



HULEVESI- MALLINNUSOHJE

Verkostomallit apuvälineenä Vaasan
kaupunkivesien hallinnassa (VEMA)

Pilottiprojekti: Pitkälahden valuma-alue

Vaasan kaupunki, Kuntatekniikka



OHJEEN TEKIJÄ

Fluidit Oy

Mannilantie 44 A

04400 Järvenpää

+358 10 526 9780

www.fluidit.com

Business ID FI27917193

TILAAJA

Vaasan kaupunki

Kuntatekniikka

Versiohistoria

V	Pvm	Tekijä	Tilaajan yhteyshenkilö
1	19.6.2024	Hannes Björninen, Fluidit Oy	Camilla Tuomela, Vaasan kaupunki, Kuntatekniikka



JOHDANTO

Hulevesimallinnusohjeen tavoitteena on havainnollistaa hulevesimallintamisen kokonaisuutta, tyypillistä prosessia ja mallien käyttötapoja laajalle yleisölle.

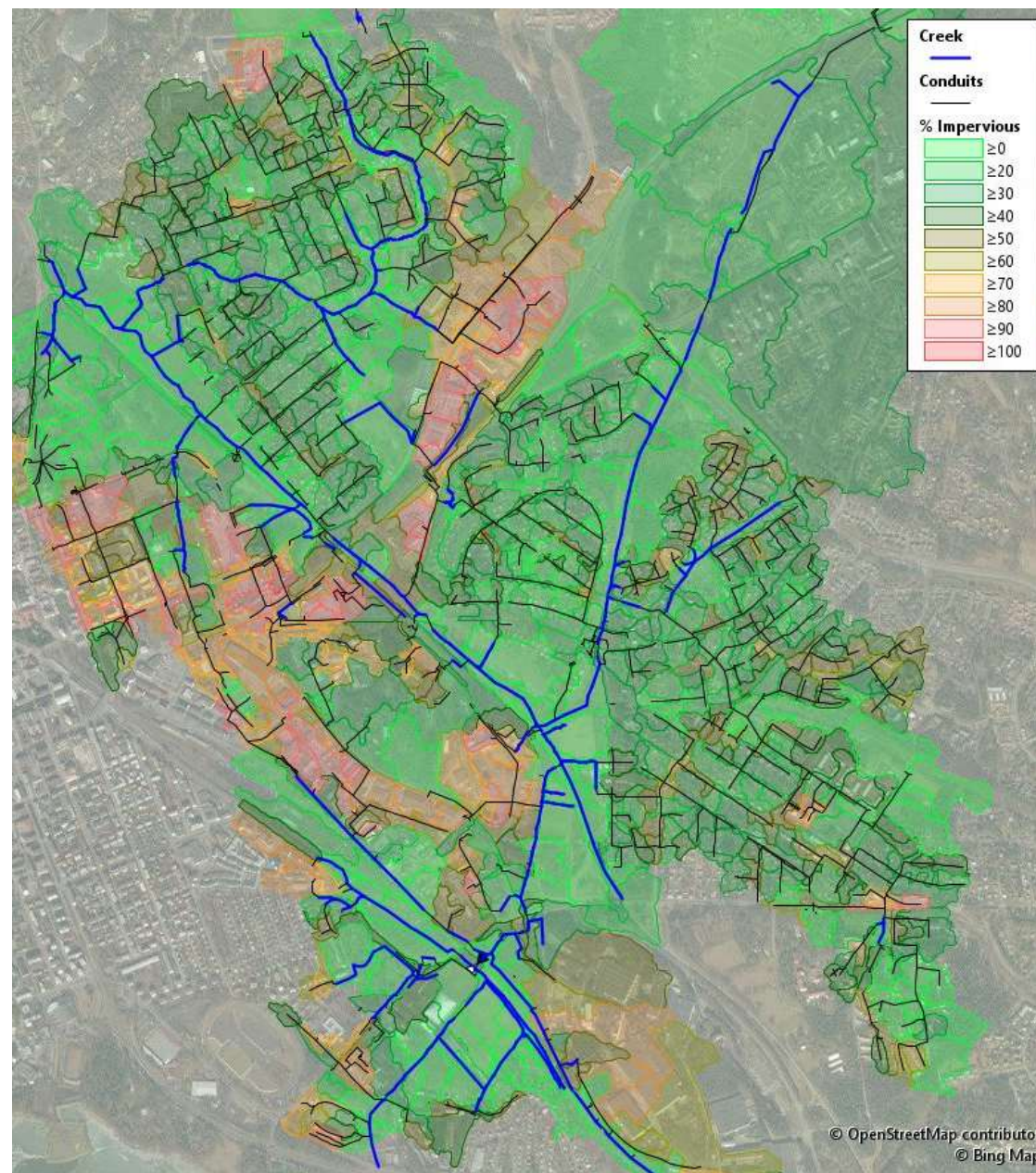
Mallinnusohje kokoa havainnot Vaasan VEMA-projektissa rakennetun hulevesimallin keskeisistä osakokonaisuuksista. Aineistot on laadittu havainnollisiksi ja teknisiä yksityiskohtia on kuvattu yleistasolla. Ohjeistus auttaa hahmottamaan hulevesimallintamisen prosessia, lähtötietotarpeita ja miten mallinnustuloksia voidaan hyödyntää hulevesiin liittyvässä päätöksenteossa.

VEMA-projekti on saanut rahoitusta Ympäristöministeriön Vesiensuojelun tehostamisohjelmasta. Projektin yhtenä tavoitteena oli pilotoida nykyaikaista ja tehokasta hulevesimallinnusjärjestelmää Vaasan Kaupungin käyttöön. Samalla tavoitteena on tarjota valtakunnallisesti skaalattava esimerkki hulevesimallinnuksen kokonaisvaltaisesta hyödyntämisestä Suomen kuntasektorille. Työn tarkoituksena on havainnollistaa eri menetelmiä ja soveltuvaa tarkkuustasoa.

Työn tuloksena syntyy Pitkälahden valuma-alueen hulevesimalli, jolla voidaan tarkastella hulevesiviemäri- ja avo-ojaverkoston toimintaa sekä kaupunkitulvia pintamallinnuksen menetelmin yhtenä kokonaisuutena. Valuma-alueelle ei ole aikaisemmin laadittu kokonaisvaltaista hulevesimallia, joten tässä työssä rakennettu malli toimii arvokkaana alustana valuma-alueen ja virtausreittien kehittämiseen sekä ongelmatilanteisiin varautumiseen. Pilottialue edustaa keskimääräistä suomalaista kaupunkialuetta, koska se sisältää monipuolista maankäyttöä, hulevesiverkostoja, avo-ojavaltaisia pientaloalueita sekä merkittäviä valtaajia.

Työssä päästään pureutumaan tyypillisimpiin hulevesihaasteisiin ja mallinnusmetodeihin sekä kehittämään valtakunnallisesti pätevää ohjeistoa. Työssä esiteltiin eri metodeja verkosto- ja tulvatarkasteluihin, jolloin ongelmakohtiin voidaan puuttua kulloinkin sopivimmalla menetelmällä. Keskeinen osa työtä oli tilaajan mallinnusosaamisen ja -ymmärryksen kehittäminen, jotta mallintamisen hyödyntäminen olisi tehokasta kuntatekniikan ja maankäytön hankkeissa.

Hulevesimalli on rakennettu siten, että se toimii alustana oma-aloitteiseen oppimiseen ja oivaltamiseen. Esimerkiksi valmiit visualisoinnit on hyödynnettävissä muissa Vaasan kaupungin hulevesimallinnushankkeissa.



HULEVESIMALLINTAMISEN TYYPILLINEN PROSESSI



VAASAN HULEVESIMALLI

Hulevesimalli on laadittu pilottialueena toimivalle Vaasan Pitkälähden valuma-alueelle, joka laskee Onkilahteen latvaosien ollessa Karperönjärven eteläpäässä asti. Erityispiirteenä on, että valumareitti päättyy Yhdystien pohjoispuolella sijaitsevaan Vaasan suurimman hulevesipumppaamon kautta Onkilahteen.

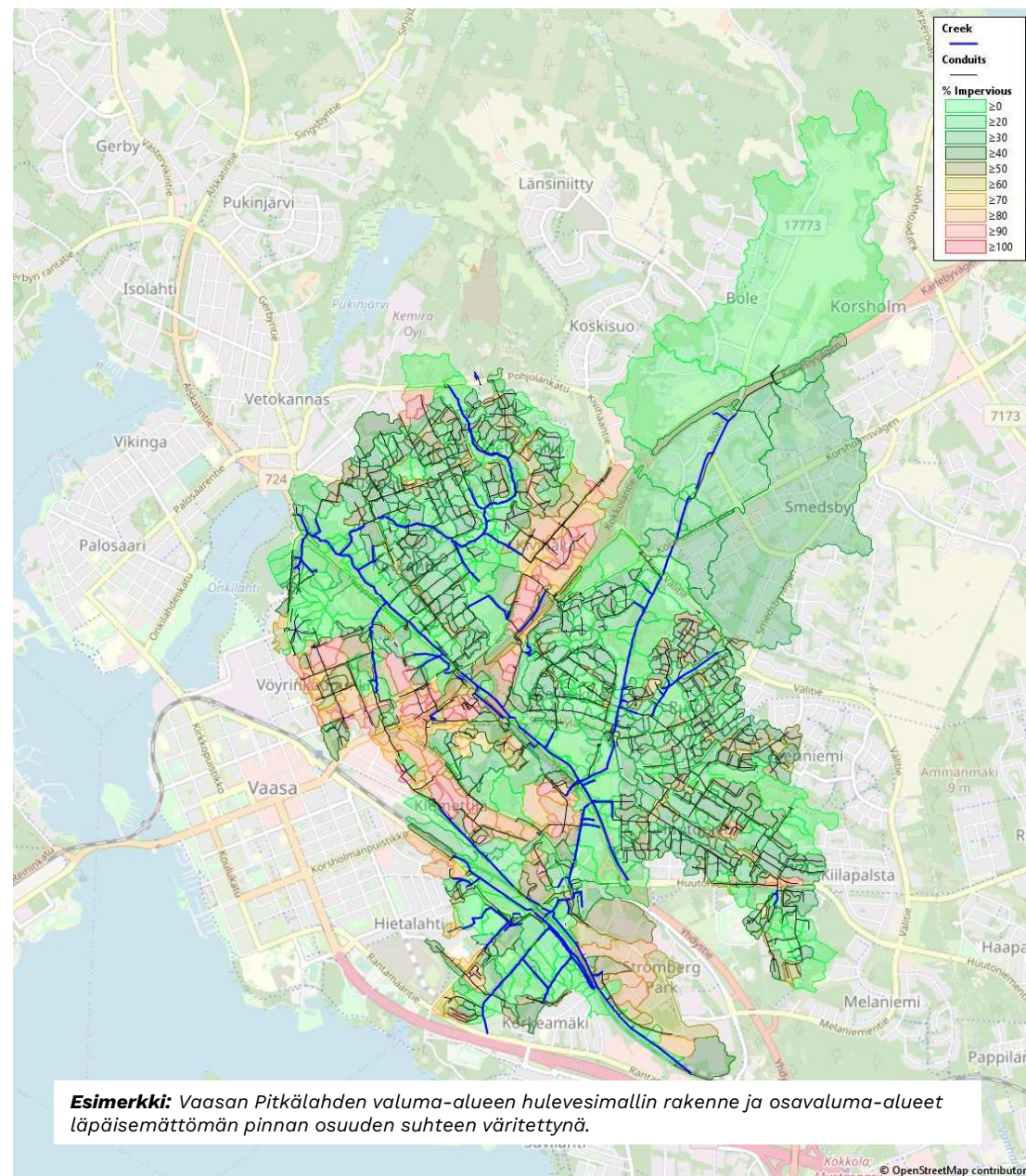
Pitkälähden valuma-alueen hulevesimalli on laadittu suomalaisella *Fluidit Storm* -ohjelmistolla. Ohjelmisto käyttää avoimeen lähdekoodiin perustuvaa *Stormwater Management Model (SWMM)* simulaattoria sadanta-valuntaprosessin ja verkostohydrauliikan mallintamiseen sekä *CAFlood* simulaattoria tulvamallintamiseen. Ohjelmistolla voidaan tarkastella verkosto- ja tulvamallintamista yhtenä kokonaisuutena.

Valittujen mallinnusmenetelmien periaatteena on mallintaa luonnossa esiintyvät fysikaaliset prosessit yksinkertaistettusti, mutta riittävällä tarkkuudella. Menetelmät hyödyntävät Yhdysvaltain ympäristöhallinnon (U.S. EPA) vuosikymmenien tutkimuksen ja kehityksen tuloksia ja on maailman käytetyin menetelmä viemäri- ja hulevesiverkostojen mallintamisessa.

Fluidit Storm on Suomen käytetyin hulevesimallinnusohjelmisto ja laajalti hulevesialan suunnittelijoiden hyödyntämä. Ohjelmisto tarjoaa SWMM-simuloinneille modernin ja monipuolisen paikkatietopohjaisen alustan. Alusta mahdollistaa mallien rakentamisen, muokkaamisen ja tulosten analytiikan monipuolisesti ja havainnollisesti.

PITKÄLAHDEN VALUMA-ALUEEN MALLI NUMEROINA

Mallin pinta-ala	n. 1340 ha (sis. Mustasaari) n. 1000 ha (vain Vaasa)
Hulevesiviemäriverkoston pituus	81 km
Avouomien pituus	21 km
Kaivojen kokonaismäärä	2000 kpl (ei sis. avo-ojien taitepisteitä)
Ritiläkaivojen lukumäärä	300 kpl (suuri määrä pienissä verkoston haaroissa olevista ritiläkaivoista ei sisällytetty malliin)
Osavaluma-alueet	1000 kpl
Purkupisteet	1 kpl (Pitkälahti)
Hulevesipumppaamot	8 kpl (joista 2 Mustasaarella)



HULEVESIJÄRJESTELMÄ

Kaupunginlaajuinen hulevesijärjestelmä on kompleksinen systeemi

Hulevesijärjestelmää kuvaava hydraulinen malli koostuu useista eri komponenteista, jotka yhdessä muodostavat systeemin, jolla hulevesivalunta kuljetetaan valuma-alueilta purkuvesistöön. Vaasan kaupungin hulevesimalliin on sisällytetty hulevesijärjestelmä katualueelta purkuvesistöön asti.

Kaupunkimittakaavassa mallinnettu hulevesijärjestelmä voi sisältää:

- Osavalmualueet
- Kunnalliset hulevesiviemärit ja katualueen kaivot
- Väyläverkkoon liittyvät rummut ja sillat
- Hulevesiviemäriverkon purkureittinä toimivat avo-ojat ja kaupunkipurot
- Alueelliset hulevesien hallintamenetelmät säätorakenteineen
- Tonttikohtaiset hulevesien hallintajärjestelmät
- Hulevesipumppaamot
- Järjestelmän purkupisteet reunaehtoineen (esim. purkuveden korkeus)

Mallin yksityiskohtaisuus vaatii harkintaa

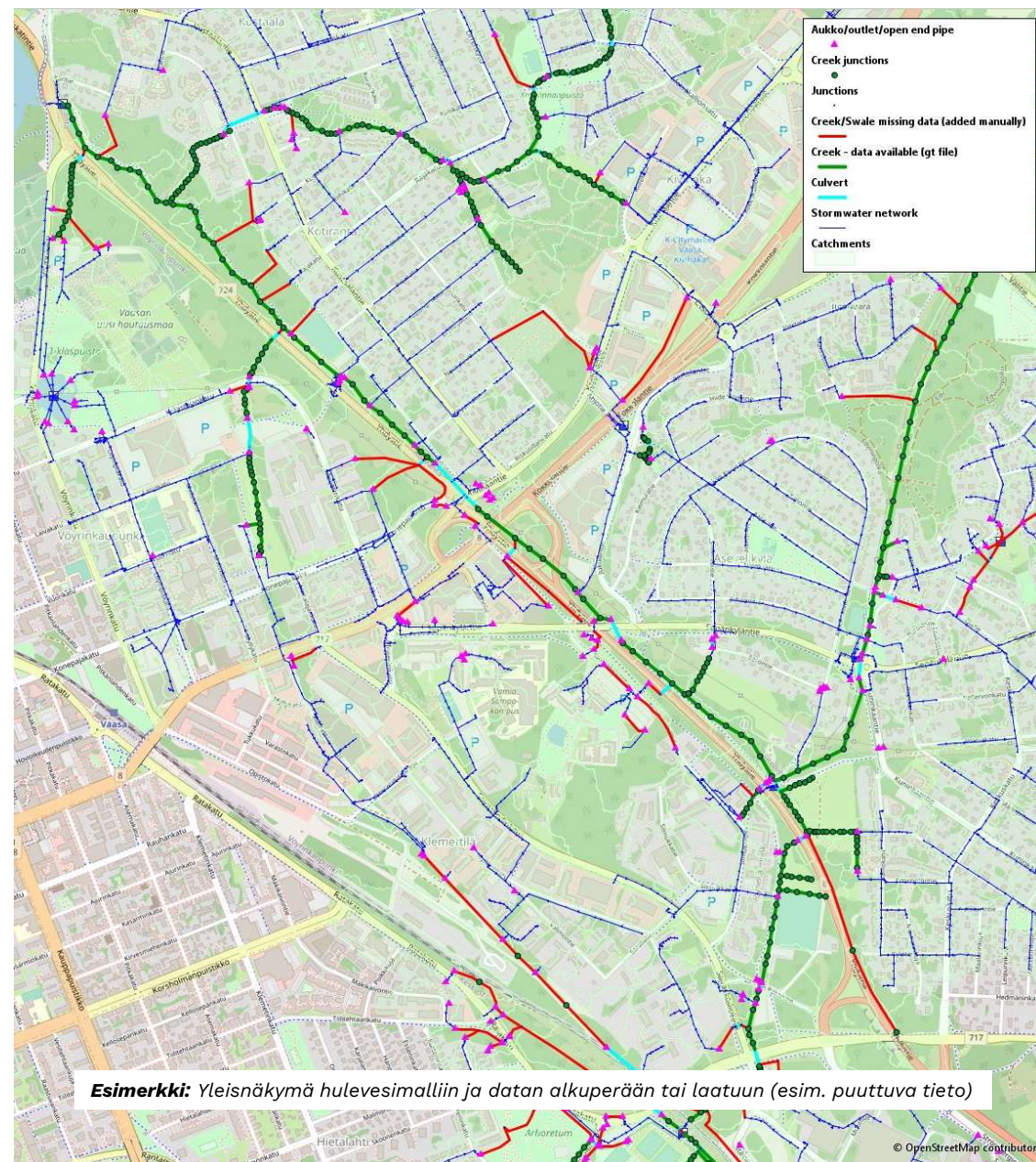
Vaikka teknisesti hulevesijärjestelmä olisi mahdollista mallintaa täysin yksityiskohtaisesti, usein se ei ole tarkastelun tavoitteet huomioiden tarpeellista eikä myöskään kannattavaa. Liiallinen yksityiskohtaisuus voi laskea mallin suorituskykyä, mikä taas voi heikentää mallin käyttökokemusta ja siten vähentää mallin käytön määrää.

Kaupunkimittakaavan hulevesimallista voidaan jättää pois:

- Kiinteistöjen sisäinen hulevesien johtaminen ja hallinta
- Tonttiliittymät (huomioidaan vain liitossolmu päälinjassa)
- Avo-ojiin tukeutuvien pientaloalueiden reunaajat rumpuineen
- Pienissä reunaajissa olevat ritiläkaivot / viikset (ainakin suurin osa)

Osaava mallintaja pystyy optimoimaan hulevesimallin, jotta se palvelee tavoitellussa käytössä tehokkaasti ja riittävän yksityiskohtaisesti. Ominaisuuksia ja yksityiskohtia voidaan tapauskohtaisesti ja paikallisesti täydentää malliin, kun tarve niille ilmenee ja lähtötiedot tämän mahdollistaa.

Hulevesimalli tulisi nähdä jatkuvasti kehittyvänä työkaluna, joka mukautuu tarpeiden, resurssien ja kerättyjen tietojen reunaehtoihin. Mallin päivittäminen ja täydentäminen tulisi olla vuosittainen rutiini, johon varataan asianmukaiset resurssit.



LÄHTÖTIEDOT

Hulevesimallin lähtötiedot määrittävät mallintamisen tarkkuuden, mahdollisuudet ja tulosten laadun.

Lähtötiedot ovat harvoin täydellisiä, joten Fluidit Storm -ohjelmistossa dataa on mahdollista muokata ja eheyttää tehokkaasti suurina joukkoina ja systemaattisesti. Tällöin muutokset ovat läpinäkyviä ja käsitellyt on toistettavissa täysin yhtenevästi myös mallin päivittämisen yhteydessä ja eri osapuolten toimesta.

Parhaimpaan lopputulokseen päästään, kun lähtötiedot ovat:

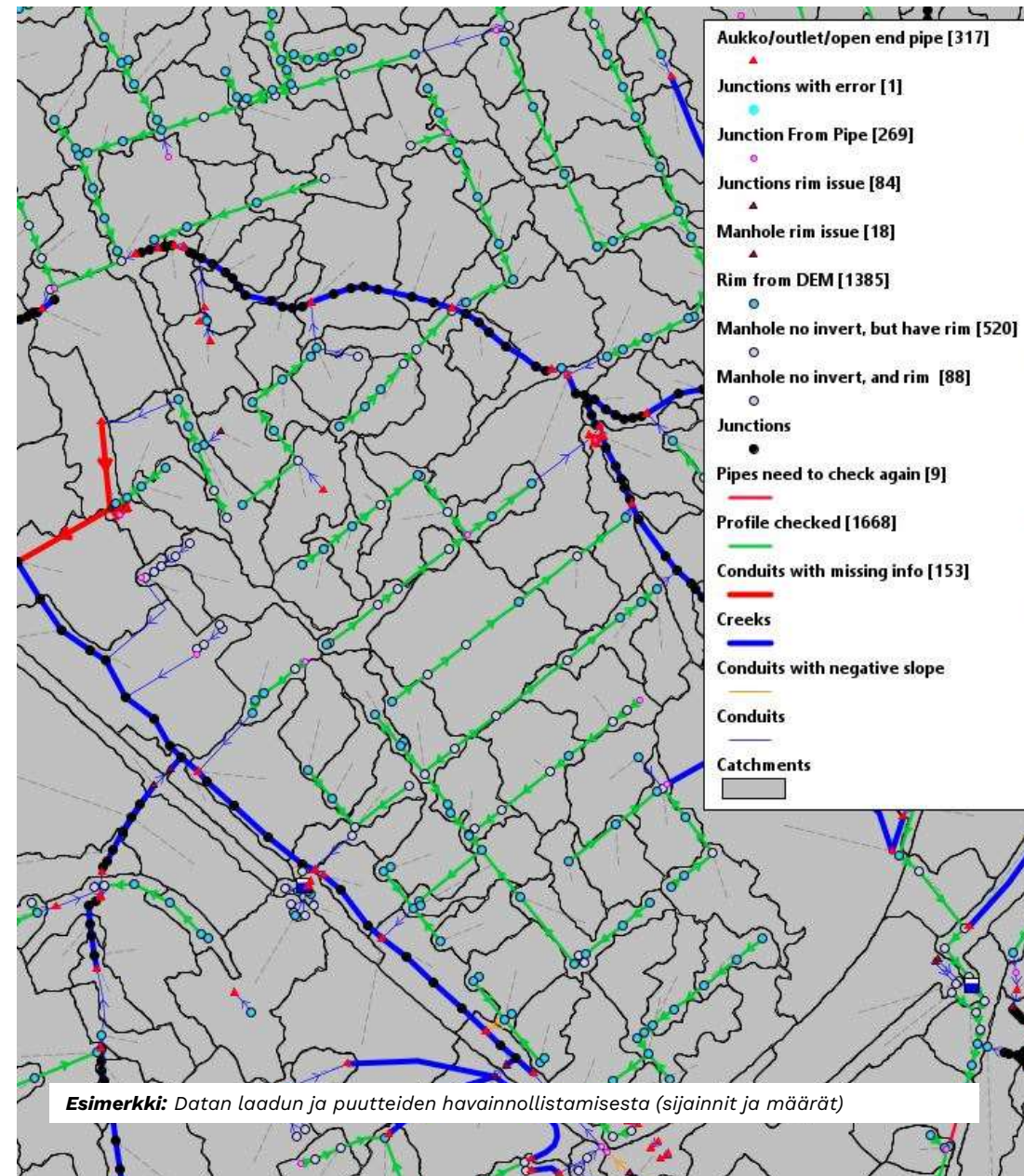
- Ehdet (mahdollisimman vähän aukkoja datassa)
- Selkeästi kategorisoidut tunnisteiden avulla (tag, ID, tai vastaava)
- Koordinaatistoon sidotussa paikkatietoformaattissa ja yhdenmukaisessa korkeusjärjestelmässä
- Esitetty tarkoituksenmukaisella tarkkuudella (ei tarpeettoman tarkka tai liian karkea)

Keskeiset mallintamiseen tarvittavat lähtötiedot on listattu alla ja kuvattu myöhemmin yksityiskohtaisemmin:

- Maastomallit (DEM); *useita formaatteja*
- Verkkotieto (NIS); *.shp*
- Ojien geometria; *.shp, poikkileikkaustaulukot*
- Rummut; *.shp*
- Sadanta; *excel, .csv*
- Virtaamamittaukset; *excel, .csv*
- Vesistöjen pinnankorkeudet; *excel, .csv*
- Pumppaamot; *excel, .csv*

Datan tarkistus ja luokittelu:

Mallin rakentamisen ensimmäinen vaihe on ottaa kaikki saatu data hulevesimalliin, ja käyttää ohjelmiston sisäänrakennettuja paikkatietokyselyjä datan eheyden arviointiin ja virheiden paikallistamiseen. Yllä on esimerkki, jossa puuttuva tai virheelliseltä vaikuttava data on kategorisoitu ja näytetty paikkatietoesityksenä hulevesimallissa.



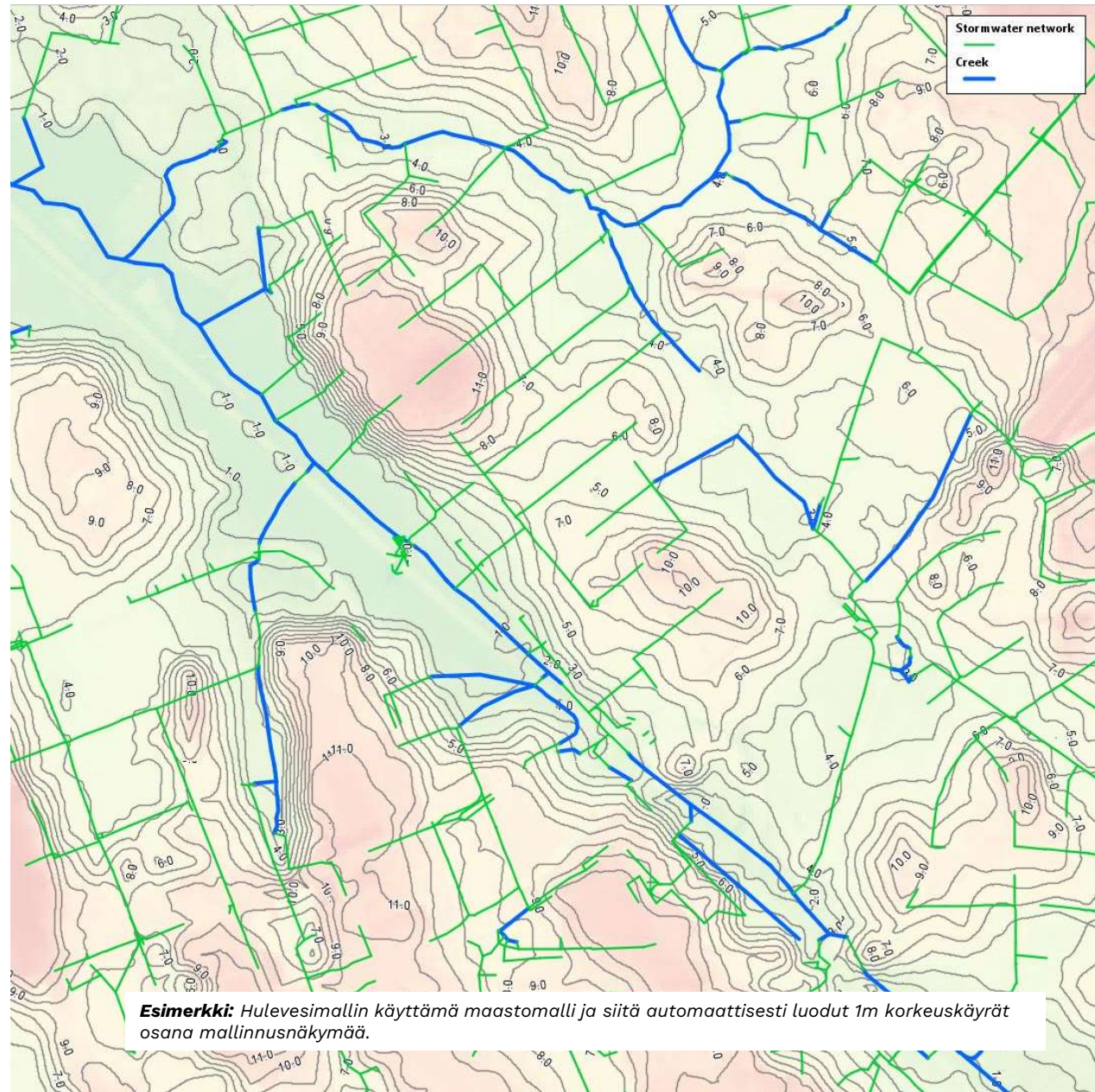
MAASTOMALLIT

Maastomalleja hyödynnetään hulevesimallintamisessa usealla tavalla. Työskentelyn kannalta on eduksi, että maastomalleja voi yhdistellä, muokata ja visualisoida suoraan hulevesimallinnusohjelmistossa ilman tarpeettomia välivaiheita.

Tärkeimmät maastomallien käyttökohteet hulevesimallintamisessa:

- 1) Tarkastelualueen topografian ymmärtäminen ja visualisointi
- 2) Nykyisen verkoston ja virtausreittien hienosäätö; esim. luetaan maastomallista puuttuvia korkeustietoja
- 3) Uuden verkoston piirtäminen realistisesti maanpinnan perusteella (esim. kaivon korkeudet, tai verkoston kaatojen suunnittelu automaattisesti)
- 4) Tulvamallintaminen (pintavalunnan virtaus, valuma-alueiden ominaisuudet)

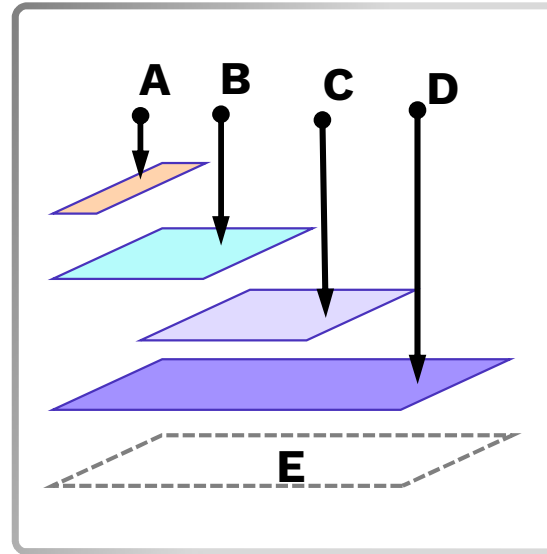
Oheisessa kuvassa on esitetty Vaasan hulevesimallissa käytetty Maanmittauslaitoksen vuonna 2021 tekemää 0.5m resoluution maastomalli ja siitä Fluidit Storm -ohjelmistossa automaattisesti luodut korkeuskäyrät. Korkeuskäyrät on mahdollista luoda halutuinkin



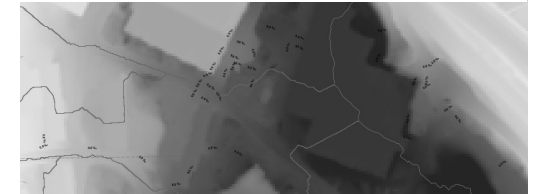
MAASTOMALLIT

Maastomallien käyttöön suositellaan:

- Paikallisesti tarkka maastomalli on aina suositeltavin ratkaisu (rasterimuodossa)
- Verkon kautta automaattisesti Fluidit Storm –ohjelmistoon saatavilla olevat maastomallit (mm. Maanmittauslaitos 2x2 m) ovat myös hyvä lähtökohta työskentelyyn jos muuta ei ole tarjolla ja sen tarjoama tarkkuus riittää.
- 2x2 m aineisto riittää hyvin myös useimpiin tulvamallinnustarpeisiin kaupungissa, mutta avo-ojien osalta ja katutilan yksityiskohtiin se sopii vain varauksin.
- Tuo muita tarkempia aineistoja vain tarpeellisille alueille ja harkiten, jotta aineistot eivät ala raskauttamaan työntekoa.
- Muista, että maastomallit on yksinkertaisin yhdistää automaattisesti suoraan mallinnusohjelmistossa, jolloin aikaa säästyy.



**YKSI EHEÄ MAASTOMALLI
KASATAAN AUTOMAATTISESTI
USEASTA LÄHTEESTÄ**



Esimerkki lopullisen maastomallin kokoamisesta hulevesimallintamista varten:

		Maastomalli (DEM)	Lähde (esimerkki)	Tyyppi	Järjestys
	A	DEM Modification	Suunniteltu maanpinta tai sen yksittäiset muokkaukset	Vektoriaineisto tai piirretään suoraan ohjelman käyttöliittymässä.	1
	B	Grid DEM	Tarkennettu kaupungin maastomalli	Rasteri (tiff)	2
	C	Sparse DEM	Vektoriaineisto (korkeuskäyrät tai pisteet)	Vektori tai pisteaineistoa (.shp, .xml, ...)	3
	D	Basic Elevation Model	2x2m DEM (Maanmittauslaitos)	Rasteri (tiff)	4
	E	Virtual Elevation Model	Esim. 2x2 DEM	Virtuaalimalli, jolla kuvataan vesijuoksun korkoa verkostossa kun uutta verkostoa hahmotellaan.	5

VALUMA-ALUEET

ROOLI HULEVESIMALLISSA

Valuma-alueperusteisen hulevesimallin lähtökohtana ovat koko alueen kattavat oikean kokoiset osavaluma-alueet, jotka on mahdollista määrittää suoraan Fluidit Stormin GIS-pohjaisessa käyttöliittymässä.

Osavaluma-alueiden kokoluokka tulee harkita mallin käyttötarkoituksen ja laajuuden mukaisesti. Esimerkiksi jos hulevesivalunta halutaan kohdistaa jokaiseen ritaläkaivoon, tällöin jokaiselle ritaläkaivolle on määritettävä oma osavaluma-alueensa.

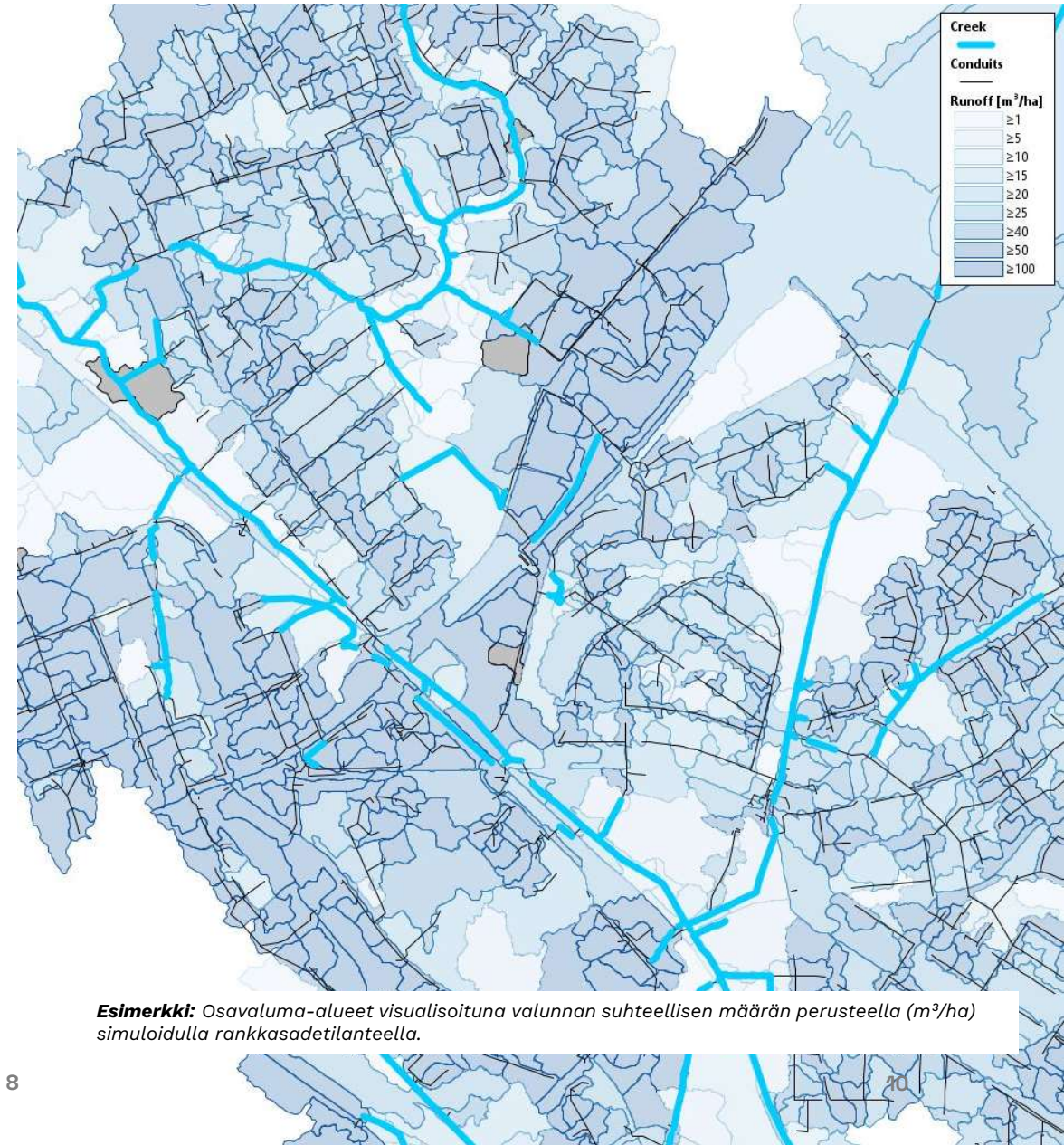
Osavaluma-alueiden määrittäminen on kaksivaiheinen prosessi:

1. Osavaluma-alueiden rajaaminen ja kokoluokan valinta
2. Osavaluma-alueiden parametrisointi

Edellä kuvatut kaksi vaihetta on mahdollista tehdä pienille alueille käsin, mutta koneellinen määrittäminen paikkatietokyselynä on suositelluin tapa suuremmille alueille. Koneellinen määrittäminen on myös systemaattinen ja toistettavissa oleva menetelmä, jolla suunnittelijan henkilökohtaiset oletukset jäävät pois.

Vaasan Pitkälahden valuma-alueen mallissa valittiin osavaluma-alueiden määrittämiseen *Fluidit Storm* ja *ScalgoLive* yhdistelmätyökalua (*Ashofteh Beyraki*, 2022), joka hyödyntää yksityiskohtaista maastomallia ja verkkotietoa automatisoidusti. Työkalu määrittää maaston topografian ja ritaläkaivojen sijainnin perusteella kullekin ritaläkaivolle osavaluma-alueen halutussa kokoluokassa.

Valuma-alueen määrityksessä huomioitiin Pitkälahden mallille asetetut osavaluma-alueen minimikoot. Yleisesti minimikooksi asetettiin 5000 m^2 , mutta Asevelikylän alueella kokeiltiin 1000 m^2 minimikokoa. Näillä asetuksilla malliin syntyi noin tuhat osavaluma-aluetta, joiden kaikki hydrologiset prosessit lasketaan, joka aika-askeleella. Pilottimallissa käytettiin yhden minuutin hydrologista aika-askeleelta.



Esimerkki: Osavaluma-alueet visualisoituna valunnan suhteellisen määrän perusteella (m^3/ha) simuloidulla rankkasadetilanteella.

VALUMA-ALUEET

HULEVESIVALUNNAN LASKENTA

Osavaluma-alue (*catchment*) komponentti sisältää kaikki hydrologiset vesitasapainoon liittyvät laskennat. Yksinkertaistettuna osavaluma-alueella lasketaan sadannan ja alkuhäviöiden suhteet, joista saadaan määritettyä valunnan komponentit aikasarjoina. Keskeisin valunnan tyyppi on hulevesivalunta (*runoff*), mutta myös imeytymisen ja pohjavalunnan komponentteja on mahdollista mallintaa.

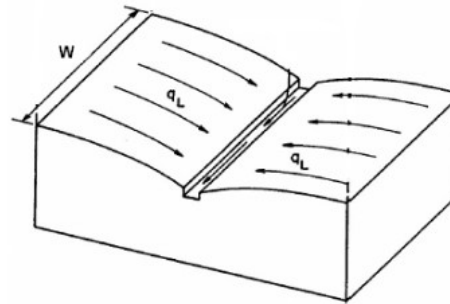
SWMM metodi käsittelee kunkin osavaluma-alueen yksinkertaistettuna suorakulmiona, joilla on mm. koko, mittasuhteet ja kaltevuus. Lisäksi kukin osavaluma ajatellaan sarjana kuvitteellisia altaita, jossa hydrologiset ilmiöt simuloidaan.

Ohessa SWMM-valuma-alueprosessi yksinkertaistetusti neljässä vaiheessa.

Lähde:

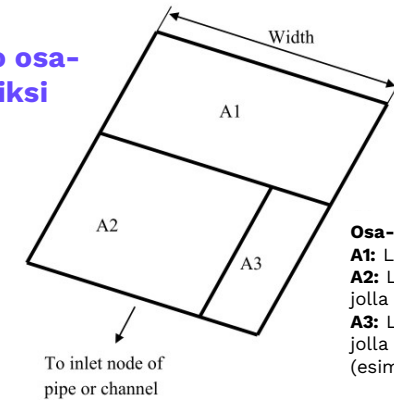
Storm Water Management Model Reference Manual
Volume I – Hydrology (Revised); EPA/600/R-15/162A
Revised January 2016 ; saatavissa suoraan Fluidit
Storm -ohjelmiston kautta

1 Osavaluma-alueen geometria



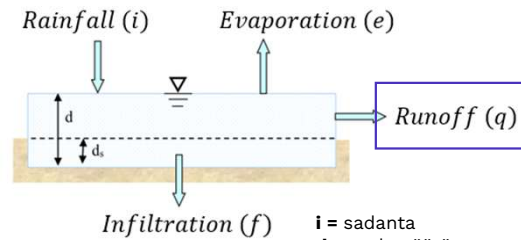
Yksinkertaistettu kuvaus osavaluma-alueen geometriasta

2 Jako osa-alueiksi



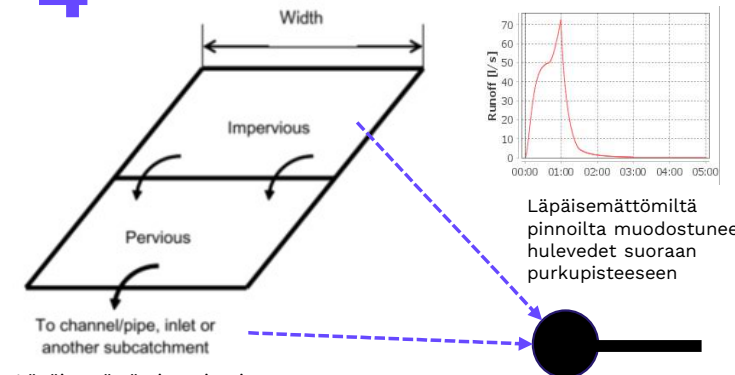
Osa-alueet:
A1: Läpäisevä osuus
A2: Läpäisemätön osuus, jolla painannesäilyntää
A3: Läpäisemätön osuus, jolla ei painannesäilyntää (esim. kattopinnat)

3 Osa-alueiden hydrologia (non-linear reservoir)



i = sadanta
d = sademäärä
f = imeytyminen
e = haihdunta
ds = painannesäilyntä
q = hulevesivalunta

4 Hulevesivalunnan reititys



Läpäisemättömien pintojen hulevedet johdetaan ensin läpäiseville pinnoille tai toiselle osavaluma-alueelle ja vasta sitten purkupisteeseen

Purkupiste
(esim. ritaläkaivo)

VALUMA-ALUEET

VALUMA-ALUEIDEN PARAMETRISOINTI

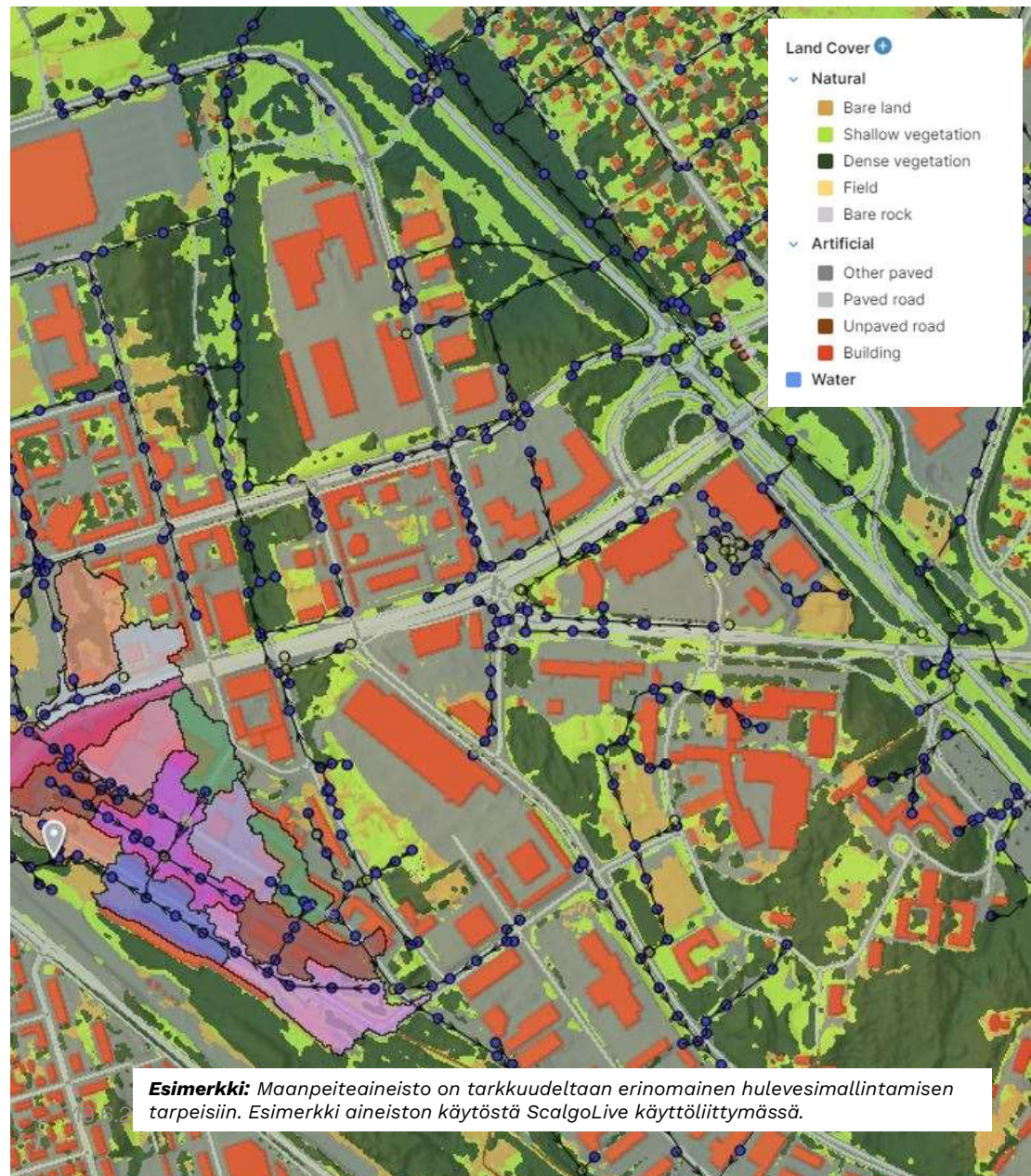
Maankäytön tai maanpeiteaineiston tiedot on muutettava hydrologisiksi parametreiksi. Vaasan hulevesimallissa on hyödynnetty uutta kansallista maanpeiteaineistoa, jonka tarkkuus on erinomainen hulevesimallintamiseen (kts. oheinen kuva).

Osavaluma-alueiden tärkeimmät parametrit ovat:

- Pinta-ala, sijainti ja muoto
- Läpäisemättömien pintojen osuus (% *Impervious*)
- Läpäisemättömien / Läpäisevien pintojen karkeus (*Manning's*)
- Läpäisemättömien / Läpäisevien pintojen painannesäilyntä (*Depression storage*)
- Imeytymisen parametrit
- Valuma-alueen purkupiste (verkoston solmu johon yhdistetään)
- Pisimmän valumareitin pituus ja valuma-alueen laskennallinen leveys
- Osuus, jolta hulevedet arvioidaan päätyvän suoraan verkostoon (%-routed)

Alla on taulukoitu valuma-alueiden maanpeitetyyppien tyypillisiä parametreja, joita voi käyttää alkuoletuksina. Osavaluma-alueiden parametreja tulisi kuitenkin säätää mallin kalibroinnin yhteydessä, jotta tehdyt oletukset voidaan vahvistaa ja validoida. Datapohjaisesta työskentelystä huolimatta mallintajalle jää vastuu useiden parametrien harkinnasta.

Maanpeite	Tyyppi	Hydr.karkeus Manning's (n)	Painanne- säilyntä (mm)
Päällystetty katu	Läpäisemätön	0.015	0.5
Päällystämätön katu	Läpäisemätön	0.03	2
Rakennukset	Läpäisemätön	0.012	0
Muut läpäisemättömät pinnat	Läpäisemätön	0.015	0.5
Vähäinen kasvillisuus (shallow)	Läpäisevä	0.06	4
Runsas kasvillisuus (dense)	Läpäisevä	0.09	5
Paljas kallio	Läpäisevä	0.035	0.5
Paljas maanpinta	Läpäisevä	0.03	2
Vesi	Läpäisevä	0.011	0.1



VERKKOTIETO

Verkkotietojärjestelmästä tarvitaan alla kuvattua attribuuttitietoa hulevesimallin rakentamiseksi:

Putket ja rummut:

- verkkotietojärjestelmän ID
- alku ja loppupisteen sijainti tasokoordinaatistossa (X,Y)
- putken vesijuoksun absoluuttinen korkeus (Z)
- mahdollinen vesijuoksun korkeusero (offset) kaivon pohjasta
- putkimateriaali ja nimelliskoko (esim. B400, M315)
- asennusvuosi

Kaivot:

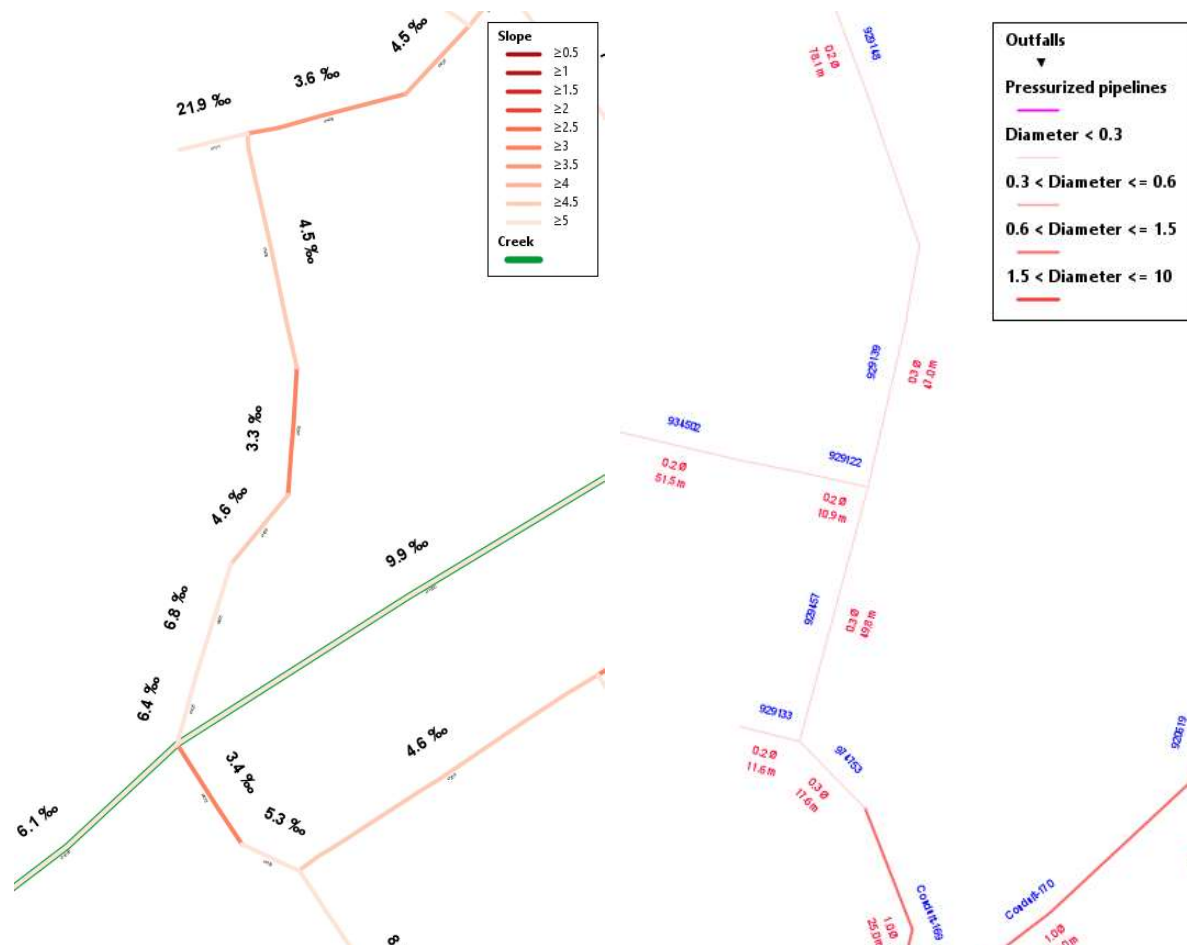
- verkkotietojärjestelmän ID
- kaivon keskipisteen sijainti tasokoordinaatistossa (X,Y)
- kaivon tyyppi (esim. tarkastuskaivo, ritaläkaivo,...)
- kaivon pohjan absoluuttinen korko
- kaivon kannen absoluuttinen korko
- materiaali
- sisähalkaisija tai nimellishalkaisija (esim. B800)

Muut rakenteet kuten ylivuotokynnykset, säätöpadot:

- tyyppi
- dimensiot
- korkeusasema

Muut viitetiedot:

Lisäksi verkkotiedosta voi tuoda rajoittamattoman määrän muuta attribuuttitietoa hulevesimallin *User Data* kenttiin, joista tietoja voidaan hyödyntää kyselyihin ja visualisointeihin. On suositeltavaa toimittaa kaikki tieto mallin rakentajalle, jolloin asiantunteva mallintaja voi tuoda harkiten ja systemaattisesti viitetiedot malliin.



OJIEN GEOMETRIA

Ojien ja kaupunkipurojen rooli korostuu kaupunkien hulevesimalleissa, koska ne toimivat hulevesiä kokoavina ja johtavina pääreitteinä purkuvesistöön.

Avouomien mallintamiseen liittyy suuria epävarmuuksia, koska ojien hydrauliseen välityskykyyn liittyvät muuttujat ovat vain välttävästi tiedossa. Ojien geometriaa on usein tarpeen tarkentaa mallin rakentamistyön alkuvaiheessa. Tarkennuksia voidaan tehdä kuitenkin myös vaihteittain priorisoiden merkittävimpiä verkoston osia.

Tärkeimmät avo-ojista selvitettävät muuttujat ovat:

- Pituusgeometria vesijuoksun tasossa (pysyvän vedenpinnan alla)
- Poikkileikkaukset (sisältäen myös vedenalaiset osan)
- Uoman kunto (penkkojen kunto, sortumat, tukkoisuus)
- Kasvillisuuden tila (tyyppi, hoidettu / ei hoidettu)

Geometrian mittaukset (katso kuva):

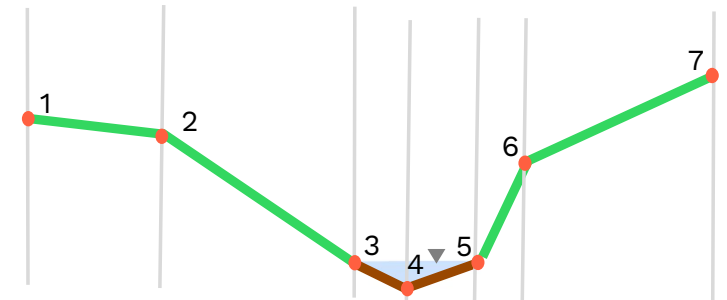
- Ojien mittaaminen pisteinä poikkileikkaus kerrallaan on tärkeää.
- Poikkileikkaukset ojan matkalta säännöllisin välein (esim. 20 m) tai aina kun uoman geometria selvästi muuttuu.
- Mitataan myös kunkin rumpuputken läheisyydessä, noin (1-2 m päässä ennen ja jälkeen).
- Poikkileikkaukset tulisi koota paikkatietoformaattiin siten, että kullakin poikkileikkauksella on uniikki tunniste (ID). Tällöin datan koneellinen luku malliin helpottuu merkittävästi.

RUMMUT

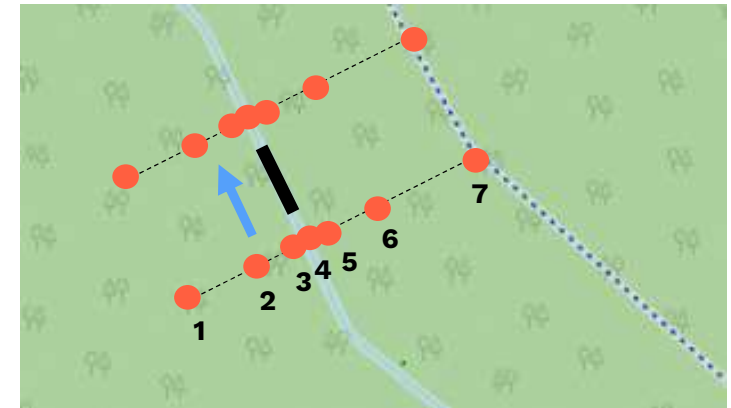
Rumpujen rooli avo-ojien mallinnetussa välityskyvyssä on keskeinen, koska rummut rajoittavat virtaamia enemmän kuin avo-uomien koko.

Tärkeimmät rummuista koottavat tiedot ovat:

- Materiaali ja nimelliskoko (esim. B1000)
- Ylä- ja alapään vesijuoksun korot (jos puhtaat)
- Ylä- ja alapään putken katon (sisäpinnan) korko jos putki on osittain täynnä maa-ainesta. Tärkeä merkitä mittaustapa huolellisesti, ettei tätä sekoiteta vesijuoksun korkoon.
- Edellä kuvatun pohjalta arvio putken täyttöasteesta (maa-aineksen takia) ylä- ja alapäässä, esim. "putki 300mm täynnä sedimenttiä, vapaa korkeus 700 mm).
- Valokuvat rummun kummastakin päästä
- Rummun uniikki ID verkkotietojärjestelmässä



Poikkileikkaus katsottuna alavirtaan



Piste	Pisteen sijainti (katsottuna alavirtaan)
1	Vasen tulva-alueen raja (arvioidaan riittävän kauas pääuomasta)
2	Vasen pääuoman penkan yläpää
3	Vasen pääuoman penkan alapää / vedenpinnan raja
4	Uoman pohja (voi olla myös usealla pisteellä jos leveä)
5	Oikea pääuoman penkan alapää / vedenpinnan raja
6	Oikea pääuoman penkan yläpää
7	Oikea tulva-alueen raja (arvioidaan riittävän kauas pääuomasta)

SADANTA

Hulevesimallissa käytettävä sadantatieto voidaan jakaa kahteen tyyppiin: mitoitussateet ja toteutuneet sateet, joista molemmat vaativat jotain asetusten muutoksia mallissa. Tästä johtuen eri tyyppisten sateiden käyttö kannattaa toteuttaa käyttäen erillisiä aliskenaarioita, jolloin sopivat asetukset voidaan tehdä skenaariokohtaisesti.

Molemmissa edellä kuvatuista tapauksissa sateita käytetään yleisimmin *aikasarjoina*, eli kuvauksena sateen intensiteetistä kullakin aika-askeleella.

Mitoitussateet:

- Hulevesioppaan tai muun vakiintuneen aineiston mukaiset keski-intensiteetit eri sateen kestoille ja eri toistuvuuksille tyypillisesti 1 minuutin aika-askeleella.
- Mitoitussadekirjasto (*Design Storms*) on käytettävissä suoraan Fluidit Storm mallinnusohjelmistossa. Valitut mitoitussateet voidaan tuoda aikasarjoiksi tai kustakin on mahdollista myös suoraan tehdä oma aliskenaario.
- Omia mitoitussadeaikasarjoja on yksinkertainen tehdä ja käyttää.
- Mitoitussateiden osalta malli ei välitä todellisista alku- ja loppupäivämääristä, vaan mallia voidaan simuloida hetkestä "nolla" alkaen esim. 1/1/2024, 0:00:00. Simuloinnin kesto valitaan säätämällä päättymisaika esimerkiksi muutaman tunnin päähän sateen alkamisesta.

Sadehavainnot:

- Toteutuneet sadehavainnot voidaan hakea mallinnusohjelmistossa suoraan Ilmatieteenlaitokselta käyttäen *Weather Station* -komponenttia.
- Sadehavaintojen aika-askel on tyypillisesti 10min, mutta on suositeltavaa käyttää tiheämpää aineistoa jos sellaista on saatavilla esimerkiksi kunnan omilta sääasemilta. Parhain tulos rankkasateiden mallintamisen osalta saadaan yhden minuutin (1 min) aika-askeleella.
- Toteutuneilla sadanta-aikasarjoilla on todellinen aikaleima, jolloin hulevesimalli pitää asettaa simuloimaan näitä vastaavassa todellisessa ajassa.

Design Storm Provider

Finnish Design Storms

DURATION (min)

☐ 5

☐ 10

☒ 15

☒ 20

☐ 30

☒ 60

☐ 180 (3h)

☐ 360 (6h)

☐ 720 (12h)

☐ 1440 (24h)

RECURRENCE (%)

☒ 1 EY

☐ 50%

☐ 33.33%

☒ 20%

☒ 10%

☒ 5%

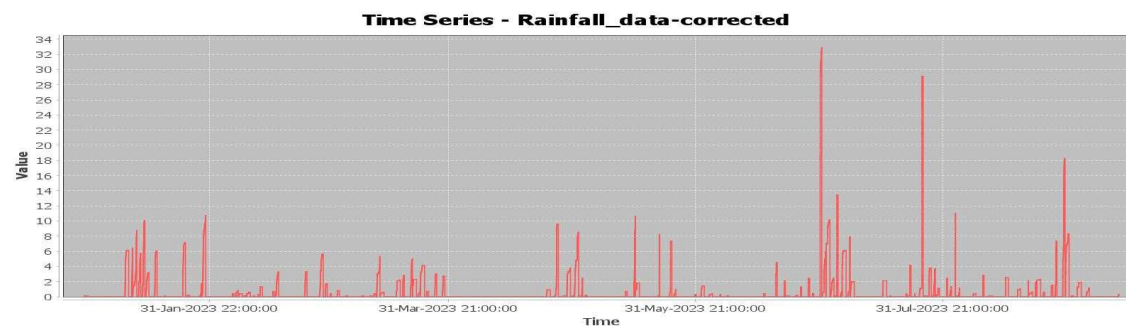
☒ 2%

☒ 1%

RAINFALL INTENSITY (mm/h)

	AEP	15 min	20 min	60 min
1/1 a	1 EY	20.4	18.6	9.6
1/5 a	20%	43.6	38.4	19.2
1/10 a	10%	53.2	46.8	22.8
1/20 a	5%	63.2	55.2	27.0
1/50 a	2%	76.4	66.0	32.4
1/100 a	1%	91.6	74.4	36.6

Esimerkki: Mitoitussateiden esikatselu Design Storm –työkalun kautta. Mitoitussateille määritellään kesto (min), toistuvuus (%) ja intensiteetti (mm/h).



Esimerkki: Sadehavaintojen tarkastelu mallinnusohjelmistossa aikasarjana. Ilmatieteenlaitoksen data haettu suoraan ohjelmistoon Weather Station komponentin kautta usean kuukauden ajalle. Datasta on helppo valita haluttu ajanjakso ja kohdentaa simuloinnit tälle ajalle.

SADANTA

MENETELMIÄ HERKKYYSTARKASTELUUN

Ilmastonmuutoksen huomiointi:

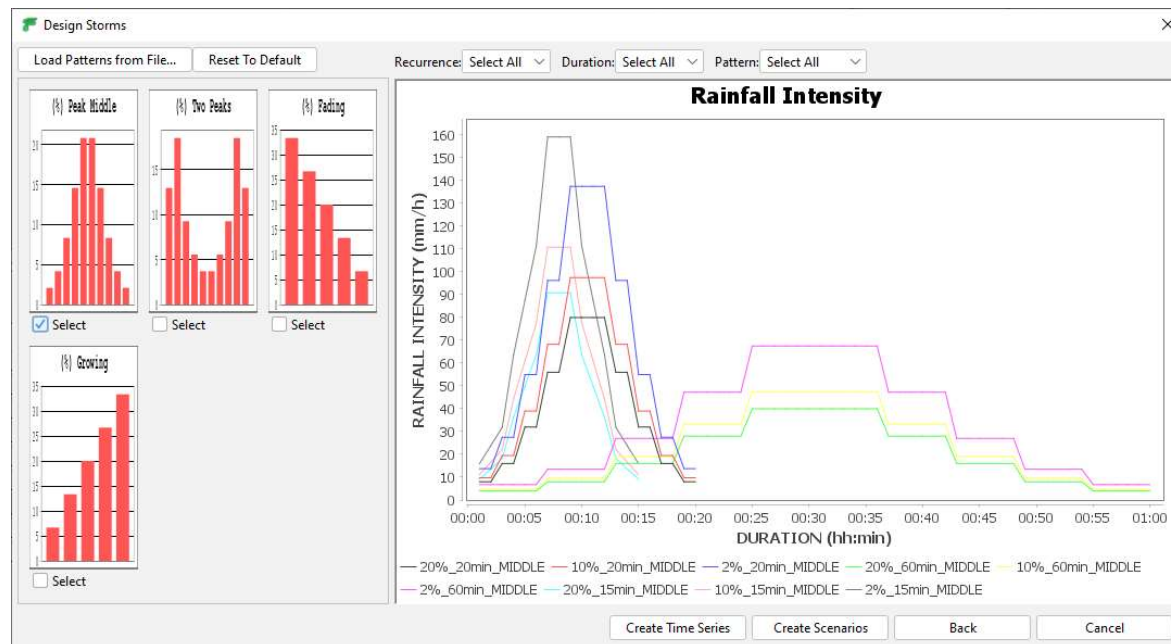
- Ilmastonmuutoksen huomiointi on mahdollista käyttämällä kerrointa sateen intensiteetille. Tyypillinen kerroin tulee valita uusimman tutkimustiedon perusteella.
- Olemassa olevan aikasarjan voi kopioida ja tämän jälkeen muokata yksinkertaisesti *Field Calculator* työkalulla halutunlaiseksi. Esimerkiksi kertoimella 1,35 huomioidaan 35% intensiteetin kasvu.

Sateen liike valuma-alueella:

- Sadeaikaasarjat voidaan kohdistaa mallin eri osa-alueille eri aikoina käyttämällä useaa *Rain Gage* -komponenttia ja määrittämälle sateelle viive. Tällöin sama sade saadaan liikkumaan valuma-alueen yli haluttuun suuntaan ja tietyllä nopeudella.
- Liikkuva sade voi olla tehokas tarkastelu todellisten rankkasateiden analyysiin realistisesti tai herkkyystarkasteluihin käyttäen mitoitussateita.

Sateen ajallinen vaihtelu:

- Mitoitussateille voidaan laatia *Design Storms* -työkalulla ajallinen vaihtelu, jolloin kokonaissademäärä pysyy vakiona, mutta intensiteetti vaihtelee sadetapahtuman sisällä.
- Sateen intensiteetti voidaan asettaa painottumaan esimerkiksi tapahtuman alkuun, keskelle tai loppuun.
- Ajallisesti vaihteleva intensiteetti tarjoaa mahdollisuuden tehdä kattavampaa herkkyystarkastelua ja ongelmakohtien tunnistamista.



Esimerkki: Sateen ajallisen vaihtelun (pattern) huomioiminen mitoitussadetilanteilla. Menetelmä soveltuu herkkyystarkasteluun erinomaisesti. Sen sijaan tiettyyn toistuvuuteen perustuvassa mitoittamisessa sateen ajallista muotoa tulee käyttää varoen, koska sateen muodoille ei ole yksiselitteistä perustetta tai tutkittua esiintymistodennäköisyyttä. Tavanomaisessa mitoittamisessa voidaan näin ollen käyttää tasaisen intensiteetin mitoitussadetta.

HULEVESIEN HALLINTA

Hulevesien hallintamenetelmiä on mahdollista sisällyttää malliin usealla eri toteutustavalla, joilla kullakin on eri tarkkuustaso. Tyypilliset toteutustavat ovat:

1) Oikeiden hulevesirakenteiden mallinnus

Viivytyssäiliö tai hulevesiallas säätörakenteineen voidaan mallintaa osana hulevesijärjestelmää, jolloin allas, purkuaukot ja ylivuotoreitit rakennetaan malliin oikeisiin sijoituspaikkoihinsa ja oikeaa geometriaa noudatellen. Menetelmä soveltuu hyvin tonttikohtaisten ja alueellisten hulevesiratkaisujen mallintamiseen.

Menetelmä on hydraulisesti tarkin ja vuorovaikutukset muun hulevesijärjestelmän kanssa voidaan huomioida. Esimerkiksi vastaanottavan verkoston kapasiteetti vaikuttaa altaan purkautumiseen. Myös tarkat korkeusasemat voidaan suunnitella huolellisesti.

2) Tyyppiratkaisujen käyttö valuma-alueitasolla

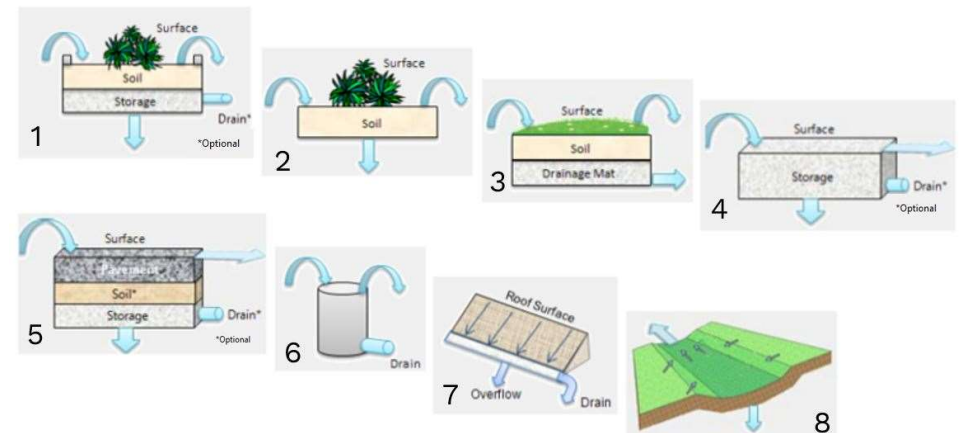
SWMM-metodit mahdollistavat vihreän infran tyyppiratkaisujen luomisen (Low Impact Development, LID) ja näiden menetelmien hajauttamisen osa-valuma-alueille. Tällöin yksittäisten järjestelmien tarkkaan sijoittamiseen ei tarvitse ottaa kantaa eikä hydraulisia yhteyksiä verkostoon tarvitse suunnitella. Sen sijaan voidaan tutkia tehokkaasti ja iteratiivisesti esimerkiksi: *”Kuinka purkupisteessä havaittu hulevesivalunta muuttuu jos valuma-alueille toteutettaisiin 3 biosuodatusaluetta ja kattopinnasta 30% olisi viherkattoa?”*

Kun valuma-alueen konsepti ja suuruusluokka on selvillä, voidaan edetä järjestelmien toiminnalliseen sijoitteluun ja muiden reunaehtojen ratkaisemiseen.

3) Kaavoituksen viivytysmääräykset osavaluma-aluekohtaisesti

Kaavoituksessa esitettyjä yleisluontoisia viivytysmääräyksiä voidaan simuloida karkealla tasolla ja kevyin menetelmin hyödyntämällä osavaluma-aluekohtaisia alkuhäviöitä. Esimerkiksi osa-valuma-alueen alkuhäviötä (vedenpidätyskykyä) kasvatetaan läpäisemättömillä pinnoilla 10 mm, jolloin tämä osuus varastoituu osa-valuma-alueelle. Menetelmä simuloi yksinkertaistetusti tonttikohtaista huleveden viivytystä, mutta merkittävänä rajoitteena on, että varastoituneen veden tyhjenemisaikaa verkostoon ei voi ottaa huomioon. Tyhjeneminen on kuitenkin mahdollista imeytymällä maaperään.

Esimerkki: Hulevesialtaan ja purkurakenteen hydraulista analysointia hulevesimallissa.



Esimerkki: SWMM tyyppiratkaisujen periaatekuvat (Low Impact Development, LID);

Lähde: Storm Water Management Model Reference Manual

Volume I – Hydrology (Revised); EPA/600/R-15/162A

Revised January 2016 ; saatavissa suoraan Fluidit Storm -ohjelmiston kautta

HULEVESIEN HALLINTA

Esimerkkejä suunnittelualueen hulevesien hallintaratkaisujen analyysiin ja vertailuun. Suunnittelija voi vapaasti luoda tarvitsemiansa esityksiä.



Hulevesiallas

Vihreä infrastruktuuri (Low Impact Development)

Vertaileva näkymä (Ei hulevesien hallintaa; Kaavamääräys (planning control); Tarkasti mallinnettu infra (Basin); Tyypiprakentein tehty tarkastelu (LIDs))

KAUPUNKITULVAT

Maanpinnalla tapahtuvaa tulvimista on mahdollista tarkastella yhdessä verkoston kapasiteetin kanssa. Menetelmiä on tarjolla Fluidit Storm -ohjelmistossa useita ja kullakin on hieman erilaiset käyttötarkoituksensa:

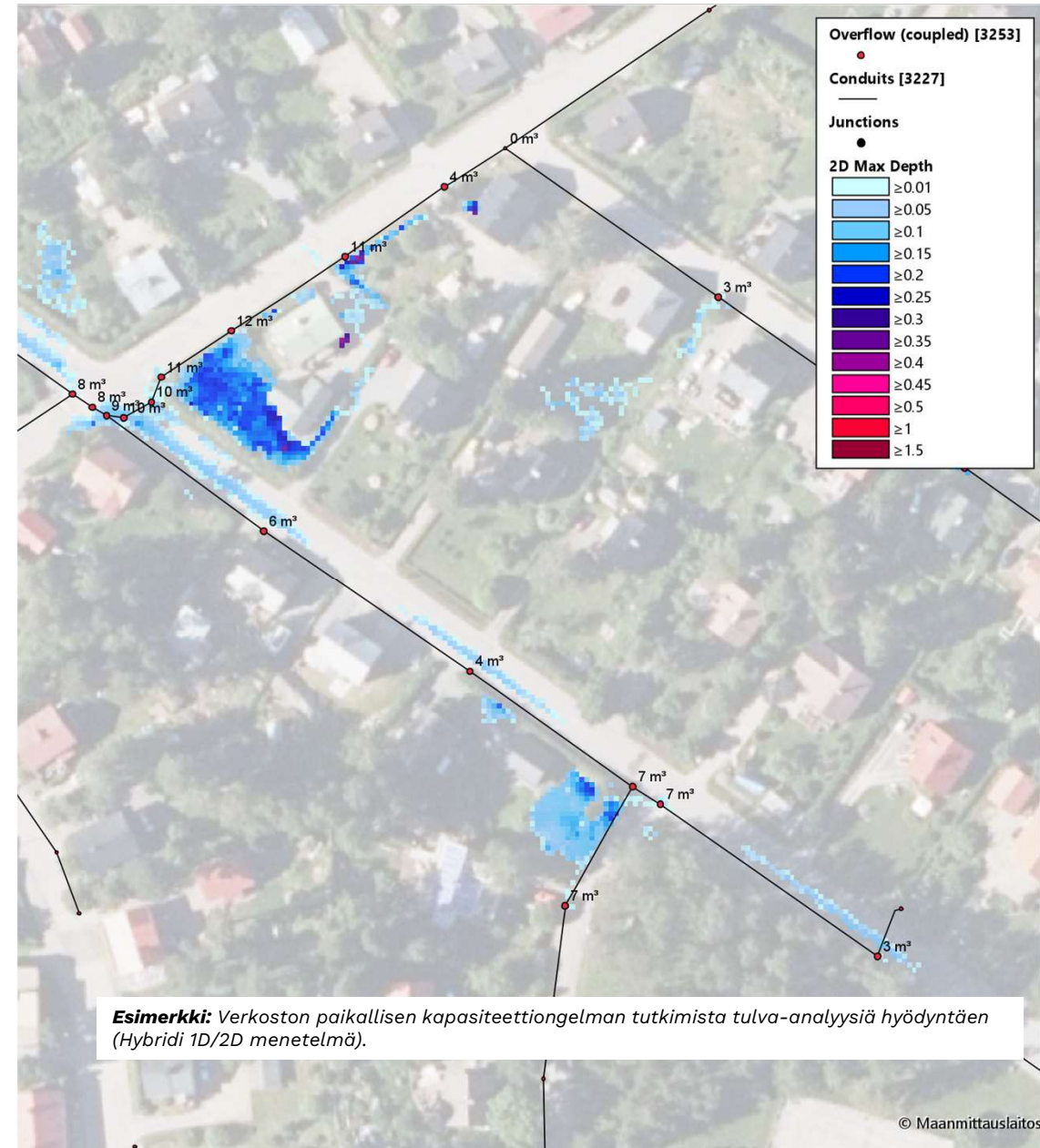
- 1. Vain 2D** tulvatarkastelu, jossa sade tulee maastomallin päälle, mutta putkiverkkoa (1D) ei huomioida. Menetelmä on yksinkertainen toteuttaa ja soveltuu pintavaluntareittien ja lammikoitumisalueiden yleispiirteiseen tutkimiseen tai alkukartoitukseen.
- 2. Hybridi 1D/2D:** verkoston simulointi (1D), jossa valuma-alueiden purkautumiskäyrät laitetaan suoraan verkostoon. Mahdolliset verkoston ylivuodot päätyvät tulvatarkasteluun (2D). Menetelmä on erinomainen verkoston pullonkaulojen havainnointiin ja niistä johtuvien ylivuotojen havainnollistamiseen maanpinnalla.
- 3. Jatkuva 1D/2D** yhteissimulointi, jossa sadanta osoitetaan suoraan maastomallin päälle ja hulevedet päätyvät verkostoon ritiläkaivojen kapasiteetin mukaisesti. Menetelmä on realistisin, mutta raskain simuloida. Ritiläkaivojen ja maastomallin tarkkuus korostuvat.

Tyypillisiä tulvamallintamisen tuloksia ovat:

- Tulvimisen laajuus, syvyys ja virtausnopeudet maanpinnalla
- Tulvavaara (*Flood Hazard; syvyyden ja virtausnopeuden tulo*)
- Tulvimisen kesto

Tulvamallintamisen tarkkuus:

Kaupunkialueella tulvamallinnus tulisi pyrkiä suorittamaan 1x1m tarkkuudella, mikä kuvaa veden virtauksen laskentaan käytettävän hilan (*grid*) ruutujen kokoa. Tällä tarkkuudella kaupunkiympäristön keskeiset yksityiskohdat on mahdollista huomioida ja simulointikuorma pitää riittävän kevyenä ja nopeana.



MALLIN KÄYTTÖ

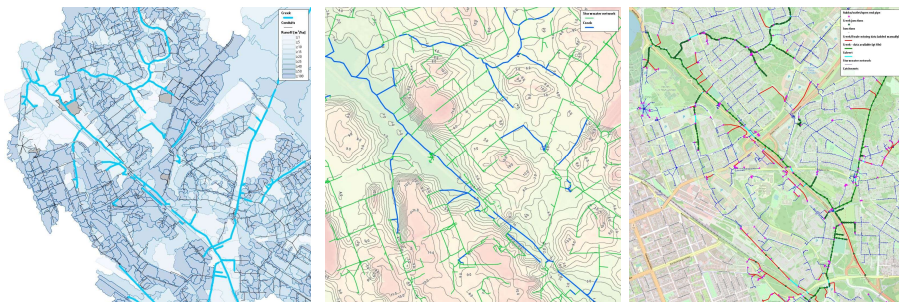
Skenaariot

Hulevesimalliin on mahdollista luoda skenaarioita ja aliskenaarioita (*child scenario*) helpottamaan mallissa työskentelyä. Aliskenaarioiden käyttö mahdollistaa turvallisen, järjestelmällisen ja vertailevan työtavan eri tilanteiden analyysiin tai ratkaisujen kehittämiseen. Aliskenaariot perivät edeltäviltä skenaarioilta (*parent*) ominaisuudet, jolloin mahdolliset muutokset pääskenaariossa jalkautuvat kaikkiin aliskenaarioihin systemaattisesti. Aliskenaarioita käytettäessä päämalli pysyy koskemattomana.

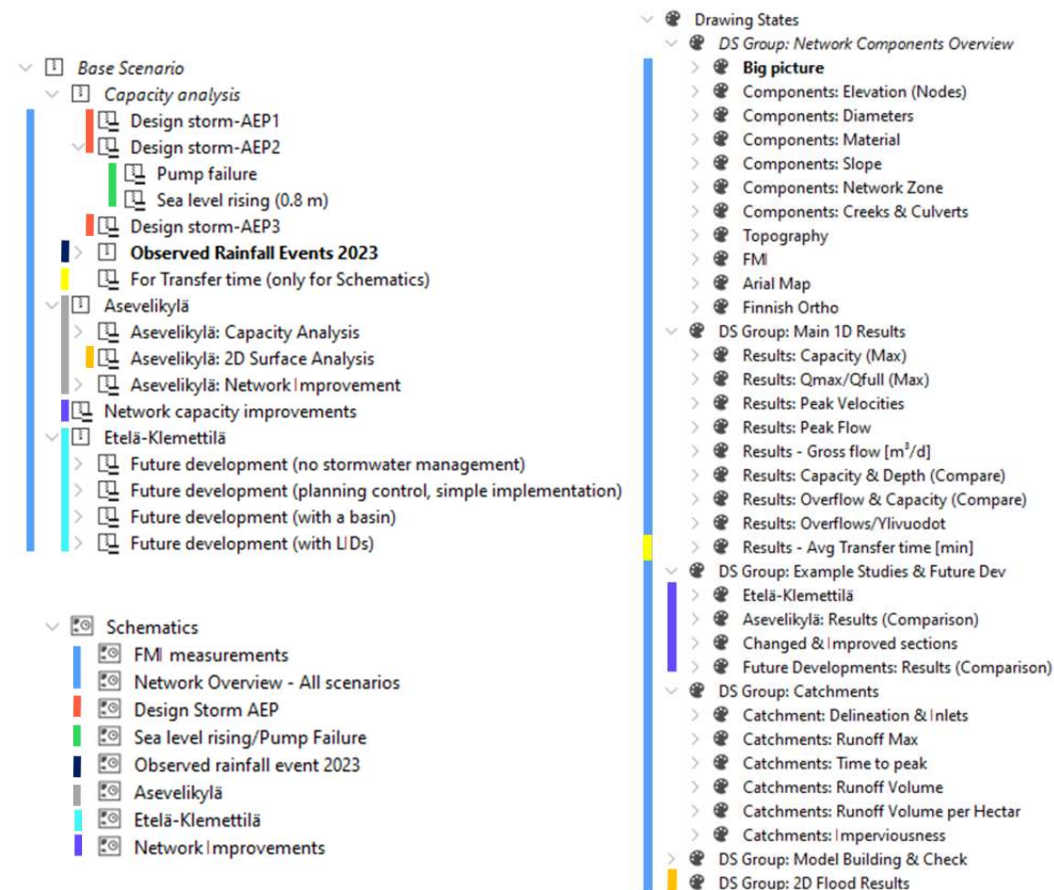
Pitkälahden malliin on luotu skenaariot kapasiteettitarkasteluja varten useille sadetapahtumille. Lisäksi on tehty saneeraustöille, alueellisille tarkasteluille ja suunnitelmavaihtoehtoille omia aliskenaarioita.

Visualisoinnit ja esitykset

Esimerkkivisualisoinnit (*Drawing States*) ja esitykset (*Schematics*) on saatavilla mallissa suoraan moniin käyttötarkoituksiin. Näin ollen erilaisten näkymien välillä on mahdollista liikkua nopeasti ilman datanhallintaa. Tämä mahdollistaa esimerkiksi omien näkymien luomisen mallin rakentamiseen, topografian analyysiin ja hulevesimallin eri tulosten tarkasteluun. Visualisointien muokkaaminen on suoraviivaista ja tarjoaa rajattomat mahdollisuudet analysoida mallin parametreja ja simuloituja tuloksia.



Esimerkki: Datan esimerkkivisualisoinnit (*Drawings States*) ovat helposti mallin käyttäjän saatavilla.



Esimerkki: Pitkälahden malliin laaditut skenaariot ja niihin liittyvät esimerkkivisualisoinnit (*Drawings States*) ja esitykset (*Schematics*) värikoodattuna.

TULOSTEN TARKASTELU

Mallit tuottavat valtavasti tuloksia, joten on olennaista tietää mihin keskittyä tulosten tarkastelussa. Tulosten tarkastelun helpottamiseksi Pitkälahden valuma-alueen malliin laadittiin esimerkkivisualisoituja (*drawing states*), joiden kautta mallin käyttäjä voi nopeasti vaihtaa tulosnäkymästä toiseen.

Mallinnus havainnollistaa vuorovaikutuksia

Kokonaisvaltaisen hulevesimallin tuottamien tulosten suurin arvo on siinä, että tuloksissa huomioidaan vuorovaikutukset koko verkoston mittakaavassa. Esimerkiksi heikon kapasiteetin aiheuttamat ongelmat heijastuvat ylä- ja alajuoksulla havaittaviin tuloksiin todenmukaisesti. Näin ollen myös investointien vaikutukset voidaan arvioida koko verkoston mittakaavassa. Mallin avulla voidaan löytää kokonaisuuden kannalta tehokkaimmat ja turvallisimmat tavat kehittää verkostoa tai varautua erikoistilanteisiin.

Aikasarjat ja tilastolliset tulokset

Tuloksia tarkastellaan sekä *aikasarjoina* että *tilastollisina tuloksina* (esimerkiksi minimi, maksimi ja keskiarvo). Aikasarjoina esitettävät tulokset antavat ajan suhteen muuttuvan kuvan rankkasadetilanteen kehittymisestä, kestosta ja hiipumisesta, mikä mahdollistaa kaupunkiympäristön dynaamisten tilanteiden arviointia. Esimerkiksi voidaan arvioida virtausreittien eri haaroista tulevien virtaamahuippujen yhteisvaikutuksia tulvimiseen. Tilastollisilla tuloksilla saadaan puolestaan nopeasti avainlukuja johtopäätösten tueksi.

Skenaarioiden vertailu

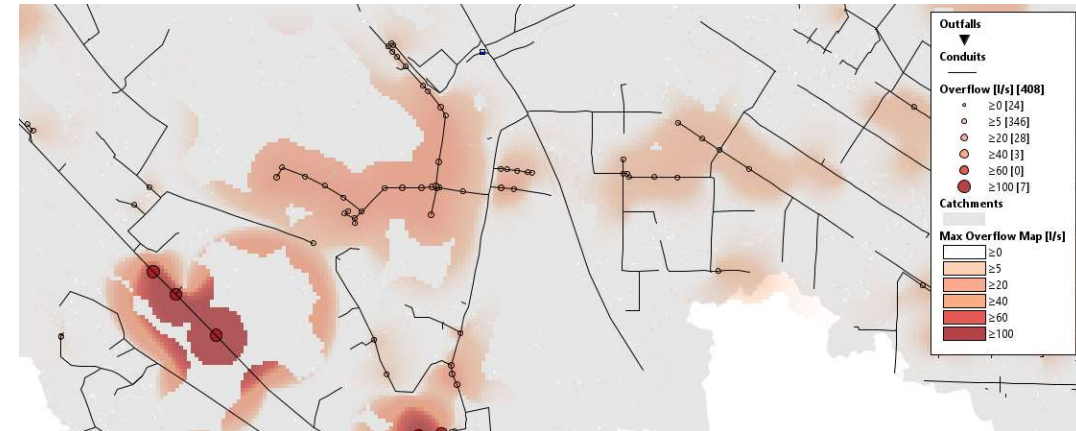
Mallintamisen merkitys korostuu kun eri skenaarioiden tuloksia halutaan vertailla havainnollisesti. Esimerkiksi karttanäkymät ja verkoston pituusleikkaukset voivat sisältää vertailevia tuloksia, jolloin esimerkiksi suunnitelmavaihtoehtojen vaikutusten arviointi ja johtopäätösten teko helpottuu.

Hyödyllisiä hulevesimallista saatavia tuloksia ovat esimerkiksi:

- Huleveden muodostumisen määrä ja kertymisaika verkostoon
- Verkoston kapasiteetti (joko käytetty kapasiteetti tai vapaana oleva kapasiteetti)
- Avo-ojien ja rumpujen välityskyky
- Maksimivirtaamat ja -virtausnopeudet verkostossa
- Verkoston geometrian jatkuvuus mm. putkikoot, kaltevuudet ja pullonkaulat.
- Ylivuotokohdat ja -määrät. Myös ylivuodon laatua voidaan mallintaa.
- Kaupunkitulvat (kts. sivu 17).



Esimerkki: verkoston kapasiteetin tarkastelua kartta- ja pituusleikkauksen avulla.



Esimerkki: verkostosta peräisin olevan tulvimisen esiintyminen ja määrät. Visualisoinnin tarkoituksena on korostaa vain tulvivat kohdat (1D verkostoanalyysi) eikä osoittaa tulvimisen tarkkaa laajuutta. Vertaa kaupunkitulvien 1D/2D analyysiin, jossa tulvimisen laajuus määritetään tarkemmin (sivu 17).

YHTEENVETO

Paikkatietopohjainen työskentely on arkipäivää kaupungeissa, joten työskentelytapojen laajentaminen hulevesijärjestelmän hydrologiseen ja hydrauliseen analyysiin on luontevaa. Hulevesimallintaminen tarjoaa tehokkaat työkalut hulevesiverkoston kokonaisvaltaiseen tarkasteluun ja kehittämiseen. Erityisen hyödyllistä on järjestelmän osien vuorovaikutusten tutkiminen ja skenaarioiden vertailu, mitkä ovat työläitä ja hankalia suorittaa systemaattisesti ilman hulevesimallia.

Hulevesimallintamisen prosessi on tärkeää hahmottaa kaupunkiorganisaatiossa, jotta hulevesijärjestelmän hankkeita voidaan suunnitella ja toteuttaa mahdollisimman tehokkaasti. Esimerkiksi lähtöaineistojen kokoamista ja eheyttämistä tulisi tehdä systemaattisesti, koska tämä palvelee mallintamisen lisäksi myös hankkeiden muuta suunnittelua.

Hulevesimallit ovat parhaimmillaan kalibroituja varsin tarkkoja, mutta silloinkin niiden käyttöön pitää suhtautua työkaluna, joka vaatii ammattilaisen arviointikykyä. Osaava mallintaja pystyy optimoimaan hulevesimallin, jotta se palvelee tavoitellussa käytössä tehokkaasti ja riittävän yksityiskohtaisesti. Ominaisuuksia ja yksityiskohtia voidaan tapauskohtaisesti ja paikallisesti täydentää malliin, kun tarve niille ilmenee ja lähtötiedot tämän mahdollistaa.

Vaikka lähtötietojen laatu on mallinnusprojektien sujuvuuden ja tulosten kannalta hyvin merkittävää, mallista on paljon apua myös karkeampia lähtötietoja käytettäessä. Esimerkiksi vuorovaikutussuhteiden tunnistaminen ja skenaarioiden vertailu on hyvin arvokasta, vaikka ilmiöiden suuruusluokkaa ei olisikaan pystytty täysin varmistamaan mittauksen ja mallin kalibroinnin avulla. Näissäkin tapauksissa malli tarjoaa havainnollisia ja systemaattisia työkaluja vaihtoehtojen vertailuun ja päätöksentekoon.



Hulevesimalli tulisi nähdä jatkuvasti kehittyvänä työkaluna, joka mukautuu tarpeiden, resurssien ja kerättyjen tietojen reunaehtoihin. Mallin päivittäminen ja täydentäminen tulisi olla vuosittainen rutiini, johon varataan asianmukaiset resurssit.

Vaasassa kaupunkivesien kokonaisvaltaiseen hallintaan ja hulevesimallien hyödyntämiseen panostetaan määrätietoisesti. Hulevesimalleja voidaan hyödyntää muun muassa omaisuudenhallinnassa, infrastruktuurin suunnittelussa, tulvariskien arvioinnissa ja ympäristövaikutusten minimoinnissa. Osaamisen kehittäminen edellyttää pitkäjänteisyyttä ja entistä tiiviimpää yhteistyötä kaupunkiorganisaation sisällä.

Vaasassa Pitkälahden valuma-alueen hulevesimallia täydennetään seuraavaksi Vaasan keskustan, Palosaaren ja Hietalahden alueet kattavalla mallilla KUHA-hankkeessa (*Kuormitus Haltuun – Vaasan keskusta-alueen kaupunkivesien hallintasuunnitelma*). Hulevesimalli laaditaan VEMA-projektin opein, mutta KUHA-hanke laajentaa vuorovaikutusten analyysiä myös jätevesi- ja hulevesiverkostojen ristiin tarkasteluihin ja yhteisvaikutuksiin. KUHA-hanke korostaa mallintamisen tarjoamia mahdollisuuksia monimutkaisten vuorovaikutussuhteiden ymmärtämisessä ja riskienhallinnassa.



V A A S A .

Lähteet

Ashofteh Beyraki, Moein, 2022: Automated catchment definition for simulations of city-scale stormwater network, Master's thesis, Tampere University, Master of Science (Technology) Degree Programme in Environmental Engineering, Dec 2022

U.S. EPA, 2016. Storm Water Management Model Reference Manual
Volume I – Hydrology (Revised); EPA/600/R-15/162A
Revised January 2016 ; saatavissa suoraan Fluidit Storm –ohjelmiston kautta

U.S. EPA, 2017. Storm Water Management Model Reference Manual
Volume II – Hydraulics (Revised); EPA/600/R-17/111
May 2017 ; saatavissa suoraan Fluidit Storm –ohjelmiston kautta

