

ARKTISEN OMAKOTITALORAKENTAMISEN ERITYISPIIRTEET

Vertailukohteina Rovaniemi, Fairbanks ja Iqaluit

Hyvönen Anna

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus
Insinööri (AMK)

2021

Tekniikka ja liikenne
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Anna Hyvönen	Vuosi	2021
Ohjaaja(t)	Juha Vesa		
Toimeksiantaja	Lapin ammattikorkeakoulu		
Työn nimi	Arktisen omakotitalorakentamisen erityispiirteet – Vertailukohteina Rovaniemi, Fairbanks ja Iqaluit		
Sivu- ja liitesivumäärä	48		

Arktisen alueen erityispiirteet – kuten kylmyys, pitkään pysyvä lumipeite, kosteus, pimeys, pitkät etäisyydet, maan routivuus ja ikirouta – vaikuttavat asumisen ja rakentamisen tapaan arktisella alueella. Yhteiskunnan ja lainsäädännön ohella omakotitalojen asukkaat vaativat korkeaa tasoa laadun, teknisten järjestelmien ja kokonaistaloudellisten ratkaisujen, kuten energiatehokkuuden suhteen.

Opinnäytetyössä tutkin omakotitalon rakentamisen erityispiirteitä, joilla vastataan arktisen alueen ja sen ilmaston aiheuttamiin haasteisiin kolmessa arktisen alueen kohteessa Rovaniemellä Suomessa, Fairbanksissa Yhdysvalloissa ja Iqaluitissa Kanadassa. Rajasin tutkimuksessa vertailtavat omakotitalorakentamisen erityispiirteet kolmeen keskeisimpään rakennusosaan: perustamistapaan, routasuojaukseen ja vaipparakanteisiin seinien ja ikkunoiden osalta.

Tutkimus toteutettiin laadullisena tutkimuksena tyyppianalyysi menetelmällä. Tutkimusaineistona käytettiin kotimaista ja ulkomaista kirjallisuutta sekä verkkolähteitä, kuten viranomaisohjeita ja -määräyksiä, artikkeleita, julkaisuja ja raportteja.

Tutkimuksessa selvisi, että niin Rovaniemellä, Fairbanksissa ja Iqaluitissa arktiset olosuhteet vaikuttavat rakentamisen tapaan, vaikka kohteiden ilmastot ja siten myös rakentamisen tavat eroavatkin jonkin verran toisistaan. Tärkeimpinä erityispiirteitä ovat maaperään sopiva perustamistavan valinta, riittävä ja kohteeseen sopiva routasuojaus sekä tiivis ja energiatehokas vaipparakenne.

Avainsanat

arktinen alue, uudisrakentaminen, omakotitalot, routasuojaus, energiatehokkuus

Technology, Communication and
Transport
Degree Programme in Civil Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Anna Hyvönen	Year	2021
Supervisor	Juha Vesa		
Commissioned by	Lapland University of Applied Sciences		
Subject of thesis	Special Characteristics of an Arctic Detached House Building in Rovaniemi, Fairbanks and Iqaluit		
Number of pages	48		

Arctic characteristics – such as cold and varying temperatures, snow cover, dark winters, long distances and permafrost – affect the way of living and building in the Arctic region. Residents of detached houses, as well as the rules and regulations of society require a sustainably built, safe, functional and comfortable habitation. The aim of the theses was to study the special characteristics of building an Arctic detached house.

The characteristics need to correlate to a wide range of challenges of the Arctic climate. The study was done in three Arctic locations: in Rovaniemi, Finland, Fairbanks, United States and Iqaluit, Canada. The research concentrated on the three most important building elements of detached house construction: foundations and footings, frost protection and external walls and windows as a part of the building envelope. The study was a qualitative research and the data was interpreted with a type analysis method. Finnish and English literature, official codes, regulations and guidelines, articles and reports were used as research data.

The study showed that the Arctic characteristics do affect the way of building a detached house in Rovaniemi, Fairbanks and Iqaluit, although the way they affect varies to some extent based on the location's own special characteristics. Choosing the correct foundation and footing type, an adequate and appropriate frost protection and a tight and energy efficient building envelope were the key ways to encounter the Arctic circumstances.

Key words Arctic region, new construction, detached houses, frost protection, energy efficiency

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
1.1	Tausta	5
1.2	Työn tavoitteet ja rakenne	6
1.3	Tutkimusmenetelmät	8
2	ARKTINEN RAKENTAMINEN	9
2.1	Rakennettu ympäristö	9
2.2	Arktinen alue ja sen erityispiirteet	10
2.3	Arktisen rakentamisen erityispiirteet	12
3	TUTKIMUKSEN KOHTEET	15
3.1	Kohteiden rajausta	15
3.2	Rovaniemi, Suomi	15
3.2.1	Rovaniemen ilmasto ja omakotitalojen tyypilliset piirteet	15
3.2.2	Perustamistapa	17
3.2.3	Routasuojaus	19
3.2.4	Vaipparakenne	20
3.3	Fairbanks, Alaska, Yhdysvallat	23
3.3.1	Fairbanksin ilmasto ja omakotitalojen tyypilliset piirteet	23
3.3.2	Perustamistapa	25
3.3.3	Routasuojaus	26
3.3.4	Vaipparakenne	27
3.4	Iqaluit, Nunavut, Kanada	29
3.4.1	Iqaluitin ilmasto ja omakotitalojen tyypilliset piirteet	29
3.4.2	Perustamistapa	31
3.4.3	Vaipparakenne	33
4	ERITYISPIIRTEIDEN VERTAILU	35
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	38
6	POHDINTA	41
	LÄHTEET	43

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Arktisen alueen erityispiirteet – kuten suuret lämpötilan vaihtelut, kylmyys, kosteus, lumi, jää, pimeys, valo, etäisyydet, maan routivuus ja ikirouta – vaikuttavat asumisen tapaan arktisella alueella. Käyttäjien vaatima taso on erittäin korkealla laadun, teknisten järjestelmien ja kokonaistaloudellisten ratkaisujen, kuten energiatehokkuuden suhteen. Lisäksi yhteiskunnalla ja lainsäädännöllä omat vaatimuksensa.

Kiinnostuin arktisen rakentamisen erityispiirteistä omakotitalorakentamisessa, kun kesällä 2020 katsoin YouTubea. Videossa North Polessa asuva Somersin perhe esitteli rakentamaansa omakotitaloa. North Pole sijaitsee Yhdysvalloissa Alaskassa Suur-Fairbanksin alueella, joka luetaan arktiseen alueeseen, kuten kotipaikkani Rovaniemi. Paikoilla on melko sama ilmasto ja ulkoiselta olemukseltaan omakotitalot näyttävät samantyyppisiltä. Perheen esitellessä taloaan enemmän minua alkoivat hämmentämään ja kiinnostamaan muutamat rakentamiseen liittyvät seikat. Somersien kellarina käyttämä ryömintätila tulvi nousseen vedenpinnan takia, lattiaa peitti muovikalvo ja tilan seinärakenteet oli tehty painekyllästetystä puusta. Rakennusinsinöörikoulutukseni aikana olen oppinut, että Suomessa pääasiassa perustukset ja kellarirakenteet tehdään betonista tai harkoista ja puurakenteiden käyttäminen maapohjaa vasten tuntui kosteusriskien takia lähes mahdottomalta. Tämä hämmennys ja kiinnostus antoikin kipinän tutkia arktisen rakentamisen erilaisia tapoja.

Opinnäytetyön aiheena ovat arktisen rakentamisen erityispiirteet eli tavoitteena on tunnistaa omakotitalon rakentamisen erityispiirteitä, joilla vastataan arktisen alueen ja sen ilmaston aiheuttamiin haasteisiin kolmessa arktisen alueen kohteessa. Arktisesta rakentamisesta on jonkin verran tietoa saatavilla, mutta ei tutkimusta siitä, mitä ovat arktisen alueen ilmaston aiheuttamiin haasteisiin vastaavat omakotitalon rakentamisen erityispiirteet. Erityisen vaikea on löytää vertailevaa tutkimusta, jossa kohteena olisi eri arktisten maiden omakotitalon rakentami-

sen erityispiirteet. Teorian ja tutkimusaineiston lähteenä käytän kotimaista ja ulkomaista kirjallisuutta sekä verkkolähteitä, kuten artikkeleita, julkaisuja ja raportteja. Kohdemaiden omakotitalorakentamisen erityispiirteiden vertailun pohjana käytän pääasiassa viranomaisohjeita ja -määräyksiä.

1.2 Työn tavoitteet ja rakenne

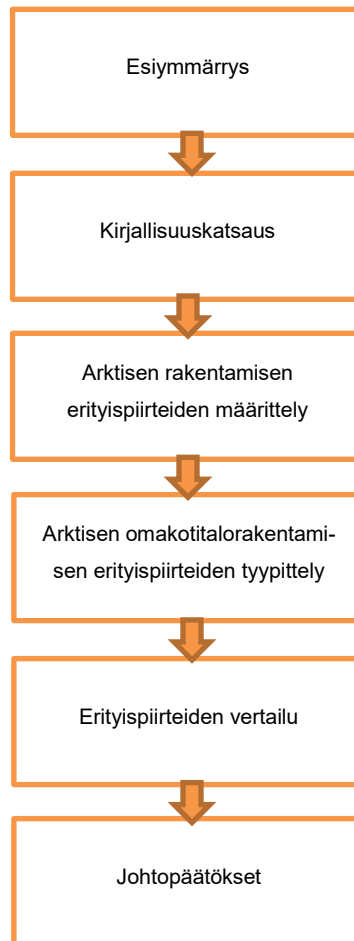
Arktinen rakentaminen on laaja aihe, joten tutkimus voi helposti lähteä rönsyilemään moneen suuntaan. Näin ollen on erityisen tärkeää pitää kiinni tutkimuksen rajauksesta. Opinnäytetyön tarkoituksena on määrittellä omakotitalon rakentamisen erityispiirteitä, joilla pyritään vastaamaan arktisen alueen ja sen ilmaston aiheuttamiin haasteisiin kolmessa kohteessa, jotka ovat Suomessa, Kanadassa ja Yhdysvalloissa. Tutkimuksen tavoitteena on tuottaa uutta vertailevaa tutkimusta ja tietoa arktisen rakentamisen erityispiirteistä. Tutkimusta lähestytään rakentamisen kontekstissa. Arktinen rakentaminen on yksi osa laajemmasta rakentamisen kentästä.

Opinnäytetyölläni on kaksi pääkysymystä. Ensimmäiseksi pyrin vastaamaan kysymykseen, mitkä ovat Rovaniemellä ne omakotitalon rakentamisen erityispiirteet, joilla vastataan arktisen alueen ilmaston aiheuttamiin haasteisiin. Lähestyn tätä kysymystä määrittelemällä ensin yleisesti arktisen rakentamisen erityispiirteitä, jonka jälkeen syvennyn arktisiin omakotitalorakentamisen piirteisiin Rovaniemellä.

Toiseksi pyrin selvittämään ilmenevätkö nämä omakotitalon rakentamisen erityispiirteet samanlaisina kahdessa muussa arktisen alueen kohteessa eli Fairbanksissa Yhdysvalloissa ja ikiroudan alueella Iqaluitissa Nunavutissa Kanadassa? Mitkä ovat kohteiden erot ja yhtäläisyydet? Tätä kysymystä lähestyn ensin selvittämällä arktisia omakotitalorakentamisen piirteitä Fairbanksissa ja Iqaluitissa. Tämän jälkeen vertailen kaikkien kolmen kohteen erityispiirteitä toisiinsa.

Tutkimuksen rakennetta kuvaan kuviossa 1, jonka pohjana käytän Kanasen (2015, 128) laadullisen tutkimusprosessin kaaviota. Tutkimuksessani ensin tutus-

tun arktisuutta ja arktiseen rakentamiseen liittyvään lähdekirjallisuuteen ja -materiaaleihin. Näistä saadun aineiston avulla pyrin ymmärtämään ja luetteloimaan vaadittuja arktisen omakotitalorakentamisen erityispiirteitä. Kohdemaiden omakotitalorakentamisen tutkimisesta ja vertailussa saatua aineistoa analysoin, tyypittelen ja teemoittelen niin, että esiin nousevat vastaukset tutkimuskysymyksiini.



Kuvio 1. Tutkimuksen rakenne

Tutkimuksessa saavutettua tietoa on tarkoitus hyödyntää Arktisen keskuksen uudistuvassa tiedekeskuksen perusnäyttelyssä, jossa toimin näyttelymuotoilijana. Näyttelymuotoilijana ja osana perusnäyttelyn kehittämistiimiä minulla on selkeä kuva näyttelyn käsikirjoitukseen tarvittavista tiedoista. Yksi tarvittava tieto liittyy juuri arktiseen rakentamiseen ja sen erityispiirteisiin. Rakennusinsinööriopiskelijana minulla on erinomainen tilaisuus paikata tätä tietoa opinnäytetyölläni. Näkökulmaani vaikuttavat sekä opiskeluni että työni kautta saamani tieto ja ymmärrys arktisen alueen asioista sekä rakentamisesta. Tavoitteenani on tehdä tutkimusta puolueettomasti uusin silmin, lisätä omaa ymmärrystäni arktisen alueen

rakentamisen erityispiirteistä ja jakaa tätä tietoa muille. Tutkimuksen kohderyhmänä ovat kollegat sekä opinnäytetyön arvioijat eikä sitä ole tarkoitettu käytettäväksi suoraan tiedekeskuksessa. Tekstin popularisointi eli yleistajuistaminen tapahtuu myöhemmin.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyö on kartoittava tutkimus, ja se toteutetaan laadullisena tutkimuksena. Laadullisen tutkimuksen tavoitteena on ymmärtää ilmiötä ja sen ominaisuuksia ja merkityksiä. Laadullisessa tutkimuksessa kerätään aineistoa niin pitkään, että tutkimusongelmiin saadaan ratkaisu. (Kananen 2015, 69–71, 128–129.) Kohdemaiden omakotitalorakentamisen tutkimiseen ja vertailussa saatua aineistoa analysoidaan, tyypittelen ja teemoittelen. Tyypianalyysi eli luonnehdinta-analyysi on menetelmä, jossa pyritään löytämään ryhmittelyn avulla karrikoituja esimerkkejä. Tyypittelyn kautta tapahtuvan vertailevan tutkimuksen tavoitteena on löytää eroja ja yhteneväisyyksiä omakotitalon rakentamisessa kolmessa kohteessa arktisella alueella. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2009, 160–166.)

Tutkimuksen aineistona käytetään luotettavia lähteitä, kuten vertaisarvioituja tutkimuksia, julkishallinnolle tuotettuja raportteja sekä viranomais määräyksiä ja -ohjeita. Muihin kuin edellä mainittuihin kategorioihin liittyvien aineistojen tulokset pyritään tarkistamaan ja vahvistamaan myös toisista lähteistä, jotta niidenkin osalta saavutetaan riittävä luotettavuus. Tutkimusta tehdessä noudatetaan hyvää tieteellistä käytäntöä. Tutkimuksen tavoitteena on reliabeeli tulos eli tulokset ovat toisinnettavissa, mikäli joku toinen toistaa tutkimuksen. Koska kyseessä on laadullinen tutkimus, validiuden takaamiseksi tutkimusprosessi tulee tehdä mahdollisimman avoimesti ja sen vaiheet tulee kirjoittaa auki mahdollisimman tarkkaan. (Hirsjärvi ym. 2009, 231–233; Kananen 2015, 30, 352–357.)

2 ARKTINEN RAKENTAMINEN

2.1 Rakennettu ympäristö

Suomessa rakentamisen määräyksistä vastaa ympäristöministeriö ja sitä koskevat lait ja säädökset määritellään Maankäyttö- ja rakennuslaissa. Ministeriön tavoitteena on laadukkaasti ja kestävästi rakennettu turvallinen, miellyttävä sekä toimiva ympäristö. Tämä toimii perustana hyvälle asuin- ja toimintaympäristölle sekä vähähiiliselle yhteiskunnalle. (Ympäristöministeriö 2021a.)

Rakentamisen perustavoitteena on turvallisen, viihtyisän ja toiminnallisen rakennuksen lisäksi energiatehokkuus. Suomen kasvihuonepäästöistä noin kolmasosan tuottaa rakennussektori eli rakentaminen ja rakennukset. Rakennuksen käytönaikaisen energiatehokkuuden lisäksi Suomen tavoitteena on vähentää päästöjä koko rakennuksen elinkaaren aikana, jotta kansalliset ja kansainväliset päästötavoitteet saavutetaan. Uudisrakentamisessa on kuitenkin vain vähän vähennysvaraa, sillä vuonna 2018 voimaan tulleet uudet energiamääräykset tavoittelevat lähes nollaenergiarakentamista. (Ympäristöministeriö 2021b.) Uusissa pientaloissa lämpöhäviöt on minimoitu, joten lämmönläpäisykerroin eli U-arvo on erittäin pieni. Ulkoseinien, alapohjan, yläpohja, ikkunoiden ja ovien U-arvot ovat keskimäärin lähes puolittuneet 2000-luvulla. Vaatimukset lämmöneristävyydelle eivät ole muuttuneet vuoden 2010 jälkeen, mutta rakenteiden ilmapitävyydellä ja talotekniikan kehityksellä on saavutettu energiatehokkuutta. (Auvinen ym. 2014, 147–150; Pientaloteollisuus 2019.)

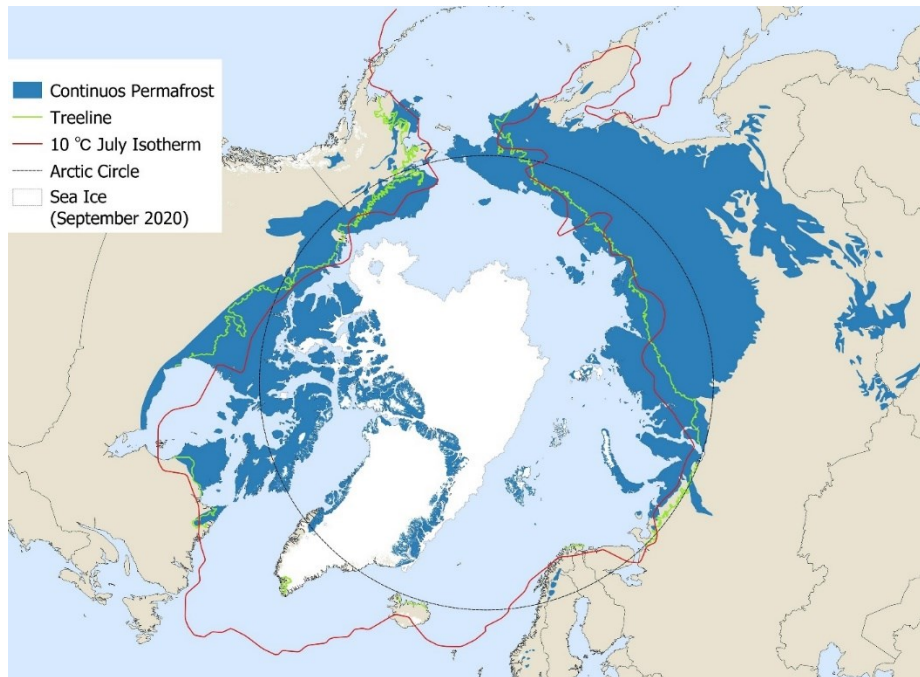
Tässä tutkimuksessa keskityn omakotitalojen uudisrakentamisen piirteisiin. Omakotitalo eli erillispientalo on rakennus, jonka käyttötarkoituksena on toimia asuinrakennuksena yleensä yhdelle tai kahdelle perheelle. (Tilastokeskus 2021.) Omakotitalo on esimerkiksi Suomessa halutuin asumismuoto, ja niissä asuu noin kolmannes suomalaisista. (Pientaloteollisuus 2019). Suomessa rakentamista omakotitalorakentamista ohjataan esimerkiksi kaavamääräyksiensä kautta (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999). Jokaisen kolmen kohteen tyypillisimpiä omakotitalopiirteitä olen avannut kyseisen kohteen kohdalla.

2.2 Arktinen alue ja sen erityispiirteet

Arktinen rakentaminen on arktisella alueella tapahtuvaa rakentamista. Energia-
tehokkuuden, toiminnallisuuden ja viihtyisyyden lisäksi kylmälle arktiselle alueelle
rakentaminen asettaa omat lisähaasteensa rakentamiselle (Auvinen ym. 2014,
42). Kylmässä ilmanalassa rakentaminen on tyypillistä pohjoisessa, vaikka sen
ei välttämättä ole ajateltu olevan suunnittelun lähtökohta. Kylmyyteen ja ankariin
olosuhteisiin on kuitenkin ollut pakko sopeutua. (Rauhala 1991, 13.) Energiate-
hokkuuden, toiminnallisuuden ja viihtyisyyden lisäksi kylmälle arktiselle alueelle
rakentaminen asettaa omat lisähaasteensa rakentamiselle (Auvinen ym. 2014,
42). Kylmyyden tuomat pitkät pakkasjaksot jäädyttävät veden ja saavat aikaan
lumisateita sekä aiheuttavat maan routimista. Maaperä voi jopa pysyä jatkuvasti
jäässä, jolloin kyseessä on ikirouta. Lämmitetty sisäilma on usein keskitalvella
kuivaa ja aiheuttaa hengitettäessä oireita. Tuuli lisää ulkoilman pakkasen pure-
vuutta entisestään. Valon määrän voimakas vaihtelu – vähäisyys talvella ja pal-
jous kesällä – on myös merkittävä tekijä niin henkisesti ja fyysisesti kuin toimin-
nallisesti. Liikkumiseen ja tavaroiden kuljettamiseen vaikuttavat pitkät välimatkat
sekä talvella kasautuva lumi ja liukkaus. Molemmat näistä sekä mm. lisääntynyt
energiantarve lämmityksessä nostavat elämisen ja tuotannon kustannuksia poh-
joisessa. Näistä seikoista huolimatta arktisella alueella asuu ihmisiä, jotka halua-
vat jatkaa täällä elämistä. Lisäksi arktisella alueella on paljon eri valtioita kiin-
nostavia luonnonvaroja, joiden hyödyntämisen takia motivaatiota asuttamiseen ja ra-
kentamiseen löytyy myös yhteiskunnallisesti. (Rauhala 1991, 13–17.)

Arktiseksi alueeksi eli Arktikseksi kutsutaan Pohjoisnapaa ympäröivää maantie-
teellistä aluetta. Arktinen alue voidaan määritellä usealla eri tavalla luonnontie-
teellisesti, kulttuurillisesti ja poliittisesti. Luonnontieteellisesti alue voidaan määri-
tellä esimerkiksi lämpötilan, metsärajan, ikiroudan ja jääpeitteen mukaan (Kartta
1). Poliittinen määrittely riippuu esimerkiksi valtion omista tavoitteista, kun taas
kulttuurillisesti alueen rajausta tapahtuu alkuperäiskansojen kotiseutujen mukaan.
Kaikki nämä rajaukset voivat kuitenkin vaihdella. Erityisesti luonnontieteelliset
määrittelyt muuttuvat ja alue pienenee ilmastonmuutoksen vaikutuksesta. Poh-
joinen napapiiri on käytännössä ainoa määritelmä, johon ilmaston lämpeneminen

tai poliittiset ja kulttuurilliset tavoitteet eivät vaikuta. Napapiiri-määritelmän mukaan piirin pohjoispuolella vietetään vähintään kerran vuodessa valoisa yötöntä yötä kesällä ja pimeää kaamosyötä talvella. (Arktinen keskus 2021.)



Kartta 1. Arktinen alue (Arktinen keskus 2021)

Tyypillisesti arktiseen alueeseen ajatellaan kuuluvan Pohjoisen jäämeren lisäksi kahdeksan valtiota, joilla on maa-alueita napapiirin pohjoispuolella ja jotka ovat osa Arktista neuvostoa. Arktinen neuvosto on kahdeksan arktisen alueen hallituksen sekä 38 tarkkailijavaltion ja järjestön muodostama foorumi, joka edistää arktisten valtioiden, alkuperäiskansojen sekä asukkaiden yhteistyötä. Neuvoston jäsenmaita ovat Suomi, Ruotsi, Norja, Tanska, Islanti, Venäjä, Yhdysvallat sekä Kanada. (Arctic Council 2021; Ulkoministeriö 2021.) Vaikka Suomi määrittelee itsensä kokonaan arktiseksi valtioksi (Arktinen keskus 2021), Arktisen neuvoston mukaan Suomen arktisuus koskee vain Pohjois-Pohjanmaan, Kainuun sekä Lapin alueita. (Arctic Council 2021)

Arktis on laaja alue, jossa ilmasto ja monimuotoinen ympäristö vaihtelevat jäätiköistä tundraan, metsistä leudoille rannikoille. Arktisen alueen määrittelyjen kautta Arktisen alueen erityispiirteiksi nousevat valoisuuden ja lämpötilan suuret vuotuiset vaihtelut, kylmyys, pitkä talvi ja ikirouta. (Arktinen keskus 2021.) Eranti,

Karri, Mäkelä, Palosuo & Saarelainen (1982, 9) määrittelevät arktisen alueen tyyppillisiksi piirteiksi harvaan asutun alueen pitkät etäisyydet, kuljetusvaikeudet, alhaiset lämpötilat ja herkän luonnonympäristön. Kylmän ilmaston alueelle on tyyppillistä pitkiä aikoja pysyvä lumipeite. (Eranti ym. 1982, 14-15.) Samoin Rauhala (1991, 13–17) ja Paasivuori (1991, 23–25) määrittelevät Arktiksen luonteenomaisiksi piirteiksi ankarat kuljetusetäisyydet, ikiroudan ja maan routivuuden, huonon näkyvyyden kaamosaikaan sekä talviset olosuhteet, tuulen ja pakkasen mutta myös kosteuden vaikutuksesta.

2.3 Arktisen rakentamisen erityispiirteet

Arktisen alueen erityispiirteet vaikuttavat rakentamiseen arktisella alueella. Arktisella alueella rakentaminen on mahdollista, kun huomioidaan olosuhteet ja niiden riskeihin valmistaudutaan etukäteen. Rakentamiseen vaikuttavia olosuhteita ovat lämpötila, sade, lumisade, ilmankosteus, tuuli ja valoisuus. Ne vaikuttavat materiaaleihin, kalustoon työturvallisuuteen, työn laatuun ja kustannuksiin. Pitkä pakkasjakso jäädyttää veden ja aiheuttaa maan jäätymistä eli routaantumista, mikä hankaloittaa rakentamista ja voi vaurioittaa rakenteita ja heikentää maan kantavuutta. (Ratu S-1234, 1–5.) Auvinen ym. (2014, 158) määrittelevät kylmän ilman alan rakennusten yhteisiksi ominaisuuksiksi ympärivuotisen rakentamisen, riittävän eristyksen, tiiviit rakenteet sekä monilasiset ikkunat, suojaavat tuulikaappi- ja katosratkaisut, koneellisen ilmanvaihdon ja lämmöntalteenoton sekä mahdolliset esivalmisteiset katto- ja seinärakenteet. Paasikivi (1991, 24–25) on koonnut listan arktisen rakentamisen suunnittelun vaatimuksista, joilla vastataan arktisen alueen sekä sen ilmaston aiheuttamiin haasteisiin:

- Suuret lämpötilanvaihtelut asettavat rakenteet maan päällä ja maan alla kovalle koetukselle. Erityisesti pinnoitteiden ja saumojen on kestettävä suuri kuormitus.
- Lämmöneristeiden on kestettävä suuria lämpötilan vaihteluita ja erityisesti kylmäsiltoja on vältettävä. Lumi- ja jääkuormat voivat olla odottamattoman suuria, mihin on varauduttava.

- Lumi ja sade voivat tunkeutua sisään ikkunoista, ovista ja muista luukuista, joten räystääsratkaisut sekä tuulikaappiratkaisut ovat usein tarpeellisia.
- Kosteus ja kuiva ilman aiheuttavat haasteita rakennuksille ja materiaaleille.
- Herkkä ympäristö aiheuttaa erityisvaatimuksia rakentamiselle.

Sekä Paasikiven, Rauhalan että Auvisen näkemykset tukevat toisiaan. Arktisen alueen määrittelyistä ja tyypillisistä piirteistä sekä Paasikiven, Rauhalan ja Auvinen ym. listoista kokosin taulukkoon arktisen rakentamisen erityispiirteet (Taulukko 1). Vasemmalle puolelle jaottelin arktisen alueen ja sen ilmaston aiheuttamat erityisolosuhteet. Keskelle kokosin rakenteiden ja niiden osien suunnittelun vaatimat seikat mukaillen Paasikiven (1991, 23–29) rakentamiseen kohdistuvia erityisvaatimuksia. Taulukon oikealle puolelle kokosin ja yhdistin niihin rakenteet ja rakennusosat, joiden toiminnalla vastataan näihin em. erityispiirteisiin ja vaatimukseen sekä samalla huomioidaan omakotitalorakentamisen tavoitteet eli toiminnallinen, viihtyisä ja energiatehokas rakennus (Pientaloteollisuus 2019).

Tutkimuksessani olen rajannut vertailun kolmeen omakotitalorakentamisen kannalta keskeisimpään rakennusosaan. Näitä ovat perustamistapa, routasuojaus, ja vaipparakenne. Vaipparakenteissa keskityn seinärakenteeseen ja ikkunoihin. Kylmän ilmanalan alueella maaperälle oikea perustamistapa sekä riittävä routasuojaus ovat ensisijaisen tärkeitä, jotta rakennuksista saadaan turvallisia, terveellisiä ja aikaa kestäviä (RIL 101-2004 2004, 13). Energiatehokkailla- ja tiiviillä vaipparakenteilla saadaan varmistettua, etteivät lumen, jään, tuulen ja sateen vaikutukset tunnu sisällä ja lisää pientalojen asuinviihtyisyyttä. Seinärakenteiden sekä ikkunoiden tiiveys sekä minimoitu lämmönläpäisykerroin ovat olennainen osa energiatehokasta ja toimivaa omakotitalorakentamista (Auvinen ym. 2014, 147–150; Pientaloteollisuus 2019). Tiiviin rakennuksen etuna on myös, että rakennus kuivuu ulospäin ja kuivumiskausi on mahdollisimman pitkä. Tämä vähentää kosteusvaurioita ja edesauttaa rakennuksen parasta mahdollista terveyttä ja toimivuutta. (Sarja 2010, 385–387.)

Taulukko 1. Arktisen rakentamisen erityispiirteet

Arktisen alueen erityisolosuhteet	Suunnittelun vaatimukset	Rakenteet ja rakennusosat
Valoisuusasteen suuret vuotuiset vaihtelut	Aukkojen suojaus Auringon säteilyn vaikutus materiaaleihin	Räystä- ja katosratkaisut Kestävät ja ilmastoon sopivat pinnoitteet Ikkunat
Lämpötilan suuret vuotuiset vaihtelut	Eristäminen Energiatehokkuus Älykäs talotekniikka Vaipparakenteiden tiiviys	Ilmanvaihto ja lämmitys (LTO) Vaipparakenteet: ikkunat ja ovet seinärakenteet ala- ja yläpohjarakenteet Muut läpiviennit
Pitkät etäisyydet	Infrastruktuurin, tieverkoston, rautateiden kunnossapito ja kuljetusreittien suunnittelu Tuotteiden ja rakenteiden esisuunnittelu	Esivalmistetut tuotteet
Ikirouta ja maan routivuus	Oikea perustustapa Riittävä routaeristäminen	Perustukset Routasuojaus
Lumen, jään, tuulen ja sateen vaikutus	Tiiviit rakenteet Lumikuormien huomiointi Tuulikuormien huomiointi Vaipparakenteiden tiiviys	Tuulikaapit ja katosratkaisut Räystäsratkaisut Lumiesteet Vaipparakenteet
Herkkä luonnonympäristö	Ympäristön ja kasvillisuuden huomiointi rakennuksen ja työmaan suunnittelussa	Ekologiset materiaalit Kiertotalous

3 TUTKIMUKSEN KOHTEET

3.1 Kohteiden rajaus

Tutkimuksen maantieteelliset kohteet valitsin Arktisen neuvoston määrittelemistä arktisista valtioista, joista löytyi tutkimukselle tarvittavat tiedot. Ensimmäiseksi kohteeksi valitsin Suomesta Rovaniemen. Rovaniemen, Lapin pääkaupungin, asukasluku on noin 65 000 ja se on pinta-alaltaan Euroopan laajin kaupunki (Rovaniemen kaupunki 2020). Rovaniemi sijaitsee arktisella alueella napapiirin tuntumassa (Rovaniemen matkailuneuvonta 2021). Toiseksi kohteeksi valitsin Fairbanksin kaupungin Alaskassa, Yhdysvalloissa. Fairbanks sijaitsee keskellä Alaskan osavaltiota, linnuntietä noin 140 mailia (225 km) etelään napapiiristä. Fairbanks on Alaskan toiseksi suurin asutuskeskittymä noin 100 000 asukkaallaan. (Explore Fairbanks Alaska 2021.)

Kolmanneksi kohteeksi valitsin Iqaluitin kaupungin Nunavutin territoriossa Kanadan pohjoisosassa. Nunavut on harvaan asuttua aluetta noin 36 000 asukkaallaan, jonka asukastiheys on 0,02/km² (Arctic Centre 2021, 12) ja pääkaupungissa Iqaluitissa asuu noin 7 700 asukasta. Nunavutin territorio on suurelta osalta ikiroutaista manner- ja saaristoaluetta ja sijaitsee pääosin joko napapiirin tuntumassa tai sen pohjoispuolella. (The Canadian Encyclopedia 2021.) Jokaisen kolmen paikkakunnan alaluvussa olen avannut kyseisen kohteen ilmasto- ja lumitiilannetta sekä tyypillisiä omakotitaloratkaisuja.

3.2 Rovaniemi, Suomi

3.2.1 Rovaniemen ilmasto ja omakotitalojen tyypilliset piirteet

Rovaniemi sijaitsee napapiirin läheisyydessä Pohjois-Suomessa (Kartta 2) kohdassa 66.50° N, 25.73° E (The Arctic Institute 2020b) Ounasjoen ja Kemijoen risteyskohdassa. Rovaniemen ilmasto kuuluu Pohjoisboreaaliseen vyöhykkeeseen. Tammikuun keskilämpötila on noin -12–14 °C ja heinäkuun +14–15 °C. (Kersalo & Pirinen 2009, 9–10, 131–135.) Kylmin mitattu lämpötila Rovaniemellä on -43,3 °C ja lämpimin +30,6 °C (Rovaniemen matkailuneuvonta 2021). Rovaniemellä viiden vuoden lämmitystarveluvun keskiarvo on reilu 5 000°Cv_{rk} (Bizee

Degree Days 2021). Sadanta Rovaniemellä vuosittain on noin 600 mm ja lunta on tyypillisesti marraskuusta toukokuun alkuun. Hanget ovat noin 80 cm korkuisia ja korkeimmillaan metrin luokkaa (Kersalo & Pirinen 2009, 135–137). Rovaniemellä F_{50Kh} eli kerran 50 vuodessa toistuva pakkasmäärä on noin 65 000 Kh ja routasyvyys 2,5m (Ratu S-1234, 3). Vaikka Rovaniemellä talvet ovat pitkiä ja kesät lyhyitä (Kersalo & Pirinen 2009, 137), Golf-virran vaikutuksesta alueen ilmasto on suotuisampi kuin yleensä samoilla leveysasteilla (Arctic Centre 2021, 19).



Kartta 2 . Napapiirin Suomi kartta (Maps Finland 2021)

Suomessa noudatetaan rakentamisessa Maankäyttö- ja rakennuslakia (132/1999), joka sisältää olennaiset tekniset vaatimukset, kuten terveellisyteen, turvallisuuteen, lujuuksiin ja energiatehokkuuteen liittyvät asiat, yleiset rakentamisen edellytykset sekä lupa- ja viranomaisasiat. Asetuksissa, säännöissä ja oh-

jeissa määritellään esimerkiksi, että rakennettaessa on otettava olosuhteet huomioon ja rakennusten on toimittava, oltava kestäviä ja sovelluttava vallitseviin olosuhteisiin. Lisäksi rakennusten on oltava terveellisiä ja turvallisia, ja ne tulee suunnitella niin, että ne ovat energiatehokkaita ja käyttävät säästeliäästi luonnonvaroja. (Ympäristöministeriö 2021a.)

Keskimääräinen omakotitalouudisrakennus on huoneistoalaltaan n. 140 m² ja se rakennutetaan talopakettina tai avaimet käteen -periaatteella. Vain noin 10 % toteutetaan paikallaan. Lämmitysmuotona noin puolessa uudiskohteista on maalämpö ja yli 80 % on jonkin tyyppinen lämpöpumppu. Puurankarunko on yleisin runkoratkaisu omakotitalorakentamisessa edullisuutensa vuoksi. Puu- ja hirsi-taloja on noin 90 % ja kivitaloja eli betoni, kevytbetoni, harkko tai tiilirankaisia pientaloja on noin 10 % rakennetuista taloista. (Pientaloteollisuus 2019.) Viime vuosina omakotitalojen rakennuslupia on myönnetty koko ajan suurempia määriä. Rovaniemellä rakennettujen omakotitalojen määrä on tuplaantunut neljässä vuodessa. (Rovaniemen kaupunki 2021.)

3.2.2 Perustamistapa

Rakennusten perustamistapa riippuu rakennuskohteen pohjatyypistä, ja rakennukset perustetaan kallioille, maavaraisena tai paalutuksella (Jääskeläinen 2012, 24). Pohjatyypin selvitetään pohjatutkimuksilla, joissa tutkitaan pohjavesipinnan korkeutta, maaperän kerroksia, materiaaleja tiiviyyttä ja routivuutta sekä esimerkiksi radonin esiintyvyyttä. (RT YM1-21614 2014; RT 10-10619 1996, 1–2; RT 81-10854 2005.) Rovaniemellä on pääasiassa moreenimaata, mutta myös hiekaista harjua, savi- ja silttimaaperää sekä kalliota (Kujansuu, Hyyppä & Lappalainen 1982, 9). Perusvaatimuksena perustamistavan valinnassa on, että rakenteet eivät saa liukua tai kaatua ja maapohjan kantokyky on riittävä, jotta painumat ovat pieniä ja murtumista ei synny. Perustukset on rakennettava niin, että kosteuden siirtyminen on ehkäistävässä (RT YM1-21614 2014, 1). Yleisesti tavoitteena on, että useaa erityyppistä perustamistapaa ei tarvittaisi ja perustukset olisivat saman kantavan kerrostuman varassa. Kallio on kiinteänä kestävä ja luotettava pe-

rustuspohja ja sitä esiintyy paljon, mutta omakotitalon perustaminen on mahdollista löyhemmillekin hiekkapohjille ja kiinteille siltti- ja savipohjille. (Jääskeläinen 2012, 39, 47.)

Kallioperustuksessa tulee ottaa huomioon, että mikäli kallio on louhittua tai rikko-naista, se tulee puhdistaa ja mielellään tavoitellaan alla olevaa kiinteää kalliota. Esimerkiksi ylisyviksi louhittuja kohtia voidaan täyttää louheella ja tasata pinta sepelillä täyryttäen se tiiviiksi. Rakennuksen perustuksen liikkuminen estetään pul-tituksella ja ankkurein. Rakennus perustetaan kalliolle yleensä kiinnitettyinä maa-varaisina tai ryömintätilaisina. (Jääskeläinen 2012, 24–31.)

Maanvaraisten perustusten pohjana toimivat pilari- ja perusmuurianturat tai yhte-näiset laatat, joiden päällä pilarit ja seinät voivat seisoa. Maanvaraisessa perus-tustavassa on tarkastettava maaperän kantavuutta ja painumia. Tiiviit moreeni- ja soramaat ovat tyypillisiä maanvaraisten perustusten maaperätyyppejä. Maan-varainen pohja voi olla joko ryömintätilainen tai maanvastainen alapohja. (Jääs- keläinen 2012, 39.) Käytettäessä ryömintätilaista alapohjaa on huomioitava tuu- letus. Koneellinen tuuletus on suositeltavaa, mutta käytettäessä painovoimaista tuuletusta suositellaan eristystä maapohjan ja ryömintätilan väliin. Perustamis- syvyyden tulee anturoilla ja laattaperustuksella olla vähintään 0,5 m viereisestä maanpinnasta ja perusmuurianturan leveys on oltava vähintään 0,3 m ja pilarian- turan 0,4 x 0,4 m. (RT 81-10854 2005, 2–3.) Pientalot voidaan perustaa myös kuivakuorikerroksen varaan anturoille. Savikoille perustettaessa tavoitteena on, että anturat ovat saman savikerrostuman päällä, jottei painumista synny. Löyhä maaperä on aina mitoitettava painumalaskelmin ja usein käytetäänkin paalutusta. Koska pehmeällä maaperällä on vaikea hallita painumia, tulee kellareiden olla joko koko rakennuksen suuruinen tai sitä ei tulisi olla ollenkaan. (Jääskeläinen 2012, 39–50.)

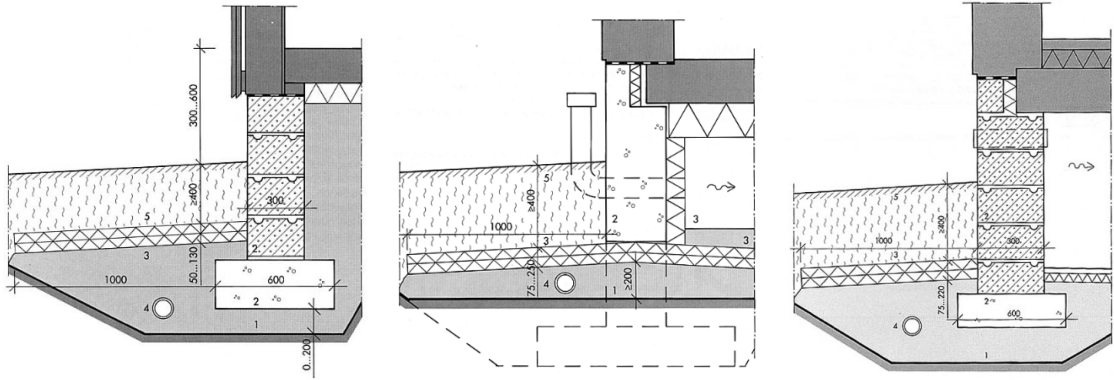
Lyöntipaalutusta käytetään tyypillisesti, kun maavarainen perustaminen ei ole jär- keväää esimerkiksi ympäristön, painumien tai kiertymien takia. Teräspaalu- jen käyttö on yleistynyt niiden monimuotoisuuden lisääntyessä, ja puupaaluja käy- tetään enää lähinnä infrarakennuksessa. Paalutettaessa on oltava varma, että paa-

lutusperustus sopii rakennuspaikalle. Lohkareinen ja löyhä maaperä tai naapurirakennukset voivat estää paalutuksen. Paalutettujen perustuksien määrä on lisääntynyt, koska kaupunkien kasvaessa on otettu käyttöön sijaintinsa takia yhä enemmän pehmeäpohjaisia alueita, joille rakentamista on ennen vältelty. (Jääskeläinen 2012, 52–52, 89.)

3.2.3 Routasuojaus

Omakotitaloa rakennettaessa routasuojauksessa käytetään tyypillisesti kerran 50 vuodessa esiintyvää pakkasmäärää F_{50Kh} (Jääskeläinen 2012, 147), joka Rovaniemellä on määritelty noin 65 000 Kh ja routasyvyys 2,5 m (Ratu S-1234, 3). Routasyvyys lasketaan lumettomalle maalle, koska lumen suojaavan vaikutuksen varaan ei voida laskea. Menettelyllä varmistetaan, ettei maanpinna alapuolisiin rakenteisiin synny vaurioita. Mitä paremmat routasuojaukset ovat, sitä vähemmän vaurioita syntyy. Rakennuksen perustamistapa sekä pohjaolosuhteet määrittävät suuren osa routasuojauksen mitoitusta. Routivia maapohjia ovat mm. savi, siltti ja moreenit. Sen sijaan kalliopohja ei roudi. Tavoitteena on joko viedä perustukset routimattomaan syvyyteen (Rovaniemellä 2,5m), estää roudan tunkeutuminen routaeristein tai suorittaa massanvaihto routimattomaan syvyyteen saakka. Myös kylmät rakenteet tulee routasuojata Rovaniemen korkeudella. (Jääskeläinen 2012, 147–151, 166–167; RT 81-10486 1992, 8.) Tässä kohdassa syvennyn kuitenkin vain lämpimien asuinrakennusten routasuojaukseen.

Keskeisimpinä tekijöinä routamitoituksessa ovat alapohjan lämmönvastus, perustamissyvyys ja perusmuurikorkeus. Oletuksena on, että salaojat ja niiden sorakerrokset sekä pintavesien ohjaus on tehty asianmukaisesti ja vesien pääsy rakenteisiin on estetty. Lämpimien rakennusten alapohjan lämmönvastuksen suuruuden ja alapohjatyypin mukaan on eri mitoitustaulukot, joista perustussyvyyden ja pakkasmäärän avulla voidaan päätellä routaeristeen lämmönvastus. Kuva 1 on yhdistelty Routasuojaus-kirjan kuvista (RIL 216-2013, 89), joissa esitellään suositeltu perusmuurin ja routaeristykseen sijoitusyhdistelmä maanvastaisella ja ryömintätalallisella alapohjarakenteella. (Jääskeläinen 2012, 167–169; RIL 216-2013, 84–93).



Kuva 1. Perusmuurin ja routaerityksen suositeltu sijoitusyhdistelmä lämpötekni-
seltä kannalta maanvastaisella, roudattomaan syvyyteen tehdyllä pilariperustuk-
sella sekä ryömintätillaisella alapohjalla (RT 81-10590 1995, 4, 7)

Perusmuurikorkeus lattiarakenteen eristyksen alapinnasta saa olla korkeimmil-
laan 0,6 m viereisestä ulkopuolisesta maanpinnasta, mikäli routasuojaus tehdään
ohjeiden avulla. Korkeammille perusmuureille routasuojaus on laskettava erik-
seen. Routasuojaus edellyttää perusmuureilta lämmönvastusta. Maanvastaisen
alapohjan lämmönvastus on Rovaniemellä 2,5–3,2 m²/KW riippuen pakkasmää-
rystä ja perusmuurikorkeudesta (0,3–0,6 m). Ryömintätillaisen alapohjan läm-
mönvastus Rovaniemellä on noin 1,75 m²/KW, mikäli perusmuurikorkeus on alle
0,6 m. Routaeristeiden leveys riippuu alapohja lämmönvastuksesta, ja se on Ro-
vaniemellä tyypillisesti maanvastaisissa alapohjarakenteissa ja ryömintätillaisissa
noin 1,5 m luokkaa. Ulkonurkkien lisätyn routaeristyksen leveys on 2,5 m. (Jääs-
keläinen 2012, 167–169; RIL 216-2013, 84–93).

3.2.4 Vaipparakenne

Rakennuksen tiiviys ja erityksen mitoitukset ovat tärkeä osa talon energiatehok-
kuutta sekä toimivuutta, asuinmukavuutta- ja turvallisuutta arktisella alueella. Esi-
valmisteisten rakenteiden kautta voidaan helpoiten vaikuttaa rakenneratkaisuihin
ja kolmasosa uusista omakotitaloista onkin talopaketteja (Pientaloteollisuus
2019). Rakennusten ulkoseinät tulee suunnitella niin, että kosteutta ei pääse ker-
tymään ulkoverhouksen taakse. Puurunko tulee erottaa kivrakenteesta ja kivira-
kenne maanvastaisesta rakenteesta esim. bitumikermillä, joka voi toimia myös
radonsulkuna. Vaipan rakenteet tulee myös suunnitella siten, ettei kylmäsiltoja
muodostu rakenneosiin tai niiden väliin. (RT 81-10854 2005, 3.)

Energiankulutusta lisää rakennuksen vaipan läpi syntyvä lämpöhäviö. Tähän pystytään vaikuttamaan tiivistyksen lisäksi eristyksillä. (Vinha ym. 2013, 25.) Rakennuksen ulkovaipan lämmönläpäisykerroin eli U-arvo on ulkoseinien kohdalla 0,17 W/(m²K) ja ikkunoiden kohdalla 1,0 W/(m²K). Luvut ovat pysyneet samoina jo yli kymmenen vuotta. Muutosta on tapahtunut rakennusten talotekniikassa ja tiiviudessa. (Pientaloteollisuus 2019.) Seinärakenteissa vaadittava U-arvo (0,17) saavutetaan puhalletulla villalla noin 225 mm paksuudella, villalevyillä noin 200 mm paksuudella ja hybridityhjiöeristeellä noin 60 mm paksuudella (Taloon.com 2021b). Lämmöneristeiden kasvattaminen vaikuttaa rakenteiden kosteustekniiseen käyttäytymiseen, koska lämpö ei siirry enää ulospäin ja rakenteen kosteus nousee. Tämä voi lisätä rakenteiden ulko-osien kosteusvaurioita. (Vinha ym. 2013, 25.) Rakennuksen energiatehokkuutta mitataan energiatehokkuuden vertailuluvulla (E-luku), joka määrittää rakennuksen laskennallisen ostoenergiakulutuksen lämmitetylle nettoalalle vuodessa. Rakennusten energiatarve kerrotaan sen energiatodistuksessa. E-luku painottuu energiamuotojen kertoimilla ja erillispientalossa enimmäisarvon tulisi olla noin 92–170 kWh_E/(m² a). (RT RakMK-21764 2018, 3; RT 11-11294 2018, 4.). Tällöin rakennus kuuluu energiatehokkuusluokkaan B (LämpöYkkönen 2017).

Ikkunoiden tehtävä on päästää tilaan luonnonvaloa, joka on tärkeää erityisesti arktisissa olosuhteissa (RT 103260 2020,17). Ikkunan valintaan ja sen toimivuuteen, ulkonäköön, käytettävyyteen ja energiatalouteen vaikuttavat käytön ja ympäristön vaatimusten lisäksi suunnittelijan tekemät valinnat. Tyypillisesti Suomessa omakotitalorakentamisessa käytetään sisäänpäin aukeavaa ikkunatyyppejä (RT 82-10605 1996, 2) tai isommissa ikkunoissa kiinteitä ruutuja. Jotta saavutetaan nykyiset lämmönläpäisykerroinlukemat (U=1,0), lasituksen määrä on nykyään yleisesti 1+2 tai 2+2, jolloin sisäpuiteessa on kaksinkertainen eristyslasi ja ulkopuiteessa tasolasi tai kaksinkertainen eristyslasi. Sisäpuolen eristyslasi koostuu selektiivilaseista ja välilistasta, ja selektiivilasien välissä on jalokaasu, joka on tyypillisesti argon. Ikkunoiden valmistajat käyttävät vapaaehtoisista energialuokitusta (E-arvo), jossa huomioidaan läpi menevä lämpöhäviö sekä sisälle tuleva auringonsäteilylämpö (g-arvo). Näiden tietojen avulla laskeaan vertailuluku, joka kertoo lämmitystarpeen vuodessa. Luokat jakaantuvat A++–G -luokkiin, jossa A++-luokka on vähän energiaa kuluttava ja G paljon

energiaa kuluttava luokka. Ikkunoiden tiiviiden tulee vähentyä sisältä ulospäin, jotta kosteus pääsee haihtumaan, mutta tilan lämmitystarve ei saa olennaisesti lisääntyä eikä sadevesi saa ulkoa tunkeutua sisälle. (RT 103241 2020, 2–9.)

Merkittävä vaikutus lämmöntarpeeseen on vuotoilmalla, joka voidaan määrittellä ilmanvuotoluvulla q_{50} . Ilmanvuotoluku kertoo, kuinka monta kertaa tunnissa rakennuksen ilma vaihtuu 50 Pa:n paineessa. Vanhoissa taloissa luku on noin 4, kun taas uusissa pientaloissa noin 1,1. Esimerkiksi uusissa passiivitaloissa lämmitysenergian tarve on laskennallisesti pienempi 25% pelkästään tiiviyserojen vuoksi. Tiiviissä talossa on olennaista hallittu ja tarpeenmukainen ilmanvaihto lämmöntalteenotolla, koska ilma ei käytännössä muuten vaihdu. Ilmanvaihto on olennainen osa terveellistä ja toimivaa sisäilmastoa. Rakennusosat ja niiden liitokset, kuten seinä-, yläpohja-, alapohjarakenteet, ikkunat, ovet ja läpiviennit muodostavat rakennuksen vaipan tiiviiden. Rakennusvaipan tiiviyden on jaettu kolmeen osaan: ilmatiiviyteen, höyrytiiviyteen ja sadevesitiiviyteen. Erilaisilla runko-rakennusratkaisuilla on erilaiset tiiviin rakenteen ratkaisut. (Sarja 2010, 385–393.) Rakennusvaipan osista keskityn tässä tutkimuksessa seinärakenteisiin ja ikkunoihin.

Arktiksen kylmässä ilmastossa rakennuksen tiivein pinta sijoitetaan aina sisäpuolelle. Puurungon sisäpuolella sijaitsee muovinen tai vahvistettu paperikalvo, joka toimii tiiviinä ilman- ja höyrynsulkukalvona. Saumat muihin rakenteisiin sekä läpiviennit tiivistetään tarkasti. Puuseinän ulkopuolella sijaitsee tuulensuoja levy, joka suojaaa sateelta ja tuulelta ja parantaa lämmöneristyskykyä. Myös tuulensuojalevyn saumat ja läpiviennit on tiivistettävä tarkasti. Hirsiseinissä suositellaan saumoihin ja nurkkaliitoksiin solumuovi- tai kuminauhoitusta. Aukkojen painumiin varaudutaan kimmoisilla lämmöneristeillä ja ikkunoiden ja ovien karmien tiivistykseen tiivistysnauhoilla, -kalvoilla tai -massalla. Jos betoniseinän saumat on tiivistetty huolellisesti, sen ilman- ja höyrynläpäisevyys pientä eikä erillisiä suojakalvoja tarvita. Betoniharkkoseinä ja sen läpiviennit tasoitetaan tai rapataan tiiviiksi. Tiiliseinät tasoitetaan sisältä, mutta ulkopuolella käytetään tuulensuojalevytyötä. Sekä betoniharkko- että tiiliseinissä aukkojen tiivistykseen käytetään massaa tai kittiä. (Sarja 2010, 387–390.)

3.3 Fairbanks, Alaska, Yhdysvallat

3.3.1 Fairbanksin ilmasto ja omakotitalojen tyypilliset piirteet

Fairbanks sijaitsee Chena-joen varrella noin 225 km etelään napapiiristä, sisämaassa keskellä Alaskan osavaltiota Yhdysvalloissa (Kartta 3). Fairbanksin ilmasto kuuluu subarktiseen ilmastoon pitkine kylmine talvineen ja lyhyine lämpimine kesineen (Natural Resources Conservation Service 2004, 12). Tammikuun keskilämpötila viimeisen 30 vuoden ajalta on noin -8– -9 °F (noin -22– -23 °C) ja heinäkuun +61–63 °F (noin +16–17 °C). (The Alaska Climate Research Center 2021.) Kylmin mitattu lämpötila Fairbanksissa on -66 °F (noin -54°C) (The Weather Channel 2017) ja lämpimin +99 °F (noin +37°C). Fairbanksissä viiden vuoden lämmitystarveluvun keskiarvo on noin 6 000°Cvrk (Bizee Degree Days 2021). Keskimääräinen sadanta Fairbanksin alueella on noin 300 mm heinä- ja elokuun ollessa märimmät kuukaudet. Lunta on tyypillisesti lokakuusta toukokuulle ja hangeget ovat noin 65 tuuman (noin 165 cm) korkuisia (Natural Resources Conservation Service 2004, 12, 120). Routaraja Alaskassa on keskimäärin 100 tuumaa eli noin 255 cm, koska osa osavaltiosta kuuluu ikiroudan alueeseen (World Population Review 2021), mutta Fairbanksissa routasuojauksen raja on 42 tuumassa eli noin 107 cm (City of Fairbanks Alaska 2021).

Tyypillisen alaskalaisen omakotitalon koko on noin 165 m², mikä on hiukan pienempi kuin keskimäärin Yhdysvalloissa (BobVila 2021). Tähän vaikuttavat mm. Alaskan arktinen ilmasto, lämmityskustannukset sekä korkeat elinkustannukset. Asuinrakennuksista on myös pulaa, erityisesti harvaan asutuilla seuduilla, mikä johtuu juuri edellä mainituista seikoista. Asuntopula vaikuttaa asumisen turvallisuuteen ja viihtyisyyteen. Osassa asunnoista ilmastointi on riittämätöntä, mikä lisää esimerkiksi rakenteiden kosteusriskiä. (Cold Climate Housing Research Center 2018, 1.)



Kartta 3. Alaskan kartta (Arctic Getaway 2021)

Rakentamisen standardit Alaskassa määräytyvät kolmikantaisesti. Valtiolla on omat laajemmat määräyksensä, osavaltio vaikuttaa rakentamiseen tarkemmin ja myös kunta tai kaupunki määrittelevät rakentamista. Kunnalta ja kaupungilta haetaan esimerkiksi rakennuslupa ja määräykset keskittyvät usein kyseisen alueen vaatimuksiin, kuten lämmitysmuotoon, rakennustyyppiin ja ulkonäköön. Osavaltio ja valtio taas määrittävät rakentamisen tapaa tarkemmin, mutta kunta valvoo näiden määräysten toteutumista. Rakentamismääräykset löytyvät The International Codes -koodistosta (I-Codes), joka on valtion läpikäymä ja hyväksymä. Koodisto käsittää viisitoista eri rakennusmääräysohjeistoa. I-Codes -rakentamisen määräykset takaavat turvalliset, kestävät, kohtuuhintaiset ja kestävät rakenteet. Alaskalla ei ole koko osavaltion kattavia energiatehokkuus määräyksiä, mutta Alaska Housing Finance Corporation on määrittänyt Alaskaa koskevan rakennustehokkuuden standardit omaksi ohjeistoksi eli BEES-standardeiksi (Alaska Building Efficiency Standard). BEES-standardit ovat osa kansallista energiansäästö-koodistoa eli International Energy Conservation Codes (IECC), joka on osa I-Codes -koodistoa. (International Code Council 2021.)

3.3.2 Perustamistapa

Suur-Fairbanksin alueella on kahdentyyppistä maastoa. Yläköalueella (Interior Alaska Highlands) on suuria matalia vuoristoja, suuria korkeusvaihteluja ja jyrkkiä jokisuistoalueita. Alavat maa-alueet (Interior Alaska Lowlands) ovat laakeaa ja helposti tulvivaa Chena-joen ja Tanana-joen jokisuistoaluetta. Ylängön vaihtuminen alangoksi on hyvin yhtäkkistä. Alankoalueiden maaperä on vetistä hiekkaa ja sorapohjaista, kun taas yläköalueilla on kallioperää, joka Fairbanksin alueella on lähellä maanpintaa hyvin rapautunutta ja halkeillutta. Kalliorapautuman korkeus on mäenharjojen vajaan metristä alavimpien alueiden useampaan metriin. Kalliokerroksen päällä on kerros tuulen mukaan tuomaa silttiä. Fairbanksin alueella on myös ikiroutaista aluetta. United States Department of Agriculture on luokitellut eri maapohjien huomioimista rakentamisessa, mutta jokaisessa rakennushankkeessa maapohja on tutkittava erikseen. (Natural Resources Conservation Service 2004, 11–12, 73.)

Alaskassa perustamistavan tulee olla osavaltion määräysten mukainen ja perustusten tulee olla riittävästi tuettuja tai riittävän täytön päälle tehtyjä johtuen maaperän vaihtelevuudesta. Perustusten tulee kestää niille lasketut kuormat ja siirtää paine maaperään. Ulkoseinien perustusten tulee olla tuettuna koko matkalta kiinteään tai muuratun perustuksen päällä, puuperustuksilla tai muilla sopivilla rakennetyypeillä. Riippuen maaperästä perustukset on mahdollista kiinnittää maaperään vahviketeräksin. Kosteus- ja höyrynsulku on myös toteutettava riippuen maaperän laadusta. (Alaska Housing Finance Corporation 2021.) Alle kolmikerroksiset pientalot ilman kellaria tai ”päivänvalo-kellareilla” (*daylight basement*) on perustettava routarajan alapuoliseen tasoon. Jos maaperässä on silttiä, sitä tulee kaivaa lisää 18 tuumaa eli noin 46 cm ja tehdä kantava täyttö takaisin routarajan alapuoliseen tasoon (City of Fairbanks Alaska 2021). Täyssyvällä kellarilla (*full basement*) olevat pientalot on perustettava vähintään 2,1 metriin. (Natural Resources Conservation Service 2004, 74.)

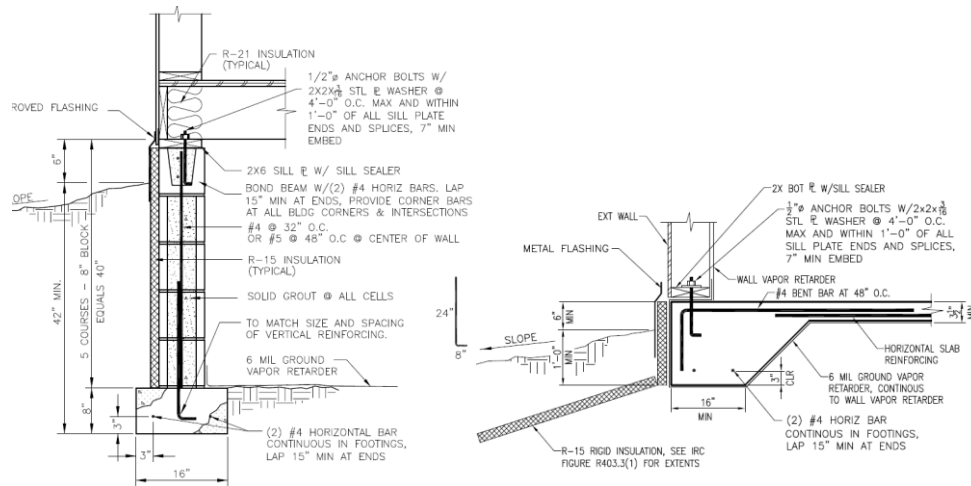
Mannerlaattojen liikkeistä johtuva seisminen toiminta vaikuttaa rakentamiseen Alaskassa. Myös Fairbanks kuuluu maanjäristysalueiden piiriin ja yli 1,5 magnitudin järjestyksiä tapahtuu lähes päivittäin. (Alaska Earthquake Center 2020).

Alaskan käyttämä International Building Code (IBC) vaatii, että järjestyksiin on vaurauduttu myös rakentamisessa. Osalle alueita ei saa rakentaa lainkaan niiden suuremman järjestysherkkyyden ja maaperän epävakauden takia. IBC-koodisto määrittää, että jos vähemmän järjestysherkille alueille rakennetaan, rakennukset on suunniteltava niin, että ne vastustavat mahdollista maan liikettä. Palkit, pilarit ja muut rakenteelliset liitännät on vahvistettava ja tarvittaessa tuettava maahan esimerkiksi teräksin. (Lukasik 2018.)

Fairbanksissa perusmuurit perustetaan tyypillisesti anturoiden päälle ja perustukset erotetaan yläpuolisesta rakenteesta sulkukerroksella kuten bitumilla. Ryömintätilallisessa alapohjassa perustuksen tulee nousta 6 tuumaa eli reilut 15 cm maanpinnan yläpuolelle riippumatta siitä, onko kyse harkko-, betonivaletusta vai painekyllästetystä puuperustuksesta. Eristys ja perustus suojataan metallipellityksellä, jonka yläosa sijoittuu ulkoseinärakenteen alle ja alaosa jatkuu maanpinnan alapuolelle. Perustuksen sisäpuolella asennetaan 6 mm vahvuinen maanvastainen höyrynsulku. Puurunkoisen perustuksen ja eristeen väliin asennetaan hyväksytty kosteussuoja. Kellarilliset alapohjat toteutetaan samoin, mutta maavastaisella alapohjalla, jonka paksuus on 4 tuumaa eli noin 10 cm. Maanpinnan alla olevien seinä- ja muurirakenteiden ulkopinnalle laitetaan kosteussulku. Myös täysikorkeat kellarit on mahdollista toteuttaa painekyllästetystä puusta. Maanvastainen perustus noudattelee muuten ryömintätilallisten ja kellarillisten perustusten ohjeistusta, mutta laatan alle asennetaan höyrynsulku. (City of Fairbanks Alaska 2021.)

3.3.3 Routasuojaus

Routasuojauksen syvyys Fairbanksissä on vähintään 42 tuumaa eli 107 cm. Ryömintätilallisten rakenteiden routasuojaus (R-15) sijoitetaan rakenteen ulkopuolelle pystyasentoon. Perustuksen materiaalista riippuen routaeristeen ja rakenteen väliin voidaan asentaa kosteussulku. Maavastainen perustus ilman kellarialueita on ainoa perustustapa, jossa routasuojuseristeet sijoitetaan myös horisontaaliksi. (City of Fairbanks Alaska 2021.) Kuvassa 2 on esitetty ryömintätilallisen ja maavastaisen perustuksen routasuojaus.



Kuva 2. Ryömintätillallinen ja maanvastainen routasuojaus (City of Fairbanks Alaska 2021)

3.3.4 Vaipparakenne

Paikallaan rakennettujen sisä- ja ulkoseinien tulee olla rakennettu osavaltion rakennusmääräysten mukaisesti. Valmisseinien tulee noudattaa I-Codesin määräyksiä. Seinärakenteiden eristeet ja höyrynsulku on asennettava määräysten mukaisesti, ja energiatehokkuuden on vastattava Alaskan rakennustehokkuuden standardeja. Eristettäessä on huolehdittava, että eristeet jatkuvat rakenteiden sisällä saumattomasti. Höyrynsulun tulee olla vähintään 6 mm, ja se tulee asentaa siten, että tiivein pinta on sisällä ja kulmissa on löysää, jotta repeämiä ei synny. (Alaska Housing Finance Corporation 2021.) IECC-koodistossa Fairbanks kuuluu ilmastovyöhykkeeseen 8, jolloin puurunkoisen seinän U-arvo on 0,042 Btu/(h·ft²·°F) eli 0,24 W/(m²K) (NAIMA 2021). Energiatehokkuudeltaan uuden rakennuksen tulee olla AkWarm-luokituksella 5 tähden luokkaa eli 89 tai enemmän BEES-standardilla, kun skaala on 0–100 (Alaska Housing Finance Corporation 2021).

Kuten jo aikaisemmin mainittiin, vuotoilman vähentäminen eli rakenteiden, rakenteiden välien, ikkunoiden, ovien ja muiden läpivientien tehokas tiivistäminen vaikuttaa merkittävästi energiatehokkuuteen, kestävytyteen ja asuinmukavuuteen. Tiivistäminen tapahtuu tiivisteillä, vaahdolla tai teipeillä. Alaskassa vuotoilmamäärä määritellään ilmanvuotoluvulla ACH₅₀. Ilmanvuotoluku X ACH₅₀ kertoo,

kuinka monta kertaa tunnissa rakennuksen ilma vaihtuu 50 Pa:n paineessa. Vanhoissa taloissa luku on jopa 10, kun taas uusissa pientaloissa ilmatiiviyden tulee olla tasolla 4 ACH₅₀ tai vähemmän. (Alaska Housing Finance Corporation 2021.)

Ikkunat ovat pieni, mutta tärkeä osa rakennuksen vaippaa valon läpäisevyyden, ilmanvaihdon ja lämmityksen takia. Alaskassa on useita erityyppisiä ikkunatyyppejä. Yksi yleisimmistä ikkunatyypeistä ovat veivaamalla aukaistavat ikkunat (*casement window*). Erityisesti sisäänpäin aukeavat ikkunat ovat tuuliseen ympäristöön ja tuuletusta vaativiin tiloihin sopivia ja tiiviitä. Ulospäin aukeavien veivattavien ikkunoiden väliin saattaa sen sijaan kertyä kosteutta tai jäätä. Ikkunan mekaaniset osat, kuten veivi, ovat helposti rikkoontuvia, mikä lyhentää ikkunoiden käyttöikä. Toinen yleinen ikkunatyyppi on vertikaalisesti tai horisontaalasti toimivat liukuikkunat (*slider window*). Liukuikkunoiden haasteena on, että niiden aukaisu vaatii voimaa ja liuku-uran pitäminen toimivana on työlästä, sillä pienikin jää tai lumi estää sen toiminnan. Kuiluikkunoita (*well window*) käytetään tyypillisesti kellareissa. Ikkunan suunnittelussa on huomioitava, että sen tulee olla käytettävissä hätäpoistumistienä ja että se ei saa täyttyä lumella tai vedellä, mikä estäisi sen asianmukaista käyttöä. Lisäksi käytössä on markiisi-ikkunoita (*awning window*), lokeroikkunoita (*hopper window*) ja kippi-ikkunoita (*turn-tilt window*), mutta toiminnallisista ja kustannussyistä näitä ikkunoita on käytössä vähemmän. (Alaska Housing Finance Corporation 2021.)

Arktisella alueella ikkunoiden kautta tapahtuu energiahäviötä, mutta myös passiivista lämmitystä. Alaskan arktiseen ilmastoon suositellaan kolmilasista ikkunaa energiatehokkuuden takia. Kaasutäytteiset ja selektiivipinnoitteiset ikkunat emissioivat vain vähän lämpöä läpi. Puu, muovi ja lasikuituiset ikkunapuitteet johtavat vähemmän lämpöä kuin metalliset. Myös ikkunoiden rakenteen tiivistäminen on erityisen tärkeää. Alaskassa ja muualla Yhdysvalloissa The National Fenestration Rating Council arvio ikkunoiden lämmönläpäisykertoimen, lämmön johtumisen, ilmavuodot sekä kondensoitumisen vastustuksen. (Cold Climate Housing Research Center 2018.) Fairbanks kuuluu ilmastovyöhykkeeseen 8, joten ikkunoiden U-arvo on 0,22 Btu/(h·ft²·°F) eli 1,25 W/(m²K) (NAIMA 2021).

3.4 Iqaluit, Nunavut, Kanada

3.4.1 Iqaluitin ilmasto ja omakotitalojen tyypilliset piirteet

Nunavutin territorio sijaitsee Pohjois-Kanadassa ja sen pääkaupunki Iqaluit sijaitsee territorion itäosassa (Kartta 3) Baffininsaarella kohdassa $63^{\circ}45\text{ N}$, $68^{\circ}31\text{ W}$ (The Arctic Institute 2020a). Liikennöinti Nunavutissa tapahtuu ilma- tai vesiteitse, sillä Nunavutin ja muun Kanadan sekä Nunavutin ja muiden paikkakuntien välillä ei ole tieverkostoa. (The Canadian Encyclopedia 2021.) Vaikka Iqaluit sijaitsee noin 195 mailia eli 313 km etelään napapiiristä (The Canadian Encyclopedia 2020), sen ilmasto on polaarista tundrailmastoa eli talvet ovat hyytävän kylmiä ja pitkiä, kesät lyhyitä ja viileitä ja maaperä ikiroudassa. Iqaluitin kylmään ja tuuliseen ilmastoon vaikuttaa sen sijainti Pohjoisen jäämeren rannalla. Kylmimmän kuukauden eli helmikuun keskilämpötila on -17.5°F (noin -28°C) ja lämpimimmän kuukauden eli heinäkuun keskilämpötila on $+46.8^{\circ}\text{F}$ (noin $+8^{\circ}\text{C}$). Kylmin mitattu lämpötila Iqaluitissa on -50°F (noin -46°C) ja lämpimin $+79^{\circ}\text{F}$ (noin $+26^{\circ}\text{C}$). (Weatherbase 2021.) Vaikka samoja pakkaslukemia mitataan myös etelämmässä, Iqaluitin rakentamiskauteen vaikuttaa talven pituus ja kylmyys, sillä -40°C pakkasjakso voi kestää jopa viikkoja ja myrskypuuskat puhaltavat jopa 130 km/h (36 m/s) (Borg 2014, 72). Iqaluitissa viiden vuoden lämmitystarveluvun keskiarvo on noin $8\,500^{\circ}\text{Cvrk}$ (Bizee Degree Days 2021). Keskimääräinen sadanta alueella on noin 400 mm elokuun ollessa märin kuukausi. Lunta on tyypillisesti lokakuun alusta toukokuun loppuun ja hanget ovat noin 90 tuuman (noin 230 cm) korkuisia. (Weatherbase 2021.)

Iqaluitin asukkaista noin neljäsosa asuu omakotitaloissa ja tyypillinen omakotitalo Iqaluitissa on noin 140 m^2 . Talot ovat pääasiassa paikallaan rakennettuja puurunkoisia tai jotkut valmiista rakennuselementeistä koottuja. Rakentamisen tavassa vastakkainen ovat länsimaalainen rakennustapa ja inuiittien perinteinen asumistapa. (Borg 2014, 33, 110–111) Uudisrakentamisessa tavoitellaan turvallista ja toimivaa asuinmukavuutta, kuitenkin unohtamatta energia- ja kustannustehokkuutta (Canada Mortgage and Housing Corporation 2004, 1). Kuten Alaskassa, myös Nunavutissa on laaja asuntopula johtuen kylmän ilmaston aset-

tamista haasteista, kuten pitkistä välimatkoista, paikkojen välisen infran puuttumisesta, lyhyestä rakennusajasta ja materiaalien korkeista kustannuksista ja vaajeesta. Erityisesti alkuperäiskansoihin kuuluvat asuvat ahtaasti ja korjausta vaativissa tiloissa. Huonokuntoiset tilat altistavat asukkaat terveyshaitoille ja rakenteet lisä- ja kosteusvaurioille (Borg 2014, 12–13). (Statistics Canada 2017.)



Kartta 4. Nunavut (Britannica 2021)

Nunavut on Kanadan liittovaltion alaisena toimiva territorio. Rakennusmääräyksissä noudatetaan Kanadan liittovaltion kansallista rakennuslainsäädäntöä. Myös territorioilla voi olla omia tarkentavia ohjeistuksiaan liittyen esimerkiksi rakennusten arkkitehtuuriin. (Government of Nunavut 2005, 2, 11.) Nunavutissa yk-

sityisten tai yritysten ei ole mahdollisuus omistaa maata johtuen Nunavutin maankäytösopimuksesta. Tontit ovat vuokratontteja ja niitä on vähän. Iqaluitissa tontteille on hankalaa rakentaa, sillä ne ovat rinnetontteja ja soratäyttö on kallista. Myös nämä seikat vaikuttavat paikalliseen rakentamisen kulttuuriin ja mistä johtuen Iqaluitissa on yksityisten rakentajien lisäksi paljon valtion tukemaa sosiaalista asuntotuotantoa, josta vastaa Nunavut Housing Corporation. Asuntoja välitetään työasuntoina ja kunnan vuokra-asuntoina. (Borg 2014, 81, 96)

3.4.2 Perustamistapa

Iqaluit sijaitsee ikiroudan alueella, joten sen omakotitalon perustamistapa on erilainen kuin perustuksien tekeminen sulaan maaperään. Ikiroutainen maa pysyy jäätyneenä pidempää kuin kaksi vuotta ja ikiroutaa voi syntyä erilaisiin maaperätyyppeihin kuten kallioperään, soralle ja hiekalle. Rakentamiseen vaikuttaa kuitenkin eniten siltti- ja savimaahan syntyvä jäinen ikirouta, sillä kostea maaperä on erittäin altis liikkumiselle, murtumiselle ja kantokyvyn heikentymiselle. Ikiroudan päällä on aktiivikerros, joka sulaa kesäisin auringon tai esimerkiksi päällä olevan rakennuksen lämmön vaikutuksesta. Talvisin ikiroudan uudelleen jäätymiseen vaikuttavat mm. lumen eristävä kasautuminen ja tuulisuus. Jos tuuli ei pääse puhaltamaan rakennuksen alle, se voi aiheuttaa turhaa lämpenemistä. Oikean perustamistavan tavoitteena on pitää maaperä kiinteänä, jotta perustukset eivät liiku. Erityisesti matalilla alueilla, kuten Iqaluitin keskustassa, maaperä on silttistä ja erittäin todennäköisesti jäistä ikiroutaa. (A Homeowner's Guide to Permafrost in Nunavut 2013, 2–9.)

Ikiroudalle voidaan perustaa paaluttamalla (*pile*), anturoilla (*pad*), kierretunkein (*screw jack*) tai kehikon (*space frame*) avulla. Teräspaalut (Kuva 3), porataan syvälle maaperään tai kallioon, jotta minimoidaan paalujen liikkuminen routimisen takia. Paalutus ei tarvitse vuosittaista ylläpitoa, mutta liikkumisen takia se voidaan joutua vaihtamaan puuanturoihin. Myös painekyllästettyjä puupaaluja voidaan käyttää (Government of Nunavut 2005, 71). Soralle asennettuja painekyllästettyjä puupinoja käytetään anturoina, jotka pitävät talon irti maan pinnasta. Puupinot voivat vaatia vuosittaista hienosäätöä, jotta talo pysyy vakaana. Soralle asennettun puulavan päälle tulevat kierretunkit toimivat myös perustuksena. Säädettäviä

kierretunkkeja voidaan joutua säätämään vuosittain. Alumiininen kehikko (Kuva 4) jakaa talon painon useaan eri pisteeseen. Kehikkoperustusta käytetään usein erityisen epävakaalla pohjalla. (A Homeowner's Guide to Permafrost in Nunavut 2013, 6; Government of Nunavut 2005, 71–72.)



Kuva 3. Paaluperustus (Scappatura 2011)



Kuva 4. Kehikkoperustus (Cold Climate Building 2017)

3.4.3 Vaipparakenne

Rakennuksen vaipparakenteen tulee olla tiivis. Suurin suositeltu ilmanvuotoluku on $1 \text{ L}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ 75 Pa paineessa (National Research Council of Canada 2015, 746) tai 1.5 ACH@50pa. Läpiviennit tulee tiivistää erityisen huolellisesti ja kosteussulkuun tulee jättää lämpölaajenemisen ja kylmäkutistumisen varaa. Ilma- ja höyrysulku suositellaan asennettavaksi rakenteiden ulkopuolelle, jotta mahdollinen rakenteiden kastuminen kondensaatiovedestä eliminoidaan lähes kokonaan. Tällä tavoin sisäpinta on mahdollista levyttää suoraan rakenteiden päälle. Eristykset suositellaan asennettavaksi sulkukalvon kylmälle ulkopuolelle. Kanadan rakennuslainsäädännössä vaaditaan riittävää ilmavuotoja estävää käytäntöä, mutta laissa ei ole määritelty sen mitoituksia. (Government of Nunavut 2005, 28–35, 222.)

Iqaluitissa pitkät kylmät jaksot ja hyytävä tuuli aiheuttavat energiahukkaa ja vaativat myös eristykseltä paljon. Keskimääräinen seinänpaksuus on 12 tuumaa eli noin 30 cm. Tyypillisesti puurunkoisessa seinässä käytetään sekä 5,5 tuuman (14 cm) villaeristettä että 2 tuuman (5 cm) eristelevyjä. Tuulessa rakenteet vaurioituvat ja materiaaleja lennähtää ilmaan. Jään katolle patoutumisen vuoksi kattorakenteiksi suositellaankin katedraalityypistä kattoa kylmän ullakon sijaan. (Borg 2014, 73) Ulkoseinien pinnoissa suositellaan käytettäväksi ensisijaisesti puuta tai aaltopeltiä ja lasikuiduilla vahvistettuja sementtilevyjä. Vinyyli- tai rappauspinnoitusta ei suositella ilmaston aiheuttamien haasteisen vuoksi. (Government of Nunavut 2005, 39–40.) Koska Iqaluit sijoittuu Kanadan lämmitysastepäiväalueelle 8 eli $\geq 7000\text{HDD}$, ulkoseinien U-arvo vaatimus on $0,26\text{--}0,33 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ riippuen lämmöntalteenotosta sekä seinätyypistä (National Research Council of Canada 2015, 962).

Tyypilliset ikkunat uusissa pientaloissa ovat sisäänpäin aukeavia ja lukittavia ikkunoita (*casement window*), markiisi-ikkunoita (*awning window*) tai liukuikkunoita (*slider window*). Markiisi-ikkunoissa luukku on ikkunan yläosassa, jotta sen käyttö ei esty kerääntyneen lumen tai jään takia. Ikkunat ovat joko kaksi- tai kolmilasisia ja ulkopuolelle suositellaan irrotettavia muovisia suoja. Pientaloihin käytetään eristettyjä muovisia ikkunapuitteita ja erityisesti isoja ikkunoita käytettäessä tulee

vahvistukseen kiinnittää huomiota. Ikkunoiden sisäpuolen tulee olla samassa tasossa kuin sulkukalvo, jotta minimoidaan kondensoituvan veden määrä. (Government of Nunavut 2005, 49–50.) Iqaluit sijoittuu Kanadan lämmitysastepäiväalueelle 8, joten ikkunoiden U-arvo vaatimus on $1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (National Research Council of Canada 2015, 963).

4 ERITYISPIIRTEIDEN VERTAILU

Kolmesta tutkitusta kohteesta Rovaniemi sijaitsee pohjoisimpana napapiirin tuntumassa, mutta sen ilmasto on silti lämpimin. Pelkkien ääriämpötilojen vertailulla ilmastojen ero ei välttämättä aukene, koska esimerkiksi Fairbanksissa sekä kylmin että lämpimin lämpötila on korkeampi kuin Iqaluitissa. Lämmitystarveluku on sen sijaan hyvä vertailuarvo, koska sillä voidaan verrata eri paikkojen lämmityksen energiakulutusta (Ilmatieteen laitos 2021). Rovaniemen viiden vuoden keskiarvoluku on noin $5\,000^{\circ}\text{Cvrk}$, Fairbanksin $6\,000^{\circ}\text{Cvrk}$ ja Iqaluitin $8\,500^{\circ}\text{Cvrk}$. Mitä suurempi luku on, sitä enemmän paikassa tarvitaan lämmitysenergiaa eli sitä kylmempää siellä on vuoden aikana. Rovaniemen ilmasto kuuluukin Pohjoisboreaaliseen vyöhykkeeseen, Fairbanksin subarktiseen ja Iqaluitin polaariseen tundrailmastoon.

Kohteiden maaperä vaikuttaa perustustapaan. Rovaniemellä maaperä on pääasiassa moreenia, joka on suhteellisen helppo pohjarakentamiselle verrattuna Fairbanksin tulvivaan hiekka- ja sorapohjaan, jossa tulee huomioida jokavuotinen vedenpinnannousu. Rovaniemellä omakotitalojen perustukset tehdään tyyppillisesti maanvaraisena tai ryömintätalallisena betonista tai harkoista. Seinä- tai alapohjarakenteissa käytetty puu pyritään erottamaan maaperästä sekä betoni- ja kiviaineksesta huolellisesti. Fairbanksissa sen sijaan käytetään yleisesti perustuksissa ja jopa täyskorkeissa kellareissa painekyllästettyä puuta, joka erotetaan ympäröivästä maaperästä sulkukalvolla. Ikiroutaisesta maaperästä johtuen Iqaluitissa perustukset tehdään niin, että rakennus saadaan nostettua maanpinnan yläpuolelle. Myös Iqaluitissa käytetään puuta, mutta pääasiassa paalut ja kehikot toteutetaan kestävästä teräksestä, jos sitä on saatavilla.

Iqaluitissa lämpimät asuinrakennukset nostetaan maanpinnan yläpuolelle, joten maassa olevaa routasuojausta käytetään vain kylmissä rakennuksissa. Rovaniemellä ja Fairbanksissa rakennusten perusteet ja näin ollen myös routasuojaus sijoitetaan maahan. Rovaniemellä laskennallisen routasyvyys $F_{50\text{Kh}}$ on 2,5 m ja perustuksen ulkopuoliset routaeristeet tulevat maanpinnan suuntaisesta vaakasuoraan tyyppillisesti 1,5 m leveydeltä ja ulkonurkissa jopa 2,5 m. Fair-

banksissa routaraja on 1,07 m ja eristys sijoitetaan pystysuuntaisesti rakenteseen kiinni. Vaikka Fairbanksin lämmitystarveluku on suurempi eli vuoden aikana siellä on kylmempää kuin Rovaniemellä, Fairbanksissa on myös tuplasti enemmän lunta. Lumen suojaava ja routimista estävä ominaisuus vaikuttaa tarvittavaan routarajasyvyyteen.

Energiatehokkuus sekä rakenteiden ja niiden liitosten ja läpivientien tiiveys on jokaisessa kohteessa tärkeää arktisen ilmaston aiheuttaman energiahukan vuoksi, ja jokaisessa kohteessa siihen on joko määräykset tai ohjeistus. Rovaniemellä uusien pientalojen ilmanvuotoluku saa enimmillään olla 1,1 q50, Fairbanksissa 4 ACH₅₀ ja Iqaluitissa 1.5 ACH@50pa. Vaikka lukujen yksiköt ovat erit, niiden luvut ovat verrannollisia, koska ne kaikki kertovat kuinka monta kertaa tunnissa rakennuksen ilma vaihtuu 50 Pa:n paineessa. Rovaniemen tavoiteltu ilmanvuotoluku on pienin ja Fairbanksin suurin. Fairbanksin luku on kuitenkin sama, mikä Rovaniemellä on vaatimuksena vanhoille taloille. Energiatehokkuuteen vaikuttaa myös rakennuksen rakenteiden lämmönläpäisykertoimet. Rovaniemellä seinien U-arvo on 0,17 W/(m²K) ja ikkunoiden 1,0 W/(m²K). Fairbanksissa vastaavat luvut ovat seinien osalta 0,24 W/(m²K) ja ikkunoiden osalta 1,25 W/(m²K) ja Iqaluitissa ulkoseinien osalta 0,26–0,33 W/(m²K) ja ikkunoiden osalta 1,4 W/(m²K). Alaskassa ja Suomessa on luokitus uusien asuinrakennusten energiatehokkuudelle. Energiatehokkuuden tulee Fairbanksissa olla AkWarm-luokituksella 5 tähden luokkaa eli 89 tai enemmän. Rovaniemellä erillispientalossa E-luvun enimmäisarvon tulisi olla 92–170 kWh_E/(m² a), jolloin se kuuluu energiatehokkuusluokkaan B.

Fairbanksissa ja Rovaniemellä rakennuksen tiivein pinta sijaitsee rakenteissa sisimpänä. Iqaluitissa sen sijaan tiivein pinta sijoitetaan rakenteiden ulkopuolelle. Ulkopuolisen kylmyyden aiheuttamana kastepiste liikkuu rakenteessa sisäänpäin ja kosteus tiivistyy tiiviille pinnalle (Taloon.com 2021a). Koska tiivein pinta on rakenteiden ulkopuolella, rakenteiden kosteusvauriot voidaan välttää. Iqaluitissa on Rovaniemeen ja Fairbanksiin verrattuna huomattavasti kylmempää. Koska Rovaniemellä ja Fairbanksissa kastepiste ei liiku rakenteissa yhtä syväälle, niissä luotetaan seinärakenteen tuulettumiseen ja kuivumiseen (City of Fairbanks Alaska 2021; Taloon.com 2021a).

Ikkunatyypinä yleisin kaikissa kolmessa kohteessa on sisäänpäin aukeava ikkuna, vaikkakin Fairbanksissä suositaan veivattavia. Fairbanksissa käytetään lisäksi muita tyyppejä, kuten liukuikkunoita ja kellareissa kuiluikkunoita. Iqaluitissa yleisiä ikkunoita ovat myös markiisi-ikkunat, joiden luukku on yläosassa. Jotta saavutetaan vaadittu tai vielä pienempi U-arvo, Rovaniemellä ja Fairbanksissa käytetään mahdollisuuksien mukaan useampikerroksista selektiivilasista ja kaasutäytteistä ikkunaa. Iqaluitissa käytetään myös useampikerroksista ikkunaa, joka suojataan vielä erillisellä muovisuojalla rankkojen talviolosuhteiden takia.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksessa selvisi, että Rovaniemellä, Fairbanksissa ja Iqaluitissa arktiset olosuhteet vaikuttavat rakentamisen tapaan, vaikka paikkojen ilmastot eroavatkin jonkin verran toisistaan. Arktisen ilmaston aiheuttamia haasteita ovat valoisuuden ja lämpötilan suuret vuotuiset vaihtelut, pitkä talvi ja kylmyys, pitkään pysyvä lumipeite, ikirouta tai routiva maa, pitkät etäisyydet ja kuljetusvaikeudet sekä herkkä luonnonympäristö. Rakennusten eri rakenteilla ja rakennusosilla vastataan näihin haasteisiin. Tutkimuksessa keskityin omakotitalorakentamisessa kolmeen keskeiseen rakennusosaan: perustamistapaan, routasuojaukseen ja vaipparakanteisiin seinien ja ikkunoiden osalta.

Tutkimuskohteiden eroavat toisistaan myös muilta osin, mikä vaikuttaa omakotitalojen rakentamisen tapaan, vaikka tyypilliset omakotitalon pinta-alat ovatkin samassa kokoluokassa. Samalaisia maaperätyyppejä kuin Rovaniemellä ja Fairbanksissa, voi olla muuallakin kuin arktisella alueella, mutta arktisella alueella maaperään vaikuttavat pitkäjaksoinen kylmyys ja lumipeite, mikä tulee huomioida erityisesti rakennettaessa. Maaperään sopivalla perustamistavan valinnalla varmistetaan turvallinen ja kestävä rakennus. Kosteuden nouseminen maaperästä estetään huolellisesti ja näin vältetään kosteusriskejä ja mahdollistetaan terveellisempi asuminen. Iqaluitissa oikea perustamistapa on ikiroudan takia maanpinnan yläpuolelle esimerkiksi paalutuksin tai kehikoin, kun taas Fairbanksissa perustamistavassa on otettava huomioon tulvivien maaperän lisäksi maanjäristykset. Molemmissa kohteissa käytetään puuperustuksia, jota Suomessa ei tehdä. Betonityöt vaativat asiantuntevaa ammattilaista ja betonin saatavuus voi olla haasteellista syrjäseuduilla, joten on ymmärrettävää, että puuperusteita käytetään. Puuperustuksien käyttöä Fairbanksissa tukee myös alueen seisminen toiminta, sillä betoniperusteet ovat herkkiä murtumaan ja vaikeita korjata, kun taas puuperusteet ovat joustavampia. Rovaniemellä ei ole ikiroutaa tai merkittävää seismistä toimintaa ja vaikka alueittain löytyy vaihtelevaa maaperää, perustustavan valinta on suhteellisen helppoa riittävien maaperätutkimusten kanssa.

Lumipeitteen määrä ja lumen suojaavuus, pakkanen ja pitkät kylmät jaksot vaikuttavat maaperän routimiseen ja rakennusten routasuojauksen määrään. Iqaluitin jäisessä ikiroudassa maaperään tulevaa routasuojauksia tehdään ainoastaan kylmille rakennuksille. Rovaniemellä käytetään Fairbanksia syvempää routasyyvyyden mitoitusta sekä vaakatasossa olevia routaeristeitä johtuen epävarmasta lumipeitteen määrästä ja ajankohdasta. Rovaniemellä oli 1980-luvun puolivälissä yllätystalvi, jolloin lunta ei satanutkaan oletetusti, routa pääsi ennätysellisen syvälle ja rikkoi talojen rakenteita.

Tiiviillä ja energiatehokkaalla vaipparakenteilla – erityisesti tiiviillä seinä- ja ikkunarakenteilla muiden läpivientien ohella sekä matalilla lämmönläpäisykertoimilla – varmistetaan energiatehokas rakennus, johon kylmyys, tuuli ja sade vaikuttavat mahdollisimman vähän. Tutkimuksessa selvisi, että ilmavuotolukujen ja lämmönläpäisykertoimien lukujen erot eivät ole suuria Rovaniemen, Fairbanksin ja Iqaluitin välillä. Rovaniemen tiukempiin lukemiin voi vaikuttaa se, että Suomessa energiatehokkuusmääräyksien kertoimia on kiristetty moneen kertaan vuosien saatossa. Alaskassa tai Nunavutissa ei ole valtiollisia energiatehokkuusmääräyksiä, vaikkakin Alaskasta löytyy pientalojen energiatehokkuusluokitus. Tutkimuksessa selvisi, että ikkunatyyprien erot eivät ole suuria muutamaa teknistä asiaa lukuunottamatta, kuten siitä, onko ikkuna aukaistavissa veivillä vai kahvalla. Uudessa omakotitalokohteissa suositaan ja suositellaan moninkertaisia ikkunoita, jotka ovat mahdollisuuksien mukaan selektiivilaseja kaasutäytteellä.

Tutkimuksessa selvisi myös, että teiden puuttuminen asuttujen paikkojen välillä, pitkät etäisyydet, rakennuskauden lyhyys sekä materiaalien ja työvoiman saataavuus vaikuttavat rakentamiseen eniten Iqaluitissa. Iqaluitin lämmitystarveluku on myös yli 1,5ertainen Rovaniemeen ja 1,4ertainen Fairbanksiin verrattuna. Iqaluitin hyinen polaarinen tundrailmasto vaatii rakennuksilta ja rakenteilta erityisen paljon kestävyyttä ja eristävyyttä. Suurin ero rakennuksen tiivistyksessä on tiiveimmän pinnan sijainti. Vaikka ilmavuotolukujen ja lämmönläpäisykertoimien lukujen erot ovat pieniä, suuri ero on tiiveimmän kerroksen sijainnilla johtuen juuri Iqaluitin erityisestä kylmyydestä. Fairbanksissa ja Rovaniemellä rakennuksen tii-

vein pinta sijaitsee rakenteissa sisimpänä ja Iqaluitissa tiivein pinta on rakenteiden ulkopuolelle, mikä vähentää mahdollisia kastepisteen siirtymisestä johtuvia kosteusvaurioita.

Rovaniemellä, Fairbanksissa ja Iqaluitissa on kaikissa useita omakotitalon rakentamisen erityispiirteitä, joilla vastataan arktisen alueen ilmaston aiheuttamiin haasteisiin. Jokaisessa kohteessa toimitaan kuitenkin hiukan eri tavalla riippuen kohteen omista erityispiirteistä. Omakotitalorakentamisen päämääränä on kaikissa kohteissa kuitenkin arktiset olosuhteet huomioiva, kestävästi rakennettu, turvallinen, toimiva ja miellyttävä omakotitalo.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tunnistaa Rovaniemellä omakotitalon rakentamisen erityispiirteitä, joilla vastataan arktisen alueen ja sen ilmaston aiheuttamiin haasteisiin. Tämän lisäksi työn tavoitteena oli tutkia ilmenevätkö nämä rakentamisen erityispiirteet samanlaisina kahdessa muussa arktisen alueen kohteessa, Fairbanksissa Yhdysvalloissa ja Iqaluitissa Kanadassa. Työssä perehdyttiin ensin arktisen alueen erityispiirteisiin, tämän jälkeen arktisen rakentamisen erityispiirteisiin ja kolmen tutkimuskohteen omakotitalorakentamisen erityispiirteisiin. Viimeisenä verrattiin kolmen kohteen erityispiirteitä löytäen niistä yhteneväisyyksiä sekä eroavaisuuksia.

Opinnäytetyön suurimpana haasteena oli kolmen kohteen lähdemateriaalien eroavaisuudet. Lähdemateriaalien luotettavuutta en sinänsä kokenut ongelmana, sillä käytin pääasiassa viranomaislähteitä ja muissa tapauksissa pyrin tarkistamaan tiedot useammasta lähteestä. Ongelma syntyi siitä, että kussakin kohteessa rakennusmääräykset ja -ohjeet oli kirjattu eri tavoin, yksiköt olivat eri kohteissa erilaiset, eri maissa ei välttämättä mitata tai määritellä rakentamisessa samoja seikkoja eikä kaikkea sanastoa ollut suomeksi. Yhteneväisiä määräyksiä, ohjeita ja mitoitettuja asioita kuitenkin löytyi kiitettävästi, jotta pystyin jatkamaan tutkimusta. Tutkimuksen kohde olisi voinut levitä hyvin laajaksi ilman tiukkoja rajoja. Haasteellista rajaamisessa oli suhteuttaa oma kiinnostuksen laajuus tehtävän opinnäytetyön laajuuteen. Tähän tutkimustarkoitukseen määrittelemäni kohderajaukset olivat toimivia ja käyttämäni aineisto oli riittävä.

Arktista rakentamista ei tietenkään voida pohtia ilman ilmaston muutoksen vaikutuksia. Ilmasto lämpenee arktisella alueella jopa kolme kertaa nopeammin kuin muualla maapallolla. Tämä aiheuttaa lämpötilankohoamisen lisäksi mm. sademäärien kasvua, myrskytuulien lisääntymistä, lumipeitteen ja roudan vähentymistä, pilvisyyden lisääntymistä ja aurinkoisuuden vähentymistä. Ilmastonmuutoksen vaikutuksesta ikiroutainen maaperä sulaa yhä syvemmillä ja voi aiheuttaa ikirouta-alueilla talojen perustuksien epästabiiliutta. Kun kosteus ja tuulisuus lisääntyvät, voivat lisääntyä myös rakenteiden kosteusvauriot. Arktisella alueella tapahtuvan nopea ilmastonmuutos herättääkin kysymään kuinka rakentamisen

tapa muuttuu? Jos tämä tutkimusasetelma toistetaan kymmenen tai kahdenkymmenen vuoden kuluttua, millaisia arktisen rakentamisen erityispiirteet ovat nykyisiin verrattuna ja miten eri arktisen alueen kohteet eroavat toisistaan?

Opinnäytetyön tuloksia eli yhteneväisyyksiä ja eroavaisuuksia on mahdollista käyttää osana Arktisen keskuksen tiedekeskuksen perusnäyttelykäsikirjoitusta. Vaikka tiedekeskuksessa keskitytäänkin tutkittuun tietoon, myös tulevia ilmasto-
muutoksen aiheuttamia haasteita olisi kiinnostava peilata rakentamisen tapojen ohella. Olisi myös mielenkiintoista laajentaa tutkimusta koskemaan muitakin rakennusosia, kuten erityisesti tuulikaappia ja eteisratkaisua sekä räystäsratkaisuja. Tutkimus olisi mahdollista toteuttaa esimerkiksi haastatteluina tai kyselytutkimuksena paikkakuntien rakentamisen asiantuntijoille. Käytännön työtavat voivat erota paljon lainsäädännön asettamista vaatimuksista. Jos kielitaito sallisi ja lähteiden luotettava saaminen olisi mahdollista, olisi erittäin kiinnostavaa tutkia kohdetta kaikista arktisista maista. Arktisten maiden ilmasto ja olosuhteet vaihtelevat kuitenkin suuresti jo tällä hetkellä.

Opinnäytetyön tekeminen oli joka tapauksessa opettavainen ja silmiä avaava kokemus. Lukemieni artikkeleiden ja raporttien jälkeen minulle jäi tunne, että Suomessa arktisissa olosuhteissa rakentaminen on hyvin suunniteltua ja pitkälle viedyä. Kotipaikkakunnallani Rovaniemellä ja Fairbanksissa on lopulta aika hyvät mahdollisuudet rakentaa lähes ympäri vuoden, vaikka toki rakentamisessa on haasteitakin. Iqaluitista taas jäi tunne, että pitkien välimatkojen, lyhyen rakennuskauden ja resurssien pulan vuoksi siellä keskitytään ensisijaisesti selviytymään. Toivottavasti myös Iqaluitissa asuntopula ja muut haasteet saadaan ratkaistua ja tulevaisuudessa voidaan keskittyä vielä toimivampaan arktiseen omakotitalorakentamiseen.

LÄHTEET

A Homeowner's Guide to Permafrost in Nunavut 2013. Yellowknife, Canada: Government of Nunavut, Department of Environment. Viitattu 3.8.2021 https://www.climatechangenunavut.ca/sites/default/files/permafrost_nunavut_eng_reduced_size_0.pdf.

Alaska Earthquake Center 2020. Why earthquakes happen in Alaska. Viitattu 29.9.2021 <https://earthquake.alaska.edu/earthquakes/about>.

Alaska Housing Finance Corporation 2021. Alaska minimum construction standards. Viitattu 28.9.2021 <https://www.ahfc.us/pros/builders/alaska-minimum-construction-standards>.

Arctic Council 2021. Arctic States. Viitattu 20.9.2021 <https://arctic-council.org/>.

Arktinen keskus 2021. Arktinen alue. Viitattu 20.9.2021 <https://www.arctic-centre.org/FI/arktinenalue>.

Arctic Centre 2021. Arctic Opposites. Arktikum Science Centre permanent exhibition. Rovaniemi: Lapin yliopisto.

Arctic Getaway 2021. Map of Alaska. Viitattu 27.9.2021 <https://www.arcticgetaway.com/travel/map-of-alaska/>.

Auvinen, H., Kolari, K., Koukkari, H., Kuusela-Lahtinen, A., Sassi, J., Törnqvist, J., Wahlgren, I., Alakunnas, T., Karjalainen, A., Rynänen, K., Vatanen M. & Vatanen, M. 2014. Arktinen osaaminen – näkökulmia liiketoiminnan kehittämiseen. VTT Technology 206. Espoo: VTT. Viitattu 2.8.2021 <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2014/T206.pdf>.

Bizee Degree Days 2021. Degree Days Calculated Accurately for Locations Worldwide. Viitattu 1.10.2021 <https://www.degree-days.net/#>.

BobVila 2021. This Is the Average Home Size in Every State. Viitattu 27.9.2021 <https://www.bobvila.com/slideshow/this-is-the-average-home-size-in-every-state-53461>.

Borg, J. W. 2014. [Re]interpreting Iqaluit's Social Housing Archetypes. Carleton University. Ottawa, Ontario. Architecture. Master of Architecture. Viitattu 30.9.2021 https://curve.carleton.ca/system/files/etd/3561b739-15ba-44a8-b803-28332a0e37d8/etd_pdf/3eb363cca9017c5ff4ea740dc582bd30/borg-reinterpretingiqaluitssocialhousingarchetypes.pdf.

Britannica 2021. Nunavut. Viitattu 30.9.2021 <https://www.britannica.com/place/Nunavut>.

Canada Mortgage and Housing Corporation 2004. Nunavut: Northern housing for northern lifestyles. Viitattu 1.10.2021 https://eppdscrmssa01.blob.core.windows.net/cmhcprodcontainer/sf/project/archive/publications/66073_24-11-15.pdf.

City of Fairbanks Alaska 2021. Building Design Information. Viitattu 28.9.2021 <https://www.fairbanksalaska.us/building/page/building-design-information>.

Cold Climate Building 2017. Iqaluit Duplex. Viitattu 1.10.2021 <https://coldclimatebuilding.ca/portfolio-items/iqaluit-duplex/>.

Cold Climate Housing Research Center 2018. Design for rural Alaska walls. 29.9.2021 <http://cchrc.org/media/DRAW.pdf>.

Ecostar Insulation 2020. The insulation building code 2021. Viitattu 1.10.2021 <https://www.ecostarinsulation.ca/blog/insulation-building-code-2021>.

Eranti, E., Karri, J., Mäkelä, H., Palosuo, E. & Saarelainen, S. 1982. Arktinen rakentaminen. Tiedotteita 156. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

Explore Fairbanks Alaska 2021. Explore the Area. Viitattu 22.9.2021 <https://www.explorefairbanks.com/explore-the-area>.

Government of Nunavut 2005. Good Building Practices Guideline. Second Edition. Viitattu 1.10.2021 https://gov.nu.ca/sites/default/files/good_building_practices_guideline.pdf.

Government of Nunavut 2021. Nunavut. Viitattu 30.9.2021 <https://www.gov.nu.ca/>.

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2009. Tutki ja kirjoita. 15., uudistettu painos. Helsinki: Tammi.

Ilmatieteen laitos 2021. Lämmitystarveluku eli astepäiväluku. Viitattu 4.10.2021 <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>.

International Code Council 2021. The International Codes. Viitattu 27.9.2021 <https://www.iccsafe.org/products-and-services/i-codes/the-i-codes/>.

Jääskeläinen, R. 2012. Pohjarakennuksen perusteet. 3. painos. Jyväskylä: Tammermekniikka/ Amk-Kustannus Oy.

Kananen, J. 2015. Opinnäytetyön kirjoittajan opas. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Kersalo, J. & Pirinen, P. 2009. Suomen maakuntien ilmasto. Helsinki: Ilmatieteenlaitos.

Kujansuu, R., Hyyppä, J. & Lappalainen, E. 1982. Rovaniemen kartta-alueen maaperä. Espoo: Geologinen tutkimuslaitos. Viitattu 23.9.2021 http://tupa.gtk.fi/kartta/maaperakartta100/mps_3612.pdf.

Lukasik, T. 2018. Alaska hails building codes after quake. Building Safety Journal 12.12.2018. Viitattu 29.9.2021 <https://www.iccsafe.org/building-safety-journal/bsj-dives/alaska-hails-building-codes-after-quake/>.

LämpöYkkönen 2017. Fakta 20: Pientalon omistaja, nosta talosi energialuokkaa – saat nämä hyödyt! Viitattu 4.10.2021 <https://lampoykkonen.fi/100faktaa/fakta-20-pientalon-omistaja-nosta-talosi-energialuokkaa-saat-nama-hyodyt/>.

Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999. Viitattu 21.9.2021 <https://ym.fi/maan-kaytto-ja-rakennuslaki>.

Maps Finland 2021. Napapiirin Suomi kartta. Viitattu 22.9.2021 <https://fi.maps-finland.com/napapiirin-suomi-kartta>.

NAIMA 2021. Alaska Building Energy Efficiency Standard. Viitattu 28.9.2021 <https://insulationinstitute.org/wp-content/uploads/2021/07/N144-AK-Building-Energy-Efficiency-Standard.pdf>.

NAIMA Canada 2021. Codes and Standards. Understanding Codes and Standards. Viitattu 1.10.2021 <https://www.naimacanada.ca/codes-standards/>.

National Research Council of Canada 2015. National Building Code of Canada 2015. Volume 1. Viitattu 1.10.2021 <https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/ft/?id=c8876272-9028-4358-9b42-6974ba258d99&dp=2&dsl=en>.

Natural Resources Conservation Service 2004. Soil Survey of Greater Fairbanks Area, Alaska. Viitattu 28.9.2021 https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_MANUSCRIPTS/alaska/AK610/0/GreaterFairbanks.pdf.

Paasivuori, P. 1991. Suomalainen kylmän ilmaston rakennustekniikka. Osa 6. Teräsrakentaminen kylmässä ja arktisessa ilmastossa. Tiedotteita 1230. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

Pientaloteollisuus 2019. Tietoa toimialasta. Asuntorakentaminen. Viitattu 21.9.2021 <https://www.pientaloteollisuus.fi/fin/tietoa-toimialasta/tutkittua-tietoa/asuntorakentaminen/>.

Rakennustieto 2021. Rakennustiedon tietopalvelut. Viitattu 21.9.2021 <https://rt-rakennustieto-fi.ez.lapinamk.fi/etusivu>.

Ratu S-1234 2017. Olosuhteiden vaikutus rakentamisessa. Helsinki: Rakennustieto Oy. Viitattu 23.9.2021 <https://kortistot-rakennustieto-fi.ez.lapinamk.fi/resource/juha/content/22151#page=1>.

Rauhala, K. 1991. Suomalainen kylmän ilmaston rakennustekniikka. Osa 1. Luonnonolosuhteet, arkkitehtuuri ja ympäristö. Tiedotteita 1258. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

RIL 121-2004 2004. Pohjarakennusohjeet. Helsinki. Suomen Rakennusinsinööriliitto Liitto RIL r.y.

RIL 216-2013 2013. Routasuojaus – rakennukset ja infrarakenteet. Helsinki. Suomen Rakennusinsinööriliitto Liitto RIL r.y.

Rovaniemen kaupunki 2020. Tietoa Rovaniemestä. Viitattu 22.9.2021 <https://www.rovaniemi.fi/Kaupunki-ja-paatoksenteko/Tietoa-Rovaniemesta>.

Rovaniemen kaupunki 2021. Rovaniemeläiset jatkavat innokasta omakotitalojen rakentamista. Viitattu 22.9.2021 <https://www.rovaniemi.fi/news/Rovaniemelaiset-jatkavat-innokasta-omakotitalojen-rakentamista--/34981/fbc4bc6b-88e3-419f-94f2-81dddf924a0>.

Rovaniemen matkailuneuvonta 2021. Rovaniemi. Viitattu 22.9.2021 <https://www.visitrovaniemi.fi/fi/>.

RT RakMK-21764 2018. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. Helsinki: Rakennustieto Oy. Viitattu 24.9.2021 <https://kortistot-rakennustieto-fi.ez.lapinamk.fi/resource/juha/content/24760#page=1>.

RT YM1-21614 2014. Ympäristöministeriön asetus pohjarakenteista. Helsinki: Ympäristöministeriö. Viitattu 23.9.2021 https://kortistot-rakennustieto-fi.ez.lapinamk.fi/kortit/RT%20YM1-21614?external_system=Juha&page=1.

RT 103241 2020. Puu- ja alumiini-ikkunat. Ominaisuudet ja laatuvaatimukset, asennus, huolto ja kunnossapito. Helsinki: Rakennustieto Oy. Viitattu 27.9.2021 <https://kortistot-rakennustieto-fi.ez.lapinamk.fi/resource/juha/content/25309#page=1>.

RT 103260 2020. Asuntosuunnittelu. Määräyksiä ja ohjeita. Helsinki: Rakennustieto Oy. Viitattu 27.9.2021 <https://kortistot-rakennustieto-fi.ez.lapinamk.fi/resource/juha/content/24753#page=1>.

RT 10-10619 1996. Asuinrakennushankkeen pohjatutkimus ja pohjarakennussuunnittelu. Helsinki: Rakennustieto Oy. Viitattu 23.9.2021 https://kortistot-rakennustieto-fi.ez.lapinamk.fi/kortit/RT%2010-10619?external_system=Juha&page=1.

RT 11-11294 2018. Uuden rakennuksen energiatehokkuus. Asetusten 778/2017 ja 1010/2017 tuomat muutokset. Helsinki: Rakennustieto Oy. Viitattu 24.9.2021 <https://kortistot-rakennustieto-fi.ez.lapinamk.fi/resource/juha/content/24750#page=1>.

RT 81-10486 1992. Pientalon perustamistavan valinta. Helsinki: Rakennustieto Oy. Viitattu 23.9.2021 <https://kortistot-rakennustieto-fi.ez.lapinamk.fi/resource/juha/content/5928#page=1>.

RT 81-10590 1995. Routasuojusrakenteet. Helsinki: Rakennustieto Oy. Viitattu 23.9.2021 <https://kortistot-rakennustieto-fi.ez.lapinamk.fi/resource/juha/content/7117#page=1>.

RT 81-10854 2005. Pientalon perustukset ja alapohjien liittymät. Helsinki: Rakennustieto Oy. Viitattu 23.9.2021 https://kortistot-rakennustieto-fi.ez.lapinamk.fi/kortit/RT%2010-10619?external_system=Juha&page=1.

RT 82-10605 1996. Puutalon ikkuna- ja ulko-oviliittymät. Helsinki: Rakennustieto Oy. Viitattu 27.9.2021 <https://kortistot-rakennustieto-fi.ez.lapinamk.fi/resource/juha/content/6440#page=1>.

Sarja, A. 2010. Rakennuksen tiiviys. Rakentajan kalenteri 2010. Viitattu 23.9.2021 <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK100301.pdf>.

Scappatura, A. 2011. Green house on stilts in Iqaluit. Viitattu 1.10.2021 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Green_house_on_stilts_in_Iqaluit_-_a.jpg.

Statistics Canada 2017. The housing conditions of Aboriginal people in Canada. Viitattu 30.9.2021 <https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/as-sa/98-200-x/2016021/98-200-x2016021-eng.cfm>.

Taloon.com 2021a. Kastepiste. Viitattu 4.10.2021 <https://www.taloon.com/kastepiste>.

Taloon.com 2021b. U-arvo. Viitattu 27.9.2021 <https://www.taloon.com/u-arvo>.

The Alaska Climate Research Center 2021. Alaska Climatology. Viitattu 27.9.2021 <http://akclimate.org/Climate>.

The Arctic Institute 2020a. Canada. Viitattu 22.9.2021 <https://www.thearcticinstitute.org/countries/canada/>.

The Arctic Institute 2020b. Finland. Viitattu 22.9.2021 <https://www.thearcticinstitute.org/countries/finland/>.

The Arctic Institute 2020c. United States. Viitattu 22.9.2021 <https://www.thearcticinstitute.org/countries/united-states/>.

The Canadian Encyclopedia 2020. Geography of Nunavut. Viitattu 30.9.2021 <https://thecanadianencyclopedia.ca/en/article/geography-of-nunavut>.

The Canadian Encyclopedia 2021. Nunavut. Viitattu 22.9.2021 <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/nunavut>.

The Weather Channel 2017. Parts of Alaska See Coldest Temperatures in Several Years as Lows Plummet into the 40s and 50s Below Zero. Viitattu 27.9.2021 <https://weather.com/forecast/regional/news/alaska-frigid-below-zero-temperatures-january-2017>.

Tilastokeskus 2021. Käsitteet ja määritelmät. Viitattu 21.9.2021 <https://www.stat.fi/til/rak/kas.html>.

Ulkoministeriö 2021. Keskeiset arktiset ja antarktiset toimijat. Viitattu 20.9.2021 <https://um.fi/arktiset-toimijat>.

Vinha, J., Laukkarinen, A., Mäkitalo, M., Nurmi, S., Huttunen, P., Pakkanen, T., Kero, P., Manelius, E., Lahdensivu, J., Köliö, A., Lähdesmäki, K., Piironen, J.,

Kuhno, V., Pirinen, M., Aaltonen, A., Suonketo, J., Jokisalo, J., Teriö, O., Koskenvesa, A. & Palolahti T. 2013. Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tutkimusraportti 159. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 23.9.2021 <https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/rakentamisen-kehittaminen/frame-loppuraportti.pdf>.

Weatherbase 2021. Iqaluit, Nunavut. Viitattu 30.9.2021 <https://www.weatherbase.com/weather/weather-summary.php3?s=90917&cityname=Iqaluit,+Nunavut,+Canada>.

World Population Review 2021. Frost Lines By State 2021. Viitattu 27.9.2021 <https://worldpopulationreview.com/state-rankings/frost-lines-by-state>.

Ympäristöministeriö 2021a. Rakentaminen ja maankäyttö. Viitattu 21.9.2021 <https://ym.fi/rakentaminen-ja-maankaytto>.

Ympäristöministeriö 2021b. Vähähiilinen rakentaminen. Viitattu 21.9.2021 <https://ym.fi/vahahiilinen-rakentaminen>.