

Niklas Lind

VIHERKATTORAKENTEIDEN VAIKUTUS LÄMMÖNERISTÄVYYTEEN

Rakennustekniikka
Kandidaatintyö
Toukokuu 2020

TIIVISTELMÄ

Niklas Lind: Viherkattorakenteiden vaikutus lämmöneristävyyteen
(Green roofs influence on the heat flux)
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Toukokuu 2020

Viherkatoilla on todettu olevan sekä esteettisiä että käytännöllisiä hyötyjä useissa aikaisemmissa tutkimuksissa. Työn päämääränä oli tarkastella viherkattojen vaikutusta lämmöneristävyyden kannalta. Tätä vaikutusta tutkittiin kirjallisuustutkimuksena. Käytettyjä tutkimuslähteitä olivat ulkomaiset tutkimukset ja RT-kortisto-ohjeistus. Työssä tarkasteltiin, mistä rakenneosista viherkatot koostuvat, millaisia erilaisia viherkattoja voidaan toteuttaa, mitkä tekijät vaikuttavat viherkattotyyppin valintaan ja millaisia ovat niiden lämpötekniset ominaisuudet. Lisäksi tarkasteltiin viherkattojen vaikutuksia energiankulutukseen eri ilmastoalueilla.

Viherkattojen lämpötekniiseen toimintaan vaikuttavat ilmasto ja siihen liittyvät asiat, kuten lämpötila, kosteus ja lumipeitteen paksuus. Viherkatoista oli useimpien tutkimusten perusteella suurin hyöty kesällä sen viilennysvaikutuksen ansiosta. Kasvillisuus ja kasvialustan paksuus ovat määrääviä tekijöitä. Talviolosuhteissa viherkaton vaikutus riippuu ilmastosta ja käytetyn lämmöneristeen paksuudesta. Kasvialustan kosteudella on suuri vaikutus viherkaton toimintaan. Tutkimusten perustella viherkatot, joissa ei ole paksua/tehokasta lämmöneristystä, ovat aina hyödyllisiä ilmastosta riippumatta.

Viherkatoilla on muunkinlaisia hyötyjä. Ne lisäävät viihtyisyyttä, auttavat hulevesien hallinnassa ja parantavat ääneneristystä. Hyödyt ovat suoraan verrannollisia kasvillisuuden kokoon ja laajuuteen: mitä enemmän ja isompaa kasvillisuutta on, sitä suuremmat hyödyt. Viherkatoilla on myös rajoittavia tekijöitä. Rajoitukset johtuvat painosta ja niistä aiheutuvista lisäkuormituksista. Mitä intensiivisemmän kasvillisuuden valitsee, sen painavammaksi rakenne muodostuu. Painavammille viherkatoille tarvitaan tukevamat rakenteet kestäväksi syntyvät lisäkuormitukset.

Tutkimuksessa jäi vielä avoimeksi muutamia asioita, joita voisi tarkastella lisää. Suurin osa avoimista asioista liittyi talviolosuhteisiin. Talviolosuhteista oli muutamia tutkimuksia, mutta niissä tarkastelluissa rakenteissa oli suhteellisen huono lämmöneristys, joka ei täyttäisi suomalaisia vaatimuksia. Suomen olosuhteissa eristysvaatimukset ovat huomattavasti vaativammat kuin muualla maailmassa.

Avainsanat: Viherkatto, lämmöneristävyys

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. VIHHERKATTORAKENNE	2
2.1 Viherkattotyypit	5
2.2 Viherkatot maailmalla ja Suomessa	8
2.3 Viherkattojen hyödyt ja rajoitukset	9
2.3.1 Hyödyt	9
2.3.2 Rajoitukset	13
3. VIHHERKATTOJEN KUORMITUSTEKIJÄT	15
4. VIHHERKATON KOSTEUS- JA LÄMPÖTEKNINEN TOIMINTA	17
4.1 Lämmön ja kosteuden siirtyminen rakenteessa	17
4.1.1 Lämmön siirtyminen	17
4.1.2 Kosteuden siirtyminen	17
4.2 Viherkatto lämmöneristeenä	18
4.2.1 Viherkaton toiminta kesällä	19
4.2.2 Viherkaton toiminta talvella	22
4.2.3 Viherkatto tavanomaisen lämmöneristetyn yläpohjan päällä	23
4.2.4 Pakkasen ja lumen vaikutus viherkattoihin	26
4.2.5 Viherkattojen kasvualusta ja kasvillisuus	27
4.2.6 Viherkattojen maantieteellinen sopivuus	28
5. JATKOTUTKIMUSTARPEET	32
6. YHTEENVETO	33
LÄHTEET	34

KÄSITTEET

”**Kasvualustalla** tarkoitetaan kasvillisuusalueen kerrosta, jossa kasvien juuret pääasiassa sijaitsevat, ja josta ne ottavat tarvitsemansa ravinteet ja veden.” (RT 85-11203 2016, s. 9)

”**Käännetty katto** on yläpohjarakenne, vedeneristys sijaitsee lämmöneristyksen alapuolella eli lämpimämmällä puolella. Vedeneristys toimii samalla höyrysulkuna ja on suo- jassa mekaanisilta rasituksilta.” (RT 85-11203 2016, s. 9)

”**Lämpösaarekkeeksi** (urban heat island) kutsutaan ilmiötä, jossa kaupungin keskus- tassa on korkeampi lämpötila kuin ympäröivillä alueilla. Lämpösaareke syntyy rakennus- ten, liikenteen ja teollisuuden tuottamasta hukkalämmöstä sekä kaupungin rakenteisiin varastoituneen auringonsäteilyn vapautumisesta lämpönä. Tehokkaan sadevesiviemä- röinnin takia sadeveden haihdunta on kaupungeissa maaseutua vähäisempää, mikä osaltaan voimistaa lämpösaarekettä.” (RT 85-11203 2016, s. 9)

RT-kortisto on suomalainen ohjeistus rakentamista ja suunnittelua varten.

Yläpohja on rakennuksen ylin rakenne eli kattorakenne.

”**Viherkatto** muodostuu toiminnallisten ja esteettisten tavoitteiden mukaisesta kasvilli- suudesta sekä kasvualustasta, salaojakerroksesta ja vedeneristyksestä.” (RT 85-11203 2016, s. 9)

1. JOHDANTO

Ilmastonmuutoksen edetessä ja tiukentuvien hiilidioksidipäästörajoitteiden takia tarvitaan lisää keinoja, joilla voidaan vähentää päästöjä. Viherkatto ei ole uusi tai innovatiivisin menetelmä hiilidioksidipäästöjen kompensoimiseen. Metsien ja yleisesti kasvuston tiedetään sitovan hiiltä itseensä ja tuottavan happea fotosynteesin sivutuotteena toimien tällöin hiilinieluinä. Vastaavia hiilinielujä voisi sijoittaa kaupunkiympäristöömmeäkin.

Viherkatoilla on useita hyötyjä. Tässä kandidaattityössä keskitytään tutkimaan viherkattojen vaikutusta lämmöneristävyyteen. Rakenteiden eristävyysvaatimukset tiukentuvat vuosi vuodelta, joten tarvitaan tehokkaampia rakenteitä. Eristävyys vaikuttaa niin lämmitys- kuin viilennystarpeisiinäkin, kun eriste estää tilassa olevan lämpötilan muuttumista. Rakennusten vaatima lämmitys on neljäs osa koko Suomen energiankulutuksesta (Gyntner, 2019). Eristävyyden parantaminen vaikuttaisi energiankulutuksen kannalta positiivisesti, ja kustannukset pieneneisivät tehden viherkattovaihtoehtoedosta houkuttelevan. Energiansäästöjen kautta viherkatot pienentäisivät hiilidioksidipäästöjä, kun ei tarvitse tuottaa yhtä paljon energiaa.

Tutkittavana on tyypillisimmät viherkattorakenteet. Näitä on neljä päätyyppiä ja ne luokitellaan kasvillisuutensa mukaan. Kandidaattityö tehdään kirjallisuustutkimuksena. Tutkimuslähteenä käytetään aikaisempia tutkimustuloksia ja RT-kortistoa, joista löytyvät perustiedot viherkattojen toteuttamistavoista. Lähteiden perusteella kerrotaan, mistä viherkatot koostuvat ja miten niiden koostumus vaikuttaa lämmönliikkeeseen yläpohjarakenteissa.

Kandidaattityössä tutkitaan aluksi, miten viherkatot toimivat ja millaisista rakenneosista ne koostuvat. Sen jälkeen tarkastellaan, minkälaisia hyötyjä niillä voi olla ja minkälaisia rajoitteita niillä on. Kolmannessa kappaleessa tarkastellaan, mitkä tekijät kuormittavat viherkattoja ja miten ne kuormittavat alla olevaa rakennetta. Neljännessä kappaleessa tarkastellaan tutkimuksen pääaihetta eli miten viherkatot vaikuttavat kattojen eristävyyteen. Viidennessä kappaleessa tarkastellaan, mitä asioita jäi vielä avoimeksi ja olisi hyvä tutkia lisää. Viimeisessä kappaleessa on koottu pääasiat, mitä on saatu selville tässä kandidaattityössä.

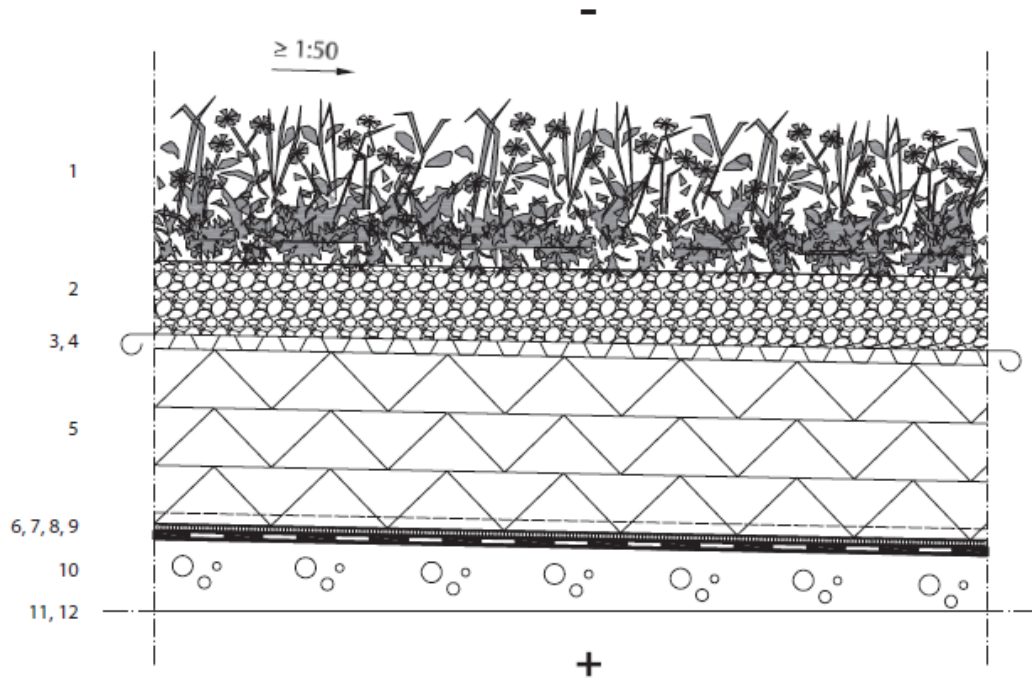
2. Viherkattorakenne

Viherkatto koostuu Suomessa aina tavanomaisesta yläpohjarakenteesta ja sen päälle rakennetusta viherkattorakenteesta. Suomen yleisimpiä yläpohjia ovat käännetty rakenne, jota käytetään teollisuus-, liike- ja kerrostaloissa, ja harjakattorakenne, jota käytetään yleisesti omakotitaloissa ja muissa pientaloissa. Viherkattorakenne koostuu yksinkertaisimmillaan juurisuojasta, kasvualustasta ja kasvillisuudesta. (Laurila et al. 2014) Taulukossa 1 on esitetty viherkaton tyypillisimmät rakenneosat ja niiden tehtävät.

Taulukko 1. Viherkaton tyypillisimmät rakenneosat ja niiden tehtävät ylhäältä alas.

Kerros	Rakenne	Tehtävä
1	Kasvillisuus	Edistää viihtyisyyttä ja haihduntaa
2	Kasvualusta	Tarjoaa ravinteet ja pidättää kosteutta kasvillisuudelle
3	Suodatinkangas	Estää hienoaineksen kulkeutumisen alempiin kerroksiin
4	Vettä pidättävä kerros	Pitää kasvualustan kosteana ja toimii valunnan säätelijänä
5	Salaojakerros	Ohjaa ylimääräisen veden pois
6	Juurisuoja	Estää kasvillisuutta tunkeutumasta vedeneristysten läpi
7	Lämmöneristys	Estää lämmön kulkeutumisen kattorakenteista
8	Vedeneristys	Ohjaa veden pois katolta ja estää sen tunkeutumisen kattorakenteisiin
9	Alla oleva kattorakenne, joka kestää viherkaton	Kannattelee viherkattoa

Rakenneosia voidaan lisätä, vaihdella niiden paikkoja tai jättää jotain pois riippuen viherkaton alla olevista rakenteista, asetetuista tavoitteista ja ympäristön olosuhteista (Laurila et al. 2014). Kuvassa 1 on tyypillinen käännetty kattorakenne, jossa on viherkatto päällä.



Esimerkkirakenne, keto/niittykatto, (lämmöneristetty tai lämmöneristämätön rakenne, käännetty katto, kaltevuus 1:20...1:50)

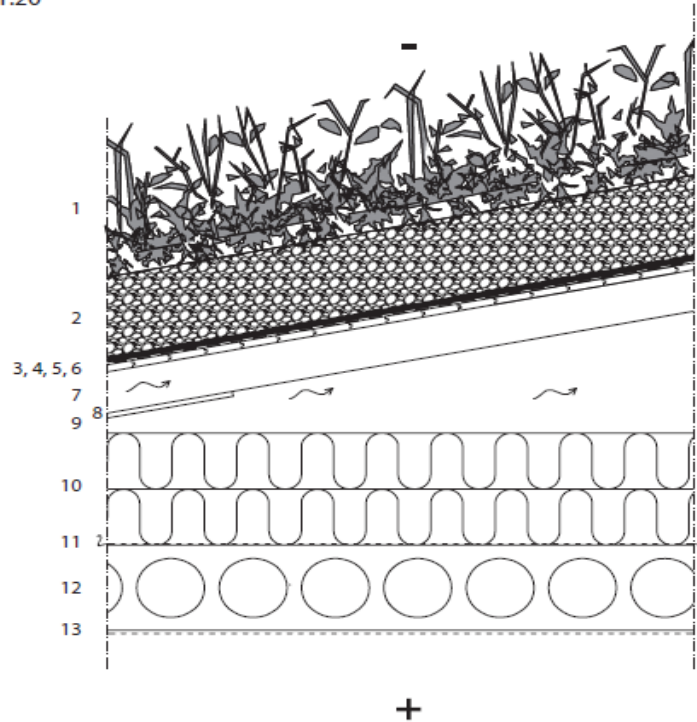
Rakenne ylhäältä alaspäin:

1. Niitty-/ketokasvillisuus
2. Viherkaton kasvualusta
3. Suodatinkangas
4. Salaojittava, vettä pidättävä levy
5. Lämmöneristys rakennesuunnitelman mukaan
6. Salaojamatto, päällystetty molemmin puolin suodatinkankaalla
7. Juurisuojakermi
8. Vedeneristys, 3 x kumibitumikermi TL 2 kauttaaltaan liimaten tai hitsaten
9. Kumibitumiliuosvively
10. Kallistusbetoni; puuhierto, sementtiliiman poisto sinkopuhdistuksella, kaltevuus 1:20...1:50
11. Kantava betonirakenne rakennesuunnitelman mukaan
12. Pintakäsittely huoneselityksen mukaan

Kuva 1. Käännetty yläpohjarakenne viherkatolla (RT 85-11205 2016, s. 9)

Muutoin rakenne on samanlainen kuin tavanomainen käännetty rakenne, mutta siinä on vain viherkatto päällä. Esimerkkirakenteessa on kaikki taulukossa 1 mainitut rakenneosat. Kuvassa 2 on puolestaan tyypillinen harjakatto, jonka päälle on asennettu viherkatto.

MK 1:20



Esimerkkirakenne, heinäkatto, (lämmöneristetty tai lämmöneristämätön rakenne, tuulettuva lauta- tai rakennuslevyalusta, kaltevuus 1:5...1:10)

Rakenne ylhäältä alaspäin:

1. Heinäkasvillisuus
2. Viherkaton kasvualusta tai kattoturve
3. Vettä pidättävä kerros, esimerkiksi polypropyleenikuitumatto
4. Salaojamatto, molemmin puolin suodatinkankaalla päällystetty
5. Juurisuojakermi + TL2 + TL2 aluskermi
6. Ponttilauta-alusta tai soveltuva rakennuslevyalusta, paksuus rakennesuunnitelmien mukaan
7. Kattokannattajat rakennesuunnitelmien mukaan
8. Reuna-alueilla kattokannattajan yläpaarteen alapinnassa tuulenhjain n. 1,2 m ulkoseinältä
9. Tuuletettu ilmatila rakennesuunnitelmien mukaan (>100 mm)
10. Lämmöneriste
11. Höyrynsulku, BH1
12. Kantava rakenne rakennesuunnitelmien mukaan
13. Pintamateriaali ja -käsittely huoneselostuksen mukaan

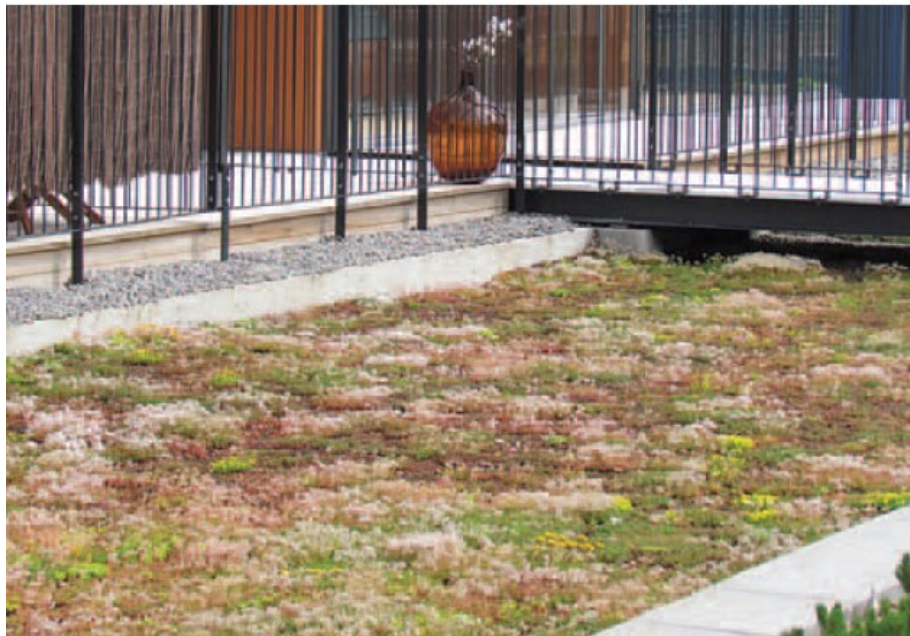
Kuva 2. Harjakatolle tuleva viherkattorakenne (RT 85-11205 2016, s. 8)

Rakenne on muuten samantyyppinen kuin kuvan 1 käännetty kattorakenne. Harjakatto-rakennetyypissä huomioitavaa on, että se on jyrkkä. Katto luokitellaan jyrkäksi, jos kaltevuus on yhtä suuri tai suurempi kuin 1:10. Kaltevassa rakenteessa joudutaan ottamaan huomioon liukuminen, leikkausvoimat ja kasvualustan eroosio. (RT 85-11205 2016, s. 3) Tasakatto on helpompi suunnitella kuin harjakatto. Harjakaton etuna on, että vesi valuu suhteellisen nopeasti pois painovoiman ansiosta pienentäen lammikoitumisen riskiä.

2.1 Viherkattotyypit

Katon rakenne vaikuttaa siihen, minkälaisen kasviston sinne pystyy istuttamaan. Katto on vaativa kasvualusta. Olosuhteet ovat usein kuivia, paahtavia, tuulisia, varjoisia ja kylmiä. Tällaiset kasvualustat olisivat luonnossa avoimia ja paahteisia kivikkoja. Viherkattorakenteita jaotellaan kasvillisuutensa mukaisesti seuraavasti: maksaruohokatto, niitty/ketokatto, heinäkatto ja katto- ja kansipuutarha. (RT 85-11204 2016, s. 1) Katto ei ole tavanomaisin istutuspaikka kasveille, ja kasvien valinta on rajoittunutta rankkojen olosuhteiden takia.

Maksaruoho on kuivan olosuhteiden kasvi. Se selviää hyvin niukalla ravinteella, kestää hyvin kuivuutta ja paahdetta. Maksaruohot koostuvat isosta suvusta, johon kuuluu noin 400 eri lajia. (Snodgrass 2020) Maksaruoho tarvitsee noin 6 – 8 cm syvän kasvualustan (RT 85-11204 2016, s. 14). Kuvassa 3 on esimerkki tyypillisestä maksaruohokatosta.



Kuva 3 Maksaruohokatto (RT 85-11204 2016, s. 4)

Niitty/ketokatoilla käytetään luonnossa esiintyvää heinä- ja ruohokasvillisuutta. Kasvilajeja on erikseen aurinkoiselle ja varjoisille paikoille. Laji valitaan tapauskohtaisesti katon sijainnin mukaan. Tarvittava kasvualusta vaihtelee 15 ja 20 cm välillä. Kuvassa 4 on esimerkki niittykatosta. (RT 85-11204 2016, s. 4)



Kuva 4. Niitty/ketokatto (RT 85-11204 2016, s. 4)

Heinäkatoilla käytetään useasti matalakasvuisia ja kuivuutta kestäviä lajeja, joita on esimerkiksi lampaannata ja nurmirölli. Heinäkatoille on myös varjoisille alueille omia lajejaan. Tarvittavan kasvualustan paksuus vaihtelee 20 ja 30 cm välillä. (RT 85-11204 2016, s. 4) Kuvassa 5 on esimerkki heinäkatoista.



Kuva 5. Heinäkatto (RT 85-11204 2016, s. 4)

Katto- ja kansipuutarhassa voi olla edellisten kattotyyppien kasvillisuustyyppien yhdistelmiä ja siinä voi olla jopa puita. Nämä rakennelmat ovat nimensä mukaisesti puutarhoja. Kattopuutarhat voivat viihtyvyyden lisäämisen lisäksi mahdollistaa kaupunkiviljelyn (Helsingin yliopisto 2019).

Etukäteen suunnitellaan, mitä kasveja halutaan käyttää, jotta se voidaan ottaa huomioon katon suunnittelussa. Jälkikäteen on vaikeaa ja kallista muuttaa alla olevia rakenteita sopiviksi. Tarvittava kasvualustan paksuus alkaa 20 cm ja kasvaa siitä ylöspäin kasvillisuustyypistä riippuen. (RT 85-11204 2016, s. 4). Kuvan 6 katto- ja kansipuutarhassa on yhdistetty edellä mainittuja kasvillisuustyyppijä yhteen, lisätty hieman pensaita ja integroitu ne oleskelutilojen kanssa.



Kuva 6. Katto- ja kansipuutarha (RT 85-11204 2016, s. 4)

Viherkatoille ei voida istuttaa ihan mitä tahansa kasveja haastavan kasvuympäristön takia. Kasvillisuudeksi voi valita jonkin edellä mainituista kasvillisuustyypeistä omien tavoitteidensa mukaisesti, kun ottaa huomioon sijainnin, tarvittavan kasvualustan ja alla olevat rakenteet.

Kuvassa 7 on Merisalon (2014) tekemä kooste, kuinka viherkattojen rakenneosat voidaan valita. Kasvillisuuden alusrakenne voidaan tehdä yksi- tai monikerroksisena. Yksi-kerroksisessa alusrakenteessa kasvualusta on itsessään salaojana ja suodatinkerros, kun monikerroksisessa ne ovat erilliset rakenteet. Valitsemalla onko katto liikennöity vai ei, niin sen mukaan valitaan katon kaltevuus. Kasvillisuustyyppi on riippuvainen katon kaltevuudesta. Kattopuutarhaa suositellaan istuttamaan 1:50 ja 1:20 välille, kun muita viherkattotyyppijä voidaan toteuttaa jopa 1:50 ja 1:1 välille. Jyrkempiä viherkattoja ei tulisi suunnitella leikkausvoiman, liukumisen ja eroosion takia. (Merisalo 2014)



Kuva 7. Kaavio viherkaton rakenteiden valintaan Merisalo (2014)

Merisalo (2014) on käyttänyt kansainvälisempää nimitystapaa kasvillisuuksille. Aikaisemmin mainitut kasvillisuudet luokiteltaisiin kansainvälisessä tavassa seuraavasti: ekstensiivinen eli maksaruoho, puoli-intensiivinen eli niitty- ja heinäkasvit ja intensiivinen eli kattopuutarha.

2.2 Viherkatot maailmalla ja Suomessa

Viherkattorakenteiden odotetaan lisääntyvän huomattavasti tulevien vuosien aikana. Markkinaennusteita laativa *Grand view research* (2020) arvioi, että viherkattojen keskimääräinen vuosittainen kasvu (*CAGR, Compounded Annual Rate of Growth*) voisi olla noin 17 % vuosien 2019 ja 2025 välillä. Suomessa viherkattorakenteiden määrä ei ole vielä noussut näin paljon.

Ennen ei ole ollut oikein informaatiota viherkattojen toteuttamisesta ja on ollut vain vähäistä tutkimusta niiden soveltuvuudesta Suomeen, mikä on todennäköisesti vaikuttanut viherkattojen määrään. Aikaisemmin oli vain tarjolla yritysten omien tuotteiden rakennusohjeita. Vuonna 2016 julkaistiin kolme uutta RT-ohjekorttia, jolla on saatu parannettua ohjeistuksen puutetta:

- RT 85-11203 Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet
- RT 85-11204 Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, kasvillisuus ja kasvialusta

- RT 85-11205 Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, rakenteet

Helsingin yliopiston johdolla toteutetussa tutkimusohjelmassa *Viides ulottuvuus* on paneuduttu viherkattojen toteuttamiseen pohjoisissa olosuhteissa. Tutkimusohjelmassa on selvitetty mm. kasvivalintaa ja viherkattojen vaikutusta hulevesien hallintaan ja viihtyvyyteen. (Helsingin yliopisto 2019) Tutkimuksien pohjalta on muodostunut selkeämpi kuva viherkattojen soveltuvuudesta Suomen olosuhteisiin.

Viherkatot ovat hieman yleistyneet Suomessakin ilmastonmuutostietoisuuden motivoimina, mutta ei samassa määrin kuin Saksassa. Suomessa rakennetaan viherkattoja noin 20 000 neliometriä vuodessa, kun Saksassa rakennetaan 550 kertaa enemmän eli 11 miljoonaa neliometriä vuodessa (Kotitalo 2019). Saksa ottaa tällä ensimmäisen paikan maailman viherkattojen rakentajana.

Saksa on laatinut useita viherrakennelakeja, joka on lisännyt niiden määrä huomattavasti. Jokainen osavaltio joutuu tekemään suunnitelman, miten kompensoidaan vihreyden tuhoamista. Saksan kahdeksanneksi suurin kaupunki Essen on määrännyt, että jokaiseen uudisrakennukseen ja korjattavaan rakennukseen pitää asentaa viherkatto. Suurin osa viherkatoista tehdään liike- ja teollisuusrakennuksiin. Yksityinen rakentaja joutuu maksamaan kovemmat verot tavallisesta katosta kuin viherkatosta. Maksettava vero riippuu arvioidusta katolta valuvasta hulevesimäärästä. Verotus on lisännyt yksityistenkin henkilöiden kiinnostusta hankkia viherkatto. (Dongfand 2017) Vastaavaa taloudellista ohjausta ovat myös Laurila et al. (2014) ehdottaneet Suomeen: taloudellisia kannustimia, joilla saataisiin ihmisiä hankkimaan lisää viherkattoja. Ilman taloudellisia ohjauskeinoja voidaan odottaa Suomen viherkattojen määrän pysyvän edelleen suhteellisen alhaalla.

Yhdysvalloissa rakennetaan myös suhteellisen paljon uusia viherkattoja. Siellä rakennetaan noin 8 miljoonaa neliötä vuosittain. San Francisco oli Yhdysvalloissa ensimmäinen kaupunki, joka vaatii tietyntyyppisiin rakennuksiin viherkattoja, aurinkokennoja tai niiden yhdistelmiä vähintään 15 – 30 % katon pinta-alasta. (Snow 2016)

2.3 Viherkattojen hyödyt ja rajoitukset

2.3.1 Hyödyt

Kuten aikaisemmin on jo mainittu, viherkatoilla on useita hyötyjä. Viherkatot suojaavat alla olevaa kattorakennetta ulkoisilta kuormituksilta, kuten ultraviolettisäteilyltä ja pidentävät täten katon käyttöikä. Suuremman kerrospaksuuden ansiosta saadaan myös lisää

ääneneristävyyttä. (RT 85-11203 2016, s. 1) Parempi ääneneristävyys on hyödyllinen asukkaille, jotka asuvat meluisella alueella, kuten lentokentän lähetyillä.

Viherkatoilla voidaan vaikuttaa myös ihmisen psyykkiseen hyvinvointiin. RT-kortissa todetaan, että ”viherympäristöistä saatavia hyötyjä voivat olla luonnosta ja rauhallisuudesta nauttiminen, luonnon tarkkailu, liikunta, rentoutuminen, lepo, luova tekeminen, seurustelu sekä ajanvietto ulkoilmassa.” (RT 85-11203 2016, s. 1) Viherkatot voivat kaupunkiympäristössä tarjota mahdollisuuden luonnosta nauttimiseen. Saatua nautinto riippuu viherkaton tyypistä ja koosta. Esimerkiksi vanhainkodit ja muut hoitolaitokset olisivat tämän hyötyvaikutuksen kannalta hyviä paikkoja asentaa viherkattoja tai rakentaa kattopuutarhoja etenkin kaupunkiympäristössä. Vanhukset eivät voi mennä kauas nauttimaan luonnosta ja viherkatto olisi tällöin lähetyillä. Kattopuutarha voisi mahdollistaa jopa pienimuotoisen hyötyviljelyn.

Viherkatot toimivat osana hulevesien hallintajärjestelmää viivytäten ja varastoiden sade- ja sulamisvesiä vähentäen viemäriverkoston kuormitusta. RT-ohjeistuksessa listataan seuraavat asiat, jotka vaikuttavat sadeveden pidättymiseen viherkatossa:

- sadannan toistuvuus ja sateen voimakkuus,
- vuodenaika,
- sään vaihtelevuus,
- viherkaton kasvillisuus ja
- kasvualustan rakenne ja paksuus.

Kun lisätään kasvillisuuden monimuotoisuutta, kokoa ja kasvualustan paksuutta, saadaan veden pidätysvaikutus kasvamaan. (RT 85-11203 2016, s. 2)

Virolaisessa tutkimuksessa vertailtiin maksaruohokatosta ja tavallisesta bitumikermipintaista katosta syntyviä hulevesimääriä. Tutkimuksen mukaan viherkatto pidättää 85 % sadevedestä, kun kyseessä on kevyt sade, noin 2,1 mm. Kovalla sateella, noin 12,1 mm, tavanomaiselta katolta ja viherkatoilta valui yhtä paljon vettä pois. Viherkatolta valunta tapahtui kuitenkin noin puoli tuntia hitaammin. (Teemusk & Mander 2007) Rankkasateella viherkatto ei ole välttämättä optimaalisin hulevesien hallintamenetelmä. Tarkasteltavassa rakenteessa oli kyseessä ohut viherkattotyyppi, jonka varastointikapasiteetti on pieni. Kattopuutarha olisi selvinnyt paremmin rankkasateesta.

Viherkatoilla on myös kyky puhdistaa ilmaa. Urbanilla alueella on usein ilmassa pieniä pölypartikkeleita, jotka aiheuttavat epäviihtyisyyttä ja hengitystieoireita. Noin 1 000 m² kokoinen viherkatto alue pystyy sitomaan tätä pölyä noin 160 – 220 kg vuodessa. Kyky

puhdistaa ilmaa riippuu kasvillisuudesta. Puut pystyvät tehokkaimmin puhdistamaan ilmaa ja nurmikot heikoiten. (Shafique et al. 2018) Ilmanlaatu on suuri ongelma varsinkin isoissa kaupungeissa. Jos 1000 neliömetrillä saadaan näin paljon sidottua pölyä, voidaan viherkattoa pitää suhteellisen hyvänä passiivisena ulkoilman suodattimena. Varsinkin, kun puhdistamisen lisäksi kasvit tuottavat samalla myös hapetta fotosynteesin sivutuotteena.

Viherkattojen määrän kasvaessa pystyisivät ne lieventämään urbaanin ympäristön aiheuttamaa lämpösaarekeilmiötä. Kaupungin tieltä raivattu kasvillisuus, heijastamattomat rakennukset ja syntynyt hukkalämpö saavat aikaan pahimmillaan 10 asteen lämpötilaeron keskustan ja ympärillä olevan maaseudun välillä. (Ilmasto-opas 2020) Viherkatto antaa viilennystä varjoilla, kokonaishaihdunnalla ja heijastuksellaan. Kanadalaisessa tutkimuksessa Torontossa simuloitiin, kuinka paljon viherkatot voisivat alentaa lämpötilaa, jos puolelle kaupungin keskustan katoista asennetaan viherkatto. Kosteuden ollessaan optimaalinen voisi keskimääräinen lämpötila laskea noin 2 astetta. (USEPA 2008) Viherkatot voisivat olla tulevaisuudessa yksi avaintekijöistä, kun yritetään neutralisoida kaupungistumisen aiheuttamaa lämpösaarekeilmiötä.

Kuten johdannossa mainittiin, kasvillisuudella on kyky sitoa hiiltä. Getter et al. (2009) tutkivat maksaruohoviherkattojen kykyä sitoa hiiltä ja vertailivat tätä rakentamisessa syntyvään ja viherkattomateriaalien valmistuksessa vapautuneeseen hiileen määrään. Teoreettisesti, jos koko Detroitin alueen teollisuus- ja liikerakennusten kattopinta-ala eli noin 14 730 hehtaarin alue katettaisiin viherkatoilla, säästäisi se 55 252 tonnia hiiltä. Tämä vastaisi 10 000 keskikokoisen maasturin tai pienen rekan päästöjä vuodessa. Shafique et al. (2020) toteavat, että usean tutkimuksen mukaan viherkattojen kasvillisuus ja kasvu-alusta vaikuttavat hiilensidontaan. Mitä enemmän viherkatossa on kasvillisuutta ja kasvu-alustamateriaalia, sitä enemmän hiiltä voi sitoutua. Viherkaton hiilensidontamäärään vaikuttaa myös, miten katto on valmistettu ja mistä sen raaka-aineet on hankittu (Laurila et al. 2014). Vaikka viherkattojen hiilensidonta ei olisi niin suurta, on se tässäkin asiassa varmasti yksi avaintekijöistä, kun yritetään saada kaupungeistamme hiilineutraalisempia. Varmistaakseen vielä mahdollisimman pienen hiilen syntymisen jo rakennusvaiheessa, on hyvä tehdä valinta kasvillisuustyypille, joka ei edellytä pitkää kuljetusmatkaa. Ei valitse esimerkiksi erikoiskasvilajia toiselta puolelta maailmaa. Rakenteissa käyttäisi myös materiaalia, jonka valmistuksessa syntyy mahdollisimman vähän hiilidioksidia. Kannattaa täten suosia paikallisia ja vähäpäästöisiä materiaaleja, jotta viherkatto on hiilinielu eikä hiililähde.

Kokonaisuudessaan muodostuu viherkatoilta useita erilaisia hyötyjä. Taulukossa 2 on yhteenveto viherkatoilla saavutettavista hyödyistä ja eri kasvillisuustyyppien sopivuudesta erilaisiin toiminnallisiin tavoitteisiin.

Taulukko 2. Viherkattojen toiminnallinen soveltuvuus kasvillisuuden mukaan (RT 85-11203 2016, s. 2)

Viherkaton toiminnallisuus	1. Maksaruohokatto	2. Niitty/ketokatto	3. Heinäkatto	4. Kattopuutarha
Hulevesi toimii osana hulevesien hallintajärjestelmää viivyttämällä ja pidättämällä vettä				
Luonnon monimuotoisuus lisää kaupunkiluonnon monimuotoisuutta, toimii osana alueen viheralueverkostoa				
Melunsäätely ja ääneneristävyys vähentää äänen kulkeutumista ja heijastumista koviilta pinnoilta				
Lämmönsäätely lievittää lämpösaarekilmiötä ja helleaaltojen vaikutusta				
Virkistys luo vihreitä virkistys- ja oleskeluympäristöjä ja -maisemia				
Hyötykäyttö luo vihreitä toimintaympäristöjä, esimerkiksi kaupunkiviljely, opetus, kuntoutus				

sopii tarkoitukseen
 sopii tarkoitukseen hyvin
 sopii tarkoitukseen erinomaisesti

Taulukosta havaitaan kuitenkin suoraan, että eniten hyötyjä saadaan kattopuutarhalta. Se sopii erinomaisesti, kun halutaan maksimaaliset hyödyt irti. Toisaalta se on kallein perustaa, eniten huoltoa edellyttävä ja suurimman kuormituksen alapuoliseen kattorakenteeseen aiheuttava viherkattotyyppi.

Viherkatoilla on myös kyky puhdistaa katoilta valuvaa vettä, jos käytetään sopivia materiaaleja. Shafique et al. (2018) analysoivat useita eri viherkattotutkimuksia ja totesivat tulosten olevan ristiriitaisia. Osassa tutkimuksia on saatu hyviä veden puhdistustuloksia ja osassa taas huonompia tuloksia. Useilta eri viherkatoilta valuvissa vesissä todettiin huomattavasti vähemmän raskasmetalleja kuin tavanomaisen katon vesissä. Valuvan veden laadussa on kuitenkin monta eri muuttujaa, jotka vaikuttavat puhtauteen. Berndtsonin (2010) mukaan seuraavat tekijät vaikuttavat katolta valuvan veden laatuun:

- Materiaalit, joiden pinnoilla hulevedet liikkuvat tai joiden läpi ne suodattuvat
- Kasvualustan paksuus ja laatu
- Huolto ja siihen käytettyjen kemikaalien ominaisuudet (lannoitteet ja pestisidit)
- Vuodenaika
- Sadanta
- Ilmansuunta
- Paikalliset haitta-ainelähteet

- Epäpuhtauksien kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet

Vaikuttavia tekijöitä on useita, joten on hyvin vaikea arvioida, kuinka paljon viherkatto pystyy lopulta puhdistamaan vettä tai heikentämään veden laatua. Osa tekijöistä vaikuttavat samalla tavalla tavalliseenkin kattorakenteeseenkin. Tarvitaan lisää tutkimuksia selvittämään, mitkä viherkattomateriaalit sopivat parhaiten puhdistamiseen ja eivätkä ainakaan heikennä veden laatua. Tämän epävarmuuden takia (RT 85-11203 2016, s. 4) mukaan suositellaankin, että vesi otetaan talteen ja käytetään paikan päällä.

2.3.2 Rajoitukset

Viherkatoilla ei ole pelkästään hyötyjä. Kattopuutarhalla mainittiin olevan eniten hyötyjä, mutta ne painavat suhteellisen paljon. Tarvitaan siis tukevammat rakenteet, jotka kestävät niiden painon. Rakenteiden vahvistuksesta syntyy rakennuskustannuksia, kun tarvitaan järeämpiä rakenteita, jotka kestävät lisätyn painon. Maksaruohokatto puolestaan painaa vain kymmenesosan kattopuutarhaan verrattuna.

Kattopuutarhat tarvitsevat paljon myös hoitoa. Niiden hoidontarve vastaa tavallisen puutarhan hoitoa. Kasvit tarvitsevat lannoitusta ja kastelua sekä harventamista ja leikkaamista. Myös kasvinsuojeluaineita voidaan käyttää. Muilla kasvillisuustyypeillä hoidon tarve on kuitenkin melko vähäinen. Taulukossa 3 on esitetty kasvillisuustyypin mukainen hoidon tarve ja paino neliometriä kohti.

Taulukko 3. Viherkattotyyppien hoidon tarve ja neliöpaino. (RT 85-11203 2016, s. 3)

	Viherkattotyyppi			
	1. Maksaruohokatto	2. Niitty/ketokatto	3. Heinäkatto	4. Kattopuutarha
Hoitotyön määrä	Vähäinen	Vähäinen	Melko vähäinen	Vastaa puutarhan hoitoa
Kasvualustan paino	72...96 kg/m ²	180...240 kg/ m ²	240...360 kg/ m ²	240... 1200 kg/m ²

Huomioitavaa on, että vanha noin 60-vuotias puu voi aiheuttaa jopa 6 000 kg/m² kuorman (RT 85-11203 2016, s. 3). Voidaan siis määritellä, että mitä rehevämpää kasvillisuutta valitsee, sitä kalliimpaa lopputuloksesta tulee. Toisaalta samalla saavutetaan enemmän hyötyjä.

Viherkattorakenteet voivat aiheuttaa alapuoliseen rakenteeseen kosteusvaurioita, jos kuivatuskerros ja vedeneristys eivät ole riittävän tehokkaita. Tämä on varmaankin suurin pelko, mikä ihmisillä on viherkattorakenteiden toteuttamisessa. Riittävällä salaojituksella

ja kestäväällä vedeneristyksellä pysyvät alla olevat rakenteet kuitenkin kuivina. Vedeneristys onkin tästä syystä yksi tärkeimmistä rakenneosista, koska jos se hajoaa, on rakenne korjattava lähes poikkeuksetta heti.

RT-ohjekortissa luetellaan seuraavat tekijät, joilla viherkatosta saadaan luotettava, toimiva ja mahdollisimman pitkäikäinen (RT 85-11205 2016, s. 5):

- Salaojitus ei saa vahingoittaa vedeneristystä
- Kate eli vedeneriste on tehty jatkuvana eli itse kate ja sen saumat on tehty vesitiiviiksi vedenpaineen alaisena
- Vesitiiviys tarkastettu (esim. testimenetelmän EN 1928 B mukaisesti testattuna)
- Tuotteista on pitkäaikaista kokemusta; (osataan asennus- ja suunnittelumenetelmät ja tunnetaan niiden käyttöikä)
- Toteutetaan monikerroksisina, koska se antaa anteeksi työvirheitä ja pienentää mahdollisten vuotojen riskiä
- Vedeneriste on ominaisuuksiltaan tarpeeksi elastinen (muodonmuutoksen jälkeen pyrkii palautumaan takaisin)
- Vedeneriste on UV-säteilyltä kestävä

Näitä ohjeita noudattaen voi olla suhteellisen varma, että viherkattorakenteesta ei muodostu kosteusvaurioita alla oleville rakenteille.

3. VIHERRAKENNOJEN KUORMITUSTEKIJÄT

Viherkattoja suunniteltaessa pitää ottaa huomioon, miten kaikki eri kuormitustekijät vaikuttavat siihen ja alla oleviin rakenteisiin. Kuormitustekijät eivät saa olla niin suuria, että alla oleva rakenne vaurioituisi tai sen käyttöikä lyhenisi vaadittua lyhemmäksi. Viherkaton aiheuttama lisäkuormitus johtuu lähinnä sen omasta painosta. Kuten taulukossa 3 todettiin, kattopuutarha aiheuttaa isoimmat kuormat. Viherkatoista voi syntyä seuraavallaisia kuormia (RT 85-11205 2016, s. 2):

- Rakenteiden asennuskuormat
- Rakenteiden kuivapaino
- Rakenteiden märkäpaino, tarkasteltava myös häiriötilanteet kuten vedellä kylästettynä
- Viheralueen hoitokuormat
- Mahdollisen oleskelun, liikenteen ja pelastusteiden aiheuttamat kuormat

Kaikki yllä mainitut kuormitukset huomioidaan mitoituksessa erilaisilla kuormitusyhdistelyillä. Huomattavin syntyvistä kuormista on yleensä viherrakenteiden märkäpaino, jos rakenteiden päällä ei liikennöidä esim. huoltotöiden takia. Kuivapaino on noin 2/3 märkäpainoista. (RT 85-11205 2016, s. 2)

Raskaimpia istutuksia sijoitellaan yleensä kantavien rakenteiden kuten esimerkiksi pilaarien päälle. Istutettavien puiden kuormituksia laskettaessa pitää huomioida ne täysikasvuisena ja niihin vaikuttava mitoittava tuulikuorma. Tuulikuorma huomioidaan erityisesti puiden ankkuroinnissa. Jos katolle tehdään oleskelutiloja, tulee niille määrittää suurin sallittu oleskelukuorma. Lumikuormia laskettaessa pitää ottaa huomioon normaali lumikuorma ja lisäksi kasvistoon sitoutuva ja kasautuva lumi. (RT 85-11205 2016, s. 2)

Viherkattoihin vaikuttavat eniten ilmasto ja vuodenaajat, jotka aiheuttavat kosteus- ja lämpötilaeroja. Tuulisilla alueilla voi olla hyvä tuulisuojava rakenteet, jotta kasvillisuus ei irtotuisi. Puihin kohdistuvat tuulikuormat olivat aina mitoittava. Talvella viherkaton kasvillisuus talvehtii. Talvella tulee katoille myös lumipeite, joka toimii eristävänä kerroksena. Kesällä on auringonpaistetta ja lämmintä. Viherkatoilla tapahtuu kesällä enemmän haihduntaa, mikä viilentää alla olevaa rakennetta. Kesällä kasvit kasvavat eniten. Huomiotavaa on myös, että kesän kuivuusjaksot voivat aiheuttaa kasvillisuusvaurioita ja halkeilua.

Syksyllä ja keväällä taas on huomattavasti kosteampaa, kun lumet sulavat tai sataa runsaasti vettä. Pintavalunta voi aiheuttaa eroosioaurioita. Liiallinen kosteus voi olla myös kasveille haitallista, joten viherkaton kuivatuksen pitää toimia tehokkaasti. (RT 85-11205 2016, s. 6) Kuivatusjärjestelmän tukkeumat esimerkiksi kasvien juurien tai biofilmin tai jäätyneen takia aiheuttaa viherkaton tulvimista, mikä kasvattaa katon neliöpainoa, lisää vesieristeseen kohdistuvaa hydraulista painetta ja aiheuttaa kasvivaurioita ja heikentää rakennekerrosten välistä kitkaa, mikä voi aiheuttaa rakennekerrosten liukumia. (Leppänen 2020)

4. VIHHERKATON KOSTEUS- JA LÄMPÖTEKNINEN TOIMINTA

4.1 Lämmön ja kosteuden siirtyminen rakenteessa

4.1.1 Lämmön siirtyminen

Lämpö voi siirtyä kolmella eri tavalla: 1) konduktio, 2) säteily ja 3) konvektio. Lämpö siirtyy aina suuremmasta lämpötilasta pienempään. Sitä kuvaa termodynamiikan toinen pääsääntö, jonka mukaan lämpötilaerot pyrkivät tasoittumaan. (Saari et al. 2013, s. 43)

Konduktio eli johtuminen on lämmön siirtymistä aineiden sisällä. Lämpö siirtyy aineesta toiseen, jos ne ovat kosketuksessa. Näin lämpö siirtyy rakenneosasta toiseen rakennuksissa. Konduktion hallitsemiseksi rakennuksiin laitetaan lämmöneristeet. Lämmöneristeet johtavat huomattavasti vähemmän lämpöä ja täten katkaisevat tehokkaasti lämmön siirtymisen. (Saari et al. 2013, s. 43) Lämmönjohtamiskykyä rakenneosille voidaan kuvata U-arvoilla, jonka yksikkö on $W/(K \cdot m^2)$. U-arvon pienentyessä lämpöä johtuu rakenteen läpi vähemmän. (RakMk 2017)

Säteily on sähkömagneettista säteilyä. Säteilyn osuessaan kappaleeseen absorboi se säteilyn osittain tai kokonaan ja sen mukaan säteily lämmittää kappaletta tietyn verran. Erilaisilla väreillä voidaan vaikuttaa, kuinka paljon lopulta absorboidaan säteilyä. Mitä tummempi materiaali, sitä enemmän absorboituu. (Saari et al. 2013, s. 43) Tästä syystä viherkattojen kasvillisuus heijastaa paremmin kuin tavanomainen tumma kattorakenne, eikä täten lämpene yhtä paljon.

Konvektio eli kulkeutuminen on lämpösiirtymisen ilmiö, missä lämpö siirtyy väliaineen mukana. (Saari et al. 2013, s. 43) Viherkattorakenteet kykenevät viilentämään rakenteita, kun haihtuva vesi siirtää lämmön mukanaan ja viilentää siten alkuperäisen paikansa. Periaate on samantapainen kuin ihmisten hikoilu.

4.1.2 Kosteuden siirtyminen

Tavanomaisessa kattorakenteessa vesi johdetaan kattokaltevuuden avulla sadevesijärjestelmiin ja hulevesien hallintajärjestelmästä riippuen edelleen esimerkiksi hulevesiviemäriin. Viherkatto lisää luonnollista hydrologista kiertokulkua. Kosteus liikkuu viher-

katoilta kokonaishaihdunnan avulla. Kokonaishaihdunta sisältää kaksi osaa: tavanomainen haihdunta ja transpiraatio. Transpiraatiossa vesi kulkee kasviston läpi ja haihtuu lopulta ilmarakojen kautta. Kasvistot saavat veden mukana tarvitsemansa ravintoaineet ja ylläpitävät sen avulla fotosynteesiä. (North Carolina Climate Office 2020) Kokonaishaihduntaan vaikuttavat useat tekijät kuten lämpötila, auringon säteily, kasvin saatavilla oleva kosteus ja ilman kosteus. Mitä enemmän vettä on saatavilla kasville, sitä enemmän transpiraatiota tapahtuu. Kun ilman suhteellinen kosteus on korkea, ei siihen mahdu enempää kosteutta ja haihdunta vähenee. Kun lämpötilan on matala, sulkevat kasvit ilmarakojaan ja yrittävät säästää siten vettä. Auringon säteilyn lisääntyessä ja lämpötilan noustessa haihdunta lisääntyy. (North Carolina Climate Office 2020) Kokonaishaihduntaan voi vaikuttaa veden määrän säätelyllä. Tällä saadaan kokonaishaihdunnasta muodostuvan viilennyksen säädettyä mieleiseksi.

4.2 Viherkatto lämmöneristeenä

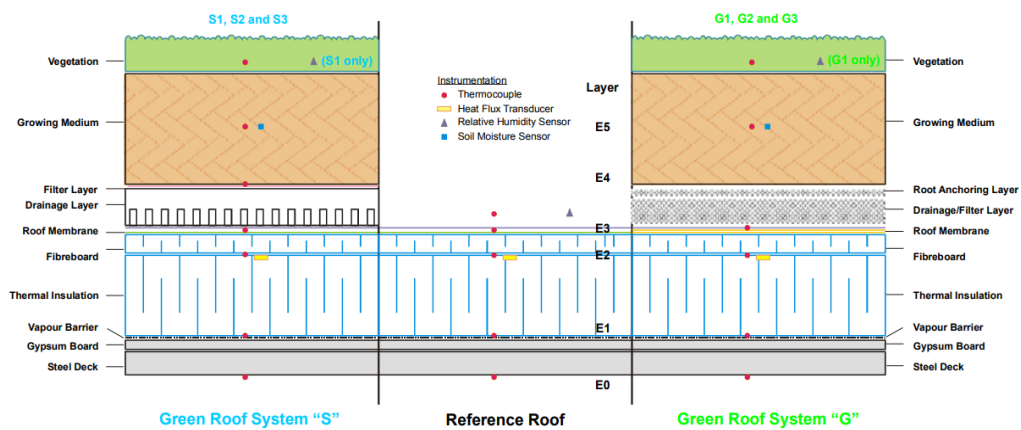
Viherkattojen mahdollisuuksia rakennusten lämmitys- ja jäädytystarpeen vähentämisessä on tutkittu melko paljon, mutta yleisiä laskentasaäntöjä, joilla vaikutusta pystyttäisiin luotettavasti ennustamaan, on ollut vaikea kehittää. Tutkimustulosten yleistettävyyttä heikentää se, että lopputulokseen vaikuttavat niin rakennuksen muoto, sijainti, käyttötarkoitus, lämmöneristyksen määrä kuin tietysti sääolosuhteetkin. Vuosittain niin lämmityksen kuin jäädytyksen tarve voi vaihdella merkittävästi. (Laurila et al. 2014) Tämä näkyykin monissa tutkimuksien tuloksissa. Tutkimuksissa tarkasteltavat viherkatot ovat olleet lähes samanlaisia rakenneosiltaan, mutta saadut energiansäästöt voivat vaihdella paljonkin. Viherkattoilta muodostuva lämmöneristävyys perustuu lopulta kasvualustan tarjoamaan lämmöneristävyyteen, joka on riippuvainen sen paksuudesta. Mitä paksumpi kasvualusta on niin sitä parempi lämmöneristävyys. (Merisalo 2014)

Rakenteen U-arvoilla kuvataan rakenteen lämmöneristävyyttä. Mitä pienempi on U-arvo, sen parempi eristävyys. Viherkaton rakenteille ei ole olemassa yhtenäisiä taulukko U-arvoja, kuten muille rakenneosille on. Syynä siihen on, että viherkaton maakerroksien lämpöteknisten ominaisuuksien ollessa niin alttiita sään aiheuttamalle muutokselle. (Merisalo 2014) Useimmissa tutkimuksissa seurataan mitta-antureilla, kuinka paljon rakenteesta syntyy lämpöhäviötä. Antureita sijoitetaan tutkimuksissa tyypillisesti useita kaikkien rakenneosien väliin. Näin saadaan tapauskohtaisesti arvioita viherkaton eristävyydestä. Osassa tutkimuksissa on käytetty muitakin tapoja tutkia viherkaton eristävyyttä rakennuksessa. Tässä kandidaatintyössä keskitytään kuitenkin tarkastelemaan rakenteiden U-arvoja ja syntyneitä lämpövuotoja.

Huomioitavaa on, että useissa kansainvälisissä tutkimuksissa tarkastellaan rakenteita, joissa ei ole suomalaisia määräyksiä vastaavia lämmöneristyksiä. Suomen rakentamismääräysten mukaisesti yläpohjan U-arvon pitää olla pienempi kuin $0,09 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ (RakMk 2017). Lähes kaikissa tarkastelluissa tutkimuksissa rakenteen U-arvo on suurempi eli eristävyys on heikompi.

4.2.1 Viherkaton toiminta kesällä

Liu & Baskaran (2005) vertailivat tutkimuksessaan Torontossa kahta erilaista viherkattorakennetta tavanomaiseen kattorakenteeseen. Ilmasto-olosuhteet ovat hieman lämpimämmät Helsinkiin verrattuna. Kuvassa 8 on esitetty tutkimuksessa tarkasteltujen rakenteiden periaatepoikkileikkaukset.



Kuva 8 Tutkimuksessa tarkastellut viherkattorakenteet ja niiden instrumentointi, keskellä vertailurakenne (Liu & Baskaran, 2005)

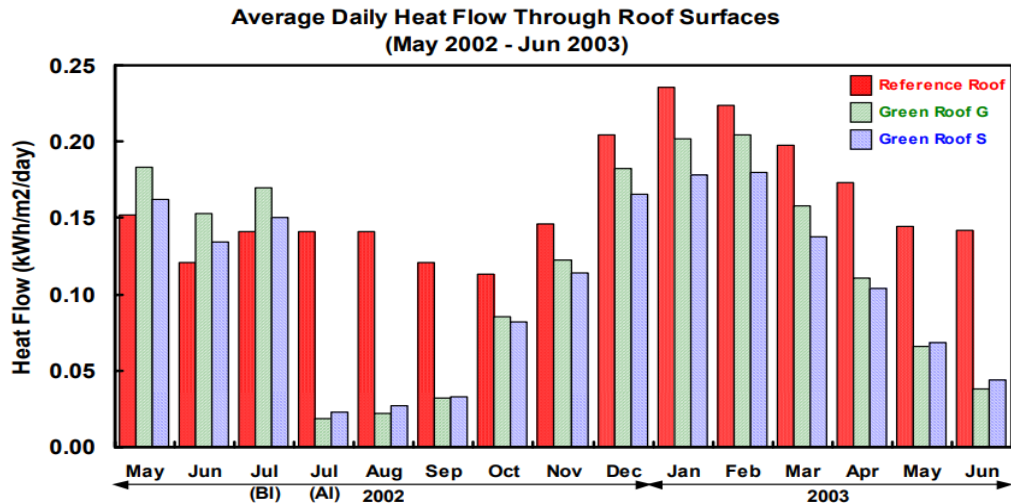
Tarkasteltavat viherkattorakenteet vastaavat pitkälti suomalaista rakennustapaa. Tarkojoja U-arvoja ei rakenteelle ole esitetty. Yläpohjarakenne viherkaton alapuolella on kaikissa tarkasteltavissa rakenteissa samanlainen, mutta viherkatto-osassa on hieman eroja. Viherkatto S koostuu EPS-kuivatuslevystä, suodatinkankaasta, tummasta ja kevyestä 75 mm paksuisesta kasvualustasta, jossa on huokoisia keraamisia rakeita, sekä kasvillisuudesta. Viherkatto G puolestaan koostuu puolijäykästä muovisesta salaoja- ja suodatinmatosta, kasvualustamatosta, johon juuret kiinnittyvät, ja pieniä vaaleita rakeita sisältävästä kasvualustasta, jonka paksuus on 100 mm, sekä kasvillisuudesta. (Liu & Baskaran 2005)

Huomioitavaa tutkimuksessa on se, että kasvillisuus ei kehittynyt ensimmäisenä vuonna hyvin, joten istutus tehtiin uudelleen. Tutkimuksen aikana kasvillisuutta oli muodostunut vain noin 5 %:iin lopullisesta pinta-alasta. (Liu & Baskaran 2005)

Vertailurakenteeseen eli bitumikatteiseen kattorakenteeseen verrattuna kesäolosuhteissa molempien viherkattorakenteiden lämpötila jäi huomattavasti pienemmäksi ja lämpötilamaksimi saavutettiin myöhemmin. Bitumikatteisessa vertailurakenteessa vesieristeen lämpötila nousi lähelle 70 astetta ja maksimi saavutettiin iltapäivällä kahden aikaan. Molemmissa viherkattorakenteissa vesieristeen lämpötila jäi alle 40 asteen ja maksimilämpötilat saavutettiin vasta illalla kuuden jälkeen. (Liu & Baskaran 2005)

Viherkattorakenteet vähensivät merkittävästi lämmön siirtymistä kattorakenteen läpi ja myös viivästyttivät lämpövirtauksen alkamishetkeä. Tavanomaisessa kattorakenteessa lämmön kertyminen käynnistyi jo varhain aamulla. Molemmissa viherkatoissa lämpöä vapautui aamupäivällä ja lämmön kertyminen käynnistyi vasta iltapäivällä. (Liu & Baskaran 2005) Tulosten perusteella viherkatot toimivat lämpövirtauksen hidastimina ja rajoittajina, vaikka viherkatolla ei olisi edes juurikaan kasvillisuutta. Hyötyjä olisi todennäköisesti muodostunut enemmänkin, jos kasvipeite olisi ollut täysin muodostunut.

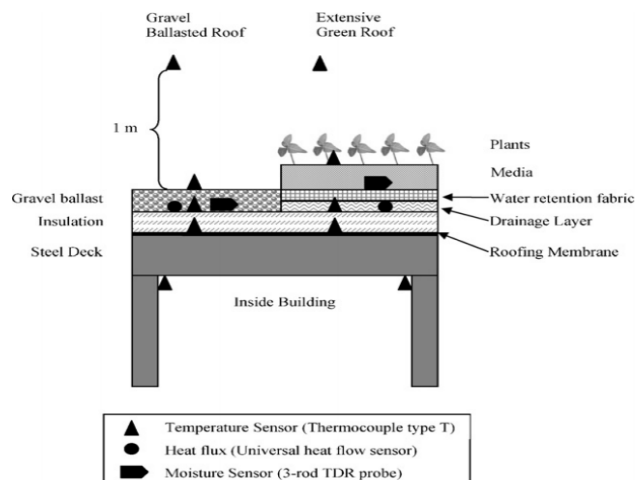
Mittausten perusteella viherkattorakenne G oli hieman tehokkaampi vähentämään lämmön kulkua paksumman ja vaaleamman kasvualustansa ansiosta viherkattorakenteeseen S verrattuna. Paksumman kasvualustan ansiosta viherkattorakenne G:n kokonaisuudunta oli suurempaa, mikä tuotti lisää viilennystä. Tutkituilta viherkatoilta muodostui kesällä 70 – 90 % vähemmän lämpövirtausta verrattuna tavanomaiseen kattorakenteeseen. (Liu & Baskaran 2005) Viherkatoista aiheutuu huomattavasti vähemmän viilennystarvetta tavanomaiseen bitumikermikattoon verrattuna. Syntynyttä viilennystä voidaan tehostaa vaaleammalla ja paksummalla kasvualustalla. Kuvassa 9 on esitetty tutkituista kattorakenteista mitatut keskimääräiset päivittäiset lämpövirrat.



Kuva 9. Keskimääräiset lämpövirrat päivässä kattorakenteiden läpi. AI: after installation/ asennuksen jälkeen. Punainen on vertailukattorakenne.

Viherkattorakenteet asennettiin vasta heinäkuussa 2002. Kuvasta 9 huomataan, kuinka lämpövirta aleni viherkattorakenteissa selvästi kesällä asennuksen jälkeen. Talvella ero vertailurakenteeseen ei ollut yhtä suuri, mutta silloinkin lämpövirtaus oli vertailukaton läpi suurempi kuin tarkasteltujen viherkattorakenteiden.

Getter et al. (2011) tutkimuksessa vertailtiin kahta erilaista kattorakennetta Michiganissa. Vertailtavat katot olivat käännettyjä kattorakenteita, jossa perusrakenteessa oli lämmöneristeen päällä soraa ja viherkattorakenteessa lämmöneristeen päällä juurieriste, salaojamatto, vedenpidätyskangas ja kasvualusta. Käännettyssä rakenteessa lämmöneriste on vedeneristeen päällä. Kasvualustana käytettiin esikasvatettua vihermattoa, jossa oli kasvillisuutena maksaruohoa. Kuvassa 10 esitellään tutkimuksessa käytetyt rakenteet.



Kuva 10. Tutkimuksessa tarkastellut rakenteet (Getter et al.2011)

Tarkkoja U-arvoja ei tällekkään rakennukselle ole esitetty. Artikkelissa on tarkasteltu tuloksia yhden vuoden ajalta, jolloin ulkolämpötilat vaihtelivat noin -7,7 ja 28,5 asteen välillä. Ilmasto oli kesällä kostea ja lämmin. Talvella se oli kylmä ja luminen. (Getter et al. 2011)

Tutkimuksen perusteella viherkattorakenteessa lämpövuoto on kesällä 167 % pienempi kuin sorapintaisessa vertailurakenteessa. Sorapintainen kattorakenne lämpeni kesällä, kun taas viherkatto viilensi rakennusta. Lämpövuonon ero oli hieman suurempi kuin muissa vastaavissa tutkimuksissa, mihin he olivat verranneet. (Getter et al. 2011) Lämpövuonon ollessa näin suuri kattorakenteiden välillä, voidaan olettaa, että muutos johtaisi myös energiansäästöön kesällä. Ilmasto oli kuitenkin kostea ja lämmin, mikä mahdollisti suuret kokonaishaihdunnat. Tutkijat pohtivat, että lisäämällä kosteutta vielä, olisi voitu saavuttaa vieläkin suurempi viilennysvaikutus.

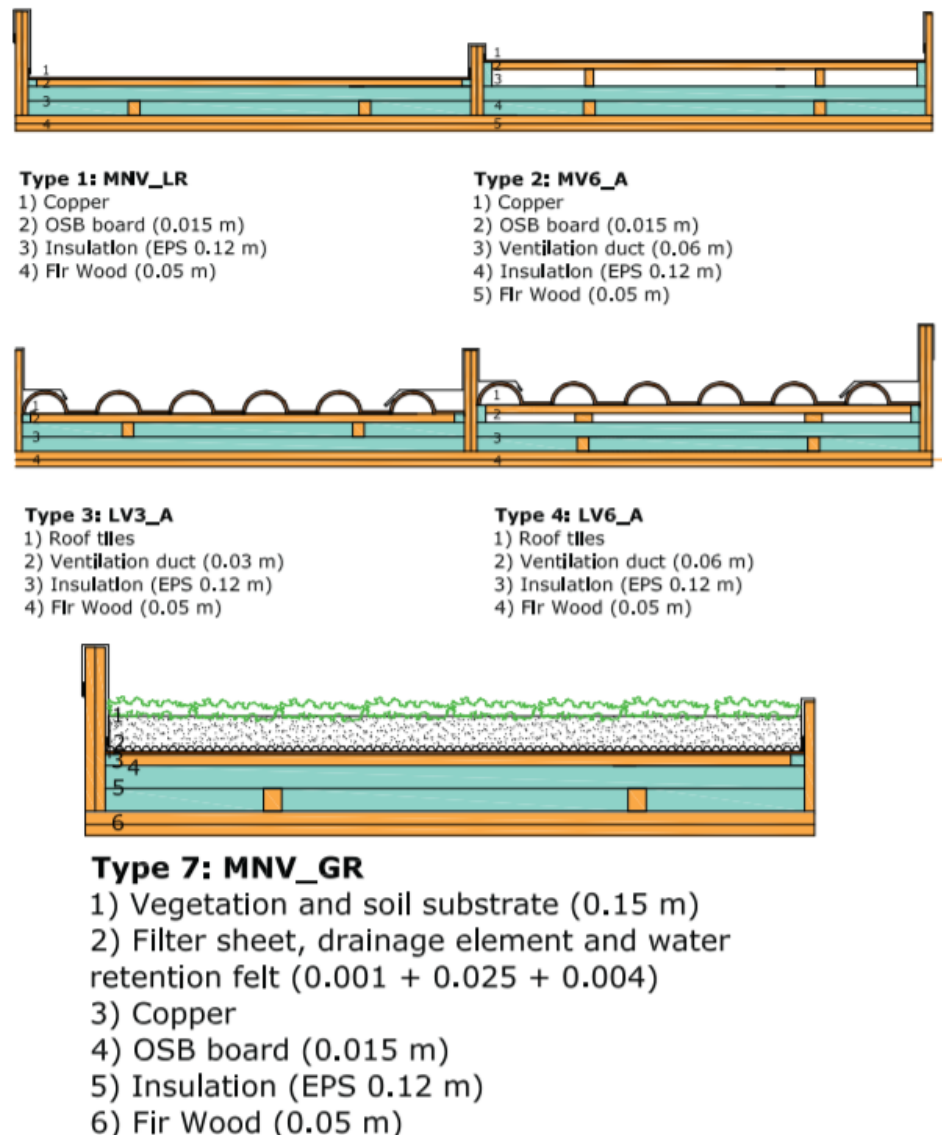
4.2.2 Viherkaton toiminta talvella

Liu & Baskaran (2005) raportoiman torontolaisen tutkimuksen mukaan viherkatto vähensi energiakulutusta talvella 10 – 30 %. Viherkatto S oli talvella 10 % tehokkaampi kuin viherkatto G, koska kuivatuskerroksessa käytetty EPS muodosti paremman lämpöeristyksen. Tutkimuksessa huomattiin, että kasvualusta antaa lisäeristystä rakenteelle, mutta sen jäätyessä tämä efekti häviää. (Liu & Baskaran 2005) Kasvualustaa ei voida siis hyödyntää lämmöneristyksessä talvella, jos se pääsee jäätymään.

Käännettyä kattorakennetta tarkastelevassa Getter et al. (2011) tutkimuksessa mitatut lämpövuotot olivat talvella 13 % pienempiä viherkattorakenteessa kuin sorarakenteessa. Tavanomaisessa katossa lämpövuoto pieneni lumipeitteen tullessa. Viherkatolla se pysyi suhteellisen samana. Vaikka lämpötilat katoilla lumipeitteen alla olivat melkein samantapaiset, oli lämpövuoto viherkaton läpi lopulta pienempi. Tutkimuksessa ei puhuttu mitään viherkaton jäätymisestä. Voidaan kuitenkin olettaa sen olevan jäätymätön, kun eristävyys ei huonontunut pakkasen tullessa.

4.2.3 Viherkatto tavanomaisen lämmöneristetyyn yläpohjan päällä

D’Orazio et al. (2012) tutkimuksessa tutkittiin Italiassa viittä erilaista kattorakennetta: viherkatto, kuparikatto, tiilikatto ja kaksi jälkimmäistä myös pienillä tuuletuksella varusteltuna. Rakenteiden U-arvo vaihteli 0,211 ja 0,244 $W/(K \cdot m^2)$ välillä. Viherkatolla on näistä viidestä katosta paras U-arvo eli 0,211 $W/(K \cdot m^2)$. Kuvassa 11 on esitetty tutkittavat rakennemuodot.



Kuva 11. Tutkimuksessa käytetyt rakenteet: Ylimpänä kuparikatto, keskellä tiilikatto ja alimpana viherkatto (D’Orazio et al. 2012)

Viherkatolta syntyi 1,5 W/m^2 lämpöhäviötä, kun muilta katoilta muodostu enimmillään 2 – 3 W/m^2 , joten ero ei ole kovin huomattava. Viherkatossa tapahtui kuitenkin passiivista

jäähdytystä, mikä vähentää viilennystarvetta. Hyvillä lämmöneristysrakenteilla vaikutus on hieman rajoittuneempaa ja esiintyi vain noin 40 % ajasta. Viherkattorakenteessa lämmön maksimiarvot siirtyivät myöhemmäksi. Viherkattojen pinnalla oli huomattavasti viileämpää kuin muilla katoilla, mikä auttaa lämpösaarekeilmiön kanssa.

Italialaisessa talvessa +3 asteen lämpötilassa muodostui viherkaton ja vertailussa mukana olleille kattorakenteille samansuuruiset lämpövuodot, vaikka viherkatto oli kostea. Tutkijoiden mukaan viherkaton U-arvoa on vaikea määrittää tarkasti. Tarvitaan lisää tutkimusta selvittämään, kuinka paljon se lopulta pienenee kasvillisuuden ja kasvualustan ansiosta. (D’Orazio et al. 2012) U-arvo oli tässä rakenteessa yli kaksi kertaa suurempi kuin Suomessa vaadittu U-arvo. Tulokset viittaavat siihen, että jos kattorakenteessa on suhteellisen hyvä lämmöneristys, ei viherkatoista olisi juurikaan hyötyä lämmöneristävyyden kannalta.

La Roche et al. (2014) tutkimuksessa vertailtiin neljää erilaista kattotyyppiä Los Angelesissa. Tutkimukset tehtiin 1,2 m³:n kokoisille laatikkorakennelmille. Kuvassa 12 on esitetty tutkimuksessa käytetyt rakennelmat.



Fig. 4. Test cells with insulated traditional (cool) roof, non insulated green roof, insulated green roof and variable insulation green roof.

Kuva 12. Tutkimuksessa käytetyt rakennelmat vasemmalta oikealle: tavanomainen vaalea katto, viherkatto ilman lämmöneristystä, lämmöneristetty viherkatto ja viherkatto, jossa oli tuulettuva ilmatila ja ohut lämmöneristys (La Roche et al. 2014)

Tarkasteltava ilmasto oli lämmin ja kuiva. Lämpötila vaihteli 12 ja 35 asteen välillä. Parhaiten toimiva kattorakenne tässä ilmastossa oli tutkimuksen mukaan viherkatto, jossa oli tuulettuva ilmatila. Tuulettuvan ilmatilan avulla saatiin vaihdettua yöaikaan sisäilma viileämpään ulkoilmaan. Tutkimuksessa käy ilmi, että tuulettuva viherkatto olisi tehokas vain noin 15 ja 40 asteen välillä. Muulloin tarvitaan jonkinlaista laitteistoa lämmittämään tai viilentämään rakennetta. (La Roche et al. 2014) Lämpimissä ja kuivissa ilmastoissa, jos ei haluta erikseen kastella viherkattoa, olisi hyvä asentaa tuulettimilla varustettu viherkatto. Tällaisilla alueilla joutuisi muuten kastelemaan niin paljon, että tuulettimet voisivat osoittautua halvemmaksi. Tuulettimien käyttökustannuksiin ei otettu kantaa tutkimuksessa.

Aikaisempiin tutkimuksiin verrattuna tuloksissa oli poikkeavaa se, että viherkatto ei ollut kaikissa tapauksissa tehokkain vaihtoehto, sillä lämmöneristetty viherkatto saattoi välillä jopa ylikuumentua. Viherkatto ilman lämmöneristystä pysyi kesällä viileämpänä. Tutkijat tekivät myös tietokoneella mallinnuslaskelmia erilaisilla lämmöneristyspaksumuksilla ja saivat samansuuntaisia tuloksia. Laskelmissa myös heikommilla lämmöneristyksellä saatiin parempia tuloksia näin lämpimissä olosuhteissa, koska ne pystyivät viilentymään nopeammin yöllä. (La Roche et al. 2014) Ilmastoissa, joissa on vuoden ympäri lämmintä, tulosten perusteella on parempi jättää lämmöneristys pois viherkatosta. Täten saadaan hyödynnettyä viherkattoa maksimaalisesti ja saadaan hyödynnettyä paremmin yön viileämpää ilmaa. Tällaisilla alueilla ei ole tarvetta lämmitykseen, joten lämmöneristys ei ole tarpeellinen.

Kun tarkasteltiin viherkaton ja tavanomaisen kattorakenteen energiankulutusta, viherkatto toimi paremmin kuluttaen parhaimmillaan 13 % vähemmän energiaa. Mainitun ylikuumentumisen takia viherkatto kulutti kuitenkin 1 % enemmän energiaa noin kolme kuukautta vuodesta. (La Roche et al. 2014) Eroja kattorakenteiden välille voisi muodostua lisää, jos olot eivät olisi niin kuivat ja kuumat. Tutkimuksessa ei mainittu kastelua, mikä varmasti tehostaisi viherkaton toimintaa. Eli jos verrattaisiin tummaa kattoa kosteaan viherkattoon, voisivat syntyvät erot olla vielä huomattavampia. Kosteassa viherkattossa voisi esiintyä enemmän viilentävää vaikutusta kuten italialaisessa tutkimuksessa havaittiin, ja toisaalta tumma katto absorboisi enemmän lämpöä.

Fengin & Hewagen (2014) tutkimus on ainoa löytämäni tutkimus talven vaikutuksesta viherkattorakenteeseen, jossa on vahva lämmöneristys. Tutkimus on vain simulaatio, eikä ole siinä välttämättä huomioitu kaikkia parametrejä. Tässä kanadalaisessa tutkimuksessa tutkittiin mallintamalla olemassa olevan rakennuksen energiankulutusta. Lämpötiloja vaihdeltiin -10 ja 24 asteen välillä. Rakennuksen yläpohjan U-arvo oli $0,025 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$, joka on vielä parempi kuin Suomessa vaadittu. Viherkaton kasvillisuus muodostui maksaruohosta.

Simulaatiossa verrattiin todellisen rakennuksen ja simuloidun rakennuksen energiankulutusta. Tulokset vastasivat toisiaan ja siten todettiin, että käytetty mallinnusohjelma on validi ja sitä voidaan käyttää myös tarkastelemaan toisenlaisia skenaarioita. Todellisessa rakennuksessa oli vain puolikas viherkattoa. Ohjelmassa simuloitiin rakennus kokonaisuella viherkatolla ja täysin ilman viherkattoa. Mallinnuksen perusteella viherkatosta syntyy tavanomaiseen kattorakenteeseen verrattuna 3 % energiansäästö viilennyistä varten kesäolosuhteissa. Tämä osoittaa, että vaikka rakennuksessa on erittäin hyvä lämmöneristys, voi viherkatolla olla mahdollisuus viilentää hieman. Talvella eroja ei kuitenkaan syntynyt minkään rakennustyyppin välillä lämmityskuluja tarkasteltaessa. (Feng &

Hewage 2014) Liian tehokas lämmöneristys rajoittaa selkeästi viherkatolta saatavia hyötyjä.

Casteleton et al. (2010) kertoivat heidän tutkimuksessaan Englannista, että vanhemmat rakennukset ovat tavanomaisesti heikommin eristettyjä ja täten viherkatoilla voidaan saavuttaa enemmän energiansäästöjä. He löysivät lukuisia vanhempia rakennuksia, missä on hyödynnetty juuri tätä periaatetta. Näitä rakennuksia ei ole edes tarvittu muokata rakenteellisesti millään tavalla, vaikka viherkatolta aiheuttikin lisäpainoa.

Suomessakin on useita vanhoja rakennuksia, joissa on vähemmän tehokkaita lämmöneristeitä kuin nykypäivän rakennuksissa. Näissäkin rakennuksissa voitaisiin hyödyntää viherkatolta muodostuvia energiansäästöjä. Näitä vanhempia rakennelmia pitää vain tarkastella etukäteen, että ne varmasti kestäisivät viherkaton lisäpainon.

4.2.4 Pakkasen ja lumen vaikutus viherkattoihin

Osana Viides ulottuvuus tutkimusohjelmaan on tutkittu viherkattojen soveltuvuutta suomalaisiin kylmiin olosuhteisiin. Collins et al. (2017) tutkimuksessa Suomesta tarkastellaan kuutta 1 * 2 * 1,5 m kokoista styroksilaatikkoa, jossa kolmessa on viherkattorakenne ja lopuissa kolmessa on vanerilevy päällä. Jokaisessa laatikossa käytettiin 22,5 W tehoista lämmitystä. Lämpötilat tutkimuksen aikana vaihtelivat -20 ja 12 asteen välillä.

Tutkimus osoittaa, että kasvualustan jäätyessä rakenteen eristävyys paranee. Päinvas-tainen reaktio voi muodostua kuitenkin, jos kasvualustan kosteus onkin liian suuri. Lisäeristykseen arvellaan johtuvan vesisiltailmiön (*Bridge water effect*) katkeamisesta. Kyseisessä ilmiössä lämpö johtuu veden mukana. Kosteuden pitäisi olla alle 15 – 20 %, että jäätyminen riittää katkaisemaan johtumisen. Kasvualustan kosteuden ollessa yli sen arvon pysyvät johtumiskanavat yhtenäisinä ja jopa huonontavat eristävyyttä. Ennen talven tuloa on siis hyvä yrittää kuivattaa viherkattoa ja saada liiallinen kosteus pois. (Collins et al. 2017)

Tulokset vastasivat muiden vastaavassa ilmasto-olosuhteissa tehtyjen aikaisempien tutkimuksien tuloksia. Tulokset selittävät myös aikaisemman kanadalaisen Liu & Baskaran (2005) tutkimuksen tulokset, joiden mukaan jäätyminen johti huonompaan tulokseen viherkatolla. Kyseisessä tilanteessa oli siis todennäköisesti kasvualustan kosteus yli 20 %. Tulokset selittivät myös Getter et al. (2011) tutkimuksen tulokset, missä talvella viherkaton lämmöneristävyys ei huonontunut. Heidän viherkattorakenteessaan oli myös alle 20 % kosteuspitoisuus koko talven paitsi tammikuussa, jolloin se nousi 25 %.

Lumen sataessa sekä tavanomainen että viherkatto hyötyivät lumesta, joka lisää rakenteen lämmöneristystä. Tutkimuksen mukaan tavanomainen kattorakenne sai suuremman hyödyn lumikerroksesta, mutta ei kuitenkaan lopulta toiminut tehokkaammin kuin viherkatto. Lumikauden lopussa ja alussa vertailukatto menetti lumikerroksen mukanaan tuomat hyödyt nopeammin, koska lumi sulii pois siltä nopeammin kuin viherkatolta. (Collins et al. 2017) Tämä näkyi myös Getter et al. (2011) tutkimuksessa, missä viherkatolla oli lunta 78 päivää ja sorakatolla vain 34 päivää. Viherkatto voi siis hyödyntää lunta lämmöneristeenä huomattavastikin pidemmän aikaa kuin tavanomainen katto.

Viherkaton säästämä energia oli 27,5 – 35 %. Tutkijat toteavat, että saatuja tuloksia ei voi kuitenkaan suoraan verrata tuotettaviin rakennuksiin ja ovat täten suuntaa antavia. Tutkijat ehdottavat, että heidän tuloksensa vahvistettaisiin vielä lisätutkimuksilla ja tutkittaisiin kasvualustoja, jossa vaihdeltaisiin kosteuspitoisuuksia. (Collins et al. 2017) Tulokset vaikuttavat kuitenkin olevan oikeita, vaikka ei tehty oikealle rakennukselle. Kuten tutkijat olivat maininneet, olisi kuitenkin hyvä tarkastella vielä useampia kasvualustatyyppisiä, niin saadaan yhtenäinen periaate, että mikä olisi lopulta se optimaalinen kosteusprosentti.

4.2.5 Viherkattojen kasvualusta ja kasvillisuus

Kasvualustan paksuudella on merkitystä erityisesti talvioloissa sen antaman lisäeristykseen ansiosta. Suomalaisessa tutkimuksessa todettiin, että pakkasolosuhteissa liiallinen kosteus vaikuttaa negatiivisesti. Casteleton et al. (2010) ovat saaneet myös samanlaisia tuloksia plussa-asteissa. He kertovat, että mitä enemmän vettä, sitä huonompi U-arvo kasvualustalle muodostuu. He toteavat kasvualustan paksuuden tuovan lisää eristävyyttä, mikäli sen huokoset ovat pääosin ilmalla täyttyneitä, sillä ilma on parempi eriste kuin vesi. Lämmitysvaiheessa kosteuden pitää siis olla tarpeeksi pieni, ettei muodostu haittavaikutuksia. Suomessa se käytännössä tarkoittaisi, että kosteus saisi olla suhteellisen alhaalla läpi vuoden paitsi kesällä. Täten saadaan viherkattoa hyödynnettyä lämmöneristeenä kuin -johteena.

Paksu kasvualusta pidättää ohutta enemmän vettä. Tällöin tapahtuu myös enemmän kokonaishaihduntaa (Susca 2019). Kasvualustan pitää olla tarpeeksi kostea, jotta saadaan viherkatosta viilennyshyödyt irti. Silva et al. (2016) Portugalista saivat samanlaisia tuloksia myös heidän viherkattosimulaatiossaan, jossa tutkittiin kolmea erilaista viherkattorakennetta ja niiden vaikutusta lämmönsiirtymiseen. Tutkimuksessa todettiin, että mitä intensiivisempää kasvillisuutta viherkatossa on, sitä paremmat viilennysominaisuudet,

koska isoimmilla kasveilla on parempi kyky haihduttaa. He saivat myös talvella samantaisia tuloksia. Kesällä hyödynnetty viilennysominaisuus haittasi hieman lämmitystilanteessa. Lämmitysvaiheessa intensiivinen viherkatto menestyi tämän takia huonoiten ja parhaiten vähiten kasvillisuutta sisältävä viherkatto. Viherkatot menestyivät kuitenkin paremmin kuin tavallinen katto. (Silva et al. 2016) Viilennyksen näkökulmasta olisi siis hyvä aina istuttaa mahdollisimman rehevää kasvillisuutta viherkatolle. Kyseistä simulaatiota olisi hyvä vielä kokeilla kylmemmissä oloissa ja seurata miten kasvusto käyttäytyy silloin. Myös kuivissa oloissa on tiettyyn pisteeseen saakka todettu, että kastelemattomat viherkatot pystyvät viilentämään. Kosteuspitoisuuden laskiessa liian alas kuitenkin on osoitettu, että viherkatto on merkityksetön tai huonompi kuivissa oloissa. Viherkattoja joudutaan näissä tilanteissa erikseen kastelemaan, jotta voisi tapahtua haihduntaa. (Susca 2019) La Roche et al. (2014) tutkimuksen perusteella, kun ilmasto oli niin kuiva ja lämmin, viherkatto oli välillä jopa hieman huonompi kuin tavanomainen katto. Viherkatto ei siis välttämättä kuivissa olosuhteissa tuota energiansäästöjä viilennyksen kannalta, jos joudutaan kastelemaan paljon. Vesi voi tällaisilla alueilla olla rajoitettu luonnonvara ja tehden siitä suhteellisen kallistakin.

Tutkimustulokset viittaavat siihen, että viherkattorakenteessa on oltava hyvä vedensääteilyjärjestelmä Suomen vaihtelevien vuodenaikojen takia. Silloin voidaan hyödyntää viherkattoja maksimaalisesti eikä ainakaan lisätä energiankulutusta. Kesällä tarvitaan viilennystä varten suhteellisen paljon kosteutta ja ennen talven tuloa haluttaisiin kosteus taas suhteellisen alas, jotta saavutettaisiin mahdollisimman suuri lämmöneristyskyky.

4.2.6 Viherkattojen maantieteellinen sopivuus

Suscan (2019) tutkimuksessa esitettiin yhteenveto, mille maantieteellisille alueille viherkatot sopivat ja miten ne vaikuttavat näissä ilmastoissa. Viherkatot jaotellaan tutkimuksessa kahteen ryhmään, jotka ovat viherkatto ilman lämmöneristystä ja viherkatto lämmöneristyksellä. Näitä kahta ryhmää tarkastellaan lämmityksen ja viilennyksen näkökulmasta. Huomioitavaa on, että suurin osa aineistona käytetyistä tutkimuksista tarkastelevat suhteellisen lämpimiä oloja Suomeen verrattuna. Kaikki Pohjoismaat jäävät siis tutkimuksen ulkopuolelle. Eristyspaksuuksia ei mainita tarkemmin, kerrotaan vain, että rakenteessa on lämmöneriste. Kuvassa 13 on esitetty eristysettömien viherkattojen vaikutus lämmityksen energiankulutukseen.

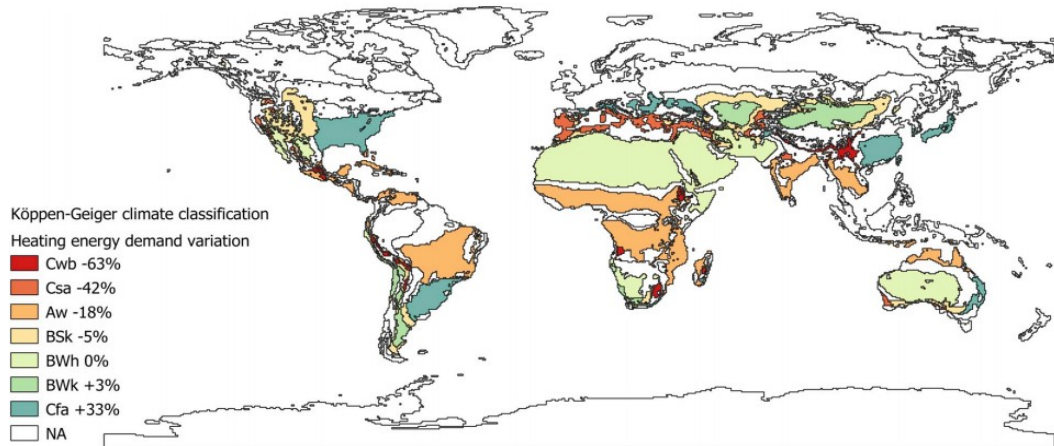


Fig. 4. Variation in heating building energy-demand due to the installation of green roofs on non-insulated rooftops. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

Kuva 13. Eristyksettömien viherkattojen vaikutus lämmityksen energiakulutukseen (Susca 2019)

Useimmilla alueilla viherkatoista on hyötyä, vähentäen jopa 63 % lämmityskuluja. Kuitenkin alueilla, jotka ovat lämpimiä ja tosi kosteita, voivat viherkatot lisätä lämmityksen energiakulutusta jopa 33 % prosenttia. (Susca 2019) Lisäkustannukset johtuvat todennäköisesti siitä, että kosteuden ja lämpötilan ollessa korkeita muodostuu liikaa kokonaishaihduntaa, jota ei haluta lämmitysolosuhteissa.

Kuvasta 14 nähdään, kuinka viherkatto ilman lämmöneristystä vähentää viilennyksen energiakulutusta 9 – 75 %. Brasilian olosuhteissa saavutetaan eniten hyötyjä. Pohjois-Afrikassa ja Australiassa vähinten. (Susca 2019)

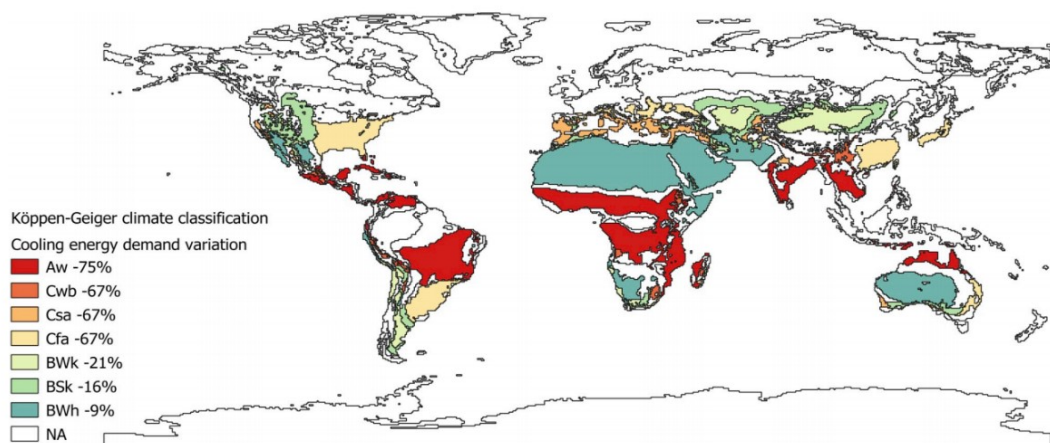


Fig. 5. Variation in cooling building-energy demand due to the installation of green roofs on non-insulated rooftops. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

Kuva 14. Eristyksettömien viherkattojen vaikutus viilennyksen energiakulutukseen (Susca 2019)

Lämmityksen energiakulutuksessa viherkatot sellaisissa kattorakenteissa, joissa on lämmöneristys, auttoivat parhaimmillaan 32 %. Paras hyöty saavutettiin suhteellisen lämpimissä ja kuivissa oloissa. (Susca 2019) Kuvassa 13 on esitetty viherkaton vaikutus

lämmityksen energiankulutukseen kattorakenteissa, joissa on lämmöneristys. Kuten kuvasta näkyy, pohjoiselta pallonpuoliskolta ei ole juurikaan tuloksia käytettävissä, mikä on harmillista, sillä siellä lämmityksen osuus rakennuksen energiankulutuksesta on merkittävä ja lämmöneristys on merkittävä osa yläpohjarakennetta.

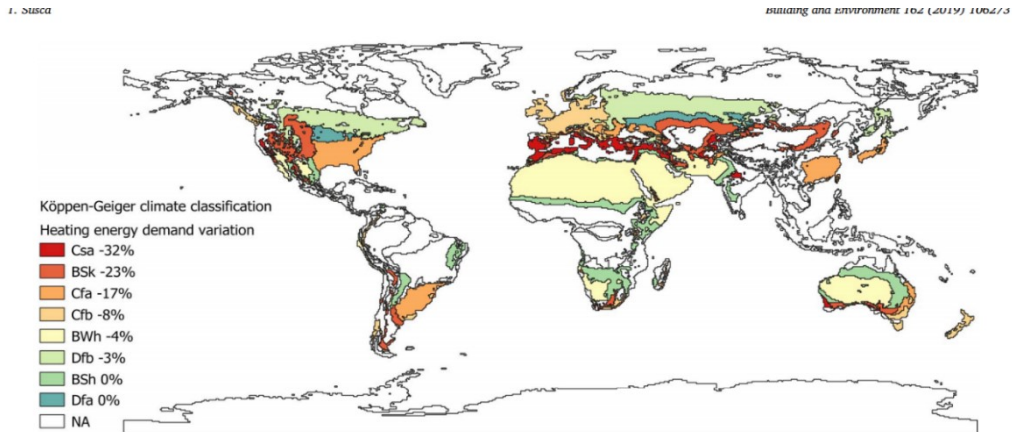


Fig. 6. Variation in heating building-energy demand due to the installation of insulated green roofs. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

Kuva 15. Vaikutus lämmityksen energiankulutukseen viherkatoilla, jossa on lämmöneristys (Susca 2019)

Viherkatto ilman eristystä vähensi energiankulutusta viilennyksen suhteen kaiken tyyppisissä ilmastoissa. Tosin pohjoisen pallonpuoliskon osalta tuloksia ei ollut käytettävissä. Kuvan 15 perusteella myös viherkatto, jossa on lämmöneristys, pienentää energiankulutusta viilennyksen suhteen kaikilla tarkastelluilla ilmastotyyppialueilla. Viilennyksessä syntyvistä kuluista viherkatto eristyksellä auttaa noin 5 – 13 %. (Susca 2019)

Tutkimuksen perusteella kuivilla ja lämpimillä alueilla viherkatosta on eniten hyötyä viilennykseen. Näillä alueilla on todennäköisesti kasteltu paljon, jotta on saatu viherkatosta maksimaaliset hyödyt irti. Kuvassa 16 on vaikutus viilennykseen viherkatoilta, joissa on eristys.

legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

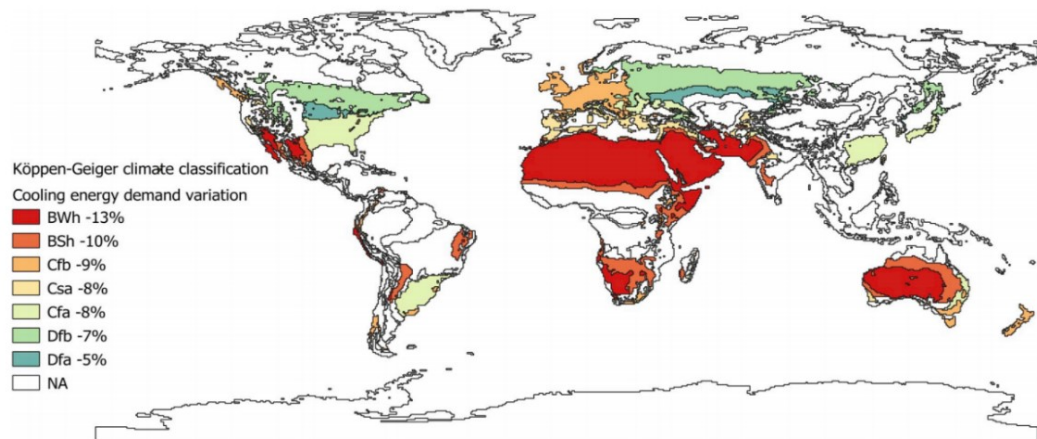


Fig. 7. Variation in cooling building-energy demand due to the installation of insulated green roofs. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

Kuva 16. Vaikutus viilennyksen energiankulutukseen viherkatoilla, jossa on eristys (Susca 2019)

Kyseisen tutkimuksen mukaan viherkatoista olisi siis hyötyä aina viilennyksen energiankulutuksen suhteen riippumatta siitä, oliko rakenteessa lämmöneristys tai ei. Huomataan kuitenkin, että viherkatoilta saadut hyödyt pienevät, kun lämmöneristys laitetaan väliin. Viherkatot lisäsivät joillakin alueilla lämmityksen energiankulutusta, kuten havaittiin muutamissa tosi lämpimissä ja kosteissa olosuhteissa. Lämmöneristyksen asentaminen viherkaton alle ei kuitenkaan lisää missään ilmastossa lämmityskuluja.

Tutkimus osoittaa myös, että viherkattojen tehokkuuteen vaikuttaa lopulta monta eri asiaa. On vaikea arvioida, kuinka merkittäviä energiakulutuksen kannalta saadut hyödyt lopulta ovat. Tutkimuksessa havaitaan samoissa ilmastoissa huomattavia eroja juuri tästä syystä. Jotta saadaan viherkatolta energiankulutushyötyjä, on varmintä asentaa jonkinlainen lämmöneristys. Silloin voi olla varma, että saadaan positiivinen reaktio ja eikä muodostu haittavaikutuksia. Alueilla, jotka ovat suhteellisen lämpimiä vuoden ympäri kuten Välimeren alueella, tulokset osoittavat kuitenkin, että maksimaaliset hyödyt viherkattorakenteesta saavutetaan ilman lämmöneristystä.

Jotta saisi ainakin jonkinlaisen näkemyksen mahdollisista energiansäästöistä, voi olla hyvä tehdä tai teettää laskelma omasta rakennuksesta. Tähän voi käyttää samoja ohjelmia, mitä aikaisemmissa tutkimuksissa on käytetty.

5. JATKOTUTKIMUSTARPEET

Kandidaattityössä jäi useita asioita avoimeksi erityisesti Suomessa tärkeän lämmöneristävyyden osalta, jos tarkastellaan etenkin viherkaton ominaisuuksia talviolosuhteissa. Seuraavia asioita kannattaisi vielä tutkia viherkatoista:

- Kasvillisuuden vaikutus talviolosuhteissa
- Toiminta talvioloissa, erityisesti viherkatto hyvällä lämmöneristyksellä
- Optimaalinen lämmöneristyspaksuus
- Optimaalinen kasvualustan kosteus talviolosuhteissa
- Kasvualustan paksuus kylmissä olosuhteissa
- Juurien määrän vaikutus lämmöneristykseen

Erityyppisiä kasvillisuuksia ja niiden vaikutusta lämmöneristävyyteen ei ole tutkittu talviolosuhteissa. Kesän osalta tiedetään, että intensiivisemmällä kasvistolla on kesällä paremmat viilennysominaisuudet. Talvella kasvit ovat kuitenkin lepotilassa.

Paksun lämmöneristykseen rakenteista ei ole tehty tutkimuksia kovilla pakkasjaksoilla. Kirjallisuusselvityksessä löydettiin vain yksi simulaatiotutkimus, jossa ei ole välttämättä kaikkia parametrejä otettu huomioon. Olisi hyvä tutkia myös suomalaisten lämmöneristämiskaavimusten mukaisen viherkattorakenteen toimintaa ja tehokkuutta. Olisi hyvä tutkia myös, mikä on viherkattorakenteessa lämmöneristeen optimaalinen paksuus tai rakenteen U-arvo. Olisi hyvä tutkia myös, milloin saadaan eniten hyötyjä viherkatoilta niin viilennyksen kuin lämmityksen suhteen.

Kuten Collins et al. (2017) kertoivat, olisi hyvä vielä tarkastaa, mikä olisi optimaalinen kosteusprosentti talviolosuhteissa. Kosteusprosentin määrittämisen jälkeen pitäisi vielä tarkastaa, että päteekö se samalla tavalla muunkin tyyppisille kasvualustoille ja viherkattorakenteille.

Kasvialustojen optimipaksuutta ei tarkasteltu myöskään kylmissä olosuhteissa. Sen tiedetään toimivan lämmöneristeenä kosteuden ollessa tarpeeksi alhaalla, mutta ei ole tiedossa, onko erilaisilla paksuuksilla huomattaviakin eroja.

6. YHTEENVETO

Kandidaatintyössä haettiin vastausta kysymykseen, ovatko viherkatot hyödyllisiä lämmöneristyksen kannalta. Ongelmana monissa tutkimuksissa oli, että niissä tarkastelujen kattorakenteiden U-arvot olivat liian korkeat, jos verrataan Suomen vaatimuksiin. Ilmasto-olosuhteet näissä tutkimuksissa olivat myös suhteellisen lämpimiä Suomeen verrattuna. Tarvittaisiin täten lisää tutkimusta kylmemmistä oloista ja Suomea vastaavista ilmastoista, jotta saataisiin tarkempi kuva, miten viherkatot täällä käyttäytyisivät lämmöneristävyyden kannalta. Tutkimuksissa tarkastellut rakenteet ja niistä saadut tulokset eroavat toisistaan melko huomattavasti. Tulokset ovat kuitenkin samansuuntaisia. Kuten Laurila et al. (2014) totesivat, viherkatoilta saatavan lämmöneristykseen määrään vaikuttaa niin moni tekijä, että on vaikea muodostaa yleispätevää periaatetta saatavasta hyödystä.

Viherkattojen lämpötekniiseen toimintaan vaikuttavat useat tekijät. Merkittävin vaikutus on ilmastolla ja siihen liittyvillä tekijöillä kuten lämpötilalla ja kosteudella. Lämpötilan ja kosteuden ollessa korkeita on viherkatoilla viilentävä efekti. Lämpötilan ja kosteuden ollessa alhaalla vaikuttaa viherkatto eristävänä rakenteena. Kasvillisuuden ja kasvualustan intensiivisyyden määrä vaikuttavat myös viilennys- ja lämmöneristysmekanismeihin. Eristys ja viilennysvaikutukset kasvavat, kun kasvillisuuden ja kasvualustan intensiivisyys kasvaa. Jos lämmöneristys on tehokas, viherkaton lämpötekniiset vaikutukset vaimentuvat. Tutkimuksista selviää kuitenkin, että viherkatot, jossa ei ole tehokasta lämmöneristystä, ovat aina hyödyllisiä lämmityksestä ja viilennyksestä aiheutuvan energiankulutuksen kannalta ilmastosta riippumatta.

Suomen ilmasto-olosuhteissa lämmöneristysvaatimukset ovat huomattavasti vaativammat kuin suurimmassa osassa maailmaa, joten täällä ei saada viherkattorakenteista yhtä paljon hyötyä lämmöneristyksen kannalta ainakaan uudisrakennuksissa. Viherkatoilla on kuitenkin muitakin hyötyjä tarjota, kuten hulevesien hallinta, ääneneristävyys, viihtyvyys ja yleinen hyötykäyttö. Hyödyt ovat suoraan verrannollisia kasvillisuuden kokoon ja laajuuteen. Mitä enemmän ja isompaa kasvillisuutta on, sitä enemmän hyötyjä saadaan.

Viherkatoilta ei toki muodostu vain hyötyjä. Viherkatoilla on myös rajoittavia tekijöitä. Kaikki rajoitukset liittyvät pääosin niiden painoon. Eniten hyötyjä tuottava intensiivinen kasvillisuus aiheuttaa eniten lisäkuormitusta alla oleviin rakenteisiin. Painavammille viherkatoille tarvitaan kestävämmät rakenteet, jotka kestävät nämä lisäkuormitukset.

LÄHTEET

Castleton, H.F., Stovin, V., Beck, S.B.M. & Davison, J.B. (2010), Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit, *Energy & Buildings*, vol. 42, no. 10, pp. 1582–1591.

Collins, S., Kuoppamäki, K., Kotze, D.J. & Lü, X. (2017), Thermal behavior of green roofs under Nordic winter conditions, *Building and Environment*, vol. 122, pp. 206–214.

Czemieli Berndtsson, J. (2010), Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review, *Ecological Engineering*, vol. 36, no. 4, pp. 351–360.

Dongfang, Z. (2017). Germany's green roofs offer lesson on climate change adaptation. *Chinadialogue*, verkkojulkaisu. Saatavissa (viitattu 12.03.2020): <https://www.chinadialogue.net/article/show/single/en/9979-Germany-s-green-roofs-offer-lesson-on-climate-change-adaptation>

D’Orazio, M., Di Perna, C. & Di Giuseppe, E. (2012), Green roof yearly performance: A case study in a highly insulated building under temperate climate, *Energy & Buildings*, vol. 55, pp. 439–451.

Feng, H. & Hewage, K. (2014), Energy saving performance of green vegetation on LEED certified buildings, *Energy & Buildings*, vol. 75, pp. 281–289.

Getter, K.L., Rowe, D.B., Robertson, G.P., Cregg, B.M. & Andresen, J.A. (2009), "Carbon sequestration potential of extensive green roofs", *Environmental science & technology*, vol. 43, no. 19, pp. 7564.

Getter, K.L., Rowe, D.B., Andresen, J.A. & Wichman, I.S. (2011), Seasonal heat flux properties of an extensive green roof in a Midwestern U.S. climate, *Energy & Buildings*, vol. 43, no. 12, pp. 3548–3557.

Grand view research (2019). Green Roof Market Size, Share, Industry Analysis Report, 2019-2025, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.03.2020): <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/green-roof-market>

Gynther L. (2019). Energian loppukäyttö. Motiva, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 13.2.2020): <https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto suomesa/energian loppukaytto>

Helsingin yliopisto (2019). Viides ulottuvuus viherkatot ja viherseinät osaksi kaupunkia, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.05.2020): <https://www.helsinki.fi/en/researchgroups/fifth-dimension-green-roofs-and-walls-in-urban-areas/research>

Ilmasto-opas.fi (2014). Lämpösaarekeilmiön ymmärtäminen tukee kaupunkisuunnittelua, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 05.03.2020): https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/sopeutuminen/-/artikkeli/ce71e82c-24a4-4566-985a-8955d12b717c/lamposaarekeilmiön-ymmärtäminen-tukee-kaupunkisuunnittelua.html#ref_OKE73

Kotitalo (2019). Mitä hyötyä on taloyhtiön viherkatosta, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 16.05.2020): <https://www.kotitalolehti.fi/viherkatot-tulevat-kaupunkeihin/>

La Roche, P. & Berardi, U. (2014). Comfort and energy savings with active green roofs, *Energy & Buildings*, vol. 82, pp. 492–504.

Laurila, S., Jyrkänkallio-Mikkola, J., Mesimäki, M., Kallio, P., Kuoppamäki, K., Nieminen, H & Lehvävirta, S. (2014). Normeja viherkatoille - perusteita kehittämiseen. Helsingin yliopisto, koulutus- ja kehittämiskeskus Palmenia, Euroopan unioni. Euroopan aluekehitysrahasto, Helsinki.

Leppänen, M. (2020) Vedeneristyksen tukkeutuminen. Suullinen kertominen. (viitattu 16.05.2020)

Liu, K. & Baskaran, B. (2005). Thermal performance of extensive green roofs in cold climates, Proceedings of the 2005 World Sustainable Building Conference, Tokyo, Japan, pp. 27.

Merisalo, M. (2014). Viherkattorakenteiden kehitys ja niiden soveltuvuus Suomen olosuhteisiin. Opinnäytetyö, Metropolian Ammattikorkeakoulu.

North Carolina Climate Office. Evaporation, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 16.05.2020): <https://climate.ncsu.edu/edu/Evap>

RaMk (2017). Suomen rakentamismääräyskokoelma. 1010/2017 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Saatavissa (viitattu 16.5.2020): https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuuss

RT 85-11203 (2016). Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet. Rakennustietosäätiö.

RT 85-11204 (2016). Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, kasvillisuus ja kasvualusta. Rakennustietosäätiö.

RT 85-11205 (2016). Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, rakenteet. Rakennustietosäätiö.

Saari, H., Sirviö, J. & Viiri, J. (2013). *Physica 2, Lämpö*. Helsinki: Sanoma Pro OY.

Shafique, M., Kim, R. & Rafiq, M. (2018). Green roof benefits, opportunities and challenges – A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 90, pp. 757–773.

Shafique, M., Xue, X. & Luo, X. (2020). An overview of carbon sequestration of green roofs in urban areas, *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 47.

Silva, C.M., Gomes, M.G. & Silva, M. (2016). Green roofs energy performance in Mediterranean climate, *Energy & Buildings*, vol. 116, pp. 318–325.

Snodgrass, E. Creeping Sedums, these colorful perennials fit into many niches, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 16.05.2020): <https://www.finegardening.com/article/creeping-sedums>

Snow J. (2016). “Green roofs take root around the world”. *National Geographic*. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 02.03.2020): <https://www.nationalgeographic.com.au/nature/green-roofs-take-root-around-the-world.aspx>

Susca, T. (2019). Green roofs to reduce building energy use? A review on key structural factors of green roofs and their effects on urban climate, *Building and Environment*, vol. 162.

Teemusk, A. & Mander, Ü. (2007). Rainwater runoff quantity and quality performance from a greenroof: The effects of short-term events, *Ecological Engineering*, vol. 30, no. 3, pp. 271–277

(USEPA) United States Environmental Protection Agency (2008). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies, Chapter 3: Green Roofs. Verkkójulkaisu. Saatavissa (viitattu 05.03.2020): <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>