

<https://helda.helsinki.fi>

Esiselvitys viherkattojen elinkaarianalyysistä ja kestävästä rakennerratkaisuista

Veuro, Sini

2012-12-21

Veuro , S , Mesimäki , M & Lehvävirta , S 2012 , Esiselvitys viherkattojen elinkaarianalyysistä ja kestävästä rakennerratkaisuista . <

http://www.luomus.fi/kasvitiede/tutkimus/viherkatot/Esiselvitys_viherkattojen%20LCA.pdf >

<http://hdl.handle.net/10138/39203>

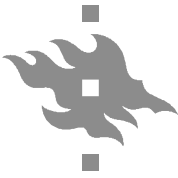
submittedVersion

Downloaded from Helda, University of Helsinki institutional repository.

This is an electronic reprint of the original article.

This reprint may differ from the original in pagination and typographic detail.

Please cite the original version.



Kuvat: Malgorzata Gabrych /IKANO koeviherkatto

Viherkattojen elinkaarianalyysi ja kestävät rakenneratkaisut

ESISELVITYS

Helsingin yliopisto
Viides ulottuvuus – viherkatot osaksi kaupunkia -tutkimusohjelma
Sini Veuro, Susanna Lehvävirta, Marja Mesimäki

Rahoitus: Kiinteistöalan Koulutussäätiö Kiinko 2012

SISÄLTÖ

1	Johdanto	3
	Viherkatto.....	5
2	Elinkaarianalyysi (LCA)	7
	Viherkaton elinkaaren vaiheet	9
	Kansainvälinen elinkaaritutkimus.....	11
	Viherkattoihin liittyviä lämpö- ja energiatutkimuksia	15
	Viherkattojen vaikutus lämpösaarekeilmiöön	18
	Kasvualustaan liittyviä tutkimuksia	19
3	Koeviherkatot	22
	Kasvualusta koeviherkatoilla.....	22
4	Jatkotoimet.....	24
	Tutkimustarpeet	24
	Lähteet	26



1 Johdanto

Viides ulottuvuus – viherkatot osaksi kaupunkia on tieteidenvälinen tutkimusohjelma, jonka puitteissa rakennetaan tieteellistä perustaa parhaiden mahdollisten viherkattoratkaisujen tuottamiseksi suomalaisiin olosuhteisiin. Kestävän kehityksen näkökulmasta viherkattojen elinkaarenaikaiset vaikutukset ja rakenneratkaisut ovat oleellisia kysymyksiä. Maailmalla on tehty vain vähän aiheeseen liittyvää tutkimusta eikä tuloksia voida suoraan soveltaa Suomeen. Muualla tehty tutkimus antaa kuitenkin hyvän lähtökohdan suomalaiselle tutkimukselle.

Viherkattojen suosio on kasvussa niin Euroopassa kuin muualla maailmassa. Myös Suomessa on viime vuosina virinnyt keskustelua viherkattojen hyödyistä. Viherkattojen rakentamista perustellaan esimerkiksi hulevesien hallinnalla ja biologisen monimuotoisuuden lisäämisellä. Vaikka viherkatot tuotteena saattavatkin tarjota ympäristövastuullisen ratkaisun moniin kaupunkialueita vaivaaviin ongelmiin, ei itse viherkattojen elinkaaren aikaisista ympäristövaikutuksista ole paljoakaan julkista tietoa. Elinkaarilaskenta tarjoaa tähän työkalun. Sen avulla voidaan selvittää muiden muassa kattorakenteiden materiaalien, kasvualustojen ja kasvimattojen valmistukseen kuluva energia sekä viherkaton elinkaaren aikana syntyvät kasvihuonekaasupäästöt tai vaikutukset vesistöihin. Elinkaarilaskennan tutkimustuloksia voidaan hyödyntää suomalaisten viherkattojen suunnittelussa ja rakentamisessa. Laskennan avulla voidaan tunnistaa tuotteita ja tuotantotapoja, jotka tukevat esimerkiksi materiaalitehokkaita rakennusratkaisuja. Tällaisia ovat muun muassa kierrätettyjen materiaalien käyttö, sivutuotteiden hyödyntäminen, rakennusjätteen määrän minimointi ja paikallisten raaka-aineiden käyttö (Rakennus- ja kiinteistöalan tulevaisuuden näkymiä 2012). Elinkaarilaskennan tulokset tarjoavat myös vastauksen asiakkaiden ja sidosryhmien kysymyksiin tuotteen ympäristövaikutuksista sekä auttavat viherkattoryityksiä niiden omissa ympäristöasioiden hallinnassa.

Viherkattojen elinkaarilaskenta tuottaa tietoa viherkattojen ympäristövaikutuksista, jotka ovat yksi tekijä parhaita viherkattovaihtoehtoja valittaessa. Kokonaisuuteen vaikuttavat lisäksi viherkattojen tuottamat hyödyt, viherkattojen taloudellinen ulottuvuus ja viherkattoja koskevat ohjauskeinot. Nämä eri ulottuvuudet on esitetty kuvassa 1.

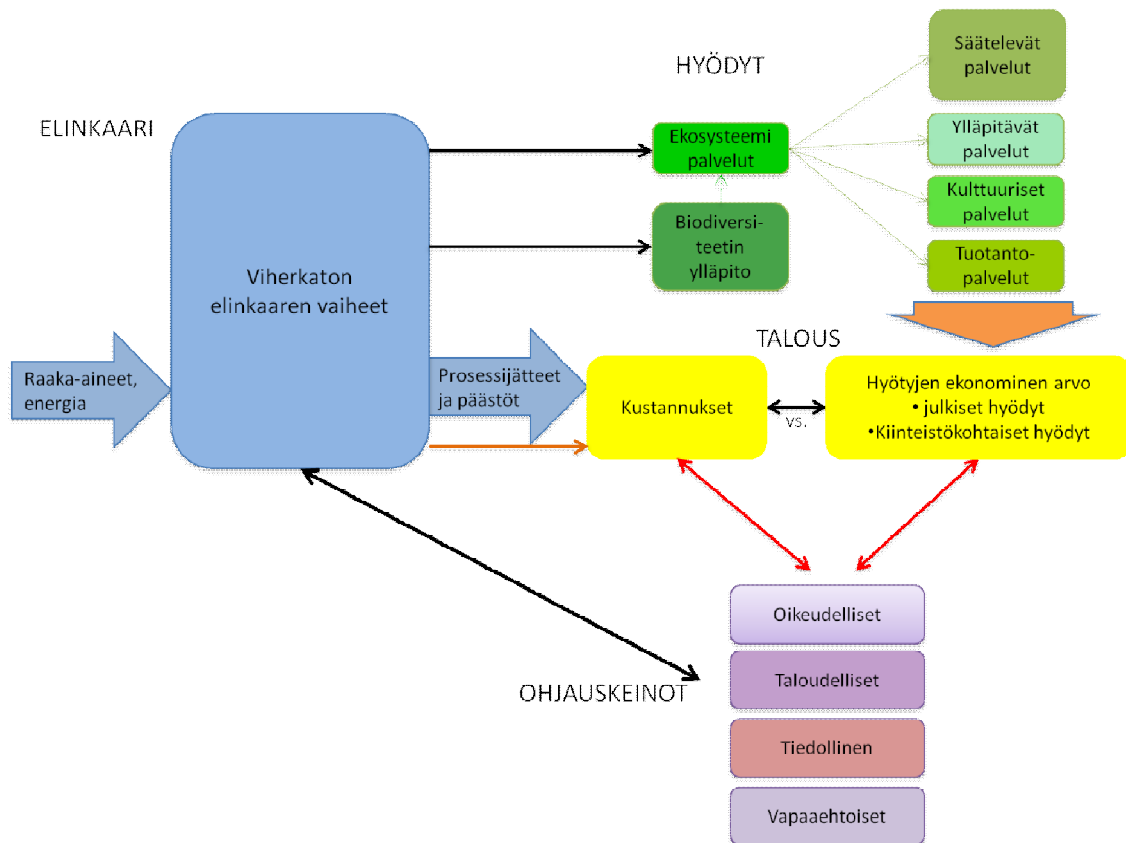
Viherkatto on ihmisen tuottama ekosysteemi, joka tarjoaa ekosysteemipalveluita muiden ekosysteemien tavoin. Ekosysteemipalvelu tarkoittaa ihmisen luonnosta saamia hyötyjä. Olemme luokitelleet ekosysteemipalvelut sääteleviin, ylläpitäviin, kulttuurisiin ja tuotantopalveluihin Millenium Ecosystem Assessment:n (2005) mukaan.

Säätelevistä palveluista tarkastellaan tässä raportissa lämpösaarekeilmiön hallintaa, rakennusten energiankäyttöä sekä lyhyesti hiilidioksiditasetta. Elinkaaritutkimuksessa myös kattorakenteen mekaanisella kestävyydellä on suuri rooli. Viherkatto suojaa kattorakenteita sään aiheuttamalta

mekaaniselta rasiukselta ja ultravioletisäteilyltä, ja näin ollen viherkatto kestää kauemmin kuin kasvipeitteetön katto.

Ekosysteempipalveluja on usein vaikea arvottaa rahassa, sillä taloudelliset vaikutukset ovat usein tutkimatta eikä ekosysteempipalveluille ole osoittanut välttämättä suoraa rahallista arvoa. Viides ulottuvuus - tutkimusohjelmassa Ilmatieteen laitos tutkii suomalaisen viherkaton kustannuksia ja hyötyjä ja muuttaa ekosysteempipalveluita ja muita viherkatoista koituvia hyötyjä taloudellisiksi hyödyiksi eri arvottamismenetelmien avulla. Hyödyt toteutuvat usein pitkällä tulevaisuudessa tai pitkän aikajakson aikana, jolloin ne täytyy diskontata eli nykyarvoistaa. Näitä hyötyjä verrataan viherkaton hankkimisesta koituihin kustannuksiin. Hyödyt voidaan myös jakaa julkisiin hyötyihin ja kiinteistökohtaisiin hyötyihin. Julkiset hyödyt koituvat kaikille (esimerkiksi ilmansaasteiden sitominen), kun taas kiinteistökohtaiset hyödyt koituvat vain kiinteistön omistajalle (esimerkiksi rakennuksen energiansäästö). Mikäli julkiset hyödyt ovat paljon suuremmat kuin yksityiset hyödyt, ei viherkaton hankkiminen ole kiinteistön kannalta välttämättä taloudellisesti kannattavaa, ilman yhteiskunnan tarjoamaa taloudellista kompensatiota tai tukea.

Ohjausvaikutuksen aikaansaamiseksi tarvitaan lainsäädäntöä ja muita ohjauskeinoja, jotka muokkautuvat sen mukaan, kuinka paljon ja millaista viherkattoihin liittyvää tietoa on tarjolla. Viherkattoihin liittyvää lainsäädäntöä esitellään hieman tarkemmin esityksessä Viherkatot pykälissä (Borgström, 2012).

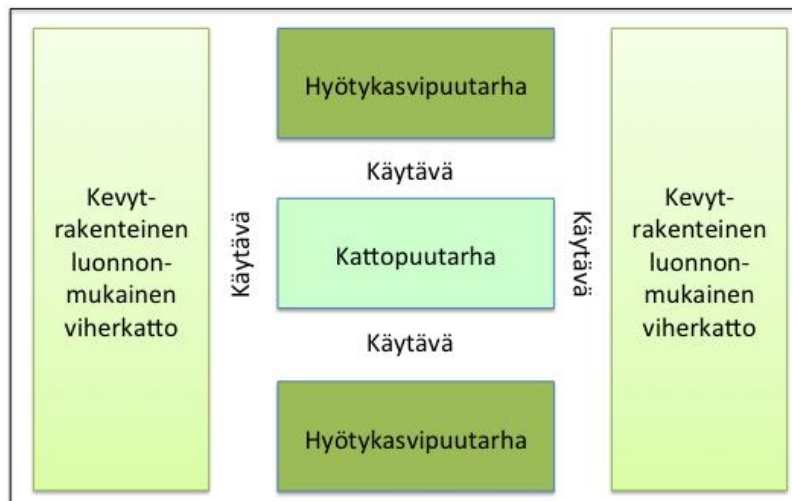


Kuva 1 Viherkaton elinkaarilaskennan yhteydet ekosysteempipalveluihin, talouteen ja ohjauskeinoihin.

Tässä esiselvityksessä kootaan yhteen tietoa viherkaton elinkaaren aikaisista vaikutuksista. Kappale 2 keskittyy tarkastelemaan elinkaarilaskentaa sekä elinkaarilaskentaan liittyviä tutkimuksia. Kappaleessa 3 kerrotaan tutkimusohjelman koeviherkatoista ja kappaleessa 4 pohditaan jatkotutkimustarpeita. Seuraavassa tarkastellaan lyhyesti viherkaton rakenneseosia.

Viherkatto

Viherkatot ovat kattoja, joilla on kasvillisuutta ja kasvillisuuden edellyttämät alusrakenteet. Viherkattoja on monenlaisia keveistä ohutrakenteisista katoista painaviin paksukasvualustaisiin kattoihin¹. Viherkatot räätälöidään käyttötarpeen mukaan, ja samalla katolla voi olla useita eri osioita hoitovapaasta luonnonmukaisesta kasvillisuudesta vaativiin puutarhaelementteihin. Kuvassa 2 on esitetty esimerkki monikäyttöisestä viherkatosta.



Kuva 2 Monikäyttöinen viherkatto, jolla on useita eri osioita.

Viherkattoratkaisuja on monia yksinkertaisista varsin monimutkaisiin. Edellytyksenä viherkaton perustamiselle on kuitenkin kattorakenteiden riittävä kantavuus ja hyvä vedeneristys. Avaintekijöitä onnistuneen viherkaton rakentamisessa ovat toimiva veden poistuminen katolta, juurisuojaus, kasvualusta ja kasvit. Tosin esimerkiksi sammalkatolla kasvualustaa ei välttämättä tarvita. Juurisuojakaan ei aina käytetä, jos katolla on hyvin ohut kasvualusta ja ainoastaan sammalia ja maksaruohoja, joilla ei ole voimakkaita juuria.

¹ Kansainvälisessä kirjallisuudessa puhutaan usein ekstensiivisistä (extensive) ja intensiivisistä (intensive) viherkatoista. Tämä luokitus on mielestämme harhaanjohtava. Sen sijaan erilaisia viherkattoja voidaan määritellä esimerkiksi seuraavien ominaisuuksien mukaan: hoitovapaa – runsaasti hoitoa vaativa; käyttöviherkatto – viherkatto, jolle ei ole pääsyä; paksurakenteinen – ohutrakenteinen; runsaasti vettä pidättävä – vähän vettä pidättävä.

Viherkaton asentamistapa riippuu materiaalivalinnoista. Taulukkoon 1 on listattu erilaisia ratkaisuja ja materiaaleja viherkaton rakenneosiksi sekä huomionarvoisia seikkoja materiaalien ympäristövaikutusten näkökulmasta.

Taulukko 1 Viherkattoratkaisujen materiaaleja.

Kerros	Materiaali	Erityistä ympäristövaikutusten näkökulmasta
Vedeneriste	bitumikermi	hitsaus tai liimaus
	betoni	
	kumibitumialuskermi	kiinnitetään hitsaamalla
Juurisuoja (voi olla yhdistettynä myös salaoja-kerroksessa)	LDPE (muovia)	Plastic Europe ylläpitää avointa tietokantaa muovien elinkaaritiedoista ² .
	kemialliset juurisuojat kuparilevyt ³	Kasvien juuret eivät kestä esim. korkeaa kuparipitoisuutta.
Salaoja + suodatinkangas	Polystryren	Plastic Europe ylläpitää avointa tietokanta muovien elinkaaritiedoista ¹ .
	Polyeten	
	Polyamid	
Vettä pidättävä kerros	kangaskuitu	Valmistetaan lumpusta, puuvillasta ja sidosmateriaaleista.
	kivivilla	Valmistetaan enimmäkseen emäksisistä kivilajeista, mm. basaltista ⁴ . Kivivilla valmistetaan sulatetusta kiviaineksesta, joka kuidutetaan keskipakovoiman avulla. Myös suomalaisesta kivistä tehtyjä tuotteita. ⁵
	lasivilla	Lasivillatuotannon ylijäämätuotteen kierrätysmahdollisuus.

Tähän mennessä Viides ulottuvuus -ohjelman koeviherkatoilla on käytetty viherkattorakenteena kattorakenteen päälle asennettua juuri- ja suojakerrosta (WSB 80, materiaali LDPE), salaojakerrosta (Nophadrain 220, materiaali polystyren) ja kosteutta sitovaa kerrosta (VT-filt, materiaali osittain kierrätetty kangaskuitu). Kaikki edellä mainitut tuotteet voidaan levittää katolle käsin eli asentaminen itsessään ei vaadi energiaa.

² <http://www.plasticseurope.org/>

³ (<http://www.greenroof.se/?pid=32&sub=19>)

⁴ <http://fi.wikipedia.org/wiki/Mineraalivilla>

⁵ <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=88851>

2 Elinkaarianalyysi (LCA)

Elinkaarianalyysi (LCA) on ISO-standardoitu (ISO14040) laskentamenetelmä, jolla selvitetään tuotteiden, prosessien ja systeemien elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia. LCA sisältää myös hiilijalanjäljen ja vesijalanjäljen laskennan. Elinkaarilaskentamenetelmiä on myös muita kuten materiaalivirtoihin keskittyvä MIPS-menetelmä⁶ (Material Input per Service Unit) tai ekologinen jalanjälki⁷ (ecological footprint).

LCA-standardi määrittelee neljä (4) elinkaarilaskennan vaihetta, joita laskennassa on käytettävä. Ne ovat

- 1) tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely
- 2) inventaarioanalyysi (Life Cycle Inventory, LCI)
- 3) vaikutusarviointi (Life Cycle Impact Assessment, LCIA)
- 4) tulosten tulkinta.

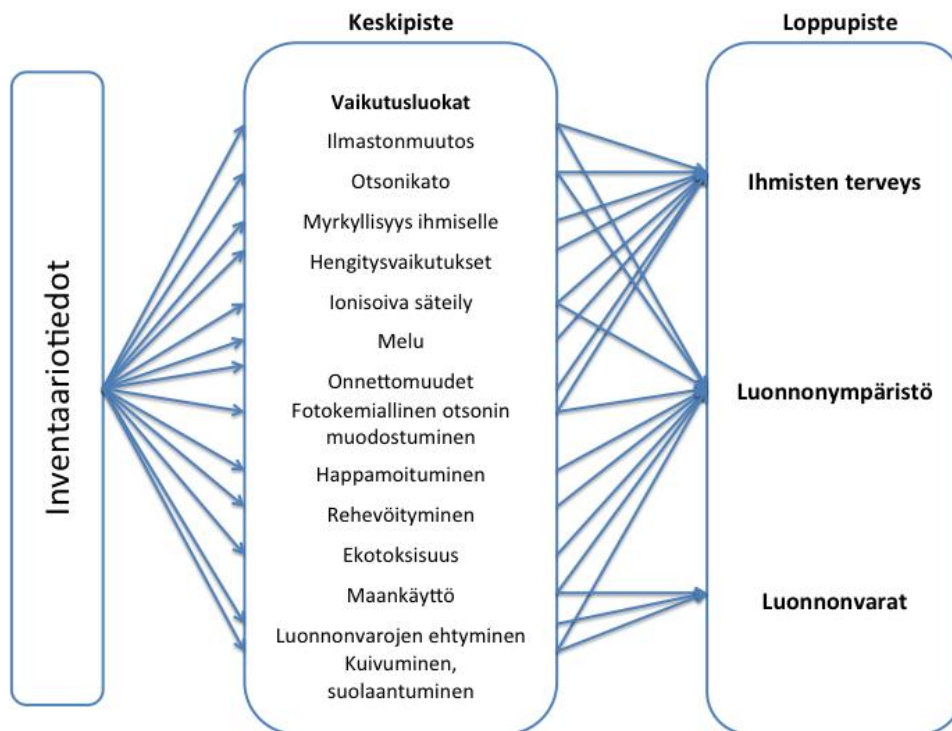
Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely (1) on erityisen tärkeä vaihe, sillä siinä määritellään elinkaaritutkimuksen rajat, tarkkuus sekä tarkasteltava ajanjakso. Tähän vaiheeseen kuuluu myös toiminnallisen yksikön (Functional unit FU) valinta. Elinkaarilaskennan ominainen piirre on se, että tulokset suhteutetaan toiminnalliseen yksikköön. Toiminnallinen yksikkö on tarkasteltavan tuotejärjestelmän tuotosten tai toiminnallisten tuotosten suorituskyvyn mittayksikkö esimerkiksi 1 kg tai 1 m² jotakin tuotetta. LCI-vaiheessa (2) kerätään kaikki tarvittava tieto tuotejärjestelmän elinkaaren aikaisista toiminnoista ja sen tulosten avulla voidaan arvioida potentiaalisten ympäristövaikutusten merkittävyyttä. Tuotejärjestelmällä tarkoitetaan kaikkia niitä yksikköprosesseja, jotka yhdessä kuvaavat tuotteen tai palvelun elinkaarta, ja joita yhdistävät materiaali- ja energiavirrat. LCIA-vaiheessa (3) laajennetaan ja syvennetään LCI -vaiheessa kerättyä tietoa elinkaarimetodologioiden avulla. Metodologioita on muutamia erilaisia mutta kaikkien tarkoituksena on summata ja yksinkertaistaa LCI-vaiheessa kerättyä dataa muutamaaan muuttuun eli vaikutusluokkaan kuten esimerkiksi happamoituminen, ilmastovaikutus ja haitallisuus ihmiselle. Tulosten tulkintavaiheeseen (4) sisältyy tuloksiin vaikuttavien tekijöiden tunnistaminen ja tulosten täydellisyyden arviointi sekä johtopäätöksien tekeminen tuloksista. (Antikainen 2010.)

⁶ Calculating MIPS – Resource productivity of products and services
<http://www.econstor.eu/bitstream/10419/59294/1/485276682.pdf> tai
 Suomen Luonnonsuojeluliiton opas Mika MIPS?
<http://www.sll.fi/mita-me-teemme/tuotanto-ja-kulutus/mips/ekologinen-selkareppu> (viitattu 20.12.2012)

⁷ Global Footprint Network <http://www.footprintnetwork.org/> (viitattu 20.12.2012)

Vaikutusarviointi (LCIA)

Elinkaarilaskennassa vaikutusarviointi suoritetaan LCI-vaiheen jälkeen. LCI-vaiheessa kerättyä tietoa käytetään LCIA:n pohjalla. LCIA-metodologioita on useita mutta kaikki ne arvioivat haitallisten toimien tai päästöjen potentiaalista vaikutusta yleisesti hyväksytyille ns. suojeltaville kohteille eli vaikutusarvioinnin loppupisteille (end-points) (Kuva 3). Loppupisteinä käytetään kolmea tai neljää suojeltavaa kohdetta, jotka ovat yleisimmin ihmisten terveys, luontoympäristö ja luonnonvarat. Vaikutusarviointimallinnuksessa käytetään yleisesti kahta erilaista lähestymistapaa eli äsken mainittua loppupistemallinnusta sekä keskipistemallinnusta (midpoint). Keskipistemallinnuksessa käytettävät vaikutusindikaattorit on valittu alkutilanteen ja loppupisteen väliltä kuvaamaan potentiaalista ympäristövaikutusta ja indikaattoreiden määrä vaihtelee metodologiasta riippuen. Yleisesti tunnettu keskipistemallinnuksen esimerkki on ilmastonmuutosvaikutusluokka, joka on kuvattu CO₂-ekvivalentteina. On olemassa muutamia LCIA-metodologioita, jotka sovittavat yhteen keskipiste- ja loppupistemallinnuksen. Näitä ovat mm. ReCiPe (Sleeswijk ym. 2008) ja Impact 2002+ (Jolliet ym. 2004, Rosenbaum ym. 2007). Yleensä suositaan keskipistemallinnuksen käyttämistä, koska tuloksien katsotaan olevan luotettavampia ja läpinäkyvämpiä. (Antikainen ym. 2010.)



Kuva 3 Esimerkki elinkaarilaskennan vaikutusluokista (keskipistemallinnus) ja suojeltavista kohteista (loppupistemallinnus) (redrawn from Antikainen ym. 2010).

Elinkaarianalyysin tekeminen on paljon tietoa vaativa prosessi, joka voi olla raskas suoritettava. Mikäli aikaa ja resursseja ei ole suorittaa standardin mukaista elinkaariarviointia, voidaan tehdä yksinkertaistettu elinkaariarviointi (streamlined LCA) tai valita vain oman toiminnan sekä haitallisen ympäristömuutoksen kannalta merkittävimmät avainindikaattorit. LCA-laskentametodologia kehittyy koko ajan ja uusia sekä suosiotaan kasvattavia LCA-laskentatapoja ovat muun muassa panos-tuotos -LCA (Environmental Input-Output -LCA, EIOLCA⁸) ja hybridi-LCA⁹, joka on panos-tuotostmallin sekä LCA:n yhdistelmä. (Antikainen ym. 2010.)

Viherkaton elinkaaren vaiheet

Viherkaton elinkaaren vaiheet on esitetty kuvassa 4. Viherkaton valmistaminen vaatii energiaa ja raaka-aineita, ja systeemistä tulee ulos päästöjä ilmaan ja veteen sekä kiinteitä jätteitä. Elinkaarensa aikana viherkatto myös sitoo itseensä päästöjä. Katon rakenteet ovat muutoin viherkatosta riippumattomia, mutta kantavien rakenteiden lujuuden täytyy olla sellainen, että rakenne kestää viherkaton painon. Rakennusmateriaalia tarvitaan sitä enemmän, mitä painavampi viherkatto rakennukseen tulee.

Viherkattoratkaisuja on monenlaisia, ja katossa voi olla erilaisia rakennekerroksia muutamasta useaan. Peruskattorakenteeseen kuuluu vedeneriste. Sen lisäksi viherkattoon tarvitaan kasvit ja kasvualusta sekä yleensä juurisuoja ja usein vielä tasakatoilla¹⁰ salaojakerros. Juurisuoja, vedeneriste ja mahdollinen salaojakerros on yleensä valmistettu raaka-aineista, joiden jalostus tuotteeksi vaatii runsaasti energiaa ja kemikaaleja. Raaka-aineina ovat usein erilaiset muovit kuten polystyreeni ja LDPE.

Kasvualustan valmistus voi olla myös yllättävän energia-intensiivistä, mikäli raaka-aine tuodaan ulkomailta tai valmistetaan esimerkiksi kovassa lämpötilassa polttamalla. Viides ulottuvuus -tutkimusohjelmassa haetaan lähtökohtaisesti kotimaisia raaka-aineita ja tuotteita, jolloin esimerkiksi yleisesti viherkattojen kasvualustana käytetty laavakivi karsiutui pois vaihtoehtoista. Kierrätettyjen, vähemmän käsittelyä vaativien ja lähialueilta tulevien raaka-aineiden käyttäminen voi olla myös elinkaarinäkökulmasta katsottuna suositeltavampaa. Viides ulottuvuus -tutkimusohjelmassa tutkittaviksi kasvualustan materiaalivaihtoehtoiksi koeviherkatolle valittiin kompostimulta, puunkuorike, rahkasammalrouhe ja teollisuuden sivutuotteena syntyvä tiilimurska. Lisäksi koealueilla tutkitaan kalkkikiven ja biohiilen vaikutusta mm. kasvien hyvinvointiin.

Viherkaton kokoamisesta koituvat ympäristövaikutukset riippuvat paljon siitä, millaisista osista viherkatto koostuu ja asennetaanko katolle valmiita kasvillisuusmattoja, kylvetääkö sinne siemeniä tai pistokkaita vai istutetaanko astiataimia. Esimerkiksi tuotteesta riippuen vedeneristeen asennus saattaa edellyttää

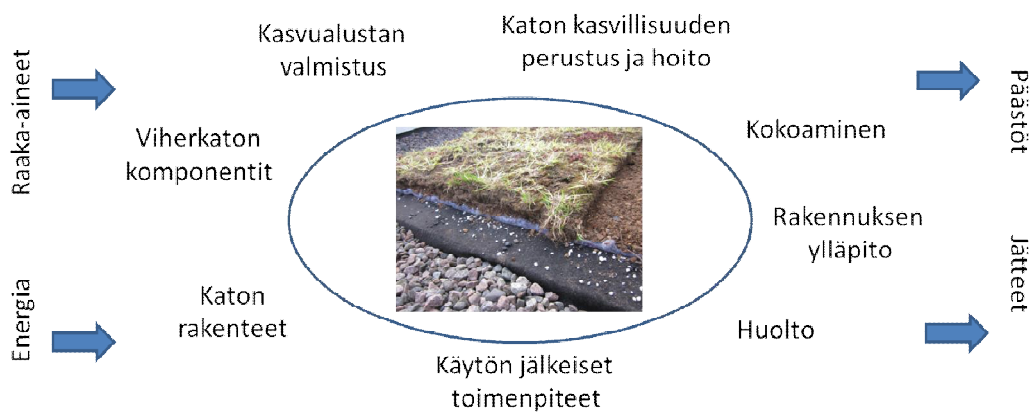
⁸ EIOLCA (<http://www.eiolca.net>, viitattu 28.11.2012)

⁹ Suh ym. 2004.

¹⁰ Vähimmäiskaltevuus viherkatolle täytyy aina olla noin 1:80 – 1:20 (1,25-5 %).

hitsaamista, joka taas kuluttaa energiaa. On myös vaihtoehtoja, jossa hitsaamista ei tarvita vaan osat voidaan asentaa "kylminä", jolloin energiankulutus jää pienemmäksi. (Peri ym. 2011.) Kasvualustan levittämiseen katoille on myös eri tapoja. Kasvualusta voidaan ruiskuttaa katolle, nostaa nosturilla tai tuoda hissillä. Valittavalla tavalla on vaikutusta ainakin polttoaineen ja sähkön käyttöön. Katoille kylvettävät siemenet eivät vaadi esikasvatusta vaan ne kylvetään suoraan katoille. Tällöin kasvimattoja ei tarvitse kuljettaa eikä hoitaa ennen katolle asentamista.

Rakennuksen ylläpito on merkittävä vaihe viherkaton elinkaareissa, koska se on ajanjaksoltaan pitkä. Elinkaaritutkimuksissa on oletettu viherkaton iäksi 45 - 50 vuotta (Kosareo ym. 2006, Saiz ym. 2006). Käyttövaiheen aikana katto saattaa tarvita huoltoa tai ylläpitoa, esimerkiksi lannoitteiden käyttöä, riippuen katon käyttötarkoituksesta. Luonnonmukainen viherkatto ei vaadi paljoakaan toimenpiteitä, kun taas puutarhatyyppisellä viherkatolla elinkaaren aikaiset hoitotoimenpiteet voivat olla suuressa roolissa. Tämä kaikki tulee huomioida käyttövaiheessa. Käytön jälkeiset toimenpiteet riippuvat paikallisesta jättepolitiikasta, käytettyjen materiaalien uudelleenkäyttömahdollisuuksista sekä kierrätettävyydestä.



Kuva 4 Viherkaton elinkaaren vaiheet.

Viherkaton valmistaminen, asentaminen, käyttö ja käytön jälkeiset toimenpiteet vaativat energiaa ja raaka-aineita. Esimerkiksi sillä, miten viherkattorakentamisessa käytetty sähkö on tuotettu tai mitä luonnonvaroja materiaaleina käytetään, on suuri merkitys katon elinkaareen aikaisiin vaikutuksiin. Elinkaaren aikana syntyy päästöjä vesiin ja ilmaan sekä kiinteitä jätteitä. Suurin osa päästöistä ja jätteistä syntyy elinkaaren alkupäässä katon rakenteiden, viherkaton osien (komponenttien) ja kasvialustan valmistuksessa. Käyttövaiheella on kuitenkin suuri merkitys, koska se kestää pitkään ja katto mm. sitoo käyttövaiheen aikana ilmansaasteita ja pienhiukkasia sekä voi mahdollisesti vähentää rakennuksen energiankulutusta.

Mikäli kattoa kastellaan tai lannoitetaan, syntyy käyttövaiheen aikana enemmän ympäristöä kuormittavia tekijöitä. Toisaalta, jos katon kasvillisuus voi paremmin, se voi myös sitoa itseensä enemmän päästöjä.

Viherkatto voi toimia myös hiilinieluna, mutta tätä vaikutusta on tutkittu hyvin vähän (Dunnet ym. 2008). Kaiken kaikkiaan kaupunkien viheralueiden merkitystä hiilinieluna on tutkittu vähän ja tutkimus on haastavaa sisältäen paljon epävarmuustekijöitä (Strohbach ym. 2012). Getter ym. (2009) ovat kuitenkin tutkineet aihetta viherkattojen osalta ja tulleet tulokseen, että viherkatot ovat potentiaalisia hiilensitojia. He toteavat myös, että kasvualustalla ja kasvilajeilla on suuri merkitys hiilensitomiskykyyn. Getter ym. laskevat tutkimuksessaan, että ensimmäisten yhdeksän vuoden aikana kuuden senttimetrin paksuisella kasvualustalla varustettu maksaruohokatto sitoo itseensä kasvihuonekaasupäästöjä määrän, joka on vapautunut viherkaton valmistusprosessissa. Tämän jälkeen sen hiilitase muuttuu negatiiviseksi eli se sitoo elinkaarensa aikana enemmän hiiltä kuin sen tuottamisessa on vapautunut. Vuosien määrä, ennen kuin viherkaton hiilitase muuttuu negatiiviseksi, on riippuvainen viherkaton rakenteista sekä katolla kasvavista kasveista. Getter ym. ovat laskeneet myös, että jos koko seitsemänsadantuhannen asukkaan Detroitin metropolialueen katot muutettaisiin viherkatoiksi, ne voisivat sitoa hiiltä itseensä määrän, joka vastaa 10 000 keskikokoisen rekan poistamista liikenteestä vuoden ajaksi.

Kansainvälinen elinkaaritutkimus

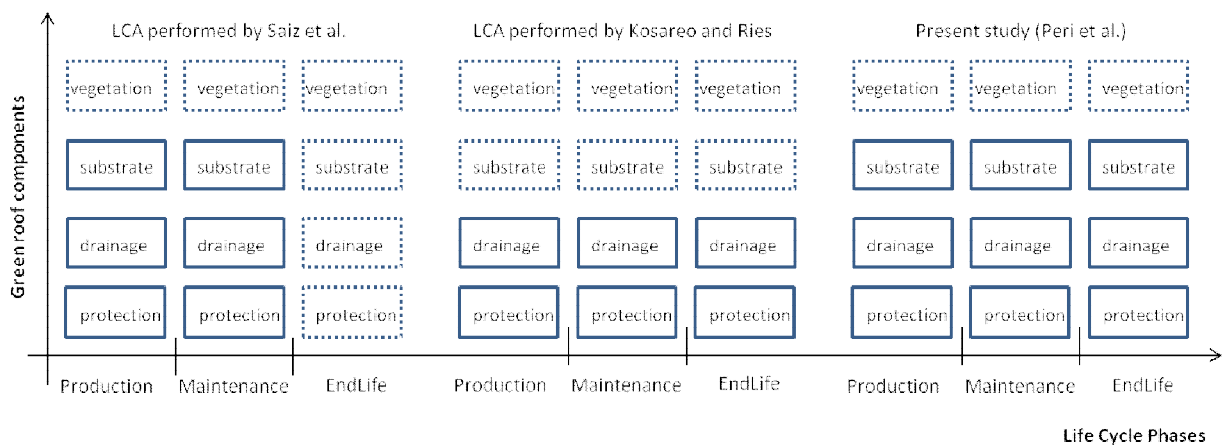
Tieteellisiä artikkeleita ja julkaisuja viherkattojen elinkaarianalyseista löytyi verrattain vähän.

Kasvipeitteettömien kattojen elinkaaritutkimuksia on tehty jonkin verran (esim. Venta ym. 2000) ja viherseinistä on julkaistu ainakin yksi tieteellinen elinkaariartikkeli (Ottele 2011). Tutkimuksia haettiin seuraavilla hakuohjelmilla ja hakulauseilla:

- Google Scholar: green roof life cycle analysis, green roof LCA, green roof OR vegetated roof AND LCA, green roof OR vegetated roof AND life cycle assessment, green roof OR vegetated roof AND sustainability assessment
- EBSCO Host: green roof OR vegetated roof AND LCA, green roof OR vegetated roof AND life cycle assessment, green roof OR vegetated roof AND life cycle analysis, green roof OR vegetated roof AND sustainability, green roof OR vegetated roof AND sustainability assessment
- Web of Science: "green roof" AND LCA, green roof OR vegetated roof AND LCA, green roof OR vegetated roof AND life cycle assessment, green roof OR vegetated roof AND life cycle analysis
- Science Direct: green roof AND LCA, green roof OR vegetated roof AND LCA, green roof OR vegetated roof AND life cycle analysis, green roof OR vegetated roof AND life cycle assessment

Peri ym. (2011) ovat kirjoittaneet konferenssiartikkelin, jossa he käyvät läpi viherkaton ympäristö-, talous- sekä sosiaalisiin elinkaarinäkökulmiin liittyviä asioita. Myös he toteavat, että tieteelliset julkaisut aiheesta ovat vähäisiä ja viherkattojen sosiaalisista elinkaarivaikutuksista (SLCA)¹¹ ei ole julkaistu yhtään tutkimusta. He olivat löytäneet kaksi (esitetään tässä raportissa myöhemmin) viherkattojen LCA-tutkimusta. Peri ym. käyvät artikkelissa läpi LCA-laskennan peruseriaatteet ja korostavat toiminnallisen yksikön valitsemisen tärkeyttä.

Peri ym. (2012) ovat julkaisseet viherkaton kasvualustaan ja koko viherkattosysteemiin liittyvän elinkaaritutkimuksen, joka sivuaa myös yleisiä viherkattojen ympäristöelinkaaritutkimuksia. Alla on heidän tutkimuksestaan otettu kuva 5, joka esittää mitä asioita viherkattojen elinkaarilaskelmissa on mukana ja mitkä on suljettu ulkopuolelle. Peri ym. (2012) tutkimusta käsitellään lisää hieman myöhemmin tässä raportissa.



Kuva 5 Olemassa olevien viherkattojen LCA-tutkimusten systeemirajaukset: katkoviivaiset laatikot eivät ole mukana tarkasteluissa, jatkuviivaiset ovat (redrawn from Peri ym. 2012).

Elinkaarilaskenta vaatii taustalleen paljon tietoa esimerkiksi rakennuksen energiankäytöstä ja kasvualustan raaka-aineista. Näin ollen viherkattoihin liittyvät energiatutkimukset tai yleisemmät kasvualustojen raaka-aineisiin liittyvät tutkimukset tukevat LCA-tutkimusta. Alle on lueteltu muutamia viherkattojen LCA-laskentaan liittyviä tutkimuksia.

Tässä esiselvityksessä käsitellyt tutkimukset ovat pääosin yksittäisiä tapaustutkimuksia, joiden tulokset eivät ole verrannollisia keskenään, eikä niistä voida tehdä yleisiä johtopäätöksiä. Kunkin julkaisun tutkimusteema ja tulokset kuvataan tässä hyvin tiiviisti, ja tarkemmat taustatiedot löytyvät asianomaisesta artikkelista (viitetiedot lähdeluettelossa).

¹¹ SLCA noudattelee LCA-laskennan periaatteita. UNEP on julkaissut SLCA-arvioimiselle ohjeistuksen. UNEP (2009) Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products.

Kosareo, Lisa & Ries, Robert (2007a): Comparative environmental life cycle assessment of green roofs.

Tutkimuksessa tarkasteltiin viherkattoa vähittäistavarakaupan katolla Pittsburghissa Yhdysvalloissa. Tutkimuksessa oli kolme eri skenaariota: sorakatto, luonnonmukainen viherkatto ja kattopuutarha. Sora- ja luonnonmukainen viherkatto toteutettiin oikeasti ja kattopuutarhan tapauksessa käytettiin laskennallista dataa. Elinkaaren vaiheista huomioitiin kaikkien kattojen osalta rakentaminen ja hävitys, sekä sorakaton ja luonnonmukaisen katon osalta myös ylläpito. Tietoa laskelmien taustalle kerättiin materiaaleista ja niiden kuljetusetäisyyksistä, rakennuksen energiankäytöstä sekä katolta valuvan sadeveden laadusta ja määrästä. Myös katon lämpötilaa mitattiin.

Kasvitetut kattovaihtoehdot suoriutuivat kaikissa elinkaarilaskennan vaikutusluokissa paremmin kuin sorakatto. Suurin osa elinkaaren aikaisista ympäristövaikutuksista syntyi käyttövaiheesta eli rakennuksen toiminnasta (energiankäytöstä) 50 vuoden ajalta. Pääosa näistä ympäristövaikutuksista aiheutui hiilellä tuotetusta sähkönkäytöstä sekä maakaasun käytöstä.

Saiz, Susana & Kennedy, Christopher & Bass, Brad & Pressnail, Kim (2006): Comparative life cycle assessment of standard and green roofs.

Tutkimuksessa tarkasteltiin kerrostaloa Madridissa ja mukana oli kolme eri skenaariota: sorakatto, luonnonmukainen viherkatto ja valkoiseksi¹² maalattu katto. Elinkaaren vaiheista huomioitiin materiaalien valmistus ja kuljetus, rakennuksen käyttö ja rakennuksen ylläpito. Rakentamista ja katon hävittämistä ei otettu mukaan laskelmiin, koska niistä ei saatu tarpeeksi luotettavaa tietoa.

Luonnonmukainen viherkatto aiheutti pienimmät ympäristövaikutukset kaikissa elinkaarilaskennan vaikutusluokissa. Eniten ympäristövaikutuksia syntyi sorakatosta. Suurin osa ympäristövaikutuksista (50 - 80 %) aiheutui käyttövaiheen aikana, toiseksi suurimmat vaikutukset tulivat materiaaleista (noin 20 %) ja vähäisin merkitys oli ylläpitovaiheella (katon kunnostus). Käyttövaiheen aikana energiankäytöllä ja erityisesti sähkön käytöllä jäähdytyksessä ja lämmityksessä oli suurin merkitys. Viherkaton hyödyt tulivat selkeästi näkyviin erityisesti jäähdytyksen huippukulutushetken¹³ aikana, jolloin viherkatto vähensi ilmastointitarvetta jopa 25 %.

Elinkaarianalyysin mukaan viherkaton haitallinen ympäristövaikutus kaikissa elinkaarilaskennan vaikutusluokissa oli 1 - 5,3 % pienempi kuin sorakaton tai valkoiseksi maalatun katon vaikutus. Tutkimuksen viherkatto vähensi vuosittaista energiankulutusta 1,2 % verrattuna sorakattoon, koska kesän aikana viilennystarve laski 6 %.

¹² Katon valkoiseksi maalaaminen lisää katon heijastavuutta, jolloin katto sitoo itseensä vähemmän auringon energiaa. Katto ei siis kuumene yhtä paljon kuin tumma katto.

¹³ Huippukulutushetkellä tarkoitetaan englanninkielen termiä Peak hour eli sitä hetkeä, kun esimerkiksi sähkön kulutus on hetkellisesti suurimmillaan. Kesällä tämä liittyy jäähdytystarpeeseen, talvella lämmitystarpeeseen.

Bianchini, Fabricio & Hewage, Kasun (2012): How "green" are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials.

Tutkimuksessa vertailtiin eri viherkattorakenteita ja niiden muoviosia. Tarkasteltavana oli kaksi eri muovia: polyetylenei (PE-LD) ja Polypropyleeni (PP). Muoveja vertailtiin keskenään sekä neitseellisinä että osittain kierrätetyistä raaka-aineista tehtynä. Tutkimuksessa haluttiin selvittää, kuinka nopeasti viherkatto sitoo siinä tarvittujen muoviosien valmistamisessa syntyneiden ilmansaasteiden verran vastaavia aineita. Tutkimus tehtiin Chicagossa, jossa viherkattopinta-alasta 33 % on luonnonmukaisia viherkattoja ja 67 % kattopuutarhoja tai luonnonmukaisten viherkattojen ja kattopuutarhojen yhdistelmiä. Tutkimukseen sisältyi kolme tulevaisuuden ennustetta. Ensimmäinen tulevaisuuden ennuste oli, että Chicagon vielä kasvittamattomasta kattopinta-alasta viherkattoja olisi samassa suhteessa kuin edellä on esitetty eli 33 % olisi luonnonmukaisia viherkattoja ja 67 % kattopuutarhoja tai luonnonmukaisten viherkattojen ja kattopuutarhojen yhdistelmiä. Toinen ennuste oli, että Chicagon vielä ilman viherkattoa oleva kattopinta-ala olisi luonnonmukaisia viherkattoja ja kolmas tulevaisuuden ennuste, että tämä kattopinta-ala rakennettaisiin kattopuutarhoiksi. Tutkimuksessa tarkasteltiin ainoastaan ilmansaasteita (NO₂, SO₂, O₃, PM₁₀) sekä viherkaton kykyä sitoa kyseisiä päästöjä.

Tulokseksi saatiin, että luonnonmukaiset viherkatot, joissa on käytetty kierrätettyjä materiaaleja, tuottavat vähiten päästöjä. Ne olivat myös tehokkaimpia hävittämään tuottamaansa vastaavan määrän ilmansaasteita: 8 vuodessa luonnonmukainen viherkatto oli kompensoinut aiheuttamansa ilmansaastepäästöt. Mikäli materiaalina käytetään neitseellisiä muoveja, kestää vastaava ilmansaasteiden kompensoiminen 21 vuotta. Tarkasteltavilta kattovaihtoehdoilta meni 13–23 vuotta syntyneen päästö määrän sitomiseen.

Muga, Helen & Mukherjee, Amlan & Michelcic, James (2008:) An Integrated Assessment of the Sustainability of Green and Built-up Roofs.

Tutkimuksessa käytettiin panos-tuotosperustaista elinkaariarviointia (Economic Input-Output Life Cycle Assessment, EIO-LCA¹⁴) arvioimaan USA:n Keski-Lännessä olevaa luonnonmukaista viherkattoa, kattopuutarhaa sekä kasvipeitteetöntä kattoa. Analyysiin otettiin mukaan materiaalien hankinta, lopputuotteiden valmistus, kuljetukset tuotantoketjun sisällä sekä katon käyttö ja ylläpito. Viherkaton materiaalien hankinta aiheutti kolminkertaiset päästöt verrattuna kasvipeitteettömän katon materiaalien hankintaan. Käyttö- ja ylläpitovaiheessa tilanne oli päinvastainen eli kasvipeitteetön katto aiheutti kolme kertaa suuremmat päästöt kuin viherkatto. Elinkaareksi oletettiin laskelmassa 45 vuotta. Kun koko elinkaaren aikaiset päästöt otettiin huomioon, kasvipeitteetön katto aiheutti 46 % suuremmat päästöt kuin

¹⁴ EIO-LCA (<http://www.eiolca.net>, viitattu 28.8.2012)

viherkatto. Laskelmissa havaittiin myös, että viherkattoon liittyvä elinkaaren aikainen kokonaisenergiankäyttö oli kaksi ja puoli kertaa vähäisempi kuin kasvipeitteettömän katon. Tutkimus sisältää myös taloudellisen tarkastelun koko elinkaaren ajalta.

Peri, Giorgia & Traverso, Marzia & Finkbeiner & Rizzo, Gianfranco (2012): Embedding "substrate" in environmental assessment of green roofs life cycle: evidences from an application to the whole chain in a Mediterranean site.

Elinkaaritutkimus käsittelee erityisesti viherkattojen kasvualustaa, koska kasvualusta on usein rajattu ulos elinkaarilaskelmista. Tutkimuksessa sisällytetään kasvualustan LCA-laskelma myös koko kattoa koskevaan laskelmaan. Tutkimus sijoittuu Italiaan Palermoon ja tutkittava viherkatto on pienen laboratoriona käytetyn rakennuksen päällä. Laskelmiin on otettu mukaan raaka-aineiden hankinta, tuotteiden valmistus, katon asentaminen, käyttö ja ylläpito sekä käytön jälkeiset toimenpiteet. Tutkimuksessa on tarkasteltu kahdeksaa eri vaikutusluokkaa. Aiemmin esitettyihin laskelmiin verrattuna käyttövaihe ei muodosta niin selvästi suurinta osaa ympäristövaikutuksista elinkaarilaskennan vaikutusluokissa. Käyttövaiheen ympäristövaikutukset olivat suurimmat kahdessa vaikutusluokassa (terrestrial ecotoxicity ja eutrophication), tuotantovaiheen kolmessa vaikutusluokassa (abiotic depletion, acidification ja global warming (GWP100)) ja käytön jälkeiset toimenpiteet kahdessa vaikutusluokassa (fresh water aquatic ecotoxicity ja marine aquatic ecotoxicity). Yhdessä vaikutusluokassa (human toxicity) käyttövaiheella ja käytön jälkeisillä toimenpiteillä oli yhtä suuri vaikutus. Tutkimus on varsin kattava ja nostaa esiin useita epävarmuuksia ja ongelmia, mitä LCA:n käyttöön viherkattojen tapauksessa liittyy.

Viherkattoihin liittyviä lämpö- ja energiatutkimuksia

Viherkattoihin liittyviä lämpö- ja energiatutkimuksia on tehty huomattavasti enemmän kuin elinkaaritutkimuksia. Tutkimusten määrä on silti vielä rajallinen ja se johtuu lähinnä simuloinnin haastavuudesta. Viherkattojen vaikutusta rakennusten energiankäyttöön on vaikea sisällyttää rakennusten lämpömalleihin. (Theodosiou 2002.)

Banting ym. (2005) ovat koonneet yhteen kymmenkunta energiatutkimusta, jotka tukevat väitettä, että viherkatto viilentää rakennusta kesällä ja eristää talvella. Aiheeseen liittyvät tutkimukset on tehty erilaisilla ilmastoalueilla mutta niistä saa esimerkkejä, että viherkatoilla voi olla vaikutusta myös Suomen kaltaisessa ilmastossa. Kosareo (2007b) on myös koonnut yhteen aiheeseen liittyviä energiatutkimuksia ja simulaatiomalleja ja tehnyt tutkimuksista johtopäätöksen, että viherkatot toimivat paremmin eristävinä kerroksina kuin rakennusten jäähdyttäjinä. Toisaalta Castleon ym. (2010) toteaa, että viherkatot on perinteisesti nähty rakennusta viilentävässä roolissa ja harvempi tutkimus on tehty viherkattojen

eristävästä vaikutuksesta. Castleton ym. toteavat, että viherkattojen viilentävää vaikutusta on kuitenkin useimmiten tutkittu Iso-Britanniaa lämpimämissä ilmastoissa.

Liu ym. (2005a) ovat tutkineet lämmön siirtymistä sekä viherkaton viilentävää ja eristävää vaikutusta erityyppisillä viherkatoilla Torontossa (koulurakennus ja kaupungintalo). He toteavat, että kasvualustaltaan 75 - 100 mm paksu viherkatto vähensi lämmön kulkeutumista katon läpi kesällä 70–90 % ja talvella vähensi rakennuksesta karkaavaa lämpöä 10–30 % verrattuna kasvipeitteettömään kattoon.

Energiansäästö näkökulmasta viherkattojen sovittaminen vanhoille huonosti eristetyille katoille on tehokkainta. Viherkattojen eristävydestä ei ole niin suurta hyötyä nykyaikaisilla, hyvin eristetyillä katoilla. Castleton ym. (2010) ovat tutkineet Britannian kattokantaa ja todenneet, että yli puolet katoista on niin vanhoja eli huonosti eristettyjä, että viherkaton sovittamisesta niille olisi energiansäästöllinen hyöty. Tämän lisäksi kattojen tulisi olla niin vahvoja, että viherkaton voi asentaa niiden päälle. Stovin ym. (2007) väittävät, että vanhemmat kuin kolmekymmentävuotiaat katot Britanniassa kestävät viherkattojen asentamisen hyvin. Wilkinson ja Reed (2009) ovat arvioineet, että esimerkiksi Melbournen ydinkeskustassa (Central Business District) 15 % rakennuksista voitaisiin asentaa viherkatto ilman mitään lisätoimenpiteitä.

Nichaou ym. (2001) ovat tarkastelleet energiansäästöpotentiaalia hyvin, keskimääräisesti ja huonosti eristetyillä katoilla. Tutkimus on tehty Kreikassa, joten sen tuloksia ei voida suoraan soveltaa Suomen oloihin. Tutkimuksessa todetaan kuitenkin, että energiansäästöt lämmityksessä ovat hyvin eristetyillä katollakin luokkaa 8 - 9 %. Säästöt viilennyksessä ovat pienemmät: hyvin eristetyillä katoilla sitä ei ole ja huonosti eristetyillä katoilla se on 22 - 45 %, kun eristävyysvaikutus on 45 - 46 %.

Koko vuoden aikainen energiansäästö vaihtelee hyvin eristettyjen kattojen kahdesta prosentista huonosti eristettyjen kattojen 44 prosenttiin. Nichaou ym. tutkimuksessa hyvin eristetyn katon U-arvo on 0,26 - 0,4. Suomessa rakennettavan lämpimän, erityisen lämpimän tai jäähdytettävän kylmän tilan katon U-arvon täytyy olla 0,09 (D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma). Eli Suomessa rakennusten katot täytyy eristää huomattavasti tiiviimmin.

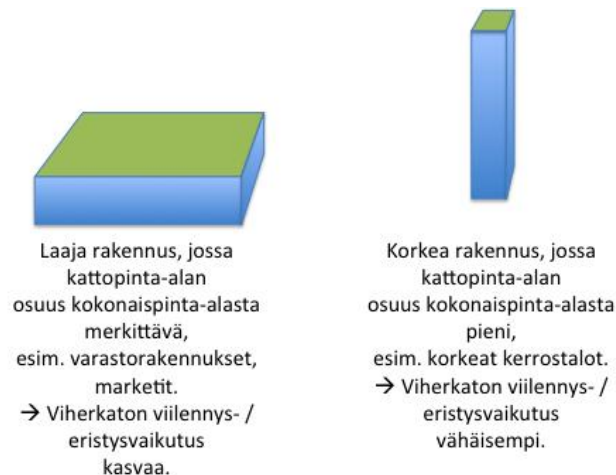
Edellä esitettyjen tutkimusten kanssa samalla linjalla on myös Jaffal ym. (2012). He ovat mitanneet lämmityksen ja jäähdytyksen muutoksia Ranskassa La Rochellessa omakotitalossa, jonka katolla on viherkatto. He huomasivat tutkimuksessaan, että viherkatto lisäsi kesällä rakennuksesta ulos kulkeutuvan lämmön määrää kolminkertaiseksi kasvittomaan kattoon verrattuna eli viherkaton viilentävä vaikutus oli helposti havaittavissa. He toteavat kuitenkin, että viherkattojen viilentävä tai lämpöä eristävä vaikutus on merkittävä vain, kun kyseessä on huonosti eristetty tai eristämätön katto.

Castleton ym. (2010) summaavat artikkelissaan tekijöitä, jotka vaikuttavat viherkattojen avulla saavutettavissa olevaan energiansäästöön. Sen lisäksi, että eristys- ja viilennysvaikutus on suurempi

vanhemmilla katoilla he huomioivat kasvualustan merkityksen. Mitä paksumpi kasvualusta on, sitä suurempi viilennys ja eristävä vaikutus viherkatolla on. He huomioivat myös, että huokoinen kasvualusta toimii parempana eristäjänä siinä olevien ilmataskujen takia. Kasvualustan kosteudella on myös merkitystä, sillä märempi alusta viilentää enemmän kun taas kuivempi eristää paremmin.

Liu ym. (2005b) ovat mitanneet katon läpi virtaavaa lämpöenergiaa. He mittasivat sekä sisältä ulos että ulkoa sisään kulkeutuvaa lämpöä. Lämpö alkoi kulkeutua katon läpi lähes heti auringon noustua. Lämpö kulkeutui katon läpi sisälle rakennukseen lähes auringonlaskuun asti, jolloin lämpövirta muutti suuntaa.

Viherkaton pinta-alalla suhteessa rakennuksen pinta-alaan on vaikutusta. Asiasta ei löydy tutkittua tietoa, mutta alla on esitetty kuva 6, joka esittelee periaatteen. Mitä suurempi osuus rakennuksen ulkovaipan pinta-alasta on viherkattoa, sitä suurempi vaikutus sillä on koko rakennuksen energiantarpeeseen. Viherkaton viilennysvaikutus tai eristävyysvaikutus näkyy ainoastaan rakennuksen ylimmässä kerroksessa rakennuksen sisäisissä lämpötilaeroissa. Tästä syystä matalien ja laajojen rakennusten päällä oleva viherkatto vaikuttaa enemmän rakennuksen energiatalouteen kuin korkean ja kapean rakennuksen päällä oleva viherkatto.



Kuva 6 Viherkaton vaikutus erimallisissa rakennuksissa.

Sailor (2008) on kehittänyt koko rakennusta koskevan energiasimulointimallin, johon on liitetty myös viherkatto. Tutkimuksen mukaan viherkaton avulla voidaan saada kahden prosentin säästö sähkönkulutuksessa ja 9 - 11 % säästö maakaasun kulutuksessa. Viherkattosimulointi on liitetty myöhemmin osaksi EnergyPlus building energy simulation -ohjelmaa, joka on Yhdysvaltojen energiayksikön (US Department of Energy) kehittämä. Myöhemmin simulointimallista on muokattu Portlandin yliopistossa kaikille avoin Internet-sovellus, jolla voi laskea viherkaton energiasäästöpotentiaalin (Green Roof Energy

Calculator (v. 2.0)). Laskurissa voi muokata tiettyjä arvoja, kuten katon pinta-alaa ja viherkaton osuutta katosta, rakennustyyppiä tai sähkönhintaa. Alle on listattu laskurin energiansäästöön liittyviä tekijöitä:

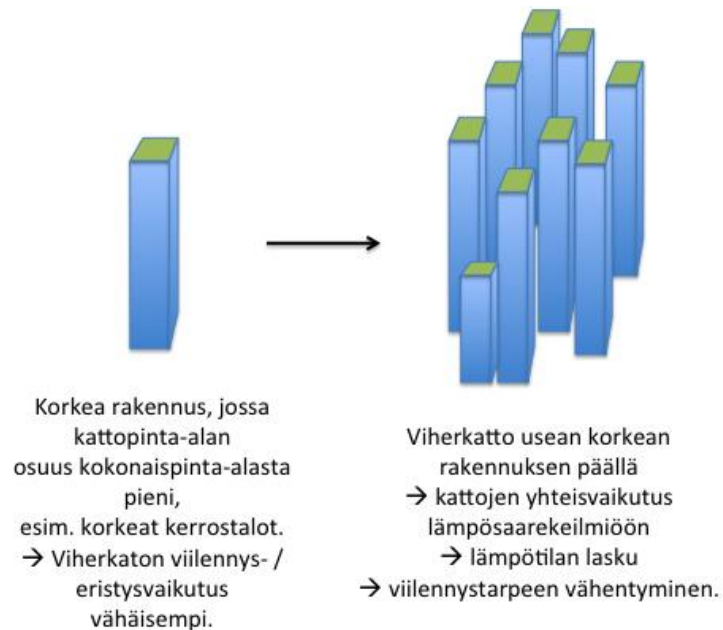
- kattopinta-ala
- viherkaton osuus kattopintalasta
- muun kattomateriaalin väri (tumma/vaalea)
- kasvualustan syvyys
- lehtipinta-alaindeksi (Leaf area index, LAI)
- sähkön / lämmitysenergian hinta
- rakennustyyppi
- rakennuksen ikä

Viherkattojen vaikutus lämpösaarekeilmiöön

Lämpösaarekeilmiö syntyy, kun maahan tuleva auringonenergia imeytyy rakennuksiin eikä heijastu takaisin avaruuteen tai kulu kasvien haihduttamisessa. Kaupunkien heijastuskyky on pienempi kuin maaseudun heijastuskyky eli kaupungit sitovat lämpöenergiaa itseensä. Kaupunkien lämpötila voi olla useita asteita korkeampi kuin maaseudun lämpötila. Ilmiö on havaittavissa myös yön tunteina, koska rakennuksiin sitoutunut energia vapautuu silloin lämpönä takaisin ilmaan. (USEPA 2003.)

Viherkatot lievittävät lämpösaarekeilmiötä alentamalla lämpötilaa. Haihdunta kasveista, kasvualustasta ja vettä pidättävistä kerroksista jäädyttää. Viherkattojen vaikutusta lämpösaarekeilmiöön on vaikea mitata mutta simulaation avulla on arvioitu, että jos puolet kattopinta-alasta on viherkattojen peitossa, alentaa se lämpösaarekeilmiötä 1 - 2 asteella. Yhden tai kahden asteen ero kuulostaa vähäiseltä, mutta sillä on vaikutuksensa, sillä tietyn lämpötilan alapuolella pysyttäessä sähkön kulutus ei sanottavasti kasva. Kun tietty lämpötila ylitetään, kasvaa sähköntarve jokaista jäädytettyä astetta kohden 5 %. (Bass ym. 2003). Suomessa vastaavasti käytetään nyrkkisääntönä että 1 °C vähennys huonelämpötilassa aiheuttaa 5 % säästön lämmityskuluissa (Motiva 2012).

Viherkaton vaikutusta lämpösaarekeilmiöön kuvataan alla kuvassa 7. Tiiviisti rakennetuilla alueilla kaupunkien keskustoissa on tyypillisesti korkeita rakennuksia, joiden kokonaisenergiankulutukseen viherkatoilla on vähäinen vaikutus. Jos viherkattoja kuitenkin on useita, on niiden yhteisvaikutus kaupungin lämpötilaan merkittävämpi. Kuumalla ilmalla viherkatot yhdessä viilentävät ulkolämpötilaa, jolla taas on vaikutusta rakennusten viilennystarpeisiin.



Kuva 7 Viherkaton vaikutus lämpösaarekeilmiöön.

Kasvualustaan liittyviä tutkimuksia

Viides ulottuvuus -tutkimusohjelman tarkoituksena on löytää optimaalisia ratkaisuja suomalaisiksi viherkatoiksi. Tutkimusohjelman lähtökohtana on suomalaisten tai lähiympäristön kasvilajien käyttö samoin kuin suomalaisen tai lähialueen kasvualustaraaka-aineiden käyttö. Yleisesti kasvualustalta vaaditaan, että se pidättää sopivasti vettä, on kuohkea ja tarjoaa sopivasti ravinteita kasvien käyttöön. Viherkattojen kasvualustoilla on sen lisäksi vaatimuksena, että ne ovat palamattomia, pitkäikäisiä, kevyitä ominaispainoltaan, eivät kutistu, kestävät hyvin puristusta ja niiden aiheuttamat ympäristövaikutukset ovat mahdollisimman pienet. Viherkattojen kasvualustasta olisi hyvä olla suurin osa epäorgaanista materiaalia, joka ei maadu eli kasvualusta ei kutistu. Orgaanisen aineen määrä kasvualustoissa vaihtelee yleensä 5 - 25 % välillä. Kaiken lisäksi kasvualustojen pitäisi olla edullisia ja helppoja asentaa.

Kasvualustatutkimuksia on tehty maailmalla jonkin verran, joskin viherkattojen elinkaaritutkimuksissa kasvualusta sivuutetaan lähes aina merkityksettömänä tekijänä. Jo aiemmin tässä työssä esitelty tutkimus (Peri ym. 2012) keskittyy ensisijaisesti kasvualustan elinkaarianalyysiin. Aiheesta on myös vireillä lisää tutkimusta ja esimerkiksi Ristvey ym. (2010) toteavat, että kasvualustan valmistaminen voi olla energiantensiivinen prosessi ja kasvualustavaihtolinnalla on merkitystä viherkaton kokonaiskasvihuonekaasupäästöihin. Kasvualustavaihtoehtoja on monia ja usein ne ovat yhdistelmiä raaka-aineista, joita on saatavissa lähialueilta. Kasvualustojen lähtökohtana on kuitenkin harvoin kestävyys esimerkiksi energiantensiivisessä mielessä. Ristvey ym. mielestä kasvualustasta vähintään 20 % pitäisi olla

kierrätettyjä materiaaleja. He ovat laskeneet, että yleisesti kasvualustassa raaka-aineena käytettyjen kevytsoran (expanded clay), liuskekiven ja liuskeen polttaminen tuottaa poltettua materiaalikuutiota kohden 100 kg hiilidioksidipäästöjä. Polttoprosessi muodostaa 91 % kaikesta kasvualustamateriaalien tuottamiseen tarvittavasta energiasta. Tavallisesti kasvualustoissa on 80 % edellä mainittuja energiantensiivisiä raaka-aineita. Ristvey ym. ovat myös arvioineet, että Yhdysvalloissa vuosina 2008 - 2009 perustettiin viherkattoja eniten Chicagoon, Detroit Cityyn ja New York Cityyn. Näiden kattojen tarvitsema kasvualustaraaka-aine on tuottanut 1 148 Mt CO₂ päästöjä. Suomen tieliikenne aiheuttaa vuodessa kymmenkertaisesti tämän päästömäärän eli 11,4 Mt CO₂ (LIPASTO 2011).

Tunnettu eurooppalainen viherkattotuottaja Zinco pitää neitseellisen luonnonmateriaalin käyttöä kasvualustojen raaka-aineena tuhlauksena. Heidän mielestään maailmassa on tarpeeksi ihmisen muokkaamia materiaaleja, joita voidaan kierrättää ja käyttää edelleen katoilla. Samoilla linjoilla ovat myös Ristvey ym. (2010). He luettelevat mahdollisiksi kierrätetyiksi kasvualustan raaka-aineiksi synteettiset kuidut, vaahtokumin (rubber foam), lentotuhkan sekä murennetut autonrenkaiden kumit. Solano ym. (2010) ovat tutkineet renkaista tehtyä kumimuraa luonnonmukaisten viherkattojen kasvualustana ja huomasivat kasvualustan vapauttavan runsaasti sinkkiä kasvien käyttöön. Tämä ei kuitenkaan ollut ongelma maksaruohokatoilla, mikäli kumimurun osuus kasvualustasta jäi alle 30 prosenttiin. Suomessa Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksella on meneillään hanke, jossa tutkitaan kierrätettyjen materiaalien käyttöä kasvualustoissa (LCA in Landscaping). Tutkimus keskittyy lähinnä nurmikonviljelyyn ja siinä aiotaan tehdä sekä LCA-laskelmia että kustannushyötyanalyyseja. Tutkimuksen yksi osatavoite on esitellä uudenlaisia kierrätyspohjaisia materiaaleja ja tuotteita kaupunkien viherrakentamiskohteisiin.

Kierrätettyjen materiaalien käyttöä luonnonmukaisen viherkaton kasvualustana ovat tutkineet myös Molineux ym. (2009). Heillä oli tutkimuksessa mukana neljä materiaalia: murskattu tiili, arkeologisten kaivausten ylijäämäsavesta, lentotuhkasta sekä jätevesilietteestä tehdyt pelletit, kierrätetyistä sanomalehdistä valmistetut paperituhkapelletit sekä kalkkikivi (carbonated limestone), joka on valmistettu kaivosten hienojakoisesta ylijäämämaterialista (quarry fains). He toteavat artikkelissaan, että vaikka murskattu tiili toimii hyvin kasvualustan materiaalina, ei sitä aina ole saatavilla lähimmän 50 km säteellä. Rakennusten purkujätettä olisi useammin saatavilla mutta sen käyttö kasvualustana lisää kustannuksia, koska jätteestä joudutaan poistamaan terävät osat, ettei katto vahingoittuisi. Molineux ym. toteavat myös, että muitakin materiaaleja kuten Leca-soraa, Lytagia, vulkaanista hohkakiveä ja laavaa on saatavilla, mutta ne täytyy tuoda ulkomailta. Tästä syystä uusille lähialueilta saataville kierrätetyille materiaaleille on tilausta. Artikkeliki keskittyy lähinnä kasvualustojen suorituskykyyn kasvien kasvun kannalta. Kirjoittajat mainitsevat kuitenkin, että mikäli kasvualustaraaka-aineet tulevat kaukaa, alkavat niistä koituvat kuljetuskustannukset ja kuljetuksesta aiheutuvat päästöt olla ongelma. Lähialueilla tuotetut ja lähialueiden raaka-aineista tehdyt kasvualustat ovat sekä suorituskyvyiltään että kustannuksiltaan kilpailukykyisiä. Tutkimus ei ota kantaa

kasvualustavaihtoehtojen elinkaaren aikaisiin ympäristövaikutuksiin mutta toteaa, että asiaa pitäisi tutkia LCA-laskennan avulla.

Verhagen ym. (2008) kirjoittavat, että Foundation RHP on tekemässä kasvualustojen ympäristöprofiileista luokitusta. Luokitus perustuu sekä määrällisiin että laadullisiin mittareihin, joista määrällisiä mittareita edustaa LCA. Artikkelissa todetaan, että turpeen tuotannon elinkaaren vaikutukset kohdistuvat ilmastonmuutokseen, kun taas esimerkiksi kookoskuitu-ytimen (coir pith) vaikutukset ovat vaikutusluokassa ihmisten terveys (human toxicology).

Verhagenin ym. kanssa samansuuntaiseen lopputulokseen päättyy myös laajempi EPAGMAN (2012) teettämä kasvualustamateriaalien LCA-tutkimus. Tutkimuksessa todetaan, että eniten turvetta sisältäneet kasvualustasekoitukset aiheuttivat suurimmat ilmastonmuutosvaikutukset. Kasvualustat, jotka muodostuivat pääasiassa kookoskuidusta (coir pith), aiheuttivat suurimmat vaikutukset ekosysteemin laatuun. Ihmisen terveyteen suurin (negatiivinen) vaikutus oli kasvualustoilla, jotka sisälsivät paljon puutarhajätteestä tehtyä kompostiraaka-ainetta (green compost). Toisaalta tutkimuksessa todetaan, että yksittäisistä kasvualustamateriaaleista suurin (negatiivinen) vaikutus ihmisten terveyteen on mineraalivillalla, joka on tehty basaltista ja kalkkikivestä. Turpeen vaikutus on valituista materiaaleista suurin sekä ilmastonmuutos-vaikutusluokassa että resurssi-vaikutusluokassa.

3 Koeviherkatot

Viides ulottuvuus -tutkimusohjelmalla on tällä hetkellä yhdeksän valmista koeviherkattoa. Koeviherkattoja on perustettu vanhojen ja uusien rakennusten päälle, kylmiin ja lämpimiin rakennuksiin, sekä pieniä että tuhansien neliömetrien kokoisia. Koeviherkattoja on perustettu toimistotilojen, varastojen, saunan, jätteenkäsittelylaitoksen ja ostoskeskuksen katoille. Tähän mennessä rakennetut katot sijaitsevat pääkaupunkiseudulla (Helsingin keskustassa, Lauttasaarella ja Kumpulassa sekä Porttipuistossa Vantaalla) ja Oulussa.

Viides ulottuvuus -tutkimusohjelmassa lämpimien rakennusten päällä olevilla koeviherkatoilla viheralueen pinta-ala katosta on 50 - 60 %. Kylmien rakennusten päällä se on vastaavasti 80 - 90 %. Viides ulottuvuus – tutkimusohjelman koekatoilla kasvipeitteen osuus katon pinta-alasta on luultavasti vähäisempi kuin tavanomaisilla viherkatoilla, sillä koejärjestelyissä on käytetty sorakaistoja erottamaan koealat toisistaan.

Kasvualusta koeviherkatoilla

Viherkattojen – erityisesti ohutta kasvualustaa vaativien – tapauksessa epäorgaanisen aineen määrä kasvualustassa tulisi olla melko korkea ja vastaavasti taas orgaanisen aineen määrä melko matala. Yliopiston kokeissa käyttämä kasvualusta on tuotettu kokonaan Suomessa. Puolet raaka-aineista on toimitettu alle 150 kilometrin säteeltä kasvualustan säkityspaikasta. Yksi raaka-aine on toimitettu säkityspaikalle yli 600 kilometrin päästä ja kahdesta raaka-aineesta ei saatu tietoa. Massallisesti merkittävä osa (yli puolet) kasvualustamateriaalista on kuitenkin alle 150 km säteeltä. Tämän lisäksi kasvualustaa on liikuteltu nostamalla se katoille. Viides ulottuvuus -tutkimusohjelman käyttämä kasvualusta sisältää tiilimurskaa, kompostimultaa, puunkuoriketta ja rahkasammalta. Osaan kasvualustoista on lisätty biohiiltä ja/ tai kalkkikiveä, joiden vaikutusta viherkaton kasvillisuuteen ja katolta valuvan sadeveden laatuun tutkitaan tutkimusohjelmassa.

Taulukkoon 2 on listattu vaihtoehtoisia viherkattojen kasvualustojen raaka-aineita ja kuvattu niihin liittyviä erityispiirteitä.

Taulukko 2 Viherkaton kasvualustaan mahdollisesti suositeltavia raaka-aineita. Näitä on käytetty Viides ulottuvuus – tutkimusohjelman koekatoilla.

Kasvualustan raaka-aine	o / eo	Erityistä
Kompostimulta	o	Valmistettu kierrätetystä materiaalista. Koeviherkattojen komposti on kemiallisesti kunnostettua jätevesilietekompostia. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää ns. vihreää kompostia eli esim. puutarhakompostia.
Rahkasammal	o	
Tiilimurska	eo	Valmistettu kierrätetystä tiilestä murskaamalla tai tehtaan ylijäämämateriaalista
Kalkkikivi	eo	Suoraan kaivokselta
Kuorike	o	Valmistettu metsäteollisuuden ylijäämätuotteesta

o = orgaaninen, eo = epäorgaaninen

Yksi mielenkiintoinen mahdollisuus viherkatoiksi ovat sammal- ja jäkäläkatot. Ne ovat kevyempiä kuin maksaruohomatot, koska ne eivät vaadi ollenkaan tai vaativat hyvin vähän kasvualustaa. Sammalkattoja tuotetaan teollisesti ainakin Japanissa. Sammalkattojen vahvuus on niiden soveltuvuus lähes mille tahansa katolle kevytensä ansiosta – tosin tässäkin tulee huomioida sammalten pidättämän vesimäärän paino.



Kuvat: Vuorikadun ja Fabianinkadun koeviherkattojen asennusta/ Malgorzata Gabrych



4 Jatkotoimet

Tieteellistä viherkattojen elinkaaritutkimusta on tehty vielä suhteellisen vähän. Elinkaarilaskentaa on sovellettu joissakin viherkattoihin liittyvissä käytännön tapaustutkimuksissa. Toisaalta useat kaupalliset toimijat käyttävät LCA-laskentaa oman tuotekehityksensä pohjana, eivätkä näin ollen halua julkaista yrityssalaisuudeksi luokiteltavaa tietoa. Julkiselle jatkotutkimukselle on siis tarve. Alla on esitetty tarkemmin jatkotutkimustarpeita elinkaarinäkökulmasta katsoen.

Tutkimustarpeet

Elinkaarianalyysi on tarpeen tehdä 1) kasvualustan raaka-aineille, 2) viherkaton eri osille ja 3) viherkaton vaikutuksesta koko rakennuksen toimintaan, erityisesti energiankäyttöön. Viherkattokokonaisuuden eri osien tarkastelu mahdollistaa materiaalivertailun ja auttaa kohdentamaan sen kehittämistä ympäristövastuullisempaan suuntaan. Koko rakennuksen tarkastelu puolestaan kannattaa, jotta viherkaton toiminta voidaan liittää suurempaan kokonaisuuteen.

Elinkaarianalyysi vaatii taustalleen tietoa, jota viherkattojen tapauksessa tarvitaan ainakin viherkattotoimittajilta ja rakennusten toiminnasta. Viherkattotoimittajilta tulee selvittää tiedot katossa käytetyistä materiaaleista, määristä ja kuljetusetaisyyksistä. Mitä enemmän käytettyjen materiaalien elinkaarta pystytään jäljittämään taaksepäin, sitä luotettavammaksi elinkaarianalyysin tulos tulee. Tämän lisäksi tietoa tarvitaan asennusprosesseista, lähinnä polttoaineen ja oheismateriaalien käytöstä.

Suomessa ei ole tehty tutkimusta, jossa tarkastellaan viherkaton vaikutusta rakennuksen energiankäyttöön tai lämmön siirtymistä viherkaton sisällä. Tällaista tausta-aineistoa tarvitaan kuitenkin myös elinkaarilaskennan tueksi, mikäli rakennuksen toiminta halutaan ottaa mukaan tarkasteluun. Viherkatossa tapahtuvaa lämmön siirtymistä voidaan tarkastella kattoon useampaan kerrokseen asennettujen lämpötilantureiden avulla. Näiden tallentamaa dataa voidaan käyttää hyödyksi luotaessa simulointimallia rakennuksen energiankäytöstä ja viherkaton vaikutuksesta siihen.

Elinkaarilaskennassa kasvualustan raaka-aineena käytettyjä materiaaleja voidaan tarkastella vain materiaaleina. Tärkeää olisi kuitenkin saada kasvualustavaihtoehtojen suorituskyvystä tarkempaa tietoa, eli miten vaihtoehdot vaikuttavat kasvien kasvuun ja millainen vaikutus kasvualustalla on esimerkiksi kasvien kykyyn sitoa ilmansaasteita tai kasvihuonekaasupäästöjä. Tämä lisää elinkaarilaskennan luotettavuutta nimenomaan päästöjen näkökulmasta: miten valitut materiaalit vaikuttavat katon kykyyn sitoa päästöjä.

Ympäristöelinkaaritutkimuksen liittäminen kestävän kehityksen tutkimukseen (Sustainability Impact Assessment, SIA) tuottaisi laajemman kokonaiskuvan viherkattojen vaikutuksesta ja mahdollisuuksista. Viides ulottuvuus-tutkimusohjelmassa tämä olisi mahdollista, sillä hankkeessa tehdään niin ympäristö-, taloudellista kuin sosiaalista tutkimusta. SIA-tutkimus yhdistää nämä kaikki kolme kestävän kehityksen pilaria. Näin voitaisiin luoda kestävä kehikko suomalaiselle viherkattoalalle.

LÄHTEET

- Antikainen, R. (editor) (2010). Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 7/2010.
- Banting, D.; Doshi, H.; Li, J.; Missios, P.; Au, A.; Currie, B.A. & Verrati, M. (2005) Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto. Prepared for City of Toronto and Ontario Centres of Excellence – Earth and Environmental Technologies (OCE-ETech).
- Bass, B. & Baskaran, B. (2003) Evaluating rooftop and vertical gardens as an adaptation strategy for urban areas. Institute for Research and Construction, NRCC-46737, Project no. A020, CCAF. Report B1046. Ottawa, Canada: National Research Council.
- Bianchini, F. & Hewage, K.. (2012) How “green” are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials. *Building and Environment* 48, 57-65.
- Borgström, S. (2012) Viherkatot pykälissä. Oma Piha –messut, Miniseminaari viherkatoista, Helsinki 29.3.2012. <http://blogs.helsinki.fi/greenroofs/files/2012/02/Borgstrom-Viherkatot-lains%C3%A4%C3%A4d%C3%A4nn%C3%B6ss%C3%A4.pdf> (viitattu 27.6.2012)
- Castleton, H.F. & Stovin, V. & Beck, S.B.M. & Davison, J.B. (2010) Green roofs; building energy efficiency and the potential for retrofit. *Energy and Buildings* 42, 1582-1591.
- D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma (2012) Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta 2/11.
- Dunnet, N. & Kingsbury, N. (2008) Planting green roofs and living walls. Timber Press, London.
- Getter, K.L.; Rowe, B. ; Robertson, P.; Cregg, B. & Andresen, J. (2009) Carbon sequestration potential of extensive green roofs. *Environmental Science & Technology* / Vol. 43, No 19.
- Green Roof Energy Calculator (v. 2.0) http://greenbuilding.pdx.edu/GR_CALC_v2/grcalc_v2.php#retain (viitattu 19.6.2012.)
- EPAGMA (2012) Comparative life cycle assessment of horticultural growing media based on peat and other growing media constituents. Final report.
- Jaffal, I.; Ouldoukhite, S.E. & Belarbi, R. (2012) A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. *Renewable Energy* 43, 157-164.
- Jolliet, O., Müller-Wenk, R., Bare, J., Brent, A., Goedkoop, M., Heijungs, R., Itsubo, N., Peña, C., Pennington, D., Potting, J., Rebitzer, G., Stewart, M., Udo de Haes, H. & Weidema, B. 2004. The LCIA Midpoint-damage Framework of the UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. *International Journal of Life Cycle Assessment* 9(6):394-404.
- Kosareo, L. & Ries, R. (2007a) Comparative environmental life cycle assessment of green roofs. *Building and Environment* 42 2606-2613.
- Kosareo, L.M. (2007b) The Thermal Performance and Life Cycle Assessment of a Green Roof in Pittsburgh, Pennsylvania. Master of Science Thesis. University of Pittsburgh, School of Engineering.
- Liu, K. & Baskaran, B. (2005a) Thermal performance of extensive green roofs in cold climates. National Research Council Canada. World Sustainable Building Conference, Sept. 27-29, Tokyo, Japan, pp. 1-18.
- Liu, K. & Bass, B. (2005b) Performance of green roof systems. National Research Council Canada, NRCC-47705, Toronto, Canada.
- LCA in Landscaping. MTT. <http://www.lcainlandscaping.fi/> siteerattu 5.6.2012.
- LIPASTO laskentajärjestelmä. (2011) Suomen liikenteen päästöt ja energiankulutus vuonna 2011 (t). <http://lipasto.vtt.fi/paasto11.htm> (viitattu 27.8.2012.)
- Mentens, J.; Raes, D. & Hermy, M. (2006) Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning* 77, 217-226.
- Millenium Ecosystem Assessment 2005. Ecosystems and human well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC. 137s.
- Molineux, C.; Fentiman, C. & Gange, A. (2009) Characterising alternative recycled waste materials for use as green roof growing media in the U.K. *Ecological Engineering* 35, pp. 1507-1513.
- Motiva. http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/nain_saastat_energiaa/lampo/sisalampotila (siteerattu 30.5.2012)

- Muga, H.; Mukherjee, A. & Michelcic, J. (2008) An Integrated Assessment of the Sustainability of Green and Built-up Roofs. *Journal of green building*, Volume 3, Issue 2.
- Niachou, A. & (2001) Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and Buildings* 33(7), 719-729.
- Ottele, M.; Perini, K.; Fraaij, A.; Haas, E. & Raiteri, R. (2011) Comparative life cycle analysis for green facades and living wall systems. *Energy and Buildings*, Volume 43, Issue 12, pp. 3419-3429.
- Peri, G.; Traverso, M.; Finkbeiner, M. & Rizzo, G. (2011) Issues to be considered for an environmental, economic and social assessment of green roofs by a life cycle approach point of view. *Life Cycle Management Conference LCM 2011 August 28 – 31, 2011 – the dahlem cube, Berlin.*
- Peri, G.; Traverso, M.; Finkbeiner, M. & Rizzo, G. (2012) Embedding "substrate" in environmental assessment of green roofs life cycle: evidences from an application to the whole chain in a Mediterranean site. *Journal of greener production* 35, pp. 274-287.
- Rakennus- ja kiinteistöalan tulevaisuuden näkymiä. (2012) Toimittanut Hannu Hyypä. Metropolia ammattikorkeakoulu, rakennus- ja kiinteistöala. (saatavana internetistä: www.metropolia.fi/rakennus-ja-kiinteistöala/julkaisut)
- Ristvey, A.; Stancill, E.; Cohan, S.M. & Lea-Cox, J.D. (2010) Developing a low-carbon footprint green roof medium. *Land Grant and Sea Grant National Water Conference.*
- Rosenbaum, R., Margni, M. & Jolliet, O. 2007. A flexible matrix algebra framework for the multimedia multipathway modeling of emission to impacts. *Environment international* 33(5):624-634.
- Sailor, D.J. (2008) A green roof model for building energy simulation programs. *Energy and Buildings*, Volume 40, Issue 8, p. 1466-1478.
- Saiz, Susana & Kennedy, Christopher & Bass, Brad & Pressnail, Kim. (2006) Comparative life cycle assessment of standard and green roofs. *Environmental Science and Technology* Vol. 40, No 13.
- Sleeswijk, A. W.; van Oers, L.; Guinee, J. Struijs, J. & Huijbregts, M. (2008) Normalisation in product life cycle assessment: An LCA of the global and European economic systems in the year 2000. *Science of the Total Environment* 390, 227-240.
- Solano, S.L.; Ristvey, A.G.; Lea-Cox, J.D & Cohan, S.M. (2010) Crumb rubber as an amendment for extensive green roof substrates: Preliminary Research Conclusions. *SNA Research Conference* Vol. 55.
- Stovin, V.; Dunnett, N. & Hallam, A. (2007) Green roofs – getting sustainable drainage off the ground,, in: 6th International Conference of Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management (Novatech 2007), Lyon, France, pp. 11-18.
- Strohbach M W, Arnold E, Haase D. (2012) The carbon mitigation potential of urban restructuring – a life cycle analysis of green space development. *Landscape and Urban Planning* 104, 220– 229.
- Suh, S., Lenzen, M., Treloar, G. J., Hondo, H., Horvath, A., Huppes, G., Jolliet, O., Klann, U., Krewitt, W., Moriguchi, Y., Munksgaard, J., Norris, G. (2004): System Boundary in Life-Cycle Inventories Using Hybrid Approaches, *Environmental Science & Technology*, 2004, Vol. 38, nro 3, 657-664.
- Theodosiou, T.G. (2003) Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique. *Energy and Buildings* 35, 909-917.
- USEPA (2003) Cooling summertime temperatures: Strategies to reduce urban heat islands. EPA 430-F-03-014. UEOA, Washington, D.C.
- Venta, G.J. & Nisbet, M. (2000) Life cycle analysis of residential roofing products. Athena Sustainable Materials Institute, Ottawa, Canada. calculatelca.com/wp.../11/Residential_Roofing.pdf (siteerattu 1.6.2012)
- Verhagen, J.B.G.M. & Boon, H.T.M. (2008) Classification of growing media on their environmental profile. *Proc. IS on Growing Media*, Ed.: J.-C. Michel, Acta Hort. 779, ISHS.
- Wilkinson, S. & Reed, R. (2009) Green roof retrofit potential in the central business district, *Property Management* 27 (5), 284–301.