

Miika Kurtti

## **Perustusten vaihtoehtoinen eristäminen**

## **Perustusten vaihtoehtoinen eristäminen**

Miika Kurtti  
Opinnäytetyö  
Kevät 2024  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, rakennesuunnittelu

---

Tekijä: Miika Kurtti

Opinnäytetyön nimi: Perustusten vaihtoehtoinen eristäminen

Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Alternative insulation of foundations

Työn ohjaaja: Olli Mustaparta

Työn valmistuslukupäivä ja -vuosi: Kevät 2024

Sivumäärä: 27

---

Perustukset ja niiden eristäminen ovat tärkeä osa rakennusta ja sen kestävyttä. Perustukset ovat kosketuksissa maaperään, joten niiden suunnitteleminen ja toteuttaminen toimiviksi on ensiarvoisen tärkeää. Sokkeleiden sisäpuolinen eristäminen on yleisin käytössä oleva eristämistapa pientalorakentamisessa, mutta sekään ei ole täydellinen tapa vaan siinä on erilaisia haasteita.

Opinnäytetyön aiheena on perustusten vaihtoehtoinen eristäminen. Työssä keskityttiin tutkimaan halkaistua sokkeliä puurunkoisissa rakennuksissa ja sokkelin ulkopuolista eristämistä uudiskohteissa. Tavoitteena oli selvittää ulkopuolisen eristämisen hyödyt ja haasteet ja vertailla niitä sisäpuolisen eristämisen hyötyihin ja haasteisiin. Lisäksi tavoitteena oli tutkia halkaistun sokkelin sopivuutta puurunkoisiin rakennuksiin.

Aluksi työssä tutkittiin yleisesti käytössä olevan sisäpuolisen eristämisen hyötyjä, haittoja, materiaaleja ja toteuttamistapaa käyttäen erilaisia tietolähteitä. Tämän jälkeen keskityttiin tutkimaan ulkopuolista eristämistapaa ja halkaistua sokkeliä, hyödyntäen tietokoneohjelmia ja eri tietolähteitä. Eristämistapoja vertailtiin kerättyjen tietojen pohjalta.

Työssä päädyttiin tuloksiin, joiden myötä voidaan osoittaa, että ulkopuolinen eristäminen on toimiva eristämistapa erilaisissa kohteissa. Lisäksi todettiin, että halkaistu sokkeli on toimiva rakenne myös puurunkoisissa kohteissa, mutta se vaatii jonkin verran lisäsuunnittelua. Eristämismenetelmien käyttöönotto vaatisi kuitenkin tarkempia tutkimuksia ja testejä, jotta niiden toimivuudesta voitaisiin varmistua.

---

Asiasanat: perustus, lämmöneristys, uudisrakentaminen, energiatehokkuus, sokkeli, lämpökäytäytyminen

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in Civil Engineering, Option of House Building Engineering

---

Author: Miika Kurtti  
Title of thesis: Alternative Insulation of Foundations  
Supervisor: Olli Mustaparta  
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2024  
Number of pages: 27

---

Foundations and their insulation play a critical role in the durability of a building, given their direct contact with the soil. Designing and implementing effective foundation solutions are of paramount importance. While interior insulation of foundations is the most common method in residential construction, it comes with its own set of challenges.

This thesis focuses on alternative methods for foundation insulation, specifically examining split-slab construction in wooden buildings and exterior insulation in new constructions. The objective is to investigate the benefits and challenges of exterior insulation compared to interior insulation and to assess the suitability of split-slab construction for wooden buildings.

Initially, the study explores the advantages, disadvantages, materials, and implementation methods of interior insulation using various sources of information. Subsequently, the focus shifts to investigating exterior insulation and split-slab construction, utilizing computer software and diverse data sources. Insulation methods are compared based on the gathered data.

The findings of this study demonstrate that exterior insulation is a viable method for insulation in various contexts. Additionally, it was found that split-slab construction is effective in wooden buildings but requires some additional planning. However, the adoption of these insulation methods would necessitate more detailed research and testing to ensure their effectiveness.

---

Keywords: foundation, thermal insulation, new construction, energy efficiency, basement, thermal behavior

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	4
2	SISÄPUOLINEN ERISTÄMINEN .....	5
2.1	Perustusten energiatehokkuus .....	6
2.2	Perustuksen eristämistavat ja -materiaalit .....	8
3	HALKAISTU SOKKELI .....	11
3.1	Esimerkkirakenne .....	15
3.2	Lämpökäyttäytyminen .....	16
4	ULKOPUOLINEN ERISTÄMINEN .....	20
4.1	Esimerkkirakenne .....	22
4.2	Lämpökäyttäytyminen .....	23
5	YHTEENVETO .....	27
	LÄHTEET .....	28

# 1 JOHDANTO

Rakennusalalla on nykyisin yhä enemmän keskitytty löytämään kestäviä ja energiatehokkaita ratkaisuja. Energiatehokkuus ja kestävyys ovat tärkeitä teemoja rakentamisessa ympäristön sekä taloudellisuuden kannalta. Perustusten eristäminen on merkittävässä roolissa rakennuksen energiatehokkuutta ja kestävyyttä tarkastellessa. Perustusten eristämisen tavoitteena onkin vähentää lämpöhäviötä ja ehkäistä mahdollisia kosteusongelmia. (1.)

Opinnäytetyö käsittelee perustusten vaihtoehtoisia eristämistä, joista keskitytään tutkimaan enimmäkseen sokkelin ulkopuolista eristämistä. Sokkeleiden eristämistä on rakennusalalla ajansaatossa pohdittu usein ja siihen on luotu erilaisia ratkaisuja. Toteutukseen on päätyneet monenlaisia ratkaisuja, mutta täydellisesti toimivaa rakennetta tuntuu olevan mahdotonta löytää. Korjausrakentamisessa sokkelin ulkopuolista eristämistä käytetään jonkin verran, mutta uudisrakentamisessa se on edelleen hyvin harvinaista.

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää sokkelin ulkopuolisen eristämisen hyödyt ja haasteet sekä vertailla niitä sisäpuolisen eristämisen hyötyihin ja haasteisiin. Pyrkimyksenä on myös tutkia ulkopuolisen eristämisen soveltuvuutta uudiskohteisiin sekä selvittää eristämistavan kustannustehokkuutta ja käytännön toteutusta. Tavoitteena on käyttää työssä aikaisempia tutkimustuloksia, rakentamismääräyksiä sekä käytännön ratkaisuja apuna tutkimuksen tekemisessä.

Opinnäytetyön tilaajana toimii DEN Finland Oy, joka on Suomen suurin pientalotoimittaja. Yrityksen tuotemerkkejä ovat Designtalo, Finnlamelli ja Ainoakoti. Heidän intressinsä on kehittää uusi toimiva, energiatehokas ja eristämiseen perustuva kestävä ratkaisu, joka soveltuu heidän rakentamiin uudiskohteisiin. Työssä tarkastellaan erilaisia materiaaleja, energiatehokkuutta ja rakenteita, jotta tilaaja saa arvokasta tietoa ja suosituksia sokkelin ulkopuoliseen eristämiseen.

## 2 SISÄPUOLINEN ERISTÄMINEN

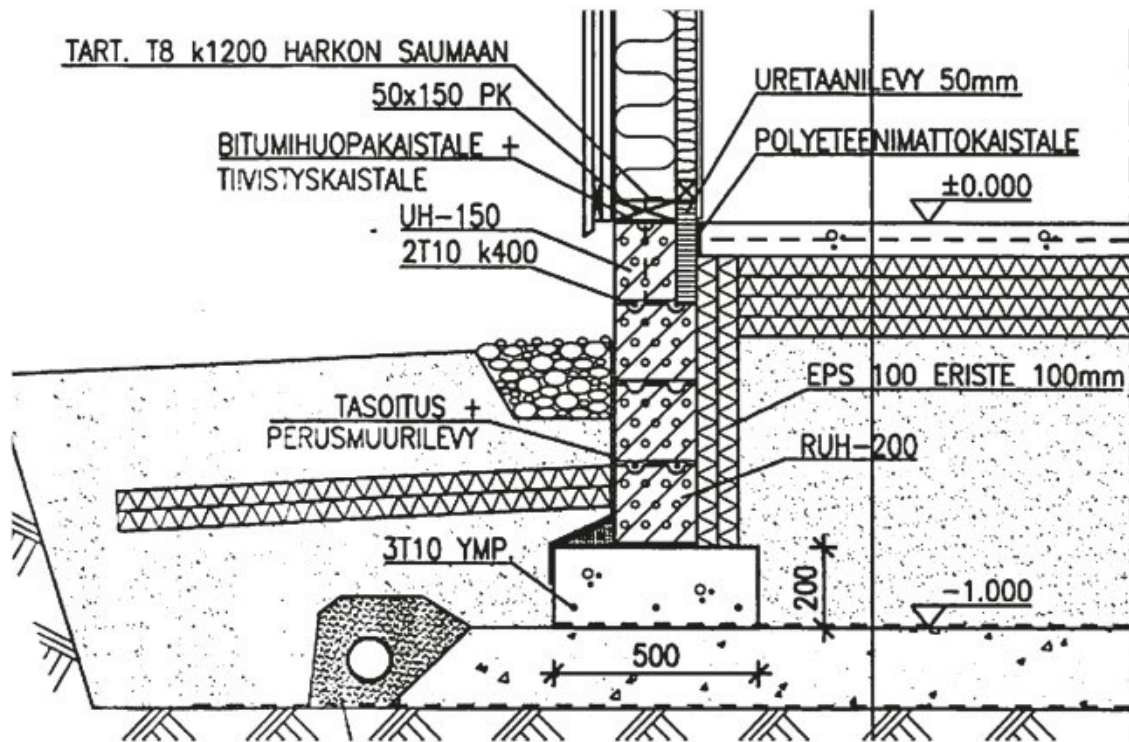
Perustus eli sokkeli on rakennuksen maaperää vasten oleva rakenne, joka valmistetaan yleensä teräsbetonista tai pilariharkoista. Perustuksista voidaan käyttää myös nimitystä perusmuuri. Maapohja ja sen kantavuus määrittävät rakennukselle soveltuvan perustusratkaisun. Perustukset rakennetaan yleensä anturan päälle, joka jakaa rakennuksen painon maapohjalle. (2.)

Perustusten sekä pohjarakenteiden suunnittelua ja rakentamista pidetään yleisesti yhtenä haastavimmista osuksista rakennusprojekteissa. Perustukset ja pohjarakenteet ovat yleensä ainoat osat rakennuksesta, jotka ovat kontaktissa maaperään. Rakennuksien maaperät ja tontit ovat aina yksilöllisiä, joten suunnittelua ja rakentamista ei voida toteuttaa jokaisessa kohteessa samalla sapluunalla. (2.)

Suomen ilmasto-olosuhteet aiheuttavat merkittävästi lisähaasteita perustusten ja niiden eristämisen suunnitteluun ja toteuttamiseen. Talviolosuhteet aiheuttavat pakkasrasitusta ja maan routimista, kun taas muina vuodenaikoina kosteusrasitus perustuksille on merkittävä. Vaihtelevien olosuhteiden takia perustukset täytyy eristää lämmöltä, routimiselta ja kosteudelta. (2.)

Yleisin perustuksen lämmöneristystapa on sokkelin sisäpuolinen eristäminen. Sisäpuolisella eristämällä tarkoitetaan lämpöeristeiden sijaintia perustusrakenteessa. Sisäpuolisessa eristämisessä lämpöeristeet sijoitetaan sokkelin sisäpintaan sisätäyttöjen ja sokkelin väliin. Perustukset eristetään vielä kosteudelta, routimiselta ja erikseen. Perustukseen kohdistuvat rasitukset ovat suuria sen sijainnin takia, joten eri rasituksilta eristäminen on hyvin tärkeää. (4, s.13.) Eristämistapoja ja materiaaleja käsitellään tarkemmin luvussa 2.2.

Uudisrakentamisessa, etenkin pientalorakentamisessa, yleisesti käytössä oleva perustamistapa on maanvarainen betoniperustus, joka on esitetty kuvassa 1. Perustustapaa valittaessa maanvaraisen perustuksen lisäksi vaihtoehtoina on ryömintätilainen perustus, kellarillinen perustus, paa-luperustus ja pilariperustus. Perustustavan määrittää tontti ja maapohja. (3.)



KUVA 1. Tyypillinen nykyajan sokkeli (5)

## 2.1 Perustusten energiatehokkuus

Perustukset ovat yksi merkittävä osa rakennuksen rakenteita, jotka vaikuttavat energiatehokkuuteen. Niiden päätarkoitus on siirtää rakennuksen kuormat maaperään, mutta niillä on myös ratkaiseva rooli lämpöhäviöiden hallinnassa ja energiansäästössä. Hyvin suunnitellut ja toteutetut perustukset voivat vähentää lämpöhäviöitä maaperän kautta ja estää kylmän ilman virtaamisen rakennuksen alapuolelle. Energiatehokkuus pienentää osaltaan rakennuksen käyttökustannuksia ja pitää näin ollen kustannukset kurissa, mikäli energian hinta nousee. Energiatehokkuus säästää sekä ilmastoa että rahapussia. (6.)

Suomessa rakennusten energiatehokkuudesta säädetään EU:n rakennusten energiatehokkuusdirektiivissä, joka on tullut voimaan 2010 (2010/31/EU). Energiatehokkuusdirektiiviin tuli muutos vuonna 2018 (2018/44/EU) ja Euroopan komissio on julkaissut ehdotuksen direktiivin uudistamisesta joulukuussa 2021. Energiatehokkuusdirektiivin säädökset toimeenpannaan kansallisella tasolla maankäyttö- ja rakennuslaissa (132/1999), sekä valtioneuvoston ja ympäristöministeriön



asetuksissa. Rakentamismääräyskokoelmia käytetään korjausrakentamisessa, jossa käytetään aikansa tarkasteluja. Direktiiviä toimeenpannaan lisäksi myös erillislainsäädännöllä ja muilla toimilla. Säädökset eivät koske ainoastaan uudisrakentamista, vaan myös rakennusten korjaamista. (6.)

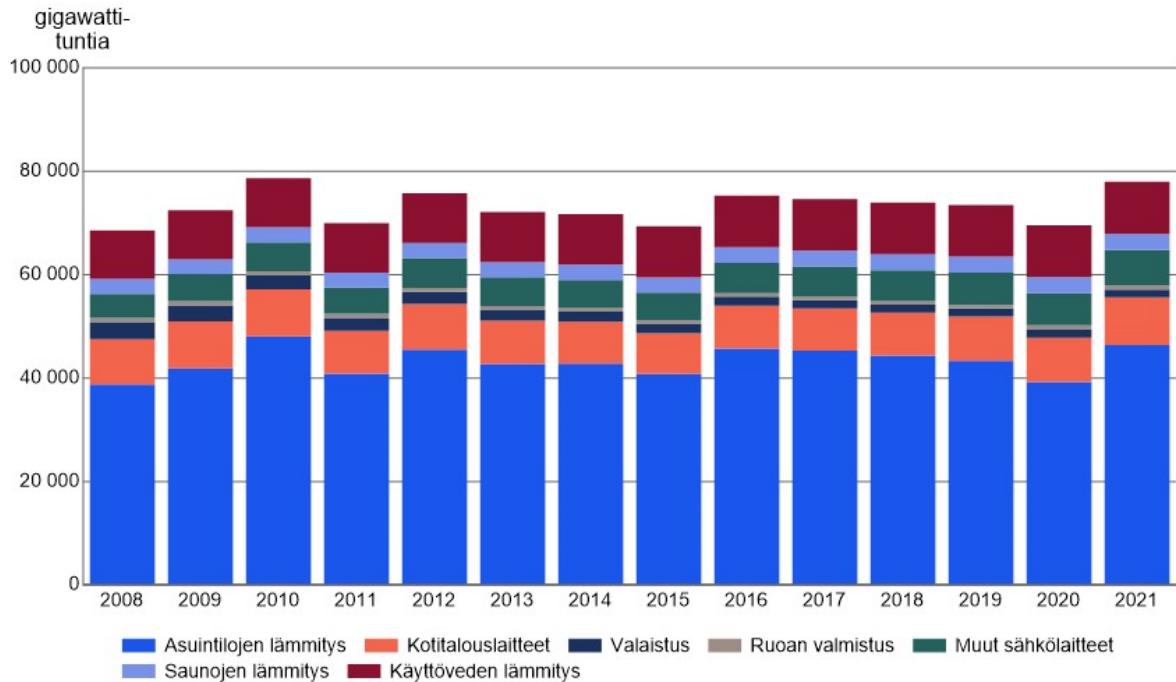
Rakennuksen energiatehokkuutta ilmaistaan E-luvulla, joka on rakennuksen laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku. Käytännössä E-luku tarkoittaa vuotuista ostoenergiankulutusta vakioidulla käytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden, jonka laskennassa otetaan huomioon käytettävän energiamuodon kertoimia. E-luvun yksikkönä toimii kWhE/(m<sup>2</sup>a). Uudisrakentamisessa energiatehokkuusvaatimukset vaihtelevat riippuen rakennustypeistä, mutta yleensä se tarkoittaa vähintään B-luokkaa. B-luokan rakennukseen riittää hyvin matala energiantarve. E-luvun laskennassa otetaan huomioon U-arvoja, sekä kylmäsiltoja, joten perustuksien eristäminen vaikuttaa suoraan myös E-lukuun. (7.)

U-arvo eli lämmönläpäisykerroin tarkoittaa lämpövirran tiheyttä, joka läpäisee jatkuvuustilassa rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien tilojen välillä on yksikön suuruinen. U-arvon yksikkönä käytetään W/(m<sup>2</sup>K). Ympäristöministeriön asetuksessa (1010/2017) säädetään, että maata vasten olevan rakennusosan, johon myös perustukset kuuluvat, U-arvon raja-arvo on 0,16 W/(m<sup>2</sup>K). Tämä on otettava huomioon perustusten ja niiden eristeiden suunnittelussa. (8.)

Suomessa käytettävästä energiasta noin 40 prosenttia kuluu rakennuksissa. Talven kylmien olosuhteiden vuoksi rakennuksien lämmittämiseen kuluu suuri määrä energiaa. Asuintilojen lämmitys onkin merkittävin osa asumisen energiankulutusta Suomessa, kuten kuvasta 2 käy ilmi. Huonosti eristettyjen, yleensä vanhojen, rakennusten lämmitykseen käytettävästä energiasta päättyy suuri määrä hukkaenergiana taivaalle. Tämä johtuu siitä, että heikko eristys ja mahdolliset ajan aiheuttamat vauriot rakenteissa mahdollistavat lämmön karkaamisen helposti rakennuksen seinien, perustusten ja ikkunoiden kautta. Lisäksi vanhoissa rakennuksissa voi olla teknisesti vanheneita lämmitysjärjestelmiä, jotka ovat tehottomia ja kuluttavat enemmän energiaa, kuin nykyaikaiset ratkaisut. (9.)

## Asumisen energiankulutus käyttökohteen ja energian lähteen mukaan 2008-2021

Yhteensä



lähde: Tilastokeskus, asumisen energiankulutus

KUVA 2. Asumisen energiankulutus Suomessa (9)

### 2.2 Perustuksen eristämistavat ja -materiaalit

Perustuksien eristämistavat ja -materiaalit ovat aikojen saatossa vaihdelleet ja muuttuneet. Taivoista ja materiaaleista jotkut ovat jääneet käyttöön, kun taas jotkut todettu huonoiksi ja unohdettu. Nykyrakentamisessa on jo pitkään suosittu sokkelin sisäpuolista eristämistä, jonka käyttäminen onkin varsin yleistä. Sokkelin sisäpuolinen eristäminen on suosittua varsinkin pientalorakentamisessa, johon enimmäkseen keskitytään tässä työssä. (5.)

Sokkelin sisäpuolisessa eristämisessä rakennuksen lattia ja sokkelin sisäpuoli lämpöeristetään, jotta lämpö ei pääsisi liikkumaan rakennuksen alla olevaan viileään maaperään. Ulkopuolelta sokkeli eristetään ainoastaan kosteudelta ja roudalta. Lämpöeristeinä käytetään yleisesti EPS- tai XPS-levyjä, jotka maanpaine painaa sokkeliä vasten. Näin ollen eristeitä ei tarvitse erikseen kiinnittää sokkeliin. Lämpöeristeet sijoitetaan yleensä anturan päälle sokkelin perusmuurin sisäpintaan ennen valua, kuten kuvassa 3 on esitetty. Sisäpuolisessa eristämisessä lämpöeristeet

eivät ole suorassa kontaktissa kosteuden kanssa, jota voidaan pitää kyseisen eristämistavan selkeänä hyötynä. (10.)



*KUVA 3. Lämpöeristeet sokkelimuotissa (11)*

Sokkelin kosteudeneristäminen on tarpeellinen osa perustuksia. Kosteudeneristys estää kosteusvauroiden syntymisen ja sitä kautta mikrobi- ja homekasvustoja. Puutteellisesta kosteudeneristyksestä voi aiheutua pahojakin kosteusvaurioita, jotka rapauttavat talon kantavia rakenteita. Sokkelin ulkopuolella kosteudeneristeenä toimii usein muovinen patolevy, joka estää kosteuden suoran kontaktin sokkeliin. Patolevyllä myös luodaan kapillaarikatko seinän ja maamassojen välille, joka sallii seinärakenteen kuivumisen myös ulospäin. Patolevy kiinnitetään sokkeliin yleensä siihen tarkoitetuilla tulppanuloilla. Vaihtoehtoisesti sokkeli voidaan eristää kosteudelta bitumilla.

Käytännössä bitumilla eristettäessä sokkelin pintaan kiinnitetään bitumihuopa kuumentamalla huovassa oleva tarttumapinta liekillä. Bitumihuopaa voidaan "liimata" sokkelin pintaan yksi tai useampi kerros. Bitumia käytetään yleensä kerrostalojen ja muiden isompien rakennuksien sokkeleiden eristeenä, mutta sen käyttö omakotitaloissakaan ei ole poikkeuksellista. Kuvassa 4. on esitetty, kuinka patolevy sijoittuu sokkelin ulkopintaan. (12.)



*KUVA 4. Patolevy valmiissa sokkelissa (13)*

### 3 HALKAISTU SOKKELI

Halkaistu sokkeli eli toiselta nimeltään sandwich-sokkeli on sokkelirakenne, jota käytetään yleisesti halli- ja kerrostalorakentamisessa, mutta se soveltuu kaikkiin rakennustyyppeihin. Pientalojen osalta sandwich-perustuksia käytetään usein kivitaloissa, joihin kyseinen perustusmalli sopii erinomaisesti. Kivitalot valmistetaan yleensä harkoista tai rakenteeltaan sandwich-sokkelin kaltaisista elementeistä, jolloin eristepinta on yhtenäinen ja kuormat jakautuvat tasaisesti sokkelielementin sisä- ja ulkokuorelle. (14.)

Sandwich-sokkeli valmistetaan yleensä elementteinä, jotka koostuvat betonisesta ulko- ja sisäkuoresta sekä niiden välissä olevasta lämmöneristeestä. Ulko- ja sisäkuori yhdistetään yleensä sokkelin alareunasta toisiinsa betonikannaksella sekä tarvittaessa ansailla ja elementin yläreunaan tulevalla U-haalla, jotka varmistavat elementin vakauden ja kestävyuden. Rakenne tarjoaa sekä kestävyyttä että hyvää suojaa eristeelle, mikä on tärkeää vaihtelevassa ilmastossa ja monenlaisissa maaperäolosuhteissa. (14.)

Sandwich-elementit tuetaan seinäanturoiden, pilarianturoiden tai anturalaattojen päältä, joten ne eivät välttämättä tarvitse erikseen anturaa koko matkalle. Tämä mahdollisuus tarjoaa joustavuutta perustusten suunnittelussa ja toteutuksessa. Pilarianturoiden tai anturalaattojen päältä tuettaessa elementti suunnitellaan toimimaan palkkina. Sokkelielementtien koko ja muoto vaihtelevat käyttötarkoituksesta mukaan. (15.)

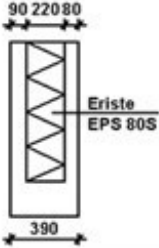
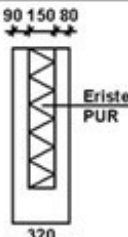
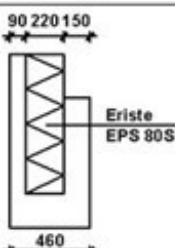
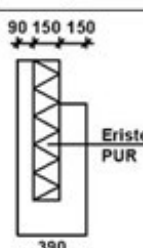
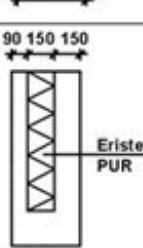
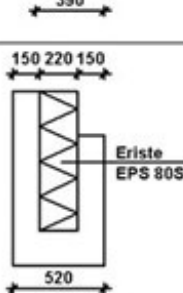
Elementtiä suunnitellessa on olennaista valita elementtiin sopivat paksuudet sisä- ja ulkokuorelle, sekä lämmöneristeelle. Sisä- ja ulkokuoren sekä lämmöneristeen paksuudet valitaan siten, että elementissä saavutetaan riittävä lujuus, riittävä lämmöneristys ja toimivat rakennedetailit yläpuolisten rakenneosien kanssa. Sisäkuoren paksuuden valintaan vaikuttavat yläpuolisen seinärakenne ja kuormitus. Suositeltava paksuus sisäkuorelle on 80–180 mm. Sisäkuoren paksuutta muuttamalla elementti saadaan halutun paksuiseksi. Lämmöneristeen suositeltavat paksuudet ovat 150 ja 220 mm. Eristeenä sandwich-elementeissä käytetään yleisesti urittamatonta EPS 80S -eristettä tai PUR-eristettä, jotka tarjoavat erinomaisen lämmöneristyskyvyn. Ulkokuoren paksuuden valintaan vaikuttavat yläpuolinen seinärakenne ja käytettävä pintamateriaali. Suositeltavia paksuuksia

betonipintaiselle ulkokuorelle ovat 90 ja 150 mm. Kantavien ulkokuorien, kuten tiilimuurattujen julkisivujen alapuolisten elementtien ulkokuoren suositeltava paksuus on 150mm. (15.)

Lähtökohtaisesti sokkelin ja seinäelementin sisäpinnat pidetään samassa tasossa. Tarvittaessa sisäpinnat voidaan sijoittaa eri tasoon, mutta tällöin tulee huomioida, että seinien kuorien kuormitus siirtyy sokkelien kuorille. Lisäksi täytyy ottaa huomioon, että elementtien välinen tappikololiitos on edelleen toteutettavissa. Mikäli raja-arvoista poiketaan, tulee suunnittelussa paksuudet tarkistaa tapauskohtaisesti. Pääsääntöisesti sisäkuoren paksuutta pyritään muuttamaan ja ulkokuoren paksuus säilyttämään, mikäli se on mahdollista. Sisäkuoren paksuutta muutetaan ensisijaisesti siksi, että ulkokuoren paksuus vaikuttaa merkittävästi rakenteen kestävyteen ja ulkonäköön, kun taas sisäkuoren paksuuden muuttaminen tarjoaa enemmän joustavuutta rakenteen suunnitteluun. (15.)

Voidaankin todeta, että sandwich-sokkeli edustaa tämänhetkisen rakennustekniikan huippua tarjoten kattavan ratkaisun monien rakennusprojektien vaatimuksiin. Sen rakenteellinen kestävyys, erinomainen lämmöneristys ja modulaarinen rakenne luovat vahvan perustan rakennuksen pitkäikäisyydelle ja energiatehokkuudelle. Lisäksi sandwich-sokkelin suunnittelussa ja toteutuksessa korostuu joustavuus, mikä mahdollistaa sen soveltamista erilaisissa rakennusympäristöissä ja -tarpeissa. Näiden syiden takia sandwich-sokkelin toimivuutta puurunkoisissa pientaloissa, jotka ovat yksi suomen yleisimmistä rakennustyypeistä, olisi hyvä tutkia perinpohjaisesti.

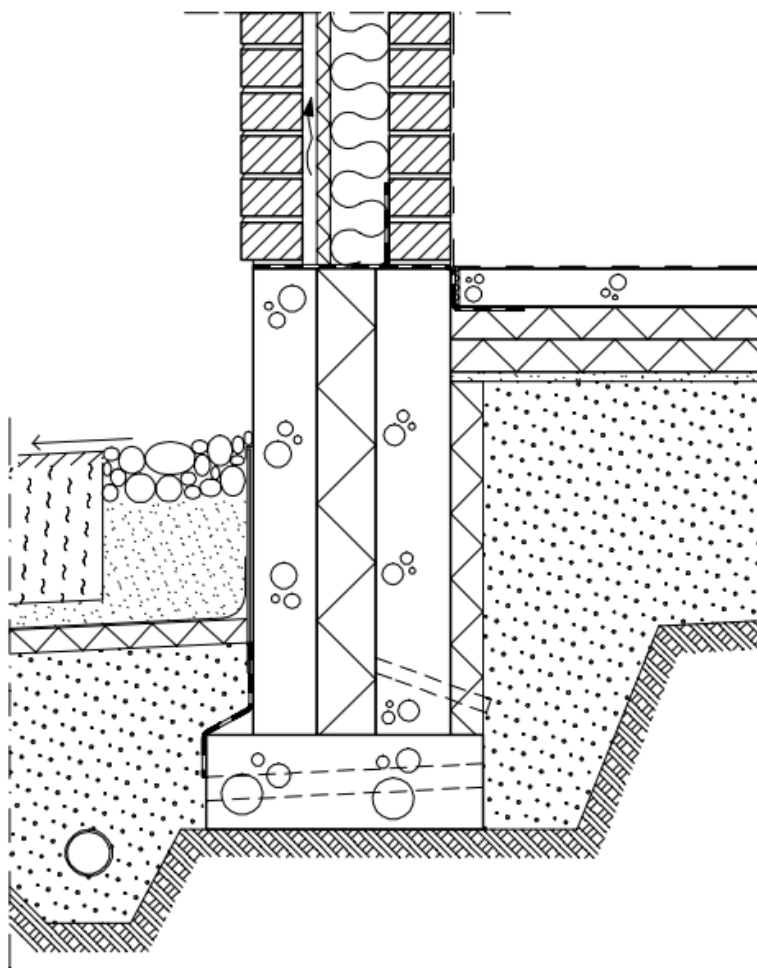
Kuvassa 5 on esitetty sokkelielementtien suosituskokoja ja määritetty ulkoseinätyyppejä, jotka soveltuvat niiden yläpuolelle. On tärkeää huomata, että kuvassa esitetyt sandwich-rakenteet ovat vain ohjeellisia ja niitä voidaan soveltaa eri rakennustyyppisiin ja -olosuhteisiin. Lisäksi rakennussuunnittelussa on otettava huomioon paikalliset rakentamismääräykset ja standardit sekä rakennuksen kokonaisvaltainen suunnittelu. Kyseisiä rakenteita ei ole suunniteltu puurunkoisiin rakennuksiin, mutta antavat kuvan siitä, minkä tyyppisiä sandwich-sokkelien rakenteet voivat olla ja millaisia erilaisia mahdollisuuksia niiden suunnittelussa on.

SOKKELITYYPPI	YLÄPUOLINEN SEINÄTYYPPI
	<p>Ei kantava sandwich-elementti</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sisäkuori 80mm</li> <li>Eriste mineraalivilla tai EPS 240mm</li> <li>Ulkokuori 70mm</li> </ul> <p>Paksuus 390mm</p>
	<p>Ei kantava sandwich-elementti</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sisäkuori 80mm</li> <li>Eriste EPS 180mm <math>\lambda_d \leq 0,031</math> W/mK</li> <li>Ulkokuori 70mm</li> </ul> <p>Paksuus 330mm</p>
	<p>Kantava sandwich-elementti</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sisäkuori 150mm</li> <li>Eriste mineraalivilla tai EPS 240mm</li> <li>Ulkokuori 70mm</li> </ul> <p>Paksuus 460mm</p>
	<p>Kantava sandwich-elementti</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sisäkuori 150mm</li> <li>Eriste EPS 180mm <math>\lambda_d \leq 0,031</math> W/mK</li> <li>Ulkokuori 70mm</li> </ul> <p>Paksuus 400mm</p>
	<p>Rapattu julkisivu</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sisäkuori 150mm</li> <li>Eriste mineraalivilla 240mm</li> <li>Ohutrappaus 10mm</li> </ul> <p>Paksuus 400mm</p> <p>Rappausjärjestelmä voi vaihtoehtoisesti olla 220mm eriste ja 25 mm rappaus.</p>
	<p>Muurattu julkisivu</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sisäkuori 150mm</li> <li>Eriste mineraalivilla 220mm</li> <li>Ilmarako 40mm</li> <li>Muuraus 130 mm</li> </ul> <p>Paksuus 540mm</p>

KUVA 5. Esimerkkejä sokkeli-elementeistä ja niiden yläpuolisista seinärakenteista (16)

Halkaistu sokkeli voidaan myös rakentaa kokonaan tai osittain paikallavaluna, jolloin etuna on, ettei sokkeeliin tule työsaumojia. Paikallavaluna rakennettuna sokkelin tuetaan anturan päälle, eikä sokkelin alareunaan tule betonikannasta, kuten elementeissä. Osittainen paikallavalu voi olla välttämätöntä kohteissa, joissa elementtien käyttäminen on haastavaa esimerkiksi kallioisen maaperän, pitkien sokkelilinjojen tai poikkeavien nurkkien takia. Kuvassa 6 on esitetty leikkauskuvaa halkaistusta sokkelista, joka on tuettu erikseen valetun anturan päälle. Kuvan sokkeliosa voidaan toteuttaa valmiista elementistä tai vaihtoehtoisesti valaa paikallaanvaluna anturan päälle.

Mittakaava 1:20



KUVA 6. Halkaistu sokkeli (16)



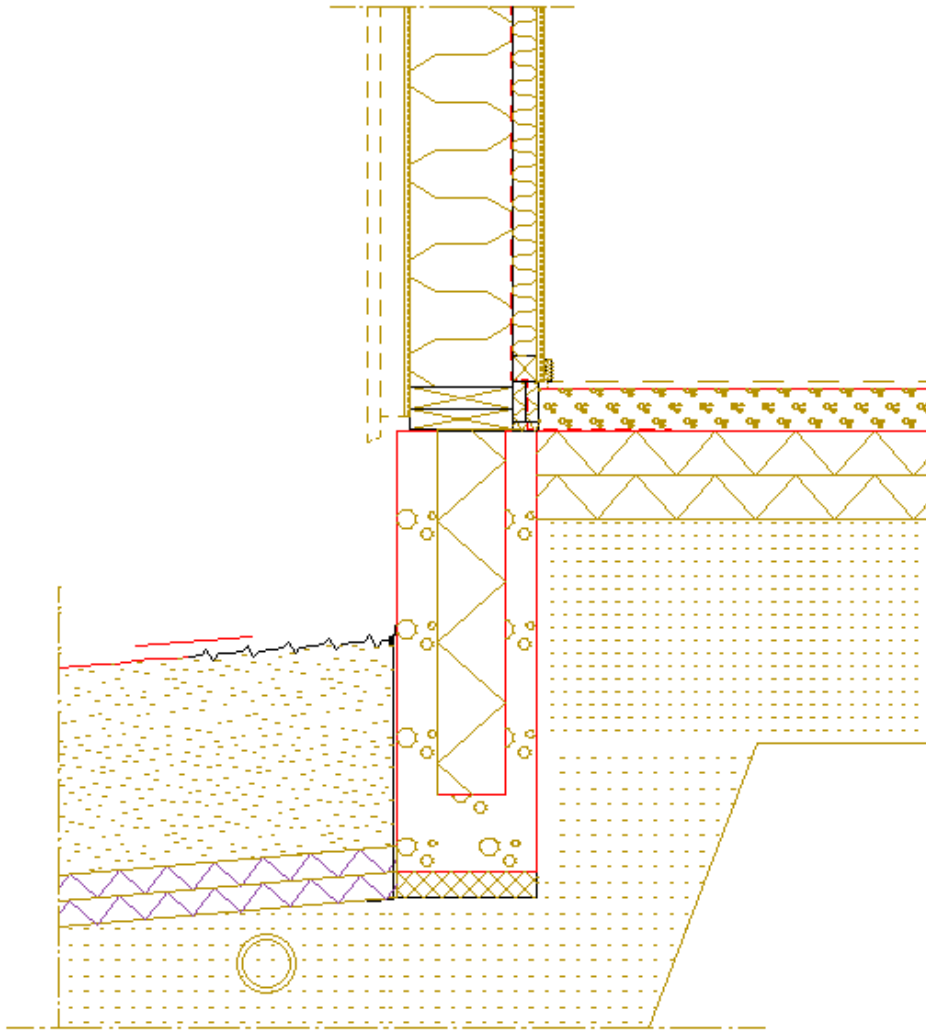
### 3.1 Esimerkkirakenne

Tutkittavien eristämistapojen esimerkkirakenteet luotiin Vertex BD- ohjelmalla, joka on rakenne- ja arkkitehtisuunnitteluun tarkoitettu suomalainen ohjelmistoalusta. Esimerkkirakenteista pyrittiin luomaan mahdollisimman yksinkertaisia ja DEN Finland Oy:n käyttämiin seinärakenteisiin soveltuvia. Materiaalien paksuudet ja sijoittelut pyrittiin suunnittelemaan niin, että rakenne olisi mahdollisimman energiatehokas ja pitkäikäinen, mutta samalla sen toteuttaminen olisi mahdollista. Kuten rakentamisessa yleensäkin, myös näiden rakenteiden suunnittelussa täytyi tyytyä kompromisseihin toteutuksen ja energiatehokkuuden välillä.

Halkaistun sokkelin eristeet ovat hyvin suojassa kosteusrasituksilta, joten sitä voidaan pitää pitkäikäisenä ratkaisuna. Eristemateriaali on suojattu sivuilta ja alapuolelta betonilla, yläpuolella päällä on seinärakenne. Lämpökäyttämisen kannalta eristeen pysyminen hyvässä kunnossa on tärkeä asia. Halkaistun sokkelin lämpöeristekerroksen yhtenäisyyttä voidaan myös pitää selkeänä etuna muihin eristämistapoihin. Eristekerros kulkee yhtenäisenä sokkelilta seinälle, jolloin välille ei synny kylmäsiltaa.

Halkaistun sokkelin käyttäminen puurunkoisissa kohteissa on harvinaista. Lämpökäyttämisen kannalta rakennetta voidaan pitää kuitenkin järkevänä myös puurunkoisissa rakennuksissa. Haasteeksi puurunkokohteissa voi syntyä seinärakenteen sopivuus paksuun sokkelirakenteeseen, joka syntyy kahdesta betonimuurista ja lämpöeristeestä. Vastaavaa haastetta kivitalojen kohdalla ei synny, koska kivitalojen seinäpaksuudet ovat suurempia ja usein vastaavia sokkeleiden kanssa.

Kuvan 7 esimerkkirakenteessa sokkelin ulkopinta on seinän runkoa ulompana, johtuen paksusta sokkelirakenteesta. Paksulla sokkelirakenteella perustuksista pyritään saamaan kestävä, sekä energiatehokkaat. Tämän kaltaisessa rakenteessa ulkoverhouksen paksumpi koolaus voi toimia yhtenä vaihtoehtona suojaamaan sokkelin yläpintaa kosteudelta. Sokkelin yläpinnalle olisi hyvä lisätä myös vesipelti tai muu suoja, jotta kosteus ei pääsisi sitä kautta rakenteisiin. Alaohjauspuu on jätetty rakenteesta pois, koska se jouduttaisiin kyseisessä rakenteessa asettamaan eristeen päälle. Rakenne ei ole toteutuksen kannalta ideaali, mutta tällä rakenteella voitiin tehdä lämpökäyttämisen vertailu.

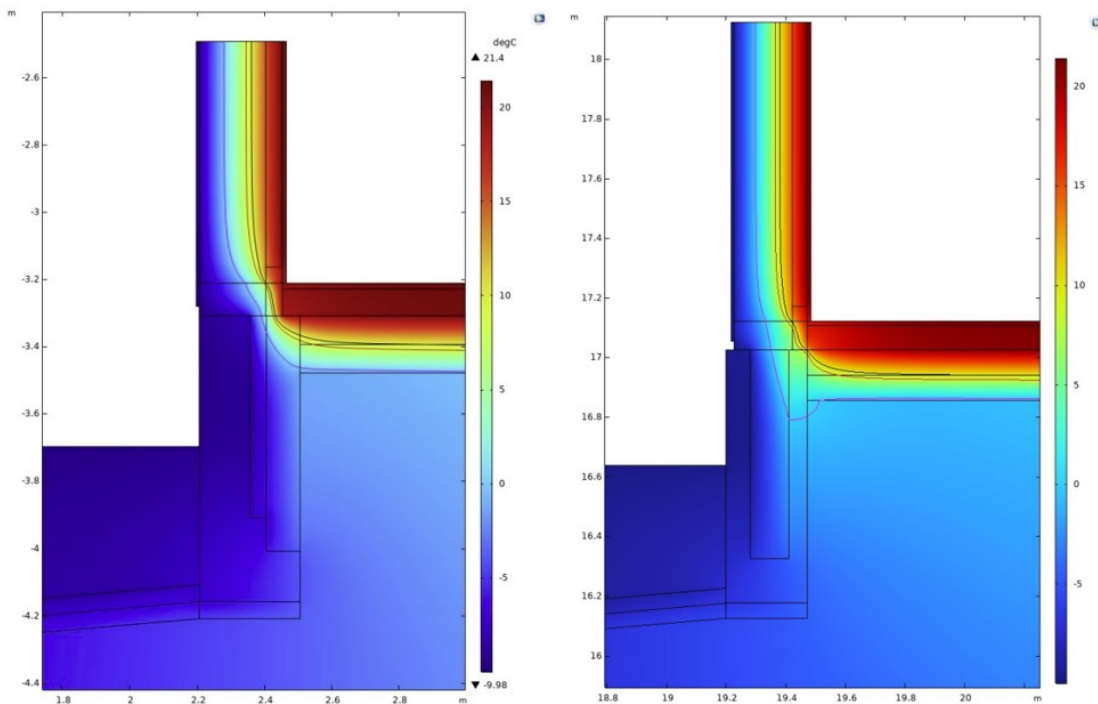


*KUVA 7. Halkaistun sokkelin esimerkkirakenne*

### **3.2 Lämpökäyttäytyminen**

Halkaistun sokkelin esimerkkirakenteen lämpökäyttäytymistä tutkittiin COMSOL multiphysics-ohjelmalla, joka on yleiskäyttöinen ohjelmistoalusta erilaisten mallien ratkaisemiseen numeerisin menetelmin. Ohjelman avulla simuloitiin lämpötilajakaumaa rakenteessa, laskettiin alapohja- ja seinärakenteiden U-arvot sekä laskettiin lämpötekninen kytkentäkerroin. Simulaation avulla saatiin syvempää ymmärrystä halkaistun sokkelin lämpökäyttäytymisestä haastavassa talvisäässä. Tulosten perusteella voitiin tehdä päätelmiä rakenteen energiatehokkuudesta. Lisäksi simulointi antoi mahdollisuuden vertailla erilaisia eristämistapoja toisiinsa.

Kuvassa 8 on esitetty perinteisen sokkelirakenteen, sekä halkaistun sokkelin lämpötilajakaumat tyypillisessä talvisäässä, jossa ulkolämpötila on  $-10\text{ c}^{\circ}$  ja sisälämpötila  $22\text{ c}^{\circ}$ . Malleissa violetti viiva edustaa pintaa, jossa lämpötila on  $0\text{ c}^{\circ}$ , punainen viiva kuvaa pintaa, jossa lämpötila  $8\text{ c}^{\circ}$ , sekä musta viiva pintaa, jossa lämpötila on  $10\text{ c}^{\circ}$ . Rakenteen lämpötiloja kuvaavat myös mallien värit, joiden arvot on esitetty oikealla puolella olevissa pylväissä. Molemmat rakenteet on mallinnettu käyttäen samoja materiaaleja ja pintavastuksien arvoja, joten ne ovat vertailukelpoisia keskenään. Vertailemalla voitiin havaita, kuinka sokkelin halkaisu vaikuttaa rakenteen lämpötilajakaumaan ja lämpötiloihin eri pintakohdissa.



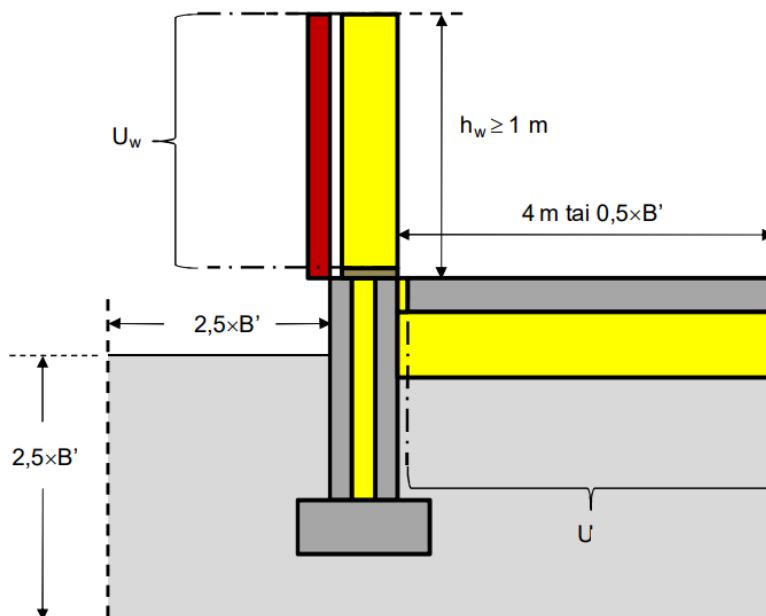
KUVA 8. Perinteisen sokkelirakenteen- ja halkaistun sokkelin lämpökäyttäytyminen

Selkein ero rakenteiden lämpökäyttäytymisessä on  $0\text{ c}^{\circ}$  rajapinta. Sisäpuolelta eristettäessä rajapinta kulkee sokkelieristeen läpi lattiaeristeen alapintaan. Halkaistussa sokkelissa rajapinta etenee sen sijaan betonisen sisäkuoren läpi lattiaeristeen alapintaan. Rajapinta käy myös jonkin verran alempana halkaistussa sokkelissa. Tämä tarkoittaa, että rakenteen jäätymisvyöhyke on alempana, kuin sisäpuolelta eristettäessä. Sisäpuolelta eristettäessä lämmöneriste sijaitsee huomattavasti sisempänä rakenteessa, kuin halkaistussa sokkelissa, jossa betoninen sisäkuori on rakenteen sisin pinta. Lämpötilavyöhyke  $8\text{--}10\text{ c}^{\circ}$  on merkittävä, koska siinä kastepiste syntyy. Tämä tarkoittaa, että ilman kosteus alkaa tiivistyä nesteeksi tässä lämpötilavyöhykkeessä. Sekä

perinteisen että halkaistun sokkelirakenteen lämpökuvista voidaan todeta, että kyseinen lämpötila esiintyy eristepinnoilla.

COMSOL- ohjelman avustuksella rakenteelle laskettiin myös alapohjan ja seinärakenteen liitoskohdan viivamainen lisäkonduktanssi, joka kuvaa lämpöhäviötä koko viivamaisen kylmäsilan läpi. Laskenta suoritettiin Ympäristöministeriön viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaoppaan mukaisesti. COMSOL- simulointia muutettiin siten, että ulkolämpötilaksi asetettiin  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja sisälämpötilaksi  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nykyaikaisten rakennusten energiatehokkuuksien paraneminen ja lämpöhäviöiden väheneminen ovat korostaneet kylmäsiltojen merkitystä johtumislämpöhäviössä. Tämän seurauksena kylmäsiltojen roolia voidaan pitää entistä keskeisempänä osana rakennusten energiatehokkuutta. (19.)

Mallirakenne COMSOL- ohjelmaan luotiin Ympäristöministeriön laskentaoppaassa esiintyvän kuvan 9 mukaisesti. Mallirakenteeseen asetettiin lattiarakenteen leveydeksi 4 metriä ja seinärakenteen korkeudeksi metri. Rakenteen ulkopuolisia maamassoja lisättiin ohjeen mukaisesti 2,5 kertaa rakennuksen karakteristisen leveyden verran rakennuksen sivulle ja alapuolelle. Tässä tapauksessa maamassoja päädyttiin lisäämään 25 metriä molempiin suuntiin. (19.)



KUVA 9. Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaoppaan esimerkkikuva kylmäsiltojen laskentaan. (19)

COMSOL- ohjelmassa materiaalien pintavastuiksi valittiin laskentaoppaan mukaisesti:

- seinän sisäpinta 0,13 m<sup>2</sup>K/W
- alapohjan sisäpinta 0,17 m<sup>2</sup>K/W
- maan pinta 0,04 m<sup>2</sup>K/W

Kyseisillä arvoilla ohjelma laski lattian ja seinän liitoskohdassa lämpövirran arvoksi 0,871 W/(mK).

Ohjelmalla laskettiin myös mallirakenteen lattian ja seinän U-arvot. Lattian U-arvoksi saatiin 0,142 W/(m<sup>2</sup>K) ja seinän U-arvoksi 0,154 W/(m<sup>2</sup>K).

Rakenteen lisäkonduktanssi laskettiin kaavalla:

$$\psi = L_{2D} - U_1 \cdot l_1 - U_2 \cdot l_2 \quad (19.)$$

$$L_{2D} = 0,871 \text{ W/(mK)}$$

$$U_1 = 0,154 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$U_2 = 0,142 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$l_1 = 1 \text{ m}$$

$$l_2 = 4 \text{ m}$$

$$\psi = 0,871 \frac{\text{W}}{(\text{mK})} - 0,154 \frac{\text{W}}{(\text{m}^2\text{K})} \cdot 1\text{m} - 0,142 \frac{\text{W}}{(\text{m}^2\text{K})} \cdot 4\text{m}$$

$$\psi = 0,149 \text{ W/(mK)}$$

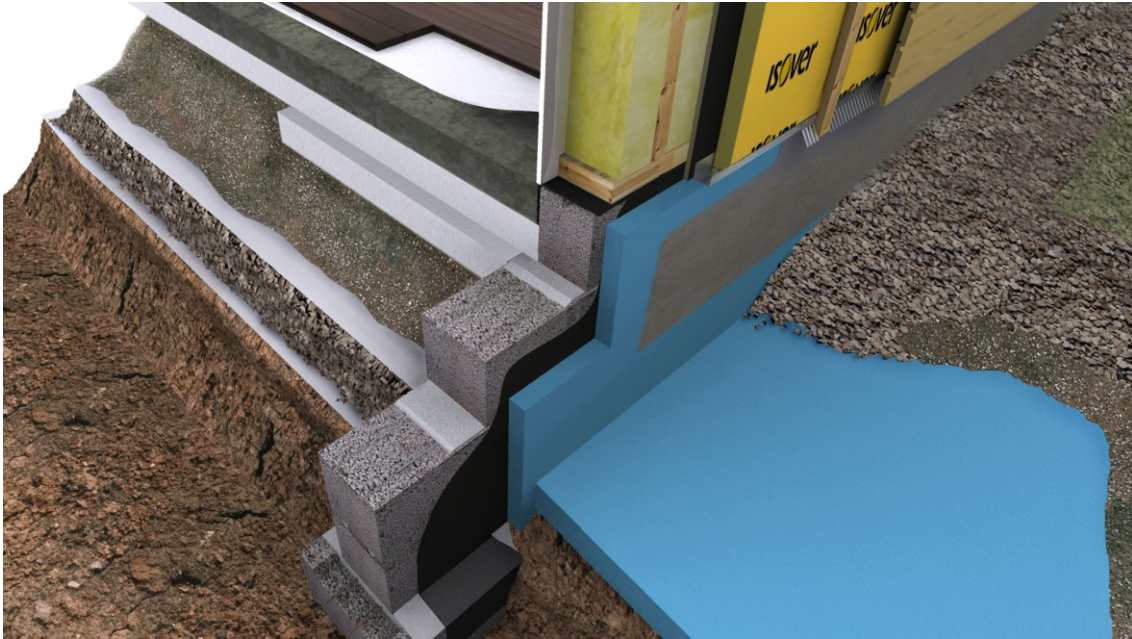
Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaoppaassa on taulukko, jossa liitosten viivamaisen lisäkonduktanssin ohjearvot on määritelty runkomateriaalin mukaan. Ulkoseinän runkomateriaalin ollessa puu ja alapohjan runkomateriaali maanvastainen betoni, ohjearvo liitoksen viivamaiselle lisäkonduktanssille on 0,10 W/(mK). Halkaistun sokkelin esimerkkirakenteessa arvoksi saatiin 0,149 W/(mK), joka ylittää ohjearvon, mutta on hyvin lähellä sitä. Vertailukohteena sisäpuolelta eristetyin esimerkkirakenteen lisäkonduktanssin arvoksi saatiin 0,016 W/(mK). (19.)

## 4 ULKOPUOLINEN ERISTÄMINEN

Sokkelin ulkopuolista eristämistä ei ole käytössä uudisrakentamisessa. Syitä kyseisen sokkelirakenteen käyttämättömyyteen voi olla useita. Usein syynä erityisesti rakennusalalla on kuitenkin, ettei vaihtoehtoista rakennetta ole tutkittu tarpeeksi, eikä sen mahdollisista hyödyistä olla tietoisia. Vaihtoehtoihin rakenteisiin siirtyminen on vaikeaa johtuen syvälle juurtuneista käytäntömalleista sekä muutoksista aiheutuvista kustannuksista ja lisätyöstä. Pitkällä tähtäimellä muutokset ja uudet rakenteet voivat kuitenkin aiheuttaa merkittäviä säästöjä ja lisätä rakenteiden laatua ja toimivuutta. Tämän vuoksi on tärkeää edistää tietoisuutta vaihtoehtoisista rakenneratkaisuista ja kannustaa niiden käyttöönottoon rakennusalalla. Lisäksi tutkimus- ja kehityspanokset vaihtoehtoisten rakenteiden kehittämiseen voivat edistää niiden käytön yleistymistä ja vähentää esteitä niiden käyttöönotolle.

Sokkelin ulkopuolinen eristäminen on yleinen käytäntö lisäeristää sokkeli korjausrakentamisessa, erityisesti vanhojen rakennusten kohdalla. Vanhoissa sokkelirakenteissa esiintyy usein kylmäsiltoja, jotka voivat olla seurausta huonosta rakenteesta tai ajan saatossa aiheutuvista muutoksista rakenteissa. Kylmäsiltojen aiheuttavat lämpöhäviöitä, sekä voivat vaikuttaa sisäilman laatuun. Sokkelin ulkopuolisella lisäeristämällä voidaan parantaa merkittävästi sokkelin sisäpinnan lämpötilaa ja vähentää kylmäsiltojen vaikutuksia. Lisäksi ulkopuolinen eristys voi suojata sokkeliä kosteudelta ja jäätymisvaurioilta sekä parantaa rakenteen kestävyyttä ja pitkäikäisyyttä. (17.)

Ulkopuolisessa eristämisessä tulee ottaa huomioon, että eristeeseen voi vaikuttaa voimakas kosteusrasitus. Tätä voidaan ehkäistä esimerkiksi kallistamalla maanpinta pois päin seinästä ja lisäämällä salaojitus sokkelin ulkopuolelle. Lämmöneristeen materiaalivalinnassa tulee myös ottaa huomioon mahdollinen kosteusrasitus. Yksinkertaisimmillaan sokkelin ulkopuolinen eriste voidaan suojata esimerkiksi teräslevyllä, joka on maalattu sokkelin sävyllä. Kuvassa 9 on esitetty sokkelin ulkopuolinen eristäminen korjausrakentamiskohteessa. Kuvassa ulkopuolisena lämmöneristeenä toimii styrofoam, joka on vaativiin olosuhteisiin suunniteltu kova lämmöneristyslevy. (17.)



*KUVA 10. Sokkelin ulkopuolinen eristäminen korjausrakentamiskohteessa (18)*

Kustannusten, materiaalien ja rakenteen poikkeavuudet perinteiseen eristystapaan verrattuna ovat merkittävä tekijä sokkelin ulkopuolisen eristämisen harkinnassa. Kustannuksissa on hyvä ottaa huomioon materiaalit, poikkeuksellisen rakenteen suunnittelukustannukset sekä poikkeavan rakenteen rakennuskustannukset. Ilman tarkempia laskelmiakin voidaan todeta, että rakennuskustannukset ovat normaalia rakennetta korkeammat. Mikäli rakenne yleistyisi ja tulisi vakiintuneeksi käytännöksi, kustannukset todennäköisesti myös laskisivat vakiintuneiden tapojen ja materiaalien myötä. Pitkällä aikavälillä rakenteen kehittyessä se voi tarjota merkittäviä säästöjä energiakustannuksissa ja parantaa rakennuksen kokonaisenergiatehokkuutta. Näin ollen investointi kyseisen ratkaisun suunnitteluun ja kehittämiseen voi osoittautua ajansaatossa kannattavaksi sekä ympäristön että taloudellisuuden kannalta.

Materiaalien osalta haasteet kohdistuvat eristeisiin. Lämpöeriste on alttiimpi kosteudelle sen jäädessä näkyviin. Lämpöeristeen täytyy kestää kosteutta, sekä näyttää hyvältä sijaintinsa takia. Markkinoilta löytyykin tuotteita, jotka on tarkoitettu sokkelin ulkopuoliseksi eristeiksi, otettaessa kuitenkin huomioon, että ne on suunniteltu korjausrakentamiskohteisiin lisäeristeiksi. Amperla Thermo on elementtilevy, joka on valmistettu kotimaisesta polystyreenistä ja luonnonkivestä. Levy on pinnoitettu luonnonkivellä, joten se tekee sokkelin ulkonäöstä asianmukaisen. Lisäksi pinnoiteluonnonkivellä parantaa eristeen kestävyyttä, mikä tekee siitä houkuttelevan vaihtoehdon

ulkopuolelta eristettäessä. Kosteusrasitus on otettu huomioon materiaalivalinnoilla, viistetyillä yläreunoilla sekä kosteuden siirtävillä urilla.

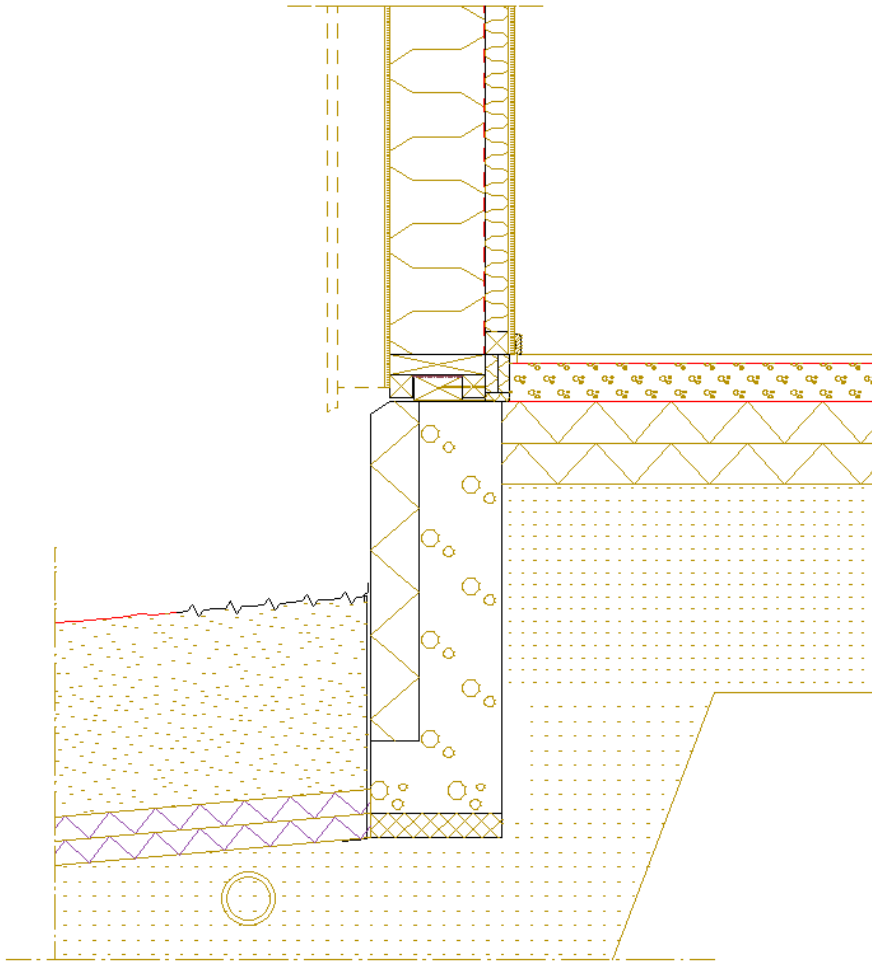
Levyt kiinnitetään sisäpuolisesta eristämisestä poiketen kiinni sokkelin pintaan, koska maanpaine ei paina ulkopuolisessa eristämisessä eristeitä kiinni sokkeliin. Kiinnittämisessä käytetään liima-laastia tai PU-vahtoliimaa, mekaanisen kiinnityksen sijaan, jotta eristeen pinta ei rikkoudu. Liimamalaasti tai PU-vahtoliima tarjoaa vahvan ja kestävä kiinnityksen eristelevyille sokkeliin ilman, että eristeen pinta vaurioituu. Tämä on erityisen tärkeää ulkopuolisessa eristämisessä, jossa eristelevyjen on kestävä sää vaihteluita ja kosteutta. Lisäksi mekaanisen kiinnityksen välttäminen helpottaa asennusta ja vähentää työn vaativuutta. Sisäpuolelta eristettäessä sisätäytöt painavat eristeen sokkelia vasten, jolloin erillistä kiinnitystä sokkeliin ei tarvita, vaan eriste pysyy paikoillaan maanpaineen ansiosta.

#### **4.1 Esimerkkirakenne**

Sokkelin ulkopuolisen eristämisen rakennetta tutkiessa havaittiin vastaava sokkelin paksuudesta aiheutuva haaste, kuin halkaistussa sokkelissa. Tämä asettaa haasteita lämpöeristeen sijoittamiselle, sillä sokkelirakenteen paksuuden takia lämpöeristelevy joudutaan tuomaan ulospäin seinän runkolinjasta. Kyseistä haastetta pyrittiin ratkaisemaan kuvan 7 esimerkkirakenteessa näkyvällä paksummalla koolauksella, kuten halkaistussa sokkelissa. Paksumpi koolaus estää veden saturemisen suoraan lämpöeristeen päälle.

Esimerkkirakenteessa lämpöeristeeksi valittiin, 100 mm paksu Amperla Thermo elementtilevy, jonka viistetty yläreuna estää paksun koolauksen lisäksi veden pääsemistä seinärakenteeseen. Eristelevy päädyttiin sijoittamaan anturan päälle, jotta se helpottaisi eristelevyn asentamista. Kiinnitysliimat eivät yksinään joudu pitämään eristelevyä paikoillaan tässä ratkaisussa, sillä levy saa hyvän tuen myös anturasta. Maamassaa vasten oleva eristeen pinta on myös tärkeää suojata kosteudelta ja muilta rasituksilta. Esimerkkirakenteessa kyseiseen pintaan asetettiin patolevy, jonka kiinnittämisen voisi toteuttaa alareunassa mekaanisesti ja yläreunassa esimerkiksi materiaaleihin sopivalla liimamassalla.





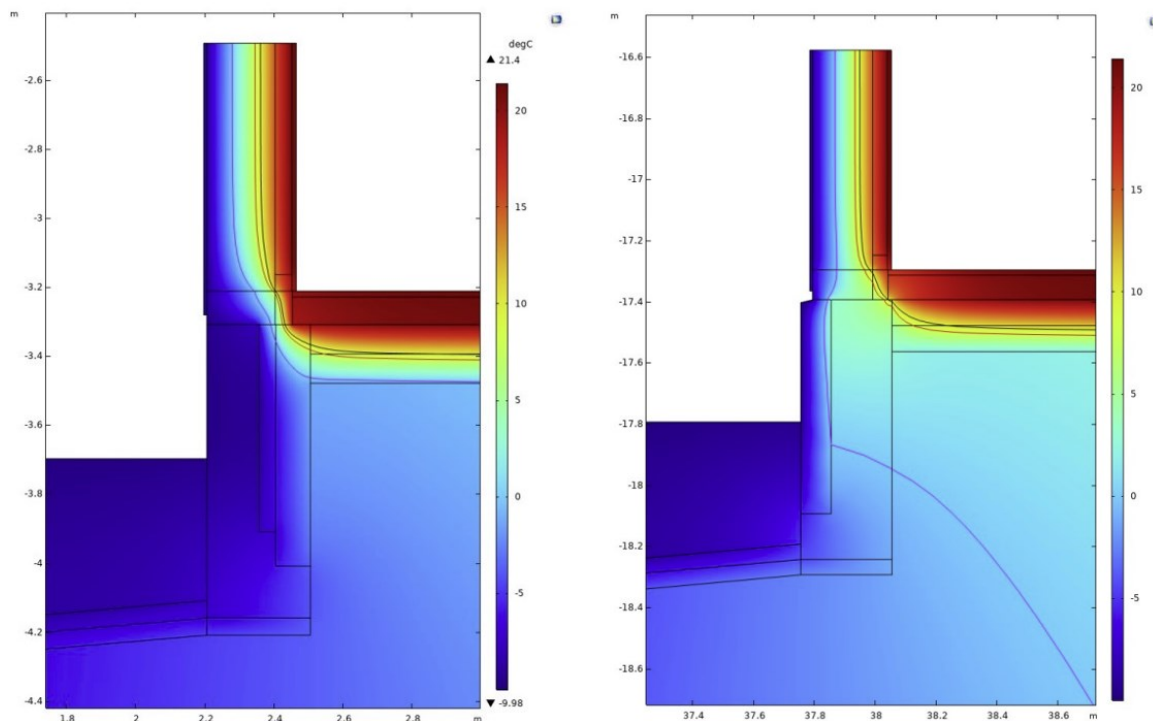
KUVA 11. Ulkopuolelta eristetyin sokkelin esimerkkirakenne

## 4.2 Lämpökäyttäytyminen

Ulkopuolelta eristetyin sokkelin lämpökäyttäytymistä tutkittiin samalla tavalla COMSOL- ohjelmalla, kuin halkaistuun sokkelin. Poikkeuksena sisäpuolelta eristettyyn ja halkaistuun sokkeliin, lämpöeristeen arvoksi asetettiin 0,033 W/mK, joka ilmoitettiin Amperla Thermo elementtilevyn valmistajan sivuilla tuotteen lämmönjohtavuusarvoksi. Eroa muissa malleissa käytettyyn arvoon 0,036 W/mK, voidaan pitää kuitenkin niin pienenä, ettei sillä ole merkittävää vaikutusta lämpökäyttäytymisen tarkastelussa ja malleja voitiin näiltä osin pitää vertailukelpoisina. Rakenteen geometria ja materiaalien paksuudet olivat ainoat muuttuvat tekijät, jotka aiheuttivat eroja laskettuihin arvoihin.

Kuvassa 10 on esitettyä perinteisen sokkelirakenteen ja ulkopuolelta eristetyn sokkelin lämpökäyttäytyminen COMSOL- ohjelmalla mallinnettuna. Malleissa värit ja lämpötilaviivat ovat esitetty samoin, kuten kuvassa 8. Violetti viiva kuvastaa pintaa, jossa lämpötila on 0 c°, punainen viiva pintaa, jossa lämpötila on 8 c° ja musta viiva pintaa, jossa lämpötila on 10 c°. Selkeimpänä erona perinteiseen rakenteeseen, kuten halkaistussa sokkelissa, ulkopuolelta eristettäessä on 0 c° rajapinta, joka kulkee kauempana ja alempana lattian ja seinän liitoskohdasta. Kuvasta on myös havaittavissa, että eristeen sijaitessa sokkelin ulkopuolella, rakennuksen alapuolinen maamassa pysyy huomattavasti lämpimämpänä, kuin sisäpuolelta eristettäessä.

Lämpötilavyöhyke 8–10 c° sijoittuu eristepinnoille hyvin samankaltaisesti kuin halkaistussa sokkelissa ja sisäpuolelta eristettäessä. Kosteus tiivistyy rakenteessa seuraavaan kiinteään pintaan kastepisteestä ulospäin mentäessä. Tämä voi johtaa kosteuden kerääntymiseen ja mahdollisesti kosteusvaurioiden syntymiseen rakenteessa. Siksi on tärkeää kiinnittää erityistä huomiota tämän lämpötilavyöhykkeen hallintaan ja estää kosteuden kertyminen rakenteeseen. Ulkopuolelta eristettäessä 0 c° rajapinta kulkee vielä huomattavasti alemmas kuin halkaistussa sokkelissa. Tämä tarkoittaa, että ulkopuolelta eristettäessä jäätymisvyöhyke kulkee hyvin alhaalla.



KUVA 12. Perinteisen sokkelirakenteen- ja ulkopuolelta eristetyn sokkelin lämpökäyttäytyminen

Ulkopuolelta eristetyn sokkelin lisäkonduktanssi lattian ja seinän liitoskohdassa laskettiin samoin viivamaisen lisäkonduktanssin laskentaopasta hyödyntäen, kuten halkaistussa sokkelissa. Maa-massat mitoitettiin myös laskentaoppaan mukaan ja lämpötilat muutettiin COMSOL- malliin 0 c° ja 1 c°, kuten opas ohjeistaa. Materiaalien pintavastuuksiksi valittiin samat arvot, kuin halkaistussa sokkelissa:

- seinän sisäpinta 0,13 m²K/W
- alapohjan sisäpinta 0,17 m²K/W
- maan pinta 0,04 m²K/W

Kyseisillä arvoilla ohjelma laski lattian ja seinän liitoskohdassa lämpövirran arvoksi 1,03 W/(mK).

Ohjelma laski lattian U-arvoksi 0,114 W/(m²K) ja seinän U-arvoksi 0,147 W/(m²K). Lattian U-arvo on huomattavan hyvä ottaen huomioon, että Ympäristöministeriön asetuksessa vertailuarvoksi on asetettu 0,16 W/(m²K). Seinän U-arvoa kyseisessä rakenteessa voidaan myös pitää hyvänä, Ympäristöministeriön vertailuarvon ollessa 0,17 W/(m²K). (8.)

Lisäkonduktanssi laskettiin kaavalla:

$$\psi = L_{2D} - U_1 \cdot l_1 - U_2 \cdot l_2 \quad (19.)$$

$$L_{2D} = 1,03 \text{ W/(mK)}$$

$$U_1 = 0,147 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$U_2 = 0,114 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$l_1 = 1 \text{ m}$$

$$l_2 = 4 \text{ m}$$

$$\psi = 1,03 \frac{W}{(mK)} - 0,147 \frac{W}{(m^2K)} \cdot 1m - 0,114 \frac{W}{(m^2K)} \cdot 4m$$

$$\psi = 0,427 \text{ W/(mK)}$$

Kuvassa 13 on esitetty viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaoppaassa oleva taulukko erilaisien liitosten viivamaisten lisäkonduktanssien ohjearvoista. Taulukon mukaisesti alapohjan runkomateriaalin ollessa maanvastainen betoni ja seinän runkomateriaalin puu, kyseisen rakenteen lisäkonduktanssin ohjearvo on 0,10 W/(mK). Ulkopuolelta eristetyssä esimerkkirakenteessa lisäkonduktanssin arvoksi saatiin 0,427 W/(mK), joka ylittää ohjearvon selkeästi. Lisäkonduktanssi laskettiin testinä myös 150 mm eristepaksuudella, jolloin rakenne on toteutuksen kannalta hyvin haastava. Suuremmalla eristepaksuudella arvoksi saatiin 0,255 W/(mK), joka ei myöskään mene ohjearvon sisään, mutta on huomattavasti parempi. (19.)

Huomion arvoista on, että viivamaisen lisäkonduktanssin laskentakaavassa hyvät U-arvot huonontavat lisäkonduktanssin arvoa. Lisäkonduktanssin arvon ollessa suuri ja U-arvojen pieni, voi rakennuksen energiatehokkuus olla kuitenkin hyvällä tasolla. U-arvot kertovat kyseisen ulkopuolelta eristetyn rakenteen potentiaalista, mutta lisäkonduktanssin arvoa olisi siitä huolimatta saatava pienemmäksi.

Ulkoseinän runkomateriaali	Lisäkonduktanssi $\Psi_k$ , W/(mK)									
	Yläpohjan runkomateriaali			Välipohjan runkomateriaali			Alapohjan runkomateriaali			
	betoni	kevyt-betoni	puu	betoni	kevyt-betoni	puu	betoni maanvast.	betoni ryöm. tila	kevyt-betoni ryöm. tila	puu ryöm. tila
betoni	0,08		0,04	0,00			0,24	0,28		
kevytbetoni	0,18	0,06	0,04	0,10	0,00		0,09	0,08	0,03	
kevytsorabetoni	0,13		0,04	0,07			0,15	0,11		
tiili	0,08		0,04	0,00			0,17	0,06		
puu			0,05			0,05	0,10			0,06
hirsi			0,04			0,00	0,11			0,09

KUVA 13. Viivamaisten lisäkonduktanssien ohjearvot (19.)

## 5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön päätarkoituksena oli tutkia vaihtoehtoisia menetelmiä perustusten eristämiseen. Työssä keskityttiin erityisesti halkaistun sokkelin ja sokkelin ulkopuoliseen eristämisen hyötyihin ja haasteisiin puurakenteissa uudiskohteissa, sekä tutkittiin eristämistapojen lämpökäyttäytymistä talvisissa olosuhteissa. Ulkopuolisen eristämisen ja halkaistun sokkelin haasteita ja hyötyjä verrattiin sisäpuoliseen eristämiseen. Opinnäytetyön tiedot ovat koottu itsenäisesti hyödyntäen erilaisia lähteitä.

Tutkimusprosessissa on käytetty hyödyksi erilaisia tietolähteitä, tietokoneohjelmia sekä rakentamismääräyksiä. Tutkimuksen myötä saatiin selville, että halkaistu sokkeli toimii lämpökäyttäytymisen näkökulmasta puurakenteisissa uudiskohteissa kelpollisesti. Haasteita halkaistun sokkelin kohdalla aiheuttaa sokkelirakenteen yhteensopivuus seinärakenteen kanssa. Kyseisiin haasteisiin ratkaisuna toimisi paksumpi seinän koolaus ja sokkelin yläpinnan kosteussuojaaminen.

Ulkopuolelta eristetyn sokkelin kohdalla todettiin, että seinän ja lattian liitoskohdan lisäkonduktanssia ei saatu mahtumaan ohjearvojen sisään. Lisäkonduktanssi laskettiin rakenteelle myös esimerkkirakenteesta poiketen 150 mm eristepaksuudella, mutta ohjearvo ei täytynyt silläkään. U-arvot kyseisessä rakenteessa olivat kuitenkin mainiot ja ne vaikuttivat myös negatiivisesti lisäkonduktanssin arvoon. Lisäkonduktanssin pienentäminen vaatisi lisää tutkimista. COMSOL-ohjelmalla luotu simulaatio tehtiin pelkistetysti, joten sen antama tulos voi tarkemmillä simulaatioilla muuttua huomattavastikin. Ulkopuolelta eristettäessä haasteita aiheutti myös paksu sokkelirakenne, jonka takia ilman seinärakenteen muutoksia eriste jäisi hyvin alttiiksi vesisateelle. Ongelma ratkaistiin, kuten halkaistussa sokkelissa, seinän paksummalla koolauksella.

Tutkimuksen tulokset ovat kuitenkin tutkimusmenetelmien takia vain suuntaa antavia. Tarkempiin ja luotettavampiin tuloksiin päätyminen vaatisi laboratoriotutkimuksia ja rakenteiden testaamista todellisissa käyttöympäristöissä. Tulokset antavat kuitenkin hyvän pohjan rakenteiden jatkotutkimuksille ja niitä voidaan käyttää apuna rakenteiden kannattavuutta analysoitaessa. Voidaan todeta, että tutkituissa rakenteissa piilee potentiaalia. Rakennusalalla on usein kuitenkin pitkä ja vaikea prosessi tuoda uusi rakenne vakituisen käyttöön, vaikka sen ominaisuudet todettaisiinkin tutkimuksissa toimiviksi, mutta mahdollista se kuitenkin on.

## LÄHTEET

1. Perustava. Rakentamisen trendit. Hakupäivä 25.10.2023:  
[https://www.perustava.fi/blogi/rakentajan-vinkit/pienen-omakotitalon-rakentaminen-on-nyt-trendikas-ta?ccm\\_paging\\_p=5&ccm\\_order\\_by=cv.cvDatePublic&ccm\\_order\\_by\\_direction=desc](https://www.perustava.fi/blogi/rakentajan-vinkit/pienen-omakotitalon-rakentaminen-on-nyt-trendikas-ta?ccm_paging_p=5&ccm_order_by=cv.cvDatePublic&ccm_order_by_direction=desc).
2. Perustava. Perustukset pitävät omakotitalon pystyssä vuosikymmenestä toiseen. Hakupäivä 22.11.2023. <https://www.perustava.fi/blogi/rakentajan-vinkit/perustukset>.
3. Harkkokivitalo.fi. Perustamistavat. Hakupäivä 11.1.2024.  
<https://harkkokivitalo.fi/rakennesuunnittelu/perustusten-suunnittelu/perustamistavat/>.
4. Seppo Petrow 2008. Pientalon perustukset. Betoni 2 2008. Hakupäivä 11.1.2024.  
[https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/10/BET0802\\_s10-13.pdf](https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/10/BET0802_s10-13.pdf).
5. Hometohtori, 2016. Sokkelirakenteen sisäpuolinen lämpöeristäminen. Rakennustaidon digilehti. Hakupäivä 26.10.2023. [https://digilehti.rakennustaito.fi/wp-content/uploads/asteikko\\_issues/issue22/page6014/317af5e364e5d2553eb86da056fd7899-1200x790.jpg](https://digilehti.rakennustaito.fi/wp-content/uploads/asteikko_issues/issue22/page6014/317af5e364e5d2553eb86da056fd7899-1200x790.jpg).
6. Ympäristöministeriö. Rakennusten energiatehokkuus. Hakupäivä 30.10.2023:  
<https://ym.fi/rakennusten-energiatehokkuus>.
7. Ympäristöministeriö. Rakennuksen energiatodistus ja E-luvun määrittäminen. Hakupäivä: 1.11.2023. [https://www.motiva.fi/files/16464/Energiatodistusopas\\_2018\\_-\\_Rakennuksen\\_energiatodistus\\_ja\\_E-luvun\\_maarittaminen.pdf](https://www.motiva.fi/files/16464/Energiatodistusopas_2018_-_Rakennuksen_energiatodistus_ja_E-luvun_maarittaminen.pdf)
8. Finlex. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Hakupäivä 1.11.2023 <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>
9. Tilastokeskus. Asumisen energiankulutus. Hakupäivä 2.11.2023  
<https://www.stat.fi/tilasto/asen>
10. Malmivaara Kim 2023. Talon eristäminen - Pientalotohtori neuvoo. Suomela.fi nettilehti. Hakupäivä 23.11.2023. <https://www.suomela.fi/talon-eristaminen-pientalotohtori-neuvoo/>.
11. Rudus. Näin sokkelin betonivalu etenee! Lue raportti Syvälahtien messutalon perustusten valupäivästä. Hakupäivä 29.11.2023. <https://www.rudus.fi/blogi/2019/10/30/nain-sokkelin-betonivalu-etenee-lue-raportti-syvalahtien-messutalon-perustusten-valupaivasta>.

12. Teproof. Perusmuurin vedeneristys. Hakupäivä 30.11.2023. <https://www.teproof.fi/muut-palvelut/perusmuurin-vedeneristys>.
13. Sappinen.fi. Kuvagalleria. Hakupäivä 30.11.2023. <https://www.sappinen.fi/galleria>.
14. Betoni.com. LCA sokkelielementti verifioitu. Hakupäivä 8.2.2024. [https://betoni.com/wp-content/uploads/2022/11/LCA\\_sokkelielementti\\_verifioitu.pdf](https://betoni.com/wp-content/uploads/2022/11/LCA_sokkelielementti_verifioitu.pdf).
15. Elementtisuunnittelu.fi. Sokkelielementit. Hakupäivä 12.2.2024. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/perustukset-ja-vaestonsuojat/sokkelielementit>.
16. Rakennustieto. Pientalon perustukset ja alapohjien liittymät. Hakupäivä 12.2.2024. <https://kortistot.rakennustieto.fi/api/content/5931#page=1>.
17. Turun kuntotutkimus. Rakennusten yleisimmät kosteusvaurioriskit ja niiden korjaus- ja huolto-ohjeet. s. 26–28. Hakupäivä 19.2.2024 [http://turkulinna.lions-piiri107a.fi/images/Dokumentit/2018-2019/Syyskuun\\_kokous/Pientalon-korjaus--ja-huolto-opas-2018.pdf](http://turkulinna.lions-piiri107a.fi/images/Dokumentit/2018-2019/Syyskuun_kokous/Pientalon-korjaus--ja-huolto-opas-2018.pdf).
18. Linda Rajamäki 2017. Opiskeluni raksalla. Hakupäivä 19.2.2024. <https://lindaraksalla.blogspot.com/2017/08/rakennuksen-sokkelikin-on-hyva-tutkia.html>.
19. Ympäristöministeriö. Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. Hakupäivä 27.3.2024. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Viivamaisten-lisakonduktanssien-laskentaopas-0708E7A2\\_7EE5\\_4DA5\\_AEF2\\_2801630E2300-30996.pdf/895973ff-752c-fb4c-8496-4f13b954d6c9/Viivamaisten-lisakonduktanssien-laskentaopas-0708E7A2\\_7EE5\\_4DA5\\_AEF2\\_2801630E2300-30996.pdf?t=1603260205020](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Viivamaisten-lisakonduktanssien-laskentaopas-0708E7A2_7EE5_4DA5_AEF2_2801630E2300-30996.pdf/895973ff-752c-fb4c-8496-4f13b954d6c9/Viivamaisten-lisakonduktanssien-laskentaopas-0708E7A2_7EE5_4DA5_AEF2_2801630E2300-30996.pdf?t=1603260205020).

