosissa olevana vesihöyryinä (Björkholtz 1997, 49). Maaperässä vesi pyrkii nousemaan kapillaarivirtauksen avulla pysyvän pohjavedenpinnan yläpuolelle lähelle maanpintaa. Maalajin

karkeusaste vaikuttaa veden kapillaariseen nousukorkeuteen. Mitä pienempi raekoko maalajilla on, sitä enemmän vesi pääsee nousemaan ainekerroksessa. (Siikanen 2017, 68). Taulukossa 5. on kuvattu kapillaarisen nousun arvoja eri maalajeille.

Taulukko 5. Kapillaarinen nousukorkeus eri maalajeilla (RIL 250-2020 2020, 109).

Maalaji	Raekoko mm	Kapillaarinen nousu (mm)
Hiekka	0,2...2	30...300
Hieta	0,02...0,2	300...3 000
Hiesu	0,002...0,02	3 000...30 000
Savi	0...0,002	> 30 000

Ilmankosteus

Ilmankosteus on kuivaan ilmaan sitoutunutta vesihöyryä. Ilma pystyy sitomaan enintään tietyn määrän vesihöyryä tietyssä lämpötilassa. Vesihöyrypitoisuus (kg/m^3) v kertoo todellisen vesihöyrynmäärän ilmassa. Mitä lämpimämpää ilma on, sitä enemmän vesihöyryä ilma pystyy sitomaan itseensä. Tilaa, jossa tietyn lämpöinen ilma sisältää maksimimäärän vesihöyryä, kutsutaan kyllästyskosteudeksi. Kyllästyskosteus v_k (kg/m^3) lämpötilan ollessa $-20\text{ °C} \dots +80\text{ °C}$ välisellä alueella määritetään kaavalla

$$v_k = \left[4,85 + 3,47 \left(\frac{t}{10} \right) + 0,945 \left(\frac{t}{10} \right)^2 + 0,158 \left(\frac{t}{10} \right)^3 + 0,0281 \left(\frac{t}{10} \right)^4 \right] \quad (12)$$

missä

t lämpötila alueella $-20\text{ °C} \dots +80\text{ °C}$ °C

Ilman sisältämä vesihöyry aiheuttaa myös painetta, jota kutsutaan vesihöyryn osapaineeksi. Vesihöyryn osapaineen p_v (Pa) ja vastaavan vesihöyrynpitoisuuden välillä on yhteys ja sisällöt ovat suoraan verrannolliset. Vesihöyryn osapaine p_v määritetään kaavalla

$$p_v = 461,4 \cdot 10^{-3} \cdot T \cdot v \quad (13)$$

missä

T tarkasteltavan ilman lämpötila K

v

ilman vesihöyrypitoisuus

g/m³

Taulukko 6. Ilman kyllästyskosteuden ja vesihöyrynpaineen arvoja lämpötilan suhteen.

t (°C)	v _k (g/m ³)	p _k (Pa)	t (°C)	v _k (g/m ³)	p _k (Pa)	t (°C)	v _k (g/m ³)	p _k (Pa)	t (°C)	v _k (g/m ³)	p _k (Pa)
-20	0,87	102	-6	3,08	379	8	8,32	1079	22	19,40	2640
-19	0,95	111	-5	3,33	412	9	8,87	1154	23	20,54	2805
-18	1,04	122	-4	3,60	447	10	9,45	1234	24	21,74	2979
-17	1,14	135	-3	3,89	485	11	10,06	1318	25	23,00	3162
-16	1,25	149	-2	4,19	524	12	10,71	1408	30	30,31	4237
-15	1,38	164	-1	4,51	566	13	11,38	1502	35	39,56	5622
-14	1,52	181	0	4,85	611	14	12,10	1602	40	51,16	7388
-13	1,67	200	1	5,21	658	15	12,86	1708	45	65,52	9614
-12	1,83	221	2	5,58	708	16	13,65	1820	50	83,14	12390
-11	2,01	242	3	5,98	762	17	14,49	1939	55	104,5	15818
-10	2,20	266	4	6,40	818	18	15,37	2064	60	130,2	20010
-9	2,40	292	5	6,84	878	19	16,30	2197	65	160,9	25090
-8	2,61	319	6	7,31	941	20	17,28	2337	70	197,1	31194
-7	2,84	348	7	7,80	1008	21	18,31	2484	75	239,6	38471
									80	289,1	47084

Suhteellinen kosteus RH kertoo tietyn lämpötilan ilman sisältämän vesihöyryn määrän suhteessa lämpötilan enimmäisvesihöyrymäärästä. Suhteellista kosteutta kuvataan usein prosentteina. Suhteellinen kosteus voidaan laskea kaavoilla

$$RH = \frac{v}{v_k} \quad (14)$$

missä

v mitattu kosteusarvo (vesihöyrypitoisuus) g/m³v_k kyllästyskosteuden arvo g/m³

tai

$$RH = \frac{p}{p_k} \quad (15)$$

missä

p mitatun paineen arvo Pa

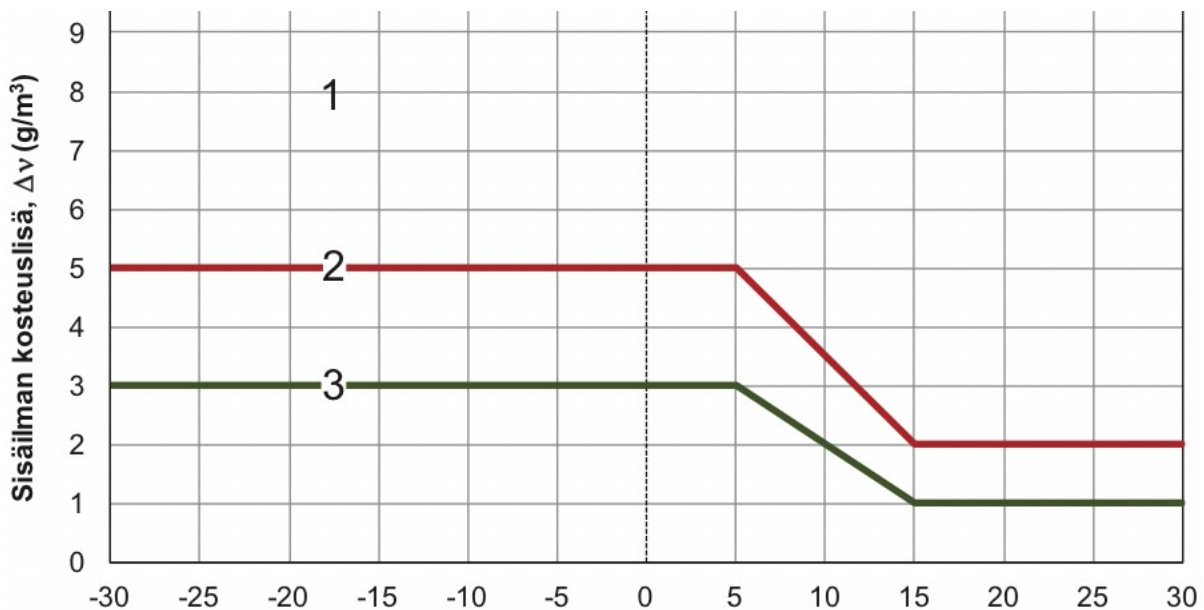
p_k kyllästyspaineen arvo
(Björkholtz 1997, 43–45.)

Pa

Sisä- ja ulkoilman kosteus

Ulkoilman kosteusolot muuttuvat vuodenaikojen mukaisesti. Rakennuksen kosteustekniseen toimintaan vaikuttavia ulkoilman olosuhteita ovat lämpötila, lämpösäteily, auringonsäteily, suhteellinen kosteus, sademäärä ja tuuli. Myös rakennuksen koolla, rakenteiden muodoilla ja ympäristön olosuhteilla on vaikuttavia tekijöitä ulkoilman olosuhteisiin. (RIL 255-1 2014 2014, 65–66.)

Tärkeimpiä sisäilman kosteuteen vaikuttavia tekijöitä ovat vesihöyrypitoisuus, lämpötila ja paine-erot sisä- ja ulkoilman välillä. Märkätiloissa myös käyttöveden aiheuttamat rasitukset vaikuttavat sisäilman kosteuteen. Sisätilojen käyttö ja asuminen tuottavat lisäkosteutta sisäilmaan, mikä lisää sisäilman vesihöyrypitoisuutta ja pitoisuuksien eroa ulko- ja sisäilmojen välillä. Kosteuslisä kertoo sen määrän, paljonko enemmän vesihöyryä on sisäilmassa ulkoilmaan verrattuna. Sisäilman kosteusolosuhteet saadaan lisäämällä kosteuslisän mitoitusarvo ulkoilman kosteuteen. (RIL 255-1 2014 2014, 70–71.) Tavanomainen asuinkerrostalo kuuluu kosteusluokkaan 2 ja kosteuslisän määrä talvella on 5 g/m^3 . Sisäilman kosteuslisä vaihtelee ulkolämpötilan mukaan kuvion 9. mukaisesti.



Kuvio 9. Sisäilman kosteusluokkien kosteuslisän mitoitusarvot ulkolämpötilan suhteen (RIL 107-2012 2012, 24).

Rakennuskosteus

Rakennuskosteudella tarkoitetaan rakennusvaiheen kosteutta, jota on sitoutunut rakennusmateriaaleihin tai rakennusosiin valmistuksen, rakennusvaiheen, kuljetuksen ja varastoinnin aikana. Rakenteessa oleva kosteus pyrkii kuivumaan ja saavuttamaan tasapainokosteuden vallitsevan ympäristön kanssa. Tasapainokosteuteen vaikuttavat ilman suhteellinen kosteus, lämpötila sekä rakennusmateriaalien paksuus ja vesihöyrynläpäisyominaisuudet. (RIL 250-2020 2020, 105–106.)

Rakennuskosteus on yleinen kosteuden aiheuttaja ja uudisrakentamisen ongelma. Rakennuskosteuden aiheuttamia rasituksia pyritään minimoimaan riittävän tuuletuksen varmistamisella, kuivumisajoilla ja tarkastusmittauksilla, esimerkiksi betonilattioiden suhteellisen kosteuden mittaamisella. Rakennusmateriaalien huolellisella sääsuojauksella ja varastoinnilla estetään niiden liiallinen kastuminen. (RIL 250-2020 2020, 105–106.) Ympäristöministeriön asetuksen (A 24.11.2017/782) mukaan rakennusvaiheen vastuuhenkilön on huolehdittava rakenteiden riittävästä kuivuudesta ennen rakenteiden peittämistä pinnoitteella, kuivumista hidastavalla ainekerroksella tai rakenteella vauriota aiheuttamatta.

Vuodot

Kosteusvuotoja esiintyy rakennuksen vaipassa, laitteistoissa ja putkistoissa sekä märkätiloissa. Laitteiden ja putkistojen vuodot voivat aiheuttaa pitkäaikaista kosteusrasitusta rakenteille, sillä niiden havaitseminen on haastavaa. (RIL 250-2020 2020, 106–107.) Ympäristöministeriön asetuksen (A 24.11.2017/782) mukaan ilmanvaihto-, lämmitys- ja jäähdytyslaitteistojen ja muiden laitteistojen sekä niihin liitettyjen laitteiden on oltava rakenteeltaan sellaisia, jotta niihin aiheutuva vesivuoto ohjautuu näkyville. Asetuksen mukaan laitteistot ja laitteet on oltava tarkastettavissa, huollettavissa ja uusittavissa, mikäli niihin voi aiheutua vesivuoto. Asetuksen mukaan veden jäätyminen on estettävä laitteistojen rakenteissa sekä veden haitallinen tiivistyminen on estettävä tai johdettava pois ilman aiheutuvaa haittaa.

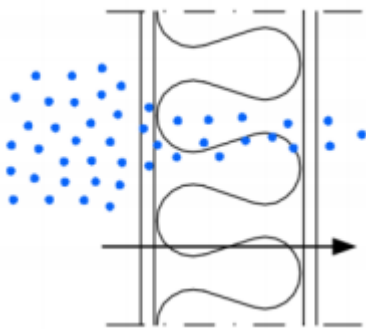
2.3.2 Kosteuden siirtyminen rakenteeseen

Kosteus siirtyy rakenteissa ja rakenteisiin useiden siirtymismuotojen seurauksena. Kosteuden siirtymistä tapahtuu rakenteen läpi samanaikaisesti molempiin suuntiin monen siirtymismuodon yhteisvaikutuksesta. Kosteuden liikkumista materiaaliin eli kastumista

sanotaan absorptioksi, sen liikkumista materiaalin sisällä sorptioksi ja poistumista desorptioksi. Hygroσκοoppisuus kertoo aineen kyvystä sitoa ja luovuttaa vesihöyryä itseensä. Aine joko sitoo tai luovuttaa kosteutta itseensä ympäristön suhteellisen kosteuden mukaan. (Siikanen 2017, 77.) Kosteuden siirtymisestä aiheutuvien rasitusten hallitseminen on tärkeässä osassa kosteusteknisessä suunnittelussa.

Diffuusio

Diffuusion aiheuttama vesihöyryn liike johtuu ulko- ja sisäilmojen vesihöyrypitoisuuksien eroista. Ilman vesihöyry pyrkii liikuttamaan vesihöyryä rakenteen läpi suuremmasta vesihöyryn osapainetilasta pienempää kohti. Yleisimmin diffuusion suunta on lämpimästä tilasta kylmempään päin, mutta suunta voi olla myös vastakkainen, mikäli kylmemmän ilman kosteusmäärä on suurempi kuin lämpimän. Aineen sisällä kosteuden liike ei ole täysin diffuusion vaikutusta, koska aineen sisällä kosteus voi liikkua myös kapillaarisesti. Rakennuksen vaippaan kohdistuva liiallinen vesihöyryn liike pyritään estämään vesihöyrytiivin kerroksen avulla. (Siikanen 2017, 70–71.)

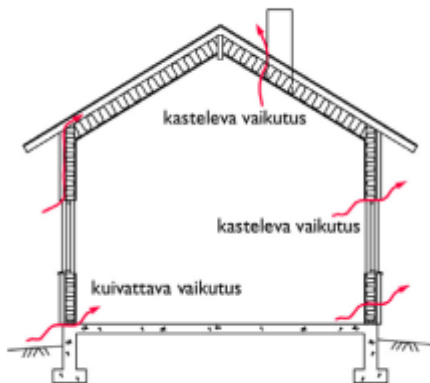


Kuvio 10. Vesihöyryn diffuusion periaate (Ympäristöopas 2016, 113).

Konvektio

Konvektiossa vesihöyryn liike johtuu kokonaispaine-eron vaikutuksesta. Rakennuksessa konvektio tapahtuu huokoisten materiaalien ja rakenteissa olevien rakojen ja epätiiviyksien kautta kulkevana ilmapirtana. Ilmapirta syntyy rakenteiden ulko- ja sisäpuolisista kokonaispaine-eroista. Luonnollisessa konvektiossa kosteutta sisältävä ilma liikkuu rakenteen sisällä ilman tiheyserojen tasaantumisen seurauksena. Pakotetussa konvektiossa ilma kulkee

paine-erojen vaikutuksesta. Kylmänä ajanjaksona pakotetun konvektion merkitys on suuri ja rakenteessa sijaitsevien rakojen ja reikien kautta kulkeutuvan ilmavirran sisältämä kosteus määrä on huomattava. (Siikanen 2017, 71–72.) Ulospäin suuntautuva ilmavirta jäähtyy ja kastelee rakennusta, jonka seurauksena kosteus voi tiivistyä rakenteeseen. Sisäänpäin suuntautuva ilmavirta kuivattaa rakennetta. (Björkholtz 1997, 58.)



Kuvio 11. Konvektio rakennuksessa (Ympäristöopas 2016, 116).

Veden kapillaarinen siirtyminen

Veden pintajännitysten aiheuttaman huokosalipaineen vaikutuksesta veden liikumista kutsutaan kapillaariseksi siirtymiseksi. Kapillaarisen vedenliikkeen aiheuttama kosteuden siirtyminen tapahtuu joka suuntaan ja kosteuden määrä voi olla suuri. Kosteus määrä riippuu materiaalin ominaisuuksista ja huokosten koosta. Kapillaarista vedenliikettä aiheutuu aineen ollessa kosketuksissa veteen tai toiseen kapillaarisen vedenliikkeen alueella sijaitsevaan aineeseen. (RIL 250-2020 2020, 108.)

Painovoimainen ja paineenalainen veden siirtyminen

Painovoiman seurauksena vesi liikkuu alaspäin sateen tai valumisen vaikutuksesta. Yleisimmin kosteusriskit aiheutuvat rakenteiden liittymissä ja raoissa, joissa vesi pääsee mahdollisesti liikkumaan rakenteisiin tai lammikoitumaan vääriin kohtiin. Painovoimaisen vedenliikkeen aiheuttavia kosteusriskejä pyritään estämään veden kulkusuunnan ohjaamisella, toimivalla tiivistyksellä sekä kuivatuksella. Iso osa rakennuksen kosteusteknisestä toimivuudesta perustuu veden painovoimaiseen liikkumiseen ja sen ehkäisyyn. Vesi voi kulkeutua materiaalin huokosiin myös vedenpaineen aiheuttamana. Veden

painetta esiintyy allas- ja patorakenteissa sekä pohjavedenpinnan alapuolella. (RIL 250-2020 2020, 109.) Vedenpaineen aiheuttamaa kosteuden siirtymistä estetään erillisellä vedenpaineeneristyksellä.

Kondensoituminen ja kastepiste

Ilman saavuttaessa kyllästyskosteuden, jolloin suhteellinen kosteus on 100 %, vesihöyry tiivistyy vedeksi. Vesihöyryn tiivistymistä vedeksi kutsutaan kondensoitumiseksi. Kastepisteellä puolestaan tarkoitetaan ilman lämpötilaa, jolloin vesihöyry kondensoituu vedeksi. Kondensoitumisessa vesihöyry tiivistyy vedeksi kylmälle ja kovalle pinnalle, jonka lämpötila on sitä ympäröivää ilmaa pienempi. Kondensoituminen voi tapahtua rakenteen pinnan lisäksi rakenteen sisällä. Yleensä kondensoitumista aiheutuu kylmäsilloissa ja kylmän pinnan ulottuessa lämpimään tilaan, esimerkiksi kylmän ikkunan pinnassa. Puutteet ja viat höyrynsulussa aiheuttavat myös kosteuden tiivistymistä rakenteessa. (Siikanen 2017, 72.)

2.3.3 Vesihöyrynläpäisevyys ja -vastus

Vesihöyrynläpäisevyys kertoo aineen kyvystä päästää vesihöyryä läpi. Vesihöyrynläpäisevyyttä kuvataan vesihöyrypitoisuuksien eroina laskettuna δ_v (m²/s) tai vesihöyryn osapaine-eron δ_p (kg/msPa) avulla laskettuna. Diffuusion määrittämisessä on varmistettava oikean vesihöyrynläpäisevyyden arvo laskettavan voiman suhteen. Vesihöyrynvastus z_v (s/m) tai z_p (m²sPa/kg) kertoo materiaalin kyvystä vastustaa vesihöyryn liikettä rakenteen läpi. Rakennekerroksen vesihöyrynvastus voidaan laskea kaavoilla

$$z_v = \frac{d}{\delta_v} \quad (16)$$

missä

d	ainekerroksen paksuus	m
δ_v	vesihöyrynläpäisevyys (vesihöyrypitoisuus)	m ² /s

tai

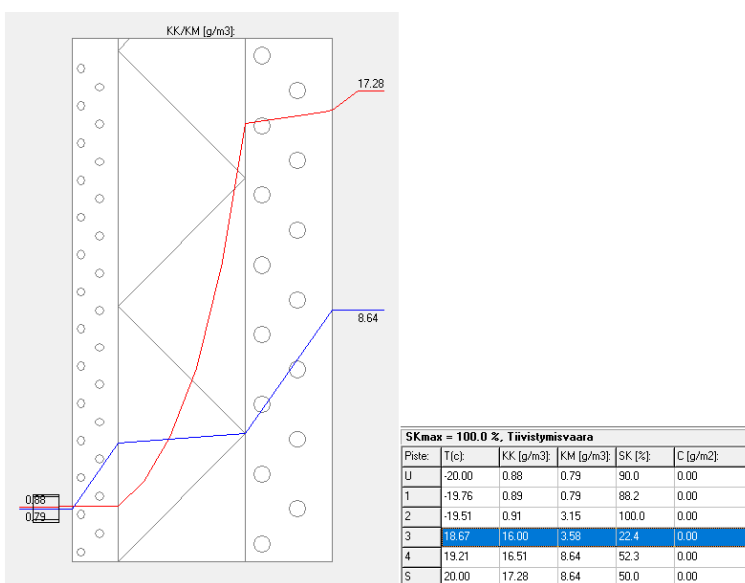
$$z_p = \frac{d}{\delta_p} \quad (17)$$

missä

d ainekerroksen paksuus m
 δ_p vesihöyrynläpäisevyys (vesihöyryn osapaine) kg/msPa

Laskettaessa rakenteen kosteuskäyttäytymistä ja mahdollista kosteuden tiivistymistä rakenteen osissa tarvitaan lähtötietoja rakenteen osien lämpötiloista, vesihöyrynvastuksista, lämpötilojen kyllästymiskosteuksista tai -paineista sekä ilman suhteellisista kosteuksista rakenteen eri puolilla. Laskennassa oletetaan, että vesihöyryn osapaine muuttuu samassa suhteessa kuin rakennekerrosten vesihöyrynvastusten arvot. (Siikanen 2017, 72–74.)

Kuvassa 12. on esitetty graafinen kosteuskäyttäytymiskäyrä. Kuvan tilanteessa on vastaavat rakenne, lämpö- ja kosteusolot, kuten kuvion 7. tapauksessa. Punainen käyrä näyttää kyllästyskosteuden arvon rakenteen osissa. Sininen käyrä kertoo todellisen kosteuskäytännön rakenteessa. Kohdat, jossa sininen kosteuskäyrä leikkaa ja ylittää punaisen kyllästyskäyrän, kertoo tilanteesta, jolloin suhteellinen kosteus on 100 % ja kosteus pyrkii tiivistymään rakenteeseen vallitsevissa oloissa. Kuvion 10. tapauksessa diffuusion aiheuttama kosteus tiivistyy ulkokuoren sisäpinnassa tai kylmäsilloissa, esimerkiksi eristeen läpi kulkevissa teräsiteissä. Sandwich-elementeissä mineraalivillaeristeen ulkopinnassa käytetään tuuletusuritusta rakenteen kuivumisen tehostamiseksi ja mahdollisen kosteusvaurion estämiseksi.



Kuvio 12. Betonisandwich-elementin kosteuskäyrä.

3 SUUNNITTELUUN VAIKUTTAVAT MÄÄRÄYKSET JA TEKIJÄT

Detaljien suunnittelussa on tärkeää, että ne täyttävät voimassa olevat viranomaismääräykset. Rakentamismääräyskokoelma sisältää määräyksiä ja ohjeita, joiden tarkoituksena on ohjata rakentamista sekä edellyttää vähimmäisvaatimusten täyttymistä rakentamisen osalta. Rakentamismääräyskokoelman sisältämät määräykset ovat velvoittavia, ohjeet sisältävät säännöksiin liittyviä soveltamisohjeita sekä menettelytapoja. (Ympäristöministeriö, [viitattu 10.2.2021].) Tässä luvussa käydään läpi detaljien suunnitteluun vaikuttavia määräyksiä sekä niiden toteuttamista energiatehokkuuden ja kosteusteknisen toiminnan kannalta.

3.1 Energiatehokkuus ja E-luku

Rakennusten energiankulutusta pyritään rajoittamaan vaatimalla energiatehokkaampia rakennuksia. Rakennuksen energiatehokkuus ja vähimmäisvaatimusten täytyminen osoitetaan laskelmilla. Rakennuksen tulee täyttää laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luku) tai rakenteellisen energiatehokkuuden vaatimukset. Rakennuksen kokonaisenergiankulutusta laskettaessa otetaan huomioon kaikki vuoden aikana rakennukseen ostettu energia eri energiamuotojen kertoimilla kerrottuna. (A 20.12.2017/1010.) Rakennuksen lämpöhäviöllä on suuri merkitys rakennuksen energiatehokkuuteen. Taulukossa 7. on taulukoitu E-luvun laskennassa käytettyjen energiamuotojen kertoimet.

Taulukko 7. Energiamuotojen kertoimet E-luvun laskennassa (A 30.11.2017/788).

Energiamuoto	Energiamuodon kerroin
Sähkö	1,2
Kaukolämpö	0,50
Kaukojäähdytys	0,28
Fossiiliset polttoaineet	1,0
Rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,50

E-luku lasketaan kaavalla

$$E = \frac{f_{\text{kaukolämpö}} Q_{\text{kaukolämpö}} + f_{\text{kaukojäähdytys}} Q_{\text{kaukojäähdytys}} + \sum_i f_{\text{polttoaine},i} Q_{\text{polttoaine},i} + f_{\text{sähkö}} W_s}{A_{\text{netto}}} \quad (4)$$

missä

E	energiatehokkuuden vertailuluku	kWh _E /(m ² a)
Q _{kaukolämpö}	kaukolämmönkulutus vuodessa	kWh/a

$Q_{\text{kaukojäähdytys}}$	kaukojäähdytyksen kulutus vuodessa	kWh/a
$Q_{\text{polttoaine,i}}$	polttoaineen i sisältämän energian kulutus vuodessa	kWh/a
$W_{\text{sähkö}}$	sähkön kulutus vuodessa, missä on otettu huomioon vähennykset rakennukseen kuuluvalla laitteistolla ympäristöstä vapaasti hyödynnettävästä energiasta otetusta energiasta siltä osin, kuin se on käytetty rakennuksessa siinä tapahtuvan vakioituun käyttöön perustuvan energiankulutuksen kattamiseen	kWh/a
$f_{\text{kaukolämpö}}$	kaukolämmön energiamuodon kerroin	
$f_{\text{kaukojäähdytys}}$	kaukojäähdytyksen energiamuodon kerroin	
$f_{\text{polttoaine,i}}$	polttoaineen i energiamuodon kerroin	
$f_{\text{sähkö}}$	sähkön energiamuodon kerroin	
A_{netto}	rakennuksen lämmitetty nettoala	m ²

Rakennuksen tyyppi ja käyttötarkoitukseluokka vaikuttaa E-luvun raja-arvoon. Mikäli rakennuksessa on eri käyttötarkoitukseluokkiin kuuluvia osia, käytetään jokaiselle eri käyttöluokkaan kuuluvalla osalla kunkin käyttötarkoitukseluokan mukaista raja-arvoa pois lukien osat, jotka ovat alle 10 % lämmitetystä nettoalasta. Asuinkerrostalo kuuluu käyttötarkoitukseluokkaan 2 eikä rakennuksen E-luku saa ylittää arvoa 90 kWh/m² vuodessa. (A 20.12.2017/1010.)

Rakennuksen vaipan, vaipan läpi vuotavan ilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu lämpöhäviö ei saa olla suurempi kuin vertailuarvoilla rakennukselle laskettu vertailulämpöhäviö. Rakenteellisella energiatehokkuudella voidaan osoittaa rakennuksen energiatehokkuus ilman E-luvun laskentaa. Rakenteellinen energiatehokkuus voidaan määrittää käyttöluokkiin 1 ja 2 kuuluville asuinrakennuksille. Energiaselvitys täytyy laatia uutta rakennusta suunniteltaessa. Energiaselvitys sisältää E-luvun tai rakenteellisen energiatehokkuuden laskelmat. Lisäksi energiaselvitykseen tarvitaan laskennallinen kesäaikainen huonelämpötilan osoittaminen sekä rakennuksen energiatodistus, mikäli sitä edellytetään. (A 20.12.2017/1010). Taulukossa 8. on esitetty rakenteellisen energiatehokkuuden vaatimukset ja vertailuarvot asuinrakennuksille. Määräysten toteutuminen osoitetaan tasauslaskelmilla.

Taulukko 8. Rakenteellisen energiatehokkuuden vaatimukset asuinrakennuksille (A 20.12.2017/1010).

Rakennusosat	Vertailuarvo
U-arvo, W/(m ² K)	
Ulkoseinä (käyttötarkoituseraluokka 1)	0,12
Ulkoseinä (käyttötarkoituseraluokka 2)	0,14
Yläpohja	0,07
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)	0,07
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva tuuletettu)	0,10
Alapohja (maanvastainen)	0,10
Muu maanvastainen rakennusosa	0,10
Ikkunat, ulko-ovet, tuuletuseruukut, kattoikkunat, kattovalokuvut, savunpoisto- ja uloskäyntiluuuku	0,70
Rakennuksen ilmanvuotoluku	
q ₅₀ , m ³ /(h m ²)	0,6
LTO:n vuosihyötysuhde	
η _a , %	65
Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkäteho	Enimmäisarvo
kW/(m ³ /s)	1,5
Rakennuksen lämmitysjärjestelmä	Vaatus
Rakennuksen lämmitysjärjestelmänä on käytettävä	Kaukolämpöä, maalämpöpumppua tai ilmavesilämpöpumppua

3.2 Kosteustekninen toimivuus

Kosteusteknisen toimivuuden vaatimukset. Rakennus on suunniteltava sellaiseksi, että se täyttää kosteustekniset vaatimukset käyttötarkoituksen mukaisesti. Rakennuksen ja sen osien täytyy kestää ulkoiset ja sisäiset kosteusrasitukset suunnitellun teknisen käyttöiän ajan. Kosteus tai sen muodostuminen rakenteisiin ja niiden pinnoille ei saa aiheuttaa vauriota rakennukselle eikä terveyshaittaa rakennuksessa oleskeleville.

Kosteuslähteistä kulkeutuva vesi tai sen eri muotoina esiintyvä kosteus ei saa haittaa aiheuttaen siirtyä rakenteisiin. Sadevesi tai lumi ei saa siirtyä rakennuksen vaippaan aukkojen tai muiden liittyvien rakennusosien tai laitteiden kautta. Rakennuksen vaipan ja siihen kuuluvien rakenteiden ja liitosten on muodostettava yhtenäinen kokonaisuus, jotta vesi ei pääse vaipan pinnan kautta rakenteisiin tuulen, viistosateen tai tuulenpaineen vaikutuksesta.

Kosteuden on pystyttävä poistumaan rakennuksesta haittaa aiheuttamatta ja kastuvien rakenteiden pintojen täytyy kestää veden aiheuttama kosteusrasitus. Lisäksi rakennuksen

vaipan ja sisäpuolisten rakenteiden on oltava riittävän ilmanpitäviä ja vesihöyrytiiviitä, jotta vesihöyryn haitallinen siirtyminen rakenteisiin estyy. (A 24.11.2017/782.)

3.3 Ilma- ja vesihöyrytiiveys

3.3.1 Tiiveyden merkitys

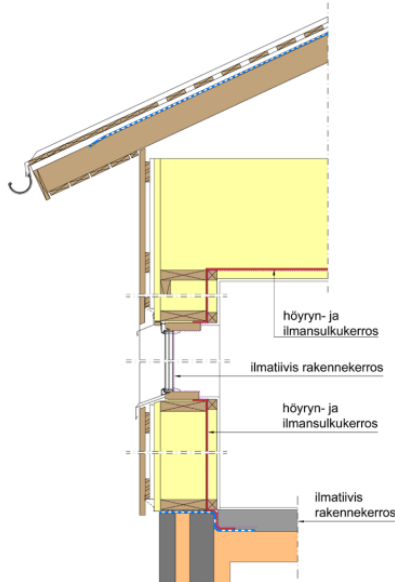
Rakennuksen vaipan tiiveydellä on tärkeä vaikutus sekä energiatehokkuuteen että rakennuksen terveellisyyteen. Toimivalla rakenteiden ilmanpitävyydellä vähennetään energiankulutusta, koska lämpö ei virtaa ylimääräisten vuotokohtien kautta ulos, eikä sisään pääsevä ilma jäähdytä ilmaa. Kosteusteknisen toimivuuden kannalta rakenteiden tiiveydellä on merkittävä vaikutus. Lämpimän sisäilman kosteus ja vesihöyry kulkeutuu konvektion vaikutuksesta vaipan vuotokohdista ulospäin ja mahdollisesti tiivistyen rakenteeseen aiheuttaen kosteusvauriota. Vastaavasti alipaine aiheuttaa vuotokohdista sisään virtaavaa kylmää ulkoilmaa, joka jäähdyttää rakenteita aiheuttaen kosteusriskin. Lisäksi tiivis rakenne parantaa asumisviihtyvyyttä ja vähentää ilman epäpuhtauksien kulkeutumista huoneilmaan sekä melu- ja hajuhaittoja. (Aho & Korpi 2009, 6–8.) Vaipan vesihöyrytiiveyden tarkoituksena on estää diffuusion aiheuttama vesihöyryn kulkeutuminen ulospäin vaipparakenteen läpi. Vesihöyrytiiveys toteutetaan riittävän vesihöyryvastuksen omaavalla kerroksella.

Rakennuksen ilmanpitävyys ilmoitetaan ilmanvuotoluvulla q_{50} ($m^3/h m^2$). Ilmanvuotoluku kertoo, kuinka paljon ilmaa 50 Pa:n paine-erolla virtaa rakennuksen vaipan vuotokohtien läpi vaipan sisäpintojen pinta-alaa kohden tunnissa. Ilmanvuotoluku q_{50} voi olla enintään 4,0 $m^3/h m^2$. (A 20.12.2017/1010.) Ilmanvuotoluku voidaan määrittää tiiveysmittauksella tai tyyppihyväksytyllä rakenteella.

3.3.2 Ilman- ja höyrynsulun suunnittelu ja toteutus

Vaipan höyryn- ja ilmansulku toteutetaan erillisellä, yhtenäisellä kerroksella. Sulkukerros tulee olla yhtenäinen koko vaipan osalta. Sama kerros toimii yleensä sekä höyrynsulku- että ilmansulkukerroksena. Massiivirakenteissa, joiden materiaalin tiiveys itsessään on riittävä, ei välttämättä tarvita erillistä höyrynsulku- ja ilmansulkukerrosta. Ilmansulkukerroksena käytetään kalvo, levy tai massiivirakenteita. (RIL 255-1-2014 2014, 46–47.) Tiivistämiseen käytetään saumanauhoja, tiivistysmassoja, polyuretaanivaahoja, teippejä tai erikoisliimoja. Käytettävän

tiivistystavan tulee olla yhteensopiva tiivistettävän rakenteen kanssa. Kuviossa 13. on toteuttamisperiaate tiiviille höyryn- ja ilmansulkukerrokselle liittymiseen.



Kuvio 13. Periaatekuva tiiviistä höyryn- ja ilmansulkukerroksesta (Ympäristöministeriön ohje rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 2020, 12).

Rankarakenteissa kalvomaiset sulkukerrokset tiivistetään kahden tiiviin pinnan väliin puristusliitoksella. Kalvojen saumat limitetään vähintään 150 mm toisiinsa nähden ja kiinnitetään jäykällä ruuviliitoksella. Limitykset ja liitoskohdat teipataan riittävän tartuntalujuuden ja muodonmuutoskyvyn omaavalla tiivistysteipillä. Lisäksi teippiä käytettäessä tulee varmistua riittävästä saumaleveydestä. (RIL 107-2012 2012, 42–45.)

Paikallavaletut ja betonielementeistä valmistetut rakenteet toimivat itsessään riittävän ilmanpitävänä kerroksena. Betonirakenteiden vesihöyrynvastus on yleensä riittävä, mutta sitä voidaan lisätä pinnoitteen tai kalvon avulla. Massiivirakenteilla sauma ja liitoskohtien tiivistäminen on tärkeässä osassa tiiviin lopputuloksen kannalta. Liitokset ja saumakohtat toteutetaan juotosvaluilla ja tarvittaessa joustavien elastisten saumojen avulla. Saumaan käytetään vaahtoa ja tiivistysmassoja. (RIL 107-2012 2012, 43–44.)

Vaipan ilmapitävyyden varmistamiseksi rakenteiden liitosten ja läpivientien tiiveys on tärkeässä osassa. Liitokset ja läpiviennit suunnitellaan ilmatiiviiksi huomioiden rakenteen ikääntyminen sekä mahdolliset muodonmuutokset. Tämän lisäksi suunnittelussa tulee ottaa huomioon lämpö- ja kosteustekniset, sisäilman laadun sekä palomääräysten aiheuttamat

vaikutukset. Piiloon jäävien liitosten ilmanpitävyys on varmistettava huolellisesti. Kalvomaisen sulkukerroksen läpiviennit suositellaan toteutettavan valmiilla läpivientilaipoilla. Kalvo liitetään läpivientiin puristusliitoksella tai teipillä. Hyvän suunnittelun lisäksi liitosten ja läpivientien huolellinen tiivistäminen työmaalla on tärkeässä osassa ilmapitävän rakenteen toteuttamisessa. (RIL-255-1-2014 2014, 46–47.) Rakenneosien välisten liikuntasaumojen ja muiden yksityiskohtien välillä rakenteiden liikkeet eivät saa aiheuttaa saumojen ilmanpitävyyden heikkenemistä. Liitokset toteutetaan muodonmuutokset kestäville materiaaleilla.

4 LIITOSTEN JA DETALJIEN SUUNNITTELU

Tässä luvussa käydään läpi suunnittelun lähtökohtia rakennusosien ja liitosten toimivuuden kannalta. Luvussa käydään läpi kosteudenhallinnan kannalta kriittisimpiä ja tarkkaa suunnittelua vaativia rakennusosia, niiden liitoksia sekä läpivientien liittymiä. Iso osa kosteusvaurioista aiheutuu toimimattomien rakenteiden liitosten ja yksityiskohtien puutteista. Vesivuotojen syynä voi olla suunnitelmien virheellisyys tai toteutuksessa tapahtuvat puutteet. Yleisimmin vesivuotokohtia aiheuttavat rakenneosien liittymät ja läpiviennit. Vesivuotojen minimoimiseksi rakenneosien, niiden liitoskohtien ja läpivientien tulisi muodostaa yhtenäinen vesitiivis kokonaisuus. Taulukossa 9. on lueteltu detaljien suunnittelussa huomioon otettavia keskeisimpiä tekijöitä kosteusteknisen suunnittelun kannalta.

Taulukko 9. Detaljien suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä

Tekijät	Muita huomioita
Liitosten toteutettavuus työmaalla	Mahdollinen huoltotarve ja huollettavuus
Vesitiiviissä liitoksissa, käytettävien materiaalien tulee liittyä toisiinsa vesitiiviisti	Mikäli ei voida täydellisesti liittää toisiinsa, suunnitellaan vuotojen ohjaus
Veden ohjautuminen oikeaan suuntaan	Huomiot detaljeissa, pellitykset, kaadot, vedeneristykset yms.
Veden kapillaarisen nousun estäminen	Kapillaarisen nousun estävä materiaali
Liitoksissa ei kylmäsiltoja	
Materiaalien yhteensopivuus	Kemiallisten reaktioiden huomioiminen
Materiaalien ominaisuudet	Käyttöikä, olosuhteet, kuivumisajat
Liimattavien materiaalien liitosten varmistus puristusliitoksilla	
Vedeneristeiden ja höyrynsulkujen läpivienneissä mieluiten teollisesti valmistettuja ja testattuja läpivientikappaleita	Tuotetiedot, sertifikaatit
Tuuletuksen toimivuuden varmistaminen	Huomiot detaljeissa, estetään tuuletusvälin tukkeutuminen

4.1 Perustukset ja perusmuurit

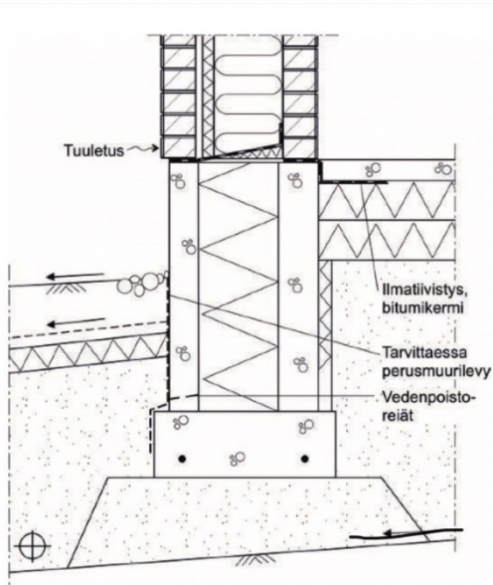
Perustusten ja perusmuurien suunnittelussa huomioidaan maaperästä rakenteille kulkeutuvat kosteusrasitukset. Lisäksi perusmuurin tulee kestää sade- ja roiskevesien aiheuttamia rasituksia. Rakenteet suunnitellaan pysymään kuiviksi ja riittävän kuivumiskyvyn omaaviksi, jotta kosteus ei aiheuta liiallista rasitusta rakenteille, eikä kosteus pääse anturoiden ja perusmuurien kautta johtumaan sisätiloihin ja ylempiin rakenteisiin.

Kapillaarinen vedennousu perusmuuriin rakennuspohjassa estetään riittävän paksulla kapillaarisen nousun katkaisevalla kerroksella sekä salaojituksella. Pinnan muodoilla ja rakennuksen sijainnilla ohjataan pinta- ja sadevedet pois päin perusmuurista. (RIL 107-2012 2012, 49–56.) Mahdolliset tulvakorkeudet tulee myös ottaa huomioon kosteusrasituksia tarkasteltaessa.

Perusmuureissa ei tarvita erillistä vedeneristystä, mikäli huolehditaan vedenpoistosta ja rakennuspohjan kuivatuksesta sekä maanpinnan ja maanvastaisen lattian yläpinnan riittävästä (0,3 m) korkeuserosta. Mikäli nämä eivät toteudu, tulee perusmuuri vedeneristää (RIL 107-2012 2012, 54.)

Maanvastaisissa ulkoseinärakenteissa (kellarin seinät) vedeneristeen tulee estää maan kosteuden ja hulevesien haitallinen kulkeutuminen rakenteisiin (A 24.11.2017/782). Salaojitusjärjestelmän omaavissa normaaleissa perustamisolosuhteissa käytetään epäjatkuvia vedeneristeitä (esim. patolevy) tai muuta rakenteellista vedenpoistoa. Vaativissa olosuhteissa käytetään jatkuvia vedeneristeitä, jotka estävät veden kulkeutumisen seinärakenteeseen. Vedeneristeenä käytetään bitumikermejä, massa-, vaahto- ja bentoniittieristeitä. Mahdolliset läpiviennit tulee toteuttaa ilma- ja vesitiiviisti yhtenäisenä seinärakenteen kanssa. (RIL 107-2012 2012, 54.) Vedenpaineen alaisten rakenteiden suunnittelussa kiinnitetään erityistä huomiota yhtenäiseen vedenpaineeneristykseen ja muiden rasitusten aiheuttamaan yhteisvaikutukseen.

Ulkoseinän ja perusmuurin väliseltä liitokselta vaaditaan höyry- ja ilmatiiviyttä. Kosteuden kapillaarinen nousu estetään perusmuurista seinärakenteeseen. Perusmuurielementtien saumat tiivistetään tarvittaessa elastisilla saumauksilla ilmatiiviyden varmistamiseksi. Ulkoseinää tai sen tuuletusväliä pitkin valuva vesi ohjataan pois rakenteesta, jotta se ei kulkeudu muurin sisälle tai sen päälle. Betonirakenteisen eristekerroksellisen perusmuurin sisään päässyt vesi ohjataan pois rakenteesta eristekohdan pohjaan tehdyillä vedenpoistorei'illä (Kuvio 14.)



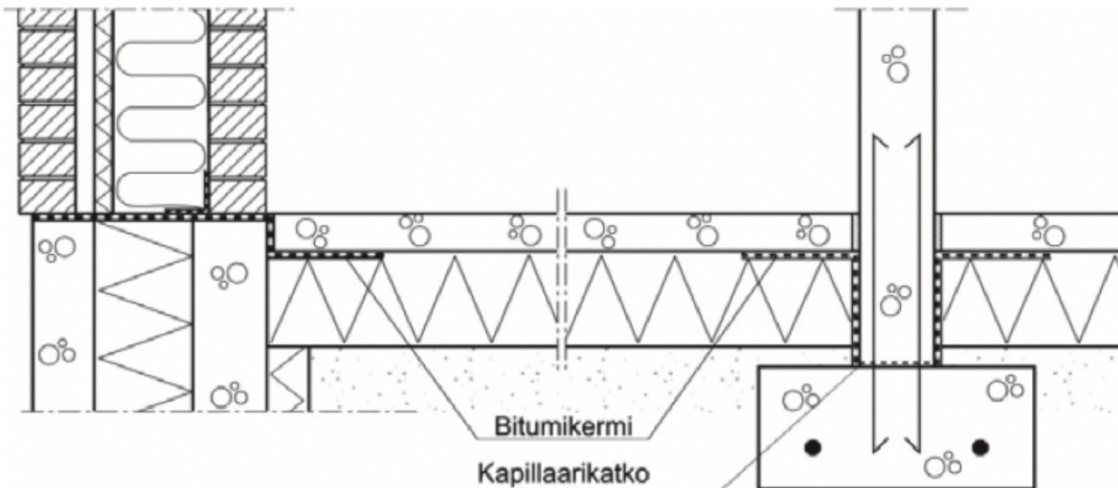
Kuvio 14. Betonirakenteinen perusmuuri (RIL 255-2014, 162).

4.2 Alapohjat

4.2.1 Maanvarainen alapohja

Maanvaraisen alapohjan tarkastelussa rakennuspohjan kuivatus on tärkeässä osassa kosteusteknisen toimivuuden kannalta. Kapillaarisen kosteus estetään riittävällä kapillaarisen nousun estävällä kerroksella sekä pintojen kallistuksella salaojiin päin. Lisäksi lattian yläpinnan tulisi olla vähintään 0,3 m rakennusta ympäröivän maanpinnan yläpuolella (A 24.11.2017/782). Alapohjan alle asennetut lämmöneristeet alentavat maapohjan lämpötilaa, ja vähentävät vesihöyryn aiheuttamaa diffuusiota rakenteen läpi.

Ilmatiiveyden kannalta maanvaraisen alapohjan liitoskohdat ja läpiviennit ovat kriittisiä kohtia vuotokohtien kautta kulkeutuvien epäpuhtauksien ja maaperän kosteuden vuoksi. Alapohjan ja perusmuurin liitos tiivistetään kumibitumikermikaistalla tai vastaavalla tiivistysratkaisulla. Kermi kiinnitetään perusmuuriin ja käännetään lattiaeristeen ja laatan väliin tiiviisti. (Kuvio 14.) Kaistat tulee limittää toisiinsa nähden riittävästi. Lattialaatan ja seinän sauma täytetään eristeellä ja elastisella massalla laatan kutistumisen tai maan painumisen aiheuttaman ilmaraon tiivistämiseksi. Läpiviennit tiivistetään rakenteeseen sopivalla vaahdotuksella ja elastisella kittauksella. Laatan keskiosilla läpiviennit voidaan tiivistää alapuolelta myös valamalla. (Aho & Korpi 2009,22.)



Kuvio 15. Esimerkki maanvaraisen laatan ilmatiiviytyksestä (RIL 255-2014 2014, 157).

4.2.2 Ryömintätalallinen alapohja

Tuulettuvalla alapohjalla tarkoitetaan tarkoituksella tehtyä tuulettuvaa ilmatilaa, joka rajoittuu perusmaahan, rakennuksen alapohjaan ja perusmuuriin. Ryömintätilan korkeus tulee olla keskimäärin vähintään 0,8 (m). (A 24.11.2017/782.) Ryömintätilan kosteustekninen toimivuus varmistetaan estämällä sade- ja sulamisvesien pääsy tilaan, estämällä kapillaarisen kosteuden nousu, tuuletuksen varmistamisella ja tarvittaessa ryömintätilan maapohjan lämmöneristämällä tai lämmittämällä (RIL 107-2012 2012, 56).

Betonirakenteisissa kerrostaloissa ryömintätalallinen alapohja toteutetaan yleensä ontelolaatoista, joten ontelolaattojen väliset saumat tulee tiivistää erillisellä ilmansulkukerroksella. Ilmansulku voidaan toteuttaa esimerkiksi bitumikermieristyksellä tai pintavalulla. Lämmöneristyksenä käytetään solumuovieristeitä, jotka sijoitetaan laatan alapintaan ja saumakohdat tiivistetään polyuretaanivaahdolla. Läpivientien tiivistys tapahtuu samalla tavalla kuin maanvaraisissa alapohjissa.

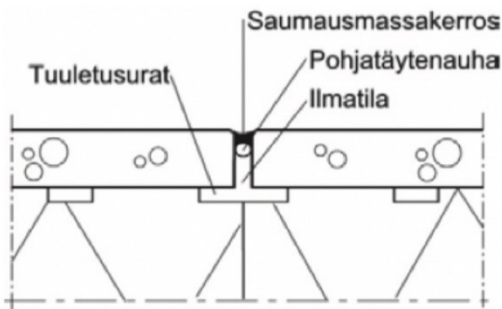
4.3 Ulkoseinät

Ulkoseiniin aiheutuu lukuisia sisä- ja ulkopuolisia kosteusrasituksia, joten detaljien suunnittelussa on paljon tarkasteltavia asioita. Ilmastonmuutos aiheuttaa tulevaisuudessa mahdollisesti rankempia myrskysateita, joten seinän ulkopinnalta vaaditaan lujaa sateenpitävyyttä. Pintaa pitkin valuva sadevesi ei saa päästä haittaa aiheuttaen rakenteiden

sisälle. Sateen ja tuulen vaikutuksesta vesi voi myös kulkeutua ylöspäin, mikä täytyy huomioida suunnittelussa. Muita kosteusrasituksia aiheuttavat sisä- ja ulkopuolinen kosteus, rakennuskosteus sekä roiske- ja vuotovedet. Betoniset ulkoseinärakenteet voidaan karkeasti jaotella sandwich-rakenteiksi ja erillisen ulkokuoren omaaviksi rakenteiksi. Seinärakenteen vedenpitävän kerroksen saumojen pitää estää sadeveden kulkeutuminen rakenteen sisälle. Betonirakenteiden saumat tiivistetään saumamassoilla tai käytetään avosaumaratkaisuja. Tuulen ilmavirtausten minimoimiseksi seinärakenteen täytyy toimia tuulensuojana lämmöneriste- ja ilmansulkukerrokselle. (RIL 255-2014 2014, 126–127.)

Todennäköisesti seinärakenteen sisään pääsee aina vettä, joten rakenteelta vaaditaan kuivumiskykyä ja vedenpoistoa. Vedenpoisto toteutetaan tuuletusvälillä, poistoputkilla, vaakasuuntaisilla rakenteilla, ikkuna- ja oviliitoksilla sekä perusmuurin ja ulkoseinän liitoksella. Seinärakenteissa käytetään tuuletusväliä rakenteen kuivumisen tehostamiseksi. Tuuletustarpeen valintaan vaikuttaa kosteusrasitusten voimakkuus, ulkoseinäpinnan imukyky, rakennuksen korkeus sekä saumojen tiiveys ja rakenteen tyyppi. Esimerkiksi betonisandwich-rakenteissa tuuletusuritus tarvitaan mineraalivillakerroksessa, mutta solumuovieristeiden kohdalla tuuletusta ei tarvita, mikäli rakenne pääsee kuivumaan ulkopinnasta. (RIL 107-2012 2012, 70–71.)

Seinän rakenteiden tulee olla riittävän ilmanpitäviä ja estää diffuusion ja suoran veden haitallinen kulkeutuminen seinärakenteeseen. Seinärakenteen muodostaman ilmatiiveyden toimivuuteen vaikuttaa lähes ainoastaan saumojen tiiveys. (Aho & Korpi 2009, 17.) Seinärakenteen ilmansulkukerroksena toimivan rakenteen saumakohdat, liitokset ja läpiviennit toteutetaan ilmatiiviiksi. (Kuvio 16.) Diffuusion haitallista kulkeutumista seinärakenteeseen rakennuksen sisältä voidaan vähentää sisäpinnan höyrytiivillä pinnoituksella. Tällöin otetaan huomioon rakenteen kuivumiskyky ja -tapa.

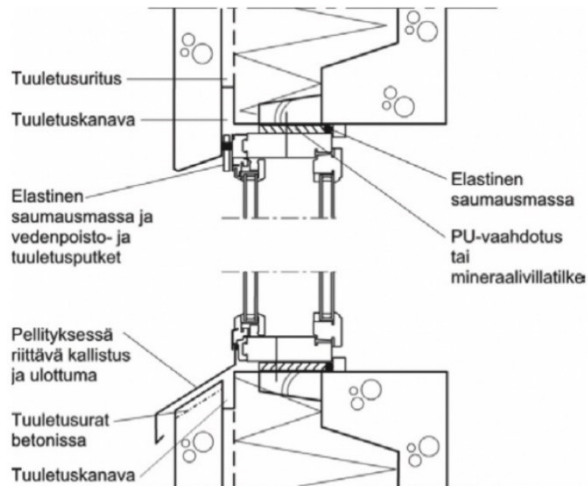


Kuvio 16. Elementtien välinen elastinen sauma ilmatiiviyn ja sateenpitävyyden varmistamiseksi (RIL 255-1 2014 2014, 127).

Ulkoseinän ja vaakasuuntaisten rakenteiden välisten liitoksissa estetään veden pääsy rakenteiden sisälle. Rakenteet täytyy liittyä toisiinsa vesitiiviisti. Vaakarakenteiden vedeneristys nostetaan riittävän korkealle veden ohjautumisen varmistamiseksi. Yleisimmin ylösnostot nostetaan vähintään 300 mm seinää vasten. Tarvittaessa käytetään pellityksiä tai vedeneriste sijoitetaan ulkoverhouksen taakse, millä varmistetaan yläpuolisen seinärakenteen taakse päässeän veden poistuminen. Parveke- ja katosrakenteissa veden kerääntyminen estetään lisäksi kallistuksilla ja vedenpoistourilla. (RIL 107-2012 2012, 85.)

4.4 Ikkuna- ja oviliitokset

Ikkuna- ja oviliitokselta vaaditaan sateen- ja ilmanpitävyyttä. Ikkunan pintaan kulkeutuva vesi ohjataan pois rakenteesta vesipellityksellä tai muulla vedenohjaimella. Vedenohjain liitetään tiiviisti ikkunan karmeihin. Vesipellitystä käytettäessä kaltevuuden pitää olla vähintään 1:3 ja pelti ulotetaan seinärakenteesta vähintään 30 mm (RIL 107-2012 2012, 84). Veden kulkeutuminen ikkuna- tai ovikarmin ja ulkoseinän väliseen rakoon estetään ulkopuolelta esimerkiksi listoituksella tai saumamassalla. Seinän tuuletusväliin kulkeutunut vuotovesi ohjataan liitoksesta ikkunan ja oven yläpuolelta pellityksellä, kermillä tai muulla toimivalla ratkaisulla. Liitoksessa huomioidaan seinärakenteen tuulettuminen ala- ja yläpuolelta ja varmistetaan, ettei tuulettuminen esty missään vaiheessa liitosta. Kuviossa 17. on esimerkki ulkoseinä-ikkunaliitoksesta.



Kuvio 17. Betoniseinän ikkunaliitos (RIL 255-2014 2014, 130).

Ilmatiiveyden kannalta ikkuna- ja oviliitosten tiiveys on merkittävässä osassa. Kerrostaloissa vaipan suurimmat vuotokohdat ovat ikkunat, ovet ja niiden liitokset (Aho & Korpi 2009,22). Ikkunan ja oven karmi liitetään ilmatiiviisti seinärakenteeseen. Karmin ja seinän välinen sauma tilkitään mineraalivillalla tai vaahdotuksella. Sauman kohdalla tiivein kerros on liitoksen sisäpinnassa, jolloin liitoksen välikohta pystyy kuivumaan ulospäin. Liitoksen välikohdan tiivistys sisäpuolelta voidaan tehdä polyuretaanivaahdolla, pohjanauhalla ja elastisella saumamassalla tai teippauksella. (RIL 107-2012 2012 84–85.)

4.5 Yläpohjat

Yläpohja koostuu monesta eri rakenneratkaisusta ja niiden muodostamasta yhtenäisestä kokonaisuudesta. Ympäristöministeriön asetuksen (A 24.11.2017/782) mukaan diffuusion tai konvektion haitallinen kosteuden kertyminen yläpohjaan on estettävä yläpohjarakenteiden toiminnalla ja katon tuuletuksen avulla. Vesikatolle aiheutuu ulkopuolista kosteusrasitusta sadevedestä ja lumen aiheuttamasta sulamisvedestä sekä tuulen- ja vedenpaineesta. Sisäpuolelta rakenteisiin aiheutuu sisäilman kosteutta sekä mahdollista rakennekosteutta ja vuotovesiä. Ilmanpaine-erojen aiheuttamat vaikutukset on otettava myös suunnittelussa huomioon. (RIL 255-2014 2014, 91.)

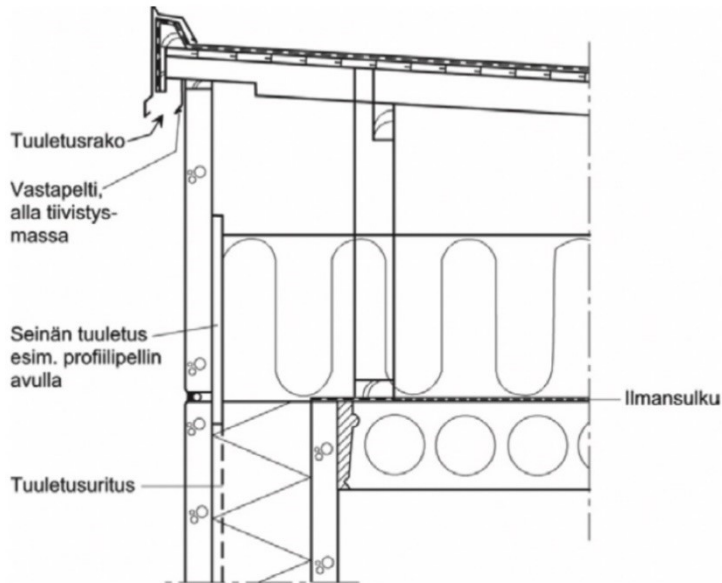
Yläpohjarakenteen ylimmällä osalla, vesikatteella ohjataan veden kulkeutumista. Katteen tarkoituksena on ohjata vesi esteettömästi pois estäen veden pääsyn rakenteisiin. Vedenpoisto toteutetaan sisä- tai ulkopuolisella vedenpoitajärjestelmällä. Sisäpuolisessa järjestelmässä kattokaivojen pitää olla vesitiiviitä ja liittyä tiiviisti vedeneristykseen. Viemärit ja kattokaivot

lämmöneristetään kondensoitumisen estämiseksi. (RIL 107-2012 2012, 103–104). Vesikatteilta vaaditaan erilaisia kaltevuuksia, jotta kate toimii vedenpitävänä. Katteen vaatimat kiinnitystavat, mahdolliset aluskatteet ja alustarkanteet riippuvat katteen ominaisuuksista. Aluskatteita käytetään vesikatteilla, jotka ovat epäjatkuvia, eivätkä ole vedenpitäviä. Aluskatteen pitää toimia vedenpitävänä. Vedeneristykset toteutetaan yleisimmin kermikatteilla. (RIL 255-2014 2014, 91).

Läpivientien ja liitosten tulee liittyä vesitiiviisti vedeneristykseen. Vedeneristyksen läpäisevissä putkissa käytetään kumisia kiristettyjä läpivientikauluksia tai valmiita vedeneristysmateriaaliin yhteensopivia läpivientiosia. Pystyrakenteille vedeneristys nostetaan vähintään 300 mm ylös tai mahdollisesti kinostuvien lumien yläpuolelle riittävän korkealle. Seinänostojen alle veden kulkeutuminen estetään lisäksi riittävällä pellityksillä. Pellitysten riittävällä kallistuksella (vähintään 1:6) ohjataan vesi oikeaan suuntaan. (RIL 107-2012 2012, 119). Pellitykset tulee olla tiiviitä, eivätkä ne saa tukeutua katteeseen. Pellitysten kiinnitystapa ja -materiaalit suunnitellaan pellityksen ja seinärakenteiden kanssa yhteensopiviksi. Katteen liittymissä ja jatkoskohdissa huomioidaan riittävät limityspituudet.

Yläpohjiin suunnitellaan ulkoilmaan rajoittuva tuuletustila, jonka kautta sisäilman kosteus pääsee poistumaan rakenteesta tuulen tai painovoiman vaikutuksesta. Toimivalla tuuletuksella pystytään myös poistamaan hieman vuotojen ja rakennuskosteuden aiheuttamaa kosteutta. Tuuletusväli sijoitetaan katteen ja lämmöneristyksen väliin. Ulkoseinän tuuletusväli pyritään liittämään yläpohjan tuuletusväliin tuuletuksen tehostamiseksi. Ilma ohjataan tuuletusväliin räystäiden, harjan tai koneellisen voiman kautta. Tuuletusväli ei saa tukkeutua eikä tuulen kulku saa estyä. Umpirakenteisissa ja vähän tuulettuvissa yläpohjissa ei ole erillistä tuuletusväliä, vaan se voidaan toteuttaa erillisellä tuuletuskanavistolla. (RIL 255-2014 2014 92–94.)

Ilma- ja höyrynsulun toimivuus on tärkeässä osassa yläpohjan kosteusteknisen toimivuuden kannalta. Lämpötilaerojen aiheuttamana lämmin ilma nousee ylös yläpohjaa kohti ja samanaikaisesti yläpohjaan aiheutuu ylipainetta. Tämän seurauksena yläpohjan tiivistämiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Betonirakenteisissa yläpohjissa paikallavalettu betoni toimii riittävänä ilmasulkuna. Ontelolaattoja käytettäessä ilmatiiveys toteutetaan laatan yläpuolisella ilmansulkukaistalla tai pintavalulla. (Kuvio 18.) Pintavalun yhteydessä liitokset tulee tiivistää ilmatiiviiksi. Tiivistysratkaisut valitaan yläpohjan kosteudensietokyvyn, tuulettavuuden ja aiheutuvan ylipaineen perusteella. (RIL 255-2014 2014 99.)



Kuvio 18. Betoniseinän ja yläpohjan välinen liitos (RIL 255-2014 2014, 130).

4.6 Välipohjat

Välipohjien merkittävimmät kosteusrasitukset aiheutuvat sekä rakennusaikaisesta että sisäilman kosteudesta. Lisäksi välipohjia rasittaa rakennuksen käytöstä aiheutuvat suoran käyttöveden kosteusrasitukset sekä mahdolliset vuotovedet ja kondensoituvat rakenteet. (RIL 255-2014 2014, 117.) Ilmatiiveyden kannalta ulkoseinän ja välipohjan liitoksessa ulkoseinäelementtien vaakasauman tiiveys on merkittäväntä ilmatiiveyden kannalta. Vaakasauman juotosvalun tiiveys voidaan varmistaa lisäksi vaahdotuksella, pintavalulla tai tasoitteella. Välipohjan tiivistämisen suunnittelussa on tärkeä ottaa huomioon rakenteen muodonmuutoksista ja liikkeistä aiheutuvat sauman halkeilut.

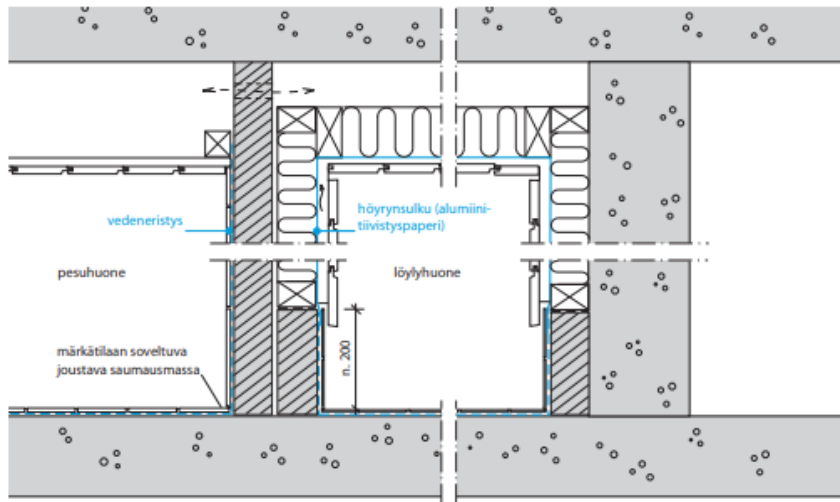
4.7 Märkätilat

Märkätiloilla tarkoitetaan tilaa, jonka lattiapinta joutuu alttiiksi vedelle ja jonka seinäpinnoille voi roiskua tai tiivistyä vettä (A 24.11.2017/782). Märkätilojen kosteustekninen toimivuus toteutetaan teknisiltä ominaisuuksiltaan oikeilla ja yhteensopivilla vedeneristystuotteilla. Rakenteet toteutetaan jäykiksi sekä lattian kallistukset suunnitellaan riittäviksi. Toimivilla detaljeilla ja läpivientien varmistamisella varmistetaan märkätilan kosteustekninen toimivuus. Lisäksi märkätilojen riittävään ilmanvaihtoon tulee kiinnittää erityistä huomiota kuivumisen tehostamiseksi. (RIL 250-2020 2020, 147.)

Märkätilojen vaatimukset. Vesi ei saa valua tai siirtyä kapillaarivirtauksen aiheuttamana märkätiloista ympäröiviin rakenteisiin ja huonetiloihin. Rakenteet, jotka altistuvat valuveden, toistuvan roiskeveden tai pintoihin tiivistyvälle vedelle on oltava vedeneristetty. WC-tiloissa rakenteiden ei tarvitse olla vedeneristettyjä. Märkätilan seinä- ja lattiapintojen alla on oltava erillinen vedeneristys, elleivät pinnat toimi itsessään vedeneristeenä. Märkätilan vedeneristykseen on muodostettava eristettäviltä pinnoilta, saumoista, läpivienneistä ja liittymistä yhtenäinen kokonaisuus, joka estää veden siirtymisen rakenteisiin. Lattian vedeneristeen on liityttävä tiiviisti ja vedenpitävästi seinän vedeneristykseen. Rakenteiden pitää olla kestäviä, jotta muodonmuutokset eivät aiheuta vahinkoa vedeneristykseen. (A 24.11.2017/782.)

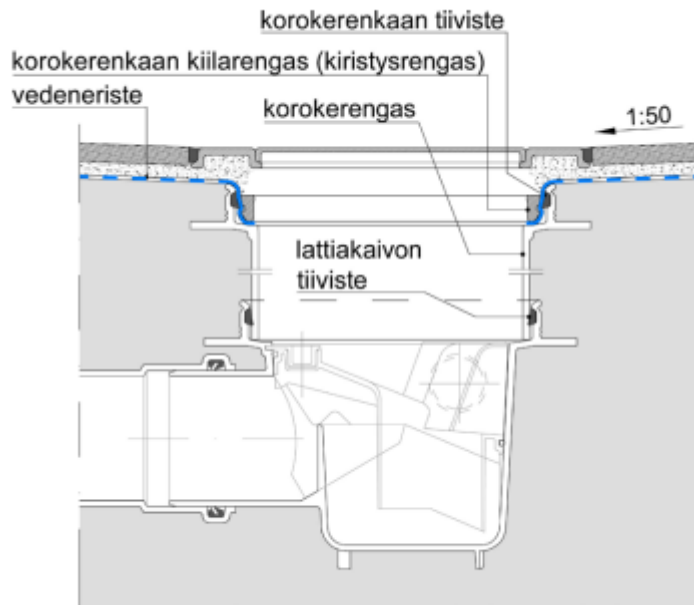
Vedeneristys toteutetaan pintapäälysteillä tai pinnoitteen taakse tehdyllä vedeneristeellä. Märkätilojen materiaalien yhteensopivuuden ja märkätilan toimivuuden varmistamiseksi suositellaan käytettäväksi sertifioituja märkätilajärjestelmiä, joiden yhteensopivuus on varmistettu (RIL 107-2012 2012, 181). Vedeneristykselle asetetaan vaatimuksia kestävyys- sekä kosteuden ja muodonmuutosten aiheuttamien rasitusten kannalta. Eristyskerroksen tiiveyteen vaikuttaa kerroksen paksuuden lisäksi vedeneristeen ominaisuudet sekä vedeneristystyön oikeaoppinen toteuttaminen. Muovimattopäälysteet toimivat itsessään vedeneristeenä, niiden kohdalla saumojen tiiviys ja alustan riittävä kuivuus ovat tärkeässä osassa toimivan lopputuloksen kannalta. Lattian vedeneristys voidaan toteuttaa myös pintavalun alapuolisella bitumikermieristyksellä, jolloin laatta pysyy kosteana, joka täytyy huomioida suunnittelussa. (RIL 255-1-2014 2014, 175.)

Märkätilojen seinät voidaan toteuttaa kivi- tai levyrakenteisina. Levyrakenteet pyritään toteuttamaan yhdellä levyllä kuivumiskyvyn parantamiseksi, ellei palo- tai äänitekniset vaatimukset vaadi muuta ratkaisua. Tällöin tulee varmistaa levyjen limitys ja saumojen vesitiiveys. Vedeneristys sijoitetaan lähelle sisäpintaa ja rakenne suunnitellaan kuivumaan kuivan tilan suuntaan. Kahden vesihöyrytiivin pinnan välisessä rakenteessa kuivuminen varmistetaan alakattoon tuulettuvalla ilmavälillä. Saunassa seinissä ei tarvita erillistä vedeneristettä, seinä- ja kattorakenteiden höyrynsulku toteutetaan verhouksen ja tuuletusvälin taakse kiinnitettävällä alumiiniitiivistyspaperilla, jonka saumat liitetään tiiviiksi. (RIL 107-2012 2012, 167–170.) Kuviossa 19 on esimerkkiratkaisu kivirakenteisen märkätilan ja saunan rakenteista.



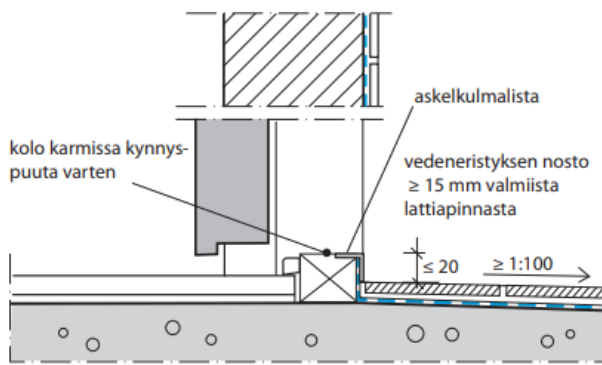
Kuvio 19. Esimerkki kivirakenteisesta löylyhuoneesta (RT 84-11166 2014, 8).

Lattiarakenteissa lattian on kaltevuuden osalta mahdollistettava veden valuminen lattiakaivoon (A 24.11.2017/782). Kaltevuus toteutetaan laatan valun yhteydessä tai erillisellä pintavalulla. Märkätiloissa lattian kaltevuuden tulee vähintään olla suihkun kohdalla 0,5 m:n säteellä lattiakaivosta 1:50 ja muilla alueilla 1:100, jotta vesi pääsee esteettömästi valumaan kaivoon. Esimerkiksi Wc:n kohdalla kaadoista voidaan poiketa, mutta tällöin tulee varmistaa, että vesi valuu kaivoihin eikä lammikoidu. Kaivot sijoitetaan suurimman vesirasituksen alueelle. Lattiakaivon sijainti olisi hyvä olla kaikilta reunoilta vähintään 500 mm:n päässä valmiista seinäpinnoista, poikkeuksena seinän viereen asennettavat lattiakaivot. Lattiakaivot ja vedeneristysten liitokset toteutetaan vesitiiviiksi, lisäksi niiden yhteensopivuus on oltava tyyppikokein varmistettu. (Kuvio 20.) Lattiakaivo asennetaan valmistajan ohjeiden mukaisesti. (RIL 107-2012 2012, 168–180.)



Kuvio 20. Lattiakaivon liitos betonirakenteisessa välipohjassa (Ympäristöministeriön ohje rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 2020, 51).

Seinän ja lattian liitoskohdissa lattian vedeneristyksen reunan olisi suositeltavaa nostaa seinälle vähintään 100 mm:n korkeuteen lattiapinnasta. Liittymien kohdilla nurkissa ja saumoissa voidaan käyttää vahvikekankaita vedeneristeen halkeamien estämiseksi. Saumakohdissa seinän vedeneristeen tulee limittyä vähintään 30 mm lattian seinälle nostetun vedeneristeen päälle. Limityksellä estetään seinää pitkin valuvan veden pääsy lattian vedeneristyksen alle. Käytettäessä keraamisia laattoja pintamateriaalina, nurkissa ja liittymissä käytetään elastisia saumauksia laattojen jännitysten tasaamiseksi ja halkeilun vähentämiseksi. Märkätilan oven kynnyks toteutetaan estäen veden pääsy tilan ulkopuolelle. Kynnyksen kohdalla vedeneriste tulisi nostaa vähintään 15 mm märkätilan lattiapinnan yläpuolelle. (Kuvio 21.)



Kuvio 21. Esimerkki märkätilan kynnysratkaisusta (RT 84-11166 2014, 9).

Kattorakenteet voidaan toteuttaa märkätiloissa kantaviin rakenteisiin suoralla pinnoitteella tai erillisellä laslasketulla kattorakenteella. Kylpyhuoneissa laslasketun katon höyrinsulku toteutetaan alakaton yläpuolisella betonisella väli- tai yläpohjalla. Saunatiloissa alakattotilan ollessa kahden höyrinsulkukerroksen välissä, tuuletustilasta järjestetään ilmavirrankulku kylpyhuoneen alakattotilaan tai vaihtoehtoisesti kuivaan huonetilaan. (Kuvio 19.) Rakennuksen ulkonurkissa ja kylmissä yläpohjarakenteissa sijaitsevien märkätilan alakattotilan rakenteiden tulee olla kosteudenkestäviä ja niiden alakattotilan tuuletuksesta on huolehdittava. (RIL 107-2012 2012, 169–170.)

Märkätilan lattiaan saa tehdä läpivientejä ainoastaan viemärointiä varten. Seinissä läpivientejä vältetään kriittisissä kohdissa. Vesijohtojen- ja putkien lattia- sekä seinäasennuksia vältetään ja vesijohdot pyritään tekemään pinta-asennuksina yläpuolelta. Läpivientien kohdalla vedeneriste nostetaan vähintään 15 mm lattiapinnan yläpuolelle. Vaihtoehtoisesti läpivienti voidaan tiivistää myös yhteensopivalla läpivientikappaleella. Kaikki ruuvien aiheuttamat reiät ja vedeneristeen lävistykset tiivistetään huolellisesti vedeneristysjärjestelmään soveltuvalla tiivistysmassalla. (RIL 107-2012 2012, 172–173.)

5 DETALJIKIRJASTON LUOMINEN

Detaljikirjaston luominen aloitettiin valitsemalla rakenteet ja liitokset, joista detaljit luotiin. Detaljien valinnassa tarkasteltiin valmiita ja jo toteutettuja detaljeja, joista saatiin käsitys tuotettavista detaljeista. Kirjastoon valittiin yleisimmin betonirakenteisissa kerrostaloissa esiintyviä sekä ongelmakohtaisia detaljeja. Detaljit määritettiin liikesalaisuudeksi, joten niitä ei ole tässä opinnäytetyössä esitelty. Kirjasto kattaa laajasti betonirakenteiseen asuinkerrostalon rakennusosiin liittyvät detaljit. Erityistä huomiota kiinnitettiin suunnittelussa liitosten kosteustekniseen toimintaan ja sen pohjalta vedeneristyksen ja tiivistyksen suunnitteluun. Myös detaljin toteutettavuus työmaaolosuhteissa oli tärkeässä osassa. Uusien detaljien suunnittelu aloitettiin tarkastelemalla suunnitteluun vaikuttavia voimassa olevia määräyksiä sekä vaatimuksia.

Detaljit toteutettiin Kuivaketju10-tasoisiksi kuviksi ja ennen suunnittelun aloittamista tarkasteltiin Kuivaketju10 liittyvät kosteusriskikohdat suunnittelun kannalta. Kuivaketju10 on toimintamalli, jolla pyritään vähentämään kosteusvaurioiden riskiä rakennuksen eri vaiheissa (Kuivaketju10, [viitattu 29.3.2021]). Ympäristöministeriön asetukset loivat perustan ja vaatimukset detaljien suunnittelulle. Tarkentavia ohjeita ja detaljien toteutustapoja hyödynnettiin suunnittelussa esimerkiksi Rakennusinsinöörien liitto ry:n RIL-ohjeista sekä RT-korteista. Lisäksi tuotevalmistajien ohjeista saatiin lisätietoja ja tarkennettavia asioita.

Detaljit piirrettiin AutoCAD-ohjelmalla. Piirretyt detaljit toteutettiin mahdollisimman selkeiksi ja helposti muokattaviksi, jotta detaljien käytöstä olisi mahdollisimman paljon hyötyä. Detaljit toteutettiin ulkoasultaan Kuivaketju10-tasoisiksi käyttäen 1:5 mittakaavaa. Detaljit sisältävät esitettävän liitoksen toteuttamisperiaatteen kuvana sekä mahdolliset lisäohjeet teksteinä tai erillisenä tekstiosana. Lopuksi detaljit koottiin yhtenäiseksi kirjastoksi selkeän ulkoasun saavuttamiseksi. Kaikki detaljit jaoteltiin eri rakenneosakohtiin kuuluviksi, jotta detaljien etsiminen kirjastosta olisi vaivatonta.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda Ramboll Finland Oy:lle detaljikirjasto betonirakenteisen asuinkerrostalon rakennesuunnittelua varten. Detaljikirjasto kattaa asuinkerrostalon liitoskohtien, läpivientien ja rakennusosakohtien välisiä detaljeja. Detaljikirjaston detaljien suunnittelun aikana opinnäytetyön tekijä sai laajan käsityksen detaljeihin vaikuttavista tekijöistä sekä huomioon otettavista asioista rakennesuunnittelun kannalta.

Työn haasteena oli aiheen rajaus. Detaljien suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä on paljon, joten opinnäytetyön aihetta oli rajattava. Teoriaosuuden rakennusfysiikka rajattiin kattamaan lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa. Detaljien suunnittelussa tulee lisäksi huomioida ainakin rakenteiden ääneneristyskykyä sekä paloturvallisuutta. Teoriaosuus onnistui tämän työn tekijältä hyvin ja siitä saatiin tiivis paketti detaljien kosteusteknistä suunnittelua varten. Detaljien osalta haasteena oli luoda riittävän kattava kirjasto, mutta samalla helposti hallittava ja selkeä kokonaisuus.

Opinnäytetyön tuloksena valmistui määräykset täyttävä kattava detaljikirjasto. Tämän työn tekijän mielestä tavoite saavutettiin ja samalla työn tekijä sai itse kattavan kokonaiskuvan detaljisuunnittelusta. Detaljikirjastoa tullaan käyttämään apuna jokapäiväisessä suunnittelussa. Kirjasto antaa hyvän lähtökohdan suunnittelulle ja helpottaa samalla suunnittelijoiden työtä. Tulevaisuudessa kirjastoa voidaan päivittää määräysten muuttuessa sekä tarpeen vaatiessa kirjastoon voidaan lisätä uusia detaljeja.

LÄHTEET

- A 24.11.2017/782. Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta.
- A 30.11.2017/788. Valtioneuvoston asetus rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertoimine lukuarvoista.
- A 20.12.2017/1010. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta.
- Aho, H. & Korpi, M. (toim.) 2009. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. [Verkkójulkaisu]. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennetekniikka. [Viitattu 23.2.2021]. Saatavana: https://tutcris.tut.fi/portal/files/2035152/ilmanpitavien_rakenteiden_ja_liitosten_toteutus_asuinrakennuksissa.pdf
- Björkholtz, D. 1997. Lämpö ja kosteus. Rakennusfysiikka. 2. uud. p. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Kuivaketju10. Ei päiväystä. Kuivaketju10. [Verkkosivu]. [Viitattu 29.3.2021]. Saatavana: <http://kuivaketju10.fi/>
- Pitkäranta, M. (toim.) 2016. Ympäristöopas 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. [Verkkójulkaisu]. Helsinki: Ympäristöministeriö. [Viitattu 15.2.2021]. Saatavana: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75517/YO_2016_Kuntotutkimusopas.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ramboll Finland Oy. Ei päiväystä. Yritys. [Verkkosivu]. [Viitattu 24.2.2021]. Saatavana: <https://fi.ramboll.com/>
- Rafnet. 2004. Kosteus. [Verkkójulkaisu]. [Viitattu 4.2.2021]. Saatavana: http://www.tekniikka.oamk.fi/~kimmoi/talrakjatko/kosteus_27092004.pdf
- RIL 107-2012. 2012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. 2. korj. p. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- RIL 250-2020. 2020. Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- RIL 255-1-2014. 2014. Rakennusfysiikka 1: Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- RT 05-10710. 1999. Kosteus rakennuksissa. Helsinki: Rakennustieto.

RT 84-11166. 2014. Märkätilojen rakenteet. Helsinki: Rakennustieto.

Siikanen, U. 2017. Rakennusfysiikka: Perusteet ja sovelluksia. [Verkkokirja]. Helsinki: Rakennustieto Oy. [Viitattu 16.1.2021]. Saatavana Ellibs-e-kirjakokoelmasta. Vaatii käyttöoikeuden.

Sisäilmayhdistys ry. 2008. Ilmanpainesuhteet rakennuksissa. [Verkkosivu]. [Viitattu 18.1.2021]. Saatavana: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Ilmavirtaukset-rakennuksessa>

Ympäristöministeriö. 2017. Tasauslaskentaopas 2018. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 6.2.2021]. Saatavana: <https://www.ym.fi/download/noname/%7BB1EC8754-0BC6-413B-B158-886FA7770FCF%7D/136449>

Ympäristöministeriö. 2020. Ympäristöministeriön ohje rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 18.02.2021]. Saatavana: https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ohje_Rakennusten-kosteustekninen-toimivuus-2020-F3A686EA_E374_4983_A396_CC15D6830B7B-156354.pdf/323bffe4-19f4-9b97-6c59-d314db622cb4/Ohje_Rakennusten-kosteustekninen-toimivuus-2020-F3A686EA_E374_4983_A396_CC15D6830B7B-156354.pdf?t=1603260109033

Ympäristöministeriö. 16.3.2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma C4 lämmöneristys. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 14.1.2021]. Saatavana: <https://www.ym.fi/download/noname/%7BE3549160-2ED6-4807-8556-230BDC60275B%7D/30749>

Ympäristöministeriö. Ei päiväystä. Rakentamismääräyskokoelma. [Verkkosivu]. [Viitattu 10.2.2021]. Saatavana: <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

LIITTEET

Liite 1. U-arvo, laskentaesimerkki

Liite 2. Kosteusjakauma, laskentaesimerkki

Liite 1. U-arvo laskentaesimerkki, yläpohja

Rakenne sisältä ulospäin:

Kerros	Rakennekerros	Paksuus d [mm]	Lämmönjohtavuus λ_u [W/mK]	Lämmönvastus R [m ² K/W] (kaava 3)
	Sisäpuolen pintavastus (R_{si})			0,10 (taulukko 1)
1	Kipsilevy	13	0,25	0,052
2.1	Tuulettumaton ilmarako ja harvalaudoitus 22x 100 mm k300	22	ilmarako	0,16 (kuva 3)
2.2			puu 0,12	0,183
3	Höyrynsulkumuovi	0,2	ei huomioida	
4.1	Mineraalivillalevy ja ristikon alapaarre 42x98 mm k900	98	eriste 0,037	2,702
4.2			puu 0,12	0,833
5	Puhallusvilla	350	0,041	8,536
6	Tuuletustila		ilmatila	
7	Peltikate + ruoteet ja aluskate + tuuletusrima + koolaus			0,2 (kuva 4)
	Ulkopuolen pintavastus (R_{se})			0,04 (taulukko 1)

Kerrokset 2 ja 4 ovat epähomogeenisiä ainekerroksia, joten lasketaan kokonaislämmönvastus R_T ala- ja ylälikiarvojen avulla.

Ylälikiarvon R'_T määrittäminen. Määritetään ensin suhteelliset pinta-alaosuudet f eri osa-alueiden yhdistetyille osille.

Kerros 2.1 (ilmarako) ja kerros 4.1 (villa)

$$f_a = \frac{900-300}{900} \cdot \frac{900-42}{900} = 0,6356$$

Kerros 2.2 (koolaus) ja kerros 4.1 (villa)

$$f_b = \frac{900-600}{900} \cdot \frac{900-42}{900} = 0,3178$$

Kerros 2.1 (ilmarako) ja kerros 4.2 (alapaarre)

$$f_c = \frac{900-300}{900} \cdot \frac{42}{900} = 0,0311$$

Kerros 2.2 (koolaus) ja kerros 4.2 (alapaarre)

$$f_d = \frac{300}{900} \cdot \frac{42}{900} = 0,0156$$

Lasketaan eri osa-alueiden kokonaislämmönvastukset (kaava 4 sovellettuna)

$$R_{Ta} = R_{si} + R_1 + R_{2.1} + R_3 + R_{4.1} + R_5 + R_{6/7} + R_{se}$$

$$= 0,10 + 0,052 + 0,16 + 0,2 + 2,702 + 8,536 + 0,2 + 0,04 = 11,79 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$R_{Tb} = R_{si} + R_1 + R_{2.2} + R_3 + R_{4.1} + R_5 + R_{6/7} + R_{se}$$

$$= 0,10 + 0,052 + 0,183 + 0 + 2,702 + 8,536 + 0,2 + 0,04 = 11,813 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$R_{Tc} = R_{si} + R_1 + R_{2.1} + R_3 + R_{4.2} + R_5 + R_{6/7} + R_{se}$$

$$= 0,10 + 0,052 + 0,16 + 0 + 0,833 + 8,536 + 0,2 + 0,04 = 9,921 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$R_{Td} = R_{si} + R_1 + R_{2.2} + R_3 + R_{4.2} + R_5 + R_{6/7} + R_{se}$$

$$= 0,10 + 0,052 + 0,183 + 0 + 0,833 + 8,536 + 0,2 + 0,04 = 9,944 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Kokonaislämmönvastuksen yläkiiarvo R'_T (kaava 6)

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{0,6356}{11,79} + \frac{0,3178}{11,813} + \frac{0,0311}{9,921} + \frac{0,0156}{9,944} = 0,0855 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$R'_T = 11,694 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Alalikiarvon R''_T määrittäminen. Tarkastellaan epähomogeenisiä kerroksia erillisinä osina.

Kerros 2: $f_{ilmaraako} = \frac{900}{900} \cdot \frac{900-600}{900} = 0,3333$

$$f_{laudoitus} = \frac{600}{900} \cdot \frac{600}{900} = 0,6667$$

Kerros 4: $f_{villa} = \frac{900-42}{900} \cdot \frac{900}{900} = 0,9533$

$$f_{alapaarre} = \frac{42}{900} \cdot \frac{900}{900} = 0,0466$$

Lasketaan lämmönvastukset epähomogeenisille kerroksille.

Lämmönvastus R_2 (kerros 2)

$$\frac{1}{R_2} = \frac{f_{2.1}}{R_{2.1}} + \frac{f_{2.2}}{R_{2.2}} = \frac{0,3333}{0,16} + \frac{0,6667}{0,183} = 5,7263 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$R_2 = 0,1746 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Lämmönvastus R_4 (kerros 4)

$$\frac{1}{R_4} = \frac{f_{4.1}}{R_{4.1}} + \frac{f_{4.2}}{R_{4.2}} = \frac{0,9533}{2,702} + \frac{0,0466}{0,833} = 0,4088 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$R_4 = 2,4465 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Kokonaislämmönvastuksen alalikiiarvo R''_T (kaava 8)

$$R''_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_{6/7} + R_{se}$$

$$= 0,10 + 0,052 + 0,1746 + 0 + 2,4465 + 8,536 + 0,2 + 0,04 = 11,5491 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Ehto menetelmän käytölle

$$\frac{R'_T}{R''_T} \leq 1,5$$

Ehto toteutuu

$$\frac{11,694}{11,5491} = 1,012$$

Kokonaislämmönvastus R_T (kaava 5)

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} = \frac{11,694 + 11,5491}{2} = 11,6216 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Korjaamaton lämmönläpäisykerroin (kaava 2)

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{11,6216} = 0,086 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Katon u-arvo alittaa sille asetetun raja-arvon 0,09 W/m² K.

Liite 2. Betonisandwich-seinärakenteen kosteusjakauma, laskentaesimerkki

Rakenne sisältä ulospäin:

Betoni 150 mm	$\lambda_u = 1,2 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$	$\delta = 5 \cdot 10^{-12} \text{ kg/msPa}$
EPS 220 mm	$\lambda_u = 0,036 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$	$\delta = 6 \cdot 10^{-12} \text{ kg/msPa}$
Betoni 80 mm	$\lambda_u = 1,2 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$	$\delta = 5 \cdot 10^{-12} \text{ kg/msPa}$

Olosuhteet: Sisäilman lämpötila 20 °C, suhteellinen kosteus RH 50 %

Ulkoilman lämpötila -10 °C, suhteellinen kosteus RH 90 %

Määritetään rakenteen lämpötilajakauma ja seinäpintojen lämpötilat.

Kokonaislämmönvastus $R_T = 0,13 + (0,08 + 0,15/1,2) + (0,22/0,036) + 0,04 = 6,472 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$

Lämpötilan muutos: $\Delta t = \frac{R}{R_T} \cdot (t_{\text{sisällä}} - t_{\text{ulkona}})$

Rakennekerros	Paksuus d [m]	Lämmönjohtavuus λ_u [W/m °C]	Lämmönvastus R [m ² °C/W]	R/R _T	Lämpötilan muutos Δt [°C]	Lämpötila t [°C]
						20
Sisäpinnan pintavastus			0,13 (R _{si})	0,020	0,6	19,4
Betoni	0,15	1,2	0,125	0,019	0,57	18,8
EPS	0,22	0,036	6,111	0,944	28,32	-9,5
Betoni	0,08	1,2	0,066	0,010	0,3	-9,8
Ulkopinnan pintavastus			0,04 (R _{se})	0,006	0,18	-10

Määritetään kyllästys- ja absoluuttiset kosteudet eri lämpötiloissa.

Kyllästyskosteuden määrittäminen (kaava 12)

$$v_k = \left[4,85 + 3,47 \left(\frac{t}{10} \right) + 0,945 \left(\frac{t}{10} \right)^2 + 0,158 \left(\frac{t}{10} \right)^3 + 0,0281 \left(\frac{t}{10} \right)^4 \right]$$

Vesihöyrynvastus z_p (kaava 17)

$$z_p = \frac{d}{\delta_p}$$

Absoluuttinen kosteus sisällä ja ulkona

$$v_{\text{sisällä}} = 0,5 \cdot v_k(20^\circ\text{C}) = 0,5 \cdot 17,28 = 8,64 \text{ g/m}^3$$

$$v_{\text{ulkona}} = 0,9 \cdot v_k(-10^\circ\text{C}) = 0,9 \cdot 2,20 = 1,98 \text{ g/m}^3$$

Absoluuttisen kosteuden muutos Δv kaava

$$\Delta v = \frac{z_p}{z_{pt}} \cdot (v_{\text{sisällä}} - v_{\text{ulkona}})$$

Absoluuttinen kosteus v

$$v = v - \Delta v$$

Suhteellinen kosteus RH

$$RH = \frac{v}{v_k} \cdot 100$$

Rakenne kerros	t [°C]	Kyllästys-kosteus v_k [g/m ³]	Vesihöyryn-läpäisevyys δ [kg/msPa]	Vesihöyryn-vastus z_p [m ² sPa/kg]	Z_p/Z_{pt}	abs.kosteuden muutos ΔV [g/m ³]	abs.kosteus v [g/m ³]	Suhteellinen kosteus RH [%]
	20	17,28					8,64	50
Sisäpinnan pintavastus	19,4	16,69					8,64	52
Betoni	18,8	16,11	$5 \cdot 10^{-12}$	$30 \cdot 10^9$	0,3632	2,419	6,22	39
EPS	-9,5	2,29	$6 \cdot 10^{-12}$	$36,6 \cdot 10^9$	0,4431	2,951	3,27	100
Betoni	-9,8	2,23	$5 \cdot 10^{-12}$	$16 \cdot 10^9$	0,1937	1,29	1,98	89
Ulkopinnan pintavastus	-10	2,20					1,98	90

Rakenne saavuttaa suhteellisen kyllästyskosteuden eristeen kohdalla, jolloin kosteus tiivistyy vedeksi ulkokuoren sisäpinnassa.