

Moona Mäkelä

SADEVEDEN HYÖDYNTÄMINEN PIENISSÄ UUDISRAKENNUKSISSA

Arkkitehtoninen vastaus ilmastokriisiin

Kandidaatintyö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Tarkastaja: Taru Lehtinen
Huhtikuu 2022

TIIVISTELMÄ

Moona Mäkelä

Sadeveden hyödyntäminen pienissä uudisrakennuksissa: Arkkitehtoninen vastaus ilmastokriisiin (Utilizing rainwater in small modern buildings: An architectural response to the climate crisis)

Tampereen yliopisto

Arkkitehtuurin TkK-tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö

Huhtikuu 2022

Ilmastonmuutoksen uhatessa maailman makean veden varastoja on välttämätöntä muuttaa nykyisiä toimintamalleja kaikilla ihmiselämän osa-alueilla. Myös arkkitehdeillä on oma vastuu ilmastonmuutoksen hillitsemisessä ja maailman vesivarojen suojelussa. Tämän tulee tapahtua kestävästi, ilmastojuustavan ja veden huomioon ottavan arkkitehtuurin avulla. Vaikka Suomi on veden kannalta vauras maa, vaikuttaa ilmastonmuutos myös Suomen vesivaroihin ja suomalaisten vedenkäyttötottumuksiin. Sadevesijärjestelmää hyödyntävällä arkkitehtuurilla voidaan sekä hillitä että varautua ilmastonmuutokseen ja viestiä veden tärkeydestä muuttuvassa ilmastossa.

Työssä tutkitaan ilmastonmuutoksesta johtuvaa vesipulaa sekä arkkitehtuurin mahdollisuuksia sen hillitsemisessä. Työn tarkoituksena on selvittää sadeveden keräyksen ja käytön erilaisia toimintamalleja, käyttötarkoituksia ja ekologisia hyötyjä erilaisten pienikokoisten ja nykyaikaisten rakennusten vesijärjestelmissä.

Tutkimuksen alussa käsitellään maailman vesivarastojen tilannetta muuttuvassa ilmastossa, vedenkulutuksen ympäristövaikutuksia ja Suomen vesitilannetta. Tämän jälkeen esitellään lyhyesti sadeveden keräyksen ja käytön historiaa sekä nykytilannetta. Lisäksi lyhyesti käsitellään sadeveden keruun ja käytön mahdollisuuksista ekologisesta näkökulmasta. Työssä tutkitaan viimeisen 15 vuoden aikana toteutettujen rakennusten sadevesijärjestelmiä. Esimerkkikohteiden avulla pyritään esittämään mahdollisimman monipuolinen otanta erilaisista tavoista toteuttaa sadevesijärjestelmä erilaisissa käyttötarkoituksissa. Työn aineisto perustuu aiheesta löytyviin julkaisuihin, kirjallisuuteen ja yksityiseen tiedonantoon. Tutkimuksen ulkopuolelle jätettiin sadevesijärjestelmän vaativien tarvikkeiden, kuten syöksyputkien, pumpun, vesisäiliöiden sekä suodattimen valmistuksen ympäristövaikutukset. Lisäksi tutkimuksesta on jätetty pois paikkakohtaiset sademäärät ja vesijärjestelmän kasvihuonepäästöjen laskelmat, sillä jälkimmäisestä riittävää julkista tietoa ei ollut saatavilla.

Tutkimuksessa selvisi, että sadevesijärjestelmä on ekologinen, ilmastojuustava sekä moneen eri käyttötarkoitukseen soveltuva vesijärjestelmä. Sadevesijärjestelmän avulla voidaan vastata joihinkin vesipulaa koskeviin ongelmiin.

Avainsanat: sadevesi, vesijärjestelmä, ekologisuus, pientalo

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. MAAILMAN VESIVARASTOT MUUTTUVASSA ILMASTOSSA	3
2.1 VEDENKULUTUS JA SEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	4
2.2 SUOMEN VESITILANNE	5
3. SADEVEDEN KERÄYKSEN JA KÄYTÖN HISTORIAA JA NYKYTILANNE	7
3.1 SADEVESIJÄRJESTELMÄN ESITTELY	8
3.2 SADEVESIJÄRJESTELMÄN EKOLOGISUUS JA LUONTOYHTEYS	9
4. ESIMERKKIKOhteet	10
4.1 VOXEL QUARANTINE CABIN	11
4.2 RAINFALL HOUSE	15
4.3 CAPE RUSSEL RETREAT	17
4.4 MAJAMAJA	19
4.5 PYLONESQUE	21
5. TULOKSET	23
6. YHTEENVETO	27
LÄHTEET	28
KUVALÄHTEET	31

1. JOHDANTO

Veden ollessa kaiken elämän perusta ja vallitsevan ilmastokriisin uhatessa maailman vesivarastoja, on arkkitehteillä erityislaatuinen rooli ja vastuu suunnitella ilmastojuustavaa ja veden huomioon ottavaa arkkitehtuuria sekä sen avulla osoittaa ihmiskunnalle veden tärkeyden merkitys voimakkaasti muuttuvassa maailmassa. Arkkitehtuurin ja veden välinen yhteys on keskeinen ja niitä tulee tarkastella yhdessä ilmastokriisiin vastatessa.

Hallitustenvälisen ilmastomuutospaneelin (Intergovernmental Climate Change, IPCC) kuudennen raportin (Sixth Assessment Report) mukaan, ilmastomuutokseen sopeutuminen ja siitä selviytyminen vaatii nopeita ja perustavanlaatuisia muutoksia kaikilla ihmiselämän osa-alueilla. Tärkeimpien muutosten on tapahduttavat viidellä pääalueella, joita ovat 1) maailman energijärjestelmät, 2) maaperän ja vesistöjen sekä niiden ekosysteemien suojeleminen, 3) kaupunkien ja infrastruktuurien suunnittelu, rakentaminen ja hallinnointi, 4) talouden ja toimialojen sekä 5) yhteiskuntien toiminta paikallisella, kotimaisella ja kansainvälisellä tasolla. (IPCC 2022, Frequently Asked Questions and Answers, luku 5) Maailman vesivarastot on tiiviisti sidoksissa edellä mainittujen pääalueiden kanssa ja arkkitehtuurin avulla voidaan vastata näistä useampaan. Veden huomioon ottavalla arkkitehtuurilla voidaan vaikuttaa maailman energijärjestelmiin, vesistöjen suojelemaan, kaupunkien suunnitteluun sekä yhteiskunnan toimintaan. Arkkitehtuurin ja rakennuksiin integroidun sadevesijärjestelmän avulla voidaan lisäksi vaikuttaa välittömästi kotitalouksien laadukkaaseen ja omavaraiseen vedensaantiin ja -käyttöön, ilmastonlämpenemisen hidastamiseen ja veden merkityksen ymmärtämiseen.

Sadevesijärjestelmän hyödyntäminen on usein liitetty kuivien alueiden vesijärjestelmäksi mutta myös vesirikkaassa Suomessa tulisi harkita sadevesijärjestelmän kannattavuutta ekologisuuden ja ilmastojuustavuuden kannalta. ”Vaikka Suomessa on paljon makean veden varantoja, on vettä silti syytä käyttää säästeliäästi. Raakaveden hankintaan, puhdistukseen ja pumppaukseen sekä jätevesien käsittelyyn kuluu runsaasti energiaa ja

puhdistuskemikaaleja.” (Ympäristöosaava) Lisäksi sadevesijärjestelmän avulla veden merkityksen ymmärtämistä voidaan pyrkiä parantamaan ihmisten keskuudessa, sillä sadevesijärjestelmän omistaja on ainakin osittain vastuussa käyttöjärjestelmän toimivuudesta ja veden säästämisestä.

Tässä selvityksessä tutkitaan eri sadevesijärjestelmäratkaisuja ja tarkastellaan niiden ekologisia vaikutuksia ja ilmastojuoustavuutta. Sadevesijärjestelmällä tarkoitetaan sadevedenkeräystä ja -käyttöä rakennuskohtaisesti rakennuksen pääasiallisena käyttövetenä kunnallisen vesihuollon sijaan. Työssä tarkastellaan arkkitehtuurin osuutta ilmasto- ja vesikriisiin osallistujana ja mahdollisuuksista vaikuttaa kestävään rakentamiseen vedenkäytön näkökulmasta. Tutkimuksen ulkopuolelle jätettiin sadevesijärjestelmän vaativien tarvikkeiden, kuten syöksyputkien, pumppujen, vesisäiliöiden sekä suodattimien valmistuksen ympäristövaikutukset. Lisäksi tutkimuksesta on jätetty pois paikkakohtaisten sademäärien ja vesijärjestelmän kasvihuonepäästöjen tarkat laskelmat, sillä jälkimmäisestä riittävää julkista tietoa ei ollut saatavilla. Jatkotutkimuksia aiheesta voitaisiin tehdä sadevesijärjestelmän soveltuvuudesta isompikokoisiin rakennuksiin.

Luvussa 1. perehdytään maailman vesivarastojen tämänhetkiseen tilanteeseen muuttuvassa ilmastossa. Alaluvussa 1.1 kerrotaan vedenkulutuksen ympäristövaikutuksista ja alaluvussa 1.2 kerrotaan Suomen vesitilanteesta ja vedenkäytöstä. Luvussa 3. käydään napakasti läpi sadevesijärjestelmien historiaa ja nykyhetkeä. Alaluvussa 3.1 esitellään lyhyesti sadevesijärjestelmän toimintamalli ja alaluvussa 3.2 käydään läpi sadevesijärjestelmän ekologisuus ja luontoyhteys. Luvussa 4. tuodaan esille esimerkkikohteiden valintaperiaatteet, jonka jälkeen alaluvuissa 4.1–4.5 esitellään viisi esimerkkikohdetta, joissa sadevesijärjestelmä on toteutettu. Esimerkkikohteiden avulla esitetään erilaisia tapoja toteuttaa sadevesijärjestelmä erilaisissa rakennuksen käyttötarkoituksissa. Luvussa 5. kootaan tutkimuksen perusteella saadut tulokset. Tutkimustulokseksi saatiin, että sadevesijärjestelmän ekologisuus on merkittävä ja ilmastonmuutoksen torjumisessa huomioon otettava asia.

2. MAAILMAN VESIVARASTOT MUUTTUVASSA ILMASTOSSA

Maan pinta-alasta noin 75 % on vettä, josta huomattavan suuri osa 96.5 % on maailman merissä. Jäljelle jäävästä osuudesta noin puolet on varastoituna jäätikköihin ja puolet pohjavesiin, järviin, jokiin, puroihin ja maaperään. Vain alle 1 % kaikista maailman vesivaroista on käytettävissä olevaa makeaa vettä. (Graham et al. 2010) Ihmisten käytössä olevan makeanveden ollessa jo luonnollisesti vähäistä, on äärimmäisen tärkeää suojella sen määrää ja laatua. Vaikka Maan vesivarat pysyvät vakiona, käytettävissä olevan veden määrä vaihtelee. Tämä johtuu sekä luonnollisesta hydrologisesta kierrosta että ihmisen toiminnasta. (Klöve B. 2019) Ilmastonmuutoksen, kasvavan ihmispopulaation ja veden kulutustottumusten myötä maailman makeanveden varastot ovat paineen alla ja veteen liittyvät kriisit ovat yleistyneet. ”Ilmaston lämpenemisestä johtuvien sääolosuhteiden muutokset ovat johtaneet äärimmäisiin sääilmiöihin, epäsäännölliseen veden saatavuuteen, veden niukkuuden korostumiseen ja vesivarantojen saastumiseen” (Unicef 2022).

Yhdistyneiden kansakuntien, YK (eng. United Nations, UN) mukaan viimeisen 40 vuoden aikana maailman vedenkäyttö on kasvanut noin 1 % vuosittain ja sen oletetaan kasvavan samalla vauhdilla myös tulevaisuudessa. Tämä tarkoittaa, että vuonna 2050 maailmanlaajuinen vedenkysyntä tulee olemaan 20–30 % enemmän kuin nykytilanteessa. Jo yli kaksi miljardia ihmistä elää vesistressistä kärsivissä maissa ja noin neljä miljardia ihmistä kokee vakavaa vesipulaa vähintään kerran vuodessa. (The UN, World Water Development Report 2019 p 2) ”Vesistressi (eng. water stress) syntyy, kun veden tarve ylittää käytettävissä olevan määrän tietyn ajanjakson aikana tai kun huono laatu rajoittaa sen käyttöä.” (European Environment Agency 1999) Tällä vedenkysynnän kasvuvauhdilla vesipula tulee yleistymään maailmalla yhä enemmän, mikäli vesivaroja ei suojella ja hoideta aikaisempaa huolellisemmin.

Jo 14 vuotta sitten, vuoden 2008 IPCC:n ilmastonmuutos ja vesiraportissa (eng. Climate Change and Water) tuodaan esille oletamus Etelä-Afrikan Kapkaupungin lounaisosan vesihuollon sietokyvyn vähenemisestä joko sademäärän vähentyessä tai veden haihtumisen lisääntyessä. Tämä tutkimus ennakoii vesivarojen vähenevän 0,32 % vuosittain vuoteen 2020 mennessä, kun samalla ilmaston lämpenemisestä johtuen veden kysyntä lisääntyisi 0,6 % vuodessa Kapkaupungin metropolialueella. (IPCC 2008,

kappale 5.1.1) Kymmenen vuotta tämän raportin jälkeen, vuoden 2018 alussa, lähes neljän miljoonan asukkaan Kapkaupunki, oli vaarassa olla yksi ensimmäisistä suurista metropolialueista, jossa kunnallinen käyttövesi tulisi loppumaan. Tämä johtui vakavasta monivuotisesta kuivuudesta, joka johti vesialtaiden hupenemisen ennenäkemättömän alhaiselle tasolle. (Burls et al. 2019) Kapkaupungin ”Day Zero”:ksi kutsuttu vesikriisi on toiminut sekä Etelä-Afrikalle että koko maailmalle hälyttävänä merkkinä siitä, että välttämättömiä toimia ja muutoksia on tehtävä aikaisempaa nopeammin turvallisen käyttöveden turvaamiseksi sekä ilmastonmuutoksen torjumiseksi.

2.1 VEDENKULUTUS JA SEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Energiantuotanto ja -käyttö on ylivoimaisesti suurin ihmisen toiminnasta aiheutuvien kasvihuonepäästöjen lähde. Energia ja vesi taas ovat vahvasti sidoksissa toisiinsa, sillä energiantuotantoon käytetään vettä ja samoin vesituotannossa energiaa. Yang et al. (2010) raportoivat, että kaikesta maailman sähköntuotannosta noin 7 % kuluu juomaveden tuotantoon ja jakeluun sekä jäteveden käsittelyyn (katso Wekeel et al. 2016). Veden ja energian välinen yhteys on merkittävä ja sen huomioiminen vesisuunnittelussa voi johtaa energiasäästöihin ja siten alhaisempiin kasvihuonepäästöihin (Vilanova & Balestieri 2014a kappale 1). Teollisuusmaissa jäteveden puhdistamiseen käytetään 3 % kaikesta energiasta. Tämän osuus pystyttäisiin leikkaamaan 75 %:lla, jos luonnonmukaisia vedenpuhdistusprosesseja käytettäisiin perinteisen jätepuhdistuksen kanssa. (Pelsmakers & Newman 2021 p 55). IPCC:n mukaan tonttikohtainen vesihuolto, sisältäen veden varastoinnin ja käytön kastelutarkoituksiin, tarjoaa ekologisia hyötyjä ja on yksi yleisimmistä sopeutumistoimista ilmastonmuutosta vastaan (IPCC, Summary for Policymakers, 2022 kappale C.2.1).

Maailmanlaajuisesti vedenkulutus jakautuu 70 % maatalouteen, 19 % teollisuuteen ja 11 % kotitalouksiin. Vaikka kotitalouksiin käytetty veden osuus on näistä pienin, on se äärimmäisen tärkeä ihmisten hyvinvoinnille. (Nikula J. 2012 s 9) Maatalouden ollessa suurin vedenkulutuksen toimiala, Euroopan Unioni on todennut, että käsitellyn jäteveden uudelleenkäyttö voi vastata useaan maatalouden kasteluongelmaan ja sillä voi olla hyvin

merkittäviä ympäristöllisiä etuja, kuten alhaiset kasvihuonepäästöt. Se on lisäksi verrattain luotettava vesilähde muuttuvassa ilmastossa. Euroopan Unioni on asettanut vähimmäisvaatimukset veden uudelleenkäytölle maatalouksien kasteluvetenä. Vaatimukset astuvat voimaan kesäkuussa 2023. (European Commission) Vaikka kyse on tässä tapauksessa maatalouksien kasteluvetestä, eikä kotitalousvedestä, on tämä myös arkkitehteille huomionarvoinen muutos, sillä tulevaisuudessa samankaltaisia vaatimuksia voitaisiin soveltaa myös rakennussektorilla.

Esimerkiksi Turkin tasavallan ympäristö- ja kaupungistumisministeriö on jo asettanut kaavoitussääntöihin muutoksia koskien arkkitehtuuria ja viherympäristöä. Määräysten mukaan kaikille yli 2000m² kokoisille tonteille rakennettaville rakennusten katoille tulee asentaa sadevesijärjestelmä, jota käytetään alueen viherympäristön kasteluun ja ylläpitoon (katso Turk.Estate 2021). Myös Puolassa on aloitettu kahden vuoden mittainen hanke, jonka tavoitteena on löytää ratkaisu sadeveden keräämiseen, käsittelyyn ja käyttöön asuntokohtaisesti paikan päällä. Järjestelmän tulee mahdollistaa sadeveden uudelleenkäyttö pesuun ja juomiseen, WC-tilojen huuhteluun ja puutarhan kasteluun. (European Commission 2021) Ilmastonmuutoksen vaikutusten ja riskien huomioon ottaminen kaupunki- ja maaseutu-asutuksen ja infrastruktuurin suunnittelussa on elintärkeää kestävyuden ja ihmisten hyvinvoinnin parantamisen kannalta. (IPCC 2022, Summary for Policymakers luku C.2.6)

Voidaan siis sanoa, että vaikka energiantuotanto ja -käyttö on suurin ihmisen toiminnasta aiheutuvien kasvihuonepäästöjen lähde ja ilmaston lämpenemisen syy, kaikista vakavimmat ilmastonmuutoksen seuraukset koetaan veden välityksellä. (Vilanova & Balestieri 2014, Nikula 2012)

2.2 SUOMEN VESITILANNE

Suomessa järjestettyä talousvettä toimitetaan suurimmalle osalle maan kotitalouksia mutta joillain haja-asutusalueilla ihmiset vastaavat myös itse veden hankinnasta, mikä useimmiten tapahtuu omasta kaivosta. Suomessa talousvesi saadaan 42 % pohjavedestä, 39 % pintavedestä ja 19 % tekopohjavedestä. Pintavesi voi olla joko järvi-, joki- tai rannikkovettä. (Terveystieteiden tutkimuskeskus ja ympäristöministeriö 2022) Suomi on veden kannalta yksi maailman vauraimmista maista. Maailman ympäristötehokkuusindeksin (eng. Environmental Performance Index, EPI, 2020) mukaan Suomen veden laatu ja

jäteveden puhdistus on maailman parhaimmista (EPI 2020). Vaikka Suomessa on paljon makeanveden varantoja, eikä käyttöveden määrästä ole tällä hetkellä pulaa, koituu vesihuollon toiminnasta kasvihuonepäästöjä, jotka taas pahentavat ilmastonmuutosta. Ilmaston lämpeneminen taas vaikuttaa maailman vesivarastoihin negatiivisesti.

Ilmastonmuutos vaikuttaa vesivarantojen laatuun myös Suomessa. Vesistöjen muutoksista yksi ongelmallisista on lisääntyvien raskasainien mukana typen ja fosforin kulkeutuminen maalta veteen, joka taas johtaa vesistöjen pahenevaan rehevöitymiseen. Tämän lisäksi sateista aiheutuvien tulvien lisääntyminen voi asettaa viemäreiden ja pumppaamoiden kapasiteetin riskialttiiksi, minkä vuoksi jätevedettä joudutaan päästämään vesistöihin. (Vesi.fi 2021) Samalla kun sademäärät sekä tulvat yleistyvät ja vesistöjen laatu heikkenee, joutuu vesihuollon infrastruktuuri koetukselle. Paikallisen asuntokohtaisen sadevesijärjestelmän käyttö voi vastata myös välillisesti näihin kriisitilanteisiin. Samalla kun sadevesijärjestelmä tarjoaa asukkaalle kotitalousvettä, voi se edesauttaa tulvatilanteen ennaltaehkäisyssä. Mikäli rakennusten pinnat keräävät vettä, ei muille päällystetyille alueille päädy yhtä paljon vettä, joka voisi aiheuttaa tulvan.

Yhden tai kahden hengen omakoti- ja omistusasunnoissa Suomessa vedenkäyttö jakautuu 45 % peseytymiseen, 17,5 % keittiön käyttöön, 15 % pyykinpesuun, 15 % WC:n huuhteluun ja 7,5 % muuhun. Suomalaiset käyttävät noin 110 L asukasta kohden päivässä. (Motiva 2020) Verrattain pieni määrä kotitalouksien vedenkulutuksesta kuluu juomiseen tai ruoanlaittoon, sillä suihkussa käyntiin, WC:n huuhteluun, pyykkien ja astioiden pesuun sekä puutarhan hoitoon tai auton pesuun kuluu suurin osa vedestä. Edellä mainittuihin tarpeisiin voisi käyttää sadevettä tai kierrätettyä harmaata vettä. Harmaavesi on pesualtaasta, suihkusta, tiski- ja pesukoneesta syntyvää vettä. Harmaavesi on helposti hajoavaa ja sille usein riittää vain biologinen vedenpuhdistus. (Vesiensuojelu)

3. SADEVEDEN KERÄYKSEN JA KÄYTÖN HISTORIAA JA NYKYTILANNE

Jatkuvan hydrologisen kierron ensimmäinen vesimuoto on sadevesi. Tämä tekee sadevedestä primaari vedenlähteen, joka taas ruokkii sekundaariset vedenlähteet, joita ovat järvet, joet ja pohjavedet. Tällä hetkellä suurin osa maailman ihmisistä tukeutuu näiden sekundaaristen vesilähteiden saatavuuteen. (Kinkade-Levario, 2007 kappale 2, Novak et al. 2014 kappale 1) Vaikka sadeveden käyttö ei ole nykyään yhtä yleistä kuin muiden vesilähteiden, on sitä harjoitettu jo pitkän ajan.

Sadeveden keräys ja käyttö ei nimittäin ole uusi ilmiö. Eri tutkimukset osoittavat, että sadevesijärjestelmä on yksi maailman vanhimmista käytetyistä vesijärjestelmistä läpi eri kulttuurien. Gould ja Nissen-Petersen mukaan (1999) Intiasta löydetyt sadevesijärjestelmien kivirakenteet ovat peräisin jo 3000 eaa. Lisäksi Arnold ja Cullis (1996) mukaan 2000 eaa. Nevegin autiomaalla, nykyisen Israelin alueella, sivilisaatio selviytyi keräämällä rinteistä valuvaa sadevettä säiliöihin. (Katso Kinkade-Levario, 2007 kappale 1) Ballen et al. (2006) mukaan 1000 eaa. Arabian niemimaalla, Yemenissä, rakennusten ja temppelien sisäpihat sekä terassit keräsivät sadevettä ihmisten käyttöön (katso Espíndola & Flores 2020 kappale I.1).

Vaikka sadevesijärjestelmiä on käytetty hyväksi tuhansien vuosien ajan, viimeisen vuosisadan ajan kunnallinen vesihuolto on toiminut pääasiallisena vedenlähteenä. Tästä huolimatta sadevesijärjestelmien käyttöä on pyritty lisäämään maailmalla. (Espíndola & Flores 2020 kappale I.3) ”Nykyisin noin 1.3 % maailman väestöstä käyttää sadevettä pääasiallisena kotitalousvetenä” (Espíndola & Flores 2020 kappale 1.2).

3.1 SADEVESIJÄRJESTELMÄN ESITTELY

Sadeveden keräys sisältää veden kaappauksen katoilta ja/tai läpäisemättömiltä pinnoilta. Kun se on vangittu sadevedenkeräysjärjestelmään, veden laatua voidaan parantaa fyysisten ja biologisten prosessien avulla mukaan lukien suodatus, desinfiointi ja muut käsittelyvaiheet. (Novak et al. 2014) Sadevesijärjestelmä on usein suunniteltu asuntokohtaisesti, mikä takaa sen muunneltavuuden ja toimivuuden erilaisissa käyttötarkoituksissa.

Sadevesi on aluksi suhteellisen vapaa epäpuhtauksista mutta mahdolliset ilmakehän epäpuhtaudet voivat kerääntyä sadeveteen. Sadeveden laatu voi lisäksi huonontua keräyksen, varastoinnin ja kotitalouskäytön aikana. Valuma-alueelle kertynyt lika, lehdet, hyönteiset ja eläinten jätökset voivat saastuttaa sadevettä. (WHO 2017) Pintojen säännöllinen puhdistus tulee ottaa huomioon sadevesijärjestelmää harkitessa. Useimmat kiinteät kattomateriaalit sopivat sadeveden keräämiseen mutta bitumipohjaiset kattopinnat ei yleensä suositella, koska ne voivat liuottaa vaarallisia aineita tai aiheuttaa makuongelmia. Myöskään lyijypohjaisia maaleja ei tulisi käyttää valuma-alueilla. (WHO 2017)

Sadeveden keräyksestä, suodatuksesta ja säilytyksestä kerrotaan tarkemmin esimerkkikohteiden yhteydessä ja luvussa 5. tulokset. Näissä luvuissa esitellään esimerkkikohteiden avulla erilaisia valuma-alueita, tapoja suodattaa sadevettä sekä säilytysjärjestelmiä.

3.2 SADEVESIJÄRJESTELMÄN EKOLOGISUUS JA LUONTOYHTEYS

Sadevesijärjestelmän käyttö on verrattain ekologista. Etelä-Koreassa tehdyn tutkimuksen mukaan, Chang et al. (2017) osoittavat sadevesijärjestelmän olevan energiatehokkaampi ja sen kasvihuonepäästöjen alhaisemmat, kuin kolmessa muussa veden uudelleenkäyttöjärjestelmässä ja tavanomaisessa vesihuollon järjestelmässä. Tutkimuksesta nähdään, että sadevesijärjestelmän energiankulutuksen ollessa 0.246kWh/m^3 ja kasvihuonepäästöjen ollessa $0.14\text{kgCO}_2\text{e/m}^3$ verrattuna tavanomaisen vesihuollon energiankulutuksen ollessa 0.511kWh/m^3 ja kasvihuonepäästöjen ollessa $0.43\text{kgCO}_2\text{e/m}^3$, on sadevesijärjestelmä huomattavasti ekologisempi vaihtoehto. (Chang et al. 2017, kappale 3)

Sadeveden keräys ja käyttö tapahtuu lisäksi paikallisesti, minkä avulla sen käyttäjä voi kokea läheisen yhteyden ilmaston ja rakennetun ympäristön välillä. Sadevedenkeruujärjestelmän myötä loppukäyttäjistä tulee nyt veden omistaja ja hän ottaa vastuun vesijärjestelmän veden keräämisestä, käsittelystä ja ylläpidosta. (Novak et al. 2014, kappale 1) Tämänkaltaisen luontoyhteyden kokeminen voi vaikuttaa myös välillisesti ympäristön ja ilmaston suojeluun.

4. ESIMERKKIKOhteet

Tutkimukseen on valittu viisi sadevesijärjestelmää hyödyntävää esimerkkikohdetta. Esimerkkikohteiden valintaan on vaikuttanut rakennuksen 1) koko, 2) rakennusvuosi, 3) sijainti sekä 4) käyttötarkoitus (taulukko 1). Työssä haluttiin tutkia pienikokoisten rakennusten sadevesijärjestelmiä, joten esimerkkikohteiden asuinpinta-alat vaihtelevat välillä 12–210 m². Lisäksi esimerkkikohteiden rakennusvuodet sijoittuvat välille 2009–2020, sillä työssä haluttiin tutkia viime aikoina toteutettuja sadevesijärjestelmiä. Esimerkkikohteiden sijainnit ovat eri puolilla maailmaa ja niiden käyttötarkoitukset eroavat toisistaan. Esimerkkikohteet sijoittuvat Eurooppaan, Yhdysvaltoihin ja Aasiaan. Käyttötarkoituksina toimii karanteenikäyttö, perheasuminen, opetustarkoitus ja loma-asuminen. Esimerkkikohteiden eri käyttötarkoitukset heijastuvat myös sadevesijärjestelmien toisistaan erilaisiin toimintamalleihin ja käyttötarkoituksiin. Näillä kriteereillä tutkimukseen on saatu monipuolinen otanta pienten ja nykyaikaisten rakennusten sadevesijärjestelmiin vaikuttavista ulkoisista- ja sisäisiä tekijöistä.

Esimerkkikohde	Koko	Vuosi	Sijainti	Käyttötarkoitus
Voxel Quarantine Cabin	12m ²	2020	Espanja	Karanteenikäyttö
Rainfall House	210m ²	2017	Vietnam	Perheasunto ja opetustila
Cape Russel Retreat	16m ²	2009	Tennessee	Loma-asunto
Majamaja	23m ²	2019	Suomi	Loma-asunto
Pylonesque	92m ²	2019	Thaimaa	Koulu ja monitoimirakennus

Taulukko 1. Esimerkkikohteiden valintaperusteet

Tutkimuksen laatimiseen on vaikuttanut sadevesijärjestelmiä hyödyntävistä rakennuksista löytyvä riittävä ja avoin tieto. Vaikka sadevedenkeräystä ja -käyttöä on hyödynnetty useissa rakennuksissa ympäri maailmaa, niistä löytyvä julkinen tieto on osoittautunut tutkimusta laatiessa verrattain pieneksi. Tutkimusta laatiessa on kirjoittajalle herännyt kysymys, onko ilmastojuostava rakentaminen ottanut käänteen rahallista tulosta kohden koko maailman yhteisen hyvän sijasta. Ilmastonmuutoksen torjumiseksi on arkkitehtuurilta edellytettävä julkista ja avointa tietoa ilmastojuostavista rakennusperiaatteista.

Tämän luvun alakappaleissa käsitellään esimerkkikohteet sekä niiden hyödyntämät sadevesijärjestelmät yksitellen. Esimerkkikohteiden esittelemisellä pyritään esittelemään monipuolinen otanta erilaisista tavoista kerätä, kuljettaa, puhdistaa ja säilöä sadevettä.

4.1 VOXEL QUARANTINE CABIN

Voxel Quarantine Cabin on 12 m² kokoinen pientalo yhden asukkaan omavaraiseen karanteenikäyttöön. Hanke on suunniteltu ja toteutettu täysin karanteeniolosuhteissa ja se on arkkitehtoninen kannanotto nykyhetken kriiseihin (IAAC). Kriiseillä tässä tapauksessa tarkoitetaan covid19-pandemiaa sekä ilmastonmuutosta. Rakennus sijaitsee Collserolan kansallispuistossa Barcelonassa, Espanjassa ja se valmistui vuonna 2020. Voxel Quarantine Cabin:in on suunnitellut ja toteuttanut IAAC (Institute for Advanced Architecture of Catalonia) ekologisen rakentamisen ja biokaupunkien maisteriopiskelijat, ammattilaiset ja asiantuntijat.

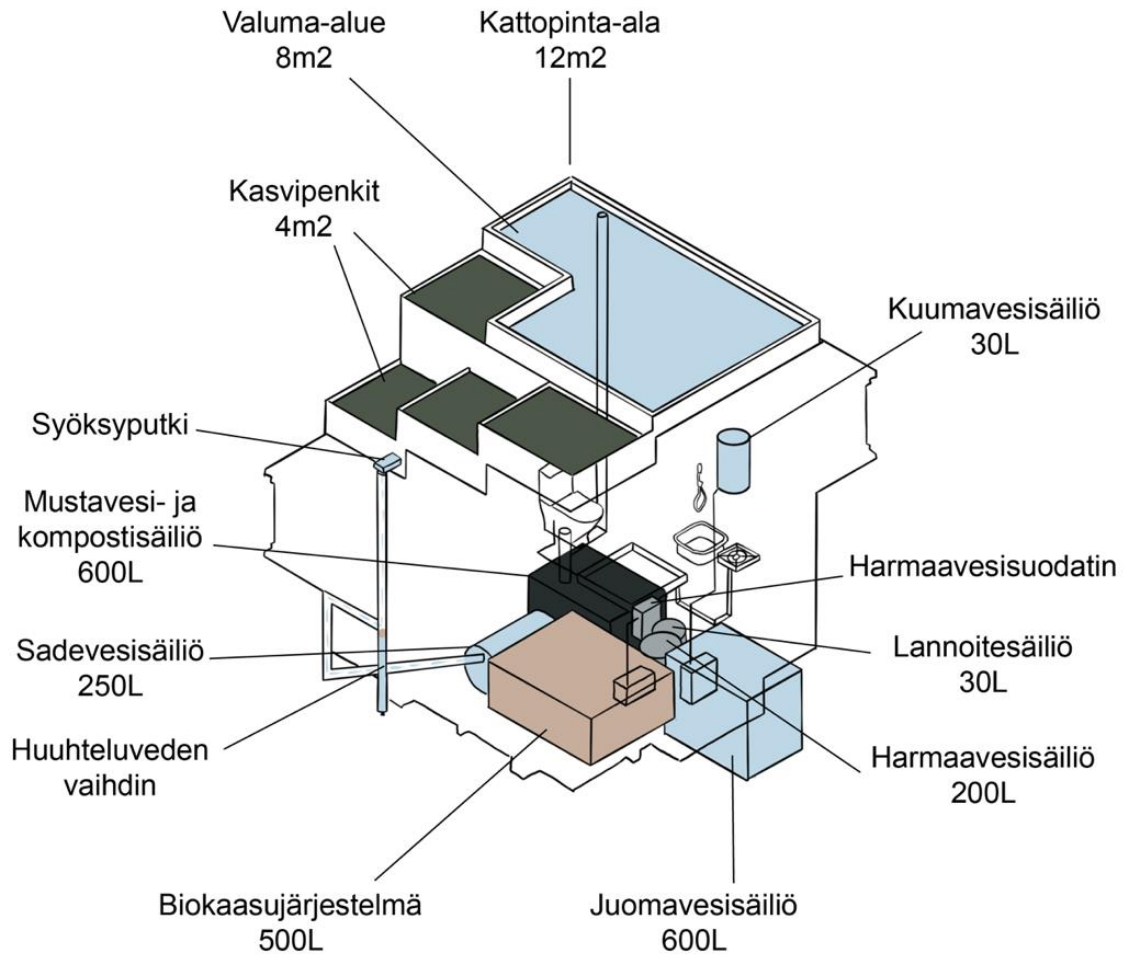
Pientalon sadevesijärjestelmä tukeutuu rakennuksen toistuvaan ja moniskalaariseen vokseli-geometriaan. Vokseli tarkoittaa pikselin komiulotteisista vastinetta. Eri kokoisista vokseleista muodostuvat tasot toimivat rakennuksen valuma-alueena sekä keräävät ja kuljettavat sadevettä kotitaloustarpeisiin (kuva 1).



Kuva 1. Voxel Quarantine Cabin sadeveden valuma-alue (IAAC 2020)

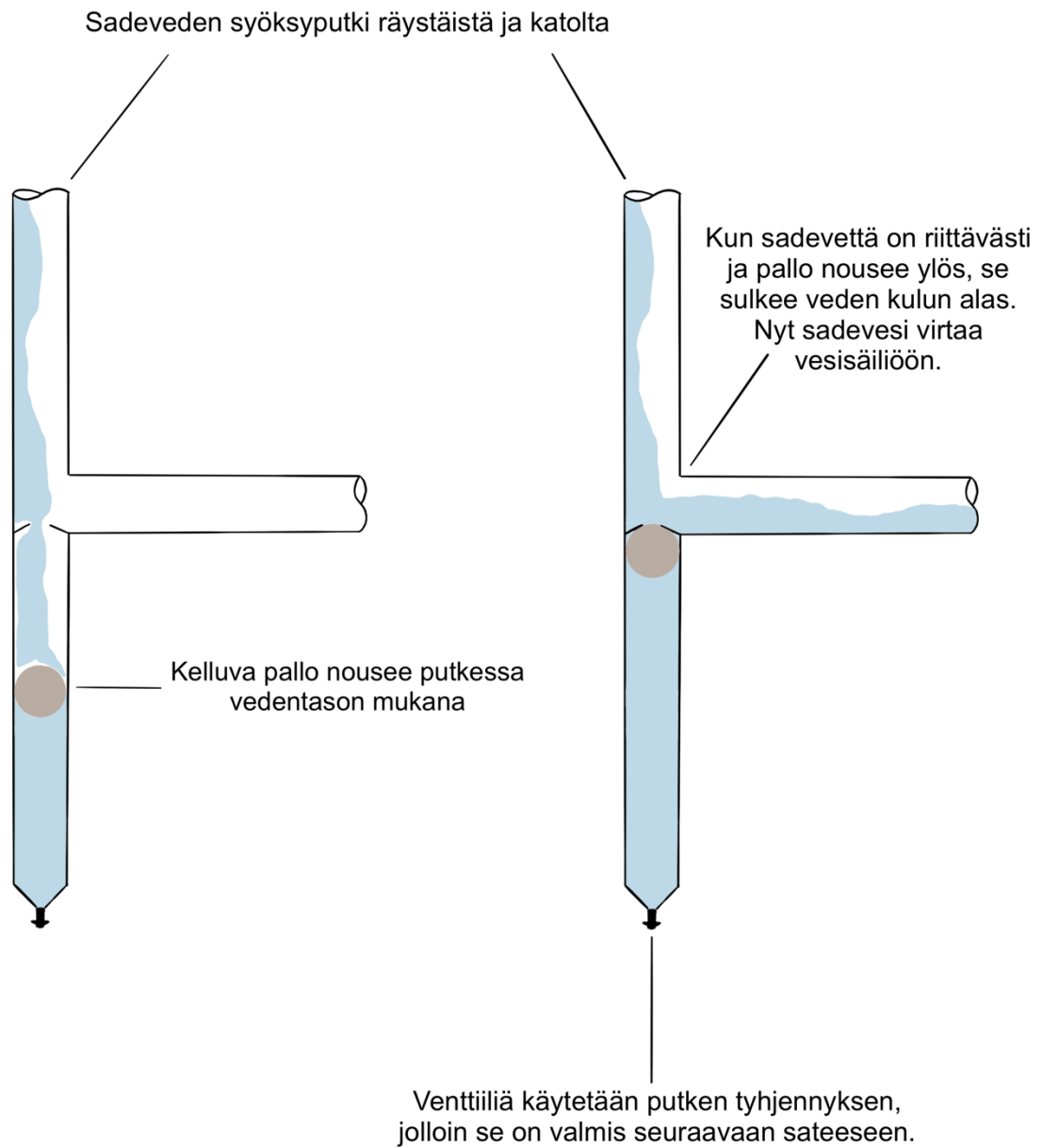
Rakennuksen katon eri tasot on täytetty kasvipenkeillä, jotka keräävät sadevettä. Sadevesi kulkee kasvipenkki kerrallaan painovoiman voimalla alaspäin. Jokaisessa kasvipenkissä on hieman erilaista maaperän ja soran seosta, minkä avulla ne suodattavat vedestä pois eri hiukkasia eri vaiheissa. Lisäksi kasvien juuriverkko suodattaa pois osan taudinaiheuttajista ja saasteista, jotka saattavat kulkeutua sadeveden mukana. Nämä eri vaiheet antavat sadevedelle kasvisuodatuksen luoden kotitaloudelle puhdasta käyttövedettä. Viimeisellä tasolla vesi siirtyy alas syöksyputkea pitkin pientalon alle vesisäiliöihin. (Faircompanies, julkinen tiedonanto videolla, 8.5.2021) Syöksyputkeen on liitetty huuhteluveden vaihdin.

Pientalon alta löytyy 250 L kokoinen vesisäiliö, jonne sadevesi ensimmäiseksi kerääntyy. Tämän jälkeen vesi suodatetaan ja kuljetetaan aurinkoenergialla toimivan pumpun avulla eri talon käyttötarkoituksiin. Juomavedelle on oma 600 L kokoinen vesisäiliö. Kuumavesisäiliö on kytketty suihkuun, joka toimii myös keittiön hanana. Pientalon alta löytyy myös harmaavesisäiliö, jonne tiskialtaasta ja suihkusta tuleva vesi kerääntyy. Harmaavesi puhdistetaan suodattimen avulla ja sen jälkeen kierrätetään takaisin käyttövedeksi. WC:n alapuolella kompostille on oma 600 L mustavesisäiliö, joka on liitetty biokaasujärjestelmään. (Kuva 2) Biokaasujärjestelmän avulla voidaan tuottaa metaania, jota taas voidaan käyttää keittiössä tai lämmitykseen tämän kokoisessa pientalossa (Faircompanies, julkinen tiedonanto videolla, 8.5.2021).



Kuva 2. Vesijärjestelmä (mukaiillen lähteestä IAAC 2020)

Pientalon huuhteluveden vaihdin (kuva 3) ohjaa ensimmäisen sadeveden pois. Forster (1991) ja Fewkes (1996) mukaan valuma-alueen ensimmäinen huuhteluvesi voi sisältää epäpuhtauksia (katso Villarreal E. & Dixon A. 2005 luku 4.3). Tämä johtuu kuivina ajanjaksoina valuma-alueelle tuulen mukana kerääntyneistä saasteista. Mikäli kuiva ajanjakso on pitkittynyt, on todennäköistä, että saastekuormitus on suuri ensimmäisen huuhtelun aikana. (Villarreal E. & Dixon A. 2005 luku 4.3)



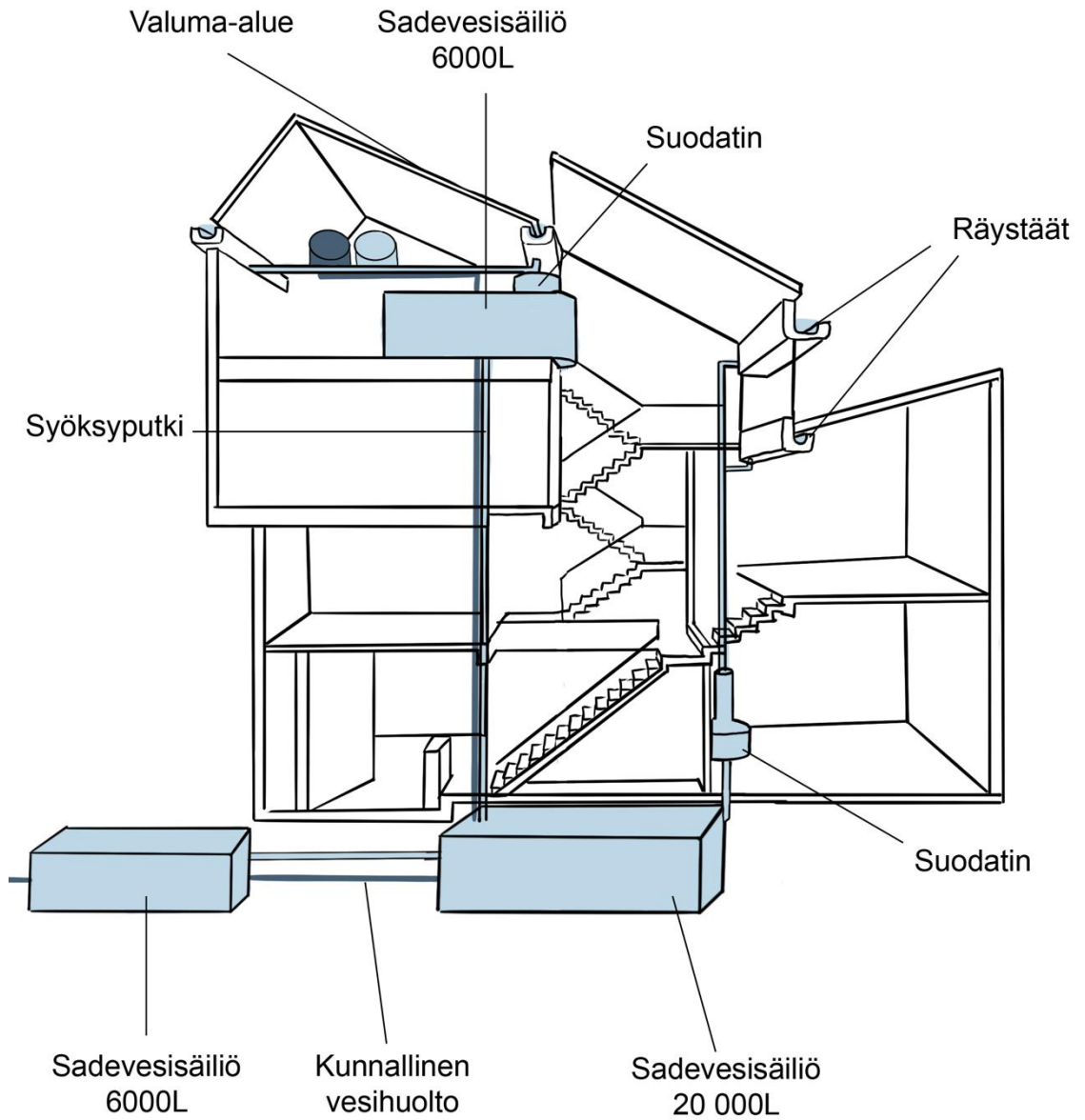
Kuva 3. Huuhteluveden vaihtimen käyttötekniikka (mukaanlähde McCarton et al. 2021, s. 89)

4.2 RAINFALL HOUSE

Rainfall House on 210 m² kokoinen kahden aikuisen ja kahden lapsen koti. Rakennuksesta löytyy myös perheen äidin opetustila. Hankkeen taustalla on tarve sadeveden keräykselle sekä kokeilu, jossa tuttuun vietnamilaiseen maalaistalomaisemaan tuodaan kaupungista tyyppinen putkitalotypologia (NH Village Architects). Rakennus sijaitsee Phu Cu:n kaupunginosassa, Hung Yen maakunnassa, Vietnamissa ja se valmistui vuonna 2017. Rainfall House:n on suunnitellut NH Village Architects.

Talo sijaitsee vanhalla riisinviljelyalueella, jonka historia on syvästi yhteydessä sadeveden käyttökulttuuriin. Alueen ilma on pysynyt puhtaana ja kunnallinen käyttövesi ei ole yrityksistä huolimatta ollut määrältä ja laadulta riittävää. Rakennuksen tarkoitus on siksi kerätä sadevettä mahdollisimman paljon kotitalouden käyttöön. (NH Village Architects)

Asunnon katto on suunniteltu harja- ja perhoskaton hybridiksi. Tavanomainen perhoskatto koostuu kahdesta tasosta, jotka kaltevat sisäänpäin muodostaen loivan V-kirjaimen. Vesi kerääntyy tällöin samaan paikkaan, mikä edesauttaa sadeveden keräystä. Rainfall House:n katto ei ole perinteinen perhoskatto, sillä se on jaettu neljään eri suuntaan kaltevaan tasoon, jotka muodostavat sadeveden valuma-alueen. Eri tasojen avulla sadevettä on pystytään ohjaamaan eri puolille rakennusta. Vesi kulkeutuu ensin räystäisiin, jonka jälkeen se puhdistetaan suodattimella. Painovoima kuljettaa puhdistetun sadeveden vesisäiliöihin, joista yksi on rakennuksen sisällä ja kaksi rakennuksen alla. Säiliöihin mahtuu enintään 32 000 litraa vettä. Sadevesijärjestelmä ja kunnallinen vesihuolto on yhdistetty, jotta asukkaat voivat valita kumpaa käyttävät sademäärien mukaan. (kuva 4) Omistajien mukaan huhti-lokakuussa sadevesijärjestelmä kattaa kaikki kotitalouden tarpeet. Loppuaikana sadevesi riittää puoleen päivittäisistä tarpeista ja puolet tarvitaan kunnallisesta vesihuollosta. (NH Village Architects 2017)



Kuva 4. Rainfall House vesijärjestelmä (mukaillen lähteestä NH Village Architects 2017)

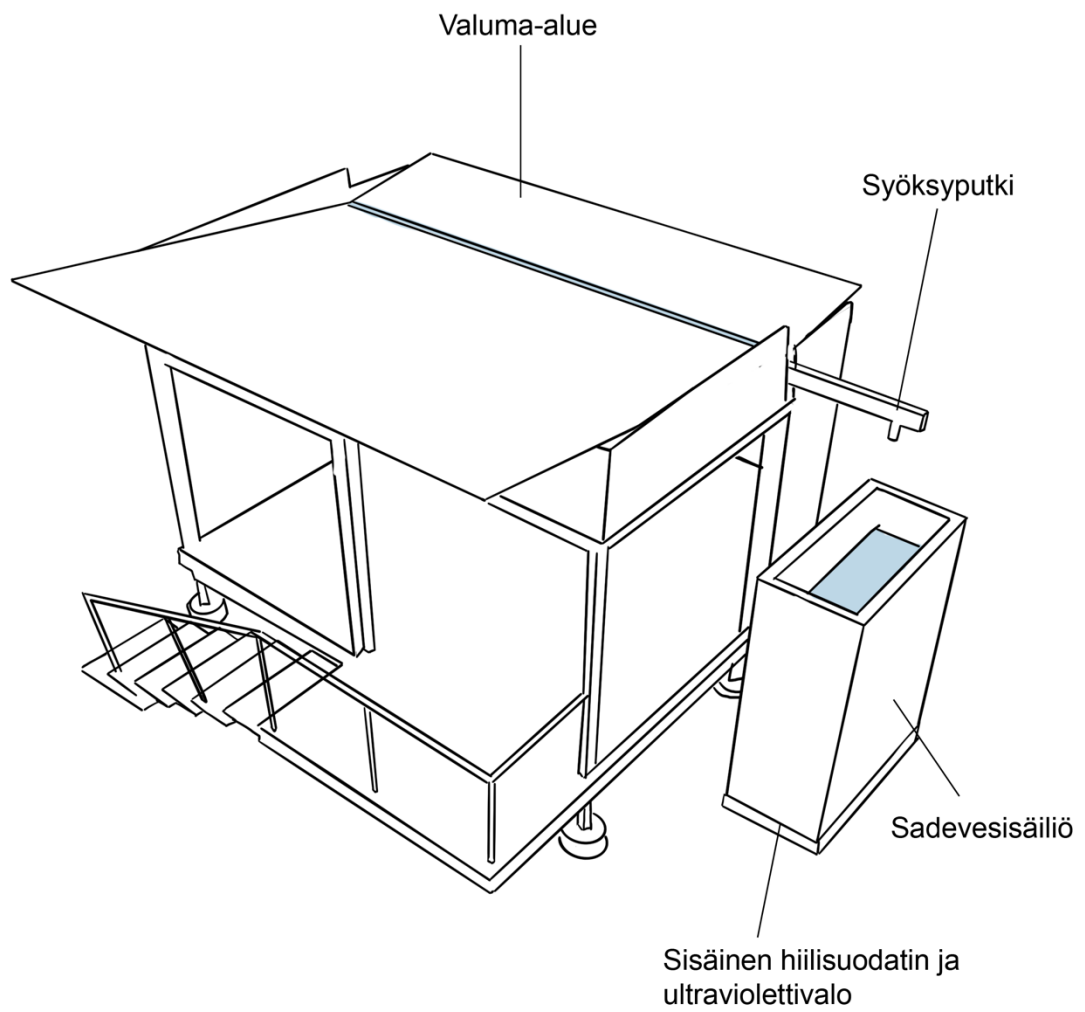
4.3 CAPE RUSSEL RETREAT

Cape Russel Retreat on 16 m² kokoinen viikonloppukäyttöön tarkoitettu loma-asunto. Viikonloppuasunto sijaitsee Sharps Chapelissa, Tennesseeen osavaltiossa Yhdysvalloissa. Cape Russel Retreat:in on suunnitellut Sanders Pace Architecture ja rakennus valmistui vuonna 2009. Rakennuksen sadevesijärjestelmä tukeutuu rakennuksen katon muotoiluun ja erillisen vesisäiliön käyttöön (kuva 5).



Kuva 5. Cape Russel Retreat, perhoskatto ja sadevesisäiliö (Jeffrey Jacobs Photography 2009)

Pientalon valuma-alueena toimii loiva perhoskatto (kuva 6). Katto ohjaa sadeveden ensin kahden tason väliin ja sitten rakennuksen viereen sijoitettuun vesisäiliöön. Hiilisuodatin ja ultraviolettivalo käsittelevät veden juomakelpoista käyttöä varten. Sadeveden kulkiessa hiilisuodattimen läpi, epäpuhtaudet tarttuvat hiileen ja vedestä saadaan puhdasta. Ultraviolettivalon avulla voidaan häiritä mikro-organismien DNA:ta. Kun vesi kulkee UV-vedenkäsittelyjärjestelmän läpi, vedessä elävät organismit tuhoutuvat ja vedestä saadaan juomakelpoista. (Esp Water Products) Katolle asennetut aurinkokennot tarjoavat tarvittavan tehon sadevesipumpun ja UV-valon käyttämiseen. (Sanders Pace Architecture 2009)



Kuva 6. Cape Russel Retreat sadevesijärjestelmä (mukaillen lähteestä Sanders Pace Architecture 2009)

4.4 MAJAMAJA

Majamaja on 23 m² kokoinen 1–3 hengen pientalo loma-asumiseen. Rakennus sijaitsee Vuorilahdenniemen saaristossa Helsingissä ja se valmistui vuonna 2019. Konseptin aloitteesta on vastannut suomalainen arkkitehti Pekka Littow ja se on kehitetty yhteistyössä ranskalaisamerikkalaisen teknisen tiimin kanssa. Rakennus on saanut inspiraation suomen saaristosta, sen rakennusperinteen inhimillisestä mittakaavasta sekä ihmisen ja luonnon välisestä elämän harmoniasta (Majamaja 2020).

Majamajan harjakattoinen valuma-alue on kooltaan 20 m² (kuva 7). Sadevesi kulkee painovoimaisesti syöksyputkea pitkin rakennuksen alle, jossa vettä varastoidaan säiliöissä. Sadevesi saadaan asunnon sisään pumpaamalla. (P. Littow, sähköposti 4.4.2022)



Kuva 7. Majamaja harjakattoinen valuma-alue (Chikako Harada 2020)

Littow mukaan Majamajan tarkoitus on kerätä ilmankosteutta sadeveden lisäksi mutta toistaiseksi kosteudenkerääjää ei ole valittu tai testattu pidempiä jaksoja. Kosteudenkerääjä tulisi olemaan periaatteessa kosteudenpoistaja. (P. Littow, sähköposti

4.4.2022).

Pientalon vedenpuhdistuksessa käytetään filtterisarjaa ja käänteistä osmoosia. Käänteisosmoosilla tarkoitetaan tapahtumasarjaa, jossa paineen avulla vesi liikkuu puoliläpäisevän kalvon läpi. Vedessä olevat epäpuhtaudet eivät pääse kulkeutumaan puoliläpäisevän kalvon läpi, jolloin saadaan puhdasta vettä. Lopuksi suoritetaan useavaiheinen bakteerien tuhoaminen. Prosessissa ei käytetä kemikaaleja. Vettä ei kuitenkaan käytetä juomavetenä, vaikka onkin hyvin puhdasta lopuksi. Rakennuksessa on erotteleva kuivakäymälä, jonka jäte menee kompostiin ja lopuksi maanparannusaineksi. Keittiövesistä erotetaan rasva ja sen jälkeen vesi menee harmaavesisäiliöön, puhdistukseen ja uudiskäyttöön. Majamajan ekologiset laskelmat ovat käynnissä. Alustavasti arkkitehti Pekka Littow kertoo, että vaikutus on erittäin merkittävä. (P. Littow, sähköposti 4.4.2022).

4.5 PYLONESQUE

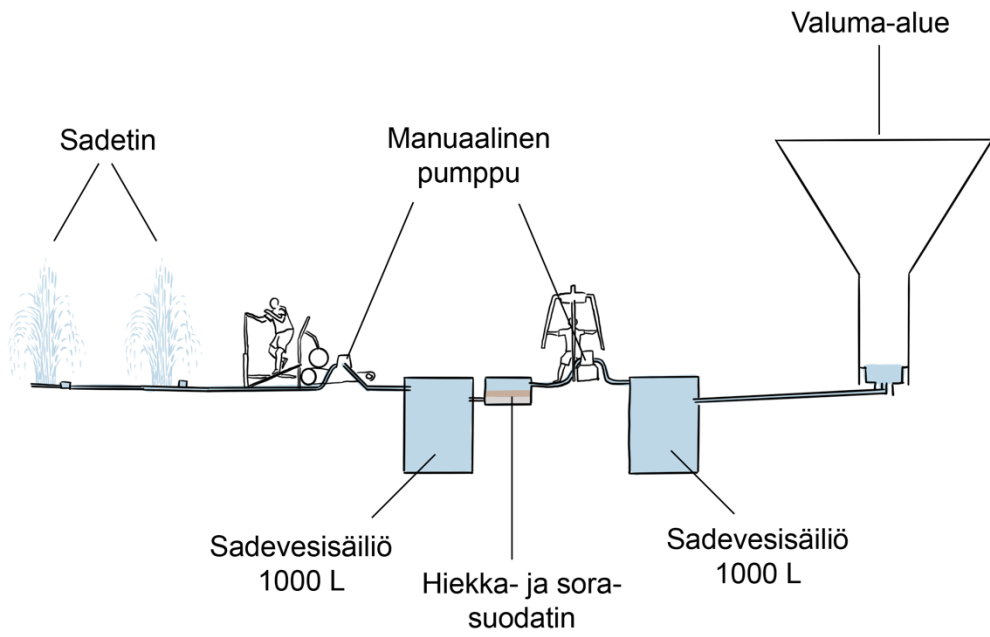
Pylonesque on 92 m² kokoinen perus- ja yläkoulun monikäyttötila. Rakennus sijaitsee Utahi Thani:n maakunnassa, Thaimaassa. Pylonesque:n on suunnitellut arkkitehtitoimisto Pareid sekä INDA (Internatiolan Program in Design and Architecture) Chulalongkorn University:n opiskelijat. Rakennus valmistui vuonna 2019.

Alueella on rankkoja sadekausia ja kuivakausia. Rakennuksen tarkoitus on säilöä vettä kuiville kausille. Rakennuksen kattona toimii kaksi suurta suppiloa (kuva 8). Nämä toimivat rakennuksen valuma-alueena ja ohjaavat sadevettä samansuuntaisesti ensin rakennuksen sisälle.



Kuva 8. Pylonesque katon suppilot (Beer Singnoi 2019)

Rakennuksen pihalle on sijoitettu erilaisia urheiluvälineitä, joihin on yhdistetty vesipumppu. Kun urheiluvälineissä tekee manuaalisesti liikettä, vesi siirtyy vesisäiliöstä seuraavaan. Vesi suodatetaan hiekan- ja soran avulla ennen kuin sitä käytetään puutarhan sadettamiseen. (Kuva 9)



Kuva 9. Pylonesque sadevesijärjestelmän toiminta (mukailien lähteestä Pareid 2019)

5. TULOKSET

Kaikki edellä mainituissa kappaleissa esitellyt esimerkkikohteet hyödyntävät kattopinta-alaa sadeveden valuma-alueena. Katon käyttäminen valuma-alueena on looginen ja ekologinen ratkaisu, sillä katon tulee olla rakennuksissa joka tapauksessa, eikä sadevesijärjestelmä tältä osin lisää rakennuksen kasvihuonepäästöjä. Katon muodon suunnittelulla on mahdollista vaikuttaa sadeveden ohjaamiseen haluttuun osaan rakennusta sekä tarvittaessa sadeveden syöksyputkien vähentämiseen. Esimerkkikohteiden kattorakenteina toimivat monitasoinen tasakatto, harja- ja perhoskaton hybridi, perhoskatto, harjakatto sekä suppilokatto. Lisäksi esimerkkikohteissa sadevesi liikkuu valuma-alueilta painovoiman avulla syöksyputkiin tai räystäisiin, joiden avulla se virtaa vesisäiliöihin. Painovoimalla toimiva järjestelmä ei vaadi sähköenergiaa, mikä tekee siitä erittäin ekologisen toimintamallin.

Kaikissa esimerkkikohteissa sadevettä liikutetaan pumppujen avulla haluttuihin rakennuksen toimintoihin. Veden pumppaaminen rakennuksen sisällä voi koitua energiaintensiiviseksi (Pelsmakers 2019 p 115). Pylonesque:n rakennuksessa veden pumppaus hoidetaan manuaalisin keinoin urheiluvälineiden avulla ilman sähköenergiaa, mikä tekee siitä ympäristöystävällisen ja tässä tapauksessa myös interaktiivisen. Tämä pumppaustapa ei todennäköisesti kuitenkaan soveltuisi jokapäiväiseen elämään asuinrakennuksessa, eikä tässä esimerkkikohteessa sitä ole suunniteltu näin käytettäväksi. Vastaavanlaista manuaalisesti toimivaa pumppumenetelmää voitaisiin kuitenkin hyväksikäyttää myös asuinrakennuksessa, mikäli siitä tehtäisiin pienikokoinen ja helppokäyttöinen käyttäjälle. Tällöin manuaalisen pumpusta ei luonnollisesti aiheutuisi kasvihuonepäästöjä. Voxel Quarantine Cabin, Cape Russel Retreat ja Majamaja hyödyntävät aurinkoenergiaa veden pumppaukseen, mikä säästää taas fossiilisten polttoaineiden aiheuttamia kasvihuonepäästöjä. Rainfall House:n kohdalla ei ole mainintaa aurinkoenergian hyödyntämisestä tai manuaalisen pumpun käytöstä, joten oletettavasti asunnon pumppu toimii normaalin sähköverkon avulla. Asunto on monikerroksinen, mikä tekee veden pumppauksesta todennäköisesti melko raskasta. Asuntoon on kuitenkin sijoitettu yksi sadevesisäiliö ylimpään kerrokseen, mikä jakaa veden liikkumista asunnon sisällä tasaisemmin. Ylimpään kerrokseen sijoitettua sadevesisäiliötä voitaisiin teoriassa käyttää painovoiman avulla alempien kerrosten

vedentarpeisiin. Parkes et al. (2010) mukaan Sadeveden kierrätys painovoiman avulla voi alentaa asunnon hiilidioksidipäästöjä jopa 100 % (katso Pelsmakers 2019 p 141).

Tuloksena esimerkkikohteiden perusteella saadaan, että kyseisistä rakennuksista 80 % ei aiheuta kasvihuonepäästöjä veden pumppauksen yhteydessä, sillä energia on uusiutuvaa. Tätä periaatetta hyväksikäyttäen rakennuksissa maailman vedenkulutukseen kuluva 7 % energiamäärä voitaisiin leikata 80 %:lla, mikä on merkittävä ja huomionarvoinen tulos.

Voxel Quarantine Cabin ja Majamaja hyödyntävät lisäksi harmaan sekä mustan veden uudelleenkäyttöä. Voxel Quarantine Cabin:in harmaanveden uudelleenkäyttö tapahtuu filttareiden läpi ja vettä käytetään uudestaan peseytymiseen ja WC:n huuhteluun. Mustasta vedestä sen sijaan saadaan biokaasujärjestelmän avulla metaania, mitä voidaan hyödyntää rakennuksen keittiössä. Tämä tekee asunnosta täysin omavaraisen, eikä ulkopuolista jätevedenhuoltoa tarvita. Majamaja sen sijaan hyödyntää erottelevaa kuivakäymälää, jonka jäte kompostoidaan ja lopuksi käytetään maanparannusaineena. Harmaavedet ohjataan harmaavesisäiliön kautta puhdistukseen ja uudiskäyttöön. Esimerkkikohteiden perusteella saadaan, että 40 % valituista rakennuksista käyttävät omavaraista, tonttikohtaista jätehuoltoa. Asuntokohtaisen jäteveden puhdistuksen avulla voidaan pienentää jäteveden puhdistamoihin kohdistuvaa energiankäyttöä.

Esimerkkikohteiden sadevesisäiliöiden koot vaihtelevat 880 L-32000 L riippuen asunnon vedentarpeesta. Sadevesisäiliöiden lisääminen on mahdollista ja isommissa rakennuksissa useamman sadevesisäiliön käyttö voi olla tarpeen. Asuntojen vedenkäyttötarkoitukset vaihtelevat kaikista kotitalouden käyttöveden tarpeista ainoastaan puutarhan kasteluun. Voxel Quarantine Cabin:in ja Rainfall House:n sadevettä voidaan käyttää ruoanlaittoon, juomavedeksi, peseytymiseen sekä WC:n huuhteluun. Cape Russel Retreat käyttää sadevettä ruoanlaittoon ja juomavedeksi, mikä tarkoittaa, että halutessaan vettä voitaisiin käyttää myös muihin tarkoituksiin. Majamaja käyttää sadevettä ruoanlaittoon ja peseytymiseen ja Pylonesque puutarhan kasteluun. (Taulukko 2)

Esimerkkikohte	Kattomalli	Vesisäiliöiden tilavuus	Vedenkäyttötarkoitus
Voxel Quarantine Cabin	Monitasoinen tasakatto	880L	Ruoanlaitto, juomavesi, peseytyminen, WC
Rainfall House	Harja- ja perhoskatto	32 000L	Ruoanlaitto, juomavesi, peseytyminen, WC
Cape Russel Retreat	Perhoskatto	N/A	Ruoanlaitto, juomavesi
Majamaja	Harjakatto	N/A	Peseytyminen, ruoanlaitto
Pylonesque	Suppilokatto	2000L	Puutarhan kastelu

Taulukko 2. Esimerkkikohteiden kattomalli, vesisäiliöiden tilavuus ja vedenkäyttötarkoitus.

Esimerkkikohteissa on hyödynnetty erilaisia sadeveden suodatusjärjestelmiä mukaan lukien kasvisuodatus, käänteinen osmoosi, hiilisuodatus, ultraviolettivalo ja hiekka- sekä sorasuodatus. Kasvi sekä hiekka- ja sorasuodatus ovat luonnollisia ja ne lisäksi lisäävät rakennettua viherympäristöä. Ultraviolettivalo vaatii sähköenergiaa toimiakseen, joten uusiutuvan energian käyttöä tulee harkita. Hiilisuodatin on ekologinen, sillä se on luonnollisesti biohajoava.

Vain yhdessä esimerkkikohteista, Rainfall House:ssa oli sadevesijärjestelmän lisäksi toinen varavesijärjestelmä. Myös Majamaja pyrkii lisäämään ilmankosteuden kerääjän rakennuksen järjestelmään. Erilaiset varavesijärjestelmät voi tulla tarpeen alueilla, joilla ajoittain koetaan riittämätöntä sademäärää.

Majamaja on ainoa tutkimuksessa käsitelty esimerkkikohte, joka sijaitsee Suomessa. Tehdyn tutkimuksen perusteella Majamajan sadevesijärjestelmän suurin eroavaisuus muiden kohteiden sadevesijärjestelmään verrattaessa on harjakatto. Sen sijaan syöksyputkien käyttö, veden suodatus ja säilöntä toistuvat melko samanlaisina kaikissa esimerkkikohteissa. Pylonesque:n suppilokatot eivät todennäköisesti soveltuisi Suomessa käytettäväksi, sillä talvisin lumi kerääntyisi niiden sisään. Samoin perustein

Cape Russel Retreat:in perhoskaton valintaa tulisi Suomessa harkita. Esimerkkikohteista Voxel Quarantine Cabin:in ja Rainfall House:n sadevesijärjestelmät voisivat soveltua myös Suomessa käytettäväksi. (Taulukko 3) Talvisin tulisi kuitenkin ottaa huomioon lumen ja jään kerääntyminen valuma-alueelle. Jatkotutkimuksia aiheesta voitaisiin tehdä lumen soveltuvuudesta sadevesijärjestelmissä käytettäväksi.

Alla olevaan taulukkoon on valittu jokaisen esimerkkikohteen sadevesijärjestelmästä yksi hyvä puoli sekä kerrottu soveltuvuudesta Suomessa. Hyvät puolet on valittu ekologisuuden, omavaraisuuden ja käytännöllisyyden näkökulmista.

Esimerkkikohte	Hyvät puolet	Soveltuvuus Suomessa
Voxel Quarantine Cabin	Jäteveden uudelleen-käyttö	Kyllä
Rainfall House	Sadeveden ohjaus rakennukseen käytötarkoituksen mukaan	Kyllä
Cape Russel Retreat	Biohajoavan Hiilisuo- datuksen käyttö	Ei
Majamaja	Tonttikohtainen jäteveden huolto	Kyllä
Pylonesque	Manuaalinen veden pumppaus	Ei

Taulukko 3. Esimerkkikohteiden valitut hyvät puolet ja soveltuvuus Suomessa

6. YHTEENVETO

Tässä työssä tarkasteltiin ilmastonmuutoksesta johtuvaa vesipulaa sekä arkkitehtuurin mahdollisuuksia sen hillitsemisessä. Työssä selvitettiin sadeveden keräyksen ja käytön erilaisia toimintamalleja, käyttötarkoituksia ja ekologisia hyötyjä erilaisten pienikokoisten ja nykyaikaisten rakennusten vesijärjestelmissä. Työssä käytiin läpi esimerkkikohteiden avulla eri periaattein toteutettujen sadevesijärjestelmien käyttötarkoituksia, ekologisuutta sekä ilmastojuoustavuutta.

Rakennukset eri puolilla maailmaa osoittavat, että sadevesijärjestelmät toimivat erilaisissa käyttötarkoituksissa ja sadevesijärjestelmän avulla voidaan vastata joihinkin vesipulaa koskeviin ongelmiin. Tutkimuksessa selvisi, että sadevesijärjestelmä on ekologinen, ilmastojuoustava sekä moneen eri käyttötarkoitukseen soveltuva vesijärjestelmä. Ekologisesti suunnitellun sadevesijärjestelmän avulla voidaan alentaa maailman vedentuotantoon, käyttöön ja jätevesien puhdistukseen kuluvaan energiaan määrää, mikä taas hillitsee ilmastokriisiä. Arkkitehtuurin ja veden välinen yhteys on keskeinen ja niitä tulee tarkastella yhdessä ilmastokriisiin vastatessa.

Sadevesijärjestelmän lisäksi lähes kaikkia projekteja on yhdistänyt jonkinlainen arkkitehtoninen vastaus tai ilmaisu maailmantilanteeseen, kontekstiin, luontoon ja kulttuuriin. Tämä osoittaa, että arkkitehtuurilla on rooli viestiä maailmanlaajuisista ongelmakohdista ja aiheista. Tätä roolia tulee käyttää ilmastokriisin pysäyttämiseksi ja veden tärkeyden merkityksen osoittamiseen.

LÄHTEET

Bates B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu & J.P. Palutikof, 2008: *Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Saatavissa: <<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/climate-change-water-en.pdf>> [Noudettu 6.4.2022].

Burls N., Blamey R., Cash B., Swenson E., Fahad A., Bopape M.J., Straus D. & Reason C. 2019. The Cape Town "Day Zero" drought and Hadley cell expansion [artikkeli]. Saatavissa: <<https://www.nature.com/articles/s41612-019-0084-6>> [Noudettu 6.4.2022].

Chang J., Lee W. & Yoon S. 2017. *Energy consumptions and associated greenhouse gas emissions in operation phases of urban water reuse systems in Korea*. Saatavissa: Tampereen yliopiston kirjaston verkkosivusto <<https://andor.tuni.fi/>> [Noudettu 14.4.2022].

EPI, Environmental Performance Index. 2020. Saatavissa: <https://epi.yale.edu/epi-results/2020/component/epi> [Noudettu 15.4.2022].

Epíndola J. & Flores C. 2020. *International Rainwater Catchment Systems Experiences*. [e-kirja] Lontoo: IWA Publishing. Saatavissa: Tampereen yliopiston kirjaston verkkosivusto <<https://andor.tuni.fi/>> [Noudettu 16.4.2022].

European Commission, *Water reuse*. Saatavissa: <<https://ec.europa.eu/environment/water/reuse.htm>> [Noudettu 15.4.2022].

European Commission. 2021. *Poland seeks solutions for smart rainwater harvesting*. [artikkeli]. Saatavissa: <https://ec.europa.eu/regional_policy/en/newsroom/news/2021/06/14-06-2021-poland-seeks-solutions-for-smart-rainwater-harvesting> [Noudettu 15.4.2022].

European Environment Agency. 1999. *Water Stress*. Saatavissa: <<https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/water-stress>> [Noudettu 15.4.2022].

Esp Water Products. *Understanding UV Water Purification*. Saatavissa: <https://fi-espwaterproducts.glopalstore.com/understanding-uv-water-filtration-sterilization/?utm_source=fi-espwaterproducts.glopalstore.com&utm_campaign=cs_w&utm_medium=wi_proxy&utm_content=fi_FI> [Noudettu 19.4.2022].

Graham S., Parkinson C. & Chahine M. 2010. Nasa: *The Water Cycle*, Saatavissa: <<https://earthobservatory.nasa.gov/features/Water/page1.php>> [Noudettu 13.4.2022].

World Health Organization. 2017. *Guidelines for drinking-water quality, 4th edition*. Saatavissa: <<https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>> [Noudettu 31.1.2022].

IPCC 2022: *Frequently Asked Questions and Answers*. Saatavissa: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/faqs/IPCC_AR6_WGII_Overarching_OutreachFAQs.pdf> [Noudettu 6.4.2022].

IPCC 2022: *Summary for Policymakers* H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem. Saatavissa:

<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_SummaryForPolicymakers.pdf> [Noudettu 6.4.2022].

Julkinen tiedonanto videolla, Faircompanies, 8.5.2021, Saatavissa:

<<https://faircompanies.com/videos/voxel-cabin-grows-food-reuses-water-makes-energy-from-waste/>> [Noudettu 15.4.2022].

Kinkade-Levario, H. 2007. *Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse*. [e-kirja] Gabriola Island: New Society Publishers, Limited. Saatavissa: Tampereen yliopiston kirjaston verkkosivusto

<<https://andor.tuni.fi/>> [Noudettu 31.1.2022].

Klöve B. 2019. Oulun Yliopisto: *Veden riittävyys on pitkälti ihmisen vastuulla*. [artikkeli].

Saatavissa: <<https://www oulu.fi/yliopisto/uutiset/veden-riittavyys>> [Noudettu 16.3.2022].

MAEBB Final Project: Voxel Quarantine Cabin. [artikkeli]. Saatavissa:

<<https://iaac.net/maebb-voxel-quarantine-cabin/>> [Noudettu 16.3.2022].

Majamaja. Saatavissa: <<https://majamaja.com>> [Noudettu 15.4.2022].

Motiva. 2020: *Vedenkulutus* [artikkeli]. Saatavissa:

<https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/hyva_arki_kotona/vedenkulutus> [Noudettu 15.4.2022].

NH Village Architects, Rainfall House. Saatavissa: <<http://www.nhvillage.net/en/rainfall-house-F3C5CE743BCE51F188C3FF42DDA23BDC.html>> [Noudettu 12.4.2022].

Nikula J. 2012. *Suomen vesijalanjälki: Globaali kuva suomalaisten vedenkulutuksesta*.

Saatavissa: <https://wwf.fi/app/uploads/z/i/y/t2zi2zza3jpxr44qvrk5e2d/vesijalanjaelkiraportti_final.pdf> [Noudettu 6.4.2022].

Novak, C., Giesen, E., DeBusk, K. & Geisen, E. 2014.

Designing Rainwater Harvesting Systems: Integrating Rainwater into Building Systems.

[e-kirja] New Jersey: John Wiley & Sons, Incorporated. Saatavissa: Tampereen yliopiston kirjaston verkkosivusto <<https://andor.tuni.fi/>> [Noudettu 31.1.2022].

Pelsmakers S. & Newman N. 2021. *Everything needs to change: architecture and the climate emergency*. [e-kirja] Lontoo: RIBA Publications. Saatavissa: Tampereen

yliopiston kirjaston verkkosivusto <<https://andor.tuni.fi/>> [Noudettu 31.1.2022].

Pelsmakers S. 2019. *The Environmental Design Pocketbook. 2nd edition*. [e-kirja] Lon-

too: RIBA Publications. Saatavissa: Tampereen yliopiston kirjaston verkkosivusto <<https://andor.tuni.fi/>> [Noudettu 31.1.2022].

Pareid, Pylonesque. Saatavissa: <<https://pareid.com/Pylonesque>> [Noudettu

14.4.2022].

Sanders Pace Architecture, Cape Russell Retreat. Saatavissa:

<<http://sanderspace.com>> [Noudettu 14.4.2022].

- Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. 2021. *Talousvesi*. [artikkeli]. Saatavissa: <<https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/vesi/talousvesi>> [Noudettu 31.1.2022].
- The United Nations. 2019. *World Water Development Report, Leaving no one behind*. Saatavissa: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367303>> [Noudettu 14.4.2022].
- Turk.Estate. 2021. *New houses to have mandatory rainwater harvesting system*. [artikkeli]. Saatavissa: <<https://turk.estate/en/news/new-buildings-will-be-equipped-with-a-mandatory-rainwater-collection-system/>> [Noudettu 6.4.2022].
- Unicef. 2022. *Water and the global climate crisis: 10 things you should know*. [artikkeli]. Saatavissa: <<https://www.unicef.org/stories/water-and-climate-change-10-things-you-should-know>> [Noudettu 5.4.2022].
- Vesi.fi. 2021: *Ilmastonmuutos lisää vesistöjen kuormitusta* [artikkeli]. Saatavissa: <<https://www.vesi.fi/vesitieto/ilmastonmuutos-lisaa-vesistojen-kuormitusta/>> [Noudettu 15.4.2022].
- Vesiensuojelu [artikkeli]. Saatavissa: <<https://vesiensuojelu.fi/jatevesi/jateveden-kasittely/kaymala-ja-pesuvedet-erikseen/pesuvesien-kasittely/>> [Noudettu 15.4.2022].
- Vilanova M. & Balestieri J. 2014. *Energy and hydraulic efficiency in conventional water supply systems*. Saatavissa: Tampereen yliopiston kirjaston verkkosivusto <<https://andor.tuni.fi/>> [Noudettu 14.4.2022].
- Villarreal E. & Dixon A. 2005. *Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen Norrköping, Sweden*. Saatavissa: Tampereen yliopiston kirjaston verkkosivusto <<https://andor.tuni.fi/>> [Noudettu 16.4.2022].
- Wakeel M., Chen B., Hayat T., Alsaedi A. & Ahmad B. 2016. *Energy consumption for water use cycles in different countries: A review* Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com.libproxy.tuni.fi/science/article/pii/S0306261916308893#b0130> [Noudettu 31.1.2022].
- Ympäristöosaava, *Vedenkulutus* [artikkeli]. Saatavissa: <<https://www.ymparistoosaava.fi/sosiaali-ja-terveysala/index.php?k=22672>> [Noudettu 31.1.2022].

KUVALÄHTEET

Kuva 1. Maebb Students. Voxel Quarantine Cabin vokseli-geometria ja valuma-alue. [3D-malli] Saatavissa: <<https://www.iaacblog.com/2020/06/18/maebb-students-present-final-design-prototype-constructed-summer-advanced-ecological-quarantine-cabin/>> [Noudettu 19.4.2022].

Kuva 2. Maebb Students. Vesijärjestelmä. [leikkauskuva] Saatavissa: <<https://iaac.net/maebb-voxel-quarantine-cabin/>> [Noudettu 19.4.2022].

Kuva 3. McCarton et al. 2021. The Worth of Water: Design Climate Resilient Rainwater Harvesting Systems. p 89. Huuhteluveden vaihtimen käyttöteknologia. [kuvituskuva] Saatavissa: <<https://link.springer.com.libproxy.tuni.fi/content/pdf/10.1007%2F978-3-030-50605-6.pdf>> [Noudettu 19.4.2022].

Kuva 4. NH Village Architects. Vesijärjestelmä. [leikkauskuva] Saatavissa: <<http://www.nhvillage.net/en/rainfall-house-F3C5CE743BCE51F188C3FF42DDA23BDC.html>> [Noudettu 19.4.2022].

Kuva 5. Jacobs. J. 2009. Cape Russel Retreat, perhoskatto ja sadevesisäiliö. [valokuva] Saatavissa: <<http://sanderspace.com/project/cape-russel-retreat/>> [Noudettu 19.4.2022].

Kuva 6. Sanders Pace Architecture. 2009. Cape Russel Retreat sadevesijärjestelmä. [kuvituskuva] Saatavissa: <<http://sanderspace.com/project/cape-russel-retreat/>> [Noudettu 19.4.2022].

Kuva 7. Harada. C. 2020. Majamaja harjakattoinen valuma-alue. [valokuva] Saatu sähköpostitse.

Kuva 8. Singnoi. B. 2019. Pylonesque katon suppilot. [valokuva] Saatavissa: <<https://pareid.com/Pylonesque>> [Noudettu 19.4.2022].

Kuva 9. Pareid. Pylonesque sadevesijärjestelmän toiminta. [leikkauskuva] Saatavissa: <<https://pareid.com/Pylonesque>> [Noudettu 19.4.2022].