

Saana Kähkönen

VIHERKATTOJEN VAIKUTUS KATOILTA VALUVIEN HULEVESIEN LAATUUN

Luonnontieteiden ja tekniikan tiedekunta
Kandidaatintyö
Tarkastaja Marja Palmroth
1/2022

TIIVISTELMÄ

Saana Kähkönen: Viherkattojen vaikutus katoilta valuvien hulevesien laatuun
The effect of green roofs on the quality of stormwater runoff
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tekniikan ja luonnontieteiden TkK-ohjelma, ympäristö- ja energiatekniikka
Tammikuu 2022

Viher- tai kasvikatot eli kasvillisuudella peitetyt, alusrakenteiltaan niitä kestäväksi suunnitellut katonkatot ovat erityisesti viime vuosikymmeninä lisääntynyt keino lisätä kaupunkien viheralueita tiheästi rakennetuissa urbaaneissa ympäristöissä. Monet maat, kuten Japani ja Saksa, ovat ottaneet käyttöön velvoitteita viherkattojen rakentamiseen uusiin rakennuksiin. Suomessa Helsingin kaupungilla on ollut vuodesta 2016 ohjelma, jonka tavoitteena on viherkattojen lisääminen kaupungissa.

Viherkattojen lisääntyminen ei johdu pelkästään halusta lisätä viheralueita kaupungeissa. Viherkatoista tehdyissä tutkimuksissa niillä on huomattu olevan useita positiivisia vaikutuksia urbaanissa ympäristössä, sillä ne esimerkiksi pidättävät niille päätyviä sade- ja sulamisvesiä kasvualustassaan ja lieventävät näin ollen näistä vesistä aiheutuvia hulevesivirtaamapiikkejä. Vedenpidätysominaisuutensa ansiosta viherkatot luetaan mukaan hulevesien luonnonmukaisiin hallintamenetelmiin. Muita viherkattojen positiivisia vaikutuksia ovat muun muassa kaupungin viihtyisyyden ja ilmanlaadun parantaminen sekä biodiversiteetin lisääminen.

Viherkatoilla pidättyminen vaikuttaa sade- ja sulamisvesien laatuun aineiden siirtyessä veden ja katon materiaalien välillä. Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli arvioida viherkatoilta valuvien hulevesien laatua vertailemalla niitä kasvittomilta katoilta valuvien sekä yleisesti kaupungeista valuvien hulevesien ja sadevesien laatuun. Laatuvertailun perusteena käytettiin luonnolle mahdollisesti haitallisten aineiden pitoisuuksia. Hulevesissä esiintyviä, luonnolle mahdollisesti haitallisia aineita ovat muun muassa ravinteet, kuten typpi ja fosfori, raskasmetallit, kuten lyijy ja elohopea sekä orgaaniset liuottimet. Viherkatoilta valuvien hulevesien sisältämien mahdollisten haitallisten aineiden pitoisuuksia verrattiin lisäksi Suomessa hulevesien puhdistustarpeen arvioinnissa käytettyihin raja-arvoihin. Työn lopussa tarkasteltiin erilaisten viherkattoratkaisujen, kuten kasvualustamateriaalien ja kasvualustan paksuuden sekä kasvillisuuden vaikutusta viherkatoilta valuvien hulevesien laatuun. Kandidaatintyö on toteutettu kirjallisuuskatsauksena alan tuoreista tutkimuksista.

Vertaillaessa viherkatoilta valuvien hulevesien laatua kasvittomilta katoilta valuvien hulevesien laatuun viherkatoilta valuvien hulevesien todettiin keskimäärin sisältävän pienempiä pitoisuuksia haitallisia aineita, mutta tulokset vaihtelivat riippuen tutkitusta viherkatoista, epäpuhtaudesta että tutkimustilanteesta. Esimerkiksi viherkatoilta valuvien hulevesien lyijy- ja kadmiumpitoisuuksien todettiin olevan keskimäärin noin kymmenesosa kasvittomilta katoilta valuvien hulevesien pitoisuuksista, mutta ravinteiden pitoisuudet saattoivat olla kasvittomia kattoja suurempia. Yleisesti kaupungeissa virtaaviin hulevesiin verrattuna viherkatoilta valuvat hulevedet sisälsivät pienempiä määriä erityisesti raskasmetalleja. Sadevesien haitallisten aineiden pitoisuudet olivat säännönmukaisesti viherkattoja pienempiä, tosin erot olivat toisinaan pieniä. Aiemmin Suomessa käytettyjen hulevesien puhdistustarpeen arvioinnin raja-arvojen perusteella viherkatoilta valuvat hulevedet eivät usein sisältäneet puhdistusta vaativia määriä mahdollisesti haitallisia aineita.

Hulevesien laadun kannalta parhaiden viherkattoratkaisujen todettiin vertailun perusteella olevan vähän hoitoa ja mahdollisimman vähän lannoitteita ja torjunta-aineita vaativia, alueelle luontaisella kasvillisuudella peitetty niitty-/ketokattoja, joiden kasvualusta on vähintään yli 10 senttimetrin paksuinen. Viherkattoja ei kuitenkaan tässä kandidaatintyössä tarkasteltujen tutkimusten perusteella voida pitää merkittävänä kaupunkien hulevesien laatua parantavina elementteinä.

Avainsanat: Viherkatto, kasvikatto, hulevesi

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1.JOHDANTO	1
2.VIHERKATOT SUOMEN OLOSUHTEISSA	3
2.1 Viherkattorakentaminen Suomen olosuhteissa.....	3
2.2 Viherkattotyypit	5
2.3 Viherkaton rakenne	7
3.VIHERKATOILTA VALUVIEN HULEVESIEN LAATU.....	11
3.1 Hulevesien laatu yleisesti	11
3.2 Katoilta valuvien hulevesien laatu	14
4.VIHERKATOT HULEVESIEN LAADUN HALLINNASSA	17
4.1 Viherkatoilta valuvien hulevesien laatuun vaikuttavat tekijät.....	17
4.2 Keinoja viherkatoilta valuvien hulevesien laadun parantamiseen	19
4.3 Viherkattojen rooli kaupunkien hulevesien hallinnassa.....	22
5.JOHTOPÄÄTÖKSET	24
LÄHTEET	26

1. JOHDANTO

Luonnon hydrologisessa kierrossa ilmakehästä maahan satanut vesi jakautuu pintave-
tenä vesistöihin valuvaksi sekä maaperään pohjavedeksi imeytyväksi vedeksi. Luonno-
llisessa ympäristössä pintavedeksikin jäävä osuus on yhteydessä maaperään, ja values-
saan kohti vesistöä se ehtii pidättyä ja suotautua maaperässä sen sijaan, että valuisi
pintavaluntana maanpinnalla suoraan vesistöön. Rakennetussa kaupunkiympäristössä
maahan satanut vesi ei yleensä ole suoraan kosketuksissa maaperään, jolloin ilman sen
pois johtamiseksi suunniteltuja järjestelmiä vettä alkaa kertyä kaupunkialueelle. Tätä
kaupunkeihin kertyvää, maanpinnalta sekä katoilta ja muilta vettä läpäisemättömillä pin-
noilta pois johdettavaa vettä kutsutaan hulevedeksi. (Hulevesiopas, 2012)

Hulevedet ovat haaste kaupunkisuunnittelulle, koska ilman luontaista maaperässä pidät-
tymistä ja suotautumista hulevedet voivat aiheuttaa kaupungeissa tulvia ja rakenteiden
kosteusongelmia, heikentää kaupunkien jätevesihuoltoa päätyessään jätevesiviemärei-
hin sekä kuljettaa mukanaan luontoon kaupunkeihin kertyviä haitallisia aineita, kuten sul-
faattia ja typpeä. Edellä luetellut hulevesistä aiheutuvat haasteet korostuvat tiiviisti ra-
kennetuissa kaupungeissa, joissa vapaata vettä imevää ja pidättävää pintaa on vähän.
Ilmastonmuutoksen myötä sademäärien arvioidaan kasvavan Suomessa kuluvan vuosi-
sadan lopulle tullessa noin 20 %, mikä tulee lisäämään kaupunkien hulevesiä ja kas-
vattamaan tarvetta niiden tehokkaalle hallinnalle. Kaupunkien hulevesien hallinta perus-
tuu nykyään pääsääntöisesti vesien johtamiseen suoraan hulevesi- tai sekaviemäreihin
ja nopeasti pois kaupunkialueelta, mutta on olemassa myös niin kutsuttuja hulevesien
käsittelyn luonnonmukaisia menetelmiä, joiden tavoitteena on mukailla luonnollista hyd-
rologista kiertoa. Käytännössä menetelmät tarkoittavat vettä imevän ja pidättävän pin-
nan, kuten viheralueiden lisäämistä esimerkiksi hulevesilammikoilla ja avo-ojilla
(Berndtsson, 2010). (Hulevesiopas, 2012)

Viherkatot eli kasvillisuudella peitetyt, alusrakenteiltaan niitä kestäväksi suunnitellut katot
ovat yksi keino lisätä kaupunkien viheralueita (Ympäristötieteet: viherkatto, 2015), ja ne
luetaan mukaan hulevesien käsittelyn luonnonmukaisiin menetelmiin. Viherkattojen näh-
dään vähentävän kerralla kaupungeista pois johtuvan huleveden määrää ja paranta-
malla huleveden laatua (Oberndorfer et al., 2007). Viherkattojen vaikutuksesta katoilta
valuvien hulevesien laatuun on kuitenkin olemassa ristiriitaisia tuloksia. (Wang et al.,
2017)

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on arvioida erilaisten viherkattoratkaisujen vaikutusta viherkatoilta valuvien hulevesien laatuun tutustumalla aiheesta tehtyihin viimeaikaisiin tutkimuksiin. Hulevesien laatua arvioidaan tarkastelemalla niiden mukana kulkeutuvien luonnolle mahdollisesti haitallisten aineiden, kuten ravinteiden, pitoisuuksia ja vertaamalla pitoisuuksia kasvittomilta katoilta valuvien ja kaupungeissa yleisesti muodostuvien hulevesien sekä sadevesien ainepitoisuuksiin. Lisäksi työssä tarkastellaan erilaisia viherkatoille toteutettavia keinoja, joilla on mahdollista parantaa viherkatoilta valuvien hulevesien laatua. Arvioitaessa eri keinoja pyritään keskittymään Suomen ilmasto-olosuhteissa sovellettaviin ratkaisuihin.

Työn toisessa luvussa esitellään Suomen olosuhteissa tällä hetkellä käytössä olevia viherkattoratkaisuja ja niiden ominaisuuksia. Kolmannessa luvussa keskitytään tarkastelemaan viherkatoilta valuvien hulevesien laatua ja vertaamaan niitä kasvittomilta katoilta valuviin ja kaupungeissa yleisesti muodostuviin hulevesiin sekä sadevesiin. Neljännen luvun tavoitteena on esitellä viherkatoilta valuvien hulevesien laatuun vaikuttavia tekijöitä sekä keinoja parantaa viherkatoilta valuvien hulevesien laatua. Neljännessä luvussa pohditaan lisäksi viherkattojen roolia hulevesien hallinnassa. Lopuksi työn aikaiset havainnot ja johtopäätökset kootaan yhteen viidennessä luvussa.

2. VIHERKATOT SUOMEN OLOSUHTEISSA

2.1 Viherkattorakentaminen Suomen olosuhteissa

Viherkatoista tehdyt tutkimukset ja viherkattojen rakentaminen ovat yleistyneet voimakkaasti viime vuosikymmeninä eri puolilla maailmaa, ja monissa maissa viherkattorakentaminen on nykyään lakisääteistä. Esimerkiksi Torontossa Kanadassa rakennusten, joiden lattiapinta-ala on yli 2000 m² on pakollista peittää 20 - 60 % kattopinta-alastaan viherkatolla. Japanissa jokaisen uuden rakennuksen katolla on oltava säännönmukainen osuus viherkattoa niin, että esimerkiksi kattopinta-alaltaan yli 250 m²:n julkisten rakennusten ja 1000 m²:n yksityisten rakennusten on peitettävä 20 % kattopinta-alasta kasvillisuudella. (Shafique et al., 2018) Euroopassa esimerkiksi Kööpenhaminan kaupunki on vuodesta 2010 lähtien vaatinut viherkattojen asentamista kaikille uusille katoille, joiden kaltevuus on alle 30 astetta (Savarani, 2019).

Viherkattorakentamisen yleistyminen ei johdu pelkästään halusta lisätä rakennettujen kaupunkialueiden viheralueiden määrää. Yleistymisen taustalla ovat viherkatoista tehtyjen tutkimuksien tulokset, joiden mukaan niillä on todettu olevan useita mahdollisia positiivisia vaikutuksia urbaanissa, tiiviisti rakennetussa kaupunkiympäristössä. Tutkimusten mukaan viherkatot voivat esimerkiksi lisätä kaupunkien viihtyisyyttä ja biodiversiteettiä tarjoamalla uusia elinympäristöjä sekä parantaa ilmanlaatua ja pienentää lämpösaarekeilmiötä eli kaupunkien keskuksien lämpenemistä niitä ympäröiviä alueita voimakkaammin (Turun yliopisto – Sopeutuminen, 2014). Lisäksi viherkatot voivat parantaa rakennusten energiatehokkuutta toimimalla kylmän sään aikaan eristeenä ja lämpimän sään aikaan haihtumisen avulla jäähdyttimenä, pidentää rakennusten käyttöikää sekä auttaa hulevesien hallinnassa vähentämällä kerralla kaupungeista pois johtuvan huleveden määrää ja parantamalla huleveden laatua (Oberndorfer et al., 2007). (The Multifunctionality of Green Infrastructure, 2012; Shafique et al., 2018)

Viherkatot ovat osa vihreää infrastruktuuria eli strategisesti suunniteltua luonnollisista ja ihmisen luomista viheralueista koostuvaa verkostoa. Euroopan unionilla on olemassa biodiversiteetti- ja vihreän infrastruktuurin strategiat, joiden tavoitteena on lisätä vihreää infrastruktuuria unionin alueella. Viherkatot nimetään strategioissa yhdeksi keinoksi viherryttää kaupungeja. (KOM/2013/249 lopull., 2013; KOM/2020/380 lopull., 2020) Unionin alueella viherkattorakentamisen edelläkävijämaa on Saksa, jossa yli 10 % rakennuksista on kokonaan tai osittain kasvillisuudella peitetyjä (Shafique et al., 2018).

Myös Suomi on sitoutunut Euroopan unionin biodiversiteetin ja vihreän infrastruktuurin strategioihin, ja viherkattojen rakentamiselle on asetettu maassa alueellisia tavoitteita. Tavoitteista huolimatta viherkattorakentaminen ei ole kuitenkaan toistaiseksi vakiintunut Suomessa. Esimerkiksi Helsingin kaupungilla on ollut vuodesta 2016 lähtien viherkattolinjaus, jonka mukaan kaupunki edistää viherkattojen rakentamista muun muassa asemakaavoituksen ja viherkattojen koerakentamisen avulla. Linjauksen mukaan kaupungin uudisrakennuksissa, joissa kattokulma on alle 20 astetta, on viherkaton oltava ensisijainen arvioitava kattovaihtoehto. (Stadin katot elävät, 2016) Linjaus ei kuitenkaan velvoita rakentamaan viherkattoja, ja aiheesta tehtyjen uutisointien perusteella viherkattojen yleistyminen on ollut kaupungissa hidasta (mm. Juuti, 2018).

Viherkattorakentamisen vähyyden ohella Suomessa rakennettavissa viherkattoratkaisussa ei ole suurta vaihtelevuutta, ja kattomallin valinta perustuu usein helppouteen ja totuttuihin ratkaisuihin katon toiminnallisuuden optimoinnin sijaan. Esimerkiksi Mesimäki et al. (2015) tekemässä tapaustutkimuksessa viherkattojen rakentamisprosessista huomattiin, että viherkattomallina päädyttiin lopulta hyödyntämään Suomessa yleisintä ja yksinkertaista markkinoilla olevaa viherkattoratkaisua siksi, että sen koettiin olevan turvallinen ja varma vaihtoehto rakentamisen riskienhallinnan kannalta, vaikkei malli vastannutkaan rakennusprojektin toimijoiden odotuksia toiminnallisuudeltaan. Sama ilmiö on huomattu myös esimerkiksi Tampereella, jossa nykyiset viherkatot on rakennettu pääasiassa maksaruohokattoina yksityisten autokatosten päälle (Kohti vihreämpää Tamperettä, 2018).

Viherkattojen rakentamisen yleistymistä ja monipuolistumista vaikeuttavat Suomessa aiheesta tehtyjen tutkimusten mukaan erityisesti kokemattomuus viherkattojen rakennusprosessista sekä malliratkaisujen ja standardien puute viherkattojen tarkoituksenmukaiselle suunnittelulle (Kohti vihreämpää Tamperettä, 2018; Mesimäki et al., 2015). Perinteisten rakennusmenetelmien ja -periaatteiden sovittaminen viherkattojen asettamiin uusiin rakentamisen kriteereihin on alan toimijoiden mukaan vaikeaa, eikä viherkattojen toteutusmahdollisuuksia ja toimintakriteerejä ole heidän mielestään normitettu tai standardisoitu tarpeeksi. Toimijat kokevat omaavansa puutteelliset mahdollisuudet arvioida eri vaihtoehtojen vaikutuksia viherkattojen toiminnallisuudelle ja viherkattojen rakentamista on kuvailtu jopa ”jatkovana koerakentamisena”. (Laurila et al., 2014) Yleisesti voidaan sanoa, että viherkattojen yleistyminen Suomessa vaatii ensisijaisesti monipuolisempien normitettujen viherkattomallien koostamista, joka edellyttää lisäksi viherkattojen loogisempaa tyypittelyä (Kotze et al., 2020). Viherkattotyyppejä tarkastellaan seuraavassa alaluvussa.

2.2 Viherkattotyypit

Viherkatot jaetaan usein intensiivisiin ja ekstensiivisiin viherkattoihin sekä kasvillisuutensa perusteella maksaruoho-, niitty- tai heinäkattoihin sekä kattopuutarhoihin (Ympäristötieteet: viherkatto, 2015; Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet, 2016). Intensiiviset viherkatot ovat yleisimmän määrittelyn mukaan paksuilla, suuriakin kasveja kestävillä kasvualustoilla varustettuja viherkattoja, jotka vaativat jatkuvaa ylläpitoa, kuten kastelua, kitkentää ja lannoittamista. Ekstensiiviset viherkatot taas koostuvat ohuesta kasvialustasta, jonka päälle istutetaan pienempiä peitekasveja, ja jotka eivät yleensä vaadi jatkuvaa hoitoa satunnaista lannoittamista lukuun ottamatta. Jotkin lähteet erottelevat lisäksi semi-intensiivisen tai semi-ekstensiivisen viherkaton, jonka kasvillisuus on ekstensiivisen viherkaton tavoin kasvialustan kokonaan peittävää peitekasvillisuutta, mutta joka tarvitsee jatkuvaa ylläpitoa. (Berndtsson, 2010)

Viherkattojen jakamisperusteet ekstensiivisiin ja intensiivisiin viherkattoihin sekä niiden välimuotoihin vaihtelevat suuresti eri lähteissä, eivätkä ne yksistään anna parasta kuvaa viherkaton toiminnasta (Berndtsson, 2010). Eri lähteiden erilaiset määritelmät aiheuttavat ongelmia myös viherkattojen tutkimustyölle sekä rakentamiselle, minkä vuoksi Kotze et al. (2020) ehdottavat artikkelissaan viherkattojen uudeksi kuvaavammaksi nimeämistavaksi kattojen nimeämisen niiden pääasiallisen käyttötarkoituksen ja kasvillisuuden perusteella kaksiosaisesti. Esimerkiksi termillä ”biodiversity meadow roof” eli biodiversiteettiiniittykatto kuvattaisiin kasvillisuustyyppiltään niittykattoa, jonka pääasiallisena toiminnallisena tavoitteena on biodiversiteetin lisääminen, ja jonka rakenneratkaisut on tehty toiminnallisen tavoitteen perusteella. Tässä kandidaatintyössä arvioidaan yksiselitteisyyden vuoksi viherkatoilta valuvan huleveden laatuun vaikuttavia tekijöitä ilman jakoa ekstensiivisiin ja intensiivisiin viherkattoihin käyttäen viherkattojen lajitteluperusteena katon kasvillisuutta. Vertailtavat kasvillisuustyypeiltään erilaiset viherkatot ovat edellä mainitut maksaruoho-, niitty-/keto- ja heinäkatot sekä kattopuutarhat.

Maksaruohokatot ovat viherkattotyypeistä ohutrakenteisimpia ja hyvin vähän huoltamista vaativia viherkattoja. Maksaruohokaton tyypillinen kasvillisuus koostuu matalista, haastavia olosuhteita kestävästä maksaruohoista, mehikasveista sekä sammalista. Lisäksi katoilla voi kasvaa pieniä keto- ja sipulikasveja. Maksaruohokaton tyypillinen kasvialusta on 6 – 8 cm paksu. (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet, 2016). Maksaruohokatot ovat Suomessa yleisimmin kotimaisilla markkinoilla tarjolla oleva kattotyyppi (Laurila et al., 2014). Ne ovat edullisia ja yksinkertaisia rakentaa sekä ylläpitää, ja soveltuvat hyvin kevytrakenteisille katoille, kuten autokatoksille (Kohti vihreämpää Tamperetta, 2018).

Niitty-/ketokattojen kasvillisuus on kattotyyppin nimen mukaisesti tyyppillistä luonnon niitty- ja ketokasvillisuutta, joka koostuu vaatimattomista ja kuivuutta kestävästä kasveista. Katon kasvualusta on tyyppillisesti noin 20 cm paksu. (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet, 2016). Niitty- ja ketokatot ovat yleensä lajistoltaan monipuolisia, ja katoilla tavallisia lajeja ovat muun muassa ahdekaunokki, apilat ja matarat. Katoilla voi esiintyä myös esimerkiksi perennoja tai varpukasveja. (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, kasvillisuus ja kasvualusta, 2016).

Heinäkatoilla kasvillisuus koostuu pääasiassa kuivassa ja auringonpaisteessa viihtyvistä heinäkasveista, joita ovat esimerkiksi metsälauha ja tuoksusimake (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, kasvillisuus ja kasvualusta, 2016). Vaikka heinäkato muistuttavatkin paljon niitty-/ketokattoja ja niissä esiintyy myös samoja kasvilajeja, eivät heinäkato ole yhtä lajirikkaita kuin niitty-/ketokatot. Heinäkattojen hoitotarve on usein niitty-/ketokattoja suurempi, ja myös kattojen kasvualusta hieman paksumpi, noin 20 – 30 senttimetriä. (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet, 2016).

Kattopuutarhat ovat ominaisuuksiltaan hyvin erilaisia kuin edellä esitellyt viherkattotyypit ja muistuttavat nimensä mukaisesti enemmän puutarhoja kuin kasvillisuuskenttiä. Kaikki kasvillisuustyypit ovat teoriassa mahdollisia kattopuutarhoissa, kunhan ne kestävät paikallisia sääoloja. Kattopuutarhojen kasvillisuus voi olla lisäksi kerroksellista käsittäen peitekasvien lisäksi myös pensaskasveja ja esimerkiksi puita. Kattopuutarhojen kasvualusta voi olla jopa metrin paksuinen, ja katot vaativat jatkuvaa ylläpitoa. Kattopuutarhat ovat yleensä avoimia katolla oleskeluun. (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet, 2016)

Edellä esiteltyjen viherkattotyyppien lisäksi on olemassa sammal- ja kunta- eli varpu-kasvustokattoja, mutta vuoden 2016 tietojen mukaan nämä kattotyypit ovat Suomessa harvinaisia. (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, kasvillisuus ja kasvualusta, 2016). Sammal- ja kunnakatoista ei lisäksi löydy juurikaan hulevesiin liittyvää tutkimustietoa, minkä vuoksi niitä ei tarkastella tässä kandidaatintyössä.

2.3 Viherkaton rakenne

Viherkaton rakenne ja rakenteen materiaalit määrittävät, millainen katto on toiminnallisuudeltaan ja suorituskyvyltään. Suomessa viherkaton rakenteen ja sen materiaalien valintaa määrää ensisijaisesti katon riittävän vedenpidätyskyvyn varmistaminen, sillä viherkattojen on täytettävä samat tekniset vaatimukset kuin kasvittomienkin kattojen (Laurila et al., 2014). Muita merkittäviä viherkaton rakenne- ja materiaalivalintoihin vaikuttavia tekijöitä ovat katon kaltevuus ja kantavuus, paikalliset ilmasto-olosuhteet, viherkatolta tavoitellut ja sille esimerkiksi kaavoituksessa määrätyt toiminnalliset ominaisuudet, saatavilla olevat materiaalit sekä luvussa 2.1 käsitelty viherkaton suunnittelijoiden tuntemus erilaisista viherkattoratkaisuista. (Chenani et al., 2014; Laurila et al., 2014; Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet, 2016)

Viherkaton kaltevuus vaikuttaa merkittävästi viherkaton rakenteen suunnitteluun, sillä ominaisuus määrittelee sen, kuinka paljon rakennettuja veden pidätys- ja kuljetusrakenteita sekä tukirakenteita katolle tarvitaan, ja millaisia istutuksia katolle voidaan tehdä. Katon kaltevuus määritetään katon vesieristetyn osan kaltevuuden perusteella, jonka tasoon myös katon kasvillisuus yleensä asetetaan. Viherkatot jaetaan loiviin ja jyrkkiin viherkattoihin. Loivat viherkatot ovat kaltevuudeltaan 1:10...1:80 ja jyrkät puolestaan yli 1:10. (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, rakenteet, 2016).

Viherkaton ihanteellinen kaltevuus on 1:20...1:50 eli loivien viherkattojen alueella. Rakennustietosäätiön mukaan kaltevuutta 1:50 loivempia viherkattoja tulisi rakentaa vain harkiten, eikä esimerkiksi yli 1:80 loivempia kattoja tulisi säätiön mukaan rakentaa lainkaan. Loiville viherkattoille alkaa kertyä seisovaa vettä, joka on epäedullista sekä katon rakenteille että kasvillisuudelle. Jyrkät katot ovat puolestaan herkkiä kasvillisuuden ja kasvualustan kulumiselle sekä liukumiselle. (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, rakenteet, 2016)

Viherkattotyypin valinnassa kasvillisuuden alle jäävän katon kantavuus asettaa raamit kattotyypin valinnalle. Jo olemassa olevien rakennuksien katoille rakennettavien viherkattojen on usein oltava kasvialustaltaan ohuita maksaruoho-, niitty- tai heinäkattoja, jotta katon kantavuus riittää kantamaan viherkaton rakenteet, katolle pidättyvän veden sekä hoitotoimenpiteiden aikaisen katolla oleskelun. Kattopuutarhat ovat paksun kasvialustansa ja kasvillisuutensa sekä suuren hoitotarpeensa vuoksi usein liian painavia jo olemassa olevien rakennusten kantavuudelle ilman kattorakenteiden tuen lisäämistä, mutta niitä voidaan toteuttaa uusiin rakennuksiin, joissa puutarhojen paino voidaan huomioida jo suunnitteluvaiheessa. (Shafique et al., 2018; Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet, 2016)

Viherkaton rakenne koostuu yleistettynä katon alarakenteita suojaavasta vesieristyksestä, juurisuoja kerroksesta, kasvualustasta sekä kasvillisuudesta. Todellisuudessa viherkaton kerrosten määrä ja keskinäinen järjestys vaihtelevat runsaasti, ja yksi kerros voi toimia joko yhdessä tai useammassa tarkoituksessa. Koska viherkattoon kohdistuva vesikuorma on kasvillisuuden ja kasvualustan sitoman veden vuoksi yleisesti kasvitonta kattoa korkeampi, on sen rakenteeseen usein lisätty edellä lueteltujen kerrosten lisäksi vettä johtavia ja pidättäviä kerroksia, jotka on esitetty myös kuvassa 1. Muita mahdollisia rakenneosia ovat lisäksi erilaiset lämpöä eristävät sekä vettä suodattavat kerrokset. (Shafique et al., 2018; Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, rakenteet, 2016)



Kuva 1. Havainnekuva viherkaton yleisestä rakenteesta.

Viherkaton alusrakenteita suojaava vedeneristyskerros on Suomessa yleensä materiaailtaan joko SBS-kumi- eli styreeni-butadieeni-styreeni-elastomeeribitumikermiä tai nestemäistä elastomeeriä. SBS-kumibitumikermit ovat käytössä erityisesti loivilla viherkattoilla. (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, rakenteet, 2016) Erityisesti vedeneristyskerroksen materiaalin valinnassa korostetaan Suomessa materiaalin testattua luotettavuutta (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet, 2016).

Juurisuoja kerroksen, toiselta nimeltään mekaanisen suojakerroksen, tarkoituksena on estää viherkaton kasvillisuuden juurien pääsy viherkaton vedeneristyskerrokseen. Suojakerros voi olla tyypiltään kalvo, kermi, nestemäinen tiivistysaine tai pinnoite, ja sen materiaaleina käytetään esimerkiksi muoveista LPDE:tä (eng. low density polyethylene) tai PVC:tä (eng. polyvinyl chloride) tai metalleista kuparia (Chenani et al., 2014). Mikäli viherkaton istutetaan esimerkiksi pensaita tai muita vahvajuurisia kasveja, on katolle asennettava mekaanisen suojakerroksen lisäksi rakenteellinen suojakerros. Tämä kerros voidaan toteuttaa esimerkiksi betonista, teräksestä tai muovista valmistettuna laattana tai kaukalona. (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, rakenteet, 2016)

Viherkaton erilaisilla vettä pidättävillä ja johtavilla rakennekerroksilla pyritään tasoittamaan kattoon kohdistuvaa vesikuormaa ja kasvillisuuden kasvuolosuhteita. Nämä rakennekerrokset ovat toteutustavaltaan erityisen vaihtelevia, ja joissain tapauksissa yksi kerros voi toimia sekä vettä johtavana että pidättävänä elementtinä. (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet, 2016). Mikäli viherkatto sisältää vettä pidättäviä ja/tai johtavia rakennekerroksia, on niiden ja kasvualustan väliin usein lisätty erillinen suodatin-kerros, joka estää kasvualustan valumisen vedelle tarkoitettuihin rakenteisiin. Suodatin-kerros voi olla valmistettu esimerkiksi polypropeenikuituisesta matosta. (Chenani et al., 2014)

Viherkaton kasvualustan alle lisättävän vettä pidättävän kerroksen tarkoituksena on säilyttää kasvualustassa tarpeeksi kosteutta katon kasvillisuuden käytettäväksi (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet, 2016). Vettä pidättävä kerros voi olla rakennettu esimerkiksi kierrätyskuidusta valmistetusta ”lumpumatosta” (Laurila et al., 2014), muovisesta, muun muassa polypropeenimatosta (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, rakenteet, 2016) tai mineraalivillasta (Chenani et al., 2014). Kasvualustan kosteuden ylläpito voidaan toteuttaa myös keräämällä ja kierrättämällä vettä katolla esimerkiksi hulevesikasettien tai vettä keräävien kennostojen avulla (Chenani et al., 2014; Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet, 2016).

Vettä johtavia rakennekerroksia kutsutaan yleisesti salaojituserroksiksi. Salaojituserros voi koostua joko karkearakeisesta maa-aineksesta tai erillisestä vettä johtavasta rakenteesta, kuten vedenjohtokennostosta. Materiaaliltaan salaojitukset ovat yleensä muovisia, esimerkiksi polystyreeniä tai polyeteeniä (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet, 2016). Salaojituksia voi olla viherkaton rakenteessa yksi tai kaksi: yksi viherkaton kasvualustan alla ja toinen suoraan vedeneristyskerroksen päällä. Kasvualustan alla olevan salaojituserros toimii ensisijaisesti kasvualustan vettymisen estäjänä, ja vedeneristyskerroksen päällä oleva katon pohjalle valuvan veden poisjohtajana. (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, rakenteet, 2016)

Viherkaton kasvualustan valinta on riippuvainen katolle tulevista kasvilajeista sekä katon käyttötarkoituksesta (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, kasvillisuus ja kasvualusta, 2016). Usein kasvualusta on usean materiaalin seos. Yhteistä erilaisille kasvualustoille on, että niiden orgaanisen aineksen pitoisuus on 1-14 m-%. Erilaisia kasvualustoissa käytettäviä materiaaleja ovat muun muassa tiilimurska, rakennuspaikan pintamaa, kunta, kalkki-, laava- ja hohkakivi (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet, 2016). (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, kasvillisuus ja kasvualusta, 2016; Shafique et al., 2018) Kasvualustan ominaisuuksia on voitu myös parantaa esimerkiksi keventä-

mällä sen rakennetta kevytsoralla, biohiilellä tai vaahtolasilla, tai sen orgaanisen aineksen pitoisuutta on voitu nostaa kompostin tai turpeen lisäyksellä (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet, 2016).

Viherkaton erilaisia kasvillisuustyyppisiä käsiteltiin luvussa 2.2. Kasvillisuus voidaan istuttaa viherkatolle sen tyypistä riippuen joko siemenistä, taimista tai valmiina kasvillisuusmattoina. Katoilla suositaan kotimaisia kasvilajeja niiden hyvän kestävyys- ja turvallisuuden takia (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet, 2016). (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, kasvillisuus ja kasvualusta, 2016)

Viherkattojen erilaisia rakenneratkaisuja on paljon, ja hyvinkin moninaisilla ratkaisulla on mahdollista päätyä samanlaiseen suorituskykyyn. Tämän vuoksi viherkattoja on tarkasteltava aina yksittäisten osiensa sijaan kokonaisuutena, mikä monimutkaistaa erilaisten rakenneratkaisujen vertailua. Erilaisten viherkattoratkaisujen vertailtavuutta voidaan helpottaa tarkastelemalla ratkaisuja tietyn toiminnallisen näkökulman, kuten kattojen hulevesien pidätyskyvyn ja sen laadun hallinnan kautta. (Shafique et al., 2018)

3. VIHHERKATOILTA VALUVIEN HULEVESIEN LAATU

3.1 Hulevesien laatu yleisesti

Kaupunkeihin kertyvien hulevesien kierto poikkeaa huomattavasti veden luonnollisesta hydrologisesta kierrosta. Sadanta on kaupunkialueilla suurempaa ja haihdunta puolestaan pienempää, mutta suurin ero verrattuna luonnontilaiseen ympäristöön on kaupunkialueilla sijaitsevien vettä imevien pintojen vähyyys. Avointen, vettä imevien viher- ja vesialueiden sijaan kaupunkialuetta hallitsevat vettä läpäisemättömät tiet, katot, kiveykset ja aukiot, jotka voivat kattaa yli puolet kaupungin pinta-alasta. Vettä läpäisemättömät pinnat lisäävät veden valuntaa, mutta vähentävät sen imeytymistä kaupunkialueella. (Hulevesiopas, 2012) Hulevesivirtaamat ovat tavallisesti myös nopeita kulkeutuessaan imeytymättä kaupunkien läpi verrattuna luonnontilaiseen ympäristöön, jossa veden imeytyminen maahan hidastaa virtausta (Schueler, 1995 Airola et al. mukaan, 2014).

Valuessaan vettä läpäisemättömiä pintoja pitkin hulevesiin päätyy paljon erilaisia mahdollisesti luonnolle haitallisia epäpuhtauksia. Yleisiä, hulevesien laatua huonontavia epäpuhtauksia ovat erityisesti kiintoaine, metallit, ravinteet, kloridi ja orgaaniset haitta-aineet kuten öljyt. Lisäksi hulevesissä voi esiintyä huomattavissa määrin bakteereja ja torjunta-aineita. Epäpuhtauksien lähteitä ovat yleisimmin liikenne, rakennusmateriaalit sekä laskeumat ilmasta. Laskeumat ilmasta voivat olla joko kuiva- tai märkälasseumaa. Muita lähteitä ovat lisäksi muun muassa kaupunkien viheralueiden ja istutusten lannoittaminen ja myrkyttäminen, jäte- ja sekavesiviemäreiden ylivuodot sekä jätteet ja jätökset. Taulukkoon 1 on koottu yleisten hulevesien laatua huonontavien epäpuhtauksien merkittävimpiä päästölähteitä ja mitä epäpuhtauksia niiltä päätyy hulevesiin. Erilaisten epäpuhtauslähteiden määrä ja laatu vaihtelevat tarkasteltavan alueen maankäytön mukaan. (Göbel et al., 2007; Hulevesiopas, 2012)

Taulukko 1. Yleisimpien hulevesien laatua huonontavien epäpuhtauksien lähteet (Göbel et al., 2007).

Parametri	Yleisimmät lähteet
Liikenne	Lyijy, kromi, kadmium, nikkeli, sinkki, kupari, rauta, alumiini, PAH-yhdisteet, öljyt, kiintoaine, typpi, fosfori, kloridi, rikki, hiilivedyt
Rakennukset ja rakenteet	Kadmium, kupari, sinkki, lyijy, typpi, fosfori
Laskeuma	Elohopea, sinkki, kadmium, kromi, kupari, lyijy, typpi, fosfori, sulfaatti, kiintoaine
Eläinten jätökset ja muu jäte	Lyijy, sinkki, kupari, fosfori, typpi, bakteerit
Kasvillisuuden hoito	Typpi, fosfori, torjunta-aineet

Epäpuhtaudet esiintyvät hulevesissä joko hiukkasina, hiukkasiin kiinnittyneinä tai veteen liuenneina. Kaupunkien rakenteista peräisin olevat kupari- ja sinkki- sekä typpipäästöt ovat yleensä liukoisessa muodossa, kun taas liikenteen metallipäästöt sekä fosfori ovat pääosin muihin hiukkasiin sitoutuneita. Epäpuhtauksien esiintymismuoto voi vaikuttaa niiden haitallisuuteen luonnonympäristössä, ja esimerkiksi lyijy ja nikkeli ovat haitallisia nimenomaan liukoisessa esiintymismuodossa (Kangas, 2018). (Airola et al., 2014)

Hulevesien sisältämien epäpuhtauksien pitoisuustutkimuksien vertailukohtana käytetään usein sadeveden laatua tutkitulla alueella. Keskimäärin hulevedet sisältävät sadevesiä enemmän kaikkia tutkittuja veden laatua huonontavia epäpuhtauksia. Esimerkiksi Göbel et al. (2007) totesivat hulevesien laatututkimuksien tuloksia verratessaan, että sadevesien keskimääräiset epäpuhtauspitoisuudet olivat kaikkien tutkittujen epäpuhtauksien osalta pienempiä kuin kaupungin hulevesissä.

Veden laadun huonontuminen sen päädyttyä kaupungin pinnoille ei johdu ainoastaan veden rakennetuilta pinnoilla huuhtomista niille kertyneistä epäpuhtauksista. Sadevesi sisältää aina jonkin verran ilmakehästä peräisin olevia epäpuhtauksia, kuten metalleja, rikkiä sekä typpeä. Erityisesti rikki ja typpi muodostavat sadevedessä rikki- ja typpihappoja tehden sadevedestä hapanta (Duncan, 1999 Airola et al. mukaan, 2014). Sataessaan maahan hapan sadevesi liuottaa rakennettuja pintoja, jolloin esimerkiksi katoilta vapautuu metalleja veteen. Erityisesti kalkin liukeneminen kaupunkialueiden useilta betonipinnoilta sadevesiin tekee hulevesistä sadevesiä emäksisempiä (Messenger, 1986 Airola et al. mukaan, 2014). (Göbel et al., 2007)

Hulevesien sisältämien epäpuhtauksien pitoisuudet ovat suurimmillaan niin sanotun ensihuuhtouman (eng. first flush) aikana. Ensihuuhtoumalla tarkoitetaan sateen alkaessa tapahtuvaa huuhtoumaa, kun vettä läpäisemättömille pinnoille kuivalaskeumana kertyneet epäpuhtaudet lähtevät ensimmäisenä liikkeelle sadeveden mukana. (Göbel et al., 2007) Sateen jatkuessa epäpuhtauksien pitoisuudet hulevesissä tasoittuvat.

Hulevesien laatua on analysoitu Suomessa esimerkiksi Helsingin kaupungin hulevesien laadun selvitystutkimuksessa sekä selvittäessä hulevesien kuormitusriskiä Vantaanjoen vesistölle. Hulevesinäytteitä otettiin tutkimuksissa asuinpaikoilta, teollisuus- ja työpaikka-alueilta sekä paikoituspaikoilta valuvista hulevesistä, jonka jälkeen hulevesinäytteiden ainepitoisuuksia verrattiin Tukholman läänin huleveden raja-arvoehdotuksessa esitettyihin raja-arvoihin sekä Valtioneuvoston asetuksessa vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista esitettyihin ympäristölaatunormeihin sisämaan pintavesille. Kloridin ja sulfaatin pitoisuuksille ei ole raja-arvoja Tukholman läänin huleveden raja-arvoehdotuksessa eikä ympäristölaatunormeja, minkä vuoksi niiden pitoisuuksia on arvioitu

käyttäen vertailukohteena pohjavesien kemiallisen laadun tarkkailussa käytettäviä raja-arvoja (Kangas, 2018). (Airola et al., 2014; Vahtera ja Lahti, 2016).

Tutkimuksissa käytetyt raja-arvot ja ympäristölaatu normit on koottu taulukkoon 2. Valtioneuvoston asetuksessa esitetyt ympäristölaatu normit on tarkastettu vastaamaan viimeisintä vuonna 2016 voimaan tullutta päivitystä (Valtioneuvoston asetus vesi ympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista, 2016). (Airola et al., 2014; Vahtera ja Lahti, 2016). Tukholman läänin huleveden raja-arvoehdotuksen raja-arvot ovat suodattamattomista näytteistä määritettyjen kokonaispitoisuuksien vuosikeskiarvoja, joissa on huomioitu myös esimerkiksi aineiden luontaiset taustapitoisuudet Tukholman alueella. Alin raja-arvo tarkoittaa raja-arvoa suoraan pieneen vesistöön johdettavalle hulevedelle, ja ylin raja-arvo raja-arvoa hulevesiojan kautta suureen vesistöön johdettavalle hulevedelle. (Riktvärdesgruppen, 2009) Toisin kuin Tukholman läänin huleveden raja-arvoehdotuksessa, Valtioneuvoston asetuksen ympäristölaatu normit ovat suodatetuista näytteistä määritettyjä (Valtioneuvoston asetus vesi ympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista, 2016).

Taulukko 2. Airola et al. (2014) ja Vahtera & Lahti (2016) tutkimuksissa käytetyt vertailuarvot hulevesien laadulle. Ympäristölaatu normi AA-EQS tarkoittaa vuosikeskiarvolle asetettua, ja MAC-EQS hetkelliselle ainepitoisuudelle asetettua ympäristölaatu normia.

Parametri	Yksikkö	Alin raja-arvo ^[1]	Ylin raja-arvo ^[1]	AA-EQS ^[2]	MAC-EQS ^[2]	Raja-arvo ^[3]
Kloridi	mg/l					25
Sulfaatti	mg/l					150
Elohopea	µg/l	0.03	0.07		0.07	
Fosfori	µg/l	160	250			
Typpi	mg/l	2	3			
Kadmium	µg/l	0.4	0.5	0.08		
Kiintoaine	mg/l	40	75			
Kromi	µg/l	10	25			
Kupari	µg/l	18	40			
Lyijy	µg/l	8	15	1.2	14	
Nikkeli	µg/l	15	30	4	34	
Sinkki	µg/l	75	125			

^[1] (Riktvärdesgruppen, 2009), ^[2](Valtioneuvoston asetus vesi ympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista, 2016), ^[3](Kangas, 2018)

Helsingin kaupungin selvitystutkimuksessa kaupungin hulevesien todettiin sisältävän vertailuarvot ylittäviä määriä typpeä, fosforia, kloridia, kuparia, sinkkiä sekä öljyhiilivetyjä (Airola et al., 2014). Vantaanjoen vesistön hulevesien aiheuttaman kuormitusriskin selvityksessä tutkittujen hulevesien sisältämät vertailuarvot selvästi ylittävät parametrit olivat puolestaan typpi, kupari ja sinkki. Lisäksi kloridin pitoisuudet ylittyivät talvella tiesuolauksen seurauksena ja nikkelin sekä kadmiumin pitoisuudet yhdellä tutkitulla alueella. Näiden ohella hulevesien *Escherichia coli* -bakteerien ja suolistoperäisten enterokokkien pitoisuuksien todettiin olevan ajoittain korkeita, noin 1000 kpl/100 ml. (Vahtera ja Lahti, 2018) Tutkimusten voidaan arvioida kuvaavan suomalaisten kaupunkiympäristön hulevesien laatua riittävällä tarkkuudella. Yleisimpiä epäpuhtauksia olivat raskasmetallit ja ravinteet.

Epäpuhtauksien määrää hulevesissä tarkastellaan yleensä käytännöllisyyden vuoksi niiden pitoisuuksien ja pitoisuuksien keskiarvojen perusteella. Todellisuudessa hulevesien laadun havainnollistavin mittari olisi niiden valuma-alueelleen aiheuttama kuormitus, jonka määrittäminen vaatisi pelkkien epäpuhtauspitoisuuksien määrittämisen ohella tietoa hulevesien valuma-alueesta ja valuma-alueella ajanjaksolla muodostuneen valunnan määrästä. Koska kaikki tarkastelluista hulevesien laadun tutkimuksista perustuvat pelkästään hulevesien sisältämien epäpuhtauksien pitoisuuksille, ei hulevesien aiheuttamaa kuormitusta ympäristölleen arvioida tässä kandidaatintyössä.

3.2 Katoilta valuvien hulevesien laatu

Kaupunkien katoilta peräisin olevat päästöt hulevesiin ovat pääosin lähtöisin kattojen rakenteissa käytetyistä materiaaleista sekä katon pinnalle laskeutuneesta laskeumasta (Airola et al., 2014). Katoilta hulevesiin päätyvien epäpuhtauksien laatu ja määrä riippuvat katon materiaalista, iästä, kaltevuudesta sekä sijainnista (Göbel et al., 2007). Katoilta valuvissa hulevesissä yleisimmin esiintyvät epäpuhtaudet ovat niiden materiaaleista peräisin olevat kupari, kadmium sekä sinkki. Edellä mainittujen lisäksi katoilta vapautuu vähäisemmissä määrin lyijyä, fosforia ja typpeä, jotka päätyvät katoille pitkälti laskeuman seurauksena. Osa kattojen fosfori- sekä tyypipäästöistä aiheutuu myös niillä mahdollisesti kasvavista sammalista ja jäkälästä sekä lintujen jätöksistä. Betonikatoilta päätyy hulevesiin kalkkia. (Airola et al., 2014; Göbel et al., 2007)

Katoilta valuvien hulevesien epäpuhtauspitoisuudet ovat yleisesti pienempiä, kuin kaupunkien hulevesissä yleisesti. Esimerkiksi vuonna 1999 julkaistussa tutkimuksessa todettiin, että verrattaessa asuinalueilta, teiltä, katoilta ja muilta taajama-alueilta valuneiden hulevesien kiintoaine-, sinkki-, kupari-, lyijy-, kokonaisfosfori- ja kokonaistyyppipitoisuuksia katoilta valuvien hulevesien epäpuhtauspitoisuudet olivat pienimpiä, pois lukien

ainoastaan kupari- ja sinkkipitoisuudet, joiden todettiin olevan suurempia kuin muilta tarkastelluilta pinnoilta (Duncan H., 1999, Hulevesiopas, 2012 mukaan). Myös Airola et al. (2014) ja Göbel et al. (2007) toteavat kupari- tai peltilevyistä valmistettujen kattojen aiheuttavan muita kaupunkipintoja enemmän kupari- ja sinkkipäästöjä hulevesiin.

Myös tuoreemmassa Göbel et al. (2007) tutkimuksessa katoilta valuvien hulevesien epäpuhtauspitoisuudet olivat pienempiä kuin hulevesien yleisesti. Pitoisuudet kuitenkin ylittivät monin osin luvussa 3.1 esitellyt hulevesien laadun arviointiin käytetyt raja-arvot ja laatu normit. Lyijyn, kuparin, sinkin ja kadmiumin pitoisuudet ylittivät niille asetetut Tukholman läänin raja-arvot jopa moninkertaisesti. Typen ja fosforin pitoisuudet olivat keskiarvoltaan raja-arvojen ylärajalla, mutta niiden maksimipitoisuudet ylittivät selvästi raja-arvot. Lisäksi kiintoaineen pitoisuuden keskiarvo ylitti Tukholman läänin alimman raja-arvon, ja pitoisuuden maksimiarvo oli lähes kaksinkertainen kuin ylempi raja-arvo. (Göbel et al., 2007)

Kasvillisuuden ja sen vaatimien rakenteiden lisääminen katolle muuttaa veden kulkua katolla. Viherkatto pienentää ja myöhästyttää hulevesien virtaamapiikkiä katolta, minkä lisäksi se kokonaisuudessaan pienentää katolta valuvien hulevesien määrää kasvillisuuden ja kasvualustan pidättäessä vettä, joka katolta valumisen sijaan päätyy sitoutumaan kasvillisuuteen, haihtumaan tai palaamaan ilmakehään kasvien soluhengityksen seurauksena. (Berndtsson, 2010) Viherkaton rakenteissa tapahtuvan veden pidättymisen ja suotautumisen sekä viherkattojen kasvittomiin kattoihin verraten hyvin erilaisten materiaalien vuoksi viherkatoilta valuvien hulevesien sisältämien epäpuhtauksien määrä ja laatu poikkeavat kasvittomista katoista.

Viherkattojen vaikutuksesta niiltä valuvien hulevesien laatuun on vaihtelevia tutkimustuloksia, mutta yleisesti niiltä valuvien hulevesien laatu on kasvittomilta katoilta ja kaupungeissa kokonaisuudessaan valuvien hulevesien laatua parempi (Beck et al., 2011; Berndtsson 2010; Göbel et al., 2007; Shafique et al., 2018; Todorov et al., 2018). Wang et al. (2017) mukaan viherkatto voi olla päästölähde esimerkiksi metalleille kuten kadmiumille, kromille, kuparille, raudalle, kaliumille, mangaanille, lyijylle, sinkille tai ravinteille kuten fosfaatille ja nitraatille. Näiden lisäksi viherkatoilta valuu kiintoainesta hulevesien mukana, mikäli voimakas veden virtaus irrottaa katon kasvualustaa.

Göbel et al. (2007) selvityksen mukaan viherkatoilta valuvat hulevedet sisälsivät keskimäärin sinkkiä lukuun ottamatta vähemmän raskasmetalleja kuin kasvittomilta katoilta valuvat hulevedet. Esimerkiksi lyijyn ja kadmiumin pitoisuudet olivat noin kymmenesosa kasvittomilta katoilta valuviin pitoisuuksiin verrattuna. Sinkin sekä kuparin keskimääräiset pitoisuudet viherkatoilta valuvissa hulevesissä ylittivät lisäksi ainoana epäpuhtauksina

Tukholman läänin asettamat raja-arvot. Myös kalsiumin pitoisuus oli keskimäärin huomattavasti korkeampi kuin kasvittomilta katoilta valuvissa hulevesissä, sillä viherkatoilta valuvissa hulevesissä sen pitoisuus oli keskimäärin kahdeksankertainen. Typpipitoisuudet viherkatoilta valuvissa hulevesissä olivat selvityksen mukaan sen sijaan huomattavasti pienempiä kuin kasvittomilta katoilta, noin 3-4 kertaa pienempiä.

Toisessa, Ruotsissa ja Japanissa toteutetussa viherkatoilta valuvien hulevesien laadun tutkimuksessa tutkittavana oli 40 cm paksulla kasvualustalla varustettu, pääosin puita ja pensaita sisältävä kattopuutarha sekä maksaruohokatto, jonka kasvualustan paksuus oli 3 cm. Tässä tutkimuksessa molempien viherkattojen todettiin vapauttavan kaliumia. Ainoastaan maksaruohokatolta vapautui sinkkiä ja kuparia, joista sinkin pitoisuus ylitti juuri ja juuri Tukholman läänin raja-arvot. Lisäksi maksaruohokaton havaittiin vapauttavan fosforia sekä typpeä, kumpaakin Tukholman läänin raja-arvot ylittävissä pitoisuuksissa, joskin ero raja-arvoihin ei ollut suuri. On myös huomioitava, että maksaruohokatolle satanut sadevesi sisälsi typpeä raja-arvot ylittävän pitoisuuden ja että maksaruohokatolta valuneessa hulevedessä pitoisuus oli hieman laskenut verrattuna sadeveteen. Kattopuutarha puolestaan satoi itseensä rautaa, sinkkiä ja kuparia, mutta vapautti kalsiumia. (Berndtsson et al., 2009)

Berndtsson huomasi vuonna 2010 julkaistussa kirjallisuuskatsauksessaan, että perusteet viherkaton määrittelemiseksi päästölähteeksi vaihtelevat erilaisten tutkimuksien välillä, mikä vaikuttaa tutkimuksien lopputulokseen viherkatoista päästölähteenä. Osassa tutkimuksista viherkatolta valuvan huleveden laatua arvioidaan vertaamalla sen sisältämiä tutkittujen aineiden pitoisuuksia katolle satavan sadeveden sisältämiin pitoisuuksiin huomioimatta veden pidättymistä katolle. Osa tutkimuksista taas huomioi veden pidättymisen, ja tarkastelee viherkatolta valuvien hulevesien laatua vertaamalla katolta huleveden mukana valuvien tutkittavien aineiden massoja tietyssä aikajaksossa sadeveden mukana samalle pinta-alalle sataneiden aineiden massoihin samassa ajanjaksossa. Jälkimmäisessä vertailussa viherkatolta valuvan huleveden tutkittujen aineiden pitoisuudet voivat siis olla sadevettä korkeampia niiden kokonaismassan ollessa veden pidättymisen vuoksi pienempiä kuin viherkatolle satavassa vedessä. Peruste-eroista huolimatta viherkatoilta valuvien hulevesien epäpuhtauspitoisuudet ovat pääsääntöisesti pienempiä, kuin hulevesissä kasvittomilta katoilta tai yleisesti. Lisäksi tässä työssä vertaillut viherkatoilta valuvat hulevedet eivät merkittävästi ylittäneet hulevesien laadun arvioinnissa käytettyjä raja-arvoja ja normeja.

4. VIHERKATOT HULEVESIEN LAADUN HALLINNASSA

4.1 Viherkatoilta valuvien hulevesien laatuun vaikuttavat tekijät

Viherkatolta valuvan huleveden laatuun vaikuttavat useat tekijät katon toteutuksessa sekä ympäristössä. Vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi kaikki veden kanssa kosketuksiin pääsevät katon materiaalit, katon kerrosrakenne, katon kasvillisuus, kasvualusta, katon hoitomenetelmä sekä hoidossa käytettävät kemikaalit, katon ikä, vuodenaika sekä katon ympäristön epäpuhtauksien päästölähteet ja epäpuhtaustyyppit (Berndtsson, 2010; Shafique et al., 2018; Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet, 2016; Wang et al., 2017). Monet näistä tekijöistä voivat toimia sekä viherkatoilta valuvien hulevesien sisältämiä epäpuhtauksia vähentävästi että lisäävästi, ja niiden väliset yhteydet ovat monimutkaisia ja tilanneriippuvaisia.

Hulevesiä valuu viherkatoilta ainoastaan sateen intensiteetin tai sen keston ollessa niin suuria, ettei viherkatto pysty pidättämään kaikkea sille satanutta vettä tai kun katon vedenpidätyskyky muuten ylittyy esimerkiksi lumen sulamisen seurauksena. Sateiden toistuessa niin usein, ettei viherkaton kasvualusta ehdi kuivua sadetapahtumien välillä on hulevesien valuminen katoilta todennäköisempää kuin alueilla, joilla kasvualusta ehtii kuivua sadetapahtumien välillä. Omana tekijänään Suomen ilmasto-olosuhteissa keskimäärin 40 % sadannasta sataa lumena (Hulevesiopas, 2012). Veden sataessa lumena hulevesivalumat katoilta ovat hyvin pieniä, mutta lumen sulaessa hulevesiä muodostuu nopeasti paljon jo valmiiksi kosteaan kasvualustaan, jolloin viherkaton vedenpidätyskyky todennäköisesti ylittyy. (Wang et al., 2017)

Viherkaton vedenpidätyskyvyn loppuessa katolla oleva vesi virtaa nopeasti viherkaton läpi vieden mukanaan epäpuhtauksia, jotka muuten pidättyisivät katolle (Wang et al., 2017). Viherkaton vedenpidätyskyky kytkeytyykin viherkatolta valuvan huleveden laatuun, etenkin arvioitaessa viherkatolta valuvien hulevesien laatua ainoastaan suoran aineiden massataseen perusteella. Viherkaton vedenpidätyskyky määräytyy pääasiassa viherkaton kasvualustan paksuuden ja koostumuksen perusteella. Viherkatolle valittava kasvualusta on suurin yksittäinen vaikuttava tekijä viherkatolta valuvan huleveden määrälle sekä lisäksi laadulle, sillä katolle saapuva vesi kulkeutuu ja pidättyy kasvualustassa ollen pääosin kosketuksissa sen sisältämiin materiaaleihin ja aineisiin. (Berndtsson, 2010; Shafique et al., 2018)

Viherkaton kasvualustan paksuuden vaikutusta katon vedenpidätyskykyyn on arvioitu esimerkiksi Puolassa toteutetussa tutkimuksessa, jossa tarkasteltiin kahden erilaisen

kasvualustan vedenpidätyskykyä. Tutkittavien kasvualustojen paksuus oli 11 cm, jonka lisäksi suoritettiin simuloiteja ohuemmista kasvualustoista. Tutkimuksessa huomattiin, että kasvualustan ohentuessa viherkatolta valuvan huleveden määrä lisääntyi, jonka lisäksi myös valuvan huleveden valumamäärän vaihtelu lisääntyi. 11 senttimetrin paksuisen kasvualustakerroksen todettiin pidättävän parhaimmillaan jo 90 prosenttia sadevedestä. (Pęczkowski et al., 2018)

Kuten luvussa 2.3 todettiin, viherkattojen kasvualustoissa käytetään paljon erilaisia materiaaleja, usein vielä sekoituksina. Eri kasvualustamateriaaleilla on omat ominaiset vedenpidätyskykynsä ja koostumuksensa ja kasvualustasta voi liueta sen koostumuksesta riippuen erilaisia epäpuhtauksia, kuten ravinteita ja raskasmetalleja, viherkatolta suotautuviin hulevesiin. (Berndtsson, 2010; Shafique et al., 2018; Wang et al., 2017) Esimerkiksi paisutetun saven ja männyn kaarnan yhdistelmän todettiin niiden kasvualustakäytöstä tehdyssä tutkimuksessa vapauttavan viherkatolta valuviin hulevesiin raskasmetalleja, erityisesti lyijyä (Alsup et al., 2011).

Viherkaton ikääntyessä sen kasvualustan ominaisuudet muuttuvat, esimerkiksi kasvualustan aineksen ja siitä liukenevien yhdisteiden vähentyessä tai orgaanisen aineksen lisääntyessä (Berndtsson, 2010). Getter et al. (2007, Berndtsson, 2010 mukaan) totesivat tutkimuksessaan vertaillessaan uuden ja 5 vuotta vanhan viherkaton kasvualustoja, että vanhan kasvualustan sisältämän orgaanisen aineksen määrä oli tuplasti uuden sisältämän määrän suuruinen ja että alustan vedenpidätyskyky oli 5 vuodessa noussut 17 prosentista 67 prosenttiin. De-Ville et al. (2017) puolestaan eivät löytäneet tilastollisesti merkittävää eroa uuden ja 5 vuotta vanhan viherkaton kasvualustan vedenpidätyskyvystä. Kasvualustan ikä voi tulosten perusteella vaikuttaa viherkatolta valuvan huleveden laatuun kasvualustan ominaisuuksien muuttuessa, ja esimerkiksi fosforin osalta sen määrän viherkatolta valuvissa hulevesissä on todettu vähentyvän viherkaton ikääntyessä. Muutoksen on arveltu johtuvan kasvualustan fosforipitoisuuden vähenemisestä kasvillisuuden käyttäessä sitä ravinteena. (Köhler et al., 2002, Berndtsson, 2010 mukaan)

Kasvualustan paksuuden ja materiaalin lisäksi muun muassa erilliset vedenpidätyskerrokset, katon kaltevuus sekä kasvillisuus vaikuttavat viherkaton vedenpidätyskykyyn. Erilliset vedenpidätyskerrokset lisäävät katon vedenpidätyskykyä, jolloin niillä voidaan nähdä olevan positiivinen vaikutus viherkatolta valuvien hulevesien laatuun. Katon suurempi kaltevuus voi puolestaan vaikuttaa negatiivisesti hulevesien laatuun, sillä jyrkemmällä katolla vesi todennäköisemmin valuu painovoiman vaikutuksesta katolta pidättymisen sijaan (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet, 2016).

Kasvillisuuden kohdalla hulevesiin kohdistuvien vaikutuksien määräytyminen on edellä mainittuja monimutkaisempaa. Yleisesti kooltaan isommat kasvit pidättävät pientä kasvillisuutta enemmän vettä (Nagase & Dunnett, 2011; Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet, 2016). Vaikutus voi tosin osittain selittyä sillä, että kookkaammat kasvit vaativat yleensä paksumman, vettä enemmän pidättävän, kasvualustan selvitäkseen. Eri kasvilajeilla on lisäksi omat ominaiset vedenpidätyskykynsä.

Viherkaton kasvualustan ulkopuoliset materiaalit vaikuttavat viherkatolta valuvan huleveden laatuun vain joutuessaan kosketuksiin katolla olevan veden kanssa. Tällaisia materiaaleja ovat muun muassa katon kiinnityksien, salaojaputkien, kourujen, suodatinkerrosten sekä juurisuojan materiaalit, jotka yleensä ovat joko metallia tai muovia. Erityisesti metallit reagoivat veden kanssa aiheuttaen hulevesiin luvussa 3 mainittuja kasvittomilta katoilta tulevia päästöjä, kuten kuparia.

Viherkaton rakenteen lisäksi myös katon ympäristö ja ylläpito vaikuttavat siltä valuvien hulevesien laatuun. Koska osa viherkatolta valuvien hulevesien sisältämisestä epäpuhtauksista on peräisin laskeumasta, on laskeuman suuruudella merkitystä hulevesien laadulle. Ylläpidon osalta hulevesien kannalta huomioitavia tekijöitä ovat käytetty kasteluvesi, lannoitteet ja torjunta-aineet sekä niiden määrät, sillä niiden mukana viherkatolle päätyy erityisesti ravinteita, mutta myös muita luonnolle mahdollisesti haitallisia aineita. (Wang et al., 2017)

4.2 Keinoja viherkatoilta valuvien hulevesien laadun parantamiseen

Kuten luvussa 2 todettiin, viherkattojen rakenneratkaisut ovat moninaisia ja hyvinkin erilaisilla rakenteilla voidaan saavuttaa samanlainen hulevesien pidätys- ja suodatuskapasiteetti. Viherkatoilta valuvia hulevesiä tutkittaessa on löydetty joitakin yleisiä keinoja ja menetelmiä, joiden avulla viherkatoilta valuvien hulevesien laatu olisi mahdollisimman hyvä. Lopulta jokainen viherkatto on kuitenkin yksilöllinen ratkaisu, jonka valintaan vaikuttavat myös hulevesien laadun optimoinnin ulkopuoliset toiveet.

Koska viherkaton kasvualustan paksuus ja materiaali ovat suurimmat yksittäiset tekijät viherkatolta valuvan huleveden laadulle, on niiden huolellinen valinta tehokkain keino parantaa viherkatolta valuvan huleveden laatua. Hulevesien laadun kannalta viherkaton, suurimmalta osalta kasvualustan, vedenpidätyskyky tulisi mitoittaa niin, että katolle saapuvasta vedestä mahdollisimman paljon pidättyisi katolle, jolloin katolta poistuvan veden ja sen mukana kulkeutuvien epäpuhtauksien määrä olisi mahdollisimman pieni. Lisäksi

veden pidättyessä katolle viherkaton kastelutarvetta voidaan vähentää. Vedenpidätyskyvyn suunnittelussa on kuitenkin huomioitava katon rakenteiden kantavuus. (Shafique et al., 2018)

Kasvualustan valinnalla voidaan vaikuttaa viherkatoilta valuvien hulevesien laatuun valitsemalla kasvualustaksi mahdollisimman vähän epäpuhtauslähteitä sisältävä sekoitus. Wang et al. (2017) mukaan viherkaton kasvualustan materiaalien tulisi olla vapaasti suomennettuna ”haihtumattomia, vihreitä ja kestäviä sekä olla sisältämättä metallisia komponentteja tai pilaantunutta maata”. Sama periaatetta tulisi hyödyntää myös muihin viherkaton kerrosrakenteisiin, kuten suodatin- ja juurisuojakerroksiin. Kaupallisten seosten ohella viherkaton kasvualustassa on myös mahdollista hyödyntää viherkaton ympäristön maata tai kierrätysmateriaaleja, mutta kummankin osalta käytetyn materiaalin ominaisuudet tulisi tutkia huolellisesti ennen käyttöä kasvualustana (Shafique et al., 2018).

Kasvualustan materiaaliin voidaan lisätä sen vedenpidätyskyvyn parantamiseksi esimerkiksi laavakiveä, hohkakiveä, biohiiltä tai tarkoitukseen sopivia polymeerejä (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet, 2016). Erityisesti biohiilellä on myönteisiä vaikutuksia hiilen sidonnassa sekä fosfori- ja typpipäästöjen vähentämisessä (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet, 2016). Esimerkiksi Beck et al. (2011) tutkivat biohiilen lisäämistä raiheinällä tai maksaruoholla istutetun viherkaton kasvualustaan, ja totesivat biohiilen lisäyksen vähentävän viherkatoilta valuvan huleveden typpi-, fosfori-, nitraatti-, fosfaatti- ja orgaanisen hiilen pitoisuuksia verrattuna verrokkiviherkattoihin ilman biohiiltä.

Kasvillisuuden hoidon osalta lannoitteita ja torjunta-aineita tulisi käyttää viherkatoilla mahdollisimman vähän, sillä kuten luvussa 4.1 mainittiin, niiden mukana katolle päätyy luonnolle mahdollisesti haitallisia aineita, jotka huuhtoutuvat sadeveden mukana hulevesiin (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet, 2016). Tehokkain keino vähentää lannoitteiden ja torjunta-aineiden tarvetta viherkatolla on oikeanlaisen kasvillisuuden valinta. Viherkatolle valittavan kasvillisuuden tulisi kestää katon vaihtelevia olosuhteita, selvitä ilman ravinnelisäyksiä, vaatia vain vähän huoltoa, olla lyhytjuurinen etenkin kasvualustan ollessa matala ja sopia viherkaton ympäristöön (Shafique et al., 2018). Kasvillisuustyypeistä esimerkiksi niitty-/ketotyyppin ruohokasvit sopivat hyvin näihin vaatimuksiin, minkä lisäksi ruohokasvien todettiin vuonna 2011 julkaistussa tutkimuksessa olevan kevytrakenteisista viherkaton kasvityypeistä tehokkaimpia vedenpidättäjiä (Nagase & Dunnett).

Lannoitteiden ja torjunta-aineiden ohella myös kasteluveden laadulla on vaikutusta viherkatoilta valuvien hulevesien laatuun. Wang et al. (2017) suosittelivat viherkattojen

kastelua mahdollisimman puhtaalla vedellä. Toinen, viherkattojen rakentamishojjeiden mukainen keino kastella viherkattoja on viherkatoilta valuvan veden kierrättäminen katon kasteluun. Kierrätettäessä viherkatolta valuvaa vettä takaisin sen kasteluun siltä veden mukana poistuneet luonnolle mahdollisesti haitalliset aineet myös kiertävät takaisin katolle. Menetelmän etuna on lisäksi se, että viherkaton hulevesienpidätyskyky tehostuu veden talteenoton ansiosta. (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet, 2016)

Katon metallisten osien, kuten kiinnikkeiden, huolellinen erottaminen viherkaton muista, katon vedelle paljastuvista osista pienentää viherkatolta valuvien hulevesien metallipitoisuuksia. Näiden osien suojaaminen parantaa myös viherkaton kestävyyttä korroosion aiheuttaman kulumisen vähentyessä. Koska viherkatot pidättävät vettä rakenteissaan, on veden kulutuksille herkkien osien suojaaminen tehtävä erityisen huolellisesti.

Viherkatoilta valuvien hulevesien laadun optimointia voidaan tarkastella myös eri viherkattotyypin välillä. Tasakatoille perustetuilla kattopuutarhoilla voidaan pidättää suurempi määrä hulevesiä, kuin ohutrakenteisemmilla maksaruoho-, niitty-/keto- tai heinäkatoilla kattopuutarhojen paksumpien kasvualustojen ansiosta. Kattopuutarhojen käytännön ongelmaksi nousee kuitenkin se, että niitä voidaan yleensä rakentaa vain uusien rakennusten katoille, jotka ovat varta vasten suunniteltu kestäväan raskarakenteisia istutuksia sekä katolla oleskelua. (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet, 2016) Kattopuutarhojen kasvillisuudeksi valitaan lisäksi usein kasvillisuutta, joka vaatii säännöllistä hoitoa, lannoitusta ja mahdollisesti tuholaistorjuntaa, mikä lisää katolta huuhtoutuvien luonnolle mahdollisesti haitallisten aineiden määrää. Vaikka kattopuutarhat pidättävätkin paksun kasvualustansa ansiosta hyvin vettä, eivät ne hulevesien laadun kannalta ole paras viherkattoratkaisu.

Ohutrakenteisista viherkatoista maksaruohokatto sopii hulevesien pidättämiseen niitty-/keto- ja heinäkattoja huonommin ohuen kasvualustansa ja vain vähän vettä sitovan kasvillisuuden vuoksi (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet, 2016). Niitty-/keto-kattojen etuna verrattuna heinäkattoihin on niiden lajiston monipuolisuus sekä se, että niille valittavat lajit ovat yleensä katon ympäristön luonnonlajeja. Nämä ominaisuudet vähentävät niiden hoitotarvetta. (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, kasvillisuus ja kasvualusta, 2016) Niitty-/ketokatot sopivat lisäksi Wang et al. (2017) nimeämään, heidän mukaansa hulevesien kannalta parhaan kasvuperiaatteen, ”maltillisen kasvun periaatteen” mukaiseen ajatukseen, jonka ideana on tavoitella kasvillisuuden tasaista kasvua suuren kasvimassan nopean kasvun sijaan. Maltillisen kasvun periaatteen toteuttaminen edistää esimerkiksi kasvualustan pitkäikäisyyttä ja vähentää tarvetta kasvua tukevien kemikaalien käyttöön.

Yleisperiaatteena viherkaton todennäköisimpien sisäisten päästölähteiden eli viherkaton kasvialustan ja muiden materiaalien, kasteluveden sekä lannoite- ja torjunta-aineiden tulisi olla mahdollisimman puhtaita, ja erityisesti lannoitteita ja torjunta-aineita tulisi hyödyntää mahdollisimman vähän katon ylläpidossa. Sisäisten päästölähteiden vaikutuksen minimoimisen ohella viherkatolta valuvien hulevesien laatua voidaan parantaa muun muassa kasvivalinnoilla, mahdollisimman hyvin vettä pidättävillä materiaaleilla ja suodatin-kerroksilla.

4.3 Viherkattojen rooli kaupunkien hulevesien hallinnassa

Berndtsson et al. (2010) toteavat tutkimuksessaan, etteivät he suosittele viherkattoja nähtävän merkittävänä hulevesien laadun parantajana, ja tässä kandidaatintyössä toteutetut vertailut puolustavat lausuntoa. Koska viherkatoilta valuvien hulevesien laatu on kuitenkin keskimäärin kasvittomilta katoilta sekä yleisesti kaupungeissa valuvien hulevesien laatua parempi, ja viherkatoilla on kyky tasoittaa hulevesivirtaamia tiheästi rakennetuissa ympäristössä, ovat ne hyödyllinen lisä urbaanien alueiden hulevesien hallinnan työkaluina. Hulevesien rooli korostuu etenkin alueilla, joilla muiden luonnollisten hulevesien hallintakeinojen lisääminen on vaikeaa jo olemassa olevien rakenteiden asettamien rajoitteiden vuoksi.

Kaupunkialueiden hulevesien havainnoidut epäpuhtauspitoisuudet vaihtelevat huomattavasti käyttökohteiltaan erilaisten alueiden välillä. Yleisesti hulevedet ovat huonolaatuisimpia vettä läpäisemättömien pintojen keskittymissä, kuten teollisuus- ja pysäköintialueilla. Erityisesti tällaisilla alueilla viherkattojen lisääminen on toimiva keino parantaa alueen hulevesien laatua ja pienentää nopean ja voimakkaan hulevesivirtaaman mukanaan viemien epäpuhtauksien määrää. Minne tahansa viherkattoja rakennettaessa tulisi aina huomioida niiden rakennusmateriaalien ja toteutusmuodon vaikutus niiltä valuvien vesien laatuun ja määrään, ja pyrkiä rakentamaan mahdollisimman vähän ja mahdollisimman puhtaita vesiä muodostavia viherkattoja, jotta viherkatot eivät vaikuttaisi negatiivisesti kaupunkien hulevesiin.

Suurin osa kaupunkien rakennuskannasta on jo olemassa olevaa, minkä vuoksi viherkattojen rakentamisessa on huomioitava jo olemassa olevien kattorakenteiden kantavuus. Lisäksi rakennusprojekteissa joudutaan aina huomioimaan suunnittelevien ja toteuttavien osapuolien kokemus ja tietotaito viherkatoista. Suomen nykyiset viherkatot ovat pääasiassa maksaruohokattoja, ja viherkattojen rakentamisen haasteena Suomessa tulee ainakin lähitulevaisuudessa olemaan edelleen kokemattomuus erilaisten viherkattoratkaisujen toteutuksesta. Osaaminen tulee kuitenkin lisääntymään mikäli viherkatoille asetetut rakennustavoitteet saavutetaan.

Viherkattotyypeistä niittykatot voisivat kasvualustansa ja kasvillisuutensa perusteella olla hulevesien kannalta paras vaihtoehto viherkatoksi Suomessa. Kattotyypille tyypillinen noin 20 senttimetriä paksu kasvualusta pidättää hyvin vesiä, ja katolle on mahdollista valita karuissa oloissa viihtyviä kasveja, jotka eivät vaadi kasvualustaltaan suuria ravinnepitoisuuksia. Viherkaton rakentamisympäristössä luonnollisesti esiintyvät kasvilajit eivät vaadi runsasta hoitoa tai lannoitteiden ja torjunta-aineiden käyttöä selvitäkseen katolla, kunhan lajivalinnat tehdään huomioiden katon ympäristö ja esimerkiksi katon asento suhteessa aurinkoon. Niittykattojen tyypillisesti monipuolinen lajisto myös edistää katon vedenpidätyskykyä. Lannoitteiden käyttöä voidaan lisäksi välttää kastelemalla kattoja tarvittaessa. Niittykattoja voidaan joutua leikkaamaan vuosittain ja kastelemaan satunnaisesti, mutta nämä hoitomenetelmät eivät aiheuta huomioitavia muutoksia katoilta valuille hulevesille. (Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet, 2016)

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän kandidaatintyön vertailujen perusteella viherkatoilta valuvien hulevesien sisältämät mahdollisesti luonnolle haitallisten epäpuhtauksien määrät ovat keskimäärin pienempiä kuin kasvittomilta katoilta tai yleisesti kaupungeissa valuvissa hulevesissä, mutta suurempia kuin sadevesissä. Viherkatoilta valuvien hulevesien yleisimmin sisältämiä epäpuhtauksia ovat typpi ja fosfori sekä raskasmetallit, kuten sinkki ja kupari. Epäpuhtauksien pitoisuudet vaihtelivat tutkimustilanteesta riippuen runsaasti.

Vaikka viherkatoilta valuvien hulevesien sisältämät epäpuhtauspitoisuudet olivatkin vertailun perusteella pienempiä kuin yleisesti kaupungeissa, ylittivät ne silti toisinaan hulevesien laadun arvioinnissa käytetyt raja-arvot ja laatu normit. Viherkattoja ei voida tämän työn perusteella yleisesti pitää merkittävänä keinona puhdistaa kaupunkien hulevesiä, mutta niillä todetaan kuitenkin olevan positiivisia vaikutuksia kaupungin hulevesien luonnonvesille aiheuttamalle kuormitukselle, ja niillä on selkeä rooli tiheiden urbaanien alueiden hulevesien hallinnassa. Viherkatot pidättävät itsessään, pääasiassa kasvualustassaan ja kasvillisuudessaan, hulevesiä ja niiden mukana kulkeutuvia mahdollisesti luonnolle haitallisia aineita, kuten raskasmetalleja ja ravinteita, jotka kattojen vedenpidätyskyvyn ylittyttyä voivat lähteä liikkeelle kuten kasvittomilta katoilta, joskin pienempinä pitoisuuksina. Ajoittain viherkatot myös aiheuttavat merkittäviäkin ravinnepestöjä hulevesiin.

Viherkatoilta valuvien hulevesien laatu vaihtelee riippuen monesta tekijästä katon toteutuksessa. Merkittävin yksittäinen viherkatoilta valuvien hulevesien laatuun vaikuttava tekijä on viherkaton kasvualusta. Kasvualustan paksuus ja materiaali vaikuttavat eniten siihen, kuinka paljon katto pidättää vettä, minkä lisäksi kasvualusta toimii katolle saapuvan veden suodattimena, jolloin sen kyky sitoa tai vapauttaa luonnolle mahdollisesti haitallisia aineita määrittää pitkälti viherkatolta lähtevän huleveden laadun. Muita viherkatoilta valuvien hulevesien laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi katon muut rakennekerrokset, katon kasvillisuus sekä hoidossa käytetyt lannoitteet ja torjunta-aineet sekä niiden määrä.

Hulevesien laadun kannalta paras viherkattoratkaisu olisi tämän kandidaatintyön tulosten perusteella niitty-/ketokatto, jonka kasvualusta on tarpeeksi paksu pidättämään hyvin hulevesiä ja jonka katon ympäristölle luonnollinen kasvillisuus ei vaadi runsasta hoitoa tai kemikaalien käyttöä hoidossaan. Katon rakenteissa käytetyt materiaalit ovat mahdol-

lisimman puhtaita ja katon vedenpidätyskykyä on saatettu tehostaa erillisillä pidätysra-kenteilla. Katon kasvualustan luonnolle mahdollisesti haitallisten aineiden pidätyskykyä on tehostettu esimerkiksi biohiililisäyksellä.

LÄHTEET

- Airola J., Nurmi P. ja Pellikka K., (2014) Huleveden laatu Helsingissä, Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 12/2014, Helsingin kaupungin ympäristökeskus, Helsinki, 81 s.
- Alsup S. E., Ebbs S. D., Battaglia L. L. and Retzlaff W. A., (2011) Heavy metals in leachate from simulated green roof systems, *Ecological Engineering*, 37, pp. 1709-1710.
- Beck D. A., Johnson G. R. and Spolek G. A., (2011) Amending greenroof soil with biochar to affect runoff water quantity and quality, *Environmental Pollution*, 159, pp. 2111-2118.
- Berndtsson J. C., Bengtsson L., and Jinno K., (2009) Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs, *Ecological Engineering*, 35, pp- 369-380.
- Berndtsson J.C., (2010) Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review, *Ecological Engineering*, 36(4), pp. 351-360.
- Chenani S. B., Lehvävirta S. and Häkkinen T., (2015) Life cycle assessment of layers of green roofs, *Journal of Cleaner Production*, 90, pp. 153-162.
- De-Ville S., Menon M., Jia X., Reed G. and Stovin V., (2017) The impact of green roof ageing on substrate characteristics and hydrological performance, *Journal of Hydrology*, 547, pp. 332-344.
- Göbel P., Dierkes C. and Coldewey W.G., (2007) Storm water runoff concentration matrix for urban areas, *Journal of Contaminant Hydrology*, 91, 17 pp.
- Hulevesiopas, (2012) Suomen Kuntaliitto, Helsinki, 150 s.
- Juuti P., (2018) Ilmakuva näyttää: Helsingin katot alkavat viimein vihertää – se on hyvä uutinen, sillä ne voivat pelastaa rankkasateiden tuhoilta, Yle uutiset, yle.fi-verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.5.2021): <https://yle.fi/uutiset/3-10493365>
- Kangas A. (2018) Vesiympäristölle vaarallisia ja haitallisia aineita koskevan lainsäädännön soveltaminen – kuvaus hyvistä menettelytavoista, ympäristöministeriön raportteja 19/2018, Ympäristöministeriö, Helsinki, 173 s.
- Kohti vihreämpää Tamperetta – kokemuksia viherkatoista, (2018) Ramboll Oy, Tampereen kaupunki, 21 s. Saatavissa: https://www.tampere.fi/material/attachments/uutiskeskus/tampere/u/Pn0dq6IRL/Kokemuksia_viherkatoista_TRE_20.12.2018.pdf

KOM/2013/249 lopull. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle – Vihreän infrastruktuuri (GI) – Euroopan luonnonpääoman parantaminen, (2013) Euroopan komissio, Bryssel, s. 1-2. Saatavissa: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d41348f2-01d5-4abeb817-4c73e6f1b2df.0021.03/DOC_1&format=PDF

KOM/2020/380 lopull. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle – Vuoteen 2030 ulottuva biodiversiteettistrategiamme – Luonto takaisin osaksi elämäämme, (2020) Euroopan komissio, Bryssel, s. 4-15. Saatavissa: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:a3c806a6-9ab3-11ea-9d2d-01aa75ed71a1.0006.02/DOC_1&format=PDF

Kotze D.J., Kuoppamäki K., Niemikapee J., Mesimäki M., Vaurola V. and Lehvävirta S., (2020) A revised terminology for vegetated rooftops based on function and vegetation, *Urban Forestry & Urban Greening*, 49, pp. 126644.

Laurila S., Jyrkänkallio-Mikkola J., Mesimäki M., Kallio P., Kuoppamäki K., Nieminen H. ja Lehvävirta S., (2014) *Normeja viherkatoille – perusteita kehittämiseen*, Helsingin yliopisto, 66 s.

Lämpösaarekeilmiön ymmärtäminen tukee kaupunkisuunnittelua – Sopeutuminen, (2014) Turun yliopisto, ilmasto-opas.fi-verkkosivu. Saatavissa (viitattu 29.3.2021): <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/sopeutuminen/-/artikkeli/ce71e82c-24a4-4566-985a-8955d12b717c/lamposaarekeilmion-ymmartaminen-tukee-kaupunkisuunnittelu.html>

Mesimäki M., Nieminen H. ja Lehvävirta S., (2015) Uudenlaisen vihreän infrastruktuurin toteutumisen reunaehdot rakentamisen prosesseissa – tapauksena viherkatot, *Yhdyskuntasuunnittelu*, *The Finnish Journal of Urban Studies*, 53. Saatavissa: <http://www.yss.fi/journal/uudenlaisen-vihrean-infrastruktuurin-toteutumisen-reunaehdot-rakentamisen-prosesseissa-tapauksena-viherkatot/>

Nagase A. and Dunnett N., (2011), Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effects of plant species, diversity and plant structure, *Landscape and Urban Planning*, 104, pp. 356-363.

Oberndorfer E., Lundholm J., Bass B., Coffman R.R., Doshi H., Dunnett N., Gaffin S., Köhler M., Liu K.K.Y. and Rowe B., (2007) Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services, *Bioscience*, 57(10), pp. 823-833.

Pęczkowski G., Kowalczyk T., Szawernoga K., Orzepowski W., Żmuda R. et Pokladek R., (2018) Hydrological Performance and Runoff Water Quality of Experimental Green Roofs, *Water*, 10, 15 pp.

Riktvärdesgruppen, (2009) Förslag till riktvärden för dagvattenutsläpp, Regionala dagvattennätverket i Stockholms län, Regionplane- och trafikkontoret, Stockholms läns landsting, 20 s.

Savarani S., (2019) A Review of Green Roof Laws & Policies – Domestic and International Examples, Frank J. Guarini Center of Environmental, Energy and Land Use Law, NYU School of Law, 7 pp. Saatavissa: <https://guarinicenter.org/wp-content/uploads/2019/03/A-Review-of-Green-Roof-Laws-Policies.pdf>

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

Stadin katot elävät – Helsingin kaupungin viherkattolinjaus, (2016) Helsingin kaupunki, 7 s. Saatavissa: <https://dev.hel.fi/maatokset/media/att/08/08ad9d722e708c4e5ff9aeb3a8c291137aeeab6f.pdf>

The Multifunctionality of Green Infrastructure, (2012) In-depth Reports, Science for Environment Policy, European Commission's Directorate – General Environment, pp 1-6. Saatavissa: https://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/IR3_en.pdf

Todorov D., Driscoll C. T., Todorova S. and Montesdeoca M., (2018) Water quality function of an extensive vegetated roof, *Science of the Total Environment*, 625, pp. 928-939.

Vahtera H. ja Lahti K., (2016) Hulevesien haitta-aineet – Kuormitusriski Vantaanjoen vesistöille?, raportti 25/2016, Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry, 72 s.

Valtioneuvoston asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista (2006, päivitetty viimeksi 2016), 23.11.2006/1022. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2006/20061022>

Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet, (2016) Rakennustietosäätiö RTS, RT 85-11203, 12 s.

Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, kasvillisuus ja kasvualusta, (2016) Rakennustietosäätiö RTS, RT 85-11204, 16 s.

Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, rakenteet (2016) Rakennustietosäätiö RTS, RT 85-11203, 20 s.

Wang H., Qin J. and Hu Y., (2017) Are green roofs a source or sink of runoff pollutants? Ecological Engineering, 107, pp. 65-70.

Ympäristötieteet: viherkatto, (2015) Tieteen termipankki, tieteen termipankki.fi-verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.3.2021): <https://tieteen termipankki.fi/wiki/Ymp%C3%A4rist%C3%B6tieteet:viherkatto>