

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Harri Vartiainen

PERUSMUURIN ULKOPUOLISEN PYSTYERISTEEN VAIKUTUS  
ROUTAERISTYKSEEN

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2019



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Toukokuu 2019**  
**Rakennustekniikan koulutusohjelma**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600

**Tekijä**  
Harri Vartiainen

**Nimeke**  
Perusmuurin ulkopuolisen pystyeristeen vaikutus routaeristykseen

**Toimeksiantaja**  
Perustava Oy

**Tiivistelmä**

Tässä opinnäytetyössä toimeksiantajana oli Perustava Oy. Perustava Oy on Suomen suurin paikalla valettavien betoniperustusten urakointiin erikoistunut rakennusalan yritys.

Opinnäytetyön aiheena oli tutkia, miten perusmuurin ulkopuolinen pystyeriste vaikuttaa routaeristykseen. Tarkasteltavina rakenteina mitoituksessa olivat tilaajan käyttämät perusmuurin rakenneratkaisut normaalilla sekä passiivirakenteisilla alapohjilla. Mitoituksessa tutkittiin rakenteita Etelä- ja Keski-Suomen ilmasto-olosuhteissa. Työssä käydään läpi roudan syntymistä, routimista ilmiönä ja routasuojauksen mitoitusperusteita. Lisäksi toimeksiannossa oli tehdä routasuojauslaskuri kylmille rakenteille sekä lämpimälle rakennukselle, jossa on maanvarainen alapohja.

Perusmuurin ulkopuolisen pystyeristeen vaikutuksen tarkastelu tehtiin Comsol Multiphysics 5.3a -laskentaohjelmalla. Laskennassa rakenteita tarkasteltiin vain lämpömallia käyttämällä. Lämpömallin avulla saatiin selville pystyeristeen vaikutus routasuojaukseen.

Routasuojauslaskurin avulla saadaan suunnittelutyötä tarkennettua ja nopeutettua routasuojauksen laskennassa.

**Kieli**  
suomi

Sivuja 41  
Liitteet 2  
Liitesivumäärä 4

**Asiasanat**

routa, routasuojaus, rakennesuunnittelu



**THESIS**  
**May 2019**  
**Degree Programme in Civil Engineering**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
+ 358 13 260 600

Author  
Harri Vartiainen

Title  
The Effect of External Vertical Insulation on Frost Insulation

Commissioned by  
Perustava Oy

**Abstract**

This thesis was commissioned by Perustava Oy. Perustava Oy is Finland's largest construction company specializing in the construction of cast in situ concrete foundations.

The subject of the thesis was to study how the vertical insulation outside the base wall affects frost insulation. In the design under consideration, the design of the basic wall used by the subscriber was based on the normal and passive floor planks. The design examined the structures in the climatic conditions of Southern and Central Finland. The thesis discusses the emergence of frost, the frostbite phenomenon and the design criteria for frost protection. In addition, the mission was to make a frost protection counter for cold structures and a warm construction with a ground-based bottom guide.

An analysis of the effect of the non-core vertical insulation was made with the Comsol Multiphysics 5.3a calculation software. In the calculation, the structures were only examined using a thermal model. The thermal model revealed the effect of vertical insulation on frost protection. The routing calculator provides a more precise and accelerated calculation of frost protection at work.

Language

Finnish

Pages 41

Appendices 2

Pages of Appendices 4

Keywords

frost, frost protection, structural design

## Sisältö

1	Johdanto .....	1
2	Suunnittelun lähtökohdat .....	1
2.1	Lämmöneristysvaatimukset .....	1
2.2	Maan routaantuminen .....	2
2.2.1	Roudan syvyyteen vaikuttavat tekijät .....	2
2.2.2	Routivuuden arviointi .....	3
2.2.3	Routiminen .....	5
2.3	Pakkasmäärä .....	6
3	Mitoitus .....	7
3.1	Mitoituksen lähtökohdat .....	7
3.2	Routasuojauksen periaatteet .....	8
3.3	Perustussyvyyden vaikutus routasuojaukseen .....	9
3.4	Routasuojausmenetelmät .....	9
3.4.1	Routaeristys .....	10
3.4.2	Routimaton massanvaihto .....	11
3.5	Mitoituksen kulku .....	11
3.5.1	Maanvastaisen alapohjan lämmöneristys .....	12
3.5.2	Perusmuurin lämmöneristys .....	12
3.5.3	Routaeristeen leveys .....	13
3.5.4	Rakennuksen ulkonurkat .....	14
3.5.5	Routaeristeen paksuus .....	15
4	Mallintaminen .....	16
4.1	Rajaukset .....	17
4.2	Ilman lämpötilat .....	17
4.3	Mallinnettavat rakenteet .....	18
4.3.1	Perusmuuri .....	18
4.3.2	Routaeriste .....	19
4.3.3	Alapohja .....	20
4.4	Mallintaminen Comsolilla .....	22
4.5	Laskentatulokset .....	26
4.6	Vertailu .....	26
5	Johtopäätökset .....	32
6	Lopuksi .....	33
	Lähteet .....	34

## Liitteet

Liite 1	PDF-tuloste routasuojauslaskurista
Liite 2	Pakkasmäärät paikkakunnittain

## Käsitteet

Lämmönläpäisykerroin	Lämmönläpäisykerroimella $U$ tarkoitetaan lämpövirran tiheyttä, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien tilojen välillä on yksikön suuruinen. Yksikkönä käytetään $W/(m^2K)$ .
Lämmin tila	Lämmin tila on tila, jonka mitoittavaksi huonelämmöksi lämmityskaudella oleskelu- tai muista syistä valitaan $17\text{ }^\circ\text{C}$ tai sitä korkeampi lämpötila.
Lämmittämätön tila	Lämmittämätön tila on tila, jota ei ole tarkoitettu lämmityskaudella jatkuvaan oleskeluun ja jota ei ole tarkoituksellisesti lämmitetty. Lämmittämättömän tilan lämpötila seuraa lämmityskaudella yleensä ulkoilman lämpötilaa. Lämmöneristysvaatimukset eivät koske lämmittämättömiä tilaa eikä niitä oteta huomioon rakennuksen vaipan lämpöhäviöitä laskettaessa. Lämmittämättömiä tiloja ovat esimerkiksi lasitetut parvekkeet, ulkonevat kuistit, lämmittämättömät autotallit sekä rakennuksen yhteydessä olevat lämmittämättömät viherhuoneet.
Matalaperustus	Matalaperustus on perustus, joka rakennetaan roudattoman perustussyvyyden yläpuolelle, jolloin roudan tunkeutuminen perustuksen alle estetään routasuojauksella esimerkiksi routaeristeitä käyttäen.
Pakkasmäärä	Pakkasmäärä lasketaan ilman vuorokautisista keskilämpötiloista. Pakkasmäärän suuruus on jäätymispisteen ja pakkaskauden aikaisten vuorokausilämpötilojen erotuksen summa ( $Kh$ tai $h^\circ\text{C}$ ).

Puolilämmin tila	Puolilämmin tila on tila, joka ei ole tarkoitettu jatkuvaan oleskeluun pelkästään normaalia sisävaatetusta käyttäen. Tilan lämpötilana pidetään lämmityskaudella keskimäärin vähintään +5 °C, mutta alle +17 °C tai tilan lämpötila olisi näissä rajoissa ilman tuotantoprosessin luovuttamaa lämpöä. Lämmitysvaatimusten suhteen puolilämpimiä tiloja voivat olla esimerkiksi talvella satunnaisesti lämmitettävät loma-asunnot.
Routa	Routa on maan huokosissa olevan veden jääymisen seurauksena kovettunut (jäätynyt) maakerros.
Roudan syvyys	Roudan syvyys on routarajan etäisyys maanpinnasta.
Roudaton perustussyvyys	Roudaton perustussyvyys (routimaton perustussyvyys) on se perustussyvyys, johon perustukset on ulotettava silloin, kun ei käytetä routasuojauksia. Roudattomaan perustussyvyteen luetaan mukaan perustuksen alla mahdollisesti oleva routimattomasta materiaalista rakennettu täytekerros, jos voidaan varmistautua siitä, että tämä kerros pysyy varmasti routimattomana. Roudaton perustussyvyys on yleensä sama kuin sallittu roudan tunkeutumissyvyys perustuksen vieressä.
Routaantuminen	Routaantuminen on maassa olevan veden jääymistä eli maan jääymistä, eli roudan muodostumista.
Routapaine	Routapaine on puristusjännitys, joka pyrkii siirtämään tai nostamaan rakennetta routanousun suuntaan routivan maan jäätyessä ja routiessa.
Routaraja	Routaraja on syvyys, johon asti maan huokosvesi on jäätynyt.

Routasuojaus	Routasuojaus on rakenne, jolla rajoitetaan tai estetään roudan tunkeutumista routivaan alusrakenteeseen tai pohjamaahan. Routasuojaus voidaan tehdä kivennäis- maakerroksena tai routaeristettynä rakenteena.
Routimaton maapohja	Routimaton maapohja on maapohja, joka koostuu routimattomista maakerroksista roudattomaan perustussyvyyteen saakka.
Routiminen	Routimisella tarkoitetaan ilmiötä, jossa maakerroksen jäätyessä routivaan maahan muodostuu jäälinssejä. Tällöin sen tilavuus kasvaa. Routivan maakerroksen tilavuuden kasvu ilmenee maanpinnan siirtymänä (routanousuna) tai siirtymän esteenä oleviin rakenteisiin kohdistuvana routimispaineena. Routinut maa kokoonpuristuu sulaessaan.
Routiva maapohja	Routiva maapohja on maapohja, jossa roudattoman perustussyvyyden yläpuolella on routivia maakerroksia.

# 1 Johdanto

Toimeksiantaja opinnäytetyössäni on työnantajani Perustava Oy. Perustava Oy on paikallavaluperustuksiin erikoistunut rakennusalan yritys, joka tekee perustuksia noin 2500 kohteen vuositahdilla. Yrityksessä tehdään perustusten rakennesuunnittelua. Perustussuunnitelmiin sisältyy myös rakennusten routasuojauksen suunnittelu, johon opinnäytetyöni aihe liittyy. Kun asuinrakentaminen siirtyy kohti matalaenergia- ja passiivirakentamista, alapohjan kautta tuleva lämpöenergia perustamistasoon vähenee, jolloin routasuojauksen tarve korostuu erityisesti tulevaisuudessa. Toisaalta ilmaston lämpenemisen myötä talven pakkasmäärät pienenevät, minkä seurauksena routasuojauksen tarve vähenee.

Opinnäytetyöni aiheena on tutkia, miten perusmuurin ulkopuolinen pystyeriste vaikuttaa routasuojauksen kanssa routarajan tunkeutumiseen maaperässä talvella sekä lämpimän sisäilmasta tulevan lämpövirran alapohjasta perustamistasoon ja nollapisteen muodostumiseen perustussyvytydessä. Työni teoriaosuudessa käsittelen routaantumista ja routimista ilmiönä sekä routasuojauksen periaatteita. Toiminnallisessa osuudessa käsittelen lämpimän rakennuksen routasuojausta laatimalla routasuojauslaskurin, josta saatuja tuloksia tarkastelen Comsol-laskentaohjelman laskelmiin.

## 2 Suunnittelun lähtökohdat

### 2.1 Lämmöneristysvaatimukset

Lämpimien ja puolilämpimien rakennusten eri rakenneosille on asetettu lämmönläpäisykertoimet ympäristöministeriön asetuksessa 1010/2017 24§. Rakennusosista ryömintätilaan rajoittuva alapohja ja maata vastaan oleva rakennusosa vaikuttavat suoraan routasuojauksen määrittelyyn. Voimassa olevien määräysten



mukaan maata vastaan olevan alapohjan lämmönläpäisykerroin saa olla enintään  $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$  ja ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan  $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Ympäristöministeriön asetus 1010/2017 24 §).

## **2.2 Maan routaantuminen**

### **2.2.1 Roudan syvyyteen vaikuttavat tekijät**

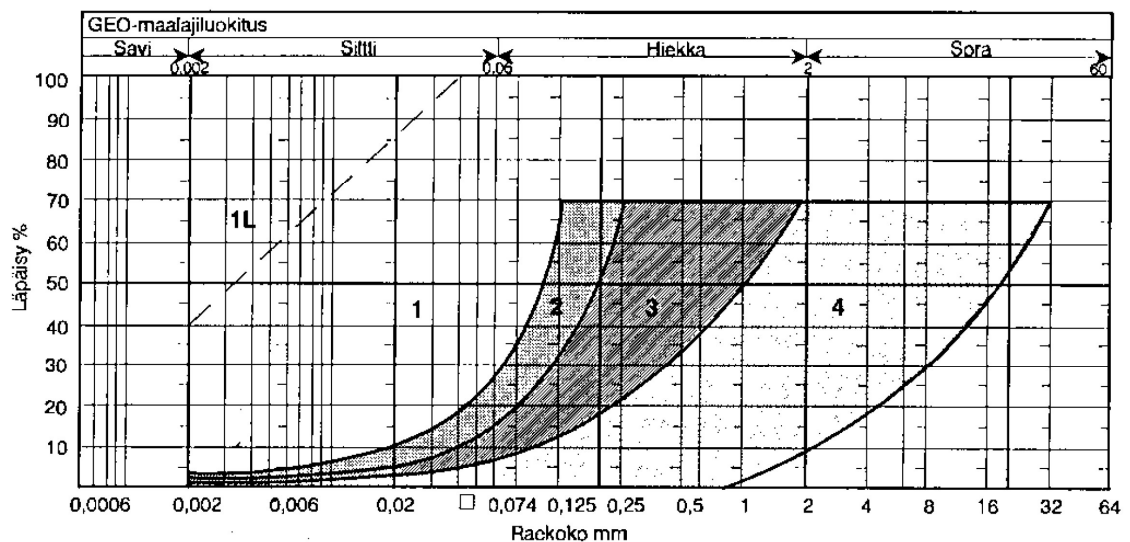
Maan jäätyminen eli routaantuminen alkaa, kun lämpötila laskee maan huokosissa alle  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , jolloin maassa oleva huokosvesi alkaa jäätyään. Puhdas vesi jäätyy ilmakehän paineessa  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ :ssa, mutta huokosveden jäätymiseen vaaditaan tätä alhaisempaa lämpötilaa. Huokosveden jäätyislämpötilaan vaikuttavia seikkoja ovat muun muassa huokosveden suolapitoisuus ja huokosveden ja maapartikkelien väliset pintavoimat. Routaantumisen seurauksena maan tekniset ominaisuudet muuttuvat ja erityisesti maan lujuus kasvaa (RIL 261-2013, 27).

Roudan tunkeutumissyvyyteen vaikuttavat tekijät ovat maalaji, ilmasto, maan pintakasvillisuus, pohjaveden korkeusasema sekä rakennus tai rakenne ja sen perustus. Määrävinä tekijöinä roudan syvyyteen ovat maalajin vesipitoisuus ja lämmönjohtavuus jäätyneessä tilassa. Maan huokosveden jäätyminen seurauksena roudan syvyyden kasvu hidastuu routarajalla. Tästä syntyvä jäätyislämpö korvaa maan läpäisevän lämpöhäviövirtauksen (RIL 261-2013, 32).

Roudan eteneminen kuivissa ja karkearakeisissa maalajeissa on paljon nopeampaa ja etenee syvemmälle kuin hienorakeisessa ja märässä maaperässä. Lumen ja maan pintakasvillisuuden vaikutus roudan syvyyteen on huomattava. Nämä pienentävät routasyvyyttä noin 25 - 50 % verrattuna lumettomaan vastaavanlaiseen alueeseen (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1979, 119-120). Talonsuunnittelussa kuitenkin oletetaan, että maa perusmuurin läheisyydessä on lumetonta, jolloin lumen vaikutusta routasuojaukseen ei huomioida (Rantamäki & Tammirinne 1979, 175).

### 2.3 Routivuuden arviointi

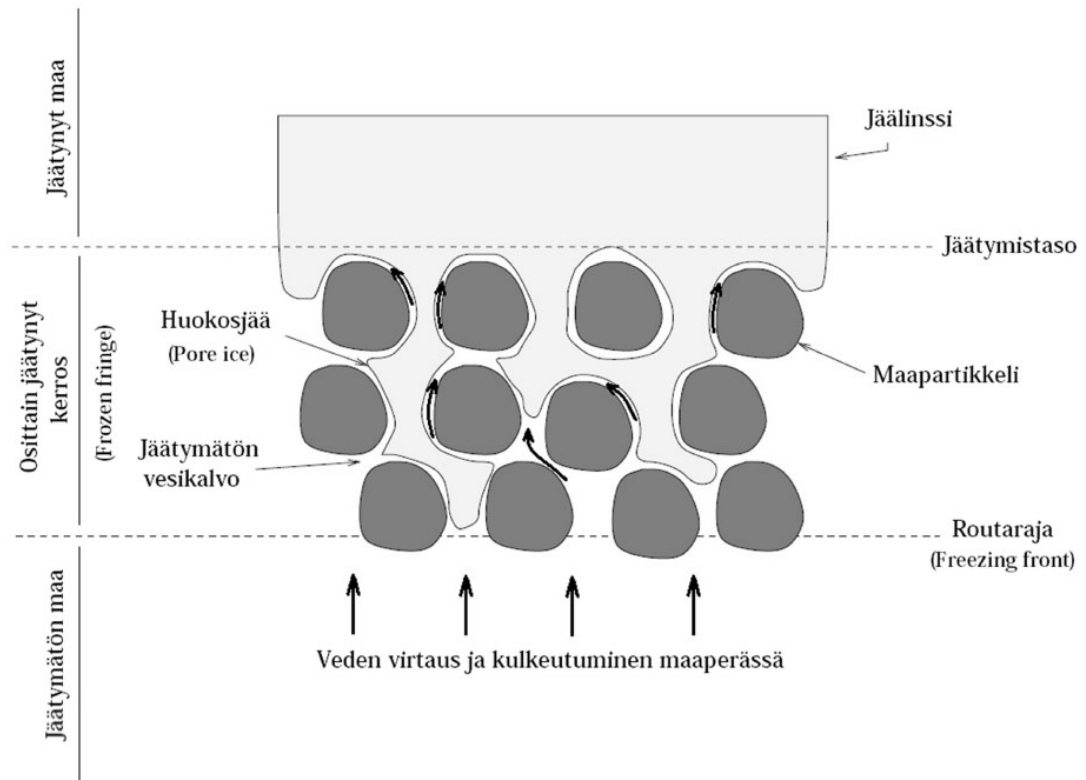
Maakerrosten routivuus riippuu mineraalikoostumuksesta, maalajin huokosjakautumasta, huokosveden laadusta ja veden liikkeestä maassa sekä maan jännitystilasta. Yleensä maaperän routivuutta arvioidaan maakerrosten rakeisuuden (kuva 1) ja kapillaarisen veden nousukorkeuden perusteella. Kuvassa maalajit on jaettu kolmeen routivuusryhmään. Alueella 1 olevat maalajit ovat routivia, alueella 2, 3 ja 4 olevat maalajit ovat routimattomia sillä reunaehdolla, että rakeisuuskäyrät sijoittuvat kokonaisuudessaan näiden rajakäyräien sisäpuolelle. Alueella 1L sijaitsevat maalajit ovat lievästi routivia. Raja-alueella olevien maa-ainesten routivuus voidaan arvioida kapillaarisen nousukorkeuden määrittämisellä laboratoriokokein (RIL 261-2013, 41). Maa-ainesten, joiden kapillaarinen nousukorkeus (taulukko 1) on yli yhden metrin, katsotaan olevan routivia. Jotta kapillaarisuusvaatimus täyttyy, on maa-aineksiin sisällyttävä paljon hienoainesta (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1979, 117).



Kuva 1. Rakeisuuskäyrä (Nurmikolu 2004, 94).

Taulukko 1. Maalajien routivuusryhmät (perustuu lähteeseen SFS-EN ISO 14688-1-8, RIL 261-2013, 42).

Routivuusryhmä	Maalaji (ISO)	Maalaji (GEO)	Huom.
Yleensä routiva	Cl Si clSi saSi SiS CISiS saSiS siSaS	Sa Si saSi hkSi SiMr saSiMr hkSiMr siHkMr	Siltti muodostaa edulliset olosuhteet veden virtaukselle jäätymisrintamaan  Kapillaarisuus > 2 m
Routiva, jos jäätymisrintamaan voi kulkeutua riittävästi vettä	S SaS GrS siSaS	Mr HkMr SrMr siHkMr	Kapillaarisuus 1 - 2 m
Yleensä routimaton	SaS GrS saGrS grSaS grSa SaGr Sa Gr	HkMr SrMr hkSrMr srHkMr srHk hkSr Hk Sr	Kapillaarisuus < 1 m



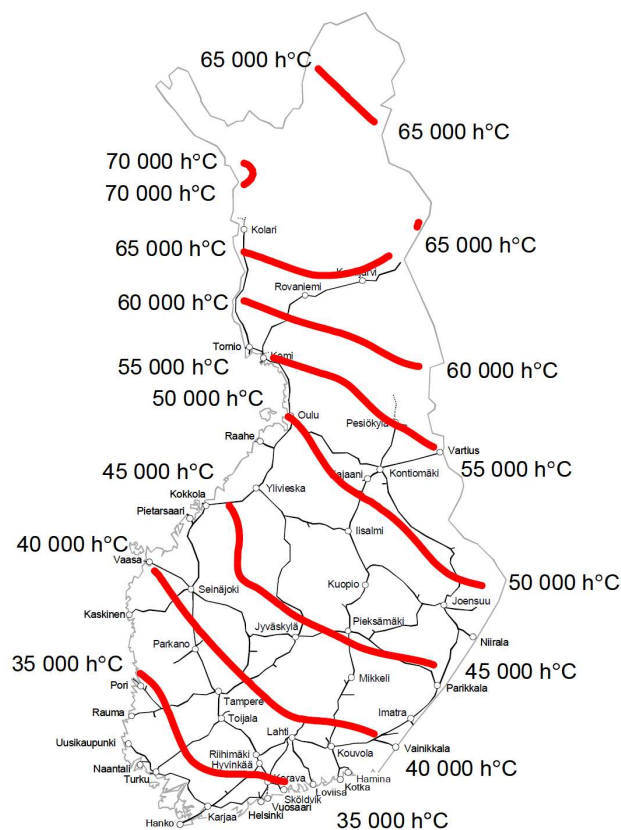
Kuva 2. Osittain jäätyneet maakerros (Isohaka 2013, 24).

### 2.3.1 Routiminen

Routimista tapahtuu vain routivissa maalajeissa. Routimisella tarkoitetaan maan routaantumisen aiheuttamaa routanousua. Routimista tapahtuu, jos sulasta maasta pääsee virtaamaan vettä jäätymisvyöhykkeeseen muodostaen jäälinssejä maan routaantumisen yhteydessä (kuva 2). Jäälinsit, jotka muodostuvat sulasta maasta tulevasta vedestä, aiheuttavat maan tilavuuden kasvua eli maassa tapahtuu routanousua (Nurmikolu 2004, 78). Talonrakentamisessa ei yleensä sallita liikkeitä, sillä vähäisetkin liikkeet voivat aiheuttaa rakenteille vaurioita. Routanousu voi aiheuttaa pystysuuntaisella liikkeellä päällä oleville rakenteille ja rakennusosille haittaa ja vaurioita (RIL 261-2013, 55).

## 2.4 Pakkasmäärä

Voimakkaimmin roudan tunkeutumissyvyyteen vaikuttava tekijä on talven pakkasmäärä ja siten routasuojauksen mitoituksessa merkittävin tekijä. Pakkasmäärä vaihtelee vuosittain huomattavan paljon, mistä johtuen mitoituksessa käytetään Ilmatieteen laitoksen tilastoista laadittuja keskimääräisiä pakkasmääriä. Talven pakkasmäärän laskenta aloitetaan syksyllä, kun pakkasjakson pakkasmäärä on suurempi kuin mahdollisesti tulevan lämpimän jakson lämpöaste-summa. Laskenta lopetetaan keväällä, kun astetuntisumma ei enää kasvata pak-kastunteja. Talven pakkasmäärään lasketaan eri tunteina olleet lämpötilat, olivatpa ne plus- tai miinusmerkkisiä (RIL 261-2013, 15). Talonrakentamisessa pysyvien rakenteiden routasuojauksen määrittämisessä käytetään kerran viidessä-kymmenessä vuodessa toistuvaa  $F_{50}$  (kuva 3) pakkasmäärää (RIL 261-2013, 76).



Kuva 3. Kerran 50 vuodessa toistuva suurin pakkasmäärä  $F_{50}$  (h°C) (RATO 3 Radan rakenne, 52).

## 3 Mitoitus

### 3.1 Mitoituksen lähtökohdat

Tässä työssä on käytetty Suomen Rakennusinsinöörien Liiton RIL ry:n julkaiseman RIL 216-2013 Routasuojaus rakennus ja infrarakenteet -kirjan ohjeita routasuojauksen mitoitukseen ja laskentaohjelman tekoon. Kirja on laadittu nykyisten säädösten mukaisille lämmöneristysvaatimuksille ja kirjassa on huomioitu myös tulevaisuuden passiivi-rakennusten ja nollaenergiatalojen eristysvaatimukset. Kirja antaa hyvät valmiudet routasuojauksen suunnitteluun ja myös toteutukseen. Perehtyminen tähän kirjaan on tarpeen routasuojauksen suunnittelijoille, jotta he saavat riittävän hallinnan mitoituksesta.

Rakentamismääräyskokoelman pohjarakenteiden suunnitteluosuudessa on määritelty routanousun estämiseksi vaadittu perustamissyvyys. Routivalle maapohjalle perustettaessa lämpimien rakennusten keskimääräinen roudaton perustussyvyys on esitetty taulukossa 2. Taulukossa 2 on annettu arvot seinälinjalle ja nurkkaosuudelle. Seinälinjan arvot soveltuvat rakennuksen ulkoseinälinjalle, jossa ei ole ulkonurkkia tai ulokkeita. Nurkkaosuuden arvoja käytetään noin 1,5 - 2,5 metrin etäisyydelle ulkonurkasta mitoituspakkasmäärän (Etelä-Suomessa pienin ja pohjoisessa suurin) mukaan. Routasuojauksella saadaan pienennettyä taulukon 2 mukaan tarvittavaa roudatonta perustussyvyyttä (Suomen RakMk 2018, 29).

Kun lämpimän rakennuksen alapohjan lämmönvastusta lisätään, taulukon 2 roudatonta perustussyvyyttä täytyy kasvattaa. Alapohjan lämmönvastuksen kasvattaminen 1 m<sup>2</sup>/KW lisää 0,1 metriä roudatonta perustussyvyyttä (RIL 261-2013, 79).

Puolilämpimien rakennusten perustamissyvyiden kohdalla taulukon 2 arvoja sovelletaan siten, että perustussyvyiden arvoja kasvatetaan 0,2 - 0,3 metriä (Suomen RakMk 2018, 29).

Taulukko 2. Lämpimien rakennusten roudaton perustussyvyys routivalla maalla. Maanpinta oletetaan rakennuksen vierellä lumettomaksi. Suurempia arvoja käytetään karkearakenteisille routiville maalajeille, moreenille ja hiekalle. Pienempää arvoa käytetään hienorakeisimmille maalajeille (Suomen RakMk 2018, 30).

Perustamistapa	Perustuksen osa	Roudaton perustussyvyys, m pakkasmäärä F50, Kh		
		35000	50000	65000
Maanvastainen alapohja; alapohjarakenteen lämmönvastus $\leq 5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ , perusmuurin lämmön-eristys ulkopinnassa	Seinälinja	1,0/1,2	1,3/1,5	1,6/1,9
	Nurkka	1,3/1,6	1,6/2,0	2,0/2,3
Ryömintätila, tuuletus ulkoa $0,6 \text{ l/sm}^2$ ; alapohjarakenteen lämmönvastus $\leq 4,5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$	Seinälinja	1,1/1,4	1,4/1,8	1,8/2,2
	Nurkka	1,4/1,8	1,7/2,2	2,1/2,6

### 3.2 Routasuojauksen periaatteet

Routimisen kolme perusedellytystä ovat veden pääsy jäätymisvyöhykkeelle, jäätymisen mahdollistavat olosuhteet ja routiva maalaji. Routavaurioita ei synny, kun yksikin näistä routimisen perusedellytyksestä saadaan torjuttua. Routivalla maapohjalla on perustettava roudattomaan syvyyteen asti tai rakennus on routasuojattava. Ilmasto-olosuhteisiin ei voi vaikuttaa ja veden pääsyä jäätymisvyöhykkeelle perustusrakenteissa on hankala estää ilman maanvaihtoja.

Lämpimien rakennusten routasuojaus perustuu yleensä lämpimästä tilasta alapohjan läpi kulkevan lämmön suuntaamisen perustusten alle. Perusmuurin eristämällä estetään lämmön karkaaminen perustuksen pystyosalla. Vaakasuuntaisella routasuojauksella perusmuurin ulkopuolella estetään lämpövirran poistumista perustusrakenteiden alta (Kivikoski 2007, 23).

Kylmien rakennusten routasuojaus perustuu maan lämpenemiseen kesällä ja tämän varastoituneen lämmön pitämiseen perustustason alapuolella routasuojauksen avulla. Routasuojaus määräytyy keskilämpötilan mukaan mitä alhaisempi keskilämpötila, sitä enemmän vaaditaan eristävyttä (Jääskeläinen 2009, 163).

### **3.3 Perustussyvyyden vaikutus routasuojaukseen**

Rakennukset perustetaan joko roudattomaan syvyyteen asti tai matalaperustamisella, joka on yleisempi tapa asuinrakentamisessa. Matalaperustamisessa tulee ottaa huomioon maaperän routivuus ja routivan maaperän päälle perustettaessa on käytettävä routasuojaukseen estämään maapohjan jäätyminen.

Routimattomaan maahan ja roudattomaan syvyyteen perustettaessa ei routasuojaukseen tarvitse käyttää, ellei routasuojaukseen tarvita muista syistä, esimerkiksi salaoja- ja sadevesiputkien sulana pitämiseksi (RIL 261-2013).

### **3.4 Routasuojausmenetelmät**

Roudattoman perustussyvyyden yläpuolelle perustettaessa tarvitaan routasuojaukseen. Ilman rakennuksen ulkopuolelle rakennettavaa routasuojaukseen roudan tunkeutuminen perustusrakenteiden alle on yleensä mahdotonta estää (RIL 261-2013, 77). Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaan routasuojauksessa käytettävien materiaalien on säilytettävä mitoituksessa käytettyjä suunnitteluarvoja vastaavat ominaisuudet koko mitoitusajan ajan. Lisäksi routasuojausmateriaaleilta vaaditaan mekaanista, kemiallista, termistä ja biologista kestävyttä käyttökohteen mukaan, jotta routasuojauksen toimintakyky pysyy sille asetetun mitoitusajan ajan (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, 19).



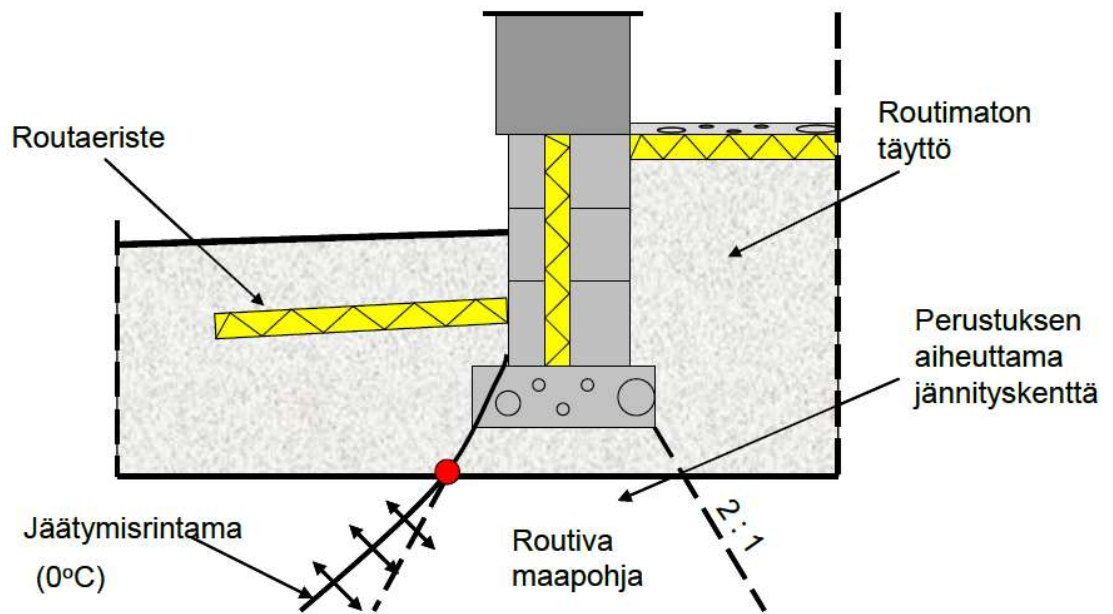
### 3.4.1 Routaeristys

Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaan suunnittelijan on määritettävä pysyville rakenteille suunniteltu käyttöikä. Rakentamismääräyskokoelmassa mainitaan myös, että tavanomaisille rakennuksille suunniteltuna käyttöikä voidaan pitää vähintään 50 vuotta. Tätä voidaan käyttää myös tavanomaisessa asuinrakentamisessa (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, 14).

Normaaleissa olosuhteissa routaeristeet sijoitetaan kapillaarisen veden nousun katkaisevan maa-aineksen yläpuolelle. Normaalit olosuhteet saavutetaan, kun pintaveden pääsy ja pohjaveden nousu routaeristeisiin estetään. Routaeristystä ei tulisi suunnitella niin, että eristeet jäävät jatkuvasti pohjavedenpinnan alapuolelle. Eristeiden toimivuus on varmistettu vain, jos eristeet pysyvät kuivina tai pääsevät välillä kuivumaan (Jääskeläinen 2009, 156).

Lämpimien rakennusten perusmuurin viereen ja ulkopuolelle kallistettu routaeristys sekä kylmien rakenteiden alle vaakasuoraan asennettu routaeristys hidastaa eristeiden alla olevan lämmön poistumista perustusten ympäristöstä ja estää routan tunkeutumista perustamissyvyteen. Riittävää routaeristystä käyttämällä voidaan routivallakin maaperällä perustaa matalaan. Tämä on oikein mitoitettuna toimintavarma ja taloudellinen perustusrakenteiden toteutustapa (RIL 261-2013).

Routasuojauksen mitoituksen lähtökohta on, että jäätymisrintama ei ulotu perustusrakenteiden aiheuttaman jännityskentän sisäpuolelle (kuva 4). Jännityskentän kaltevuuden katsotaan olevan kaltevuudeltaan 2:1 perustuksista pois päin. Lisäksi pitää huolehtia, ettei routaantunut maa tartu perustusrakenteisiin (RIL 261-2013, 76). Tämä huolehditaan perusmuuria vasten asetettavalla perusmuurivyllä ja perusmuurin viereen käytettävällä routimattomalla maatäytöllä.



Kuva 4. Routivuuden kannalta kriittinen lämpötilan tarkkailupiste perustusrakenteiden aiheuttaman jännityskentän rajalla (RIL 261-2013, 77).

### 3.4.2 Routimaton massanvaihto

Rakennuksille ei tarvitse olla routaeristeitä, kun perustetaan routimattoman maan varaan, roudattomaan perustussyvyyteen tai roudattomaan perustussyvyyteen ulotetun massanvaihdon varaan (RIL 261-2013, 78). Routivasta maapohjasta saadaan käytännössä routimatonta, kun katkaistaan kapillaarisesti nousevan pohjaveden pääsy routivaan maa-ainekseen. Tätä menetelmää käytetään etenkin maanrakennuksessa, jossa pyritään tekemään routivasta maa-aineksesta routimattomia maarakenteita (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminen 1979, 119).

## 3.5 Mitoituksen kulku

Routasuojauksen mitoitus alkaa alapohjan lämmönläpäisykertoimen määrittämisellä. Nykyisten määräysten mukaan (taulukko 4) maanvastaisen alapohjan U-

arvo vaatimus on  $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Ympäristöministeriön asetus 1010/2017 24§). Tämän työn laskelmissa on käytetty asetuksen täyttävää alapohjan lämmönvastusta.

Liitteenä olevat routasuojauslaskelmat on tehty RIL 216-2013 Routasuojaus-kirjan ohjeiden mukaan. Kirjassa olevat mitoitusohjeet soveltuvat U-arvon  $0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$  täyttävälle alapohjarakenteille asti sekä rakennuksille, joissa on ryömintätilainen alapohjarakenne.

### **3.5.1 Maanvastaisen alapohjan lämmöneristys**

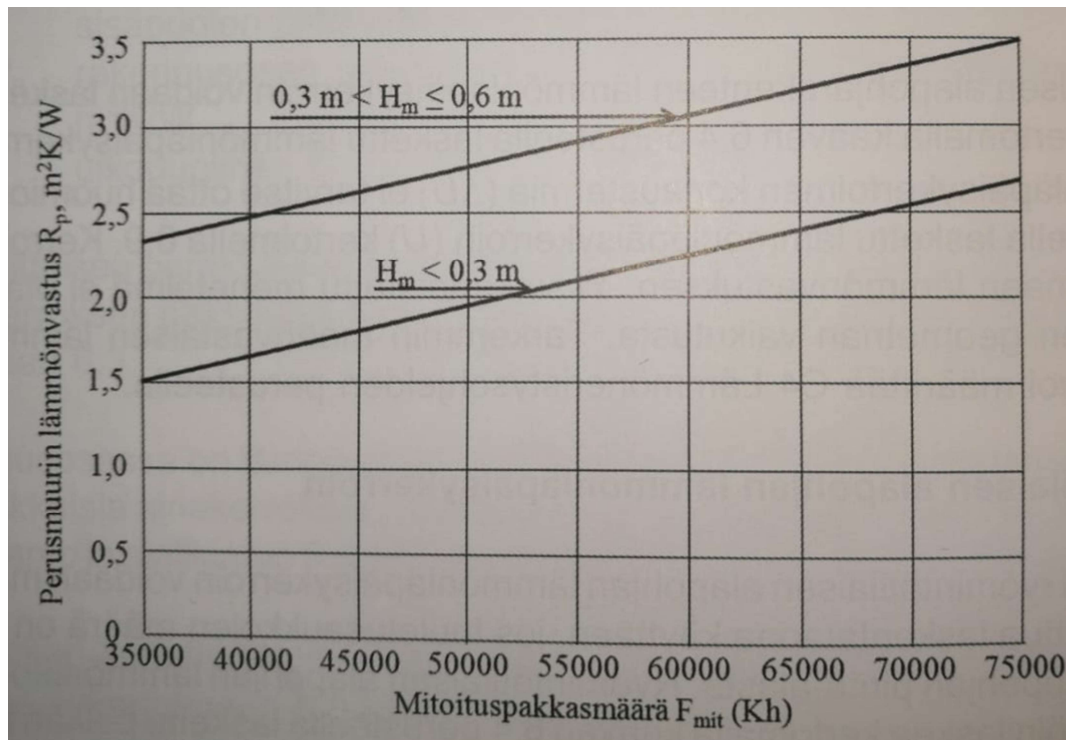
Routasuojauksen mitoituksessa on laskettava alapohjarakenteen kokonaislämmönläpäisykerroin. Tarkkaan routasuojauksen määrittämiseen ei riitä pelkän alapohjan U-arvon määrittäminen, vaan laskentaan huomioidaan myös maa-ainesten vaikutus. Alapohjan kokonaislämmönvastuksen määrittämisessä voidaan käyttää yksinkertaistettua menetelmää maa-ainesten vaikutuksesta. Yksinkertaistetussa menetelmässä alapohjan U-arvo kerrotaan kertoimella 0,9. Tämä kerroin ei kuitenkaan ota rakennuksen geometriaa huomioon (RIL 261-2013, 87).

Alapohjan lämmönvastusta kasvatettaessa on otettava huomioon ulkopuolisen routasuojauksen sekä perusmuurieristyksen lisääntyvä tarve. Routasuojaus-kirjan ohjeiden mukaan voidaan routasuojaus mitoittaa alapohjan U-arvoon  $0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$  asti (RIL 261-2013, 95).

### **3.5.2 Perusmuurin lämmöneristys**

Perusmuurin lämmöneristyksellä on suuri merkitys roudan tunkeutumissyvyyteen rakennuksen läheisyydessä. U-arvovaatimusta ei kuitenkaan rakentamismääräyksissä ole annettu. Kuvan 5 mukaan voidaan määrittää perusmuurin lämmönvastuksen tarve, kun alapohjan eristyksen alapinnan ja ulkopuolisen maanpinnan välinen etäisyys on alle 0,6 metriä. Tätä korkeammassa korkoeroissa lämmönvastus on mitoittettava tapauskohtaisesti.

Alapohjan eristävyyttä lisätessä tulee kiinnittää tarkempaa huomiota perusmuurin eristevahvuuteen. Eristevahvuutta on syytä lisätä matalaenergiarakenteisen alapohjarakenteen vähäisen lämmönläpäisyn vuoksi, jotta pienetkin lämpömäärät menisivät perustusten alle.



Kuva 5. Perusmuurin lämmönvastus maanvastaisessa alapohjarakenteessa, jossa  $H_m$  on ulkopuolisen maanpinnan ja alapohjaeristeen alapinnan välinen korkeus (RIL 261-2013, 88).

### 3.5.3 Routaeristeen leveys

Routasuojauksen leveys määritetään alapohjan lämmönvastuksen ja mitoituspakkasmäärän (taulukko 3) mukaan. Linjan Oulu-Puolanka-Kuhmo eteläpuolelle riittää routaeristeen leveydeksi yksi metri, kun alapohjan lämmönvastus on alle  $7,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Alapohjan lämmönvastuksen ollessa yli  $10 \text{ m}^2\text{K/W}$  tarvitaan routaeristeelle lisälevennys vähäisen lämmönläpäisyn alapohjasta perustustasoon. Taulukossa 3 oleva routaeristeen leveys  $B$  on mitta anturan ulkoreunasta.

Taulukko 3. Routasuojauksen leveys lämpimillä rakennuksilla (RIL 261-2013, 93).

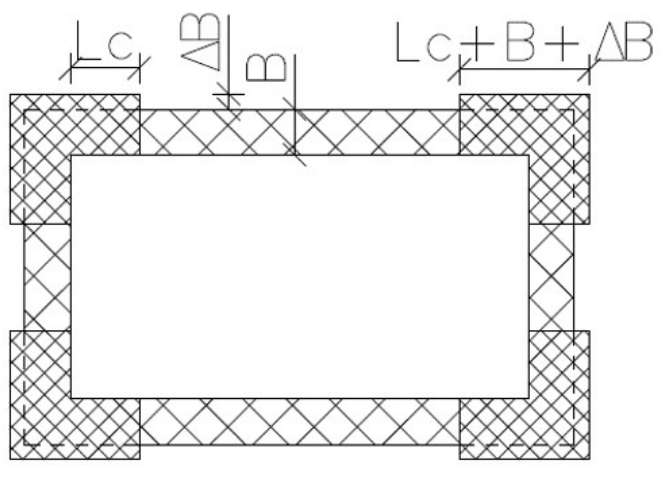
Alapohjan tyyppi	Alapohjan lämmönvastus $R_A$ , m <sup>2</sup> K/W	Mitoituspakkasmäärä $F_{mit}$ , Kh	Routaeristeen leveys $B$ , m	Routaeristeen lisäleveys $\Delta B$ , m
Maanvastainen alapohjarakenne	< 7,5	35000...55000	1,0	
	<7,5	55000...75000	1,2	
	7,5...< 10	35000...55000	1,2	
	7,5...< 10	55000...75000	1,5	
	10...14	35000...40000	1,0	0,5
	10...14	40000...60000	1,5	0,5
	10...14	60000...75000	2,0	0,5

### 3.5.4 Rakennuksen ulkonurkat

Ulkonurkka-alueella routasuojauksen tarve on suurempi kuin seinäalueella, koska alapohjasta tuleva lämpö perustustasoon on paljon vähäisempää ulkonurkka-alueilla. Tämän vuoksi nurkka-alueille lisätään eristettä 100 % seinälinjaan nähden. Vahvistuksen leveys  $L_c$  tehdään taulukon 4 mukaisesti, jossa laajuuden määrittää mitoituspakkasmäärä. Vahvistuksen levitys tehdään perusmuurin ulkonurkasta seinälinjalle päin kuvan 6 mukaan. Ulkonurkkien routaeristeen levitys on tarpeen alapohjan lämmönvastuksen ollessa yli 10 m<sup>2</sup>K/W. Tällöin routaeristettä levennetään 0,5 metriä (taulukko 3) seinälinjalla olevan routaeristeen lisäksi.

Taulukko 4. Routasuojauksen laajuus nurkka-alueella (RIL 261-2013, 93).

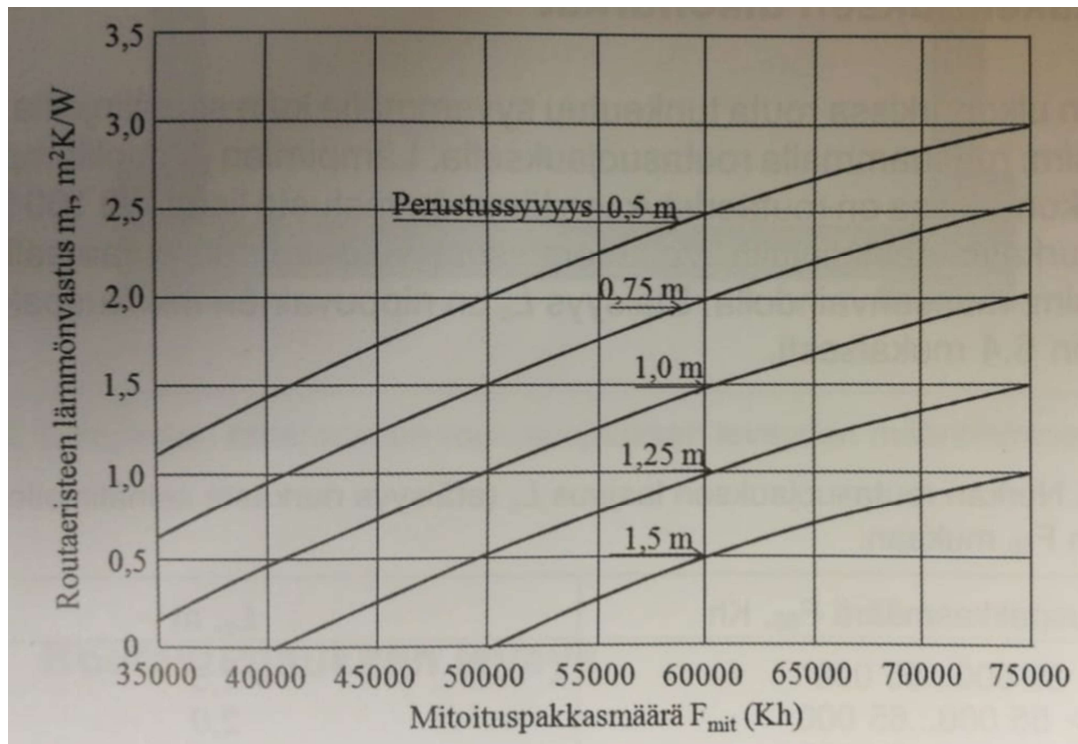
Mitoituspakkasmäärä $F_{50}$ , Kh	$L_c$ , m
35000...55000	1,5
>55000...65000	2
>65000...75000	2,5



Kuva 6. Routaeristeen leveyden määrittäminen (RIL 261-2013, 92).

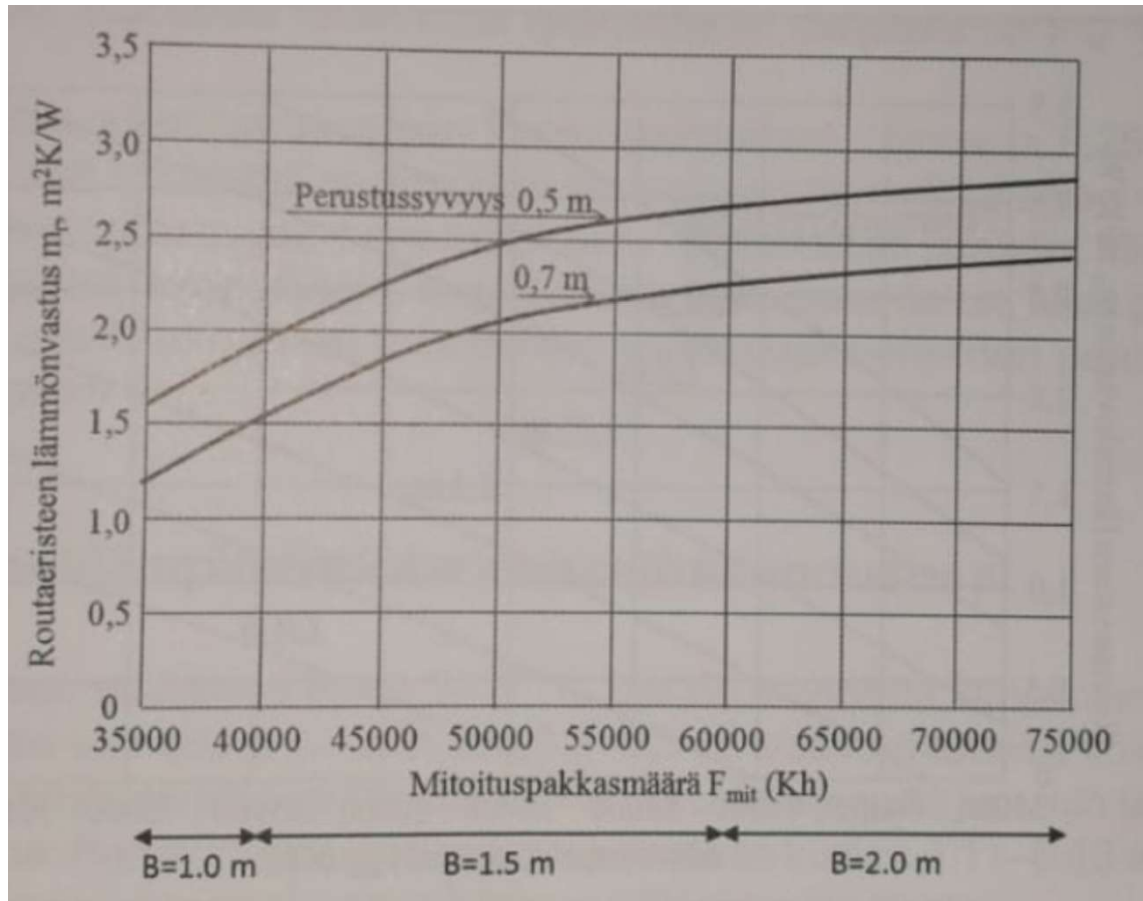
### 3.5.5 Routaeristeen paksuus

Routaeristeelle vaadittava lämmönvastus voidaan katsoa kuvasta 7. Routaeristeen paksuus saadaan kertomalla tarvittava routaeristeen lämmönvastus routaeristeen lämmönjohtavuusarvolla.



Kuva 7. Maanvastaisen alapohjan  $RA \leq 10 \text{ m}^2\text{K/W}$  routasuojauksen mitoitus (RIL 261-2013, 94).

Maanvastaisen alapohjan lämmönvastuksen ollessa  $10 < R_A \leq 14 \text{ m}^2\text{K/W}$  mitoitetaan routaeristeen lämmönvastus kuvan 8 mukaisesti. Kuvasta näkee myös tarvittavan routaeristeen leveyden B.



Kuva 8. Maanvastaisen alapohjan  $10 < R_A \leq 14 \text{ m}^2\text{K/W}$  routasuojauksen mitoitus (RIL 261-2013, 95).

#### 4 Mallintaminen

Tässä opinnäytetyössä mallinnusohjelmana on käytetty COMSOL Multiphysics 5.3a -ohjelman lämpömallilaskentaa. Kolmiulotteiset mallit on tehty ohjelman omalla piirtotyökalulla ja kaksiulotteiset mallit on piirretty CADS House -ohjelmalla. Mallien luomisen jälkeen kaikille eri rakenteille on määritetty materiaalikohdaiset suunnitteluarvot (taulukko 3). Ohjelmaan on syötetty materiaalien tiheys, lämmönjohtavuus ja ominaislämpökapasiteetti. Sisä- ja ulkopinnoille määritetään

pintavastukset (taulukko 4). Mallien leikkausrajapintojen asetuksena on, ettei pinnoista kulje lämpö ja ilma (kuva 18).

#### **4.1 Rajaukset**

Mallinnuksen yksinkertaistamiseksi työtä tarkastellaan lämpömallina, jossa oletuksena on, että kaikki rakenteet ja maakerrokset ovat kuivia, eikä niissä tapahdu muutosta kosteuden suhteen. Aikaikkuna tarkasteltavalle aikajaksolle on kaksi vuotta.

Kaksiulotteisella mallilla lasketaan suoralla seinälinjalla tapahtuvaa roudan etenemistä. Mallit laskentaan on valittu yleisesti Suomessa käytetyistä normaalien pientalojen seinäleikkauksista. Kolmiulotteisella mallilla lasketaan rakennuksen nurkka-alueella tapahtuvaa roudan tunkeutumista maaperässä.

Maassa oleva vesi alkaa jäätyä, kun lämpötila laskee alle 0°C:een, joten tarkasteltava lämpötila on 0 °C:n ja -1 °C:n välillä. Routimisen kannalta kriittinen piste on anturan alla noin 2:1 kulmassa alaspäin routivassa maaperässä. Jos jäätymisrintama pääsee tuon pisteen ohi routivassa maassa, silloin routiminen vaikuttaa anturan alla olevaan jännityskenttään ja voi vaikuttaa päällä oleviin rakenteisiin. Tästä johtuen tämä piste on tärkeä ja se on otettu tarkasteluun laskelmissa. Mitoituksessa oletetaan maanpinta lumettomaksi. (Jääskeläinen 2009, 167).

#### **4.2 Ilman lämpötilat**

Sisätilan ilman lämpötilaksi on määritetty +21 °C. Ulkoilman lämpötiloiksi laskennassa on käytetty COMSOL-ohjelmassa olevia vuoden 2017 Joensuun ja vertailun vuoksi myös Helsingin säätietoja. Laskenta on suoritettu siten, että kaksi samanlaista vuotta on kopioitu peräkkäin, jolloin ensimmäisen vuoden aikana lämpötilat maassa ehtivät normalisoitua ja toisen vuoden kylmimmältä ajanjakson ajalta katsotaan vertailuarvot.

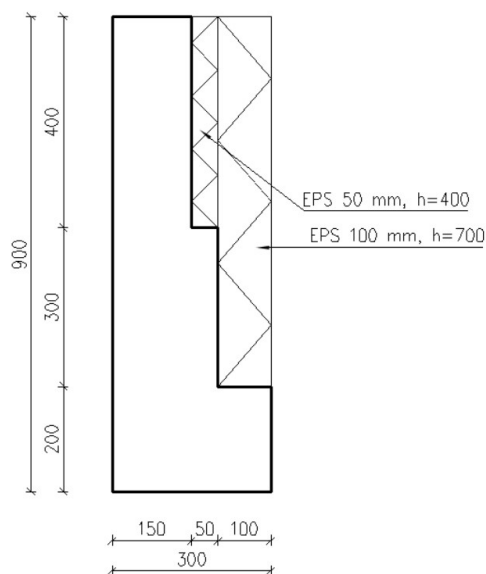


Laskennassa ei ole huomioitu normaalisti routasuojauksien suunnittelussa käytettyä erityisen kylmää kerran 50 vuodessa esiintyvää talven ilmastoa. Tästä syystä laskennassa saadut tulokset eivät ole vertailukelpoisia routasuojauslaskelmasta saatuihin tuloksiin, vaan tämän tutkimuksen avulla on tarkoitus nähdä hyöty perusmuurin ulkopuolisesta eristeestä.

### 4.3 Mallinnettavat rakenteet

#### 4.3.1 Perusmuuri

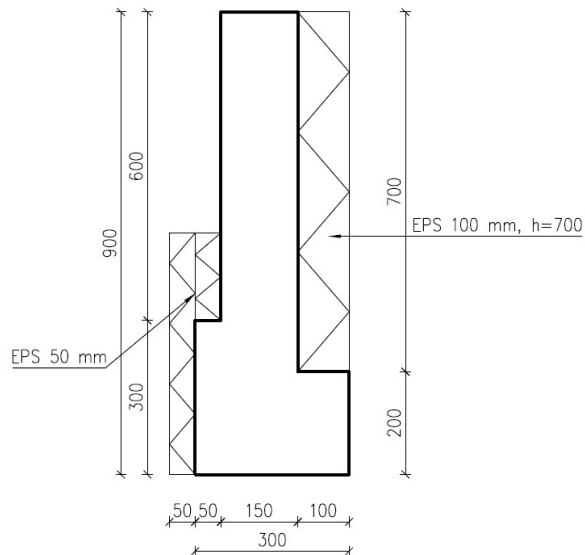
Mallinnuksessa on käytetty Perustava Oy:n käyttämiä perustusratkaisuja. Ensimmäinen mallinnettava perusmuurinrakenne on 900 mm korkea betoninen perusmuuri, joka sisältää 700 mm korkean ja 100 mm paksun EPS-eristeen perusmuurin sisäpinnassa. Lisäksi perusmuurin yläosassa on 400 mm korkea ja 50 mm paksu EPS-eriste. Perusmuurin kokonaisleveydeksi tulee 300 mm. Tällöin betonin osuus kaventuu eristeiden myötä yläosastaan 150 mm leveäksi (kuva 9).



Kuva 9. Perusmuuri 1 (Perustava Oy).

Toinen mallinnettava perusmuurinrakenne on 900 mm korkea betoninen perusmuuri, jossa on käytetty 700 mm korkeaa ja 100 mm paksua EPS-eristettä perusmuurin sisäpinnassa. Lisäksi perusmuurin alaosan ulkopinnassa on pystyssä

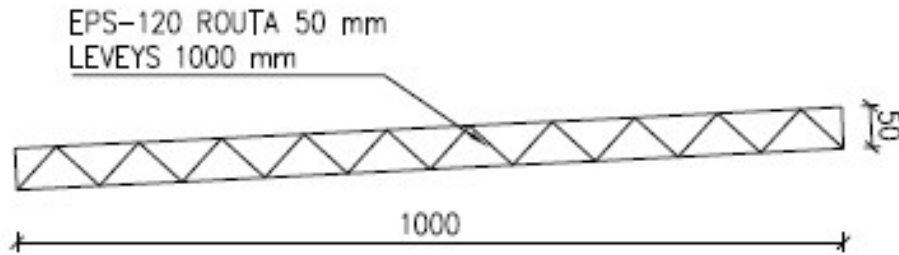
50 mm paksu EPS-eriste maanpinnasta alaspäin perusmuurin alareunaan asti. Tässäkin mallissa perusmuurin betonin kokonaisleveys alaosasta on 300 mm ja yläosan kavennuksen kohdalla betonin osuus kaventuu 150 mm leveäksi (kuva 10).



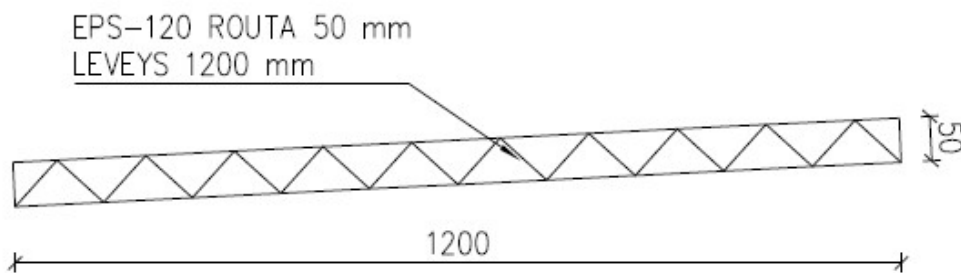
Kuva 10. Perusmuuri 2, eriste pystyssä perusmuuria vasten (Perustava Oy).

#### 4.3.2 Routaeriste

Routaeristeeksi on valittu yleisesti käytetty EPS 120 Routa-eriste. Mallinnuksessa on käytetty RIL 261-2013 laskentaohjeen mukaisesti saatuja routaeristemääriä. Laskentaohjeen mukaan routasuojaukseen riittää 1000 mm leveä eriste (taulukko 3) vaatimukset täyttävällä ( $R_A = < 7,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ ) alapohjalla. Passiivirakenteiselle ( $R_A = 7,5 < 10 \text{ m}^2\text{K/W}$ ) alapohjalle laskentaohje antaa eristeen leveydeksi 1,2 metriä (kuva 12). Routaeristeen paksuudeksi ohje antoi Joensuun alueella ( $F_{50} = 48000 \text{ Kh}$ ) 51 mm perustamissyvyyden ollessa 800 mm. Helsinkiin ( $F_{50} = 34000 \text{ Kh}$ ) ohjeen mukaan riittää 23 mm routaeristettä. Routaeristepaksuutena mallinnuksessa käytetään molemmissa sääolosuhteissa 50 mm (kuva 11).



Kuva 11. Routaeriste alapohjan RA ollessa  $<7,5 \text{ m}^2\text{K/W}$  ja  $F_{50} <55000 \text{ Kh}$  (Taulukko 3).



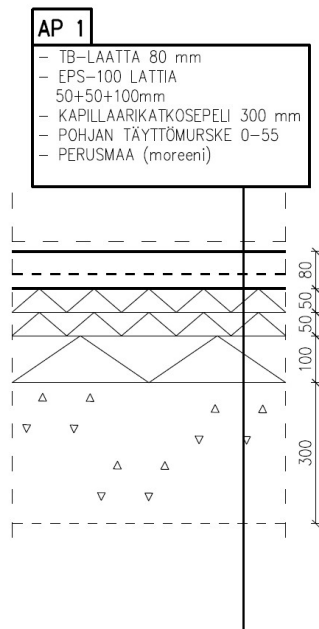
Kuva 12. Routaeriste alapohjan RA ollessa  $7,5... <10 \text{ m}^2\text{K/W}$  ja  $F_{50} <55000 \text{ Kh}$  (taulukko 3).

### 4.3.3 Alapohja

Tarkasteltavina alapohjarakenteina käytettiin nykyiset lämmöneristysmääräykset (U-arvon  $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; taulukko 5) täyttävää maanvastaista alapohjarakennetta, jossa 80 mm betonilaatan alla on lämmöneristeenä 200 mm EPS-100 Lattia eristettä ja eristeen alla 300 mm kapillaarikatkosepeliä. Perusmaana on käytetty routivaa moreenia (kuva 13). Ulkoseinän pituudeksi on valittu 10 metriä, josta malliin on piirretty 5 metriä symmetrian takia. Vaakasuunnassa ulkoilmaa ja perusmaata on laskentaan otettu noin 5,5 metriä kolmiulotteisessa mallissa. Alaspäin perusmaata routimattoman kapillaarikatkokerroksen alla on noin 5 metriä. Sisätilan lämpötilana mallinnuksessa käytetään normaalia sisälämpötilaa  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Taulukko 5. Alapohjan lämmönläpäisykertoimet (Ympäristöministeriön asetus 1010/2017 24§).

Alapohjan tyyppi	Alapohjan lämmönläpäisykerroin U (W/m <sup>2</sup> K)	
	Lämmin tila	Puolilämmin tila
Maata vasten oleva alapohja	0,16	0,24
Ryömintätilaan rajoittuva alapohja	0,17	0,26
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,09	0,14

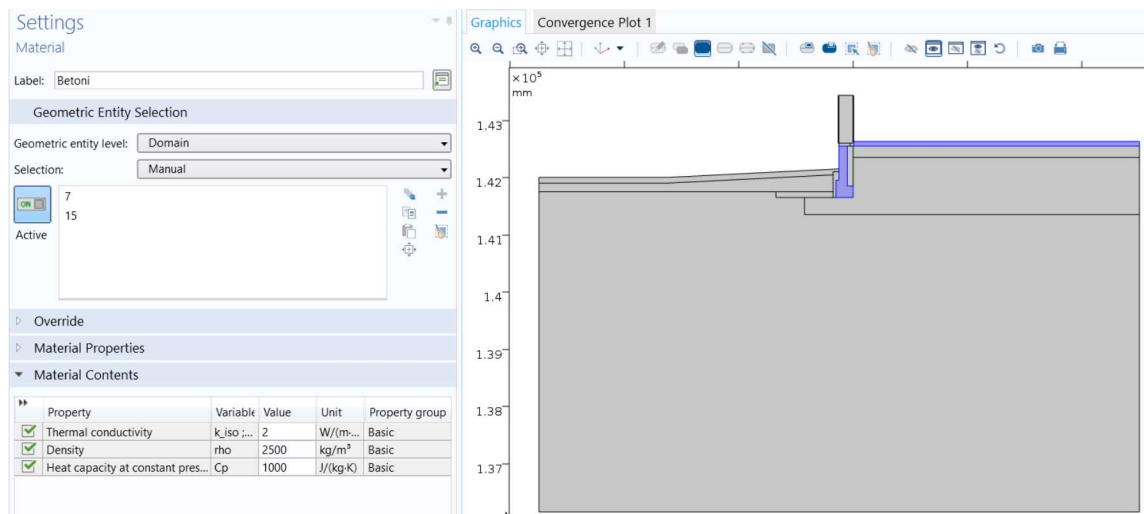


Kuva 13. Alapohjarakenne.

Toisena alapohjarakenteena oli valittuna passiivirakenteen määräykset täyttävä ratkaisu, jonka U-arvo on 0,12 W/m<sup>2</sup>K. Passiivirakenteinen alapohja on muuten samanlainen kuin määräykset täyttävät rakenne, mutta lattiaeristettä on 100 mm enemmän eli 300 mm yhteensä.

#### 4.4 Mallintaminen Comsolilla

Cads-ohjelmalla laaditut mallit tuotiin Comsol-ohjelmaan geometry-toiminnolla. Comsolissa määritettiin eri rakenteille ominaiset materiaaliarvot (kuva 14). Arvoina on käytetty Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta C4:n taulukoista otettuja arvoja (taulukko 6).

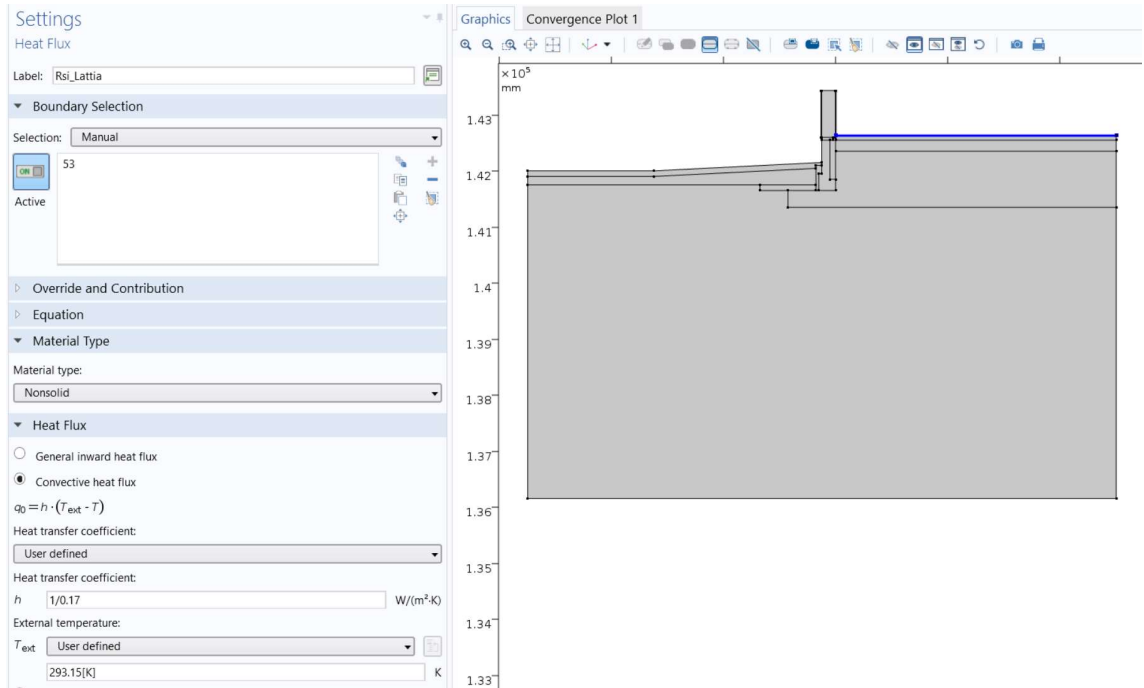


Kuva 14. Rakenteiden materiaaliarvojen määrittäminen.

Taulukko 6. Laskennassa käytettävien rakennusmateriaalien ja maa-ainesten lämpötekniset materiaaliominaisuudet (Ympäristöministeriö, Suomen RakMk C4).

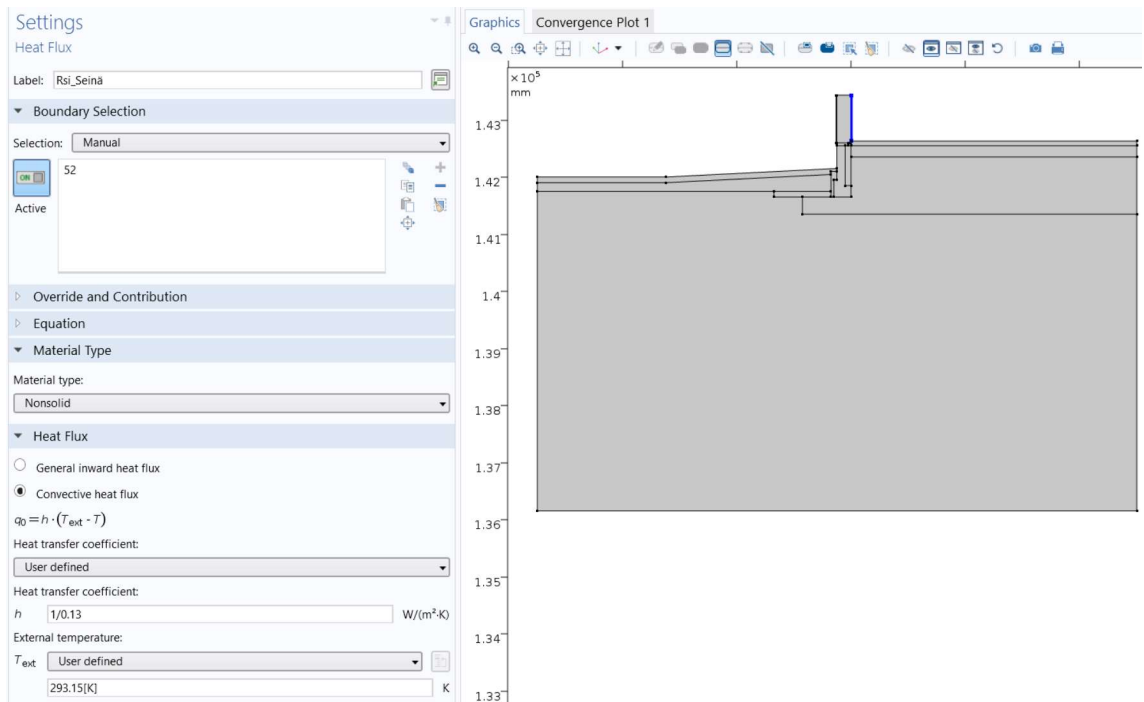
Materiaali	Tiheys [kg/m <sup>3</sup> ]	Lämmönjohta- vuus [W/(m*K)]	Ominaislämpökapasi- teetti [J/kg/K]
Perusmaa (moreeni)	2000	2	1000
Kapillaarikatko- sepele	2000	1,5	1000
Pintamaa	1500	1,5	2000
Routaeriste (EPS)	35	0,042	1450
Lattiaeriste (EPS)	35	0,036	1450
Mineraalivilla	30	0,05	1030
Betoni	2500	2	1000
Kipsilevy	700	0,21	1000
Puu	450	0,12	1600

Pintavastukset (Kuva 15) on määritetty ISO-standardin mukaan. Sisäpuolella lattiassa lämpövirran ollessa alaspäin pintavastuksena on käytetty arvoa  $R_{si} = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$  (taulukko 7).



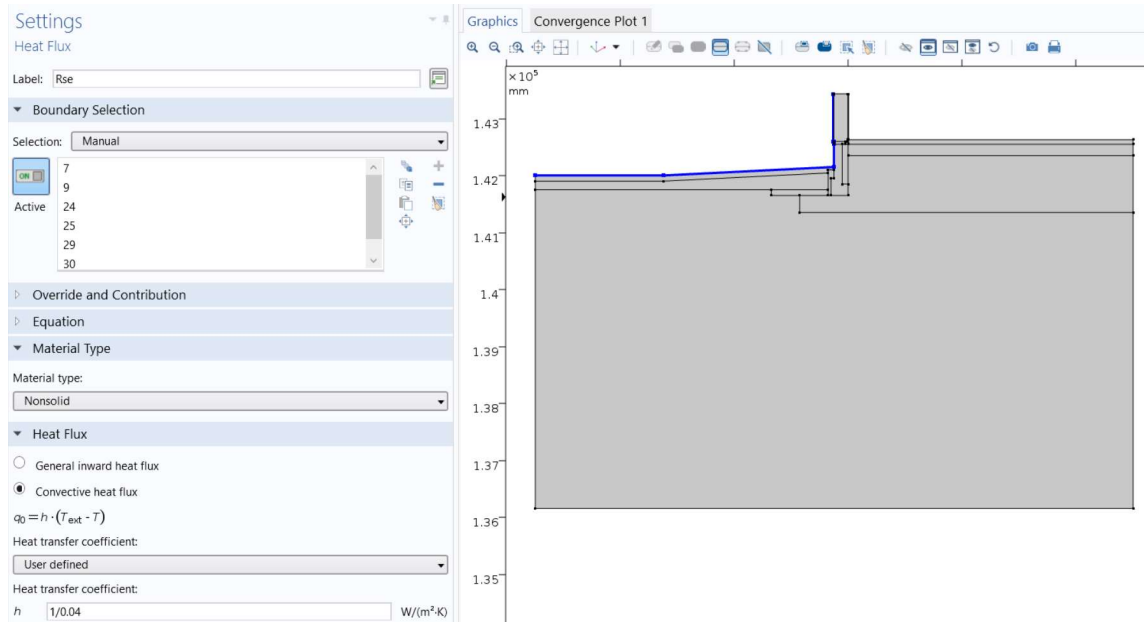
Kuva 15. Sisäpuolinen pintavastus alaspäin.

Sisäpuolella seinässä pintavastuksena (kuva 16) on käytetty arvoa  $R_{\text{si}} = 0,13$  m<sup>2</sup>·K/W, lämpövirran suunnan ollessa vaakasuoraan (taulukko 7).



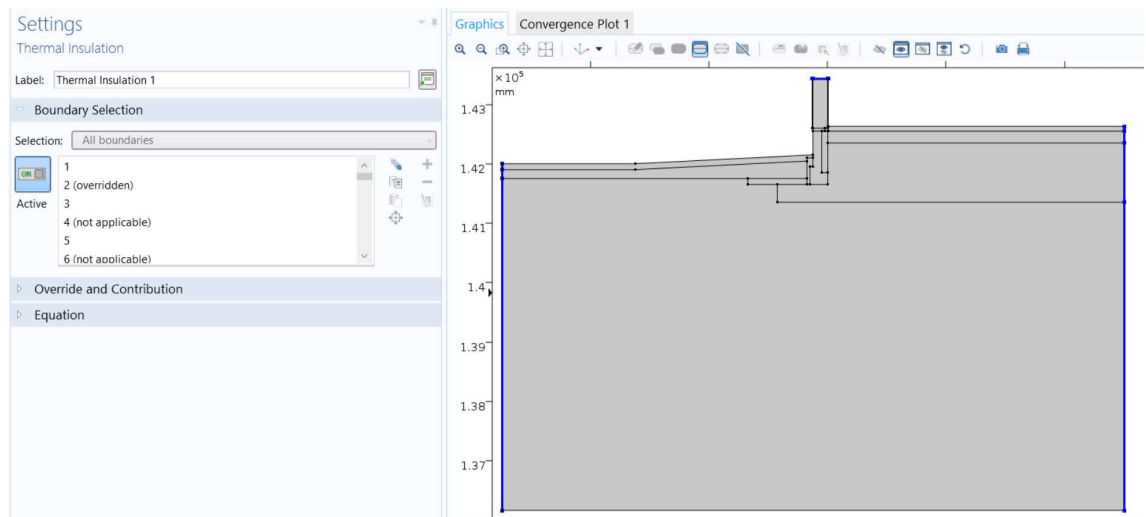
Kuva 16. Sisäpuolinen pintavastus vaakasuoraan.

Ulkopuolisen pintavastuksena (kuva 17) on käytetty arvoa  $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$  (taulukko 7).



Kuva 17. Ulkopuolinen pintavastus.

Leikatuille pinnoille määritettiin rajapinnat (kuva 18), joiden läpi ei tapahdu lämmön siirtymistä.



Kuva 18. Leikatut rajapinnat



Taulukko 7. Pintavastuksien likiarvoja rakennusfysikaalisessa tarkastelussa (SFS-EN ISO 6946 2017).

Pintavastus [ $m^2 \cdot K/W$ ]	Lämpövirran suunta	
	Alaspäin	Vaakasuoraan
Sisäpuolinen pintavastus $R_{si}$	0,17	0,13
Ulkopuolinen pintavastus $R_{se}$	0,04	0,04

Säätieloina on käytetty ohjelmasta saatuja säätieloinja. Säätieloinja ovat vuodelta 2017, näitä vuoden 2017 säätieloinja on kopioitu kaksi peräkkäin. Laskenta alkaa 1. kesäkuuta.

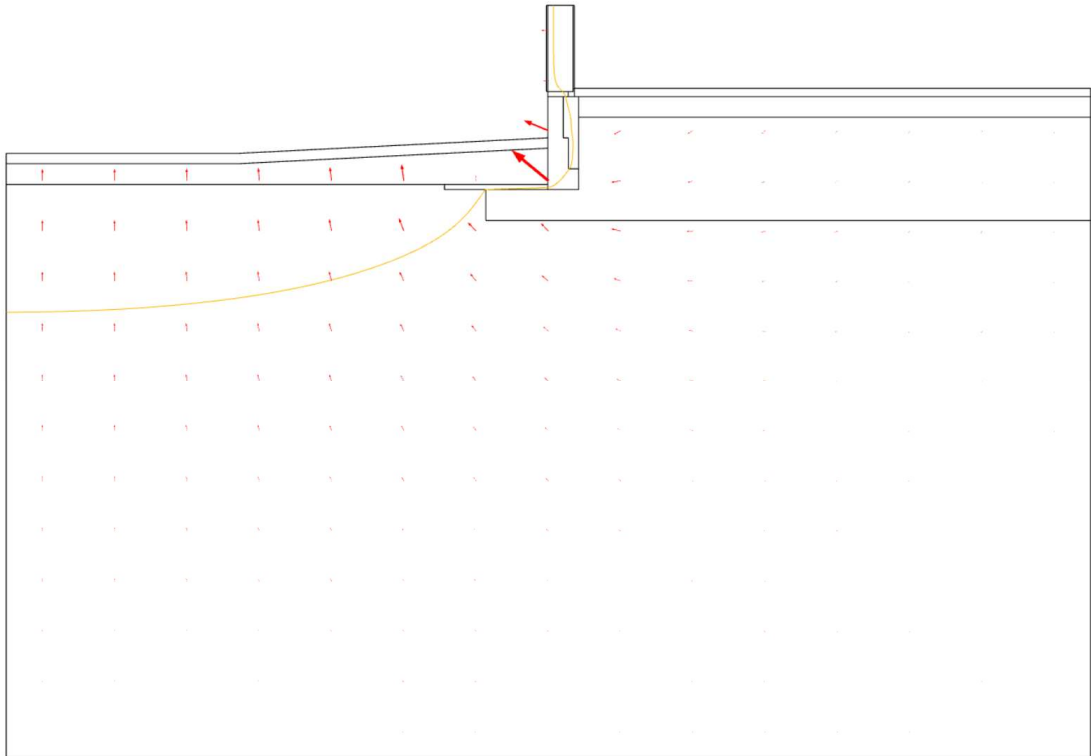
#### 4.5 Laskentatulokset

Laskentatulokset ovat Joensuun säätieloinjaen mukaan 633 päivän päästä mittauksien aloituksesta eli 21. helmikuuta. Routaraja ei tämän jälkeen mene syvemälle vaan alkaa vetäytymään kohti maan pintaa eli maa alkaa sulamaan. Tarkasteltavat mittaustulokset on otettu siis 21. helmikuuta.

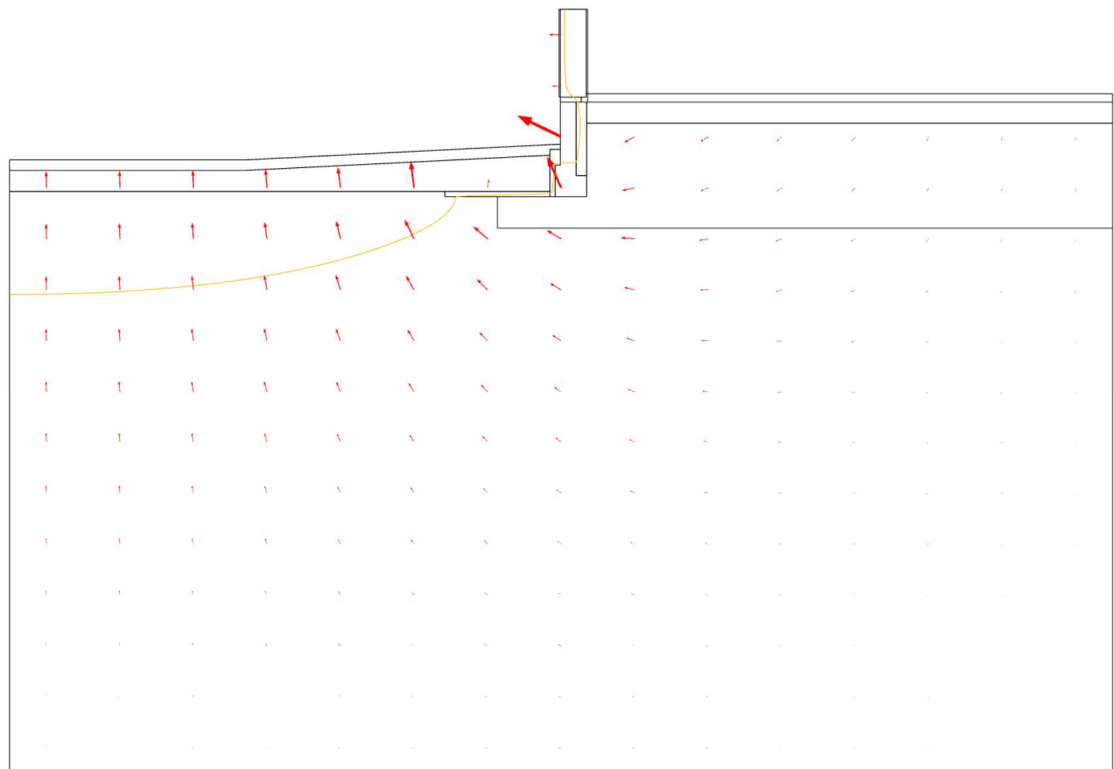
Helsingissä vastaavat tulokset on otettu 15. helmikuuta. Tämän jälkeen routaraja alkaa vetäytymään kohti maanpintaa. Kuvissa 19 – 26 olevat punaiset nuolet ilmoittavat lämpövirran suunnan ja nuolen koko merkitsee lämpövirran suuruutta.

#### 4.6 Vertailu

Helsingissä routaraja jää kauas perustusten jännityskentästä. Eroja kuitenkin on selvästi nähtävissä nolla-asteen käyrässä ja punaisissa nuolissa, jotka merkkäavat lämmön kulkusuuntaa ja suuruutta. Mitä paksumpi viiva on, sitä enemmän lämpöä kulkeutuu kyseiseen suuntaan. Voidaan havaita, että nolla-asteen raja kulkee kuvan 19 perusmuurin alapinnan läheisyydestä, kun taas kuvassa 20, jossa eriste on perusmuurin ulkopinnassa, nollaraja ei saavuta perusmuurin alapintaa. Tästä voidaan havaita, että perusmuurin alaosa pysyy lämpimämpänä tilanteessa, jossa perusmuurin ulkopinnassa on eristys.

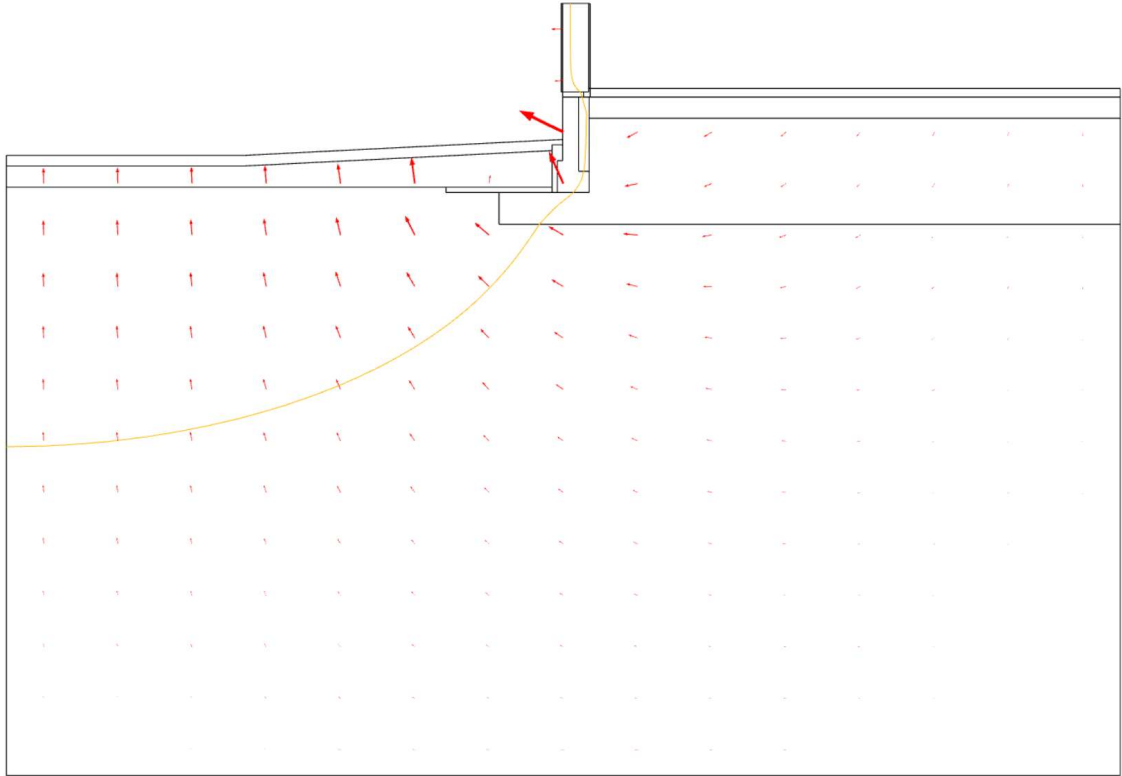


Kuva 19. Nolla-asteen rajan muodostuminen suoran ulkoseinälinjan keskivaiheilta , Helsinki 15.2.

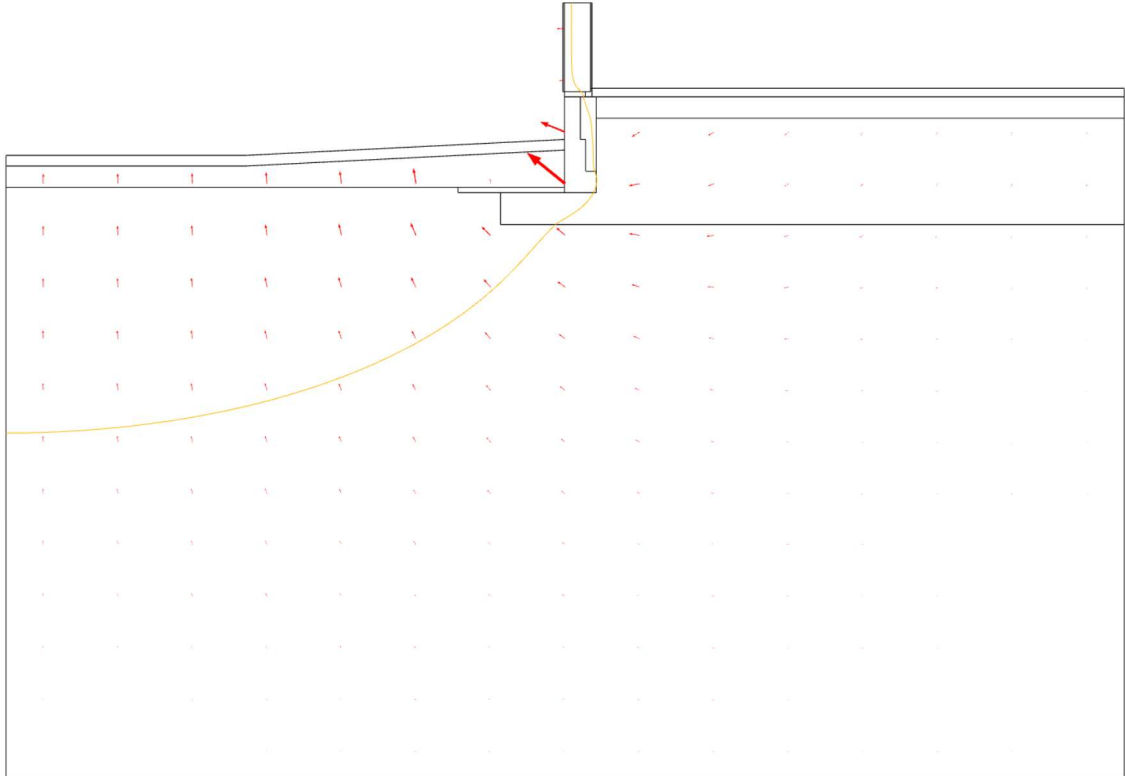


Kuva 20. Nolla-asteen rajan muodostuminen suoran ulkoseinälinjan keskivaiheilta, eriste perusmuurin ulkopinnassa, Helsinki 15.2.

Joensuussa pakkanen pääsee tunkeutumaan molemmissa tilanteissa (kuvat 21 ja 22) perusmuurin alapintaan. Kuvan 21 tilanteessa, jossa eriste on perusmuurin ulkopinnassa, perusmuurin sisäpinta pysyy yli nolla-asteen. Tällöin ulkopuolinen eriste pitää perusmuurin alaosa hieman lämpimämpänä.

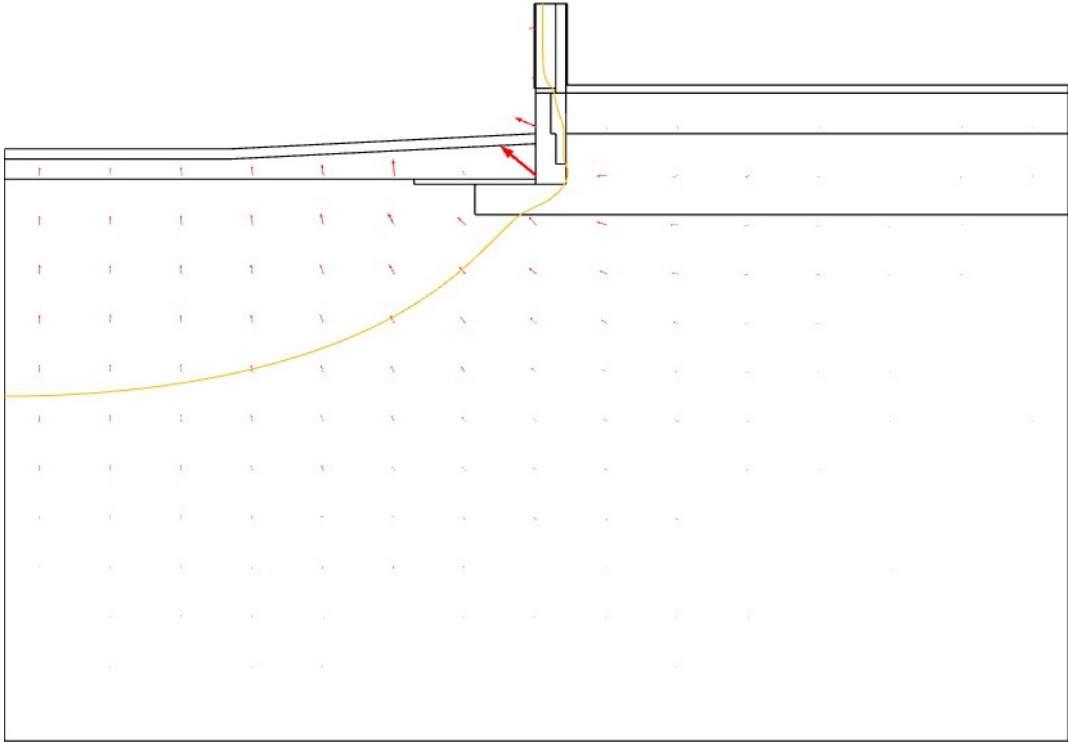


Kuva 21. Nolla-asteen rajan muodostuminen suoran ulkoseinälinjan keskivaiheilta, eriste perusmuurin ulkopinnassa, Joensuu 21.2.

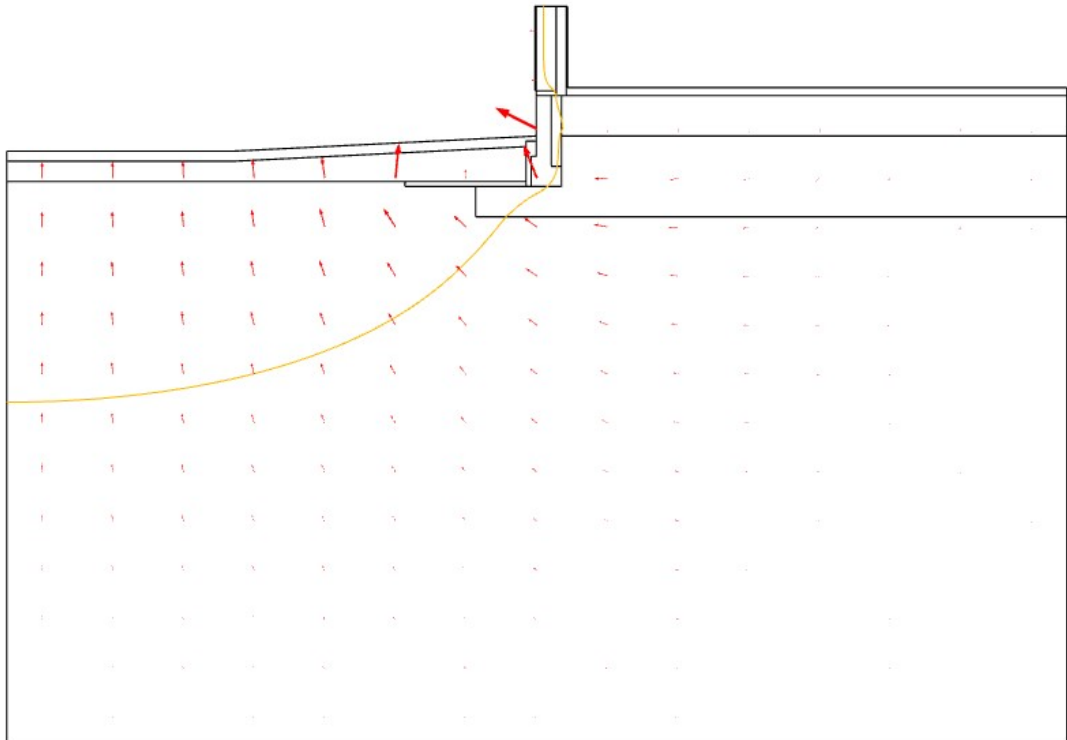


Kuva 22. Nolla-asteen rajan muodostuminen suoran ulkoseinälinjan keskivaiheilta, Joensuu 21.2.

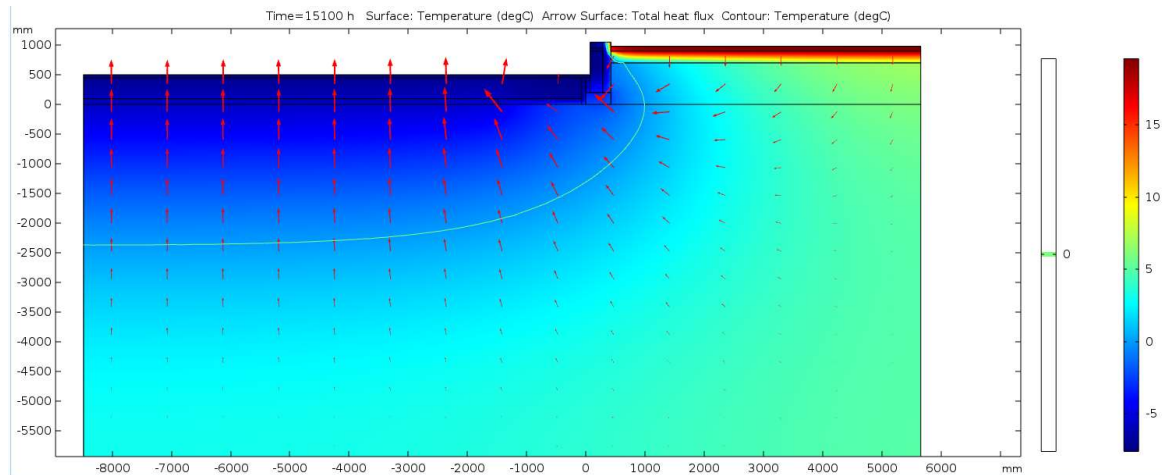
Kuvissa 23 ja 24 lattiaeristeenä on 300 mm EPS-100 lattiaeristettä, josta U-arvoksi tulee 0,12 W/m<sup>2</sup>K. Routaeristettä on 1,2 metriä taulukon 3 mukaisesti. Näistä tapauksista voi tehdä samanlaisia huomioita kuin edellisen kohdan tapauksissa. Perusmuurin ulkopuolinen eriste pitää perusmuurin alaosa hieman lämpimämpänä.



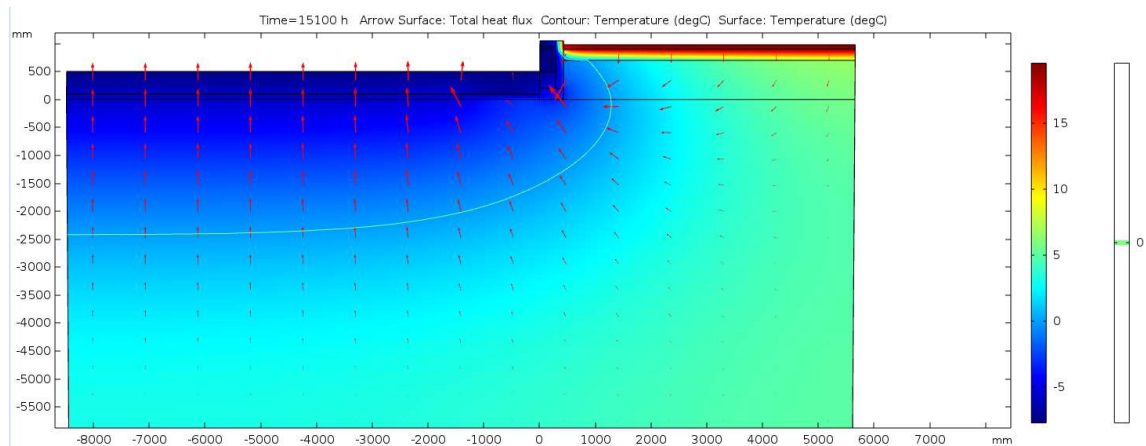
Kuva 23. Nolla-asteen rajan muodostuminen suoran ulkoseinälinjan keskivaiheilta, lattiaeristettä 300 mm, Joensuu 21.2.



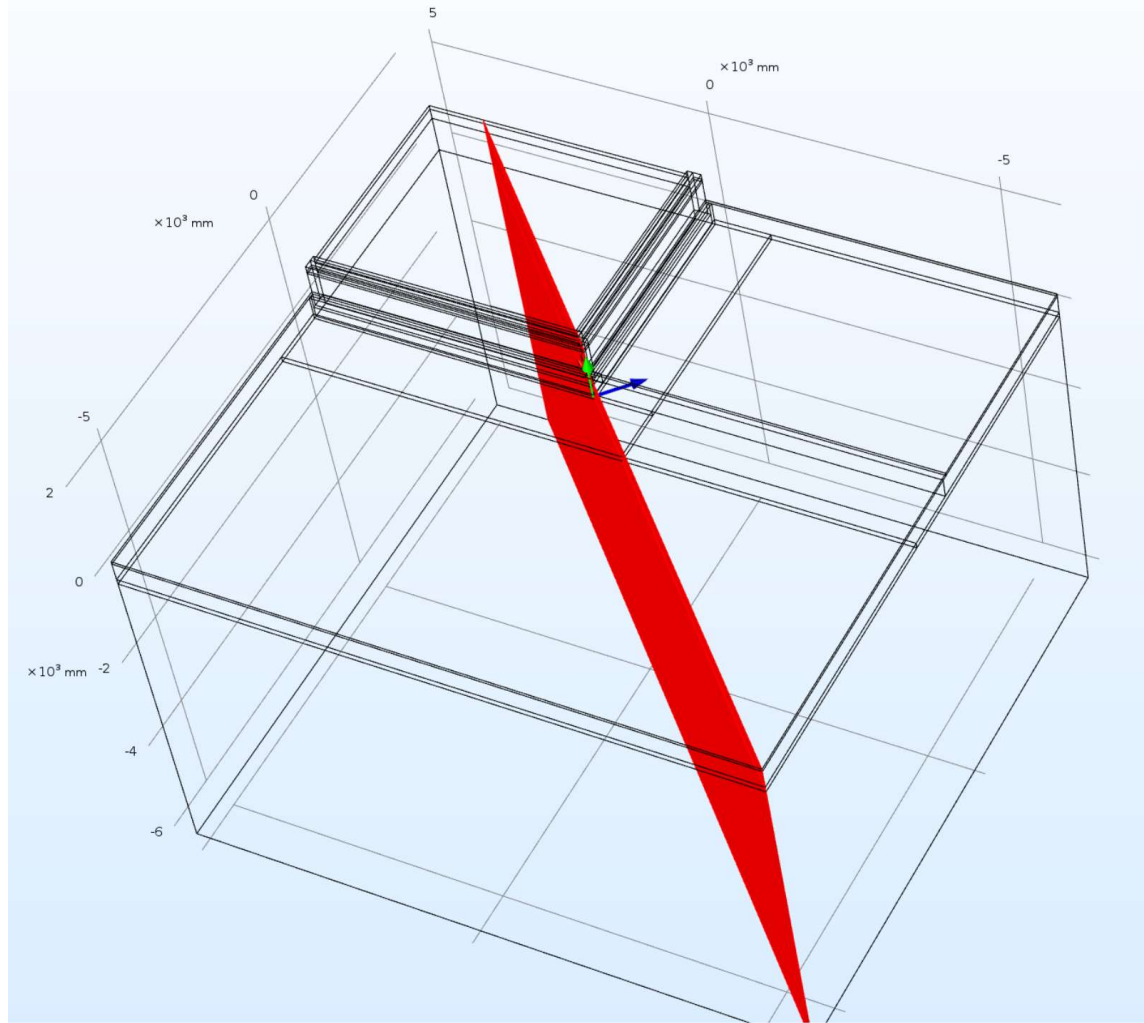
Kuva 24. Nolla-asteen rajan muodostuminen suoran ulkoseinälinjan keskivaiheilta, lattiaeristettä 300 mm, eriste perusmuurin ulkopinnassa, Joensuu 21.2.



Kuva 25. Nolla-asteen rajan muodostuminen rakennuksen nurkka-alueella kuvan 27 mukaisesti, eriste perusmuurin ulkopinnassa, Joensuu 21.2.



Kuva 26. Nolla-asteen rajan muodostuminen rakennuksen nurkka-alueella kuvan 27 mukaisesti, Joensuu 21.2.



Kuva 27. Kolmiulotteisen mallin tarkasteluleikkauspinta.

## 5 Johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa oli tarkoitus selvittää, millainen vaikutus on perusmuurin ulkopuolella olevalla pystyeristeellä routasuojaukseen. Tarkoitus oli nimenomaan selvittää maan alla olevan eristeen vaikutus eli ei koko perusmuuria vasten olevaa eristettä. Comsol-laskentaohjelmalla saaduista tuloksista on nähtävissä, että ulkopuolisella pystyeristeellä on vaikutusta routarajan muodostumiseen perusmuurin alapinnan tasolla, muttei niin suurta vaikutusta perustamistasolla eli routimattoman täytön ja routivan perusmaan tasolla. Ulkonurkkien osalla on huomattavaa, että routaraja painuu syväälle perustusten aiheuttaman jännityskenttään ja jopa alapohjaan saakka. Tässä tilanteessa tutkittavalla eristeellä oli enemmän

vaikutusta kuin suoralla seinälinjalla. Tosin nämä tilanteet eivät ole todellisia, koska laskennassa ei ole otettu huomioon jäätyneen maan lämmöneristävyyttä eikä veden jäätymisestä aiheutuvaa lämmön nousua. Nämä seikat pienentävät roudan tunkeutumissyvyyttä.

Comsol-laskentaohjelman tulokset tarvittavasta routasuojauksen määrästä ovat saman suuntaisia kuin RIL 261-2013 Routasuojaus -kirjan ohjeen mukaiset määrät. Aivan suoraan vertailukelpoisia nämä tulokset eivät ole edellä mainituista syistä. Lisäksi eroa on laskentaohjelman ja Routasuojaus -kirjan pakkasmäärissä ja säätiedoissa. Alapohjaan eristettä lisätessä RIL -kirjan ohjeen mukaan routaeristettä on levitettävä. Tätä tietoa tukivat myös laskentaohjelman tulokset.

## **6 Lopuksi**

Routasuojauksen mitoitus täytyy aina tehdä tapauskohtaisesti. Routasuojauksen määritykseen vaikuttavat monet asiat, joista tärkeimmät ovat paikkakunnan pakkasmäärä ja maaperän laatu. Routimattomalle maaperälle perustettaessa rakennusten perustukset eivät tarvitse erillistä routasuojauksia matalaankaan perustettaessa. Tosin routimattoman maan todentaminen on haastava ilman laboratorio tutkimuksia. Tästä syystä routasuojaukset yleensä lisätään rakennesuunnitelmiin. Lisäksi salaoja- ja sadevesiputket tarvitsevat eristyksen sulana pysymiseksi.

Perusmuurin ulkopuolinen pystyeriste vaikuttaa hieman nolla-asteen rajan muodostumiseen perustusrakenteiden aiheuttamassa jännityskentässä. Tutkimustulokset ovat teoreettisia ja maaperän kosteutta ei ole otettu laskelmissa huomioon, mutta vertailu erilaisten perusmuurin eristyksistä on luotettava.



## Lähteet

- COMSOL Inc. 2018. Understand, Predict, and Optimize Engineering Designs with the COMSOL Multiphysics® Software.
- Isohaka, M. 2013. Veden saatavilla olon vaikutus radan routimiseen. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. <https://docplayer.fi/47997089-Marja-isohaka-veden-saatavilla-olon-vaikutus-radan-routimiseen-diplomityo.html>. 5.3.2019.
- Jääskeläinen, R. 2009. Pohjarakennuksen perusteet. Amk-Kustannus Oy.
- Kivikoski, H. 2007. Talonrakennuksen routasuojausohjeet. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Liikennevirasto. 2018. Ratatekniset ohjeet osa 3, radan rakenne. Liikenneviraston ohjeita 13/2018. Helsinki: Liikennevirasto
- Nurmikolu, A. 2004. Murskatun kalliokiviaineksen hienoneminen ja routivuus radan rakennekerroksissa. Ratahallintokeskus. <http://www.doria.fi/handle/10024/146370>. 4.3.2019.
- Rantamäki, M. & Jääskeläinen, R. & Tammirinne, M. 1979. Geotekniikka. Helsinki: Yliopistokustannus Oy.
- Rantamäki, M. & Tammirinne, M. 1979. Pohjarakennus. Helsinki: Yliopistokustannus Oy.
- RIL ry. 2013. RIL 261-2013 Routasuojaus rakennukset ja infrarakenteet. Helsinki.
- SFS-Standardit. 2017. Geotekninen tutkimus ja koestus. SFS-EN ISO 14688-1-8 Maantunnistaminen ja luokitus. Osa 1: Tunnistaminen ja kuvaus.
- SFS-Standardit. 2017. Pintavastukset. SFS-EN ISO 6946:2017:en. Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculation methods. Table 7. 4.3.2019.
- Ympäristöministeriö. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. Lämmöneristys, ohjeet luonnos 2012. Helsinki.
- Ympäristöministeriö. 2017. Suomen säädöskokoelma. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 2017. Helsinki.
- Ympäristöministeriö. 2018. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakenteiden lujuus ja vakaus. 2018. Helsinki.

## PDF-tuloste routasuojaslaskurista.

## Rakennuksen routasuojaus: maanvarainen alapohja

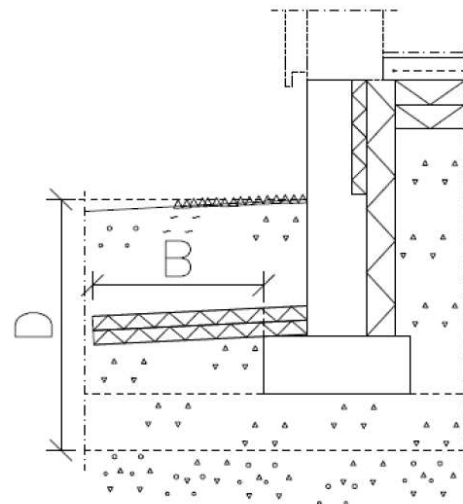
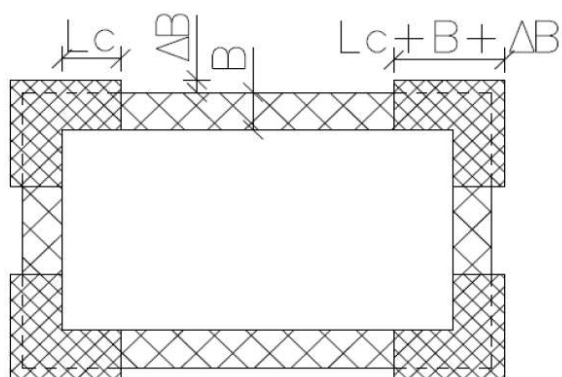
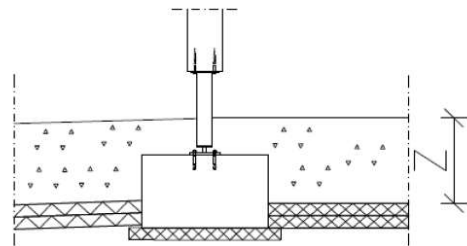
Kohde: Vartiainen

Kunta: Joensuu

Mitoituspakkasmäärä	$F_{50} = 48000 \text{ Kh}$
Perustussyvyys:	$D = 0,8 \text{ m}$
Kylmien rakenteiden routaeristeen syvyys maanpinnasta:	$Z = 0,4 \text{ m}$

Rakennuksen lämpimien osien routasuojaus						
Eriste	Lämmönjohtavuus $\lambda$ [W/Km] maakerrosten välissä	Seinälinjalla	Nurkissa	Routaeristeen leveys B, [m]	Routaeristeen lisäleveys $\Delta B$ , [m]	Nurkan routasuojauksen laajuus $L_c$ , [m]
		Minimi eriste-paksuus [mm]	Minimi eriste-paksuus [mm]			
EPS 120 Routa	0,041	100	120	1	0	1,5
XPS 300	0,036	50	100	1	0	1,5

Kylmien osien routasuojaus		
Eriste	Minimi eriste-paksuus mm	Routaeristeen leveys B, m
EPS 120 Routa	120	2,0
XPS 300	100	2,0



## Pakkasmäärät paikkakunnittain

Kunta	F50
Akaa	38000
Alajärvi	43000
Alavieska	47000
Alavus	41000
Asikkala	39000
Askola	36000
Aura	33000
Brändö	32000
Eckerö	32000
Enonkoski	45000
Enontekiö	69000
Espoo	34000
Eura	34000
Eurajoki	34000
Evijärvi	44000
Finström	32000
Forssa	37000
Föglö	32000
Geta	32000
Haapajärvi	48000
Haapavesi	47000
Hailuoto	50000
Halsua	44000
Hamina	38000
Hammarland	32000
Hankasalmi	45000
Hanko	32000
Harjavalta	35000
Hartola	43000
Hattula	38000
Hausjärvi	36000
Heinola	40000
Heinävesi	48000
Helsinki	34000
Hirvensalmi	43000
Hollola	38000
Honkajoki	38000
Huittinen	37000
Humpkala	37000
Hyrnsalmi	55000
Hyvinkää	36000
Hämeenkyrö	38000
Hämeenlinna	38000
Ii	55000
Iisalmi	49000
Iitti	39000
Ikaalinen	38000

Kunta	F50
Ilmajoki	41000
Ilomantsi	50000
Imatra	42000
Inari	67000
Inkoo	33000
Isojoki	38000
Isokyrö	40000
Janakkala	37000
Joensuu	48000
Jokioinen	37000
Jomala	32000
Joroinen	45000
Joutsa	44000
Juuka	50000
Juupajoki	43000
Juva	44000
Jyväskylä	44000
Jämijärvi	37000
Jämsä	43000
Järvenpää	35000
Kaarina	33000
Kaavi	49000
Kajaani	51000
Kalajoki	46000
Kangasala	39000
Kangasniemi	44000
Kankaanpää	38000
Kannonkoski	47000
Kannus	45000
Karjajoki	38000
Karkkila	35000
Karstula	46000
Karvia	39000
Kaskinen	38000
Kauhajoki	39000
Kauhava	43000
Kauniainen	34000
Kaustinen	44000
Keitele	48000
Kemi	55000
Kemijärvi	65000
Keminmaa	56000
Kemiönsaari	34000
Kempele	55000
Kerava	35000
Keuruu	44000
Kihniö	43000
Kinnula	47000

Kunta	F50
Kirkkonummi	34000
Kitee	47000
Kittilä	68000
Kiuruvesi	49000
Kivijärvi	46000
Kokemäki	37000
Kokkola	45000
Kolari	68000
Konnevesi	45000
Kontiolahti	49000
Korsnäs	39000
Koski Tl	36000
Kotka	37000
Kouvola	39000
Kristiinankaupunki	37000
Kruunupyy	44000
Kuhmo	55000
Kuhmoinen	40000
Kumlinge	32000
Kuopio	49000
Kuortane	43000
Kurikka	41000
Kustavi	32000
Kuusamo	63000
Kyyjärvi	45000
Kärkölä	37000
Kärsämäki	48000
Kökar	32000
Lahti	39000
Laihia	40000
Laitila	34000
Lapinjärvi	36000
Lapinlahti	49000
Lappajärvi	45000
Lappeenranta	41000
Lapua	43000
Laukaa	45000
Lemi	40000
Lemland	32000
Lempäälä	38000
Leppävirta	47000
Lestijärvi	45000
Lieksa	52000
Lieto	34000
Liminka	50000
Liperi	48000
Lohja	35000
Loimaa	38000

Kunta	F50
Loppi	37000
Loviisa	35000
Luhanka	43000
Lumijoki	50000
Lumparland	32000
Luoto	43000
Luumäki	40000
Maalahti	40000
Maarianhamina	32000
Marttila	35000
Masku	34000
Merijärvi	48000
Merikarvia	36000
Miehikkälä	39000
Mikkeli	44000
Muhos	51000
Multia	45000
Muonio	70000
Mustasaari	40000
Muurame	44000
Mynämäki	34000
Myrskylä	37000
Mäntsälä	37000
Mänttä-Vilppula	43000
Mäntyharju	42000
Naantali	33000
Nakkila	34000
Nivala	47000
Nokia	38000
Nousiainen	35000
Nurmes	52000
Nurmijärvi	35000
Närpiö	39000
Orimattila	38000
Oripää	36000
Orivesi	39000
Oulainen	48000
Oulu	52000
Outokumpu	49000
Padasjoki	39000
Paimio	34000
Paltamo	53000
Parainen	33000
Parikkala	45000
Parkano	40000
Pedersöre	44000
Pelkosenniemi	67000
Pello	65000
Perho	45000

Kunta	F50
Pertunmaa	44000
Petäjavesi	44000
Pieksämäki	46000
Pielavesi	48000
Pietarsaari	43000
Pihtipudas	48000
Pirkkala	38000
Polvijärvi	50000
Pomarkku	35000
Pori	35000
Pornainen	36000
Porvoo	35000
Posio	64000
Pudasjärvi	60000
Pukkila	36000
Punkalaidun	37000
Puolanka	55000
Puumala	44000
Pyhtää	36000
Pyhäjoki	48000
Pyhäjärvi	49000
Pyhäntä	50000
Pyhäranta	33000
Pälkäne	39000
Pöytyä	35000
Raahe	49000
Raasepori	34000
Raisio	34000
Rantasalmi	47000
Ranua	61000
Rauma	34000
Rautalampi	48000
Rautavaara	51000
Rautjärvi	44000
Reisjärvi	49000
Riihimäki	37000
Ristijärvi	56000
Rovaniemi	67000
Ruokolahti	44000
Ruovesi	44000
Rusko	35000
Rääkkylä	48000
Saarijärvi	47000
Salla	65000
Salo	35000
Saltvik	32000
Sastamala	37000
Sauvo	34000
Savitaipale	42000

Kunta	F50
Savonlinna	47000
Savukoski	67000
Seinäjoki	42000
Sievi	47000
Siikainen	38000
Siikajoki	50000
Siikalatva	50000
Siilinjärvi	49000
Simo	59000
Sipoo	34000
Siuntio	34000
Sodankylä	68000
Soini	45000
Somero	36000
Sonkajärvi	50000
Sotkamo	53000
Sottunga	32000
Sulkava	45000
Sund	32000
Suomussalmi	58000
Suonenjoki	47000
Sysmä	43000
Säkylä	35000
Taipalsaari	43000
Taivalkoski	59000
Taivassalo	34000
Tammela	37000
Tampere	40000
Tervo	48000
Tervola	60000
Teuva	40000
Tohmajärvi	48000
Toholampi	45000
Toivakka	45000
Tornio	58000
Turku	33000
Tuusniemi	48000
Tuusula	36000
Tyrnävä	50000
Ulvila	35000
Urkala	37000
Utajärvi	54000
Utsjoki	65000
Uurainen	45000
Uusikaarlepyy	43000
Uusikaupunki	33000
Vaala	53000
Vaasa	41000
Valkeakoski	38000

Kunta	F50
Valtimo	52000
Vantaa	34000
Varkaus	47000
Vehmaa	34000
Vesanto	48000
Vesilahti	37000
Veteli	45000
Vieremä	50000
Vihti	36000
Viitasaari	48000
Vimpeli	45000
Virolahti	47000
Virrat	43000
Vårdö	32000
Vöyri	41000
Ylitornio	61000
Ylivieska	48000
Ylöjärvi	41000
Ypäjä	37000
Ähtäri	45000
Äänekoski	46000