

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talonrakennustekniikka
Matti Nisukangas

Opinnäytetyö

Routasuojauksen mitoitus asuinrakennusten lämmöneristä- vyyttä parannettaessa

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 04/2009

DI Raimo Koreasalo
Optiplan Oy, valvojana ryhmäpäällikkö rak.ins. Päivi Ihalmo

Nisukangas Matti

Routasuojauksen mitoitus asuinrakennusten lämmöneristävyyttä parannettaessa
57 sivua + 5 liitesivua

Työn ohjaaja DI Raimo Koreasalo

Työn teettäjä Optiplan Oy, valvojana ryhmäpäällikkö rak.ins. Päivi Ihalmo
Huhtikuu 2009

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin kiristyvien lämmöneristysmääräysten vaikutusta asuinrakennusten routasuojaukseen. Työn tarkoituksena oli selvittää vaadittava routasuojautaso ja laatia suunnitteluohje vastaamaan uusia määräyksiä ja ohjeita. Työssä selvitettiin roudan syntymistä, routasuojauksen mitoitusperusteita, routasuojausmateriaaleja ja tulevaisuuden näkymiä. Mitoituksessa keskityttiin Etelä- ja Keski-Suomen ilmasto-
vyöhykkeisiin ja tilaajan yleisesti käyttämiin rakenneratkaisuihin. Työ tehtiin Optiplan Oy:lle nopeuttamaan ja yhtenäistämään asuinrakennusten routasuojaussuunnittelua laatimalla karkea mitoitusohje kohdekohtaisen suunnittelun avuksi ja tekemällä täydennyksiä routasuojauksen mallisuunnitelmaan.

Tiedonlähteinä työssä käytettiin routasuojaukseen käsittelevää kirjallisuutta ja uusimpia tutkimusraportteja matalaenergiaratkaisujen vaikutuksista. Lisäksi työssä haastateltiin alan ammattilaisia sekä tarkasteltiin yrityksen käytössä olevia vakiorakenneratkaisuja ja vanhojen kohteiden routasuojaussuunnitelmia. Tuloksia tullaan hyödyntämään jatkossa Optiplanin asuinrakennusten routasuojaussuunnitelmien laadinnassa. Työn tulosten perusteella lämmöneristysmääräysten kiristäminen vaikeuttaa suunnittelua erityisesti määräystasoa paremmin eristettävän ryömintätilaisen alapohjan yhteydessä. Tutkimuksessa todettiin lisäksi, että energiasäästötavoitteiden mukana kasvavat eristepaksuudet tulee jatkossa huomioida entistä tarkemmin alapohjan kosteusteknisen ja routasuojauksen toiminnan kannalta.

Nisukangas Matti

Dimensioning of buildings frost insulation when improving thermal insulation capacity
57 pages + 5 appendices

Thesis Supervisor: Raimo Koreasalo (M.Sc)

Commissioning Company: Optiplan Oy. Supervisor Team Leader Päivi Ihalmo (B.Sc)

April 2009

Abstract

The purpose of this engineering thesis was to investigate the effects on buildings frost insulation as result of tightening the thermal insulation regulations in 2010.

The thesis objective was to update commissioning company's model drawing and to create a design guide. The guide was designed to be used with typical foundation structures in the southern Finland. This thesis was meant to help Optiplan in designing frost insulations faster and more homogeneously.

Information was gathered from literature, latest research releases and by interviewing some experts in this field. As result of this thesis it was clear that crawlspace is the most difficult structure when thermal insulation is improved beyond incoming regulation level. This thesis concluded that freezing soil designing requires even more specific dimensioning in the future.

Sisällysluettelo

1	Johdanto	6
2	Lämmöneristysmääräykset	7
2.1	Nykyiset vaatimukset.....	7
2.2	Vaatimukset 2010.....	7
3	Routimisilmiö	8
3.1	Käsitteet	8
3.1.1	Fysikaalinen selitys.....	9
3.1.2	Termodynaaminen selitys.....	9
3.2	Routivuus	10
3.2.1	Routivuuden määrittäminen.....	10
3.2.2	Routivuuskriteeri.....	11
3.2.3	Routanousukoe.....	11
3.3	Routavauriot	11
3.3.1	Roudan haittavaikutukset.....	11
3.3.2	Routavaurioiden yleisimmät syyt.....	12
4	Mitoitustekijät	14
4.1	Yleistä	14
4.2	Maalaji	14
4.3	Vapaa vesi	15
4.4	Ilmasto	15
4.5	Perusrakenne	16
4.5.1	Maanvastainen perustus.....	17
4.5.2	Ryömintätilainen perustus.....	18
5	Kuivatus	19
6	Routasuojausmateriaalit	20
6.1	Yleistä	20
6.2	Olosuhteet	20
6.3	Lämmönjohtavuus	21
6.4	Kevytsora	21
6.5	XPS	21
6.6	EPS	22
6.7	NCC-ratkaisu	22
7	Mitoitus	24
7.1.1	Mitoituksen lähtökohdat.....	24
7.1.2	Routasuojauksen periaatteet.....	24
7.1.3	Roudan syvyys.....	25
7.1.4	Roudaton perustussyvyys.....	26
7.2	Maanvastainen alapohja	27
7.2.1	Alapohjaeristys.....	27
7.2.2	Perusmuurieristys.....	29
7.2.3	Routaeristeen paksuus.....	30
7.2.4	Nurkka-alue.....	32
7.2.5	Routaeristeen leveys.....	32

7.3 Ryömintätilainen alapohja	33
7.3.1 Alapohjaeristys	34
7.3.2 Ryömintätilan olosuhteet	34
7.3.3 Perusmuurieristys	35
7.3.4 Routaeristeen paksuus	36
7.3.5 Routasuojauksen laajuus	37
7.3.6 Nurkka-alueet	38
7.4 Kylmät rakennusosat	38
7.4.1 Routavaurioille arat rakenteet	40
7.4.2 Kevyet rakenteet	41
8 Matalaenergiarakenteet	42
8.1 Kosteustekninen toiminta	42
8.1.1 Maanvastainen alapohja	42
8.1.2 Ryömintätilainen alapohja	43
8.1.3 Ryömintätilan maapohjan lämmöneristys	44
8.2 Lämpötekkinen toiminta	45
8.2.1 Maanvastainen alapohja	45
8.2.2 Ryömintätilainen alapohja	46
8.3 Rakennetekninen toiminta	46
8.4 Johtopäätökset tutkimuksista	47
8.4.1 Maanvastainen alapohja	47
8.4.2 Ryömintätilainen alapohja	48
9 Tulevaisuuden pohdinnat	49
9.1 Energian säästötavoitteet	49
9.2 Lämmöneristysmääräykset	49
9.3 Ilmastonmuutos	50
10 Yhteenveto	52
10.1 Kylmien rakenteiden routasuojaus	52
10.2 Maanvastaisen alapohjan routasuojaus	52
10.3 Ryömintätilaisen alapohjan routasuojaus	52
Lähdeluettelo	54
Liitteet	58
Liite 1: Esimerkkilaskelmat	58
Liite 2: Mitoitusohje	62

1 Johdanto

Maapohjan jäätyminen ja sulaminen ovat Suomessa vuosittain toistuvia ilmiöitä ja valtaosa rakennusten perustuksista tehdään routiville maapohjille. Routa on rakenteille usein haitta- tai jopa vaaratekijä. Roudan syntymiseen ja ilmenemiseen vaikuttavien tekijöiden tunteminen on tarpeellista perustusrakenteita suunniteltaessa. Tässä työssä käsitellään routimiseen vaikuttavia tekijöitä, routasuojausmateriaaleja ja asuinrakennusten routasuojauksen mitoitusta tämän hetkisten ohjeiden mukaan sekä arvioidaan tulevaisuuden kehitystä ja routaeristystarvetta.

Ilmastonmuutoksen myötä energian säästämistä on tullut viime vuosina ajankohtainen puheenaihe ympäri maailmaa. EU-maat ovat sitoutuneet merkittäviin hiilidioksidipäästöjen vähennyksiin Kioton sopimuksessa. Rakennus- ja kiinteistöala on Suomen merkittävin yksittäinen energiankuluttaja minkä seurauksena rakennusosalalla on alettu kiinnittää entistä enemmän huomioita energian kulutukseen. Työn tilaajana toiminut NCC-konserni on ollut jo pitkään kehittämässä energian kulutusta pienentäviä ratkaisuja rakennusosalalle. NCC teki mm. päätöksen Suomessa asuinrakentamisen siirtymisestä matalaenergiarakentamiseen ennen uusien lämmöneristysmääräysten julkistamista.

Opinnäytetyön aihe tuli ajankohtaiseksi laajan NCC Green Living -matalaenergia-asuinrakennusten kehitysprojektin ja vuoden 2010 alusta kiristyvien lämmöneristysmääräysten myötä. Työn sisältö perustuu pääosin olemassa oleviin mitoitusohjeisiin ja viime aikoina julkaistuihin tutkimustietoihin matalaenergiaratkaisujen toimivuudesta. Yhtenä osa-alueena työssä on nykyisten mitoitusohjeiden ja kiristyvien lämmöneristysmääräysten mukaisen mitoitusmallin laatiminen Optiplan Oy:n käyttöön.

2 Lämmöneristysmääräykset

Rakennusten lämmöneristävyys suunnitellaan tavanomaisesti vastaamaan sen hetkisiä lämmöneristysmääräyksiä, joten kulloinkin voimassa olevilla lämmöneristysmääräyksillä on suora vaikutussuhde rakennuksen eristevahvuuksiin ja sen kautta myös routasuojatarpeeseen. Suomen rakentamismääräyskokoelmassa on asetettu lämmönläpäisykerroinvaatimukset seuraaville rakennusosille: seinä, yläpohja, ovi, ikkuna, ryömintätilaan rajoittuva alapohja ja maata vasten oleva rakennusosa. Rakennusosista ainoastaan kaksi jälkimmäistä vaikuttavat suoraan routasuojauksen mitoittamiseen.

2.1 Nykyiset vaatimukset

Suomen rakentamismääräyskokoelman osaa C3 Rakennuksen lämmöneristys, määräykset kiristettiin edellisen kerran vuoden 2008 alusta. Tällä hetkellä voimassaolevien määräysten mukaan maata vasten olevan rakennusosan lämmönläpäisykerroin saa olla enintään $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja ryömintätilaan rajoittuvan alapohjan $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Suomen rakentamismääräyskokoelma C3 2007, 5).

2.2 Vaatimukset 2010

Tammikuun ensimmäinen päivä 2010 voimaan astuvissa uusissa lämmöneristysmääräyksissä lämmönläpäisykerroimen arvo maata vasten olevalle rakennusosalle saa olla enintään $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja ryömintätilaan rajoittuvalle alapohjalle $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. Uusissa määräyksissä todetaan myös, että alapohjan lämmöneristys pitää suunnitella ja toteuttaa yhdessä routaerityksen kanssa niin, ettei routavaurioita ei pääse tapahtumaan. Erityistä huomiota on kiinnitettävä tehtäessä alapohja vähimmäisvaatimuksia paremmin eristävänä (Suomen rakentamismääräyskokoelma C3 2010, 7).

3 Routimisilmiö

3.1 Käsitteet

Roudaksi kutsutaan maan huokosissa olevan veden jäätyminen seurauksena kovettunutta maakerrosta. Maassa olevan veden katsotaan jäätyvän, kun maan lämpötila laskee alle 0°C. Routimiseksi kutsutaan puolestaan routakerroksen tilavuuden muuttumista (Kivikoski 2007, 10 - 11). Luonnonmaassa huokosveden jäätympiste on hiukan alhaisempi huokosveden epäpuhtauksien ja sähkökemiallisen pintavaikutuksen takia. Veden jäätyessä sen tiheys pienenee ja tilavuus kasvaa n. 9 % (Saarelainen 1986b, 1 - 2).

Routaantumisen seurauksena maan tekniset ominaisuudet muuttuvat ja maan lujuus kasvaa merkittävästi. Routimisessa maahan muodostuu tavallisesti puhdasta jäätä olevia kerroksia ja linssejä. Jäälinsseit voivat olla muutamasta senttimetristä jopa 30 cm paksuja. Routanousuksi kutsuttua maanpinnan kohoamista tapahtuu, kun veden tilavuus kasvaa jäätyminen seurauksena. Keväällä routineen maan sulaessa maa pehmenee ja routimisen aikana nousseet rakenteet painuvat alaspäin. Painuminen tapahtuu usein epätasaisesti ja epätäydellisesti (Keinonen 1985, 1).

Routaa esiintyy neljässä eri muodossa: pintarouta eli rouste, onkalorouta, massiivinen routa ja kerrosrouta. Pintaroutaa esiintyy ensipakkasilla, ja se muodostuu pystysuorista jääneulasista, joiden yläpäässä on ohut maakerros. Pintaroudan tapauksessa maa säilyy sulana jääneulasten alapuolella. Onkalorouta muodostaa pieniä jääneulasia muokatun ja löyhän maan pintakerrosten onkaloihin jäätyneestä vedestä. Massiivinen routa syntyy koko talvikauden aikana, eikä siinä tapahdu tilavuusmuutoksia. Maarakeet jäätyvät toisiinsa kiinni muodostamatta selvästi näkyvää jääkerrosta. Massiivista routaa muodostuu lähinnä karkearakeisissa maalajeissa ja turpeessa. Kerrosrouta on rakentamisen kannalta hankalin tapaus, koska siinä muodostuu routanousua aiheuttavia jääkerroksia ja -linssejä (Rantamäki, Jääskeläinen, Tammirinne 1979, 115 - 116).

3.1.1 Fysikaalinen selitys

Routimisilmiön syitä ja selitysmalleja on tutkittu jo pitkään. Yleisimmät selitysmallit perustuvat joko kapillaarisuuteen tai termodynamiikkaan (Saarelainen 1986b, 2).

Fysikaalisen selityksen mukaan maahiukkasten ulkopinnassa oleva negatiivinen sähkövaraus vetää puoleensa sähköisesti varautuneita vesimolekyylejä. Vetovoima kasvaa sitä mukaan mitä lähempänä maahiukkanen ja vesimolekyyli ovat toisiaan (Keinonen 1985, 2). Pintajännitys on sitä suurempi, mitä pienempi maahiukkasten kaarevuussäde on. Tästä seuraa, että hienorakeisemmalla maalla on suurempi kapillaarinen vetovoima (Saarelainen 1986b, 2). Maaperän lämpötilan laskiessa tarpeeksi alhaiseksi vesimolekyylit alkavat jäätymään. Jäätynyt vesimolekyyli on sähköisesti neutraali, joten se irtoaa maahiukkasen vetovoimakentästä. Jäämolekyylit liittyvät jääkiteeksi jäätyvän maan huokosten keskelle. Jääkiteet kelluvat vesivaipan päällä joten maahiukkasen väliin jää tilaa uusille vesimolekyyleille, joita maahiukkaset vetävät edelleen puoleensa (Keinonen 1985, 2).

3.1.2 Termodynaaminen selitys

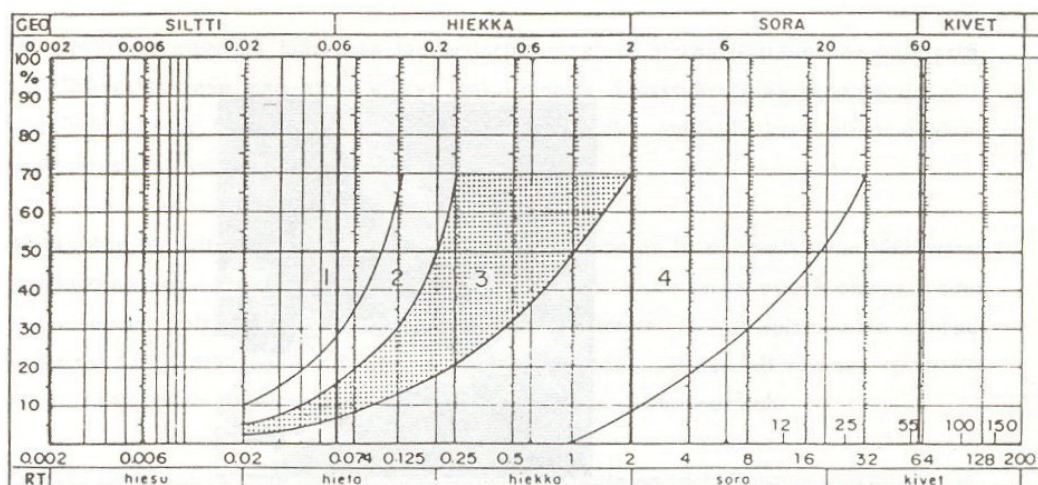
Termodynaaminen selitys perustuu maarakeiden pinnalla olevien vesikalvojen jäätymiseen alle 0 °C:n lämpötilassa. Jäätymättömän veden termodynaaminen potentiaali on sitä alempi, mitä alempi lämpötila on. Jäätymisvyöhykkeelle muodostuu vedenpaine-ero, joka imee vettä sulan maan puolelta jäätymisrajalle. Termodynaamisen mallin on kokeellisesti todistettu olevan lähempänä todellisia routavyöhykkeen vedenpaineen arvoja kuin kapillaarisuuteen perustuvan mallin (Saarelainen 1986b, 3).

3.2 Routivuus

3.2.1 Routivuuden määrittäminen

Käytettäessä suunnittelun lähtökohtana routimatonta maaperää on routimattomuus osoitettava luotettavasti rakennuspohjalta otetuilla näytteillä (Jääskeläinen 2003, 104). Routivuutta määritettäessä on tarkasteltava maakerroksia pinnasta routasyvyyteen asti, koska maapohjan routivuus voi muuttua huomattavasti eri maakerroksissa. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon maalajin vaihtelut rakennuspohjalla epätasaisen routanousun esittämiseksi. Rakennuspaikan pohjatutkimuksen yhteydessä pitää selvittää myös vallitsevat pohjavesiolosuhteet, koska ne vaikuttavat merkittävästi maapohjan routivuuteen (Mäkelä 1992; 42, 46).

Routivuutta arvioidaan usein hienoainespitoisuuden, maalajin kapillaarisuuden ja routanousu- tai sulamiskantavuuskokeiden avulla (Saarelainen 1986b, 5). Yleisimmin routivuutta arvioidaan maa-aineksen rakeisuuskäyrän (kuvio 1) perusteella (Kivikoski 2007, 11 - 12). Maa-ainekset jaetaan laboratoriotutkimusten perusteella kolmeen routivuusryhmään maalajin ja kapillaarisuuden perusteella (Saarelainen 1986b, 2). Rajatapauksissa rakeisuuteen perustuvan routivuusarvioinnin tukena voidaan käyttää maa-aineksen kapillaarisuuden määrittämistä. Maalajin katsotaan olevan routimaton, jos sen kapillaarinen nousukorkeus jää alle yhden metrin (Eerola 1986, 84).



Kuvio 1: Rakeisuuskäyrä (Nieminen 1987, 93)

3.2.2 Routivuuskriteeri

Routivuuskriteerillä tarkoitetaan maalajin routivuutta kuvaavaa ominaisuutta (Kivikoski 2007, 11). Routivuuskriteeri voidaan määrittää kolmeen menettelytapaan perustuen: rakeisuuteen, routanousukokeeseen ja kenttähavaintoihin (Mäkelä 1992, 43). Viime vuosikymmenien aikana julkaistuissa routivuuskriteereissä huomiota kiinnitetään alle 0,02 mm:n rakeiden suhteelliseen osuuteen ja rakeisuuskäyrän muotoon (Rantamäki, Jääskeläinen, Tamminne 1979, 117). Casagranden routivuuskriteeri on yleisin ja kenties yksikertaisin kansainvälisessä käytössä oleva routivuuden arviointimenetelmä. Sen mukaan routivat maa-ainekset sisältävät yli 3 % alle 0,02 mm:n kiviainesta (Saarelainen 1986b, 5). Rakeisuuskäyrää luotettavampia keinoja routivuuden arviointiin ovat laboratoriossa tehtävät routanousu- ja kapillaarisuuskokeet sekä maastossa tehtävät routanousuhavainnot (Suomen Rakentamismääräyskokoelma B3 2004, 7). Luotettavin tapa routivuuden määrittämiseen on kenttähavaintojen tekeminen ainakin yhden talvikauden ajan. Tätä menetelmää voidaan käyttää useimmiten vain korjausrakentamiskohteissa (Mäkelä 1992, 46).

3.2.3 Routanousukoe

Laboratoriossa tehtävä routanousukoe kertoo maalajin suhteellisesta routivuudesta. Routanousukokeessa pyritään mallintamaan mahdollisimman hyvin rakennuspaikan todellisia olosuhteita. Kokeen perusteella pystytään arvioimaan suhteellista routanousua noin ± 30 %:n tarkkuudella todellisiin arvoihin verrattuna. (Mäkelä 1992, 46).

3.3 Routavauriot

3.3.1 Roudan haittavaikutukset

Routiminen aiheuttaa rakenteille ongelmia siirtymien ja voimavaikutusten muodossa. Useimmiten routapaine muodostuu niin suureksi, että se riittää nostamaan rakenteiden painon eikä nousua voida estää tavanomaisin rakenneratkaisuin. Routineen maan sulamisen aiheuttamat painumat tuottavat ongelmia routivalle maapohjalle perustettaessa.

Routiminen aiheuttaa myös leikkausvoimarasituksia, esimerkiksi ympäröivän maanaineuksen jäätyessä kiinni paaluun (Saarelainen 1986b, 1).

Routapaineesta pystysuoriin rakenteisiin aiheutuva leikkausvoima vaihtelee materiaalista riippuen, esimerkiksi teräspaaluissa se on suurempi kuin puu- tai betonipaaluissa. Routapaine kasvaa lämpötilan laskiessa ja suurin routapaine esiintyy lämpötilan alentuessa voimakkaasti (Kivikoski 2007, 17).

Maalajin vaihtelu ja veden epätasainen virtaus rakennuspohjalla aiheuttavat routanousun epätasaisuutta. Epätasainen nousu aiheuttaa kallistumia ja halkeamia perustuksissa, tutkimuureissa, seinissä jne. Routanousu saattaa olla otollisissa olosuhteissa jopa useita kymmeniä senttimetrejä. Erityisen riskialttiita kohtia ovat routimattomalla maapohjalla olevien rakenteiden liittyminen routivalla maapohjalla oleviin rakenteisiin ja kylmien rakenteiden liittyminen lämpimiin rakenteisiin. Paaluille perustetut rakenteet ovat antura- ja laattaperustuksia herkempiä epätasaiselle routanousulle. Maan pinnantasauksen routiessa pintavesi pääsee keväällä lammikoitumaan rakennuksen läheisyyteen, mikä voi johtaa edelleen kosteusvaurioihin. Toisinaan perustusrakenteet eivät laskeudu alkuperäiseen korkeusasemaansa roudan sulaessa, mikä johtaa ajan myötä paheneviin routavaurioihin (Kivikoski 2007, 16 - 19).

3.3.2 Routavaurioiden yleisimmät syyt

Routasuojaussuunnitelman laatii useimmiten rakennesuunnittelija, vaikka kaikilla rakennesuunnittelijoilla ei ole riittävää maarakenteiden tuntemusta. Suurin osa routavaurioista aiheutuu puutteellisista suunnitelmista. Eniten virheitä tapahtuu pientalorakentamisessa, jossa suunnitteluun panostetaan vähemmän. Työnaikaisia virheitä sattuu lähinnä talviaikaan, jolloin suunnitelmien noudattaminen jäisen maan takia on työläämpää. Toisena työnaikaisena tekijänä raskas työmaakalusto saattaa rikkoa valmiita routasuojausyksiköitä. Virheitä materiaalivalinnoissa tapahtuu lähinnä erittäin kosteissa pohjaolosuhteissa, joissa routasuojausmateriaaleilta vaaditaan erityistä pitkäaikaiskestävyyttä (Mäkelä 1992, 7-8).

Routavaurioiden yleisimmät syyt

- mitoitus- ja suunnitteluvirheet sekä -puutteet
- virheellinen laatutason valinta
- työnaikaiset virheet
- virheelliset materiaalivalinnat
- ympäristö-olosuhteiden muuttuminen
- käytön aikaiset virheet (Mäkelä 1992, 7).

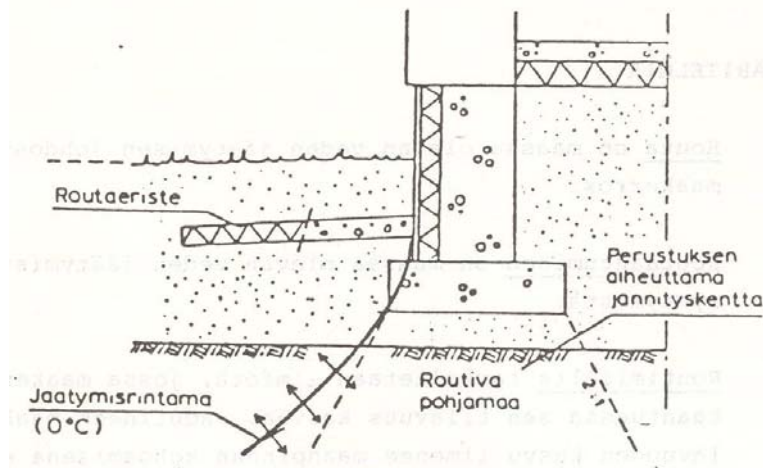
Timo Salmi korostaa työjohton merkitystä routavaurioiden estämisessä Routa rakentamisessa kirjassa, jossa kerrotaan Kostamuksen rakentamisen aikaisista routavaurioista vuosina 1977 - 84. Tapahtuneista routavaurioista suurin osa johtui työnaikaisista virheistä. Eniten ongelmia oli kunnallisteknisissä töissä, mutta vaurioita ilmeni myös talonrakennuspuolella. Salmi toteaa työnjohtajien kontrollin ja pätevien työntekijöiden vaikuttavan enemmän talvirakentamisen onnistumiseen kuin suunnitelmat ja routasuojaukselle asetetut tekniset vaatimukset. Salmen mukaan riskitietoinen työnjohto pystyi estämään routavauriot yksinkertaisilla ja edullisilla valvontamittauksilla ja routasuojaustoimenpiteillä (Salmi 1985, 11).

Raimo Jääskeläisen mukaan routavaurioita esiintyi aiemmin varsin runsaasti kylmissä ja puolilämpimissä rakennuksissa sekä osan vuodesta kylmänä olevissa rakennuksissa. Jääskeläisen mukaan routavauriot ovat aiheutuneet puutteellisista suunnitelmista ja kustannusten karsimisesta. Nykyisin pientalorakentamisessa kiinnostus kunnollisen routasuojauksen toteuttamiseen on kuitenkin kasvanut ja sen suunnittelu perustuu ajanmukaisiin ohjeisiin (Jääskeläinen 2003, 104).

4 Mitoitustekijät

4.1 Yleistä

Merkittävimpiä routimiseen vaikuttavat tekijöitä ovat routaantumisnopeus, sulan maan vedenläpäisevyys, alipaine routarajalla ja vapaan veden määrä. Routimiseen vaikuttavat lisäksi seuraavat tekijät: maan jännitystila, maalajin huokosjakauma, huokosveden laatu, mineraalikoostumus ja veden liikkeet maassa. Normaalisti näitä tekijöitä ei oteta routivuuden arvioinnissa huomioon, koska niiden arvioiminen on käytännössä vaikeaa (Kivikoski 2007, 11 – 13; Saarelainen 1986b, 1 - 2). Jäätymisrintama ja rakenteen painosta aiheutuva maan puristuskenttä on esitetty kuviossa 2.



Kuvio 2: Routasuojauksen periaate (Petäjä 1985, 2)

4.2 Maalaji

Useimpien maalajien lämmönjohtavuus suurenee maan vesipitoisuuden ja tiheyden kasvaessa (Kivikoski 2007, 13). Lämpöteknisiä ominaisuuksia voidaan arvioida maan tiheyden, raekoon, mineraalikoostumuksen ja vesipitoisuuden perusteella. Lämmönjohtavuuteen ja tilavuuteen vaikuttaa lähinnä maan huokosvesi. Lämmönjohtavuus pienenee orgaanisten aineiden osuuden kasvaessa (Helander 1986, 31).

Maalajia ei yleensä huomioida routasuojauksen mitoituksessa routivalla maapohjalla, mutta roudan syvyyttä arvioitaessa se on huomioitava. (Talonrakennuksen rou-

tasuojaohjeet 2007, 12). Maanvastaisen alapohjan lämmönvastuksen laskennassa tulisi selvittää perusmaan maalaji, koska se vaikuttaa rakenteen kokonaislämmönvastukseen, kuten taulukosta 1 voi havaita.

4.3 Vapaa vesi

Maan huokosvesi voi esiintyä nesteinä, vesihöyryinä tai jäänä. Nestemäisen veden lämpötilakäyttäytyminen riippuu sen sitoutumismuodosta. Vesi voi olla vapaata, kapillaarista tai eri tavoin maahiukkasiin sitoutunutta. Maahiukkasiin sitoutuneen veden jäätymisspisteeseen vaikuttaa vesivaipan paksuus, maan kuormitus ja jäätymisvaiheen pituus (Helander 1986, 32 - 35). Lämpötilan lisäksi jäätyvän veden määrä vaikuttaa maakerrosten jäätymisnopeuteen. Jäätymisvastus on suurempi märässä kuin kuivassa maassa (Kivikoski 2007, 11).

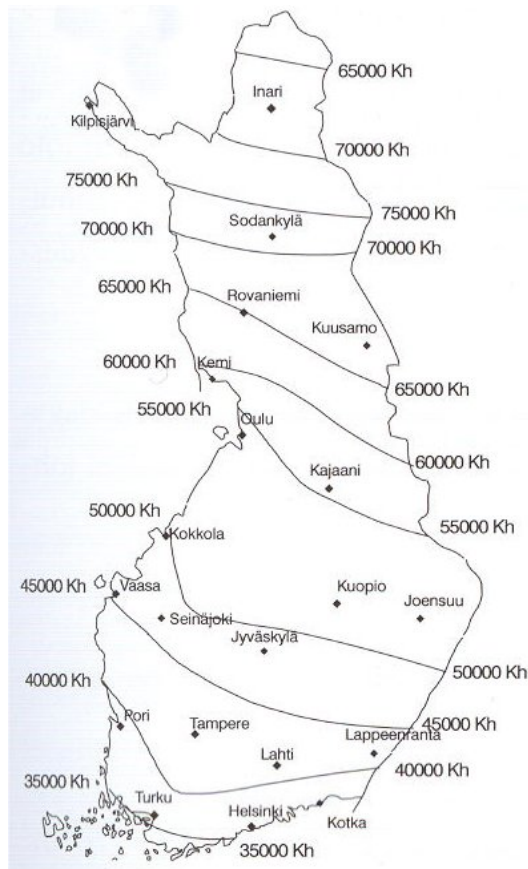
Routimattomankin maan huokosveden jäätyminen on mahdollista, jos maan huokostilan kyllästymisaste on yli 80 - 85 %. Veden virtauksen ollessa estettynä sulasta maasta jäätymisvyöhykkeeseen maan tilavuus kasvaa vain huokosveden tilavuutta vastaavasti. Routimattomassa maassa tällainen routanousu on enintään 3 - 5 % jäätyvän maakerroksen paksuudesta (Saarelainen 1986b, 2).

Tutkimuksissa on havaittu yhteys pohjaveden korkeuden ja routanousun välillä. Mitä alempana pohjaveden korkeusasema on, sitä vähemmän routanousua tapahtuu (Kankare 1986, 101).

4.4 Ilmasto

Ilmasto vaikuttaa luonnollisesti merkittävästi routaolosuhteisiin. Pohjois-Suomessa routa aiheuttaa enemmän ongelmia kuin Etelä-Suomessa. Pakkasmäärät vaihtelevat huomattavasti vuosittain, minkä takia routasuojauksen mitoituksessa käytetään Ilmatieteen laitoksen tilastoista laadittuja keskimääräisiä pakkasmääriä. Talonrakentamisessa käytetään enimmäkseen kerran viidessäkymmenessä vuodessa toistuvaa pakkasmäärää F_{50}

(kuvio 3). Se vastaa käytännössä maksimipakkasmäärää ja on arvoiltaan lähellä kansainvälisissä ohjeissa käytettyä pakkasmäärää F_{100} (Mäkelä 1992, 47).



Kuvio 3: Suomen F_{50} pakkasmäärät (Kivikoski 2007, 27)

Pakkasmäärä on merkittävin ilmastollinen tekijä lämpimien rakenteiden routasuojauksen mitoituksessa. Pakkasmäärän lisäksi vuoden keskilämpötila ja lumen syvyys ovat ilmastollisia tekijöitä, jotka vaikuttavat roudan tunkeutumissyvyyteen. Ne on selvittävä kylmien rakenteiden routasuojauksen mitoitusta varten (Kivikoski 2007, 24 - 25).

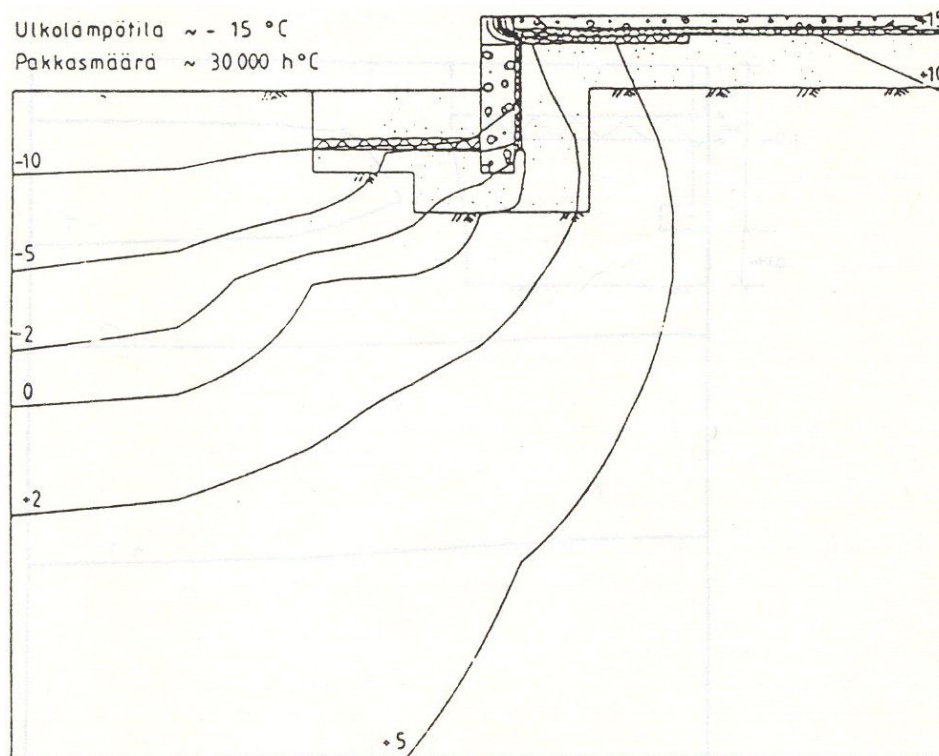
4.5 Perustusrakenne

Alapohjarakenteet jaetaan rakennusfysikaalisen toimintansa perusteella kahteen päätyyppiin: maanvastaisiin alapohjiin ja ryömintätalaisiin alapohjiin (Vinha 2009, 376). Roudan syvyys vaihtelee perustusrakenteen, rakennuksen muodon ja lämpöolosuhteiden mukaan. Luonnontilaisen maan lämpötilakenttä muuttuu huomattavasti, kun maapohjalle tehdään rakennus. Rakennuksen ulkonurkissa routa tunkeutuu syvemmälle kuin sei-

nälinjoilla, koska nurkan lämpötilakenttä on kolmioulotteinen (Kivikoski 1986a, 154; 2007, 28). Lämpövirran laajemmalle alueelle hajautumisen vuoksi lämpimien rakennusten nurkissa tarvitaan enemmän routaeristystä kuin seinälinjoilla.

4.5.1 Maanvastainen perustus

Matalaperustuksella tarkoitetaan perustuksia, jotka jäävät roudattoman syvyyden yläpuolelle. Asuinrakentamisessa perustukset ovat useimmiten matalaperustuksia. Matalaperustus voidaan toteuttaa esimerkiksi maanvaraisella laatalla, maanvastaisella kantavalla laatalla tai ryömintätilaisella alapohjalla. Routivalla maapohjalla matalaperustusten kanssa on käytettävä aina routasuojasta routavaurioiden välttämiseksi (Kivikoski 2007, 10). Kuviossa 4 on esitetty matalaperustuksen läheisyyteen muodostuva lämpötilakenttä.



Kuvio 4: Maanvastaisen alapohjan lämpötilakenttä (Kivikoski 1986b, 20)

4.5.2 Ryömintätilainen perustus

Ryömintätilaisen perustuksen rakenneratkaisu vaikuttaa routasuojauksen mitoittamiseen ryömintätilan korkeuden, tuuletuksen, lämpötilan ja kosteusolosuhteiden muuttuessa (Kivikoski 1986a, 155). Ryömintätilan lämpötilaan vaikuttaa ulkoa otettavan tuuletuksilman lämpötila ja tuuletuksen määrä. Ryömintätilan lämpötilaan vaikuttavat lisäksi lämpövirta alapohjan ja perusmuurin läpi sekä maapohjan lämmönsitomiskyky ja ryömintätilaan mahdollisesti sijoitetut lämpöä luovuttavat putkistot. Ryömintätilan lämpötila laskiessa pidemmäksi aikaa alle 0°C tulee ryömintätilan maapohja routasuojata myös sisäpuolelta perusmuurin läheisyydestä (Kivikoski 2007; 29, 36). Rakentamismääräyskokoelman ohjeen mukaan ryömintätilan korkeuden tulisi olla vähintään 0,8 metriä (Suomen rakentamismääräyskokoelma C2 1998, 9).

5 Kuivatus

Rakennuspohjan kuivatuksen järjestäminen on oleellinen osa toimivaa routasuojaukseen, koska vapaa vesi on yksi routimisen edellytyksistä. Kuivatusrakenteisiin kuuluvat salaojat ja veden kapillaarisen nousun katkaiseva salaojituskerros. Piha-alueiden kuivatukseseen kuuluu pinnantasaus ja tarvittaessa ojitus veden johtamiseksi pois rakennuksen reunoilta ja alta (Kivikoski 2007, 62 - 63). Rakennusten routasuojauksen suunnittelussa lähtökohtaisesti oletetaan, että rakennuspohja on asianmukaisesti kuivatettu (Jääskeläinen 2009, 169). Kuivatuksen merkitys routasuojauksen toiminnan edellytyksenä korostui myös geotekniikan lehtorin haastattelussa (Kulmala 2009).

Rakentamismääräyskokoelma C2:n määräyksiä

- sade- ja sulamisvedet on johdettava pois rakennuksen alta ja perustusten vierestä
- rakennuspohja on salaojitettava veden kapillaarivirtauksen katkaisemiseksi ja pohjaveden pitämiseksi riittävällä etäisyydellä
- maanvastaisen lattian yläpinnan on oltava vähintään 0,3 m rakennuksen ulkopuolisen maanpinnan yläpuolella
- ryömintätalaiseen alapohjaan ei saa päästä kerääntymään vettä ja ryömintätilan pitää kaikkilta osin tuulettua riittävästi
- salaojitus voidaan jättää tekemättä vain, jos erikseen selvitettyä perusmaan vedenläpäisykykyä todetaan riittävän hyväksi eikä pohjaveden korkeus ole haitallinen.

Kuivatusjärjestelmät tulee suunnitella mahdollisimman pitkäikäisiksi, toimintavarmiksi ja helposti huollettaviksi. Salaojitus on suunniteltava joka kohteeseen erikseen rakennuspaikan olosuhteet huomioonottaen. Itse rakenteen lisäksi rakennuspohjan maalaji ja kerrosrakenteet ovat tärkeimmät tekijät kuivatusjärjestelmän määrittelyssä (Kivikoski 2007, 62). Toimiva kuivatus vähentää keväisin sulamisvesien aiheuttamaa routimista. Kuivatuksella voidaan vähentää erityisesti routanousua, jonka merkitys korostuu hienoilla maa-aineksilla (Kankare 1986, 101). Kapillaarisen nousun katkaisevan kerroksen paksumuus määritettäessä suunnittelijan tulee varmistua käytettävän sora- tai sepeliladun kapillaarisesta nousukorkeudesta.

6 Routasuojausmateriaalit

6.1 Yleistä

Routasuojausmateriaaleja ei tarvita routimattomalla maapohjalla, perustettaessa roudattomaan syvyyteen tai tehtäessä routivalla maapohjalle massanvaihto routimattomaan maalajiin. Routivasta maalajista saadaan käytännössä routimatonta, jos maalajin kapillaarinen yhteys pohjaveteen katkaistaan. Karkearakeisesta maalajista tehtyä eristyskerrosta käytetään hyväksi erityisesti maanrakennuksessa (Rantamäki, Jääskeläinen, Tamminen 1979, 119).

Routasuojausmateriaalien on rakentamismääräyskokoelman mukaan säilytettävä lämmöneristyskykynsä asennuskohteen kosteusolosuhteissa mitoituksessa käytettyjä suunnitteluarvoja vastaavalla tasolla koko mitoitusiän ajan. Materiaalien on oltava kestävyydeltään riittäviä käyttökohteen mekaanisia, kemiallisia, termisiä ja biologisia rasituksia vastaan (Suomen rakentamismääräyskokoelma B3 2004, 12).

6.2 Olosuhteet

Routaeristeiden ominaisuudet muuttuvat käyttöolosuhteiden mukaan. Routaeristeiden olosuhteet jaetaan normaaleihin ja vaikeisiin olosuhteisiin. Normaaleissa olosuhteissa eristeen alla on karkeaa maalajia oleva salaojitettu kerros. Pohjaveden nousu ja pintaveden valuminen eristeeseen on estetty. Näiden ehtojen jäädessä täyttymättä olosuhteiden katsotaan olevan kosteat. Jatkuvasti pohjavedenpinnan alapuolelle jääviä routaeristeitä ei tulisi suunnitella (Jääskeläinen 2009, 156). Routaeristeet pitää asentaa aina pohjaveden pinnan yläpuolelle, jotta eristeet pääsevät kuivumaan (Jääskeläinen 2003, 112). Talonrakennuksessa rakennuspohjan kuivatusvaatimusten täytyessä routaeristeet ovat yleensä normaaleissa käyttöolosuhteissa, jolloin lämmönjohtavuudelle voidaan käyttää λ_{design} suunnitteluarvoja. Routasuojauksen mitoitusikä tulee käyttää 50 vuotta (Kivikoski 2007, 70). Talonrakennuskohteiden liikennöidyillä alueilla ja rakenteiden alle sijoitettavien eristeiden suunnittelussa tulee huomioida eristeen pitkä-aikainen puristuskestävyys.

6.3 Lämmönjohtavuus

Tällä hetkellä routaeristeillä esiintyy kolmea erilaista lämmönjohtavuuden käsitettä. EN-standardin mukainen lämmönjohtavuus ilmoitetaan λ_{design} arvoina. Tätä lämmönjohtavuuden arvoa voidaan käyttää ainoastaan normaaleissa kuivatusolosuhteissa. Ympäristöministeriö on antanut rakennusaineilla normaalisen lämmönjohtavuuden λ_n arvot rakentamismääräyskokoelman osassa C4. Kosteissa olosuhteissa täytyy käyttää joko λ_n tai Talonrakennuksen routasuojausohjeet (1997) kirjassa kosteita olosuhteita varten laskettuja λ_{mit} arvoja (Jääskeläinen 2009, 157 - 158).

6.4 Kevytsora

Kevytsora valmistetaan polttamalla savea niin, että se muodostaa rakeita jotka ovat täynnä pieniä ilmarakkuloita (Jääskeläinen 2009, 159). Rouaeristeinä käytettävän kevytsoran raekoko on yleensä 8 - 20 tai 4 - 20mm, jolloin sen kuivairtoteiheys on noin 250 – 320 kg/m³ (Jääskeläinen 2003, 112). Lämmönjohtavuus vaihtelee kevytsoralajitteesta riippuen 0,016 - 0,017 W/Km. Suurin sallittu kuormitus kevytsoralle on 200 kN/m². Hienorakeisen perusmaan sekoittuminen kevytsoraan on estettävä suodatinkankaalla tai hiekkakerroksella (Leca-routasuojaus suunnitteluohje 2005; 4, 11).

6.5 XPS

Routaeristeinä käytetään useimmiten polystyreenilevyä, jota valmistetaan kahdella eri menetelmällä. XPS-polystyreenilevy valmistetaan suulakepuristamalla ja EPS-polystyreenilevy paisuttamalla. Molemmat tuotteet ovat lahoamattomia ja homehtumattomia. Ne kestävät hyvin normaaleja maaperäolosuhteita, eikä kumpikaan johda vettä kapillaarisesti (Jääskeläinen 2003, 112).

XPS-levy valmistetaan lisäämällä hiilidioksidia sulaan polystyreeniin korkeassa paineessa, jolloin levyyn saadaan tiivis, tasainen ja suljettu solurakenne. Hiilidioksidi poistuu levystä ja korvautuu ilmalla parin viikon kuluttua valmistuksesta (Kivikoski 2007, 76). XPS-tuotteiden mitoituslämmönjohtavuudet vaihtelevat normaaliolosuhteissa 0,034

- 0,036 W/Km välillä ja pitkäaikainen puristuskestävyys on levytyypistä riippuen 140 - 250 kN/m². Levyjen yleisimmät paksuudet ovat 20 - 100 mm ja paksuusvaihtoehdot vaihtelevat kuormituskestävyydestä riippuen. Sivumitat vaihtelevat valmistajittain levyn pituuden ollessa noin 2400 - 2500 mm ja leveyden 585 - 600 mm (Finnfoam-eristelevyt 2005, 6; Styrofoam-eristeet 2007, 2).

6.6 EPS

EPS valmistetaan joko muottiin paisuttamalla tai jatkuvatoimisella linjalla. EPS-levy valmistetaan paisuttamalla polystyreenihelmiä vesihöyryn avulla. Muoviraaka-aineen osuudeksi valmiissa tuotteessa jää noin 2 - 5 tilavuusprosenttia. Normaaaleissa käyttöolosuhteissa EPS-routaeristeiden lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo λ_{design} vaihtelee 0,032 - 0,043 W/Km (Kivikoski 2007, 75).

EPS 2000 -tuoteluokituksen mukaiset ominaisuudet ovat annettu normaaleissa olosuhteissa. Tuoteluokituksen mukaisessa tuotenimessä numero EPS-tekstin jälkeen kertoo tuotteen lyhytaikaisen kuormituskestävyyden 10 %:n kokoonpuristumalla. Tuotenimen lopussa on mainittu suositeltu käyttökohde, esimerkiksi EPS 100 Lattia. Pitkäaikainen kuormituskestävyys ilmoitetaan 2 %:n kokoonpuristumalla ja se vaihtelee 36 - 120 kN/m². (EPS 2000 tuoteluokitus 2008; 5 - 6, 27 - 30). Valmistettava levykoko on 1000x1200 mm ja yleisimmät paksuudet ovat 50, 70/75 ja 100 mm (EPS-eristeteollisuus; Thermisol routa -eristeet, 3).

6.7 NCC-ratkaisu

Alapohjarakenteina käytetään yleensä vakioratkaisuja, joiden toimivuudesta on paljon käytännön kokemusta. Vakioratkaisujen käyttö helpottaa suunnittelijan ja työmaan työtä, kun rakenteen ominaisuudet ja vaatimukset tunnetaan ennestään. Routasuojaus ja kuivatus suunnitellaan erikseen joka kohteeseen vallitsevat olosuhteet huomioon ottaen. NCC käyttää Suomessa asuinrakennusten routasuojauksessa yleensä EPS-eristeitä.

Suurempaa puristuslujuutta vaativissa erityiskohteissa käytetään tarvittaessa XPS-eristeitä. Kevytsoraa käytetään jonkin verran ryömintätilan lämmöneristeinä, mutta sen

käyttäminen routaeristeenä on harvinaisempaa. Tästä syystä tämän työn mitoitus-kappaleessa keskitytään routasuojaukseen EPS-eristeillä. EPS 120 Routa on edullisin routasuojauslevy, jonka ominaisuudet riittävät hyvin normaaleissa olosuhteissa, kun eristettä kuormittaa vain pintamaakerrosten paino. EPS 120 on selvästi eniten käytetty tuote routasuojauksessa. Suuremman kuormituskestävyyden omaavia EPS 200-, 300- ja 400-levyjä voidaan käyttää tarpeen mukaan esimerkiksi liikennöidyillä alueilla tai anturoiden alla.

7 Mitoitus

7.1.1 Mitoituksen lähtökohdat

Tämän työn routasuojauslaskelmat perustuvat suoraan Talonrakennuksen routasuojausohjeet 2007 mukaiseen mitoitukseen. Kyseiseen kirjaan perehtyminen on tarpeellista routasuojauksien suunnittelijoille kattavamman ja yksityiskohtaisemman mitoituksen hallitsemiseksi. Lämpimien rakennusten osalta routaeristyksen mitoitustaulukoi-
ta käytettäessä lähtöoletuksena on, että rakennuksen lämpötila T_s on yli 17°C , leveys on suurempi kuin 4 m ja viereinen maanpinta on lumeton (Kivikoski 2007, 38 - 40).

Nopein tapa routasuojauksen mitoitukseen on usein mitoitusohjelmien käyttö. Ammatikäyttöön tarkoitettut ohjelmat ovat useimmiten maksullisia tai routasuojausosa kuuluu isompaan ohjelmakokonaisuuteen. Pientalorakentaja voi käyttää apunaan esimerkiksi Thermisol Oy:n nettisivujen kautta löytyvää ilmaista mitoitusohjelmaa. Ohjelma antaa routasuojausohjeiden mitoitukseen nähden suurempia eristemääriä ainakin nurkka-alueiden osalle.

7.1.2 Routasuojauksen periaatteet

Routavaurioita voidaan torjua poistamalla ainakin yksi routimisen kolmesta perusedellytyksestä, joita ovat routiva maalaji, jäätyminen mahdollistavat olosuhteet ja veden pääsy jäätymisvyöhykkeeseen (Eerola 1986, 89 - 90). Maapohja on useimmiten routivaa, joten routasuojauksia tarvitaan silloin, kun perustaminen roudattomaan syvyyteen ei ole mahdollista tai taloudellisesti kannattavaa. Ilmasto-olosuhteisiin vaikuttaminen on mahdotonta ja veden pääsyn täydellinen estäminen perustusrakenteisiin on käytännössä vaikeaa. Routasuojauksella vaikutetaan lämpöolosuhteisiin. Perustustapa ja routasuojaustarve määräytyy lopulta teknis-taloudellisen tarkastelun tuloksena.

Lämpimissä rakennuksissa routasuojaus perustuu alapohjan läpi kulkevaan lämpövirtaan, joka estää maan jäätyminen perustusten alla. Routasuojauksella pyritään estämään lämpövirtauksen karkaaminen perusmuurin läpi ja perustusten alitse ulkoilmaan (Kivi-

koski 1987, 113). Rakennuksen ulkopuolisen vaakasuuntaisen routasuojauksen tehtävänä on estää lämpövirran poistuminen perustusten alapuolisesta maakerroksesta. Perusmuurin pystysuuntaisen routasuojaus ohjaa alapohjan läpi kulkevan lämpövirran perustusten alle ja viereen (Saarelainen 1986a, 2; 1986b, 1). Kylmien rakenteiden routasuojaus perustuu maahan kesällä varastoituneen lämmön varastoimiseen perustusten alle routasuojauksen avulla (Kivikoski 1987, 113).

7.1.3 Roudan syvyys

Roudan syvyydellä tarkoitetaan routaantuneen maakerroksen alapinnan etäisyyttä maanpintaan (Slunga, Hakulinen 2004, 40). Roudan syvyys voidaan laskennallisesti määrittää, esimerkiksi Watzingerin, Kindemin ja Michelsenin menetelmällä (Kivikoski 2007, 13).

Roudan syvyyteen vaikuttavat seuraavat tekijät:

- maalajin lämmönjohtavuus
- lämpökapasiteetti ja vesipitoisuus
- ilmaston pakkasmäärä
- vuoden keskilämpötila
- lumipeitteen paksuus
- maan pintakasvillisuus ja topografia
- rakennuksen ja perustuksen rakenne.

(Kivikoski 2007, 13)

Voimakkaimmin roudan syvyyteen vaikuttaa pakkasmäärä. Lumipeitteellä on merkittävä 25 - 50 %:n vaikutus roudan tunkeutumissyvyyteen, mutta lumen suojaava vaikutus voidaan huomioida vain poikkeustapauksissa (Jääskeläinen 2003, 105 - 107; Rantamäki, Jääskeläinen, Tamminrinne 1979, 120). Määrävinä tekijöinä ovat usein myös vesipitoisuus ja lämmönjohtavuus jäätyneessä maassa. Korkea vesipitoisuus pienentää roudan syvyyttä veden jäätymlämmön kasvaessa, mutta samalla lämmönjohtavuuden kasvu suurentaa roudan syvyyttä. Roudan syvyys voidaan laskea yleensä riittävän tarkasti, kun tiedetään rakennuspaikan maalaji ja pakkasmäärä (Kivikoski 2007, 13).

Roudan syvyys kasvaa talvella niin kauan, kuin pakkassumma kasvaa. Käytännössä se voi kestää huhtikuulle asti, minkä jälkeen roudan sulaminen alkaa ensin maan pintakerroksista ulkoilman lämpenemisen seurauksena. Roudan sulaminen päättyy yleensä vasta touko-kesäkuussa paikkakunnasta ja lämpötilasta riippuen (Rantamäki, Jääskeläinen, Tammirinne 1979, 121).

7.1.4 Roudaton perustussyvyys

Rakentamismääräyskokoelmassa todetaan, että routivalla maaperällä rakennukset on routasuojattava tai perustettava roudattomaan syvyyteen. Suunnittelussa tulee huomioida alapohjan ja kellarirakenteiden lämmöneristys ja routasuojaustarve. Roudaton perustussyvyys riippuu maata vasten olevien tilojen lämpötilasta ja perustusten rakenteesta sekä alapohjan lämmöneristyksestä tai ryömintätilan lämpötilasta (RakMk B3, 18).

Perustusten ulottaminen roudattomaan perustussyvyyteen on harvinaisempi ratkaisu, koska matalaperustus on useimmiten edullisempi ratkaisu. Ilman routasuojauksiakin lämmin rakennus voidaan käytännössä perustaa hieman routarajan yläpuolelle, koska perustusten luovuttama lämpö pitää maan perustusten alta sulana (Jääskeläinen 2003, 108).

Helpoin tapa määrittää lämpimän rakennuksen roudaton perustussyvyys on Talonrakennuksen routasuojausohjeet (2007) kirjan taulukon 5 avulla. Kyseistä taulukkoa voidaan käyttää enää 2008 loppuun, minkä jälkeen taulukko pitäisi päivittää vastaamaan uusia alapohjan lämmönvastusvaatimuksia. Esimerkiksi pihamaan roudan syvyys on mahdollista selvittää laskennallisesti, mutta lämpimien rakennusten perustusten roudaton perustussyvyys on hankalampi laskea. Nykyisissä routasuojausohjeissa ei ole yksinkertaista mitoitustapaa ensi vuoden määräysten mukaisten lämpimien rakennusten roudattoman perustussyvyyden määrittämiseen.

7.2 Maanvastainen alapohja

Nykyinen lämmönläpäisykertoimen enimmäisarvo maanvastaiselle rakennusosalle on $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$, kuten kappaleessa 2.1 todettiin. Nykyiset viranomaismääräykset täyttävä lämmönläpäisykertoimien laskenta tulee tehdä uusiin SFS-EN ISO 10456- ja SFS-EN ISO 6946 -standardeihin perustuvalla menetelmällä. Tämän työn laskelmissa alapohjien lämmönvastuksia on tarkasteltu vanhan rakentamismääräyskokoelma C4:n normaalisen lämmönjohtavuuden laskentatavan mukaan. Vaadittava alapohjan eristepaksuus vaihtelee perusmaan lämmönjohtavuudesta (taulukko 1) riippuen. Vuonna 2010 voimaan astuva U-arvo vaatimus on $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$, joten erityisesti alapohjan sisä-alueille vaaditaan lisää eristystä.

Liitteenä olevat routaeristyslaskelmat on laadittu viimeisimmän ja edelleen käytössä olevan Talonrakennuksen routasuojausohjeet 2007 mukaan. Tämän painoksen mukaista mitoitusta voidaan käyttää maanvastaisella alapohjarakenteella noin 320 mm:n alapohjaeristevahvuuteen saakka. Mitoitustaulukon (liite 2) perusteella Etelä-Suomessa lämpimien rakennusten ulkopuoliseen routasuojaukseen riittää useimmiten 50 mm paksu EPS-eriste.

7.2.1 Alapohjaeristys

Routasuojauksen mitoittamiseksi on ensin laskettava alapohjan kokonaislämmönvastus, mikäli alapohjan lämmönläpäisykerrointa ei ole etukäteen ilmoitettu. Maanvaraisen alapohjan tapauksessa tarkkaan routasuojausmitoitukseen ei riitä pelkkä alapohjarakenteen U-arvo, koska perusmaan lämmönvastus vaikuttaa tuloksiin. Liitteiden laskelmista ja taulukosta 1 on havaittavissa maalajin huomattava merkitys maanvastaisen alapohjan kokonaislämmönvastukseen. Taulukon 1 arvojen käyttäminen edellyttää, että salaojituserroksen alla olevan maakerroksen on oltava vähintään 1 m paksu ja lattiarakenteen alapinta on enintään 300 mm ulkopuolista maanpintaa ylempänä. Etäisyyden ollessa 300 - 600 mm voidaan käyttää samoja arvoja, jos perusmuurin lämmönvastusta parannetaan kuvion 5 mukaan.

Taulukko 1: Maan lämmönvastukset R_b perustusten ja alapohjan ollessa pysyvästi kuivatettuja (RakMk C4 2003, 19)

Perusmaa	Perusmaan lämmönvastus	
	Reuna-alue	Sisä-alue
Savi Hiekka ja sora, salaojitettu	0,8	3,2
Hieta ja hiesu Hiekka ja sora, salaojittamaton Moreeni	0,5	2,0
Kallio	0,3	1,2

Alapohjaeristykseen mitoituksen pääkohdat

- valitaan perustusrakenne ja -syvyys teknis-taloudellisen vertailun perusteella
- suunnitellaan alapohjaeristys perustustapa, rakentamismääräykset, energiatehokkuus ja viihtyvyysvaatimukset täyttäen
- lasketaan alapohjarakenteen kokonaislämmönvastus m_a , josta edelleen alapohjaeristeeltä vaadittava lämmönvastus m_e . Alapohjaeristepaksuus saadaan kertomalla m_e materiaalikohtaisella λ_{design} arvolla. (Kivikoski 2007,

30)

Alapohjan sisä- ja reuna-alue on tutkittava erikseen, koska perusmaan lämmönvastus keski-alueella on suurempi, kuten taulukosta 1 on havaittavissa. Reuna-alueeksi lasketaan yhden metrin etäisyydellä perusmuurin sisäpinnasta oleva alapohjan ala. Routasuojausohjeiden mukaisessa mitoituksessa on asetettu 600 mm rajaksi alapohjaeristeen alapinnan ja ulkopuolisen maanpinnan väliselle etäisyydelle. Rajan ylittyessä mitoitusta ei voida tehdä routasuojausohjeiden mukaan ja suunnittelijan on itse määriteltävä perusmaan lämmönvastus.

Alapohjarakennetta suunniteltaessa on muistettava, että alapohjan lämmönvastuksen lisääminen lisää ulkopuolista routaeristystarvetta (Kivikoski 2007, 29). Maanvastaisen alapohjan eristevahvuuden lisääminen on kosteusteknisesti hyvä asia. Tampereen teknillisen yliopiston laatiman Matalaenergiarakenteiden toimivuus -tutkimuselostuksen perusteella nykyiset vaatimukset täyttävän alapohjan lämmöneristys on riittävä kosteusteknisessä mielessä. Tutkimuksen mukaan eristepaksuuden lisäämisestä voi seurata maanvaraisessa betonilaatassa painumaongelmia.

Tutkimuslaskelmuksen mukaan on tarpeetonta käyttää maanvastaisessa alapohjassa yli 150 mm:n EPS-eristystä. Nykyisillä lämpöhäviöiden laskentamenetelmillä maapohjan lämmönvastus jää todellista pienemmäksi, joten eristyksen lisääminen antaa todellisudessa vähemmän hyötyä. Tutkimus huomauttaa myös, että voimassaolevilla Talonrakennuksen routasuojausohjeilla maanvastaisen alapohjan routaeristys voidaan mitoittaa perusmaan lämmönvastus huomioituna alapohjan U-arvoon 0,10 W/m²K asti (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, 43 - 44).

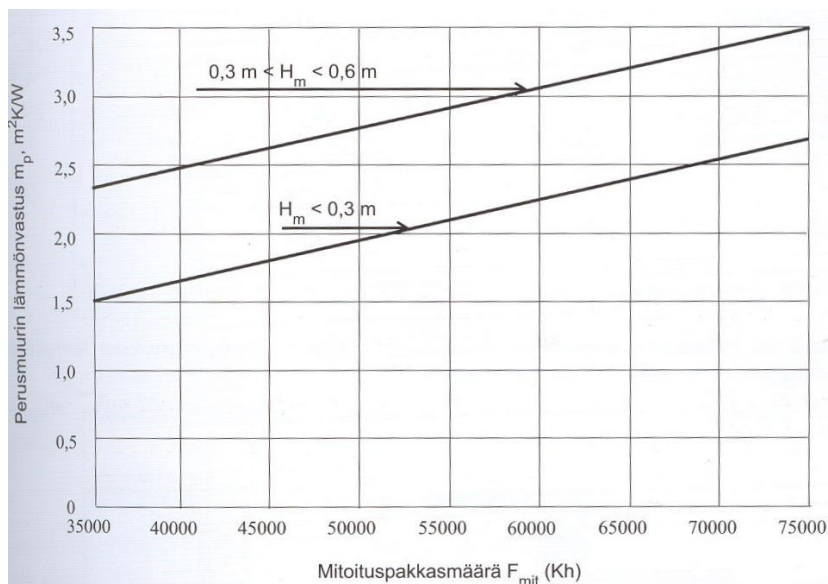
7.2.2 Perusmuurieristys

Perusmuurin lämmöneristyksellä on oleellinen merkitys routasuojaustarpeeseen. Rakentamismääräyskokoelmassa ei ole kuitenkaan annettu U-arvovaatimuksia perusmuurille (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, 44). Perusmuurissa on hyvä käyttää eristehalkaisua ja sen lisäksi perusmuurin sisäpinta tulee eristää. Lämpöeristävästä materiaalista, kuten kevytsoraharkoista voidaan kuitenkin tehdä yksiaineinen perusmuuri. Kylmäsilta perusmuurin ja betonilaatan välillä pitää katkaista eristekaistalla (Vinha 2009, 376). Pystysuuntaisten routaeristettä joudutaan käyttämään aina, kun perusmuurilla on vähäinen lämmönvastus, kuten betonisella perusmuurilla. Eristävyyden kannalta paras paikka eristeelle olisi teoriassa mahdollisimman lähellä perusmuurin ulkopintaa. Pystyeristyksen sijoittaminen perusmuurin sisäpintaan edellyttää enemmän paksuutta ja leveyttä vaakasuuntaiseen routaeritykseen (Saarelainen 1986a, 2). Käytännössä perusmuurieriste asennetaan usein perusmuurin sisäpuolelle, jolloin eriste on paremmin suojassa. Perusmuurieristyksen mitoitukselle annettu 600 mm:n raja alapohjaeristeen ja ulkoisen maanpinnan välillä ylittyy harvoin tavanomaisilla alapohjarakenteilla.

Perusmuurieristyksen mitoituksen vaiheet

- tarkistetaan että alapohjaeristeen alapinnan etäisyys on alle 600 mm ulkopuolisesta maanpinnasta
- perusmuurin kokonaislämmönvastus m_p kuviosta 5 pakkasmäärän perusteella
- lasketaan perusmuurin betoniosuuden lämmönvastus m_b
- perusmuurieristeen vaadittu lämmönvastus m_e saadaan vähentämällä kokonaislämmönvastuksesta m_p betoniosan lämmönvastus m_b

- vaadittu eristepaksuus saadaan kertomalla vaadittu eristeen lämmönvastus m_e tuokohtaisella λ_{design} arvolla
- laskennallisesti vaadittavan eristepaksuuden jäädessä valmistuskokoja ohuemmaksi valitaan seuraava valmistuskoko.



Kuvio 5: Maanvastaisen alapohjarakenteen perusmuurin lämmönvastus m_p jossa H_m on alapohjaeristyksen alapinnan etäisyys ulkopuolisesta maanpinnasta (Kivikoski 2007, 33)

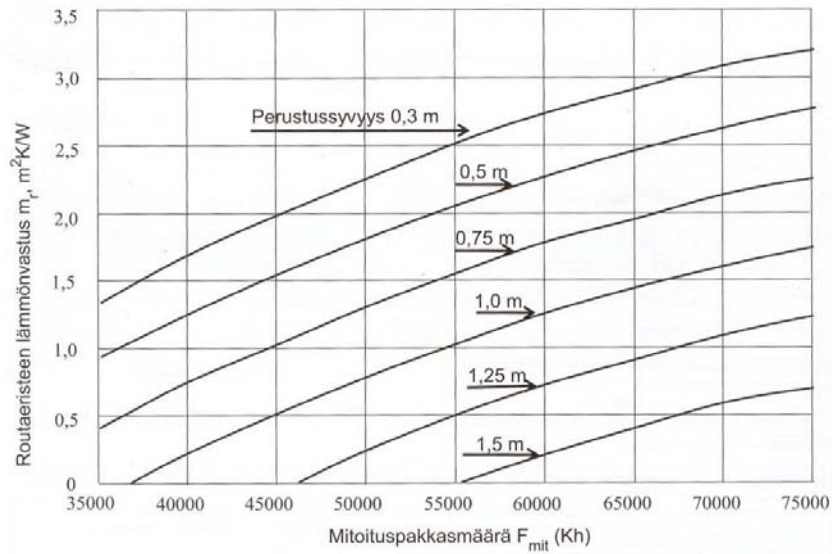
7.2.3 Routaeristeen paksuus

Routaeristeen vaadittava lämmönvastus m_r määritellään kuvion 6 mukaan koko alapohjarakenteen lämmönläpäisykertoimen ollessa $\geq 0,20$ W/m²K ja kuvion 7 mukaan lämmönläpäisykertoimen ollessa 0,20 - 0,10 W/m²K välillä. Lähtötiedoiksi tarvitaan perustussyvyys ja mitoituspakkasmäärä.

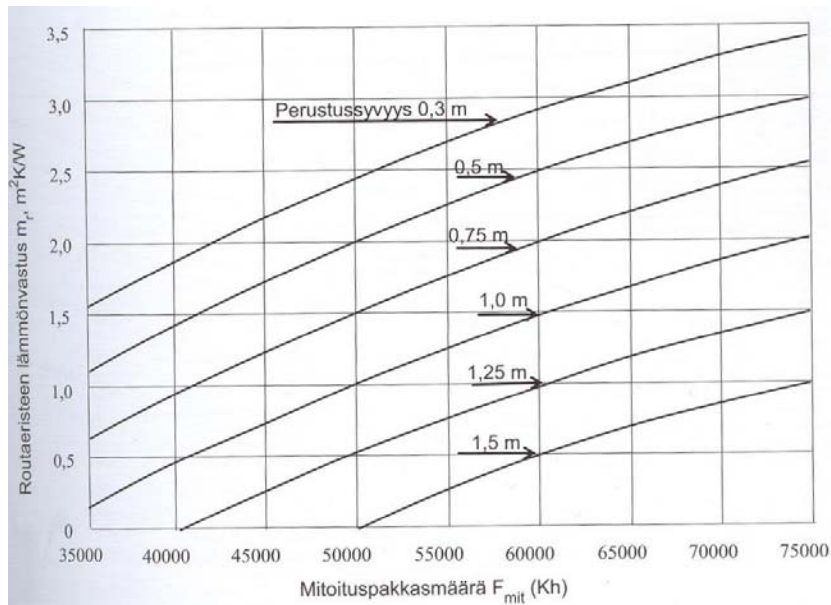
Routaeristeen mitoituksen pääpiirteet

- tutkitaan mahdollisuus ulottaa perustukset routimattomaan maakerrokseen tai routimattomaan syvyyteen. Valitaan teknis-taloudellisin perustussyvyysvaihtoehto
- määritetään vaadittava routaeristeen lämmönvastus m_r alapohjaeristyksestä riippuen joko kuviosta 6 tai 7

- eristepaksuus seinälinjoilla saadaan λ_{design} arvon perusteella.



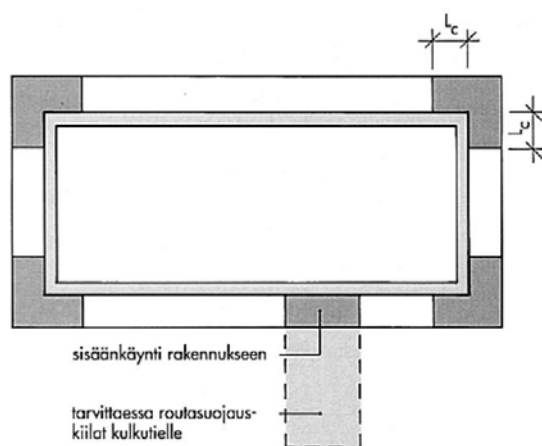
Kuvio 6: Maanvastaisen alapohjan routaeristeen lämmönvastus m_r , kun $m_a \leq 5,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ (Kivikoski 2007, 38)



Kuvio 7: Maanvastaisen alapohjan routaeristeen lämmönvastus m_r , kun $5,0 < m_a \leq 10,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ (Kivikoski 2007, 39)

7.2.4 Nurkka-alue

Nurkka-alueella routaeristysten paksuutta lisätään 40 % seinälinjaan nähden. Nurkka-alueen leveys L_c määritellään taulukon 2 mukaan. Nurkka-alueen laajuus mitataan routaeristeen sisänurkasta seinälinjalle päin. Alue on joko 1,5; 2,0 tai 2,5 metriä leveä mitoituspakkasmäärästä riippuen (Kivikoski 2007, 37). Karkeasti Kemi-Kajaani-Kuhmo-linjan eteläpuolella nurkka-alueen leveys on aina 1,5 m. Routasuojauksuunnitelman laadinnassa tulee huomioida, että nykyisten mitoitusohjeiden mukaan nurkka-alueen laajuus mitataan ainoastaan seinälinjan suuntaisesti, kuten kuvioon 8 on piirretty. Laskennallisesti nurkan routasuojausta ei voida parantaa kasvattamalla routasuojausta perusmuurista ulospäin leveyden B suuntaan.



Kuvio 8: Nurkka-alue L_c (Routasuojauksrakenteet 1995, 8)

Taulukko 2: Etäisyys L_c nurkasta seinälinjalle päin (Kivikoski 2007, 37)

Pakkasmäärä F50 (Kh)	L_c (m)
35000-55000	1,5
55000-65000	2,0
65000-75000	2,5

7.2.5 Routaeristeen leveys

Eristeen leveys B selviää taulukosta 3 alapohjan reuna-alueen lämmönvastuksen m_a ja mitoituspakkasmäärän perusteella. Routasuojauksuunnitelmaa laadittaessa on huomatta-

va, että routasuojauksen mitoituksessa leveys ilmoitetaan aina anturan ulkoreunasta eikä perusmuurin ulkopinnasta.

Taulukko 3: Routasuojauksen leveys B (Kivikoski 2007, 37)

Alapohjan tyyppi	Alapohjan lämmön- vastus ma (m ² K/W)	Mitoitus pakkas- määrä Fmit (Kh)	Routaeristeen leveys B (m)
Maanvastainen alapohja (reuna-alue)	≤ 5,0	35000-55000	0,8
	≤ 5,0	55000-75000	1,0
	5,0-10,0	35000-55000	1,2
	5,0-10,0	55000-75000	1,5
Ryömintätilainen alapohja	5,3	35000-55000	1,0
	5,3	55000-75000	1,2
	6,25	35000-55000	1,2
	6,25	55000-75000	1,5

7.3 Ryömintätilainen alapohja

Tämän työn esimerkkilaskelmissa on keskitytty elementtivalmisteisiin ryömintätilaisiin alapohjiin. NCC:n eniten käyttämä ryömintätilainen alapohjarakenne on ontelolaatta, johon on elementtitehtaalla valmiiksi kiinnitetty EPS-eriste alapintaan.

Talonrakennuksen suojaussuojausohjeiden mukaista mitoitusta voidaan käyttää ryömintätilaiselle alapohjarakenteelle, minkä U-arvo on minimissään 0,16 W/m²K, joka vastaa karkeasti noin 230 mm:n EPS-eristepaksuutta. Nykyisten routasuojausohjeiden mitoitustaulukoiden raja-arvot tulevat nopeasti vastaan ryömintätilaisen alapohjan eristepaksuutta kasvatettaessa vuoden 2010 vaatimustasosta. Suunniteltaessa alapohjalle alle 0,16 W/m²K:n U-arvoa tulee routasuojaus mitoittaa kylmänä rakenteena sopivien mitoituskäyrien puuttuessa.

Nykyinen vuoden 2008 alussa voimaan astunut ryömintätilaisen alapohjan U-arvovaatimus on 0,19 W/m²K, kuten kappaleessa 2.1 todettiin (RakMk C3 2007). Ympäristöministeriön laatimassa rakennusten lämmöneristysmääräysten luonnosversiossa ehdotettiin 2010 alkaen uudeksi ryömintätilaisen alapohjan lämmönläpäisykertoimeksi arvoa 0,11 W/m²K (RakMk C3 2010 Luonnos 2008, 7). Luonnoksen jälkeen valmistuneen Ympäristöministeriön Tampereen teknilliseltä yliopistolta tilaaman tutkimusselostuksessa mukaan alapohjarakenteen kosteustekninen toiminta heikkenee huomattavasti

eristevahvuuden kasvaessa. Tutkimuksessa todetaan mm. puurakenteisen ryömintätillaisen alapohjan olevan kosteusteknisesti riskialtis rakenne jo nykyisillä eristevahvuuksilla. TTY ehdotti tutkimuksen johtopäätöksenä U-arvoa $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008; 33 - 34, 76). Ympäristöministeriö lievensi luonnosversion arvoja ja asetti uudeksi lämmönläpäisykertoimen enimmäisarvoksi $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ (RakMk C3 2010, 7).

7.3.1 Alapohjaeristys

Ryömintätillaisten alapohjien lämmöneristävyttä on kasvatettu kiristyvien lämmöneristys määräysten, energiataloudellisuuden ja asukasmukavuuden takia. Tämä pienentää alapohjan läpi kulkevaa lämpövirtausta, joten ryömintätillan lämpötila laskee niin alhaiseksi, että perustusten alla oleva maa saattaa routia (Pitkänen, Kulman, Rantala 2000, 10).

Betonirakenteisissa alapohjissa lämmöneristys tulisi sijoittaa mahdollisimman paljon laatan alapuolelle ja varmistaa, ettei perusmuuri- ja alapohjarakenteen väliin jää kylmäsiltoja. (Vinha 2009, 377). Rakennesuunnittelija ei yleensä voi vaikuttaa ryömintätillaisen ontelolaatta-alapohjan eristykseen, koska elementtitehtaat käyttävät vakiopaksuisia eristeitä. Routasuojausmitoituksen lopputuloksen kannalta ei ole merkitystä alapohjan lämmönläpäisykertoimen pienentyessä nykyisestä $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$:n arvosta uuteen arvoon $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$, koska mitoitus tehdään edelleen saman käyrästäön perusteella.

7.3.2 Ryömintätillan olosuhteet

Nykyiset mitoitusohjeet perustuvat siihen, että ryömintätillan lämpötila ei laske pitkäaikaisesti alle 0°C :n. Routasuojauksen mitoitus on ongelmallista ryömintätillan vaihtelevien olosuhteiden vaikeuttaessa tarkkaa lämpöteknistä mallintamista (Kivikoski 2009).

Yksi routasuojauksen mitoitukseen vaikuttava tekijä on alapohjan tuuletus. Nykyisten ohjeiden mukaan ryömintätillan tuuletusaukkojen vapaa pinta-alan tulee olla vähintään 4 promillea ryömintätillan pinta-alasta (RakMk C2 1998, 9). Ryömintätillan korkeuden kasvaessa 0,3 metrillä 1,0 metriin kasvaa roudan syvyys 0,15 m. Ryömintätillan tuule-

tuksen tulisi olla 0,3 - 0,6 l/sm². Roudan syvyys kasvaa 0,2 - 0,3 m tuuletuksen kasvaessa 0,3 - 0,6 l/sm².

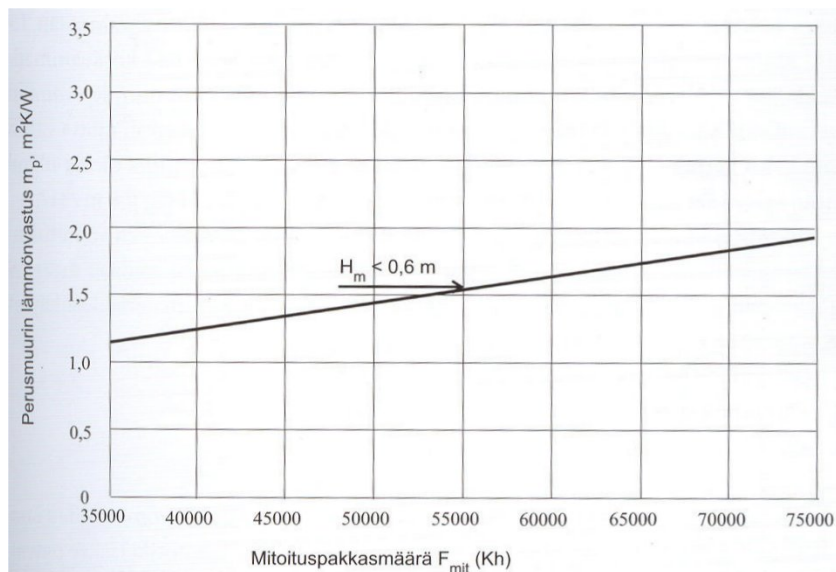
Ryömintätilan lämpötilan pysyessä yli 0°C:n ei perusmuurin sisäpuolella olevia anturoita tarvitse routasuojata (Korkeamäki 1985, 2-3). Ryömintätilan maapohja on kesällä ulkopuolista maaperää kylmempi ja ryömintätilan lämpötila säilyy ulkoilmaa viileämpänä koko kesän ajan. Ulkoilmasta otettava lämmin ja kostea tuuletusilma viilenee ja kosteus kondensoituu viileässä ryömintätilassa (Optiplan). Nykyisillä eristepaksuuksilla ryömintätila on talvella n. 2°C ulkoilmaa lämpimämpi alapohjan läpi kulkevan lämpövirran ansiosta. Suhteellinen kosteus on alhainen talvisaikaan. Kesällä ryömintätilan lämpötila on n. 2°C ulkoilmaa kylmempi pohjamaan kylmyyden takia ja ilman suhteellinen kosteus melko korkea (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, 29 - 30).

Ryömintätilan toiminnalle tärkeä tekijä on, ettei ryömintätilaan saa jättää mitään rakennusjätettä tai lahoavaa orgaanista ainetta (RakMk C2 1998, 9).

7.3.3 Perusmuurieristys

Routasuojausohjeissa annetaan ryömintätilaisen alapohjan perusmuurille suositeltava vähimmäislämmönvastus. Ryömintätilaisessa alapohjassa myös maahan tukeutuvien kantavien seinien ja tulisijojen perustukset tulee lämmöneristää sivuiltaan (Vinha 2009, 376).

Perusmuurin vähimmäislämmöneristävyys saadaan kuviosta 9, mikäli ulkopuolinen maanpinta on alle 600 mm:n etäisyydellä alapohjaeristeen alapinnasta. Korkeuden H_m ollessa yli 600 mm tulee perusmuurin lämmönvastusta lisätä yhtälön 1 mukaan (Kivikoski 2007, 35). Perusmuurieristeen paksuus mitoitetaan muutoin samalla tavalla kuin maanvastaisessa alapohjassa.



Kuvio 9: Ryömintätilaisen alapohjan perusmuurin vähimmäislämmönvastus m_p (Kivikoski 2007, 35)

$$m_p = m_{po} \cdot \frac{H_m}{0,6} \quad (1)$$

jossa H_m on alapohjaeristeen alapinnan etäisyys maanpinnasta ja m_{po} on lämmönvastus kun $H_m = 0,6$ m.

7.3.4 Routaeristeen paksuus

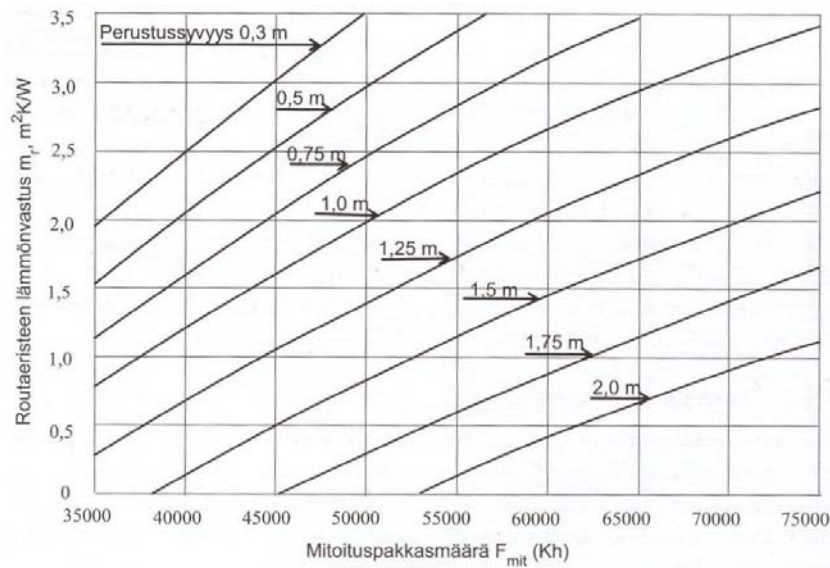
Ulkoilmalla tuuletetussa ryömintätilaisessa rakennuksessa alapohjan läpi kulkevan lämpövirtauksen merkitys perustusten jäätymisen kannalta on pienempi kuin maanvastaisella alapohjalla, joten ryömintätilaisen alapohjan routaeristystarve on suurempi kuin maanvastaisen alapohjan (Routasuojaurakenteet 1995, 3).

Routaeristeen paksuuden mitoittamiseksi on selvítettävä ensiksi eristeen vaadittava lämmönvastus kuvion 10 perusteella.

Kuvion 10 käyttö edellyttää seuraavien ehtojen täyttymistä:

- alapohjan U-arvo on 0,19 - 0,16 W/m^2K
- perusmuuri on vähimmäislämmöneristetty tai tehty kevytsorabetonista

- ryömintätilan tuuletus on alle $0,6 \text{ l/sm}^2$
- ryömintätilan lämpötila on yli 0°C . (Kivikoski 2007, 39)



Kuvio 10: Ryömintätilaisen alapohjan lämmönvastus m_r seinälinjalla. (Kivikoski 2007, 40)

Routaeristeen paksuus saadaan jälleen kertomalla lämmönvastus m_r routaeristeen λ_{design} arvolla, joka vaihtelee asennustavan mukaan. Etelä-Suomessa laskennallisesti vaadittava eristepaksuus jää usein alle 50 mm:n , joka on ohuin valmistettava vakiopakkaus. Perustussyvyyden merkittävä vaikutus ryömintätilaisen alapohjan routaeristystarpeeseen on havaittavissa liitteen 2 taulukoista.

7.3.5 Routasuojauksen laajuus

Routasuojauksen laajuus B anturasta ulospäin määritetään samasta taulukosta 3 kuin maanvaraisellakin alapohjalla. Suunnittelun yhteydessä tulee muistaa, että tulevaa määräystasoa paremmin eristetyn alapohjan yhteydessä ryömintätilan lämpötila laskee mahdollisesti alle 0°C , joten perusmuurin sisäpuolellakin olevat anturat täytyy routasuojata.

7.3.6 Nurkka-alueet

Nurkka-alueet määritetään samalla tavalla, kuin maanvaraisellakin alapohjalla. Nurkassa routaeristeen paksuutta lisätään 40 % seinälinjoihin nähden. Nurkka-alueen L_c laajuus saadaan taulukosta 2.

7.4 Kylmät rakennusosat

Koko routasuojasuunnitelman onnistumisen kannalta on tärkeää mitoittaa kylmien rakenteiden routasuojaus oikein, koska juuri kylmät rakenteet tarvitsevat usein eniten routasuojauksia. Suunnittelun alussa on selvitettävä onko mielekästä perustaa rakenteet routattomana perustussyvyyteen. Routasuojausmateriaaleja käytettäessä kylmät rakenteet jaetaan routasuojatason mukaan kahteen ryhmään: Routavaurioille arkoihin rakenteisiin ja keveisiin rakenteisiin.

Kylmien rakenteiden routasuojauksen mitoituksen kulku

- päätetään sallitaanko rakenteelle routanousua
- tutkitaan mahdollisuus hyödyntää lumen suojaavaa vaikutusta
- valitaan eristeen asennussyvyys
- selvitetään paikkakunnan mitoituspakkasmäärä F_{mit} ja vuoden keskilämpötila T_m
- valitaan routaeristeen alapuolisen routimattoman kerroksen paksuus Z_m
- määritetään edellisten lähtötietojen perusteella lämmönvastus m_{ro} taulukosta 4
- lasketaan vähennys lämmönvastuksesta asennussyvyyden mukaan yhtälöllä 2
- selvitetään routasuojauksen leveys B kuvion 11 perusteella (Kivikoski 2007, 45)

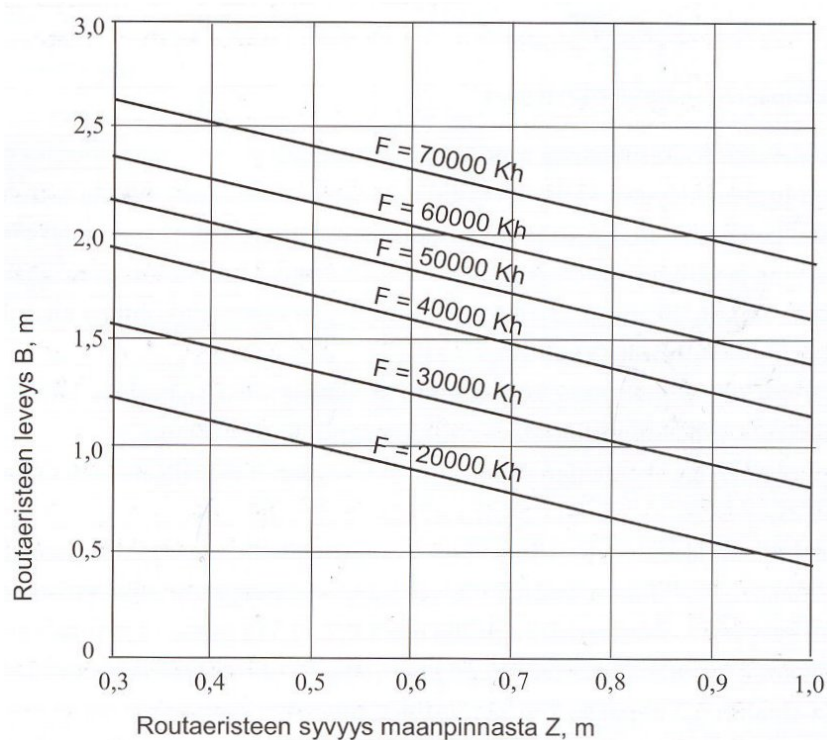
Taulukko 4: Kylmien rakenteiden routaeristeen lämmönvastus m_{ro} . (Kivikoski 2007, 42)

Mitoituspakkasmäärä F_{mit} (Kh)	20000			30000				40000			50000			≥ 60000
Vuoden keskilämpötila T_m (°C)	2	3	≥ 4	1	2	3	≥ 4	1	2	3-4	1	2	3	0-1
Z_m (m)														
0,2	1,6	1,4	1,2	3,2	2,6	2,2	1,8	4,2	3,5	2,8	-	4,6	3,8	-
0,4	1,4	1,1	0,8	2,6	2,1	1,7	1,4	3,5	2,8	2,2	4,6	3,8	3,1	-
0,6	1,0	0,7	0,5	2,1	1,7	1,3	1,0	2,8	2,2	1,6	3,8	2,9	2,3	5,0
0,8	0,6	0,4	0,3	1,7	1,3	1,0	0,7	2,2	1,6	1,3	2,9	2,2	1,8	3,8
1,0	0,4	0,3	0,2	1,3	1,0	0,7	0,5	1,6	1,2	1,0	2,2	1,7	1,4	2,8
1,5	0	0	0	0,8	0,6	0,4	0,2	1,0	0,7	0,5	1,4	1,0	0,8	1,8

Z_m routaeristeen alapuolisen routimattoman kerroksen paksuus.

$$m_r = m_{ro} - (Z_r - 0,3) \cdot 1 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (2)$$

jossa Z_r on routaeristeen yläpinnan etäisyys maanpinnasta (m).



Kuvio 11: Kylmien rakenteiden routasuojauksen leveys B (Kivikoski 2007, 44)

Lämmönjohtavuuden m_{ro} selvittämiseksi taulukosta 4 tarvitaan lähtötiedoiksi mitoituspakkasmäärä, vuoden keskilämpötila ja eristeen alapuolisen routimattoman kerroksen

paksuus. Mikäli eriste on asennettu yli 0,3 metrin syvyyteen lämmönjohtavuuden m_{ro} arvosta vähennetään asennussyvyyden vaikutus yhtälöllä 2. Eristepaksuus saadaan kertomalla lopullinen lämmönvastus m_r eristevalmistajan ilmoittamalla λ_{design} arvolla.

Routasuojauksen laajuus B saadaan kuvioista 11 pakkasmäärän ja asennussyvyyden perusteella (Kivikoski 2007, 43 - 45).

Kylmien rakenteiden routasuojauksessa on yleensä pyrittävä sijoittamaan eriste perustuksen alle. Eristettäessä kylmä rakenne ympäriltään pääsee pakkanen tunkeutumaan kylmää rakennetta pitkin anturan alle (Jääskeläinen 2009, 164). Sijoittaessa eriste anturan alle on muistettava lämmöneristeen käyttöolosuhteiden mukainen kuormituskestävyys. Kuormitetuissa kohteissa solupolystyreenin tiheyden tulee olla vähintään 30 kg/m³ (Routasuojaurakenteet 1995, 3).

Liitteen 2 mitoitusohjeesta ja taulukosta 4 huomataan eristeen asennussyvyyden ja eristeen alapuolisen routimattoman kerrospaksuuden valinnan huomattava merkitys vaadittavaan routasuojaukseen. Routasuojauksen laajuus kasvaa huomattavasti matalaan perustetuilla rakenteilla, kuten reunavahvistetulle laatalle tehdyissä varastoissa ja katoksissa.

7.4.1 Routavaurioille arat rakenteet

Talonrakennuspuolella useimmat rakenteet kuuluvat routavaurioille arkoihin rakenteisiin, joille ei sallita routaliikkeitä. Nämä herkästi vaurioituvat rakenteet mitoitetaan saman F_{50} pakkasmäärän mukaan kuin lämpimät rakenteet.

Kylmien rakenteiden routasuojauksessa on otettava huomioon pakkasmäärän lisäksi vuoden keskilämpötila. Lumipeitettä voidaan poikkeustapauksissa käyttää kylmien rakenteiden routasuojauksena (Kivikoski 2007, 25). Lumen suojaavaa vaikutusta ei voida rannikkoalueille huomioida, koska pakkasmäärän redusointikerroin on yksi. Keski-Suomessa esimerkiksi Lahdessa, Tampereella ja Jyväskylässä redusointikerroin on 0,9. Lumen suojaavaa vaikutusta voidaan kuitenkin harvoin hyödyntää talonrakentamisessa, koska lumikerroksen pitää peittää perusmuurin viereinen maa vähintään 1,5 metriä

leveänä kaistana säilyen yhtenäisenä ja talleamattomana koko pakkaskauden ajan (Kivikoski 2007, 43).

7.4.2 Kevyet rakenteet

Kevyet rakenteet, jotka eivät ole arkoja epätasaisille routaliikkeille, mitoitetaan kerran 10 vuodessa toistuvan F_{10} tai kerran 20 vuodessa toistuvan F_{20} pakkasmäärän mukaan. Muutoin routasuojauksen mitoituksen kulku on sama kuin routavaurioille aroilla rakenteilla (Kivikoski 2007, 42).

8 Matalaenergiarakenteet

Rakennusten energiansäästöä puhuttaessa käytetään kirjavaa terminologiaa, koska toistaiseksi virallisia energiatehokkuuden tasoja ei ole määritelty. Erikoistutkija Pekka Tuomaala esittää matalaenergiatalon rajaksi puolta nykyisen määräyksen lämmitysenergian tarpeesta ja passiivitalon rajaksi 20 % nykytasosta (Tuomaala 2008, 356 - 357).

Uudistuviin rakennusten lämmöneristysmääräyksiin on lisätty määräys asianmukaisen routasuojauksen suunnittelusta ja toteuttamisesta erityisesti vuoden 2010 lämmönläpäisykerroinvaatimuksia paremmin eristävillä alapohjarakenteilla. Alapohjaeristys määrätään lisäksi suunniteltavaksi yhdessä routasuojauksen ja mahdollisen perusmuurin lämmöneristyksen kanssa (RakMk C3 2010, 6). Matalaenergiarakennusten routasuojauksen kannalta hankalin tapaus on routivalle maaperälle matalaperustettava lämmin rakennus (Viitanen, Peuhkuri, Tanskanen, Ojanen 2008, 15).

Seuraavissa kappaleissa tutkitaan nykyistä paremmin eristettyjen alapohjarakenteiden toimintaa, joka vaikuttaa osaltaan myös routasuojauksitarpeeseen. Toimintaa arvioidaan kosteus-, lämpö- ja rakenneteknisestä näkökulmasta viimeisimpien tutkimusten ja uusien artikkelien pohjalta.

8.1 Kosteustekninen toiminta

8.1.1 Maanvastainen alapohja

Alapohjaeristyksen lisäämisen seurauksena perusmaa jäähtyy ja alapohjan alta ylöspäin nousevan vesihöyryn aiheuttamat kosteusongelmat vähenevät. Nykyinen alapohjaeristys on riittävä kosteusteknisen toiminnan kannalta, eikä eristeen lisääminen paranna merkittävästi alapohjan kosteusteknistä toimintaa (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, 44).

Alapohjan lämmöneristyksen lisääminen ei aiheuta ongelmia, jos salaojitus ja kapillaarikatko on suunniteltu ja toteutettu huolellisesti. Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tutkimusselostuksen mukaan maanvastaisen alapohjarakenteen eristepaksuuden lisääminen matalaenergiarakenteeksi ei aiheuta kosteusteknistä riskiä. Tutkimusselostuksessa ei ole nähty aiheelliseksi antaa huomautuksia rakenteen toimivuuden varmistamisesta ja kosteusteknisistä riskeistä (Viitanen, Peuhkuri, Tanskanen, Ojanen 2008; 15, 22).

8.1.2 Ryömintätilainen alapohja

Ryömintätilan kosteus on lähtöisin enimmäkseen alapohjan maapohjasta haihtuvasta kosteudesta ja tuuletukseen käytetyn ulkoilman kosteuden tiivistymisestä. Ryömintätilaan kerääntyy kosteutta, koska kevään ja kesän aikana ulkoilman lämmitessä siihen sioutuu enemmän kosteutta ja alapohjan lämpötila on puolestaan ulkoilmaa alhaisempi perusmaan kylmyydestä johtuen. (Viitanen, Peuhkuri, Tanskanen, Ojanen 2008, 13).

Ryömintätilaisen alapohjan eristevahvuuden lisääminen heikentää kosteusteknistä toimintaa merkittävästi alapohjan lämpötilan laskiessa. TTY:n mukaan ryömintätilan suhteellinen kosteus kasvaa normaalina kesänä 78 %:sta 88 %:iin alapohjaeristystä lisättäessä 30 - 40 % nyky määräyksistä. Sateisena kesänä ryömintätilan suhteellinen kosteus saattaa nousta 100 %:n jo nykyisillä eristepaksuuksilla. Kosteuden lisääntyminen pidentää vuosittaista mikrobikasvustolle otollista ajanjaksoa (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, 32 - 34).

VTT:n lausunnon mukaan ryömintätilaisen alapohjan kosteustekninen toiminta perustuu riittävään ja tasaisesti jakautuneeseen tuuletukseen. Alapohjan lämpövirralla ei ole merkittävää vaikutusta nykyisilläkään eristevahvuuksilla ryömintätilan lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan. Alapohjaeristyksen lisäämisessä matalaenergiatasolle ei ole riskiä, kun kosteusteknisen toiminnan varmistavat muutokset ovat kunnossa (Viitanen, Peuhkuri, Tanskanen, Ojanen 2008; 14, 21).

VTT:n antamat huomautukset kosteusteknisen toimivuuden varmistamiseksi

- riittävä tuuletus koko ryömintätilaan ja tuuletuksen säätö
- maaperän kosteuden nousu rajoitettava
- maaperän paikallinen lämmöneristys ja lämpösäteilykatkot
- huonosti homehtuvien materiaalien käyttö.

8.1.3 Ryömintätilan maapohjan lämmöneristys

Maapohjan lämmöneristäminen muuttaa ryömintätilan olosuhteita lähemmäksi ulkoilman olosuhteita. Maanpohjan peittäminen tai tuuletusaukkojen lisääminen ei alenna ryömintätilan kosteuspitoisuutta sateisena kesänä, ryömintätilan suhteellinen kosteuden ollessa yhtä korkea kuin maapohjan suhteellinen kosteus. Tässä tilanteessa suhteellista kosteutta voidaan alentaa ainoastaan koneellisella kuivatuksella tai ryömintätilan lämmityksellä. Mainitut toimenpiteet edellyttävät, että kosteuden haihtuminen maaperästä ilmaan on rajoitettu (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, 30 - 34).

Alapohjan jäähtymistä ja kosteuden kertymisjaksojen pituutta voidaan pienentää maapohjan kosteussuojauksella ja lämmöneristyksellä erityisesti alapohjan reuna-alueilla. VTT:n tutkimuslausekkeessa suositellaan ryömintätilan tasoitetun perusmaan pinnalle suojamuovia, joka johtaa valumavedet salaojiin. Muovin päälle laitetaan hiekkakerros ja EPS- tai XPS-lämmöneriste ja sen päälle suojahiekka (Viitanen, Peuhkuri, Tanskanen, Ojanen 2008, 14).

Juha Vinhan käytännön ohje ryömintätilaisen alapohjan suunnitteluun ja toteutukseen on, että koko alapohjan maapohja lämmöneristetään. Vinha suosittelee routaeristeen päälle muovikalvoa, joka ehkäisee vapaan veden tunkeutumista eristeeseen. Muovikalvon ja routaeristeen väliin tulee jättää noin 50 mm:n sorakerros. Lämmöneristyskerroksen alapuolelle laitetaan vähintään 200 mm:n kapillaarisen nousun katkaiseva kerros (Vinha 2009, 377).

Ryömintätilan maanpinnalle asennettavalla muovikalvolla voidaan vähentää maasta haihtuvan kosteuden määrää myös Tampereen teknillisen korkeakoulun tutkijoiden mukaan. Kalvo on kuitenkin rei'itettävä, jotta ryömintätilaan mahdollisesti pääsevä valu-

mavesi pääsee poistumaan (Pitkänen, Kulman, Rantala 2000, 12). EPS-rakennuseristeteollisuus ei suosittele muovikalvon laittamista routaeristeen päälle, koska eristeen toimivuus säilyy parhaiten ilman muovia (EPS-eristeteollisuus).

Optiplanin omien tutkimusten mukaan ryömintätilassa on oltava riittävä tuuletus ja kuivat olosuhteet. Ryömintätilan pohja on aina eristettävä, ja paras eriste tähän on kosteuskapasiteettia omaava lämmön- ja kosteudeneriste. Nykyisillä eristepaksuuksilla tarkasteltuna saadaan varmatoiminen ratkaisu, kun ryömintätilan pohja eristetään 300 mm paksulla kevytsorakerroksella. Tällöin riittää luonnollinen tuuletus, jossa ryömintätilan ilmamäärä korvautuu kerran kahdessa tunnissa. Koneellinen tuuletus tarvitaan, mikäli kevytsorakerros on vain 150 mm paksu. Muovin asentamista ryömintätilaan ei suositella, koska se ei eristä kylmyyttä, ja koska tuuletusilmankosteuden kondensoituessa muovin pinnalle syntyy homehtumisriskin aiheuttavia lammikoita (Optiplan).

Korjausrakentamisen lehtorin näkemyksen mukaan ryömintätilaisen alapohjan lämmöneristävyyttä parannettaessa matalaenergiatasolle kosteusongelmien riski kasvaa, jolloin maapohjan kevytsoralla lämmöneristämisen lisäksi koneellinen tuuletus olisi suositeltavaa (Väisälä 2009).

8.2 Lämpötekniinen toiminta

Lämpimien rakennusten routasuojaus perustuu alapohjan läpi kulkevan lämpövirran perustuksia lämmittävään vaikutukseen. Tämän takia alapohjaeristuksen kasvattaminen vaatii enemmän routaeristystä perustusten sulana pitämiseksi (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, 44). VTT:n mukaan matalaenergiarakennusten routasuojaaaminen ei ole ongelma, mikäli hankalien kohteiden suunnittelu on tehty huolella (Viitanen, Peuhkuri, Tanskanen, Ojanen 2008, 15).

8.2.1 Maanvastainen alapohja

Perusmaan lämmöneristävyydellä on suuri merkitys maanvastaisen alapohjan lämpötekniiseen toimintaan. TTY:n tutkimusten mukaan perusmaan lämmönvastukset ovat rakentamismääräyskokoelmassa esitettyjä arvoja suuremmat. Rakentamismääräyskokoelma C4:n arvojen mukaan laskettuna lämpöhäviöenergia on jopa 80 % suurempi,

kuin kenttätutkimuksissa on mitattu. Tämän seurauksena alapohjaeristyksen lisäämistä saadaan todellisuudessa selvästi vähemmän hyötyä, kuin laskennallisesti on arvioitu (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, 34 - 35).

8.2.2 Ryömintätilainen alapohja

Tuuletusta lisättäessä ryömintätilan kosteuden vähentämiseksi alenee ryömintätilan lämpötila ja lämpövirta maapohjaan pienenee, jolloin perustussyvyyttä tai routaeristystä lisättävä. Pilareiden varaan perustetun täysin tuulettuvan alapohjan routaeristys mitoitetaan aina kylmänä rakenteena (Jääskeläinen 2009; 154, 169).

Alapohjan lämmöneristävyyttä lisättäessä pysyy ryömintätilan lämpötila yleensä yli 0°C, mutta erittäin hyvin lämpöä eristävissä alapohjissa on riski, että lämpötila laskee alle nollan. Lämpötilan lasku voi aiheuttaa lämpöeristämättömien putkien jäätyksen. Lämpöhäviöt ryömintätilaisen alapohjan läpi ovat ulkoilmaan rajoittuvia rakennusosia pienemmät maaperän lämmittäessä ryömintätilan ilmaa, jolloin lisäeristämisen taloudellinen hyöty jää vähäisemmäksi, kuin ulkoilmaan rajoittuvilla rakennusosilla (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, 32 - 34).

VTT:n tutkimusten mukaan alapohjan lämmönläpäisykertoimen parantaminen arvosta 0,20 W/m²K arvoon 0,17 W/m²K ei vaikuta ratkaisevasti ryömintätilan homeen kasvuun vaikuttaviin lämpötilaolosuhteisiin (Viitanen, Peuhkuri, Tanskanen, Ojanen 2008, 13).

Talonrakennuksen routasuojausohjeiden laatijan ja VTT:n tutkijan Harri Kivikosken mukaan matalaenergiarakennuksissa routasuojaus on tehtävä myös ryömintätilan sisäpuolelle. Lämpövirtauksen kannalta on tärkeää katkaista myös perustusten ja maapohjan välinen kylmäsilta (Kivikoski 2009).

8.3 Rakennetekninen toiminta

Energiatehokkaassa rakentamisessa vaaditaan kokonaisvaltaista ammattitaitoista suunnittelua ja toteutusta sekä suunnittelijoiden välistä tiivistä yhteistyötä. Koerakennuskoh-

teiden perusteella osataan kustannustehokkaasti parantaa rakennusten energian kulutusta (Tuomaala 2008, 355 - 357).

Kivirakenteista alapohjaa pidetään aina puurakenteista varmempana ratkaisuna (Vinha 2009, 376). Ryömintätilan materiaalivalinnoissa tulee huomioida erityisesti materiaalien kosteudenkestävyys. Alapohjan ilmatiiveys on rakenteen toiminnan kannalta erittäin tärkeää (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, 34). Homeen kasvua alapohjarakenteissa ei voida estää, joten alapohjan on oltava riittävän tiivis, etteivät epäpuhtaudet pääse sisäilmaan. Katolle vietävällä tuuletusputkella voidaan varmistaa epäpuhtauksien poistuminen (Viitanen, Peuhkuri, Tanskanen, Ojanen 2008, 13 - 14).

TTY:n tutkimuselostuksessa todetaan, että maanvaraisen alapohjan eristepaksuuksia kasvatettaessa betonilaatan paino ei riitä tiivistämään eristelevykerroksia heti valun jälkeen, jolloin laatta painuu ajan myötä. Tämä saattaa aiheuttaa radon- ja vedeneristyksen rikkoutumisen tai eristekerroksessa kulkevien putkien vaurioitumiseen (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, 8).

VVT:n lausunnon mukaan alapohjaeristyksen kasvattaminen ei lisää kosteusongelmia. Kenttätutkimusten perusteella ryömintätilan lahovaurioihin liittyy aina rakennusvirhe tai käytönaikainen huollon laiminlyönti (Viitanen, Peuhkuri, Tanskanen, Ojanen 2008, 14). Alapohjaeristepaksuuden kasvattaminen ei aiheuta asennuksen kannalta suurempia ongelmia eikä eristepaksuuden lisääminen aiheuta merkittäviä lisäkustannuksia.

8.4 Johtopäätökset tutkimuksista

8.4.1 Maanvastainen alapohja

Viimeaikaisten tutkimusten perusteella maanvastaisen matalaenergia-alapohjan toteutuksessa ei ole ylitsempäämättömiä ongelmia, mutta toisaalta eristepaksuuden lisäämisellä ei saavuteta laskennallista tavoiteltua energiansäästöä. Routaeristys voidaan mitoitaa nykyisillä ohjeilla karkeasti n. 320 mm:n alapohjaeristepaksuuteen asti. Alapohjaeristyksen kasvattaminen ei vaikuta mitoituksessa vaadittavaan routaeristeen paksuuteen eikä nurkka-alueen laajuuteen. Routasuojauksen leveys tulee kasvamaan Etelä- ja Kes-

ki-Suomessa nykyisestä 0,8 metristä 1,2 metriin uusien lämmöneristysmääräysten myötä.

8.4.2 Ryömintätilainen alapohja

TTY:n ja VTT:n tutkimusten johtopäätökset ryömintätilaisen alapohjan lämmöneristävyyden lisäämisestä poikkeavat toisistaan jonkin verran. TTY:n mukaan ryömintätilan kosteustekninen toiminta heikkenee huomattavasti homeen kasvulle suotuisan vuosittaisen ajanjakson pidentyessä. VTT:n näkemyksen mukaan alapohjan lämpövirralla ei ole nykyisillä eristevahvuuksillakaan merkittävää vaikutusta ryömintätilan lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan. VTT toteaa riittävän tuuletuksen sekä maapohjan lämmön- ja kosteuseristyksen estävän matalaenergia-alapohjan kosteusongelmat. TTY:n tutkimuksen mukaan ryömintätilaan vaaditaan maapohjan kosteuskatkon ja lämmöneristyksen lisäksi koneellinen tuuletus tai lämmitys. Molemmat tutkimukset ovat yhtä mieltä maapohjan lämmöneristyksen ja hyvän tuuletuksen tarpeellisuudesta sekä alapohjan ilmatii- viyden tärkeydestä ja homehtumattomien materiaalien suosimisesta. Matalaenergiara- kenteissa alapohjan läpi kulkevan lämpövirran pienentyminen lisää routaeristystarvetta enemmän TTY:n kuin VTT:n tulkinnessa. TTY:n yhteenveto tuo esille myös rou- tasuojauksen mitoitusharjojen puuttumisen alapohjan lämmöneristävyyttä edelleen pa- rannettaessa.

9 Tulevaisuuden pohdinnat

9.1 Energian säästötavoitteet

Kiinteistöjen osuus Suomen energiankulutuksesta on lähes 40 % ja hiilidioksidipäästöjen osuus on noin 30 % (Heljo, Nippala, Nuutila 2005, 33 - 34). Suomi on sitoutunut EU:n jäsenenä vähentämään kasvihuonepäästöjä 20 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Asuntonministeri asetti 2007 marraskuussa tavoitteeksi energiamääräysten 30 - 40 %:n kiristyksen, joka säädöspohjaisesti ohjaisi matalaenergiarakentamiseen vuoteen 2010 mennessä (Ympäristöministeriön tiedote 19.11.2007).

Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen on kansallisten ja kansainvälisten energia- ja ilmastopoliittisten tavoitteiden täyttymiselle keskeisessä roolissa (Tuomaala 2008, 355). Ympäristöministeriön rakennuspoliittisen ohjelman yhteenvedon mukaan rakennusten energiatehokkuutta tulee parantaa koko rakennuskannan osalta kansallisen ilmastostrategian tavoitteiden mukaisesti (Kansallinen rakennuspoliittinen ohjelma 2007, 21).

9.2 Lämmöneristysmääräykset

VTT:n tutkimusselostuksen mukaan rakenteiden kosteustekninen toimivuus ei aseta rajoituksia lämmöneristysmääräysten 30 - 40 %:n kiristämiseksi nykytasosta (Viitanen, Peuhkuri, Tanskanen, Ojanen 2008, 17). Lämmöneristysmääräysten jatkuva kiristäminen ajan myötä on havaittavissa taulukosta 5, jossa on esitetty rakentamismääräyskoelma C3:n lämmöneristysvaatimukset maanvastaiselle alapohjalle eri vuosina.

Taulukko 5: Maanvastaisen alapohjan enimmäislämmönläpäisykertoimet. (RakMk C3)

Vuosi	1978	1985	2003	2008	2010
U-arvo	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16

Ympäristöministeriön asettaman kansallisen tavoitteen mukaan vuonna 2012 on tarkoitus siirtyä kokonaisenergiakulutukseen perustuvaan sääntelyyn ja ottaa käyttöön primäärienergiatarkastelu. Samalla on tarkoitus toteuttaa lämmöneristysmääräysten koko-

naisuudistus, jonka yhteydessä yleistä vaatimustasoa kiristettäisiin edelleen 20 %. EU komissio on antanut 13.11.2008 uuden energiatehokkuusdirektiiviehdotuksen, jonka säädökset tulevat voimaan aikaisintaan 2011 tammikuussa julkisille rakennuksille ja 2012 helmikuussa muille rakennuksille (Kalliomäki 2009, 11). Rakennusten energiatehokkuusmääräykset tulevat siis jatkossa kiristymään entisestään. Rakenteellisen lämmöneristävyyden lisäksi energiatehokkuutta parannetaan tulevaisuudessa entistä enemmän LVI-tekniikan ja uusiutuvien energiamuotojen avulla.

9.3 Ilmastonmuutos

Ilmastonmuutos tulee heikentämään entisestään ryömintätilaisen alapohjan kosteusteknistä toimintaa pidentäen homeen ja lahottajasienten kasvulle suotuisia olosuhteita (Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008, 34).

Ilmastonmuutoksen seurauksena mm. maapallon keskilämpötila, merenpinnan korkeus ja sademäärät muuttuvat. Intergovernmental Panel on Climate Change (ICPP) ennusteiden mukaan maapallon keskilämpötila nousee 1,4 - 5,8°C vuoteen 2100 mennessä. Pohjoisten manneralueiden arvioidaan lämpiävän kaikkein eniten. Suomalaisen ilmakehän muutosten tutkimusohjelman keskimääräisen skenaarion mukaan Rovaniemen nykyinen keskilämpötila vastaisi vuonna 2050 Jyväskylän ja vuonna 2100 Turun nykyistä keskilämpötilaa (Makkonen 2004; 13, 17 - 18).

Ilmaston lämpeneminen vähentää luonnollisesti roudan määrää. Roudan maksimisyvyyden lumettomalla maalla arvioidaan alenevan Etelä- ja Keski-Suomessa nykyisestä 1,0 - 1,5 metristä 0,5 - 1,0 metriin. Lämpimämmistä talvista huolimatta roudan todennäköisyys kasvaa Etelä-Suomessa lumipeitteen ohenemisen myötä (Kivikoski 2004, 24).

Talonrakennuksen routasuojausohjeet 2007 kirjan pakkasmäärät ovat laadittu vuosien 1961 - 1990 lämpötilatilastojen perusteella. Harri Kivikosken mukaan routasuojausohjeita uudistettaessa pakkasmäärät päivitetään 1978 - 2007 tilastojen mukaisiksi, jolloin pakkasmäärät pienenevät suuruusluokaltaan 3000 - 4000 h°C nykytasosta (Kivikoski 2009).

Vuoden keskilämpötilan nousu 4°C:lla tarkoittaisi pakkasmäärien pienentymistä noin 20 000 h°C:lla, jolloin lämpimien rakennusten routasuojauksen mitoituksessa F_{50} pakkasmäärä vastaisi nykyistä F_5 pakkasmäärää. Roudattoman perustussyvyyden arvioidaan pienenevän Etelä-Suomessa 0,7 m. Kylmien rakenteiden vaadittavat eristelevyydet pienenevät 0,4 - 0,7 m nykyisestä. Routaeristeiden vaadittavat lämmönvastukset pienenevät 1,2 - 2,8 m²K/W paikkakunnasta ja eristeen alapuolisen routimattoman kerroksen paksuudesta riippuen. Vuoden 2003 mukaisiin lämmöneristysmääräyksiin verrattuna maanvaraisten ja ryömintätilaisten alapohjien routasuojaus voitaisiin toteuttaa 0,4 - 0,5 m pienemmällä perustussyvyydellä tai pienentämällä vaadittavaa lämmönvastusta 0,7 - 1,0 m²K/W. Mahdollisten pakkashuippujen ja lumettomuuden takia nykyinen routasuojaustaso on kuitenkin perusteltua säilyttää jatkossakin (Kivikoski 2004, 27 - 30).

10 Yhteenveto

10.1 Kylmien rakenteiden routasuojaus

Lämmöneristävyuden parantaminen ei luonnollisesti vaikuta kylmien rakenteiden routasuojauksen mitoitukseen. Kylmien rakenteiden routasuojauksen mitoituksen kulku on kuitenkin esitelty tässä työssä, koska talonrakennuskohteissa lähes aina joudutaan mitoittamaan myös kylmiä rakenteita. Kylmien rakenteiden routasuojauksen oikea mitoitus on tärkeää, koska kylmien rakenteiden liittyminen lämpimiin rakenteisiin on riskialtis paikka routavaurioille ja eniten erityistä tarvitaan juuri kylmille rakenteille.

10.2 Maanvastaisen alapohjan routasuojaus

Lämmöneristysmääräykset kiristyvät enemmän maanvastaisen alapohjan kuin ryömintätilaisen alapohjan osalta. Kiristys ei vaikuta routasuojauksen mitoitukseen, eikä se aiheuta tutkimusselvitysten mukaan rakenteen toiminnalle suurempia ongelmia. Alapohjaeristyksen kasvattamisesta ei saada todellisuudessa laskennallista hyötyä, jolloin eristepaksuuden kasvattaminen routasuojauksen mitoituksellisten rajojen yli ei ole järkevää.

10.3 Ryömintätilaisen alapohjan routasuojaus

Routasuojauksen mitoitus ensi vuoden määräysten mukaisille alapohjarakenteille voidaan tehdä Etelä-Suomessa liitteen 2 mitoitusohjeen avulla käytettäessä tavanomaisia rakenneratkaisuja ja perustussyvyyyksiä. Pohjoisemmaksi mentäessä ja poikkeavilla rakenteilla on syytä suorittaa tarkempi mitoitus Talonrakennuksen routasuojausohjeet kirjain avulla. Ryömintätilaisen alapohjan routasuojauksen mitoitus nykyisillä ohjeilla muodostuu ongelmalliseksi parannettaessa alapohjan lämmöneristävyyttä yli 2010 määräystason.

Lämmöneristävyyttä parannettaessa keskeinen kysymys routasuojauksen kannalta on minkälaiset olosuhteet ryömintätilassa milloinkin on. Tutkimusten perusteella on havaittavissa selvä yhteys alapohjan lämmöneristävyuden parantamisen aiheuttamien erityypp-

pisten ongelmien välille. Lämmöneristävyyden parantaminen pienentää lämpövirtaa alapohjan läpi, jolloin ryömintätilan lämpötila alenee ja kosteusongelmien riski kasvaa. Kosteuden poistamiseksi ryömintätilan tuuletusta täytyy lisätä, koska ryömintätilan lämmittäminen ei ole taloudellisesti tai teknisesti järkevää. Kosteana kesänä kasvavan tuuletuksen mukana tulee myös lisää kosteutta ja lisätuuletus viilentää ryömintätilan lämpötilaa entisestään. Lämpö- ja kosteusolosuhteita voidaan parantaa maapohjan lämmöneristyksellä, jolloin kylmä maapohja ei viilennä ryömintätilaa ja kosteuden haihtuminen maapohjasta ilmaan vähenee. Tuuletuksen kasvaessa täysin tuulettuvaksi alapohjaksi asti edellytetään routasuojaukseen kylmänä rakenteena. Lämpövirran pienentyessä ja tuuletuksen kasvaessa ryömintätilan lämpötila saattaa laskea alle nollan, jolloin ryömintätila olisi joka tapauksessa routasuojattava myös sisäpuolelta.

Matalaenergiaratkaisuisissa oikean routaeristystason voitaisiin käytännössä ajatella olevan jossain kylmän ja puolilämpimän rakennuksen routasuojauksen välissä. Tässä työssä vastaan tulleiden tutkimusten ja ohjeiden perusteella routasuojaus tulisi kuitenkin mitoittaa kylmänä rakenteena niin kauan kunnes uudistetut mitoitusohjeet ilmestyvät. Routasuojausohjeet tullaan todennäköisesti päivittämään vielä vuoden 2009 aikana, jonka jälkeen myös paremmin lämpöä eristävien ryömintätilaisten alapohjien routasuojauksen mitoitus voidaan tehdä luotettavasti.

Lähdeluettelo

Painetut lähteet

- Eerola, Martti 1986. Routivien maalajien käytöstä maa- ja pohjarakentamisessa. Teoksessa: Routa maa- ja pohjarakentamisessa RIL K66-1986. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
- Helander, Risto 1986. Maapohjan lämpötekniset mitoituslaskelmat. Teoksessa: Routa maa- ja pohjarakentamisessa RIL K66-1986. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
- Heljo, Nippala, Nuutila 2005. TTY, Rakennusten energiankulutus ja CO₂-ekv päästöt Suomessa. Raportti 2005:4 [pdf] Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Valtion teknillinen tutkimuskeskus.
- Jääskeläinen, Raimo 2003. Pohjarakennuksen perusteet. Tampere: Tammertekniikka
- Jääskeläinen, Raimo 2009. Pohjarakennuksen perusteet. Amk-Kustannus Oy
- Kankare, Esko 1986. Routimisen vähentäminen. Teoksessa: Routa maa- ja pohjarakentamisessa RIL K66-1986. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
- Keinonen, Leo 1985. Routimisilmiö ja maan lämpötekniilliset ominaisuudet. Teoksessa Routa rakentamisessa. Helsinki: Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus r.y.
- Kivikoski, Harri 1986a. Perustusten ja piharakenteiden routasuojaus. Teoksessa: Routa maa- ja pohjarakentamisessa RIL K66-1986. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
- Kivikoski, Harri 1986b. Routaeristyslaskelmat ja eristysratkaisut talonrakennus- ja kunnallisteknisissä kohteissa. Teoksessa: Routa ja pakkasen rakentamisessa. Helsinki: Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus r.y.
- Kivikoski, Harri 1987. Rakennusperustusten routasuojaus. Teoksessa Routa ja rakentaminen. Suomen geoteknillinen yhdistys ry ja Rakentajain Kustannus Oy.

- Kivikoski, Harri 2004. Ilmastonmuutoksen vaikutukset maa- ja vesirakentamiseen. Teoksessa Ilmastonmuutoksen vaikutukset rakennettuun ympäristöön. VTT tiedotteita 2227. Espoo: VTT.
- Kivikoski, Harri 2007. Talonrakennuksen routasuojausohjeet. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Korkeamäki, Tapio 1985. Kellari-, tuki- ja perustusrakenteiden rakenteellinen routasuojaus. Teoksessa Routa rakentamisessa. Helsinki: Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus r.y.
- Makkonen, Lasse 2004. Ilmastonmuutos – nykykäsitys Suomen osalta. Teoksessa Ilmastonmuutoksen vaikutukset rakennettuun ympäristöön. VTT tiedotteita 2227. Espoo: VTT.
- Matalaenergiarakenteiden toimivuus 2008. Tutkimusselostus nro 1706. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.
- Mäkelä, Harri 1992. Routavauriot ja routasuojaus RIL 193-1992. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y.
- Nieminen, Pertti 1987. Routivuuden määrittäminen. Teoksessa Routa ja rakentaminen. Suomen geoteknillinen yhdistys r.y. ja Rakentajain Kustannus Oy.
- Petäjä, Jouko 1985. Routaeristyslaskelmat. Teoksessa Routa rakentamisessa. Helsinki: Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus r.y.
- Pitkänen, Juha, Kulman, Mauri, Rantala, Jukka 2000. Talojen tuulettuva pohjarakennejärjestelmä. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu, Julkaisu 50.
- Rantamäki, Martti, Jääskeläinen, Raimo, Tammirinne, Markku 1979. Geotekniikka. Helsinki: Yliopistokustannus Oy
- Saarelainen, Seppo 1986a. Ikiroutanormit ja arktinen työmaatekniikka. Teoksessa: Routa ja pakkasen rakentamisessa. Helsinki: Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus r.y.
- Saarelainen, Seppo 1986b. Routivuusluokitus ja roudan syvyyden arviointi. Teoksessa Routa ja pakkasen rakentamisessa. Helsinki: Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus r.y.
- Salmi, Timo 1985. Routa- ja pakkasvauriot rakentamisessa. Teoksessa Routa rakentamisessa. Helsinki: Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus r.y.

Slunga, Eero, Hakulinen, Matti 2004. Pohjarakennusohjeet RIL 121-2004. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörin liitto RIL r.y.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, B3 Pohjarakenteet, määräykset ja ohjeet 2004. Ympäristöministeriö.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, C2 Kosteus, määräykset ja ohjeet 1998. Ympäristöministeriö.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, C3 Rakennuksen lämmöneritys, määräykset 2003. Ympäristöministeriö.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, C3 Rakennuksen lämmöneritys, määräykset 2007. Ympäristöministeriö. Helsinki: Edita.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, C3 Rakennuksen lämmöneritys, määräykset 2010 Luonnos. Ympäristöministeriö.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, C3 Rakennuksen lämmöneritys, määräykset 2010. Ympäristöministeriö.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, C4 Lämmöneristys, ohjeet 2003. Ympäristöministeriö.

Tuomaala, Pekka 2008. Energiatehokkaiden pientalojen suunnittelu. Teoksessa Rakentajain kalenteri 2009. Rakennusmestari- ja insinöörit AMK RKL ry ja Rakennustietosäätiö RTS. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Viitanen, Hannu, Peuhkuri, Ruut, Tanskanen, Kalle, Ojanen, Tuomo 2008. Lausunto rakenteiden energiätehokkuuden parantamisen vaikutuksista rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen. Tutkimuslaskelma nro VTT-S-10816-08. Valtion teknillinen tutkimuslaitos.

Vinha, Juha 2008. Rakennusten rakennusfysikaalisen suunnittelun ja rakentamisen periaatteet. Teoksessa Rakentajain kalenteri 2009. Rakennusmestari- ja insinöörit AMK RKL ry ja Rakennustietosäätiö RTS. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Julkaisemattomat lähteet

Kivikoski, Harri. Sähköpostiviesti 3.4.2009.

Kulmala, Hannele. Tampereen ammattikorkeakoulu, geotekniikan lehtori. Haastattelu 16.4.2009. Tampere.

Väisälä, Pekka. Tampereen ammattikorkeakoulu, korjausrakentamisen lehtori. Kysymys 16.4.2009. Tampere.

Sähköiset lähteet

EPS 2000 tuoteluokitus 2008. Muoviteollisuus ry. [pdf] [viitattu 23.1.2009]
<http://www.eps-eriste.fi/fin/tuoteluokitus/>

EPS-eristeteollisuus. [www-sivu]. [viitattu 23.1.2009] Saatavissa: <http://www.eps-eriste.fi/fin/>

Finnfoam-eristelevyt 2005. Finnfoam Oy. RT K-37080. [pdf] Rakennustieto Oy.
<http://www.tarviketieto.net/>

Kalliomäki, Pekka 2009. Energiamääräykset: RakMK 2010 - 2012 - 2020. [pdf]
RIL/LIVI yhteisseminaari 13.1.2009.
www.ril.fi/web/files/kalliomaki_compatibility_mode.pdf

Kansallinen rakennuspoliittinen ohjelma 2007. Loppuraportti. Ympäristöministeriö.
[pdf] [viitattu 14.4.2009]
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=1131>

Leca-routasuojaus suunnitteluohje 2005. Helsinki: Maxit Oy. [pdf] [viitattu 20.3.2009]
<http://www.maxit.fi/>

Optiplan Oy. [www-sivu]. [viitattu 16.4.2009] Saatavissa: <http://www.optiplan.fi/>

Routasuojusrakenteet 1995. RT-ohjekortisto 81-10590. Rakennustieto Oy

Styrofoam-eristeet 2007. Saint-Gobain Isover Oy. RT K-37296. [pdf] Rakennustieto Oy. <http://www.tarviketieto.net/>

Thermisol routa -eristeet 2006. Thermisol Oy. RT K-37091. [pdf] Rakennustieto Oy.
<http://www.tarviketieto.net/>

Ympäristöministeriön tiedote 19.11.2007. Ympäristöministeriö. Rakentamisen energiamääräyksiä tullaan kiristämään 30-40 prosenttia [online] [viitattu 14.4.2009]. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=256599>

Liitteet

Liite 1: Esimerkkilaskelmat

Kaikki esimerkkilaskelmien rakenteet 1-4 ovat Asuntotuotteen mukaisia ja ne sijoittuvat Helsinkiin ja vertailun vuoksi mukana on Jyväskylä.

Pakkasmäärät (Kuvio 3)

Helsinki 37 000Kh

Jyväskylä 48 000Kh

Esimerkki 1. Lämmin rakennus, maanvastainen alapohja

Esimerkin perusmaa on savea, salaojitettua hiekkaa tai soraa - mikä on melko yleinen rakennuspohja. Hieta, hiesu, moreeni ja salaojittamaton hiekka tai sora vaatii hieman enemmän routaeristystä. Kalliolle perustettaessa tarvitaan vielä enemmän routaeristystä (Taulukko 1).

Alapohjan U-arvo 2010 vaatimuksen mukainen 0,16 W/m²K

Alapohjaeristeen alapinnan etäisyys maanpinnasta ≤ 600mm

Perusmuurieristys 170+50mm

Perustussyvyys 0,80m

Perusmuurieristys

Suosittelava perusmuurin lämmönvastus (Kuvio 5)

Helsinki $m_p = 1,60 \text{ m}^2\text{K/W}$

Jyväskylä $m_p = 1,90 \text{ m}^2\text{K/W}$

Perusmuurin betoniosan lämmönvastus

$$m_b = \frac{d_b}{\lambda_{n,bet}} = \frac{0,26\text{m}}{1,7} = 0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Vaadittava eristeen lämmönvastus $m_e = m_p - m_b$

Helsinki $m_e = 1,45 \text{ m}^2\text{K/W}$

Jyväskylä $m_e = 1,75 \text{ m}^2\text{K/W}$

Vaadittava eristepaksuus $d_e = m_e \cdot \lambda_{design}$

$$\lambda_{design} = 0,039 \text{ W/Km}$$

Helsinki 57mm < 170+50mm, ok

Jyväskylä 68mm ok

Routaeristys

Vaadittava routaeristeen lämmönvastus (Kuvio 7)

Helsinki $m_r = 0,70 \text{ m}^2\text{K/W}$

Jyväskylä $m_r = 1,30 \text{ m}^2\text{K/W}$

Vaadittava eristepaksuus $d_e = m_r \cdot \lambda_{design}$ (nurkka-alueella +40%)

Helsinki seinälinja 29mm

nurkka-alue 40mm

valitaan **50/50mm**

Jyväskylä seinälinja 53mm

nurkka-alue 75mm

valitaan **50/75mm**

Routasuojauksen leveys B (Taulukko 3)
Etelä- ja Keski-Suomessa aina **1,2m**

Nurkka-alueen laajuus L_c (Taulukko 2)
Etelä- ja Keski-Suomessa aina **1,5m**

Esimerkki 2. Lämmin rakennus, ryömintätilainen alapohja

Ryömintätilan lämpötila $> 0^\circ\text{C}$, korkeus $\sim 800\text{mm}$ ja tuuletus $< 0,6\text{l/sm}^2$.

Alapohjan U-arvo 2010 vaatimuksen mukainen $0,17\text{ W/m}^2\text{K}$
Perusmuurieristys $170+50\text{mm}$
Perustussyvyys $1,25\text{m}$

Perusmuurieristys

Suosittelava perusmuurin lämmönvastus (Kuvio 9)

Helsinki $m_p = 1,2\text{ m}^2\text{K/W}$

Jyväskylä $m_p = 1,4\text{ m}^2\text{K/W}$

Perusmuurin betoniosan lämmönvastus

$$m_b = \frac{d_b}{\lambda_b} = \frac{0,19}{1,7} = 0,11\text{ m}^2\text{K/W}$$

Vaadittava eristeen lämmönvastus $m_e = m_p - m_b$

Helsinki $1,09\text{ m}^2\text{K/W}$

Jyväskylä $1,29\text{ m}^2\text{K/W}$

Vaadittava eristepaksuus $d_e = m_e \cdot \lambda_{design}$ $\lambda_{design} = 0,039\text{ W/Km}$

Helsinki 43mm $< 170+50\text{mm}$, ok

Jyväskylä 50mm ok

Routaeristys

Vaadittava routaeristeen lämmönvastus (Kuvio 10)

Helsinki $m_r = 0,40\text{ m}^2\text{K/W}$

Jyväskylä $m_r = 1,30\text{ m}^2\text{K/W}$

Vaadittava eristepaksuus $d_e = m_r \cdot \lambda_{design}$ (nurkka-alueella +40%)

Helsinki 16mm nurkka-alue 23mm valitaan **50/50mm**

Jyväskylä 53mm nurkka-alue 75mm valitaan **50/75mm**

Routasuojauksen leveys B (Taulukko 3)
Etelä- ja Keski-Suomessa aina **1,2m**

Nurkka-alueen laajuus L_c (Taulukko 2)
Etelä- ja Keski-Suomessa aina **1,5m**

Vertailun vuoksi: Alapohjan U-arvo ollessa $< 0,16\text{ W/m}^2\text{K}$ routasuojaus kylmänä rakenteena.

Helsinki $d_e = 74\text{mm}$ B=1,2m

Jyväskylä $d_e = 127\text{mm}$ B=1,3m

Esimerkki 3. Kylmä rakenne, pilariantura

Vuoden keskilämpötila $> 0^{\circ}\text{C}$.

Helsingissä ja muualla rannikkoseudulla lumen suojaavaa vaikutusta ei voida missään tapauksessa huomioida. Jyväskylän tapauksessa lumipeitteen tulisi säilyä yhtenäisenä ja talleamattomana vähintään 1,5 metriä leveänä kaistana rakenteen ympärillä koko pakkaskauden ajan, joten tässäkään tapauksessa ei lumen vaikutusta huomioida.

Perustussyvyys 0,75m.

Asennetaan eriste anturan alle. (Huomioi pitkäaikainen puristuskestävyys. EPS 120: 35kN/m²)

Roudaton perustussyvyys (Talonrakennuksen routasuojausohjeet, Kuva 7)

Helsinki 1,9m

Jyväskylä 2,2m

→ päätetään perustaa routarajan yläpuolelle

Routaeristys

Rakenne on arka routavaurioille, eikä routanousua sallita → mitoittava pakkasmäärä F_{50}

Lumipeitteen suojaavaa vaikutusta ei huomioida.

Routaeristeen alapuolisen routimattoman täytön paksuus

valitaan $Z_m = 0,2\text{m}$ (0,2m minimi)

Vuoden keskilämpötila (Talonrakennuksen routasuojausohjeet, Kuva 11)

Helsinki $T_m = 4,5^{\circ}\text{C}$

Jyväskylä $T_m = 2,7^{\circ}\text{C}$

Eristeen asennussyvyys $Z_r = 0,75\text{m}$ (eristeen yläpinnasta maanpintaan)

Vaadittava routaeristeen lämmönvastus asennussyvyys huomioimatta (Taulukko 4)

Helsinki $m_{ro} = 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$

Jyväskylä $m_{ro} = 3,8 \text{ m}^2\text{K/W}$

Vaadittava routaeristeen lämmönvastus asennussyvyys huomioituna (Yhtälö 2)

$$m_r = m_{ro} - (Z_r - 0,3) \cdot 1 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Helsinki $m_r = 2,05 \text{ m}^2\text{K/W}$

Jyväskylä $m_r = 3,35 \text{ m}^2\text{K/W}$

Vaadittava eristepaksuus $d_e = m_r \cdot \lambda_{design}$

$$\lambda_{design} = 0,041 \text{ W/Km}$$

Helsinki 84mm valitaan **100mm**

Jyväskylä 137mm valitaan **150mm**

Routasuojauksen leveys B (Kuvio 11)

Helsinki **1,9m**

Jyväskylä **2,1m**

Esimerkki 4. Kylmä rakenne, maanvastainen reunavahvistettu laatta

Vuoden keskilämpötila $> 0^{\circ}\text{C}$.

Helsingissä ja muualla rannikkoseudulla lumen suojaavaa vaikutusta ei voida missään tapauksessa huomioida. Jyväskylän tapauksessa lumipeitteen tulisi säilyä yhtenäisenä ja talleamattomana vähintään 1,5 metriä leveänä kaistana rakenteen ympärillä koko pakkaskauden ajan, joten tässäkään tapauksessa ei lumen vaikutusta huomioida.

Perustussyvyys 0,30m.

Routaeriste alkaa sokkelin alta.

Routaeristys

Rakenne on arka routavaurioille, eikä routanousua sallita \rightarrow mitoittava pakkasmäärä F_{50}

Lumipeitteen suojaavaa vaikutusta ei huomioida.

Routaeristeen alapuolisen routimattoman täytön paksuus

valitaan $Z_m = 0,2\text{m}$ (0,2m minimi)

Vuoden keskilämpötila (Talonrakennuksen routasuojausohjeet, Kuva 11)

Helsinki $T_m = 4,5^{\circ}\text{C}$

Jyväskylä $T_m = 2,7^{\circ}\text{C}$

Eristeen asennussyvyys $Z_r = 0,30\text{m}$ (eristeen yläpinnasta maanpintaan)

Vaadittava routaeristeen lämmönvastus asennussyvyys huomioimatta (Taulukko 4)

Helsinki $m_{ro} = 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$

Jyväskylä $m_{ro} = 3,8 \text{ m}^2\text{K/W}$

Vaadittava routaeristeen lämmönvastus asennussyvyys huomioituna (Yhtälö 2)

$m_r = m_{ro}$ asennussyvyyden ollessa $\leq 300\text{mm}$.

Helsinki $m_r = 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$

Jyväskylä $m_r = 3,8 \text{ m}^2\text{K/W}$

Vaadittava eristepaksuus $d_e = m_r \cdot \lambda_{design}$ $\lambda_{design} = 0,041 \text{ W/Km}$

Helsinki 103mm valitaan **100mm**

Jyväskylä 156mm valitaan **150mm**

Routasuojauksen leveys B (Kuvio 11)

Helsinki **1,9m**

Jyväskylä **2,1m**

Liite 2: Mitoitusohje

Tämä routasuojauksen mitoitusohje soveltuu routasuojauksen mitoittamiseen vain 2010 mukaisella alapohjaeristyksellä, eteläisessä Suomessa, Asuntotuote-rakennratkaisuin ja ilmoitetuin ehdoin.

Huom! Perustukset ja alapohja oltava pysyvästi kuivatettuja. Eristeenä EPS-120 Routa, vietto $\geq 2^\circ$ ulospäin. Mitat anturan reunasta. Routimattomaan perustussyvyyteen perustamisen taloudellisuus tutkittava.

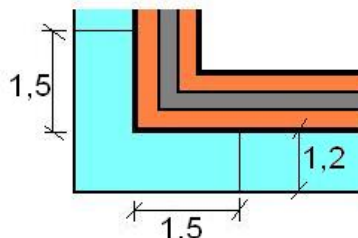
LÄMPIMÄT RAKENNUKSET

Lämpimillä rakennuksilla aina routasuojauksen leveys $B=1,2\text{m}$ ja nurkka-alueen laajuus $Lc=1,5\text{m}$.

Eristeiden asennussyvyys $\geq 200\text{mm}$. Liikennöidyillä alueilla syvemmälle tai suojattava.

Perusmuurin lämmöneristys on riittävä asuntotuoterakenteilla.

	Pakkasmäärä
Turku	35 600
Helsinki	37 000
Kotka	37 300
Pori	38 600
Lahti	42 200
Tampere	42 500



MAANVASTAINEN ALAPOHJA

Perustussyvyys 0,75m. Alapohja $U \geq 0,10$. Alapohjaeristeen alapinnan ja maanpinnan korkeusero $\leq 600\text{mm}$

EPS-120 (mm)	Maks. pakkasmäärä (Kh)	
	Nurkka-alue	Seinälinja
50	38000	43900
75	45700	55500
100	55000	70000

RYÖMINTÄTILAINEN ALAPOHJA

Alapohja $U \geq 0,16$. Ryömintätilan lämpötila $> 0^\circ\text{C}$, korkeus 800-1200mm, tuuletus $< 0,6\text{l}/\text{sm}^2$

Vähimmäispaksuus seinälinjalla / nurkka-alueella (mm)

Perustus- syvyys (m)	Pakkasmäärä (Kh)				
	35000	37500	40000	42500	45000
0,75	47 / 66	55 / 77	66 / 92	74 / 103	84 / 118
1,00	33 / 46	41 / 57	49 / 69	57 / 80	66 / 92
1,25	10 / 14	21 / 29	29 / 40	35 / 49	43 / 60
1,50	0 / 0	0 / 0	6 / 9	12 / 17	21 / 29

KYLMÄT RAKENTEET

Vuoden keskilämpötila $> 0^\circ\text{C}$

*Routaeristeen alapuolinen routimaton maakerros $\geq 200\text{mm}$. Eristeen etäisyys maanpinnasta $\geq 300\text{mm}$

Routaeristeen vähimmäispaksuus d (mm)

Pakkas- määrä (Kh)	Routimaton kerros* (m)	Routaeristeen yläpinnan etäisyys maanpinnasta (m)					
		0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50
35000	0,2	94	86	76	66	55	45
	0,4	74	66	55	45	35	25
	0,6	53	45	35	25	14	4
	0,8	41	33	23	12	2	0
	1,0	31	23	12	2	0	0
40000	0,2	115	107	96	86	76	66
	0,4	90	82	72	62	51	41
	0,6	66	57	47	37	27	16
	0,8	53	45	35	25	14	4
	1,0	41	33	23	12	2	0

Routasuojauksen leveys B (m) anturan reunasta

Pakkas- määrä (Kh)	Routaeristeen yläpinnan etäisyys maanpinnasta (m)							
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
35000	1,8	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
40000	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2