



Miina Merisalo

Viherkattorakenteiden kehitys ja niiden soveltuvuus Suomen olosuhteisiin

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (ylempi AMK) -tutkinto
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Opinnäytetyö
19.12.2014

ESIPUHE

Viherkattojen rakentaminen herättää suurta kiinnostusta, mutta siihen liittyy myös paljon epävarmuutta laajan ja pitkäaikaisen käyttökokemuksen puuttuessa. Viherkattorakentamiseen liittyy mahdollisia hyötyjä niin paljon, että on perusteltua pyrkiä lisäämään viherkattojen rakentamista aktiivisesti. Tässä tutkimuksessa on arvioitu viherkattorakenteita, erilaisten viherkattorakenteiden hyötyjä ja niiden toimivuutta Suomen olosuhteissa sekä etsitty kestävimpiä ja soveltuvimpia ratkaisuja Suomen olosuhteisiin. Rakenteelliset tekijät ovat ratkaistavissa, tosin se vaatii hyvin laaja-alaista osaamis pohjaa. Siksi haluan heittää haasteen projektinjohdolle: huolehtikaa, että hankkeen vaatimat osaajat ovat *ajoissa* projektissa mukana ja voivat käydä aidosti keskustelua tavoitteista, haasteista ja kyseiseen hankkeeseen soveltuvista ratkaisumalleista. Vain siten voidaan saavuttaa toivottu lopputulos asiakasta kuunnellen.

Omalla työlläni olen halunnut tarjota viherkattorakentamisesta kiinnostuneille rakentamisen ammattilaisille mahdollisuuden rakentaa omaa osaamis pohjaa perustuen tämän hetkiseen tutkimukseen ja kokemuksiin viherkattorakentamisesta – kaikki keskeinen tieto on nyt koottu yksiin kansiin. Tutkimusprojektin loppuvaiheessa käynnistetyssä työryhmässä, joka laatii uutta RT-korttia viherkatoista ja kansipuutarhoista, hyödynnetään tämän tutkimuksen tuloksia siten, että allekirjoittanut kuuluu toimikuntaan TK342 ja on vetänyt rakenteita käsittelevää toimikunnan pientyöryhmää. Tutkimustiedolla on ollut mahdollista taustoittaa työryhmätyöskentelyä, ja vastaavasti työryhmätyöskentelyssä olen saanut arvokasta tietoa ja palautetta tutkimusraporttia ajatellen. Tutkimusraporttini perustelee, ohjaa, taustoittaa ja vastaa kysymyksiin syvällisemmin; tuleva RT-kortti ohjaa teknisesti ja taloudellisesti hyvää rakentamista. Jotta tämän tutkimuksen tieto olisi myös tulevaisuudessa kaikkien saatavilla mahdollisimman lukijaystävällisessä muodossa, julkaistaan tämä tutkimusraportti myös kirjana, joka on tilattavissa lähes mistä tahansa kirjakaupasta.

Haluan vielä kiittää kaikkia projektiin osallistuneita ja minua siinä tukeneita, erityisesti perhettäni, ohjaajiani LOCI maisema-arkkitehdit Oy:n Pia Kuusiniemeä ja Metropolia Ammattikorkeakoulun Hannu Hakkarasta sekä Rakennustietosäätiön TK342 jäseniä, erityisesti Sami Lainetta, jonka aktiivinen kommentointi on ollut korvaamatonta. Kiitos!



Tekijä Otsikko	Miina Merisalo Viherkattorakenteiden kehitys ja niiden soveltuvuus Suomen olosuhteisiin
Sivumäärä Aika	190 + 7 19.12.2014
Tutkinto	Insinööri (YAMK)
Koulutusohjelma	Rakentaminen
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennustekniikka
Ohjaajat	Yliopettaja Hannu Hakkarainen Maisema-arkkitehti MARK Pia Kuusiniemi
<p>Tässä opinnäytetyössä kartoitettiin KerabitPro Oy:n tilauksesta suositeltavat viherkattorakenteet Suomen olosuhteissa. Viherkattorakennetyyppien tarkoituksena on lisätä asiakkaiden ja suunnittelijoiden tietoutta teknisesti ja taloudellisesti hyvistä viherkattojen ratkaisuksista koko yläpohjan ominaisuudet huomioiden.</p> <p>Työ tehtiin selvityksenä, jonka pohjaksi tehtiin kirjallisuustutkimus. Valmiin työn luonnosvaiheessa Rakennustietosäätiön toimikunnan 342 <i>Viherkatot</i> rakennepienryhmä kommentoi ja käsitteli esitettyjä rakennetyyppejä. Työskentelystä saadut palautteen käytiin läpi, ja rakennetyypit hyväksyttiin KerabitPro Oy:n suositukseksi ja niitä tullaan käsittelemään myös uudistettavassa RT-kortissa <i>Viherkatot</i>.</p> <p>Työn lopputuloksena voitiin esittää Suomen olosuhteisiin parhaat viherkattorakennetyypit viherkatolle ja kattopuutarhoille, jotka tullaan myös julkaisemaan KerabitPro Oy:n suunnitteluohjeissa Internet-osoitteessa www.kerabit.fi. Suunnitteluohjeet ovat KerabitPro Oy:n suositus teknisesti ja taloudellisesti oikeista viherkattorakennetyypeistä, niiden suunnittelusta ja toteutuksesta.</p>	
Avainsanat	viherkatto, viherkattorakenne, kattopuutarha, yläpohja, katto

Author Title	Miina Merisalo Development of Green Roof Structures and Feasibility Conditions in Finland
Number of Pages Date	190 + 7 19 December 2014
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	Structural Engineering
Instructors	Hannu Hakkarainen, Principal Lecturer Pia Kuusiniemi, Landscape Architect
<p>The purpose of this graduate study was to create planning instructions for green roof structures for the conditions in Finland. The intention of these green roof structures is to increase the knowledge of the customers and the planners about good technical and economical solutions for green roofs observing the whole roof structure.</p> <p>The study was based on a literary research. In the draft stage of the complete study, the group of experts on structures from committee <i>342 Green Roofs</i> of Finnish Building Information Foundation authorized and tutored improvement propositions for this study. The feedback was processed and consequently the green roof structures were approved as a recommendation for KerabitPro Ltd. The structures are going to be presented in the new guidelines for green roofing in Finland by Building Information Ltd.</p> <p>The final result of the study is an outline of the best suited green roof structures for green roofs and roof gardens in the Finnish conditions. The planning instructions will be published at www.kerabit.fi, which is the Internet-address of KerabitPro Ltd. The planning instructions are a recommendation by KerabitPro Ltd for good planning and production solutions for technical and economical green roofing structures.</p>	
Keywords	green roof, green roof structure, roof garden, roof

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	VIHERKATTO	3
2.1	Viherkatto osana kestäväää kehitystä	3
2.2	Viherkattorakenteesta	4
2.3	Kattokasvillisuustyypit	4
2.3.1	<i>Ekstensiivinen kattokasvillisuus</i>	5
2.3.2	<i>Intensiivinen kattokasvillisuus</i>	6
2.3.3	<i>Puoli-intensiivinen kattokasvillisuus</i>	7
2.3.4	<i>Kasvillisuustyypitysten problematiikkaa ja soveltuvuus viherkattorakentamiseen</i>	8
3	VIHERKATTOJEN KEHITYSVAIHEITA	10
3.1	Viherkatot ja kattopuutarhat historiassa	10
3.2	Puusementtikatto	14
3.3	New Yorkin kattopuutarhateatterit	18
3.4	Pohjoismaiset perinnekatot ja niiden paloturvallisuus	20
3.5	Raudoitettun betonitekniikan läpimurto ja kattopuutarhat	27
3.6	Nykyaikainen viherkatto kehitty	37
4	MAHDOLLISIA HYÖTYNÄKÖKULMIA VIHERKATTOJEN SUUNNITTELUUN	40
4.1	Lämmöneristyskyky ja rakennuksen energian kulutus	40
4.2	Kaupunkien lämpösaarekeilmiön lieventäminen	46
4.3	Viherkatot, LEED ja muut rakennusten ympäristöluokitukset	49
4.4	Biodiversiteetti eli luonnon monimuotoisuus	50
4.5	Hulevesien hallinta	52
4.6	Ääneneristävyys	55
4.7	Katon käyttöikä	56
4.8	Kaupunkien paikallinen ilmasto ja ilmanlaatu	57
4.9	Kattopuutarhojen virkistysaluekäyttö	59
4.10	Kaupunkiviljely	61
4.11	Kestävä kehitys, ekologinen estetiikka ja rakentaminen	64
4.12	Erilaisten viherkattojen soveltuvuus ja hyödyt tavoitteisiin nähden	67
5	VIHERKATON SUUNNITTELUN JA RAKENTAMISEN OHJAUS	69
5.1	Viherkattojen suunnittelussa huomioitavia asioita	69
5.2	Kaltevuudet ja käyttökohteet	73
5.3	Rakenteiden mitoitus	79
5.3.1	<i>Suunnittelukuormat</i>	79
5.3.2	<i>Tuulikuormat</i>	83
5.4	Rakenteen kosteustekninen mitoitus	85
5.5	Vedenpoisto	88
5.6	Vedenpoistojärjestelmän suojaaminen kalkkikiveltä	92
5.7	Kasvillisuus	93
5.8	Kasvualusta	98
5.8.1	<i>Liukumisen, leikkauksen ja eroosion estäminen</i>	102
5.8.2	<i>Veden pidätyskyky</i>	105
5.8.3	<i>Veden varastointikyky ja kastelu</i>	106
5.9	Suodatinkerros	109
5.10	Salaojitus	109

5.11	Juurisuoja.....	110
5.12	Vedeneristys.....	111
5.13	Turvallisuus.....	114
	5.13.1 Paloturvallisuus.....	114
	5.13.2 Käyttö- ja huoltoturvallisuus.....	119
5.14	Liittymät ja yksityiskohdat.....	120
	5.14.1 Seinäliittymät ja ylösnotot.....	120
	5.14.2 Oviliittymät.....	120
	5.14.3 Turvamarginaalit.....	121
	5.14.4 Katon reuna-alueet.....	121
	5.14.5 Oleskelualueet.....	121
	5.14.6 Luiskat.....	121
	5.14.7 Puiden ja pensaiden stabiliteetin varmistaminen.....	121
	5.14.8 Varusteet ja läpiviennit.....	122
5.15	Viherkaton hoito ja huolto.....	123
5.16	Riskienhallinnasta.....	124
5.17	Korjausrakentamiskohteista.....	125
6	RAKENNETYYPPIEN ARVIOINTI	127
6.1	Rakennetyyppejä maailmalta	127
	6.1.1 Saksa.....	127
	6.1.2 Iso-Britannia.....	129
	6.1.3 Yhdysvallat.....	132
6.2	Ongelmia rakennetuissa viherkatoissa.....	137
6.3	Yläpohjatyytit Suomessa ja niiden soveltuvuus viherrakenteen alustaksi.....	143
	6.3.1 Tuulettuva rakenne.....	144
	6.3.2 Heikosti tuulettuvat rakenteet (umpirakenteiset tuulettuvat rakenteet).....	145
	6.3.3 Kattoelementit.....	152
	6.3.4 Käännetty rakenne.....	152
	6.3.5 Kylmä rakenne.....	153
6.4	Yläpohjarakenteet, joita ei suositella rakennettavaksi Suomen olosuhteissa tai suositellaan rakennettavaksi erittäin rajoitetusti erityistoimenpitein.....	154
	6.4.1 Suljettu rakenne.....	154
	6.4.2 Tuulettamaton lämmöneristetty rakenne kevytrakenteisissa yläpohjissa.....	156
	6.4.3 Lämpimään avoin rakenne.....	156
	6.4.4 Ylipainerakenne.....	157
	6.4.5 Vedeneristeetön rakenne.....	157
6.5	Suositteltavat rakennetyypit Suomessa.....	158
6.6	Viherkaton rakenteiden valintaprosessi.....	161
7	YHTEENVETO.....	162
	LÄHTEET.....	164

LIITTEET

- Liite 1 Intensiivisen ja ekstensiivisen viherrakenteen vertailua
- Liite 2 Optigrünin viherrakenneratkaisuja
- Liite 3 Hoito- ja huoltotoimenpiteet viherkatoille

TERMINOLOGIAA

Ekokatto tai biokatto

Ekokatto (*ecorooft*) -termiä käytetään englannin kielessä melko kirjavasti joko synonyyminä termille viherkatto tai tarkoittaen *ekstensiivisiä viherkattoja*. Portlandissa (Yhdysvallat, Oregon) käytetään joskus ekokaton sijasta termiä biokatto (*biarooft*) [1, s. 5; 2, s. 9; 3, s. 18]. Verrattuna muihin viherkattotyyppeihin *ekstensiiviset viherkatot* eivät ole kovinkaan ekologisia, koska niissä usein käytetään suhteessa vihermassan määrään paljon teollisesti valmistettuja muovipohjaisia materiaaleja kosteusolosuhteiden ylläpitämiseksi eikä niillä juuri käytetä paikallista kasvualustaa tai alueelle (alun perin) tyypillistä kasvustoa. Ekokatto-termiä käytetään myös joskus silloin, kun katolla ei ole kasvillisuutta, mutta katto on varustettu aurinkopaneeleilla [2, s. 9; 4, s. 7–8]. Portlandissa ekotuliitteellä viitataan katon taloudellisiin (*economic*) etuihin, kuten kiinteistön arvonnousuun ja energian säästöön [3, s. 18].

Ekstensiivinen ja intensiivinen

Ekstensiivinen ja intensiivinen vihreytys (*extensive and intensive greening*) ovat Keski-Euroopassa paljon käytettyjä määritelmiä kattovihreytyksestä. Kevyet ja usein rakenteeltaan melko teollisetkin vaatimattomat viherrakenteet ovat ekstensiivisiä. Rakenteiltaan raskaammat ja vaativammat viherkatot, kattopuutarhat ja kansirakenteet ovat intensiivisiä. Yhdysvalloissa ja Iso-Britanniassa ”ekstensiivinen” ja ”intensiivinen” -termien käyttö on usein tuomittu, koska termit eivät kuvaa riittävästi rakenteen suunnittelun tai huollon vaatimuksia. Näille on esitetty myös vaihtoehtoiset termit elävä viherkatto (*living green roof*) kuvaamaan kevyempää ekstensiivistä rakennetta ja maisemoitu yläpohjarakenne (*landscape over structure*) kuvaamaan raskaampaa intensiivistä rakennetta, kattopuutarhaa (*roof garden*). Katoilla voi olla hyvin erilaisia kasvillisuusalueita ekstensiivisestä intensiiviseen tai jotakin näiden väliltä, jolloin käytännössä puhutaan puoli-intensiivisestä viherkatosta (*simple intensive green roof, semi-extensive green roof, hybrid green roof*). FLL:n mukaan ekstensiivisiä kattoja ei ole tarkoitettu virkistysalueiksi tai oleskeluun. FLL:n mukaan ekstensiivistä ja intensiivistä kasvillisuutta erottaa myös huoltotarve. FLL:n ohjeessa kasvualustalle ei ole annettu tarkkaa vaihteluväliä. [5, s. 15; 2, s. 5–9; 6, s. 8–9.] Suomessa puhutaan usein ekstensiivisestä tai intensiivisestä *katosta*, vaikka termit eivät kerro oikeastaan mitään

yläpohjan rakenteesta: täsmällisempää olisi puhua ekstensiivisestä tai intensiivisestä *viherrakenteesta*, *vihreytyksestä* tai *kasvillisuudesta*. Moni *kasvilaji* voi esiintyä sekä intensiivisessä että ekstensiivisessä viherrakenteessa: termit kuvaavat kasvillisuuden yleisilmettä eivätkä ole kovinkaan tarkkoja.

Elävä katto

Elävä katto (*living roof*) on usein Englannin kielisessä kirjallisuudessa käytetty viherkattoja kuvaava termi. Termi kertoo hyvin siitä, että katolla on elämää esimerkiksi kasvillisuuden, hyönteisten ja lintujen muodossa [2, s. 9].

FLL

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, saksalainen Maisemoinnin tutkimus- ja rakennusyhdistys.

Hulevesi

Hulevesillä tarkoitetaan rakennetun alueen pintavaluntaa, joka muodostuu sade- ja sulamisvesistä. Pintavaluntaa muodostuu sitä enemmän ja nopeammin mitä suurempi osa valuma-alueen pinnoista on vettä läpäisemättömiä. Kaupunkialueella hulevesien mukana lähistön pienvesiin kulkeutuu mm. roskia, kiintoainesta, ravinteita, eläinten jätöksiä, kemikaaleja, raskasmetalleja, hiilivetyjä ja muita epäpuhtauksia. Hulevesien tehokas ja välitön viemärointi haittaa veden imeytymistä maaperään ja pohjavedeksi. Vedet valuvat nopeasti puhdistamattomina valuma-alueen vesistöjen alajuoksulle, joka aiheuttaa virtaamien äärevöitymistä, vesistöjen kulutuksen ja niiden kuormituksen kasvua. Tiivis rakentaminen lisää rankkasateiden aikana syntyviä tulvia ja virtaamapiikkejä. Kuivina aikoina alivirtaamat pienenevät, jolloin valuma-alueen maaperä ja ilmasto kuivuvat vaikuttaen erityisesti kasvillisuuteen ja pienilmastoon. Vaikutukset kohdistuvat veden kiertokulkuun, alueen ekologiseen tasapainoon ja ihmisten viihtyvyyteen. Hallitsemattomat virtaamat ja vesimäärät aiheuttavat purkureiteillä ja vesistöissä tulvimista ja eroosiota. Pidättämällä ja puhdistamalla hulevesiä valuma-alueella voidaan vähentää rakentamisen haitallisia vaikutuksia veden luontaiseen kiertoon ja alueen vesitalouteen. [7; 8; 9, s. 18–19; 2, s. 55; 10, s. 25–27; 11, s. 2; 12, s. 78.]

Hulevesien käsittelyn luonnonmukaiset menetelmät

Hulevesien käsittelyn luonnonmukaisia menetelmiä ovat johtamis-, imeyttämisen- ja viivyttämismenetelmät sekä kosteikkokäsittely. Menetelmillä voidaan ylläpitää pohja- ja pintavesivarastoja sekä maan kosteustasapainoa. [9, s. 19 & 144.]

Istutettu katto

Istutettu katto (*vegetated roof*) on jonkin verran käytetty termi. Maataloustieteellisessä väitöskirjassaan *Extensive Vegetated Roofs in Sweden: Establishment, Development and Environmental Quality* Tobias Emilsson käyttää termiä istutettu katto (*vegetated roof*) siksi, että se on viherkatto-termiä tarkempi ja vähemmän rajoittava kuvaus viherrakenteen systeemistä. Se kertoo, että kyseessä on rakennukseen asennettu kasvillisuus. [4, s. 7–8.] Taideteollisen korkeakoulun opinnäytetyössä *Kattojen hyödyntäminen kaupunkiviljelyssä* Piironen käyttää termiä Emilssonin johdattelemana, ja on suomentanut sen termiksi kasvikatto [13, s. 52].

Luonnonkatto tai ruskea katto

Ruskea katto (*brown roof*) -termi on ensisijaisesti kehitetty kuvaamaan kattoa, jonka olosuhteilla tavoitellaan urbaania joutomaata. Tällainen katto on potentiaalinen elinympäristö harvinaisille selkärangattomille sekä maassa pesiville linnuille. Kasvialustana käytetään ”urbaania kasvillisuuskerrosta” kuten tiilimurskaa, murskattua betonia, hiekkaa, soraa tai uudisrakennustyömaalta siirrettyä maata. Kasvialusta on esimerkiksi (vähintään) noin 10–15 cm ja se muotoillaan tavoitellen luonnollisia maastonmuotoja. Tavoitteena on monipuolinen lajisto. Tällaiseen kattoon yhdistetään monesti myös avovettä tai kosteikkoja. Saksan kielessä biodiversiteettinäkökulmasta suunnitellun katon termi on ”*Naturdach*” (luonnonkatto). Luonnonkatto on moneen muuhun viherkattotyyppiin verrattuna ekokatto. Ruskeista katoista puhutaan myös luonnollisesti kehittyvinä viherkattoina (*naturally occurring green roofs*). [2, s. 8–9; 4, s. 7–8; 14, s. 11.]

Luonnonmukainen viherkatto tai biodiversiteettikatto

Yhdistyneen kuningaskunnan viherkattojärjestö GRO erottaa luonnonmukaisen viherkaton, biodiversiteettikaton (*biodiverse roof*) katoksi, jossa pyritään säilyttämään rakennuksen alkuperäisen tonttimaan olosuhteet tai tukemaan aiemman habitaatin elinolosuhteita. GRO:n ohjeen mukaan ruskea katto on biodiversiteettikaton alamuoto, jossa kasvillisuuden on tarkoitus kehittyä ajan myötä sille valitun otollisen kasvialustan avulla.

[15, s. 24.] Suomenkielisenä ilmaisuna *luonnonmukainen (viher)katto* kuvaa parhaiten *luonnonkattoja*: kasvillisuuden muodostamistapa (leviäminen tai istuttaminen) on detaljitietoa, joka ei aina vaikuta katon ulkonäölliseen lopputulokseen tai kasvilajeihin.

Veden kiertokulku

Veden kiertokulku voidaan jakaa sadantaan, valuntaan, haihduntaan ja suotautumiseen maaperään. Luonnollisessa kiertokulussa suuri osa sadannasta imeytyy maaperään pohjavedeksi, ja virtaa hitaasti kohti vesistöjä ja merta. Osa sadannasta valuu pintavaluntana jokiin ja järviin ja edelleen meriin, josta osa vedestä palautuu haihdunnan avulla ilmakehään. Taajamissa kaikki veden luontaisen kiertokulun osa-alueet poikkeavat luonnollisesta kiertokulusta. Sadanta on luonnontilaista jopa 5–10 % runsaampaa ja haihdunta pienempää. Taajamissa veden kiertokulkuun vaikuttavat eniten vettä läpäisemättömät pinnat (katot, kadut, tiet ja pysäköintialueet), joiden osuus on usein jopa 50–80 % kokonaisalasta. Luonnonoloissa pinta- ja pohjavesien välillä vallitsee yhteys kaikissa maalajeissa, kun taas taajama-alueiden läpäisemättömillä pinnoilla tämä yhteys on käytännössä poikki. [9, s. 18; 2, s. 53.]

Viherkatto

Viherkatto (*green roof*) on melko vakiintunut yleisnimitys katoille, joita peittää kasvillisuus. Viherkatto-käsitettä on käytetty hyvin ylimalkaisesti oikeastaan vain kasvillisuuden näkökulmasta. Viherkattojen hyötyjä tarkasteltaessa eivät kaikki hyödyt olekaan ominaisia kaikille käytettävissä oleville rakenneratkaisulle ja valittavissa olevalle kasvillisuudelle. Englannin kielessä sanaa "green" viittaa ekologisuuteen sekä ympäristönäkökulmiin vaikkei katto lopulta kovin vihreä sanan molemmissa merkityksessä olisikaan. Alkuperäinen sveitsiläinen viherkattokonsepti tarkoitti, että katolle luotiin elinympäristö, jossa käytettiin lähinnä paikallista maa-ainesta ja kasvualustaa, jolle saattoi spontaanisti kehittyä lokaali kasvillisuus. Termi "viherkatto" voi olla harhaanjohtava, koska katto ei välttämättä ole kovinkaan ekologinen. [5, s. 15; 2, s. 8–9; 6, s. 8–9; 4, s. 7–8.] Keskeisin ongelma viherkatto-termille on, että sillä pyritään kuvaamaan laidasta laitaan hyvinkin erityyppisiä rakenteita. Termi kertoo ainoastaan, että yläpohjarakennetta on tavalla tai toisella maisemoitu. Ylesterminä viherkatto on hyvä. Kun tavoitteena on saada lisää vihreyttä kaupunkiin, on viherkatto-termi riittävä. Rakennushanketta ja sen onnistumista ajatellen on tarve selkeyttää terminologiaa ja tämän tyyppisten kattorakenteiden luokitusta, koska valittu viherrakenneratkaisu vaikuttaa kantavien rakenteiden suunnitteluun ja valittaviin rakennetyyppeihin.

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tehdään KerabitPro Oy:n tilauksesta selvitys Suomen olosuhteisiin soveltuvista viherkattoratkaisuista. Selvityksen tarkoituksena on tehdä suositukset teknisesti ja taloudellisesti oikeista viherkattoratkaisuista. Suomessa viherkatot ovat erityisesti kaupunkisuunnittelun näkökulmasta alati nouseva keskustelunaihe. Kattojen hyödyntäminen viher- ja oleskelualueina lisää kattojen huomioarvoa rakennuksen osana. Maankäytön tehokkuuden näkökulmasta viher- ja oleskelualueiden sijoittaminen katoille on suuri mahdollisuus – katoilta löytyy kaivattuja ja hyödyntämättömiä lisäneliöitä, tonttimaahan verrattuna vielä edullisiakin. Taloudellisuuden ehtona on viherkattohankkeen toteuttaminen elinkaaritaioudellisesti siten, että rakenteiden pitkäikäisyydelle annetaan suunnittelussa tavanomaista vesikattoa suurempi painoarvo.

Yksinkertaisimmillaan viherkatto voi olla katto, jonka kasvillisuus on niittykasvillisuutta tai esimerkiksi maksaruohoa. Kun tavoitellaan muunneltavia viherkattoja tai monimuotoisia kattopuutarhoja, viherkaton suunnittelu ja rakentaminen on rakennusprojektissa otettava huomioon monessa työvaiheessa – erityisesti arkkitehti-, rakenne- ja vihersuunnittelussa.

Ilman vihernäkökulmaakin vesikatot ovat erikoisosaamista vaativa alue sekä suunnittelun että toteutuksen kannalta. Kun katto muuntuu oleskelualueeksi, tärkeä näkökulma suunnittelussa on katolla oleskelun ja liikkumisen turvallisuus. Esimerkiksi Keski-Euroopassa, Yhdysvalloissa, Iso-Britanniassa ja Norjassa kattoja on käytetty viher- ja oleskelualueina huomattavasti enemmän kuin Suomessa. Perinteisesti suomalainen viherkatto on ollut esimerkiksi savusaunan tai maakellarin turvekatto. Kaupungistumisen myötä kaupunkivihreän merkitys ja rooli korostuvat myös Suomessa. Viherkatoista keskustellaan aktiivisesti, mutta niiden suunnittelu ei ole vielä lisääntynyt vastaavasti. Viherkattojen avulla voidaan luoda parempia asuinympäristöjä ja saada aikaiseksi enemmän kaupunkiluontoa.

Suomalaisessa rakentamisessa viherkatoista on verraten vähän kokemuksia. Joitakin kohteita on viime vuosikymmeninä toteutettu, mutta viherkattojen osuus markkinoista on vielä hyvin pieni. Tällä hetkellä ehkä tyypillisin viherkatto Suomessa on pysäköintihallin katolle rakennettu asuintalon piha, joka on pinnoitettu esimerkiksi asfaltilla tai kiveyksellä. Istutuksia on lähinnä joko valetuissa tai paikalle tuoduissa ruukuissa.

Työssä selvitetään hyviä tapoja lisätä viheralueita ja sitä, mitä olisi huomioitava rakennesuunnittelussa: kuinka tämän monipuolisen rakenteen suunnittelu tulisi hoitaa, jotta katosta saadaan suunnitellulla tavalla kukoistava ja ennen kaikkea toimiva? Suomalaisittain viherkattamista ei ole standardoitu tai laaja-alaisesti arvioitu parhaita ratkaisuja ohjaamaan suunnittelijoita, urakoitsijoita, kiinteistön huoltajia ja käyttäjiä. Maailmalla, erityisesti Euroopassa, laajinta arvostusta nauttii Saksan DIN-normeihin ja laajan tiede- ja osaamisverkoston kokemuksiin perustuva FLL:n ohje *Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing*. Suomessa viherkaton rakentamisesta on olemassa kirjavia ohjeita, mutta ne ovat suurimmaksi osaksi eri tarvike- ja tuotevalmistajien laatimia omien tuotteiden käyttöohjeita. Suomalaisittain viherkatoista on tehty joitakin opinnäytteitä, joista monia leimaa lähdekritiikin puute eikä viherkaton kokonaisrakenteeseen ja rakentamistapaan ole otettu perusteellisesti kantaa. Merkittävä vaikutus on myös sillä, että yleisesti hyväksytyt riittävän kattavat rakentamistapaohjeet puuttuvat. Esimerkiksi kattorakentajien keskeisimmistä ohjeista *RIL 107-2012 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet* sekä *Toimivat katot 2013* käsittelevät viherkattoja erittäin suurpiirteisesti varmastikin siksi, ettei riittävää pohjatietoa ole ollut käytettävissä.

Tässä selvityksessä perehdytään viherkattorakentamiseen muissa maissa, erityisesti Yhdysvalloissa ja Saksassa, joissa viherkattorakentamisella on pidempi historia, enemmän tutkimusta ja kirjallisuutta sekä enemmän tietotaitoa viherkattorakentamisesta heidän olosuhteissaan. Kerätyn tiedon pohjalta selvitetään rakentamistapojen soveltuvuutta Suomen olosuhteisiin suomalainen lainsäädäntö sekä rakentamisen määräykset ja ohjeet huomioiden. Opinnäytetyössä keskitytään etsimään toimivia viherkattorakenteita Suomen olosuhteissa, myös historian ja viherkattojen hyötynäkökulmien kautta. Tutkimuksessa käsitellään viherkattorakenteita rakennetyyppeihin, rakennuksen liittymäkohtiin tai muihin detaljeihin menemättä. Detaljit suunnitellaan aina tapauskohtaisesti.

2 VIHERRATTO

2.1 Viherkatto osana kestävästä kehityksestä

Viherkattokeskustelu herättää tunteita maailmalla ja myös Suomessa: toistetaan kilpaa, minkälaisia kestäviä luontoarvoja viherkattoihin liittyy. Teesejä, kuten mm. ekologisuus ja biodiversiteetin säilyttäminen on toistettu niin ahkerasti [mm. 5; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22], että niitä omaksutaan kyseenalaistamatta niiden paikkansapitävyyttä asiayhteydessä. Viherkatto-käsitteellä ei tarkoiteta oikeastaan mitään konkreettista, mitä voisi rakentaa toimivasti ja varauksetta siten, että nämä *odotusarvot* voitaisiin täyttää. *Building green* -liike ei ole uusi, eikä se ole mikään menetelmäkään, jolla voisimme käyttää luonnonvaroja vastuullisesti tai jopa niitä elvyttävästi [6, s. 1].

Rakennusala kuluttaa Euroopassa EU-tutkimushankkeen (RELIEF) mukaan puolet vuosittain käytetyistä luonnonvaroista ja tuottaa yli 40 % jätteistä. Pitkällä tähtäimellä rakennusalan toiminnan yhteiskunnallinen oikeutus edellyttää ympäristön kannalta järkevää rakennustuotantoa, kestävästä rakentamisesta. [23, s. 5; 24, s. 17.] Rakennusosalalla keskustelu vastuullisesta rakentamisesta käy kiivaana, joskin pintapuolisena; todistellaan, minkä materiaalin tuotanto on vähiten luonnonvaroja kuluttavaa sekä lasketaan käyttöikä ja elinkaarikustannuksia. Elinkaari on kuitenkin monimutkainen, paitsi tekninen ja taloudellinen, myös kulttuurinen ja sosiaalinen ("rapistuvat" lähiöt joiden sosiaalinen status ja tilaus heikkenevät), ja myös näkökulmasta riippuva subjektiivinen käsite [23, s. 17]. Teknisestä näkökulmasta ekologisinta ja elinkaarialoudellisinta rakentamisesta on pyrkiminen mahdollisimman toimiviin ja kestäviin ratkaisuihin siten, ettei korjaustarvetta synny, jolloin voidaan välttää korjaamista tai uutta rakentamisvaihetta (purkamisen jälkeen). Taloudellisesta näkökulmasta rakennukset voivat olla elinkaarensa päässä, vaikkeivät niiden rakennusosat olisikaan sitä teknisesti [23, s. 18]. Hankesuunnittelu- ja rakennusvaiheessa voidaan tehdä teknisesti kestäviä valintoja, mutta kestävästä kehityksestä kannalta on huomioitava myös sosiaaliset ja ekologiset arvot.

Mikäli viherkattojen avulla halutaan tukea kestävästä kehityksestä, on viherkattohankkeissa tehtävä arvovalintoja. Materiaalivalinnoilla ja maisemointiratkaisuilla voidaan tällöin pyrkiä aikaansaamaan esimerkiksi *luonnonkatto* tai *luonnonmukainen katto*.

2.2 Viherkattorakenteesta

Rakennesuunnitteluun perehtymättömälle viherkatto tarkoittaa, että tavallisen kattorakenteen päälle lisätään kasvualustakerros ja kasveja [20, s. 9]. Rakenneteknisesti tarkasteltuna kuitenkin ainekerroksen lisääminen tai muuttaminen vaikuttaa aina rakenteen toimivuuteen rakennusfysikaalisesti lämpö- ja kosteusteknisen käyttäytymismuutosten seurauksena. Rakennusmateriaalit eivät varauksetta siedä välitöntä kosketusta toisiinsa. Sama pätee myös rakennusmateriaaleihin ja kasvillisuuteen. Rakentamisvaiheessa vesikattojen perusasioiden (vesitiiveys, lämmöneristävyys, kuivumiskyky, ilmatiiveys) on onnistuttava [25], eikä kasvillisuus saa niitä vaarantaa. Kantavien rakenteiden mitoitus ja rakenteissa käytetyt materiaalit asettavat rajoituksia kaikelle kuormitukselle, joita valmiin vesikaton päälle tehdään. Kasvillisuus rakennetussa ympäristössä ajatellaan yleisesti ekologisesti positiivisena asiana. Jos istutusten juuristot vaurioittavat rakenteita, vaikutus on negatiivinen, koska katon toimivuus pettää ja sen käyttöikä lyhenee. UV-säteilyn näkökulmasta taas rakennetta suojaa mikä tahansa kerros, mikä estää suoran UV-säteilyn vedeneristykseen (vrt. suojakiveys tai mm. kumibitumikermeissä käytetty pintasirote).

Halutun kasvillisuuden aikaansaamiseksi ja kasvillisuuden elinvoimaisuuden turvaamiseksi on tärkeää, miten viherkatto perustetaan ja mikä sen rakenne on. Rakennesuunnittelussa on jo hyvin varhaisessa vaiheessa voitava ottaa viherkatolle asetettavat tavoitteet huomioon. Viherrakenteiden toteuttaminen katolle jälkikäteen voi vaarantaa katon rakenteellisen toimivuuden ja vesikaton perustehtävän, vedenpitävyyden. Viherrakenne katolla maksaa usein enemmän kuin varsinaisen katon rakentaminen, joten kaikkien hankkeeseen osallistuvien tärkeimpänä tehtävänä on varmistua siitä, että kattorakenne vedeneristyksineen toimii eikä arvokkaita viherrakenteita jouduta missään olosuhteissa purkamaan vedeneristyksen tai muun toiminnallisuuden epäonnistuessa.

2.3 Kattokasvillisuustyypit

Usein puhutaan ekstensiivisestä tai intensiivisestä kasvillisuustyypistä kun puhutaan kattovihreytyksestä. Jako on peräisin 1970-luvun Saksasta [2, s. 19]. Intensiivisellä kasvillisuudella tarkoitetaan kasvillisuutta, joka muistuttaa vanhan ajan kattopuutarhoja – aluetta, jota käytetään virkistykseen kuin mitä tahansa puutarhaa. Ekstensiivisellä vihreytyksellä tarkoitetaan sellaisten kasvien valintaa, jotka soveltuvat karuihin olosuhteisiin mahdollisimman huoltovapaasti. Tällaisia kattoja on harvoin tarkoitettu

oleskeluun: perusteluna on käytetty, ettei sille valittava kasvillisuus kestä tallomista. [2, s. 4–5; 26, s. 2.] Suomalaisessa keskustelussa tämä terminologia sotketaan monesti katon rakennetyyppiin (esim. 20, s. 9), vaikka kyse on vain kasvillisuustyyppistä ja kasvualustasta - englanninkielisessä kirjallisuudessa puhutaan selvästi termillä *types of greening*, vihreytystyypeistä tai kasvillisuustyypeistä [5, s. 15; 2, s. 4–5; 3, s. 15]. *Liitteessä 1* on esitetty intensiivisen ja ekstensiivisen rakenteen vertailua mm. hinnan, etujen ja haittojen sekä kasvillisuuden perusteella [27, s. 8].

2.3.1 Ekstensiivinen kattokasvillisuus

FLL:n ohjeen mukaan ekstensiivisen vihreytyksen laaja-alainen kasvillisuus peittää lähes koko kattopinnan. Kasvialustakerros on ohut (paksuus on tyypillisesti noin 3–5 cm, mutta voi olla jopa 25 cm) ja kasvilajit kuivuutta sietäviä. Ekstensiivisellä katolla tavoitellaan yleensä vähäistä huoltotarvetta ja kasvillisuutta, joka muistuttaa vastaavissa olosuhteissa tyypillisesti esiintyviä lajeja. Valittu kasvillisuus on yleensä sopivaa sietämään ääriolosuhteita, ja kasvit ovat hyviä uusiutumaan jotta katolle saadaan luotua pitkäikäinen populaatio. Kasvillisuutena käytetään usein sammalia, maksaruohoja, mehikasveja, nurmikasveja, ruohoja ja heinäkasveja, ja näitä istutuksia voidaan täydentää esimerkiksi sipuli- ja mukulakasveilla. Ekstensiivisessä vihreytyksessä tavoitellaan kasvillisuussysteemiä, ”kasvipeitettä”, kun taas intensiivisessä vihreytyksessä yksittäisiä kasveja saatetaan korostaa. [5, s. 16–17; 4, s. 7 & 9; 2, s. 4–5; 28.] Ekstensiivinen tyyppi on vaihtoehdoista kevein, yksinkertaisin ja usein edullisinkin. Se voidaan perustaa jyrkkäänkin kaltevuuteen, n. 1:50 – 1:1 (2 %...100 % / 1,15°...45°) – tosin ei täysin varauksetta tai rajoituksitta. [29, s. 2; 2, s. 4–5; 8.] Kasvukerroksen paksuus on tyypillisesti 70 - 160 mm ja paino 65 - 120 kg/m² [26, s. 3]. Rakenteen todellinen kuiva- ja märkäpaino on laskettava kohdekohtaisesti rakennetyypeittäin. Turvekatot voidaan lukea tähän ryhmään, tosin ne vaativat muita enemmän hoitoa. [20, s. 11.]



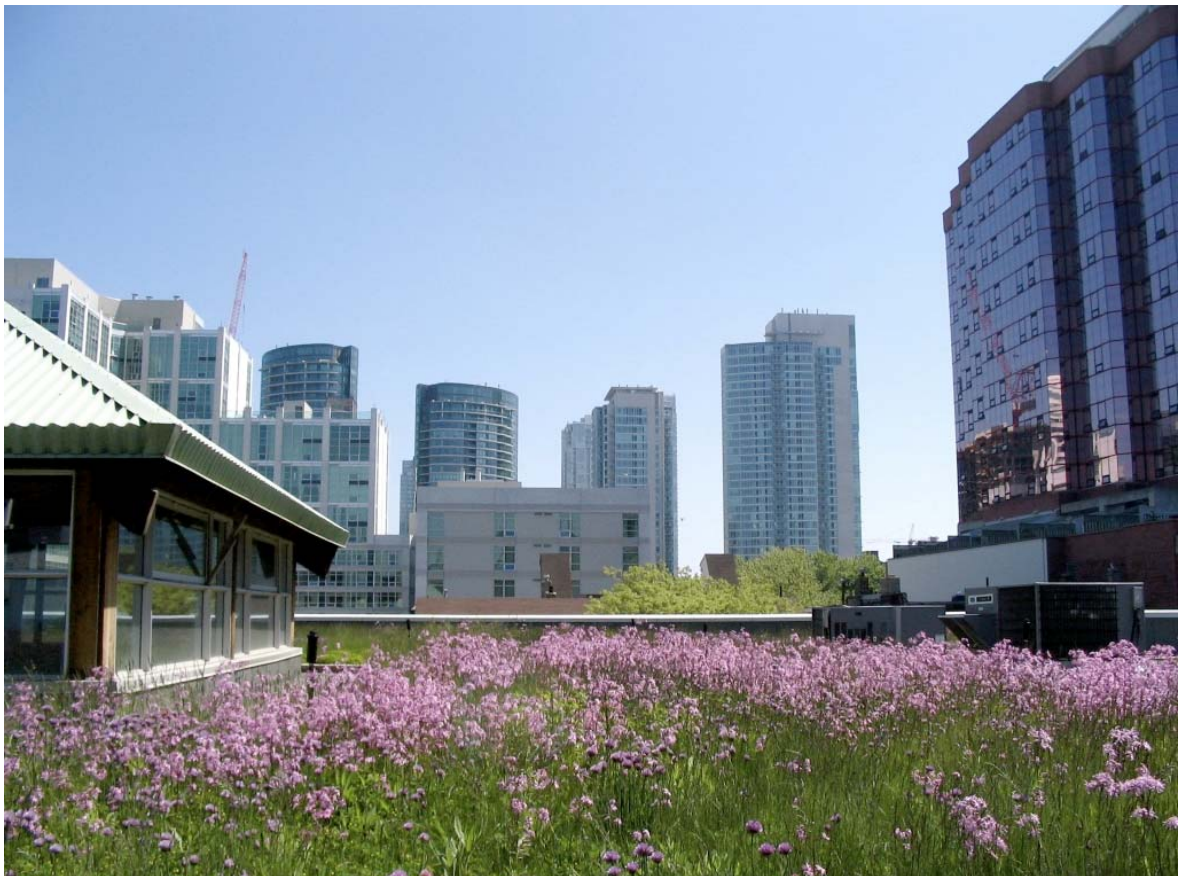
Kuva 1. Sedum isona pinta-alana, ekstensiivinen viherrakenne. Kaukasianmaksaruoho (*sedum spurium*) on punainen lajike, joka viihtyy karuissakin olosuhteissa.

2.3.2 Intensiivinen kattokasvillisuus

FLL:n ohjeen mukaan intensiivinen vihreytys kattaa kasvillisuuden koko kirjon: perennoja, ruohoja, sipulikasveja, yksivuotisia, pensaita tai jopa puita. Suunnittelussa voidaan käyttää samoja elementtejä kuin maan pinnalle rakennettavalle viheralueellekin. Intensiivisellä katolla viherkerros voi olla paksumpi ja kasvillisuus olla keskitetympää kuin ekstensiivisellä. Intensiivinen viherrakenneratkaisu asettaa kovia vaatimuksia alapuolisille rakenteille. Huoltotarve on jatkuvaa ja säännöllistä, erityisesti säännöllinen kastelu ja lannoitus ovat välttämättömiä. Rakenteen kaltevuus ei voi olla kovinkaan jyrkkä, tavoiteltava kaltevuus on noin 1:20 – 1:50 (5 %...2 % / 2,86°...1,15°), mikä on yleisestikin suositeltavin kaltevuus vedenpoiston ja kasvien viihtyvyyden kannalta. Rajoituksia kasvillisuuden valintaan asettavat kunkin projektin muodostamat omat rajoitukset istuttaa esimerkiksi puita, pensaita tai puuvartisia kasveja. [5, s. 15–16; 2, s. 4–5; 29, s. 2; 20, s. 10; 8.] Viherrakenteen paksuus on esimerkiksi noin 320 – 1290 mm ja paino noin 325 – 1210 kg/m² [26, s. 3]. Rakenteen todellinen kuiva- ja märkäpaino on laskettava kohdekohtaisesti rakennetyypeittäin.

2.3.3 Puoli-intensiivinen kattokasvillisuus

Intensiivisen ja ekstensiivisen viherrakenteen välimuodosta käytetään useita termejä: hybridi (*hybrid green roof*), puoli-intensiivinen (*semi-intensive*), puoli-ekstensiivinen (*semi-extensive*) tai vapaasti suomennettuna yksinkertaisen intensiivinen (*simple intensive*). Puoli-intensiivisessä viherrakenteessa käytetään myös modernia viherkattorakentamisen teknologiaa, kuten kevennettyä kasvualustaa. Kasvualustan paksuus on ekstensiivistä viherrakennetta hieman suurempi, noin 10–20 cm, minkä vuoksi valittavissa on hieman laajempi valikoima kasveja. [2, s. 7.] Puoli-intensiiviseen vihreytykseen kuuluu yleensä ruohoja, nurmikasveja, perennoja, monivuotisia ja pensaita. Kasvit asettavat joitakin vaatimuksia alusrakenteille ja tarvitsevat jonkin verran kastelua ja lannoitusta. Puoli-intensiivinen rakenne on usein edullisempi rakentaa kuin intensiivinen rakenne. [5, s. 15 & 17.] Eräs hyvä suomenkielinen vastine puoli-intensiiviselle tyyppille on *helppohoitoinen kattopuutarha* [29, s. 3]. Viherkerroksen paksuus on 170 - 740 mm ja paino multakerroksen paksuudesta riippuen 185 - 710 kg/m² [26, s. 3]. Rakenteen todellinen kuiva- ja märkäpaino on laskettava kohdekohtaisesti rakennetyypeittäin.



Kuva 2. Puoli-intensiivinen kasvillisuus. The King West Mountain Equipment Co-op (MEC) -ostoskeskuksen katto.

2.3.4 Kasvillisuustyyppitysten problematiikkaa ja soveltuvuus viherkattorakentamiseen

Viherrakennusratkaisujen tyyppittäminen ekstensiivisiin ja intensiivisiin rakenteisiin ei ole yksiselitteinen, ja se on osittain kiistanalainen. FLL:n mukaan ekstensiivisiä kattoja ei mukaan ole tarkoitettu virkistysalueiksi tai oleskeluun ja niitä erottaa myös huoltotarve: ekstensiivinen vihreytyys ei vaadi juuri lainkaan hoitotoimenpiteitä, intensiivinen taas voi vaatia mm. kastelua ja lannoitusta sekä muita tyyppillisiä kasvien hoitotoimenpiteitä [5, s. 15–18 & 72–74; 2, s. 4–7]. Huolto on todellisuudessa tarveharkintaista, eikä riipu suoraan kasvilajeista vaan myös alueen käyttötarkoituksesta ja asetetuista hoitotavoitteista. Huolto- ja hoitotarpeen määrittelyyn käytetään usein hoitoluokitusta [30]. Hoitoluokka ei ole suoraan riippuvainen vihreytystyyppistä, vaan käyttötarkoitus yhdistettynä tavoiteltuun hoitoluokkaan vaikuttavat valittavaan kasvillisuuteen. Oleskelualueita taas voi olla kaikentyyppisillä maisemoiduilla rakenteilla.

Pitkään viherkattojen parissa toiminut Sheffieldin yliopiston maisemasuunnittelun ja kasviteknologian professori Nigel Dunnett esittää Noël Kingsburyn kanssa tästä tärkeitä havaintoja: miksei intensiivistä ja ekstensiivistä tapaa vihreyttää voisi yhdistellä samalla katolla? Tai miksi (intensiivisen) kattopuutarhan tulisi olla erityisen huoltoriippuvainen? He kyseenalaistavat myös luonnonmukaisen istuttamisen, biodiversiteettiarvojen, kestävän vesienkäsittelyn ja kaikkien muiden ympäristönäkökulmien liittäminen ensisijaisesti ekstensiiviseen kattovihreytykseen. Aivan yhtä hyvin näitä arvoja voidaan toteuttaa intensiivisenkin kattovihreytyksen suunnittelussa. Yhtä lailla ekstensiivisellä tavalla vihreytettyjä kattoja pitää voida käyttää oleskeluun. Näin ollen koko jaottelu on heidän mielestään menneeltä ajalta ja viherkattotutkimuksessa havaittuja etuja voidaan hyödyntää kaikenlaisessa suunnittelussa riippumatta siitä kuinka kaupallistettuja katolle valittu kasvillisuus ja siihen liittyvät kasvualustakerrokset ovat. [2, s. 5–7.]

Viherkattojen yhteydessä puhutaan paljon hyödyntämättömästä kaupunkitilasta, joten lähtökohtaisesti kaikilla katoilla olisi voitava myös oleskella sen sopiessa suunnitelmiin. Kaiken suunnittelun täytyy lähteä tavoiteltavasta maisema-arkkitehtuurista, eli siitä, miten katto maisemoidaan. Kasvillisuudesta tarvitaan kuvaus ja poikkileikkaus. Tämän perusteella valitaan soveltuva rakennetyyppi kattoratkaisuksi sekä mitoitetaan ja sijoitetaan kantavat rakenteet. Mitä kevyempi ratkaisu on, sitä enemmän vaihtoehtoja on rakenneratkaisuksi. Kevyempi ratkaisu tarkoittaa myös ohuempaa kasvualustaa eikä ole lämmöneristävyydeltään niin suuri, että se vaikuttaisi yhtä oleellisesti kattorakenteen rakennusfysikaaliseen toimintaan.

Toivottavasti, kun viherkattokeskustelu jatkuu, Suomeen ei omaksuta sellaisenaan laajemmin saksalaisia rakenteiden tyyppityksiä, joista myös vuonna 1999 julkaistun RT-kortin luokitukset on johdettu. Oleskelualueet, vihreytystyyppi tai kasvillisuustyyppi, karuus tai vehreys, hoitoluokka, huoltotarve tai rakennetyyppi eivät ole suoraan tai yksioikoisesti riippuvaisia toisistaan. Tyypittely ekstensiivisiin ja intensiivisiin ohjaa viherkaton suunnittelussa lähinnä kaupallisten tuotteiden valintaan, mikä on ehkä alun perin ollut tarkoituskin. Kuitenkaan nämä tuotteet eivät ole kaikissa tapauksissa lainkaan välttämättömiä. On arvioitava, onko suunnittelun lähtökohtana itse asiassa tuote vai tuleva kasvillisuus. Kun valitsee tuotteen, se ei saisi rajata tavoiteltua kasvillisuutta tai haluttuja toimintoja pois. Jaottelu helpottaa oikeastaan vain sedum-katon suunnittelua, mutta sehän on jo kokonaisratkaisuna valmis tuote itsessään. Kasvillisuuden osalta ”huoltovapaus” riippuu valittavasta kasvillisuudesta ja perustamismenetelmistä sekä tarveharkintaisista tekijöistä. Tekniikan osalta mikään katto ei ole huoltovapaa, sillä esimerkiksi sadevesijärjestelmä on tarkastettava säännöllisesti riippumatta siitä, onko katolla kasvillisuutta. Luokittelu toimii kasvillisuuden ja kasvialustan tyypittämiseen saakka, mutta katon rakennetyypiksi siitä ei ole eikä se kerro huoltotarpeesta tai katolla oleskelusta mitään. Lopputuloksena on se, että toisen mielestä joku katto on ekstensiivinen, toisen mielestä intensiivinen ja kolmannen mielestä puoli-intensiivinen. Termit eivät kerro viherkattoasioihin perehtyneillekään oikeastaan mitään *lopulta toteutettavista rakenteista* [31]. Termien valinnassa olisi perusteltua valita lähtökohdaksi kasvillisuus, sillä se vaikuttaa tarvittavan kasvialustan vahvuuteen ja kuormitusten, kastelu- ja vedenpoistomekanismien sekä hoitotarpeen määrittelyn kautta koko rakenteen suunnitteluun. Tyypittelynä tämä tarkoittaisi esimerkiksi tarkempaa kuvausta valitusta kasvillisuudesta. Tyypittelyyn ei tule sotkea hoitoluokitusta tai oleskelualueita.



Kuva 3. Tu Delftin kirjaston katto on rakennettu vuonna 1997 ja se on suosittu ajanviettopaikka Alankomaiden Delftissä. Katolle voi kiivetä kuin kukkulalle. Viherkatto viilentää ja auttaa hulevesien hallinnassa Delftin yliopiston teknologian kampuksella. Lumisena aikana katto toimii myös pulkkamäkenä. [32.]

3 VIHERRAKTOJEN KEHITYSVAIHEITA

3.1 Viherkatot ja kattopuutarhat historiassa

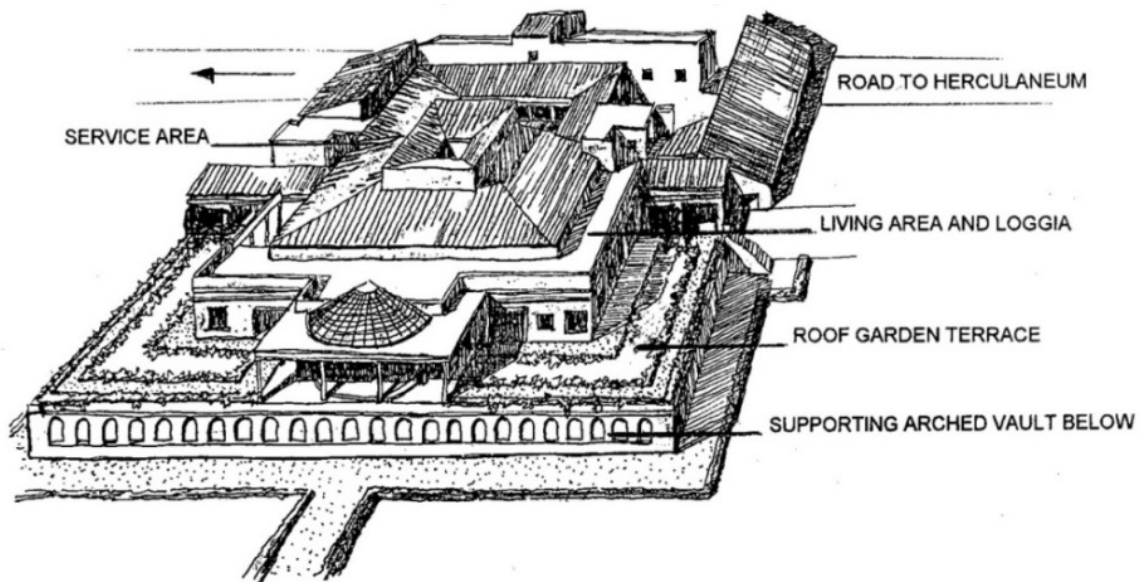
Jo vuonna 4000 eaa. rakentajat ja maanviljelijät rakensivat zikkurateja (muinainen mesopotamialainen terassimaisen pyramidin tapainen temppelitorni, porrasperäpyramidi), yksinkertaisia kasvikatot ja upeita kattopuutarhoja. Muinaisessa Egyptissä, jonne arkeologisten tutkimusten mukaan rakennettiin maailman ensimmäiset kattopuutarhat, myös tavalliset kansalaiset istuttivat kasveja katoilleen – useimmissa taloissa oli loiva katto ("tasakatto"). Mesopotamiasta, nykyisestä Irakista, tunnetaan hyvin yksi muinainen maailman seitsemästä ihmeestä, Babylonin kaupungin Semiramisiin riippuvat puutarhat (*Hanging Gardens of Babylon*). [6, s. 1; 20, s. 16; 33, s. 52; 34, s. 7; 35; 22, s. 12; 36, s. 112–114.]



Kuva 4. Maarten van Heemskerckin (1498–1574) näkemys Babylonin puutarhoista. Babylonin puutarhoista ei ole yksiselitteistä historiallista tietoa, ja niiden olemassaolosta on kiistelty. [35.]

Ajanjaksolla noin vuodesta 700 eaa. vuoteen 476 antiikin Kreikassa ja Rooman valtakunnassa rakennettiin kattopuutarhoja ahkerasti. Kreikkalaiset keskittyivät kasvattamaan katoilla lähinnä ruukkukasveja, mutta Roomassa puutarhakulttuuri kukoisti. Ahtaassa kaupungissa katto oli käyttämätöntä hyötytilaa ja monesti ainoa paikka kasvattaa kasveja lähellä. Roomalaisten katoilla kasvatettiin viiniköynnöksiä ja

hedelmäpuita, puhuttiin "metsistä". Katoille rakennettiin myös kastelujärjestelmiä, ja roomalaiset onnistuivat ilmeisesti ensimmäisen kerran historiassa viljelemään kasveja katoille rakennetuissa kasvihuoneissa. Vuodesta 476 Länsi-Roman kukistuttua Itä-Roman, Bysantin, alueella kattopuutarhojen rakennuskulttuuri jatkui. Islamilaiset kattopuutarhat olivat virkistyskäyttöön tarkoitettuja. Ne rakennettiin usein hyvin yksityisiksi paikoiksi. [33, s. 26–42; 20, s.17.]

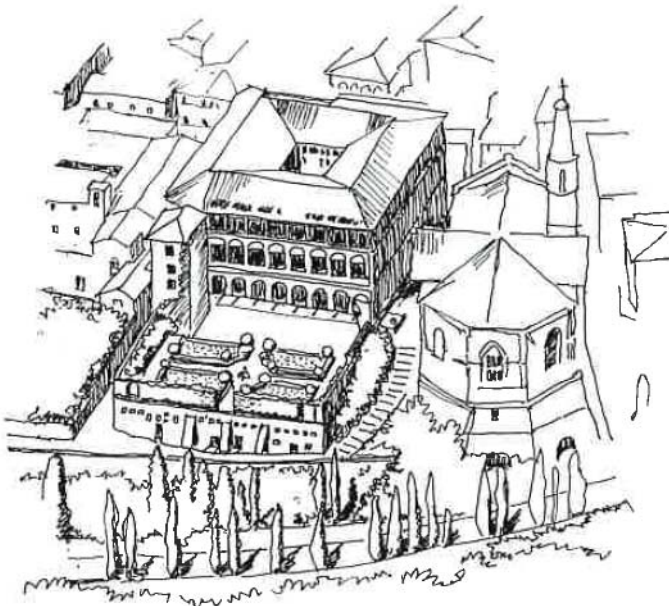


Kuva 5. Kattopuutarha Villa dei Misterissä. Se sijaitsee tunnetuimmassa roomalaisen antiikin maaseutukaupungissa, Pompejissa, joka tuhoutui vuonna 79 jaa. [36, s. 114; 22, s. 13.]

Myöhemmin rakennushistoriassa rakennuksia on katettu maa-aineksilla lämmöneristysyistä, naamiointitarkoituksissa (sotilaallisessa kontekstissa, esim. Suomenlinna) sekä paloturvallisuussyistä. Keskiajan Euroopassa (n. 500–1400-luvuilla) kattopuutarhojen rakentaminen oli melko vähäistä. Viherkattoja esiintyi kuitenkin esimerkiksi Pohjois-Euroopassa ja erityisesti Skandinaviassa rakennetuissa maamajoissa. Jo varhaisen keskiajan asukkaat tiesivät, että viherkatot kompensoivat rakennuksissa ulkoilman jyrkkiä lämpötilavaihteluita. Maamajat saatettiin tehdä kokonaan turpeesta, mutta yleensä niissä käytettiin lisäksi puuta ja kiveä. Varhaisissa asumuksissa katto ja seinät eivät olleet eriytyneet: esimerkiksi Islannissa turvekatto ulottui usein maahan saakka ja katot olivat hyvin jyrkkiä, mikä antoi anteeksi vesitiiveydessä. Pohjoismaiden tavanomaisissa rakennuksissa katto muodostui erilliseksi rakenneosaksi viikinkiaikaisissa (n. 800–1025 jaa.) paalurakennuksissa ja lamasalvosrakenteissa, jotka kehittyivät turvekodasta. Rakennuksiin tehtiin joko kaksilappeinen tuohi-turvekatto tai tuohimalkakatto tai vaihtoehtoisesti vaakasuora turvekatto. 800-luvulla Norjassa, Islannissa ja Färsaarilla ruohokattoja rakennettiin puukoolausten päälle. Myös keskiajan Saksassa

rakennettiin ruohokattoja lähinnä latoihin ja muihin maatalon rakennuksiin. Pohjoiseurooppalainen rakennustapa levisi myös Grönlannin kautta Pohjois-Amerikkaan viikinkien mukana noin vuonna 1000. Samoin Kurdistanin alueella (käsittää osia Armeniasta, Iranista, Irakista, Syyriasta ja Turkista) mahdollisesti jo tuhat vuotta sitten muta ja maa-aines ovat olleet perinteisiä rakennusmateriaaleja, ja ruohokasvillisuus on valloittanut loivahkoja mutapeitteisiä kattoja muistuttaen turvekattoa ulkomuodoltaan. Keskiajan Väli-Amerikassa atsteekit rakensivat kattopuutarhoja niin ylimystölle kuin tavallisen kansan vaatimattomampiin rakennuksiin. Ylimystön kattopuutarhat olivat monipuolisia ja hienostuneita ja niihin rakennettiin kastelujärjestelmiä. [4, s. 8; 2, s. 15–16; 34, s. 7; 33, s. 51–54; 37, s. 86; 20, s. 16–24.]

Vasta myöhäiskeskiajalla, jolloin renessanssi alkoi vallata alaa Italiassa, varsinaisten kattopuutarhojen rakentaminen heräsi uudelleen. Renessanssiaikana (n. 1400–1500-luvuilla) antiikin seitsemän ihmettä nostettiin uudelleen esiin sivilisaation suurina saavutuksina, ja tämän seurauksena riippuvia puutarhoja alettiin jäljitellä Italian renessanssipuutarhoissa. Kattopuutarhoista rakennettiin entistä suurempia ja niitä käytettiin myös hyötynuutarhoina. Kasveja istutettiin katoille levitettyyn maakerrokseen. Tällöin katoilla käytettiin tiivistysmateriaaleina esimerkiksi tervaa, lyijyä ja kuparia, ja katoille rakennettiin kastelujärjestelmiä. Pieniä puita ja pensaita istutettiin tavallisesti ruukkuihin jotta ne voitiin säiden vaatiessa siirtää suojaan. Renessanssimuoti levisi myös voimakkaasti eri puolille Eurooppaa. [35; 33, s. 51; 20, s. 17–18.]



Kuva 6. Paavi Pius II:n (1405–1464) rakennuttama Palazzo Piccolomini Pienzassa Italiassa on yksi parhaiten säilyneitä renessanssin aikaisia kattopuutarhoja [36, s. 116–117.]



Kuva 7. Palazzo Piccolominin kattopuutarhasta on näkymä Val d'Orcian laaksoon ja Monte Amiatan kukkuloille [36, s. 116].

Barokin (n. 1600-luvulta alkaen) ja rokokoon (n. 1700-luvulta alkaen) kattopuutarhoja hyödynnettiin oleskelupaikkoina, hyötypuutarhoina ja hoviseremonioiden tapahtumapaikkoina. Barokin aikaan puutarhat rakennettiin ranskalaisten mallin mukaan erittäin symmetrisiksi. Rokokoon aikaan kattopuutarhoihin lisättiin entisestään koristeellisia istutuksia, muotoon leikattuja puita ja upeita vesiaiheita. Seuraava eurooppalaisen arkkitehtuurin suuntaus klassismi (1700-luvun loppupuolella ja 1800-luvulla) sai innoituksensa antiikista ja renessanssista. Antiikista omaksuttiin mm. suoraviivaiset muodot, pylväsjärjestelmät ja kattopuutarhat. Suunnitelmissa esiintyi viheriöiviä tasakattoja, joskin istutukset olivat aiempaa järjestelmällisempiä. Renessanssin riippuvista puutarhoista poiketen puuistutuksista tuli osa arkkitehtuuria: niillä korostettiin rakennusten monumentaalisuutta. Aikakaudelle merkittävimpiä kattopuutarhoja on venäläistä barokkia edustavassa Eremitaasissa, Talvipalatsissa. Klassismin aikakaudella Euroopassa kattopuutarhojen rakentaminen kehittyi ja uusia materiaaleja otettiin käyttöön. Kosteutta eristettiin mm. savella ja ns. varhaisella asfalttihuovalla. Turvekatoissa taas käytettiin tuhkaa ja useita kerroksia tervapaperia, joiden päälle ladottiin hiekkaa ja turvetta. Yleisesti ottaen 1800-luvun puoliväliin saakka varsinaiset kattopuutarhat olivat melko harvinaisia, koska turvallista ja vedenpitävää rakentamistapaa ei ollut. [33, s. 83–113; 20; s. 18–19; 36, s. 120–121; 22, s. 15.]



Kuva 8. Talvipalatsin katto puutarha Pietarissa. Venäjän keisarinna Katariina II (1729–96) palkkasi Talvipalatsin suunnittelijaksi italialaisen arkkitehdin Bartolomeo Francesce Rastellin [36, s. 120–121].

3.2 Puusementtikatto

Kattorakentamisessa tapahtui edistysaskel kun Samuel Häusler keksi puusementtikaton (*Holzzementdach*) vuonna 1839. Puusementtikatot oli osoitettu aikakaudellaan verrattain paloturvallisiksi, mikä perustui katon peittämiseen kiviaineksella – ei niinkään kattokasvillisuuteen. Lisäksi puusementtikatto oli edullinen loivuutensa ansiosta harjakattoon nähden ja sillä oli myös verrattain hyvä lämmöneristyskyky. Romantiikan aikakaudella 1800-luvun lopulla tärkeässä roolissa puusementtikaton suosion nousuun oli myös mahdollisuus rakentaa kattopuutarha. Näille hiekka- ja sorapeitteisille katoille joko perustettiin puutarha tai kasvillisuus levisi niille tuulessa lentävien siementen mukana, jolloin ne muistuttivat ajan saatossa luonnonniittyä. Katot osoittautuivat verrattain kestäviksi mm. siksi, että ne opittiin tuulettamaan ja siksi, että eristyksenä oli käytetty tervaa ja sen tyyppisiä aineita – terva on juurille vuosikymmeniä kestävä myrkyä – ja näin ensimmäinen juurisuojaus oli keksitty. [33, s. 118 & 121–126; 4, s. 9–10; 3, s. 88; 20, s. 19–20.]

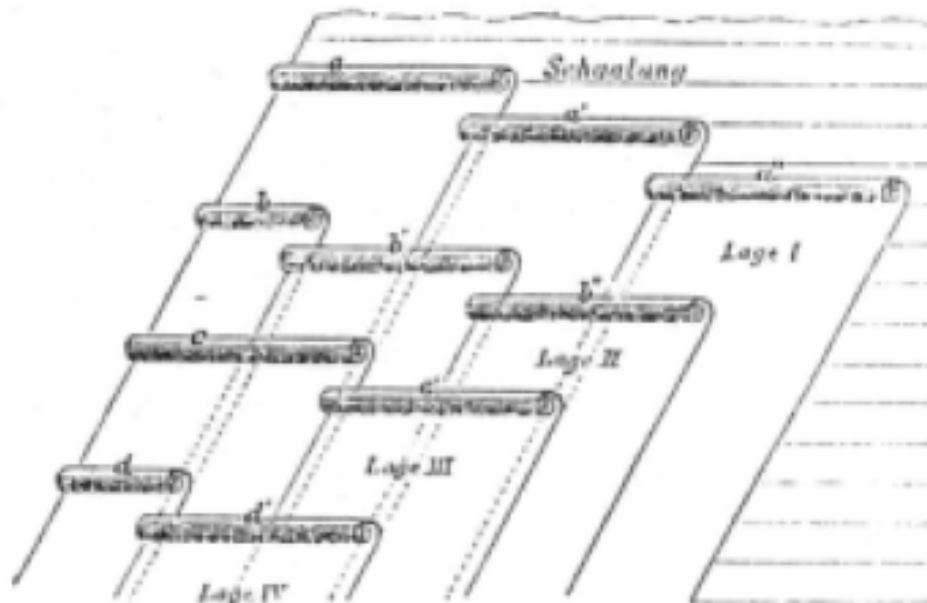
Puusementtikaton rakenne

TAUSTAA

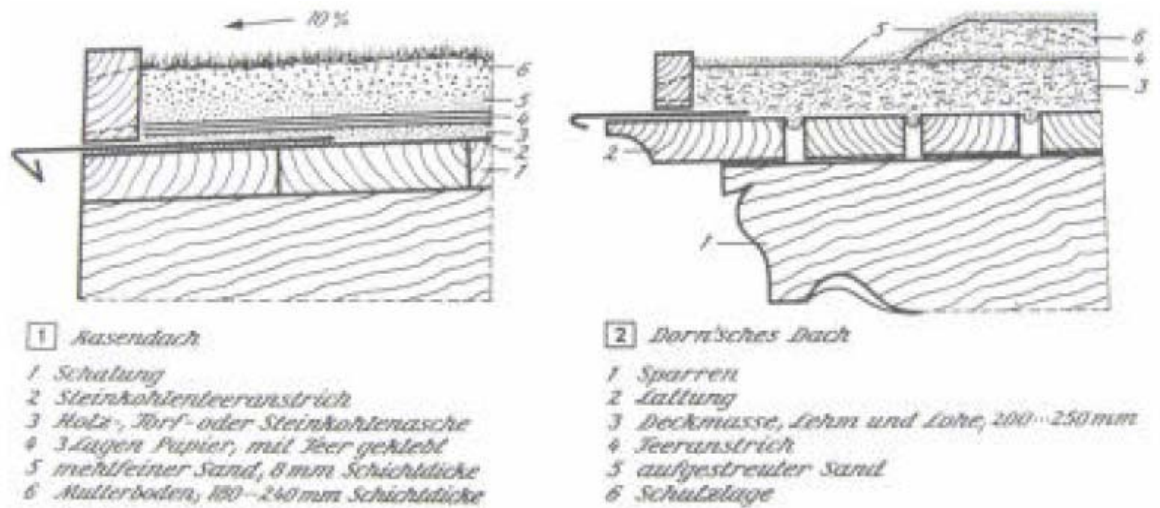
i

Puualustan päälle laitettiin useita kerroksia paperia, jotka liimattiin toisiinsa piellä, tervalla ja rikillä. Tämä peitettiin hiekalla, soralla ja maaineksella. Alustana käytettiin 30–35 mm paksua pontattua lautaa. Aluslaudoituksen tuli olla täysin tasainen eikä siinä saanut olla epäjatkuvuuskohtia tai naulanpäitä. Ponttauksen tehtävänä oli estää rakenteen käyristyminen. Alusta peitettiin 2–5 mm paksulla kerroksella seulottua hienoa kuivaa hiekkaa tai tuhkaa. Tämän jälkeen tuli kolmesta neljään kerrosta 1–1,5 metriä leveää ehjää ja vahvaa paperia, joka rullattiin harjalta räystäälle. Paperirullat limitettiin toistensa päälle 15 cm. Puusementissä käytettiin 60 paino-osaa vedetöntä ja ammoniakitonta kivihiilitervaa, 15 osaa asfalttia ja 25 osaa rikkiä. Seos oli erittäin kestävä ja myös jonkin verran elastinen pitkällä aikavälillä. Kun päällimmäinen kerros paperia oli päällystetty puusementtimassalla, pinnoitettiin kate 1–1,5 tuumaa (n. 2,5–3,8 cm) paksulla hienolla hiekkakerroksella. Tämän jälkeen levitettiin n. 3 tuumaa (n. 7,6 cm) paksu kerros savista hiekkaa. Päällimmäiseksi levitettiin 3–5 cm paksu kerros soraa. Hienon hiekan tehtävänä oli suojata paperikerroksia vahingoittumiselta katolla liikkussa ja sorakerroksen tehtävänä oli suojata

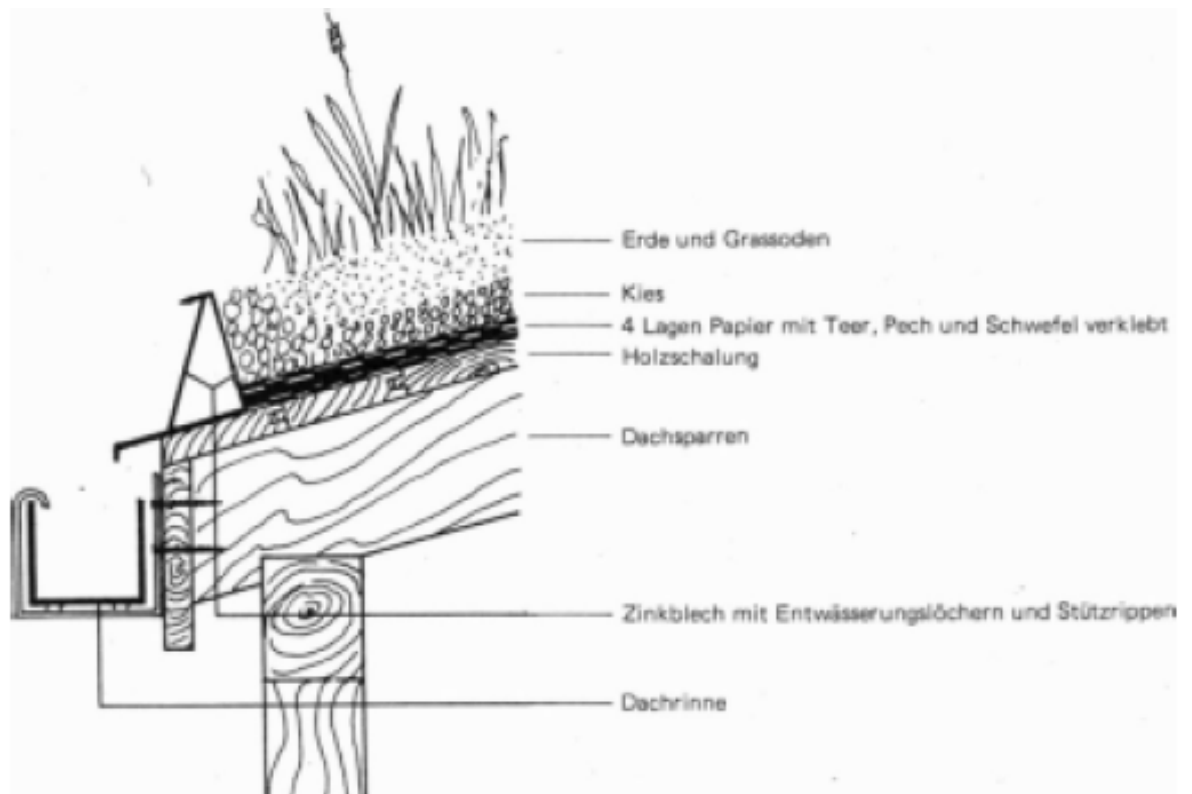
öljypohjaista puusementtimassaa haihtumiselta, jotta kattopinnoite säilyttäisi elastisuutensa. Tärkeintä puusementtikattojen rakentamisessa oli läpivientien ja yksityiskohtien teko (räystäät, piiput, vesikourut ym.). Soran valumisen estämiseksi räystäälle asennettiin n. 10 tuumaa (n. 25,4 cm) korkeat poikkipuut. Jottei vedenpoistuminen katolta estyisi, poikkipuiden alalaitaan tehtiin noin 15 cm välein pieniä aukkoja, jotka käsiteltiin kuumalla tervalla. Räystäät suojattiin kosteudelta usein sinkkilevyllä. Myös päädyissä käytettiin sinkillä päällystettyjä lautoja. Myöhemmin alaräystäiden poikkipuut tehtiin raskaasta sinkkilevystä. Puusementtikattojen kestävyudessa oli kuitenkin ongelmia, koska lämpötilojen muutokset aiheuttivat usein jännityshalkeamia. Huomattiin myös, että oli todella tärkeää tuulettaa puusementtikatto rakenteen alta, koska näin ilmatiivis pintarakenne saattoi aiheuttaa hometta ja lahoa alusrakenteisiin. Edullisin katon kaltevuus oli 1:15–1:25, jyrkemmistä katoista olisi saattanut valua soraa tai maata. [33, s. 118 & 121–126.]



Kuva 9. Paperikerrosten limitys puusementtikatolla [33, s. 165].

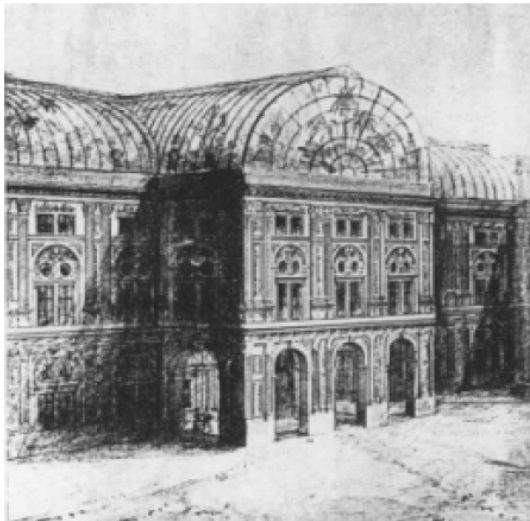


Kuva 10. Esimerkki turvekatosta ja ns. Dornin katosta. Turvekatossa on 1) laudoitus, 2) kivihiilitervapinnoitus, 3) puu-, turve- tai kivihiilituhkaa, 4) 3 kerrosta paperia tervaliimattuna, 5) 8 mm kerros hiekkaa ja 6) 180–240 mm kasvukerros. Kasvualustan vähimmäissyvyudeksi katsottiin 15 cm, jottei kasvillisuus kärsisi liikaa kuivuudesta. Dornin katossa on 1) kattokannattaja, 2) ruoteet, 3) katemassa: savi, johon sekoitettu turvepaakkuja ja -silppua 200–250 mm, 4) tervapinnoitus, 5) hiekkasirote ja 6) suojakerros. Dornin katon kaltevuus oli aina enintään 1:4, mutta yleensä niinkin loiva kuin 1:24. [33, s. 116 & 118 & 120 & 165.]



Kuva 11. Puusementtiviherkaton räystä [33, s. 165]. Rakennekerrokset ylhäältä alaspäin ovat kasvillisuus ja kasvualusta, sora, paperitervavedeneristys, aluslaudoitus ja kattokannattaja.

Viherkattojen vedeneristämisen jonkinasteisena läpimurtona on usein pidetty Carl Rabbitzin 1800-luvun jälkipuoliskolla rakentamaa kattopuutarhaa Berliinissä. Kattopuutarha rakennettiin tyypilliseen keskiluokan asuintaloon, mikä oli siihen aikaan hyvin epätyypillistä kylmien talvien Berliinissä. Rabbitz ymmärsi, että kattopuutarhat ovat herkkiä epäonnistumaan ja hän käytti ”vulkanoitua” sementtiä (Portlandsementtiä, laavakiveä ja soraa) katon tiivistämiseen. Kyse oli uudentyyppisestä puusementtikatosta, ja suunnitelman pienoismalli esiteltiin Pariisin maailmannäyttelyssä 1867. Rabbitz osasi markkinoida viherkattoteemaa hyvin, ja maailmannäyttelyn imussa hän julkaisi mm. esitteen ”Vulkanoidusta sementistä rakennetut luonnonkatot”. Viherkattorakentaminen oli lähtenyt nousuun Saksassa: vuosisadan vaihteessa Berliinissä oli noin 2000 puusementtikattoa (*”Berlin roofs”*), ja noin 50 niistä selvisi sota-ajoista. Myös Yhdysvalloissa oli huomattu puusementtikattojen edut 1800-luvun lopulla, ja ne olivat erittäin suosittuja etenkin teollisuusrakennuksissa, jossa kattopuutarhoja rakennettiin teollisuusrakennuksiin usein myös työntekijöiden taukopaikoiksi. Euroopassa ja Yhdysvalloissa kattopuutarhat saavuttivat laajan suosion, ja niitä rakennettiin sekä yksityisiin että julkisiin ja teollisuuden rakennuksiin. [36, s. 121; 33, s. 121–126; 34, s. 7–8 & 27; 2, s. 14; 20, s. 19–20.] Jopa suomalainen vuoden 1915 Huoneenrakenteiden oppikirja kertoo puusementtikatoista: ohjeissa todetaan, että tasakaton voi päällystää 10–15 cm paksulla sora- tai turvekerroksella, jolloin turvekerros suojaa katon tervausta ja toimii lämmöneristeenä [37, s. 111; 20, s. 19].



Kuva 12. E. Riedelin piirros vuodelta 1870 Baijerin kuningas Ludwig II Münchenin residenssin kattopuutarhasta. Ludwig II rakennutti vuosina 1867–1871 suuren lasikatteisen kattopuutarhan, talvipuutarhan, jossa oli loistelioiden istutusten lisäksi suuri lammikko. Kosteutta eristettiin mm. kuparilevyillä, tosin huonolla menestyksellä – rakennelma vuoti niin pahasti, että puutarha ja sen suojana ollut lasikate oli purettava kuninkaan kuoleman jälkeen vuonna 1897. Lisäksi erittäin kalliit ylläpitokustannukset vaikuttivat purkamispäätökseen. [38, s. 147–148; 36, s. 121.]



Kuva 13. J. Albertin valokuva noin vuodelta 1870 Kuningas Ludwig II Münchenin residenssin kattopuutarhasta, näkymä sisältä [38, s. 148].

3.3 New Yorkin kattopuutarhateatterit

1900-luvun vaihteessa Yhdysvaltojen suurissa kaupungeissa rakennettiin useita ulkoilmateattereita katoille. Kattopuutarha (*roof garden*) -termiä alettiin alun perin käyttää Yhdysvalloissa noin vuonna 1893 tarkoittamaan juuri näitä kattoja, jotka oli rakennettu erityisesti kesäajan huvituksia silmällä pitäen. Teatterikattopuutarhojen muotivillitys oli voimissaan erityisesti New Yorkissa, jossa sen ensimmäisenä käynnisti urakoitsijamuusikko Rudolph Aronson. Hän oli unelmoinut teatterista puutarhassa New Yorkin sydämessä, jonka tyyppisiä oli nähnyt Euroopassa. Ollessaan Pariisissa hän ymmärsi, että ainoa tapa peitota kalliit tonttikustannukset olisi suunnitella uuden talviteatterin katto muunnettavaksi ulkoilmakesäteatteriksi. Casino Theater Broadwayn ja 39th Streetin kulmassa rakennettiin vuonna 1880, ja sen kattopuutarha 1882. Casino oli ensimmäinen teatteri, johon oli suunniteltu esiintymislava katolle täydentämään sisäteatteria kesäkuukausina. Näin saman teatterin esityskautta saatiin jatkettua ympärivuotiseksi siirtymättä maan tasalle rakennettuihin puutarhateattereihin. Casinosta tuli menestystarina, ja noin vuonna 1890 se oli New Yorkilaisen operetin johtava keskus. Kahdeksan vuotta myöhemmin Casinon jälkeen rakennettiin Madison Square Garden, jonka 91,5 metriä korkea kellotorni kohosi New Yorkin korkeimmaksi rakennelmaksi tuohon aikaan. [36, s. 122–124.]



Kuva 14. Rudolph Aronson Casino Theater, New York. Kattopuutarhateatterit saavuttivat suuren suosion New Yorkissa 1890-luvulla. Broadwayn lähetyillä oli tuolloin kaikkiaan yhdeksän kattopuutarhateatteria, joista viisi taivasalla ja loput neljä lasikatteen suojassa. Teattereiden jalanjäljissä New Yorkilaiset hotellit ja ravintolat omaksuivat kattopuutarhat; näistä kuuluisin on The Waldorf-Astoria. Teatteriyleisön mieltymysten muuttuessa, ilmastonin kehittämisen myötä ja elokuvaesitysten tultua kattopuutarhateatterit sulki lopullisesti ovensa 1920-luvulla. [36, s. 122–124].



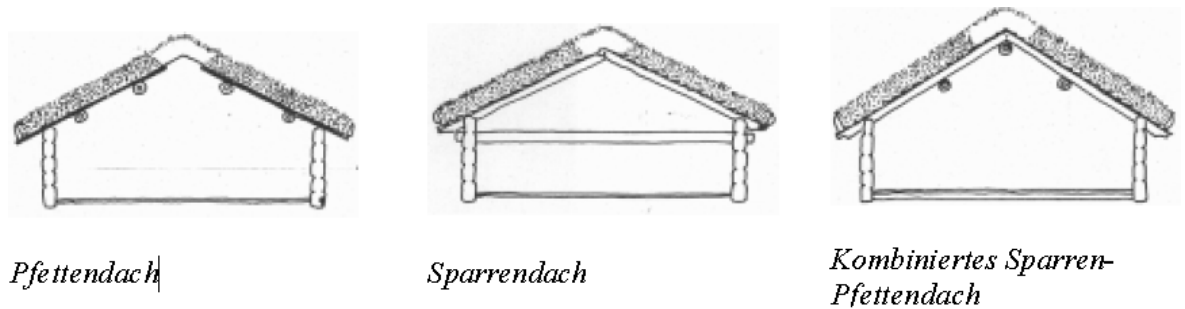
Kuva 15. Vasemmalla alkuperäinen Waldorf-Astorian kattopuutarha vuodelta 1903 ja oikealla sama kattopuutarha keväällä 2013. © *The Waldorf Astoria New York Archive*. Kuva on julkaistu The Waldorf Astoria New Yorkin luvalla.

3.4 Pohjoismaiset perinnekatot ja niiden paloturvallisuus

Ensimmäiset asumukset olivat maakattoisia maakuoppia, joiden rakennusmateriaaleina käytettiin puuta, savea, multaa, sammalta ja turvetta [39, s. 22]. Katto muodostui erilliseksi rakenneosaksi rautakaudella paalurakennuksissa ja hirsitalon lamasalvos- eli nurkkasalvosrakenteissa, jotka kehittyivät turvekodasta. Ensimmäiset katot olivat tuohikattoja, jonka ongelmana oli tuohien paikallaan pysyminen ja auringon paisteelta suojaaminen. Ensimmäinen ja edullisin käytettävissä oleva ratkaisu oli käyttää turvetta. Tuohi oli katon vedenpitävä osa, ja turpeet toimivat sekä painona että suojana. Turvekatto on siis alun perin eräs tuohikatteen variaatio. [37, s. 84, 88 & 97; 40; 20, s. 24; 41.]

1600-luvun Suomessa rakennuksiin tehtiin erittäin tyypillisesti kaksilappeinen harjakatto (satulakatto), joko tuohi-turvekatto tai tuohi-malkakatto, jonka kattokaltevuus oli yleensä noin 1:3 (n. 18,5°). Turve ja turvekatoissa käytetty (salaojitus)sora on raskasta, ja soveltuvat huonosti tätä jyrkemmille katoille: kasvualustan paino oli hyvinkin noin 200 kg/m². Turvekate alettiin myöhemmin, noin 1700-luvulla usein korvata maloilla peitetyllä tuohikatolla. Malka on ohut pyöreä tai halkaistu puu, yleensä kuusta. Malat jouduttiin kuitenkin uusimaan noin parinkymmenen vuoden välein. [40; 37, s. 83 & 86 & 97; 33, s. 53; 20, s. 24.] 1600-luvulla turvekatto oli yleinen jopa pappiloissa, ja sitä käytettiin sotilasvirkataloissa vielä 1700-luvun alkupuolella. Piha- ja talousrakennuksissa se oli yleinen 1800-luvulle saakka. 1700-luvun loppupuolella muotiin tulleet erittäin jyrkät ja monitaitteiset kattomuodot (säteri-, auma- ja mansardikatto) syrjäyttivät turvekaton lopullisesti merkittävimmistä rakennuksista. [37, s. 83 & 97; 41.] 1800-luvun alussa Suomen kaupunkien kattonäkymää hallitsivat malkapuut: kansanrakentamisessa käytettiin lähes ainoastaan tuohi-malkakattoa, lautakattoa ja jonkin verran tuohi-turvekattoa. Tuohikatto oli yleisin katetyyppi Suomessa 1860-luvulle saakka kunnes pärekaton suosio syrjäytti sen. [37, s. 86 & 94–98; 42, s. 47.] Myöhemmin turvetta on käytetty esimerkiksi saunarakennusten ja kellarien katoilla [37, s. 97, 20, s. 24].

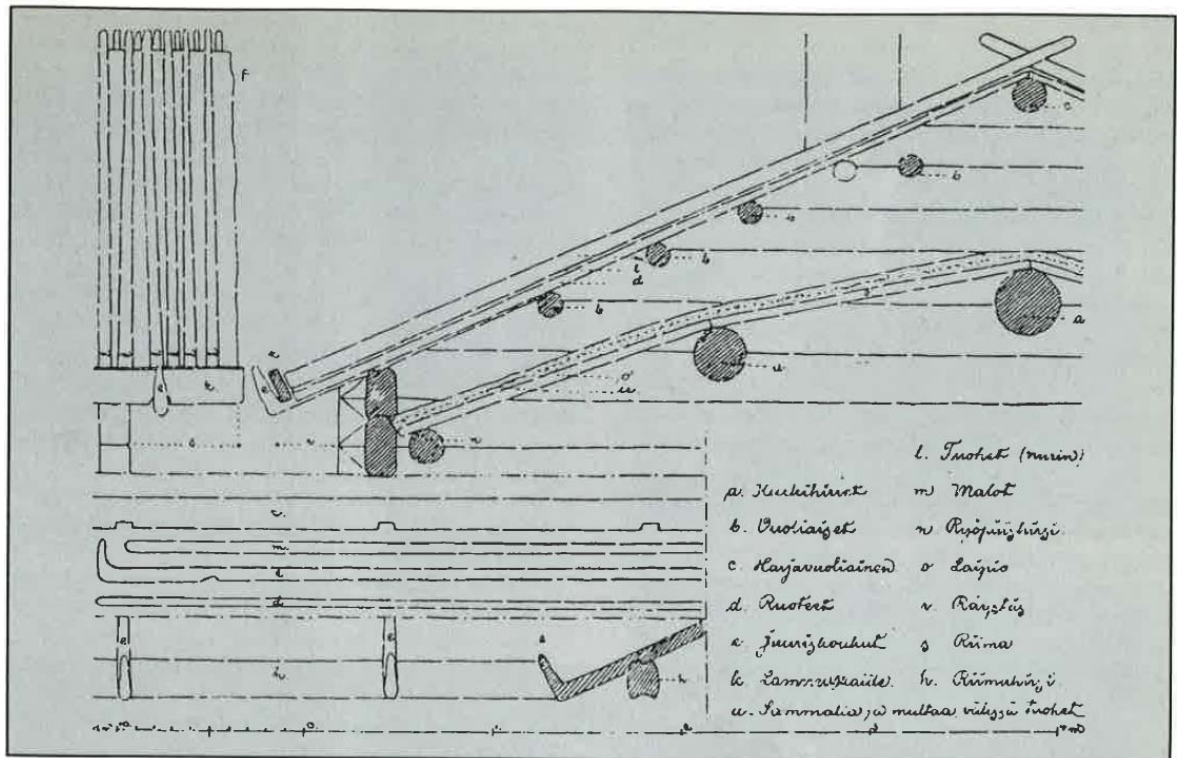
Turvekatto on niin raskas, etteivät perinteiset rakenteet aina kestäneet sen painoa [37, s. 97]. Skandinaviassa kattorakentaminen kehittyi siten, että perinteisten orsi- ja yläpaarrekattojen rinnalle muotoutui näiden yhdistelmä. Kun yläpaarrekatossa yläpaarteet on liitetty rinnakkain harjan yli, orsikatolle on tunnusomaista pitkien räystäiden suuntainen vahvistus päätyseinäpalkkiin. Yhdistelmä rakenteesta saatiin huomattavia staattisia etuja kun yläpaarteiden kuormat (ominaispaino, turve- tuuli- ja lumikuormat) voitiin jakaa orsille. [33, s. 53.]



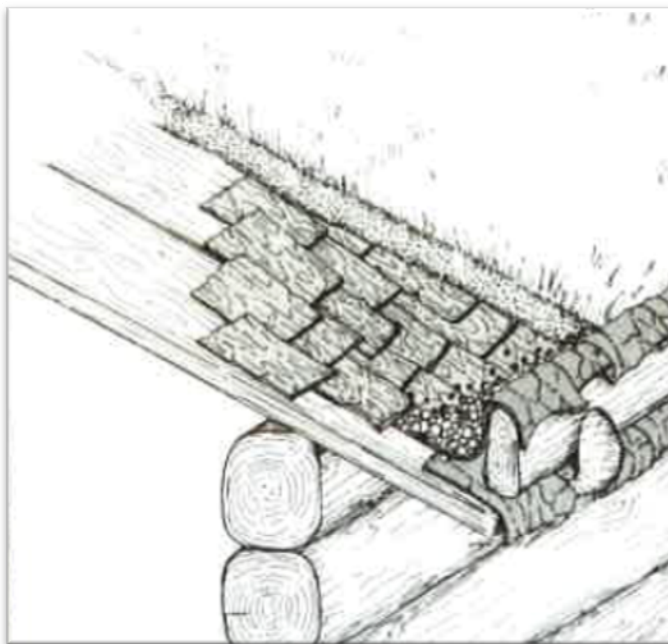
Kuva 16. Skandinaavisten turvekattojen variaatioita. *Pfettendach* tarkoittaa orsikattoa (orret seinien kannattamia), *Sparrendach* yläpaarrekattoa ja *Kombiniertes Sparren-Pfettendach* edellä mainittujen yhdistelmää. Skandinaaviset turvekattot olivat tyypillisesti kaltevuudeltaan 22°-34° (n. 1:2,5 – 1:1,5). [33, s. 53 & 156.]

Perinteinen turvekatto rakennettiin "hirsikoivun" tuohesta tehdylle moninkertaiselle tuohilevyalustalle, joka toimi vedenpitävänä kerroksena. Tuohen laadusta riippuen kerroksia tuli kahdesta viiteen, joskus jopa kahdeksan. Kattoja tuli huoltaa jatkuvasti ruohokasvustoa leikkaamalla ja sinne levinneet puuntaimet poistamalla. Katon käyttöikä oli noin parikymmentä vuotta, ja se piti uusia yleensä tuohikerroksen lahon ja maatumisen vuoksi vaikka tuohi onkin verrattuna moneen muuhun materiaaliin hyvin lahonkestävää sen korkean parkkihappopitoisuuden vuoksi. Nykystandardeilla arvioituna perinteinen ruohoturvekatto ei ollut kovinkaan tiivis. [37, s. 86–87 & 97; 33, s. 53; 40; 2, s. 16; 20, s. 25; 43, s. 14.]

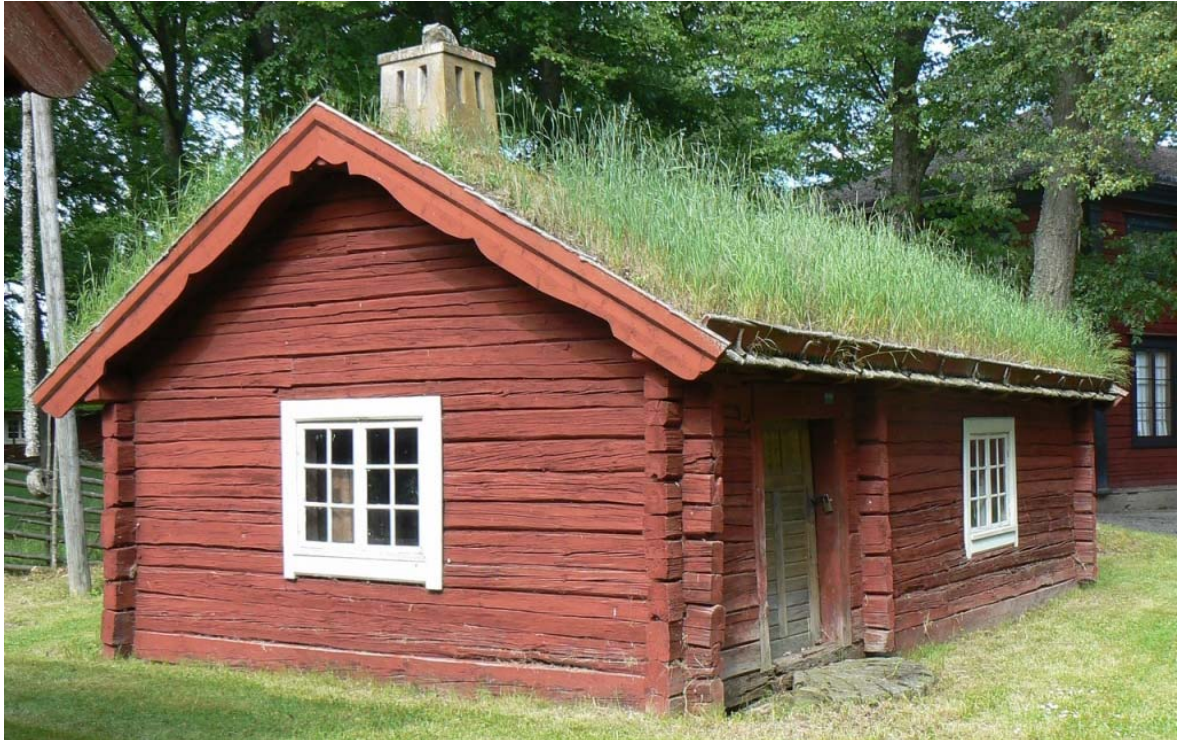
Vasta modernimpien katemateriaalien, kattuhuovan ja kattopellin kehittäminen vähensi perinteisten ruohokattojen rakentamista 1900-luvun alusta alkaen [4, s. 8]. Lapissa *kammi* eli turpeella, tuohella ja puilla peitetty turvemaja oli tyypillinen saamelaisten rakennus vielä 1900-luvun puolivälissä [20, s. 23–24].



Kuva 17. Seurasaaren siirretyn konginkankaalaisen Niemelän torpan tuohikaton rakenne [37, s. 89].



Kuva 18. Perinteinen skandinaavinen turvekatto [2, s. 14]. Skandinaviassa perinteisiä (jyrkkiä) turvekattoja rakennettiin vielä 1800- ja 1900-luvullakin siten, että vedeneristyksenä käytetty (olki ja) moninkertainen tuohilevyalusta peitettiin lämmöneristeenä toimivalla turpeella ja usein katolle istutettiin kasvualustan hyvin sitovaa kattomehitähteä (*sempervivum tectorum*). Katot olivat kaltevuudeltaan jyrkkiä, yleensä 22–34° (n. 1:2,5...1:1,5) – esimerkiksi Norjassa turvekattojen kaltevuudet vaihtelivat Itä-Norjan 22–27° (n. 1:2,5...1:2) ja Länsi-Norjan noin 33° (n. 1:1,5) välillä. [4, s. 8; 33, s. 55–56; 40; 20, s. 23–24; 36, s. 121; 42, s. 74; 44, s. 8.]



Kuva 19. Ruotsalainen perinnerakennus viherkatolla. "Siihirsi" estää turpeen vierimisen. Usein siihirsi lovettiin alareunastaan veden poistumisen varmistamiseksi.



Kuva 20. Museorakennuksia, Skógar, Islanti.

Kasvikatot olivat orgaanisen materiaalin ja tiheän ruohokasvuston vuoksi erittäin herkästi syttyviä [2, s. 16]. Myös vanha lautakatto sekä alusrakenteena käytetty tuohi olivat erittäin paloherkkiä, ja tuohi-malkakatto kiellettiin Turun palomääräyksissä 1600-luvulla. 1770-luvulla määräykset kielsivät kaikki tuohikatot, myös lauta- ja turvekatot: vuonna 1772 kiellettiin näiden katteiden uudisrakentaminen ja myöhemmin vuonna 1774 kiellettiin lisäksi vanhojen korjaus. Orgaanisten materiaalien sijasta taloja neuvottiin kattamaan tiilellä tai mukulakivillä. Orgaaniset katemateriaalit olivat kuitenkin edullisia, ja vain varakkaammilla oli mahdollisuus rakentaa taloonsa tiilikatto. Tuohon aikaan tiilikattoa oli vaikea saada vedenpitäväksi – lautakatto oli edullisuutensa lisäksi tuohon aikaan selvästi vedenpitävämpi kuin tiilikatto. Myös Viipurissa kiellettiin vanhojen lautakattojen korjaus vuonna 1793: kesällä syttyneen kaupunkipalon yhteydessä oli todettu, että useat (lahot) lautakatot syttyivät välittömästi kipinän osuessa niihin. Oulun palojärjestys vuodelta 1801 suositteli käyttämään kattotiliä, kupari- tai rautapeltiä kun siihen oli varaa ja mikäli ei, oli sallittua rakentaa taloon joko turve-, liuskekivi tai malkakatto. Tammisaaren palojärjestys vuodelta 1801 määräsi malkakatot purettaviksi ja korvattaviksi tiili-, turve- tai lautakatolla, joita pidettiin merkittävästi tuohikattoja paloturvallisempina. Vanhetessaan kuitenkin sekä lautakattojen että heinää kasvavien turvekattojen kipinäherkkyys kasvoi. Turvekatot olivat yleistyneet Turussa ennen vuoden 1775 kaupunkipaloa lautakattojen kieltämisen seurauksena. [37, s. 98; 42, s. 30–32; 20, s. 24.]

Usein kaupunkipaloissa tuli hyppäsi pitkiäkin matkoja ja rakennukset syttyivät kaukana toisistaan monessa eri paikassa samanaikaisesti. Puukaupungit paloivat Suomessa yleensä kesäaikana, jolloin katoilla ei ollut suojaavaa lumikerrosta: historiallisesti vaarallisin kuukausi on ollut toukokuu. Vaikka taloja jouduttiinkin talvella lämmittämään enemmän, kaupunkipaloriski ei olennaisesti noussut. [42, s. 41 & 46.] Turun palo vuonna 1827 on edelleen Pohjoismaiden historian suurin kaupunkikatastrofi, jossa kaupungista tuhoutui kolme neljäsosaa [42, s. 33–34]. Historiallisissa, tapaturmaisesti levinneissä, kaupunkipaloissa esiintyviä riskitekijöitä olivat: helposti syttyvät ja palavat katemateriaalit (100 %), puutteellinen palonsammutusväen organisointi (n. 96 %), puutteellinen vedensaanti ja/tai sammutusväen vähäisyys (n. 73 %), kova tuuli (n. 50 %), syttymisajankohta yöaikaan (n. 23 %) sekä sekasorto ja/tai ryöstelyä (n. 5 %) [42, s. 35]. Turun palossa katteilla oli merkittävä rooli palon syttymisessä ja etenemisessä:

Palo syttyi Aninkaistenkadun varrella lauta- ja tuohikattoisessa navetassa 4.9.1827 noin klo 21.00 aikoihin. Palo sai alkunsa ilmeisesti naapurin savupiipusta singonneesta kipinästä. Syttyneessä pihapiirissä oli kolmen asuinrakennuksen lisäksi talli ja puuvarasto saman katon

alla, karjasuoja ja leipomotupa. Piharakennukset oli varastoitu täyteen heiniä talven varalle. Samoin rakennuksen ullakko oli varastoitu täyteen heinää ja olkia talven varalta, kuten oli tilanne useimmilla tonteilla. Tuuli voimistui myrskyksi ja heitti palavia rakennusosia ympäri tuohella eristettyjä lautakattoja sekä kuivia turvekattoja... Noin tunnin kuluttua palon havaitsemisesta syttyi joen takana ensimmäisenä kaksikerroksisen talon katto. Kun myös kirkon tervattu paanukatto syttyi, katsottiin kaupunki menetetyksi. [42, s. 34.]

Paloturvallisempi kaupunkisuunnittelu, empirekaava, sai vauhtia Hämeenlinnan (1831), Haminan (1840), Porin ja Vaasan (1852) kaupunkipalojen seurauksena. Asemakaava rajoitti rakennusten kokoa, rakennusmateriaalien käyttöä, tonttikokoa ja katuleveyksiä. Vuonna 1856 määräykset koottiin kaikkia kaupunkeja koskevaan Kaupunkien yleiseen rakennusjärjestykseen (KYRJ). Nyt katemateriaaleista määrättiin palojärjestysten sijaan rakennusjärjestyksessä. KYRJ:ssä kiellettiin kattaminen pyöreillä halkaistuilla puupaanuilla, päreillä, turpeella ja paperilla. Puutalot oli varustettava syttymättömillä katteilla, esimerkiksi kattotiilillä, liuskekivillä, messinki-, rauta-, lyijy- tai sinkkilevyillä. Määräykset koskivat uudisrakentamista: vanhoja palavista materiaaleista tehtyjä kattoja ei kielletty, mutta ne oli vaihdettava palamattomaan materiaalin kattoa korjattaessa. Lautakatot sallittiin edelleen uudisrakennuksissa pienille rakennuksille tarkoitetuissa kaupunginosissa. KYRJ:stä huolimatta lautakaton suosio jatkui kaupungeissa 1900-luvun alkuun saakka mm. edullisuutensa ja vedenpitävyytensä ansiosta. Kaupunkipaloja syttyi Suomen kaupungeissa KYRJ:n voimaantumisen jälkeenkin 1800-luvun loppupuolella. [42, s. 37–38.]

1800-luvun loppupuolella kaupunkien paloturvallisuus kehittyi huonompaan suuntaan pärekattojen suosion myötä. Malkakatot haluttiin korvata paloturvallisempina pidetyillä pärekatoilla, mutta ne osoittautuivat myöhemmin kokemuksen kautta erittäin paloalttiiksi. Pärekattojen ominaisuuksia pidettiin niin erinomaisina, että haluttiin uskoa niiden paloturvallisuuteen. Pärekattojen määrä vaihteli kaupunkien välillä ja väheni vuosisadan loppua kohden lautakattojen uuden suosion myötä. Esimerkiksi Oulun rakennuksista vuonna 1882 85 %:ssa oli lautakatto ja 7 %:ssa pärekatto; tiili ja peltikatteen osuus oli hyvin pieni. Osassa päärakennuksia oli paperikatto, jossa vesieristeenä käytettiin tervalla ja hartsilla kyllästettyä lumppupaperia. Paperikatot eivät yleistyneet Suomessa merkittävästi siksi, että niiden paloturvallisuudesta oli epäilyjä. Paperilla kattaminen oli kielletty KYRJ:ssä: Vaasan palossa 1852 jotkut pitivät tervattuja paperikattoja syynä palon nopeaan leviämiseen. [42, s. 38 & 47–48 & 74; 37, s. 108–110; 45.]

Tiilikatto yleistyi Ruotsissa ja Norjassa 1800-luvulla, mutta se ei vielä yleistynyt Suomen kaupungeissa palo- ja rakennusjärjestysten määräyksistä huolimatta. Tiilikatteita oli jonkin

verran Raumalla ja Viipurissa sekä Raahessa. Tiilikatteiden paloturvallisuus perustui siihen, että tiilten tuli olla muurattu kiinni toisiinsa jolloin kate muodosti yhtenäisen pinnan. Aikakauden rakentamistekniikalla tämä ei kuitenkaan onnistunut. Kotimaisen tuotannon puuttuessa tiilikatetta pidettiin kalliina eivätkä tiilikatot olleet vedenpitäviä ja vuotivat helposti tuulen sekä viistosateen vaikutuksesta. Tiilikaton saumalaastin oli todettu irtoavan sateen ja kylmyyden vaikutuksesta, miksi sen alle piti lisäksi rakentaa lauta-alusta tai korjattaessa jättää alle vanha lauta- tai tuohikatto. Ajan tiilikatot eivät katteen pinnan palamattomuudesta huolimatta tarjonneet suurta apua paloturvallisuuteen: esimerkiksi Norjassa paloi neljännes Trondheimista vuonna 1842 tiilikatteista huolimatta. Tulipalossa tuuli puhalsi kipinöitä tiilikatteen alle ja sytytti alla olevat puurakenteet – tällaisen palonalun havaitseminen ja sammuttaminen oli vaikeaa. Vastaavanlaisia paloja oli Tukholmassa vuonna 1822 ja Norjan Bergenissä vuonna 1916. Bergenissä myrsky puhalsi kipinöitä kattotiilten väliin ja sytytti paloja satojen metrien päässä syttymispaikasta. Norjassa kiellettiin monin paikoin palojen jälkeen käyrityneiden kattotiilien käyttö. [42, s. 47–49; 37, s. 100–102.]

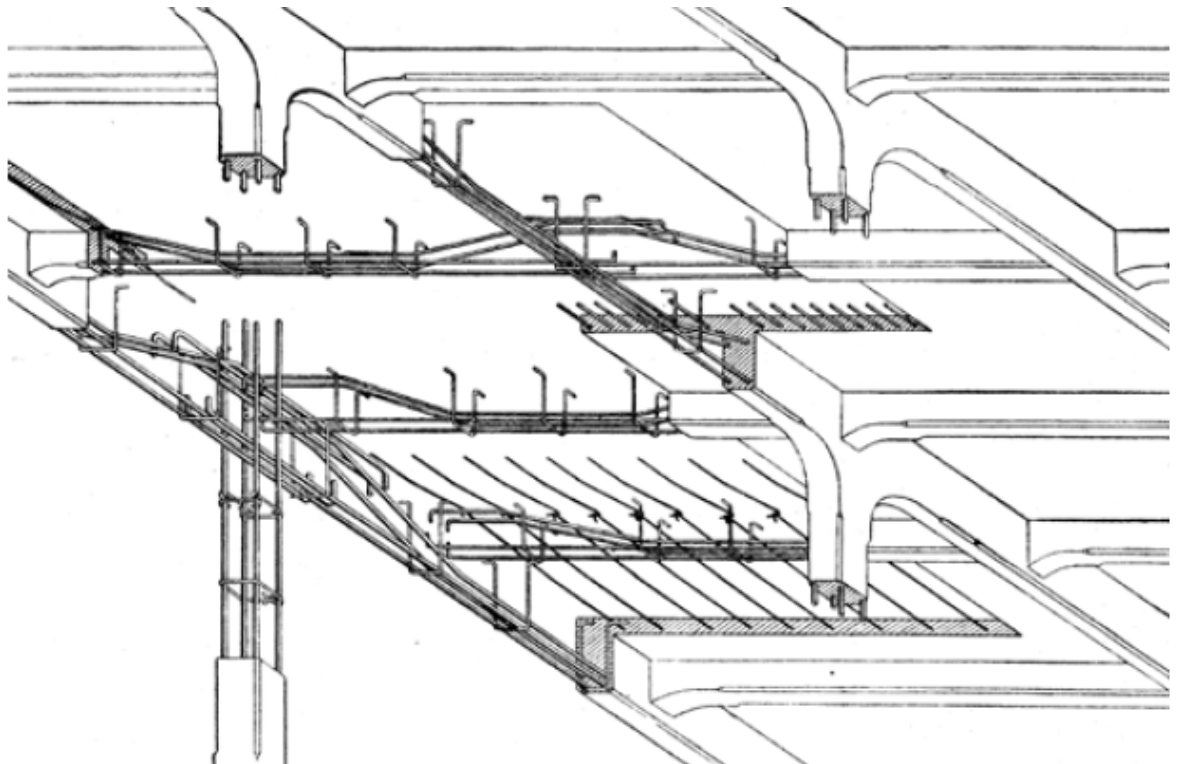
Kaupunkipalot saatiin hallintaan 1900-luvun vaihteessa, kun katemateriaalit olivat vähitellen vähemmän syttyviä. Lisäksi sammutusvettä ja aiempaa tehokkaampia paloruiskuja oli saatavilla. Myös palokunnan ammattitaito kehittyi. [42, s. 74.] 1900-luvun vaihteessa kattohuopa (jota oli aloitettu valmistamaan Suomessa vuonna 1877 Turun asfalttihuopatehtaassa) ja peltikate yleistyivät nopeasti kaupungeissa ja syrjäyttivät puukatteen. Tiilikatteita suosittiin 1920–1930-luvuilla kotimaisen tuotannon käynnistyttyä. Musta rautapelti oli lähinnä kaupunkitalojen ja kartanoiden katemateriaali, jonka galvanoitu rautapelti syrjäytti 1910-luvulta alkaen. Asbestisementtikatteita alettiin käyttää 1920-luvulta lähtien. [37, s. 101 & 104–107 & 111; 45; 46, s. 8.] Nykyajan olosuhteissa puukaupunkien paloturvallisuus on huomattavasti paremmalla tasolla. Kaupunkimaista perinnerakentamista kohtaan vallitsee ennakkoluuloja, joihin liittyy menneisyydestä juontuva aluepalopelko. [42, s. 76.]

3.5 Raudoitettun betonitekniikan läpimurto ja kattopuutarhat

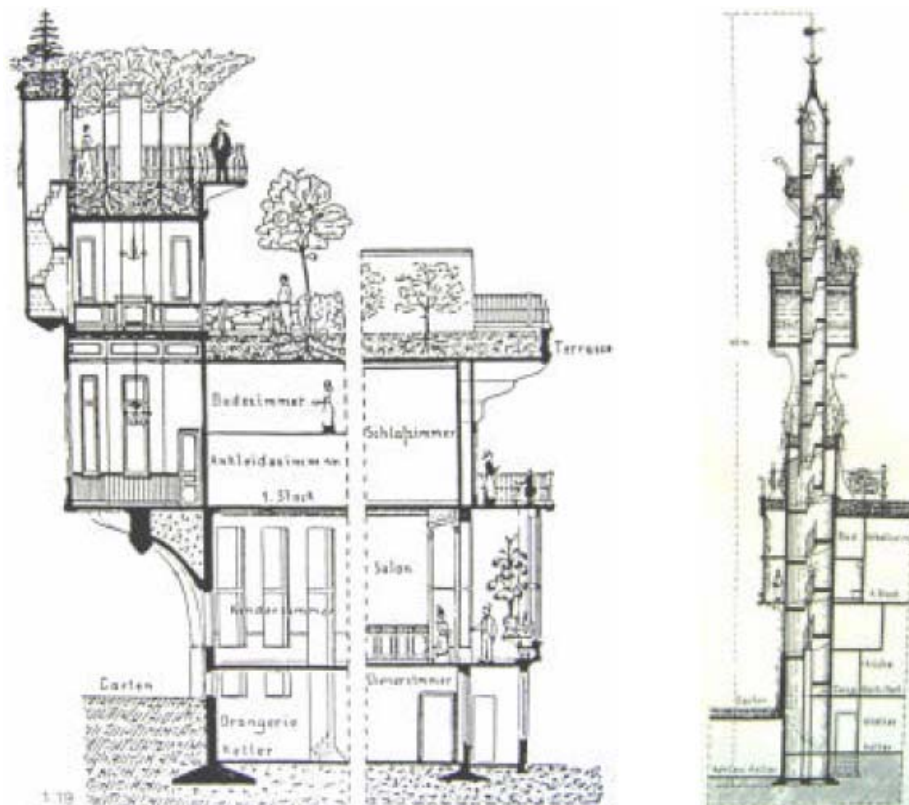
Pilari-palkkijärjestelmä

Ensimmäisenä teräsbetonin ja viherkattojen yhdistämisen mahdollisuudet rakentamisessa ymmärsivät ranskalaiset François Hennebique (1842–1921) ja Auguste Perret (1874–1954). Hennebique esitteli monoliittisena valetun pilari-palkkirakenteen Pariisiin

maailmannäyttelyssä vuonna 1900, ja hän oli patentoinut sen jo vuonna 1892. Hennebique rakensi vuosina 1901–1904 Pariisin lähiöön Bourg-la-Reineen talonsa, jossa oli useita tasoja loivia viherkattoja. Talon avulla hän esitteli yhdistettyjen teräsbetonirakenteiden valmistamisen, kuten mm. laattapalkkikatot (*Plattenbalkendecken*) jotka oli valettu monoliittisesti teräsbetonisiin pilareihin. Näin Hennebique onnistui Bourg-la-Reinen talossa toteuttamaan kattopuutarhoilla kuormitettuja ulokkeita jopa neljän metrin levyisinä. Ajan radikaalein arkkitehti oli ranskalainen Tony Garnier, joka vuosina 1901–1904 teki suunnitelmia ihannekaupunkiin (*Cité industrielle*), johon sopi ainoastaan teräsbetoni. Talojen arkkitehtuuri oli omaperäistä – koristelematonta, ulokekatoksia, lasiseiniä, pilareita ja loivia kattoja, jotka oli yleensä suunniteltu viherterasseiksi. Auguste Perret ja Tony Garnier vaikuttivat muiden joukossa moderniin arkkitehtuuriin luomalla kattopuutarhojen mullistuksen. 1900-luvun alussa Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa käynnistyi useiden asuin- ja toimistorakennusten rakentaminen, joihin kuuluivat teräsbetonikattopuutarhat: 1912 Henri Sauvage rakensi Pariisiin seitsenkerroksisen asuinrakennuksen pengerretyillä kattoterasseilla, 1914 Frank Lloyd Wright suunnitteli Chigago Midway Gardens -ravintolan usealla viherkatolla ja samaan aikaan Walter Gropius suunnitteli Kölniin toimistorakennuksen kattoterassiravintolalla. [33, s. 130–131; 47, s. 9; 20, s. 20; 2, s. 14.]



Kuva 21. Hennebique: pilari-palkkijärjestelmä 1892 [47, s. 8].



Kuva 22. Hennebique: Bourg-la-Reinen asuintalo 1901, leikkaus [33, s. 167].

Raudoitettun betonin kehitys

TAUSTAA



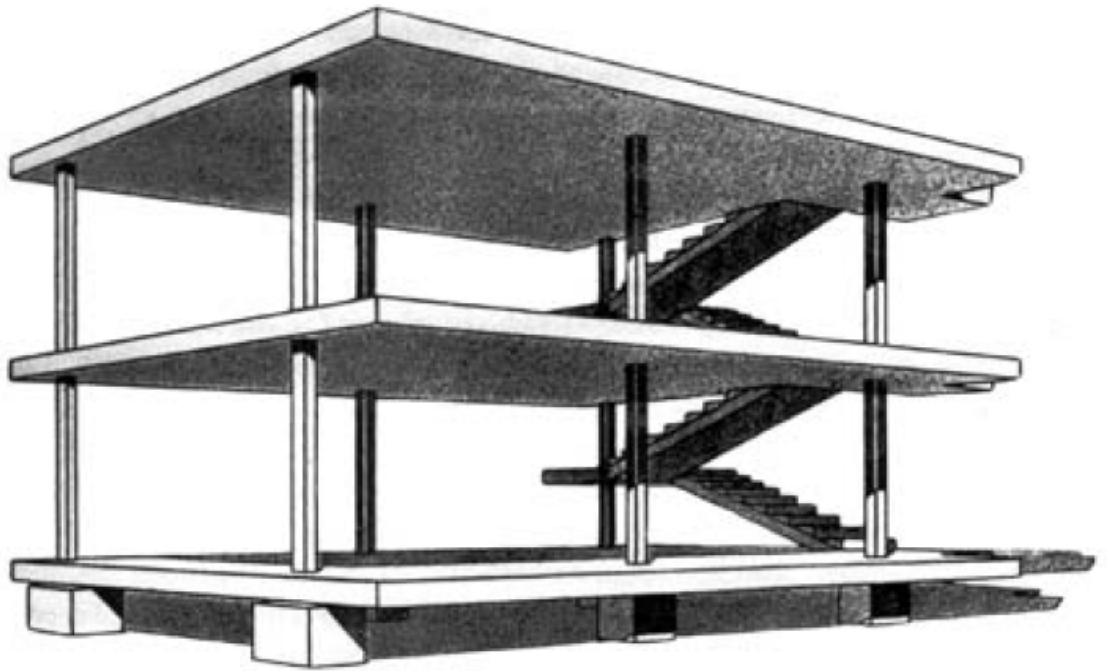
Jo antiikin Rooman insinöörit ymmärsivät periaatteet raudoitetusta betonista, ja toistaiseksi varhaisin löydös raudoitettua betonin käytöstä on noin vuodelta 15 jaa. Roomalainen sementti (*opus caementicum*) oli sekoitus muurilaastia ja kivimurskaa, jota levitettiin kerroksittain. Valumuurin vahvuus perustui laastiin, joka oli sekoitus kalkkikiveä ja vulkaanista hiekkaa. Keskiajalle tultaessa perinteiset rakennusmateriaalit oli laajalti unohdettu. Vuonna 1756 britti John Smeaton keksi laastin huomaamalla, että kalkin lisääminen saveen tekee siitä erittäin lujaa ja kovettaa sen myös vedessä. Nykyään käytetään eri ainesosia, mutta periaate vesisementtimassasta pätee yhä. Lähes sata vuotta Smeatonin keksinnön jälkeen tehtiin useita kokeita siitä, että betonielementtien vetolujuus kasvaa huomattavasti lisäämällä niihin rautaa. 1849 ranskalainen puutarhuri Joseph Monier (1823–1906) onnistui tekemään kestäviä, mutta ohutseinäisiä kukkaruukkuja käyttämällä sementin lisäksi rautalankaa. Monier muu oli käyttänyt raudoitettua betonia huomattavasti vaativammassa rakenteissa

Monierin kukkaruukkukeksinnön jälkeen, mutta Monier rekisteröi raudoitettua betonin patentin vuonna 1867 ja siten häntä pidetään raudoitettua betonin oppi-isänä. Monier laajensi kukkalaatikkorakenteen periaatteita suurempiin rakenteisiin ja raivasi tiensä Pariisiin maailmannäyttelyyn vuonna 1867. Raudoitettujen betonirakenteiden mitoitusperiaatteet luotiin 1870–1880-luvulla, kun amerikkalainen Thaddeus Hyatt tutki raudoitettujen betonipalkkien staattisia riippuvuussuhteita ja huomasi mm. teräksen ja betonin samankaltaiset lämpölaajenemisominaisuudet. Samaan aikaan Saksassa Mathias Koenen määritteli kokeellisesti, että raudoitettu betonilaatta kestää moninkertaisesti raudoitamattomiin betonilaattoihin nähden, ja hän julkaisi 1886 raudoitettua betonin ensimmäisen käsikirjan. Raudoitettua betonilla voitiin tehdä ohuempia ja kevyempiä, mutta kapasiteetiltaan suurempia rakenteita, ja niitä voitiin tuottaa sarjatuotantona. Raudoitettua betonin myötä voitiin rakentaa suurempia, loivia kattoja. [33, s. 127–129; 47, s. 6–8; 34, s. 7; 2, s. 14; 4, s. 8–9.]

Uusien rakennusmateriaalien, erityisesti teräsbetonin, ansiosta arkkitehtuuri uudistui 1900-luvun alussa voimakkaasti. Betonirungon kehitys johti arkkitehtuurissa pohjaratkaisun vapaaseen sommitteluun ja ei-kantavaan julkisivuun. Loivalle katolle rakennettu kattopuutarha oli tälle modernille arkkitehtuurille ominainen piirre. Ensimmäiset teräsbetonikatoille rakennetut kattopuutarhat olivat kokeellisia, ja arkkitehdit kokeilivat 1900-luvun ensimmäisinä vuosikymmeninä eri tapoja päällystää teräsbetonikattoa: asfalttihuovalla, valamalla ja lyijylevyllä. Useimmat suunnittelivat ”kukkapenkkejä” vain pienille alueille katoilla, koska olivat vielä varautuneita rakentamaan suuria kattoterasseja. Vain muutama – kuten Hennebique ja sveitsiläinen Le Corbusier – käyttivät suunnittelemissaan rakennuksissa kattopuutarhoja rohkeasti ja laajasti muun muassa siksi, että se oli siihen aikaan heidän käsityksensä mukaan ”paras suoja teräsbetonikatolle”. 1900-luvun alun kattopuutarhat muistuttivat huomattavasti antiikin Rooman huviloiden kattopuutarhoja, jotka muistuttivat rakennuttajansa vallasta ja vauraudesta. [33, s. 135; 36, s. 126–127; 47, s. 9; 4, s. 9; 34, s. 7–9; 20, s. 16–22.]

Pilari-laattajärjestelmä

Le Corbusier (1887–1965) panosti valtavasti kattopuutarhojen kehittämiseen. Hän oli ensimmäinen viherkattojen systemaattinen rakentaja ja teoreetikko. Hänen tärkeimpiä viherkattoja sisältäviä töitensä 1910- ja 1920-luvuilla olivat mm. ”Dom-ino House” 1914, asuintalohanke ”Citrohan” 1920 ja Maison La Roche Pariisissa 1923. Vuosina 1925–1926 syntyi mm. viherkattoja sisältävä suunnitelma taiteilijoiden studioista Raspailin autotallin katolla (*Garage Raspail*). Jo ”Dom-ino Housessa” vuodelta 1914 Le Corbusier toteutti ajatuksiaan uudesta teräsbetonirakentamisesta: hän suunnitteli sen pilari-laattajärjestelmänä. Vuonna 1923 Le Corbusier julkaisi kirjan *Vers une architecture* (Kohti arkkitehtuuria), eräänlaisen nuorten arkkitehtien kulttikirjan, joka pyrki uudistamaan rakentamista. 1927 hän muotoili ytimekkäästi uuden arkkitehtuurin viisi kohtaa, joista toinen oli omistettu ”kattopuutarhoille”. Le Corbusierin mukaan kattopuutarha on ”talon pidetyin paikka” ja se on tarkoitettu ”korvaamaan rakennuksen alleen peittävä luonnonkasvillisuus”. Kattopuutarha olisi tarkoitettu viljelyyn, leikkiin ja virkistykseen. [33, s. 132–133; 48; 36, s. 125–126; 47, s. 8–9; 34, s. 8; 4, s. 8–9; 22, s. 15–16; 20, s. 20–21; 2, s. 14.]



Kuva 23. Le Corbusier: pilari-laattajärjestelmä "Dom-ino" 1914 [47, s. 8].

Loivien kattojen hyödyt Le Corbusierin mukaan

TAUSTAA



Useamman arkkitehdin artikkelissa loivien kattojen hyödyistä vuonna 1926 Le Corbusierin mukaan ”*eteläisten maiden mies nousi katolleen jo antiikin aikoina. Teräsbetonin käyttö loivien kattojen rakentamisessa tuo yhtenäisen pinnan, joka mahdollistaa, että se on vedenpitävä. Loiva katto ei ole vain lämpimien maiden paras rakentamistapa, vaan myös maiden, joissa sataa paljon lunta. Tasakattoisissa taloissa täytyy olla sisäpuolinen vedenpoisto keskellä kattoaluetta, jolloin vedenpoisto ei jäädy: on parasta johtaa sulamisvesi järjestämättä vaarallista jääpatoa*

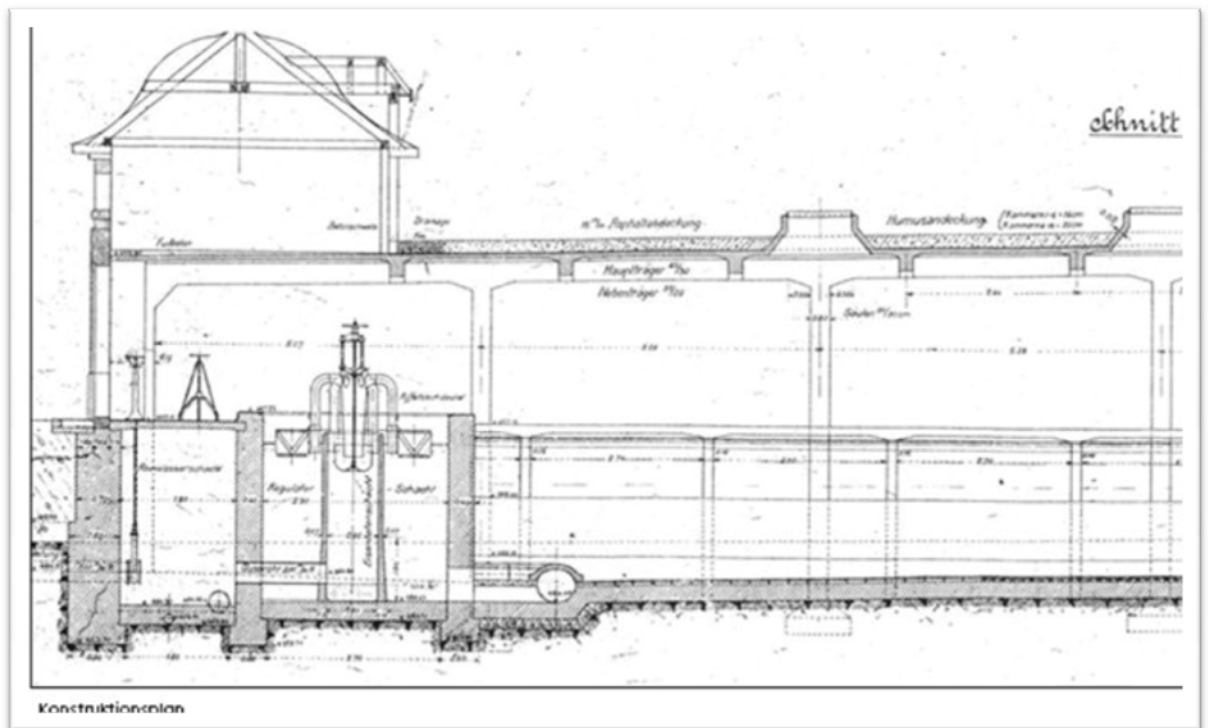
katon reunalle.” Loivien kattojen muista eduista Le Corbusier toteaa, että jyrkkä katto on kallis ja vaatii paljon huoltoa – kun taas loiva katto on edullisempi eikä sen huolto maksa mitään. [33, s. 133.]

Väitteet huoltotarpeesta ja kustannuksista eivät ole kaikilta osin relevantteja, sillä puut ja perennat vaativat paksun maakerroksen ja jatkuvaa huoltoa, mitkä sijaintiinsa yhdistettynä tarkoittivat kalliita rakennuskustannuksia.

Seewasserwerk Moos

1900-luvun alun ehkä hämmästyttävimpiä tähän päivään saakka säilyneitä viherkattoja on Sveitsin Wollishofenissa Zürichissä sijaitseva Seewasserwerk Moos. Se rakennettiin vuonna 1914 (sekä yksi lisäosa vuonna 1957) ja sen kattojen pinta-ala on noin 30.000 m². Rakennus oli aikanaan Zürichin ensimmäinen teräsbetonirakennus. Vedenkäsittelylaitoksella vesi suodatettiin hiekkakerroksen läpi ja varastoitiiin rakennukseen. Suunnittelijat tiesivät, että rakennuksen lämpötila tulisi pitää mahdollisimman viileänä kolibakteerin välttämiseksi, ja lämmöneristysyistä

kattorakenteesta tehtiin seuraavanlainen: 8 cm laattapalkkikatto, 2 cm asfalttivedeneriste, 5 cm sorasalaajituskerros ja 15–20 cm kerros pintamaata rakennuspaikalta. Kattoa ei alun perin suunniteltu viherkatoksi, vaan kasvillisuuden on annettu hakeutua katolle itsekseen. Nykyisin katolla kasvaa 175 eri kasvilajia mukaan lukien 9 orkideaa ja se toimii myös orkideakonservatoriona harvinaisten orkidealajiensa ansiosta. Niitty on harvinaisen hyvin löytänyt ja säilyttänyt luonnontilansa. Se on myös saanut olla myös satavuotisen ikänsä rauhassa; ainoa huoltotoimenpide, jota katolla tehdään, on niitto kerran-pari vuodessa. Vaikka katon kaltevuus on vain 1 % (1:100 / 0,57°), kuvataan satavuotiasta kattoa edelleen vuotovapaaksi. Tutkijat ovat todenneet, että katon kasvualustan kaksi kerrosta (salaajakerros ja pintamaa) ovat ajan saatossa yhdistyneet ilman havaittavia negatiivisia vaikutuksia. [3, s. 90; 49; 50.]



Kuva 24. Seewasserwerk Moosin rakennesuunnitelma, leikkaus [49].

1920–1960-lukujen kattopuutarharakenteita

1920-luvulla kattopuutarhojen rakenteista käytiin keskustelua. Teknisesti paras kattopuutarharatkaisu arkkitehti Erich Mendelsohnin mukaan oli kattopuutarhakansi Herpich & Söhnen liikerakennuksessa Berliinissä. Siinä oli teräsbetonikannelle asetettu turvelevy-laattakerros (*Torfoleumplattenschicht*). Professori J. Hoffmanin mielestä taas

paras oleskeluun käytettävä tasakatto oli ”puristettu sorakatto”. Hän väitti, että tällainen katto kestäisi 15–20 vuotta ilman korjauksia – kattoja oli yleisesti vaikea saada vedenpitäviksi, joten jatkuviin korjauksiin oli totuttu ja 15–20 vuotta oli kunnioitettava katon korjausväli siihen nähden. Professori J. Frankin mukaan parhaan ratkaisun kattopuutarhakanteen tarjosi lyijylevy. Hän mainitsi, että sitä ”on käytetty jo aikojen alusta asti”. Nykyaikaisen kattohuovan ensimmäinen versio, rullatavarana toimitettava asfalttihuopa oli syntynyt 1800-luvun jälkipuoliskolla ja helpon käytettävyytensä ansiosta sen käyttö yleistyi nopeasti. [33, s. 133–134; 34, s. 8; 41.]

Kattopuutarharatkaisuja 1920-luvulla

TAUSTAA



Turvelevylaatkerros

Rakenteessa oli teräsbetonikannelle asetettu sementtitaastiin neljä senttimetriä paksu turvelevylaatkerros, ja tiivisteenä käytettiin sementtitaasoitekerrokseen päälle asennettua kahta kerrosta asfalttihuopaa. Seitsemäntsenttinen kuonabetonikerros suojasi tiivistystä päältä päin. [33, s. 133–134; 34, s. 8.]

”Puristettu sorakatto”

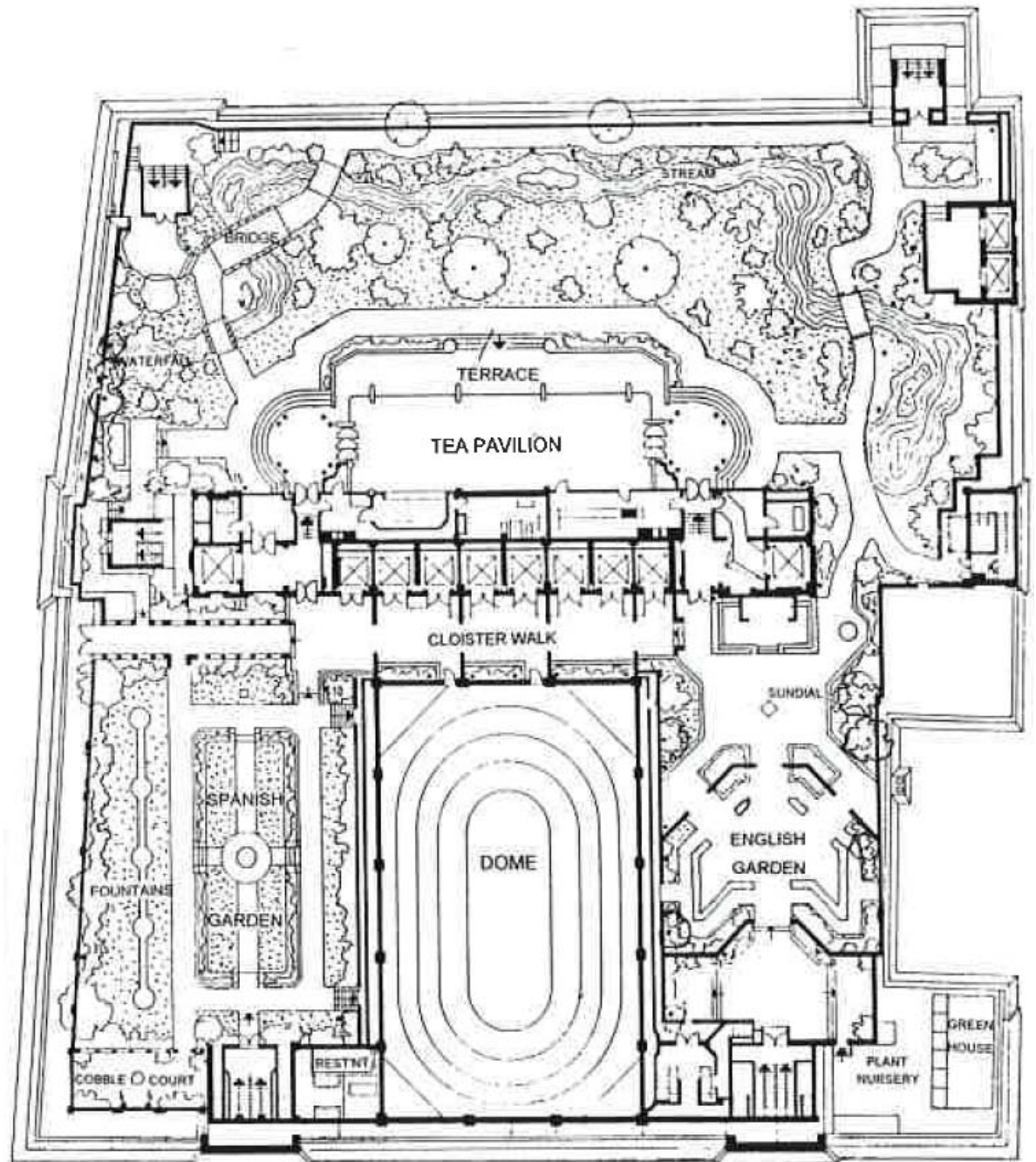
Puristetun sorakaton massa oli verrattavissa puusementtikaton massaan. Se asennettiin teräsbetonialustalle, jonka päälle tuli kahdesta kolmeen kerrosta asfalttihuopaa. Lämmöneristeeksi Hoffman suositteli korkkikivilevyjä katon pintarakenteen ja betonirakenteen väliin. [33, s. 133–134; 34, s. 8.]

Asfalttihuovalla peitetty lyijylevyarkki

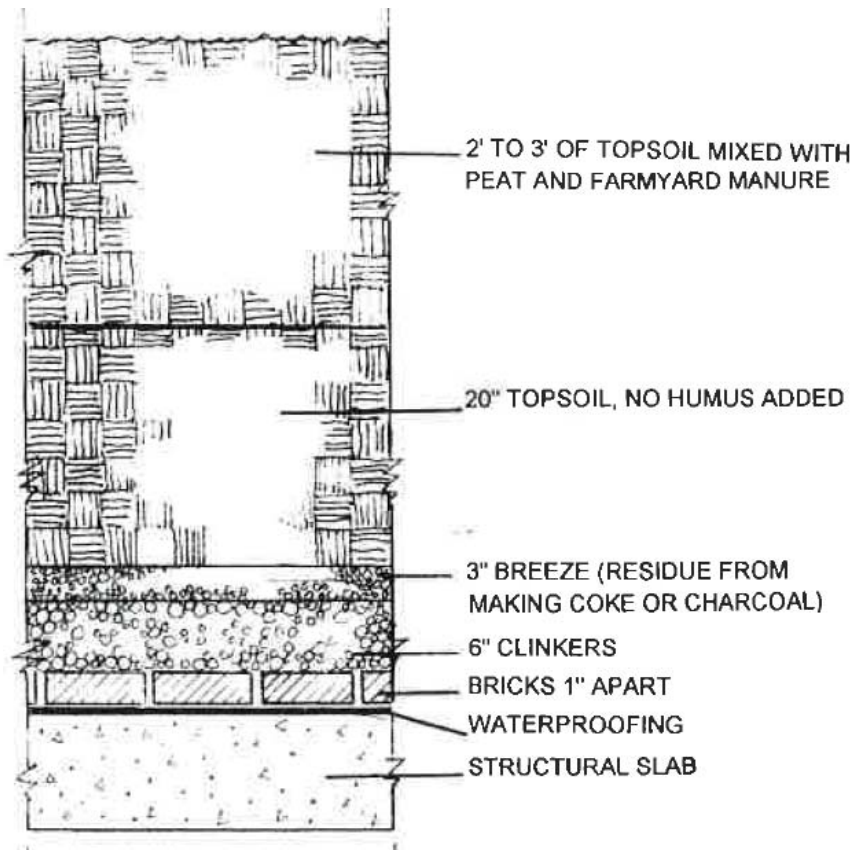
Teräsbetonialustalle tehtiin betonivalu, johon asennettiin lyijylevyarkit, ja jotka sitten peitettiin asfaltilla ja hiekalla. Teräsbetonirakenteiden käsikirjassa vuodelta 1928 mainitaan lyijyeristyksen avulla rakennetuista kattopuutarhoista mm., että ”lyijyeristystä on käytetty rakennuksien kosteudeneristykseen ja kattamiseen erityisesti katoilla, joille tulee kattopuutarha. Ohut rullattu lyijyarkki peitetään molemmin puolin asfalttihuovalla. Kattamisessa tällä materiaalilla saavutetaan ehdoton tiiviys.” Samassa yhteydessä kuitenkin huomautettiin, että materiaali on hyvin kallista. [33, s. 133–134; 34, s. 8.]

Kun 1920-luvun lopulla teräsbetonin ja asfalttihuopavedeneristeiden laatu vielä kehittyivät, kattopuutarhoja alettiin rakentaa enemmän ja entistä rohkeammin. Asfalttihuovalla pinnoitettu betonikansi salaojitettiin soralla ja kivimurskalla, suojattiin paksulla maakerroksella ja siihen istutettiin nurmikkoa, kukkia ja jopa isojakin puita. Humuskerros saattoi olla usein jopa kaksi metriä syvä, kuten 1935 rakennetussa kattopuutarhassa Casino terassissa Bernin vanhassa kaupungissa, jossa kastelun hoitivat maanalaiset vesipostit ja sadevesiviemärointi. Vuonna 1929 rakennettiin 4000 m² kattopuutarha, aikansa Euroopan suurin, Karstadtin tavarataloon Berliiniin. 1938 Lontoolaiseen tavarataloon rakennettiin 30 metrin korkeuteen katutasosta 6000 m² suuri Derry & Tomsin kattopuutarha, jossa metrin syvyiseen maakerrokseen istutettiin noin 500 lajia puita ja pensaita sekä lukuisia kukkia. Kattopuutarha on edelleen suosittu paikka ja se tunnetaan myös nimillä ”The Roof Gardens” ja ”Kensington Roof Gardens”. Kattopuutarha oli Euroopan suurin aina vuoteen 2012 saakka. Viimeksi mainitun

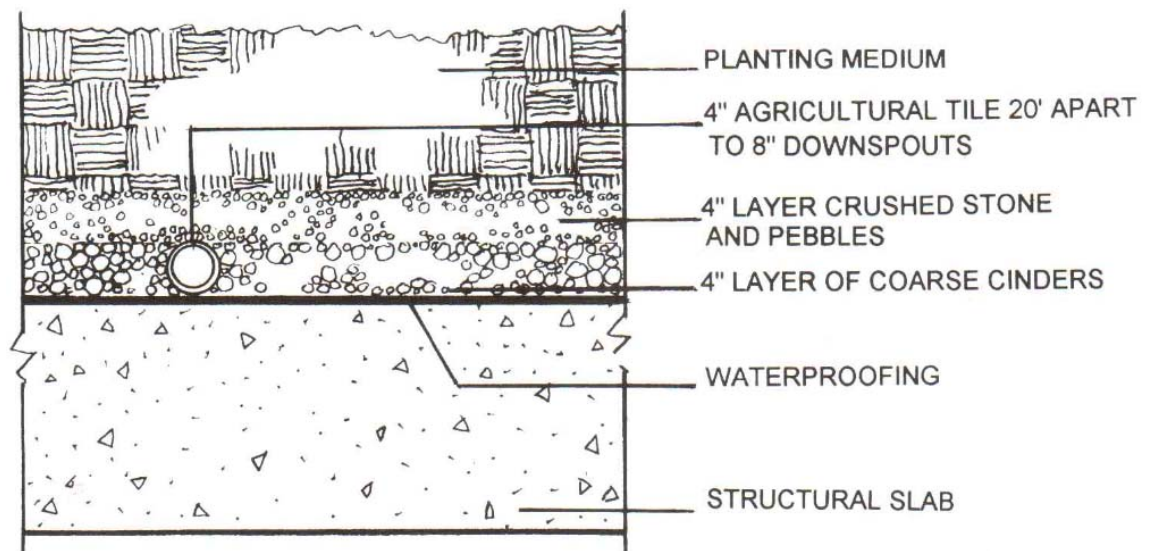
kattopuutarhan suunnittelija Ralph Hancock (1893–1950) suunnitteli myös toisen erittäin kuuluisan, edelleen olemassa olevan vuosina 1933–1936 rakennetun Rockefeller Centerin viisi kattopuutarhaa New Yorkiin 5th Avenuelle. [33, s. 133–134; 36, s. 126; 34, s. 9–10.]



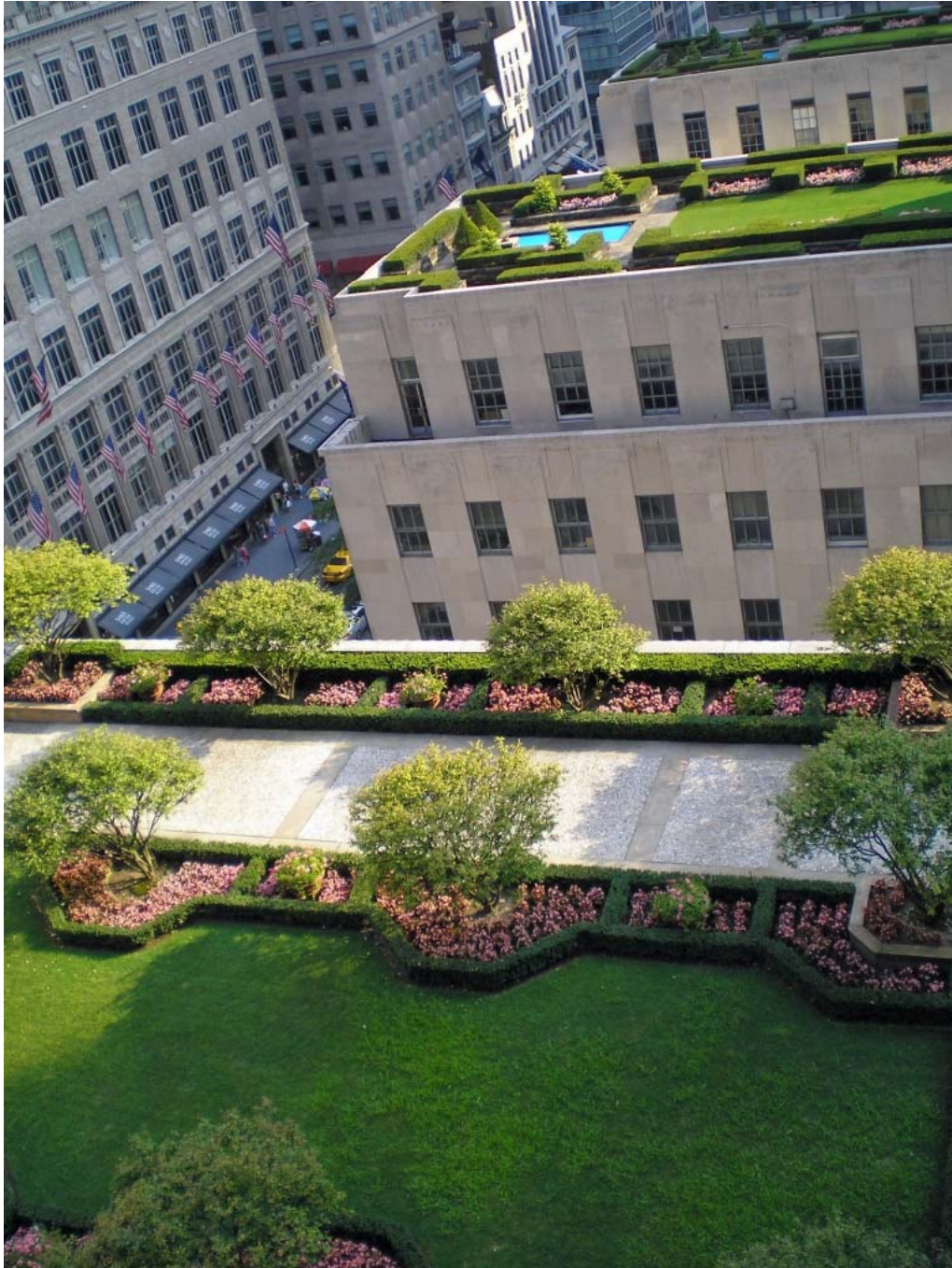
Kuva 25. Lontoon Derry & Tomsin puutarhan alkuperäinen suunnitelma [36, s. 130].



Kuva 26. Derry & Tomsin puutarhan rakennetyyppi. Rakennekerrokset alhaalta ylöspäin: kantava laatta, vedeneristys, tuuman tiilet ladottuna erilleen, 6 tuumaa (n. 15 cm) klinkkeriä, 3 tuumaa (n. 7,5 cm) kuonaa (jäännös koksien tai hiilien tekemisestä), 20 tuumaa (n. 50 cm) pintamaata johon ei ole lisätty humusta, 2–3 jalkaa (n. 60–90 cm) pintamaata johon on sekoitettu turvetta ja lantaa. Rakenteen kokonaisvahvuus vedeneristyksestä kasvualustaan on 1,4...1,7 metriä ja alueittain vain noin 76 senttimetriä. [36, s. 130–131.]



Kuva 27. Rockefeller Centerin kattopuutarhan rakennetyyppi 1930-luvulta. Rakennekerrokset alhaalta ylöspäin: kantava laatta, vedeneristys, 4 tuumaa (n. 10 cm) karkeaa tuhkaa, 4 tuumaa (n. 10 cm) sepeliä ja soraa, 4 tuuman (n. 10 cm) salaojaputkea 20 jalan (n. 6 m) välein 8 tuuman (n. 20 cm) syöksyissä, kasvualusta. [36, s. 164.]

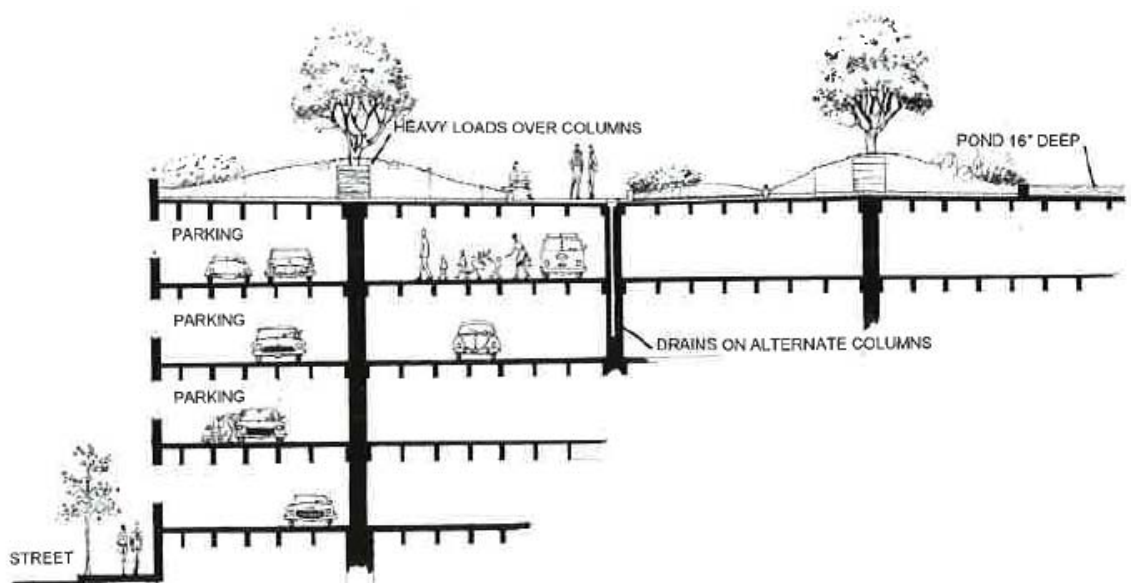


Kuva 28. Rockefeller Centerin kattopuutarha. New Yorkin kaupunki piti "Greening the Skyline" -hankkeen julkistustilaisuuden vuonna 2009 Rockefeller Centerin katolla [51].

1930-luvulla kattopuutarhat olivat jo yleistyneet. Viherkattotekniikan näkökulmasta uusia innovaatioita ei syntynyt. 1930-luvun lama ja sitä seurannut toinen maailmansota käytännössä lamauttivat julkisen rakentamisen 1950-luvulle saakka ainakin merkittävimpien hankkeiden osalta. Vasta 1950–1960-luvuilla rakennettiin uusia merkittäviä kattopuutarhoja, kuten Kaiser Center Oaklandiin Kaliforniaan. Kattopuutarhojen rakentamiskäytännöt säilyivät samantyyppisinä aina 1970-luvulle saakka. [33, s. 135; 36, s. 126–127; 47, s. 9; 4, s. 9; 34, s. 7–9; 20, s. 16–22.]



Kuva 29. Theodor Osmundsonin (1921–2009) vuonna 1958 suunnittelema Kaiser Centerin kattopuutarha [52; 53].

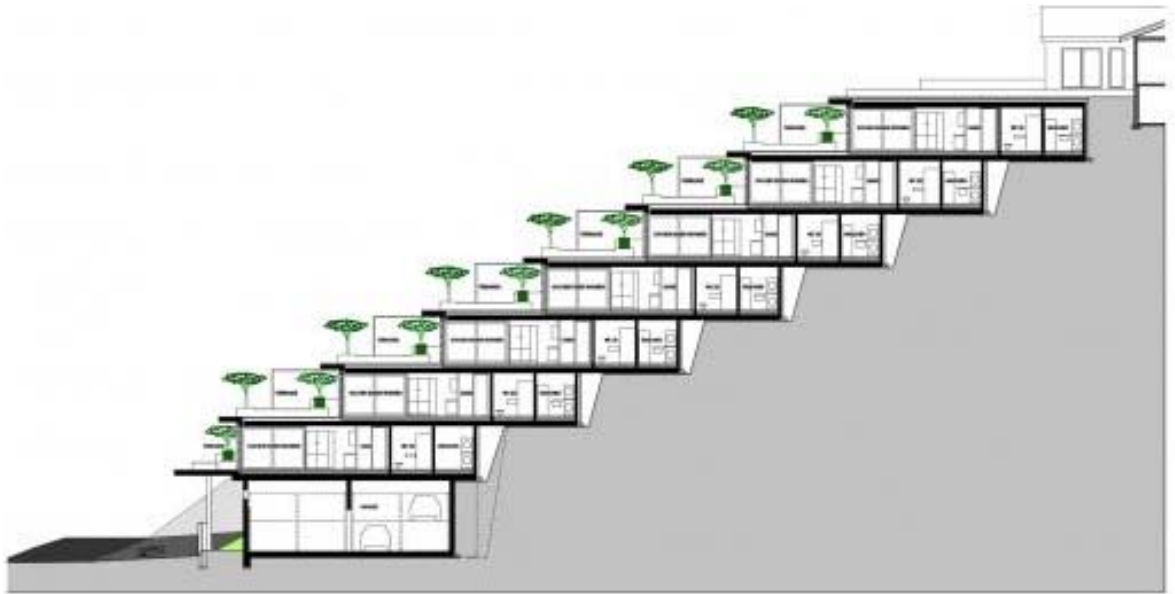


Kuva 30. Kaiser Centerin kattopuutarha, leikkaus [36, s. 95].

3.6 Nykyaikainen viherkatto kehittyy

”Nykyaikaisen viherkaton” periaatteet on kehitetty saksankielisissä maissa, joissa ympäristöasioihin herääminen ja tieteellinen tutkimus antoivat teknisiä valmiuksia sekä käytäntöjä viherkattokehitykseen. Myös sosiaalinen ja poliittinen ilmasto edisti kehitystä. Saksalainen tutkimus viherkatoista aloitettiin jo 1950-luvulla osana laajempaa suuntausta,

joka tunnusti kaupunkien jätemaiden ekologisen merkityksen kaupunkilajistolle. 1960- ja 1970-luvuilla Saksassa ja Sveitsissä toteutettiin useita kokeellisia projekteja, joissa yhdistettiin kasvillisuus rakennuksiin, esimerkiksi terassitaloja (*Terrassenhäuser*) sekä maa-aineksella ja kasvillisuudella peitettyjä maanalaisia parkkihalleja. 1980-luvulle asti riittävän vesitiiviiden ja juurilta suojattujen rakenteiden toteuttamisessa oli suuria haasteita. [2, s. 16–19; 22, s. 16–17; 54, s. 3; 20, s. 22.]



Kuva 31. *Terrassenhäuser*, esimerkki, leikkaus.

1970-luvun alussa Saksassa julkaistiin viherkatoista useita artikkeleja ja kirjoja, joilla haluttiin rohkaista arkkitehteja ja suunnittelijoita miettimään tavalliselle kansalle sopivampia viherkattoratkaisuja. Vuonna 1976 Walter Zink julkaisi kirjan ”Modernit tekniikat loiville katoille – loivasta katosta kattopuutarhaksi” (*Moderne Flachdachtechnik – Vom Flachdach Zum Dachgarten*). Kirjassa joukko asiantuntijoita esitteli yhteenvedon loivista katoista ja kattojen maisemointitekniikoista 1970-luvun lopun Saksassa. Vuonna 1977 FLL julkaisi ensimmäiset viherkattojen rakentamisohteet koko alan kattavina standardeina. Pian tämän jälkeen Saksan Kattopuutarhureiden Yhdistys (DDV, *Deutscher Dachgärtner Verband*) julkaisi ”Kattopuutarhureiden ohjeet”. Molemmat ovat nykyään voimassa olevien FLL:n Viherkattostandardien edeltäjiä. [2, s. 17–19; 34, s. 10–11 & 27–28.]

Samoihin aikoihin useampi saksalainen yritys alkoi tarjota viherkattopalveluita, aloitti tuotekehityksen ja perusti omia tutkimusohjelmiaan. Merkittävimpiä näistä olivat Optigrün

sekä Walter Zinkin perustama ZinCo. Yritysten tuotekehityksen seurauksena on luotu "moderni kaupallinen viherkatto", jonka kasvillisuus on yleensä sedumia. Vuonna 1982 FLL julkaisi ensimmäisen kerran "Peruseriaatteet viherkatoille" -ohjeen. Näissä ohjeissa ekstensiivinen ja intensiivinen rakenne oli eritelty toisistaan. Vuonna 1989 FLL veti tutkimusprojektia "Edulliset keinot viherkatoille – suunnittelun, toteutuksen ja huollon peruseriaatteet ekstensiivisille ja puoli-intensiivisille katoille" Saksan rakennus- ja kaupunkisuunnitteluministeriön alaisuudessa. Tästä hankkeesta syntyivät nykyiset FLL:n viherkatto-ohjeet, ja ne julkaistiin vuonna 1990. Niissä käsitellään perusteellisesti sekä ekstensiivisiä että intensiivisiä viherkattoja. Ohjeet on päivitetty sittemmin vuosina 1995, 2002 ja 2008. Ohjeista on johdettu asioita useampiin saksalaisiin DIN-normeihin ja ne on käännetty joko sellaisenaan tai hieman muunnellen useampiin Saksan naapurimaihin. [2, s. 19–21; 34, s. 10–11 & 27–28.]

4 MAHDOLLISIA HYÖTYNÄKÖKULMIA VIHERRAKENTAMISEN SUUNNITTELUUN

Viherkattokeskustelun teesejä, kuten mm. ekologisuus ja biodiversiteetin säilyttäminen on toistettu niin ahkerasti [mm. 5; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22], että niitä omaksutaan kyseenalaistamatta niiden todenperäisyyttä asiayhteydessä. Viherkatto-käsitteellä ei tarkoiteta oikeastaan mitään konkreettista, mitä voisi rakentaa toimivasti ja varauksetta siten, että nämä *odotusarvot* voitaisiin täyttää. Usein viherkattoihin liittyy monia jäljempänä mainituista hyötynäkökulmista, mutta missään tapauksessa jokaiseen projektiin ei liity kaikkia hyötynäkökulmia [5, s. 19]. Projektin tavoitteista ja toteutuksesta riippuen viherkattojen tehtävät ja vaikutukset voidaan luokitella kolmeen pääryhmään: kaupunki- ja yhdyskuntasuunnittelun asettamien tavoitteiden toteuttaminen, ekologisuus sekä suojavaikutukset (taloudellinen ja ympäristönsuojelu) [5, s. 19]. Viherkatot voivat toimia apuna hulevesien hallinnassa, tuottaa parempaa mikroilmastoa, kasvattaa katemateriaalin käyttöikä, edistää biodiversiteettiä, vähentää viilennys- ja energiantarvetta, olla hyödyllisiä vapaa-ajan tarkoituksiin, vähentää kaupunkien ylikuumentumista ja olla kauniita [18, s. 3]. On siis tärkeää, että projektille määritellään tavoitteet tarkasti, ja valitaan eri hyötynäkökulmille menettelyt ja painotukset heti alkuvaiheessa: tämä asettaa reunaehdot valittavalle kasvillisuudelle, kasvualustalle, rakenteen paksuudelle ja muodolle [5, s. 19]. Viherkatto voi olla hyödyllinen tai täysin hyödytön näkökulmasta riippuen.

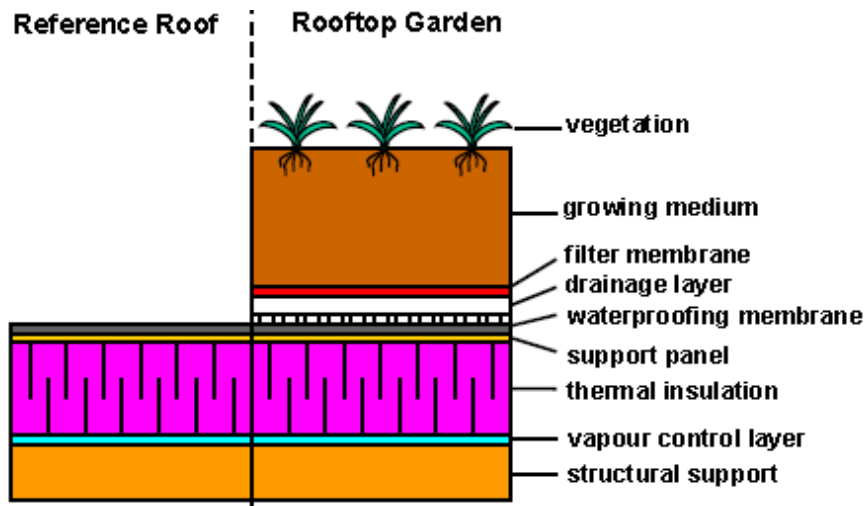
Kaupunki- ja yhdyskuntasuunnittelussa viherkattojen avulla voidaan tuottaa lisää viheraluetta ilman ylimääräisiä tonttikustannuksia. Näillä viheralueilla voidaan myös korvata rakentamisen alle jäävää luonnonkasvillisuutta. Alueiden viihtyisyyttä voidaan parantaa kasvillisuudella. Kattovihreän avulla voidaan luoda vehreyttä ihmisten arkeen ja välittömään lähiympäristöön esimerkiksi työpaikoille. Kasvillisuus ja viheralueet ovat (hoidettuina ja oikein perustettuina) ylhäältä katsottuna miellyttävämmän näköisiä kuin esimerkiksi singelipeitteiset katot. [5, s. 19.] Onnistuessaan viherkatot voivat kasvattaa kiinteistön arvoa. Kiinteistön omistaja ja käyttäjä voivat saada imagohyötyjä näkyvästä, kestävästä kehityksestä ja vastuullisuudesta korostavasta toiminnastaan. [5, s. 20.]

4.1 Lämmöneristyskyky ja rakennuksen energian kulutus

Perinteisiä turvekattoja rakennettiin alun perin Skandinavian kylmiin ja märkiin olosuhteisiin hyvän lämmöneristävyytensä takia [20, s. 79] – kun parempia materiaaleja ei ollut vielä saatavissa. Kaikissa ilmasto-olosuhteissa on jaksoja, jolloin auringon säteilyn

aiheuttama yllämpö on torjuttava rakennuksista passiivisesti esimerkiksi erilaisilla säleiköillä, katoksilla ja muilla suojarakenteilla. Aktiiviseen jäähdytykseen voidaan käyttää ilmavirtauksia ja viileyden varastointia massiivisiin rakenteisiin. [55, s. 21–22.] Maan vuotuinen lämpötilavaihtelu ulottuu Suomessa 5–10 metriin ja kesällä päivittäiset lämpötilavaihtelut ulottuvat suurimmillaan 0,5 metriin [56]. Viherkatoilla lämmöneristävyys perustuu ensisijaisesti kasvualustan lämmöneristävyyteen ja sen paksuuteen – ohuella maksaruohokatolla on mittauksissa todettu yli 100 % suurempi lämpötilan vaihteluväli kuin turvesäkeistä rakennetulla ruohoturvekatolla [57, s. 38] eli ohuen maksaruohokaton lämmöneristyskyky on selvästi heikompi. Mitä kuohkeampaa ja vetisempää maaperä on, sitä enemmän se varastoi lämpöä ja sitä hitaammin sen lämpötila muuttuu - esimerkiksi kallio jäähtyy ja kuumenee nopeammin kuin turve [56]. Lämmöneristävydessä 20 cm kerros kasvualustaa yhdessä 20–40 cm korkean heinäkavuston kanssa vastaa 15 cm mineraalivillaeristystä (RSI 0.14; R 20) [54, s. 10]. Tällä hetkellä viherrakennekerroksille ei kuitenkaan ole annettu U-arvoa [11, s. 2] eikä sille todennäköisesti tulekaan, sillä säille alttiin maakerroksen lämpötekniiset ominaisuudet vaihtelevat hyvinkin voimakkaasti. Lämmön siirtyminen maakerroksissa tapahtuu pääasiassa johtumalla, ja lämmönjohtumisnopeus riippuu vallitsevasta lämpötilagradientista (kuinka nopeasti lämpötila laskee alaspäin mentäessä senttimetriä kohden). Maan lämmönjohtavuuteen vaikuttavat mm. tiheys, vesipitoisuus, lämpötila, mikrorakenne, mikrogeometria sekä mineraalikoostumus. Hienorakeisen ja karkearakeisen maan lämmönjohtavuudelle on määritetty kokeelliset kaavat sulassa ja jäätyneessä tilassa kuivatilavuuspainon ja vesipitoisuuden perusteella. [58, s. 1 & 5; 59, s. 11.] Maan lämmönjohtavuus on voimakkaasti riippuvainen maan huokosissa olevasta ilmamäärästä, koska ilma on maa-aineksen muihin ainesosiin nähden lämmöneriste. Maan huokosissa olevan vesimäärän kasvaessa maan ominaislämpökapasiteetti voi kasvaa kolmin- tai nelinkertaiseksi ja samalla maan lämmönjohtavuus voi kasvaa yli satakertaiseksi. [60, s. 21.]

Brad Bassin ja Bas Baskaranin Ottawassa vuonna 2003 tekemän tutkimuksen *Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas* mukaan viherkattorakenne vähentää energiantarvetta lämpiminä kuukausina, mutta saattaa jopa lisätä energiantarvetta kylminä kuukausina [54, s. 68–69].

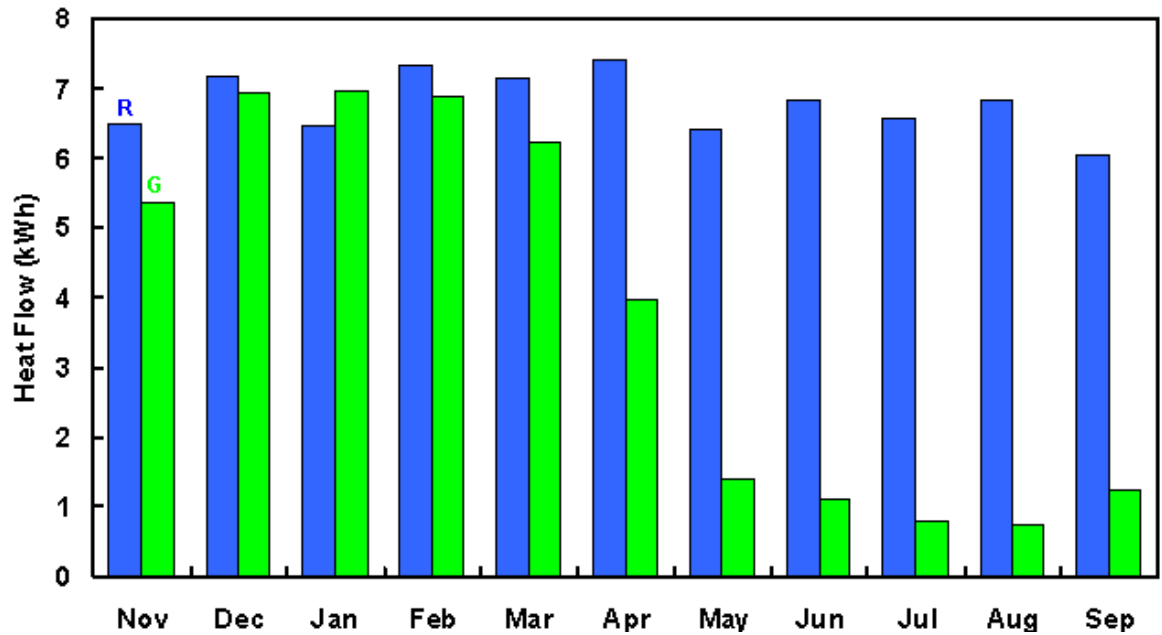


Kuva 32. Ottawassa tehdyn tutkimuksen viherkaton ja referenssikaton rakenteet. Referenssikaton rakenne oli seuraava: teräs/puurakenne 22 mm vanerilla, bitumipohjainen ilman- ja höyrynsulku, 75 mm mineraalivilla, 12,5 mm kuitulevy ja kaksinkertainen bitumivedeneriste. Viherkattorakenteessa alimmat kerrokset olivat kuten referenssikaton, ja näiden lisäksi oli 36 mm paisutettu polystyreenilaatta, polyetyleni-/polyesterimatto, 150 mm kasvualusta ja kasvillisuutena villi kukkaniitty. [54, s. 45–46.]

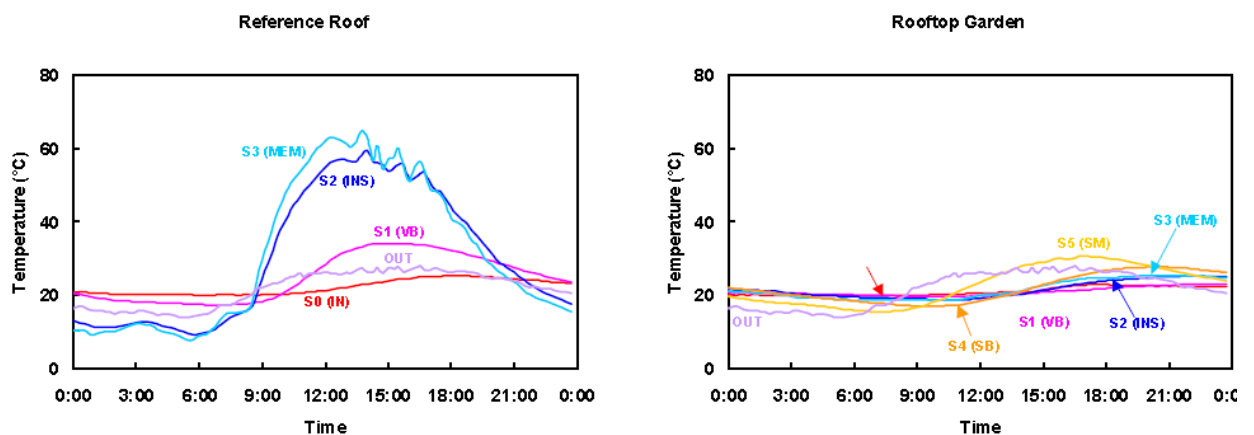
Referenssikaton U-arvo on siis noin $0,62 \text{ W/m}^2\text{K}$, mikä on heikompi kuin mitä Suomessa on vaadittu vuodesta 1969 ($0,47 \text{ W/m}^2\text{K}$) [61, s. 5 & 9–14; 62]. Ottawan vuoden keskilämpötila ($9,4 \text{ }^\circ\text{C}$) [63] on kohtalaisen lähellä Helsingin vuoden keskilämpötilaa ($5,9 \text{ }^\circ\text{C}$) [64]. Kun tutkimuspaikka on keskimäärin hieman lämpimämmässä ilmasto-olosuhteissa, ja Suomessa nykyiset U-arvovaatimukset täyttääkseen on käytettävä noin 6–7 kertaa enemmän lämmöneristettä, voidaan olettaa että saavutettava energiansäästöhyöty jää hyvin vähäiseksi erityisesti uudisrakentamisessa.

Taulukko 2. Rakenteiden U-arvot (W/K m^2) Suomessa eri aikakausina [62, mukailen].

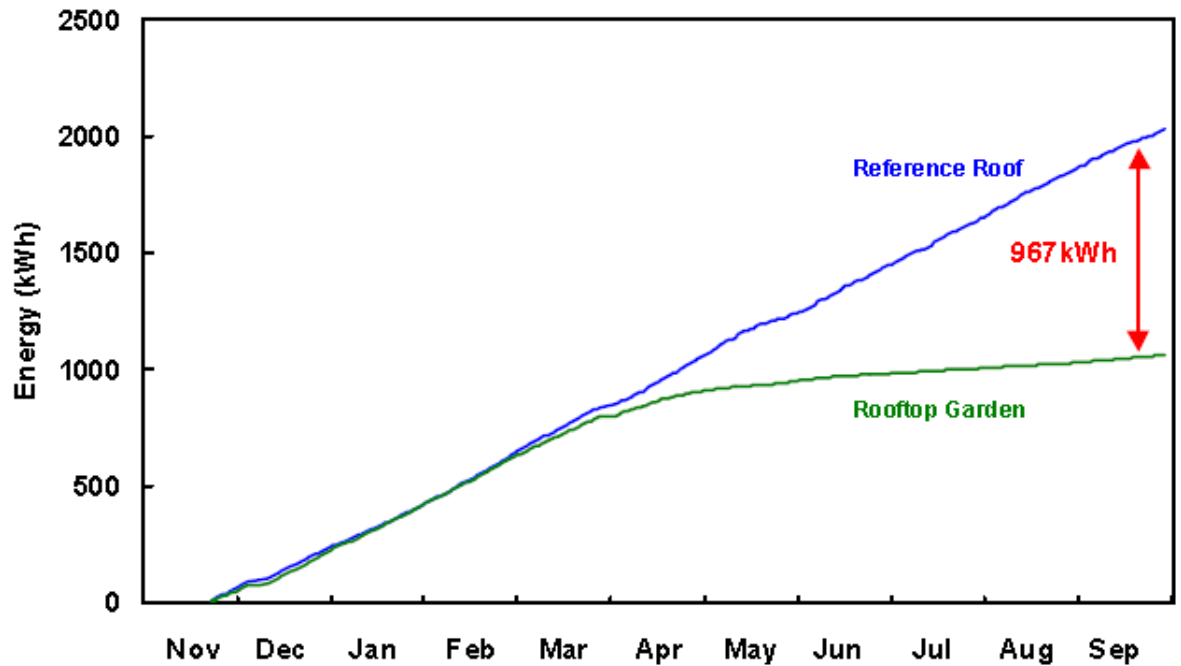
	1969	1976	1978	1985	2003	2007	2010
Ulkoseinä	0,81	0,40	0,29	0,28	0,25	0,24	0,17
Yläpohja	0,47	0,35	0,23	0,22	0,16	0,15	0,09
Alapohja	0,47	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,10
Ikkunat	3,14	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0
Ovet	3,14	0,7	0,7	0,7	1,4	1,4	1,0
n50-luku		6	6	6	4	4	2
LTO:n vuosihyötysuhde					30 %	30 %	45 %
Vaipan lämpöhäviön jousto					10 %	20 %	30 %



Kuva 33. Keskimääräinen päivittäinen energian tarve johtuen kattorakenteen läpi johtuvasta lämpövirtauksessa Ottawassa tehdyn tutkimuksen mukaan 22.11.2000–31.9.2001. Energian tarve referenssikaton pysyi noin 6.0–7.5 kWh:ssa tarkastelujakson ajan. Kylminä kuukausina (joulukuu 2000 – maaliskuu 2001) energiantarve viherkattorakenteen läpi johtuvasta lämpövirtauksesta oli melko samalla tasolla kuin referenssikaton. Kuitenkin rakennus kulutti keskimäärin 10–15 % vähemmän energiaa ilmastointiin viherkattorakenteessa lukuun ottamatta tammikuuta 2001 jolloin lämpöhukka viherkattorakenteella nousi 10 % referenssikattoa korkeammaksi. Tässä heikon U-arvon rakenteessa viherkattorakenne oli selvästi ylivertainen lämpimämpinä kuukausina (huhtikuu – syyskuu 2001). Kuumimpien kuukausien aikana keskimääräinen päivittäinen ilmastointiin tarvittu energiamäärä viherkattorakenteella oli alle 1.5 kWh, mikä oli 75–90 % vähemmän kuin referenssikaton. [54, s. 68–69.]



Kuva 34. Ottawassa tehdyn tutkimuksen mukaan kuumana kesäpäivänä ilman lämpötila nousi aamun 10 °C:sta iltapäivän 35 °C:een. Referenssikaton vedeneristyksen lämpötila nousi 70 °C:een kuumimpana aikana viherkaton vedeneristeen pysytellessä noin 25 °C:ssa. Viherrakenteen kasvillisuuskerros oli tutkimuksessa 150 mm. [54, s. 59.]

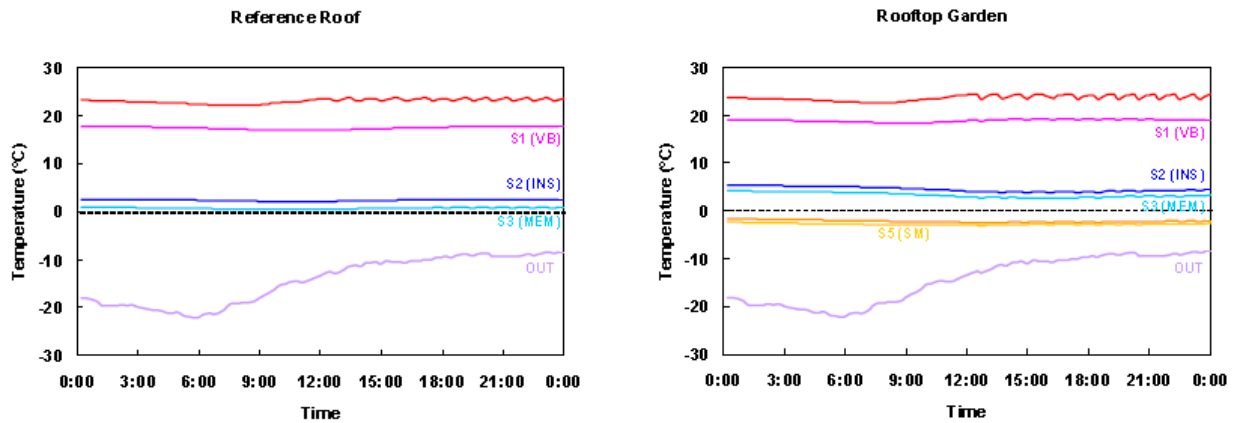


Kuva 35. Kumulatiivinen päivittäinen energian tarve johtuen kattorakenteen läpi johtuvasta lämpövirtauksessa Ottawassa 22.11.2000–31.9.2001 [54, s.69].

Nichaou ym. ovat tarkastelleet energiansäästöpotentiaalia vuonna 2001 Kreikassa tehdyssä tutkimuksessaan *Analysis of the Green Roof Thermal Properties and Investigation of its Energy Performance* hyvin, keskimääräisesti ja huonosti eristetyillä katoilla. Tutkimuksessa todettiin, että energiansäästöt lämmityksessä olivat hyvin eristetyillä katolla 8–9 %. Säästöt viilennyksessä olivat pienemmät: hyvin eristetyillä katoilla sitä ei ollut ja huonosti eristetyillä katoilla se oli 22–45 %, kun eristävyysvaikutus oli 45–46 %. Koko vuoden aikainen energiansäästö vaihteli hyvin eristettyjen kattojen 2 prosentista huonosti eristettyjen kattojen 44 prosenttiin. Tutkimuksessa hyvin eristetyn katon U-arvo on 0,26–0,40. [65, s. 17.] Suomessa vastaavin U-arvoin verrattuna tutkimuksen ”hyvin eristettyyn kattoon” on rakennettu viimeksi 1960- ja 1970-luvuilla, jolloin yläpohjan U-arvovaatimukset olivat 0,47 (1969) ja 0,35 (1976). Jo 1978 U-arvovaatimus nousi 0,23:een ja nykyisin se on 0,09 (2010) [62]. Vaikkei tutkimusta voikaan soveltaa suoraan Suomen olosuhteisiin, voidaan lähtötiedoista olettaa vahvasti, ettei energiansäästöpotentiaali ole merkittävä rakenteiden kovista U-arvovaatimuksista johtuen. Tätä potentiaalia pienentää vielä Kreikkaa huomattavasti viileämpi ilmastovyöhyke. Viherkattojen energiansäästöpotentiaaliin liittyvät hyödyt ovat suurimmat lämpimämmillä ilmastovyöhykkeillä [66, s. 5].

Talvella katon paksu lumikerros toimii eristeenä. Vastataneen lumen tiheys on noin 100 kg/m^3 ja vanhan hangen tiheys on noin $400\text{--}500 \text{ kg/m}^3$. Lumen vesiarvo on

vesikerroksen paksuus (mm), joka syntyisi lumen sulaessa: tästä saadaan myös lumikuorma kilogrammoina neliötä kohti (kg/m^2). Lumen hyvästä lämmöneristävydestä johtuen talvella vuorokausivaihtelu on vähäistä: talvella maan pintaosat ovat kylmemmät kuin syvemmät maakerrokset, kun taas kesällä pintakerros on lämpimin. [56.]



Kuva 36. Ottawassa tehdyn tutkimuksen mukaan 200 mm lumipeitteen aikana lumen lämmöneristysominaisuudet dominoivat lämpötilalöydöksiä. Ilman lämpötila nousi aamuyön -20 °C:sta illan -10 °C:een. Referenssikaton vedeneristykseen lämpötila pysytteli juuri plussan puolella koko päivän viherkaton vedeneristeen lämpötilan vaihdeltaessa mittauspisteestä riippuen hieman jäätympisteeseen alapuolelta +3...4 °C:een. [54, s. 57–58.]

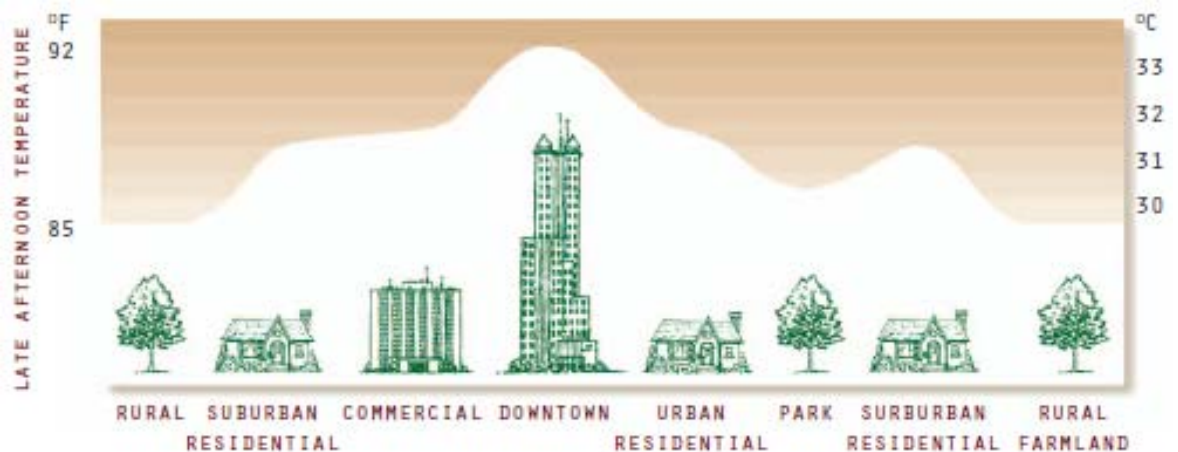
Ohuen maksaruohokaton lämmöneristävyys on kesällä melko pieni ja talvella käytännössä merkityksetön – lumipeitteisen ekstensiivisen viherkaton ja tavallisen katon välillä ei ole havaittu merkittävää eroa. Ylipääntensä viherkattorakenteiden lämmöneristävyysmerkitys on talvella hyvin vähäinen kun rakenteet on suunniteltu lämmöneristävydeltään kylmiä talvia vastaan. Vanhassa rakennuksessa, jossa U-arvo on riittävän heikko ja siten lämpöhukka merkittävämpi, on tosin havaittavissa eroja lämmitysenergian tarpeessa. Intensiivisen kasvillisuuskerroksen hyödyt lämmöneristävyden suhteen ovat kiistattomammat kuin ekstensiivisen, myös talviolosuhteissa. Kuitenkin ilmastomuutoksen myötä sekä kevät että syksy saattavat pidentyä, jolloin myös ekstensiivisen kasvillisuuskerroksen hyötysuhde saattaa lisääntyä. [4, s. 2 & 23.] Ilmatieteen laitos on arvioinut, että esimerkiksi jäähdytyslaitteiden tehontarve tulee Suomessa kasvamaan vuoteen 2030 mennessä keskimäärin 4 %. Mikäli laskelmien perustana käytetty ilmastomuutoskenaario toteutuu, tutkittujen esimerkkirakennusten tilojen ja ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve vähenisi noin 10–13 % vuoteen 2030 mennessä ja jäähdytysenergian tarve kasvaisi vastaavasti 13–19 %. Koska esimerkkirakennusten jäähdytystarve oli melko pieni rakennusten lämmitystarpeeseen verrattuna, rakennusten kokonaisostoenergiankulutus vähenisi tulosten mukaan 4–7 % vuoteen 2030 mennessä.

Laskelmissa ei huomioitu rakentamismääräysten mahdollisten muutosten aiheuttamia epäsuoria vaikutuksia. [67, s. 57 & 64.]

4.2 Kaupunkien lämpösaarekeilmiön lieventäminen

Kasvillisuuskerros vähentää ilmastointiin tarvittavan energian määrää varjostamalla, eristämällä lämpöä ja viilentämällä rakennetta kasvien haihduntaan käyttämän energian ansiosta. Korkeiden rakennusten kokonaisenergiankulutukseen viherkatoilla on vähäinen vaikutus. Jos kuitenkin viherkattoja on tiiviisti rakennetulla alueella useita, niiden yhteisvaikutus kaupungin lämpötilaan on merkittävämpi. [54, s. 8–10; 65, s. 19; 2, s. 63–64; 68, s. 18–19; 10, s. 35–36; 21, s. 5; 3, s. 30; 69, s. 9; 20, s. 32.]

Katto- ja asfalttipinnoilla saattaa esiintyä kesähelteillä jopa yli 70 °C lämpötiloja kun samanaikaisesti kasvillisuuden tai veden pinnalta pintalämpötilat ovat olleet 24–35 °C [2, s. 65]. Maisemoidun rakenteen kasvillisuus voi aikaansaada miellyttävämpää kaupunki-ilmastoa yksittäisen rakennuksen tasolla kuin myös kaupungin mittakaavassa [11, s. 1; 20, s. 32]. Useissa tutkimuksissa on arvioitu, että lämpösaarekeilmiö yksin on nostanut koko maapallon lämpötilaa ≤ 0.1 °C esiteollisen kauden jälkeen [70, s. 3]. Suurkaupunkien vuosikeskilämpötilan on todettu olevan noin 0,5–3 °C ympäristöalueita lämpimämpi, mikä merkitsee koko lämmityskauden astepäiväluvussa 300–600 °Cd/a eroja [55, s. 31; 71; 72]. 1–2 °C asteen ero merkitsee vastaavassa rakennuksessa 5–15 kWh/k-m² eroa vuosittaisessa lämmönkulutuksessa, joten prosentuaalisesti lämmityskulut voisivat tämän mukaan olla suurkaupungin keskustassa 5–10 % pienemmät kuin sen ympäristössä [55, s. 31]. Lämpösaarekeilmiö on yhdistetty myös useiden sairauksien, kuten keuhkosairauksien lisääntymiseen ja helleaaltokuolleisuuden kasvuun [2, s. 64].

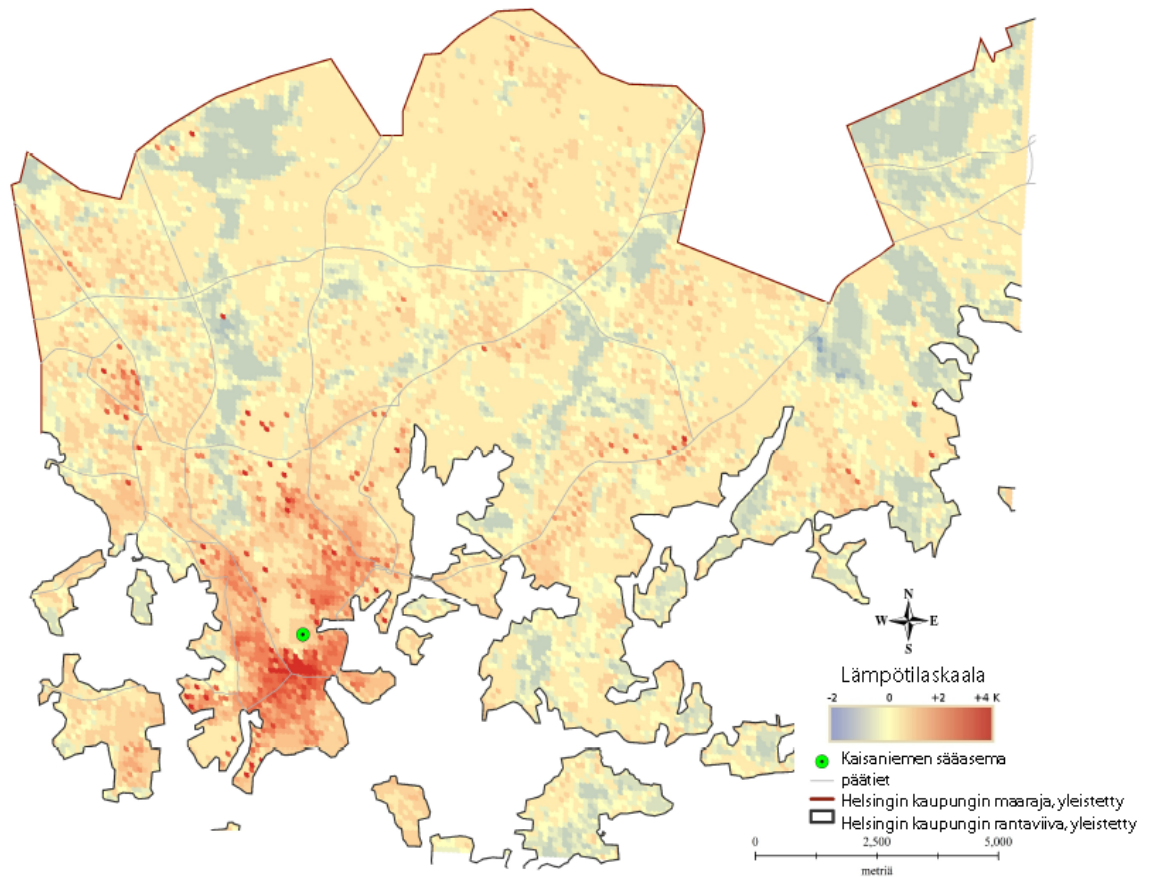


Kuva 37. Piirros kaupunkien lämpösaarekeilmiö (*Urban Heat Island effect*)-profiilista [21, s. 4].

Kaupunkien ilmasto poikkeaa maaseudun ilmastosta erojen ollessa sitä suurempia, mitä tiiviimpi ja suurempi kaupunki on. Yleisesti kaupunkien ilma on epäpuhtaampaa ja lämpimämpää. Pakkaspäiviä kaupunkialueella on yleensä vähemmän, mikä pidentää kasvukautta. Rakennusten suojaavan vaikutuksen takia tuulenoisuus on pienempi, tosin rakennukset ja katukuilut aiheuttavat pyörteitä ja epätasaisia tuulioloja. Kaupungeissa suoraa auringonvaloa on vähemmän ja keinovaloa enemmän. [20, s. 31–32.] Ilmasta tai avaruudesta infrapuna-mittarilla mitattuna kaupungin lämpötila on verrattavissa kivilouhokseen, jossa kesälämpötila voi tyypillisesti olla 50 °C kun vastaavasti metsässä se on 25 °C. Kokonaishaihdunta, evapotranspiraatio, muodostuu veden haihtumisesta sekä kasvisolukosta että maaperästä. Evapotranspiraatio hyödyntää merkittävän määrän saapuvasta aurinkoenergiasta viilentäen sekä lehtien pintaa että ilmaa. Kokonaishaihduntaan käytetty energia muuttuu vesihöyryksi, mikä estää energian muuttumisen lämmöksi maan pinnalle. [54, s. 8 & 28; 65, s. 19; 10, s. 35; 2, s. 65–67.]

Lämpösaarekeilmiöstä (*Urban Heat Island effect, 'UHI'*) puhutaan, kun maahan säteilevä auringon energia varastoituu päivällä rakennusten ja katujen (erityisesti tummiin) pintoihin. Rakenteet luovuttavat lämpöä ympäristöönsä yöllä, eikä rakentamisen vuoksi hävitetty kasvillisuus viilennä ympäristöä tarpeeksi. Rakennusmateriaalien lämpökapasiteetti (johtavat hyvin lämpöä), heijastuskyky, emissiviteetti, rakennusten fyysikaaliset ominaisuudet, kaupunkialueen runsas keinolämmön tuotanto ja viemärointi (energia suuntautuu haihduttamisen sijasta ilman lämmittämiseen), liikenne ja rakennuksista johtuva tuulensuojauus vaikuttavat myös lämpösaarekkeiden syntymiseen. Ilmastonmuutoksen myötä lämpötilojen noustessa lämpösaarekeilmiö voimistuu erityisesti kesäisin. Lämpösaarekeilmiön aiheuttaman lämpötilan nousun vuoksi ilmastointitarve ja viilennykseen tarvittu energiankulutus kasvavat. [54, s. 8–10; 65, s. 19; 2, s. 63–64; 68, s. 18–19; 70, s. 3; 73, s. 31; 10, s. 34–35; 21, s. 4; 20, s. 32.]

Suomessa lämpösaarekeilmiö on havaittavissa lähinnä suurimmissa kaupungeissa [74], joskin asiasta on vielä melko vähän tutkimustietoa. Helsingin sisällä lämpötila voi vaihdella yhdeksänkin astetta – kaupungin lämpimimmät paikat ovat Rautatieaseman läheisyydessä ja esimerkiksi Viikissä, Vuosaarella ja Keskuspuistossa on ydinkeskustaa viileämpää. Helsingissä meren läheisyys vaikuttaa lämpötilaan paljon jäädyttäen keväällä ja lämmittäen syksyllä, etenkin keskustassa. Pohjois-Helsinki on lähempänä mannerilmastoa. Myös korkeuserot ja puistot vaikuttavat vallitseviin lämpötiloihin. [75, s. 70–71; 74.]



Kuva 38. Keskimääräinen Helsingin kaupungin lämpösaarekeilmiö heinäkuu 2009 - kesäkuu 2010. Lämpötilaerotuskartta Helsingin Kaisaniemen sääaseman (vihreä piste) ja muiden kaupungin alueiden välillä. Lämpötilan erotuksen nollataso on merkitty keltaisella värillä. Punaiset alueet (rakennetut alueet, aluekeskukset, kauppakeskukset, isot rakennukset) ovat lämpimämpiä kuin Kaisaniemi, siniset alueet (metsät, pellot, aukeat) taas kylmempiä. Lämpötilan erotukset vaihtelevat tavallisesti $-0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$:sta $+1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$:een ja vain 46 paikassa ero on suurempi kuin 1 aste. [76; 77, s. 5.]

Lämpösaarekeilmiötä voidaan torjua vähentämällä tummien, lämpöä absorboivien pintojen määrää. Tummia kattoja voidaan esimerkiksi pinnoittaa heijastavilla materiaaleilla tai valitsemaalla vaaleita materiaaleja. Vaaleat pinnat voivat myös alentaa lämpötiloja heijastamalla suuren osan saapuvasta aurinkoenergiasta, jolloin energia ei absorboidukaan ja aiheuta lämpösäteilyä. Vaaleat pinnat kuitenkin yleensä tummuvat ajan saatossa, eivätkä ne tarjoa haihduttavaa kasvillisuutta tai elinympäristöä eläin-, hyönteis- tai lintulajistolle tai auta hulevesien hallinnassa. [54, s. 8.] Stanfordin yliopistossa tehdyssä tutkimuksessa on todettu olevan mahdollista, että vaaleat katteet saattavatkin lisätä energian tarvetta energiatarpeen alenemisen sijasta: vaaleat katteet lisäsivät vuositason keskimäärin tilojen lämmitystarvetta enemmän kuin mitä ne laskivat ilmastoinnin käyttötarvetta [70, s. 4–5 & 26]. Tutkimuksen tuloksena vaaleiden katteiden viilentävä vaikutus maailmassa on noin $0,02\text{ K (}^{\circ}\text{C)}$ ja lämmittävä vaikutus noin $0,07\text{ K (}^{\circ}\text{C)}$. Tässä yhteydessä todettiin, että vaaleat katteet voivat alentaa paikallisesti lämpötilaa ja aikaansaada kosteutta ilmakehään

tuottamatta pilviä. Pilvet taas heijastaisivat auringonsäteilyn laajemmalle alueelle. [78.] Lämpösaarekeilmiön torjunnassa myös aurinkopaneeleista voi olla hyötyä, koska ne varjostavat kattopintaa sekä tuottavat uusiutuvaa energiaa. Kattokasvillisuus on myös hyvä vaihtoehto, koska se heijastaa lämpösäteilyä, varjostaa ja viilentää evapotranspiraation ansiosta. [21, s. 5; 69, s. 9; 71.]

4.3 Viherkatot, LEED ja muut rakennusten ympäristöluokitukset

LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) on yhdysvaltalainen, kansainvälisesti vertailukelpoinen vihreiden kiinteistöjen sertifiointijärjestelmä. U.S. Green Building Councilin (USGBC) myöntämä rakennuksen LEED-sertifiointi perustuu kolmannen osapuolen tekemään riippumattomaan arviointiin tilojen, rakennuksen tai rakennushankkeen ympäristöominaisuuksista. Saadakseen sertifiointin rakennuksen on täytettävä tietyt vähimmäisvaatimukset, jotka liittyvät rakennuksen sijaintipaikan kestävyteen sekä energian-, veden- ja materiaalien kulutukseen koko elinkaaren aikana. Rakennukselle annetaan pisteytyksen perusteella LEED-arvosana (Certified, Silver, Gold tai Platinum). Uudiskohteille ja olemassa oleville rakennuksille sekä erityyppisille rakennuksille on olemassa omat LEED-arviointiperusteensa. [79; 80, s. 141–143; 3, s. 35–37.] Huhtikuussa 2013 toteutettuja LEED-sertifioituja projekteja oli maailmassa jo 51 700 [81].

Suomessa muita käytössä olevia rakennusten ympäristöluokituksia ovat kotimainen PromisE ja brittiläinen BREEAM. BREEAM (*Building Research Establishment's Environmental Assessment Method*) on brittiläinen vihreiden kiinteistöjen luokitusjärjestelmä. LEED:in tavoin BREEAM ohjaa rakennuksen suunnittelua, rakentamista ja käyttöä. Se tarkastelee rakennuksen ympäristövaikutuksia kiinnittäen huomiota mm. johtamiseen, energian- ja vedenkulutukseen, käytettyihin materiaaleihin, maankäyttöön ja liikenteeseen. PromisE on kotimainen työkalu rakennusten ympäristöluokitteluun, ja sen perusajatuksena on arvioida kiinteistön tärkeimpiä ympäristövaikutuksia yksinkertaisten ja luotettavien mittareiden avulla. PromisE:ssa ympäristöominaisuuksia tarkastellaan neljässä pääluokassa, joita ovat ihmisten terveys, luonnonvarojen käyttö, ekologiset seuraukset ja ympäristöriskien hallinta. PromisE perustuu puhtaasti kansallisiin keskilukuihin, mikä rajoittaa sen hyödyntämistä kansainvälisesti. [79.]

Viherkaton avulla voi ansaita LEED-pisteitä esimerkiksi seuraavasti:



- vähintään 50 % tontin pinta-alaa vastaava pinta-ala varataan pinnoiksi joko alueelle tyypilliselle tai mukautuvalle kasvillisuudelle (*Sustainable Sites 5.1*)
- jos pintojen läpäisemättömyys on vähintään 50 %, toteutetaan hulevesien hallintasuunnitelma joka johtaa 25 % hulevesien määrän vähenemiseen (*Sustainable Sites 6.1*)
- viherkaton pinta-ala vähintään 50 % kattojen pinta-alasta (*Sustainable Sites 7.2*)
- ei käytetä juomakelpoista vettä kasteluun (*Water Efficiency 1.1 ja 1.2*)
- vähennetään suunniteltua energiakustannusta verrattuna ASHRE 90.1-1999 energiasysteemien mukaiseen energiakustannusbudjettiin (*Energy and Atmosphere 1.1–1.10*)
- materiaalien käyttö, joissa kierrätettyjen raaka-aineiden osuus vähintään 5 % (luokka 4.1) ja 10 % (luokka 4.5) projektissa käytettyjen materiaalien kokonaisarvosta (*Materials and Resources 4.1 ja 4.2*)
- rakennusmateriaalien käyttö, jotka on valmistettu alueellisesti 500 mailin säteen sisällä, vähintään 10 % (luokka 5.1) ja 20 % (luokka 5.2) (*Materials and Resources 5.1 ja 5.2*)
- innovatiivisten ja yksilöllisten lähestymistapojen käyttö viherkattoasennukseen: innovatiivinen viherkattoratkaisu voi säästää rahaa, ja nämä säästöt voivat mahdollistaa panostamisen muihin kestäväen kehityksen rakennustekniikoihin projektin muilla osa-alueilla (*Innovative Design 1.1–1.4*)

[80, s. 142–143; 3, s. 35–37; 69, s. 6.]

4.4 Biodiversiteetti eli luonnon monimuotoisuus

Biodiversiteetti sisältää lajien sisäisen perinnöllisen vaihtelun, lajien lukumäärän, erilaisten eliöyhteisöjen kirjon sekä biotooppien ja ekosysteemien monipuolisuuden ja erilaisten ekologisten prosessien vaihtelun [73, s. 18]. Biodiversiteetti ilmenee lajien sisäisenä yksilöiden perinnöllisenä vaihteluna ja lajien lukumääränä tietyllä alueella kuin kokonaisten eliöyhteisöjen kirjona. Luonnon ekologinen kestävyys on sitä parempi, mitä suurempi sen monimuotoisuus on. Biodiversiteetin säilyttämiskäytännöt voivat olla paikallisesti merkittäviä. Kaupunkirakenteen tiivistyessä ja kulutuksen lisääntyessä kasvaa myös huoli biodiversiteetin säilymisestä. Luonnon monimuotoisuuden säilyttäminen on kirjattu maankäyttö- ja rakennuslakiin. [20, s. 27.] Viherkattojen positiivista ekologista vaikutusta on se, että ne korvaavat kaupunkirakentamisen vuoksi hävitettyä luontoa: kattopuutarhat ja viherkatot ovat elinympäristöjä, joissa viihtyvät erilaiset linnut sekä perhos- ja hyönteislajit [28].

Rakennuksiin yhdistetty kasvillisuus voi edistää biodiversiteettiä luomalla uusia elinympäristöjä alueille, joilla luonnon ympäristöä ei ole. Viherkatot voivat tarjota uusia yhteyksiä olemassa mutta hajallaan olevien elinympäristöjen välille ja helpottaa tämän ansiosta lajien liikkumista. Rakennusten kasvipinnat voivat tarjota lisää elinalueita myös

harvinaisille tai rauhoitetuille lajeille. [2, s. 43–45; 20, s. 27–28; 82, s. 13.] Yhdistämällä kattoihin vaihtelevan paksuisia kasvualustakerroksia ja vesiaiheita voidaan aikaansaada kattojen kokonaisuus, joka ei vain korvaa menetettyä viherpintaa vaan toimii biodiversiteetin ylläpitäjänä ja monimuotoisuuden lisääjänä [80, s. 140].

Katoilla olosuhteet ovat melko vastaavia kuin alueilla, joilla esiintyy kausittaista kuivuutta ja joiden maakerros on matala tai kivinen: tällaisia alueita on hyvä käyttää mallina viherkattojen kehittämisessä. Tiiviissä kaupunkiympäristössä kiviset joutomaa-alueet yleensä rakennetaan, joten vastaavan ympäristön rakentaminen katolle voi auttaa säilyttämään alueiden kasvillisuutta ja eläimistöä. Korvaavan elinympäristön luominen katolle on haastavaa, koska maaperä-, vesi- ja ilmasto-olot eivät täysin vastaa alkuperäisiä eivätkä kaikki lajit pääse ylös kattopinnalle. Viherkatot, joihin ei ole yleistä pääsyä, tarjoavat hyviä elinympäristöjä kasveille, hyönteisille ja linnuille. Urbaania joutomaaympäristöä (*brown roofs*) jäljittelevät katot liittyvät oleellisesti biodiversiteetin ylläpitotavoitteisiin. Biodiversiteettiä ylläpitäviä kattoja on rakennettu ja tutkittu esimerkiksi Sveitsissä, Iso-Britanniassa sekä Yhdysvalloissa Kaliforniassa: Sveitsissä biodiversiteetin säilyttämisestä on tullut tärkeimpiä viherkattorakentamisen tavoitteita. Biodiversiteetin seuranta on nousemassa lämpö- ja kosteuskysymysten rinnalle sekä eurooppalaisessa että pohjoisamerikkalaisessa viherkattotutkimuksessa. [2, s. 43–53; 3, s. 33–34; 11, s. 1; 20, s. 28.]

Suomessa tehdyn pro gradu -tutkielman mukaan viherkatoilla harvinaisten ja uhanalaisten kasvilajien määrää selitti parhaiten kasvualustan syvyys: mitä syvempi kasvualusta, sitä enemmän viherkatoilla esiintyi harvinaisia ja uhanalaisia kasvilajeja. Muista tekijöistä uhanalaisten ja harvinaisten kasvilajien esiintymiseen vaikutti viherkaton pinta-ala, ikä, viherkaton kokonaislajimäärä ja viherkaton korkeus. [83, s. 1.] Tutkimuksen koekattojen kasvualustan syvyys oli melko alhainen: se vaihteli 0–35 senttimetrin väliltä [83, s. 54 & 62]. Vain 2 cm lisäys kasvualustaan kasvatti uhanalaisten ja harvinaisten lajien esiintymisen todennäköisyyttä 23 %. Erot kattojen välillä olivat suuret: viherkatot, joilla uhanalaisia ja harvinaisia lajeja esiintyi, kasvualusta oli keskimäärin 11 cm syvä. Katoilla, joilla lajeja ei esiintynyt, kasvualusta oli 6 cm syvä. Kasvualustan paksuuden vaikutus kasvilajien määrään on todettu myös aiemmissa ulkomaisissa tutkimuksissa: kasvualustan paksuuden kasvaessa myös kasvilajien määrä viherkatoilla kasvaa. [83, s. 65–66.]

Tutkimuksen mukaan viherkatoilla on mahdollisuus toimia korvaavina elinympäristöinä, jos kattojen perustamisvaiheessa kiinnitetään huomiota katoille istutettavaan tai kylvettävään

kasvillisuuteen. Perustamistavalla voidaan vaikuttaa siihen, että luonnossa harvinainen laji voi esiintyä viherkatolla runsaana. [83, s. 58–59.] Tutkimuksessa viherkatoilla menestyi kahdeksan uhanalaista kasvilajia, viisi harvinaista alkuperäistä lajia sekä viisi harvinaista muinaistulokaslajia. Uhanalaisista lajeista suurin osa oli perinneympäristöjen lajeja. Näistä lajeista kissankäpälä, kangasajuruoho, tahmahärkki, ketoneilikka, keltakynsimö ja keltamatara viihtyvät kuivilla niityillä ja kedoilla. Kaikkien tutkimuksessa esiintyneiden uhanalaisten lajien kasvupaikkavaatimukset ovat hyvin samankaltaisia keskenään. Muiden uhanalaisten lajien mahdollisuudet kasvaa viherkatolla ovat hyvät: viherkatot ovat usein matalan kasvualustan vuoksi kuivia, jolloin kuivien niittyjen, ketojen ja kangasmetsän lajit menestyvät viherkatoilla. [83, s. 55–56.]

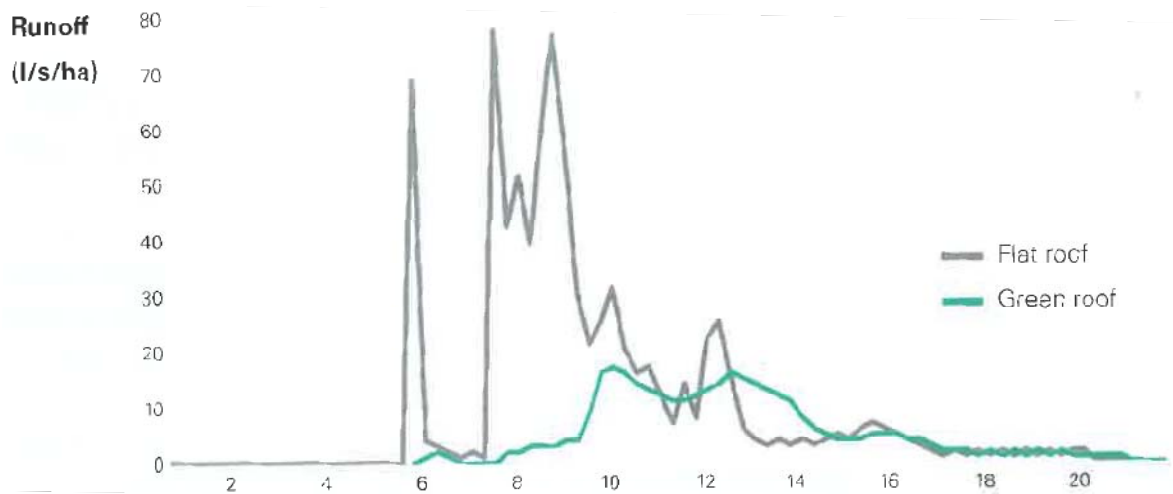
Viherkattojen kasvilajit altistuvat usein enemmän kuivuudelle kuin samat lajit luontaisessa elinympäristössään, miksi viherkatot eivät ole aivan luontaisten elinympäristöjen kaltaisia rajallisen kasvualustan vuoksi. Paksumpi kasvualusta pysyy kosteampana, jolloin kasvilajien määrää viherkatoilla saadaan nostettua. [83, s. 65–66.] Hyvänä esimerkkinä tästä toimii vuonna 1938 rakennetun Linnanmäen vanhan vesitornin katto, josta tuulisista olosuhteista huolimatta löytyy mm. ahomansikkaa, maksaruohoa, tähtimöitä ja perinteisiä rikkakasveja sekä terttuseljaa, kuusamaa, vaahteroita ja pihlajia. Kaikkiaan Linnanmäen vesitornin katolta löytyi 82 eri kasvilajia. [19; 83, s. 40.] Katolle on aikoinaan tuotu maamassoja ja istutettu puita, jotka naamioisivat tornia ilmahyökkäyksen varalta [84].

4.5 Hulevesien hallinta

Hulevesien hallinta oli ensimmäisiä etuja, joita viherkatoilta tunnistettiin – katoille satavia vesiä voidaan imeyttää kasvillisuuskerrosten avulla. Kattokasvillisuuden avulla voidaan luoda hulevesien käsittelyn kannalta toimivampaa ja viihtyisämpää elinympäristöä sekä toteuttaa kestävä kehitys mukaisia suunnitteluperiaatteita. [4, s. 8; 16; 17; 11, s. 2; 8.] Viherkattojen käyttö sopii erityisesti alueille, joissa ei ole tilaa maahan sijoitettaville hulevesien hallintamenetelmille [17; 82, s. 10]. Tiiviisti rakennetuilla alueilla suurin osa kortteleista on kattopintaa (jopa 40–50 %) ja kansirakennetta, jolloin tehokkaimpia käytettävissä olevia keinoja hulevesien määrän vähentämiseen on kattokasvillisuuden käyttäminen [8; 2, s. 55]. Laaja-alaisella kattokasvillisuudella pystytään tutkimusten mukaan vähentämään katoilta tulevien hulevesien vuotuista määrää n. 50 % ja viivyttämään tehokkaasti myös erittäin rankkojen sateiden aiheuttamaa virtaamaa [17; 10, s. 29; 2, s. 57–58]. Hulevesistä voidaan vähentää epäpuhtauksia suodattamalla ja kasvillisuuden avulla [10, s. 30]. Myös biohiilestä on saatu lupaavia tutkimustuloksia.



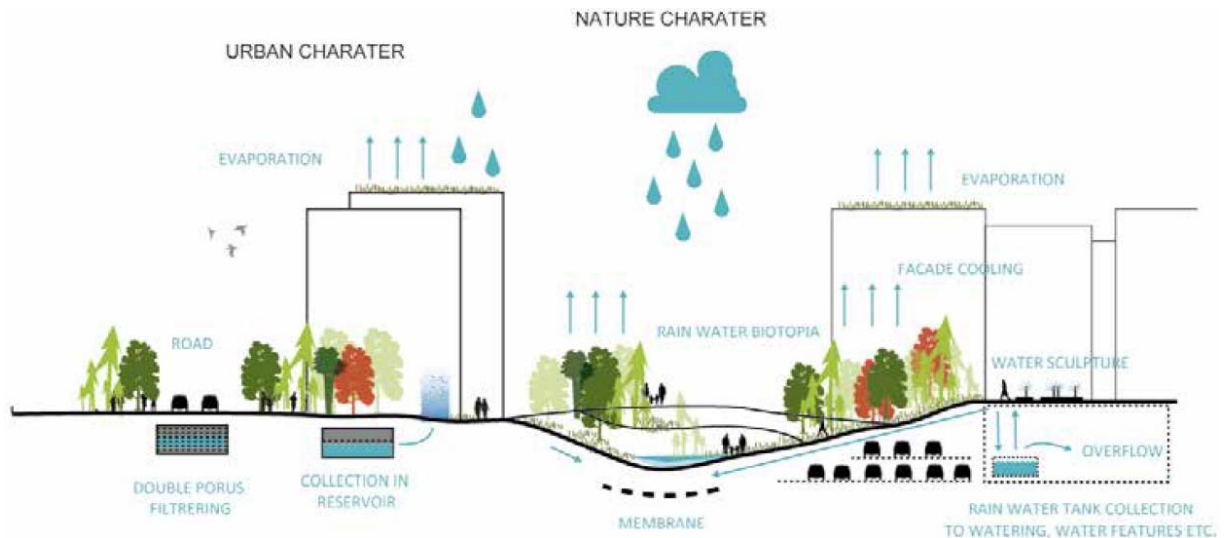
Kuva 39. Kattojen ja asfaltoitujen alueiden läpäisemättömät pinnat lisäävät hulevesien määrää.



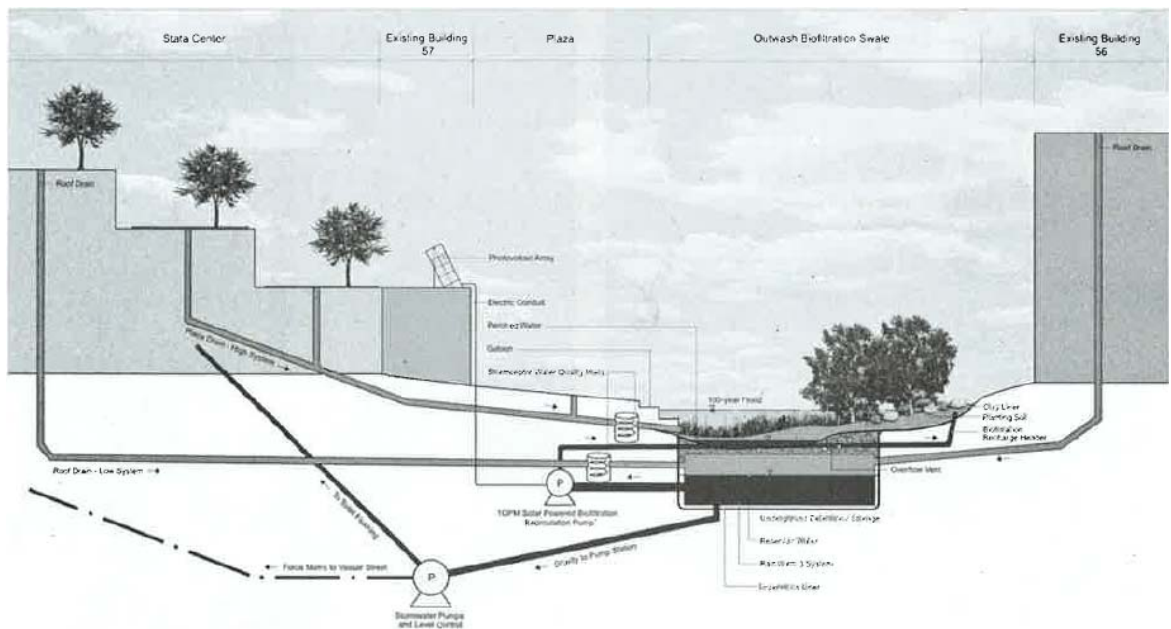
Kuva 40. Hulevesien valumamäärä tavalliselta loivalta katolta (*flat roof*) ja viherkatolta (*green roof*) 22 tunnin ajanjaksolla Köhlerin ym. mukaan [2, s. 57].

Viherkatto voi pidättää sadevettä monella tavalla: sadevesi voi imeytyä kasvualustan huokosiin ja se voi varastoitua katon salaojakerrokseen. Kasvit varastoivat vettä kasvisolukkoon ja haihduttavat sitä takaisin ilmakehään. Viherkatto tasoittaa myös sadeveden virtaamahuippuja viivyttämällä sadevettä. Viherkaton vedenpidätyskapasiteetti vaihtelee vuodenajasta, kasvukerroksen paksuudesta ja kosteudesta, käytetyistä kasvilajeista, valitusta rakenneratkaisusta, katon kaltevuudesta sekä sateen

voimakkuudesta riippuen. Esimerkiksi hyvin loiva viherkatto pidättää sadevettä parhaiten maakerroksen ollessa kuiva. Paksut viherkatot pidättävät hulevesiä yleisesti ohuempia ekstensiivisiä kattoja tehokkaammin. Useissa tutkimuksissa on osoitettu viherkaton hillitsevän hulevesien määrää vuosittain 40–60 %, jopa 80 %. Katon maakerroksen mineraalit tai kasveihin käytetyt lannoitteet saattavat kulkeutua katolta sadeveden mukana, joten liitettäessä viherkattoja hulevesijärjestelmiin on minimoitava ravinteiden kulkeutuminen katolta vesistöihin. [2, s. 57–60; 4, s. 26; 20, s. 31.]



Kuva 41. Kestävän kehityksen mukaista hulevesien hallintaa.



Kuva 42. Massachusetts Institute of Technologyn (MIT) Stata Centeriin on tehty innovatiivinen hulevesijärjestelmä. Allas, kasvit, kasvualue ja aggregaatit suodattavat hulevesiä, ne varastoidaan säiliöön josta ne kierrätetään aurinkoenergiapumpuilla harmaavesikäyttötarkoituksiin. [6, s. 42.]

4.6 Ääneneristävyys

Melu on merkittävä elinympäristön laatua ja viihtyisyyttä heikentävä ympäristöongelma, joka vaikuttaa kielteisesti ihmisen terveyteen, hyvinvointiin ja viihtyvyyteen. Suomessa noin miljoona ihmistä asuu alueilla, joilla ympäristömelun keskiäänitaso ylittää 55 dB päiväaikaan. Merkittävin meluhaitta syntyy tieliikenteestä. [85, s. 9–10 & 17.] Ääniaallot absorboituvat, heijastuvat tai hajautuvat [11, s. 2]. Kasvillisuus vaimentaa melua sekä sisä- että ulkotiloissa [8; 86]. Viherkatoilla kasvualustan, kasvien sekä muiden rakennekerrosten yhdistelmä voi toimia ääneneristeenä: kasvualusta eristää matalampia äänitaajuuksia samalla kun kasvit eristävät korkeampia äänitaajuuksia [11, s. 2]. Viherkaton ääneneristävydestä on vähän tutkimusta, mutta tällä hetkellä yleisimmin esitetään, että viherkatto vähentää heijastuvaa ääntä 3 dB ja parantaa rakenteen ääneneristävyttä 5–8 dB: määrä on melko suuri, sillä vastaava lisäääneneristävyys voidaan aikaansaada esimerkiksi muuttamalla puurakenteinen yläpohja betonirakenteiseksi yläpohjaksi. Esimerkiksi lentokenttien ja valtateiden läheisyyteen asennettujen viherkattojen perusteena ovat olleet niiden akustiset ominaisuudet. [2, s. 67; 87; 88, s. 78; 69, s. 6; 82, s. 21.]

Yläpohjan ääneneristyskyky on huoneeseen muodostuvan äänitason kannalta merkittävä lähinnä lentomelualueilla. Yläpohjien nykyiset lämmöneristysmääräykset ja tyypillinen rakennustekniikka Suomessa johtavat useiden projektien kohdalla myös verrattain hyvään ääneneristävyteen. Usein asuinkerrostaloissa, oppilaitoksissa ja toimistorakennuksissa yläpohjan kantavana rakenteena käytetään ontelolaatastoa tai paikalla valettua betonilaattaa. Tällaisen rakenteen ääneneristyskyky on hyvä, sillä ilmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan on tavallisesti yli 50 dB. Yläpohjarakenne ei tällöin oleellisesti vaikuta huonetilan keskiäänitasoon, joka muodostuu pääasiassa julkisivun rakennusosien ääneneristyskyvyn perusteella. Yläpohjan ollessa kevytrakenteinen on huomioitava, että äänen kulku räystäiden kautta yläpohjan tuuletustilaan estetään järjestämällä tuuletus vaimennetun tuuletuskanavan kautta. Jos ääni pääsee kulkemaan räystäään kautta ullakotilaan vaimenematta, sen etenemistä huoneeseen estävät vain lämmöneristekerros ja yläpohjan sisäverhouslevy, joiden ääneneristyskyky on vähäinen. Lentomelualueilla sisäverhouslevyn tulee aina olla tiivis rakennuslevy, jonka massa on vähintään 5 kg/m²: esimerkiksi panelointi ei riitä tavoiteltavan ääneneristävyden saavuttamiseksi. [88, s. 47–49.] Kevytrakenteiseen yläpohjaan viherkattoratkaisu ei siis tuo välttämättä juurikaan lisäarvoa ääneneristävyden näkökulmasta. Betonirakenteisessa yläpohjassa se ei yleensä ole tarpeellinen, joten jäljelle jäävissä profiilipeltirakenteisessa tai TT-laattayläpohjassa

viherkattorakenne voisi olla mielekäs ratkaisu ääneneristyksen kannalta, vaikkei se kustannusnäkökulmasta voikaan tasaveroisesti kilpailla muutaman kipsilevykerroksen kanssa.

4.7 Katon käyttöikä

Saksalainen viherkatto syntyi, kun kuuma bitumimassa ("kattoterva") peitettiin 6 senttimetrillä hiekkaa paloturvallisuussyistä [11, s. 2; 34, s. 7; 89, s. 3]. Ajan myötä hiekkään kertyi humusta ja kasvillisuutta. Sanotaan, että saksalaiset viherkatot kestivät kaksin- tai jopa kolminkertaisesti verrattuna muihin kattoihin ilman viherrakennetta (ja ilmeisesti hiekkaa). [11, s. 2; 34, s. 7.] Bitumi ei yksinään kestä suoraa pitkäaikaista UV-säteilyä; UV-säteilyn haittavaikutuksia alettiin tuntea vasta 1990-luvun vaihteessa ja toden teolla 2000-luvulla [90]. Ultravioletisäteily aiheuttaa eroosiota, värimuutoksia, vanhenemista ja haurastumista [56]. Kuumabitumia ei ole vuosikymmeniin käytetty Suomessa yksinään kattovedeneristeenä ja nykyisissä kumibitumivedeneristeissä on jo pitkään käytetty menestyksekkäästi suojakiveystä (singeliä) ja/ tai ns. pintakermissä pintasirotetta suojaamaan tuotteita UV-säteilyltä [91; 92]. Ei siis voida yksinkertaistaa, että ainoastaan kasvillisuuden olemassaolo katoilla pidentää käyttöikää. Voidaan todeta, että mitkä tahansa pintakerrokset voivat pidentää sellaisen katon käyttöikää, joka on vedeneristetty UV-säteilyn vaikutuksista ominaisuuksiaan nopeasti menettävällä materiaalilla. Toinen tekijä, jolla oletettavasti on merkitystä erityisesti Suomen olosuhteissa vedeneristeiden käyttöikään, on se, että viherrakenteiden alla vedeneriste on suojassa lumelta, jäältä ja muilta mekaanisilta rasituksilta. Tämä tosin toteutuu ns. käännetyssä rakenteessakin ilman kattovihreää.

Dosentti Folke Björk [93] toteaa raportissaan *Green roofs effect on durability of roof membranes* rakennustuotteen vanhentumismekanismiin olevan usean yhtäaikaista kemiallisen, mekaanisen ja fysikaalisen reaktion tulosta. Auringon lämpösäteily yhdessä korkean lämpötilan ja hapen kanssa käynnistävät hajoamisprosessin. Sekä bitumi- että polymeeripohjaiset tuotteet (esim. PVC ja EPDM) hajoavat hiljalleen auringon ja lämmön vaikutuksesta, ja tätä kutsutaan lämpöhapettumishajoamiseksi (*thermo-oxidative degradation*). Björk yhdistää suoraviivaisesti suojaavan vaikutuksen viherrakenteiden ansioksi, ja toteaa rohkeiden olettamusten saattamana kattovedeneristeen saattavan saavan lisää käyttöikää noin 10–30 % viherrakenteiden suojassa, mikäli viherrakenteet eivät aiheuta vedeneristeelle vaurioita. Raportissa todetaan myös, että se perustuu olettamuksille ja aiheeseen liittyvä lisätutkimus olisi tarpeellista. [93, s. 6 & 18–21.]

Lämpöolosuhteiden tasaantuminen viherrakenteiden ansiosta on todettu useissa tutkimuksissa [2, s. 68–71; 10, s. 31–32]. Björkin johtopäätökset tosin pätevät yhtälailla hyvin lämmöneristettyihin käännettyihin rakenteisiin ilman viherrakenteitakin. Sekä viherkattoja että tavanomaisia vesikattojakin on hyviä ja huonoja, onnistuneita ja epäonnistuneita, ja tavallista kattojen korjausrakentamisessa on, että kattoja korjataan ikävälillä 0–110 vuotta [94].

Viherkatot on rakennettava tiukempien vaatimusten mukaan kuin tavanomaiset vesikatot. Osittain rakenteen aiheuttaman kuorman vuoksi ja myös siksi, että niiden on oltava ehdottoman vedenpitäviä [2, s. 70]. Viherkatto on ns. vaikeasti (ja kalliisti) korjattava rakenne viherrakenteiden vuoksi, joten pisimpäänkin tunnetuissa ja käytetyissä (kumi)bitumikermieristyksissä on loivilla katoilla perusteltua valita käyttöluokaksi VE80R (3 x vähintään TL2-tuoteluokan kumibitumikermi) [95, s. 93]. Vedeneriste on halvimpia rakennekerroksia kattorakenteessa, joten siitä ei koskaan tulisi tinkiä muutaman euron takia, vaan pitkällä tähtäimellä järkevintä ja kestäväntä on valita ratkaisu varman päälle. Katolle tehtävien istutusten juuristo ei missään olosuhteissa saa vahingoittaa vesikaton rakennetta, kuten lämmön- tai vedeneristeitä. Voimakkaita juuristoja kasvattavia kasveja on vältettävä. Suurempien kasvien (puut ja pensaat) istuttamista ei suositella, ja mikäli niitä kuitenkin istutetaan, ne on istutettava erillisiin istutusaltaisiin [95, s. 118–119].

Kasvien viihtyvyyden kannalta istutusaltaat voivat olla ongelmallisia, joten suunnittelussa kannattaa huomioida myös muut rakenteellisen juurisuojauksen vaihtoehdot. Rakenteellinen juurisuojaus ei poista juurisuojatuotteen (esim. juurisuojakermi) tarvetta rakenteessa. Esimerkiksi teräsbetoni-laattaa juurisuojauksella voidaan hyödyntää myös rakenteelliseen juurisuojaukseen. Lisäksi vastaavaan tarkoitukseen suunniteltua elementtirakenteen käyttöä kannattaa selvittää, mikäli mm. kuormien jakaminen ei aseta elementtirakenteen käytölle rajoituksia: elementtirakenne olisi halvempaa purkaa seuraavan peruskorjauksen yhteydessä ja siten rakennevalintoihin perustuva, syntyvä korjausvelka pienempi.

4.8 Kaupunkien paikallinen ilmasto ja ilmanlaatu

Luonnossa hiili kiertää koko ajan eri varastojen välillä: ihmiskunnan ilmaan tuottamasta hiilidioksidista päätyy arviolta 45 % ilmakehään, 30 % meriin sekä 25 % kasveihin ja maaperään. Valtameret, kasvillisuus ja maaperä toimivat ilmakehän kannalta hiiltä sitovina hiilinieluinä. Hiilidioksidi on ihmiskunnan tuottamista kasvihuonekaasuista merkittävin, ja

valtaosa ihmiskunnan tuottamasta hiilidioksidista syntyy fossiilisten polttoaineitten (mm. öljyn, kivihiilen ja maakaasun) käytön vuoksi. Toinen merkittävä päästölähde on trooppisten metsien hävittäminen ja muu maankäytön muuttuminen. Ihmisen tuottama hiilidioksidi muuttaa hiilen luonnollista kiertokulkua, ja olosuhteiden muuttuessa nieluna toiminut tekijä saattaa kuitenkin muuttua kasvihuonekaasujen lähteeksi. Kasvit sitovat yhteyttäessään hiilidioksidia ilmakehästä, mutta sitoutunut hiili vapautuu jälleen ilmakehään kasvisolujen hengityksessä tai kuolleitten kasvien maatuessa. [96; 97.] Kasvillisuus sitoo ilman epäpuhtauksia, pölyä sekä tuottaa happea, ja parantaa näin kaupunki-ilman laatua. Kasvillisuus myös tasaa lämpötiloja ja parantaa pienilmastoa yksittäisissä rakennuksissa sekä kokonaisissa kaupungeissa. Rakennetussa ympäristössä kasvillisuus suojaa rakennuksia tuulelta sekä talvisin kylmyydeltä ja kesällä kuumuudelta. [98, s. 142; 8; 86; 21, s. 5.] Kylmässä ja tuulisessa ilmastossa rakennukset on tehtävä tuulenpitäviksi ja eristettävä hyvin. Perinteisesti lumisilla ja sateisilla alueilla katot on tehty suojaaviksi monikerroksisin rakentein ja pitkin räystäin. Piiskasateen aiheuttamat julkisivujen rakenneauriot estetään rakennusosien muotoilulla, oikeilla materiaaleilla ja tarvittaessa tuulensuojaelementeillä. [55, s. 21.]

Kaupunkitutkimus on viime aikoina painottanut toimivien biotooppien merkitystä, jotta pitkälläkin tähtäimellä kaupungit saisivat tarvitsemansa veden, ilman, ruuan ja energian. Hyvä mikroilmasto rakennettuun ympäristöön olisi ensisijaisesti mahdollistettava kaavoituksella ja rakennusten suunnittelulla sekä olemassa olevan puuston säilyttämisellä. Kaavoitettavien rakennusalueiden tulisi olla mahdollisimmat tehokkaita ja tiiviitä, jotta laajoja yhtenäisiä metsäalueita olisi mahdollista jättää luonnontilaan. Mikroilmastoa parantavia toimenpiteitä voidaan tehdä sekä yhdyskunta- että rakennussuunnittelun yhteydessä: esimerkiksi tuuli jäädyttää rakenteita, jolloin tuulelta suojaavien kortteli- ja rakennusmuotojen avulla talojen energiankulutusta voidaan vähentää Suomen ilmastossa 5–10 %, lisäksi auringon hyödyntäminen mahdollistaa 5–10 %:n energiansäästön. Rakennusten energiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä ovat auringon säteily, paikalliset lämpötilaerot ja tuulisuus. Yhdyskuntasuunnittelun tehtäviä ovat kestävän kaupunkikehityksen edellytysten selvittäminen, täydennysrakentaminen, viherstruktuurit ja kulttuurimaisema, liikenneverkot sekä esteettiset laadut ja rakennustapa, ja ilmaston merkitys tulisi huomioida näissä kaikissa. [98, s. 152–153.]

Viherkattoratkaisulla voidaan vastata monella tapaa haasteisiin. Ensinnä katolle voidaan luoda rakennuksen alle jäävän kasvillisuuden korvaava kasvillisuus. Toiseksi viherrakenteet katoilla ja julkisivuissa suojaavat rakenteita mm. tuulelta ja näin

pienentävät rakennuksen energiantarvetta. Kolmanneksi viherrakenne suojaa katetta tuulikuormia vastaan: viherrakenteen paino suojaa katerakennetta, kunhan painoa on riittävästi. Esimerkiksi loivilla katoilla suojakiveystä (kattosingeliä) on käytetty katteen kiinnittämiseen tuulikuormia vastaan kuormilla 35...70 kg/m². Viherkattoratkaisulla on helppo aikaansaada vastaava kuorma, vaikka kevyimmät viherrakenteet eivät siihen riitäkään.

Viherkatoilla on myönteinen vaikutus kaupunkien mikroilmastoon myös puhdistamalla ilman pienhiukkasia ja epäpuhtauksia, ja lisäksi ne tuottavat kasvien yhteyttämisen ansiosta happea. Environment Canadan tutkimuksessa on esitetty, että 6,5 km² viherkatto vähentäisi kasvihuonekaasuja noin 2,18 tonnia ja lisäksi ilmasta poistuisi 30 tonnia epäpuhtauksia. [11, s. 2; 16, s. 34; 99.] Kattokasvillisuuden käyttöä hiilidioksidin talteenotossa on kuitenkin tutkittu vasta vähän. Viherkatoilla yhteyttämisen määrä jää usein melko vähäiseksi silloin, kun kattokasvillisuus on pitkäaikaiseen kuivuuteen sopeutuneita lajeja kuten maksaruohoja, jotka veden säästämiseksi estävät liiallista haihtumista ja voivat siten varastoida suhteellisen vähän hiilidioksidia. Viherkattojen merkitys ilmanlaadun parantamiseen saattaa liittyä ensisijaisesti niiden kykyyn viilentää ilmaa ja siten vähentää esimerkiksi savusumun esiintymistä. Mittavasta kattokasvillisuudesta on enemmän hyötyä kuin yksittäisistä pienistä, erillään sijaitsevista kattopinnoista. Kasvillisuuden tyypilläkin on merkitystä: matalan maksaruohokentän vaikutus kaupunki-ilmaan on vähäisempi kuin rehevämmän kattopuutarhan. Sääolot, epäpuhtauksien laatu sekä paikallinen topografia vaikuttavat myös kasvillisuuden kykyyn suodattaa ilmassa olevia pienhiukkasia. [2, s. 62–63; 80, s. 140–141; 20, s. 33.]

4.9 Kattopuutarhojen virkistysaluekäyttö

Kattopuutarhat lisäävät ympäristön viihtyisyyttä [8]. Katoilta on löydettävissä kaivattuja lisäneliöitä tiheästi rakennetuilla alueilla. Niille voidaan luoda oleskelutilaa ja kattopuutarhoja, jopa kaupunkilaisen viljelytilaa. Kaupunkisuunnittelussa on mahdollista hyödyntää kattoterassien ja viherkattojen käyttöä asukkaiden yhteisöllisyydelle edellytyksiä luovina tiloina. Tutkimusten mukaan viherkasvien määrä ympäristössä vaikuttaa merkittävästi ihmisen hyvinvointiin. [100; 11, s. 2.] Viherkatot soveltuvat asuntojen reviirin laajentamiseen rakennuksen ulkopuolelle, ja ne voivat olla paitsi yksityisiä, eräänlaiseen luksusasumiseen liittyviä tiloja, myös kerrostaloasukkaiden yhteistilaa. Käyttämättömiä kattopintoja on mahdollista hyödyntää oleskeluun ja virkistystoimintaan. Oleskelu viherkatolla virkistää kuten oleskelu muillakin viheralueilla.

Viherkatto voi olla kaupunkipuistoa rauhallisempi, koska kaupunkien keskustoissa viherkaton ympäristössä saattaa olla katutasoa vähemmän melua ja saasteita. [20, s. 35 & 77] Käytettäessä kattopintaa oleskeluun katto varustetaan suojakaiteilla [26, s. 4].



Kuva 43. Marina Bay Sands, Singapore. Maailmankuulu 55-kerroksinen hotelli, jonka kolme tornia yhdistää mahtava "taivaspuisto" (*SkyPark*). [101; 102.]



Kuva 44. Marina Bay Sands, Singapore. Kattopuutarhan 150 metriä pitkä uima-allas on maailman suurin näin korkealla. [101; 102.] Virkistysalueen ajatus ja toiminnot on toteutettu viimeisen päälle.

4.10 Kaupunkiviljely

Urbaanin ruoantuotannon on ymmärretty olevan tärkeä osa kaupunkien kestävästä kehitystä ja urbaania joustavuutta, turvallisuutta ja mukautumiskykyä. Maapallon lisääntyvä väestö tulee tulevaisuudessa väistämättä tarvitsemaan yhä enemmän luonnonvaroja elääkseen. Kaupungistumisen megatrendin ja luonnonvarojen hupenemisen takia on tärkeää, että myös kaupunkilaiset pystyvät järjestämään itselleen ruokaturvaa. Katot ovat jokaisen asukkaan kodin lähellä ja niihin kulkua voidaan säädellä, jolloin ilkivalta ei ole samanlainen ongelma kuin maan tasossa olevilla viljelypalstoilla. Kaupungissa kattoviljelyn erityinen etu on se, että kasvit saavat riittävästi valoa kun taas kerrostalojen sisäpihoilla valon määrä voi olla liian vähäinen rakennusten varjostuksen vuoksi. Hyödyntämällä kattoja viljelykäyttöön on mahdollista pienentää ruoan hiilijalanjälkeä: kaukana tuotetun ruoan pitkät kuljetusmatkat synnyttävät päästöjä ja kuluttavat energiaa. Myös ruoan tuoreus ja ravintoarvot kärsivät. Lähiviljelyn ansiosta ruoan alkuperän selvittävyys paranee oleellisesti. [13, s. 10–12; 2, s. 82–83; 103, s. 33.] Esimerkiksi Kanadan Vancouverissa sijaitsevan Fairmont Hotellin kattopuutarhassa yrttitarhaa on yhteensä 195 m² terassin kolmannessa kerroksessa. Puutarha on intensiivinen ja se sijaitsee eteläsivulla, jotta kasvillisuudelle voidaan taata riittävä määrä auringonvaloa. On arvioitu, että sen vuosittainen ruokatuotanto säästää (ravintolalle) noin 25000–30000 dollaria. [104.]

Esimerkiksi Haitissa, Kolumbiassa, Thaimaassa ja Venäjällä katoilla ja parvekkeilla on tuotettu laajalti kaupallisia tuotteita hedelmistä ja vihanneksista orkideoihin. Tarkoituksenmukainen istutusalue on noin 30–45 cm syvä ja kastelujärjestelmää tarvitaan – soveltuvimpia rakenteita ovat siis intensiiviset viherrakenteet. Erilaiset tekniset ratkaisut, kuten kevyet materiaalit ja kattokasvihuoneet, avaavat myös uusia mahdollisuuksia kattoviljelyyn. [2, s. 83; 103, s. 4–6.] Vihannesten, yrttien ja jopa pienten hedelmäpuiden kasvatusta voi onnistua jo 25 cm:n paksussa multakerroksessa. Useat yrtit soveltuvat kasvatettavaksi viherkatoilla, ja ne tarvitsevat yleensä vähintään 10 cm kasvukerroksen sekä kastelua erityisesti alkuvaiheessa. [20, s. 37; 105, s. 59–60.] Katolla syntyvä orgaaninen jäte voidaan kompostoida ja käyttää viljelykasvien kasvualustana. Kastelu kannattaa hoitaa öisin kun veden haihtuminen on mahdollisimman vähäistä. Kasteluun voidaan käyttää myös katoilta talteen kerättyä sadetta ja rakennuksessa syntyvää harmaata vettä puhdistettuna. Kastelu ja lannoitteet voivat johtaa ylimääräisten ravinteiden huuhtoutumiseen sadeveden mukana, mutta käyttämällä kasteluun kierrätettyä vettä voidaan riskiä pienentää. [103, s. 40–41; 20, s. 37.]



Kuva 45. Monctonissa, Kanadassa, sijaitsevan Delta Hotellin ravintola Windjammer kasvatkaa asiakkailleen tuoreita vihanneksia ravintolan omassa kattopuutarhassaan. Suomessa esimerkiksi Ravintola Savoy viljelee itse annostensa raaka-aineita ravintolan kattopuutarhassa.



Kuva 46. Tokion Luonnontieteellisen museon yrttitarha katolla.

FoodNYC



FoodNYC-hanke julkaistiin vuonna 2010, ja se on New Yorkin kaupungin suunnitelma kestäväälle ruokajärjestelmälle. Hanke on käynnistetty, koska ruoan tuottaminen, jakelu ja kuluttaminen aiheuttavat kolmanneksen ihmisen kasvihuonekaasupäästöistä. Elintarvikepolitiikka sisältää kymmenen osaa: urbaani maatalous, alueellinen ruoantuotanto, ruoan jalostus ja jakelu, uudet markkina-alueet, lähiruoan hankkiminen, koulutus, ruokajätteet, muovipullot, ruokatalous sekä hallituksen valvonta ja koordinointi elintarvikepolitiikassa ja -ohjelmissa. Urbanin maatalouden tavoitteena on vahvistaa ruoan tuottamista New Yorkissa ja tehdä siitä keskeinen tavoite asukkaille, yhteisöille ja kaupallisiin tarkoituksiin vuoteen 2030 mennessä. Tähän liittyy maaperän saatavuuden ja sopivuuden arviointi kaupunkiviljelyyn, kaupungin oman kaupunkiviljely-

ohjelman kehittäminen, yhteisöpuutarhojen pitkäikäisyyden varmistaminen ja kattokasvi-huoneiden kehityksen edistäminen. Lähiruoan tuotannolla pyritään siihen, että New Yorkin alueella voitaisiin tuottaa suurempi osa kaupungin ravinnosta: määräksi on arvioitu noin 30 % asukkaiden ruoan tarpeesta. Näin kaupungista tulisi riippumattomampi tuontiruusta ja se saisi paremman otteen elintarvikeketjuistansa. Ohjelman myötä New York tulisi olemaan vähemmän haavoittuvainen ruoan saastumiselle ja väärentämiselle sekä olisi paremmin valmistautunut hätätapausten varalle. Lähiruoan kuluttaminen piristäisi myös alueen taloutta ja työllisyyttä. [13, s. 30; 106, s. 2–14.]



Kuva 47. The Brooklyn Grange Rooftop Farm on ehkä New Yorkin suurin viljelytila katolla – Navy Yard kattaa noin 65.000 neliöjalkaa eli noin 6000 neliometriä [107; 108]. © Brooklyn Grange LCC. Kuva on julkaistu Brooklyn Grange LCC luvalla.

4.11 Kestävä kehitys, ekologinen estetiikka ja rakentaminen

Kestävän rakentamisen kokonaisajatteluun kuuluvat rakennusten energiankulutuksen pienentäminen, vaihtoehtoisten energialähteiden hyödyntäminen ja luonnonvarojen käyttö säästeliäästi. Kestävän kehityksen mukaisesti rakennusten elinkaaren tulee olla pitkä, rakennusten tulee olla muuntojoustavia ja sisäilmaltaan laadukkaita sekä materiaalivalinnoiltaan mahdollisimman paikallisia, kierrätettäviä ja tarkoituksenmukaisia. Sosiaaliset ja ympäristön laatua parantavat tekijät ovat oleellinen osa kestävästä rakentamisesta. Yleensä kestävä rakentaminen jakautuu teknologiaan luottavaan ja luonnonmukaiseen rakentamiseen uskovaan koulukuntaan: toimivimmat ratkaisut on mahdollista yhdistää, ja rakennusten tulee olla kestäviä myös eettisesti. [24, s. 15–18.]

Satu Huuhka [23] on arkkitehtuurin diplomityössään tutkinut betonielementtien kierrätysmahdollisuuksia sekä uusiokäyttöä, ja saa nostettua tutkimuksessaan voimakkaasti esiin lähiöiden elinkaaren päättymisen sosiaalisista (ja imagollisista) syistä. Purettavaksi päätyvät rakennukset eivät ole rakennuskannan huonokuntoisimpia, vaikka purkamista pyritäänkin perustelemaan teknisillä seikoilla: muillakin, kuin teknisillä syillä, on vaikutusta rakennuksen elinkaareen – hyväkuntoinen rakennus voidaan purkaa taloudellisin perustein tai huonokuntoinen vanha rakennus korjata, jos sillä on kulttuurihistoriallista arvoa. [23, s. 17.] Ratkaisuna elinkaaren kestävä kehityksen mukaiseen jatkamiseen tällaisissa lähiöissä olisi osittainen purkaminen ja koko rakennetun ympäristön kohentaminen paremmin asukkaiden tarpeita vastaavaksi [24, s. 19], jolla alueiden imago saataisiin kohotettua voimakkaasti – Suomesta soveltuvia lähiöitä löytyy esimerkiksi Porista, Hyvinkäältä ja Turusta. Ajattelu on enemmän kuin tervetullutta Suomeen, sillä ARAn laskelmien mukaan jopa 40.000 aravavuokra-asuntoa (10 % koko aravavuokra-asuntokannasta) odottaa lähivuosina purkua tai korjausta perusteellisesti nostaen [109]. Olemassa olevan kalliin infrastruktuurin käyttäminen olisi kestävää.

Taulukko 3. Betonielementtien uudelleenkäytön soveltuvuus lähiöiden erilaisiin tilanteisiin [23, s. 129, mukailten].

Miten betonielementtien uudelleenkäyttö soveltuu lähiöiden erilaisiin tilanteisiin?						
	“Lieksa”	“Ruovesi”	“Nurmijärvi”	“Pori”	“Hyvinkää”	“Turku”
Ympäristö	maaseutu- mainen	maaseutu- mainen	maaseutu- mainen	kaupunki- mainen	kaupunki- mainen	kaupunki- mainen
Muuttoliike	muuttotappio- kunta	vakiintunut kunta	muuttovoitto- kunta	muuttotappio- kunta	vakiintunut kunta	muuttovoitto- kunta
Sijainti	periferinen	lähellä seudun keskusta	metropolin kehyskunta	seutukunnan keskus	osa metropoli- aluetta	metropoli
Purkutarve	kokonaan syy: alhainen käyttöaste	kokonaan syy: alhainen käyttöaste, väärä asumismuoto	kokonaan syy: alhainen käyttöaste, väärä asumismuoto	osittain syy: alhainen käyttöaste, väärät asuntotyypit imagon kohotus	osittain syy: alhainen käyttöaste, väärät asuntotyypit, imagon kohotus	osittain syy: segregaation estäminen, imagon kohotus, väärät asuntotyypit
Rakentamisen kysyntä	maatalous- rakennukset	loma-asunnot omakotitalot	omakotitalot	pientalomaine n asuminen	asuminen	asunto-, toimisto- ja liike- rakentaminen

Mikä sopiikaan paremmin alueen imagonkohotuksen lähtökohdaksi kuin ekologinen estetiikka? Osuva arkkitehtuurin ja puutarhakaupunkimaisuuden yhdistäminen nostaa väistämättä alueen sosiaalista statusta, koska kyse on viime kädessä *aitoudesta*. Maailmalta löytyy jo tämän tyyppisiä esimerkkejä, kuten esimerkiksi Berliinin Marzahn-lähiössä sijaitseva Ahrensfelder Terrassen. Vuonna 1985 rakennettu vuokratalolähiö koostui 11-kerroksisista pesubetonipintaisista lamellikerrostaloista, jotka kärsivät matalasta käyttöasteesta – loistava esimerkki niin toiminnallisista, taloudellisista, kulttuurisista kuin sosiaalisistakin syistä elinkaarensa lopussa olevasta rakennuskokonaisuudesta. Vuonna 2005 tehdyssä uudistuksessa talot madallettiin 2–3 kerrokseen ja osittain 5–6 kerrokseen. Asuntojen määrä supistui 1670 asunnosta 409 asuntoon, ja asuntopohjat monipuolistuivat 39 erilaiseen pohjaratkaisuun: asuntotyypeiksi tuli kaksioita, kolmioita ja neliöitä (48–102 m²). Asunnoista pieni osa toteutettiin esteettöminä. Osittain purkamisen ansiosta ylimpiin kerrokseen voitiin tehdä kattoterasseja.

Ensimmäisen kerroksen sisäpihan puolen asunnoille rajattiin asuntopihat, joille johtaa porras parvekkeelta. Uusi julkisivun värikkyys kattoterassien, teräsrakenteiden ja parvekemuotojen kanssa aikaansaavat vanhasta reilusti poikkeavan ilmeen. Korkeammiksi jätetyt rakennukset rajaavat pääkatua, johon nähden poikkikatujen varrella olevat korttelin osat ovat pienimittakaavaisempia. Jalankulkuympäristö on pienimittakaavainen. Vihreä vaikutelma on sekä urbaani että puutarhakaupunkimainen. [23, s. 16–18 & 82–83.]



Kuvat 48 ja 49. Vasemmalla Ahrensfelder, Berliini, Saksa, ennen muutostöitä ja oikealla Ahrensfelder Terrassen muutostöiden jälkeen. Muutoksessa huomioitiin kestävän kehityksen mukaisesti niin toiminnalliset, taloudelliset, kulttuuriset kuin sosiaaliset arvotkin. Betonilähiöitä on pidetty kestävän kehityksen vastaisena kertarakentamista, mutta tämänkaltaiset uudistukset puhuvat voimakkaasti sitä vastaan. Muutoksen myötä lähiö sai myös uuden nimen "Ahrensfelderin terassit". [23, s. 83; 110.]

Kaupungin viherverkko muodostuu kaupungin kasvipeitteisistä viheralueista: puistoista, virkistysalueista, maisemanhoitoalueista ja katuvihreistä. Viherverkko yhdistää kaupungin viheralueet keskenään ja myös kytkee kaupungin ympäröiviin viheralueisiin. Viheralueet jäsentävät kaupunkikuvaa ja liittävät kaupungin rakennetut osat suurempaan maisemakokonaisuuteen. Asutuksen keskelle sijoitetut viheralueet ovat tärkeitä alueiden välisten yhteyksien muodostajia, tosin niiden toimivuus vaihtelee paljon rakennetun alueen luonteesta riippuen. Maankäytön suunnittelussa viheralueisiin suhtaudutaan usein modernistisen kaupunkisuunnitteluperiaatteen mukaisesti: niitä pidetään kaupungin vastakohtana sen sijaan, että ne olisivat harkittu osa kaupunkitilaa. Mikäli houkuttelevien ja aktiivisesti käytössä olevien viheralueiden asemaa vahvistettaisiin kaupunkirakenteessa ja hukkaviheralueille rakennettaisiin tavoitteellisemmin, hoidettujen viheralueiden arvo nousisi. Viherkatot voisivat korvata osan menetetyistä kaupunkien viheralueista, sillä

tiivillä kaupunkialueella mahdollisuudet rakentaa uusia viheralueita aiemmin menetettyjen tilalle ovat rajalliset. Erilliset hajanaisetkin viheralueet voivat toimia osana viherverkostoa, jolloin viherkatot, jotka eivät monestikaan liity suoraan muihin viheralueisiin, voivat olla arvokas osa kaupunkien elinympäristöä. [73, s. 63 & 80; 20, s. 26–27.]

Viherkatot ja -rakenteet vastaavat moneen haasteeseen, joita kohdataan erilaisten rakennusten ja rakennelmien saattamisessa ajanmukaiseen käyttökuuntoon ja -tarkoitukseen. Viherkaton avulla rakennus voidaan maisemoida kiinteäksi osaksi ympäristöään [2, s. 85]. Niiden avulla voidaan toteuttaa hankkeita kestävän kehityksen arvojen mukaisesti esimerkiksi kunnostamalla ei-toivotuista ympäristöistä haluttuja.



Kuva 50. New York High Line. High Line on puisto, joka on rakennettu entisen kaupunkijunalinjan paikalle käyttäen linjan jo olemassa olleita rakenteita hyödyksi. High Line myös kytkee tiiviisti rakennetun Manhattanin viheralueita toisiinsa. [111.]

4.12 Erilaisten viherkattojen soveltuvuus ja hyödyt tavoitteisiin nähden

Viherkatto voidaan suunnitella yhden hyötynäkökulman maksimoimiseksi, mutta tämän valitun arvon maksimointi saattaa tapahtua toisen kustannuksella tai monimutkaistaa

projektia ja lisätä kustannuksia [10, s. 24–25]. On tehtävä valintoja, ja mietittävä, mitä hyötyjä ensisijaisesti tavoitellaan, koska erilaisia hyötynäkökulmia on paljon. Halutaanko ensisijaisesti luoda viihtyisä oleskelualue, kaupunkiviljelmä vai tukea luonnon monimuotoisuutta? Kuinka suurta energiankulutuksen säästöä tavoitellaan ja minkälainen energiansäästötavoite on kyseisessä rakennuksessa Suomen olosuhteissa valitulla rakenneratkaisulla ylipäätään mahdollinen? Ollaanko valmiita panostamaan hankkeen laatuun kustannuksia kavahtamatta, jotta tavoiteltu käyttöikä saavutetaan? Jokainen viherkattohanke on erilainen ja sillä tulee olla projektikohtaiset tavoitteet, joiden perusteella voidaan tehdä myös tärkeät arvovalinnat.

Esimerkiksi saksalainen pitkän linjan viherkattoyritys Optigrün on tyypittänyt erilaisia viherrakennusratkaisuja ja esittänyt ratkaisuilleen mm. ekologisen arvon (*Liite 2*).

Simmons ym. [112, s. 347] ehdottavat erilaisia ekstensiivisiä viherrakenteita vertailevassa tieteellisessä artikkelissaan, että viherkatot tulisi variaatioiden määrän vuoksi aina suunnitella tapauskohtaisesti erityisiä toiminnallisuuksia, ei oletettuja toiminnallisuuksia tavoitellen. Erityiset toiminnallisuudet vaihtelevat mm. asiakkaan tarpeiden ja kohteen maantieteellisen sijainnin mukaan, joten suunnitteluprosessin alkuvaiheessa voidaan vielä arvioida viherkaton ja halutun viherrakenteen soveltuvuutta kohteeseen.

Taulukko 4. Erityyppisten viherkattojen etujen painotuksia [68, s. 15, mukailen]. Taulukon mukaan esimerkiksi ilmastonmuutosta parhaiten ehkäisee vähintään 75 mm kasvualueen puoli-intensiivinen tai intensiivinen rakenne. Näitä pidetään myös energiatehokkaimpina viherrakenteina. Kaupunkien lämpösaarekeilmiötä torjuu parhaiten intensiivinen rakenne. Luonnon monimuotoisuutta voidaan parhaiten tukea puoli-intensiivisellä rakenteilla.

VIHREYTYSTYYPPI	POTENTIAALINEN HYÖTY					Miellyttävyyden muotoisuus
	Ilmaston muutos	Rakennuksen energia-tehokkuus	Lämpösaareke-ilmaston lieventäminen	Eristävyys	Luonnon	
Intensiivinen	xx	xx	xxx	xxx	x	xxx (visuaalinen)
Ekstensiivinen (kasvillisuusmatto <40 mm)	x	x	x	x	x	x (visuaalinen)
Ekstensiivinen (perustettu kasvualusta >75 mm)	xx	xx	xx	xx	xxx	x (visuaalinen)
Virkistys	x	x	–	–	–	xxx (urheilu, leikki)

5 VIHERRAKENTAMISEN SUUNNITTELUN JA RAKENTAMISEN OHJAUS

5.1 Viherkattojen suunnittelussa huomioitavia asioita

Kun suunnitellaan viherkattoa, tulee rakennuksen ja kattorakenteen ominaisuudet määrittellä ja arvioida viherrakentamisen näkökulmasta. Analyysin pohjalta voi ilmetä erityistarpeita, jotta viherkattorakenteille voidaan luoda toteutusedellytykset. Joskus joudutaan myös sulkemaan pois tiettyjä viherrakennusratkaisuja. [5, s. 21.]

Viherkaton suunnittelu alkaa katon käyttötarkoituksen sekä siihen liittyvien toimintojen määrittelystä. Näistä määräytyy hoidon taso, jonka perusteella valitaan kasvillisuus. Tärkeä suunnittelun vaikuttava tekijä on, käytetäänkö kattoja oleskeluun: onko koko pinta-ala oleskelualueita, minkä tyyppistä, ovatko oleskelualueet rajattuja, sallitaanko myös yleisölle vapaa pääsy viherkattoon? Rakenne- ja vihersuunnittelu kulkevat rinnakkain: rakennesuunnittelussa määritellään kuormat, jotka viherrakenteeseen kasveineen saa aiheuttaa (esimerkiksi noin 65...1300 kg/m²) ja vihersuunnittelussa valitaan soveltuvat kasvit, luodaan sopivat kasvu- ja kosteusolosuhteet valituille kasveille sekä päätetään mahdollisesta kastelujärjestelmästä. Tämän jälkeen rakenne- ja vihersuunnittelija varmistavat kattorakenteen kokonaistoimivuuden yhdessä siten, että

- vesi poistuu hallittuja reittejä eikä vedeneristettä rasiteta millään ylimääräisellä rasituksella
- vedenpoisto ei pääse tukkeutumaan
- kasvien juuret eivät pääse missään olosuhteissa vahingoittamaan rakenteita
- kaikkien rakennekerrosten tehtävät ja toimivuus varmistetaan koko katon alueella ja
- kaikki rakennekerrokset kestävät niihin kohdistuvat kuormat (mukaan lukien tuulen imukuorma).

[21; 26, s. 2–4; 11, s. 5.]

Rakennekerrosten tulee kestää niihin kohdistuvat kuormat silloinkin, kun rakennekerrokset ovat veden kyllästämiä (ei-toivotulla tavalla). Tuulen imukuormaa vastaan on tehtävä sellaiset tekniset valinnat, ettei kasvualustan kosteustilanne ratkaise rakenteen toimivuutta kuormitustilanteessa.

Vesikaton suunnittelijan tulee tarkastella vesikaton kokonaistoimivuutta mahdollisimman laajasti, rakenteellisesti ja taloudellisesti. Vesikatoista tehdään sekä arkkitehti- että rakennesuunnitelmat. Suunnitelmat sisältävät tasopiirustukset, leikkaukset, rakenteet ja

niiden yksityiskohdat sekä työselostuksen, ja niistä tulee käydä ilmi seuraavat tekijät kattotyypistä ja katemateriaalista riippuen:

- rakenteen kantavuus
- vesikaton rakenne; rakennetyyppi, lämmöneristys ja sen kiinnitys, yläpohjan kosteudenhallinta ilman- ja höyrynsulkuineen sekä tuuletusjärjestelyt
- katon ja rakenteiden korkeusasemat ja katon kaltevuudet rakenteen taipumat huomioiden
- vedeneristys; sen käyttöluokka, katerakenteet, vedeneristyskermien tyypit ja sijainti, vedeneristyksen alusrakenne ja sen tartunta alustaan, mahdollinen paineentasaus, katteen kiinnitys sekä mahdollisen aluskatteen ja tarvikkeiden laatu
- vedenpoisto; veden virtausreitit katolla, kattokaivot, niiden tyypit ja sijainti, viemäröinti, syöksytorvet, räystäskourut, ulosheittäjät, katerakenteeseen liittyvien erikoiskatteiden (kuten lasikattojen) sulamisvesien hallinta, tulvareitit
- yksityiskohdat ja erilaiset läpiviennit; räystäsrakenne ja katteen liittäminen räystäsiin, katteen liitokset seiniin, ylösnostojen korkeudet vesikaton valmiista pinnasta, katteen liitokset vesikatolle johtavien ovien kynnyksiin, yläpohjan ilman- tai höyrynsulun liitokset rakenteisiin ja läpivienteihin sekä katteen läpiviennit (kattopollarit, kattoluukut, kattoikkunat, tuuletusputket, savunpoistoluukut, savupiiput, ilmanvaihtohormit sekä niiden sijainti, tiivistystapa ja materiaalit), kone- ja laitehuoneiden, ilmanvaihtohormien ja pysyvien kulkuteiden sijainti
- mahdolliset rakenteelliset ja katteen liikuntasaumamat
- työnaikainen sääsuojaus ja työskentelyn turvallisuus (kaiteet, työjärjestelyt, kulkutiet)
- laatuvaatimukset ja laadunvarmistusmenetelmät (tarkastukset ja kokeet)
- käyttö- ja huoltoturvallisuus
- rakenteiden korjausmahdollisuudet ja suunniteltu käyttöikä.

[113, s. 2; 95, s. 89 & 156; 25, s. 1; 114, s. 33–34; 115, s. 6; 116, s. 26; 55, s. 22; 117; 118, s. 6.]

Tavanomaisten vesikattojen suunnittelussa huomioitavien seikkojen lisäksi viherrakenteiden suunnitteluun liittyy seuraavia toiminnallisia vaatimuksia:

- putoamissuojaus (oleskelutilana toimivan viherkaton putoamissuojaus ja/tai viheralueiden ja teknisten järjestelmien vuosittaisia huoltotoimenpiteitä varten tarvittava putoamissuojaus)
- juurisuojaus
- vedeneristyksen suojaaminen ja juurisuojattu vedeneriste

- kalkkikiven syntyminen estäminen (vedenpoiston mahdollinen tukkeutuminen) ja vedenpoiston mitoitus siten, ettei mahdollisesti syntyvä kalkkikivi tuki sitä kokonaan
- vedenpoistomekanismit, kaivot ja käännetyssä rakenteessa salaojituskerros lämmöneristeiden alle sekä pintavesien poisto pintarakenteiden päältä
- viherrakenteen liittymät ja yksityiskohdat
- valitun kasvillisuuden suojaaminen päästöiltä
- viherrakenteen kestävyys, toimivuus ja mahdollinen ankkurointi tuulen imukuormia vastaan
- pintakerrokset käyttötarkoituksen mukaan
- mahdolliset tasauskerrokset tavoiteltujen pintakaltevuuksien saavuttamiseksi
- pintarakenteen ankkurointi
- palonkestävyys ja rakenteellinen palontorjunta
- liukumisen ja leikkauksen estäminen
- reuna-alueet
- oleskelutilat ja kulkualueet
- kalusteet
- puiden ja pensaiden tuenta.

[5, s. 27; 95, s. 156.]

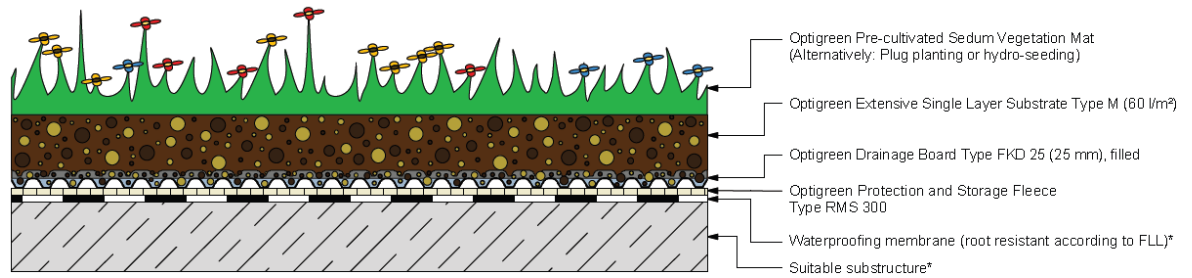
Viherrakenteiden suunnittelussa huomioidaan edellisten lisäksi seuraavat rakennekerrokset, ja niiden tehtäviä ovat:

- Kasvillisuus. Tavoiteperusteisesti valittu kasvillisuus vaikuttaa kaikkiin jäljempänä esitettyihin ratkaisuihin kuten myös useisiin eri suunnitteluvaiheisiin liittyviin ratkaisuihin.
- Kasvualusta (*substrate / vegetation support layer / vegetation support course*). Kasvualustalla luodaan edellytykset kasvien kasvulle ja sen on mahdollistettava juurten tunkeuma hyvin. Siinä on oltava tarvittavat fysikaaliset, kemikaaliset ja biologiset ominaisuudet ja sen on myös oltava rakenteellisesti vakaa, jotta se voi pidättää, imeä ja varastoida vettä samalla kuin se päästää lävitseen ylimääräisen veden salaojituskerrokseen. Kasvualustan täytyy olla myös vedellä kyllästettynä riittävän ilmava suunnitellulle kasvillisuudelle.
- Suodatinkerros (*filter layer / fleece*). Suodatinkerros on suunniteltu estämään hienon maa-aineksen huuhtoutumisen kasvualustasta salaojituskerrokseen, joka voisi haitata salaojituskerroksen veden läpäisevyyttä.

- Salaojituskerros (*drainage layer / drainage course*). Salaojituskerros varmistaa ylimääräisen veden poiston katon vedenpoitajärjestelmään. Käytetystä materiaalista riippuen salaojituskerros voi toimia myös veden varastointikerroksena ja toimia juurisuojana sen alapuolisille rakennekerroksille.
- Mekaaninen suojakerros (*protective course, protection layer*). Mekaaninen suojakerros toimii lisäsuojana vedeneristykselle ja juurisuojalle. Riippuen käytetystä materiaalista se voi toimia myös erotuskerroksena.
- Juurisuojaus: juurisuojakermi / -kalvo (*root-resistant membrane / sheeting*). Juurisuojakermin tulee toimia pysyvästi vedeneristyskerroksen suojana siten, etteivät kasvillisuuden juuristot voi vahingoittaa vedeneristystä.
- Erotuskerros (*separation layer*). Erotuskerros erottaa kemiallisesti yhteensopimattomat materiaalit toisistaan.
- Laakerointikerros (*anti-bonding layer*). Laakerikerros estää tai lieventää materiaalikerrokseen kohdistuvia voimia, kitkaa ja rasituksia siirtymästä ei-toivotulla tavalla toiseen materiaalikerrokseen.

[5, s. 41–42.]

Maisemoiduissa kattorakenteissa on useita eri tehtäviä hoitavia rakennekerroksia. Valittujen materiaalien tulee sopia keskenään käytettäväksi, eikä niissä saa olla kasveille haitallisia aineita. Rakennekerrosten tulee olla tarkoin harkittuja tehtävänsä: ylimääräisiä rakennekerroksia on mahdollisuuksien mukaan vältettävä. Rakennekerrosten oikealla yhdistelmällä taataan rakenteen kokonaistoimivuus. Riippuen valituista materiaaleista yksittäinen rakennekerros saattaa hoitaa useampaa tehtävää rakenteessa. Viherrakenne voi olla ns. yksikerroksinen (*single layer technique*), jolloin kasvualusta toimii sekä salaojitus- että suodatinkerroksena tai se voi olla ns. monikerroksinen (*multiple layer technique*), jolloin viherrakenteessa on erilliset salaojitus-, suodatin- ja kasvialustakerrokset tai siinä on salaojitus- ja kasvillisuuskerrokset joista toinen toimii myös suodatinkerroksena. Kaikissa rakennetyypeissä on oltava sekä juurisuojattu vedeneriste että mekaaninen suojakerros, joka suojaa vedeneristystä tai juurisuojakermiä. Rakenteen paksuus riippuu katon rakennetyypistä, eri rakennekerrokseen valituista rakennusmateriaaleista ja valitusta kasvillisuudesta. [5, s. 26 & 42 & 58.]

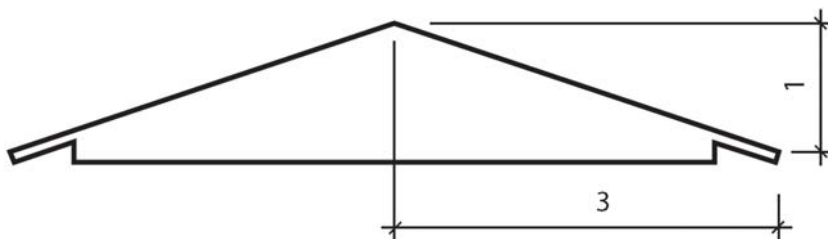


Kuva 51. Monet viherkattojen tuotetoimittajat esittävät rakenneratkaisuissaan ns. yksikerroksisen rakenteen sellaisena, että kasvualusta on omaa tyyppiään ja rakenteessa on salaojalevy. Vain suodatinkangas on jätetty rakenteista pois. Kuvassa Optigrünin ratkaisu loiville katoille.

Kasvualustan ja salaojituskerroksen mitoittamiseen vaikuttavat mm. valittu kasvillisuus, materiaalien ominaisuudet, katon kaltevuus, paikalliset ilmasto-olosuhteet sekä tavoiteltu veden läpäisevyyssyky. Mitä syvempi kasvualusta on, sen tärkeämpää on valita kasvualustan orgaaninen sisältö huolellisesti. Ns. yksikerroksisten materiaaliseoksesta tehtyjen viherrakenteiden minimisyvyys on 6 cm. Katon kaltevuuden on oltava riittävä ylimääräisen veden poistumisen varmistamiseksi. Mikäli katon kaltevuus on riittämätön tai kaatoalueet ovat liian suuria, valitaan paksumpi ja ilmavampi kasvualusta sekä paksumpi salaojituskerros kuin vastaavassa rakenteessa muuten valittaisiin. Erikoisjärjestelyiden tulee tukea sekä rakenteen että kasvillisuuden asettamia vaatimuksia. [5, s. 43.]

5.2 Kaltevuudet ja käyttökohteet

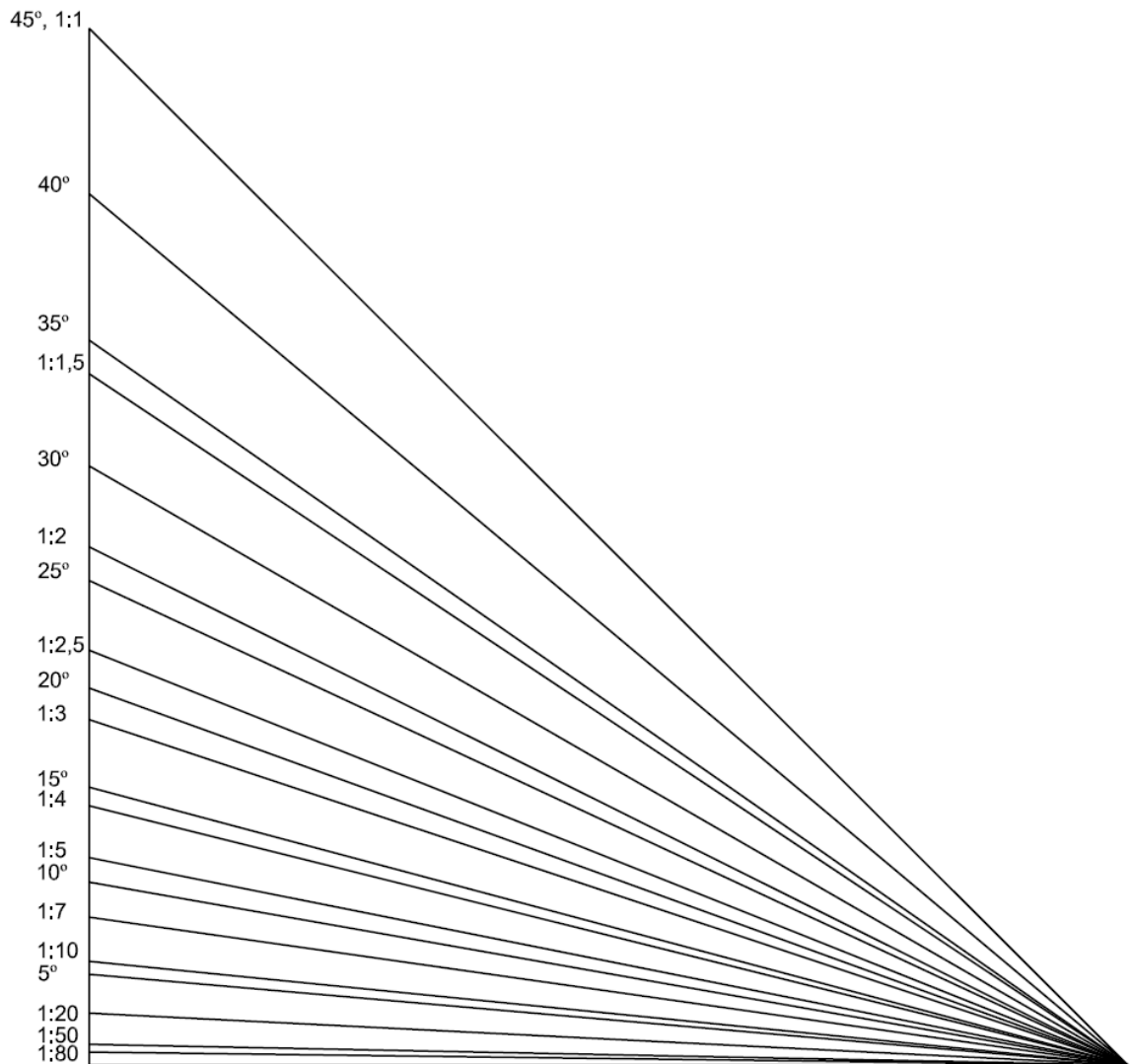
Kattokaltevuus voidaan ilmaista suhdelukuna, prosentteina tai astelukuna. Kattokaltevuutta valitessa on aina noudatettava katemateriaalien valmistajien ohjeita. Annettuja enimmäiskaltevuuksia ei saa ylittää tai vähimmäiskaltevuuksia alittaa. Luonnonlaeista johtuen katemateriaalin vähimmäiskaltevuuksia lähestyttäessä veden poistumisen mahdollisuudet suunnitellulla tavalla heikkenevät. Kaikilla materiaaleilla on rajansa millä kaltevuusalueilla niillä on mahdollisuudet toimia moitteettomasti. [114, s. 13.]



Kuva 52. Kattokaltevuuden ilmaiseminen suhdelukuna, joka tarkoittaa katon lappeen korkeuden suhdetta sen vaakasuoraan projektiin. Kaltevuussuhde 1:3 vastaa astelukua $18,43^\circ$ ja prosentteina kaltevuus on tällöin 33,3 %.

Taulukko 5. Kattokaltevuuksien eri ilmaisutapoja. Loivasta katosta puhutaan, kun katto on loivempi kuin 1:10. Vastaavasti jyrkästä katosta puhutaan, kun katto on jyrkempi kuin 1:10.

Kattokaltevuuksien eri ilmaisutapoja						
Katto- kaltevuus	Kaltevuus asteissa	kaltevuus prosentteina	Suhteellinen korkeus	Suhteellinen leveys	Lappeen pituus	Muuntokerroin
	asteet	%	katon lappeen suhteellinen korkeus	vaaka- suoran projektion leveys	lappeen pituus em. mitoilla	katon räystäslinjoista lasketaan katon ala vaakaprojektina ja tämä ala kerrotaan kaltevuuskertoimella = katon m ²
1 : 0,58	60,00	173,2 %	1	0,58	1,1547	2,0000
1 : 1	45,00	100,0 %	1	1	1,4142	1,4143
1 : 1,19	40,00	83,9 %	1	1,19	1,5557	1,3055
1 : 1,43	35,00	70,0 %	1	1,43	1,7434	1,2208
1 : 1,5	33,69	66,7 %	1	1,5	1,8028	1,2019
1 : 1,73	30,00	57,7 %	1	1,73	2,0000	1,1548
1 : 1,96	27,00	51,0 %	1	1,96	2,2027	1,1224
1 : 2	26,57	50,0 %	1	2	2,2361	1,1181
1 : 2,14	25,00	46,6 %	1	2,14	2,3662	1,1034
1 : 2,5	21,80	40,0 %	1	2,5	2,6926	1,0771
1 : 2,75	20,00	36,4 %	1	2,75	2,9238	1,0642
1 : 3	18,43	33,3 %	1	3	3,1623	1,0541
1 : 3,5	15,95	28,6 %	1	3,5	3,6401	1,0401
1 : 3,73	15,00	26,8 %	1	3,73	3,8637	1,0353
1 : 4	14,04	25,0 %	1	4	4,1231	1,0308
1 : 4,5	12,53	22,2 %	1	4,5	4,6098	1,0244
1 : 5	11,31	20,0 %	1	5	5,0990	1,0199
1 : 5,67	10,00	17,6 %	1	5,67	5,7588	1,0155
1 : 6	9,46	16,7 %	1	6	6,0828	1,0138
1 : 7	8,13	14,3 %	1	7	7,0711	1,0102
1 : 7,12	8,00	14,1 %	1	7,12	7,1853	1,0099
1 : 8	7,13	12,5 %	1	8	8,0623	1,0078
1 : 9	6,34	11,1 %	1	9	9,0554	1,0062
1 : 10	5,71	10,0 %	1	10	10,0499	1,0050
1 : 11,43	5,00	8,7 %	1	11,43	11,4737	1,0039
1 : 12	4,76	8,3 %	1	12	12,0416	1,0035
1 : 14,3	4,00	7,0 %	1	14,3	14,3356	1,0025
1 : 16	3,58	6,3 %	1	16	16,0312	1,0020
1 : 19,08	3,00	5,2 %	1	19,08	19,1073	1,0014
1 : 20	2,86	5,0 %	1	20	20,0250	1,0013
1 : 28,64	2,00	3,5 %	1	28,64	28,6537	1,0007
1 : 40	1,43	2,5 %	1	40	40,0125	1,0004
1 : 50	1,15	2,0 %	1	50	50,0100	1,0002
1 : 57,29	1,00	1,7 %	1	57,29	57,2987	1,0002
1 : 60	0,95	1,7 %	1	60	60,0083	1,0002
1 : 80	0,72	1,3 %	1	80	80,0062	1,0001
1 : 100	0,57	1,0 %	1	100	100,0050	1,0001



Kuva 53. Kattokaltevuuksia havainnollistettuna.

Viherkaton toiminnan kannalta kaltevuudella on erittäin suuri merkitys sekä rakenteellisista että kasvillisuuden näkökulmista [5, s. 21]. Kaltevuuden tulee olla vähintään sellainen, ettei katolla seiso vettä, jolloin kasvit eivät viihdy. Sopivimpana kaltevuutena viherkatolle pidetään 1:50...1:20. [46, s. 69.] Vähintään 1:50 (2 % / 1,15°) kaltevuus helpottaa salaojituksen toimivuutta ja minimoi seisovan veden määrää katolla [1, s. 14]. FLL:n mukaan alle 1:50 kaltevuuksia ei tule suunnitella. Mikäli tällaisia kuitenkin suunniteltaisiin, tarvitaan loivemmillä viherkatoilla erityistoimenpiteitä sekä vedenpoistoon että salaojitukseen. Myös kasvualustan tulee olla riittävän paksu ja sen tulee pystyä käsittelemään vettä tehokkaasti. Vaatimus koskee myös yksittäisiä alueita viherkatoilla. Toimenpiteiden vaikuttavuus katsotaan kuitenkin hyvin rajalliseksi. Alle 1:50 kaltevuus erityisesti ekstensiivisissä rakenteissa katsotaan jatkuvasti märeksi, sillä se aiheuttaa lammikoitumista kasvualustaan. Tästä voi aiheutua kasvikuolemia, kasvillisuuden muutoksia sekä ei-toivottujen lajien lisääntymistä katolla. Karuissa olosuhteissa viihtyvien

kasvilajien, jotka hyödyntävät vähän vettä, minimikaltevuutena tulisi FLL:n mukaan käyttää 1:20. Minimikaltevuus koskee myös monikerroksisia rakenteita, joissa on korkea vedenpidätyskapasiteetti ja heikko salaojitus. FLL:n mukaan loivempia intensiivisiä rakenteita voitaisiin kuitenkin suunnitella kastelu- ja kosteuden sitomismenetelmistä riippuen [5, s. 21–22]. RT 85-10709 *Kansi- ja kattopuutarhat sekä viherkatot* mukaan vähimmäiskaltevuus pihakansilla (intensiiviset rakenteet) on 1:80...1:20 (0,72...2,86° / 1,25...5 %).

Yleissääntönä voidaan hyvin karkealla tasolla pitää, että katolla on oltava kallistusta vähintään noin 1:30 (noin 3,5 % tai 2°) rakennettaessa ohutrakenteinen viherkatto, jossa on matala salaojitus- ja maakerros [119, s. 12]. Olennainen tekninen vaatimus on, ettei loivempia kattoja kuin 1:80 (1,3 % / 0,72°) suunnitella missään olosuhteissa uudis- eikä korjausrakentamisessa [95, s. 92]. Loivilla katoilla kaltevuus vaikuttaa veden pidätyskykyyn ja käännettynä veden poistumiskykyyn. Wanwoertin ym. (2006) mukaan 1:50 (2 %) kallistettu 4 cm kasvualustakerroksella varustettu katto pidatti keskimäärin 70,7 % sadeveden määrästä kun noin 1:16 (6,5 %) kallistettu vastaavalla kasvualustakerroksella varustettu katto pidatti 65,9 % sademäärästä [120, s. 1041]. Käänteisesti tästä voidaan olettaa, että katon kaltevuuden 3,25 kertaistuessa veden poistuminen tehostuu noin 7,3 % (1 % lisäkallistus tehostaa veden poistumista 1,6 %).

Myös maksimikaltevuuksia lähestyttäessä tarvittavista ja käytettävissä olevista menetelmistä on näkemuseroja. Portlandin ekokattojen yleisohjeessa todetaan, että katon kaltevuuden ylittäessä 1:5 (20 % / 11,31°) tarvitaan maa-aineksen stabilointimenetelmiä [1, s. 14]. Dunnetin ja Kingsburyn [2, s. 95–96] sekä Luckettin [80, s. 84] mukaan on epäviisasta suunnitella jyrkempiä viherkattoja kuin 1:6 (9,5° / 17 % / 2:12) ilman erityisiä stabilisointitoimenpiteitä, sillä keskeisin ongelma jyrkissä viherkatoissa on liukuminen. Liukumista ja painumista voidaan ehkäistä käyttämällä hihnasidontaa, rimoja, listoja ja ristikoita. Näiden menetelmien avulla voidaan saavuttaa maksimissaan noin 1:1,7 (30° / 58 % / 7:12) kaltevuus. Maksimikaltevuus on aina riippuvainen keskenään pienimmän kitkakertoimen omaavista päällekkäisistä materiaaleista rakenteessa (esimerkiksi kuitukangas-vedeneriste tai vedeneriste-vedeneriste); rakenteeseen kun tyypillisesti tulee juurisoja ja salaojitustuote. RT 85-10709 *Kansi- ja kattopuutarhat sekä viherkatot* mukaan kaltevuuden ollessa yli 1:3 viherrakenteen paikallaan pysyminen on varmistettava mekaanisella tuella ja kiinnityksellä [26, s. 4]. FLL:n mukaan rakenteelliset suojaus-, kiinnitys ja tuentamenetelmät huomioiden yli 1:1 (45° / 100 %) kaltevuuksia ei tule käyttää rakenteellisten ja kasvillisuuden kanssa ilmenneiden ongelmien vuoksi [5, s. 22].

Taulukko 6. Minimi- ja maksimikaltevuudet Norjan rakennustekniikan tutkimuslaitoksen Byggforsk:n mukaan [121, s. 78, mukaillen]. Turvekaton kaltevuudeksi on määritelty 20–27° (1:2,75...n.1:2).

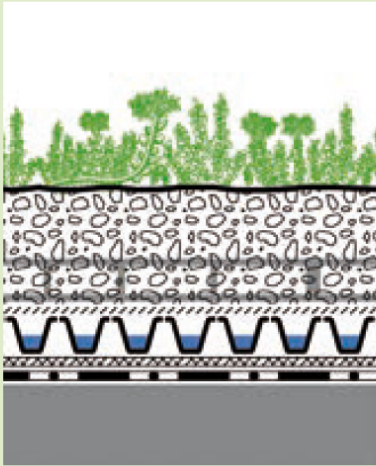
Kate	Suosittelut vähimmäis- kaltevuus	Aluskatetta koskevat vaatimukset	Arvioitu kaltevuus, jolloin lumivyöryn vaara	Kommentit
Betonikattotiilet pintakäsittelyllä tai	22° (n. 1:2,5)	Bitumikermi vaativissa olosuhteissa	14° (n. 1:4)	
Betonikattotiilet, karhea pinta	22° (n. 1:2,5)	Bitumikermi vaativissa olosuhteissa	29° (n. 1:1,8)	
Kattotiili, käsittelemätön pinta	22° (n. 1:2,5)	Bitumikermi	14° (n. 1:4)	Oltava dokumentoidusti pakkasenkestävä
Kattotiili, lasitettu pinta	22° (n. 1:2,5)	Bitumikermi vaativissa olosuhteissa	3° (n. 1:20)	Oltava dokumentoidusti pakkasenkestävä
Liuskekivi	22° (n. 1:2,5)	Bitumikermi	14° (n. 1:4)	Vaatii jäykät ruoheet, jokainen kivi naulattu
Kattolevytys	22° (n. 1:2,5)	Bitumikermi vaativissa olosuhteissa	27° (n. 1:2)	Paloturvallisuus voi rajoittaa käyttöä
Saumattu katto, teräs	10° (n. 1:5,7)	Bitumikermi	3° (n. 1:20)	Reunat altistuvat korroosiolle ja mekaanisille vaurioille
Saumattu katto, alumiini	10° (n. 1:5,7)	Bitumikermi	3° (n. 1:20)	Vaurioaltis voimakkaiden happojen ja emästen suhteen sekä kuparikatettujen pintojen valumavesille
Saumattu katto, kupari	10° (n. 1:5,7)	Bitumikermi	3° (n. 1:20)	Valumavesiä ei saa johtaa alumiinipinnoille
Saumattu katto, titaanisinkki	10° (n. 1:5,7)	Bitumikermi	3° (n. 1:20)	Vaurioaltis voimakkaiden happojen ja emästen suhteen
Muotolevykatto, suuret metallilevyt	10° (n. 1:5,7)	Bitumikermi tai yksinkertainen	3° (n. 1:20)	Naarmut ja saumausrheet aiheuttavat korroosiota
Muotolevykatto, pienet metallilevyt	15° (n. 1:3,7)	Bitumikermi tai yksinkertainen	2° (n. 1:29)	Naarmut ja saumausrheet aiheuttavat korroosiota
Muotolevykatto, karheapintainen metallilevy	15° (n. 1:3,7)	Bitumikermi tai yksinkertainen aluskate	29° (n. 1:1,8)	Naarmut ja saumausrheet aiheuttavat korroosiota
Bitumikermi	1:40	Vaatii jäykän alustan tai jäykän eristeen alustaksi	29° (n. 1:1,8)	Yksikerroskate erityisen altis mekaanisille vaurioille
Bitumikermi, pintasirotteella	1:40	Vaatii jäykän alustan tai jäykän eristeen alustaksi	14° (n. 1:4)	Yksikerroskate erityisen altis mekaanisille vaurioille
Paanukatto	18° (n. 1:3,1)	Vaippa ja alusrakenne varustetaan liukukerroksella	29° (n. 1:1,8)	Voidaan asentaa vain tuulettuvan kattorakenteen päälle, edellyttää ilmatiivistä jyrkkää kattorakennetta
Kalvomainen vedeneriste	1:40	Vaatii jäykän alustan tai jäykän eristeen alustaksi	14° (n. 1:4)	Altis mekaanisille vaurioille
Lasikatto	30° (n. 1:1,7)	Salaojitettu profiilijärjestelmä	0°	Varmista lämpövirrat ja salaojitus
Turvekatto max 27° (n. 1:2)	20° (n. 1:2)	Vaatii yhtenäisen erikoisaluskatteen höyrynsulukuksi	ei sovelleta >27° (n. 1:2)	Vältä kattoikkunoita ja läpivientejä, paloturvallisuus voi rajoittaa käyttöä

Turvekatoille tarkoitettujen valmissäkkien norjalaisvalmistaja ohjeistaa tekemään puukehikon yli 1:1,7 (noin 30°) turvekatoille turvesäkkien ja turpeen valumisen estämiseksi. Kuitenkaan Norjan rakennustekniikan tutkimuslaitoksen Byggforskin mukaan edellä esitetyn taulukon mukaan turvekattoja ei tulisi tehdä yli 30° katoille; maksimikaltevuus on 27° eli noin 1:2. Asennustapaa ei ole suositeltavaa toteuttaa Suomessa: pitkäaikainen kosteus altistaa aina puun sinistäjäsiemenille, homeille ja lahottajille [122]. Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan *B10 Puurakenteet* ohjeen mukaan (2001) lahontorjunnassa pyritään kostumisen estämiseen, kuivumisen varmistamiseen ja muiden lahoamista edistävien tekijöiden rajoittamiseen [123, s. 13]. Voimassa olevan, tosin jo huomattavan iäkkään, suomalaisen RT 852.3 *Kate, turve* mukaan katon kaltevuus ei saa ylittää 1:3 (20°) katteessa olevien multa- tms. ainesten estämiseksi kasautumasta liian suuressa määrin lappeen alaosiin eikä alittaa 1:10 (6°) riittävän veden juoksun varmistamiseksi [124, s. 1]. Myös Katepal Oy:n mukaan turvekaton sopivin kaltevuus on 1:3–1:10; jyrkemmissä katoissa kuin 1:3 ongelmaksi tulee turpeen pysyminen valumatta sekä mahdollisen salaojitussingelin valuminen alaräystäälle työn aikana. Joissakin projekteissa on myös tullut esiin, että tukirakenteesta huolimatta turve valuu säkkien sisällä vaikka säkit sinällään pysyisivätkin paikoillaan, eikä rakojen tilkintä irtoturpeella onnistu turpeen valuessa katolta pois [125].

Viherkattoratkaisu maksaruohomatto :

Ominaisuudet:

- Ekologinen suojakerros pelkän sorakatteeseen sijasta.
- Vaatii vain vähän hoitoa ja huoltoa.
- Sopii katoille, joille vesi ei jää seisomaan ja joiden kaltevuuskulma on enintään 8°.



Taimia FB 50 "Maksaruohomatto" 16 kpl/m² tai pistokkaita "Maksaruohomatto" 60 g/m²

Kasvialusta "Maksaruohomatto" noin 60 mm*

Fallnet® (tarvittaessa, huom. painolasti)

Suodatinkangas SF

Floradrain® FD 25-E

Suojamatto SSM 45

Juurimatto WSF 40, jos vesieristys ei ole juurisuojattu

* Voi olla ohuempi, jos sademäärä on riittävä.

Kuva 54. ZinCo ohjeistaa, että maksaruohokaton jyrkin suositeltava kaltevuus on 8° (n. 1:7 / 12,5 %) [119, s. 9].

Yhteenvedona voitaneen todeta, että alin mitoitettava kaltevuus intensiivisissä rakenteissa, joissa viherrakennekerrokset (erityisesti paksu kasvialusta) kykenevät sitomaan merkittävän määrän vettä kasvillisuuden käyttötarpeisiin, on 1:80. Rakenteiden suunnittelun näkökulmasta on melko vähäinen merkitys sillä, onko kaltevuus 1:50 vai

1:80. Siksi aina kun mahdollista, tulisi tavoiteltavan kaltevuuden olla 1:50 tai jyrkempi, jotta vesien juoksutus vedenpoistojärjestelmään ja kasvien menestymismahdollisuudet paranevat. Ekstensiivisissä ohuiden kasvualustojen katoilla minimikaltevuus on aina 1:50, ja karujen olosuhteiden kasvillisuutta käytettäessä 1:20. Rakenteellisen tuennan erityistoimenpiteitä ei tarvita katon kaltevuuden ollessa 1:6 tai loivempi. Kaltevuusvälillä 1:6...1:3 viherrakenteen ja -rakennekerrosten paikallaan pysyminen varmistetaan rakenteellisin menetelmin. Kaltevuusvälillä 1:3...1:2 riskit kasvavat tästäkin merkittävästi, ja turvallisena ylärajana kaikki menetelmät huomioiden voidaan pitää 1:2. Yli 1:1 rakenteita ei tule suunnitella. Liukumisen, leikkausvoimien ja eroosion vastustamistoimenpiteitä on käsitelty luvussa *5.8 Kasvualusta*.

5.3 Rakenteiden mitoitus

5.3.1 Suunnittelukuormat

Viherkatoilla suunnittelukuormat ovat oleellisin rajaava tekijä lähdettäessä valitsemaan viherrakenteen tyyppiä ja rakennetta – suunnittelukuormat voivat vaihdella merkittävästi. Kattovihreytysratkaisuissa rakenteen paino huomioidaan kantavien rakenteiden suunnittelussa, joten vihersuunnittelun pääkohtien on oltava valmiit ennen rakennesuunnittelua mikäli rakenteiden kantavuus ja käytettävät materiaalit eivät saa rajoittaa toteutettavaa viherrakennetta. Vastaavasti rakennesuunnittelun tuloksena voidaan asettaa reunaehdot valittavissa olevalle viherrakenteelle. Kun rakennetyyppi on valittu, kaikkien rakennekerrosten vaikutus rakenteiden kuormiin tulee arvioida eri katon osilla maksimivedenpidätyskapasiteetti huomioituna. Suunnittelukuormissa huomioidaan kuormitukset eri katon osilla kattovihreytys mukaan lukien. Myös pistekuormat, kuten esimerkiksi pergolat ja vesiaiheet, lasketaan. Raskaimmat istutukset voidaan sijoittaa kantavien rakenteiden, kuten pilarien päälle. Isojen istutusten (kuten puiden) kuormat määritetään täysikasvuisen kasvillisuuden mukaisesti. Mikäli katolla on oleskelutiloja, rakennesuunnittelussa määritetään suurin sallittu oleskelukuorma. Rakennekerroksissa käytettävien materiaalien puristuslujuus tulee määrittää suurimman pistekuorman mukaisesti. [5, s. 24; 28; 21, s. 112; 20, s. 91.]

Lumikuormat mitoitetaan normaalisti, ja niihin lisätään kasvillisuuden lunta sitova ja kasaava vaikutus [26, s. 4].

Seuraavissa taulukoissa on esitetty eri materiaalien ja rakennekerrosten aiheuttamia kuormia FLL:n mukaan.

Taulukko 7. Kasvualustojen suunnittelukuormia vedenpidätyskapasiteetin maksimiarvoilla ja keskimääräisiä veden varastointimääriä [5, s. 86, mukailten]. Arvot on tarkasteltava projekteittain toimittajakohtaisesti, sillä ne saattavat poiketa oleellisesti taulukossa esitetyistä.

Kasvualustaryhmä	Kuorma per 1 cm kasvualustaa		Keskimääräinen vedenpidätys- kapasiteetti per 1 cm kasvualustaa
	KN/m ²	kg/m ²	l/m ²
Kasvualustatyyppi			
Intensiivisen viherrakenteen kasvualusta			
Multa-/kivennäispitoinen kasvialustaseos	0,16 - 0,19	16,0 - 19,0	3,0
Multa-/vaahtomuovi kasvialustaseos	0,13 - 0,15	13,0 - 15,0	2,5
Multa-/orgaaninen aines kasvialustaseos	0,15 - 0,17	15,0 - 17,0	3,5
Turve-/kivennäispitoinen kasvialustaseos	0,11 - 0,12	11,0 - 12,0	7,5
Komposti-/kivennäispitoinen kasvialustaseos	0,11 - 0,13	11,0 - 13,0	6,5
Ekstensiivisen viherrakenteen kasvialusta			
Laava kasvialustaseos	0,145 - 0,165	14,5 - 16,5	4,4
Laava/hohkakivi kasvialustaseos	0,125 - 0,130	12,5 - 13,0	4,2
Laava/hohkakivi/dolomiitti kasvialustaseos	0,145 - 0,165	14,5 - 16,5	3,9
Laava/hohkakivi/tuhkakivi kasvialustaseos	0,145 - 0,165	14,5 - 16,5	4,7
Hiekka/laava kasvialustaseos	0,160 - 0,175	16,0 - 17,5	5,0
Kevytsora kasvialustaseos	0,100 - 0,130	10,0 - 13,0	4,9
Paisutettu savi kasvialustaseos	0,110 - 0,130	11,0 - 13,0	4,9
Tiilimurske kasvialustaseos	0,130 - 0,160	13,0 - 16,0	3,9
Liuskekuona kasvialustaseos	0,140 - 0,150	14,0 - 15,0	4,2
Louhintakuona kasvialustaseos	0,140 - 0,150	14,0 - 15,0	3,1
Yksikerroksisen viherrakenteen kasvialustat (intensiiviselle ja ekstensiiviselle)			
Laava kasvialustaseos	0,115 - 0,135	11,5 - 13,5	1,7
Hohkakivi kasvialustaseos	0,075 - 0,095	7,5 - 9,5	3,5
Laava/hohkakivi kasvialustaseos	0,120 - 0,130	12,0 - 13,0	2,6
Laava/hohkakivi/tuhkakivi kasvialustaseos	0,130 - 0,150	13,0 - 15,0	2,8
Kevytsora kasvialustaseos	0,060 - 0,070	6,0 - 7,0	2,3
Paisutettu savi kasvialustaseos	0,080 - 0,100	8,0 - 10,0	2,3
Kevyt mineraali / hohkakivi kasvialustaseos	0,085 - 0,100	8,5 - 10,0	3,3
Kevyt savi kasvialustaseos	0,080 - 0,085	8,0 - 8,5	4,1
Tiilimurske kasvialustaseos	0,115 - 0,135	11,5 - 13,5	2,4
Liuskekuona kasvialustaseos	0,115 - 0,135	11,5 - 13,5	4,0
Louhintakuona kasvialustaseos	0,130 - 0,150	13,0 - 15,0	2,5

Taulukko 8. Kasvualustan runkoaineiden, mattojen, salaojituslevyjen ja suojakerrosten suunnittelukuormia vedenpidätyskapasiteetin maksimiarvoilla ja keskimääräisiä veden varastointimääriä [5, s. 85, mukaillen]. Arvot on tarkasteltava projekteittain toimittajakohtaisesti, sillä ne saattavat poiketa oleellisestikin taulukossa esitetyistä.

Materiaaliryhmä Materiaalityyppi	Raekoko mm	Kuorma per 1 cm		Keskimääräinen vedenpidätyskapasiteetti per 1 cm, l/m ²
		KN/m ²	kg/m ²	
Kivennäisrunkoaineet				
Laava	2/8 - 2/12	0,12 - 0,14	12,0 - 14,0	2,6
Laava	4/8 - 4/12	0,11 - 0,12	11,0 - 12,0	2,0
Laava	8/12 - 8/16	0,10 - 0,14	10,0 - 14,0	1,5
Hohkakivi	2/8 - 2/12	0,08 - 0,10	8,0 - 10,0	3,8
Hohkakivi	8/16 - 8/20	0,11 - 0,12	11,0 - 12,0	2,7
Kevytsora, murskattu	2/8 - 2/10	0,05 - 0,07	5,0 - 7,0	2,4
Kevytsora, murskattu	4/8 - 4/10	0,06 - 0,08	6,0 - 8,0	2,5
Kevytsora, murskaamaton	4/8	0,06 - 0,08	6,0 - 8,0	1,4
Kevytsora, murskaamaton	8/16	0,05 - 0,07	5,0 - 7,0	1,0
Paisutettu savi, murskattu	2/8 - 2/10	0,08 - 0,10	8,0 - 10,0	2,3
Paisutettu savi, murskattu	4/8 - 4/10	0,07 - 0,08	7,0 - 8,0	1,3
Murskattu tiili	4/8	0,12 - 0,14	12,0 - 14,0	2,3
Kierrätetty tiili	4/8	0,13 - 0,15	13,0 - 15,0	2,3
Murskatut kattotiilet	4/8	0,13 - 0,15	13,0 - 15,0	1,1
Basalttisora	2/8	0,15 - 0,17	15,0 - 17,0	0,7
Dolomiittisora	5/8	0,15 - 0,16	15,0 - 16,0	0,7
Graniittisora	5/8	0,14 - 0,15	14,0 - 15,0	2,0
Tuhkakivi	2/8 - 2/12	0,11 - 0,12	11,0 - 12,0	2,6
Sora	2/8	0,16 - 0,17	16,0 - 17,0	0,9
Sora	8/16	0,16 - 0,18	16,0 - 18,0	0,8
Sora	16/32	0,16 - 0,18	16,0 - 18,0	0,6
Salaojamatot				
Strukturoitu nukkamatto	10,0	0,050 - 0,070	5,0 - 7,0	5,0
Muovinen nappulamatto	12,0	0,019 - 0,021	1,9 - 2,1	0,4
Kuitukangasmatto	15,0	0,008 - 0,019	0,8 - 1,9	0,4
Kuitukangasmatto	22,0	0,022 - 0,023	2,2 - 2,3	1,2
Salaojituslevyt				
Muotoiltu kovamuovilevy	25,0	0,050 - 0,070	4,0 - 5,0	3,1
Muotoiltu kovamuovilevy	40,0	0,019 - 0,021	6,0 - 7,0	4,4
Muotoiltu kovamuovilevy	60,0	0,008 - 0,019	2,5 - 26,0	24,5
Muotoiltu vaahtomuovilevy	50,0	0,022 - 0,023	2,0 - 3,0	2,1
Muotoiltu vaahtomuovilevy	75,0	0,050 - 0,070	3,0 - 4,0	2,0
Lämmöneristyslevy, salaojittava	65,0	0,019 - 0,021	4,0 - 5,0	3,0
Lämmöneristyslevy, salaojittava	120,0	0,008 - 0,019	5,0 - 6,0	3,0
Salaojitus- ja kasvualustalevyt				
Muotoillut vaahtomuovilevyt	36,0	0,050 - 0,070	5,0 - 6,0	18,6
Suojakerrokset				
Suojahuopamatto 300 g/m ²	3,0	0,008 - 0,019	2,5 - 3,5	2,7
Suojahuopamatto 500 g/m ²	5,0	0,022 - 0,023	5,0 - 6,0	4,5
Suojahuopamatto 800 g/m ²	8,0	0,050 - 0,070	6,5 - 7,5	5,9
Huokoinen suojalevy	10,0	0,019 - 0,021	18,0 - 19,0	1,1
Nappulapintainen suojalevy	20,0	0,008 - 0,019	11,0 - 13,0	0,5

Taulukko 9. Kasvualustalevyjen, kasvillisuusmattojen ja veden varastointikerrosten suunnittelukuormia vedenpidätyskapasiteetin maksimiarvoilla ja keskimääräisiä veden varastointimääriä [5, s. 87, mukaillen]. Arvot on tarkasteltava projekteittain toimittajakohtaisesti, sillä ne saattavat poiketa oleellisestikin taulukossa esitetyistä.

Materiaaliryhmä Materiaalityyppi	Paksuus cm	Kuorma per 1 cm		Keskimääräinen vedenpidätyskapasiteetti per 1 cm, l/m ²
		KN/m ²	kg/m ²	
Kasvualustalevyt				
Muotoiltu vaahtomuovilevy	3,0	0,23 - 0,25	23,0 - 25,0	18,6
Laminoitu vaahtomuovilevy	5,0	0,31 - 0,33	31,0 - 33,0	31,9
Mineraalivillalevyt	6,0	0,65 - 0,68	65,0 - 68,0	35,0
Kasvillisuusmatot (sis.kasvillisuus)				
Kudosvahvistettu matto	2,0	0,280 - 0,300	28,0 - 30,0	13,5
Kudosvahvistettu huopamatto	3,0	0,370 - 0,395	37,0 - 39,5	17,4
Luonnonkuitumatto	2,0	0,210 - 0,230	21,0 - 23,0	11,0
Huopamatto	3,0	0,260 - 0,280	26,0 - 28,0	24,1
Ruohoturvematto	2,5	0,380 - 0,420	38,0 - 42,0	16,3
Siemenmatot				
Laminoitu siemenmatto	3,0	0,270 - 0,280	27,0 - 28,0	26,0
Veden varastointikerrokset				
Varastointihuopa 1200 g/m ²	1,0	0,095 - 0,105	9,5 - 10,5	9,0
Varastointihuopa 1200 g/m ²	2,0	0,160 - 0,170	16,0 - 17,0	15,1
Mineraalivillamatto	2,5	0,230 - 0,250	23,0 - 25,0	23,4
Mineraalivillamatto	5,0	0,420 - 0,440	42,0 - 44,0	40,0
Laminoitu vaahtomuovilevy	2,0	0,150 - 0,160	15,0 - 16,0	12,8

Taulukko 10. Kasvillisuuden suunnittelukuormia [5, s. 88, mukaillen]. Arvot ovat viitteellisiä, ja suunnittelukuorma voi poiketa riippuen valitusta kasvillisuudesta (esimerkiksi puut). FLL:n ohjeesta ei käy ilmi, ovatko kuormat ns. märkäpainoja vai esimerkiksi normaaleissa kosteusolosuhteissa toteutuvia kuormia.

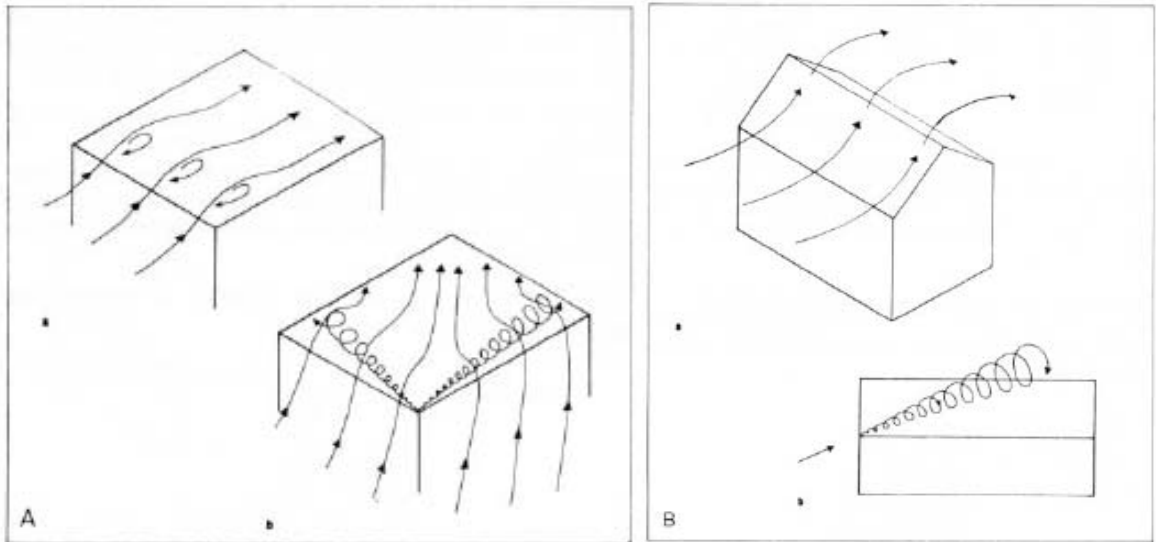
Kasvillisuus	Suunnittelukuorma	
	KN/m ²	kg/m ²
Ekstensiivinen kasvillisuus		
Sammal-sedum -kasvillisuus	0,1	10
Sedum-sammal-ruohokasvillisuus	0,1	10
Sedum-ruoho-nurmikasvillisuus	0,1	10
Nurmi-ruohokasvillisuus (kuiva nurmi)	0,1	10
Puoli-intensiivinen kasvillisuus		
Nurmi-ruohokasvillisuus (nurmikatto, matala niitty)	0,150	15
Villi perenna-pensaskasvillisuus	0,100	10
Pensas-perennakasvillisuus	0,150	15
Pensaskasvillisuus (150 cm saakka)	0,200	20
Intensiivinen kasvillisuus		
Nurmikko	0,050	5
Matalat perennat ja pensaat	0,100	10
Perennat ja pensaat yli 150 cm	0,200	20
Keskisuuret pensaat 3 m saakka	0,300	30
Suuret pensaat 6 m saakka	0,400	40
Pienet puut 10 m saakka	0,600	60
Puut 15 m saakka	1,500	150

5.3.2 Tuulikuormat

Tuuli voi aiheuttaa katolla sekä positiivista että negatiivista painetta. Tuuli voi aiheuttaa kaikenlaisia vahinkoja katoilla niin rakennusaikana kuin katon valmistuttuakin. Merkittävimpiä vahinkoja aiheuttaa yleensä tuulen imukuorma (negatiivinen paine), joka voi vetää mukanaan katon rakennekerroksia aiheuttaen merkittäviä materiaalivahinkoja. Päädyt, kulmat ja reuna-alueet ovat yleensä erityisen alttiita tuulen aiheuttamille vahingoille. [5, s. 35.] Ilmiöön liittyy myös vakava henkilövahinkojen vaara tuulten viemien kappaleiden ja materiaalien lentäessä esimerkiksi maahan.

Vedeneristeinä käytettävät kumibitumikermit kiinnitetään katolla mekaanisesti. Tuuli aiheuttaa sekä tuulenpainekuormaa että imukuormaa katolle. Yleensä imukuorma on katteen kannalta suurempi rasitustekijä kuin tuulenpaine. Mitoituksessa selvitetään rakenteen heikoin ja rasitetuin kohta. Ns. normaali imualue on ≥ 2 m räystäslinjasta katon keskiosaan päin, jolla suositellaan loivilla kermikatoilla käytettäväksi vähintään 2 kiinnikettä / kattom², ellei tuulikuormalaskelma edellytä suurempaa kiinniketiheyttä. Reuna- ja nurkka-alueiden kiinniketiheys on vähintään 4 kpl/m², ja ne mitoitetään erikseen. Pohjoismaissa voidaan käytännössä käyttää vain parhaiten korroosiota kestäviä KLA-luokan kiinnikkeitä. [115, s. 15; 126, s. 54; 75; 114, s. 71.]

Myrskytuhojen välttämiseksi räystäiden, kattojen, julkisivujen, kiinnitysten ja lasitusten lujutta tuulikuormia vastaan olisi parannettava tuulisilla tonteilla nykyisiin normeihin ja käytäntöihin verrattuna arviolta 20–30 %. Rakennuksen kattopintojen reuna-alueet ja nurkat noin 0,5 m leveydeltä ovat erityisen alttiita tuulen painevaikutuksille. Erittäin loivalla katolla vallitsee yleensä alipaine ja esiintyy erilaisia turbulensseja. Tuulenpaine muuttuu alipaineisesta ylipaineiseksi katon kaltevuuskulman kasvaessa. Kaltevuuksilla 1:4...1:2,6 (noin 14–21°) voi esiintyä sekä positiivista että negatiivista kuormitusta. Harjakaton kaltevuuden ollessa alle 30° tuulen painevaikutukset ovat pienimmillään. Pulpettikattoa vetää alipaine kaltevuuskulmalla 0...1:3,7 (noin 0–15°). Katon kaltevuuden ollessa 1:3,7 (15°) tai jyrkempi aiheutuu jonkin verran ylipainetta katon keskelle, ja katon kaltevuuden ollessa 1:2,1 (noin 25°) yli- ja alipainevoimat jakautuvat säännönmukaisesti. Suositeltava kaltevuus tuulen kannalta on 1:2,6...1:3,7 (noin 15–21°). Kattokaltevuuksia koskevia tarkkoja sääntöjä ei voida esittää, koska tuulivoimien jakaantumiseen ja syntymiseen vaikuttavat myös esimerkiksi vesikaton alapuolisen rakennusosan korkeus ja yksityiskohdat, pinnankarkeuden vaihtelut sekä naapurirakennusten, -rakenteiden ja ympäristön kasvillisuuden aiheuttamat ilmavirrat. [55, s. 12; 98, s. 159.]



Kuva 55. Virtauksen kulku tasakatolla (A) ja harjakatolla (B) [55, s. 12].

Suomalaisen RT-ohjeen *Kansi- ja kattopuutarhat sekä viherkatot* mukaan tavanomaisissa tuulioiloissa katon reuna-alueen kasvualusta voidaan suojata tuulieroosiota vastaan singelikerroksella [26, s. 4]. Tuulieroosio on ilmiö, joka ilmenee kasvualustamateriaalin liikkumisena katolla ja voi aiheuttaa kasvivahinkoja. Kasvualustan tuulieroosion lisäksi on tarkasteltava myös esimerkiksi vedeneristeen, salaojituslevyn ja suodatinkankaan kiinnitys (lisäkuormitustarve) tuulen imukuormaa vastaan: jatkuva vedeneriste voidaan kiinnittää mekaanisesti rakenteisiin piilosaumasta, mutta vedeneristeen läpi ei tule kiinnittää mitään mekaanisesti, vaan turvallisoin tapa vedeneristeen ehjänä säilyttämiseksi on lisätä kuormaa esimerkiksi kattosingelillä. Kuormitustapaukset tuulen imua vastaan on arvioitava käyttäen rakennekerrosten painoa kuivana. Tästä näkökulmasta myös tarpeeton kasvualustan keventäminen voidaan kieltää suunnitelmissa, mikäli kasvualustasta on saatavissa muilla keinoin laadukas ja soveltuva kasvillisuuden tarpeisiin. Tuulen vaikutus huomioidaan kasvilajien valinnassa, kasvien sijoittelussa ja istutustiheydessä [26, s. 4]. Tuulieroosiota voidaan torjua jonkin verran käyttämällä maatuovia katekankaita, jotka suojaavat rakennetta kunnes kasvillisuus on juurtunut riittävästi kasvualustaansa [80, s. 15–18]. Tuulieroosiota voidaan torjua jonkin verran myös pitämällä kasvualusta kosteana [26, s. 4], mutta tilanne ei saa ratkaista mitoitustapauksia vaan rakennekerrosten on pysyttävä katolla täysin kuivanakin [5, s. 35]. Edellä mainittujen tekijöiden lisäksi FLL tunnustaa mitoitukseen vaikuttavaksi tekijäksi kasvualustan kyvyn läpäistä tuulta [5, s. 35–36].

Tuulivahinkojen estämisen menetelmiä viherkatoilla Norjassa ja Saksassa



Norjan rakennustekniikan tutkimuslaitoksen Byggeforskin tuoreen suomalaista RT-ohjetta vastaavan *Sedumtak*-ohjekortin [127, s. 6] mukaan sedumkatoissa on tapahtunut tuulivahinkoja erityisesti reuna- ja nurkka-alueilla, joissa tuulen imukuormat ovat suurimmat. Ohjeen mukaan tuulen imukuorman ylittäessä 3,75 kN/m² sedumkatolle tulee tehdä vähintään 500 mm leveä, 50 mm paksu suojakiveyskaista 16–32 mm kattosingelistä. Tuulen imukuorman ylittäessä 5 kN/m² tehdään vähintään 500 mm leveä suojakaista 50 mm paksuista betonilaatoista, jotka limitetään kasvillisuusmattojen päälle. Harjakatoilla kasvualustan päälle voidaan lisätä geoverkko, joka sitoo kasvillisuusmatot yhteen ja vähentää tuulen aiheuttamia vahinkoja. Harjakatoilla

voidaan harkita myös noin 5–10 kg/m² lisäkuormitusta 16–32 mm kattosingelillä. Kasvillisuuden kasvaessa singeli peittyy sen alle. Sedumkatolla kate tulee kiinnittää mekaanisesti siten, että kiinnitys vastaa vähintään 65–70 prosenttia mitoittavasta tuulikuormasta.

Myös saksalaisilla viherkatoilla FLL:n mukaan ainakin reuna- ja nurkka-alueilla on käytettävä suojakiveystä tai vaativammassa tapauksissa betonilaattoja. Myös rakennusaikana sekä rakenteet että materiaalit on suojattava tuulta vastaan. Suojakiveyksen tai betonilaattojen tehtävänä voi olla myös paloturvallisuuskäsitelmistä määritellyjä tekijöitä. [5, s. 34–35.]

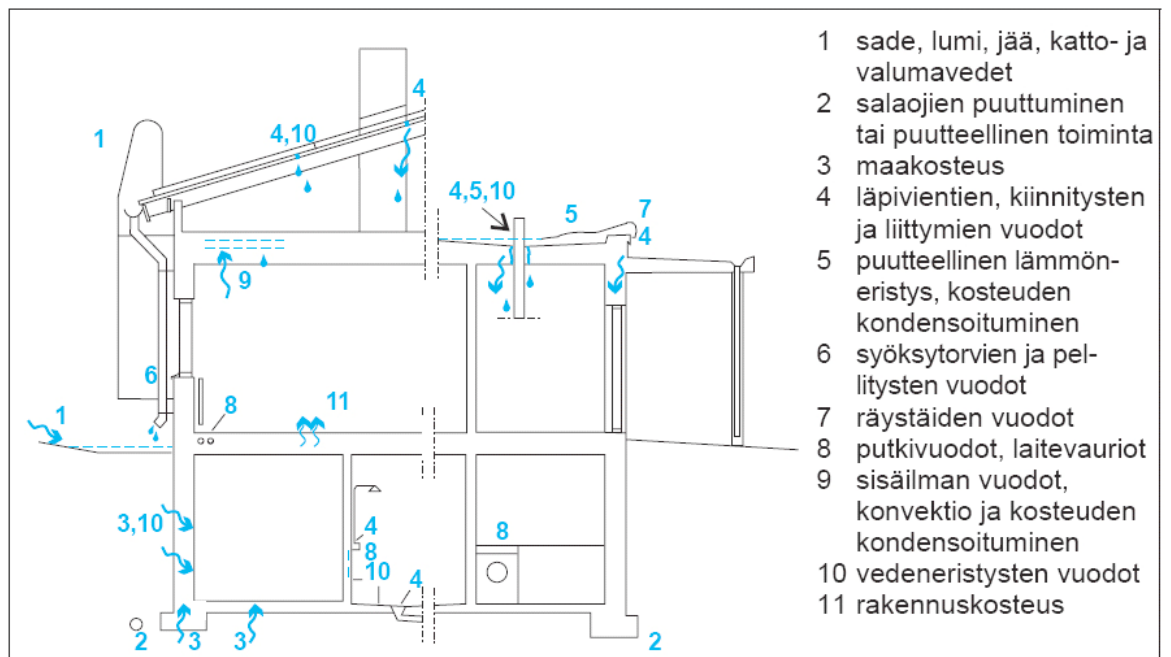
5.4 Rakenteen kosteustekninen mitoitus

Kosteus voi siirtyä aineessa höyrynä, nesteinä ja jäänä. Aineessa kosteuden siirtymiseen vaikuttavat vallitsevat kosteus- ja lämpötilaolosuhteet, kosteuden sitoutuminen ja kappaleen rakenne. Vesihöyrynvastus pienenee lämpimästä kylmään siirryttäessä, joten rakenteet on tehtävä lämpimältä puolelta vesihöyrytiiviiksi. Kosteus tiivistyy vedeksi tavallisesti ensimmäisessä kylmässä tiiviissä pinnassa lähellä ulkoilmaa. Höyrynsulku on ainekerros, ja sen pääasiallinen tehtävä on estää vesihöyryn haitallinen diffuusio rakenteeseen ja rakenteessa. Höyrynsulkuna toimii korkean vesihöyrynvastuksen omaava materiaali, kuten muovi tai kumibitumikermi. Ilmansulku on ainekerros, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen ilmavirtaus rakenteen läpi. Vaipparakenteiden luotettavan kosteusteknisen toiminnan varmistamiseksi vesihöyryn haitallinen siirtyminen sisältä rakenteisiin on estettävä riittävän suuren vesihöyrynvastuksen omaavalla höyrynsululla ja ilmatiiviillä ilmansululla sekä tiiviillä läpivienti- ja muilla detaljiratkaisuilla. Ilman- tai höyrynsulku asennetaan lämmöneristyksen lämpimälle puolelle. Erityistä huomiota on kiinnitettävä kaikkien läpivientien tiiveyteen. [95, s. 16; 128; 126, s. 11; 129, s. 16.] Kosteustekniseen toimintakykyyn vaikuttavat rakenteen ilmatiiveys ja kuivumiskyky. Ilmatiiveydellä varmistetaan, että sillä määrällä kosteutta, mikä rakenteeseen maksimissaan pääsee, on myös mahdollisuus poistua. Rakenteen kuivumiskyvyn varmistavat vedenpoisto ja tuuletus.

Kosteuden siirtymisen muotoja rakennuksissa ovat:

- *diffuusio*: vesihöyry siirtyy suuremmasta vesihöyrypitoisuudesta (vesihöyryn osapaineesta) pienempään ilmassa tai kiinteän aineen huokosissa
- *konvektio*: huokoisten ja hyvin ilmaa läpäisevien aineiden sekä rakennusosissa olevien rakojen läpi tapahtuva ilman virtaus, jonka mukana kulkeutuu vesihöyryä
- *painovoiman vaikutus*: vesi valuu pystysuorilla ja kaltevilla pinnoilla painovoiman vaikutuksesta
- *tuulenpaineen vaikutus*: tuulenpaineen vaikutuksesta ulkoseinällä lumi ja vesi voivat nousta ylöspäin
- *veden kapillaarinen nousu*: vesi imeytyy huokoiseen aineeseen, esimerkiksi saveen, hiekkaan, betoniin, tiileen ja puuhun, mikäli kappale on kosketuksessa veteen.

[130, s. 2–4; 114, s. 23; 129, s. 9–10.]



Kuva 56. Yleisiä rakennuksen kosteuden lähteitä ja vaurioriskejä [131, s. 4].

Vesikaton tulee estää sadeveden, lumen ja sulamisvesien tunkeutuminen kattorakenteisiin, seiniin ja sisätiloihin. Vedet on ohjattava katolta pois suunnitellusti rakenteita vahingoittamatta. [132, s. 9.] Kattorakenteisiin ei saa kerääntyä haittaa aiheuttavia määriä sisä- tai ulkopuolista kosteutta. Suomessa vesikatto ja välittömästi sen alla olevat rakenteet altistuvat luonnostaan ajoittain olosuhteille, joissa homeen kasvun riski on olemassa ilman rakennusteknistä virhettä. Ongelmia esiintyy, jos rakenteessa on kastepisterajan kylmällä puolella tiivis rakenne (esimerkiksi vedeneriste), eikä kosteus

pääse sen läpi vaan jää rakenteeseen. Ongelmia rakenteissa voivat aiheuttaa myös esimerkiksi veden kerääntyminen rakenteeseen, jäätyminen, veden tippuminen takaisin rakennuksen sisätiloihin ja lämmöneristeiden eristyskyvyn heikkeneminen. Olosuhteiden normaaleista muutoksista johtuvan rakenteisiin tiivistyvän kosteuden ja myös rakennusaikaisen kosteuden on päästävä poistumaan vaurioita aiheuttamatta. Tuulettuva rakenne on turvallisempi kuin tuulettumaton, koska sen avulla myös rakennusaikainen kosteus saadaan paremmin poistumaan rakenteista. [126, s. 47; 133, s. 151; 95, s. 13; 115, s. 7–8.]

RakMK C2 [132, s. 14] määrää, että ”yläpohjan eri kerrokset ja katon tuuletus on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei kattoon kerry vesihöyryn diffuusion tai ilmavirtausten vuoksi haitallisessa määrin kosteutta ja että rakenteisiin mahdollisesti pääsevä kosteus voi kuivua”. Tuulettumattomia yläpohjia ei siis saa tehdä. Sisäilman vesihöyryn konvektion estämiseksi rakennuksen vaippa ja sen yksityiskohdat tehdään läpikulkevien ilmavuotojen suhteen niin tiiviiksi, että voidaan pitää rakennus alipaineisena. Kylmänä aikana talvi-ilman kyllästysvajaus on ainoastaan noin 0,3 g ilmakuutiota kohden, jolloin sen kyky poiskuljettaa kosteutta on todella vähäinen, eikä yläpohjan ilmavuotojen haitallisia vaikutuksia ole mahdollista korjata pelkästään tuulettusta parantamalla. Hyvä tuuletus ei korvaa höyryn- ja ilmansulun puutteita. [132, s. 3 & 10; 126, s. 47–49 & 54; 134, s. 1; 135, s. 455; 136, s. 2.]

Käytettäessä bitumikermiä höyrinsulkuna saadaan höyrinsulku erittäin luotettavaksi asianmukaisin läpivientitiivistein. Aiemmin höyrinsulkuna on tyydytty käyttämään ohutta muovikalvoa, mutta tällaisen kalvon tiiviiksi saaminen on käytännössä osoittautunut erittäin vaikeaksi mm. siksi, ettei se kestä työmaalla normaalisti tapahtuvaa mekaanista rasitusta, ja läpivientien tiivistäminen on erittäin hankalaa ja epäluotettavaa. [115, s. 8; 126, s. 47 & 49; 136, s. 3; 135, s. 456.] Höyrinsulkuna käytetty polyesterirunkoinen kumibitumikermi toimii myös työnaikaisena vedeneristeenä, ja loivalla katolla höyrinsulkukaivoja käytettäessä mahdollinen sadevesi on mahdollista johtaa hallitusti rakennuksen ulkopuolelle.

Rakenteeseen tehdään tuulettusta varten tuuletusväli tai loiville katoille tyypillinen, umpirakenteinen, mutta tuulettuva lämmöneristekerros (kevytsora tai uritettu, levymäinen lämmöneristekerros). Tuulettutila tehdään tavanomaisissa rakenteissa lämmöneristykseen kylmälle puolelle, jotta lämmöneriste voi luovuttaa ilmaan siihen mahdollisesti kerääntynyttä kosteutta. Tuuletusilmavirta syntyy, kun tuuletusreitillä on paine-ero, jonka

aiheuttavat tuuli ja lämpötilaeroon perustuva ilman tiheusero (terminen paine-ero). Luonnolliseen tuuletukseen perustuvissa ratkaisuissa pyritään hyödyntämään vähintään toista näistä käyttövoimista: korvausilman tuloaukko sijoitetaan mahdollisimman alas ja ilman poistoaukko mahdollisimman ylös. Loivilla katoilla korkeusero on pieni, eikä painovoimainen noste liikuta tuuletusilmaa, joten niillä hyödynnetään tuulen aiheuttamaa paine-eroa järjestämällä tuuletus vastakkaisilta, yleensä rakennuksen pitkän sivun räystäiltä. Jyrkillä katoilla tuuletusvälin korkeus voi olla pienempi kuin loivilla katoilla eri korkeudella olevien tuuletusaukkojen välille syntyvän paine-eron ansiosta. Tuuletus on järjestettävä niin, että ilman liikkuminen on mahdollista koko katon alueella kaikkina vuodenaikoina. [115, s. 8; 126, s. 48–50; 137, s. 12.]

5.5 Vedenpoisto

Vedenpoisto voidaan järjestää joko sisäpuolisesti tai ulkopuolisesti. Vedenpoistojärjestelmän osia katolla ovat kattokaivot, sisäpuoliset viemäröinnit, kourut, syöksyt ja tulvatilanteiden varavedenpoistojärjestelmät [5, s. 31]. Näiden lisäksi viherkatolla vedenpoistojärjestelmään kuuluu myös salaojituskerros, jota on käsitelty tarkemmin luvussa *5.10 Salaojitus*. Vedenpoistojärjestelmän tulee pystyä keräämään kattovedet sekä salaojituskerroksesta että rakenteen pinnalta ja poistamaan ne hallitusti. Salaojituskerroksen päälle voidaan lisätä vettä varastoiva kerros, joka ylläpitää kasvillisuutta kuivina kausina. Vedenpoistojärjestelmä on suunniteltava siten, ettei kasvillisuus peitä sitä tai haittaa sen toimintaa. Vedenpoistojärjestelmän osien tulee olla tarkastettavissa vapaasti. [5, s. 32.] Vaikka kattoon pyritäänkin varastoimaan kosteutta kasveja varten, on vedenpoisto järjestettävä siten, ettei lammikoita pääse syntymään eivätkä kaivot tukkeudu. Näin vältetään seisovasta vedestä johtuva kasvien ja rakenteiden vahingoittuminen sekä rakenteiden liika kuormittuminen. [26, s. 5–6; 20, s. 12–13.]

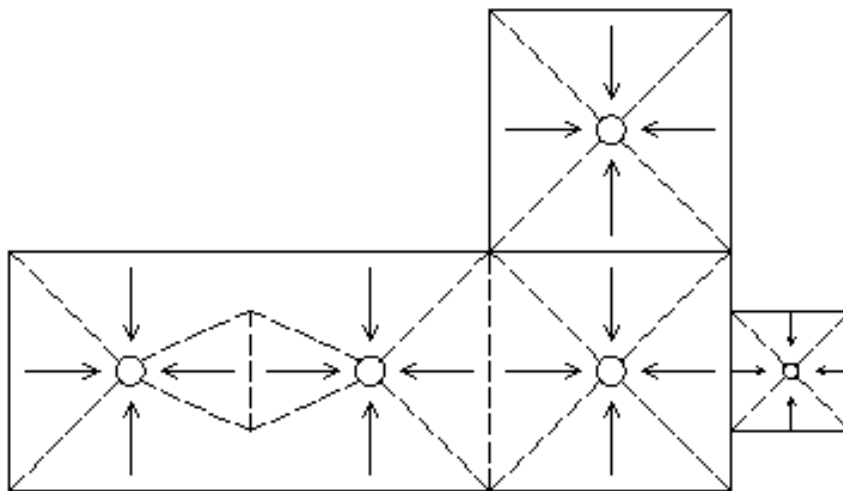
Vaikka viherkatto yleensä pidättääkin ja hidastaakin hulevesiä, vedenpoisto mitoitetaan kuten muilla katoilla, sillä vedellä kyllästynyt viherrakenne voi päästää lähes yhtä paljon vesiä viemäriverkostoon kuin tavallinen katto. Salaojitusjärjestelmiin tulee liittää tarkastuskaivot salaojajärjestelmän tarkastusta ja huoltoa varten. Hienoaineisten huuhtoutuminen salaojajärjestelmiin estetään suodatinkankaalla. Tulvatilanteita varten vedelle järjestetään vaihtoehtoinen reitti tulvaulosheittäjin, jotka tulisi sijoittaa mahdollisimman alas suhteessa katon pintaan. [127, s. 6.] Tulvatilanteita varten varavedenpoistojärjestelmä järjestetään katolle aina riippumatta viherkaton koosta tai pinnan materiaalista tai vihreytyksestä [5, s. 25].

Vedeneristyksen liittyminen vedenpoistojärjestelmään on vesikatoilla tyypillinen riskipaikka, jossa vuotojen todennäköisyys kasvaa. Koska mahdolliset vesivuodot ovat viherkatoilla vaikeasti korjattavia vedeneristyksen yläpuolisten rakennekerrosten vuoksi, vedenpoiston suunnittelussa on pyrittävä siihen, että vedenpoistojärjestelmään ja vedeneristyksen liitoksiin päästään käsiksi päällä olevia rakenteita purkamatta. Vedenpoisto katon reuna-alueille on siksi suositeltavaa käyttämällä kouruja ja syöksyputkia. Sisäpuolista vedenpoistoa käytettäessä kattokaivon viemäriputken sijoitus kannattaa miettiä tarkkaan niin, että ihannetapauksessa kaivoliitosta pääsee tarkastelemaan myös alhaalta päin. Suunnittelussa huomioidaan myös, että viherkaton koko ala tulee salaojittaa riippumatta siitä, onko jollekin yksittäiselle alueelle suunniteltu vihreyttä vai ei [5, s. 25].

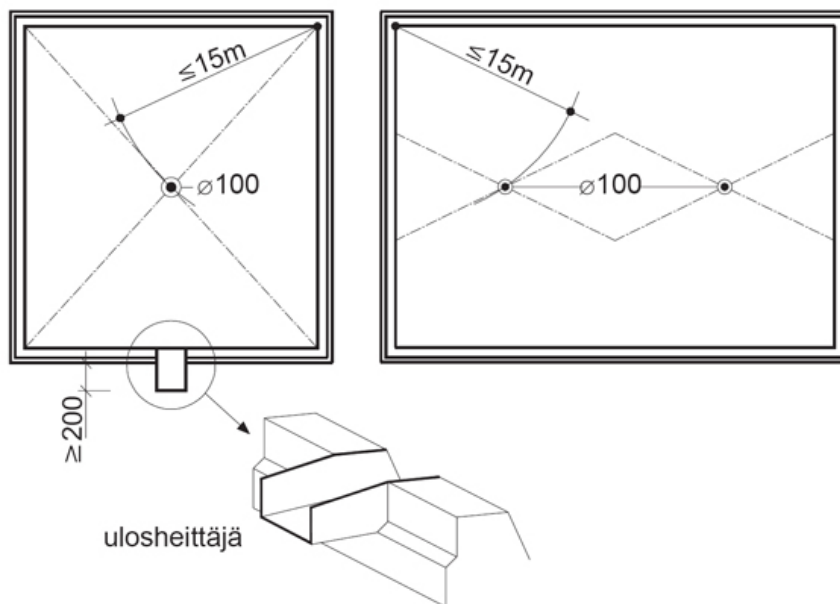
Ulkopuolista vedenpoistoa käytetään yleensä jyrkillä katoilla, sillä se vaatii riittävän suuren kaltevuuden toimiakseen. Tämän vuoksi pinta-alaltaan suuremmissa rakennuksissa on usein taloudellisempaa rakentaa sisäpuolinen vedenpoistojärjestelmä. Ulkopuolisessa vedenpoistossa kattovedet ohjataan sadevesikouruihin, syöksytorviin ja niiden kautta riittävän kauas rakennuksen perustuksista. [114, s. 28.] Vesien juoksutus katolla on suunniteltava siten, etteivät sulamisvedet jäädy katon kylmillä osilla. Vedenpoiston ollessa ulkopuolinen, tulee katteen olla kauttaaltaan niin kylmä tai niin lämmin, ettei haitallista lumen ja jään sulamista ja uudelleen jäätymistä pääse tapahtumaan. Ulkoseinälinjojen päällä olevia tai sisäpuolisia, vesikattoon upotettuja kattokouruja ei tule käyttää, sillä niissä veden jäätyminen aiheuttaa helposti vesikaton ja alapuolisten rakenteiden vaurioitumisen. [126, s. 47.] Kourujen ja syöksytorvien mitoitus tapahtuu katon ja valuma-alueiden pinta-alojen mukaan. Kourujen kiinnitykset tehdään siten, että ne kestävät räystäälle muodostuvat lumi- ja jäärasitukset. Tarvittaessa kourut ja syöksyputket voidaan varustaa itsesäätyvin lämmityskaapelein, jolloin voidaan välttyä liialliselta jään muodostukselta ja ylivuodoilta. [115, s. 40; 114, s. 30.]

Loivien viherkattojen vedenpoisto järjestetään tavallisesti sisäpuolisella vedenpoistolla. Sadevesi johdetaan pois usean eri kattokaivon avulla sisäpuolisen viemäröinnin kautta. Kattokaivot sijoitetaan katon tai kannen kaltevuuden ja muodon mukaan siten, etteivät veden virtausmatkat muodostu liian pitkiksi: mitä loivempi katto tai kansi on, sitä tiheämmin kaivoja tulee olla - vähimmäismääränä pidetään suurilla katoilla yhtä kattokaivoa / 150–200 m², kaivon poistoputken ollessa $\geq \varnothing 100$ mm. Katolla on oltava ainakin yksi kattokaivo kutakin vedenpoiston kannalta itsenäistä katon osa-aluetta kohti. 1:40 tai loivemmillä katoilla kattokaivoja on oltava niin paljon, että veden virtausmatka

kaivon on enintään 15 m ja vedellä esteetön pääsy niihin. Suunnitelmassa huomioidaan sekä pintavesien, että salaojitusvesien poistuminen, ja kattokaivon tulee pystyä poistamaan vedet molemmista kerroksista. Kattokaivon toiminta varmistetaan sähkövastuksella tai lämpöeristetyllä kannella jäätymisen estämiseksi, ja kaivon tukkeutuminen maa-aineksesta tai kasvien juurista estetään ympäröimällä se noin puolen metrin levyisellä suojakiveyksellä joka ympäröidään suodatinkankaalla. Suunnittelussa on varmistettava, että kaivotukoksen sattuessa vesi ohjautuu viereiseen kaivon tai ulosheittäjään eikä räystäään yli: tulvatilanteessa vesi ei saa päästä rakenteisiin. [118, s. 34; 26, s. 6; 132, s. 9; 138, s. 2; 137, s. 38–39; 20, s. 12–13; 114, s. 30; 28.]

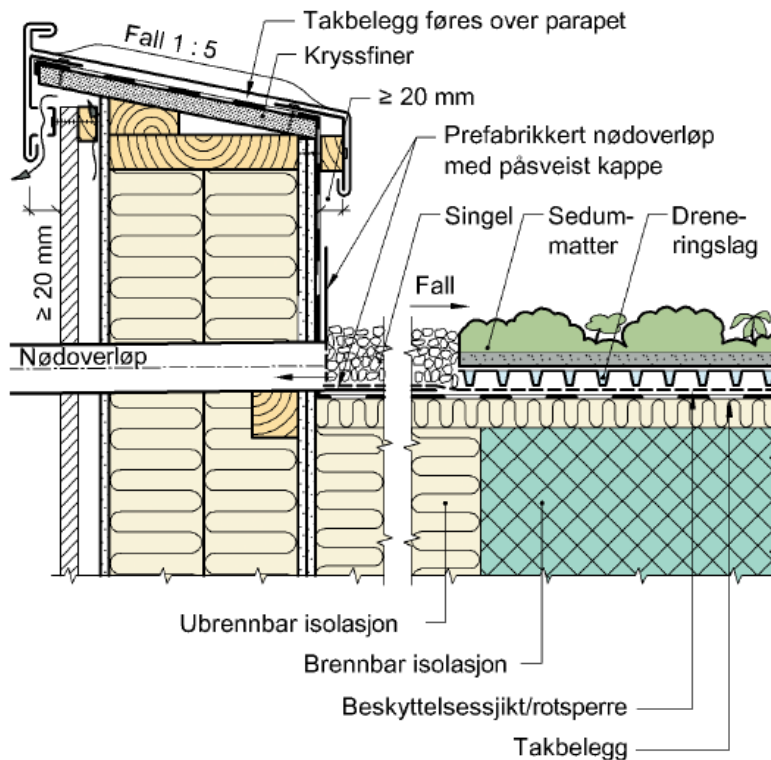


Kuva 57. Periaatekuva, vesikaton kaatoalueet.



Kuva 58. Vedenpoiston peruseriaatteet loivalla katolla.

Vesien juoksumatkatilla on suunniteltava niin, etteivät sulamisvedet jäädy katon kylmillä osilla [126, s. 47]. Kattokaivot ja niistä lähtevät sisäpuoliset poistoviemärit eristetään ja suunnitellaan siten, että eristys estää lämpimän ilman pääsyn kylmän viemäriputken pintaan eikä vettä haitallisesti tiivisty tai jäädy niiden pintoihin. Pääsääntöisesti suositellaan siis kaivon kondenssieristystä ja kaivon varustamista sähkövastuksella. Kattokaivon ja sadevesiviemäriin liitos varmistetaan tarkoitukseen soveltuvalla tiivisteellä. [114, s. 31; 132, s. 9.]



Kuva 59. Norjalainen esimerkki tulvauulosheittäjän sijoittamisesta sedumkatolla [127, s. 6]. Suomessa ulkoseinälinjojen päällä olevia tai sisäpuolisia, vesikattoon upotettuja kattokouruja ei tule käyttää, koska niissä veden jäätyminen aiheuttaa helposti vesikaton ja alapuolisten rakenteiden vaurioitumisen [114, s. 30]. Avoin kourumallinen ulosheittäjä varmistaa tulvatilanteessa vesien hallitun poisjohdotuksen katolta [95, s. 125].

Kattokaivot sijoitetaan niin, että ne voidaan liittää luotettavasti vesikaton rakenteisiin ja vedeneristykseen sekä vähintään 500 mm etäisyydelle pystyrakenteista ja läpivienneistä [138, s. 2]. Kaivojen sijoituksessa on otettava huomioon se, ettei kattorakenteen painuma estä veden poistumista kaivojen kautta [132, s. 9]. Kattokaivojen tulee kestää ympäristön aiheuttamat mekaaniset ja kemialliset rasitukset, joten on perusteltua käyttää haponkestävää teräksestä valmistettuja kattokaivoja [114, s. 32]. Kaivo sijoitetaan valuma-alueen matalimpaan kohtaan, kaivolle tehdään vähintään 20 mm:n syvennys n. 1000 x 1000 mm:n alueella ja kaivosyvennyksen reunat tehdään loiviksi. Kaivon asennusalusta ei saa olla liian pehmeä tai joustava. [138, s. 2; 137, s. 41.] Kaivon

ympärillä mahdollisesti oleva suojakiveys sidotaan bitumilakalla (Kerabit BIL 175/85) [114, s. 31].

Kattokaivojen ympärillä käytetään ylimääräistä kannellista rengassiivilää, jonka halkaisija on vähintään 300 mm ja korkeus 140 mm [138, s. 2]. Rengassiivilän käyttö pienentää oleellisesti kaivon tukkeutumisen riskiä ja helpottaa kaivon puhdistamista [114, s. 31].

5.6 Vedenpoistojärjestelmän suojaaminen kalkkikiveltä

Pintarakenteista (yleensä maakosteasta betonista) mahdollisesti liukenevat hydroksidit voivat muodostaa viemäriputkistoon kalkkikiveä, mikä voi aiheuttaa putkiston tukkeumia. Kalkkikiven muodostuminen otetaan huomioon viemäriin putkikokoa (joka on vähintään 100 mm), puhdistettavuutta ja tarkastettavuutta suunniteltaessa. [95, s. 117.] Kalkkikivi syntyy saostamalla vedestä ja sen mineraaleista yli 50 prosenttia on karbonaattimineraaleja. Näistä tärkein on kalsiitti, jonka kemiallinen nimi on kalsiumkarbonaatti (CaCO_3). [139, s. 5.]

Viherkatoilla on todettu FLL:n mukaan ongelmia vedenpoistojärjestelmän kalkkeutumisen vuoksi. FLL:n mukaan tämä ei kuitenkaan johdu viherrakenteesta, vaan karbonaattien vapautumisesta suojabetonilaatasta tai suojatasoitekerroksista. Joissakin tapauksessa ilmiön on aiheuttanut laasti tai tasausbetoni (*lean concrete*), jota on käytetty reunusteissa, päällysteissä ja varusteissa. FLL:n mukaan asiaa on perusteltu siten, että vaikka rakenteessa olisi käytetty korkean kalkkipitoisuuden kasvualustoja (kuten kierrätettyjä savitiiliä laastilla, travertiinia eli italialaista kalkkikiveä, dolomiittia tai kalkkipitoista kompostia), ei vedenpoistojärjestelmissä ole aina havaittu sedimentoitumisesta aiheutuneita vahinkoja. Tämän vuoksi karbonaatteja ei FLL:n mukaan ole (tähän saakka) huomioitu vedenpoistojärjestelmän tai kasvualustan suunnittelussa. Perusteluista huolimatta FLL:n mukaan salaojituserroksessa tai suojakerroksessa kalkkiaineksia liuottavia kasvualustan runkoaineita (kuten kierrätettyä betonia tai kalkkikiveä) tai sellaisia suunnitteluratkaisuja, jotka voivat aiheuttaa vedenpoistojärjestelmän tukkeutumista kalkkiaineksen liukenemisen ja vedenpoistojärjestelmään sedimentoitumisen seurauksena, ei tule käyttää. Mikäli suojakerroksessa käytetään betonia tai laasteja, tulisi sen pinta asentaa ja käsitellä siten, että estetään karbonaattien liiallinen liukeneminen ja sedimentoituminen. Mikäli asennustavalla ei voida vaikuttaa karbonaattien liukenemiseen, tulee pinta FLL:n mukaan peittää ja/tai tiivistää muovikalvolla karbonaattien liukenemisen estämiseksi. [5, s. 31.]

Suomalaisittain *Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet RIL 107-2012* toteaa, että käännettyissä rakenteissa kalkkikiven muodostumisen vuoksi maakostean betonin, luonnonkivien ja sellaisten betonilaattojen laastien, joista irtoaa runsaasti hydroksideja, tulee välttää vedeneristeen päällä ja yleensä pintarakenteissa [95, s. 159].

5.7 Kasvillisuus

Kasvillisuus tulee suunnitella etukäteen, ja peruslinjaukset syntyvät suunnittelun tavoitteista: luonnonmukainen, hyötypuutarha, vapaa-ajan viettotarkoituksiin tarkoitettu vai jotakin ihan muuta? Myös huoltoluokitus ja siihen vuosittain budjetoidut resurssit on otettava suunnittelussa huomioon – jokaista kattoa on huollettava ja hoidettava vähintään kaksi kertaa vuodessa, mutta huoltotoimenpiteiden määrä olla paljon suurempikin kasvillisuudesta ja käyttötarkoituksesta riippuen. Suunnittelun perusasioihin kuuluu myös kustannusarvio. Tärkeää on selvittää vastuukysymykset: vastaako katto- ja viherrakenteista yksi taho vai useampi, jolloin mahdolliset takuukysymykset vähintäänkin monimutkaistuvat huomattavasti. [11, s. 6–7; 26, s. 2; 28; 21, s. 15.]

Rakennuspaikan olosuhteet vaikuttavat oleellisesti kasvillisuuden valintaan. Ilmasto- ja sääolosuhteita kuvaavat paikallinen ilmasto, paikallinen mikroilmasto, vuotuinen sademäärä, auringonpaisteen määrä, kuivuusjaksot, jäätymisjaksot (lumipeitteellinen / lumipeitteetön jakso) sekä tuuliolosuhteet ja tuulen tyypillinen suunta. Rakenteellisia olosuhteita kuvaavat aurinkoiset, varjoiset ja puolivarjoiset alueet, rakenteen sadetta ja tuulta ohjaavat tekijät, savukaasupäästöt, kattopintojen altistuminen vallitseville olosuhteille, julkisivujen heijastusvaikutukset, liittyvistä rakenteista aiheutuvat hulevesien paikalliset kertymät, kattopinnan kaltevuus ja kaatoalueiden pituudet, kuormitussuunnitelma ja -rajoitukset, tekniset laitteet ja asennukset (kuten mm. ilmanvaihtolaitteet, antennit, aurinkopaneelit), mahdollinen lammikoituminen kattopinnalla sekä lumen kinostuminen. Tarvittavat rakenteelliset järjestelyt ja valitun kasvillisuuden menestymismahdollisuudet huomioidaan kosteilla, pysyvästi kosteilla ja märillä alueilla (loivempi kuin 2 % / 1:50 / 1,15° kaltevuus). Heikompien lajien menestymismahdollisuudet suhteessa muuhun rinnakkaiseen kasvillisuuteen huomioidaan. [5, s. 17–18; 29, s. 21; 26, s. 2.]

Viherkatoille soveltuvat kasvit eivät aina täysin vastaa rakennuspaikan tyypillistä kasvillisuutta, vaan kasvillisuuden tulee olla jonkin verran sitkeämpää. Katon kasvukerros on ohuempi, vähäravinteisempi ja huokoisempi kuin maassa. Katolla ilmasto on myös

lämpimämpi ja tuulisempi kuin maan pinnalla, mikä rajaa sopivien kasvien määrää. Parhaiten katolle soveltuvat monivuotiset matalat kasvit, jotka eivät kasvata voimakasta tai syvää juuristoa kasvualustaan. Kasveilla olisi suotavaa olla seuraavia piirteitä, jotta ne kestävät olosuhteita viherkatoilla: lisääntymisen tulee olla helppoa, kasvuston perustamisen nopeaa sekä kasvuston tiheyden tulee olla suuri. Yhdistämällä erilaisia lajeja sopivasti saadaan aikaan vaihtelevia sääoloja kestävä kattokasvillisuus. Ohuelle ekstsensiviselle katolle suositellaan esimerkiksi kuivuutta ja talviolosuhteita kestäviä maksaruohoja ja sammalta tai kuivan kedon kasveja, kallioilla viihtyviä lajeja sekä kuivan kangasmetsän kasveja. Puoli-intensiiviselle katolle suositellaan kukkaketoja, perennoja ja jopa pensaita. Rehevään kattopuutarhaan soveltuvat esimerkiksi nurmikko, erilaiset kukat, yrtit, sekä tietyin rajoituksin pensaat ja jopa puut. Rakennuksen seiniä ja tuulelta suojattuja nurkkauksia kannattaa hyödyntää kasvillisuuden ja varsinkin arkojen lajien istuttamiseen. [105, s. 47–48; 26, s. 10 & 13; 29, s. 21–22; 83, s.10; 20, s. 14 & 77–78; 80, s. 109.]

Suosittelavaa on, että viherkatot toteutetaan lähiseudun lajeilla, sillä muilta mantereilta tuodut kasvit voivat karata vieraslajeina luontoon ja uhata sen monimuotoisuutta [19]. Suomessa on runsaasti kasveja, joille ei kasva syvää juuristoa ja jotka eivät tarvitse paljon kasvialustaa. Kasvien ollessa kotimaisia lajikkeita ne kestävät myös vuodenaikojen vaihtelut [28]. Berliinissä tehdyssä tutkimuksessa, jossa selvitettiin pitkällä aikavälillä menestyviä kasveja, viherkatoilla menestyviä kasveja olivat ruohosipuli (*Allium schoenoprasum*), lampaannata (*Festuca ovina*), kattokattara (*Bromus tectorum*), litteänurmikka (*Poa compressa*) ja mäkihärkki (*Cerastium semidecandrum*) [140, s. 23]. Näitä kasveja esiintyy Suomessakin, joskin kattokattara ja litteänurmikka ovat Suomessa melko harvinaisia.

Vihreytysmenetelmiä ovat kuivakylvö (kasviliimoilla tai ilman), märkäkylvö (pistokkailla tai ilman), kasvin osien kylvö (pistokkailla tai lehtiruusuksilla), turpeen levitys (vahvikkeilla tai ilman), istuttaminen (yksittäisiä paakku- tai astiataimia tai esikasvatettuja kasvielementtejä) ja esikasvatettujen kasvillisuusmattojen levittäminen (biohajoavilla tukivuorauksilla, kestävillä tukivuorauksilla tai kestävillä rakenteellisilla vuorauksilla). Kasvillisuuden voi myös antaa levitä katolle spontaanisti. Kasvien tulisi lähteä vahvaan kasvuun lannoittamalla niitä ainoastaan kohtuullisella määrällä typpeä. Kasvien tulee olla karaistuja, eikä niitä saa toimittaa suoraan kasvihuoneesta katolle. [5, s. 65–66 & 68–69; 82, s. 27; 2, s. 140.]

Kylvömenetelmistä suoraan kylvettävät siemenseokset voivat olla käyttökelpoinen ja kustannustehokas vaihtoehto vähintään 20 m² katoille etenkin kun kylvetään ruoho- ja niittykasvillisuutta. Menetelmä on melko hidas ja voi johtaa vähäiseen monimuotoisuuteen heikompien lajien kustannuksella. Kylvön jälkeen siemenet peitetään ohuella kerroksella kasvualustaa. Kasvualustan suurempi raekoko (16 mm saakka) estää rikkaruohojen kehittymistä, mutta heikentää myös siementen itävyyttä, joten kasvualusta kannattaa peittää hienojakoisemmalla pintakerroksella. Pistokasmenetelmä on siemenkylvöä nopeampi. Valmis kasvipeite muodostuu katolle noin vuoden kuluessa. [2, s. 140–143; 105, s. 72–77; 20, s. 14–15.]

Kasvillisuusmatoissa geotekstiilimaton päälle on levitetty ohut kasvialustakerros kasvien juurtumisalustaksi. Kasvillisuusmatot asennetaan yleensä suoraan katolle levitetylle kasvialustalle, johon kasvillisuusmaton kasvit juurtuvat noin kuukaudessa. Asennusvaiheessa kasvit ovat täysikasvuisia, joten katolle saadaan peittävä kasvillisuus heti asennustyön päätteeksi. Kasvillisuusmatot soveltuvat myös jyrkemmille katoille, koska ne eivät kärsi yhtä helposti eroosion aiheuttamasta kasvialustan hupenemisesta. Kasvillisuusmattojen tulee olla tukivuorattuja viljely-, kuljetus-, levitys ja käyttötarkoituksiin. Olosuhteissa, joissa kasvillisuusmatot altistuvat jännityksille, tukivuorausten tulee vastata ennalta määritellyjä vaatimuksia. Tukikangasalusmateriaalien tulee sallia juurtuminen kasvillisuuden vaatimalla tavalla. Kasvillisuusmattojen tulee olla tasapaksuja eikä niihin saa jäädä koloja asennuksen jälkeen. Karaistut kasvit voi tunnistaa versoista ja nivelten lyhyestä etäisyydestä toisiinsa. Kasvillisuusmattoja käytettäessä tavoiteltu kasvillisuus on määriteltävä etukäteen sisältäen sammal-, mehikasvi-, ruoho-, sipuli- ja ruohokasvityypit. Siirtonurmea voidaan käyttää puoli-intensiivisissä ja riittävän kasvialustan ekstensiivisissä vihreytyksissä. Muita nurmikasveja voidaan lisätä siemenistä lukuun ottamatta palkokasveja. Kattovihreytykseen tarkoitettu ruohoturvematto tulee olla kasvatettu hiekkapitoisessa maaperässä, joka sisältää vähäisestä kohtuulliseen määrään orgaanista ainesta. [2, s. 144–146; 5, s. 66–68; 105, s. 78–79; 20, s. 15.]

Moduulijärjestelmissä moduulit ovat irrallisia, korvattavissa olevia elementtejä, joten menetelmällä tehtyä kattokasvillisuutta on suhteellisen helppo paikata ja täydentää. Moduulit ovat kasvimattoja painavampia ja ne ovat yleensä kallein vaihtoehto kasvillisuuden aikaansaamiseksi. [105, s. 79–80; 20, s. 15]

Istuttaessa kasveja huomioidaan, että kasvien juuripaakkujen tulee mahtua kasvialustansa kokonaan. Pensaiden, pensaikkojen ja puuvartisten kasvien kasvialustan

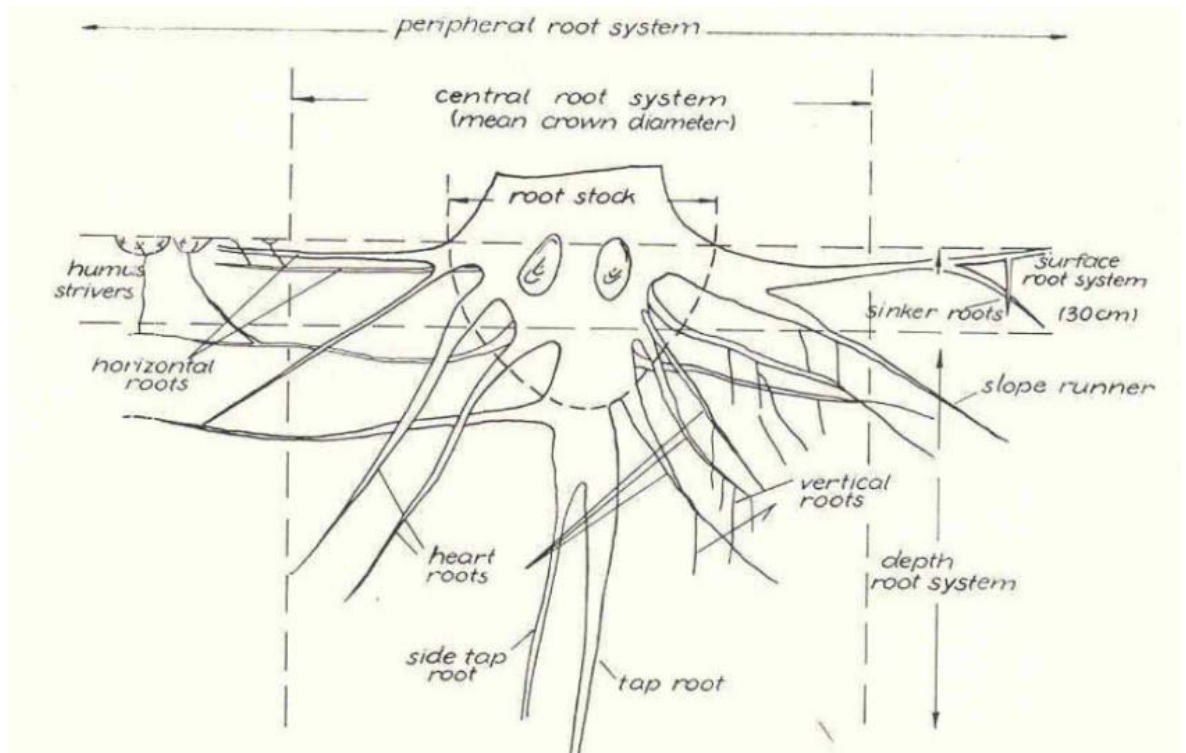
ollessa ohut käytetään sellaista kasvillisuutta, jolla on matala juuripaakku. Pensaat, pensaikot ja puuvartiset kasvit voidaan istuttaa myös paljasjuurisina; paksuimmille intensiivisille viherkatoille kasveja voidaan istuttaa melko vastaavin menetelmin kuin tavanomaiseen puutarhaan. Rikkaassa maaperässä kasvatetut ja viihtyvät perennat eivät sovellu kattokasvillisuudeksi, ja kasvien tulee ensisijaisesti olla kasvatettu kivennäispitoisilla kasvualustoilla. Ruukuissa ja astioissa kasvatettujen matalajuuripaakkuisten kasvien kasvualustan tulisi sisältää pääasiallisesti kivennäispitoisia materiaaleja. Poikkeuksena tästä ovat kasvien juurruttamiseen tarkoitettut erityiset humuspitoiset kasvialustat. Savimaaperässä kasvaneet kasvit eivät yleensä sovellu viherkatoille. Multapaakkujen tulee olla vapaita ei-toivotusta kasvillisuudesta, erityisesti sellaisista lajeista, jotka kasvattavat juuristoja ja rönsyjä. Ekstensiivisessä vihreytyksessä istutusmenetelmin suositetaan ensisijaisesti taimia. [2, s. 143–144; 5, s. 66; 105, s. 73–77 & 132; 20, s. 15.]



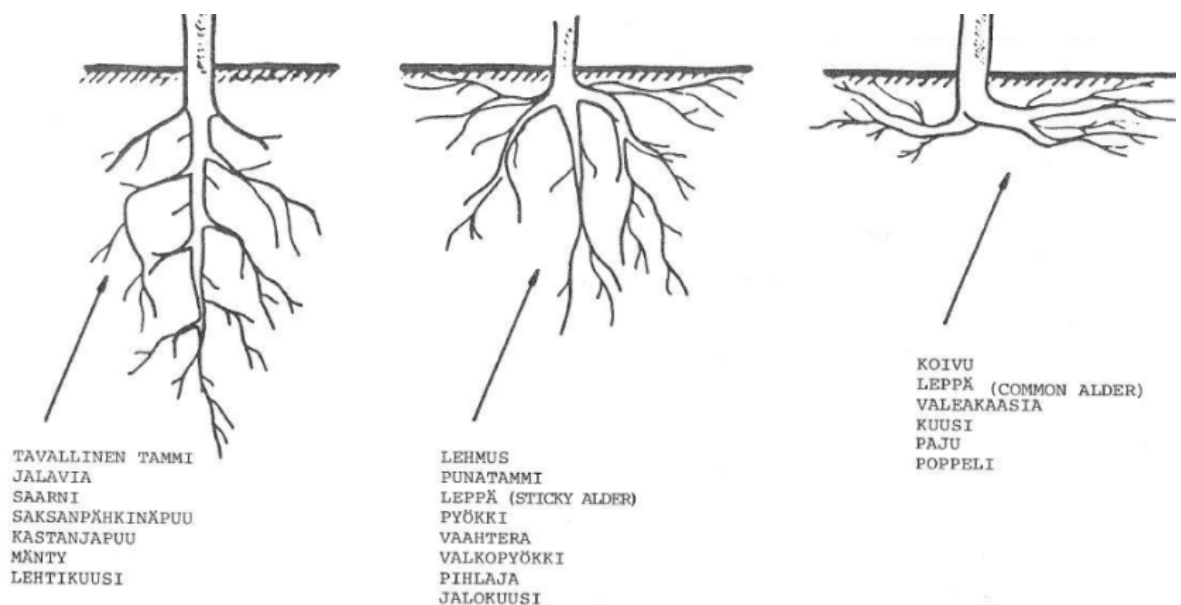
Kuva 60. Katolle on kylvetty villiunikkaa, ruiskukkaa, jäykkänataa ja kivikkokukkaa [141].

Kasvien ja puiden juuristosta voidaan erotella toisistaan pääjuuret (paalujuuret) ja sivujuuret. Suurten puiden, pensaiden ja kasvien juuristojen välillä on merkittäviä eroavaisuuksia: puiden ja pensaiden juuret ovat yleensä paksuja ja ulottuvat syvällekin maaperään, kun taas pienempien kasvien juuret eivät yleensä ulotu maaperän pintakerroksia syvemmälle. Joidenkin kasvien ja puiden juuret koostuvat ainoastaan laaja-alaisista ja melko saman paksuisista juurista, kun taas joidenkin lajien juuristoon kuuluu

yksi vahva ja suhteellisen syvään tunkeutuva pääjuuri sekä lisäksi pienempiä rungon sivuille levittyviä juuria. Yhden puun juuret voivat poiketa toisistaan hyvin paljon: juuriston muoto riippuu ympäristön olosuhteista ja puun geeniperimästä. Eri puiden ja kasvilajien, jopa saman lajin yksilöidenkin välillä juuriston muoto ja ominaisuudet vaihtelevat hyvin paljon. [142, s. 41–44.]



Kuva 61. Esimerkki puun juurimuodostumasta: kuvassa on kuvattu puun juuripaakkua ja nimetty eri juuriosat [142, s. 45].



Kuva 62. Puiden juuriston kolme yleisintä muototyyppiä [142, s. 43].

Juuret jaetaan morfologisesti kolmeen perusryhmään: *taproot*, *heartroot* ja *plateroot*. Tammi, mänty, saarni, jalava, lehtikuusi, saksanpähkinäpuu ja kastanjapuu kuuluvat alaspäin kasvavaan ja ohenevaan pääjuuri-ryhmään (*taproot*). Lehmus, punatammi, leppä, pyökki, vaahtera, valkopyökki, pihlaja ja jalokuusi kuuluvat viistosti syvään ja leveälle levittyvään versojuurityyppiseen ryhmään (*heartroot*). Paju, poppeli, koivu, leppä, valeakasia ja kuusi kuuluvat maaperän pintaosissa esiintyvään verso-juurityyppiseen ryhmään (*plateroot*). [142, s. 43–44.] Syvälle tunkeutuvan juuriston ansiosta kasvillisuus voi selvitä kuivista kausista. Matalan juuriston kasvattavat kasvit ja puut eivät kestä yhtä hyvin myrskyjä, vaan kaatuvat muita helpommin, eivätkä ne kestä kuivuutta yhtä hyvin kuin syvälle juurtuneet yksilöt. Matalalla sijaitsevilla juuristoillaan ne voivat kuitenkin hyödyntää tehokkaammin sateiden tuomat vedet maan pintakerroksista. Puiden ja kasvien kasvu, kehitysvaiheet ja muoto voivat vaihdella erittäin paljon samalla lajillakin kasvin ominaisuuksista ja ympäristön olosuhteista riippuen. [142, s. 45–46.] Erityisesti puiden osalta on suunnittelussa noudatettava erityistä varovaisuutta ja huomioitava myös rakenteellinen juurisuojaus.

5.8 Kasvualusta

Kasvualusta on kasvillisuuden menestymisessä kaiken lähtökohta. Valmiissa kasvualustaseoksissa rakenne, happamuus ja ravinnepitoisuus on tutkittu, tuotanto valvottua ja niissä on eri käyttötarkoituksiin valmistettuja tuotteita. Sitä on saatavilla erilaisina sekoituksina, seulottuna, valmiiksi lannoitettuna ja kalkittuna. Kaupallisesti toimivien kasvialustavalmistajien tulee olla rekisteröityneitä ja kasvialustaerän mukana on oltava tuoteseloste, josta käyvät ilmi tuotteen ominaisuudet kuten mm. NPK-ravinteiden määrä, pH ja orgaanisen aineksen osuus sekä mitä raaka-aineita valmistuksessa on käytetty. Kaupallisesti valmistetuissa kasvialustoissa on myös oleellisesti vähemmän rikkakasveja. Hyvän maan piirteitä ovat mm. muruinen rakenne, huokoisuus (huokostilavuus vähintään 40 %), runsas pieneliötoiminta, hyvä veden läpäisy- ja varastointikyky sekä sopiva pH. pH:n ollessa yli 6 ravinteet (mm. typpi *N*, fosfori *P*, kalium *K*, kalsium, rikki ja magnesium) vapautuvat hyvin maa-aineksesta ja ovat kasveille käyttökelpoisessa muodossa. [143; 144; 5, s. 64.]

Taulukko 11. Kasvualustojen suosituspaksuudet [143].

Kasvillisuus	Kasvialustan suosituspaksuus
Nurmikko	200 mm
Perennat, pienet	200 mm
Perennat, keskikokoiset	300 mm
Perennat, isot	400 mm
Sipulikasvit	200...400 mm
Ryhmäruusut	500 mm
Köynnökset	500 mm
Pensaat, pienet	400 mm
Pensaat, isot	600 mm
Puut, pienet	600 mm
Puut, isot	800 mm

Kasvillisuusalueiden pinta voidaan peittää erilaisilla katteilla, jotka estävät rikkakasvien kasvua, vähentävät veden haihtumista kasvialustasta, tasaavat lämpötilaeroja kasvialustassa sekä edistävät mikrobien toimintaa maan pysyessä kosteimpana. Tavallisimpia katevaihtoehtoja ovat kuorikate, katekangas ja koristekivet. Suodatinkangas heikentää veden imeytymistä maahan, joten sitä ei pidä käyttää katekankaana. Myös maanpeitekasvit estävät tiheän peittokasvustonsa ansiosta rikkakasvien kehittymistä kunhan parin ensimmäisen vuoden aikana rikkakasvit on kitketty säännöllisesti pois. [143.]

Saksalaisessa FLL:n viherrakenteen ohjeistuksessa viherrakenteen kasvialustasta käytetään termiä *vegetation support course* (engl. *growing medium/media, (soil) substrate, planting media, root zone media, engineered soil*), jolla käsitetään sekä kasvialustaa, ei-organiset ainesosat, ravinteet että mahdolliset muut materiaalit, jotka on yhdistetty istutettavan kasvillisuuden tarvitseman reseptin mukaisesti lopulliseen kasvialustaan. *Substrate*-termiä käytetään englannissa joskus vain ei-organisista aineisista. Kasvialusta voi olla myös kerroksellinen koostuen täyteroksesta (*superstructure*) ja orgaanisesta ravinnekerroksesta kuten multaseoksesta tai turpeesta (*surface*). Katoilla kasvillisuus joutuu koviin olosuhteisiin, ja kasvialustan koostumuksella on suuri merkitys. [3, s. 13–14; 5, s. 56–64; 31.] Kasvialustan ja muiden rakennekerrosten kannalta keskeisin haaste on vedenhallinta: kasveille sopiva veden määrä ja ylikastelun välttäminen, ylimääräisen veden esteetön poistuminen ja kylmänä kautena jäätyminen aiheuttamien vaurioiden

välttämisen. Ylimääräisen veden poisto kasvualustasta on tärkeää juurten hapen saannin kannalta.

Yleisesti kasvualustojen tulee olla kuohkeita, pidättää ja päästää läpi sopivasti vettä, tarjota ravinteita kasvien käyttöön ja soveltua siihen istutettavalle kasvillisuudelle. Viherkattojen kasvualustojen tulee lisäksi olla käyttöön suunniteltuja, palamattomia, pitkäikäisiä, ominaispainoltaan kevyitä, kutistumattomia, kestävästä hyvin puristusta, olla vakaa ja tukeva sekä niiden aiheuttamien ympäristövaikutusten tulee olla mahdollisimman pieniä. Kasvialustan raekokojakauman tulee olla käyttöön soveltuva ja sen olisi hyvä olla suurimmalta osalta maatumatonta epäorgaanista materiaalia; orgaanisen aineen määrä kasvialustoissa vaihtelee tyyppillisesti 5–25 % välillä. Kasvialusta ei saa olla jäätymisherkkä. Kasvialustasta tehdään aina niin paksu kuin se rakenteellisesti on mahdollista, jotta kasveille voidaan tarjota mahdollisimman suuri stabiliteetti tuulta vastaan eikä järjestelmä kuivuisi liian herkästi. [65, s. 20; 21, s. 15; 5, s. 26 & 57; 31.] Kevennetty kasvialusta voi olla tavallista kasvialustaa 25–40 % kevyempää [31].

Kasvialustavalinnat vaikuttavat haluttuun vihreytystyyppiin ja kasvillisuuteen, rakenteen pitkäikäisyyteen ja tarvittavaan huoltotoimenpiteiden määrään. Maisemointi-, maanrakennus-, urheilukenttä- ja puiden istutustöissä voi olla tarpeellista lisätä rakeisuusjakaumaltaan karkeampi aluskerros veden aiheuttamien kapillaarivaurioiden välttämiseksi. Sama koskee myös kaikkia yli 35 cm paksuisia kasvialustoja. Ns. yksikerroksisia kasvialustoja rakennettaessa intensiiviseen vihreytykseen tulee huomioida viherkattojen kasvialustojen heikompi vesitalous ja kyky tarjota ravinteita esimerkiksi valitsemalla kasvit sen mukaisesti tai huomioida tämä huoltotoimenpiteiden suunnittelussa ja määrässä. [5, s. 56.] Erittäin kevyissä viherrakenteissa kasvillisuusmatto voi toimia myös kasvialustana. Kasvillisuusmattojen kasvialustojen tulee olla kivennäisainepitoisia ja sisältää vähän orgaanista ainesta. Kasvillisuusmattojen kasvialustat poikkeavat koostumukseltaan ja rakeisuusjakaumaltaan tavanomaisista levitettävistä kasvialustoista. [5, s. 57.] FLL:n ohjeet kuvaavat kasvialustojen ominaisuuksia ekstensiivisille, intensiivisille ja yksikerroksisille kasvialustoille hyvinkin tarkasti, mutta niissä kuvatut ominaisuudet soveltuvat Keski-Euroopan kaltaisiin olosuhteisiin. Suomessa Viherympäristöliiton kasvialustatyöryhmä valmistelee tällä hetkellä suositusta Suomeen soveltuvien viherkattojen kasvialustojen rakeisuuskäyrästä ja ominaisuuksista. Alustava suositus on, että kaikista ohuimpia (alle 5...6 cm) kasvialustoja vältetään Suomen olosuhteissa jopa sedumkasvillisuudella.

Taulukko 12. Kasvialustan kerrospaksuuksia eri kattovihreytystyypeissä saksalaisittain. Paksuudet voivat poiketa taulukosta paikallisten olosuhteiden asettamien vaatimusten vuoksi. [5, s. 43, mukailen.]

Kasvialustan paksuus cm		4	6	8	10	12	15	18	20	35	50	60	70	100	125	150	200	
Vihreytystapa ja kasvillisuus	Ekstensiivinen kasvillisuus																	
	Sammal-sedum																	
	Sedum-sammal-ruohokasvit																	
	Sedum-ruoho-nurmikasvit																	
	Nurmi-ruohokasvit																	
	Puoli-intensiivinen kasvillisuus																	
	Nurmi-ruohokasvit																	
	Villit perennat, vesakko																	
	Vesakko ja pensaat																	
	Vesakko																	
	Intensiivinen kasvillisuus																	
	Nurmikko																	
	Matalat pensaat ja vesakko																	
	Keskisuuret pensaat ja vesakko																	
	Korkeat pensaat ja vesakko																	
	Suuret pensaat ja pienet puut																	
	Keskisuuret puut																	
	Suuret puut																	

Luonnonmukaisilla viherkatoilla, jotka ovat hyvin suunniteltuja, tulee olla vähän ravinteita (jotta ehkäistäisiin kilpailukykyisimpien kasvilajien leviäminen muiden lajien kustannuksella), paljon eri maannostyyppejä ja eri kasvialustasyvyyskerroksia eri lajeille, paljaita tai vähäkasvisia alueita sekä alueita, joissa on karkeampia maa-aineskerroksia. Näiden lisäksi tulisi olla kiinteitä suojia, kuten isoja kiviä ja kaatuneen puun runkoja. [145, s. 296.]

Turve poikkeaa kasvialustamateriaalina muista viherkatoilla tavallisesti käytetyistä kasvialustoista, sillä turve on maalaji, jonka painosta vähintään 40 % on orgaanista ainesta. Turpeen maatumisaste ilmoitetaan ns. H-arvona H1-H10, joista H1 tarkoittaa täysin maatumatonta kasviainesta ja H10 täysin maatunutta turvetta. Turpeen happamuus (suomalaisessa turpeessa pH 5–6) aiheuttaa korroosiota. [146, s. 62, 67 & 73.]

Kasvialustoissa viherkatoilla käytetään vaihtelevasti kierrätysmateriaaleja, ja sellaisiksi voivat soveltua esimerkiksi murskattu tiili, synteettiset kuidut, vaahtokumi (*rubber foam*), murennetut autonrenkaiden kumit, kierrätetyistä sanomalehdistä valmistetut paperituhkapelletit, kalkkikivi (*carbonated limestone*), joka on valmistettu kaivosten hienojakoisesta ylijäämämateriaalista (*quarry fains*), lentotuhka sekä esimerkiksi arkeologisten kaivausten ylijäämäsavesta, lentotuhkasta sekä jätevesilietteestä tehdyt

pelletit. Lisäksi voidaan käyttää esimerkiksi kevytsoraa, Lytagia (*Lytag*), vulkaanista hohkakiveä ja laavaa. [65, s. 20–21.] Biohiili on lupaava materiaali ravinnevalumiin hallintaan, lisäksi se pidättää vettä tehokkaasti ja edesauttaa kasvien kasvua [82, s. 12]. Suomessa kasvualustojen valmistajat kehittävät uusia kasvualustamateriaaleja myös esimerkiksi polyuretaanista ja kookosrouheesta. VTT ja MTT tutkivat kosteutta pidättävien rahkasammalten soveltumista kasvualustaksi, joka on uusiutuva luonnonvara ja jonka on todettu rajoittavan luontaisesti mikrobien kasvua. [147.] Myös järviruo'on käyttöä tutkitaan.

5.8.1 Liukumisen, leikkauksen ja eroosion estäminen

Liukumista ja leikkausvoimia voidaan vastustaa sekä rakennustapamenetelmillä että kasvillisuusvalinnoilla. Yleensä liukuestetoimenpiteet eivät ole tarpeellisia katon kaltevuuden ollessa 15° (1:3,73, n. 1:4) tai loivempi ja lappeen ollessa enintään 15 metriä pitkä. Asia tulee tarkistaa kohdekohtaisesti siten, että valittujen materiaalien välillä on riittävän suuri kitka ja että rakennesuunnitelma tukee sitä. Katon kaltevuuden ollessa 20° (1:2,75, n. 1:3) tai jyrkempi rakenteelliset toimenpiteet liukumista ja leikkausta ovat yleensä tarpeellisia. Katon kaltevuuden ollessa 30° (1:1,73, n. 1:2) tai jyrkempi on välttämätöntä tehdä kohdekohtaiset laskelmat sekä kasvualustan että rakennetyyppikohtaisten tekijöiden vaikutuksista. Leikkausvoimat eivät saa aiheuttaa jännitystä vedeneristeelle tai juurisuojavedeneristeelle. Kaikkien käytettävien materiaalien tulee olla vedenkestäviä, olosuhteista johtuvien rasitusten kestäviä sekä omata riittävä puristuslujuus. Katon kaltevuuden ollessa 15° (n. 1:4) tai jyrkempi liukumista voidaan ehkäistä esimerkiksi käyttämällä kasvillisuusmattoja, käyttämällä geoverkkoa tai jonkin verran myös ruiskukylvämällä yhdistettynä soveltuvaan kasviliimaan. Mikäli istutetaan yksittäisiä kasveja, valitaan mahdollisimman kasvualustaa sitovia lajeja ja niiden neliökohtaista lukumäärää tulee lisätä. Hyvin jyrkillä kaltevuuksilla myös kastelun tarve lisääntyy.

Liukumista voidaan ehkäistä käyttämällä esimerkiksi erikoiskudottuja mattoja, liukuestelevyjä tai profiileja, päätyräystäslautoja, turvehakoja (-koukkuja) ja liukuestekankaita sekä staattisten kuormien jakamiseen suunniteltuja alta vuorattuja geotekstiilejä. Käytettävät tuotteet eivät saa hidastaa kasvillisuuden kehittymistä katolla. Tarvikkeissa tai rakennusmateriaalina käytetyllä **geotekstiilillä** tulee olla riittävä vetolujuus suunniteltuja rakennekuormia vastaan, ja laskelmat tulisi tehdä tapauskohtaisesti siten, että myös lumikuormat huomioidaan. Kun kyseessä on

pulpettikatto, materiaalien pysyvä kiinnitys myös yläräystäällä tulee huomioida suunnitelmissa. [5, s. 36–37.] Leikkauksen ja liukumisen vuoksi 45° (1:1 / 100 %) tai jyrkempiä kaltevuuksia ei tule käyttää viherkattorakenteissa [5, s. 22].

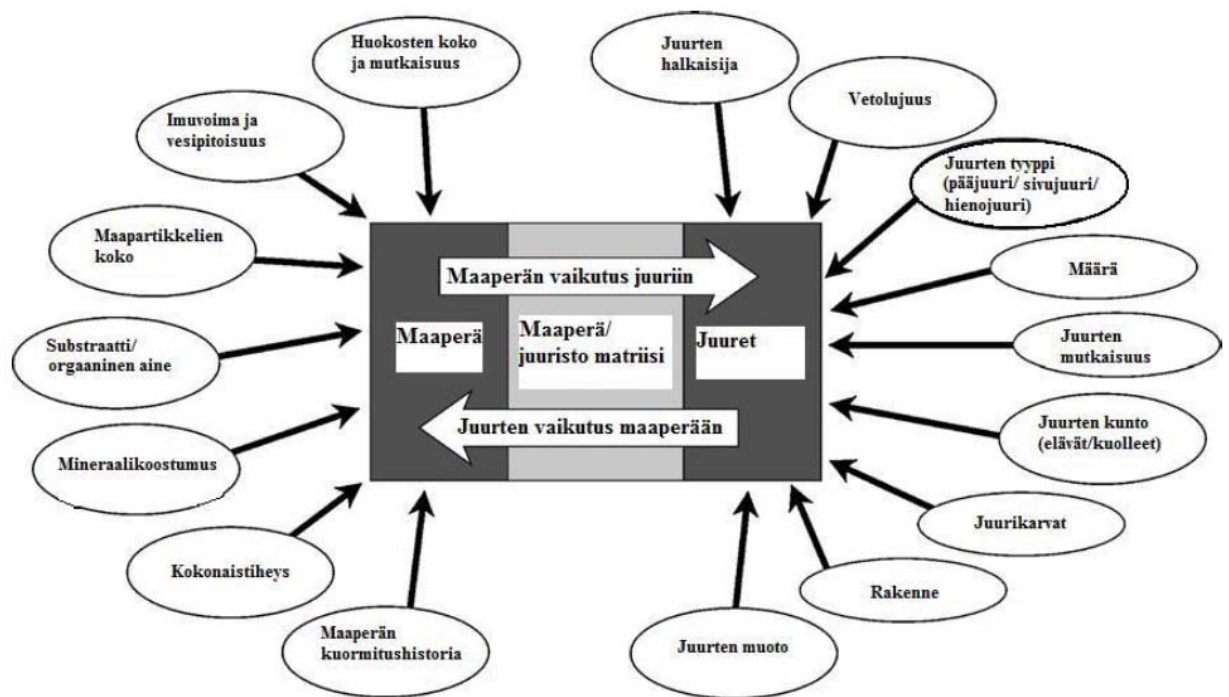
Maatuvista materiaaleista, kuten puusta tehtyjä rimoituksia tai ristikoita ei tule suunnitella pysyväksi suojaksi leikkausta vastaan, mutta niitä voidaan käyttää väliaikaisina työtukina [5, s. 37]. Täydellisissä lahoamisolosuhteissa (esimerkiksi suorassa maakosketuksessa voi syntyä kyseiset olosuhteet; maakosketus on puulle ankara olosuhde) oleva puu voi menettää käytännössä kaikki lujuusominaisuutensa 70 vuorokaudessa [148; 149]. VTT vertaili tavallisen puutavaran (mänty ja lehtikuusi) sekä AB-luokan kyllästetyn puutavaran lahonkestoa vuonna 2009 nykyään käytössä olevilla kyllästeaineilla. Noin 36 viikon mittaisessa kokeessa, jossa lämpö- ja kosteusolot pidettiin mikrobien kasvun kannalta otollisina, painohäviö oli männyllä 49 %, lehtikuusella 6 % ja AB-luokan kyllästetyllä puutavaralla tuotteesta riippuen 4–28 %. [150.] Lujuusominaisuuksien näkökulmasta painohäviö vastaa riippuen tarkasteltavasta lujuusominaisuudesta vähintään noin 10–70 % menetystä aina täydelliseen lujuusominaisuuksien menettämiseen saakka. Tämä tarkoittaisi täydellistä lujuusominaisuuksien menetystä viimeistään noin 4–5 kertaissa ajassa [148]. Suomessa saatavilla olevan parhaan kyllästysluokan A puutavaran kestoikä on maakosketuksessa vain 4...5 kertaa pitempi kuin kyllästämättömällä puulla [151, s. 3], mikä ei sekään riitä ajatellen kattorakenteiden suunniteltua tavoitteellista käyttöikää.

Geovahvisteita on käytetty maarakentamisessa jo 1960-luvulta lähtien, ja yleisin Suomessa käytetty geovahviste on lujiteverkko. Geovahvisteet ottavat vastaan maahan muodostuvia jännityksiä, siirtäen ja tasaten niitä laajemmalle alueelle. [152.] Geoverkoilla voidaan toteuttaa vaativia lujitettuja rakenteita, kuten jyrkkien luiskien stabilointia. Valmistajat lupaavat esimerkiksi rintausten kaltevuuskulmien toteutusta mahdolliseksi kaltevuusvälillä 20...90° (1:2,75 pystysuoraan seinämään saakka). [153.] Geoverkkojen hinnaksi mainitaan noin 3 € / m² [154].

Jotta kasvillisuus voisi tarjota suojaa liukumista vastaan, kasvualustan vakavuus ei saa heikentyä veden vuoksi. Liukumista voidaan estää limittyvämuotoisella (murskatulla) hieno-keskijakoisella soralla. Hienojakoisen aineksen, joka voi ajan myötä huuhtoutua kasvualustasta pois, määrän tulee olla rajoitettu jotta vältetään kasvualustan tiivyyden muutoksia ja tuetaan kasvien juurtumista ja näin edistetään kasvien juurten hoitamaa

kasvualustan sitomista. Pitkillä kaatoalueilla ja lappeilla tarvitaan yleensä lisäsalaojitusta, esimerkiksi salaojamattoa. [5, s. 37.]

Kasvillisuus vaikuttaa maaperän stabiliteettiin mm. seuraavien tekijöiden vuoksi: juuren halkaisija, juuren tyyppi, juurten määrä, juurten muoto, maaperän huokoisuus, maaperän rakeisuus ja maaperän vesi-, ravinne- ja mineraalipitoisuus. Maaperän stabiliteettia lisäävät tiheet juurikasvustot (RAR-luku, *the root area ratio*), joten lisäämällä kasvien kasvutihetyttä lisätään myös maaperän lujuutta. Massaliukumia vastustavat parhaiten tiheimmin juuria kasvavat pintakerrokset: tiivis ruohikkokasvillisuus suojaa rinnettä erittäin hyvin tuulen ja pintavalunnan aiheuttamaa eroosiota vastaan, kun taas pinnallisia massaeroosiotapauksia ehkäisee paremmin syväle juurtuva puukasvusto. Kasvillisuuden ja maaperän välisistä suhteista on kuitenkin vaikea määrittää yksiselitteistä vastausta - esimerkiksi suuret yksittäiset puut saattavat lisätä stabiliteettia puun kasvukohdassa, mutta ne eivät kuitenkaan lisää vakavuutta muualla. [142, s. 46–49.]



Kuva 63. Asioita, jotka vaikuttavat juurten ja maaperän lujuuteen [142, s. 46].

Viherkatto voi altistua eroosiolle. Vihertyöt tulisi ajoittaa vuodenaikaan nähden aina siten, että kasvuolosuhteet ovat valitulle kasvillisuudelle otollisimmat. Riski veden ja tuulen aiheuttamasta eroosiosta on suurimmillaan niin kauan, kunnes kasvillisuus on juurtunut kunnolla. Monikerroksisessa rakenteessa voidaan käyttää (myös kuivana) raskaampia kasvialustoja rakenteiden salliessa sekä lisäämällä asennetun kasvialustan päälle kiviä,

soraa tai singeliä. Eroosiota voidaan ehkäistä myös valitsemalla kasvilajeja, joista muodostuu nopeasti kestävä maanpeitekasvillisuus. Edellä mainittujen lisäksi tilapäisinä menetelminä toimivat kasvualustan pitäminen jatkuvasti kosteana, sekoittamalla siemenet, pistokkaat ja kasvualustan pintakerros keskenään sekä käyttämällä eroosiosuojaverkkoa. Mikäli kohde on erittäin tuulinen tai jyrkkä kaltevuudeltaan, käytetään märkäkylvöä tai valmiiksi kasvatettua kasvillisuusmattoa. Kasvualustan eroosioriskiä tulisi arvioida tuulikuormien lisäksi myös kattorakenteeseen valittujen yksittäisten materiaalien sortuma- ja valumariskin näkökulmasta. Tuulen aiheuttaman eroosioriskin vuoksi katon reuna-alueilla on usein perusteltua käyttää erilaisia kasvillisuusmattoja. Jyrkillä katoilla, joilla alueeseen kohdistuu runsaasti auringonpaistetta, saatetaan tarvita lisäkastelua ja -lannoitusta, kunnes kasvillisuus on riittävästi juurtunut tarjotakseen suojaa eroosiota vastaan. [5, s. 70 & 75.]

5.8.2 Veden pidätyskyky

Katon vihreytyksen kyky pidättää vettä perustuu sadevesiviemäriin johdettavien hulevesien vähentämiseen, kasvillisuuden käyttämään ja yhteyttämään veden määrään sekä sadevesijärjestelmään johdettavien hulevesien viivyttämiseen. Ominaisuuksilla on taloudellista, ekologista ja teknistä merkitystä. FLL:n ohjeet esittää testi- ja laskentamenetelmät sekä referenssiarvot vedenpidätyskapasiteetille (*maximum water capacity*), veden läpäisevyydelle (*water permeability*), virtauskerroimelle (*coefficient of discharge* tai *the runoff reference value [C]*, l/s, dimensioton), veden viivyttämiselle (*delaying water runoff*) sekä vuotuiselle virtauskerroimelle (*annual coefficient of discharge*). Vuotuinen virtauskerroin on joskus esitetty myös termillä tiivistyskerroin (*sealing coefficient*). Vedenpidätyskapasiteetti määritellään FLL:n testin mukaisesti upotuskokeessa, ja veden läpäisevyys määritellään FLL:n testin mukaisesti veden läpäisevyyskokeessa. Salaojitustarve viherrakenteessa määritetään salaojituskapasiteetin ja sademäärän suhdeluvun perusteella. Virtauskerroin määritellään FLL:n testin mukaisesti, ja se vaihtelee seuraavan taulukon mukaisesti riippuen rakenteen paksuudesta ja katon kaltevuudesta. Virtauskerrointa kasvatetaan, mikäli kohteessa on tarpeen järjestää tehokkaampi salaojitus. Myös paikallinen sademäärä voi vaikuttaa virtauskerroimen pienentämiseen tai suurentamiseen. Virtauskerroin voi vaihdella myös tuotekohtaisesti. [5, s. 45.]

Vuotuinen veden pidätyskyky ilmaistaan prosenttilukuna vuotuisen sademäärän ja vuotuisen veden pidätysmäärän suhteen, ja se riippuu viherrakenteen tyypistä ja myös

kasvualustan ominaisuuksista. Kasvualustojen ja viherrakennetyyppien erot korostuvat kesäisin, kun taas talviaikaan veden poistuminen kasvualustasta saavuttaa maksimitasonsa. [5, s. 45.]

Taulukko 13. Virtauskerroin erilaisissa monikerroksisissa viherrakenteissa [5, s. 45].

Kasvualustan syvyys	15° (n. 1:4) tai loivempi	15° (n. 1:4) tai jyrkempi
	C	C
> 50 cm	0,1	-
> 25 - 50 cm	0,2	-
> 15 - 25 cm	0,3	-
> 10 - 15 cm	0,4	0,5
> 6 - 10 cm	0,5	0,6
> 4 - 6 cm	0,6	0,7
> 2 - 4 cm	0,7	0,8

Taulukko 14. Vuotuinen vedenpidätyskyky erityyppisissä viherrakenteissa katoilla ilmasto-olosuhteissa, joissa vuotuinen sademäärä on 650–800 mm. Pääsääntöisesti alhaisempien sademäärien alueilla veden pidätyskyky on suurempi ja suurempien sademäärien alueilla pienempi. [5, s. 46.]

Vihreytystyyppi	Kasvualustan paksuus	Veden pidättävyys – vuotuinen keskiarvo	Vuotuinen virtauskerroin
	cm	%	ψ_a
Ekstensiivinen kasvillisuus	2 - 4	40	0,60
	> 4 - 6	45	0,55
	> 6 - 10	50	0,50
	> 10 - 15	55	0,45
	> 15 - 20	60	0,40
Intensiivinen kasvillisuus	15 - 25	60	0,40
	> 25 - 50	70	0,30
	> 50	> 90	0,10

5.8.3 Veden varastointikyky ja kastelu

Hyvin suunniteltua viherkattoa toimivilla kasvivalinnoilla ja sopivalla kasvialustalla ei tarvitse kastella kuin karuimmassa olosuhteissa. Ekologisimpana lähestymistapana pidetään yleensä sitä, että kastelua ja lannoitusta tarvitaan mahdollisimman vähän tai ei ollenkaan. Perinteisissä kattopuutarhoissa ja intensiivisissä viherkatoissa tarvitaan usein kastelua, mutta niissäkin kasvivalinnoilla voidaan välttää jatkuvan kastelun tarve. Erittäin

karuissa olosuhteissa kastelun rajoittaminen kuitenkin heikentää viherkaton paloturvallisuutta. [2, s. 97.]

Sadevesiä voidaan varastoida katolle kosteuden ylläpitämistä ja kastelua varten, mutta usein kustannussyistä katon kuormat ja kerrospaksuudet pyritään pitämään mahdollisimman pieninä, mikä käytännössä rajoittaa veden varastointikapasiteettia. Veden varastointimenetelmiä viherrakenteissa ovat mm. mahdollisimman paksun kasvualustan käyttäminen, veden sitominen kasvualustaan käyttämällä vettä sitovia kasvialustamateriaaleja, vettä säilyttävien levyjen tai mattojen käyttäminen, veden varastoiminen salaojituskerrokseen käyttämällä avohuokoista kiviaineslajitelmaa, käyttämällä tehdasvalmisteisia salaojitus- ja vedenvarastointilevyjä tai lisäämällä erillinen veden varastointikerros tai käyttämällä näiden yhdistelmiä. [5, s. 46; 21, s. 14.]

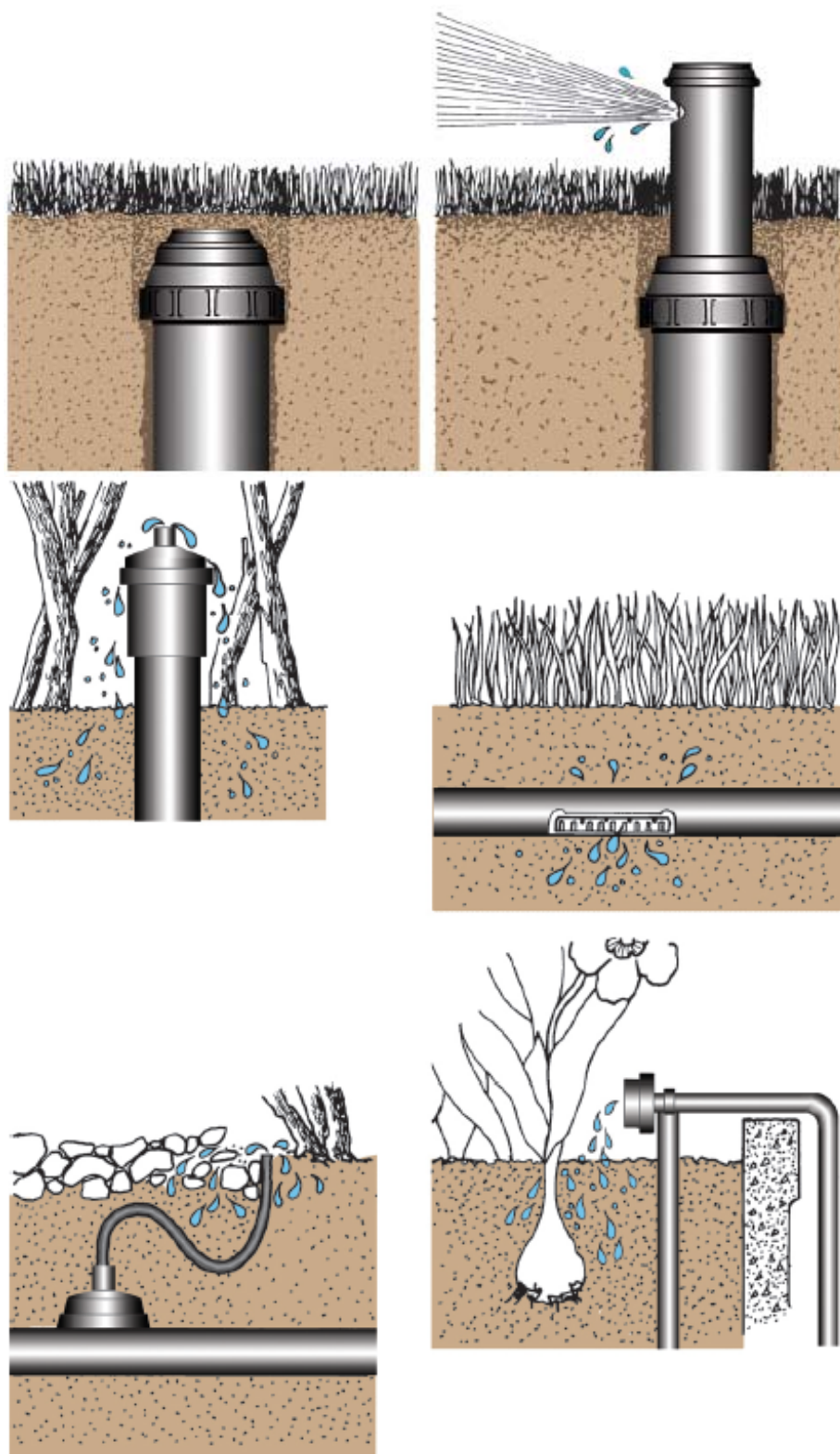
Kastelun järjestämiseksi katolle tarvitaan vähintään yksi riittävällä paineella toimiva, jäätymiseltä ja korroosiota vastaan suojattu vesiliittymä. Kastelujärjestelmä ja sen yksityiskohdat suunnitellaan halutun kasvillisuuden mukaan. Kastelun päämenetelmiä viherkatoilla ovat:

- *Letkukastelu.* Letkukastelu sopii lähinnä pienille ja yksityisessä käytössä oleville katoille sen käytön työläyden vuoksi (muita järjestelmiä voidaan esimerkiksi ajastaa). Letkukastelulla voidaan myös täydentää esimerkiksi katon reuna-alueiden kastelutarvetta eroosiota vastaan.
- *Pintakastelu sprinklaamalla.* Sprinklaus kuluttaa paljon vettä ja saattaa edistää pintajuurien kasvua, jotka ovat arkoja ääriämpötiloille ja kosteusstressille.
- *Tihkuletkumenetelmät.* Tihkuletkut voidaan kiinnittää kasvualustan pintaan tai upottaa sinne. Altakastelumenetelmät tarjoavat vettä ainoastaan kasvillisuuden juurille ja tuhlaavat vähemmän vettä eivätkä ole näkyvillä.
- *Kapillaarimenetelmät.* Huokoiset matot siirtävät vettä pohjalta kasvualustaan ja ovat parhaimmillaan matalissa, noin 20 cm:n kasvialustoissa, sillä paksummissa rakenteissa ne eivät kosteuta koko kasvualustaa.
- *Seisovan veden menetelmät.* Menetelmässä hulevedet kerätään kattopinnalta. Systeemi voi olla itsesäätelevä täyttyen katolta suodattuneista sadevesistä, mutta siihen voidaan johtaa myös tulvatilanteissa syntyneitä hulevesiä.

[2, s. 98; 5, s. 25 & 47.]

Kastelujärjestelmä vähentää tarvetta sitoa ja varastoida vettä viherrakennekerrokseen ja käytettäessä sade- ja valumavesiä veden palautuminen luonnon kiertokulkuun nopeutuu.

Kastelua voidaan tarvita myös viherrakenteen perustamiseen sekä jyrkillä viherkatoilla eroosion ehkäisemiseksi erityisesti ensimmäisinä vuosina. Kastelujärjestelmistä huolimatta kasvualusta ei saa koskaan vettyä. [5, s. 47.]



Kuva 64. Erilaisia viherkattojen kastelujärjestelmiä.

5.9 Suodatinkerros

Suodatinkerroksella estetään hienoaineksen huuhtoutumista katon salaojitus- ja vedenpoistojärjestelmiin. Viherkatoilla käytetään suodatinkerroksena geotekstiilejä, jotka voivat olla nukkamaisia mattoja tai neulottuja kankaita. Suodatinkerros asennetaan joko salaojituskerroksen päälle tai se voi olla osa salaojitusmattoa. Suodatinkerroksen tulee soveltua käyttöympäristöönsä ja istutettavaan kasvillisuuteen eikä se saa olla fytotoksinen (kasveille tauteja aiheuttava tai kasvua rajoittava). Sen tulisi olla riittävän tiheä, kestää riittävästi mekaanista rasitusta, kyetä suodattamaan, sallia juurten tunkeuma, kestää riittävästi sääolosuhteita ja mikro-organismeja sekä kemikaaleja ja omata riittävä lujuus, elastisuus ja kitka, mitkä ovat tärkeitä erityisesti jyrkillä katoilla. [5, s. 53–54.] Suodatinkerros limitetään asennettaessa vähintään 10 cm. Se nostetaan reunoille rakenteiden liittymäkohdissa ja reuna-alueilla ja se peitetään kasvualustalla. [5, s. 55.]

5.10 Salaojitus

Salaojitus on viherkaton tärkeimpiä tekijöitä, sillä vedeneristystä ei ole koskaan syytä altistaa tarpeettomasti jatkuvalla vedenpaineella. Samoin jatkuvasti märkä, vetinen alusta tuhoaa myös kasvit tehokkaasti. Jos salaojitus ei toimi, vesi jää seisomaan katolle ja rehevät lajit voivat vallata istutusalueen. Salaojituskerroksena voidaan käyttää soraa, hienojakoista kivimurskaa, laava- tai hohkakiveä, kevytsoraa (*expanded clay*) ja paisutettua savea (*expanded slate*). Lisäksi on mahdollista käyttää kierrätysmateriaaleja, kuten murskattua tiiltä, kuona ja vaahtolasia. Kierrätysbetonimursketta tai kalkkipohjaisia tuotteita ei tule käyttää. Markkinoilla on saatavilla myös strukturoituja nukkamattoja, muovisia nappulamattoja, neulottuja kuitumattoja ja vaahtolevymattoja. Lisäksi on saatavilla salaojituslevyjä: kuminappulalevyjä, muotoiltuja jäykkiä muovilevyjä ja muotoiltuja plastisia vaahtolevyjä. Markkinoilla on myös modifioituja vaahtolevyjä, jotka toimivat yhdistettyinä salaojitus- ja kasvualustalevyinä. [5, s. 48 & 52; 28.]

Materiaalit ja niiden sijoittelu rakennetyyppiin riippuu rakennesuunnitelmasta ja valitun kasvillisuuden tarpeista. Salaojituskerroksen tulee hoitaa salaojitustehtävänsä riittävästi suunnitellun käyttöiän ajan, kestää suunnittelukuormat ja yleensä suojata sen alapuolisia rakenteita. Kasvillisuuden näkökulmasta salaojituskerroksen tehtävänä on estää veden seisominen kasvualustassa, veden siirtäminen kasvuston käyttöön, kasvattaa juuriston käytettävissä olevaa syvyyttä ja sopia käytettävän kasvillisuuden vaatimuksiin. [5, s. 49 & 51.]

Rakennesuunnittelussa on kiinnitettävä erityistä huomiota siihen, etteivät salaojituserosmateriaalit aiheuta vaurioita vedeneristeelle tai juurisuojalle. Vaurioita ja mekaanista stressiä voivat aiheuttaa terävät reunat, hammastukset ja kennomaiset rakenteet, ja tällöin on tarpeen asentaa vedeneristeen tai juurisuojan päälle suojaava kerros ennen salaojituserosta Katon kaltevuuden alittaessa 1:50 (2 %) on yleensä tarpeellista käyttää paksumpaa salaojituserosta (näin loivia viherkattoja ei tulisi suunnitella). [5, s. 52.]

Salaojituserosmateriaalien tulisi olla hyvin vettä läpäiseviä, ja valmistajat ilmoittavat yleensä tuotteen salaojituskapasiteettina $l/(s \times m)$. Salaojituseroksen kapasiteetti rakenteessa voidaan laskea seuraavasti:

$$q' = \frac{A \times C \times q}{b} \text{ l/(s x m)}$$

jossa

q' = salaojituseroksen salaojituskapasiteetti, $l/(s \times m)$

A = salaojitettava pinta-ala, m^2

C = virtauskerroin (ks. luku 5.8.2 Veden pidätyskyky)

q = paikallinen maksimisademäärä, $l/(s \times m^2)$

b = veden virtausmatka, m

[5, s. 51.]

5.11 Juurisuoja

Kaikenlaisille viherkatoille vaaditaan juurisuojaus, jonka tärkeimpänä tehtävänä on estää vedeneristeen vahingoittuminen. Juurisuojatuotteita on sekä fyysisiä että kemiallisia. Juurisuojamateriaaleina käytetään suojaavia kalvoja ja kermejä sekä pinnoitteita ja nestemäisiä tiivistysaineita. Fyysiset juurisuojat on yleensä valmistettu tiheästä muovista. Jotkin vedeneristeet, kuten PVC, EPDM ja TPO toimivat vedeneristystehtävän lisäksi myös fyysisinä juurisuojina. Vesitiiviiden betonirakenteiden ja hitsattujen metallirakenteiden katsotaan omaavaan riittävä vastus juurten tunkeutumaa vastaan. Betonirakenteissa kuitenkin liikuntasaumot tulee käsitellä juurten tunkeumaa vastaan. Juurisuojattavassa rakenteessa vedeneristeen päälle voidaan lisätä erillinen juurisuojakerros tai vedeneristeessä voi olla juurisuojausominaisuus edellyttäen että se on testattu juurten tunkeumaa vastaan. Mikäli viherkatoille istutetaan voimakasjuuristoista kasvillisuutta

(esimerkiksi bambulajikkeita tai kiinanruokoa) tulee vedeneriste suojata rakenteellisesti myös muuten kuin pelkän juurisuojavedeneristeen avulla. [5, s. 27–28; 1, s. 14.] Juurisuojana voidaan pitää tuotetta, joka on testattu FLL:n testillä juurten tunkeumaa vastaan testillä BS EN 13948 "*Flexible sheets for waterproofing. Bitumen, plastic and rubber sheets for roof waterproofing. Determination of resistance to root penetration*" [155, s. 8]. Testi on lyhyesti kuvailtuna "kaksivuotinen tulikukkatesti", jonka läpäistyään tuotteen voidaan sanoa toimivan juurisuojana, vaikkei erittäin rajua juurten tunkeumaa välttämättä kestäkään (esimerkiksi puut ja pensaas).

Mikäli katto on jaettu erilaisiin toiminnallisiin osa-alueisiin, tulee koko katon alue suojata juurten tunkeumaa vastaan. Samoin kaikki epäjatkuvuuskohdat ja läpiviennit on suojattava. Kalvoja käytettäessä saumat tulee limittää vähintään 1,5 metriä tai liittää asianmukaisilla tuotteeseen sopivilla tarvikkeilla jotta juurisuojaus olisi yhtenäinen. Juurisuojan tulee kestää UV-säteilyä tai se tulee suojata UV-säteilyltä. Asennustöiden aikana erityisesti kalvot ja kermi on suojattava mekaanisilta vaurioilta. [5, s. 28; 1, s. 14.] Työmaa-aikana tulee kiinnittää erityistä huomiota vedeneristeen ja juurisuojan pinnan *puhtauteen ja suojaukseen*, jotta ne pysyvät toimintakuntoisina ja ehjinä.

Kemialliset juurisuojat ovat maailmalla paikoin kiellettyjä. Kemiallisia juurisuojia vältetään siksi, että kemikaalien mahdollinen huuhtoutuminen voi lisätä vesistöihin kulkeutuvia saasteita. Kemiallisten juurisuojauksen teho voi heikentyä ajan myötä, sillä kemikaalit tai metallilla (kuten kuparilla) impregnoituneet tuotteet voivat menettää juurisuojauksen estoaineen liuotessa veteen. Kemiallisista juurisuojista voi olla haittaa myös viherkaton kasvillisuudelle erityisesti mikäli ne pääsevät rakenteessa kosketuksiin juurten kanssa. [1, s. 14.] Toisaalta, käytettävissä olevista juurisuojatuotevaihtoehdoista mikään ei ole kovin *ympäristöystävällinen*. Esimerkiksi muovipohjaisten tuotteiden ympäristöhaittojen tiedetään olevan merkittäviä, vaikka niiden vaikutuksia tunnetaankin vasta melko vähän.

5.12 Vedeneristys

Vedeneristys on rakenteen tärkein osa, koska sen pettäessä rakenne vaatii lähes poikkeuksetta välitöntä korjausta. Vedeneristeen tullessa käyttöikänsä päähän kaikki sen päällä olevat rakennekerrokset, kuten istutukset, joudutaan poistamaan jotta korjaustoimenpiteet ovat mahdollisia. Viherkatolla näkyvä pinta saattaa helpostikin maksaa enemmän kuin sen alla olevat, teknisesti tärkeät rakennekerrokset yhteensä.

Yleisimmin Suomessa käytetään modifioiduista bitumeista valmistettuja bitumikermejä, yleensä SBS-kumibitumikermejä [95, s. 92]. Näiden käytöstä on Suomen olosuhteissa pitkäaikaisin ja vankin kokemus, mitä ei sovi vähätellä arvioitaessa tuotteen soveltuvuutta erityisen vaativiin viherkattorakenteisiin, sillä vedeneristyksen onnistuminen ja pitkäikäisyys on pitkälti opituista työmenetelmistä riippuvainen. Tätä kautta muodostuvat myös pikkuhiljaa onnistuneimmat suunnitteluratkaisut. 1990-luvulla on käytetty myös APP-muovibitumikermejä [95, s. 92]. Nykyään jonkin verran käytetään myös muovikermikatteita eli PVC (polyvinyylidikloridi) -katteita ja lisäksi aiemmin on käytetty myös muita muoviyhdisteitä, joista yleisin on ollut CPE (kloorattu polyeteeni) -kate [95, s. 95]. Kumi(kermi)katteiden käyttö on Suomessa vähäistä eikä tuotteille ole käyttöluokitusta. Suomessa saatujen kokemusten pohjalta normaaleihin loiviin vesikattoihin ei suositella muita kuin kermieristyksiä, joten vielä vaativammassa viherkattorakenteissa muiden tuotteiden suhteen tulee olla erityisen pidättyväinen. Tällaisia ovat esimerkiksi nestemäisinä levitettävät tuotteet, jotka voivat olla bitumi- tai polymeeripohjaisia (kuten mm. polyuretaanit, epoksit, akryylit), jotka muodostavat yhtenäisen saumattoman vedeneristyksen. [95, s. 98.] Nestemäisistä vedeneristeistä myönteisimpiä kokemuksia on polyuretaanielastomeeristä, jonka etuna on se, että se tarttuu (käsittelyn) betonipinnan lisäksi myös metalliin ja pintasirotteelliseen kumibitumikermiin. Sillä voidaan siten tehdä esimerkiksi vedeneristyksen yksityiskohtia, kuten hankalia läpivientejä, vaikka suorat pinnat olisikin tehty kumibitumikermeillä. Tällöin liittymäkohdissa käytetään pintasirotteellista kumibitumikermiä. [95, s. 163–165.]

FLL ja eri viherkattotuotteiden valmistajat ottavat hyvin vähän kantaa vedeneristysmenetelmiin, kuten yleensäkin rakennesuunnitteluun, muista kuin itse viherrakenteen suunnittelun näkökulmista. Tavallisesti malleissa yhdistetään surutta viherrakenne ja yläpohjarakenne määrittelemättä sitä tarkemmin ja huomioimatta toimiiko yhdistelmä. Riippumatta vedeneristeen laadusta, sen suojaamistarve mekaaniselta rasitukselta on rakennesuunnitteluun keskeisesti vaikuttava asia. Rakennesuunnittelussa määritellyt tekijät heijastuvat myös viherrakenteen suunnitteluun.

Vedeneristyskermit valitaan kaltevuuden mukaan, ja niille asetettavat vaatimukset ovat sitä suurempia mitä loivempi katto on. Loivilla katoilla katteiden tulee olla jatkuvia eli niiden saumojen tulee kestää vedenpainetta. Kateratkaisu valitaan tuote- ja käyttöluokituksen mukaan. Tuoteluokitus määrittää kermeille minimivaatimukset ja käyttöluokitus kermiyhdistelmävaihtoehdot eri kattokaltevuuksilla. Katerakenteet jaotellaan tavanomaisilla vesikatoilla katon kaltevuuden perusteella kolmeen eri

käyttöluokkaan: VE40, VE80 ja VE80R. Nämä kuvaavat vesikaton minimikaltevuutta, eli esim. VE40 minimikaltevuus on 1:40. Kateratkaisua valittaessa otetaan huomioon myös katteeseen rakentamisen ja käytön aikana kohdistuvat rasitukset. Kermiyhdistelmän valinnassa tulisi minimikäyttöluokkaa välttää. Kaksikerroskate on yhtenäinen rakenne, jossa kaksi kermiä asetetaan päällekkäin ja liimataan tai hitsataan toisiinsa (esim. TL 2 + TL 2, käyttöluokka VE80), ja ylemmän sekä alemman kermikerroksen saumat sijoitetaan eri kohtiin. Tällainen kaksikerrosrakenne minimoi vuotoriskin erilaisissa vaurioilanteissa. Mikäli katteessa on eri tuoteluokan kermejä, suositellaan pintakermiksi ominaisuuksiltaan parempaa kermiä, ja vain perustelluista syistä järjestystä voidaan muuttaa. Loivempia kattoja kuin 1:80 ei tule missään olosuhteissa suunnitella uudis- eikä korjausrakentamisessa. [115, s. 7 & 12; 126, s. 66; 118, s. 28; 114, s. 68–70.] Rakenteiden suunnittelun näkökulmasta on melko vähäinen merkitys sillä, onko kaltevuus 1:50 vai 1:80. Siksi aina kun mahdollista, tulisi tavoiteltavan kaltevuuden ainakin *viherkatolla* olla 1:50 tai jyrkempi, jotta vesien juoksumatka vedenpoistojärjestelmään ja kasvien menestymismahdollisuudet paranevat.

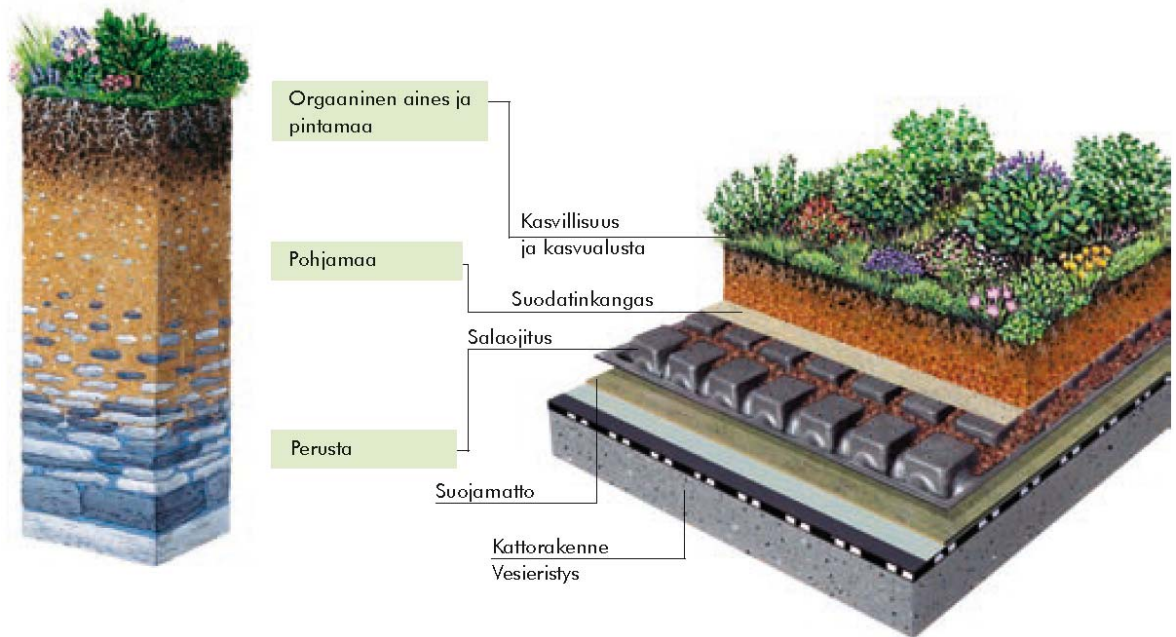
Taulukko 15. Bitumikermien käyttöluokat ja suositeltavat katerakenteet [118, s. 28].

Katerakenne	VE40 (1:40)	VE80 (1:80)	VE80R (1:80)
TL1	x		
TL3 + TL2	x		
TL2 + TL2	suositeltava	suositeltava	
TL2 + TL1	x	x	
TL2 + TL2 + TL2	x	x	suositeltava
TL2 + TL2 + TL1	x	x	x

Raskaasti liikennöidyillä ja/tai myöhemmin vaikeasti korjattavilla pihatasoilla suositellaan käytettäväksi VE80R-katerakennettä. Kevyesti liikennöidyillä henkilöliikenteen kuormittamilla terasseilla ja parvekkeilla vedeneristys voidaan mitoittaa käyttöluokkaan VE80, mikäli rakenne on helposti tarkastettavissa ja avattavissa.

Vedeneristys ja juurisuojavedeneriste suojataan rakenteellisesti suojaavalla pinnoitteella, suojaavalla kerroksella ja/tai rakennusaikaisilla suojaustoimenpiteillä käyttöolosuhteista ja rasituksista riippuen. Suojaava pinnoite estää vahingollisia vaikutuksia, jotka johtuvat staattisista, dynaamisista tai lämmön aiheuttamista rasituksista. Suojaava kerros torjuu vedeneristeeseen kohdistuvia mekaanisia rasituksia. Suojaavaa kerrosta ei lasketa vedeneristyskerrokseksi. Rakennusaikaisilla suojaustoimenpiteillä suojataan vedeneristettä ja juurisuojavedeneristettä mekaanisilta vaurioilta. Materiaaleina voidaan käyttää geotekstiilejä (vähintään 300 g/ mm² ja 2 mm paksu), muovipohjaisia levyjä (vähintään 4 mm paksu), kumimattoja (vähintään 6 mm paksu), salaojituslevyjä ja -mattoja sekä

lämmöneristyslevyjä. Materiaalien tulee kestää mikrobiologisia, mekaanisia, lämmön aiheuttamia ja kemiallisia rasitusolosuhteita sekä olla yhteensopivia vedeneristeen kanssa. Suojaavan kerroksen materiaalivalinta riippuu rakenteeseen kohdistuvista rasituksista rakentamisen ja käytön aikana. Äärimmäisissä olosuhteissa voidaan käyttää esimerkiksi suojabetonilaattaa. Tällöin vedenpoistojärjestelmälle on olemassa kuitenkin jonkinasteinen sedimentoitumisen riski. [5, s. 29–30.]



Kuva 65. Saksalaisen pitkän linjan viherkattoyrityksen ZinCon suunnitteluoppaan mukaan viherkaton on valittava halutuille kasveille sopiva järjestelmä ja vesieristys on suojattava mekaanisilta vaurioilta. Tästä syystä ZinCo esittää ratkaisussaan vedeneristeen päälle tulevaa suojamattoa (suoja mekaanisia rasituksia vastaan) ja alkuperäisestä käyttötarkoituksesta poiketen ns. nappulamattoa nappulat ylöspäin asennettuna (salaojitustehtävä). Rakenne olisi toteutettavissa yksinkertaisemmin salaojamatolla, joka varmistaa veden poistumisen vedeneristeen päältä ja jakaa (jonkin verran) siihen kohdistuvia kuormia.

5.13 Turvallisuus

5.13.1 Paloturvallisuus

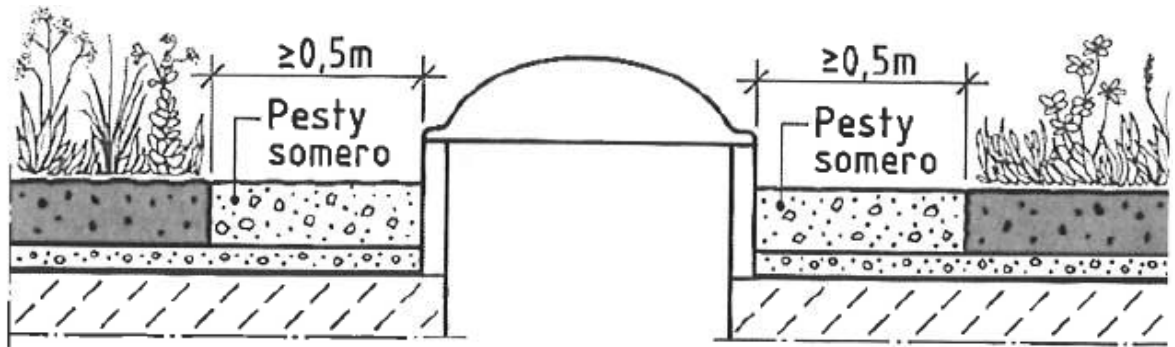
Suomen rakentamismääräyskokoelman E1 mukaan [156, s. 25] vesikatteiden paloluokkia on yksi: $B_{ROOF}(t_2)$, joka vastaa sekä entistä kateluokkaa K2 että vesikatteen suojakiveyksellä vanhaa luokkaa K1. Yleisesti vesikatteen tulee kuulua Luokkaan $B_{ROOF}(t_2)$. Luokkaan kuulumaton kate voidaan sallia erilliseen tulisijattomaan rakennukseen tai erityistapauksessa muuhunkin rakennukseen, mikäli tästä ei aiheudu aluepalon vaaraa.

Katemateriaalin paloluokitus selviää CE-merkinnästä tai muusta luotettavasta todistuksesta, kuten esimerkiksi VTT:n suorittamasta hyväksytystä palokokeesta [118, s. 30].

Vesikatteen alustalta vaaditaan vähintään luokkaa A2 - s1,d0 (materiaalin osallistuminen paloon on rajoitettu). Mikäli paloluokka ei täyty, kattopinnat on jaettava enintään 2400 m² osiin pysty- tai vaakasuorilla palokatkoilla. Ne sijoitetaan mahdollisuuksien mukaan alla olevien osastoivien seinien kohdalle. E1:ssä ei eritellä, miten palokatkot tulisi tehdä, vaan ohjetekstissä mainitaan: "Kattopinta jaetaan osiin pysty- tai vaakasuorilla palokatkoilla. Ne sijoitetaan mahdollisuuksien mukaan alla olevien osastoivien seinien kohdalle." Kattoliitto ry on antanut oman suosituksensa palokatkojen tekemisestä, jonka mukaan ensisijaisesti suositellaan vaakasuuntaisia palokatkoja. Vaakasuuntaiset palokatkot tehdään siten, että vedeneristyksen päälle asennetaan 5 m leveä suojakiveys, jonka kerrospaksuus on ≥ 20 mm ja raekoko 5–30 mm tai vaihtoehtoisesti valetaan ≥ 20 mm paksu betonilaatta. Suojakiveys on mahdollista korvata myös metallipintaisella pintakermillä. Pystysuuntaiset palokatkot tehdään siten, että rakennetaan ≥ 500 mm korkea ja 100 mm leveä, pääosin palamattomista materiaaleista tehty katko ja suojapellitys. Suojapellitys voidaan korvata myös eristämällä katko metallipintaisella pintakermillä. [118, s. 30.] Katon reuna-alueille asennettavat betonilaatat tai suojakiveys voi paloturvallisuusnäkökulman lisäksi toimia rakenteen kuormituksena tuulen imukuormaa vastaan [5, s. 34].

Viherkattojen paloturvallisuus herättää paljon keskustelua. Köhlerin mukaan viherkatot poikkeavat palovaarallisista olki- tai ruokokatoista paljon, ja hänen mukaansa viherkatoilla on yleensä suurempi palonkestävyys kuin tavanomaisilla katoilla. Ruohopeitteisen viherrakenteen palokuorma on 3 kW/m² verrattuna tavanomaisen bitumikatteen katon palokuormaan, joka on 50 kW/m². Viherkatoissa käytettävät mehikasvit ovat paloturvallisempia kuin heinät. Saksalaisissa ohjeissa etäisyys palaviin materiaaleihin erotetaan viherrakenteista 0,5–1,0 metrin suojakaistaleella kiviaineksella, esimerkiksi kattosingelillä. Suojakaistaa käytetään reuna-alueilla, kattoikkunoiden, piippujen ja muiden läpivientien ympärillä. Saksalaisittain oletetaan, että mikäli nämä toimenpiteet on tehty, ei viherkatto ole palovaarallisempi kuin esimerkiksi tiilikatto. Lisäksi viherkatoilla käytettävä sedumkasvillisuus on palonkestävää. [2, s. 99; 157, s. 12.] Sammalmaksaruohon paloturvallisuutta on tutkittu myös Ruotsissa, ja siellä kasvillisuus täyttää ns. T-luokan vaatimukset mikä tarkoittaa, ettei katolle ilmasta laskeutuva palopesäke leviä [17]. Kuntsi [46, s. 69] toteaa, ettei kattomultaseos saisi sisältää

humusta yli 20 % nurmikkopalovaaran takia. Esimerkiksi turve on maalaji, jonka painosta vähintään 40 % on orgaanista ainesta.

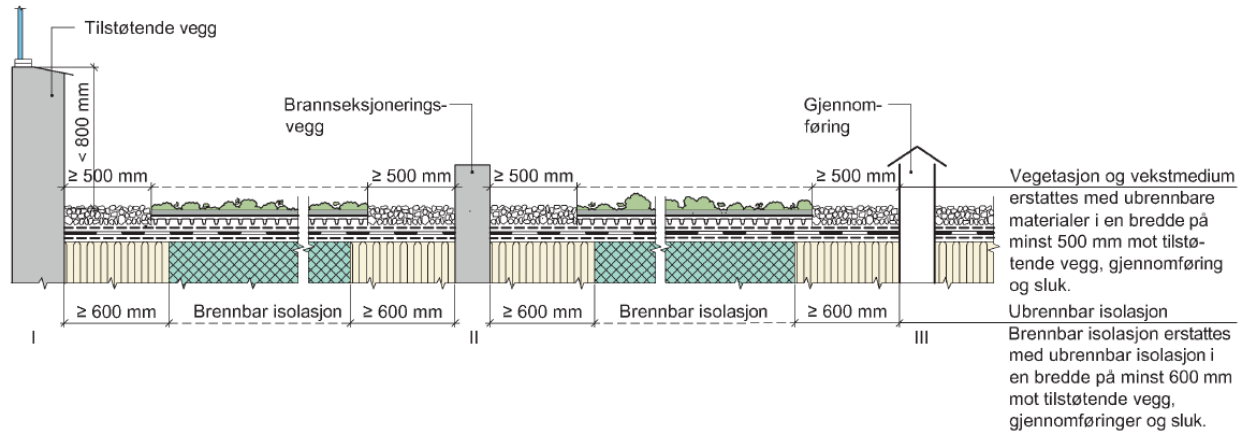


Kuva 66. Saksassa palomääräysvaatimusten mukaan mm. kattoikkunoiden ympärille tehdään 500 mm suojakaista kattosingelistä.

Viherkattojen parissa pitkää uraa tehnyt Jörg Breuning [157, s. 12–13] kuvailee Saksan ”viherkattopääkaupungissa” Stuttgartissa tehtyjä palokokeita viherkatoilla. Testeissä havaittiin, että kasvualustassa leviävää paloa oli lähes mahdotonta aikaansaada viherkatolla, vaikka 1990-luvulla olemassa olleilla katoilla orgaanisen aineksen määrä oli suurempi kuin nykyisissä FLL:n ohjeissa. Tavanomaisilla ”paljailta” katoilla palon syttyminen oli 15–20 kertaa todennäköisempää kuin ekstensiivisellä viherkatolla, joissa oli sedumia, alppikasveja ja ruohoja. Tässä tutkimuksessa, kuten myös myöhemmissä, todettiin, että viherkattoihin kuitenkin liittyy palon levittämisen riski esimerkiksi palavien ruohojen aiheuttamien kipinöiden vuoksi, jotka leviävät tuulen mukana. Breuning huomauttaa lisäksi, että Saksassa on tavallista saada palovakuutuksesta 10–20 % alennus yhtenäisille viherkatoille.

Norjan rakennustekniikan tutkimuslaitoksen Byggforsk:n suomalaista RT-ohjetta vastaavan *Sedumtak*-ohjekortin [127, s. 5] mukaan sedumkatot ovat melko paloturvallisia, kunhan kasvualustan paksuus on vähintään 30 mm ja orgaanisen aineksen osuus siinä maksimissaan 20 %. Kasvillisuus ja kasvualusta tulee rajata palamattomalla materiaalilla, esimerkiksi kiveyksellä tai betonilaatoilla, vähintään 500 mm kaistalla kaikista läpivienneistä, seinäliittymistä ja ikkuna-aukoista (kun ikkuna-aukon korkeusasema on valmiiseen kattopintaan nähden enintään 800 mm). Katot rajataan korkeintaan 40 m paloalueisiin, minkä välein palokatko tehdään kiveyksin, betonilaatoin tai vähintään 300 mm paksulla kasvualustalla. Katot tulee tarkastaa vuosittain palokattojen osalta. Kattoja tulee myös hoitaa säännöllisesti kastelemalla ja esimerkiksi niittämällä sekä poistamalla

kuihtuneita ja kuivuneita lehtiä. Suomalainen RT 85-10709 *Kansi- ja kattopuutarhat sekä viherkatot* suosittelee ainoastaan, että kattoikkunoiden ympärille on hyvä tehdä vähintään 500 mm leveä suojakaista somerosta [26, s. 8].



Kuva 67. Norjassa sedumkaton paloturvallisuutta parannetaan mm. suojakiveyskaistoilla [127, s. 5].

FLL:n mukaan raskas intensiivinen viherkatto ("*hard roofing*") on saksalaisten paikallisviranomaisien tulkinnoissa resistentti kipinöille ja palossa syntyvälle lämpösäteilylle silloin, kun intensiivinen viherrakenne on *kasteltu*, säännöllisesti huollettu ja siinä paksu kasvualusta. Ekstensiivinen viherrakenne katsotaan riittävän resistentiksi kipinöille ja palossa syntyvälle lämpösäteilylle kun voidaan osoittaa, että kasvualusta tai mineraaliseos ei ole alle 3 cm syvä, valittu kasvillisuus muodostaa matalan paloriskin, katon reuna-alueet, läpiviennit ja korkeintaan 80 cm korkeudella valmiista kattopinnasta sijaitsevien ikkunoiden edustat on suojattu vähintään 50 cm suojakiveyksellä sekä katolla on rakennettu 40 metrin välein vähintään 30 cm korkeat palokatkot tai 1 m leveä suojakiveys- tai betonilaattakaistale silloin kun palokatkoja ei ole tarpeen ulottaa kattopinnan yläpuolelle. [5, s. 36; 158.] Myös Ruotsissa tulkinta on pitkälti samanlainen Suomeenkin maahantuovan yrityksen mukaan, tosin lisättyä sillä, että väliseinien kohdalle on tehtävä vähintään 1 m leveä vaakasuuntainen palokatko [159, s. 69].

Lähtökohtaisesti viherkatteet eivät kuulu luokkaan $B_{\text{ROOF}(t2)}$. RakMK E1 mukaan erilliseen tulisijattomaan rakennukseen tai erityistapauksessa muuhunkin rakennukseen luokkaan kuulumaton kate voidaan sallia, mikäli tästä ei aiheudu aluepalon vaaraa [156, s. 25]. Katon suunnittelussa huomioidaan sekä sisäpuolisen että ulkopuolisen palon vaara. Sisäpuolista paloa vastaan voidaan suojatua rakenteellisesti paloa kestäväillä tai hidastavilla rakennusmateriaaleilla (esimerkiksi puurakenteisissa yläpohjissa vähintään

kaksinkertainen kipsilevytyks tai palamaton lämmöneriste). Ulkopuolista paloa voidaan torjua yksityiskohtien sekä reuna- ja nurkka-alueiden palosuojauksella. Myös automaattisen sammutusjärjestelmän käyttöä voidaan harkita esimerkiksi niittykatoilla. Mikäli kasvualusta ei sisällä suuria määriä orgaanista ainetta, kasvualustan syttymis- ja palonlevittämisriski on matala.

Kuntaliiton Hulevesioppaassa [160, s. 199] todetaan, että turvekatot tulevat harvoin kyseeseen kohteissa, joissa on tiukat paloturvallisuusvaatimukset. Turve on kuivana herkästi syttyvää ja vaikeasti sammutettavaa, ja kuiva turvepöly voi muodostaa ilman kanssa räjähdysherkän seoksen. Turve voi syttyä joko ulkoisen lämmönlähteen vaikutuksesta tai itsesyttymällä. Yli 60 % kosteudessa turve tarvitsee syttyäkseen ulkoisen lämmönlähteen. Alle 50 % kosteudessa turpeen syttymispiste saattaa olla jopa vain 150 °C, kun esimerkiksi puun syttymispiste on noin 400 °C. Alle 30 % kostea turve, joka tuntuu kädessä täysin kuivalta, on räjähdysarkaa. Palo etenee turpeessa hitaasti, mutta tuulella palo leviää kipinäpalona erittäin nopeasti. Turvepalolle on ominaista runsas savukaasujen muodostus. [161, s. 3–4; 162.]

Paloluokitus katolle, jolla on käytetty maksaruohomattoa

i

Suomessa Nordic Waterproofing Oy:n Kerabit-valikoimaan kuuluvat Sempergreen-maksaruohokatteet on testattu kokonaisrakenteina paloluokitusta varten VTT:llä. Kaikki kolme testattua rakennetta saavuttivat ulkoisen palon kestävyys suhteen luokituksen $B_{ROOF}(t2)$. Maksaruohomattoja kuivatettiin ennen testausta. Testit tehtiin EPS-eristeen päällä.

Rakenne 1 yläpinnasta alkaen oli:

- Sempergreen-maksaruohomatto
- Sempergreen-huopamatto
- Kerabit Juurisuojakermi
- Kerabit 4100 UT x 2 (vedeneristys)

Rakenne 2 yläpinnasta alkaen oli:

- Sempergreen-maksaruohomatto
- Suodatinkangas
- Platon DE 25 (salaojittava kerros)
- Kerabit Juurisuojakermi
- Kerabit 4100 UT x 2 (vedeneristys)

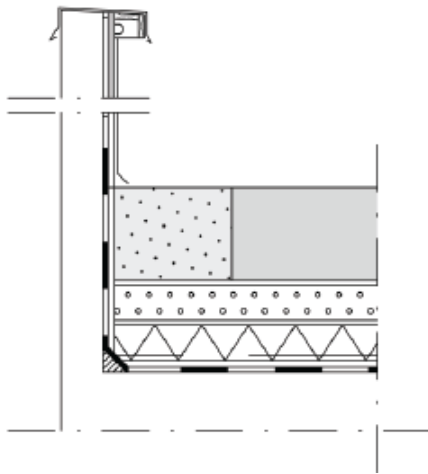
Rakenne 3 yläpinnasta alkaen oli

- Sempergreen-maksaruohomatto
 - Suodatinkangas
 - Platon DE 25 (salaojittava kerros)
 - Kerabit Juurisuojakermi
 - Kerabit 4100 UT x 2 (vedeneristys)
 - Isover OL-TOP-U 30 mm (laakerointikerros).
- [163.]

EPS-lämmöneristeen päällä on ennen vedeneristystä käytettävä laakerointi-/ erotuskerrosta, joka on yleensä vähintään 20 mm kerros kovaa mineraalivillaa hoitaen myös vedeneristyskermin kiinnitysalustan tehtävät [95, s. 114]. Siten kokeissa edustetuista rakenteista rakenne 3 vastaa rakennetta, joka on tällä hetkellä kokonaisuutena suositeltava toteuttaa. Mielenkiintoista olisi testata maksaruohokatteen paloluokitus puualustan päällä – mutta kuten todettu, kaikki alan toimijat mukaan lukien, nämä olivat vasta ensimmäiset palokokeet Suomessa kokonaisrakenteista. Tehtäessä paloluokitus-testi betonialustalla on odotettavissa, että paloluokitustestit voi läpäistä helposti.

5.13.2 Käyttö- ja huoltoturvallisuus

Viherkatto vaatii turvallisen ja helpon pääsyn katolle, jotta säännöllisesti tarvittavat huoltotoimenpiteet voidaan suorittaa turvallisesti. Huoltotoimenpiteisiin liittyvät työkalut ja tarvikkeet on voitava siirtää katolle ja sieltä pois turvallisesti, mukaan lukien katolta poistettavat roskat ja jätteet. [127, s. 7.] Kansi- ja kattopuutarhat, joissa oleskellaan, varustetaan suojakaiteella, joka mitoitetetaan määräysten mukaisesti [26, s. 9]. Oleskelualueita sisältävälle viherkatonlehdelle tarvitaan kulkua varten portaat (tai hissi) sekä varauloskäynti [21, s. 11].



Kuva 68. Viherkaton kaide.

Asennus- ja huoltotöiden turvallisuus ja putoamissuojaus varmistetaan köysin, turvakiskoin, nousukiskoin sekä sisäpuolisella käynnillä katolle. Rakennusaikana käytetään kaiteita ja telineitä. Turvaköysien kiinnityspisteitä tulee olla riittävästi ja ne ankkuroidaan kiinteästi rakenteisiin. [5, s. 24.] RakMK F2 *Rakennuksen käyttöturvallisuus* määrää, että kaikkiin rakennuksen säännöllisesti siivottaviin, huollettaviin tai tarkastettaviin osiin on järjestettävä pääsy ja työskentelymahdollisuus niin, että työntekijöiden ja sivullisten turvallisuus on otettu huomioon. Yli kaksikerroksisissa rakennuksissa ullakolle ja katolle tulee määräysten mukaan päästä sisä- ja ulkokautta. Rakennuksen ollessa yli kaksikerroksinen ja jyrkkäkattoinen (tässä yli 1:8) savupiipuille, ilmanvaihtolaitteille ja muille säännöllistä huoltoa vaativille rakennusosille ja laitteille järjestetään katkeamaton huoltotie käyttämällä kattosiltaa, lapetikkaita, kattoportaita, askeltasoja ja jalkatukia kohteeseen soveltuvalla tavalla. [164, s. 18; 114, s. 35–36.]

Turvavarusteiden tulee katolle asennettuna kestää niille tarkoitettu kuorma ja ne tulee tarkastaa ja huoltaa säännöllisesti [164, s. 20]. Kuten kaikkien kattotarvikkeiden, myös

turvavarusteiden tulee kestää ilmaston aiheuttamia rasituksia. RakMK F2 [164, s. 20] määrää, että kattokulkutien kaikki osat mitoitetaan ja kiinnitetään siten, että niitä voidaan käyttää henkilösuojainten kiinnitykseen, ja kunkin osan tulee kestää turvaköyden varaan putoavan henkilön paino. Vesikattoturvallisuutta käsitellään tarkemmin mm. RT-kortissa RT 85-11132 *Vesikaton turvavarusteet* [117].

Suomen Rakentamismääräyskokoelma RakMK F2 [164] edellyttää, että sisäänkäyntien ja kulkuväylien kohdat sekä talvella käytettävät leikki- ja oleskelualueet tulee suojata rakennuksen katolta putoavalta lumelta ja jäältä. Määräys koskee myös rakennusta ympäröivää katualuetta ja muuta yleistä aluetta [115, s. 40].

5.14 Liittymät ja yksityiskohdat

5.14.1 Seinäliittymät ja ylösnotot

Vedeneristeen ja juurisuojevadeneristeiden ylösnotot tulee suojata mekaanisilta vaurioilta [5, s. 33]. Ylösnotot seinille tulee tehdä vähintään 300 mm korkeina valmiista kattopinnasta sekä katolla vähintään 100 mm padotuskorkeuden yläpuolella ja tiiveys seinärakenteeseen on varmistettava sekä alus- että vesikatteen osalta. [95, s. 121; 118, s. 35.] Padotuskorkeus on korkeus, johon vedenpinta voi nousta kattokaivon tai vastaavan tukkeutuessa. Vedeneristyksen ylösnostojen ja tuuletusputkien yläpäiden on oltava tulvaveden enimmäistason yläpuolella. [137, s. 39; 114, s. 72.] Saksalaisittain ylösnostokorkeus on katsottu yleensä matalammaksi (10–15 cm riippuen katon kaltevuudesta). Tähän on kiinnitettävä erityistä huomiota kun käytetään saksalaisia tuotteita viherkatoilla: suomalaista ylösnostokorkeutta on noudatettava.

5.14.2 Ovi liittymät

Ovien kynnysten kohdalla voidaan sallia vain 100 mm:n ylösnoto, mutta liitoksen ovirakenteisiin ja seinään on oltava ehdottoman vesitiivis [118, s. 35]. Yleensä kynnykset tulee toteuttaa esteettöminä, mikä aiheuttaa suunnittelulle suuren haasteen vedeneristyksen liittämässä luotettavasti rakenteisiin.

5.14.3 Turvamarginaalit

Reuna-alueilla, rakenteiden liittymäkohdissa ja läpivientien ympärillä käytetään joko suojakiveyskaistaa tai betonilaatoitusta, joka suojaa rakenteita tuulen imukuormalta ja lisää paloturvallisuutta. Salaojitus- ja suodatinkerroksen tulee olla myös turvamarginaalialueilla yhtenäinen kuten viherrakenteen alla. [5, s. 34.]

5.14.4 Katon reuna-alueet

Tuulen imukuorma on loivan katon reuna- ja nurkka-alueilla suurin. Alueet suojataan singelillä, kivillä tai muilla päällysteillä vaurioiden välttämiseksi. Reuna-alueen suojakaista esim. singelistä estää myös kasvillisuutta aiheuttamasta juurituhoja vedeneristeelle. [2, s. 97.] Reuna-alueen singelikerros suojaa kasvualustaa myös tuulieroosiolta [26, s. 4]. Reuna-alueiden kiveykset lisäävät myös katon paloturvallisuutta [mm. 5, s. 36].

5.14.5 Oleskelualueet

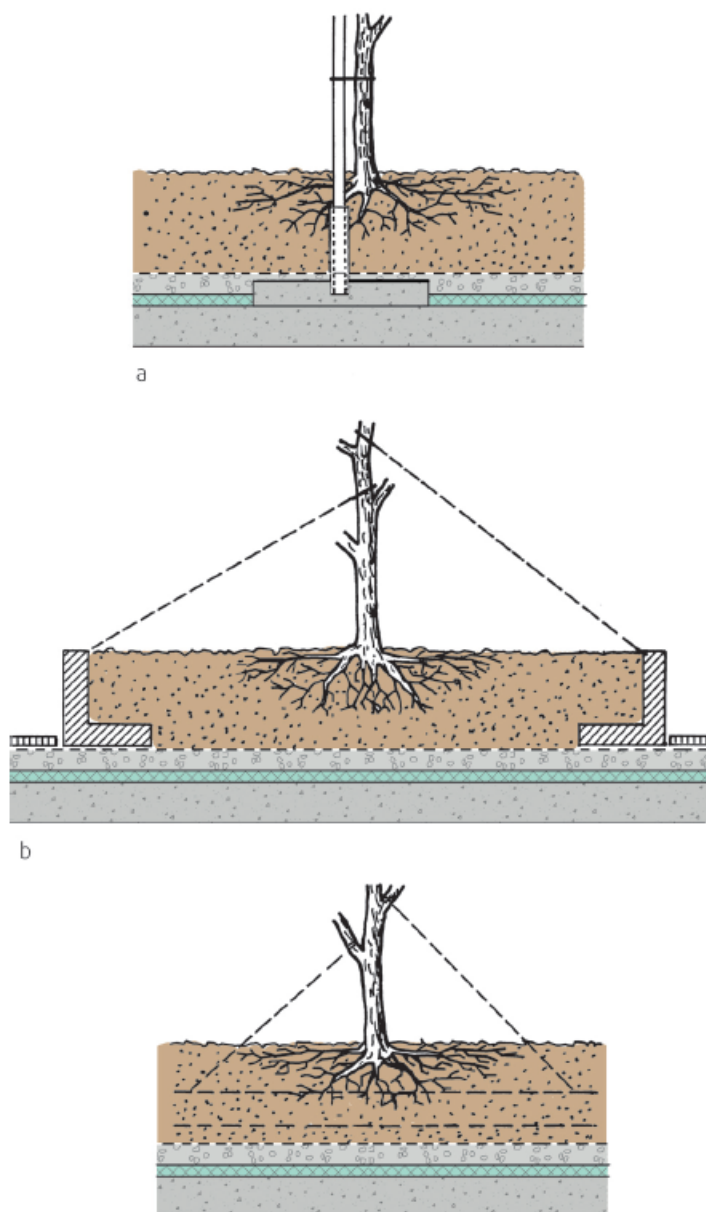
Tavanomaisesti niin intensiivisten kuin ekstensiivisten kattojen kasvillisuus ei kestä oleskelualueena, vaikka normaalit huolto- ja hoitotoimenpiteet voidaankin suorittaa. Oleskelualueet päällystetään tai oleskelualueeksi rakennetaan esimerkiksi patio. Koko viherkaton alueella voidaan oleskella vain kun kasvillisuus on kulutusta kestävää nurmikasvillisuutta. [5, s. 21.]

5.14.6 Luiskat

Ulkotiloissa käyttökelpoisen luiskan kaltevuus on enintään 5 % (1:20). Luiskan pinnan tulee olla kova, tasainen ja luistamaton. [165; 166, s. 7; ks. myös 167, s. 7; 164, s. 6.] Usein luiskat ja esteettömät käynnit rakennukseen aiheuttavat täyttöjä kannelle.

5.14.7 Puiden ja pensaiden stabiiliteetin varmistaminen

Puiden ja pensaiden stabiiliteetti voidaan varmistaa vahvistamalla tai ankkuroimalla. Puiden ja pensaiden suunnittelussa ja asennuksessa tärkeintä on, että kasvualusta on riittävän paksu ja juuristo voi juurtua siihen kunnolla. Metallisten ankkurointimateriaalien on oltava ruostumattomia. [5, s. 69.]



Kuva 69. Puun ankkurointi rakenteeseen, esimerkkejä norjalaisen RT-kortin mukaisesti [168, s. 5].

5.14.8 Varusteet ja läpiviennit

Viherkaton varusteita ovat esimerkiksi ritilät, pergolat, valaistus ja rakennetut lammet. Varusteiden tulee olla tukevia ja ne tulee asentaa siten, että niiden aiheuttama kuorma jakautuu mahdollisimman tasaisesti. Varusteet tulee kiinnittää luotettavasti esimerkiksi pintabetonilaattaan. Kiinnitysmenetelmistä ja -tavoista on tehtävä tapauskohtaiset laskelmat. Kaikkia mahdollisia läpivientejä rakenteeseen tulee mahdollisuuksien mukaan välttää. Vedeneristeen läpi ei saa kiinnittää missään olosuhteissa mitään, vaan mahdolliset läpiviennit toteutetaan asianmukaisin, esimerkiksi HST-läpivientikappalein. [5, s. 39–40; 95, s. 165.]

5.15 Viherkaton hoito ja huolto

Kaikki viherkatot tarvitsevat valmistuttuaan joko tietyn aikajakson ajan huolto- ja hoitotoimenpiteitä tai jatkuvaa huoltoa, jotta katon kasvillisuus saadaan kukoistamaan ja pidettyä sellaisena. Tavanomaisesti viherkattotyöhön liittyy kiinteä kahden vuoden hoitoaika, jonka jälkeen tilaaja voi hankkia hoitopalvelut muualtakin kuin viherrakenteen asentaneelta yritykseltä. [11, s. 8.] Viherkaton suunnittelijoiden, omistajien ja rakentajien tulee tietää pääpiirteittäin minkälaisia hoito- ja huoltotoimenpiteitä tarvitaan vuosittain. Viherkaton kasvien valintaan, hoitoon ja huoltoon vaikuttavat kasvupaikan aurinkoisuus, räystäiden ja seinänvierustat sekä tuulikuormat. Kasvillisuuden osalta tärkeintä on huolehtia, että kasvillisuus vastaa katolle suunniteltua kasvillisuutta ja sinne kuulumattomat kasvit poistetaan. Erityisesti varjoisilla alueilla rikkaruohot voivat päästä herkästi valloilleen varsinkin jos salaojitus on puutteellinen tai sen toiminnassa on häiriöitä. Huolto- ja kunnossapitotoimenpiteitä tehdään esimerkiksi erilaisilla työkaluilla, kuten lapiolla, ruohonleikkureilla ja viimeistelyleikkureilla. Niitä käytettäessä on huolehdittava erityisesti, ettei vahingoiteta kalvoja, salaojituskerroksia tai muita erityisiä katon toiminnalle tärkeitä rakennekerroksia. [127, s. 7.] Viherkaton suunnittelussa huomioidaan aina mahdollisten hoitotoimenpiteiden vaatimien työkalujen käyttö siten, että vaurioitumiselle herkätkä paikat suojataan rakenteellisesti. FLL jakaa viherkattojen hoito- ja huoltotoimenpiteet kolmeen ryhmään: käyttöönottohuoltoon, kasvillisuuden jatkuvaan ylläpitoon, hoitoon ja huoltoon sekä tekniseen huoltoon (*Liite 3*) [5, s. 71–74].

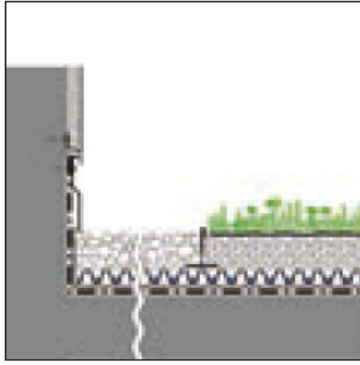
Tärkeä kysymys ristiriitojen välttämiseksi on vastavalmistuneen viherkaton ulkonäkö suhteessa tilaajan odotuksiin. Suomessa ei ole vakiintunutta käytäntöä työn luovutukselle, mutta FLL suosittelee työn luovutusta vasta 12–15 kuukauden kuluttua työn aloituksesta, jotta kasvillisuus olisi ehtinyt olla katolla yhden lepokauden yli sekä mielellään myös kuivan ja pakkaskauden yli. Tällöin kylvettyä tai istutettua sedumkasvillisuutta ja sen onnistumista voidaan arvioida siten, että se peittää vähintään 60 % kattopinta-alasta ja vähintään 60 % kylvetyistä lajeista on lähtenyt kasvuun. Mikäli arvot ovat alle 20 %, katto ei ole valmis luovutettavaksi. Kasvillisuusmattojen kasvillisuuden täytyy olla juurtunut kunnolla siten, ettei se irtoa, ja kasvillisuuden peittävyys tulee olla 80 %. Arvioinneissa otetaan huomioon vuodenaikoihin liittyvät olosuhteet. [5, s. 71.] Luovutuskäytäntöjä tulisi Suomessa tarkistaa.

5.16 Riskienhallinnasta

Tavoitteiden asettaminen hankkeen alussa on vaihe, joka määrää hankkeen onnistumismahdollisuudet. Kaikilla hankkeeseen osallistuvilla tulee olla yhtenevä näkemys siitä, mitä halutaan saada aikaiseksi ja minkälaisilla menetelmillä. Tärkeää on myös ymmärtää, millä aikataululla katto tulee näyttämään odotusten mukaiselta – valitusta kasvillisuuden perustamismenetelmästä riippuen katto voi näyttää melko nopeasti tai vasta muutamien vuosien kuluttua siltä, mitä on tavoiteltu.

Tärkeää on selvittää myös vastuukysymykset: vastaako katto- ja viherrakenteista yksi taho vai useampi, jolloin mahdolliset takuukysymykset vähintäänkin monimutkaistuvat huomattavasti. Vedeneristysurakoitsijalle on suuri riski päästää ketään tekemään mitään valmiin vedeneristyspinnan päälle: pintarakenteita rakentavat eivät välttämättä ymmärrä tai osaa työskennellä siten, että vedeneristys säilyisi vahingoittumana – tai pahimmassa tapauksessa pinta-asennuksia tekevä kiinnittää jotakin suoraan vedeneristeestä läpi. Rakennuttajan näkökulmasta tilanne on ongelmallinen: rakennuttaja voi joutua selvittämään vastuukysymyksiä pitkäänkin riippuen käytännössä siitä, miten työmaata on johdettu ja miten sitä on dokumentoitu. Rakennuttajan olisikin suositeltavaa pysyä kokonaisratkaisujen hankinnassa tai palkata projektinjohtajaksi henkilö, jolla on riittävä ammattitaito viherkattohankkeisiin liittyvään riskienhallintaan.

Kokonaisrakenne on aina arvioitava eri osa-alueiden erikoisosaajien toimesta, jotta onnistunut lopputulos voidaan taata. Viherkattoja on rakennettu pääasiassa leudommissa ja vähälumisemmissä ilmasto-olosuhteissa kuin Suomessa. Suomalaiset määräykset ja ohjeet on sovellettava maailmalta tuotaviin ratkaisuihin – ratkaisut eivät yleensä puhtaasti kelpaa sellaisenaan näihin olosuhteisiin. Jokaisessa projektissa on varmistettava, ettei maailmalta tuotuja ratkaisuja toteuteta ilman (mieluiten katto- ja vedeneristysrakentamiseen erikoistuneen) rakennesuunnittelijan projektikohtaista arviointia. Paikalliset olosuhteet ja määräykset täytyy osata huomioida ja soveltaa käytäntöön.



Vesieristyksen täytyy seinän vierustoilla nousta noin 150 mm valmiin kattopinnan yläpuolelle. Nousun yläreuna on suojattava sadevedeltä esimerkiksi käyttämällä FZ-listaa ja suoja profiilia EP 150.

Kuva 70. Seinänvierukset. Esimerkki, mitä voi tapahtua kun detaljeja ei ole esitetty alun perin suomalaisiin olosuhteisiin. Ohje on mitä ilmeisimmin suoraan käännetty saksankielisestä ohjeesta suomeksi. Ohjeessa vedeneristyksen ylösnostoksi neuvotaan 150 mm. Asiaan perehtynyt suomalainen rakentamismääräykset ja -ohjeet tunteva suunnittelija tietäisi, että ylösnoston minimikorkeus on 300 mm katon valmiista pinnasta tai "kulutuspinna" (mikä on viherkattorakenteessa täysin eri asia kuin vedeneristyksen pinnan korkeus). Monin paikoin tämäkään ei voimassa olevien ohjeiden mukaan riitä, vaan tietyin edellytyksin ylösnostoa on nostettava vieläkin korkeammaksi Suomen olosuhteissa [95, s. 123]. Liian matalilla vedeneristyksen ylösnostoilla toteutettuna viherkattohankkeen lopputuloksena olisi ensimmäisenä keväänä suurella todennäköisyydellä ulkokehältäään vuotava rakenne.

5.17 Korjausrakentamiskohteista

Tyypillisin korjausrakentamiskohde, jolle (mahdollisimman kevyt ekstensiivinen) viherkatto voi soveltua, on suoralappeinen, jyrkkäkattoinen (1:10 tai jonkin verran jyrkempi) rakennus, jossa jännevälit eivät ole kovinkaan pitkiä ja mm. ristikot riittävän järeitä. Kevyt, ohutrakenteinen (ekstensiivinen) katto voi tulla kyseeseen myös vastaavantyyppisiin pulpettikattoisiin rakennuksiin. Puurakenteisissa yläpohjissa suunnittelijan on erityisesti huomioitava paloturvallisuusasiat, ja kasvillisuudeksi suositellaan mehikasveja, erityisesti sedumeja. Puurakenteisissa yläpohjissa myös rakennusfysikaalisen toiminnan muutokset viherrakenteen lisäämisen seurauksena ovat todennäköisimpiä mm. nykykäsityksen mukaan alimitoitettun höyrynsulun vuoksi.

Myöhemmillä vuosikymmenillä, 1960- ja 1970-luvuilla suosittiin tasakattoja niin asuinrakennuksissa kuin muissakin kiinteistöissä. Kattokaltevuudet on näissä mitoitettu

yleensä minimiin – sellaiseksi, ettei viherkatto käytännössä sovellu niin pienelle kaltevuudelle mm. vedenpoistokapasiteetin rajallisuuden vuoksi. Samoin rakenteiden mitoitus on tämän aikakauden rakennuksissa jo huomattavasti kevyempää kuin aiemmin rakennetuissa. Myöhempien aikakausien loivat katot ovat ehkä hieman jyrkentyneet, mutta tyyppillistä niillekin on liian loiva kallistus erityisesti vähemmän kuormittavan ekstensiivisen viherkaton alustaksi. Samoin mitä lähemmäs tätä päivää tullaan, rakenteiden mitoitus on entisestään tarkentunut kustannusten säästämiseksi, mikä lähtökohtaisesti rajoittaa suurten lisäkuormien tuomista olemassa oleville katoille. Mikäli liian loiva kaltevuus on viherkaton rakentamisen ainoa este, voidaan katolle tehdä tarvittavat kallistuskorjaukset jos viherkaton rakentaminen yhdistetään laajempaan kattoremonttiin.

Kantakaupungin katot ovat usein hyvin jyrkkiä ja monimuotoisia, minkä vuoksi viherkaton rakentaminen ja huolto voi olla kallista ja erittäin haastavaa. Tavallisillakin katemateriaaleilla on tämän tyyppisissä kiinteistöissä haasteensa: viherkatto ei koskaan ole ehdottoman huoltovapaa, ja erityisen jyrkillä katoilla on joskus jopa mahdotonta työskennellä työturvallisuuslain edellyttämällä tavalla ilman raskaita toimenpiteitä. Työturvallisuuslaki ei huomioi, milloin kiinteistö on rakennettu, vaan katoilla on aina voitava työskennellä turvallisesti. Kiinteistöille, joissa on hyvin jyrkkä ja/tai monimuotoinen katto, suositeltavampia vihreytyskohteita voivat olla sisäpihat, parvekkeet ja terassit varsinkin pihakansien peruskorjausten yhteydessä. Tällöin pääpaino siirtyy esimerkiksi kiinteistön yleisen viihtyvyyden nostamiseen ja mahdollisesti kaupunkiviljelyyn.

Korjausrakentamiskohteissa on aina ensiarvoisen tärkeää, että rakennesuunnittelija arvioi rakenteet ja niiden kapasiteetin ottaa lisäkuormitusta vastaan. Samoin yläpohjarakenteen tekninen ja rakennusfysikaalinen toimivuus on tarkastettava. Vasta näiden selvitysten jälkeen kannattaa edetä tarkempaan suunnitteluun siitä, minkälaista viherkattoa tavoitellaan ja minkälainen rakenne voisi tulla kysymykseen.

6 RAKENNETYYPPIEN ARVIOINTI

6.1 Rakennetyyppejä maailmalta

6.1.1 Saksa

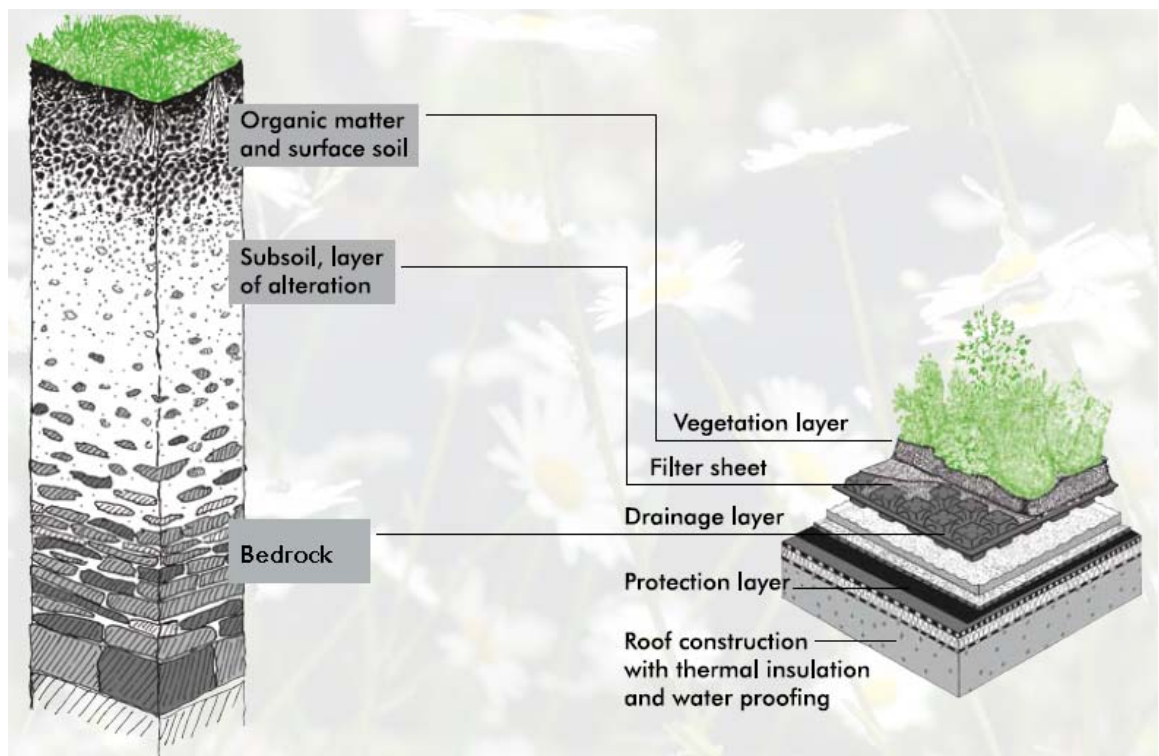
FLL:n ohjeessa todetaan eri rakennetyyppien soveltuvuudesta viherrakenteiden alustaksi seuraavaa:

- Lämmöneristämättömät tuulettamattomat katot (*kylmä rakenne*): kaikenlaisia viherrakenteita voidaan suunnitella ja toteuttaa suurillakin suunnittelukuormilla. Kasvillisuudelle pakkasen, roudan ja hallan aiheuttamien vaurioiden mahdollisuus on suurempi kuin lämmöneristetyissä rakenteissa.
- Lämmöneristetyt tuulettamattomat katot (*suljettu rakenne*): kaikenlaisia viherrakenteita voidaan suunnitella ja toteuttaa suurillakin suunnittelukuormilla. Lämmöneristeen kuormituskestävyys ja puristuslujuus tulee olla sellainen, että se kestää tavanomaisten kuormien lisäksi myös viherrakenteiden (mukaan lukien kasvillisuus) aiheuttamat kuormat.
- Lämmöneristetyt tuulettamattomat katot kevytrakenteisissa yläpohjissa (*tuulettamaton lämmöneristetty rakenne kevytrakenteisissa yläpohjissa*): lähtökohtaisesti vain kevyet viherrakenteet soveltuvat rakenteeseen, ja on mahdollista, ettei viherrakenteen käyttö ole mahdollista rakenteissa huomioon otettavien varmuuskertoimien vuoksi.
- Lämmöneristetyt tuulettamat katot (*umpirakenteinen tuulettuva yläpohja levymaisistä lämmöneristeistä; esim. villakatto*): pintakerroksissa käytetyt materiaalit kestävät yleensä huonosti kuormitusta ja viherrakenteiden lämmöneristyskyky vaikuttaa rakenteen rakennusfysikaaliseen toimintaan, joten viherrakenteet soveltuvat vain rajoitetusti projektikohtaisen riskienarvioinnin kautta käytettäväksi näissä rakenteissa.
- Käännettyt katot (*käännetty rakenne*): viherrakenteet voidaan asentaa, mutta huomiota tulee kiinnittää kosteuden diffuusion. Jokaisessa projektissa täytyy tapauskohtaisesti arvioida erotus- ja tuuletuskerroksen tarve. Kattorakenteen korjaaminen on suunniteltava ja toteutettava erityisen huolellisesti.
- Vedeneristämättömät, lämmöneristämättömät yläpohjat, jotka on tehty ns. vesitiiviistä betonista (*vedeneristeetön rakenne*): kaikenlaisia viherrakenteita on mahdollista toteuttaa. Yleensä betonirakenteelle ei tarvita erillistä pintakäsittelyä juurten tunkeuman ehkäisemiseksi.

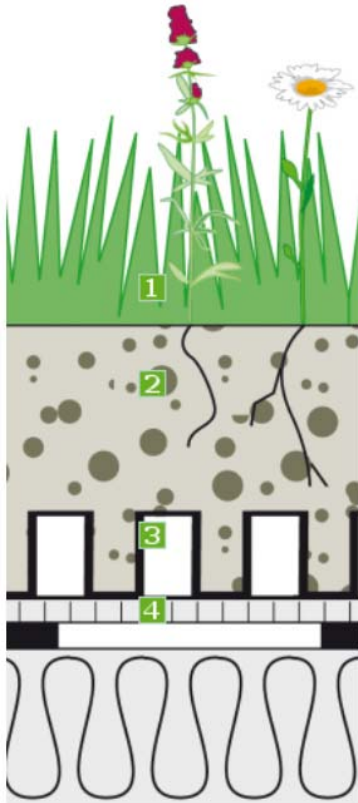
- Vedeneristämättömät yläpohjat, jotka on tehty ns. vesitiiviistä betonista (lämmöneristetyt): viherrakenteet ovat vastaavalla tavalla mahdollisia kuin käännettyissä katoissa.
- Ennestään katetut kattorakenteet: yleensä katemateriaalit eivät ole tarkoitettu viherkattotarkoituksiin. Mikäli rakenteet sallivat, on viherrakenne mahdollista toteuttaa tällaiseenkin kattoon, mutta se saattaa vaatia muutoksia alusrakenteisiin, kuten esimerkiksi jatkuvan vedeneristeen.

[5, s. 23.]

Saksalaiset tekevät siis viherkattorakenteita erittäin avoimin mielin hyvin erityyppisiin kattorakenteisiin, joista moni on suomalaisittain todettu erittäin riskialttiiksi eikä sellaisten rakentamista suositella Suomessa kuin korkeintaan erittäin rajoitetusti erityistoimenpitein. FLL tosin mainitsee, että rakennusfysikaaliset olosuhteet ja diffuusio on arvioitava tapauskohtaisesti uusissa ja erityisesti olemassa olevien rakennusten kohdalla [5, s. 24]. Saksalaisissa ratkaisuissa tärkeänä pidetään vedeneristyskerroksen suojaamista lähes poikkeuksetta, vaikka muiden rakennekerrosten paikka, laatu ja määrä vaihtelevatkin paljon. Toisaalta, FLL:n standardi keskittyy kattojen viherrakenteiden toteuttamiseen eikä ole varsinaisesti kattorakentamisen ohje.



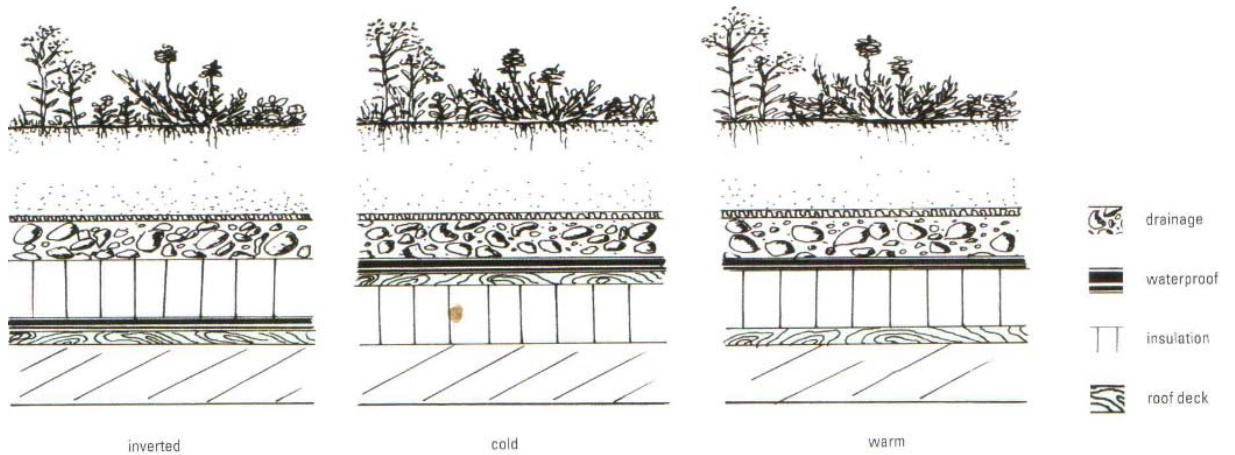
Kuva 71. Saksassa kehitetyn katoille sijoitettavan viherrakenteen periaatekuva. Rakenteet ylhäältä alaspäin ovat kasvillisuus ja kasvualusta, suodatinkerros, salaojitus, suojakerros ja kattorakenne veden- ja lämmöneristeineen.



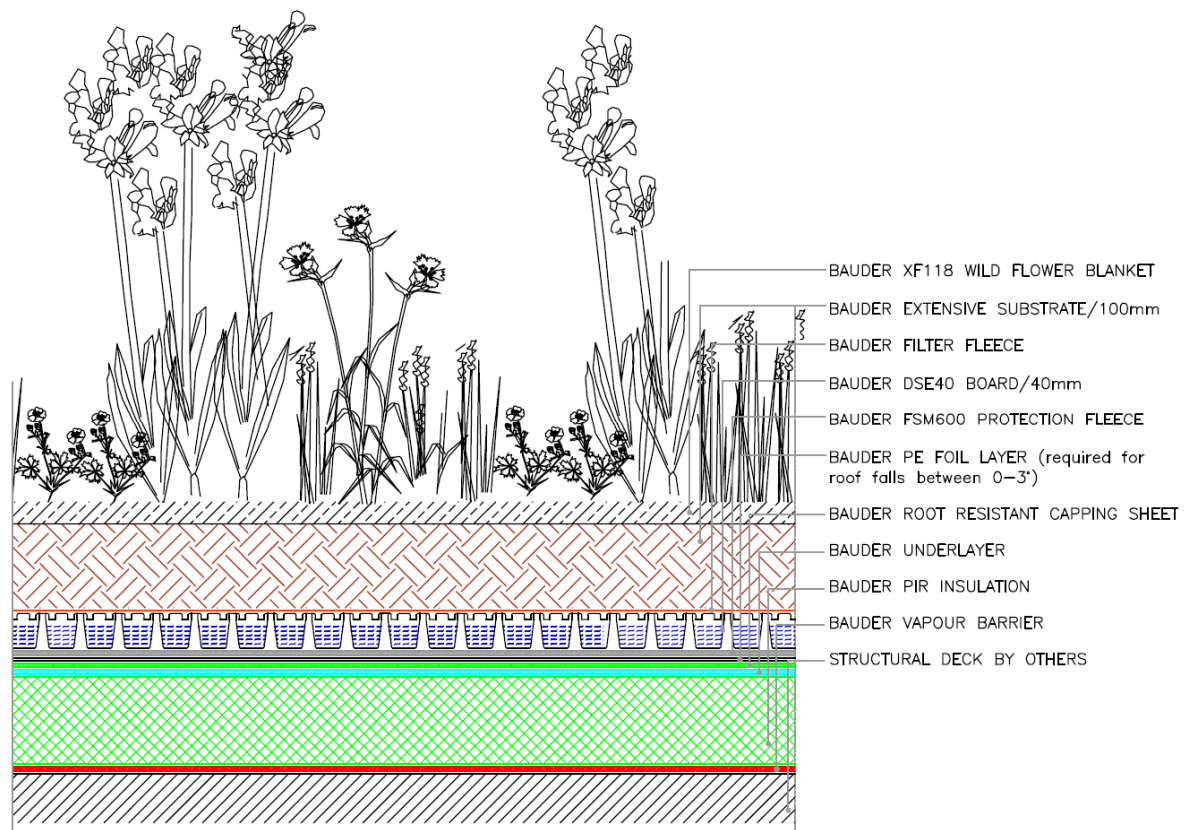
Kuva 72. Saksalaisen Optigrünin ”säätökatto” viherkaton rakenneratkaisuksi. Rakennekerroksia Optigrün tarjoaa tähän ratkaisuun seuraavasti: kasvillisuuden (siemenseos), kasvualustan, salaojalevyn sekä vettäpidättävän maton, joka toimii myös vedeneristeen suojakerroksena. [169.]

6.1.2 Iso-Britannia

Pitkään viherkattojen parissa toiminut Sheffieldin yliopiston maisemasuunnittelun ja kasviteknologian professori Nigel Dunnett kirjoittaa Noël Kingsburyn kanssa siitä, miten nykyiset kaupalliset (saksalaiset) viherkatot ovat hyvin monimutkaisia sisältäen useita tuotevaihtoehtoja ja rakennekerroksia. Monimutkaisuus johtuu pääasiallisesti siitä, että jokainen yritys on kehittänyt omia patentoituja systeemejään kaupallisista tavoitteista johtuen, ja ne ovat ensisijaisesti suunniteltu erilaisten sedumkattojen rakentamiseen. Yritysten takuut ja takaukset ovat tietenkin riippuvaisia siitä, että viherkattoratkaisussa on noudatettu heidän omia komponenttivalikoimiaan. Dunnett ja Kingsbury myös huomauttavat siitä, että viherrakenne on yleensä katsottu erilliseksi systeemiksi ja kerrokseksi muusta kattorakenteiden suunnittelusta, vaikka toteavatkin, että parhaassa tapauksessa viherrakennesuunnittelu alkaa jo hankkeen alussa ja on kiinteä osa rakennesuunnittelua. Dunnett ja Kingsbury eivät halua lähteä laskemaan kaupallisten viherkattoratkaisujen määrää, vaan toteavat viherkattojen päätoiminnoiksi vedeneristyksen, juurisuojauksen, salaojituksen ja kasvualustan. [2, s. 100–103.]

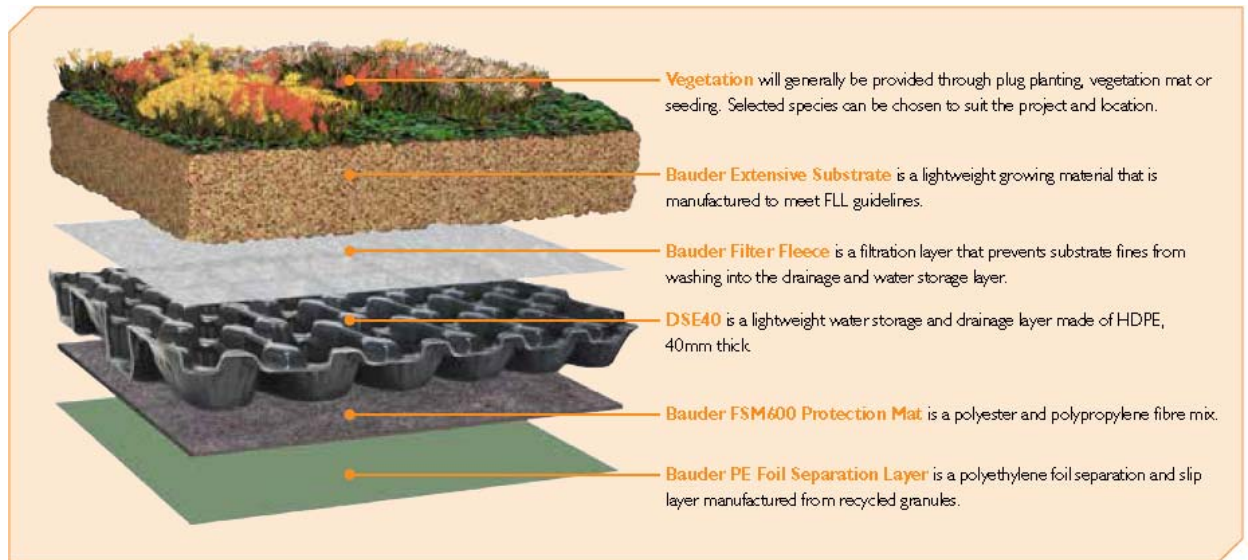


Kuva 73. Kolme erilaista kattorakennetyyppiä riippuen lämmöneristekerroksen sijainnista [2, s. 101]. Dunnett ja Kingsbury käsittelevät viherkattojen rakenteita lähinnä viherrakenteiden osalta.



Kuva 74. Esimerkki Bauderin ekstensiivisen viherkaton rakenneratkaisusta ketokasvillisuudella, joka on suunniteltu brittiläistä standardia BS6229:2003 noudattaen. Rakennekerroksia on niin paljon, että on äkkisilmäyksellä vaikea sanoa, mikä rakennetyyppi on kyseessä: jonkinlainen ns. suljettu rakenne. Bauder toimii laajasti Euroopassa: Yhdistyneessä kuningaskunnassa, Irlannissa, Itävallassa, Tšekissä, Saksassa, Unkarissa, Italiassa, Hollannissa, Norjassa, Puolassa, Romaniassa, Slovakiassa ja Sveitsissä.

Bauderin esitteestä [170, mm. s. 20 & 108] rakenteet selviävät tarkemmin: höyrynsulku (*vapour barrier*) on tyypillisesti esimerkiksi alumiiniohkolevyllä varustettu bitumikermi lasikuitutukikerroksella, aluskermi lasikuiturunkoinen bitumikermi ja pintakermi bitumipohjainen tuote lasikuitutukikerroksella. Lämmöneristeenä on käytetty PIR-levyä. Kyse on siis suljetusta rakenteesta, jossa vedeneriste on lämmöneristeen päällä eikä rakennetta tuuleteta.



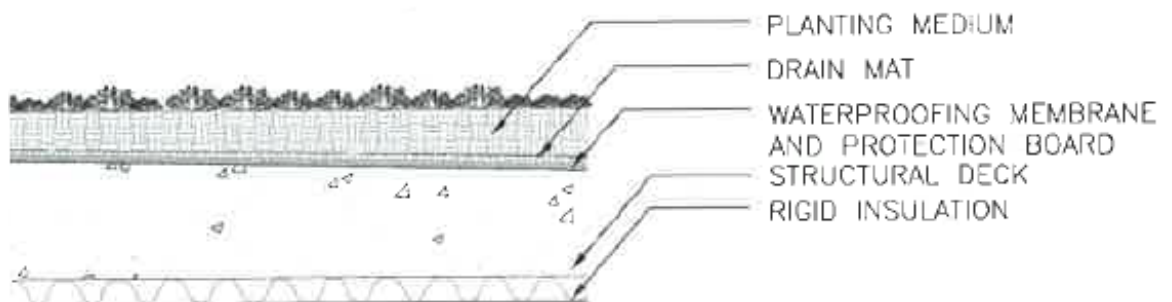
Kuva 75. Bauderin ratkaisussa kasvillisuus istutetaan pistokkailla, kasvillisuusmatolla tai kylvämällä. Kasvillisuuden alle tulee Bauderin kevyt ekstensiivisen viherrakenteen kasvualusta, joka on valmistettu FLL:n ohjeita silmällä pitäen. Kasvualustan alle tulee suodatinkerros, joka estää kasvialustan hienoaineksia kulkeutumasta salaojitusjärjestelmään ja veden varastointikerrokseen. DSE40 on kevyt 40 mm paksu veden varastointi- ja salaojituskerros, joka on valmistettu HDPE:stä. FSM600 suojamatto on polyesteri- ja polypropyleenikuituseos. Bauderin kierrätetystä polyeteenistä valmistettu PE-kalvo toimii erotus- ja laakerointikerroksena. [170, s. 108.]

Yhdistyneen kuningaskunnan viherrakentamisen järjestö *The Green Roof Centre (GRO, aiemmin The Green Roof Organisation)* on julkaissut ohjeet parhaista viherrakentamisen rakentamiskäytännöistä Yhdistyneessä kuningaskunnassa. Ohjeet keskittyvät pääsääntöisesti vain viherrakenteisiin irrallisena viherrakentamisen rakennetekonaisuuksista. [15.] Saksalaisten FLL:n ohjeiden tapaan, joita GRO korostaa, GRO:n ohjeessa on lueteltu mittava määrä kaikenlaisia rakennetekonaisuuksia, jotka katsotaan tarpeellisiksi kuitenkin arvioimatta rakenteita kokonaisuutena. Sen GRO:n ohje toteaa, että viherrakenne lisää kondensaatoriskiä, mikä korostaa riittävän ja kunnollisen höyrynsulun merkitystä (tällöin kyseessä on ns. perinteinen, tuulettamaton rakenne esimerkiksi Bauderin rakennetyypin kaltaisesti). [11, s. 4.]

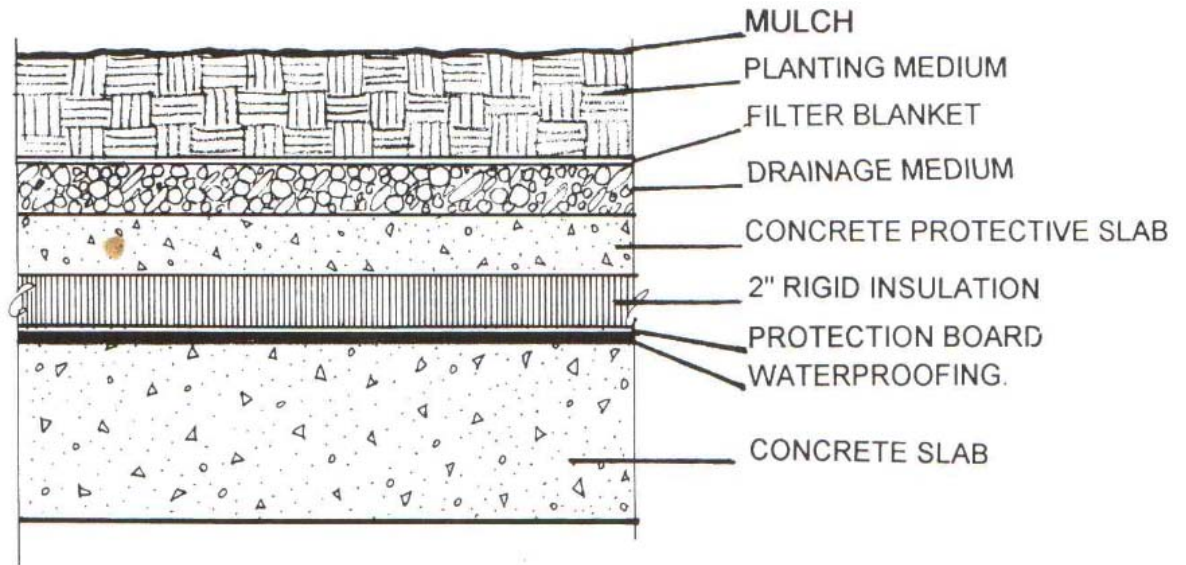
6.1.3 Yhdysvallat

Yhdysvalloissa käytetään yläpohjien lämmöneristeenä paljon myös suulakepuristetusta polystyreenistä valmistettuja jäykkiä XPS-levyjä (*extruded polystyrene*, suulakepuristettu polystyreeni). Lämmöneristeen sijainti yläpohjarakenteessa vaihtelee. Mikäli lämmöneriste on sijoitettu kantavan rakenteen ja vedeneristeen alapuolelle, voi esiintyä kondensoitumista ja sisäpuoliset viimeistelytyöt voivat aiheuttaa sekä rakenteen että vedeneristeen halkeamia. Kantavan rakenteen yläpuolella lämmöneriste voidaan sijoittaa sekä vedeneristeen alle että päälle. Sijoitettaessa lämmöneriste vedeneristeen alle voi esiintyä jonkin verran kondensaatiota, mutta kuitenkin vähemmän kuin jos lämmöneriste on sijoitettu kantavan rakenteen alapuolelle. Vuotojen paikallistaminen ja korjaaminen on aina hankalaa kun kosteus pääsee kulkeutumaan lämmöneristeen alle. Suositelluimpana ratkaisuna pidetään sitä, että lämmöneriste sijoitetaan vedeneristeen yläpuolelle (*käännetty rakenne*). Tällöin kondensaation mahdollisuus on minimoitu ja vedeneriste saadaan suojattua tehokkaasti. Käännetyn rakenteen haittapuolia ovat asennusaikainen alttius tuulen imukuormalle ja se, että lämmöneristys voi haitata rakenteen salaojitusta ja lämmöneristeen ollessa pitkään vedenpaineen alaisena se voi menettää lämmöneristyskykyään. Viherrakenne ei korvaa lämmöneristysmateriaaleja missään olosuhteissa vaikka se parantaakin rakenteen lämmöneristävyttä. [6, s. 154–156; 171, s. 1; 172, s. 19.]

Yhdysvalloissa tavanomaisissa kattorakenteissa tyypillisin on rakenne, jossa lämmöneriste on vedeneristeen alla. Mikäli lämmöneristeenä on käytetty polyisosyanuraatista (myös "iso") valmistettua jäykkää lämmöneristelevyä, on lämmöneriste pidettävä ehdottomasti kuivana ja siten se on sijoitettava rakenteessa vedeneristeen alle. XPS-levyt kestävät kuormitusta huomattavasti paremmin kuin iso-levyt. [80, s. 86–87.] Suomessa XPS-levyjen lyhytaikainen puristuslujuus on noin 200–700 kPa ja pitkäaikainen puristuslujuus noin 80–300 kPa [171, s. 2].



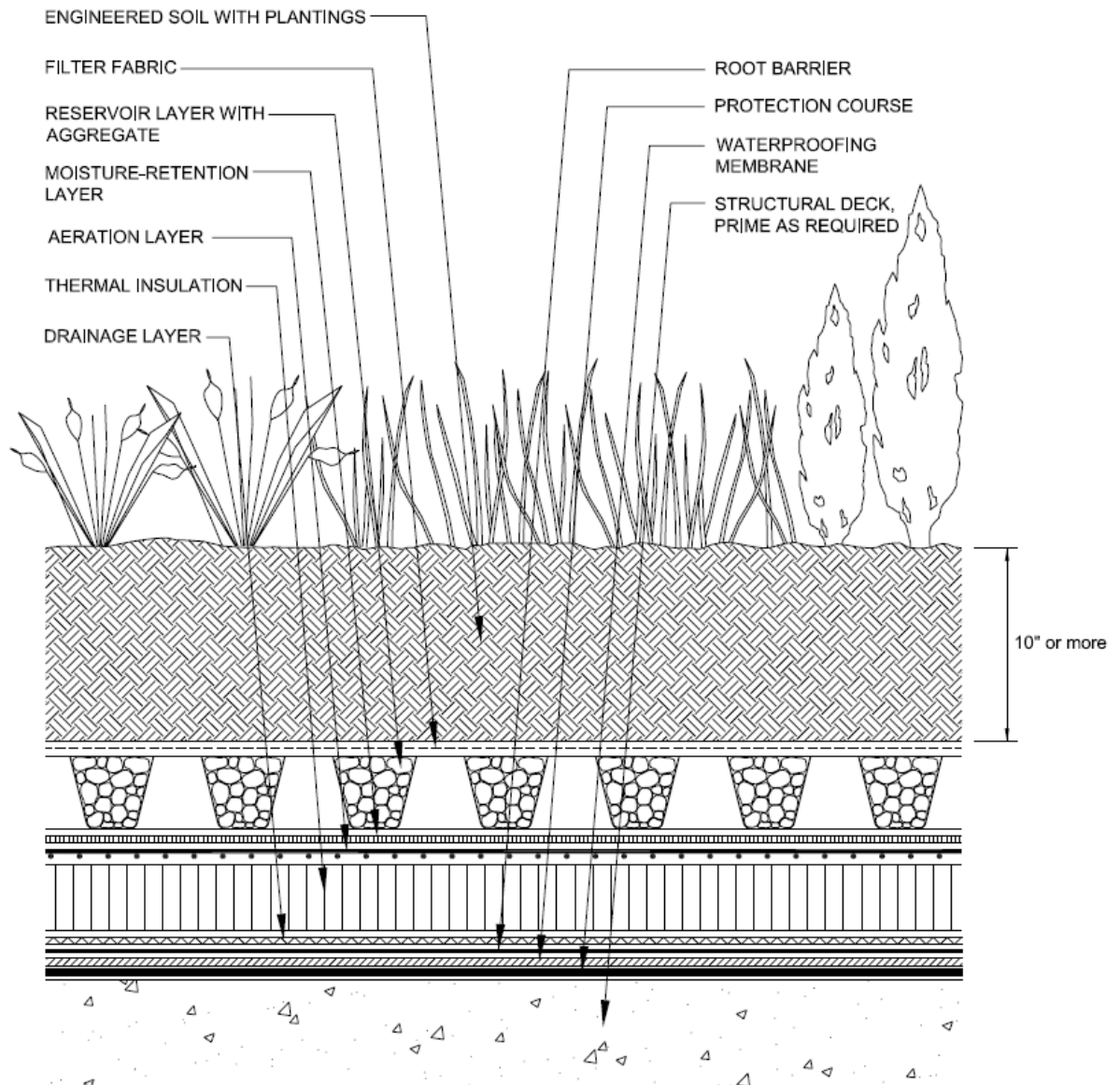
Kuva 76. Lämmöneristys kantavan rakenteen alapuolella, pinnalla kattovihreytys. [6, s. 155.]



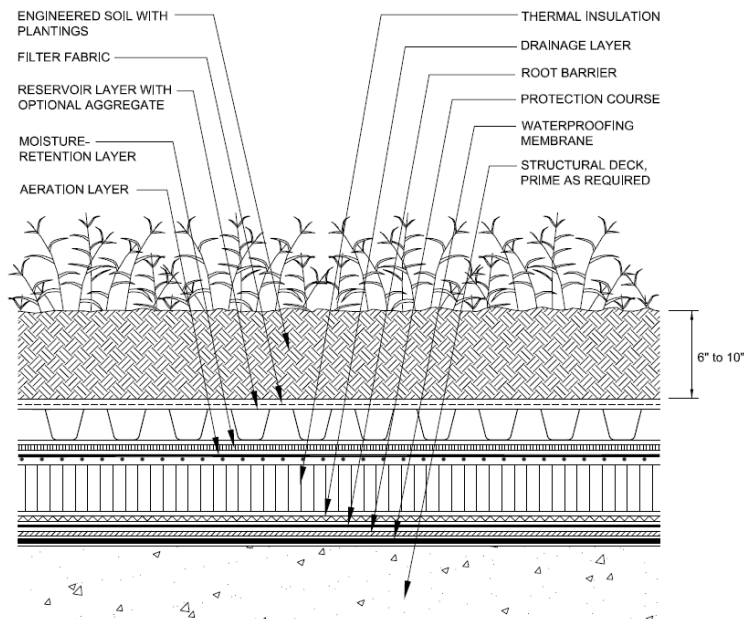
Kuva 77. Tavanomainen rakennetyyppi kattopuutarhalle Yhdysvalloissa. Rakennekerrokset alhaalta ylöspäin: betonilaatta, vedeneristys, levymainen suojakerros, 2 tuumaa (n. 5 cm) jäykkä lämmöneristelevy, suojabetonilaatta, salaojituskerros, suodatinkerros (huopa / suodatinkangas), kasvillisuuskerros ja kate-/karikekerros. [36, s. 163.]

Yhdysvaltalainen Kansallinen Kattourakoitsijoiden yhdistys NRCA (*National Roofing Contractors Association*) on julkaissut viherkatoista ohjeet. Niissä todetaan, että on olemassa viherkattorakenteita, joissa (jäykkä) lämmöneriste on sijoitettu vedeneristeen alle, mutta yhdistys ei suosittele lämmöneristeen käyttöä vedeneristeen alla viherkattorakenteissa mahdollisessa vuototilanteessa aiheutuneiden lämmöneristevaurioiden vuoksi. Tällaiset rakenteet riippuvat täysin lämmöneristeestä ja lämmöneristekerros saattaa olla asennettu irralleen ja kiinnitetty kuormituskerroksella. Mikäli viherkaton vedeneristys sijaitsee lämmöneristekerroksen päällä, NRCA:n mukaan on suositeltavaa käyttää jäykkää levyä, kuten vedenkestävää kipsi- tai sementtipohjaista levyä, joka on kiinnitetty mekaanisesti lämmöneristeisiin ennen vedeneristeen asennusta. Myös lämmöneriste on kiinnitettävä mekaanisesti rakenteisiin. Mikäli kantavassa rakenteessa ei ole kallistusta, tulisi kallistukset toteuttaa lämmöneristekerroksessa käyttämällä kartiomaisia lämmöneristeitä. NRCA on myös huolissaan eristekerroksen kutistumisesta, ja suosittaa siksi lämmöneristelevyjen saumojen teippausta välien syntymisen estämiseksi lämmöneristelevyissä. Lisäksi lämmöneristeillä tulee olla riittävä puristuslujuus, jotta se tukisi riittävästi vedeneristettä ja kestäisi normaaleja kuormitustilanteita. Korkean tiheyden omaavien vedenkestävien lämmöneristystuotteiden käyttö on suositeltavaa riippumatta siitä sijaitseeko lämmöneristys vedeneristeen ylä- tai alapuolella. [173, s. 29.]

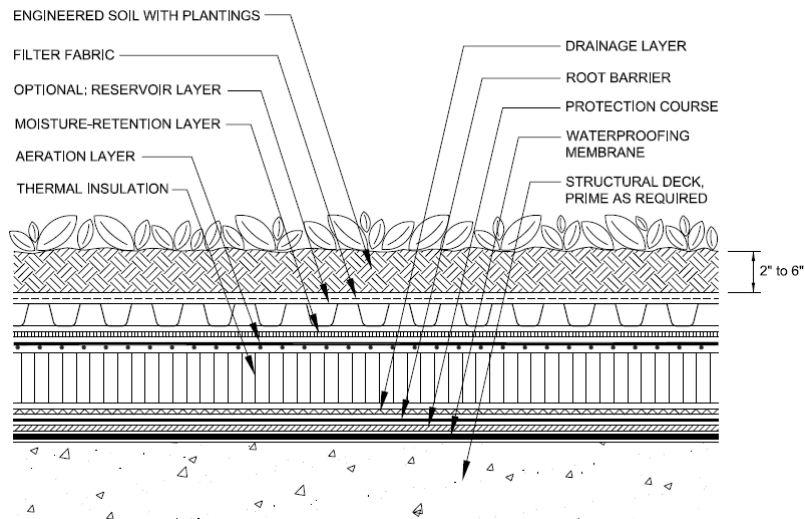
NRCA:n ohje jakaa viherrakenteet saksalaisten mallin mukaan kolmeen tyyppiin maisemointitarkoituksen mukaan: ekstensiivisiin (mataliin), puoli-intensiivisiin (keskisyviin) ja intensiivisiin (syviin). NRCA:n ohjeen mukaan vedeneristys on sama kaikissa viherkattotyypeissä, mutta rakenneratkaisun muut osat riippuvat valitusta kasvillisuudesta ja maisemointiratkaisuista. Esimerkiksi juurisuojan tyyppi, vedeneristeen suojakerros ja vettäpidättävä kerros riippuvat kasvivalinnoista ja maisemointiratkaisuista. [173, s. 29.]



Kuva 78. Intensiivinen (syvä) viherkattoratkaisu. Intensiivisissä viherkattoratkaisuissa käytetään laajaa kasvivalikoimaa, johon voi sisältyä puita ja pensaita. Intensiiviset rakenteet ovat yleensä rajoitettu kaltevuuksille 1/4:12 (noin 1:50 / 1,2° / 2 %) tai joskus loivemmillekin. Suurempien kasvien käyttö vaatii syvemmän kasvualustan, yleensä vähintään 25 cm tai enemmän, jonka vuoksi viherrakenteet on otettava oleellisesti huomioon rakennesuunnittelussa. Vedellä kyllästetty viherrakenne painaa vähintään noin 300 kg/m². Intensiiviset viherrakenteet vaativat yleensä järeät juurisuojat ja ne vaativat yleensä kastelujärjestelmän. Intensiivisissä ratkaisuissa on oltava vettä säilövä kerros. Lisäksi saatetaan tarvita erityisen tehokas salaojitusjärjestelmä riippuen kastelujärjestelmästä ja projektin muista olosuhteista riippuen. [173, s. 32.]



Kuva 79. Puoli-intensiivinen (keskisyvä) viherkattoratkaisu. Puoli-intensiiviseen viherkattoratkaisuun voidaan valita pieniä pensaita, ruohokasveja ja yrttejä. Puoli-intensiivisten kaltevuus on yleensä rajoitettu 1:6 (9° / 17 %) tai loivemmille kaltevuuksille. Kasvillisuus vaatii 15–25 senttimetrin kasvualustan. Vedellä kyllästetty viherrakenne painaa vähintään noin 200 kg/m². Puoli-intensiiviset viherrakenteet vaativat yleensä säännöllisempää huoltoa kuin ekstensiiviset viherrakenteet, mutta niiden kasvivalikoima rajoitettu matalahkon kasvualustan vuoksi esimerkiksi siirtonurmeen. Puoli-intensiiviset ratkaisut vaativat vettä säilövän kerroksen ja saattavat vaatia kastelujärjestelmän. [173, s. 31.]

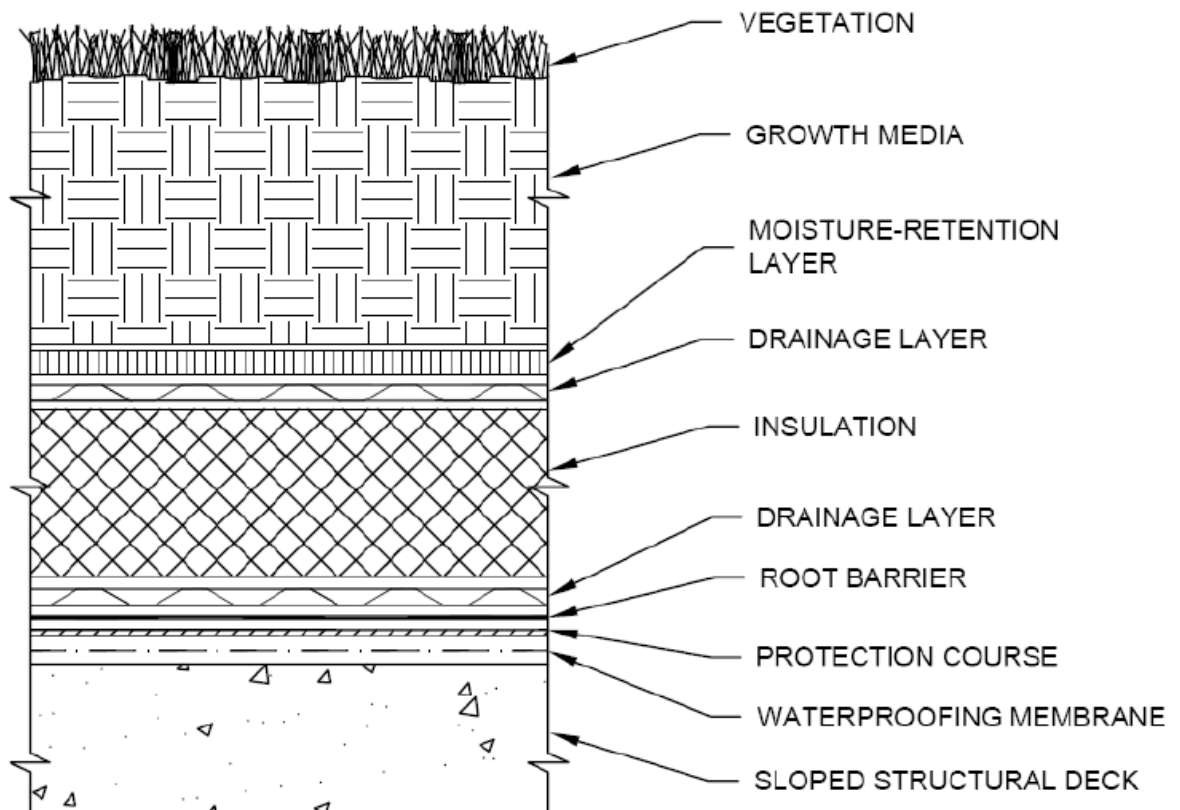


Kuva 80. Ekstensiivinen (matala) viherkattoratkaisu. Ekstensiivisiin viherkattoratkaisuihin kuuluu kapeampi valikoima yrttejä, matalakasvuisia ruohoja, sammalia ja kuivuutta kestäviä mehikasveja kuten sedumeja, jotka tunnetusti kestävät ääriolosuhteita. Tällainen kasvillisuus voidaan perustaa 5–15 senttimetriä matalalle kasvualustalle ja suunnitella jyrkemmille kaltevuuksille (jyrkemmille kuin 1:6 / 9° / 17 %). Vedellä kyllästetty viherrakenne painaa vähintään noin 60 kg/m². Ekstensiiviset viherrakenteet vaativat juurusuojan ja kosteutta pidättävän kerroksen eivätkä yleensä vaadi kastelua. Vettä säilövä kerrosta ei välttämättä tarvita. Ekstensiivisiä viherrakenteita voidaan usein asentaa olemassa oleviin rakennuksiin ilman rakenteiden vahvistamisesta johtuvia merkittäviä kustannuksia, vaikka viherrakenteen lisääminen olemassa olevaan rakennukseen vaatiikin aina rakennesuunnittelijan analyysin asiasta. [173, s. 30.]

Merkille pantavaa NRCA:n ohjeen mukaisissa ratkaisuisa on, että kaikki viherkattoratkaisut on esitetty ja suositeltu käännettyinä rakenteina. Lisäksi kaikissa niissä on esitetty tuuletuskerros (*aeration layer*), joka on aina sijoitettu lämmöneristeen päälle. Tuuletuskerroksen avulla kosteus saadaan poistettua lämmöneristekerroksen pinnalta, ja sitä tarvitaan aina kun käytetään lämmöneristettä, jotta eriste säilyttäisi lämmöneristäväyensä eikä pääsisi kyllästymään kosteudesta. Tuuletuskerroksen materiaalit eivät saa olla imukykyisiä tai kosteutta pidättäviä. Tuuletuskerroksen ominaisuudet vastaavat salaojamattoa, joka on sydänosastaan muovirakenteinen, avoin ja hyvin vettä johtava, suodatinkankaalla pinnoitettu matto. Tuotteissa on yleensä käytetty geotekstiilejä suodatinkankaina, jotteivät kasvualustan hienoainekset tukkisi tuuletusväliä estäen ilmaa ja kosteutta liikkumasta. Tuuletusvälissä käytettävien materiaalien tulee olla puristuslujuudeltaan viherkattoratkaisuun soveltuvia, ja sen tulee olla paksuudeltaan riittävä kyseiseen rakenteeseen, jotta rakenteen kuivuminen on mahdollista. Mikäli rakenteessa ei käytetä tuuletuskerrosta lämmöneristeen lisäksi, on rakenteen toteutuva lämmöneristävyys todennäköisesti suunniteltua pienempi lämmöneristeeseen pääseen kosteuden vuoksi. Tuuletuskerros tarvitaan kun käytetään lämmöneristystä ja kosteutta pidättävää kerrosta lämmöneristeen päällä. Tuuletuskerrosta ei tarvita silloin kun rakenteessa ei käytetä lämmöneristettä. [173, s. 41 & 50.]



Kuva 81. Bauderin SDF-matto on tarkoitettu salaojitukseen, suodatinkerrokseksi ja suojaamaan toista tuotetta [170, s. 138]. Se on geotekstiilillä pinnoitettu nylonsilmukoista kudottu 20 mm paksu matto, joka painaan n. 600 g/m² ja sen puristuslujuus on noin 20 kN/m² (kPa).



Kuva 82. Intensiivinen (syvä) viherkattoratkaisu, jossa on salaojituskerros sekä lämmöneristeen ylä- että alapuolella. Lämmöneristeen yläpuolinen salaojituskerros mahdollistaa kasvualustan ja kosteutta pidättävän kerroksen läpi kulkeutuvan veden salaojituksen. Lämmöneristeen alapuolinen salaojituskerros mahdollistaa taas kaikkien rakennekerrosten läpi kulkeutuneen veden salaojituksen sekä vähentää oleellisesti vedeneristeen joutumista vedenpaineen rasituksen alaiseksi. [172, s. 8–10.]

6.2 Ongelmia rakennetuissa viherkatoissa

Ikea Åsane, Bergen, Norja, kasvien hukkuminen

Ikean suurelle 22.000 m² katolle istutettiin sedumia 4,4 miljoonaa tainta vuonna 2011 [129]. Seuraavana keväänä muutaman talvikuukauden ja yhteensä 2100 mm sateen jälkeen kasvit olivat hukkuneet katolle, ja se näytti synkältä. Ongelmakatolla parhaiten menestyneitä sedumlajikkeita kartoitettiin kansainvälisten asiantuntijoiden kanssa vuoden ajan, ja kesällä katon viherrakenteet perustettiin kokonaan uudelleen. Myös kasvualusta vaihdettiin karkeampaan kiveen ja maa-ainekseen. Kustannukset nousivat 4 miljoonan Norjan kruunuun eli noin 0,5 miljoonaan euroon. Ikean edustajan mukaan vahinko johtui siitä, että katto on niin laaja ja loiva. [174; 175.]



Kuva 83. Ikea Åsanen sedumkatto.

Bergenissä sademäärä on kaksinkertainen Suomessa koskaan mitattuun vuosisademäärään nähden (Espoon Nupurissa 1109 mm vuonna 1981) [176]. Silmämääräisesti laskettuna katolta löytyy 36 kaivoa. Suomessa suositeltava veden esteetön virtausmatka katolla on enintään 15 m ja kattokaivojen määrä tulisi olla noin 1 kaivo/150–200 m² kaivon poistoputken ollessa halkaisijaltaan ≥ 100 mm. [95, s. 104; 118, s. 34.] Tämä tarkoittaisi vähintään 110 kattokaivoa. Silmämääräisesti katto on myös liiankin loiva, arviolta noin 1:80. Puhtaasti kuvasta arvioituna näin suurella katolla olisi siis tingitty liikaa kaltevuuksista ja alimitoitettu vedenpoisto. Viherrakenteen salaojitusta tai muita rakennetyyppeihin liittyviä seikkoja ei voida arvioida kuvasta. Norjan rakennustekniikan tutkimuslaitoksen Byggforsk:n vuonna 2013 julkaistun suomalaista RT-ohjetta vastaavan *Sedumtak*-ohjekortin [127, s. 2 & 6] mukaan sedumkattojen suositeltu minimikaltevuus lappeella on 1:40 ja jireissä 1:60 rakenteiden taipuma mukaan lukien. Sedumkaton suositeltu minimikaltevuus on siis jyrkempi kuin Suomessa; vaatimus on kovempi. Suomessa tulisivat harkita vakavasti vaatimuksen tiukentamista.

Yksityinen katto, Suomi, viherrakennekerrosten liukuminen



Kuva 84. Rakenteiden liukumisesta johtuvia tuhoja viherkattolla. Katto on viherkatoksi hyvin jyrkkä, ja sen kaltevuus on noin 1:2,5 (noin 22° / 40 %). Katon asennustyöt eivät olleet onnistuneet, ja katto on lähtenyt myös salaojituslevykerroksesta lähtien valumaan. Kuvasta myös näkee, että vedeneriste on revennyt katon harjan kohdalta. Katon alkuperäisestä kasvillisuudesta ei ole tietoa, mutta se on mahdollisesti sammaloitunut ajan myötä.

Aquascape Inc. varaston katto, St. Charles, Illinois, USA, vesieroosio

Aquascapen aikanaan maailman suurin kalteva viherkatto (noin 24.000 m²) romahti alaosaan, noin 214 x 15 metrin alueelta (n. 3200 m²) 13.2.2011 ennätysmäisten lumisateiden ja kahden viikon pakkaskauden päätyttyä. Lunta oli satanut noin 60 cm vuorokaudessa. Henkilövahingoilta vältyttiin romahduksen tapahtuessa sunnuntaipäivänä, mutta romahduksesta aiheutui 13 miljoonan dollarin vahingot. Aquascape on haastanut arkkitehdit, suunnittelijat ja rakentajat oikeuteen vahingosta. Yhtiön edustajien mukaan romahdus saattoi johtua jääpadosta, joka esti nopeasti sulavan lumen sulamisvesien valumisen katolta. Katolla oli käytetty kevyttä 6 tuumaa (noin 15 cm) paksua kasvualustaa, ja sinne oli istutettu Illinoisin kotoperäisiä pitkiä heinälajeja. Todennäköisenä syynä romahdukseen on pidetty myös riittämätöntä salaojitusta ja huonoa kasvualustaa. [177; 178; 179; 180; 181.]



Kuva 85. Aquascape Inc. romahtanut katto.



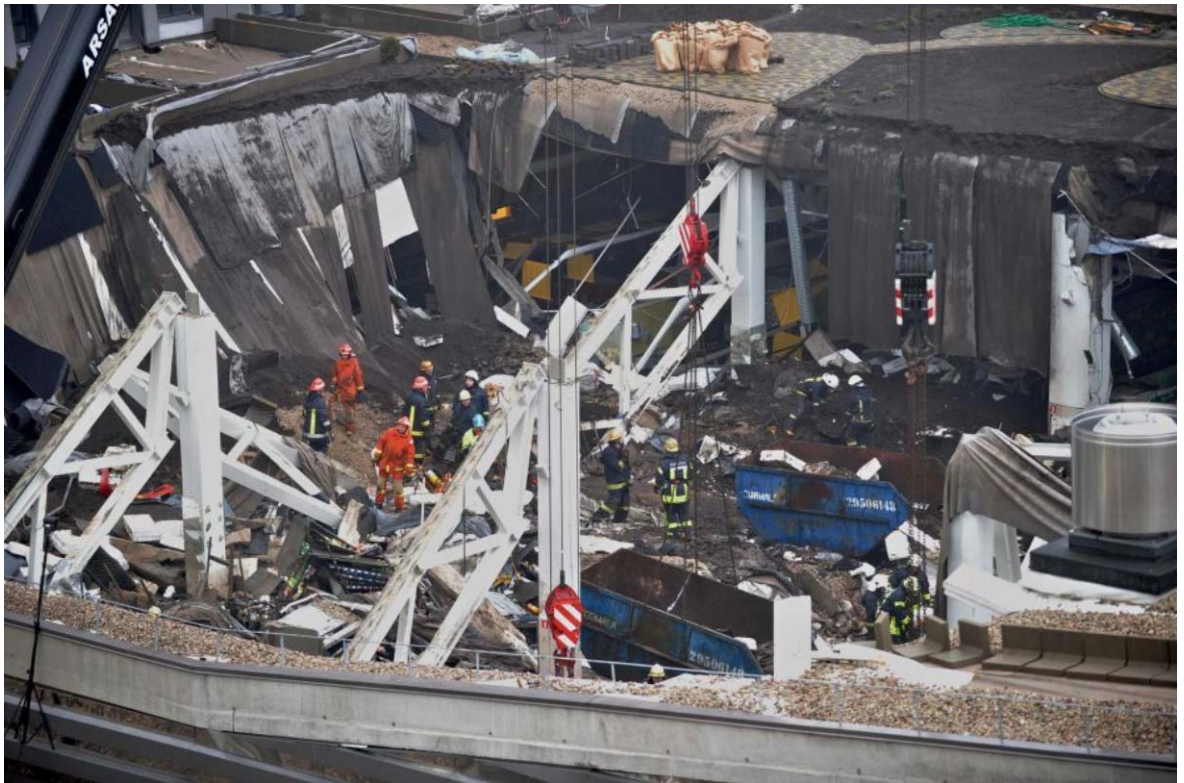
Kuva 86. Katto ennen romahdusta. Katto oli rakennettu vain 6 vuotta aiemmin [179]. Kuvasta arvioituna katon kaltevuus on noin 1:10 tai hieman loivempi. Romahtanut osa on ulkoneva lippa kuvan vasemmassa reunassa, jonka alla oli parkkitilaa.



Kuva 87. Pitkää uraa viherkattojen parissa tehnyt Jörg Breuning huomasi ennen romahdusta otetuista satelliittikuvista, että katon alaosaan, nimenomaan romahtaneen osan kohdalle, on syntynyt selvää veden aiheuttamaa eroosiota mikä tarkoittaa täysin puutteellista salaoitusjärjestelmää. Puutteellisen salaoitusjärjestelmän aiheuttamat ylimääräiset vesikuormat ovat arvaamattomia ja rakenteiden kannalta vaarallisempia kuin mitkään tavanomaisesta poikkeavat lumikuormat.

Supermarket Maxima, Latvia, romahtaminen

Supermarket Maximan katto romahti Latviassa 21.11.2013. Katolla oli kattopuutarhan rakennustyöt kesken romahduksen sattuessa, ja Latvian pääministeri Valdis Dombrovskis mainitsi onnettomuuden tiedustilaisuudessa sen olevan mahdollinen syy romahdukseen. [182.] Onnettomuudessa kuoli kymmeniä ihmisiä [183]. Selvää on, että kuormitus ja rakenteet eivät ole kohdanneet tavoitellulla tavalla ja syy johtuu rakennesuunnittelun tai asennuksen puutteista. Artikkeleista ei käynyt ilmi, oliko viherrakenne suunniteltu rakennukseen alun perin, olivatko sen kuormat otettu huomioon suunnittelussa tai oliko rakenteita ylipäätään mitoitettu riittäville kuormille (ilman viherrakenteitakaan). On myös mahdollista, että viherkaton rakennustöissä kattoa oli pistekuormitettu liikaa. Sitäkään, oliko kantavat rakenteet valmistettu ja asennettu oikein, ei käynyt ilmi.



Kuva 88. Romahtanut katto oli rakennettu vain kaksi vuotta aiemmin, ja siihen oltiin rakentamassa intensiivistä kattopuutarhaa [183; 184].

Muita ongelmia viherkatoissa

Saksasta Yhdysvaltoihin muuttanut Jörg Breuning kirjoittaa artikkelissaan [185, s. 2] myös useista muista ongelmista viherkatoilla. Näistä ensimmäisenä hän mainitsee eroosion, joka voi johtua huonosta kasvualustasta. Esimerkiksi Vancouverissa Congress Packard kampuksen kirjaston katon kasvualustaseos ei noudattanut FLL:n ohjeita eikä siinä ollut riittävästi tarvittavia ravinteita, mikä aiheutti sen, ettei kasvillisuus päässyt kunnolla juurtumaan ja sitomaan kasvualustaa. Epäsopivien kasvien valinta pahensi asiaa: kasvit oli valittu keskittyen ympäristön alkuperäisiin kasveihin eikä katoille sopiviksi todettuihin kasveihin.

USA:n vanhimpiin viherkattoihin kuuluviin Montgomery Parkin viherkatto Baltimoressa taas on suunniteltu, rakennettu ja huollettu huonosti. Suunnittelun puutteiden vuoksi kasvit olivat kuolemaisillaan ja kattokaivot tukossa. Myös käännetyn katon lämmöneristys oli paikoitellen paljastunut, tuhoutunut tai jopa kadonnut. Suurin ongelma oli erittäin huono kasvualusta, joka Breuningin mukaan ei vastannut saksalaisia FLL:n ohjeita mm. siksi, että siinä käytetyt materiaalit olivat erittäin huonolaatuisia. [185, s. 2–3.]



Ridge, hardly any growth.

Erosion. Insulation exposed

Organic at the bottom



Ridge: only a little media left



Water and wind took everything away

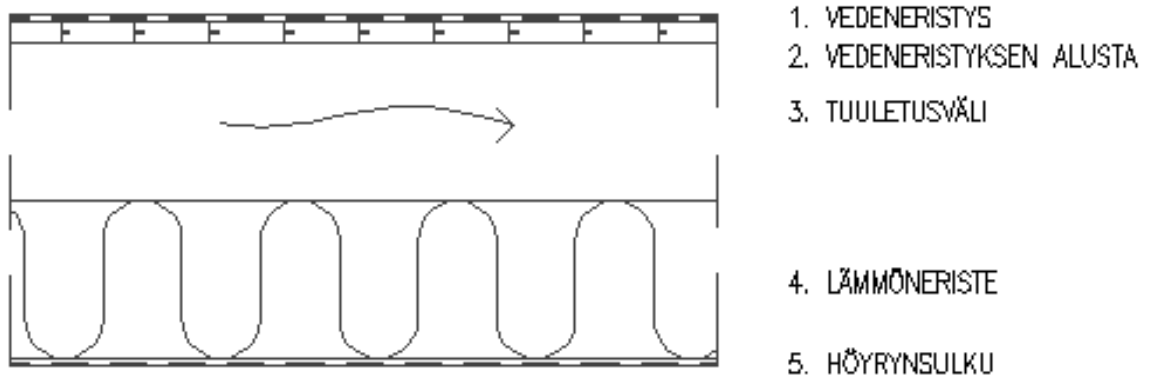
Kuva 89. Jörg Breuningin esittämiä Montgomery Parkin viherkaton ongelmia. Suunnittelun puutteiden vuoksi kasvit olivat kuolemaisillaan ja kattokaivot tukossa. Lämmöneristys oli paikoitellen paljastunut, tuhoutunut tai jopa kadonnut. Katolla oli erittäin huono kasvualusta, joka ei vastannut FLL:n ohjeita. Huono kasvualusta oli aiheuttanut kasvikuolemia, ja kasvikuolemat taas mahdollistaneet kasvualustan eroosion. Katolle tehtiin toimenpidesuunnitelma, jotta toipuminen eläväksi viherkatoksi voisi alkaa.

6.3 Yläpohjatyytit Suomessa ja niiden soveltuvuus viherrakenteen alustaksi

RIL 107-2012 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeissa [95, s. 90] yläpohjien yleisissä vaatimuksissa todetaan, että loivilla katoilla käytetään jatkuvia katteita, yleensä kumibitumikermikatteita (SBS), jolloin pintarakenne (kate) yksinään toimii vedeneristeenä; myös nestemäisiä elastomeerejä, joita levitetään ruiskuttamalla, sivelemällä tai telaamalla, voidaan käyttää vedeneristeenä tavanomaisissa vesikattorakenteissa. Katemateriaalista riippumatta (myös PVC) kattorakenne on tehtävä vastaavalla tavalla tuulettuvaksi kuin muutkin kermirakenteet [95, s. 95].

6.3.1 Tuulettuva rakenne

Tuulettuvaa rakennetta käytetään tyypillisesti jyrkillä bitumi-, tiili- ja peltikatoilla. Sitä on käytetty paljon myös loivilla bitumikatoilla. Tuuletus hoidetaan yleensä luonnollisen ilmanvaihdon avulla. Tuuletusväli tarkoittaa rakenteessa olevaa yhtenäistä ilmväliä. Tuulettuvassa rakenteessa tuuletuksen avulla poistetaan huonetilasta rakenteisiin mahdollisesti siirtyvä kosteus, ja valitun katemateriaalin, alustamateriaalin ja kaltevuuden mukaan määräytyy vesikatteen asennustapa. Kermikatteilla tuulettuvissa rakenteissa alustana käytetään lauta- tai rakennuslevyalustaa. Lämmöneristeinä käytetään yleisimmin mineraalivillaa. Tuuletuksen ja rakenteen ilman- ja höyrynsulun mitoitus on esitetty luvussa 5.4 *Rakenteen kosteustekninen mitoitus*. Ilman- ja höyrynsulku mitoitetaan huonetilan kosteusolosuhteiden mukaan, ja sen tulee olla riittävä, jotta tuuletus voi poistaa ylimääräisen kosteuden. [114, s. 17–18.]



Kuva 90. Tuulettuva rakenne: erillinen tuuletusväli, periaatekuva.

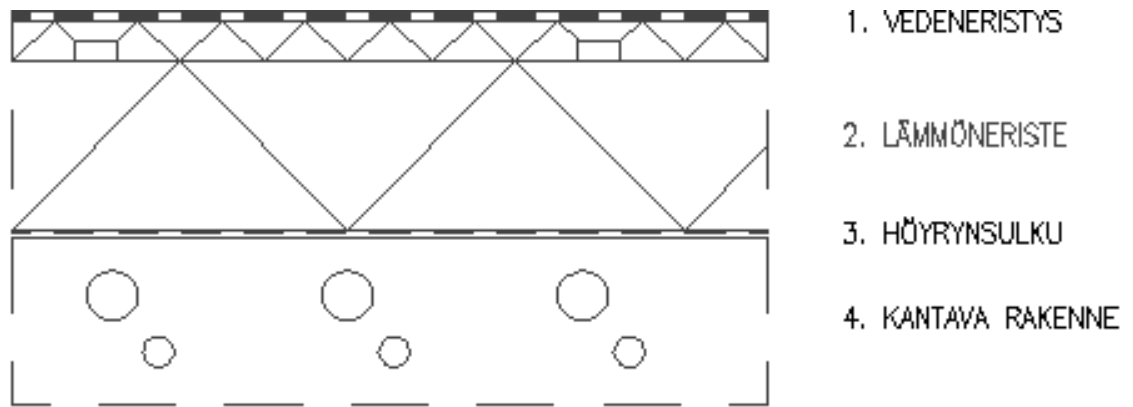
Lauta- tai rakennuslevyalusta soveltuu lähtökohtaisesti *kevyen* viherkaton alustaksi, kunhan alustan taipuma ei kasva liian suureksi: laudoitus voi olla enintään 95 mm leveää vähimmäispaksuudeltaan 20 mm täysisärmäistä raakaponttilautaa ehjin pontein. Rakennuslevyalusta tehdään riittävän tukevasta, kosteutta kestävästä ja homesuojatusta rakennuslevystä, esimerkiksi tarkoitukseen valmistetusta vesikattovanerista. [95, s. 105.] Puurakenteen ollessa vedeneristyksen alustana viherkatolla vedeneristeen alustan kuivana pysyminen varmistetaan riittävällä tuuletuksella ja yläpohjan ilmatiiveydellä, koska viherrakenne eristää kattoa ja heikentää sen tuulettuvuutta ja siten kuivumiskykyä [95, s. 118].

6.3.2 Heikosti tuulettuvat rakenteet (umpirakenteiset tuulettuvat rakenteet)

Heikosti tuulettuvissa rakennekerroksia ei eroteta tuuletusväleillä. Tavanomaisia tuulettuvia umpirakenteita ovat ns. uritetut rakenteet (mm. villa- ja EPS-katot) ja kevytsorakatot. Näissä rakenteissa ilman virtausnopeus ja tuuletuksen kokonaisilmamäärä ovat usein niin pieniä, että pienetkin vesikatteen vuodot voivat aiheuttaa kosteuden kerääntymistä rakenteeseen ja myöhemmin kosteusongelmia. Samoin vähäisetkin höyrynsulun epäjatkuvuuskohdat päästävät sisäpuolista kosteutta rakenteeseen niin paljon, että siitä saattaa muodostua riski rakenteen toimivuudelle. [126, s. 53; 114, s. 17–18; 118, s. 13.]

Uritettu rakenne

Uritettu rakenne soveltuu loivien kattojen vedeneristykseen. Rakenne tuulettuu uritettujen lämmöneristyslevyjen, kokoojakanaviin liitettyjen alipainetuulettimien ja räystään tuuletusrakojen kautta. Vedeneristyksenä yleensä käytetään alustan kaltevuuden mukaan valittuja kumibitumikermejä. Lämmöneristeinä käytetään yleensä mineraalivillalevyjä, jotka asennetaan yleensä kahtena tai kolmena kerroksena, joista pintavilla (20 - 60 mm) on kovempaa ja jäykempää. Lämmöneristykseenä voidaan käyttää myös ns. lamellivillaa tai EPS-levyjä (paisutettu polystyreeni) ja mineraalivillalevyjen yhdistelmää. Käytettäessä villalevyjä levyjen tuuletusurat kohdistetaan ja harjalle tehdään tarvittaessa kokoojakanava, johon asennetaan alipainetuulettimet. Korvausilman saanti uritukseen järjestetään esim. alaräystäältä tai alipainetuulettimin katon alaosista. Höyry- ja ilmansulku mitoitetaan huonetilan kosteusolosuhteiden ja kantavan rakenteen perusteella, ja niiden mitoitus on esitetty luvussa *5.4 Rakenteen kosteustekninen mitoitus*. Rakenne on erittäin arka rakennusaikaiselle kosteudelle. [114, s. 18–19; 95, s. 114.]



Kuva 91. Tuulettuva umpirakenne, uritettu rakenne, periaatekuva. Lämmöneristeen uritus (tuuletusreitti) voidaan sijoittaa myös päällimmäisen lämmöneristekerroksen alustana olevaan lämmöneristekerrokseen. [114, s. 19; 118, s. 13.] Tuuletusuritus sijoitetaan mahdollisimman lähelle lämmöneristykseen yläpintaa [95, s. 114], yleensä 20–50 mm yläpinnasta [118, s. 24].

Lämmöneristyslevyalustoilla käytetään myös muovieristyslevyjä (EPS, XPS, PUR tai PIR), ja niiden tulee olla tähän tarkoitukseen erikseen valmistettuja tuotteita. Kattorakenteissa käytettävien EPS-levyjen jälkikutistuma ei saa olla suurempi kuin 0,2 %. Yleensä lämmöneristeiden päällä on käytettävä vähintään 20 mm kerrosta kovaa mineraalivillaa hoitaen vedeneristyskermin kiinnitysalustan ja erotuskerroksen tehtävät muovieristyslevyn päällä ennen vedeneristystä. Myös muovieristeitä käytettäessä vaaditaan hyvä höyryn- ja ilmansulku. XPS-levyjen käyttö tavanomaisissa uritetuissa kattorakenteissa ei suositella, ja se vaatii erikoissuunnittelua rakenteessa mahdollisesti syntyvien suurten pakkovoimien takia. [118, s. 13; 114, s. 19; 95, s. 114–115.] Eri lämmöneristeillä on erisuuruiset lämpöliikkeen ominaisuudet: mineraalivilloilla ja kevytsoralla lämpöliikkeet eivät ole merkittäviä ainekerroksen huokoisuuden vuoksi. Suurimmat lämpöliikkeet on solumuoveilla: niiden pituuden lämpötilakerroin on noin $0,07 \text{ mm}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$. Jos lämpötilaero kattoeristeen sisä- ja ulkopinnalla on $60 \text{ }^\circ\text{C}$, pyrkii uloin osa solumuovista elämään 4 mm/m. Saumojen aukeamisen haittoja voidaan vähentää limittämällä eristelevyt, käyttämällä pontattuja levyjä sekä kiinnittämällä levyt mekaanisesti. [186, s. 38.]

Eristeen joutuessa käyttöolosuhteissa kuormituksen alaiseksi sen mahdollinen kokoonpuristuma on huomioitava jo suunnitteluvaiheessa. Katoilla huomioidaan mm. lumikuorma sekä lämmön- ja vedeneristeen päälle tulevat mahdolliset pysyvät kuormat (esim. kattosingeli). [186, s. 37.] VTT:n tutkimuksessa [116] todettiin, että mineraalivillaeeristeistä kattoa (jossa kermikate on kiinnitetty suoraan lämmöneristykseen pintaan) toistuva rakenteen kuormittaminen heikentää lämmöneristysalustan ja vedeneristykseen ominaisuuksia. Tutkimuksen mukaan suurin sallittu muodonmuutos puristuskuormitustilanteessa voi vedeneristysratkaisusta ja lämmöneristysvahvuudesta

riippuen olla noin 10–15 mm, mutta korkeintaan 10 % lämmöneristysvahvuudesta. Polyesterirunkopohjainen kumibitumivedeneristys on näissä olosuhteissa sallivin valinta, koska tuotteena se on elastinen (muodonmuutos palautuvaa) ja kermin runkoaine kestää testatut olosuhteet murtumatta [115, s. 11]. Liiallinen painuma altistaa vedeneristysten venymälle, repeämille ja sen saumat ratkeamille. Liiallinen painuma aiheuttaa myös kattopinnalle lammikoitumista.

Taulukko 16. Loivilla katoilla käytettävien lämmöneristeiden tuoteominaisuuksien määrittäminen [95, s. 113].

Ominaisuus	Testausmenetelmä	Tulos tai luokka	Yksikkö
Lämpötekniset ominaisuudet			
Lämmönjohtavuus λ ja/tai lämmönvastus R	EN 12667 tai EN 12939	Yksittäinen mittaustulos λ_i (esim. keskilämpötilassa 10 °C, λ_{10})	λ , W/(mK) R , m ² K/W
	EN ISO 10456 ja tuotestandardin mukaisesti	Ilmoitettu arvo λ_D ja/tai R_D	λ , W/(mK) R , m ² K/W
	EN ISO 10456	Ilmoitettu arvo λ_U ja/tai R_U	λ , W/(mK) R , m ² K/W
Mitat ja mittojen pysyvyys			
Pituus ja leveys	EN 822		mm/m
Paksuus	EN 823		mm
Suorakulmaisuus	EN 824		mm
Tasomaisuus	EN 825		mm
Dimensiostabiliteetti	EN 1603	23 °C, 50 % RH	%
Dimensiostabiliteetti	EN 1604	Korotettu lämpötila ja kosteus	%
Dimensiostabiliteetti	EN 1605	Korotettu lämpötila ja kuormitus	%
Palotekniset ominaisuudet			
Paloluokka	EN 13501-1	Tuotteen paloluokka	
Lujuusominaisuudet			
Puristuslujuus	EN 826	10 % kokoonpuristumalla	kPa
Pistekuormituksen kestävyys	EN 12430		kN
Pitkäaikaiskuormitus	EN 1606	10 % kokoonpuristumalla	kPa
Vesihöyrynvastus			
Vesihöyrynvastus	EN 12086	Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin μ (tai muu vastaavan ominaisuuden kertova suure/yksikkö)	

Huom. Suunnitteluarvoja koskevat merkintätavat λ_U ja R_U vastaavat aiemmin käytettyjä merkintätapoja λ_D ja/tai R_D .

Uritettu rakenne ei lähtökohtaisesti sovellu viherkaton alustaksi, sillä levymäisille lämmöneristeille, jotka kannattelevat vedeneristystä, on tuoteominaisuutena sallittu normaalia painumaa uritetuissa rakenteissa. Lämmöneristeiden puristuslujuuden määrittelyyn käytetään rasitusluokitusta, jossa sisäpuolisina rasitustekijöinä ovat lämpötila ja sisäilman suhteellinen kosteus sekä ulkopuolisena rasitustekijänä mekaaninen kuormitus. Suunnittelija määrittää kohdekohtaisesti vallitsevat rasitukset ja soveltuvat lämmöneristysratkaisut siten, että rasitusluokkaan R2 normaali kuuluvat (mm. tavanomaiset toimisto- ja asuintilat), rasitusluokkaan R3 raskas (mm. tavanomaiset teollisuustilat) ja rasitusluokkaan R4 erittäin raskas (mm. poikkeuksellisen raskaiden olosuhteiden kuormittamia teollisuustilat joissa on korkea lämpötila ja/tai korkea suhteellinen kosteus). Tavanomaisten (eli ei muuta normaalista poikkeavaa jatkuvaa tai kausittain jatkuvaa kuormitusta) vesikattorakenteiden puristuslujuuksiksi on määritelty seuraavaa:

Taulukko 17. Suositus lämmöneristelevyalustojen puristuslujuudelle [95, s. 113].

Rakenteen käyttötapa	Pohjakerros teräspoimulevyn päällä	Ala- ja välikerrokset	Pintakerros
Rasitusluokka R2	≥ 50 kPa	≥ 30 kPa	≥ 50 kPa
Rasitusluokka R3	≥ 50 kPa	≥ 50 kPa	≥ 60 kPa
Rasitusluokka R4	Mitoitetaan tapauskohtaisesti		

Huom. Vanha R1-rasitusluokka on poistettu, eikä sitä enää käytetä.

Testien mukainen sallittu kokoonpuristuma on liian suuri viherrakenteille, jotta vesikatto toimisi mahdollisimman hyvin täyttäen tehtävänsä eikä esimerkiksi vedeneristeen alustana toimivan lämmöneristeen painumista tapahtuisi. Lisäksi viherrakenne eristää kattorakennetta, mikä heikentää jonkin verran muutenkin heikosti tuulettuvan rakennetyypin tuulettuvuutta. Suomessa mm. Isover on antanut uritettyjen rakenteiden sopimattomuudesta viherkattorakentamiseen seuraavan lausunnon: *"Viherkatto on aina suunniteltava tapauskohtaisesti. Kattorakenteena tulee käyttää käännettyä rakennetta, jossa vedeneriste on sijoitettuna lämmöneristeiden alapuolelle ja lisäksi suojattu tarkoituksenmukaisella tavalla viherkaton tulevien istutusten aiheuttamaa rasitusta vastaan. Viherkaton (kuten yleensä käännetyn katon) lämmöneristeenä tulee käyttää ainoastaan suulakepuristettua polystyreeniä (XPS)."* [187.] Todettakoon, että Isover valmistaa ja myy vesikattojen lämmöneristämiseen ainoastaan puhallusvillaa sekä levymäisiä lämmöneristeitä (mineraalivillaa ja XPS-tuotteita).

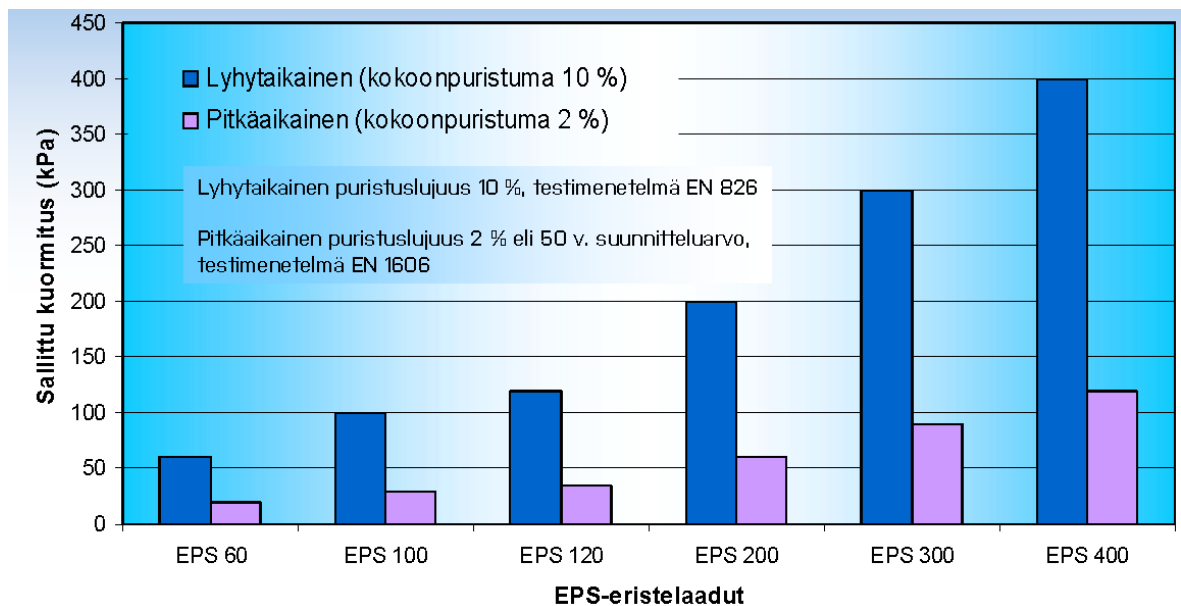
Erittäin kevyen viherrakenteen alle voisi ajatella yhdistelmärakennetta, jossa käytetään kovaa EPS-lämmöneristettä sekä 30 mm kovaa pintavillaa, jonka päälle vedeneriste asennetaan. Rakenteeseen liittyy epävarmuutta, sillä siitä on vielä verrattain vähän kokemuksia. Rakenteen heikkous on huono tuulettuvuus, jota viherrakenne vielä jonkin verran heikentää. Siksi erittäin hyvään höyrynsulkuun, vedeneristykseen ja rakennusaikaiseen kosteudenhallintaan tulee panostaa. Rakenteen heikkoutena voi pitää myös sitä, että laakerivilla ei kestä juurikaan kuormitusta – lyhytaikainen kuormituskestävyys on n. 60 kPa 10 % kokoonpuristumalla EN 826 testimenetelmällä suurimmalla osalla valmistajista. 10 % kokoonpuristumaa ei tulisi pitää tässä rakenteessa mitoittavana, sillä se mahdollistaa esimerkiksi lammikoitumisen. Lisäksi viherkaton tapauksessa tulisi huomioida pitkäaikainen kuormituskestävyys, mitä valmistajat eivät ilmoita. Esimerkiksi Thermisol ilmoittaa EPS-eristeistään pitkäaikaiseksi kuormituskestävyydeksi EN 1606 testimenetelmällä 2 % kokoonpuristumalla viidesosan lyhytaikaiseen arvoon nähden. Karkeasti arvioituna ns. turvallinen kuormitus 30 mm laakerivillalle voisi olla noin 10 % lyhytaikaisesta arvosta eli 6 kPa (n. 600 kg/m²). Tästä vähennetään vielä lumikuormalle varattu osuus (max 2,6 kN + paikalliset olosuhteet + kinostuminen [188, s. 7–9]), joten vettyneen viherrakenteen painolle ei jää mitoitettavaa kuin maksimissaan parisataa kiloa neliölle. Tämä tarkoittaa, että lumikuorman salliessa viherrakenteen paino tulee ehdottomasti olla viherrakenneratkaisuiden kevyimmästä päästä, esim. noin 50 kg/m². Rakenteessa on vastaavasti huomioitava myös EPS-eristeen puristuslujuudet vaikka ne eivät olekaan lähtökohtaisesti yhtä määrittäviä kuin villan yleensä heikompi puristuslujuus. Polyuretaanilevyistä ei ainakaan toistaiseksi ole Suomessa EPS-eristeiden korvaajaksi tämän tyyppisessä rakenteessa: niiden lyhytaikainen kuormituskestävyys EN 826 mukaisesti testattuna on esimerkiksi SPU:n tuotteissa ≥100 kPa, mutta valmistaja ei ilmoita pitkäaikaista arvoa.

Taulukko 18. Puristuslujuus PAROC ROB 100gtrl. PAROC ROB 100gtrl on tuuletusurallinen palamaton kivivillaeriste, jota käytetään olemassa olevien ja uusien loivien kattojen ylimpänä eristekerroksena. Se on kehitetty käytettäväksi kattolamellialustojen päällä. Levy on kestävä, mineraalivillaksi kova ja paloturvallinen alusta loivien kattojen vesikatteille. [189.]

Perusominaisuudet	Suoritustaso	Yhdenmukaistettu tekninen määritelmä (menetelmästandardi)
Puristusjännitys 10 % painumalla CS(10), σ_{10}	100 kPa (CE 80 kPa)	EN 13162:2012 (EN 826)
Pistekuorma PL(5)	700 N	EN 13162:2012 (EN 12430)

Taulukko 19. ISOVER loivien kattojen saneerauseristeiden tekniset tiedot [190, s. 12].

Tuote	Puristus- lujuus EN 826 (kPa)	Lämmön- johtavuus (λ_D W/mk)	Vesihöyryn- läpäisevyys EN 12086 (10-12 kg/msPa)	Palo- luokka	Lämpö- arvo (MJ/m ³)	Pääasialliset käyttökohteet
OL-TOP 20 mm	40	0,037	>100	A2-s1,d0	<280	Loivien kattojen laakerivilla vanhan ja uuden katteen välissä.
OL-TOP 30 mm	60	0,037	>100	A2-s1,d0	<280	Loivien kattojen uritettu saneerauseriste.
OL-TOP 35 mm	60	0,037	>100	A2-s1,d1	<280	Peltisten konesaumakattojen saneerausten laakerivilla.

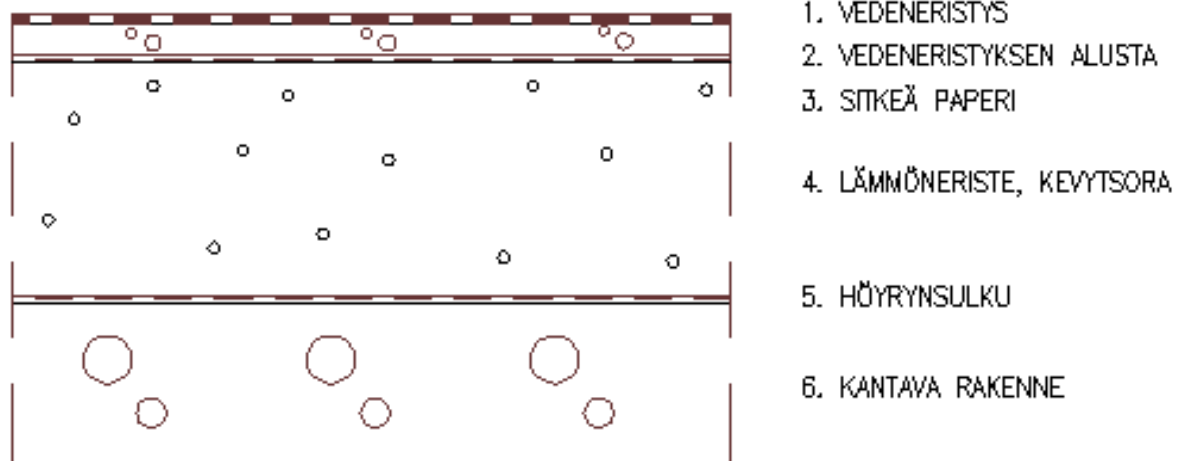


Kuva 92. Thermisolin EPS-eristeiden puristuslujuudet [191].

Kevytsorakatto

Kevytsorakatossa tuuletettu kevytsorakerros muodostaa lämmöneristyksen. Tuuletus tapahtuu tuulettuvien räystäsrakenteiden, alipainetuulettimien ja myös tarvittaessa erityisten tuuletuskanavien avulla. Vedeneristyksenä käytetään alustan kaltevuuden mukaan valittuja kumibitumikermejä, joista ainakin alimmassa kermässä on

polyesterihuoparunko. Vedeneristyksen alustana on tavallisesti 30–50 mm:n raudoittamaton hiertobetonilaatta ($Q_s < 250$, raekoko 0–8 mm), kevytsorabetoni- tai kevytbetonikatelaatat, jotka valmistetaan pakkasenkestävästä betonista. Betonivalun alla käytetään tavallisesti sitkeää valupaperia, joka on vesihöyryä läpäisevää. Lämmöneristeenä käytetään kevytsoraa (yleensä lajitetta KS820 alle 360 mm kerrospaksuuksilla tai KS420 K yli 360 mm kerrospaksuuksilla). Höyryn- ja ilmansulun mitoitus tehdään alapuolisten tilojen kosteusolosuhteiden mukaan, ja mitoitus on esitetty luvussa 5.4 *Rakenteen kosteustekninen mitoitus*. Kevytsoralämmöneristystä on mahdollista käyttää myös käännytyissä kattorakenteissa, tosin ratkaisu on nykyään erittäin harvinainen mm. kevytsoran vaatimien kerrospaksuuksien vuoksi. [114, s. 19–20; 192, s. 5–6 & 8; 95, s. 107–108.]



Kuva 93. Tuulettuva umpirakenne, kevytsorakatto, periaatekuva. Kevytsorakatoissa lämmöneristekerros on lähes poikkeuksetta tuulettuva. [114, s. 20.]

Kevytsorakatto voi toimia lähtökohtaisesti alustana ainakin *kevyelle* viherkatoille, koska kevytsora kestää hyvin kuormitusta [192, s. 3]. Kuntsi [46, s. 69] pitää kevytsorakattoa parhaana alustana viherkatoille, koska se tuulettuu hyvin ja kestää hyvin kuormitusta. Kantavuusominaisuuksiltaan kevytsora vastaa kitkamaata (lähinnä hienoa hiekkaa kitkakulman ollessa 33...37°) rakenteen tiiviystä riippuen. Tiiville kevytsorakerrokselle sallitaan 0,2 MN/m²:n (200 kPa, n. 20000 kg/m²) laattamainen kuormitus, ja tällöin kerroksen kokoonpuristuma on noin 1 %. Kevytsora tiivistetään tarvittaessa esim. kevyellä tärylevyllä. Yläpohjarakenteissa eristettä ei yleensä tarvitse tiivistää mikäli kuormitus on vähäistä ja kerrospaksuudet pieniä. [193, s. 2.] Viherrakennetta suunniteltaessa kevytsorakaton päälle on otettava huomioon myös viherrakenteen aiheuttama

tuulettavuuden heikentyminen sekä kevytsoran päälle tehtävän betonivalun kuormituskestävyys ja sen mahdollinen raudoitustarve (raskaammat viherrakenteet) sekä toimenpiteet liiallisen kokoonpuristuman estämiseksi.

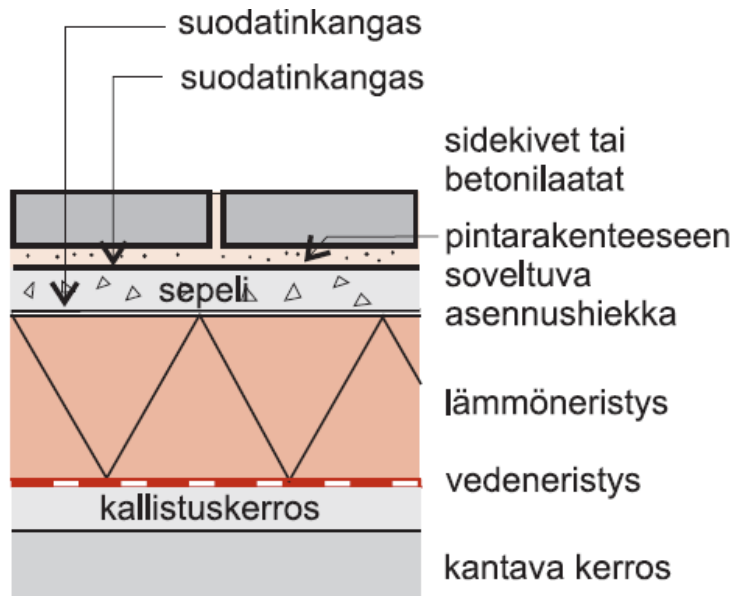
6.3.3 Kattoelementit

Kattorakenteiden, jotka valmistetaan elementteinä, tulee kaikilta ominaisuuksiltaan täyttää vesikatoille asetetut vaatimukset, joita ovat kantavuuden lisäksi mm. vedeneristeen vesitiiveys, ilma- ja höyrytiiviyys, lämmöneristävyys ja tuulettavuus. Erityisesti on kiinnitettävä huomiota elementtien saumakohtien toimintaan em. asioiden suhteen: saumat on suunniteltava ja toteutettava niin, ettei rakenteeseen synny hammastuksia tai sellaisia rasituksia, jotka voivat aiheuttaa vedeneristykseen tai höyrynsulkuun epäjatkuvuuskohtia tai vaurioita eli vuotoja. [95, s. 151–152.] Elementtejä voi olla hyvin erilaisia, joten yleisesti todettakoon, ettei viherrakenne lähtökohtaisesti sovellu kattoelementin päälle, ellei näin ole erikseen todettu ja elementtejä ja niiden kokonaistoimivuutta suunniteltu nimenomaisesti viherrakenne huomioiden.

6.3.4 Käännetty rakenne

Vedeneristys on käännettyssä rakenteessa lämmöneristyksen lämpimällä puolella, jolloin vedeneristys hoitaa samalla höyrynsulun virkaa. Valtaosa kattovesistä johdetaan pintakerrosta myöten pois. Pintakerroksen on omalla painollaan kumottava veden aiheuttama lämmöneristeen noste. Suodatinkerroksena käytetään yleensä suodatinkangasta. Lämmöneristeenä käytetään yleisimmin umpisoluisia suulakepuristettuja solupolystyreenilevyjä (XPS), joiden solurakenne on erittäin tiivis ja vedenimukyky alhainen. Suunnittelussa huomioidaan myös lämmöneristeen mahdollisesta vettymisestä aiheutuva lisäkuorma; vettymistä voi tapahtua hankalissa olosuhteissa esimerkiksi jatkuvan vedenpaineen vaikutuksesta. Vedeneristeinä käytetään kumibitumikermejä, jotka kiinnitetään alustaan kauttaaltaan bitumilla. Käännettyssä rakenteessa vedeneristyksen alustana on yleensä paikalla valettu betonilaatta tai elementeistä tehty laattarakenne kallistusvaluineen. Vedeneristeen yläpinta on salaojitettava ensisijaisesti salaojamatolla, lisäksi alimmaisena lämmöneristekerroksena voidaan käyttää alapinnastaan uritettuja lämmöneristelevyjä. Mikäli sade- ja sulamisvesiä pääsee kantavan rakenteen yläpintaan vedeneristyksen päälle runsaasti voi

vedeneristysten alle syntyä kondenssi-ongelmia. Tällöin huolehditaan, että rakenteen lämpökapasiteetti on riittävä. [114, s. 20; 95, s. 116–118 & 155.]



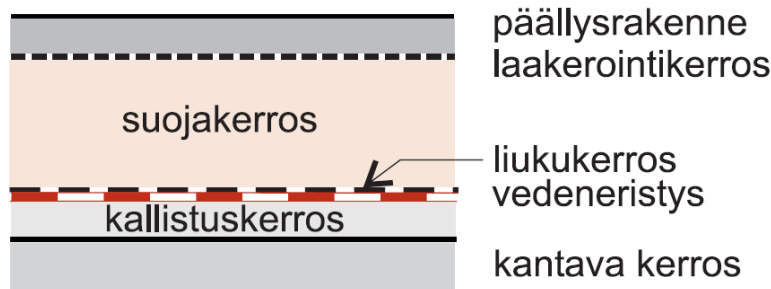
Kuva 94. Käännetty rakenne, periaatekuva. Vedeneristyskerroksen pinta on salaojitettava ensisijaisesti salaojamatolla ja lisäksi voidaan käyttää alimmaisena lämmöneristekerroksena alapinnastaan uritettuja lämmöneristelevyjä [95, s. 117].

Käännetty rakenne on tuulettumaton rakenne: rakennetta ei tarvitse erikseen tuulettaa siksi, että rakenteessa on lämpimällä puolella höyryn- ja ilmatiivis vedeneristys eikä rakenteessa ole kylmällä puolella sellaista tiivistä pintaa, johon rakenteen sisäpuolelta siirtyvä kosteus voisi tiivistyä. Käännettyä rakennetta voidaan käyttää tavanomaisissa vesikatoissa, viherkatoissa ja erilaisissa kansirakenteissa [95, s. 116]. Ajoneuvoliikenteen rasittama taso on aina tehtävä käännettynä rakenteena [95, s. 155]. Käännetty rakenne on suositeltavin rakenneratkaisu viherkatoille.

6.3.5 Kylmä rakenne

Kylmä rakenne on lämmöneristämätön, ja sitä käytetään rakennuksissa ja rakennelmissa joita ei lämmitetä. Siinä tarvittavat kallistukset tehdään kantavalla betonirakenteella tai sen päälle tulevan kallistusvalun avulla. Vedeneristys asennetaan suoraan betonirakenteen päälle. Vedeneristeen päälle tulevat käyttötarkoitukseen soveltuvat pintakerrokset, kuten salaojakerros sekä esimerkiksi betoni, asfaltti, hiekka ja kiveys. Eristyksen jäädessä ilman pintakerroksia tai jos pintakerros on ohut tai auringossa voimakkaasti lämpenevä (esim. asfaltti), käytetään aluskerminä paineentasauskermiä. Vaihtoehtoisesti varmistutaan

vedeneristyksen tartuntalujuudesta alustaan, jottei veden jäätyminen tai kosteuden höyrystyminen vedeneristyksen alla irrota vedeneristystä alustastaan. [95, s. 155 & 160.] Viherrakenne voidaan tehdä kylmän rakenteen päälle melko vastaavasti kuin käännetyssä rakenteessa, joskaan lämmöneristekerrosta ei rakenteeseen tule. Kylmässä rakenteessa kasvillisuus altistuu herkemmin hallalle ja pakkasvaurioille, sillä kylmyys pääsee vaikuttamaan viherrakenteisiin myös alapäin. Jo noin 5–7,5 senttimetrin lämmöneriste kasvillisuuskerroksen alla ehkäisee halla- ja pakkasvaurioita [6, s. 155].



Kuva 95. Kylmä rakenne, periaatekuva.

Kylmä rakenteen voi toteuttaa viherrakenteiden alle myös puurakenteisena, mutta puhutaan täysin erilaisesta rakenteesta kuin edellä. Tällöin käyttötarkoitus on täysin erilainen ja viherkerrosten kuormitus on rajatumpi eikä ajoneuvoliikennettä voi käytännössä olla. Henkilöliikennekuormitukset on arvioitava tarkasti ja mitoitettava huolella. Kaltevuusväli voi olla laaja, noin 1:1...1:50.

6.4 Yläpohjarakenteet, joita ei suositella rakennettavaksi Suomen olosuhteissa tai suositellaan rakennettavaksi erittäin rajoitetusti erityistoimenpitein

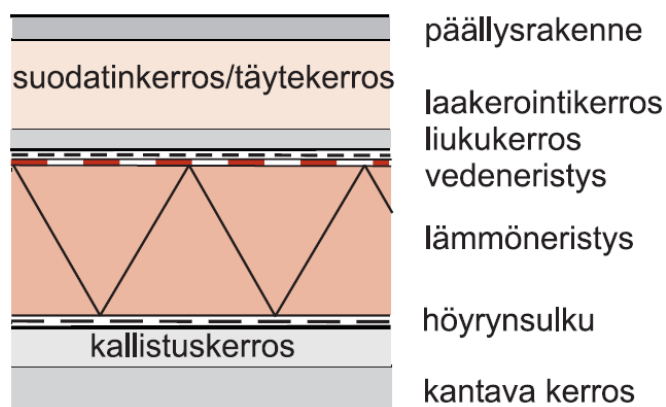
Yläpohjarakenteet, joita ei suositella rakennettavaksi Suomen olosuhteissa, ovat yleensä lämmöneristettyjä ulkoilmaan hallitusti tuulettamattomia yläpohjarakenteita.

6.4.1 Suljettu rakenne

Suljetussa rakenteessa vedeneristys on lämmöneristyksen yläpuolella, ja vedeneristys asennetaan lämmöneristeen päälle. Rakenteen päälle valetaan pistemäiset kuormitukset lämmöneristeessä laajemmalle alueelle jakava raudoitettu betonilaatta. Rakennetta ei käytännössä pystytä tuulettamaan (paineentasausta voi olla mahdollista järjestää) ja sitä on hyvin vaikeaa saada ilmatiiviiksi, jonka vuoksi se on riskialtis ja soveltuu vain

poikkeustapauksissa pihakansien, terrassien ja parvekkeiden rakenteisiin – yleensä vesikatoissa tulisi käyttää tuulettuvaa tai uritettua rakennetta ja liikennöidyillä tasoilla käännettyä rakennetta. Ajoneuvoliikenteen rasittama taso on aina tehtävä käännettynä rakenteena. Vedeneristyksen vaurioitumisesta johtuvat kosteusvauriot saattavat piillä suljetussa rakenteessa vuosia. Rakenteen korjaustoimenpiteet ovat aina kalliita ja suuritöisiä. Suljetussa rakenteessa materiaalien tulee olla lahoamattomia. Rakenteen pitkäaikaistoimivuus ja kosteuden poistuminen on varmistettava ennakkoselvityksin ja/tai kokein. Eri kerrosten liitosten on kestettävä vaihtelevissa lämpö- ja kosteusolosuhteissa rakenteen muodonmuutokset. [114, s. 21; 95, s. 155 & 159–160; 118, s. 38.]

Suljetussa rakenteessa käytettäviä kerroksia ulkoa päin lukien ovat päällysrakenteet, suodatinkerros (tarvittaessa), laakerointikerros (tarvittaessa), vettä poistava liukukerros, vedeneristyskerros, erotuskerros (tarvittaessa), lämmöneristyskerros, höyrynsulku, kallistuskerros ja kantava kerros [194, s. 5]. Suljetuissa rakenteissa tulee aina käyttää hyvää höyrynsulkua (esim. TL2-luokan bitumikermi / BH 1-luokan höyrynsulku) kantavan rakenteen päällä ennen lämmöneristettä [95, s. 159–160; 115, s. 38; 194, s. 5]. Höyrynsulku mitoitetaan huonetilan kosteusolosuhteiden ja kantavan rakenteen perusteella ja se tehdään ilmatiiviiksi [114, s. 21]. Rakenteen kosteusteknistä toimintaa voidaan parantaa käyttämällä hygrokalvoa höyryn- ja ilmansulkuna, joka mahdollistaa rakenteen kuivumisen höyrynsulun läpi [95, s. 155].



Kuva 96. Suljettu rakenne, periaatekuva. Suljetun rakenteen vedeneristys voidaan suojata, sen rakennekerrokset laakeroida ja vesi johtaa pois esimerkiksi riittävän paksulla kevytsorakerroksella. [194, s. 2 & 5.]

Lämmöneristeellä on oltava sellainen puristuslujuus, että se kestää sille siirtyvät kuormitukset eikä vedeneristykseen synny haitallisia muodonmuutoksia (esim. solulasi).

Lämmöneriste asennetaan tiiviisti ilman kylmäsiltoja muihin rakenteisiin. Heikosti kuumuutta kestävien lämmöneristeiden, kuten yleensä muovipohjaisten eristeiden, päälle on asennettava riittävän puristuslujuuden omaava suojakerros ennen vedeneristeen asennusta. Vedet ohjataan rakenteesta pääosin pintarakenteiden avulla, mutta veden on päästävä poistumaan myös vedeneristykseen päältä esimerkiksi salaojamaton avulla. Vedeneristykseenä käytetään kumibitumikermejä käyttöluokista VE80 tai VE 80R. RakMK C2:ssa on asetettu tiukat vaatimukset rakenteen tuulettavuudelle ja rakenteen kyvylle poistaa sinne päässyttä kosteutta, minkä vuoksi suljetun rakenteen suunnitteleminen on melko kyseenalaista ja vaatii erityissuunnittelua (erityisesti kuivatussuunnitelma) rakenteen rakennefysikaalisen toiminnan varmistamiseksi. [114, s. 21–22; 95, s. 160; 118, s. 38; 126, s. 55–56; 132; 136, s. 1–2.]

Suljettu rakenne ei sovellu viherrakenteiden alustaksi, sillä rakenne on riskialtis ja viherrakenteet voivat kasvattaa rakenteen riskejä entisestään.

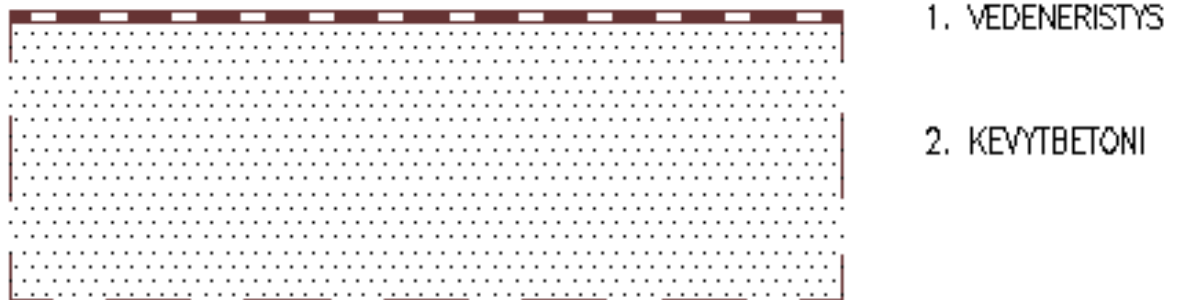
6.4.2 Tuulettamaton lämmöneristetty rakenne kevytrakenteisissa yläpohjissa

Tuulettamattomia lämmöneristettyjä kattoja ei käytännössä tehdä Suomessa kevytrakenteisiin (puurakenteisiin) yläpohjiin, sillä rakennusaikaisen kosteuden sekä olosuhteiden normaaleista muutoksista johtuvan rakenteisiin tiivistyvän kosteuden on päästävä poistumaan rakenteista vaurioita aiheuttamatta [95, s. 90; 132]. Perusperiaate kaikessa rakentamisessa Suomessa on, ettei kahden tiiviin pinnan väliin saa jäädä lahoavaa materiaalia. Tällainen rakenne ei sovellu suomalaiseen rakentamiseen eikä siten viherrakenteiden alustaksikaan.

6.4.3 Lämpimään avoin rakenne

Kevytbetonikatto on tyypillinen lämpimään avoin rakenne, ja siinä kosteus voi liikkua sisätilan ja rakenteen välillä. Ilmavirtausten mukana rakenteessa siirtyvä kosteus poistuu vain huonetilaan päin. Lämpimään avoin rakenne soveltuu parhaiten loivien vesikattojen vedeneristykseen. Rakenne on aina riskialtis eikä se sovellu lainkaan kohteisiin, joissa sisätilan kosteus on tavanomaista suurempi. Vedeneristykseenä käytetään kaltevuuden mukaan valittua kumibitumikermyhdistelmää, jotka kiinnitetään alustaan sauma- ja pisteliimaamalla sekä mekaanisin kiinnikkein. Lämmöneristeenä ja samalla kantavana rakenteena käytetään kevytbetoni-elementtiä. Rakenne on erittäin harvinainen. [114, s.

22.] Lämpimään avoin rakenne ei sovellu viherrakenteiden alustaksi, sillä rakenne on riskialtis ja viherrakenteet voivat kasvattaa rakenteen riskejä.



Kuva 97. Lämpimään avoin rakenne, periaatekuva.

6.4.4 Ylipainerakenne

Ylipainekattoja on tehty 1970- ja 1980-luvuilla jonkin verran. Niiden epävarman toimivuuden vuoksi niistä on luovuttu käytännössä kokonaan, eikä niitä suositella rakennettavaksi Suomen ilmasto-olosuhteissa. Ylipainerakenteessa yläpohjaan ei tule erillistä ilmansulkukerrosta, vaan yläpohjarakenne läpäisee ilmaa ja vesihöyryä. Tuuletustilan ylipaineistuksella tulee saada aikaan tasainen ilmavirtaus rakenteen läpi tuuletustilasta sisätilaan. Katteen ja räystäiden on oltava olla ilmatiiviitä, ja rakenteen toimivuus varmennetaan savukokeella. Ylipainerakenne on erittäin riskialtis eikä se sovellu kosteisiin tiloihin tai tiloihin, joissa on kosteuden tuottoa. Yleensä vedeneristykseenä käytetään kumibitumikermejä ja lämmöneristeenä mineraalivillaa. Rakenteessa ei käytetä höyrynsulkua. Ylipainerakenne on harvinainen eikä rakennetta suositella sen suuren riskialttiuden vuoksi. Ilmatiiviydeltään huonojen yläpohjien korjaamisessa käytetyllä yläpohjan ylipaineistamisella ei ole mitään tekemistä ylipainekattorakenteen kanssa. [95, s. 153; 126, s. 55; 114 22–23.] Ylipainerakenne ei sovellu viherrakenteiden alustaksi, sillä rakenne on riskialtis ja viherrakenteet voivat kasvattaa rakenteen riskejä.

6.4.5 Vedeneristeetön rakenne

RIL 107-2012 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet toteaa, että vedeneristeettömällä rakenteella tarkoitetaan kantavaa vesitiivistä betonirakennetta, joka tulisi aina tehdä jännitettynä rakenteena, jottei siihen synny kutistumishalkeamia [95, s. 166]. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa A2 vedenpaineen kuormittamat

rakenteet on luokitettu korkeimpaan AA-vaatimusluokkaan. Luokitusta määriteltäessä on päädytty siihen, että vedenpitävien rakenteiden tekeminen on erityisen vaativaa sekä suunnittelun että rakentamisen suhteen. Vesi kuormittaa rakennetta ja sisältää betonin säilyvyyden kannalta haitallisia aineita, mikä asettaa vaatimuksia betonille, mutta myös suunnittelulle ja toteutukselle. [195, s. 1; 196, s. 1.] Ainoa varmuus rakenteen lopullisesta vesitiiveydestä saadaan rakenteen valmistumisen jälkeen tehtävällä tiiviyskokeella, jonka jälkeen tiiveyden parantamiseksi tehtävät toimenpiteet rajoittuvat esimerkiksi injektointiin [196, s. 64]. Betonin vesitiiveydellä ja veden pitävyydellä tarkoitetaan betonin kykyä vastustaa veden kulkua rakenteen läpi toispuoleisen vedenpaineen vaikuttaessa. Betoni katsotaan niin sanotusti vedenpitäväksi, kun standardin SFS-EN 12390-8 mukaisesti testattuna kokeessa vesi tunkeutuu 1,0 MPa eli 10 bar paineen alaisena 24 tunnissa enintään 100 mm betonin sisään. [196, s. 5.] "Vesitiivis" on siten harhaanjohtava termi betonista, joka päästää lävitseen rajoitetusti vettä (vuorokaudessa enintään 10 cm). Pidempiaikaisista arvoista, esimerkiksi kuukaudessa, vuodessa tai 10 vuodessa, ei ole annettu raja-arvoja.

Tyypillisiä vesitiiviitä betonirakenteita ovat pohjaveden alla olevat kellarit, alapohjalaatat ja maanpaineseinät [196, s. 11]. Vedeneristeettömän rakenteen käyttö ei sovellu säävaihteluille alttiisiin vaativiin kohteisiin, joissa edellytetään pitkäaikaista vesitiiveyttä [95, s. 166]. Vedeneristeetön rakenne ei lähtökohtaisesti sovellu viherkattorakentamiseen, koska viherkatoilta edellytetään pitkäaikaista vesitiiveyttä. Rakenteen olisi toimiakseen syytä päästä kuivumaan myös ylöspäin, mutta viherrakenteet heikentävät tätä mahdollisuutta oleellisesti, suorastaan estävät sen.

6.5 Suositeltavat rakennetyypit Suomessa

Suositteluvia viherkattorakenteita Suomessa voidaan ryhmitellä *Suositteluvat viherkattorakennetyypit Suomessa (taulukko 20)* mukaisesti. Niihin on esitetty yläpohjatyyppejä, joita on Suomen olosuhteissa pidetty toimivina ja jotka ovat tämän selvityksen mukaan soveltuvia viherrakenteiden alustaksi. Viherkattorakenteen suunnittelussa on aina tärkeää, että pyritään minimoimaan eri rakennekerrosten määrä, jotta rakenne säilyisi mahdollisimman yksinkertaisena ja eri rakennekerrosten toisilleen aiheuttamat riskit voidaan minimoida. Toisaalta tässä yhteydessä joudutaan tasapainoilemaan kuormitusten kanssa, sillä nykyaikaisilla materiaaleilla, ja sitä kautta hieman monimutkaisemmilla ratkaisuilla, on usein toteutettavissa kevyempi rakenne kuin mitä perinteisemmällä materiaaleilla olisi.

Rakennetyyppien suunnittelussa on aina tärkeää huomioida, että viherrakenteen ja vedeneristyksen alusta kestävät alustaan kohdistuvat kuormitukset koko käyttöiän ajan ilman haitallisia muodonmuutoksia. Vedeneristys tulee aina suojata tasaisella ja salaojittavalla ainekerroksella, kuten salaojamatolla. Katon ollessa jyrkempi kuin 1:3 voidaan salaojamatto korvata riittävän kitkan omaavalla vettä pidättävällä suojamatolla, esimerkiksi polypropyleenikuitumatolla. Salaojamaton käytöllä varmistetaan, ettei vedeneristeelle aiheudu tarpeetonta mekaanista rasitusta rajummassakaan kuormitustilanteessa ja ylimääräinen vesi pääsee poistumaan rakenteesta myös mahdollisimman lähellä tiivistä pintaa. Yhtälailta tärkeää on varmistua, että tarvittaessa lisäksi myös kasvualusta salaojitetaan, jotta kasvien viihtyminen katolla voidaan varmistaa. Käännettyjä rakenteita suunniteltaessa on lisäksi hyvä varmistua, että rakenne pääsee mahdollisuuksien mukaan salaojituksen lisäksi kuivumaan myös ylöspäin. Onnistumismahdollisuudet ovat suurimmat, kun viherkatto ja sen rakenteet suunnitellaan kasvillisuudesta riippuen 1:20...1:50 kaltevuuksille.

Kattorakenteen kokonaistoimivuus varmistetaan siten, että

- vesi poistuu hallittuja reittejä eikä vedeneristettä rasiteta millään ylimääräisellä rasituksella
- vedenpoisto ei pääse tukkeutumaan
- kasvien juuret eivät pääse missään olosuhteissa vahingoittamaan rakenteita
- kaikkien rakennekerrosten tehtävät ja toimivuus varmistetaan koko katon alueella ja
- kaikki rakennekerrokset kestävät niihin kohdistuvat kuormat (mukaan lukien tuulen imukuorma).

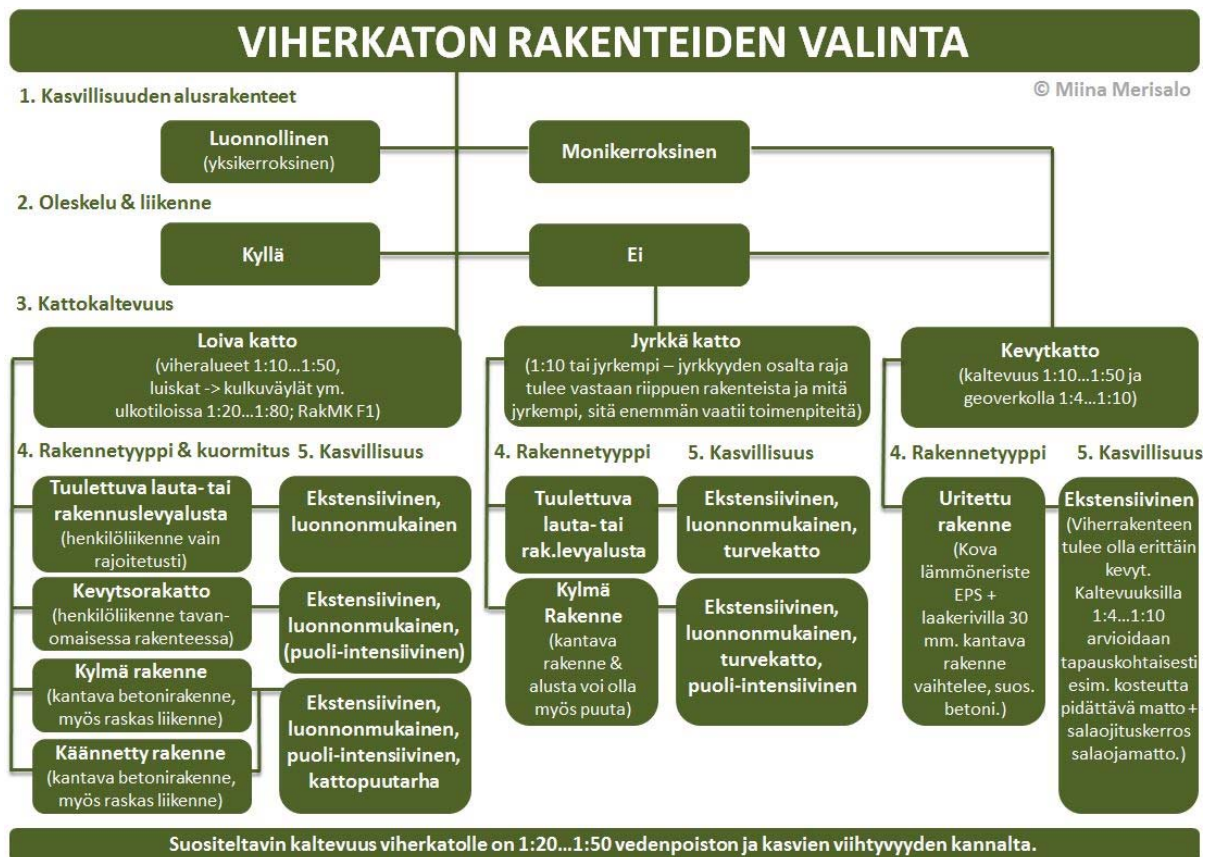
Rakennekerrosten tulee kestää niihin kohdistuvat kuormat silloinkin, kun rakennekerrokset ovat veden kyllästämiä (ei-toivotulla tavalla). Tuulen imukuormaa vastaan on tehtävä sellaiset tekniset valinnat, ettei kasvualustan kosteustilanne ratkaise rakenteen toimivuutta kuormitustilanteessa.

Taulukko 20. Suositeltavat viherkattorakennetyypit Suomessa.

Viherkaton tyyppi	Viherrakenteen tyyppi	Kasvillisuus	Yläpohjavaihtoehdot
Jyrkkä viherkatto	ekstensiivinen	sedum, ruohot, nurmikasvit, myös ns. turvekatto	tuulettuva rakenne, kylmä rakenne
Perinteinen viherkatto (materiaalikerrokset minimoitu)	ekstensiivinen	sedum, ruohot, nurmikasvit	kevytsoarakatto (tuulettuva umpirakenne), käännetty rakenne, tuulettuva rakenne, kylmä rakenne
Säästökatto (edullinen viherkatto)	ekstensiivinen	sedum, ruohot, nurmikasvit	kevytsoarakatto (tuulettuva umpirakenne), käännetty rakenne, tuulettuva rakenne, kylmä rakenne
Kevyt katto	ekstensiivinen	sedum, sammal	kevytsoarakatto (tuulettuva umpirakenne), käännetty rakenne, tuulettuva rakenne, kylmä rakenne, pienin varauksin myös EPS-laakerivillakatto (uritettu rakenne)
Pidättävä katto	puoli-intensiivinen	sedum, ruohot, heinät, perennat	kevytsoarakatto (tuulettuva umpirakenne), käännetty rakenne, tuulettuva rakenne, kylmä rakenne
Luonnonkatto (biodiversiteettikatto)	puoli-intensiivinen, intensiivinen	sedum, ruohot, heinät, perennat, mahd. puuvartisia	kevytsoarakatto (tuulettuva umpirakenne), käännetty rakenne, tuulettuva rakenne, kylmä rakenne
Kattopuutarha, maisemoitu katto	intensiivinen	pensaat, puuvartiset kasvit, nurmet, perennat	käännetty rakenne, kylmä rakenne
Julkinen katto; kävelyliikenne, henkilöautoliikenne, kuorma-autoliikenne, Pelastustie	intensiivinen	pensaat, puuvartiset kasvit, nurmet, perennat	käännetty rakenne, kylmä rakenne

6.6 Viherkaton rakenteiden valintaprosessi

Seuraava kaavio 1 *Viherkattorakenteiden valintaprosessi* on laadittu yhteenvedona tässä työssä selvitettyjä soveltuvia rakennevaihtoehtoja noudattaen. Epävarmin esitetyistä vaihtoehdoista on uritettu rakenne (kova lämmöneriste + 30 mm villa jonka päälle asennetaan vedeneriste), sillä siitä on vielä verrattain vähän kokemuksia. Rakenteen heikkous on huono tuulettavuus, jota viherrakenne vielä jonkin verran heikentää, joten erittäin hyvään höyrynsulkuun, vedeneristykseen sekä työnaikaisen kosteudenhallintaan tulee panostaa. Rakenteen heikkoutena voi pitää myös sitä, ettei laakerivilla kestä kovinkaan paljoa kuormitusta, ja kuivan viherrakenteen paino kaikkine rakennekerroksineen tulee ehdottomasti olla viherrakennerratkaisuiden kevyimmästä päästä, esim. noin 50 kg/m². "Kevytkatto" -ratkaisu on kuitenkin tässä esitetty, sillä sen hyviä puolia ovat edullisuus ja keveys. Sitä voidaan helposti pitää kaupallisimpana viherkattoratkaisuna.



Kaavio 1. Viherkattorakenteiden valintaprosessi. Kaaviosta saadaan ainakin 42 variaatiota viherkattorakenteiksi. Näiden lisäksi oleskelu- ja liikennöidyille alueille on omat rakennetyyppinsä. Lukuun ei ole huomioitu eri valmistajien omia viherrakenteita, jolloin määrä moninkertaistuisi.

7 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli määritellä suositeltavat viherkattorakenteet Suomessa ja niiden suunnitteluohjeet, jotka voitaisiin työn jatkoprojektina toteuttaa Internet-palveluksi KerabitPro Oy:n Internet-osoitteessa www.kerabit.fi. Selvityksen osan 3 *Viherkaton suunnittelun ja rakentamisen ohjaus* rakenne sellaisenaan toimii myös sivustosunnitelmana, jotta selvitys olisi mahdollisimman suoraan vietävissä verkkopalveluksi. Luvun 5 *Viherkaton suunnittelun ja rakentamisen ohjaus* tekstisisältöä on jonkin verran muokattava soveltuvaksi verkkopalveluun.

Suosittelavien viherkattorakenteiden ja niiden suunnitteluohjeiden tavoitteena oli antaa suositus teknisesti ja taloudellisesti oikeasta viherkattorakenteiden suunnittelusta ja toteutuksesta perustuen Suomessa rakentamisesta annettuihin määräyksiin ja ohjeisiin. Selvityksessä tarkasteltiin viherkattorakenteita kokonaisuuden näkökulmasta, jotta eri rakennekerroksien toisilleen mahdollisesti aiheuttamat riskit saataisiin eliminoidua pois. Tutkimus rajattiin rakennetyyppeihin rakennuksen liittymäkohtiin tai muihin detaljeihin syvällisemmin menemättä; niitä on aina tarkasteltava liittymäpintoineen projekti- ja rakennetyyppikohtaisesti rakennesuunnittelijan toimesta.

Suomalaisittain viherkattamista ei ole standardoitu tai laaja-alaisesti arvioitu parhaita ratkaisuja ohjaamaan suunnittelijoita, urakoitsijoita, kiinteistön huoltajia ja käyttäjiä. Maailmalla laajinta arvostusta nauttii saksalaisen FLL:n Saksan DIN normeihin ja laajan tiede- ja osaamisverkoston kokemuksiin perustuva ohje 'Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing'. Suomessa viherkaton rakentamisesta on olemassa jonkin verran kirjavia ohjeita, mutta ne ovat suurimmaksi osaksi eri tarvike- ja tuotevalmistajien laatimia omien tuotteiden käyttöohjeita – ja keskenään usein ristiriitaisia eivätkä ne huomioi aidosti tuota monimutkaista kokonaisuutta. Yleisesti hyväksytyt riittävän kattavat rakentamistapaohjeet puuttuvat.

Työssä perehdyttiin viherkattorakentamiseen maailmalla, erityisesti Yhdysvalloissa ja Saksassa, joissa viherkattorakentamisella on pidempi historia, enemmän tutkimusta ja kirjallisuutta sekä enemmän tietotaitoa viherkattorakentamisesta heidän olosuhteissaan. Tämän pohjalta selvitettiin rakentamistapojen soveltuvuutta Suomen olosuhteisiin ottaen huomioon suomalaisen rakentamisen määräykset ja ohjeet. Selvityksessä keskityttiin etsimään toimivia viherkattoraratkaisuja Suomen olosuhteissa, myös historian ja viherkattojen hyötynäkökulmien kautta. Valmiin työn luonnosvaiheessa Rakennustietosäätiön toimikunnan 342 *Viherkatot* rakennepienryhmä kommentoi ja

käsitteli esitettyjä rakennetyyppejä. Työskentelystä saadut palautteet käytiin läpi, ja rakennetyypit hyväksyttiin KerabitPro Oy:n suosituksiksi. Niitä tullaan myös käsittelemään uudistettavassa RT-kortissa *Viherkatot*.

Työssä onnistuttiin rajaamaan soveltuvia viherkattorakennetyyppejä käytettävissä olevien lähtötietojen, ohjeiden ja määräysten sekä kokemusten perusteella todennäköisesti toimiviksi kokonaisuuksiksi. Suunnittelussa on tehtävä joka päivä valintoja ja käytettävä harkintaa minkälaisia linjauksia on tapauskohtaisesti hyvä noudattaa. Suunnittelun ja suunnitelmien laatu, urakoitsijan ammattitaito, mahdollisen pääurakoitsijan tahtotila sekä tilaajan antamat raamit vaikuttavat aina oleellisesti lopputuloksen laatuun. Rakentaminen vaatii vankkaa ammattitaitoa, mutta siihen kuuluu myös kokeileminen sekä virheistä oppiminen, sillä kaikkea ei voi ennakoida. Liian tarkka määrääminen ja ohjeistaminen saattaa rajoittaa epätarkoituksenmukaisesti luovuutta, jota tarvitaan uusien innovaatioiden syntymiseen.

Jatkoprojektina selvitykselle piirretään myös CAD-kuvat viherkattorakennetyypeistä, ja ne julkaistaan verkkopalvelussa. Jatkuvan kehittymisen ja kehittämisen näkökulmasta olisi hyvä lisätä detaljikuvia sitä mukaa kun projekteissa törmätään suunnitelmatarpeisiin.

Viherkattorakentamisessa on nyt otettu edistysaskel arvioimalla koko rakenteen toimivuutta, mikä tukee viherkattohankkeisiin yhdistettyjä kestävän kehityksen arvoja ja niiden perusteella asetettujen tavoitteiden toteutumista.

LÄHTEET

- 1 Environmental Services City of Portland. 2009. *Ecoroof Handbook* [verkkodokumentti, viitattu 26.2.2014]. Saatavissa: <http://www.portlandoregon.gov/bes/article/259381>.
- 2 Dunnett, Nigel & Kingsbury, Noël. 2010. *Planting green roofs and living walls*. Portland, Oregon, USA – Lontoo: Timber Press Inc.
- 3 Cantor, Steven. 2008. *Green roofs in sustainable landscape design*. New York, New York, USA – Lontoo: W. W. Norton & Company Inc.
- 4 Emilsson, Tobias. 2006. *Extensive Vegetated Roofs in Sweden: Establishment, Development and Environmental Quality*. Väitöskirja. Swedish University of Agricultural Sciences. Saatavissa: http://diss-epsilon.slu.se:8080/archive/00001088/01/Tobias_Emilsson_epsilon.pdf.
- 5 FLL - Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. 2008 edition. *Guideline for the planning, construction and maintenance of green roofing - Green Roofing Guideline* [kaupallinen verkkojulkaisu, viitattu 3.1.2011]. Saatavissa: http://www.fll.de/shop/index.php?cat=c44_Filedownload--PDF-.html.
- 6 Weiler, Susan & Scholz-Barth Katrin. 2007. *Green roof systems. A guide to planning, design and construction of landscapes over structure*. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons Inc.
- 7 Vantaan kaupunki. *Hulevedet ovat sade- ja sulamisvesiä* [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 14.3.2012]. Saatavissa: http://www.vantaa.fi/fi/ymparisto_ja_luonto/vesi/hulevedet.
- 8 Vantaan kaupunki. *Viherkatot ja kattopuutarhat* [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 14.3.2012]. Saatavissa: http://www.vantaa.fi/fi/ymparisto_ja_luonto/vesi/hulevedet/viherkatot_ja_kattopuutarhat_.
- 9 Kuntaliitto. 2012. *Hulevesiopas*. Saatavissa: <http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fshop.kunnat.net%2Fdownload.php%3Ffilename%3Duploads%2Fhulevesiopas-2012.pdf&ei=k9NwVKfhDOF4yQOJh4GoBQ&usg=AFQjCNENSdGf3X4MS6y5pNhVCVpBieiclw&bvm=bv.80185997,d.ZWU>.
- 10 Snodgrass, Edmund & McIntyre, Linda. 2010. *The green roof manual. A professional guide to design, installation and maintenance*. Portland, Oregon, USA – Lontoo: Timber Press Inc.
- 11 The Green Roof Organisation (GRO). *Guidelines to Green Roofing*. [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 22.5.2014]. Saatavissa: www.ikoroofing.co.uk.

- 12 *Ympäristön tila Tampereella 2008.* 2009. Tampereen kaupunki. Ympäristönsuojelun julkaisuja 2/2009. Saatavissa: <http://www.tampere.fi/tiedostot/5FyzXk4qZ/Ymparistontila2008.pdf>.
- 13 Piironen, Minna. 2011. *Kattojen hyödyntäminen kaupunkiviljelyssä.* Opinnäytetyö. Aalto-yliopisto. Muotoilun laitos.
- 14 Youngman, Angela. 2011. *Green Roofs. A guide to their design and installation.* Marlborough: The Crowood Press Ltd.
- 15 The Green Roof Centre (GRO). 2011. *The GRO Green Roof Code. Green Roof Code of Best Practice for the UK 2011* [verkkodokumentti, viitattu 5.8.2014]. Saatavissa: <http://www.thegreenroofcentre.co.uk/Library/Default/Documents/GRO%20NLINE.pdf>.
- 16 Inha, Laura. 2010. *Hulevesien hallinta rakennetuilla alueilla.* Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan koulutusohjelma.
- 17 *Hulevesien luonnonmukaisen hallinnan menetelmät.* 2007. Kuopion kaupunki.
- 18 Augustenborg's Botanical Roof Garden & SGRA - the Scandinavian Green Roof Association. *Green Roofs* [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 31.12.2010]. Saatavissa: <http://www.greenroof.se/data/archive/media/GreenRoofs09.pdf>.
- 19 YLE uutiset. *Tutkijaryhmä kartoittaa, millainen viherkatto sopii Suomeen* [verkkodokumentti]. 5.7.2011 [viitattu 14.3.2012]. Saatavissa: http://yle.fi/uutiset/kotimaa/2011/07/tutkijaryhma_kartoittaa_millainen_viherkatto_sopii_suomeen_2705325.html.
- 20 Hyypä, Anna. 2010. *Viherkatot kaupunkiympäristössä esimerkkikohteena Ranta-Tampella.* Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Arkkitehtuurin koulutusohjelma.
- 21 City of Chicago. 2006. *A guide to rooftop gardening.* [verkkojulkaisu, viitattu 31.12.2010]. Saatavissa: <http://www.artic.edu/webspaces/greeninitiatives/greenroofs/main.htm>.
- 22 Levonoja, Siina. 2007. *Aamuaurinko säteilee kattopuutarhaan.* Opinnäytetyö. Lahden ammattikorkeakoulu. Miljösuunnittelu.
- 23 Huuhka, Satu. 2010. *Kierrätys arkkitehtuurissa.* Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Arkkitehtuurin koulutusohjelma. Saatavissa: <http://www.tut.fi/ark/tiedostot/pdfs/D-huuhka.pdf>.
- 24 Veijola, Päivi. 2011. *Kierrätysmateriaalien käyttö rakentamisessa.* Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Arkkitehtuurin koulutusohjelma. Saatavissa: <http://www.tut.fi/ark/tiedostot/pdfs/D-huuhka.pdf>.

- 25 Nordic Waterproofing Oy. 2011. *Loivat katot*. RT 38064. Helsinki: Rakennustietosäätiö.
- 26 RT 85-10709, *Kansi- ja kattopuutarhat sekä viherkatot*. 1999. Rakennustietosäätiö: Helsinki.
- 27 Bass, Brad. 2007. *Green Roofs and Green Walls: Potential Energy Savings in the Winter*. Tutkimusraportti. University of Toronto. 31.3.2007. Saatavissa: <http://www.uepa.com/pdf/greenroofs.pdf>.
- 28 Rakennustaito, Saarinen, Sirkka. 2000. *Viherkatto ja kattopuutarha tuovat luontoa myös tiiviiseen kaupunkirakenteeseen* [verkkodokumentti]. 4/2000 [viitattu 14.3.2012]. Saatavissa: http://www.rakennustieto.fi/lehdet/rakennustaito/index/lehti/P_426.html.
- 29 Kekkilä. *Viherkaton suunnitteluohje*. [verkkojulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 8.5.2014]. Saatavissa: <http://www.kekkila.com/content/download/4479/68977/file/Viherkaton%20suunnitteluohje.pdf>.
- 30 Lämsä, Jaana. 2013. *Muhoksen kunnan viheralueiden hoitoluokitus*. Opinnäytetyö. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Maisemasuunnittelun koulutusohjelma. Saatavissa: http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/57125/Lamsa_Jaana.pdf?sequence=1.
- 31 Greenroofs.com – Friedrich, Chuck. 2004. *Don't call it dirt!* [verkkojulkaisu]. Heinäkuu 2004 [viitattu 4.1.2011]. Saatavissa: http://www.greenroofs.com/archives/gf_jul04.htm.
- 32 Inhabitat.com, Michler, Andrew. 2011. *Mecanoo's TU Delft Library Crowned With a Massive Green Roof* [blogi]. 7.3.2011 [viitattu 14.3.2012]. Saatavissa: <http://inhabitat.com/mecanoos-tu-delft-library-crowned-with-a-massive-green-roof/>.
- 33 Ahrendt, Jana. 2007. *Historische Gründächer: Ihr Entwicklungsgang bis zur Erfindung des Eisenbetons*. Väitöskirja. Technischen Universität Berlin. Saatavissa: <http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2007/1477/>.
- 34 Appl, Roland & Ansel, Wolfgang (toim.). 2009. *Green roofs – Bringing nature back to town*. Berlin: International Green Roof Association.
- 35 Paalumäki, Heli. 1999. *Kuviteltu ihme? – Babylonin riippuvat puutarhat*. Julkaisussa: Kuparinen, Eero (toim.). Pitkät jäljet. Historioita kahdelta mantereelta. Turun yliopiston historian laitoksen julkaisuja 48. Turku. Saatavissa: <http://users.utu.fi/helpaa/babylon.html>.
- 36 Osmundson, Theodor. 1999. *Roof gardens: history, design and construction*. New York, New York, USA – Lontoo: W. W. Norton & Company Inc.
- 37 Kaila, Panu, Pietarila, Pentti & Tomminen, Hannu. 1987. *Talo kautta aikojen: julkisivujen historia*. Jyväskylä: Gummerus Oy.

- 38 Ahrendt, Jana. 2007. *Historische Gründächer: Ihr Entwicklungsgang bis zur Erfindung des Eisenbetons*. Vaitöskirja. Osa 2 – Luettelo. Technischen Universität Berlin. Saatavissa: <http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2007/1477/>.
- 39 Wennäkoski, Nina. 2010. *Rantarakennus ja teehuone Bonäs, viherkatolla maisemoidut uudiskohteet*. Sisustusarkkitehtuurin SV opinnäytetyö. Lahden ammattikorkeakoulu. Muotoilu- ja taideinstituutti.
- 40 Suur-Jyväskylän lehti, Kaila, Panu. 2011. *Turvekatto on komistus* [verkkodokumentti]. 21.9.2011 [viitattu 14.3.2012]. Saatavissa: http://www.sjl.fi/web/pdf/201138_ke/sjl21p10.pdf.
- 41 Perinnemestari.fi. *Vesikaton historia* [verkkojulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 1.4.2014]. Saatavissa: <http://www.perinnemestari.fi/index.php?id=65&id2=102&id3=172>.
- 42 Suikkari, Risto. 2007. *Paloturvallisuus ja kaupunkipalot Suomen puukaupungeissa – historiasta nykypäivään*. Licensiaatintyö. Oulun yliopisto. Arkkitehtuurin osasto.
- 43 Törnqvist, Malin. 2013. *Gröna tak i städer. En jämförelse mellan marknadsföring från företag och en fallstudie*. Kandidaatintyö. Uppsalan yliopisto. Maisema-arkkitehtuurin koulutusohjelma. Heinäkuu 2013. Saatavissa: http://stud.epsilon.slu.se/6001/1/tornqvist_m_130829.pdf.
- 44 Lisø, Kim Robert & Stenstad, Vidar. 2000. *Fuktsikre isolerte skrå tretak (FIST) – Forstudie*. Norges Byggforskningsinstitutt Byggforsk. Projektrapport 266-2000. Tammikuu 2000. Saatavissa: <http://www.sintef.no/upload/Byggforsk/Publikasjoner/Prosjektrapport266.pdf>.
- 45 Rakennusperinto.fi. *Vesikatto* [verkkojulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 22.4.2014]. Saatavissa: http://www.rakennusperinto.fi/Hoito/rakenteita_ja_rakennusosia/fi_FI/Vesikatto/.
- 46 Kuntsi, Sauli. 1998. *Katot ja vedeneristys*. Helsinki: Rakennusalan kustantajat RAK.
- 47 Väisänen, Päivi (toim.). 2005. *Betoni. Perustietoa arkkitehtiopiskelijalle*. Aalto-yliopisto, Teknillinen korkeakoulu. Arkkitehtuurin laitos. Saatavissa: http://arkkitehtuuri.tkk.fi/oppituolit/ro/julkaisut/Betoni_web2.pdf.
- 48 Foundation Le Corbusier. *Le Corbusier's Studio-Apartment* [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 21.11.2014]. Saatavissa: http://www.fondationlecorbusier.fr/CorbuCache/2049_4187.pdf.

- 49 Greenroofs.com. *Greenroof & Greenwall Projects Database. Moos Water Filtration Plant (Seewasserwerk Moos)* [verkkójulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 15.8.2014]. Saatavissa: <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=680>.
- 50 Kantor, Davis. 2013. *Top 5 Green Roofs from Switzerland Tour*. [blogi]. 5.9.2013 [viitattu 15.8.2014]. Saatavissa: <http://land8.com/profiles/blogs/top-five-green-roofs-from-switzerland-tour>.
- 51 The Architect's Newspaper -kotisivu. 2009. *Greening the Skyline* [verkkovalokuva]. 22.4.2009 [viitattu 2.4.2014]. Saatavissa: <http://archpaper.com/news/articles.asp?id=3429>.
- 52 Bonsen, Joost. 2009. *Kaiser Roof Garden ~ An Epic Green Building!*. [blogi]. 13.12.2009 [viitattu 8.4.2014]. Saatavissa: <http://www.maximizingprogress.org/2009/12/kaiser-roof-garden-epic-green-building.html>.
- 53 Robinette, Gary. 2009. *Biography of Theodore Osmundson*. 15.4.2009 [viitattu 8.4.2014]. The Cultural Landscape Foundation. Saatavissa: <https://tclf.org/pioneer/theodore-ted-osmundson/biography-theodore-quotedquot-osmundson>.
- 54 Bass, Brad & Baskaran, Bas. 2003. *Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas*. Tutkimusraportti NRCC-46737. National Research Council Canada. 18.9.2003. Saatavissa: http://www.roofmeadow.com/wp-content/uploads/Evaluating_Rooftop_and_Verticle_Gardens.pdf.
- 55 Kuismanen, Kimmo. 2005. *Ilmaston vaikutus pientalojen suunnitteluun*. Ab CASE consult Ltd. 2005. Saatavissa: <http://www.kuismanen.fi/ilmastark.pdf>.
- 56 Torvikoski, Antti. 2010. *Rakennusfysiikan perusteet – säätekijöistä*. [verkkodokumentti]. 8.1.2010 [viitattu 20.3.2012]. Saatavissa: <http://www.oamk.fi/~anttitor/kurssit/Rakennusfysiikan%20perusteet/Ekstra/Saatekijosta.pdf>.
- 57 Uusitalo, Jaana. 2013. *Viherkatot – perustaminen ja hoito*. Opinnäytetyö. Hämeen ammattikorkeakoulu. Maisemasuunnittelun koulutusohjelma. 20.12.2013. Saatavissa: <https://sites.google.com/site/viherkatot/documents/release-2-0>.
- 58 Koho, Elsi. 2004. *Kevon maan pintakerroksen lämpötilat*. Tutkielma. Helsingin yliopisto. Maantieteen laitos.
- 59 Pesu, Jarmo. 2010. *Routanousukokeen kehittäminen*. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos. 16.2.2010. Saatavissa: http://civil.aalto.fi/fi/tutkimus/pohjarakennus/opinnaytteet/d_jarmo_pesu.pdf.

- 60 Leivo, Virpi & Rantala, Jukka. 2002. *Maanvastaisten alapohjarakenteiden kosteustekninen toimivuus*. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Talonrakennustekniikka. Julkaisu 120. Tampere: Rakennustekniikan osasto. Saatavissa: http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/16551/leivo_rantala_maanvastaisten_alapohjarakenteiden_kosteustekninen_toimivuus.pdf?sequence=1.
- 61 RakMK C4. 2003. *Lämmöneristys, ohjeet*. Helsinki.
- 62 Linne, Stina, A-Insinöörit Oy. 2014. *Julkisivun energiakorjaus*. [luentoaineisto, viitattu 22.5.2014]. Saatavissa: http://www.julkisivuyhdistys.fi/julkkari2/images/stories/File/Ajankohtaista_Tilaisuudet/JSY_vuosikokousseminaari08052012/Linne.pdf.
- 63 Government of Canada. 2014. *Canadian Climate Normals 1981–2010 Station Data* [verkkodokumentti]. 13.2.2014 [viitattu 26.5.2014]. Saatavissa: http://climate.weather.gc.ca/climate_normals/results_1981_2010_e.html?stnID=5051&lang=e&dCode=0&StationName=TORONTO&SearchType=Contains&province=ALL&provBut=&month1=0&month2=12.
- 64 Ilmatieteen laitos. *Vuositilastot* [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 26.5.2014]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/vuositilastot>.
- 65 Veuro, Sini, Mesimäki, Marja & Lehvävirta, Susanna. 2012. *Esiselvitys viherkattojen elinkaarianalyysistä ja kestävästä rakenneratkaisuista*. Esiselvitys. Helsinki. 21.12.2012. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39203/Esiselvitys_viherkattojen_LCA.pdf?sequence=2.
- 66 Liu, Karen & Baskaran, Bas. 2003. *Thermal performance of green roofs through field evaluation*. Tutkimusraportti NRCC-46412. Ottawa, Ontario, Canada: National Research Council, Institute for Research in Construction. Toukokuu 2003. Saatavissa: www.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/pubs/nrcc46412/nrcc46412.pdf.
- 67 Jylhä, Kimmo, Kalamees, Targo, Tietäväinen, Hanna, Ruosteenoja, Kimmo, Jokisalo, Juha, Hyvönen, Reijo, Ilomets, Simo, Saku, Seppo & Hutila, Asko. 2011. *Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 ja arviot ilmastonmuutoksen vaikutuksista*. Raportteja 2011:6. Helsinki: Ilmatieteen laitos. Saatavissa: http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=827685fa-942d-4727-abb3-ae2877e55a99&groupId=30106.
- 68 *Living Roofs and Walls. Technical Report: Supporting London Plan Policy*. 2008. Greater London Authority, Lontoo. Helmikuu 2008. Saatavissa: <http://legacy.london.gov.uk/mayor/strategies/sds/docs/living-roofs.pdf>.
- 69 City of Los Angeles. 2006. *Green Roofs - Cooling Los Angeles*. [verkkójulkaisu]. 2006 [viitattu 13.3.2014]. Saatavissa: http://www.greensulate.com/pdf/LA_GreenRoofsResourceGuide.pdf.

- 70 Jacobson, Mark & Ten Hoeve, John. 2011. *Effects of Urban Surfaces and White Roofs on Global and Regional Climate*. Stanford University. Stanford, CA USA.
- 71 NCAR & UCAR News Center – Olson, Keith, Bonan, Gordon & Feddema, Johannes. 2010. *Computer model demonstrates that white roofs may successfully cool cities* [verkkodokumentti]. 28.1.2010 [viitattu 4.1.2011]. Saatavissa: <http://www2.ucar.edu/news/1385/computer-model-demonstrates-white-roofs-may-successfully-cool-cities>.
- 72 Ilmatieteen laitos. *Ilmastonmuutos* [verkkojulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 4.1.2011]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmastonmuutoskysymyksiä>.
- 73 *Kantakaupungin ympäristö- ja maisemaselvitys*. 2008. Tampereen kaupunki. Kaupunkiympäristön kehittäminen, Maankäytön suunnittelu. Julkaisuja 1. Saatavissa: http://www.tampere.fi/tiedostot/5taxRMVvr/kyms_luvut_1_3.pdf.
- 74 Ilmatieteen laitos. 2009. *Lämpösaarekeilmiön vaikutus Helsingin paikallisilmastoon tutkitaan perusteellisesti* [verkkojulkaisu]. 23.9.2009 [viitattu 4.1.2011]. Saatavissa: <http://193.166.221.29/uutiset/index.html?A=1&Id=1253684912.html>.
- 75 Drebs, Achim. 2011. *Helsingin lämpösaareke ajallisena ja paikallisena ilmiönä*. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto. Geotieteen ja maantieteen laitos. Lokakuu 2011. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/29123/helsinki.pdf?sequence=1>.
- 76 Ladec.fi, Ruosteenoja Kimmo & Drebs Achim. *Suomen ilmaston tulevat muutokset mallitulosten perusteella / Kaupunki-ilmaston tutkimus – mallinnus ja havainnointi* [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 13.5.2014]. Saatavissa: http://www.ladec.fi/filebank/2021-rakentaminen_ja_ilmasto_kr_ad.pdf.
- 77 Ilmatieteen laitos. 2012. *Ilmastokatsaus. Heinäkuu 2012* [verkkojulkaisu]. Heinäkuu 2012 [viitattu 13.5.2014]. Saatavissa: http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=a0092199-86c9-4780-a70e-f2b00bbda54f&groupId=30106.
- 78 Tucsoncitizen.com. 2011. *Oops, fighting global warming may cause global warming* [verkkojulkaisu]. 26.10.2011 [viitattu 12.3.2012]. Saatavissa: <http://tucsoncitizen.com/wryheat/2011/10/26/oops-fighting-global-warming-may-cause-global-warming/>.
- 79 Green Building Council Finland. 2013. *Rakennusten ympäristöluokitukset* [verkkodokumentti]. 2013 [viitattu 1.6.2014]. Saatavissa: <http://figbc.fi/tietopankki/ymparistoluokitukset/>.
- 80 Luckett, Kelly. 2009. *Green roof construction and maintenance*. USA: McGraw-Hill Companies Inc.

- 81 U.S. Green Building Council. 2013. *Infographic: LEED in the World* [verkkodokumentti]. 3.5.2013 [viitattu 1.6.2014]. Saatavissa: <http://www.usgbc.org/articles/infographic-leed-world>.
- 82 Laurila, Sari, Jyrkänkallio-Mikkola, Jenny, Mesimäki, Marja, Kallio, Pasi, Kuoppamäki, Kirsi, Nieminen, Hanna & Lehvävirta, Susanna. 2014. *Normeja viherkatoille – perusteita kehittämiseen*. Raportti. Helsingin yliopisto. Koulutus- ja kehittämisskeskus Palmenia. Saatavissa: http://www.helsinki.fi/palmenia/hankkeet/julkaisut/Esiselvitys_Kohti%20kestävää%20kaupunkia_korjattu.pdf.
- 83 Halonen, Minna. 2012. *Uhanalaisten ja harvinaisten kasvilajien esiintyminen pääkaupunkiseudun viherkatoilla*. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto. Ympäristötieteiden laitos. Maaliskuu 2012. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/36215/Halonen.pdf?sequence=1>.
- 84 Helsingin uutiset. 2011. *Katolta löytyi kissankäpälää* [verkkodokumentti]. 25.7.2011 [viitattu 14.3.2012]. Saatavissa: <http://www.helsinginuutiset.fi/artikkeli/63264-katolta-loytyi-kissankapalaa>.
- 85 *Meluntorjunnan valtakunnalliset linjaukset ja toimintaohjelma*. 2004. Ympäristöministeriö. Helsinki. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40452/SY_696.pdf?sequence=1.
- 86 Tampereen yliopisto, Asikainen, Eveliina. *Keskustakampuksen kasvillisuusesittely* [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 14.3.2012]. Saatavissa: <http://www.uta.fi/esittely/kuvagalleria/kasvillisuus.html>.
- 87 ZinCo. 2014. *The Ecological Benefits of a Green Roof*. [verkkojulkaisu]. 2014 [viitattu 8.6.2014]. Saatavissa: http://www.zinco-greenroof.com/EN/benefits/ecological_benefits.php.
- 88 Kylliäinen, Mikko. 2011. *Kivitalojen ääneneristys*. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.
- 89 Museovirasto. 2000. *Huopakaton korjaus*. [verkkojulkaisu]. 1.1.2000 [viitattu 21.3.2012]. Korjauskortisto. KK 4. Saatavissa: <http://www.nba.fi/fi/File/123/korjauskortti-4.pdf>.
- 90 Lindfors, Anders. 2007. *Reconstruction of past UV radiation*. Ilmatieteen laitos. Finnish Meteorological Institute Contributions 67, FMI-CONT-67. Marraskuu 2007. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/23155>.
- 91 RT 85-10458, *Bitumikermikatteet, perustietoja*. 1991. Helsinki: Rakennustietosäätiö.
- 92 RT 85-10460, *Monikermibitumikatteet*. 1991. Helsinki: Rakennustietosäätiö.

- 93 Björk, Folke. 2004. *Green roofs effect on durability of roof membranes* [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 21.3.2011]. International Green Roof Institute. Lokakuu 2004. Saatavissa: http://web.byv.kth.se/bphys/reykjavik/pdf/art_090.pdf.
- 94 Merisalo, Miina, Lemminkäinen Rakennustuotteet Oy. 2010. *Heikoin kohta määrittää katon vedenpitävyyden - suunnitteluohjeiden avulla yksityiskohdat kuntoon* 5.3.2010 [luentoaineisto, viitattu 11.8.2014].
- 95 RIL 107-2012. 2012. *Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet*. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- 96 ilmasto-opas.fi. *Ilmastonmuutos ilmiönä. Kasvihuoneilmiö. Kasvihuonekaasut lämmittävät. Hiilidioksidi* [verkkojulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 22.3.2012]. Saatavissa: <http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/fi/3a576a6e-bec5-44bc-a01d-11497ebdc441/kasvihuonekaasut-lammittavat.html>.
- 97 ilmasto.org. *Kasvihuoneilmiö ja ilmastonmuutos* [verkkojulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 22.3.2012]. Saatavissa: <http://www.ilmasto.org/ilmastonmuutos/perusteet.html>.
- 98 Kuismanen, Kimmo, Makkonen, Lasse & Wahlgren, Irmeli. 2008. *Ilmastonmuutoksen huomioiminen kaavoituksessa – tapauskohtaisia tarkasteluja*. VTT tutkimusraportti Nro VTT-R-03986-08. Espoo: VTT.
- 99 Brethour, Cher, Watson, Garry, Sparling, Beth, Bucknell, Delia & Moore, Terri-Lyn. 2010. *Kirjallisuuskatsaus koristekasvien tieteellisesti todistetuista hyödyistä terveydelle ja ympäristölle*. Loppuraportti. George Morris Centre. 15.3.2010. Käännös Lehtonen, Satu. 2008.
- 100 Korpela, Kalevi. 2010. Professori, Tampereen Yliopisto. *Viherympäristöt ja hyvinvointi* [Luentoaineisto]. Kuopio 11.8.2010 [viitattu 3.1.2011].
- 101 Marina Bay Sands Singaporen kotisivu. <http://www.marinabaysands.com>.
- 102 Velazquez, Linda. 2011. *Reflections of Fall 2010 Greenroof Conferences: Singapore, Part 2*. [blogi]. 11.1.2011 [viitattu 12.3.2014]. Saatavissa: <http://www.greenroofs.com/blog/>.
- 103 Waldbaum, Hanna. 2008. *Green roofs for urban agriculture: What is required to support their implementation in the UK?*. Opinnäytetyö. University of East London. Tammikuu 2008. Saatavissa: <http://livingroofs.org/2010030993/green-roof-policies-and-research/resagri.html>.
- 104 Carrot City. *Designing for Urban Agriculture. Rooftop Gardens at Fairmont Hotels* [verkkojulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 18.11.2014]. Saatavissa: http://www.ryerson.ca/carrotcity/board_pages/rooftops/fairmont.html.

- 105 Snodgrass, Edmund & Snodgrass, Lucie. 2006. *Green roof plants. A resource and planting guide*. Portland, Oregon, USA – Lontoo: Timber Press Inc.
- 106 Stringer, Scott. 2010. *A Blueprint for a Sustainable Food System*. Helmikuu 2010. Saatavissa: <http://www.scribd.com/doc/38802913/Food-NYC>.
- 107 Emmons, Chase. 2014. Managing Partner & Locations Director, Brooklyn Grange Rooftop Farm. *Re: Permission to Use Copyrighted Material in a Master* [sähköpostiviesti]. Brooklyn Navy Yard [Liitetiedosto, jpg-tiedosto]. Vastaanottaja Miina Merisalo. Lähetetty 21.11.2014 [viitattu 21.11.2014].
- 108 Brooklyn Grange Farm. 2014. *About* [verkkojulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 20.11.2014]. Saatavissa: <http://brooklyngrangefarm.com/about/>.
- 109 ara.fi. 2011. *Silta elävään lähiöön. Lähiöohjelma 2008–2011. Osittainen purkaminen keinoksi lähiöiden muodonmuutokseen*. [verkkojulkaisu]. 1.4.2011 [viitattu 22.3.2012]. Saatavissa: <http://www.ara.fi/default.asp?contentid=15656&lan=fi>.
- 110 degewo.de. *Neighbourhood Profile: Ahrensfelder Terrassen* [verkkojulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 22.3.2012]. Saatavissa: http://www.degewo.de/content/de/Wohnen/_2-9-Willkommen-in-Berlin/1-2-3-Neighbourhood-Profile/Marzahn-Hellersdorf/Ahrensfelder-Terrassen.html.
- 111 Wikipedia. 2014. *High Line (New York City)* [verkkodokumentti]. 3.6.2014 [viitattu 10.6.2014]. Saatavissa: [http://en.wikipedia.org/wiki/High_Line_\(New_York_City\)](http://en.wikipedia.org/wiki/High_Line_(New_York_City)).
- 112 Simmons, Mark, Gardiner, Brian, Windhager, Steve & Tinsley, Jeannine. 2008. *Green roofs are not created equal: the hydrologic and thermal performance of six different extensive green roofs and reflective and non-reflective roofs in a sub-tropical climate*. Urban Ecosyst 11(2008). s. 339–348. Saatavissa: https://www.wildflower.org/greenroof/Simmons_et_al_greenroof_urban_eco_systems.pdf & <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11252-008-0069-4>.
- 113 RT 85-10799, *Bitumikermikatteet, perustietoja*. 2003. Helsinki: Rakennustietosäätiö.
- 114 Merisalo, Miina. 2007. *Vesikatot ja vedeneristysrakenteet*. Opinnäytetyö. Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia. Rakennustekniikan koulutusohjelma. 30.3.2007.
- 115 *Toimivat katot 2007*. 2007. Helsinki: Kattoliitto ry.
- 116 Nieminen, Jyri – Kouhia, Ilpo. 1999. *Hyvin eristetyin loivan katon toimivuus ja vaatimukset*. VTT tiedotteita 1979. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

- 117 RT 85-11132, *Vesikaton turvavarusteet*. 2013. Rakennustietosäätiö: Helsinki. Lokakuu 2013.
- 118 *Toimivat katot 2013*. 2013. Sastamala: Kattoliitto ry.
- 119 ZinCo Greenroofs Suomi Oy. 2013. *Suunnitteluopas. Viihtyisän ja kukoistavan viherkaton rakentaminen* [verkkójulkaisu]. Lokakuu 2013 [viitattu 12.6.2014]. Saatavissa: <http://zincosuomi.fi/wp-content/uploads/2013/11/zincosuomi4.pdf>.
- 120 Van Woert, Nicholas, Rowe, Bradley, Andresen, Jeffrey, Rugh, Clayton, Fernandez, Thomas & Xiao, Lan. 2005. *Green Roof Stormwater Retention: Effects of Roof Surface, Slope, and Media Depth*. Journal of Environmental Quality 34(2005). s. 1036–1044. Saatavissa: http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0CDYQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fprofile%2FRodney_Fernandez%2Fpublication%2F7852212_Green_roof_stormwater_retention_effects_of_roof_surface_slope_and_media_depth%2Ffile%2F32bfe513f4a677ef64.pdf&ei=0n-0U9PbEYTnygOI7ILoDg&usg=AFQjCNFad3HLWg0ieVTrxKHZGIFtvPymMA&sig2=1dcDtITtMgidqVNQJ91o0Q.
- 121 *Tak*. 2013. Norja: Optimera. Huhtikuu 2013. Saatavissa: http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CCwQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.optimeraproff.no%2Fdocument-file43%3Fpid%3DNative-ContentFile-File%26attach%3D1&ei=SKixU_jFGsz74QTEw4GoCQ&usg=AFQjCNEI0-iJ1KVF2IJQHB8sAUCHmjcUeg&bvm=bv.69837884,d.bGQ.
- 122 suomirakentaa.fi. 2013. *Seitsemän kymmenestä lomarakentajasta päätyy hirteen* [verkkójulkaisu]. 30.12.2013 [viitattu 3.7.2014]. Saatavissa: <http://www.suomirakentaa.fi/lomarakentaja/ulkoseinaet-ja-julkisivut/hirsirakentaminen>.
- 123 RakMK B10. *Puurakenteet. Ohjeet*. 2001. Helsinki.
- 124 RT 852.3, *Kate, turve-*. 1966. Rakennustietosäätiö: Helsinki.
- 125 Plusarkkitehdit.fi. 2009. *Turvekatto*. [verkkójulkaisu]. 1.7.2009 [viitattu 8.7.2014]. Saatavissa: <http://www.plusarkkitehdit.fi/turvekatto/>.
- 126 RIL 107-2000. 2000. *Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet*. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2000.
- 127 Byggforskserien Byggdetaljer 544.823, *Sedumtak*. 2013. SINTEF Byggforsk: Oslo.
- 128 Hakkarainen, Hannu. 2010. *Rakennusfysiikan erikoisopintojakso*. [Luentomoniste]. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Korjausrakentamisen YAMK. 9.9.2010 [viitattu 26.3.2012].

- 129 Bergens Tidende, Engesæter, Pål. 2011. *Bergknapp på hele Ikea-taket. Det nye taket på Ikea i Åsane skaper internasjonal oppmerksomhet.* [verkkojulkaisu]. 6.10.2011 [viitattu 26.6.2014]. Saatavissa: <http://www.bt.no/bolig/Bergknapp-pa-hele-Ikea-taket--2588405.html>.
- 130 RT 05-10710, *Kosteus rakennuksissa.* Rakennustietosäätiö: Helsinki. 1999.
- 131 RT 80-10712, *Rakennuksen kosteus- ja mikrobivauriot, Korjausrakentaminen.* 1999. Helsinki: Rakennustietosäätiö.
- 132 RakMK C2. *Kosteus. Määräykset ja ohjeet.* 1999. Helsinki.
- 133 Kokko, Erkki ym. 1999. *Puurakenteiden kosteustekninen toiminta.* VTT tiedotteita 1991. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.
- 134 Pekkala, Vilho. 2006. DI, suunnittelujohtaja, Insinööritoimisto Mikko Vahanan Oy. *Re: Toimivat Katot 2006 –kommentit* [sähköpostiviesti]. Toimivat katot kymm 18.4.2006.doc [Liitetiedosto, Word-dokumentti, 9 s.]. Vastaanottaja Miina Merisalo. Lähetetty 18.5.2006 [viitattu 3.1.2011].
- 135 Pekkala, Vilho. 2005. *Loivat tuuletetut katot, pitkät lappeet.* Rakentajain kalenteri 2005. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 136 Pekkala, Vilho. 2006. *Vesikattojen rakenteet ja peltikatot* [Luentomoniste]. 17.5.2006 [viitattu 3.1.2011].
- 137 *Kosteus rakentamisessa RakMK C2 opas.* 1999. Ympäristöopas 51, rakentaminen. Ympäristöministeriö: Helsinki.
- 138 RT X37-36646, *Kattokaivot. Piha- ja terassikaivot. Saneerauskaivot. Peltitarvike Oy.* 2007. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 139 Nordkalk. 2009. *Recipes for Success. Onnistumisen reseptit kalkin käyttäjille* [verkkojulkaisu]. Huhtikuu 2009 [viitattu 24.9.2014]. Saatavissa: http://sanakari.files.wordpress.com/2008/01/nk_je_2009_suomi.pdf.
- 140 Köhler, Manfred. 2006. *Long-Term Vegetation Research on Two Extensive Green Roofs in Berlin.* University of Applied Sciences Neubrandenburg, Germany. Joulukuu 2006. Saatavissa: http://www.urbanhabitats.org/v04n01/berlin_pdf.pdf.
- 141 Suomela.fi. *Uma remontoit: satumainen versta.* [verkkojulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 8.7.2014]. Saatavissa: <http://www.suomela.fi/piha-puutarha/Piharakennukset-varastot/Uma-remontoit-Satumainen-versta-49920>.
- 142 Saarinen, Milla. 2010. *Kasvillisuuden, eläinten ja luvattomien toimenpiteiden vaikutus maapatoihin.* Diplomityö. Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu. Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan osasto. Maaliskuu 2010. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B2023BB3A-329E-4A33-9F2F-7F96DD86E995%7D/78449>.

- 143 puutarhaunelma.fi. 2014. *Kasvualusta on kaiken perusta* [verkkajulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 20.8.2014]. Saatavissa: <http://www.puutarhaunelma.fi/index.php?section=34>.
- 144 puutarha.net. 2013. *Maanparannus - tee kasveillesi hyvä kasvualusta* [verkkajulkaisu]. 26.3.2013 [viitattu 20.8.2014]. Saatavissa: http://puutarha.net/artikkelit/36/maanparannus_hyva_kasvualusta.htm.
- 145 Bates, Adam, Mackay, Rae, Greswell, Richard & Sadler, Jon. 2009. *SWITCH in Birmingham, UK: experimental investigation of the ecological and hydrological performance of extensive green roofs*. Reviews in Environmental Science and Biotechnology 8(2009). s. 295–300. Saatavissa: http://download.springer.com/static/pdf/697/art%253A10.1007%252Fs11157-009-9177-8.pdf?auth66=1408728861_1513063fbe4cd3243b5352913183ab81&ext=.pdf.
- 146 Alakangas, Eija, Hölttä, Pekka, Juntunen, Mari & Vesisenaho, Tero. 2011. *Ergiaturpeen tuotantotekniikka*. Koulutusaineisto. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja 120. Jyväskylän ammattikorkeakoulu JAMK. 2011. Saatavissa: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/33382/JAMKJULKAISUJA120_2011_web.pdf?sequence=1.
- 147 vtt.fi. 2014. *VTT ja MTT kehittivät kasvihuoneviljelijöille rahkasammalesta ympäristöystävällisiä kasvualustoja* [verkkajulkaisu]. 19.3.2014 [viitattu 20.8.2014]. Saatavissa: http://www.vtt.fi/news/2014/19032014_foamoss.jsp.
- 148 Hirsi, Hannu. *Arkkitehdin materiaalitekniikka. Puun vauriomekanismit*. [Luentomoniste]. Aalto-yliopisto. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 2.9.2014]. Saatavissa: https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB4QFjAA&url=https%3A%2F%2Fnoppa.aalto.fi%2Fnoppa%2Fkurssi%2Fa-9.1137%2Fluennot%2Fa-9_1137_puun_vaurioituminen.pdf&ei=0ycGVLO6I-HuyQPK8YGoCQ&usq=AFQjCNE6VfVe7lLqo_SzUK66-yHpzck_aQ&bvm=bv.74115972,d.bGQ.
- 149 Viitanen, Hannu, *Puutavaran kestävyys ja valinta. Rakentajain kalenteri 2008*. 2008. Helsinki: Rakennustieto Oy. s. 428–435.
- 150 Rakennusmaailma, Isosaari, Kyösti. 2009. *Säänkestoa kemikaaleilla vai kuumuudella?* 3/2009. s. 16–20.
- 151 RT 21-11094, *Kyllästetty puutavara*. 2012. Rakennustietosäätiö: Helsinki.
- 152 Viapipe.fi. *Geovahvisteet* [verkkajulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 13.8.2014]. Saatavissa: <http://www.viapipe.fi/tuotteet/geovahvisteet>.

- 153 Lektar Oy. 2010. *Geoverkot*. RT 37971. Helsinki: Rakennustietosäätiö. Lokakuu 2010. Saatavissa: http://www.lektar.com/rakentaminen2/maarakennus/fi_FI/geotuotteet/.
- 154 tekniikka&talous, Törmänen, Eeva. 2009. *Geoverkko säästää mursketta ja rahaa* [verkkodokumentti]. 12.5.2009 [viitattu 13.8.2014]. Saatavissa: <http://www.tekniikkatalous.fi/rakennus/geoverkko+saastaa+mursketta+ja+rahaa/a283434>.
- 155 Nophadrain.nl. *0.2 Extensive green roofs* [verkkojulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 13.10.2014]. Saatavissa: http://www.nophadrain.nl/EN/groendak_downloads.html.
- 156 RakMK E1. 2011. *Rakennusten paloturvallisuus. Määräykset ja ohjeet 2011*. Helsinki.
- 157 Breuning, Jörg. 2007. *Do we need a belt suspenders and a nail in our belly button to hold our pants? Fire and wind on extensive green roofs*. The Green Roof Infrastructure Monitor 9/I(2007). s. 12–13. Saatavissa: http://www.greenroofs.org/resources/GRIM_Spring2007.pdf.
- 158 Livingroofs.org. *Green Roofs_Fire and German Guidelines. Statement by Roland Appl President International Green Roof Association IGRA* [verkkojulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 24.9.2014]. Saatavissa: <http://www.livingroofs.org/images/stories/pdfs/fire.pdf>.
- 159 Eg-Trading Oy. *Gröna tak. Gröna terrasser. Konstruktioner. Gör staden* [verkkojulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 24.9.2014]. Saatavissa: <http://www.eg-trading.fi/arch/cat/1442/135/diedem2011suunnitteluopas.pdf>.
- 160 Kuntaliitto. *Hulevesiopas* [verkkojulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 16.3.2012]. Saatavissa: http://www.kunnat.net/fi/asiantuntijapalvelut/tyy/tekntoimi/hulevesien_hallinta/Documents/Hulevesiopas%2016711.pdf.
- 161 Nevalle.com. *Torjutaan turvepaloja – opas kuljettajalle* [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 20.8.2014]. Saatavissa: <http://www.nevalle.com/Torjutaan%20turvepaloja.pdf>.
- 162 Virtuaalisuo. *Turvetyömaiden palontorjunta* [verkkojulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 20.8.2014]. Saatavissa: <http://agl.cc.jyu.fi/visu/index.php?id=568>.
- 163 Nordic Waterproofing Oy. *Sempergreen-maksaruohokatot* [verkkojulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 6.8.2014]. Saatavissa: <http://www.kerabit.fi/tuotteet/viherkatot/sempergreen-maksaruohokatot>.
- 164 RakMK F2. 2001. *Rakennuksen käyttöturvallisuus. Määräykset ja ohjeet*. Helsinki.

- 165 Invalidiliitto ry. *Luiskat* [verkkojulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 13.8.2014]. Saatavissa: http://www.esteeton.fi/portal/fi/tietosio/rakennettu_ymparisto/luiskat__portaajat_ka_sijojhteet/luiskat/.
- 166 RakMK F1. 2005. *Esteetön rakennus. Määräykset ja ohjeet*. Helsinki.
- 167 RakMK G1. 2005. *Asuntosuunnittelu. Määräykset ja ohjeet*. Helsinki.
- 168 Byggforskserien Byggdetaljer 525.306, *Terrasser med beplantning på bærende betongdekker*. 2009. SINTEF Byggforsk: Oslo.
- 169 Optigreen.co.uk. *Green Roof "Economy Roof" Solution 1 (0–5°)* [verkkojulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 5.8.2014]. Saatavissa: <http://www.optigreen.co.uk/SystemSolutions/Economy-Roof-S1.html>.
- 170 Bauder Limited. *Flat Roof Solutions* [verkkojulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 5.8.2014]. Bauder Limited esite Tekninen manuaali. Saatavissa: <http://digitalpages.digitalissue.co.uk/go/bauder-flat-roof-systems/>.
- 171 RT 36-11102, *XPS-eristeet. Lämmöneristystarvikkeet*. 2012. Rakennustietosäätiö: Helsinki.
- 172 Normandeau, Matthew & Waite, Michael. *Balancing Waterproofing and Thermal Performance for Vegetative Roof Assemblies. Proceedings of the 2011 International Roofing Symposium* [verkkojulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 6.8.2014]. Saatavissa: http://staticcontent.nrca.net/masterpages/technical/symposium/pdf/08_normandeau_paper.pdf.
- 173 National Roofing Contractors Association (NRCA). 2007. *The NRCA Green Roof Systems Manual* [verkkojulkaisu]. 2007 [viitattu 31.7.2014]. Saatavissa: http://icbuildingsolutions.com/uploads/1/4/6/3/14638878/nrca_roof_manual_.pdf.
- 174 Bergens Tidende, Eidsvik, Øyvind Lefdal. 2013. *Levende Ikea-tak overlevde ikke bergensregnet* [verkkojulkaisu]. 25.8.2013 [viitattu 19.6.2014]. Saatavissa: <http://www.bt.no/bolig/Levende-Ikea-tak-overlevde-ikke-bergensregnet-2954180.html>.
- 175 Byggeindustrien, Blakstad, Svanhild. 2013. *Det grønne IKEA-taket druknet*. [verkkojulkaisu]. 26.8.2013 [viitattu 26.6.2014]. Saatavissa: <http://www.bygg.no/article/111430>.
- 176 Ilmatieteen laitos. 2014. *Vuosittelastot. Vuoden keskilämpötila ja vuosisade 1981–2010* [verkkojulkaisu]. 2.1.2014 [viitattu 30.6.2014]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/vuosittelastot>.
- 177 LandscapeOnline.com. *Aquascape Green Roof Collapses* [verkkojulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 6.8.2014]. Saatavissa: <http://landscapeonline.com/research/article/14707>.

- 178 Inhabitat.com. 2013. *Aquascape Sues Over Collapse of World's Largest Sloped Green Roof Near Chicago* [verkkajulkaisu]. 13.3.2013 [viitattu 6.8.2014]. Saatavissa: <http://inhabitat.com/aquascape-sues-over-worlds-largest-sloped-green-roof-collapse-near-chicago/>.
- 179 Fountain, Henry. 2011. *Green Roof Collapses in Illinois* [blogi]. 18.2.2011 [viitattu 6.8.2014]. The New York Times. Saatavissa: http://green.blogs.nytimes.com/2011/02/18/green-roof-collapses-in-illinois/?_php=true&_type=blogs&r=0.
- 180 Breuning, Jörg. 2013. *Aquascape Sues over Collapsed Green Roof* [blogi]. 7.3.2013 [viitattu 6.8.2014]. Saatavissa: <http://www.greenrooftechnology.com/green-roof-blog/aquascape-sues-over-collapsed-green-roof>.
- 181 Breuning, Jörg. 2011. *The Sky is Falling: A Critique of Failed Sloped Extensive Green Roofs* [blogi]. 6.9.2011 [viitattu 6.8.2014]. Saatavissa: http://www.greenrooftechnology.com/green-roof-blog/the_sky_is_falling_a_critique_of_failed_sloped_extensive_green_roofs.
- 182 environmentalleader.com. 2013. *Supermarket Green Roof Collapses, Killing 33* [verkkajulkaisu]. 22.11.2013 [viitattu 6.8.2014]. Saatavissa: <http://www.environmentalleader.com/2013/11/22/supermarket-green-roof-collapses-killing-33/>.
- 183 ABC News. 2013. *Latvia supermarket roof collapse kills dozens, rooftop garden probed as possible cause* [verkkajulkaisu]. 23.11.2013 [viitattu 6.8.2014]. Saatavissa: <http://www.abc.net.au/news/2013-11-22/latvia-supermarket-roof-collapse-kills-dozens/5112572>.
- 184 a4d.lv. 2011. *Maxima Zolitūdē* [verkkajulkaisu]. 23.11.2011 [viitattu 6.8.2014]. Saatavissa: <http://www.a4d.lv/lv/projekti/maxima-zolitude/>.
- 185 Breuning, Jörg. 2011. *Green Roofs: Fixer-Upper or Lawsuit? Sloped Extensive Green Roofs* [verkkajulkaisu]. 6.9.2011 [viitattu 6.8.2014]. Saatavissa: <http://www.greenrooftechnology.com/LiteratureRetrieve.aspx?ID=101792>.
- 186 Björkholtz, Dick. 1997. *Lämpö ja kosteus. Rakennusfysiikka*. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 187 Jokinen, Jussi. 2011. *Kehityspäällikkö, Isover, Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy. Vs: Viherkattolausunto* [sähköpostiviesti]. Viherkatto 9.3.2011.pdf [Liitetiedosto, pdf-dokumentti, 1 s.]. Vastaanottaja Miina Merisalo. Lähetetty 9.3.2011 [viitattu 10.7.2014].
- 188 RakMK B1. 1998. *Rakenteiden varmuus ja kuormitukset*. Määräykset ja ohjeet. Helsinki.

- 189 Paroc Group Oy. 2013. *PAROC ROB 100gtrl* [verkkajulkaisu]. 16.9.2013 [viitattu 13.8.2014]. Saatavissa: <http://www.paroc.fi/ratkaisutuotteet/Tuotteet/Pages/Loivien-kattojen-eristeet/PAROC-ROB-100gtrl>.
- 190 Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy. 2009. *ISOVER-kattoeristeet loiville katoille* [verkkajulkaisu]. 15.5.2009 [viitattu 13.8.2014]. Saatavissa: <http://www.isover.fi/Download/26676/Kattoeristeet%20loiville%20katoille.pdf>.
- 191 Thermisol Oy. *EPS-eristeiden puristuslujuudet* [verkkajulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 13.8.2014]. Saatavissa: http://www.thermisol.fi/uploads/pdf/materiaalipankki/teknisetiedot_eps_lujuus.pdf.
- 192 Saint-Gobain Weber Oy Ab. 2010. *Leca-kevytsorakatot. Suunnitteluohje* [verkkajulkaisu]. 6.10.2010 [viitattu 10.7.2014]. Saint-Gobain Weber Oy Ab esite 5-10. Saatavissa: <http://shop.e-weber.fi/kronodocs/22702.pdf>.
- 193 RT K-36951, *Leca-sora. maxit Oy Ab*. 2005. Helsinki: Peltitarvike Oy. Huhtikuu 2005. Saatavissa: <http://shop.e-weber.fi/kronodocs/3191.pdf>.
- 194 RT 85-10729, *Liikennöidyn tason vedeneristykset*. 2000. Rakennustietosäätiö: Helsinki.
- 195 Söderlund, Klaus. 2004. *Betoniset säiliörakenteet*. Syyskuu 2004 [viitattu 30.7.2014]. Suomen Betoniyhdistys ry. Saatavissa: http://www.betoniyhdistys.fi/default/www/julkaisut/muut_julkaisut/.
- 196 Jaatinen, Niina. 2013. *Vesitiiviiden betonirakenteiden suunnittelun vaatimukset*. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. 1.5.2013. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/57057/vesitiiv.pdf?sequence=1>.
- 197 Optigreen.co.uk. *The 9 Optigreen system solutions for roof greening* [verkkajulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 5.8.2014]. Saatavissa: <http://www.optigreen.co.uk/SystemSolutions/SystemSolutions.html>.
- 198 Optigrüen.de. *Systemlösungen zur Dachbegrünung Fassadenbegrünung* [verkkajulkaisu]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 5.8.2014]. Saatavissa: <http://www.optigrüen.de/systemloesungen/>.

KUVALÄHTEET

- Kuva 1 NIRA GmbH und Co. KG. 2010. *Sedum-Dach* [viitattu 14.11.2014]. Saatavissa: <https://www.flickr.com/photos/125638894@N02/14595253926/in/photostream/>. Lisensoitu CC BY-ND 2.0.

- Kuva 2 Sookie. 2006. *MEC's green roof among others* [viitattu 20.11.2014]. Saatavissa: <https://www.flickr.com/photos/sookie/156954114/in/photolist-eSqZq-eSqZr-arhs2S-dGrnx5-qiQSV-qiQTE-7z53V5-areNjD-areNj8-areNii-4NZnei/>. Lisensoitu CC BY 2.0.
- Kuva 3 Aders, Nol. 2012. *TU Delft Library* [viitattu 14.11.2014]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Delft_University_of_Technology#mediaviewer/File:TU-Delft-Bibl-1.jpg. Lisensoitu CC BY-SA 3.0.
- Kuva 4 Carla216. 2006. *Hanging Gardens of Babylon* [viitattu 14.11.2014]. Saatavissa: <https://www.flickr.com/photos/hauntedpalace/232968544/in/photolist-6X9Wc5-4en1vz-5iaE1S-2Qnizb-bops68-9i1Zze-3SXhBz-3BLzbj-5R8mej-eXdeAF-3BLzZf-94sfog-aY8AgT-3KEQX9-3BL6Fa-2kqhuZ-8EAVM-3SVgvH-anUKpo-mA2r3-dJPyWn-3GboMy-7ZPVE4-3BLvtJ-gHVWMB-3BLusy-7njaXb-iSDis-j8XYUE-4LEaw-sf19k-Khkv9-4Gg1gw-dhiRQc-jDPT3e-98rWRx-jNtnd2-3BLt53-6Mc75v-pqjBCj-3Ge87S-KkoeQ-3G9NVi-aWgHqg-sf19o-fQY5vj-6EHzru-3BVn3p-jzh7NG-dDvG4q>. Lisensoitu CC BY 2.0.
- Kuva 5 Osmundson, Theodor. 1999. *The Villa of Mysteries*. Teoksessa Osmundson, Theodor. *Roof gardens: history, design and construction*. New York, New York, USA – Lontoo: W. W. Norton & Company Inc., 114.
- Kuva 6 Osmundson, Theodor. 1999. *Sketch of the Palazzo Piccolomini in Pienza, Italy*. Teoksessa Osmundson, Theodor. *Roof gardens: history, design and construction*. New York, New York, USA – Lontoo: W. W. Norton & Company Inc, 117.
- Kuva 7 Martinsen, Birgit. 2009. *Pienza, view from Piccolomini Palazzo* [viitattu 14.11.2014]. Saatavissa: <https://www.flickr.com/photos/martinsen-jordenrundt/5437269486>. Lisensoitu CC BY 2.0.
- Kuva 8 e_chaya. 2012. *Garden seen from The Pavilion Hall, The Small Hermitage, The State Hermitage Museum, St. Petersburg* [viitattu 14.11.2014]. Saatavissa: <https://www.flickr.com/photos/martinsen-jordenrundt/5437269486>. Lisensoitu CC BY 2.0.
- Kuva 9 Breymann Gustav. 1881. *Papierlagen beim Holzzementdach*. Teoksessa Ahrendt, Jana. *Historische Gründächer: Ihr Entwicklungsgang bis zur Erfindung des Eisenbetons*. 2007. Technischen Universität Berlin, 165.
- Kuva 10 Ahnert, Rudolf & Krause, Karl Heinz. 1985. *Beispiele für Rasendach und Dornsches Dach*. Teoksessa Ahrendt, Jana. *Historische Gründächer: Ihr Entwicklungsgang bis zur Erfindung des Eisenbetons*. 2007. Technischen Universität Berlin, 165.
- Kuva 11 Ohlwein, Klaus. 1984. *Dachrand eines begrünten Holzzementdaches, Schnitt*. Teoksessa Ahrendt, Jana. *Historische Gründächer: Ihr Entwicklungsgang bis zur Erfindung des Eisenbetons*. 2007. Technischen Universität Berlin, 165.

- Kuva 12 Gollwitzer, Gerda & Wirsing, Werner. 1962. *Dachgarten König Ludwigs II auf der Münchener Residenz, Ansicht vom Kaiserhof aus, Federzeichnung von E. Riedel, um 1870*. Teoksessa Ahrendt, Jana. *Historische Gründächer: Ihr Entwicklungsgang bis zur Erfindung des Eisenbetons*. Teil II – Katalog. 2007. Technischen Universität Berlin, 147.
- Kuva 13 Gollwitzer, Gerda & Wirsing, Werner. 1962. *Dachgarten König Ludwigs II auf der Münchener Residenz, Innenansicht, Foto von J. Albert, um 1870*. Teoksessa Ahrendt, Jana. *Historische Gründächer: Ihr Entwicklungsgang bis zur Erfindung des Eisenbetons*. Teil II – Katalog. 2007. Technischen Universität Berlin, 148.
- Kuva 14 Library of Congress. (ennen vuotta 1930) *The Casino [Theatre], New York* [viitattu 14.11.2014]. Saatavissa: <http://www.loc.gov/pictures/resource/det.4a08580/>.
- Kuva 15 Waldorf-Astoria. 1903 & 2013. *The Roof Garden in 1903 and 2013*. © The Waldorf Astoria New York Archive. Kuva on julkaistu The Waldorf Astoria New Yorkin luvalla.
- Kuva 16 Grützmacher, Bernd. 1993. Varianten des skandinavischen Grasdaches. Teoksessa Ahrendt, Jana. *Historische Gründächer: Ihr Entwicklungsgang bis zur Erfindung des Eisenbetons*. 2007. Technischen Universität Berlin, 156.
- Kuva 17 Hämäläinen. *Konginkankaalaisen Niemelän torpan (Seurasaari) tuvan tuohikaton rakenne*. Teoksessa Kaila, Panu, Pietarila, Pentti & Tomminen, Hannu. *Talo kautta aikojen: julkisivujen historia*. 1987. Jyväskylä: Gummerus Oy, 89.
- Kuva 18 *Diagram of a traditional Scandinavian turf roof*. Teoksessa Dunnett, Nigel & Kingsbury, Noël. *Planting green roofs and living walls*. 2010. Portland, Oregon, USA – Lontoo: Timber Press Inc, 14. © Eugen Ulmer GmbH & Co.
- Kuva 19 phototouring. 2009. *Traditional red wooden house with green grass roof, Sweden* [viitattu 14.11.2014]. Saatavissa: <https://www.flickr.com/photos/phototouring/3889648857/in/photolist-6VHt6k-9wQjQH-6Pddmj-853qwr-7iVBZh-7iRKwz-7HcUry-6zzECW-7H94Di-7Y5ZjR-7H911c-i9nFqv-a5JgMe-awGXd6-81tsZX-72TtYS-f5MvWK-g2prYq-awKEjq-7ppQck-a5JmjV-edUhXU-bMvQ8T-6PyCAy-oL41YG-8cqymB-9AJByf-36jH56-awGX74-7MXVDK-awKEdq-awGWUF-a8WJkd-ci9XN1-6PdfFo-6PddRu-hG6ukn-awGXSt-dWRhsi-dWWZ1d-awKL8m-8Hy5c4-bQGb74-awGUJR-fnW6RL-8SBgPy-dWRooK-61iqqR-77SAEb-bBMus5>. Lisensoitu CC BY 2.0.
- Kuva 20 Cox, Claire. 2014. *Skogar Museum* [viitattu 14.11.2014]. Saatavissa: <https://www.flickr.com/photos/clairemcox/14692138269>. Lisensoitu CC BY-ND 2.0.
- Kuva 21 Hennebique, François (Entwurf). 1892. *Pilari-palkkijärjestelmä*. Teoksessa Väisänen, Päivi (toim.). *Betoni. Perustietoa arkkitehtipiskelijalle*. 2005. Aalto-yliopisto, Teknillinen korkeakoulu. Arkkitehtuurin laitos, 8.

- Kuva 22 Hennebique, François (Entwurf). 1901. *Das Wohnhaus in Bourg-la-Reine, Schnitte*. Teoksessa Ahrendt, Jana. *Historische Gründächer: Ihr Entwicklungsgang bis zur Erfindung des Eisenbetons*. 2007. Technischen Universität Berlin, 167.
- Kuva 23 Le Corbusier. 1914. *Pilari-laattajärjestelmä "Dom-ino"*. Teoksessa Väisänen, Päivi (toim.). *Betoni. Perustietoa arkkitehtipiskelijalle*. 2005. Aalto-yliopisto, Teknillinen korkeakoulu. Arkkitehtuurin laitos, 8.
- Kuva 24 Brenneisen, Stephan. *Seewasserwerk Moos – The original construction plan* [viitattu 15.8.2014]. Skannattu tai valokuvattu alkuperäisestä rakennesuunnitelmasta. Saatavissa: <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=680>.
- Kuva 25 The Architects' Journal. 1999. *Plan of the original Derry and Toms garden*. Teoksessa Osmundson, Theodor. *Roof gardens: history, design and construction*. New York, New York, USA – Lontoo: W. W. Norton & Company Inc, 130.
- Kuva 26 The Architects' Journal. 1999. *Section through the Derry and Toms garden*. Teoksessa Osmundson, Theodor. *Roof gardens: history, design and construction*. New York, New York, USA – Lontoo: W. W. Norton & Company Inc, 131.
- Kuva 27 Osmundson, Theodor. 1999. *A section of the drainage system of the Rockefeller Center roof gardens, designed in the 1930s*. Teoksessa Osmundson, Theodor. *Roof gardens: history, design and construction*. New York, New York, USA – Lontoo: W. W. Norton & Company Inc, 164.
- Kuva 28 Shankbone, David. 2006. *Rockefeller Center Rooftop Gardens 2* [viitattu 22.11.2014]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Rockefeller_Center#mediaviewer/File:Rockefeller_Center_Rooftop_Gardens_2_by_David_Shankbone.JPG. Lisensoitu CC BY 2.5.
- Kuva 29 Ramirez, Daniel. 2010. *Kaiser Center Roof Garden* [viitattu 14.11.2014]. Saatavissa: <https://www.flickr.com/photos/danramarch/4425664345>. Lisensoitu CC BY 2.0.
- Kuva 30 Osmundson, Theodor. 1999. *Section, roof garden of Kaiser Center*. Teoksessa Osmundson, Theodor. *Roof gardens: history, design and construction*. New York, New York, USA – Lontoo: W. W. Norton & Company Inc, 95.
- Kuva 31 newliving.ch. *Terrassenhäuser, schnitt* [viitattu 8.4.2014]. Saatavissa: <http://www.terrassenhaus-küttigen.ch/schnitt/>.
- Kuva 32 Bass, Brad & Baskaran, Bas. 2003. *Configuration of the roofing systems* [viitattu 24.11.2014]. Teoksessa Bass, Brad & Baskaran, Bas. *Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas*. Tutkimusraportti NRCC-46737. National Research Council Canada. Saatavissa: http://www.roofmeadow.com/wp-content/uploads/Evaluating_Rooftop_and_Verticle_Gardens.pdf, 46.

- Kuva 33 Bass, Brad & Baskaran, Bas. 2003. *The heat flow through the roofing systems on a spring day (April 14, 2001)* [viitattu 24.11.2014]. Teoksessa Bass, Brad & Baskaran, Bas. *Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas*. Tutkimusraportti NRCC-46737. National Research Council Canada. Saatavissa: http://www.roofmeadow.com/wp-content/uploads/Evaluating_Rooftop_and_Verticle_Gardens.pdf, 69.
- Kuva 34 Bass, Brad & Baskaran, Bas. 2003. *Roof temperature profiles on a hot and sunny summer day (July 16, 2001)* [viitattu 24.11.2014]. Teoksessa Bass, Brad & Baskaran, Bas. *Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas*. Tutkimusraportti NRCC-46737. National Research Council Canada. Saatavissa: http://www.roofmeadow.com/wp-content/uploads/Evaluating_Rooftop_and_Verticle_Gardens.pdf, 59.
- Kuva 35 Bass, Brad & Baskaran, Bas. 2003. *Cumulative energy requirement due to heat flow through the roof surfaces* [viitattu 24.11.2014]. Teoksessa Bass, Brad & Baskaran, Bas. *Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas*. Tutkimusraportti NRCC-46737. National Research Council Canada. Saatavissa: http://www.roofmeadow.com/wp-content/uploads/Evaluating_Rooftop_and_Verticle_Gardens.pdf, 69.
- Kuva 36 Bass, Brad & Baskaran, Bas. 2003. *Roof temperature profiles under heavy snow (January 18, 2001)* [viitattu 24.11.2014]. Teoksessa Bass, Brad & Baskaran, Bas. *Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas*. Tutkimusraportti NRCC-46737. National Research Council Canada. Saatavissa: http://www.roofmeadow.com/wp-content/uploads/Evaluating_Rooftop_and_Verticle_Gardens.pdf, 58.
- Kuva 37 City of Chicago. 2006. *A guide to rooftop gardening* [viitattu 31.12.2010]. Saatavissa: <http://www.artic.edu/webspaces/greeninitiatives/greenroofs/main.htm>, 4.
- Kuva 38 Drebs, Achim. 2012. *Heinäkuu 2009 - kesäkuu 2010 ilman lämpötilaerotuskartta*. Teoksessa Ilmatieteen laitos. *Ilmastokatsaus. Heinäkuu 2012* [viitattu 24.11.2014]. Saatavissa: http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=a0092199-86c9-4780-a70e-f2b00bbda54f&groupId=30106, 5.
- Kuva 39 Nash, Andrew. 2014. *San Francisco Aerials 26oct14 - 13* [viitattu 21.11.2014]. Saatavissa: <https://www.flickr.com/photos/andynash/15648645836/in/photostream/>. Lisensoitu CC BY-SA 2.0.
- Kuva 40 Köhler, M., Schmidt, M., Grimme, F.W., Laar, M. & Gusmao, F. 2001. *Runoff from a conventional flat roof and an extensive green roof over a 22-hour period*. Teoksessa Dunnett, Nigel & Kingsbury, Noël. *Planting green roofs and living walls*. 2010. Portland, Oregon, USA – Lontoo: Timber Press Inc., 57.

- Kuva 41 City of Copenhagen. *Green roofs Copenhagen* [viitattu 12.6.2014]. Saatavissa: http://kk.sites.itera.dk/apps/kk_pub2/pdf/1017_sJ43Q6DDyY.pdf, 39.
- Kuva 42 Weiler, Susan & Scholz-Barth Katrin. 2007. *The Ray and Marie Stata Center utilized this innovative stormwater management system that functions as both garden and machine*. Teoksessa Weiler, Susan & Scholz-Barth Katrin. *Green roof systems. A guide to planning, design and construction of landscapes over structure*. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons Inc., 42.
- Kuva 43 Lawson, cit Børve. *Virtauksen kulku tasakatolla (A) ja harjakatolla (B)*. Teoksessa Kuismanen, Kimmo. *Ilmaston vaikutus pientalojen suunnitteluun*. 2005. Ab CASE consult Ltd. Saatavissa: <http://www.kuismanen.fi/ilmastark.pdf>, 12.
- Kuva 44 Lannuzel, Nicholas. 2012. *Moonset over Marina Bay Sands* [viitattu 23.11.2014]. Saatavissa: <https://www.flickr.com/photos/nlann/7821194334>. Lisensoitu CC BY-SA 2.0.
- Kuva 45 Ackerman, Sarah. 2013. *Marina Bay Sands - Rooftop* [viitattu 23.11.2014]. Saatavissa: <https://www.flickr.com/photos/sackerman519/9763553931>. Lisensoitu CC BY 2.0.
- Kuva 46 New Brunswick Tourism. 2011. *Windjammer - Delta Hotel (Moncton)* [viitattu 18.11.2014]. Saatavissa: https://www.flickr.com/photos/tourismnewbrunswick/6113465511/in/photos_tream/. Lisensoitu CC BY 2.0.
- Kuva 47 Noora. 2010. *Herb garden on the roof of the National Museum of Nature and Science* [viitattu 18.11.2014]. Saatavissa: <https://www.flickr.com/photos/49051445@N05/5004392332/in/set-72157624987913188>. Lisensoitu CC BY 2.0.
- Kuva 48 The Brooklyn Grange Rooftop Farm. 2014. *IMG_3795.JPG*. © Brooklyn Grange LCC. Kuva on julkaistu Brooklyn Grange LCC luvalla.
- Kuva 49 Smith, Colin. 2013. *Ahrensfelde - Wittenberger Strasse* [viitattu 18.11.2014]. Saatavissa: <https://geolocation.ws/v/Q/28637740/ahrensfelde-wittenberger-strasse/en>. Lisensoitu CC BY-SA 2.0.
- Kuva 50 Arnold, Angela. 2011. *Ortsteil Berlin-Marzahn: Rosenbecker Straße* [viitattu 18.11.2014]. Saatavissa: [http://www.newikis.com/de/wiki/Datei:Rosenbecker_Str_Marzahn_110415_AMA_fec_\(49\).JPG](http://www.newikis.com/de/wiki/Datei:Rosenbecker_Str_Marzahn_110415_AMA_fec_(49).JPG). Lisensoitu CC BY-SA 3.0.
- Kuva 51 Berkowitz, David. 2009. *High Line Park - New York City - July 09* [viitattu 18.11.2014]. Saatavissa: <https://www.flickr.com/photos/davidberkowitz/3691645291>. Lisensoitu CC BY 2.0.

- Kuva 52 Optigreen. 2014. *Optigreen System Type "Economy Roof" . Solution 3: 0 - 5° pitch* [viitattu 13.10.2014]. Saatavissa: http://www.optigreen.com/fileadmin/contents/cad_ausland/1_SystemL_O_Aus/1.010-Spardach_Loesung_3/1.010_EN_Economy_Roof_Solution_3_rev4_2014-07-28.pdf.
- Kuva 53 Rakennustieto Oy. 2014. *Esimerkki katon lappeen kaltevuuden määrittelystä ja merkitsemisestä*. Teoksessa RT 85-11163 *Vesikaton kaltevuudet, katteen valinta*. Rakennustietosäätiö: Helsinki, 1.
- Kuva 54 Merisalo, Miina. *Kattokaltevuuksia havainnollistettuna*. 2014. © Miina Merisalo.
- Kuva 55 ZinCo Greenroofs Suomi Oy. 2013. *Viherkattoratkaisu maksaruohomatto*. Teoksessa ZinCo Greenroofs Suomi Oy. *Suunnitteluopas. Viihtyisän ja kukoistavan viherkaton rakentaminen* [viitattu 12.6.2014]. Saatavissa: <http://zincosuomi.fi/wp-content/uploads/2013/11/zincosuomi4.pdf>, 9.
- Kuva 56 Rakennustieto Oy. 1999. *Yleisiä rakennuksen kosteuden lähteitä ja vaurioriskejä*. Teoksessa RT 80-10712 *Rakennuksen kosteus- ja mikrobivauriot. Korjausrakentaminen*. Helsinki: Rakennustietosäätiö, 4.
- Kuva 57 *Periaatekuva, vesikaton kaatoalueet*. Teoksessa Merisalo, Miina. *Vesikatot ja vedeneristysrakenteet*. 2007. Opinnäytetyö. Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia. Rakennustekniikan koulutusohjelma, 30.
- Kuva 58 Peltitarvike Oy. 2007. *Vedenpoiston peruseriaatteet loivalla katolla*. Teoksessa RT X37-36646, *Kattokaivot. Piha- ja terassikaivot. Saneerauskaivot*. Peltitarvike Oy. Helsinki: Rakennustieto Oy, 2.
- Kuva 59 Byggforsk. 2013. *Eksempel på plassering av nødoverløp*. Teoksessa Byggforskserien Byggdetaljer 544.823, *Sedumtak*. SINTEF Byggforsk: Oslo, 6.
- Kuva 60 Loikkanen, Juha. *Satumainen versta*. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 8.7.2014]. Saatavissa: <http://www.suomela.fi/piha-puutarha/Piharakennukset-varastot/Uma-remontoi-Satumainen-versta-49920>.
- Kuva 61 Lyr H. & Hoffman G. 1967. *Esimerkki puun juurimuodostumasta*. Teoksessa Saarinen, Milla. *Kasvillisuuden, eläinten ja luvattomien toimenpiteiden vaikutus maapatoihin*. 2010. Diplomityö. Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu. Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan osasto. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B2023BB3A-329E-4A33-9F2F-7F96DD86E995%7D/78449>, 45.
- Kuva 62 Pustina F. 1983. *Puiden juuriston kolme yleisintä muototyyppiä*. Teoksessa Saarinen, Milla. *Kasvillisuuden, eläinten ja luvattomien toimenpiteiden vaikutus maapatoihin*. 2010. Diplomityö. Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu. Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan osasto. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B2023BB3A-329E-4A33-9F2F-7F96DD86E995%7D/78449>, 43.

- Kuva 63 Loades K.W., Bengough A.G., Bransby M.F., Hallett P.D. 2009. *Asioita, jotka vaikuttavat juurten ja maaperän lujuteen*. Mukailten teoksessa Saarinen, Milla. *Kasvillisuuden, eläinten ja luvattomien toimenpiteiden vaikutus maapatoihin*. 2010. Diplomityö. Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu. Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan osasto. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B2023BB3A-329E-4A33-9F2F-7F96DD86E995%7D/78449>, 46.
- Kuva 64 SINTEF. 2009. Fig. 62 *Nedgravd vanningsanlegg med spredere som løfter seg opp og sprer vann når vanntrykk settes på* & Fig. 63 *Ulike former for dryppvanning*. Teoksessa Byggforskserien Byggdetaljer 525.306, *Terrasser med beplantning på bærende betongdekker*. SINTEF Byggforsk: Oslo, 6.
- Kuva 65 ZinCo Greenroofs Suomi Oy. 2013. *Luontoa jäljitellen* [viitattu 12.6.2014]. Teoksessa ZinCo Greenroofs Suomi Oy. *Suunnitteluopas. Viihtyisän ja kukoistavan viherkaton rakentaminen* Saatavissa: <http://zincosuomi.fi/wp-content/uploads/2013/11/zincosuomi4.pdf>, 7.
- Kuva 66 Kuntsi, Sauli. 1998. *Kattoikkunoiden ympärille tehdään 500 mm suojakaista somerosta. Tämä on saksalaisten palomääräysten vaatimus*. Teoksessa Kuntsi, Sauli. *Katot ja vedeneristys*. Helsinki: Rakennusalan kustantajat RAK, 69.
- Kuva 67 SINTEF. 2013. Fig. 52 a. *Eksempler på tiltak mot brannspredning på sedumtak*. Teoksessa Byggforskserien Byggdetaljer 544.823, *Sedumtak*. SINTEF Byggforsk: Oslo, 5.
- Kuva 68 Hyyppä, Anna. 2010. *Detaljokuva viherkaton kaiteesta ja valaisimesta 1:20*. Teoksessa Hyyppä, Anna. *Viherkatot kaupunkiympäristössä esimerkkikohteena Ranta-Tampella*. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Arkkitehtuurin koulutusohjelma, 119.
- Kuva 69 Byggforsk. Fig. 53 a–c. *Ulike forankringsmåter for trær under etablering*. 2009. Teoksessa Byggforskserien Byggdetaljer 525.306, *Terrasser med beplantning på bærende betongdekker*. SINTEF Byggforsk: Oslo, 5.
- Kuva 70 ZinCo Greenroofs Suomi Oy. 2013. *Seinänvierukset*. Teoksessa ZinCo Greenroofs Suomi Oy. *Suunnitteluopas. Viihtyisän ja kukoistavan viherkaton rakentaminen* [viitattu 12.6.2014]. Saatavissa: <http://zincosuomi.fi/wp-content/uploads/2013/11/zincosuomi4.pdf>, 37.
- Kuva 71 International Green Roof Association (IGRA). *Green Roof Technology* [viitattu 6.8.2014]. Teoksessa Ansel, Wolfgang (toim.). *A Quick Guide to Green Roofs*. International Green Roof Association (IGRA). Saatavissa: http://www.igra-world.com/links_and_downloads/images_dynamic/IGRA_Green_Roof_Pocket_Guide.pdf, 14-15.
- Kuva 72 Optigreen.co.uk. *Green Roof "Economy Roof" Solution 1 (0–5°)* [viitattu 5.8.2014]. Saatavissa: <http://www.optigreen.co.uk/SystemSolutions/Economy-Roof-S1.html>.

- Kuva 73 Hwang, Hay Joung. *Three types of roof construction, related to the position of the insulation layer*. Teoksessa Dunnett, Nigel & Kingsbury, Noël. *Planting green roofs and living walls*. 2010. Portland, Oregon, USA – Lontoo: Timber Press Inc, 101.
- Kuva 74 Bauder. *Bauder Bituminous Membrane Green Roof System – Standard Detail. Extensive substrate based green roof system – Bauder XF118 wild flower blanket* [viitattu 5.8.2014]. Saatavissa: <http://www.bauder.co.uk/technical-centre/cad-detail-drawings/green-roof-landscaping/>.
- Kuva 75 Bauder. *Extensive substrate green roofs*. Teoksessa Bauder Limited. *Flat Roof Solutions* [viitattu 5.8.2014]. Bauder Limited esite Tekninen manuaali. Saatavissa: <http://digitalpages.digitalissue.co.uk/go/bauder-flat-roof-systems/>, 108.
- Kuva 76 Weiler, Susan & Scholz-Barth Katrin. 2007. *Insulation under the structural deck with living green roof*. Teoksessa Weiler, Susan & Scholz-Barth Katrin. *Green roof systems. A guide to planning, design and construction of landscapes over structure*. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons Inc., 155.
- Kuva 77 Osmundson, Theodor. 1999. *A typical section of a roof garden in the United States*. Teoksessa Osmundson, Theodor. *Roof gardens: history, design and construction*. New York, New York, USA – Lontoo: W. W. Norton & Company Inc., 163.
- Kuva 78 NRCA. 2007. *Intensive (deep) green roof system*. Teoksessa National Roofing Contractors Association (NRCA). *The NRCA Green Roof Systems Manual* [viitattu 31.7.2014]. Saatavissa: http://icbuildingsolutions.com/uploads/1/4/6/3/14638878/nrca_roof_manual_.pdf, 32.
- Kuva 79 NRCA. 2007. *Semi-intensive (moderate depth) green roof system*. Teoksessa National Roofing Contractors Association (NRCA). *The NRCA Green Roof Systems Manual* [viitattu 31.7.2014]. Saatavissa: http://icbuildingsolutions.com/uploads/1/4/6/3/14638878/nrca_roof_manual_.pdf, 31.
- Kuva 80 NRCA. 2007. *Extensive (shallow) green roof system*. Teoksessa National Roofing Contractors Association (NRCA). *The NRCA Green Roof Systems Manual* [viitattu 31.7.2014]. Saatavissa: http://icbuildingsolutions.com/uploads/1/4/6/3/14638878/nrca_roof_manual_.pdf, 30.
- Kuva 81 Bauder. *Bauder SDF Mat*. Teoksessa Bauder Limited. *Flat Roof Solutions* [viitattu 24.11.2014]. Bauder Limited esite Tekninen manuaali. Saatavissa: <http://digitalpages.digitalissue.co.uk/go/bauder-flat-roof-systems/>, 138.

- Kuva 82 Normandeau, Matthew & Waite, Michael. *Vegetative roof system with inverted assembly and drainage layers above and below the insulation*. Teoksessa Normandeau, Matthew & Waite, Michael. *Balancing Waterproofing and Thermal Performance for Vegetative Roof Assemblies. Proceedings of the 2011 International Roofing Symposium* [viitattu 6.8.2014]. Saatavissa: http://staticcontent.nrca.net/masterpages/technical/symposium/pdf/08_normandeau_paper.pdf, 10.
- Kuva 83 Stokkenes, Stian. 2014. *IKEA*. Teoksessa Bergens Tidende, Engesæter, Pål. *Bergknapp på hele Ikea-taket. Det nye taket på Ikea i Åsane skaper internasjonal oppmerksomhet*. [viitattu 26.6.2014]. Saatavissa: <http://www.bt.no/bolig/Bergknapp-pa-hele-Ikea-taket--2588405.html>
- Kuva 84 Jaakkola, Joni. 2011. *IMG_4325*.
- Kuva 85 New York Times. 2011. *scape-blog480* [viitattu 24.11.2014]. Saatavissa: <http://graphics8.nytimes.com/images/2011/02/18/business/scape/scape-blog480.jpg>.
- Kuva 86 Earth911. 2008. *Aquascape-Green-Roof*. © Earth911. Kuva on julkaistu Earth911 luvalla.
- Kuva 87 Breuning, Jörg. 2011. *Green Roofs: Fixer-Upper or Lawsuit? Sloped Extensive Green Roofs* [viitattu 6.8.2014]. Saatavissa: <http://www.greenrooftechnology.com/LiteratureRetrieve.aspx?ID=101792,1>.
- Kuva 88 Znotins, Ilmars. 2013. *Investigations into the cause of the collapse have begun*. Teoksessa ABC News. *Latvia supermarket roof collapse kills dozens, rooftop garden probed as possible cause* [viitattu 6.8.2014]. Saatavissa: <http://www.abc.net.au/news/2013-11-22/latvia-supermarket-roof-collapse-kills-dozens/5112572>.
- Kuva 89 Breuning, Jörg. 2011. *Green Roofs: Fixer-Upper or Lawsuit? Sloped Extensive Green Roofs* [viitattu 6.8.2014]. Saatavissa: <http://www.greenrooftechnology.com/LiteratureRetrieve.aspx?ID=101792,2-3>.
- Kuva 90 *Tuulettuva rakenne: erillinen tuuletusväli, periaatekuva*. Teoksessa Merisalo, Miina. *Vesikatot ja vedeneristysrakenteet*. 2007. Opinnäytetyö. Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia. Rakennustekniikan koulutusohjelma, 18.
- Kuva 91 *Tuulettuva umpirakenne, uritettu rakenne, periaatekuva*. Teoksessa Merisalo, Miina. *Vesikatot ja vedeneristysrakenteet*. 2007. Opinnäytetyö. Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia. Rakennustekniikan koulutusohjelma, 19.
- Kuva 92 *Tuulettuva umpirakenne, kevytsorakatto, periaatekuva*. Teoksessa Merisalo, Miina. *Vesikatot ja vedeneristysrakenteet*. 2007. Opinnäytetyö. Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia. Rakennustekniikan koulutusohjelma, 20.

- Kuva 93 Rakennustieto Oy. 2000. *Käännetty rakenne*. Teoksessa RT 85-10729, *Liikennöidyn tason vedeneristykset*. Rakennustietosäätiö: Helsinki, 2.
- Kuva 94 Rakennustieto Oy. 2000. *Kylmä rakenne*. Teoksessa RT 85-10729, *Liikennöidyn tason vedeneristykset*. Rakennustietosäätiö: Helsinki, 2.
- Kuva 95 Rakennustieto Oy. 2000. *Suljettu rakenne*. Teoksessa RT 85-10729, *Liikennöidyn tason vedeneristykset*. Rakennustietosäätiö: Helsinki, 2.
- Kuva 96 *Lämpimään avoin rakenne, periaatekuva*. Teoksessa Merisalo, Miina. *Vesikatot ja vedeneristysrakenteet*. 2007. Opinnäytetyö. Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia. Rakennustekniikan koulutusohjelma, 22.

Liitteet

- Liite 1 Intensiivisen ja ekstensiivisen viherrakenteen vertailua
- Liite 2 Optigrünin viherrakenneratkaisuja
- Liite 3 Hoito- ja huoltotoimenpiteet viherkatoille

Intensiivisen ja ekstensiivisen viherrakenteen vertailua

Viherrakenteen tyyppi	Ekstensiivinen viherrakenne	Intensiivinen viherrakenne
Hinta	<ul style="list-style-type: none"> n. 110-150 €/m² 	<ul style="list-style-type: none"> n. 150-380 €/m² (ei ylärajaa)
Kasvualusta ja kasvillisuus	<ul style="list-style-type: none"> kasvualusta 5-15 cm vähän tai ei ollenkaan kastelua kasveille erittäin stressaava ympäristö: suositetaan matalaa, kuivuutta kestävästä kasvillisuudesta 	<ul style="list-style-type: none"> 15-50 cm kasvualusta yleensä kastelujärjestelmä tarvitaan mahdollista valita monenlaista kasvillisuutta, jopa perennoja, pensaita ja puita (huomioitava rakenteellisesti)
Rakenteiden vahvistaminen	<ul style="list-style-type: none"> kevyt (usein viherrakenteiden vuoksi ei tarvita rakenteiden vahvistamista) soveltuu isoille pinta-aloille 	<ul style="list-style-type: none"> suuremmat kuormat, vaatii aina rakennesuunnittelua käytetään usein pienemmillä pinta-aloilla maisemointiratkaisuissa
Julkinen pääsy	<ul style="list-style-type: none"> soveltuu – myös jyrkille katoille mikäli turvamääräykset ja -ohjeet täytetään 	<ul style="list-style-type: none"> soveltuu julkiseksi tilaksi - esteettisempää kattoa voidaan käyttää myös virkistysalueena ja kaupunkiviljelyyn
Edut	<ul style="list-style-type: none"> vaatii vähän huoltoa asennus vaatii verraten vähän teknistä asiantuntemusta soveltuu korjausrakentamiskohteisiin (rajoituksin) edullisemmat perustamiskustannukset 	<ul style="list-style-type: none"> paksumman kasvualustan avulla voidaan helpommin tukea biodiversiteettiä ja tuottaa ympäristöhyötyjä. mikäli käytetään virkistysalueena, voidaan aikaansaada enemmän sosiaalisia ja psykologisia hyötyjä
Haitat	<ul style="list-style-type: none"> valittavia kasvilajeja rajallisesti rajoitettu julkinen pääsy voi olla vähemmän esteettinen (erityisesti alkukevät ja loppusyksy) 	<ul style="list-style-type: none"> suurempi kuormitus kuin ekstensiivisessä viherrakenteessa vaatii enemmän vesi-, huolto- ja kastelujärjestelmiä vaatii enemmän asiantuntemusta suunnittelu- ja asennustyössä

Peck et al. 1999. [27, s. 8, mukailten].

Optigrünin viherrakennetkaisu

Viherrakennevaihtoehto ja kasvillisuus	Paino (kg/m ²)	Syvyys (mm)	Kattokaltevuus (°)	Veden pidätyskyky (%)	Vuotuinen viiruskerroin	Veden varastoitukyky l/m ²	Ekologinen arvo (1...5)	Huolto ja hoito (1...5)	Kustannus (1...5)	Kuormitusluokka
Säästökatto 1 (sedum / ruohot / nurmikasvit)	90-140	80	0-5	50-60	0,5-0,4	25	2	1	1	
Säästökatto 2 (sedum / ruohot / nurmikasvit)	90-140	80	1-5	50-60	0,5-0,4	25	2	1	1	
Kevyt-katto (sammal / sedum)	50	50	0-5	40-50	0,6-0,5	18	1	2	3	
Luonnonkatto (ruohot / nurmikasvit / sedum / mahd. puuvartisia)	100-300	100-250	0-5	60-90	0,4-0,1	30-80	5	2	2	
Pidättävä katto (ruohot / nurmikasvit / sedum)	120	120	0-5	≥80	>0,17	32	3	2	2	
Jyrkkä katto sedum ¹ (sedum / ruohot / nurmikasvit)	100-130	80-100	5-45	40-60	0,6-0,4	35	1	1	2	
Jyrkkä katto luonnon ² (sedum / ruohot / nurmikasvit)	160-190	130	5-35	50-70	0,5-0,3	40-50	3	2	3	
Puutarhakatto (pensaat / puuvartiset kasvit / nurmi)	320-680	260-600	0-5	70-95	≤0,3-0,05	110-160	4	4	4	
Maisemoitu katto (pensaat / puuvartiset kasvit / nurmi)	700-1300	600-1000	0-5	95-99	0,05-0,01	180-320	5	5	4	
Julkinen katto / kävelyliikenne	250-700	120-400	1-5						3	1 ³
Julkinen katto / henkilöautoliikenne	250-700	≥180	1-5						3	2 ⁴
Julkinen katto / kuorma-autoliikenne	700	≥370	1-5						4	3 ⁵
Julkinen katto / vihreä stadion ⁶	380	240	0-5	50	0,5	20	2	2	3	
Julkinen katto / messukeskus ⁷	450	270	0-5	50	0,5	25	2	2	3	
Julkinen katto / pelastustie ⁸	600	350	0-5	50	0,5	35	2	2	4	
Viherkatto, aurinkoenergia	100-140	≥80	0-3	50-60	0%=0,17; 2-8%≤ 0.45	25	2	1	5	

¹ kaltevuuksilla 15-45° tarvitaan liukuestesysteemi

² kaltevuuksilla 15-35° tarvitaan liukuestesysteemi

³ max. 4 KN/m²

⁴ max. 25 KN/m² tai 2.5 t ajoneuvo

⁵ max. 160 KN/m² tai 16 t ajoneuvo

⁶ paikoitusalueet ja kulkutie 3,5 t saakka, esimerkiksi jalkapallostadionit joita käytetään 1-2 krt/vko ympäri vuoden

⁷ messukeskusten paikoitusalueet satunnaiseen pysäköintiin 11,5 t saakka max 3 krt/pv kesäkuukausina

⁸ ympäri vuotiseen käyttöön pelastustieksi sekä esim. festivaalit 1-2 krt vuodessa

Optigrünin viherrakennetkaisu ja niiden luokitus ekologisen arvon, hoidon ja huollon sekä kustannusten mukaan [197; 198, mukailen].

Viherkaton hoito ja huolto

Käyttöönottohuolto

FLL:n mukaan viherkatolle tulee tehdä käyttöönottohuolto ennen kohteen luovuttamista tilaajalle. Tähän liittyen kasvillisuuden hoidon suunnittelussa on huomioitava seuraavia asioita, joiden painopisteet, huoltoväli ja toimenpiteet on arvioitava tapauskohtaisesti:

- kastelu
- ensilannoitukset ja myöhemmin jatkuva lannoitus
- ei-toivotun kasvillisuuden poisto
- niitto
- jäätyamisen aiheuttamien kasvualustan ja maanpinnan muodonmuutosten hallinta ja korjaaminen
- kasvillisuusmattojen liittymäkohtien vaatimat toimenpiteet
- puuvartisten kasvien karsiminen ja leikkaaminen
- uusintakylvöt ja -istutukset
- tuholaistorjunta
- teknisten järjestelmien puhtaanapito kasveista ja kasvillisuudesta
- turvamarginaalien ja päällystealueiden puhtaanapito kasveista ja kasvillisuudesta sekä roskista.

[5, s. 70; 11, s. 8–10.]

Urakkasopimuksessa tulisi sopia yksityiskohtaisesti ainakin huollon tavoitteista, erilliskorvattavista tehtävistä huomioiden niiden laatu, laajuus, kesto toimeksiantonaikana sekä mihin vuodenaikaan ne liittyvät. Sopimuksessa tulisi sopia myös, minkälaisessa kunnossa kasvillisuus tulee olla jotta kohde voidaan luovuttaa. [5, s. 70.]

Lisälannoituksen tulee olla kasvualustan ja kasvillisuuden tarpeiden mukaisia. Lannoituksessa on suositeltavaa käyttää NPK-ravinteita hitaasti luovuttavia lannoitteita. FLL:n mukaan (Keski-Euroopassa) sopiva määrä ekstsensiivisille katoille tyyppiä on 5 g N/m² ja intensiivisille katoille 8 g N/m². Ei-toivottua kasvillisuutta torjutaan ensisijaisesti leikkaamalla ja kitkemällä sekä poistamalla leikattu tai kitketty kasviaines katolta. Torjunta-aineita ei tule käyttää. [5, s. 70.]

Kasvillisuuden jatkuva ylläpito ja hoito

Kasvillisuuden jatkuva ylläpito, hoito ja huolto perustuvat pitkälti samantyyppisiin toimenpiteisiin kuin maan pinnalla sijaitsevan vastaavan kasvillisuuden. Erityisesti ekstensiivisellä katolla ja myös puoli-intensiivisellä katolla yksittäiset tehtävät on määriteltävä vihreytysmenetelmästä ja -tyypistä, kasvuolosuhteista ja katon tavoitteista riippuen. Tavoitteiden asettaminen on keskeisessä roolissa: katto voi edustaa korkeaa estetiikkaa toimien koristeputarhana tai toisena ääripäänä kasvillisuus on valittu ja kokonaisuus suunniteltu tavoitellen mahdollisimman luonnonmukaista vaikutelmaa. Vuosien mittaan suunnittelussa asetetut tavoitteet ovat myös saattaneet hämärtyä tai se on voinut olla myös toivottu vaikutelma. Jotta haluttu vaikutelma ja kokonaisuus onnistuvat ja ne voidaan säilyttää, tulee hoitotoimenpiteiden laatu, tyyppi ja laajuus määritellä ammattilaisen toimesta kohdekohtaisesti. Pitkäaikaisten tavoitteiden luomiseksi suositellaan yleisesti, että kaikenlaisille viherkatoille määritellään jo urakkasopimuksissa suunnittelijan toimesta mahdollisimman yksityiskohtaiset jatkuvan huollon järjestelyt yli takuuajan. Yksityiskohtaisia tavoitteita voidaan kuvata määrittelemällä esimerkiksi hoitotoimenpiteiden tyyppi, laajuus, ajoitus, kesto erilaisilla katon osilla / m² ja kastelu-aika. [5, s. 72; 21, s. 15; 11, s. 8–10.]

Intensiivisen ja puoli-intensiivisen kasvillisuuden hoidossa tulisi huomioida seuraavien toimenpiteiden tarve:

- kukkapenkkiä kitkeminen ja puhtaanapito
- ei-toivotun kasvillisuuden poistaminen (erityisesti itävät puuvartist kasvit)
- kasvijätteen poistaminen
- lannoitus
- kastelu
- kasvien suojaaminen
- karsiminen
- eloperäisen aineksen levittäminen
- pudonneiden lehtien poisto
- jään ja lumen aiheuttamat suojaustarpeet
- ankkurointien kiristäminen
- tarpeettomiksi jäävien ankkurointien poistaminen
- kastelujärjestelmien tarkastaminen

- vedenpoistojärjestelmien tarkastaminen
- turvamarginaalien ja päällystealueiden puhtaanapito kasveista ja kasvillisuudesta sekä roskista.

[5, s. 72–73.]

FLL suosittelee toimenpiteitä tehtäväksi 8–10 kertaa vuodessa [5, s. 73].

Nurmi- ja niittykasvillisuuden hoidon suunnittelussa tulisi huomioida seuraavanlaisia toimenpiteitä:

- niitto
- ruohonleikkuujätteen poisto
- kasvijätteen poisto
- lannoitus
- kastelu
- kasvien suojaus
- maanmuokkaustoimenpiteet (jyrsintä)
- ilmastus
- hiekoitus
- uusintakylvöt
- kastelujärjestelmien tarkastaminen
- vedenpoistojärjestelmien tarkastaminen
- turvamarginaalien ja päällystealueiden puhtaanapito kasveista ja kasvillisuudesta sekä roskista.

[5, s. 73.]

FLL suosittelee toimenpiteitä tehtäväksi 2–12 kertaa vuodessa [5, s. 73].

Ekstensiivisessä vihreyksessä katolla tulisi käyttöönottohuollon jälkeen hyväksyä kasvillisuuden luonnonmukainen dynaaminen kehitys. Tähän prosessiin voidaan vaikuttaa vain rajallisesti esimerkiksi leikkaamalla tai poistamalla yksittäisiä kasveja. Villisti levinneitä, erityisesti korkeita kasveja, jotka uhkaavat suunnitellun kasvillisuuden menestymistä katolla voidaan poistaa aikaisessakin vaiheessa. Jatkuva ylläpito ekstensiivisellä katolla jatkuu kasvillisuuden osalta vain niin kauan kun lopputulos on hyväksyttävissä, karkeasti niin kauan kuin noin 90 % kasvualusta on peittynyt kasvillisuudella. Tämä aikajakso voi kestää aina kahteen vuoteen saakka riippuen perustamistavasta ja vihreytysmenetelmästä. Aikajaksolla lannoitus on tärkeää, erityisesti

mikäli katto on ns. yksikerroksinen tai se on hyvin jyrkkä. Heikkolaatuista kasvualustaa käytettäessä lisälannoitus saattaa olla tarpeellista useitakin vuosia erityisesti yksikerroksisissa ja ohuissa viherrakenteissa. Ekstensiivisen kasvillisuuden hoidon suunnittelussa tulisi huomioida seuraavanlaisia toimenpiteitä:

- kasviravinteiden käyttö
- erittäin jyrkkien kattojen kastelu
- puuvartisten ja muiden ei-toivottujen kasvilajien poisto
- leikkaaminen (kasvun hidastamiseksi)
- uusintakylvöt paljaksi jääneille alueille
- uusintaistutukset
- eroosioituneen kasvualustan korvaaminen
- kasvien suojaus
- teknisten järjestelmien puhtaanapito kasveista ja kasvillisuudesta
- turvamarginaalien ja päällystealueiden puhtaanapito kasveista ja kasvillisuudesta sekä roskista.

[5, s. 73–74.]

FLL suosittelee toimenpiteitä tehtäväksi 2–4 kertaa vuodessa [5, s. 73].

Turvamarginaalien suojakiveykset ja kiveysten saumaukset vihreytyvät ajan myötä. FLL:n mukaan matalakasvuisia kasveja, kuten sammalia, sedumia ja joitakin yrttejä ja perennoja tulisi sallia. Kuitenkin paloturvallisuussyistä rakennetut turvamarginaalit tulee pitää kasvillisuudesta vapaana säännöllisen kitkemisen avulla. [5, s. 74.]

Tekninen huolto

Kaikkien viherkattojen tekninen toiminta on varmistettava säännöllisesti, vähintään kaksi kertaa vuodessa ja mielellään myös aina rankkasateen jälkeen. Kasvillisuuden vuoksi teknisten järjestelmien huoltotoimenpiteet korostuvat ja niistä on usein huolehdittava tiheämmin kuin tavanomaisella vesikatolla. Teknisten järjestelmien osalta erityisesti on kiinnitettävä huomiota seuraaviin asioihin:

- kattokaivojen ja vedenpoistojärjestelmän tarkastus ja puhtaanapito
- tarkastuskaivojen toiminta
- teknisten järjestelmien puhtaanapito
- liukumista ja leikkausta vastustavien rakenteiden kiinnitykset ja toiminta jyrkillä katoilla
- jätteen poisto suojakiveyksiltä
- suojakiveyksen poisto teknisistä järjestelmistä.

[5, s. 74; 11, s. 7; 21, s. 15.]

Viherkaton salaojitusjärjestelmät tarkistetaan vähintään kaksi kertaa vuodessa. Lehdet ja roskat sekä muut ei-toivotut tekijät poistetaan, erityisesti sadevesijärjestelmistä. Lunta poistaessa vältetään terävien työkalujen käyttöä ja katolle jätetään noin 50 mm suojakerros. Kun Suomessa tavanomaiset noin 200 - 400 kg/m² kuormitusarvot ylittyvät, lumen luonti etenkin laajoilta katoilta on suositeltavaa. [127, s. 7; 20, s. 77.]