

**SAVONIA**

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# VALUMA-ALUEEN MÄÄRITYS LUONNOLLISEN JA RAKENNETUN YMPÄRISTÖN RISTEYMÄKOHDISSA

Kymen Vesi Oy

TEKIJÄ Jarkko Väyrynen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Jarkko Väyrynen	
Työn nimi Valuma-alueen määrittäminen luonnollisen ja rakennetun ympäristön risteyskohdissa	
Päiväys 13.5.2022	Sivumäärä/Liitteet 27/0
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Kymen Vesi Oy	
<p><b>Tiivistelmä</b></p> <p>Opinnäytetyön tilaajana toimi Kymen Vesi Oy. Kymen Vesi Oy on vesihuoltolaitos, jonka toimialueita ovat Kotkan kaupunki, Pyhtään kunta ja entisen Anjalankosken alue Kouvolassa. Työn tavoitteena oli luoda työn tilaajalle selkeä ja kattava ohje osavaluma-alueiden määrittämiseen mallille, joka soveltuisi kohdealueille, joissa on sekä rakennettua että luonnollista ympäristöä. Tämän saavuttamiseksi mallissa käytettäisiin hyödyksi korkeusmallia ja kiinteistörajoihin. Työn toisena tavoitteena oli verrata korkeusmalliin ja kiinteistörajoihin pohjautuvia osavaluma-alueita pelkkiin kiinteistörajoihin ja hulevesijärjestelmän osiin perustuviin osavaluma-alueisiin.</p> <p>Työ tehtiin vuoden 2022 kevään aikana. Ohjeen laadintaa varten perehdyttiin hulevesien hallinnan perusteisiin, osavaluma-alueiden määrittämiseen ja hulevesien mallintamisen perusteisiin. Ohje sisältää vaiheet aineiston keräämiseen Maanmittauslaitoksen Avoimien aineistojen tiedostopalvelusta ja KeyAqua verkkotietojärjestelmästä, korkeusmallin tekemiseen LAsTools-ohjelmalla ja valuma-alueen määrittämiseen QGIS-ohjelmalla.</p> <p>Työssä syntyneen ohjeen mukaisesti määritettyjä korkeusmalliin pohjautuvia osavaluma-alueita ja kiinteistörajoihin pohjautuvia osavaluma-alueita vertailtaessa havaittiin, että eri tavoilla määritetyissä osavaluma-alueissa oli toisiinsa nähden selkeitä eroja. Korkeusmalliin pohjautuvat valuma-alueet olivat kooltaan erilaisia ja muodoltaan monimutkaisempia kuin kiinteistörajoihin pohjautuvat. Osavaluma-alueiden eroista syntyviä vaikutuksia mallinukseen oli vaikea päätellä pelkän koon ja muodon perusteella. Tämän vuoksi hyvä jatkotutkimuksen aihe olisi määrittää ohjeen mukaisesti osavaluma-alueita useilla maankäyttömuodoillaan erilaisilla kohdealueilla, käyttää osavaluma-alueita hulevesien mallinnuksessa ja tutkia syntyviä mallinnustuloksia.</p>	
Avainsanat Valuma-alue, hulevesien hallinta, hulevesien mallinnus, korkeusmalli	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology	
Author(s) Jarkko Väyrynen	
Title of Thesis Catchment delineation in target areas consisting of natural and built environments	
Date 11 May 2022	Pages/Appendices 27/0
Client Organisation /Partners Kymen Vesi Oy	
<p>Abstract</p> <p>The client of the thesis was Kymen Vesi Oy, which is a water supply company whose operating areas are the city of Kotka, the municipality of Pyhtää and the area of the former Anjalankoski in Kouvola. The aim of the thesis was to create a clear and comprehensive guide for the client of a model for the determining of sub-catchment areas. The model was to be suitable for target areas consisting of built and natural environments. A Digital Elevation Model and property boundaries would be used in the model to achieve this. The second aim of the thesis was to compare the sub-catchment areas based on the model to sub-catchment areas based on property boundaries and the stormwater drainage network alone.</p> <p>The thesis was done during the spring of 2022. The basics of storm water management, catchment determining and storm water modeling were studied in preparation for making the guide. The guide includes the steps to determine the sub-catchment areas of the target area. The first step is collecting data from the National Land Survey of Finland's open data file download service and the KeyAqua network information system. The second step is making a Digital Elevation Model with LAsTools. The last step is to determine the sub-catchment areas with QGIS.</p> <p>After comparing the sub-catchment areas based on a Digital Elevation Model and property boundaries and the sub-catchment areas based on property boundaries and storm water drainage networks determined in accordance with the guidelines developed in the thesis, it was concluded that there were clear differences between the sub-catchment areas delineated in different ways. The sub-catchment areas based on the Digital Elevation Model and property boundaries were different in size and shape than those based on property boundaries and the stormwater drainage network. The effects of differences in sub-catchment areas on modeling were difficult to deduce on the basis of size and shape alone. Therefore, a good topic of further research would be to determine sub-catchment areas in many target areas with different forms of land use, storm water model using those sub-catchment areas and to study the modeling results.</p>	
<p>Keywords</p> <p>Catchment area, storm water management, storm water modeling, Digital Elevation Model</p>	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
2	HULEVESIEN HALLINTA RAKENNETUIILLA ALUEILLA.....	7
2.1	Johdanto.....	7
2.2	Yleiset periaatteet .....	7
2.3	Hulevesien muodostumisen estäminen.....	8
2.4	Hulevesien viivyttäminen ja käsittely.....	8
2.5	Johtaminen avoimissa järjestelmissä.....	9
2.6	Johtaminen putkijärjestelmässä .....	9
2.7	Suunnittelu.....	9
2.8	Hulevesiä koskettava lainsäädäntö .....	10
2.8.1	Vesihuoltolaki.....	10
2.8.2	Maankäyttö- ja rakennuslaki .....	10
2.8.3	Vesilaki .....	10
3	VALUMA-ALUEET .....	12
3.1	Valuma-alue ja osavaluma-alue.....	12
3.2	Valuma-alueen määritykset Suomessa .....	12
3.3	Valuma-alueen määrittäminen hydrologisissa selvityksissä.....	13
3.4	Korkeusmalli.....	14
3.5	Korkeusmallin resoluution merkitys hydrologisessa käytössä.....	16
4	HULEVESIEN MALLINNUS.....	18
4.1	Johdanto.....	18
4.2	Sadetapahtumien mallinnus.....	18
4.3	Hydrologinen malli.....	18
4.4	Hulevesiviemäriverkoston malli .....	19
4.5	EPA SWMM-ohjelmisto .....	19
5	TOTEUTUS.....	21
5.1	Lähtökohdat .....	21
5.2	Valuma-alueen määrittämisprosessin vaiheet .....	22
5.2.1	Korkeusmallin luominen laserkeilausaineistosta .....	22
5.2.2	Hulevesiviemäriverkoston polttaminen korkeusmalliin .....	22
5.2.3	Valuma-alueen määrittäminen.....	23

6	VALUMA-ALUEIDEN VERTAILU .....	24
7	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	26
	LÄHTEET .....	27

## KUVALUETTELO

KUVA 1.	Kosteikko on yksi hulevesiä viivyttävistä rakenteista (Kasvio. Julkaisuaika tuntematon).....	8
Kuva 2.	Salaojitettu imeytysoja (Oulun kaupunki. 2019) .....	9
KUVA 3.	Pintavalunta valuma-alueella (Floodsite Project.2008).....	12
KUVA 4.	Suomen päävesistöalueet (Suomen Ympäristökeskus. 2014) .....	13
Kuva 5.	Virtaussuunta määrittyy korkeudeltaan alimman viereisen ruudun perusteella .....	15
KUVA 6.	Polttamisen tuottamat uomat näkyvät korkeusmallissa tummina viivoina (Väyrynen. 2022).....	16
KUVA 7.	Osavaluma-alueiden määrittämisen vaiheet.....	21
KUVA 8.	Työssä hyödynnettiin QGIS:n Graphical Modeler-työkalua hulevesiviemäriverkoston polttamiseksi korkeusmalliin.....	23
KUVA 9.	Poltetuun korkeusmalliin ja kiinteistörajoihin perustuvat osavaluma-alueet kohdealueella (Maanmittauslaitos C. 2021, CC BY 4.0).....	24
KUVA 10.	Kiinteistörajoihin ja hulevesiviemäriverkostoihin perustuvat osavaluma-alueet kohdealueella (Maanmittauslaitos C. 2021, CC BY 4.0).....	25
KUVA 11.	Työssä vertailtavat osavaluma-alueiden määritykset vierekkäin (Maanmittauslaitos C 2021, CC BY 4.0) .....	25

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyönä laaditaan ohje valuma-alueen määrittämiseen mallinnusta varten. Työssä myös verrataan kiinteistörajoihin pohjautuvia osavaluma-alueita maaston muotoihin perustuviin osavaluma-alueisiin. Ohje laaditaan työn tilaajan ohjeistusten ja vaatimusten mukaisesti.

Työn tavoitteena on suoraviivaistaa, helpottaa ja yhtenäistää osavaluma-alueiden määrittämistä. Työn ensimmäisissä kappaleissa tutustutaan hulevesien hallintaan, valuma-alueen käsitteeseen ja määrittämiseen sekä hulevesien mallintamiseen. Työssä selostetaan valuma-alueen määrittämisen vaiheet alkaen tarvittavan aineiston hakemisesta, jatkuen korkeusmallin luomiseen ja osavaluma-alueiden määrittämiseen. Määrittämisen prosessissa syntyviä osavaluma-alueita verrataan kiinteistöjen rajoihin perustuviin osavaluma-alueisiin.

Työ tehtiin vuoden 2022 keväänä ja sen tilaajana toimi Kymen Vesi Oy. Kymen Vesi Oy on vesihuolto-yritys, joka on vastuussa puhtaan veden jakelusta, jätevesien puhdistamisesta sekä hulevesien johtamisesta Kotkan kaupungin, Pyhtään kunnan sekä entisen Anjalankosken alueella Kouvolassa. Idea valuma-alueen määrittämiseen liittyvästä opinnäytetyöstä syntyi vuonna 2021 Kymen Vesi Oy:llä suoritetun työharjoittelun aikana. Kymen Vesi Oy mallintaa vesijohtoverkoston ja jätevesiviemäriverkoston lisäksi myös hulevesiä. Työssä syntynyt ohje voidaan käyttää yrityksen sisällä osana hulevesien mallinnusta.

## 2 HULEVESIEN HALLINTA RAKENNETUILLA ALUEILLA

### 2.1 Johdanto

Taajama-alueiden läpäisemättömien pintojen kuten katujen, teiden ja kattojen lisääntyminen on vaikuttanut hulevedeksi kutsutun veden luontaiseen kiertokulkuun estämällä tai hidastamalla veden imeytymistä maaperään. Taajama-alueiden sadanta on noin 5–10 % luonnontilaista sadantaa suurempi. Haihdunta on taajamassa luonnontilaista heikompaa. Lisäksi sadannan ennustetaan kasvavan 10–15 % vuosiin 2071–2100 mennessä. Näiden seikkojen vuoksi hulevesien hallintaan on aloitettu kiinnittämään enemmän huomiota, jotta voitaisiin välttää tulvia ja niiden aiheuttamia vahinkoja. Laaja-alainen, valuma-alueelähtöinen tarkastelu on edellytys toimivien ratkaisujen löytymiseen. Vaikka toimenpiteet hulevesien syntypaikalla ovat kaikista tärkeimpiä, tulisi tarkastelun ja toimenpiteiden ulottaa myös lopullisiin purkupisteisiin saakka (Kuntaliitto, 2012).

Hulevesien mallinnusta käytetään hyväksi, kun arvioidaan tarvetta uusien hulevesien hallintaan käytettyjen rakenteiden lisäämiseen sekä niiden mitoittamiseen. Hulevesijärjestelmien mallinnusta varten tarvitaan tietoa paikalla sijaitsevan valuma-alueen koosta. Valuma-alue on alue, jolle satanut vesi kerääntyy alueen matalimpaan kohtaan, josta vesi purkaantuu vesistöön. Valuma-alueen määrittämistä käytetään esimerkiksi hulevesijärjestelmien suunnittelussa, kun arvioidaan hulevesien määrää ja siten sopivaa kokoa hulevesijärjestelmän putkille.

Luonnollisten valuma-alueiden määrittäminen on suoraviivainen prosessi. Luonnossa valunta tapahtuu maanpinnan kaltevuuksien perusteella, mikä helpottaa valuma-alueen määrittämistä. Rakennettu ympäristö sen sijaan sisältää valmiita hulevesijärjestelmän osia, jotka muokkaavat veden virtausta. Maanpinnan keskimääräinen läpäisevyys on rakennetussa ympäristössä pienempi kuin luonnossa, mikä myös osaltaan vaikuttaa hulevesien virtaukseen ja siten vaikeuttaa osavaluma-alueiden määrittämistä.

### 2.2 Yleiset periaatteet

Hulevesien hallinnalla pyritään kuivattamaan taajama-alueita, suojelemaan pinta- ja pohjavesiä sekä torjumaan taajamatulvia. Vaikka rakentaminen lisää läpäisemättömiä pintoja, sen ei tule lisätä ylivirtaamista tai pienentää alivirtaamista. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että hulevesien hallinnalla pyritään tasoittamaan vesien virtausta esimerkiksi imeyttämällä tai viivyttämällä. Monella suomalaisella kunnalla on oma hulevesistrategia tai suunnitelma, joissa on listattu priorisoituna strategian yleiset periaatteet. Nämä periaatteet ovat vakiintuneet kunnissa ja ovat kaikissa kutakuinkin samoja:

- Hulevesien imeytys syntypaikalla
- Hulevesien johtaminen pois syntypaikalta suodattavalla tai hidastavalla järjestelmällä
- Hulevesien johtaminen pois syntypaikaltaan hulevesiviemärisissä yleisillä alueilla sijaitseville hidastus- ja viivytysalueille ennen vesistöön johtamista
- Hulevesien johtaminen hulevesiviemärisissä suoraan vastaanottavaan vesistöön, jos aikaisempien toimien toteuttaminen ei ole mahdollista

(Kuntaliitto. 2012)

### 2.3 Hulevesien muodostumisen estäminen

Hulevesien muodostumista voidaan vähentää rajoittamalla rakennettujen pintojen määrää, imeyttämällä muodostuneita hulevesiä, tai haihuttamalla niitä kasvillisuuden avulla. Rakennettujen pintoja voidaan rajoittaa esimerkiksi järjestämällä pysäköinti useampaan tasoon, tai suunnittelemalla teiden ja katujen päällystettyjä osuuksia mahdollisimman kapeaksi. Voidaan myös tarkastella voiko väylän päällystää jollain läpäisevällä aineksella. Olemassa olevan kasvillisuuden säilyttäminen edistää haihtumista. Kattovesiä voi hyödyntää paikallisesti viherkatoilla tai kattopuutarhoilla. Imeytysrakenteita on monenlaisen tarpeeseen ja niitä voidaan käyttää siten, ettei rikota pohjaveden pilaamiskieltoa. Tarpeen mukaan voidaan käyttää kivipesiä, erilaisia imeytyspainanteita, -kaivoja ja -kenttiä sekä tehdasvalmisteisia järjestelmiä. (Kuntaliitto. 2012)

### 2.4 Hulevesien viivyttäminen ja käsittely

Alueilla, joissa muodostuu suuria hulevesivirtaamia, on tärkeää viivyttää hulevesiä, jotta vähennettäisiin hulevesiverkoston hetkellistä kuormitusta. Tällaisia alueita ovat esimerkiksi teollisuus-, logistiikka- ja liikekeskukset, joissa tyypillisesti on laajoja päällystettyjä kenttiä ja kattopintoja. Hulevesien viivytyksellä pyritään hidastamaan ja pidättämään hulevesivirtaamaa varastoimalla hulevesiä ja vapauttamalla se hitaasti. Viivytyksen menetelmät ovat käytännössä rakenteita, kuten lammikkoja, kosteikkoja, altaita ja painanteita (kuva 1). Puhtaat hulevedet kuten kattovedet voidaan johtaa suoraan imeytettäviin rakenteisiin, mutta epäpuhtauksia sisältävät hulevedet tulee käsitellä ennen imeytystä tai johtaa viivytetysti hulevesijärjestelmään.

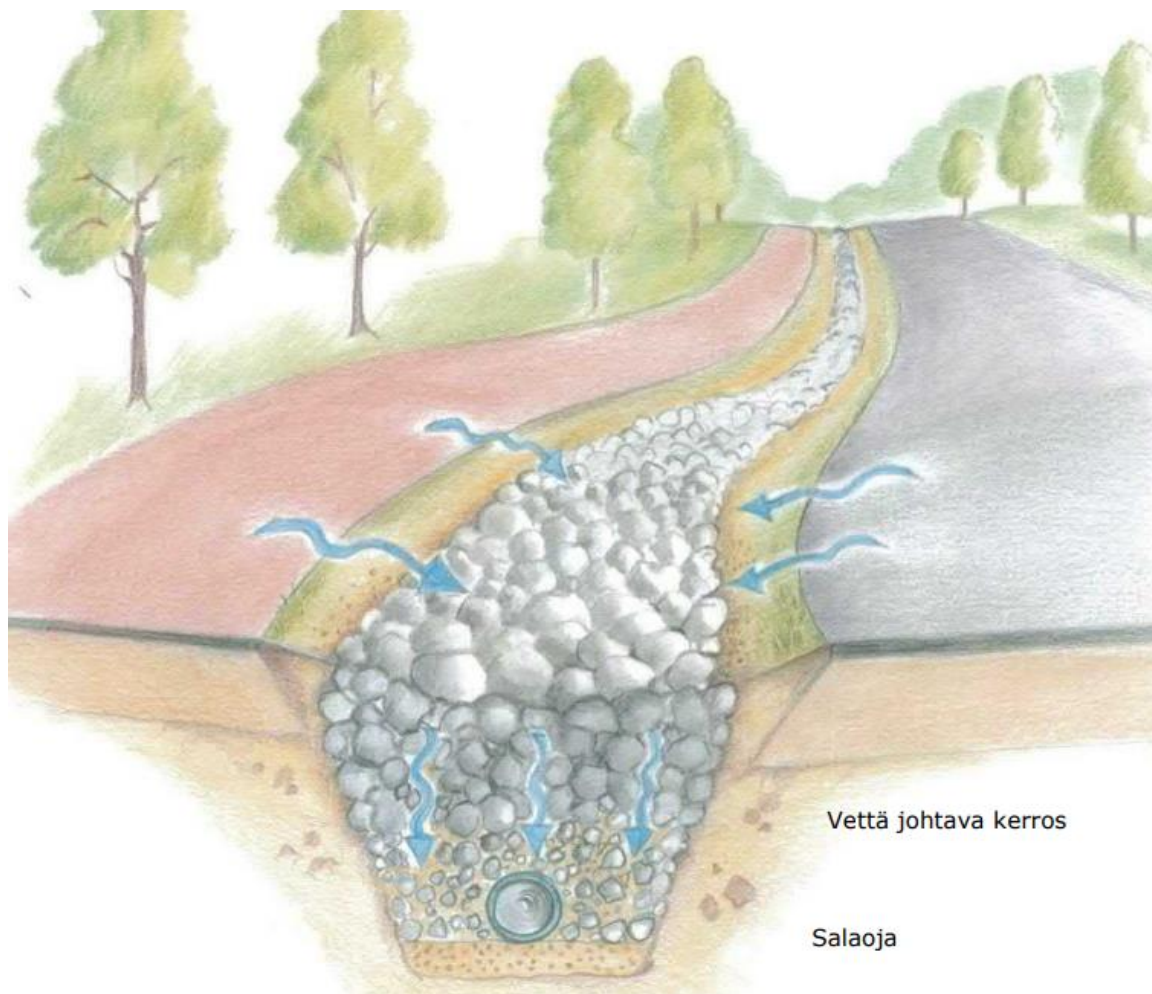


KUVA 1. Kosteikko on yksi hulevesiä viivyttävistä rakenteista (Kasvio. Julkaisuaika tuntematon)



## 2.5 Johtaminen avoimissa järjestelmissä

Avoimien johtamismenetelmien tarkoitus on johtaa hulevettä hidastaen virtausta ja imeyttää sitä samanaikaisesti. Menetelmiin kuuluu rakenteiden kuten purojen, avo-ojien, kanavien, viherpainanteiden ja kourujen käyttäminen. Kuvassa 2 esitetään salaojitettu imeytysoja, joka on yksi menetelmistä. Kasvillisuudella on tehostava vaikutus virtaaman hidastamiseen, imeyttämiseen ja puhdistamiseen. Menetelmät soveltuvat parhaiten väljille alueille, koska menetelmät vaativat paljon tilaa (Kuntaliitto. 2012).



KUVA 2. Salaojitettu imeytysoja (Oulun kaupunki. 2019)

## 2.6 Johtaminen putkijärjestelmässä

Putkijärjestelmissä hulevedet johdetaan imeyttämättä ja hidastamatta niiden kulkua purkuvesiin. Vaikka viemärointi järjestettäisiin luonnollisia valumareittejä mukaillen, johtuvat hulevedet purkuvesiin suurina määrinä liian nopeasti aiheuttaen rantavyöhykkeen eroosiota. Käsittelemättömät viemäroidyt hulevedet myös heikentävät purkuvesistön tilaa (Kuntaliitto. 2012).

## 2.7 Suunnittelu

Kunnan laatima hulevesistrategia tai -ohjelma ohjaa hulevesien hallintaa määrittäen kunnan toimintaperiaatteet ja tulevaisuuden suunnitelman. Strategia sisältää myös yksityiskohtaisempaa tietoa

aikatauluista ja vastuista. Tulvien ehkäisy ja pohja- ja pintavesien suojelu ovat yleisiä perusteita ohjelman tavoitteille, mutta alueen topografia, nykyinen ja suunniteltu maankäyttö sekä vesistöjen sijainti määrittävät hulevesiohjelman yksityiskohtaisemmat tavoitteet. Ohjelmassa esitetään toimenpiteistä vastuussa olevat hallintokunnat, joita ovat esimerkiksi kaupunkisuunnittelu, vesihuoltolaitos, kunnallistekniikka, ympäristöviranomaisen ja rakennusvalvonta. Valumareitit ja hulevesien määrä selvitetään suunnitelmia varten. Alueellisten hulevesijärjestelmien suunnittelu tapahtuu tänä päivänä lähes poikkeuksetta mallintamalla siihen tarkoitettulla ohjelmalla (Kuntaliitto. 2012).

## 2.8 Hulevesiä koskettava lainsäädäntö

### 2.8.1 Vesihuoltolaki

Vesihuoltolain 2 luvun mukaan lakia sovelletaan: ”rakennetulla alueella maan pinnalle, rakennuksen katolle tai muulle pinnalle kertyvän sade- tai sulamisveden (hulevesi) viemärointiin siltä osin kuin vesihuoltolaitos siitä huolehtii. Mitä tässä laissa säädetään hulevesistä, koskee lisäksi perustusten kuivatusvesiä.”

Lain 3 a luvussa määritetään säännökset huleveden viemäroinnin järjestämiseen (17 a §), Kiinteistön liittämiseen vesihuoltolaitoksen hulevesiviemäriin (17 b §), hulevesiviemäriin liittämiselvällisyydestä vapauttamiseen (17 c §), kieltoon johtaa kiinteistön hulevesiä jätevesiviemäriin (17 d §). Säännöksen 17 f § mukaisesti myös vesihuoltolain luvun 3 säännöksiä 12,13,16, ja 17 sovelletaan hulevesiin.

### 2.8.2 Maankäyttö- ja rakennuslaki

Maankäytön- ja rakennuslain luvussa 13 a määritetään hulevesiä koskevat erityiset säännökset. Säännöksen 103 e mukaan: ”Kiinteistön omistaja tai haltija vastaa kiinteistönsä hulevesien hallinnasta.”. Säännöksen 103 i mukaan: ”Kunta vastaa hulevesien järjestämisestä asemakaava-alueella.”.

Säännöksen 103 d mukaan ”Kunnan määräämä monijäseninen toimielin valvoo tämän luvun (13 a) säännösten noudattamista.”. Kunnan määräämä viranomaisen voi myöntää vapautuksen velvollisuudesta johtaa kiinteistön hulevedet kunnan hulevesijärjestelmään (103 f §) sekä osoittaa rajakohtat kiinteistön hulevesijärjestelmän ja kunnan hulevesijärjestelmän välille ja antaa hulevesien johtamiseen liittyviä määräyksiä (103 g §). Kunnan määräämä monijäseninen toimielin voi antaa hulevesien hallintaan liittyviä määräyksiä kuntaa tai kunnan osaa koskien (103 j §). Määräykset voivat liittyä esimerkiksi hulevesien määrään ja laatuun, kiinteistön liittämiseen kunnan hulevesijärjestelmään sekä hulevesistä aiheutuvan haitan poistamiseen (103 k §). Kunta hyväksyy hulevesisuunnitelman (103 l §), huolehtii että hulevesijärjestelmä toteutetaan asemakaavan mukaisen maankäytön tarpeita vastaavasti (103 m §) sekä perii maksun kiinteistöjen omistajilta tai haltijoilta hulevesijärjestelmästä aiheutuneiden kustannusten kattamiseksi (103 n §).

### 2.8.3 Vesilaki

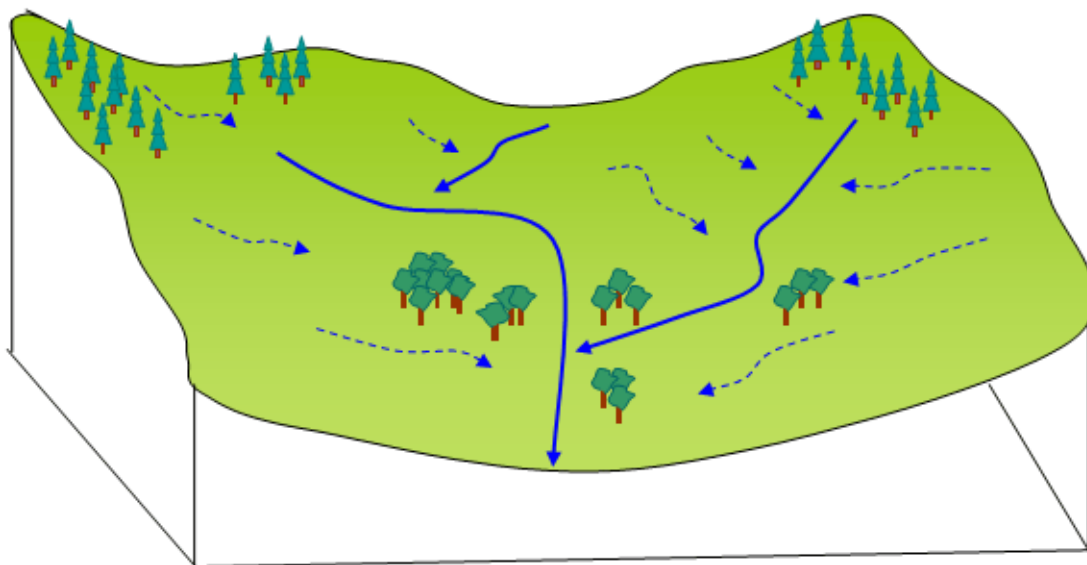
Vesilain 3 luvun 2 § mukaan vesitaloushankkeella tulee olla viranomaisen lupa, mikäli kyseinen hanke voi muuttaa vesistön asemaa, syvyyttä, rantaa tai vesiympäristöä, virtaamaa, vedenkorkeutta tai pohjaveden määrää tai laatua.



### 3 VALUMA-ALUEET

#### 3.1 Valuma-alue ja osavaluma-alue

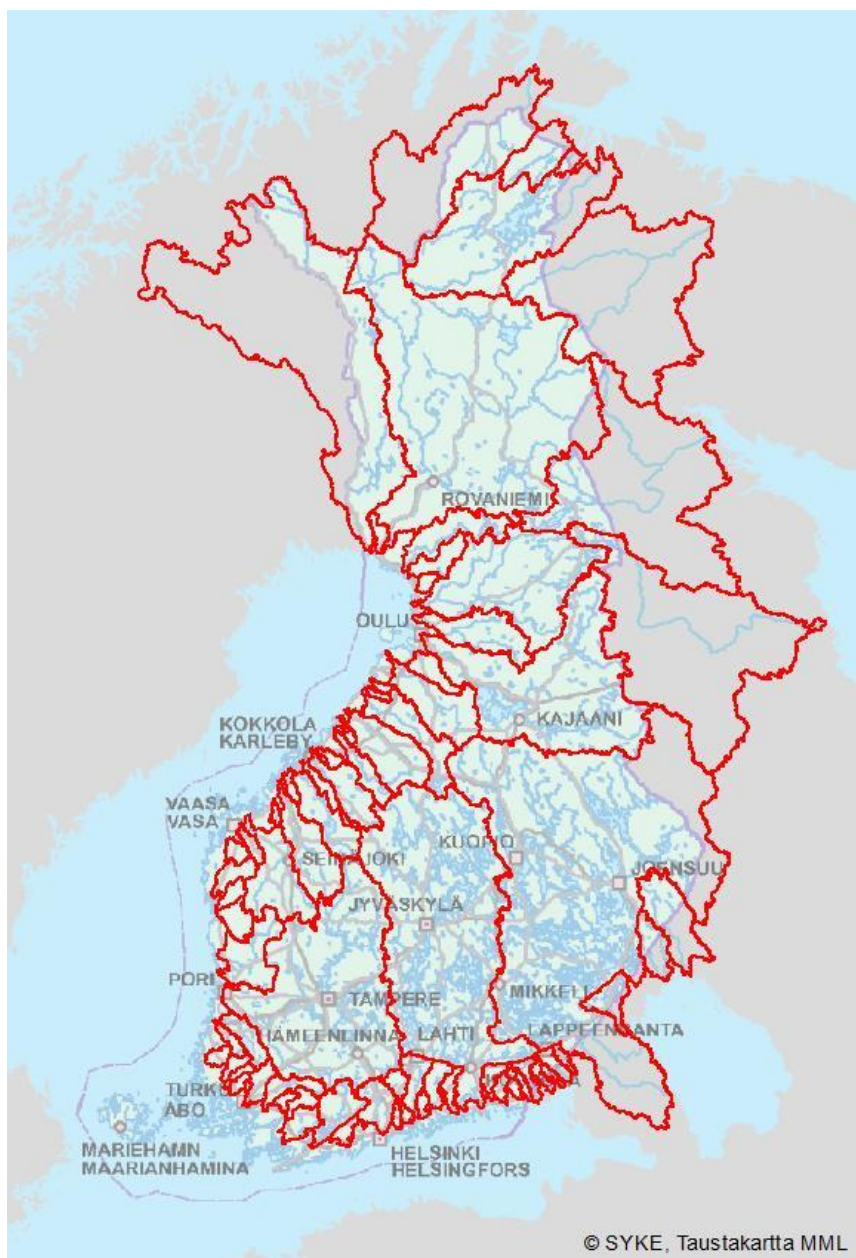
Hydrologiassa valuma-alue on topografinen alue, jossa sade- tai sulamisvettä virtaa valuntana alueen matalimpaan kohtaan. Valuma-alueita toisistaan erottavia rajoja kutsutaan vedenjakajiksi. Valuma-alueet voidaan jakaa pienempiin osavaluma-alueisiin. Kuvassa 3 (Floodsite Project.2008) esitetään esimerkki luonnollisesta valuma-alueesta, jossa katkoviivat esittävät pintavalunnan virtausta ja yhtenäiset viivat uomia. Pienet uomat virtaavat suurempaan uomaan muodostaen valuma-alueen.



KUVA 3. Pintavalunta valuma-alueella (Floodsite Project.2008)

#### 3.2 Valuma-alueen määrittämiset Suomessa

Suomen ympäristökeskus on kehittänyt uutta valtakunnallista valuma-aluejakoa korvatakseen vanhan, vuonna 1993 julkaistun valuma-aluejaon. Valuma-aluejakoluonnoksessa on kaksi tasoa: osavaluma-alueet ja niistä koostuvat päävesistöalueet (kuva 4). Osavaluma-alueille on määritetty omat rajauskriteerit. Kriteerien mukaan oman valuma-alueen saavat kaikki uomien risteykseen päättyvät yli 100 metrin pituiset uomat tai uomajatkumot. Uomajatkumo on uomajärviketju, jonka on muodostanut peräkkäiset uomat ja alle 50 hehtaarin kokoiset järvet. Siten kaikki yli 50 hehtaarin järvet ja näihin laskevat yli 100 metrin uomat tai uomajatkumot saavat oman valuma-alueen uudessa rajauksessa.



KUVA 4. Suomen päävesistöalueet (Suomen Ympäristökeskus. 2014)

Nykyiseen valuma-alueluonnokseen sisältyy yli 20 000 valuma-aluetta. Valuma-aluejako on tuotettu kokonaan digitaalisilla menetelmillä käyttäen Maanmittauslaitoksen 10 metrin ruutukoon korkeusmallia ja ASTER GDEM korkeusmallia valtakunnan rajojen ulkopuolisilla alueilla. Menetelmä mahdollistaa valuma-alueiden mallinnuksen halutuille purkupisteille. Korkeusmalliin on ”poltettu” SYKE:n Ranta10- aineiston uomat, järvet ja muut virtavedet tulosten tarkentamiseksi. Polttamisprosessissa korkeusmallin korkeuspisteiden arvoa lasketaan uomien kohdalta, mikä edesauttaa virtauksen tapahtumista uomiin mallissa ja siten tarkentaa valuma-alueiden rajoja. (Suomen Ympäristökeskus. 2014)

### 3.3 Valuma-alueen määrittäminen hydrologisissa selvityksissä

Luonnollisessa ympäristössä valuma-alueen määrittäminen tehdään maaston muotojen perusteella. Rakennetun ympäristön valuma-alueen määrittämisessä kyseinen tapa ei toimi, sillä hulevesiviemäriverkosto ohjaa suurta osaa sade- ja sulamisvesistä. Kuntien ja kaupunkien teettämässä hydrologisissa selvityksissä ja hulevesiselvityksissä kohteiden osavaluma-alueen määrittämisessä on suurta vaihte-

lua, eikä määritettyjä rajoja usein perustella mitenkään. Kohdealueiden maankäyttömuodot vaikuttavat määrittystapoihin. Alueilla, jotka sisältävät paljon hulevesiviemärijärjestelmän osia, käytetään kiinteistöjen rajoja osaväluma-alueiden rajoina. Luonnontilassa tai lähellä luonnon tilaa olevilla kohdealueilla käytetään maanpintojen muotoja perustana osaväluma-alueiden rajoille.

### 3.4 Korkeusmalli

Korkeusmalli eli DEM (Digital Elevation Model) on numeerinen esitys maanpinnan muodoista, jossa pinnan muodot kuvataan joukkona korkeuspisteitä. Korkeuspisteet ovat tyypillisesti tallennettu korkeusmalliin tasavälisenä hilana tai epäsäännöllisenä kolmioverkkona. Ennen korkeusmalleja korkeustiedot oli tallennettu paperikarttojen korkeuskäyräesityksiin, joilla on kaksi merkittävää puutetta. Käyrien välissä olevista pinnanmuodoista ei saa mitään tietoa ja kartografisen yleistyksen sääntöjen mukaisesti esitettyjä maaston pinnanmuotoja on ylikorostettu tai niistä on hävitetty yksityiskohtaisuuksia. Maastomalli eli DTM (Digital Terrain Model) eroaa korkeusmallista siten, että se sisältää tietoa myös rinteiden kaltevuuksista, maanpeitteestä sekä viettosuunnista. Pintamallissa kuvataan pintaa maaston korkeimmalla tasolla, jolloin esimerkiksi rakennusten katot tai metsien latvustot ovat mallin pintatasoa. (Maanmittauslaitos B. Julkaisuaika tuntematon)

Hydrologisessa mallintamisessa korkeusmallissa olevat maanpinnan korkeuserot määrittävät veden virtaussuunnan. Yksinkertaistettuna korkeusmalli on tuhansia ruutuja sisältävä taulukko, jossa jokaisen ruudun vieressä on kahdeksan ruutua, eli 8 mahdollista suuntaa, johon virrata. Kuvassa 5 esitetään yksinkertaistettu versio ruudukosta, jossa jokainen ruutu sisältää korkeuden arvon, joiden perusteella virtauksen suunta määritetään. Virtaussuunnan mallintamiseen on useita malleja, joista yleisin ja yksinkertaisin D8 (Deterministic 8). Tässä mallissa virtaus tapahtuu aina siihen ruutuun, joka sisältää pienimmän korkeuden. On olemassa myös virtaussuunnan malleja, joissa virtaus jakaantuu useampaan suuntaan. tosin monimutkaisemman mallin käyttäminen ei tuota selkeästi erilaisia tuloksia. (Francois, Atilio. 2018)

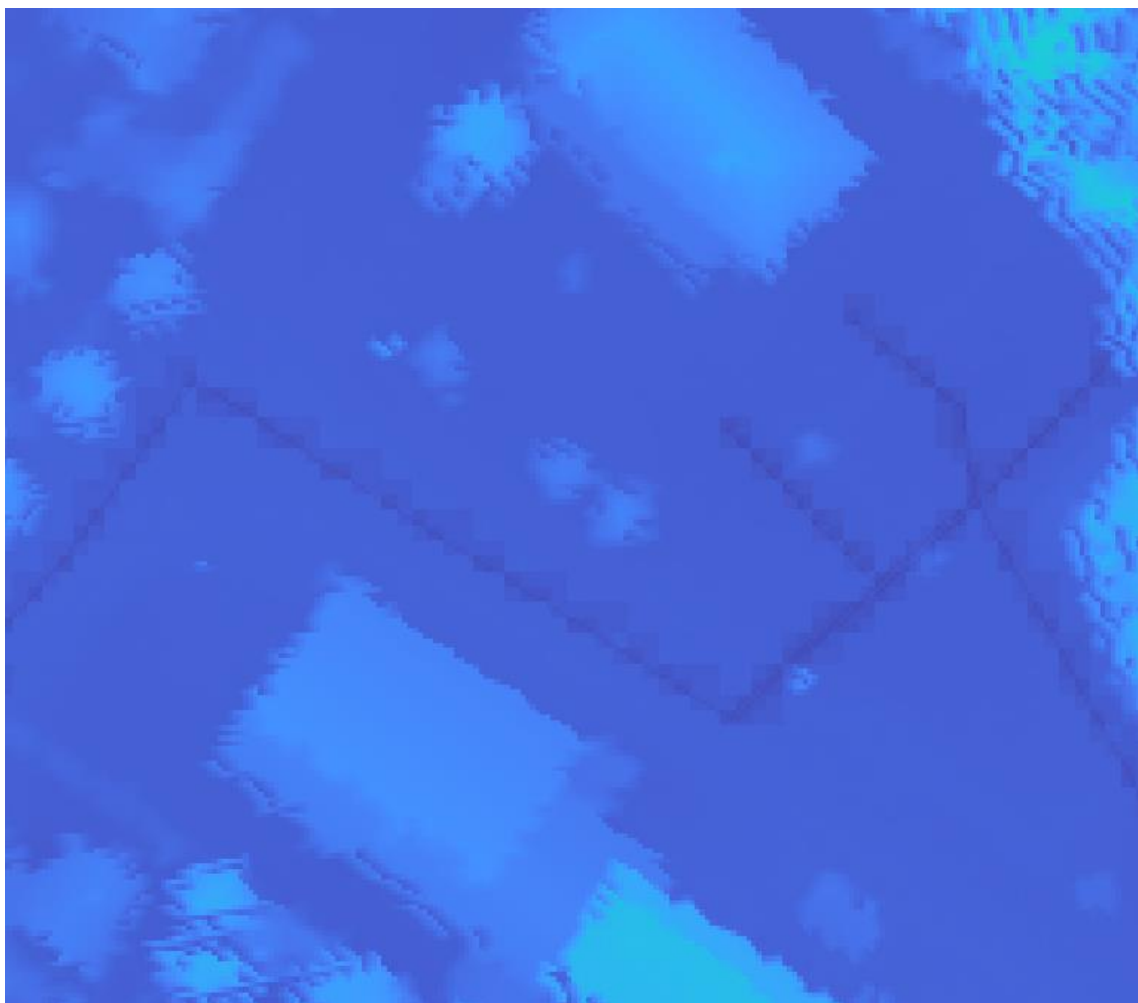
Korkeusmalleissa on lähes aina ruutuja, joista hydrologisesti mallinnettu vesi ei voi virrata yhteenkään vierekkäiseen ruutuun. Näitä ruutuja tai alueita kutsutaan "kuopiksi". Korkeusmallin kuopat voivat olla todellisia, mutta yleisemmin ne ovat virheitä mallissa. Virtauksen mahdollistamiseksi mallissa kuopat tulee poistaa. Poistoprosessissa kuoppia olevien ruutujen arvo muutetaan sellaiseksi, että virtaus mahdollistuu korkeusmallissa. (Halonen. 2020)

13	11	19
14	15	18
16	17	19

KUVA 5. Virtaussuunta määrittyy korkeudeltaan alimman viereisen ruudun perusteella

Korkeusmallia voidaan tarkentaa "polttamalla" siihen uomia. Polttaminen korostaa tunnettujen uomien syvyyttä vahvistaen virtauksen suuntautumista uomiin. Käytännössä tekniikka toimii siten, että erillisessä tiedostossa määritettyjen alueiden sijainnissa olevien korkeuspisteiden arvoa lasketaan tahdottu määrä. Polttamisen tuloksia esitetään kuvassa 6. Tekniikkaa on käytetty esimerkiksi Suomen Ympäristökeskuksen valtakunnallisen valuma-aluejaon määrittämisessä (Suomen Ympäristökeskus.2014). Rakennetussa ympäristössä polttaminen voidaan ulottaa myös hulevesijärjestelmän osiin kuten ojiin, syöksykaivoihin ja rumpuputkiin, jolloin korkeusmallissa näkymättömät virtaukset saadaan sisällettyä pintavalunnan malliin.





KUVA 6. Polttamisen tuottamat uomat näkyvät korkeusmallissa tummina viivoina (Väyrynen. 2022)

### 3.5 Korkeusmallin resoluution merkitys hydrologisessa käytössä

Korkeusmallin resoluutiolla tarkoitetaan korkeuspisteiden tiheyttä rasterissa eli sitä, kuinka monta korkeuspistettä rasteri sisältää pituuden yksikköä kohden. Suomessa Maanmittauslaitoksen Avoimien aineistojen tiedostopalvelusta on ladattavissa kaksi eri resoluution korkeusmallia, joista toisen resoluutio on 2 metriä ja toisen 10 metriä. Korkeusmallien nimet viittaavat korkeusmallin ruutujen vertikaaliseen ja horisontaaliseen pituuteen. Avointa aineistoa on myös korkeusmallien tuottamiseen käytetty laserkeilausaineisto, jonka resoluutio on 0,5 pistettä/m<sup>2</sup> (2 m). Uutta Laserkeilausaineisto 5 p:tä (5 pistettä/m<sup>2</sup>) on tuotettu vuodesta 2020 alkaen. Kyseessä oleva aineisto ei ole avoimesti saatavilla ja vaatii maksullisen käyttöluvan (Maanmittauslaitos A. Julkaisuaika tuntematon).

Vuonna 2009 julkaistiin yhdysvaltalainen tutkimus, jossa vertailtiin eri resoluution korkeusmallien antamia tuloksia tulvia simuloivissa malleissa. Tutkimuksessa käytettiin 10 m ja 30 m korkeusmalleja USGS NED:stä, NASA/JPL SRTM:n 30 m korkeusmallia sekä laserkeikausaineistosta tuotettuja 30 m, 10 m, ja 2 m resoluution korkeusmalleja. USGS NED on Yhdysvaltojen kansallinen korkeuden tietoaaineisto, jonka on tuottanut USGS (U.S. Geological Survey). SRTM (The Shuttle Radar Topography Mission) on NGA:n (National Geospatial-Intelligence Agency) ja NASA:n (National Aeronautics and Space Administration) johtaman kansainvälisen projektin tuotos, jossa Endeavor-avaruussukkulan avulla tuotettiin melkein koko maapallon kattava korkeusmalli.



Tutkimusalueena oli Kansas-joen valuma-alue. Tutkimuksessa tarkasteltiin esimerkiksi eri resoluution korkeusmallien tuottamien uomien määrää ja laadukkuutta. Laserkeilausaineistosta tuotettu 10 m korkeusmalli tuotti suurimman määrän uomia (855). Toiseksi eniten uomia tuotti 2 m (603) ja vähiten uomia tuotti 30 m (517). Uomaverkoston laadun tarkastelussa tultiin johtopäätökseen, että laserkeilausaineistosta tuotettu korkeusmalli tuotti parhaita tuloksia 2 m resoluutiossa eli tutkimuksessa käytetyistä kaikista tarkimmassa. Tutkimuksen yleisenä johtopäätöksenä todettiin myös, että korkean resoluution aineisto toimii parhaiten, kun resoluutiota ei muuteta alhaisemmaksi. (Li & Wong. 2011)

## 4 HULEVESIEN MALLINNUS

### 4.1 Johdanto

Hulevesien mallinnusta käytetään hulevesijärjestelmien mitoitukseen sekä toimivuuden tarkasteluun. Mallissa on tyypillisesti kolme mallintamisen tasoa, jotka ovat sadetapahtumien malli, pintavalunnan malli eli hydrologinen malli sekä hulevesiviemäriverkoston malli.

### 4.2 Sadetapahtumien mallinnus

Sadetapahtumien mallinnuksessa käytetään tyypillisesti mitoitussateita. Suomessa on viime aikoina enenevässä määrin ryhdytty käyttämään myös muita sadetapahtumia arvioitaessa hulevesijärjestelmien toimintaa. Mitoitussateita säädetään neljällä parametrilla: sateen toistuvuudella, sademäärällä, sateen kestolla ja sateen intensiteetillä sadetapahtuman eri ajanhetkillä.

Mallinnuksessa käytettävän mitoitussateen keston määrittää se, onko mitoitussateena hulevesien määrä vai hetkellinen huippuvirtaama. Kun hulevesien määrää käytetään mitoitussateena, kesto-aika voi olla pidempi kuin hetkellistä huippuvirtaamaa käytettäessä, jolloin sadetapahtuman intensiteetin tulisi olla mahdollisimman suuri ja keston mahdollisimman pieni. Valuma-alueen pisin virtausreitti määrittää valuma-alueen kertymisajan, jonka kestoiset sadetapahtumat yleensä aiheuttavat huippuvirtaaman. Virtausreitillä olevien maanpintojen, ojien ja viemärien pituus vaikuttaa virtauksen nopeuteen ja siten virtauksen kertymiseen mitoituspisteessä. Sadetapahtuman intensiteetillä tarkoitetaan sen rankkuutta ja sen yksikkö esitetään joko muodossa l/s\*ha tai mm/min.

Mitoitussateiden toistuvuudella tarkoitetaan mitoitussateen tapahtumisen todennäköisyyttä. Pienien todennäköisyyksien sadetapahtumilla tarkoitetaan intensiteetiltään suuria sadetapahtumia ja suuremman todennäköisyyden sateilla pienen intensiteetin sadetapahtumia. Kerran vuodessa tapahtuvan sadetapahtuman todennäköisyys on 100 %, kerran kymmenessä vuodessa tapahtuvan 10 % ja niin edelleen. Tietyn todennäköisyyden sadetapahtuman keston ja intensiteetin laskemiseen käytetään tutkahavaintoja. Mallinnuksessa käytettävien mitoitussateiden todennäköisyys valitaan järjestelmän käyttötarkoituksen sekä ympäristöolosuhteiden perusteella. Esimerkiksi kerran 2–3 vuodessa toistuvaa sadetapahtumaa käytetään kaupunkien hulevesiviemäriverkostojen mitoitukseen ja 10 vuoden toistumisaikaa käytetään pääteiden kuivatusjärjestelmien mitoituksessa. (Kuntaliitto. 2012)

### 4.3 Hydrologinen malli

Hydrologisessa mallissa mallinnetaan mitoitussateen aikaista pintavalunnan tapahtumista osavaluma-alueilla. Hydrologisen mallin määrittävät ominaisuudet liittyvät sadetapahtumien parametrien lisäksi osavaluma-alueiden ominaisuuksiin kuten pinta-alaan, läpäisemättömien pintojen määrään, ja valumareittien karakteriseen leveyteen. (Kouvolan Vesi Oy; Kouvolan kaupunki; Kymen Vesi Oy. 2018) (United States Environmental Agency. 2015)

Osavaluma-alueen koolla on luonnollisesti suuri merkitys hulevesien määrään sadetapahtumien aikana. Osavaluma-alueiden määrittämiseen ei ole vakiintunutta tapaa. Valuma-alue voidaan määrittää maanpinnan muotojen avulla, kuten luonnollisen valuma-alueen määrittämisessä. Ongelma tätä tapaa käytettäessä on se, että hulevesijärjestelmien vaikutusta pintavaluntaan ei saada malliin. Toinen ongelma on se, että näin määritetyt valuma-alueet eivät noudata kiinteistörajajoja, mikä vaikeuttaa osavaluma-alueiden käyttöä mallinnusohjelmassa. Vaihtoehtona aikaisemmin mainitulle tavalle on määrittää osavaluma-alueet käyttäen olemassa olevia ja suunniteltuja hulevesijärjestelmän rakenteita sekä kiinteistörajajoja. Tavan etuna on se, että mallintaminen on helpompaa. Toisaalta pintavalunta osavaluma-alueella ei välttämättä vastaa todellisuutta. Tässä opinnäytetyössä esitetään malli, jonka tavoitteena on yhdistää molemmat toimintatavat.

Hulevesiä muodostaa eniten läpäisemättömät pinnat, kuten asfaltoidut tiet ja kadut sekä erilaiset kattopinnat. Mallinnusta varten määritetään jokaiselle osavaluma-alueelle läpäisemättömien pintojen kokonaismäärä (TIA, Total Impervious Area). Pintojen laadulla on myös merkitystä hulevesien määrään. Pintojen laatua hallitaan mallinnuksessa painannesäilynnän ominaisuudella, jossa hyvälaatuiset, vähän painanteita sisältävät pinnat pienentävät painannesäilynnän arvoa. Läpäisemättömien pintojen kokonaismäärän ja painannesäilynnän määrittelyyn voidaan käyttää Maanmittauslaitoksen Maastotietokantaa, josta selviää osavaluma-alueella olevat maankäyttötyypit. (Kouvolan Vesi Oy; Kouvolan kaupunki; Kymen Vesi Oy. 2018)

Karakterisella leveydellä tarkoitetaan osavaluma-alueella tapahtuvan valunnan tyypillistä leveyttä. Mallinnuksen alussa karakterisen leveyden arvo voidaan määrittää jakamalla osa-valuma-alueen pinta-alan arvo pisimmän pintavaluntareittien pituuksien keskiarvolla. (United States Environmental Agency. 2015)

#### 4.4 Hulevesiviemäriverkoston malli

Hulevesiviemäriverkoston mallissa kuvataan sitä, miten virtaus tapahtuu hulevesiviemäriverkostossa mitoitussateen aikana. Malliin sisällytetään olemassa olevat viemärit, kaivot ja muut järjestelmän osat. Mallin toimiminen riippuu paljolti siitä, kuinka paikkaansa pitäviä järjestelmän osien ominaisuuksitiedot ovat. Tärkeimpiä ominaisuuksitietoja ovat viemäreiden halkaisijat, kaltevuudet sekä niiden materiaali. Viemäriin halkaisija on suoraan yhteydessä siihen, kuinka tehokkaasti hulevettä voi sen läpi virrata. Viemäreiden kaltevuus ja materiaali vaikuttavat taas virtaavien hulevesien nopeuteen. (Kuntaliitto 2012)

#### 4.5 EPA SWMM-ohjelmisto

EPA Storm Water Management Model (SWMM) on vuonna 1971 julkaistu malli, joka simuloi valunnan määrää ja laatua yksittäisissä tapahtumissa tai pidemmältä aikaväliltä. SWMM on saanut useita merkittäviä päivityksiä sitten julkaisun ja on laajasti käytetty hulevesien hallinnan ja hulevesijärjestelmien suunnittelussa sekä analyysissä. SWMM on avoimen lähdekoodin ohjelmisto ja kaupalliset tuotteet käyttävät sen koodia hulevesien mallinnusohjelmistoissaan. Malli simuloi sade- tai sulamis-tapahtumista seuraavaa pintavaluntaa ja päästöjen määrää osavaluma-alueilla. Toinen mallin osa

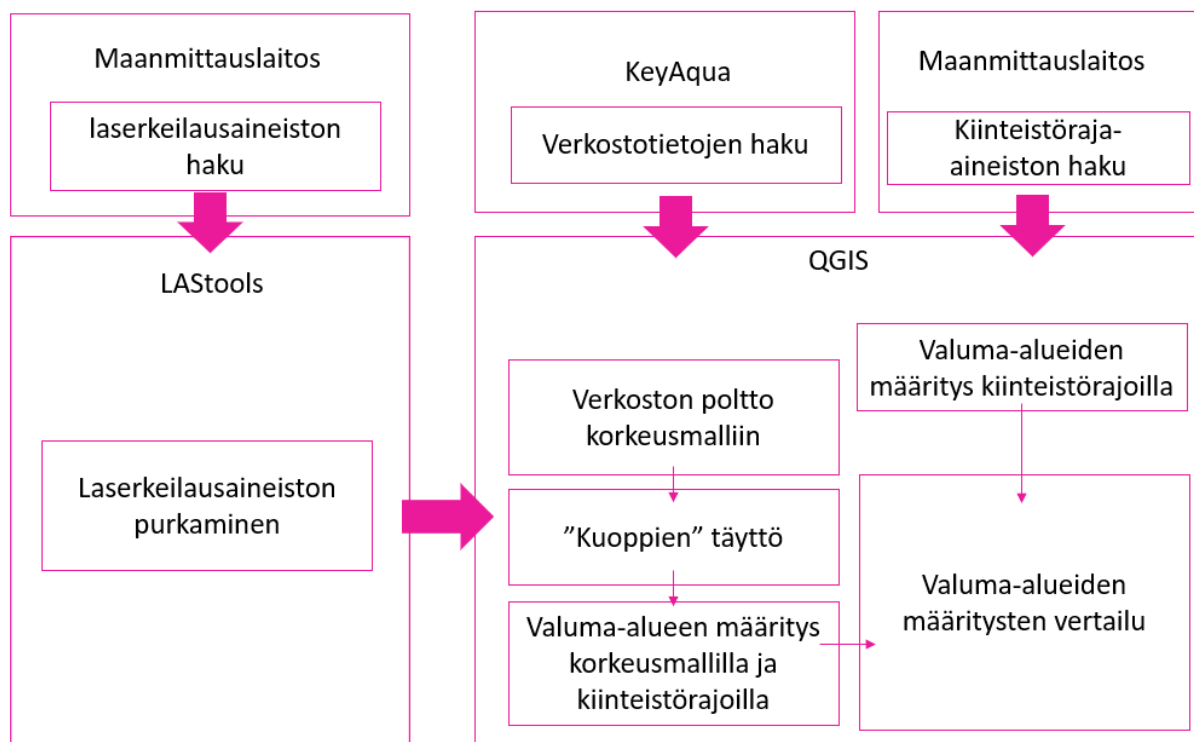
simuloi huleveden virtausta hulevesijärjestelmässä. Malli seuraa valunnan laatua ja määrää, virtauksen nopeutta ja syvyyttä sekä veden laatua jokaisessa putkessa simulaation eri vaiheissa. (United States Environmental Agency. 2015)

## 5 TOTEUTUS

### 5.1 Lähtökohdat

Hulevesien mallinnuksessa käytettävien osavaluma-alueiden määrittystavoissa ei Suomessa ole vakiintunutta toimintatapaa. Osavaluma-alueen määrittämisprosessia voidaan lähestyä kahdesta näkökulmasta. Toisessa määrittäytavassa käytetään hulevesiverkostoja sekä kiinteistörajoja. Tapa soveltuu hyvin kohdealueisiin, jotka sisältävät paljon hulevesiä ohjaavia rakenteita, jolloin suuri osa mitoitussateiden aikaisesta virtaamasta kulkee järjestelmän kautta. Tapa ei sen sijaan sovellu kohdealueille, joissa ei ole kyseisiä rakenteita ja maanpinnan muodot ohjaavat mitoitussateen aikaista virtausta. Toisessa näkökulmassa osavaluma-alueen määrittäytävää lähestytään maanpinnan muotojen kautta. Ongelmana tavan käytössä on se, että hulevesiviemäriverkoston vaikutusta ei saada näkymään osavaluma-alueissa. Toinen tavan huono puoli on se, että tällä tavalla määrittetyt valuma-alueet eivät noudata kiinteistörajoja vaikeuttaen osavaluma-aluejaon käyttöä mallinnusohjelmassa.

Työn tavoitteena on luoda työn tilaajalle Kymen Vesi Oy:lle selkeä ja kattava ohje osa-valuma-alueen määrittäytävien mallille, joka soveltuu sellaisille kohdealueille, joissa on sekä rakennettua että luonnollista ympäristöä. Työ tehtiin vuoden 2022 kevään aikana. Kuvassa 7 esitetään osavaluma-alueiden määrittäytävien vaiheet alkaen aineistojen keräämisestä Maanmittauslaitoksen Avoimien aineistojen tiedostopalvelusta ja KeyAqua verkkotietojärjestelmästä, jatkuen korkeusmallin tekemiseen LAsTools-ohjelmalla ja osavaluma-alueiden määrittäytävien QGIS-ohjelmalla. Työssä vertaillaan korkeusmalliin ja kiinteistörajoihin pohjautuvia osavaluma-alueita kiinteistörajoihin ja hulevesiviemäriverkostoihin pohjautuviin osavaluma-alueisiin.



KUVA 7. Osavaluma-alueiden määrittäytävien vaiheet

## 5.2 Valuma-alueen määrittämisprosessin vaiheet

### 5.2.1 Korkeusmallin luominen laserkeilausaineistosta

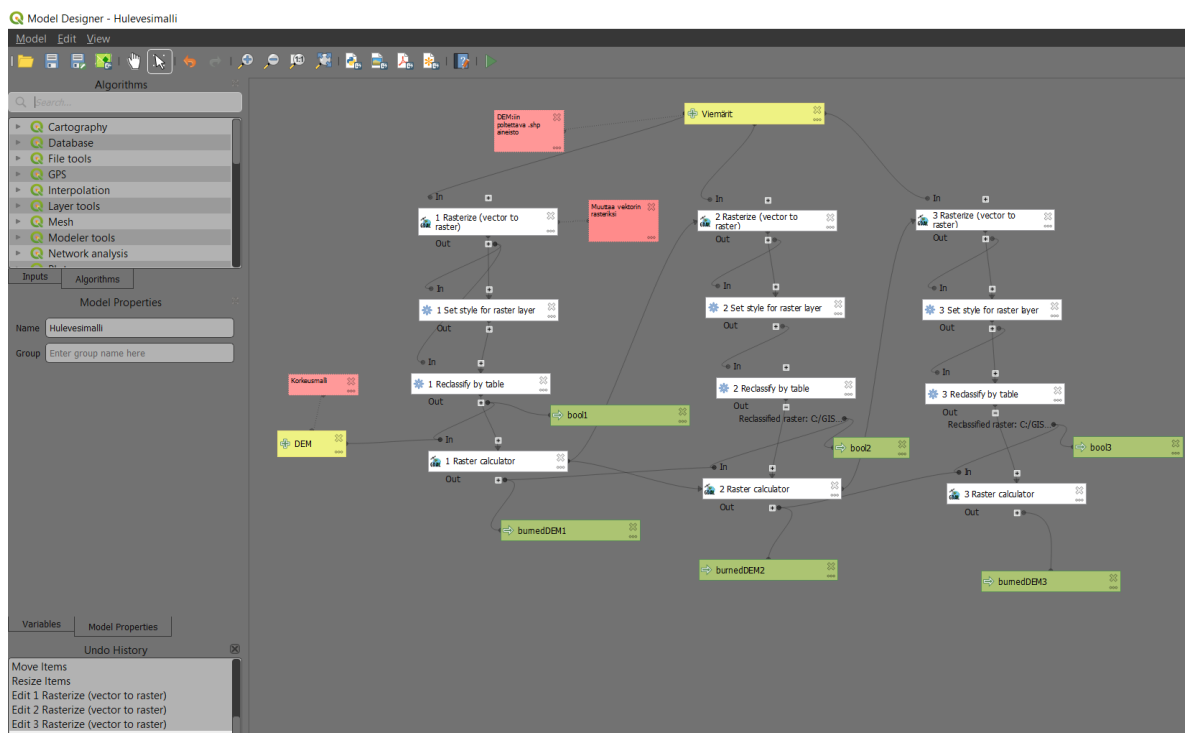
Valuma-alueen määrittäminen alkaa korkeusmallin luomisesta. Maanmittauslaitoksen avoimesta aineistopalvelusta voi ladata 10 m korkeusmallin, mutta kyseisen mallin resoluutio on alhainen, eikä siksi ole paras vaihtoehto hydrologiseen käyttöön. Tämän vuoksi ohjeeseen sisällytettiin vaiheet laserkeilausaineiston hakemiseen ja muokkaamiseen. Ohjeen alussa käydään läpi laserkeilausaineiston hakeminen Maanmittauslaitoksen avoimien aineistojen tiedostopalvelusta. Avoimista aineistojen tiedostopalvelusta ladattava laserkeilausaineisto on pakattu ja sen purkamiseen tarvitaan laz-tiedostomuodon purkamiseen tarkoitettua ohjelmaa. Laserkeilausaineiston purkamiseen valittiin LAsTools-ohjelmisto. Ohjelmisto valittiin sen perusteella, että sen käytöstä oli aikaisempaa kokemusta.

### 5.2.2 Hulevesiviemäriverkoston polttaminen korkeusmalliin

Hulevesiviemäriverkostat poltetaan korkeusmalliin, jotta virtauksen mallinnus tapahtuisi realistisemmin. Ilman polttoa viemäriverkostojen vaikutus pintavaluntaan ei näy valuma-alueessa. Ohjeen seuraavat vaiheet suoritetaan QGIS-ohjelmistossa. Valittujen menetelmien perustana on käytetty YouTube-kanava Hans van der Kwastin videotutoriaalia (van der Kwast. 2020). QGIS valittiin paikkatiedon käsittelyyn useasta syystä. Monet vaihtoehtoiset paikkatiedon käsittelyohjelmat kuten ArcGIS ja MapInfo ovat maksullisia, toisin kuin QGIS. Maksuttomuutensa vuoksi QGIS:lla on myös useita käyttäjiä ja ohjelmiston käyttöön liittyvät foorumit ovat aktiivisia. Lisäksi QGIS:n käyttöön liittyviä tutoriaaleja löytyy internetistä ilmaiseksi. QGIS:n käyttöä opetetaan myös Savonia-ammattikorkeakoulu Oy:ssä esimerkiksi suunnitteluosaamisen opintojaksolla.

Ensimmäiseksi haetaan hulevesiviemäriverkostotiedot. Kymen Vesi Oy:n tapauksessa tiedot voidaan ladata KeyAqua-verkkotietojärjestelmästä Shapefile-tiedostona. Viemäreiden lisäksi sisällytetään mahdolliset ojat ja rummut. Korkeusmallin ruudut sekä verkosto tuodaan QGIS:iin. Seuraavaksi korkeusmallin ruudut yhdistetään yhtenäiseksi rasteriksi. Työssä esitetään kaksi tapaa verkoston polttamiseen korkeusmalliin, jotka ovat yksinkertainen poltto ja moninkertainen poltto. Yksinkertaisen polton vaiheet käydään ohjeessa yksityiskohtaisesti läpi vaihe kerrallaan. Ensimmäiseksi vektorimuodossa oleva hulevesiviemäriverkosto muutetaan rasterimuotoon. Seuraavaksi rasteria muokataan siten, että verkoston ruutujen arvo rasterissa on 1, ja muiden ruutujen arvo on 0. Viimeiseksi verkostorasteri vähennetään Raster Calculator-työkalulla korkeusmallista. Tällöin korkeusmallin ruuduista, joiden kohdalla kulkee hulevesiviemäri, vähennetään yksi yksikkö ja toiset korkeusmallin ruudut pysyvät muuttumattomina.

Moninkertaisessa poltossa sama prosessi toistetaan, mutta verkostorasterin ruutujen kokoa kasvataan jokaisessa kerroksessa. Sen tavoitteena on luoda poltettuihin uomiin leveyttä sekä kerroksellista syvyyttä sen sijaan, että poltettu uoma olisi vain yksi ruutu rasterissa. Moninkertainen poltto on työläs vaihe, joten ohjeeseen sisällytettiin ohjeet polttojen suorittamiseen hyödyntäen QGIS:n Graphical Modeler-työkalua (Kuva 8). Työkalun käyttö vähentää tarpeellisten hiiren painallusten määrää sekä mahdollistaa polttojen tekemisen nopeasti myös toiselle kohdealueelle sijoittuvalle aineistolle. Työssä ei vertailla yksinkertaisen ja moninkertaisen polton tuottamia tuloksia, eikä siksi voida väittää, että toinen niistä toimisi paremmin kuin toinen.



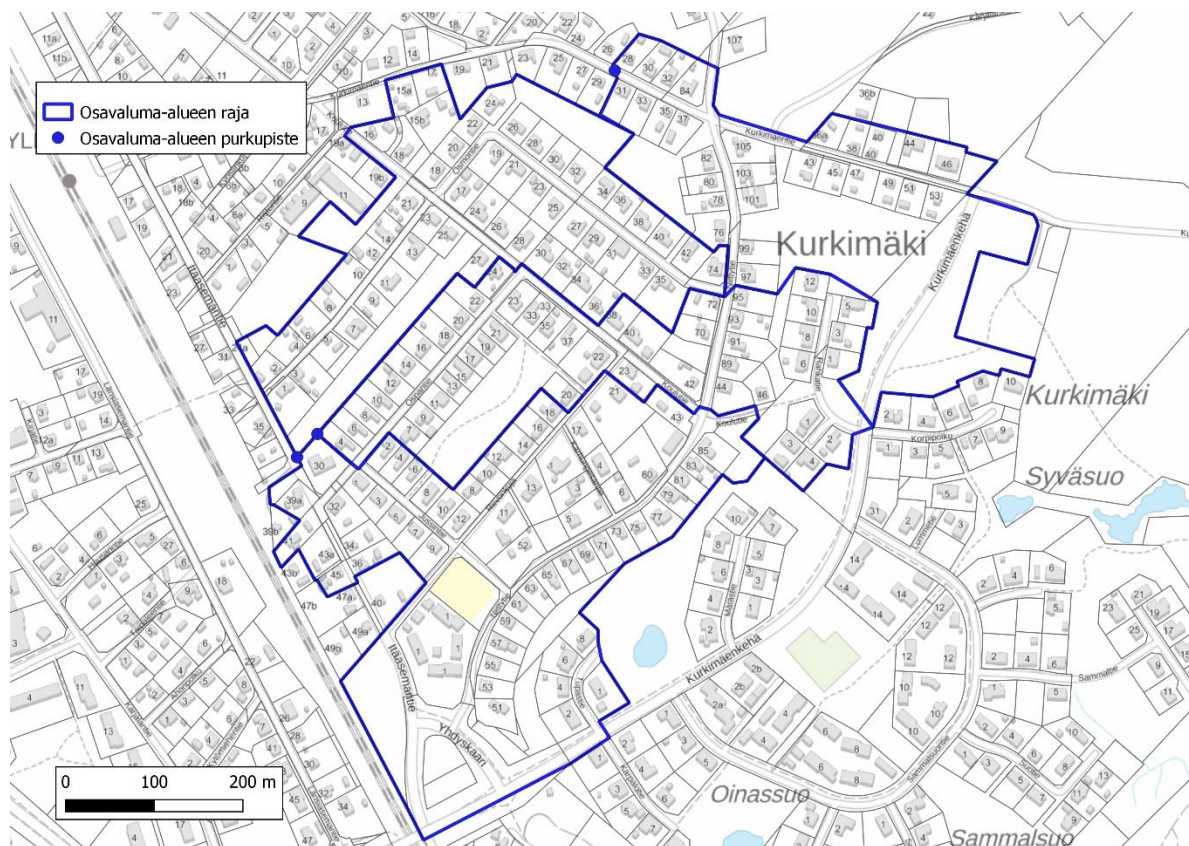
KUVA 8. Työssä hyödynnettiin QGIS:n Graphical Modeler-työkalua hulevesiviemäriverkoston polttamiseksi korkeusmalliin.

### 5.2.3 Valuma-alueen määrittäminen

Ennen valuma-alueiden määrittämistä korkeusmallista tulee poistaa sen sisältämät kuopat. Poistoon käytettäviä työkaluja on QGIS:ssä useita ja kaikki toimivat samalla periaatteella. Seuraavaksi käytetään työkalua, joka määrittää valuma-alueet korkeusmallin perusteella. Ohjeeseen valittiin työkaluksi GRASS:iin sisältyvä `r.watershed`. Työkalu valittiin, koska sen koettiin toimivan luotettavammin kuin toiset vastaavat työkalut. Valuma-alueiden määrittämisen jälkeen korkeusmalliin perustuvia valuma-alueita muokattiin kahdella tavalla. Osavaluma-alueita yhdistettiin toisiin osavaluma-alueisiin purkupisteen ja valuma-alueen koon perusteella siten, että erittäin pienet osavaluma-alueet yhdistettiin toisiin osavaluma-alueisiin. Toiseksi osavaluma-alueiden rajoja muokattiin siten, että ne kulkisivat kiinteistöjen rajoilla säilyttäen kuitenkin alkuperäisen muotonsa mahdollisimman tarkasti. Vertailun vuoksi luotiin osavaluma-alueet, joiden määrittämiseen käytettiin kiinteistörajoja ja hulevesiviemäriverkostoa

## 6 VALUMA-ALUEIDEN VERTAILU

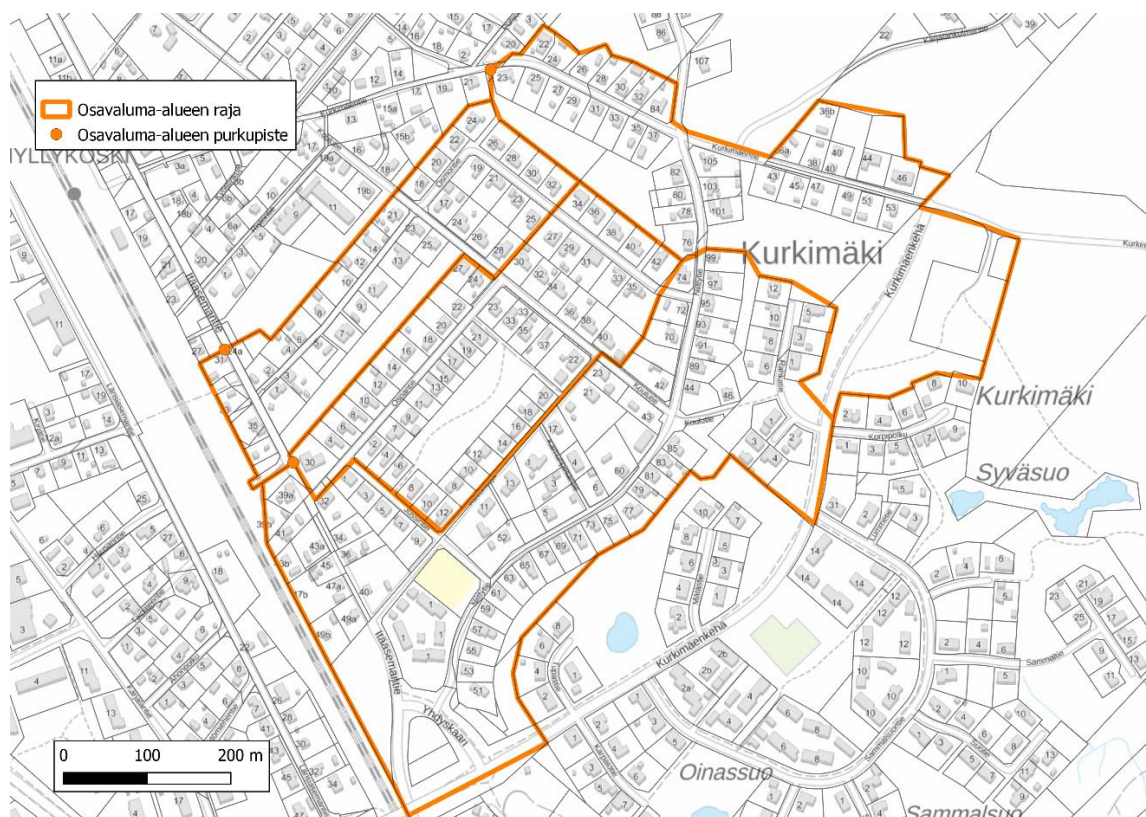
Opinnäytetyössä luodun osavaluma-alueiden määritysohjeen mukaisia osavaluma-alueita voi tarkastella kuvien 9, 10, ja 11. avulla. Kohdealueeksi valikoitui Kurkimäen alue, joka sijaitsee Myllykosken taajamassa Kouvolassa. Kohdealue valittiin, koska alueella on sekä rakennettua että luonnollista ympäristöä. Kuvissa näkyy myös kohdealueella olevien kiinteistöjen rajat, joita pitkin osavaluma-alueiden rajat kulkevat. Osavaluma-alueiden purkupisteitä esitetään kuvissa palloina osavaluma-alueen rajalla. Kuvan 9 osavaluma-alueiden määrityksessä on käytetty mallia, joka perustuu poltettuun korkeusmalliin ja kiinteistörajoihin.



KUVA 9. Poltettuun korkeusmalliin ja kiinteistörajoihin perustuvat osavaluma-alueet kohdealueella (Maanmittauslaitos C. 2021, CC BY 4.0)

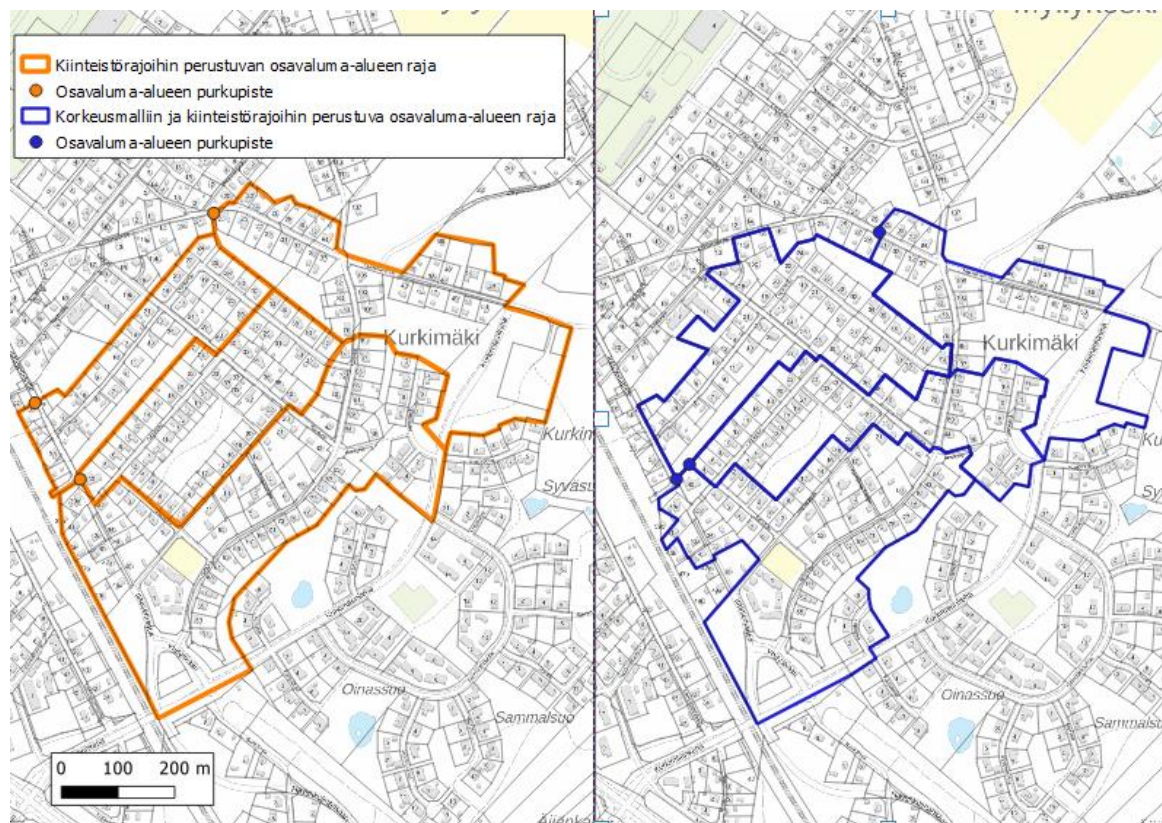
Kuvan 10 osavaluma-alueen määrityksessä käytettiin kiinteistörajoja sekä kohdealueella sijaitsevia hulevesijärjestelmän osia. Määrittävällä tehdyt osavaluma-alueet ovat muodoltaan yksinkertaisempia kuin kuvassa 9.





KUVA 10. Kiinteistörajoihin ja hulevesiviemäriverkostoihin perustuvat osavaluma-alueet kohdealueella (Maanmittauslaitos C. 2021, CC BY 4.0)

Kuvassa 11 esitetään eri tavoilla määritetyt kohdealueen osavaluma-alueet vierekkäin. Kuvan perusteella voidaan todeta, että osavaluma-alueet sijaitsevat suurelta osin samalla alueella.



KUVA 11. Työssä vertailtavat osavaluma-alueiden määrittelyt vierekkäin (Maanmittauslaitos C 2021, CC BY 4.0)

## 7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tavoitteena oli luoda ohje valuma-alueen määrittämiseen kohdealueille, jotka sisältävät sekä rakennettua että luonnollista ympäristöä. Tuloksena syntyi dokumentti, jossa kuvataan osavaluma-alueiden määrittämisen vaiheet yksityiskohtaisesti. Opinnäytetyön toisena tavoitteena oli vertailla ohjeen avulla määritettyjä osavaluma-alueita kiinteistörajojen perusteella määritettyihin osavaluma-alueisiin. Vertailemalla osavaluma-alueiden muotoja sekä pinta-alan kokoa on vaikea tehdä luotettavia johtopäätöksiä osavaluma-alueiden erojen vaikutuksesta hulevesien mallinnustuloksiin. Hyvä jatkotutkimuksen aihe olisikin käyttää opinnäytetyön tuloksena syntynyttä ohjetta maankäyttömuodoltaan erilaisilla valuma-alueilla ja käyttää osavaluma-alueita hulevesien mallinnuksessa.

Opinnäytetyön tekemisen aikana syntyi myös toisia opinnäytetyön aiheeseen liittyviä mahdollisia jatkotutkimuksen aiheita. Osavaluma-alueiden määrittämisohjeeseen sisällytettiin vaihe, jossa korkeusmalliin poltettiin hulevesijärjestelmän osia, mutta sen tuottamia tuloksia ei tarkasteltu syvällisesti. Polttamiseen käytettyä tekniikkaa voisi myös kehittää, sillä ohjeessa käytetty tekniikka oli varsin yksinkertainen.

Kolmas mahdollinen jatkotutkimuksen aihe liittyy laserkeilausaineiston resoluutioon. Vaikka aiheesta on tehty tutkimusta, ei sen perusteella voida tarkasti määrittellä, mikä on tarpeeksi tarkka resoluutio esimerkiksi hydrologisessa käytössä, kuten valuma-alueen määrittämisessä.

## LÄHTEET

- Suomen Kuntaliitto. 2012. Hulevesiopas. PDF-tiedosto. <https://www.kuntaliitto.fi/julkaisut/2012/1481-hulevesiopas>. Viitattu 2.4.2022
- Kasvio, Pinja. Julkaisuaika tuntematon. Hulevesikosteikko Lepolan asuinalueella Järvenpäässä. Kosteikko rakennettiin ennen talojen rakentamista alueelle. Valokuva. <https://www.ymparisto.fi/hulevedet>.
- Lahden kaupunki. 2010. Hulevesiohjelma. PDF-tiedosto. <https://www.lahti.fi/tiedostot/lahden-kaupungin-hulevesiohjelma/>. Viitattu 2.4.2022.
- Oulun kaupunki. 2019. Hulevesienhallinnan suunnitteluohje. PDF-tiedosto. [https://www.ouka.fi/documents/64248/18592082/Hulevesiohjeet\\_Oulu\\_liitteinen\\_23052019\\_pieni.pdf/6b5c15cd-5464-4177-adb0-e6429c04d1e8](https://www.ouka.fi/documents/64248/18592082/Hulevesiohjeet_Oulu_liitteinen_23052019_pieni.pdf/6b5c15cd-5464-4177-adb0-e6429c04d1e8). Viitattu 9.4.2022.
- Vesihuoltolaki.119/2001. Vesihuoltolaki 119/2001 - Ajantasainen lainsäädäntö - FINLEX ®. Viitattu 13.4.2022.
- Maankäyttö ja rakennuslaki. 132/1999. Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999 - Ajantasainen lainsäädäntö - FINLEX ®. Viitattu 13.4.2022.
- Vesilaki. 2011/587. Vesilaki 587/2011 - Ajantasainen lainsäädäntö - FINLEX ®. Viitattu 13.4.2022
- Floodsite Project. 2008. Catchment area. Verkkojulkaisu. <https://www.floodsite.net/juniorfloodsite/html/en/student/thingstoknow/hydrology/catchmentarea.html> . Viitattu 11.4.2022.
- Suomen ympäristökeskus (SYKE). 2014. Uusi valuma-aluejako. Verkkojulkaisu. Päivitetty 1.2.2022. [https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus\\_kehittaminen/Vesi/Tietoaineistot\\_ja\\_jarjestelmat/Valumaaluejarjestelma/Uusi\\_valumaaluejako](https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Vesi/Tietoaineistot_ja_jarjestelmat/Valumaaluejarjestelma/Uusi_valumaaluejako). Viitattu 14.4.2022.
- Väyrynen, Jarkko. 2022. Polttamisen tuottamat uomat näkyvät korkeusmallissa tummina viivoina. Valokuva. 14.4.2022. Paikkakunta: Kuopio. Jarkko Väyrysen kokoelmat. Viitattu 14.4.2022.
- Maanmittauslaitos A. Julkaisuaika tuntematon. Korkeusmallit. Verkkojulkaisu. <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoakorkeusmallit>. Viitattu 4.4.2022.
- Francois, Atilio. 2018. Hydrology with a GIS, for the dummies (that we are): calculation of the flow. Blogi. [https://www.sigterritoires-fr.translate.google/index.php/lhydrologie-avec-un-sig-pour-les-nuls-que-nous-sommes-calcul-de-lecoulement1/?\\_x\\_tr\\_sl=auto&\\_x\\_tr\\_tl=en&\\_x\\_tr\\_hl=en](https://www.sigterritoires-fr.translate.google/index.php/lhydrologie-avec-un-sig-pour-les-nuls-que-nous-sommes-calcul-de-lecoulement1/?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=en&_x_tr_hl=en). Viitattu 16.4.2022.
- Halonen, Juho. 2020. Geoinformatiikan menetelmät 2- Raportti 4. Verkkojulkaisu. <https://blogs.helsinki.fi/gis-blogi2/2020/11/>. Viitattu 10.4.2022.
- Maanmittauslaitos B. Julkaisuaika tuntematon. Laserkeilausaineisto 5 p. Verkkojulkaisu. <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/laser-scanning-data-5-p?msckid=ce762875d09611ec8da0dd76edad486f>. Viitattu 10.4.2022.
- Li, Jing; Wong, David W.S. 2011. Verkkojulkaisu. Effects of DEM sources on hydrologic applications. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2009.11.002>. Viitattu 1.5.2022.
- Kouvola Vesi Oy; Kouvola kaupunki; Kymen Vesi Oy. 2018. PDF-tiedosto. <https://ep.kouvola.fi/kokous/20184574-3-1.PDF>. Viitattu 23.4.2022.

United States Environmental Agency. 2015. PDF-tiedosto. [https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-02/documents/epaswmm5\\_1\\_manual\\_master\\_8-2-15.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-02/documents/epaswmm5_1_manual_master_8-2-15.pdf). Viitattu 5.5.2022.

van der Kwast, Hans. 2020. Burning river in DEM using map algebra in QGIS. Video. Youtube-video-palvelu, julkaistu 8.1.2020. [https://www.youtube.com/watch?v=jHT\\_StPb\\_oM&t=252s](https://www.youtube.com/watch?v=jHT_StPb_oM&t=252s). Viitattu 6.5.2020.

Maanmittauslaitos C. Karttakuvapalvelu. Rajapintapalvelu. <https://www.maanmittauslaitos.fi/karttakuvapalvelu>. Viitattu 4.5.2022.