



**SAVONIA**

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# EPANET JA SWMM OSANA VERKKOTIETOJÄRJESTELMÄÄ

TEKIJÄ

Ville Pennanen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Ville Pennanen	
Työn nimi Epanet ja SWMM osana verkostotietojärjestelmää	
Päiväys	10.10.2013
Sivumäärä/Liitteet	31/5
Ohjaaja(t) Yliopettaja Pasi Pajula	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Keypro Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Vesihuollossa vesi- ja viemäriverkostojen suunnittelussa on käytetty verkostomalleja, jotka perinteisesti on laadittu suunnitteluasiakirjojen, pituusleikkauksien ja karttojen avulla. Paikkatietojärjestelmien ja teknologian kehittymisen seurauksena verkostojen toimintaa kuvaavia malleja pystytään tuottamaan nykyisin paikkatietoon perustuvien verkkotietojärjestelmien avulla. Tällöin verkostomallien luominen on merkittävästi helpompaa ja nopeampaa. Tämän insinööritöiden tavoitteena oli tutkia KeyAqua-verkkotietojärjestelmän soveltuvuutta viemäriverkostojen mallinnukseen. Työn toisena tavoitteena oli tutkia Epanet- mallinnusohjelman mallinnustuloksien siirtämistä verkkotietojärjestelmään ja niiden havainnollistamista järjestelmässä. Työssä käsiteltiin myös verkostomallinnuksen teoriaa ja Epanet- ja SWMM-mallinnusohjelmien kykyjä ja ominaisuuksia.</p> <p>Verkkotietojärjestelmän sisältämästä verkosto- ja kulutustiedon pohjalta laadittiin mallinnusohjelmaan vietävä siirtotiedosto, jonka toimivuutta mallinnuksen lähdemateriaalina testattiin mallinnusohjelmassa. Teoriaosuus tehtiin kokoamalla tietoa verkostomallinnuksen teoriasta, mallinnusohjelmien kyvyistä ja teemakaritoitus vaihtoehdoista.</p> <p>Työn tuloksena saatiin selville siirtotiedossa ilmenneitä ongelmia ja parannuskohteita. Siirtotiedostoa ei saatu täysin toimivaksi ja ongelmana olivat tiukka aikataulu ja yrityksen muut päällekkäiset projektit. Tältä osin siirtotiedoston tarkempi testaaminen ja KeyAquan kehittäminen ovat tarpeen. Työn tuloksena yritys sai myös tietoa mallinnusohjelmien kyvyistä ja mahdollisuuksista ja siitä miten ohjelmien mallinnustuloksia voitaisiin esittää verkkotietojärjestelmässä.</p>	
Avainsanat	
viemäriverkosto, vesijohtoverkosto, verkkotietojärjestelmä, verkostomallinnus, Epanet, SWMM	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author(s) Ville Pennanen			
Title of Thesis Epanet and SWMM as Part of the Network Information System			
Date	10 October 2013	Pages/Appendices	31/5
Supervisor(s) Mr Pasi Pajula, Principal Lecturer			
Client Organisation /Partners Keypro Oy			
<p>Abstract</p> <p>Water distribution network models are often used in management and design of water distribution systems. Compilation of these network models by using system maps and design plans is a very arduous process. The Development of Geographic Information Systems (GIS) has made the production process of network models easier. The aim of this project was to study the suitability of the KeyAqua-Network Information System (NIS) in sewer system modeling. The second aim of this project was to investigate how the modeling results can be presented in the network information system by using thematic maps. Capabilities of the Epanet and SWMM modeling programs were also studied in this project.</p> <p>The source data from the NIS, which includes network and water consumption information, was used to create an input file. The input file was tested as an information source of the modeling process in the modeling program. The theoretical section of the project was made by collecting information about network modeling, software capabilities and thememap options</p> <p>As a result of this project some problems and suggestion for improvements of the input file were discovered. It was found out that it is necessary to test and develop the input file and the KeyAqua system further. In addition the company also received information on the modeling software's capabilities and opportunities, and how the simulation results could be presented on the network information system.</p>			
Keywords			
Sever networks, water distribution system, network information system, network modeling, Epanet, SWMM			

## ESIPUHE

Opinnäytetyö tehtiin Keypro Oy:n toimeksiannosta. Haluan kiittää yritystä mahdollisuudesta opinnäytetyön tekemiseen ja mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta.

Haluan kiittää myös työn ohjaajia yliopettaja Pasi Pajulaa ja tuotepäällikkö Jussi Hyvöstä työni ohjaamisesta.

Kuopiossa 10.10.2013

Ville Pennanen

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	7
2	VERKOSTOMALLINNUS VESIHUOLLOSSA .....	8
2.1	Mallinnustavat .....	8
2.1.1	Staattinen malli .....	8
2.1.2	Dynaaminen malli .....	9
2.1.3	Transienttianalyysi .....	9
2.2	Mallinnuksen lähtöaineisto .....	9
2.2.1	Verkostotiedot .....	9
2.2.2	Verkoston vesimäärät .....	9
2.3	Verkostomallinnuksen vaiheet .....	10
2.3.1	Lähtöaineiston hankkiminen ja mallinnuksen tavoitteet .....	10
2.3.2	Mallin rakentaminen .....	10
2.3.3	Verkostomallin kalibrointi .....	11
2.3.4	Mallinnus ja tulosten tarkastelu .....	12
3	VERKKOTIETOJÄRJESTELMÄN HYÖDYNTÄMINEN VIETTOVIEMÄRIN MALLINNUKSESSA.....	13
3.1	KeyAqua-verkkotietojärjestelmä .....	13
3.2	Viemäriverkostomallin tuottaminen verkkotietojärjestelmästä .....	13
3.3	SWMM-mallinnusohjelma .....	14
3.4	SWMM-mallinnusohjelman rakenne ja ominaisuudet .....	14
3.5	Input-tiedoston rakenne .....	15
3.5.1	Mallinnusta ja projektia koskevat tiedot ja asetukset .....	16
3.5.2	Verkoston komponentteja koskevat tiedot .....	16
3.5.3	Verkoston vesimääriä koskevat tiedot .....	17
3.5.4	Raporttiedoston sisältö .....	18
3.5.5	Koordinaattitiedot .....	18
3.6	Siirtotiedoston testaaminen .....	19
3.7	SWMM-mallinnustulosten esittäminen verkkotietojärjestelmässä .....	22
3.8	Siirtotiedoston testauksen yhteenveto .....	22
4	EPANET-OHJELMAN MALLINNUSMAHDOLLISUUDET JA MALLINNUSTULOSTEN ESITTÄMINEN VERKOSTOTIETOJÄRJESTELMÄSSÄ .....	23
4.1	Epanet-mallinnusohjelma .....	23

4.2	Epanet-mallinnusohjelman mahdollisuudet verkostomallintamisessa .....	24
4.3	Laskentatulosten tuottaminen Epanetistä .....	24
4.4	Teemakartoituksessa esitettävät parametrit.....	25
4.5	Epanet laskentatulosten esittäminen verkostotietojärjestelmästä teemakartoituksen avulla .....	25
4.6	Yhteenveto .....	28
5	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	30

LÄHTEET

LIITTEET

Liite 1 Siirtotiedoston esimerkki

## 1 JOHDANTO

Vesihuoltoverkostojen toiminnan tarkastelussa käytetään yhä enemmän erilaisia verkostomallinnusohjelmia, joilla on mahdollista simuloida verkoston toimintaa. Mallinnusta käytetään yleisesti verkostojen suunnittelussa ja ylläpidossa. Verkostomallien tuottaminen aikaisemmin on ollut erittäin työlästä, koska se on sisältänyt paljon vaiheita jotka on pitänyt tehdä käsin. Erilaisten paikkatieto- ja verkotietojärjestelmien kehittyminen on helpottanut verkostomallien luomista merkittävästi, koska verkostomalleja voidaan luoda nykyisin suoraan järjestelmien sisältämistä verkostotiedoista. Verkostomallinnuksessa käytettävien ohjelmien kehittyminen on myös osaltaan helpottanut mallinnustyötä.

Keypro Oy on verkkotietojärjestelmiin ja ohjelmistosuunnitteluun erikoistunut yritys. Yksi merkittävimmistä yrityksen tuotteista on KeyAqua-verkkotietojärjestelmän. Verkkotietojärjestelmä on kehitetty vesi- ja viemärlaitoksien tarpeita varten. Järjestelmän tietokantaan pystytään tallentamaan viemäri- ja vesijohtoverkostojen ominaisuus- ja sijaintitietoja. Järjestelmään tallennetaan myös muiden verkoston komponenttien tietoja, sekä verkostoon liittyneiden asiakkaiden vedenkulutus- ja asiakastiedot. Yrityksen tavoitteena on hyödyntää verkkotietojärjestelmän sisältämää verkosto- ja vedenkäyttötietoja SWMM ja Epanet mallinnusohjelmissa. Keskeisenä ajatuksena on verkostotietojärjestelmästä tuotetun tiedon käyttäminen sellaisenaan verkostomallinnuksen lähtömateriaalina, jolloin verkostomallien luominen helpottuu oleellisesti. Lisäksi yrityksen tavoitteena on mallinnustuloksien vieminen ja esittäminen verkkotietojärjestelmässä. Verkostotietoja voidaan hyödyntää vain kun ohjelmien välillä on toimiva tiedonsiirtotapa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia, kuinka KeyAquasta tuotettu ns. siirtotiedosto toimii viemäri- ja vesijohtoverkoston mallinnuksessa SWMM-mallinnusohjelmassa. Tässä työssä keskitytään ensisijaisesti siirtotiedoston rakenteeseen ja tarvittaviin tietoihin jotka voidaan tuottaa KeyAquasta mallinnusta varten. Verkkotietojärjestelmästä tuotettu siirtotiedostoa testataan viemällä se mallinnusohjelmaan ja tutki- malla sen toimintaa mallinnusohjelmassa. Tarkoituksena on saada selville siirtotiedostossa ilmeneviä ongelmia ja puutteita. Opinnäytetyön toisena tavoitteena on tutkia miten Epanet-ohjelmasta saadut laskentatulokset voidaan esittää verkkotietojärjestelmässä teemakartoituksen avulla ja mitä mallinnustuloksista tulisi järjestelmässä esittää. Työssä tarkastellaan myös Epanet- ja SWMM-ohjelman kykyjä ja mahdollisuuksia verkostomallinnuksessa. Työhön kootaan myös teorian tietoa verkostomallinnuksesta, mallinnusohjelmien kyvyistä ja teemakartoitusvaihtoehdoista.

## 2 VERKOSTOMALLINNUS VESIHUOLLOSSA

Verkostomallinnusta on tehty 60-luvulta lähtien ja ensimmäiset ohjelmat kehitettiin tuolloin. Tietotekniikan ja mallinnusohjelmien kehittyminen ovat lisänneet merkittävästi mallinnuksen käyttöä vesihuollon suunnittelussa ja vesijohto- ja viemäriverkostojen ylläpidossa. Mallinnusohjelmilla on mahdollista tutkia laajojenkin verkkojen toimintaa, mikä perinteisillä käsinlaskentamenetelmillä veisi erittäin paljon aikaa. Verkostomallinnuksessa on mahdollista tarkastella ja tutkia verkoston toimintaa erilaisissa käyttötilanteissa. Mallinnuksessa saadaan tietoa, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi suunnittelussa tai verkoston toiminnan arvioimisessa. Paikkatieto- ja verkkotietojärjestelmien kehittyminen on myös osaltaan lisännyt mallintamisen määrää ja helpottanut mallinnusprosessia.

Mallinnusta käytetään yleisesti mm. verkoston toiminnan tarkasteluun, verkoston komponenttien esimerkiksi pumppujen mitoitukseen ja sijoittamiseen, saneerauksen suunnitteluun, vikojen etsintään verkostosta, vedenlaadun arvioimiseen, energia ja kustannuslaskelmien laatimiseen, erilaisten ratkaisujen vertailuun, verkoston laajennuskapasiteetin arvioimiseen, sammutustilanteiden tarkasteluun. (Walski, Chase, Savic 2001, 6 - 8.)

### 2.1 Mallinnustavat

Hydrauliset mallinnustavat voidaan jaotella kolmeen kategoriaan staattiseen mallinnukseen, dynaamiseen mallinnukseen ja transienttianalyysiin. Staattinen ja dynaaminen malli ovat mallinnustavoista yleisemmin käytettyjä. Mallinnustavan valintaan vaikuttaa se mitä mallintaja haluaa tarkkailla tai ennustaa. (American Water Works Association 2005a, 55.)

#### 2.1.1 Staattinen malli

Staattisella mallilla voidaan mallintaa verkoston toimintaa tietyllä ajanhetkellä. Staattinen malli on kuin otos tietyistä ajanhetkeistä verkoston toiminnasta ja toiminnan tarkastelu tapahtuu muuttumattomassa tilassa. Tällaisessa tilanteessa esimerkiksi venttiilien ja pumppaamoiden toiminnassa ei tapahdu muutoksia. Verkoston virtausolosuhteet pysyvät myös vakiona. Täytyy kuitenkin muistaa, että todelliset vesijohto- ja viemäriverkostot ovat harvoin staattisessa tilassa. Esimerkiksi kun vettä kulutetaan, niin se vaikuttaa mm. pumppaamoiden toimintaan, verkoston virtausolosuhteisiin, vesisäiliöiden pinnankorkeuden vaihteluihin. Tyypillisiä staattisen mallinnustavan mallinnustilanteita ovat huippukulutustilanteet, verkoston toiminnallinen tarkastelu, sammutusvedenotto ja erilaiset poikkeustilanteet verkostossa. Staattisia malleja voidaan käyttää myös verkoston hydraulisten ongelmien arviointiin. (Walski ym. 2001, 106 - 109; American Water Works Association 2012a, 103.) Vesijohto- ja viemäriverkostot mitoitetaan yleensä suurimman todennäköisimmän verkostossa esiintyvän virtaaman mukaan. Yleisesti voidaan sanoa, että verkoston mitoitustilanteet ovat ajan suhteen muuttumattomia tilanteita, joissa verkoston toimintaa testataan verkoston mitoitusvesimäärillä. Tällöin virtausolosuhteet eivät muutu vaan pysyvät vakioina.



### 2.1.2 Dynaaminen malli

Dynaaminen malli koostuu useista staattisista malleista, jotka on esitetty määrätyn väliajoin tietyllä aikavälillä. Dynaamiset mallit ovat hyödyllisiä, kun halutaan tarkastella tietyn ajan kuluessa tapahtuvan vedenkäytön vaikutuksia verkoston käyttäytymiseen. Tarkasteltavia tilanteita ovat esimerkiksi vesisäiliöiden pinnanvaihtelut ja pumppujen ja venttiilien toiminta veden käytön aikana. Dynaamisessa mallin luomisessa tarvitaan samoja tietoja kuin staattisen mallin luomisessa. Lisäksi voidaan tarvita tietoa pumppujen, vesisäiliöiden ja venttiilien toiminnasta, sekä tietoa veden kulutuksen vaihtelusta eri vuorokauden aikoina. (American Water Works Association 2005b, 80; American Water Works Association 2012b, 103, 125).

### 2.1.3 Transienttianalyysi

Transienttianalyysiä käytetään yleensä verkostossa tapahtuvien äkillisten paineen muutosten tarkasteluun. Äkillisiä paineen muutoksia aiheuttavat esimerkiksi venttiilien nopea sulkeutuminen, pumppaamon rikkoutuminen ja putkirikkotilanteet. Nämä simulaatiot kattavat yleensä sekuntien tai minuuttien ajanjaksoja. Transienttianalyysi verkoston suorituskyvystä on usein yhtä tärkeä kuin suunnittelijoiden pohjana suunnittelussa yleensä käyttämä staattinen verkostomalli. (American Water Works Association 2005a, 55; American Water Works Association 2012c, 174.)

## 2.2 Mallinnuksen lähtöaineisto

Mallinnuksessa tarvittavan lähtöaineiston määrään vaikuttaa se, mitä ollaan mallintamassa ja mitä mallilla halutaan kuvata. Verkoston mallintamisessa tarvitaan verkoston rakennetta koskevia tietoja ja tietoja verkoston vesimääristä. Lähtöaineiston tarkkuus vaikuttaa paljon mallin luotettavuuteen ja siksi sen tulisi olla mahdollisimman tarkkaa tietoa mallinnettavasta kohteesta. Mallinnuksen lähtöaineisto voidaankin jakaa kahteen osioon: 1) verkostotietoihin ja 2) verkoston kulutusta ja vesimääriä koskeviin tietoihin.

### 2.2.1 Verkostotiedot

Verkostomallinnuksessa välttämättömiä verkostotietoja verkoston komponenttien osalta ovat ainakin putkien pituudet, putkien halkaisijat, putkien materiaali ja ikä, karkeuskertoimet, solmupisteiden korkotiedot, riippumatta siitä mallinnetaanko vesijohtoverkoston vai viemäriverkoston. Vesijohtoverkoston mallinnuksessa tarvitaan myös usein tietoa venttiilien, vesisäiliöiden ja pumppaamojen toiminnasta. Viemäriverkoston mallinnuksessa tarpeellisia tietoja ovat myös kaivonkannen ja vesijuoksun korkotiedot, sekä kaivannon syvyys solmupisteen kohdalla. Nykyään on mallinnuksessa mahdollista tuottaa verkostotiedot paikkatietojärjestelmistä, mikä helpottaa mallintajan työtä merkittävästi. Tässä insinööriyössä pyritään tuomaan KeyAqua-verkkotietojärjestelmästä verkostomallinnuksessa tarvittavat lähtötiedot siirtotiedostona suoraan SWMM-mallinnusohjelmaan.

### 2.2.2 Verkoston vesimäärät

Verkoston rakenteellisten tietojen lisäksi tarvitaan tietoa verkoston vesimääristä mallinnettaessa vesijohto- ja viemäriverkostoja. Viettoviemärin mallinnuksessa voidaan käyttää vesijohtoverkoston puhtaanveden määriä, vaikka käytännössä kaikki verkostoon syötetystä puhtaasta vedestä ei palaudu viemäriverkostoon. Jos tehdään dynaamista mallia pitää tietää myös miten vesimäärät vesijohto- ja viemäriverkostoissa vaihtelevat. Viemäriverkoston mitoitustilanteena käytetään yleensä suurimman vuorokausikulutuksen aikaista suurinta tuntikulutusta. Viemäriverkoston mallinnuksessa voi olla myös tarpeen huomioida viemäriin tulevat vuotovedet. Vuotovesien määrään vaikuttavat paljon verkoston kunto ja ikä.

## 2.3 Verkostomallinnuksen vaiheet

Verkostomallinnuksessa on yleisiä vaiheita, joiden mukaan mallinnusprosessi etenee. Mallin käyttötarkoitus ja mallinnukselle asetetut tavoitteet vaikuttavat mallinnusvaiheisiin ja niiden sisältöön. Yleisiä mallinnusprosessin vaiheita on kuvattu seuraavissa osioissa.

### 2.3.1 Lähtöaineiston hankkiminen ja mallinnuksen tavoitteet

Mallinnusprosessi alkaa yleensä mallinnuksen tavoitteiden määrittämisellä ja mitä varten mallia ollaan luomassa. Yksi oleellisista kysymyksistä on myös se, mitä ja minkälaisia tuloksia mallinnuksesta halutaan. Tässä vaiheessa on tärkeää miettiä myös millaista mallia ollaan rakentamassa ja miten yksityiskohtainen mallin tulisi olla.

Vesihuollossa mallilla pyritään yleensä tutkimaan verkoston hydraulikkaa tai veden laatuun vaikuttavia tekijöitä. Mallinnuksessa tutkittavat asiat vaikuttavat mallin yksityiskohtien määrään, lähtöaineiston tarkkuuteen ja siihen mitä tietoja mallinnuksessa tarvitaan.

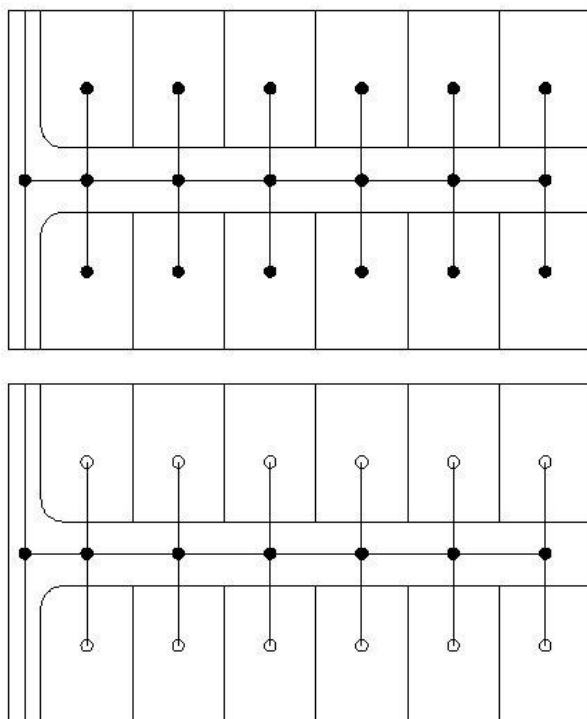
Kun mallinnuksen tavoitteet ja mallin käyttötarkoitus on määritelty, voidaan siirtyä seuraavaan vaiheeseen mallinnuksessa eli lähdemateriaalin hankintaan. Nykyään lähdemateriaalin hankintaa helpottavat erilaiset verkkotietojärjestelmät, joista on mahdollista tuoda tietoa ns. siirtotiedostona mallinnusohjelmaan. Mallin rakentamisvaihe jää pois, mikäli siirtotiedossa saadaan tuotua verkostoa koskevat tiedot ja verkoston vesimäärätietoja. Ennen seuraavia vaiheita on syytä tarkistaa, että siirtotiedosto on toimiva ja ettei siinä ole virheitä, jotka voivat haitata mallinnusta myöhemmissä vaiheissa tai mahdollisesti jopa estää mallintamisen.

### 2.3.2 Mallin rakentaminen

Mallinnuksen toinen vaihe on mallin rakentaminen. Tässä vaiheessa päätetään, miten paljon mallia yksinkertaistetaan riippuen mallinnustavoitteista ja mallin käyttötarkoituksesta. Yleensä verkostomallia yksinkertaistetaan puhtaanveden kulutustietoja tai jätevesimäärien tietoja yhdistämällä. Näin solmupisteiden ja liittymien määrää mallissa voidaan pienentää. Voidaankin sanoa, että mitä enemmän malliin sisällytetään yksityiskohtia, kasvaa myös käsiteltävän datan määrä. Mallin rakentamisvaiheessa pitää päättää myös miten erilaiset verkoston laitteet, kuten esimerkiksi venttiilit ja pumppaamot mallissa esitetään. Mallinnusta varten pitäisi myös päättää putkien karkeus- ja kitkahä-

viökertoimista (Walski ym. 2001, 109 - 114.) Verkoston komponenttien numerointi loogisesti tässä vaiheessa helpottaa mallin ymmärtämistä.

Kuviossa 1. esitetään esimerkki verkostomallin yksinkertaistamisesta. Kyseisessä esimerkissä tummennetut pisteet kuvaavat verkoston solmupisteitä. Ylemmässä piirroksessa on alkutilanne ja alemmassa piirroksessa tonttiliittymien vedenkulutus on lisätty jäljelle jääneisiin solmupisteisiin ja solmupisteiden ja putkien määrä on näin ollen saatu vähemmäksi.



Kuvio 1 Mallin yksinkertaistaminen (Ville Pennanen)

### 2.3.3 Verkostomallin kalibrointi

Vaikka vaadittu data on saatu kerättyä ja vietyä mallinnusohjelmaan, mallintaja ei voi olettaa, että malli olisi tarkka matemaattinen kuvaus verkoston toiminnasta. Kalibrointiprosessissa mallin tuloksia verrataan kentältä saatuihin mittaustuloksiin. Mallia voidaan säätää, jotta sen laskentatulokset saadaan vastaamaan kenttämittauksista saatuja tuloksia riittävällä tarkkuudella.

Kalibroinnissa säädetään yleensä sellaisia mallin tietoja, jotka ovat epävarmoja. Esimerkkinä vaikka putkien karkeuskertoimet, jotka ovat usein melko arvionvaraisia. Kalibrointiprosessi on tärkeä siksi että, malli saadaan luotettavammaksi, verkoston toimintaa ja suorituskykyä on helpompi ymmärtää ja ongelmien ratkaisemiseksi. Tyypillisiä kalibroinnissa käytettäviä suureita ovat paine, virtaama ja vedenkulutus. Kenttämittauksista saatua tietoa tulisi olla kattavasti verkoston alueelta ja useista verkoston pisteistä. Tietoa olisi hyvä olla myös pitemmältä aikaväliltä verkoston toiminnasta.

Kalibroinnissa on tärkeää tunnistaa ja käsitellä ensiksi suurimmat erot mallin ja todellisen verkoston käyttäytymisen välillä. Tätä vaihetta kutsutaan mallin karkeasäädöksi tai ns. makro-kalibroinniksi.

Tällöin mallin ja oikean verkon käyttäytymistä pyritään lähentämään ja karsimaan suurimmat eroavaisuudet. Karkeasäädön jälkeen tehdään herkkyyshanalyysi verkostomallille, jonka tarkoituksena on testata miten malli reagoi siihen testattaviin muutoksiin. Tämä vaihe on silloin hyödyllinen kun ei ole täyttä varmuutta mitä mallin ominaisuuksia ja arvoja tulisi säätää, jotta se vastaisi kenttämittauksista saatuja arvoja. Viimeisimpänä vaiheena on hienosäätö, jota usein kutsutaan myös mikrokalibroinniksi. Mallin kalibroimista tehdään niin kauan, että se vastaa riittävän hyvin oikean verkoston toimintaa. ( Walski ym. 2001, 197 - 211.)

Kalibrointi noudattaa yleensä seuraavia vaiheita ( Walski ym. 2001, 197 - 211.):

1. mallin käyttötarkoituksen määrittäminen
2. mallin parametrien määrittäminen
3. kalibrointiaineiston kerääminen
4. arvion muodostaminen mallin tuloksista mallin muuttujien perusteella
5. karkeasäätö
6. herkkyyshanalyysin suorittaminen
7. mallin hienosäätö

#### 2.3.4 Mallinnus ja tulosten tarkastelu

Mallintaminen voidaan aloittaa kun verkostomalli on kalibroitu ja säädetty halutunlaiseksi.

Epanet- ja SWMM-mallinnusohjelmilla on mahdollista tarkastella mallinnustuloksia, sekä tuottaa erilaisia raportteja, kuvaajia ja taulukoita.

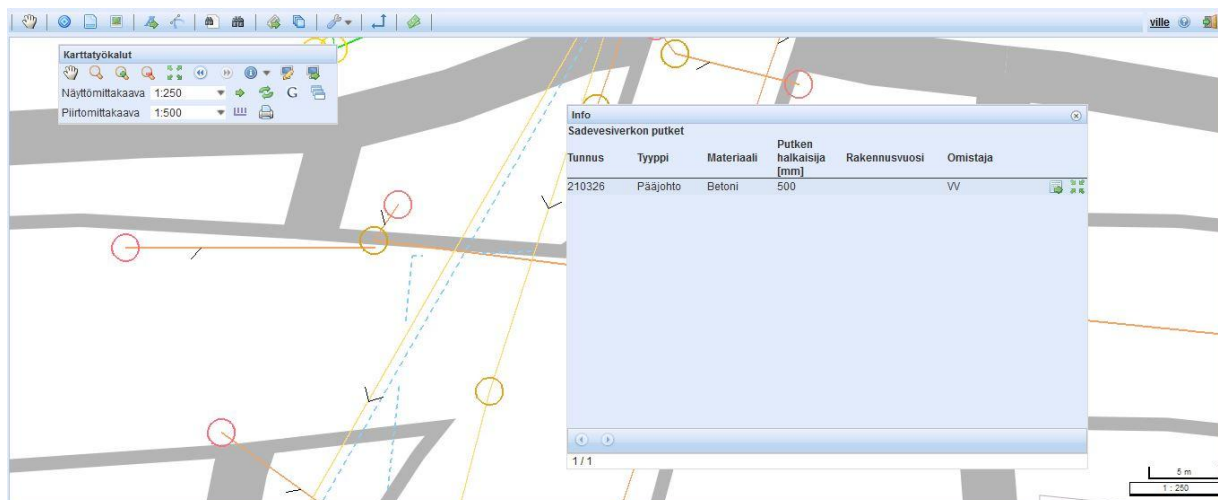
### 3 VERKKOTIETOJÄRJESTELMÄN HYÖDYNTÄMINEN VIETTOVIEMÄRIN MALLINNUKSESSA

Verkostomallinnuksessa työläin vaihe on mallin rakentaminen. Perinteisesti mallinnuksessa tarvittavia lähtötietoja on kerätty asemapiirustuksista, pituusleikkauskuvista ja erilaisista suunnitteluasiakirjoista. Korkeustietojen määrittäminen on tapahtunut yleensä käyttäen topografisia karttoja. Työ aloitetaan yleensä keräämällä tarvittavat verkosto- ja kulutustiedot, jonka jälkeen on tehty mallin piirtäminen ja tietojen syöttäminen malliin. Laajoissa verkostoissa tämä on erittäin työläs prosessi ja sisältää useita käsin tehtäviä työvaiheita.

Paikkatietojärjestelmien ja teknologian kehittyminen ovat helpottaneet verkostomallinnusta merkittävästi. Nykyään on kehitetty vesihuollon tarpeisiin suunnattuja verkkotietojärjestelmiä, joista pystytään tuottamaan verkostomalleja järjestelmän sisältämistä verkosto- ja kulutustiedoista. Koska tieto on järjestelmässä sähköisessä muodossa, on sen käsittely ja kokoaminen mallinnusta varten huomattavasti helpompaa kuin perinteisillä menetelmillä. Kun järjestelmästä saadaan tuotettua mallinnusta varten tarvittavat tiedot, on ainoana tehtävänä enää saada siirrettyä tiedot verkkotietojärjestelmästä mallinnusohjelmaan sen ymmärtämässä muodossa.

#### 3.1 KeyAqua-verkkotietojärjestelmä

KeyAqua on selainpohjainen verkostotietojärjestelmä, jota käytetään vesi- ja viemäriverkon dokumentointiin ja hallintaan. Ohjelmistoa voidaan hyödyntää verkon ylläpidossa, suunnittelussa ja saneerauksessa. Ohjelmisto mahdollistaa ajantasaisen ylläpidon eri verkoston kohteista, asiakkaista ja kunnossapidosta. Verkostotiedot tallennetaan Oracle - tietokantaan. (Keypro Oy 2013 KeyAqua - käyttöohje v1.6, 5 - 6.) KeyAquassa on myös verkoston varusteiden kuten esimerkiksi venttiilien ja mittarikaivojen sijaintitiedot, sekä kulutuspisteiden vedenkulutustiedot. Ohjelmassa on mahdollista käyttää myös erilaisia karttapohjia. Käyttöliittymä on esitetty kuvassa 2.



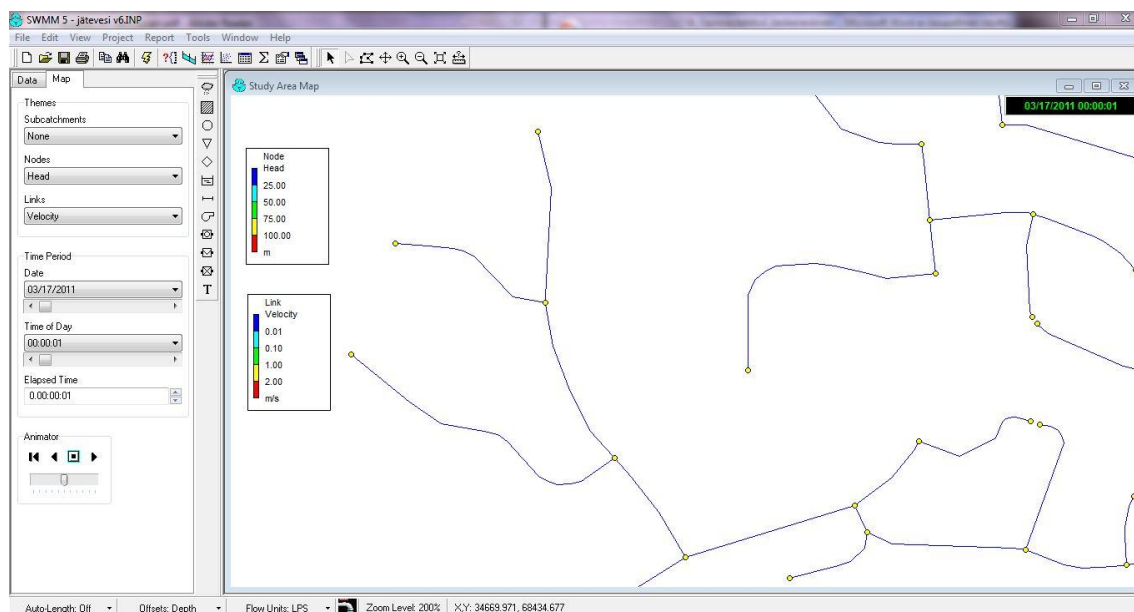
Kuva 2 KeyAquan käyttöliittymä (Ville Pennanen)

#### 3.2 Viemäriverkostomallin tuottaminen verkkotietojärjestelmästä

Tuotettaessa KeyAquaasta verkosto- ja jätevesimäärätietoja on ne tuotava SWMM-mallinnusohjelmaan siirtotiedostona (input file). Siirtotiedoston on oltava ASCII -muotoinen tekstitiedosto, jota SWMM ohjelmisto pystyy lukemaan. ASCII on tekstitiedosto, jossa kaikki mallissa tarvittava tieto ryhmitellään omien otsikoiden alle. Tekstitiedoston hyviä puolia on se, että sitä voidaan muokata tarvittaessa tekstinkäsittelyohjelmalla. Input tiedoston rakennetta, sisältöä, ja mallinnukseen tarvittavia tietoja käsitellään tarkemmin kohdassa 3.5.

### 3.3 SWMM-mallinnusohjelma

SWMM on hulevesi- ja viemäriverkostojen mallinnukseen kehitetty mallinnusohjelma. Ohjelma Yhdysvaltojen ympäristöministeriön (Environmental Protection Agency) kehittämä. Ensimmäinen versio ohjelmasta ilmestyi vuonna 1971. SMWW 5 julkaistiin vuonna 2004, sittemmin sitä on päivitetty useita kertoja. Uusin versio on SWMM5.0.022. SWMM on ilmaisohjelma ja sen voi ladata EPA:n Internet-sivuilta ja sieltä löytyvät ohjelman manuaalit ja lisäosat. Ohjelma toimii ainakin Windows 95, XP, Vista ja 7 käyttöjärjestelmillä. SWMM:n käyttöliittymä on graafinen ja sen käyttö tapahtuu hiiren avulla. Käyttöliittymä on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3 SWMM-käyttöliittymä (Ville Pennanen)

### 3.4 SWMM-mallinnusohjelman rakenne ja ominaisuudet

Tässä osiossa käsitellään SWMM-ohjelman rakennetta ja erilaisia kykyjä ja ominaisuuksia. Ohjelman rakenne jakautuu hydrauliseen osaan ja hydrologiseen osaan. Hydrologinen osa koostuu valuma-alueista ja tässä osassa kuvataan hydrologisia ilmiöitä kuten esimerkiksi sadantaa, haihduntaa ja valuntaa. Muita ilmiöitä ovat lumen sulaminen ja kertyminen, veden pidättäminen painanteissa, veden imeytyminen maaperän kerroksiin ja pohjaveteen saakka, veden kulkeutuminen pohjaveden ja viemärintäjäjärjestelmän välillä. Sateen intensiteettiä voidaan kuvata ohjelmassa aikasarjojen avulla. Mallinnuksessa voidaan käyttää myös erilaisia imeyttämisen- ja viivytysohjelmia.

Ohjelman hydraulinen osa rakentuu viemäriverkostosta, joihin vesi virtaa solmupisteiden kautta ja kulkeutuu eteenpäin viemäreitä pitkin. Verkoston koolle ei ole ohjelmassa asetettu rajoitteita. Mallinnuksessa voidaan käyttää monia erilaisia poikkileikkausprofieileja putkissa, avouomissa ja kanavissa. Käytössä on myös erilaisia erikoiselementtejä, kuten esimerkiksi veden varastointi ja käsittelyyksiköitä, virtauksen jakajia, pumppuja, patoja ja aukkoja. Ohjelman käyttäjä voi määritellä itse erilaisia dynaamisia ohjaustietoja pumppujen ym. verkoston toiminnan simuloimiseen. Veden laadun mallinnuksessa mallintaja voi käyttää veden laatua kuvaavia parametreja erilaisissa virtaustilanteissa. Hydraulisessa osassa simuloidaan painovoimaisesti verkostossa etenevää virtausta. Veden kulkeutumiseen ja käyttäytymiseen vaikuttavat verkoston ominaisuudet ja mallinnuksessa käytetyt asetukset. (EPA 2010, 1 - 2: EPA 2013b.)

### 3.5 Input-tiedoston rakenne

SWMM mallinnusohjelmaan verkostotiedot pitää viedä ASCII muodossa. Input tiedosto on tekstitiedosto, jonka sisältö on jaettu useisiin erilaisiin osiin. Kutakin osiota ja sen sisältämää tietoa tekstitiedostossa kuvaavat suluissa olevat avainsanat(otsikot). Tiedostoon on mahdollista lisätä kommentteja puolipisteen jälkeen. Input-tiedoston esimerkki on esitetty liitteessä 1. (EPA. 2003, 4.)

Avain sanojen järjestyksellä ei ole väliä, pääasia on että tarvittavat tiedot ryhmitellään oikeiden otsikoiden alle. Putkien osalta input-tiedostossa tulisi olla ainakin putken tunnus, alku- ja päätepisteet, putkien pituudet ja halkaisijat, karkeuskertoimet. Solmupisteiden osalta input-tiedostossa tulisi olla solmupisteen tunnus, koordinaatit, vesijuoksun korko, virtaamatiedot solmupisteistä ja kaivon syvyys solmupisteen kohdalla. Mikäli käytetään SI-järjestelmän mukaisia yksiköitä, on siirtotiedostoon syötettävät tiedot oltava taulukon 1 mukaisissa yksiköissä.

Taulukko 1 Parametrien yksiköt SI-järjestelmässä (Ville Pennanen)

<b>Syötettävä parametri</b>	<b>Yksikkö</b>
Vesimäärät	l/s
Putken halkaisija	m
Putken pituus	m
Korkotiedot	m
Karkeuskerroin	yksikötön luku(Hazen-Williamsin kaava, Darcy-Weisbachin kaavassa mm.)

Seuraavissa osioissa käsitellään input-tiedoston eri osa-alueita ja mallinnuksessa tarvittavien tietojen ryhmittelyä eri otsikoiden alle. Tietojen ryhmittelyä on havainnollistettu kuvilla. Seuraavissa osioissa ei käsitellä kuin ohjelman viettoviemäriin mallinnuksessa tarvittavia otsikointeja ja tietoja. Ohjelman manuaalista, joka on ladattavissa EPA:n Internet sivuilta, löytyy lisää tietoa muista input-tiedoston otsikoinneista ja input-tiedoston osa-alueista.

### 3.5.1 Mallinnusta ja projektia koskevat tiedot ja asetukset

Title-otsikon alle SMWW projektille voidaan antaa nimi. Options-otsikon alle laitetaan mallinnusta koskevia vaihtoehtoja, joilla voidaan vaikuttaa mallinnukseen. Oleellisimpia tietoja options kohdassa ovat virtausyksiköt (flow units) ja erilaiset mallinnusta ja raportointia koskevat aika-asetukset. Kuvassa 4 on havainnollistettu mallinnus ja projektiasetuksia input tiedostossa.

```
[TITLE]
Esimerkki projekti

[OPTIONS]
FLOW_UNITS           LPS
INFILTRATION         HORTON
FLOW_ROUTING         KINWAVE
START_DATE           03/17/2011
START_TIME           00:00:00
REPORT_START_DATE    03/17/2011
REPORT_START_TIME    00:00:00
END_DATE             03/18/2011
END_TIME             00:00:00
SWEEP_START          01/01
SWEEP_END            12/31
DRY_DAYS             0
REPORT_STEP          00:00:01
WET_STEP             00:00:01
DRY_STEP             00:00:01
ROUTING_STEP         0:00:01
ALLOW_PONDING        NO
INERTIAL_DAMPING     PARTIAL
VARIABLE_STEP        0.75
LENGTHENING_STEP    0
MIN_SURFAREA         0
NORMAL_FLOW_LIMITED  BOTH
SKIP_STEADY_STATE    NO
FORCE_MAIN_EQUATION  H-W
LINK_OFFSETS         DEPTH
MIN_SLOPE            0
```

Kuva 4 Mallinnusprojektin asetukset (Ville Pennanen)

### 3.5.2 Verkoston komponentteja koskevat tiedot

Solmupisteitä koskevat tiedot laitetaan solmupisteet (Junctions) otsikon alle. Tärkeimmät tiedot vietoimäarin mallinnuksessa solmupisteiden osalta ovat solmupisteen tunnus (Name), vesijuoksun korko (Invert elevation) ja kaivon syvyys solmupisteen kohdalla (Max Depth). Kuvassa 5 on esitetty esimerkki solmupistettä koskevista tiedoista.



```
[JUNCTIONS]
;;
;;Name
-----
1      91.5    2.5    0      0      0
2      90.5    2.5    0      0      0
3      94.5    2.5    0      0      0
4      90.5    2.5    0      0      0
5      88      2.5    0      0      0
6      86.5    2.5    0      0      0
7      85.5    2.5    0      0      0
8      85      2.5    0      0      0
9      86      2.5    0      0      0
10     84.5    2.5    0      0      0
```

Kuva 5 Solmupisteiden tiedot (Ville Pennanen)

Putkien osalta tiedot laitetaan Conduits-otsikon alle (Kuva 6). Tärkeimpiä tietoja ovat putken tunnus (Name), putken alku- ja päätekohta (Inlet ja outlet node), putken pituus (Length), putken karkeuskerroin (Manning N). Inlet- ja outlet offset ovat putkien etäisyyksiä kaivon pohjasta.

```
[CONDUITS]
;;
;;Name
-----
p2      3      2      173.7  0.02  0      0
p3      4      5      322.4  0.02  0      0
p4      7      8      30.51  0.02  0      0
p5      8     10     164.7  0.02  0      0
p6     11      9      135.1  0.02  0      0
p7     14     13      72     0.02  0      0
p8     18     30     106.2  0.02  0      0
p10    29     22     115.4  0.02  0      0
p11    20     19     285.5  0.02  0      0
```

Kuva 6 Putkien tiedot (Ville Pennanen)

Putkien poikkileikkauksia koskevat tiedot laitetaan Xsections otsikon alle (kuva 7). Tärkeimpiä tietoja tässä kohdassa ovat putken tunnus (Link), putken muoto (Shape), ja putken halkaisija (Geom1). Rinnakkaisten putkien lukumäärä laitetaan Barrels-otsikon alle. Tällöin pitää muistaa, että arvo 1 tarkoittaa yhtä putkea ja arvo 2 kahta rinnakkain olevaa putkea. Nolla ei voi laittaa arvoksi, koska ohjelma ei sitä ymmärrä.

```
[XSECTIONS]
;;Link
-----
p2      CIRCULAR  0.15    0      0      0      1
p3      CIRCULAR  0.15    0      0      0      1
p4      CIRCULAR  0.15    0      0      0      1
p5      CIRCULAR  0.15    0      0      0      1
p6      CIRCULAR  0.15    0      0      0      1
p7      CIRCULAR  0.15    0      0      0      1
p8      CIRCULAR  0.15    0      0      0      1
p10     CIRCULAR  0.15    0      0      0      1
```

Kuva 7 Putkien poikkileikkauksia koskevat tiedot (Ville Pennanen)

### 3.5.3 Verkoston vesimääriä koskevat tiedot

Verkoston vesimäärät koskevat tiedot laitetaan DWF-otsikon alle. Kuvan 8 esimerkissä ensin on solmupisteen tunnus vasemmalla. Parametri (Parameter) otsikon alla määritellään tarkasteltavan parametrin nimi, valittavissa ovat virtaus, epäpuhtauden nimi tai vedenlaadun indikaattori. Keskimääräinen virtaama tai konsentraatiopitoisuus solmupisteessä laitetaan Average value -otsikon alle.

Patterns-otsikon alle (kuva 9.) voidaan laittaa veden vaihtelua eri vuorokauden ajanjaksoina kuvaavia kulutuskertoimia.

```
[DWF]
;;
;;Node          Parameter          Average
;;            -----            Value          Time
;;            -----            -----            Patterns
1
3              FLOW              0.198
4              FLOW              0.142
10             FLOW              0.25
11             FLOW              0.115
12             FLOW              0.114
13             FLOW              0.099
14             FLOW              0.178
15             FLOW              0.055
16             FLOW              0.073
17             FLOW              0.03
18             FLOW              0.051
19             FLOW              0.1
19             FLOW              0.042
```

Kuva 8 Vesimäärien tiedot (Ville Pennanen)

```
[PATTERNS]
;;Name          Type          Multipliers
;;            -----            -----
1              MONTHLY          2.08  2.08  2.08  2.08  2.08  2.08
1              MONTHLY          2.08  2.08  2.08  2.08  2.08  2.08
1              MONTHLY          2.08  2.08  2.08  2.08  2.08  2.08
```

Kuva 9 Vesimäärien vaihteluita kuvaavat kaavat (Ville Pennanen)

### 3.5.4 Raporttiedoston sisältö

Report-otsikon (kuva 10) alla voidaan vaikuttaa mallinnuksen raporttiedoston (RPT) sisältöön. Tässä kohtaa valitaan kyllä, ei, kaikki ja ei yhtään komendoilla, mitä tietoja halutaan raporttiedostoon sisällyttää. Tässä kohtaa on otettava huomioon, että ohjelmassa on olemassa oletusasetukset siitä, mitä raporttiedostoon sisällytetään.

```
[REPORT]
INPUT      NO
CONTROLS   NO
SUBCATCHMENTS ALL
NODES     ALL
LINKS     ALL
```

Kuva 10 Raporttiedoston valinnat (Ville Pennanen)

### 3.5.5 Koordinaattitiedot

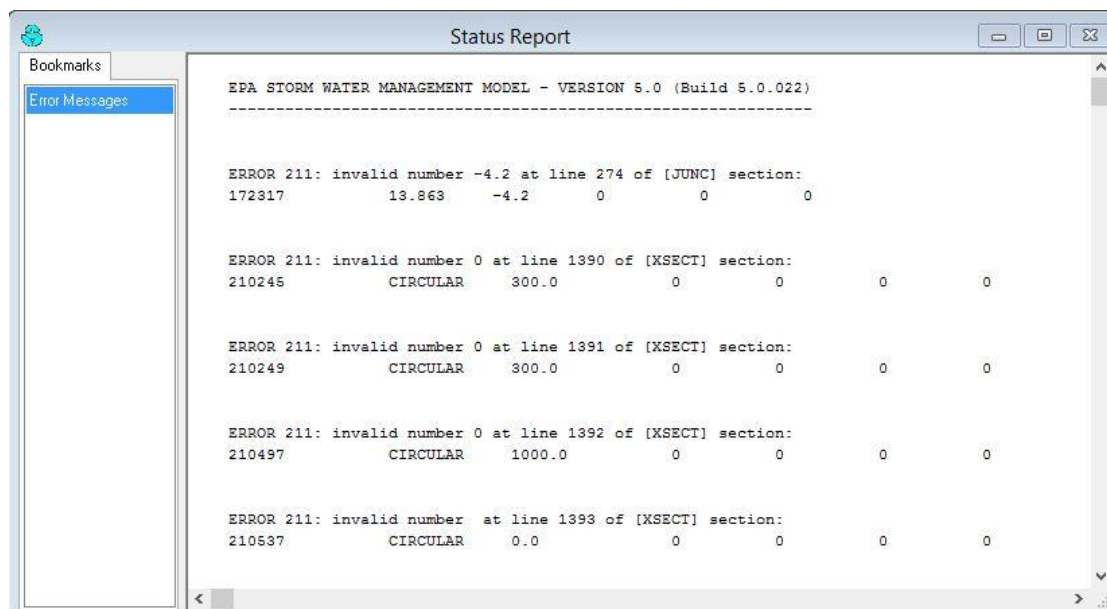
Solmupisteiden koordinaattitiedot laitetaan Coordinates-otsikon alle. Koordinaattitiedoissa kerrotaan solmupisteen tunnus ja sen x- ja y-koordinaatit. Koordinaattitietojen ryhmittelyä on havainnollistettu kuvassa 11.

[COORDINATES]		
;;Node	X-Coord	Y-Coord
1	34618.800	68408.100
2	34626.160	68233.020
3	34472.400	68293.830
4	34427.730	68180.100
5	34696.880	68074.430
6	34770.310	67972.580
7	34943.160	68025.480
8	34956.080	67997.830
9	35008.740	68091.560
10	35118.210	67980.130

Kuva 11 Solmupisteiden koordinaattitiedot (Ville Pennanen)

### 3.6 Siirtotiedoston testaaminen

KeyAquaasta päätettiin tuottaa aluksi testiversio siirtotiedostosta. Tavoitteena oli saada selville testiversion tiedonsiirrossa ja input-tiedostossa mahdollisesti ilmenevät ongelmat sekä puutteelliset ja väärät tiedot. Testiversion jälkeen tarkoituksena oli myös testata siirtotiedostoa lisää ottamalla jokin hieman laajempi viemäriverkosto testikohteeksi, mikäli testiversio saadaan toimimaan halutulla tavalla. Testiversion testauksessa ilmenikin oletetusti ongelmia. Ohjelmassa on toiminto, joka ilmoittaa virheraportilla (kuva 12) input-tiedostossa ilmenevät virheet ja tiedot joita ohjelma ei ymmärrä kun mallia yritetään ajaa.



Kuva 12 SWMM-ohjelman virheraportti (Ville Pennanen)

Testiversiossa huomattiin virheitä mm. putken halkaisijoissa, korkotiedoissa ja puuttuvissa vesimäärätiedoissa. Suurin osa ongelmista johtui nolla-arvoista ja negatiivisista arvoista, joita ohjelma ei hyväksynyt. Muuten siirtotiedoston rakenne näytti toimivalta ja tiedot näyttivät olevan oikeiden otsikoiden alla. Kuvassa 13 on esitetty tyyppinen virhe siirtotiedostossa eli lähtötiedon arvo on nolla. Oh-

jelma ilmoittaa myös negatiivisista arvoista kuten kuvan 15 esimerkissä. Putkien poikkileikkauksia koskevissa tiedoissa tiedot olivat väärässä yksikössä. Kuvassa 14 putken halkaisijat ovat siirtotiedostossa millimetreinä, vaikka ne pitäisi ilmoittaa metreissä. Putkien poikkileikkaustiedoista puuttuu myös tieto siitä, montako putkea on rinnakkain, nolla-arvoa ohjelma ei hyväksy, koska minimi arvo on 1.

```
[JUNCTIONS]
;;
;;Name      Invert      Max.      Init.      Surchage    Poned
            Elev.      Depth     Depth     Depth       Area
-----
228012      16.253      0         0          0           0
149011      13.703      1.21     0          0           0
149012      13.803      0         0          0           0
149016      0           0         0          0           0
149013      13.803      0         0          0           0
173531      17.473      1.84     0          0           0
173551      18.163      1.05     0          0           0
```

Kuva 13 Virheellinen nolla-arvot (Ville Pennanen)

```
[XSECTIONS]
;;Link      Shape      Geom1      Geom2      Geom3      Geom4      Barrels
-----
210245      CIRCULAR   300.0      0          0          0          0
210249      CIRCULAR   300.0      0          0          0          0
210497      CIRCULAR   1000.0     0          0          0          0
210537      CIRCULAR   0.0        0          0          0          0
297442      CIRCULAR   0.0        0          0          0          0
210254      CIRCULAR   300.0      0          0          0          0
329090      CIRCULAR   315.0      0          0          0          0
```

Kuva 14 Putkien poikkileikkauksien virheellisiä arvoja (Ville Pennanen)

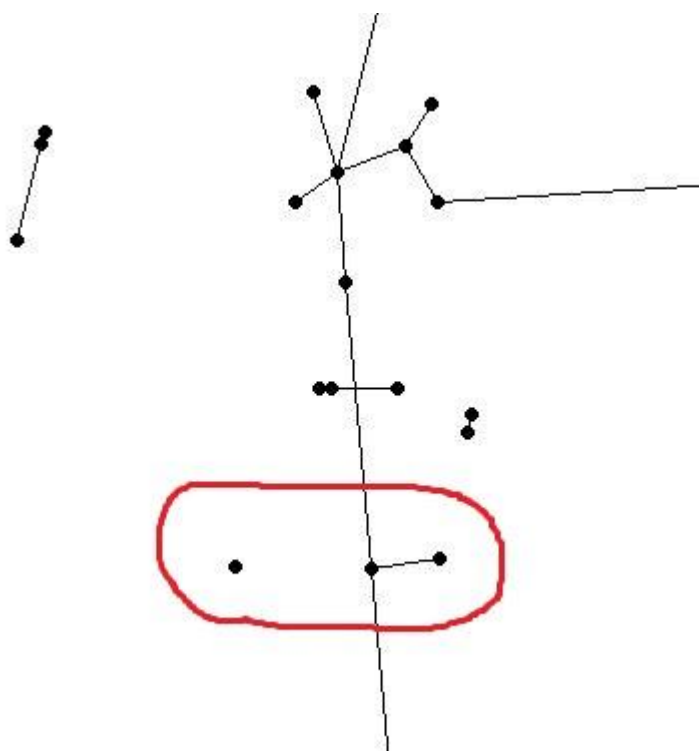
```
172328      13.743      0.0        0          0          0
172317      13.863      -4.2       0          0          0
172327      15.313      0.0        0          0          0
277003      14.353      1.0        0          0          0
```

Kuva 15 Negatiivinen arvo(Ville Pennanen)

Tarkasteltaessa mallia ohjelmassa kävi myös ilmi, että mallissa oli yksittäisiä solmupisteitä ilman kiinnytävää putkea. Eli solmupisteeseen ei tule eikä solmupisteestä lähde mitään putkea. Putkien tiedoissa kaikilla putkilla oli kyllä alku- ja päätepisteet. Tosin alku- ja päätepisteet voivat olla väärin tai sitten siirtotiedostosta puuttuu yksittäistä pistettä yhdistävä putki ja sen tiedot. Kuvassa 17 on esitetty esimerkki yksittäisestä solmupisteestä ja kuvassa 16 esitetty kuinka putkien tiedoissa on merkitty putken alku- ja päätepisteet.

[CONDUITS]	Inlet	Outlet
;;	Node	Node
;;Name	Node	Node
;;	-----	
;;		
210245	172107	172130
210249	172106	172130
210497	172199	172132
210537	173524	172136
297442	248615	172136
210254	172137	172138
329090	291206	172142
210544	172149	172148

Kuva 16 Alku- ja päätepisteet putkien tiedoissa (Ville Pennanen)



Kuva 17 Solmupiste ilman yhdistävää putkea(Ville Pennanen)

Siirtotiedoston testaamisen toiseen vaiheeseen ei valitettavasti päästy aikataulujen venymisen ja yrityksen muiden projektien viedessä aikaa kehittämisestä. Todennäköisesti Keyaqua - verkkotietojärjestelmästä pystytään tuottamaan toimiva siirtotiedosto, jossa kokonainen verkostomalli saadaan vietyä mallinnusohjelmaan. Tätä tukee myös se, että järjestelmästä on pystytty tuottamaan toimivia siirtotiedostoja Epanet-ohjelmaan. Tämä vaatii kuitenkin vielä testaamista pienemmässä mittakaavassa, tuottamalla esimerkiksi pienempiä verkostomalleja jostain verkoston osasta. Pienemmässä verkostossa on vähemmän verkostoa koskevaa dataa ja tällöin mahdollisten virheiden havaitseminen siirtotiedostossa on helpompaa. Tiedonsiirron toimivuus ja luotettavuus on tärkeää, jotta mahdolliset virheet jäisivät mallista pois ja käsin tehtävät työvaiheet saataisiin minimoitua.

### 3.7 SWMM-mallinnustulosten esittäminen verkkotietojärjestelmässä

Kun SWMM ohjelmassa on saatu mallinnettua viettoviemäriverkoston toimintaa, on tarpeen määrittää, mitä tietoja tuloksista on tärkeää esittää KeyAquassa. Viettoviemäriin mallinnuksessa saaduista tuloksista verkostotietojärjestelmässä esitettäviä parametreja ovat ainakin vietto, täyttöaste, virtausnopeus ja tulviminen. Tuloksien esittämisessä voidaan käyttää samoja periaatteita kuin Epanet-mallinnustulosten esittämisessä, jota käsitellään tarkemmin luvussa 4.4.

### 3.8 Siirtotiedoston testauksen yhteenveto

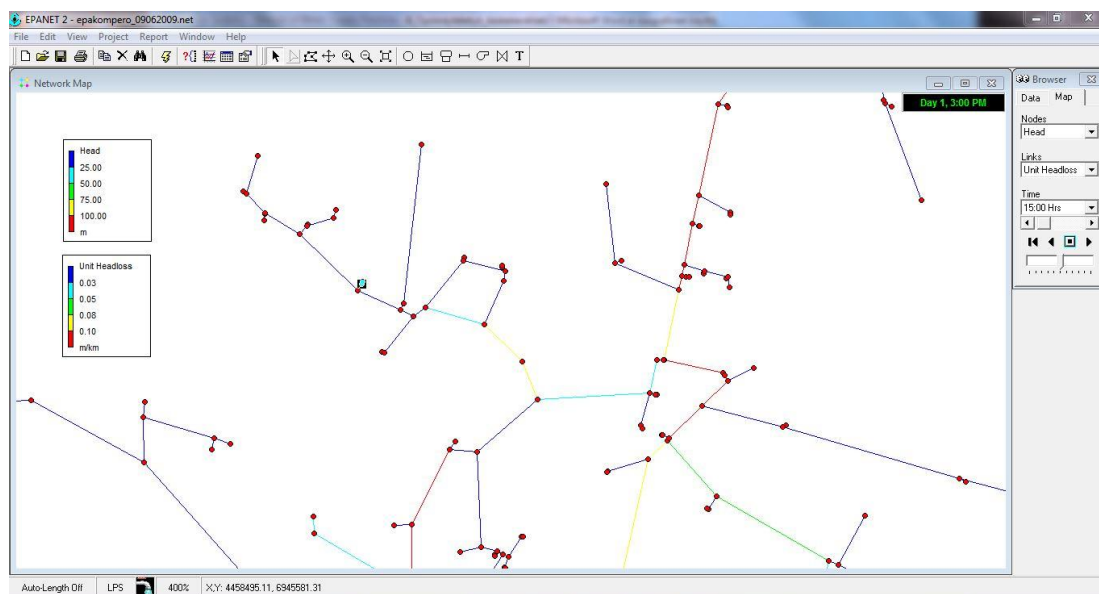
Yhteenvetona voidaan todeta, että KeyAquasta tuotetussa siirtotiedosto ei vielä ole täysin toimiva SWMM - ohjelmassa tapahtuvaan verkostomallinnukseen. Tuotetussa verkostomallissa on vielä liikaa virheitä, jotta luotettavaa mallinnusta voitaisiin tehdä. Siirtotiedon sisältämien tietojen oikeellisuus vaikuttaa paljon mallin luotettavuuteen. Virheellisiä tietoja pystytään toki muokkaamaan käsin, mutta tällöin siirtotiedoston hyödyt ja idea menee hukkaan, koska keskeisenä ajatuksena on, että koko verkostomalli saataisiin tuotettua automaattisesti verkkotietojärjestelmän sisältämästä tiedosta ja vietyä suoraan mallinnusohjelmaan. Toki verkostomallia pitää säätää vielä ohjelmassa ja tehdä tarvittavia muutoksia ennen mallinnuksen aloittamista. Siirtotiedoston testaaminen pienessä mittakaavassa on siis vielä tarpeen. KeyAquasta saadaan tuotettua hyvin todennäköisesti toimiva verkostomalli, kunhan tiedot saadaan siirtymään oikein siirtotiedostoon.

#### 4 EPANET-OHJELMAN MALLINNUSMAHDOLLISUUDET JA MALLINNUSTULOSTEN ESITTÄMINEN VERKOSTOTIETOJÄRJESTELMÄSSÄ

Verkostomallinnuksessa saatuja tuloksia verkostosta pitäisi myös pystyä hyödyntämään, tarkastelemaan ja esittämään muuallakin kuin itse mallinnusohjelmassa. Tämän osion tarkoituksena on tutkia ja selvittää mitä tietoja mallinnustuloksista pitäisi esittää ja miten niitä voitaisiin esittää ja havainnollistaa verkkotietojärjestelmässä. Tässä osiossa tarkoituksena on myös tuoda esille Epanet-mallinnusohjelman ominaisuuksia ja mahdollisuuksia verkostomallinnuksessa. Tulosten tallentamisessa verkkotietojärjestelmään tietokantaan saavutettaisiin monia hyötyjä. Esimerkiksi tiedon välittäminen asiakkaille helpottuisi ja tietoa voitaisiin hyödyntää suunnittelussa ja verkoston saneeraus-toimenpiteissä, sekä tiedon saanti eri käyttötarkoituksia varten olisi helpompaa. Laskentatuloksia pystytään esittämään selkeämmin ja helposti ymmärrettävässä muodossa teemakartoituksen avulla.

##### 4.1 Epanet-mallinnusohjelma

Epanet on vesijohtoverkoston mallinnukseen kehitetty mallinnusohjelma. Ohjelma Yhdysvaltojen ympäristöministeriön (Environmental Protection Agency) kehittämä. Ohjelma on ilmainen ohjelma ja nykyisin ohjelmaversio on Epanet 2.0, joka ilmestyi vuonna 1999. Vesijohtoverkoston kokoa ei ole ohjelmassa rajoitettu, joten sillä on mahdollista mallintaa ja tutkia suuriakin vesijohtoverkostoja. Epanetin mallinnus mahdollisuuksia käsitellään tarkemmin kohdassa 4.2. Ohjelman käyttöliittymä on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18 Epanetin käyttöliittymä (Ville Pennanen)

## 4.2 Epanet-mallinnusohjelman mahdollisuudet verkostomallintamisessa

Epanetilla on mahdollista tutkia ja mallintaa hyvin monenlaisia vedenjakeluverkoston tilanteita. Epanetin tekniset kyvyt voidaan jakaa kahteen osa-alueeseen, jotka ovat vedenlaadun mallintaminen ja verkoston hydrauliiikan mallintaminen. Ohjelmalla on mahdollista tehdä sekä staattisia että dynaamisia verkostomalleja. Epanetissä voidaan käyttää erilaisia tietojen raportointi- ja visualisointi työkaluja verkostanalyysin tuloksien tulkinnassa. Näitä ovat esimerkiksi värikoodatut verkostokartat, aikasarjakuvaajat, energian käyttö, kalibrintitiedostot, erilaiset taulukot, kuvaajat ja käyrät valituista parametreista. Epanet määrittää verkostomallista virtaamat putkista, paineet solmupisteistä, vedenpinnankorkeudet vesisäiliöistä, tietyn kemikaalin konsentraation verkostomallista simulointi ajanjaksona, veden viipymän eri verkoston pisteissä, sekä erilaiset aineenkulkeutumismallit. (EPA 2013a. )

Hydraulisiin mallinnusominaisuuksiin Epanetissä kuuluvat kitkahäviöiden laskenta(Hazen-Williamsin, Darcy-Weisbachin tai Chezy-Manningin kaava), paikallishäviöiden laskenta (mutkissa ja sovituksissa), vakionopeuksien ja vaihtuvanopeuksien pumppujen mallintaminen, pumppaus energian ja kustannusten laskeminen, erilaisten venttiilityyppien käyttö ja mallinnus, mahdollisuus käyttää erimuotoisia vesisäiliöitä, joiden pinnankorkeus voi olla vakio, ajansuhteen muuttuva tai perustua erilaisiin sääntöihin. Lisäksi ominaisuuksiin kuuluu erilaisten kulutustilanteiden mallinnus solmupisteissä, tällöin jokaisessa solmupisteessä voi olla oma kulutuskaava. (EPA 2000, 9 - 10. )

Veden laatua tutkittaessa Epanetillä voidaan tarkastella eri lähteistä tulevien vesien sekoittumista, veden viipymiä verkostossa, tutkia kloorijäämiä verkostossa, desifioinnin sivutuotteiden kasvua ja epäpuhtauksien kulkeutumista verkostossa. Ohjelmaa voidaan käyttää mm. näytteenoton suunnitteluun, desifioinnin sivutuotteiden muodostumisen tutkimiseen, altistumisarvioiden tuottamiseen, vaihtoehtoisten suunnitelmien arviointiin vedenlaadun parantamiseksi, pumppujen ja säiliöiden toiminnan muokkaamiseen, kustannussuunnitelmien laatimiseen putkistojen puhdistuksissa ja saneerauksessa, verkoston hydraulisen toiminnan parantamiseen, putkien, pumppujen ja venttiilien sijoittelun ja mitoituksen suunnittelussa, energiakustannusten minimoinnissa, palontorjuntatilanteiden analysoimisessa, verkoston alttiustutkimuksiin ja käyttökoulutukseen. (EPA 2000, 9 - 11: EPA. 2013a.)

## 4.3 Laskentatulosten tuottaminen Epanetistä

Epanetissä on mahdollista tuottaa erilaisia raportteja, kuvaajia, taulukoita laskentatuloksista. Verkostotietojärjestelmän teemakartoitusta varten on mahdollista tuottaa kokonaisvaltainen raportti mallinnuksesta (Full Report). Raporttiedosto on tyypiltään RPT tiedosto eli se on tekstitiedosto, jossa tulokset ovat luettelona. RTP tiedoston rakenne on esitetty kuvassa 13. Tässä raportissa on kaikki laskentatulokset solmupisteistä ja putkien osalta mallinusaikaväliltä. Dynaamisessa mallissa tulokset on lueteltu mallinnuksessa käytetyn raportointivälin, esimerkiksi tunnin välein, mukaisessa järjestyksessä. Raportointivälillä tarkoitetaan aikaväliä jolloin ohjelma tallentaa mallinnustulokset raportti-



tiedostoon. Kuvan 19 esimerkissä raportointiväli on ollut yksi tunti, jolloin ohjelman on kirjannut laskentatulokset tunninvälein raporttiedostoon.

2471	0.00	144.59	62.09	35.40	
2472	0.00	144.51	67.01	80.00	
¶					
Page 1270					
Node Results at 80:00 Hrs: (continued)					
Node ID	Demand LPS	Head m	Pressure m	Quality hours	
2478	0.00	141.98	59.48	80.00	
2479	0.00	144.51	62.01	80.00	
2483	0.00	144.51	64.51	80.00	
2501	0.00	144.51	62.01	80.00	
2521	0.00	145.07	62.57	18.29	
1	-0.80	145.28	0.00	0.00	Reservoir
Link Results at 80:00 Hrs:					
Link ID	Flow LPS	Velocity m/s	Unit Headloss m/km	Status	
10021	0.00	0.00	0.00	Open	
10026	0.01	0.00	0.00	Open	
10031	-0.06	0.02	0.03	Open	
10040	0.00	0.00	0.00	Open	
10041	0.01	0.00	0.00	Open	
10052	0.00	0.00	0.00	Open	
10064	0.00	0.00	0.00	Open	
10068	0.01	0.00	0.00	Open	
10069	0.00	0.00	0.00	Open	
10070	0.02	0.01	0.01	Open	
10072	0.01	0.00	0.00	Open	
10077	0.00	0.00	0.00	Open	
10079	0.01	0.00	0.00	Open	
10082	0.00	0.00	0.00	Open	
10084	0.00	0.00	0.00	Open	
10085	0.00	0.00	0.00	Open	
10094	0.04	0.02	0.02	Open	
10095	0.02	0.01	0.00	Open	
10101	0.05	0.02	0.02	Open	
10103	0.01	0.01	0.01	Open	
10104	0.00	0.00	0.00	Open	
10106	0.08	0.03	0.06	Open	
10107	0.00	0.00	0.00	Open	













Kuva 19 RPT-tietoston rakenne (Ville Pennanen)

#### 4.4 Teemakartoituksessa esitettävät parametrit

Epanetin raporttiedostosta teemakartoituksessa esitettäviä keskeisiä parametreja ovat ainakin paine solmupisteissä, virtausnopeus, painehäviöviivan kaltevuus, virtaama ja viipymä. Näiden lisäksi teemakartoituksessa tulisi esittää myös vedenkäyttö, joka ei ole raporttiedossa vaan ohjelmaan syötettävässä input-tiedossa.

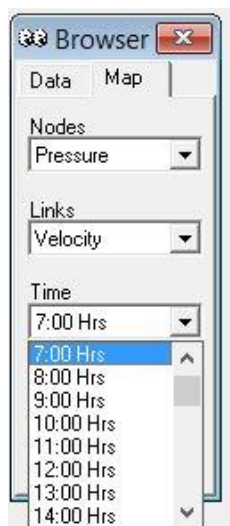
#### 4.5 Epanet laskentatulosten esittäminen verkostotietojärjestelmästä teemakartoituksen avulla

Esitettäessä mallinnustuloksia verkkotietojärjestelmässä on käyttäjän kannalta tärkeää, että esitystapa on yksinkertainen, helposti ymmärrettävä, ulkoasultaan selkeä ja käyttäjän itsensä muokattavissa. Epanetissä tuotetut laskentatulokset on helpointa esittää teemakartoituksessa värikoodauksen avulla. Tämä vaihtoehto on käyttäjän kannalta selkein ja havainnollisin. Solmupisteiden kuvauksessa pallomainen objekti lienee selkein ja putkia voisi kuvata yksinkertaisesti viivoilla (kuva 20).

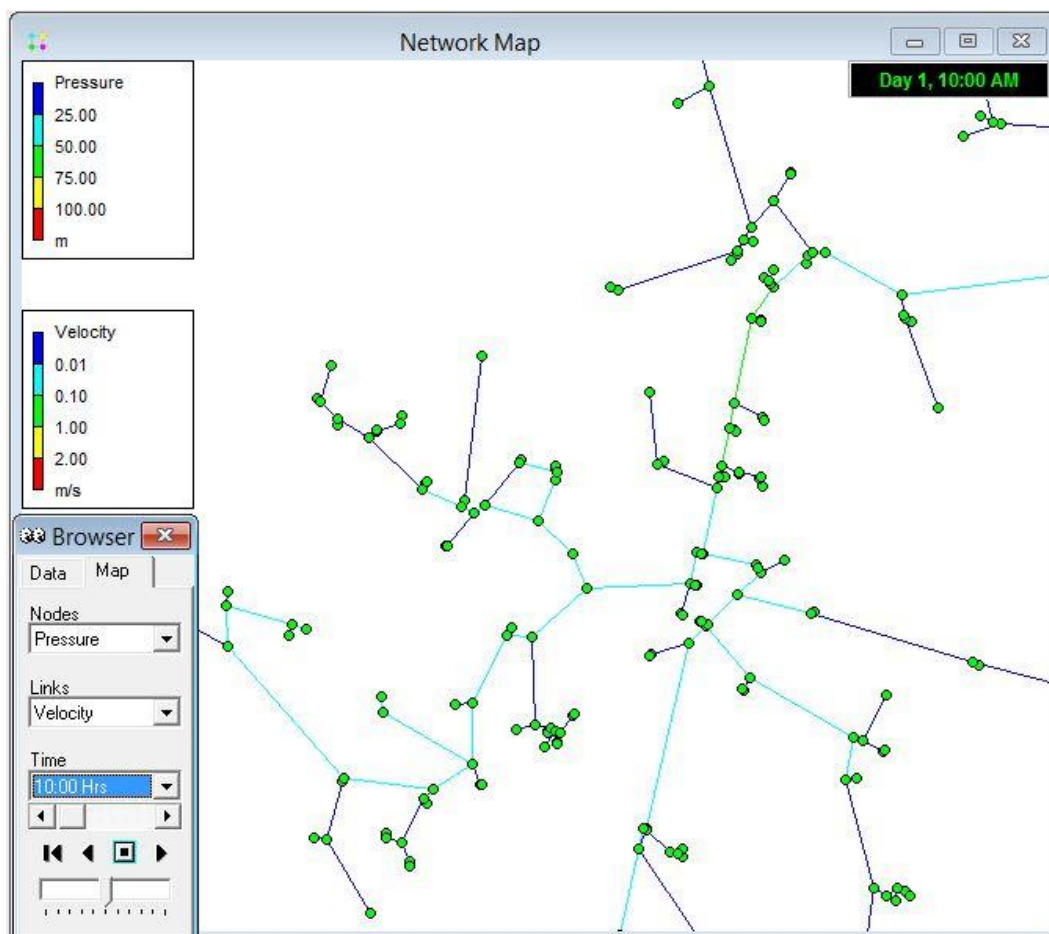
Virtaama lps	Paine solmupisteissä mvp
 0-20	 0-20
 20-40	 10-20
 40-60	 20-30
 60-80	 30-40
 80-100	 40-50
 100-120	 50-60

Kuva 20 Teemakartoituksen värikoodaus esimerkki (Ville Pennanen)

Teemakartoituksessa käyttäjällä pitäisi olla mahdollisuus valita, mitä kohdassa 4.4 esitettyjen parametrien tuloksia hän haluaa järjestelmässä näytettävän. Verkkotietojärjestelmän käyttöliittymässä esitettävät parametrit voisivat olla jaettuna omiin alasvetovalikoihin, joista käyttäjä voisi valita mitä mallinnustuloksia hän haluaa tarkastella solmupisteiden ja putkien osalta. Solmupisteiden ja putkien parametreille tulisi olla erilliset alasvetovalikot. Toisena vaihtoehtoina olisi parametrien esittäminen tasoina. Tällöin käyttäjä voisi laittaa haluttuja tasoja pois ja päälle mielensä mukaan. Dynaamisen mallin mallinnustuloksia varten teemakartoituksessa pitäisi olla myös mahdollisuus katsella ja selata tuloksia mallinnusajanjaksolla. Toimintoa on havainnollistettu kuvissa 21 ja 22.



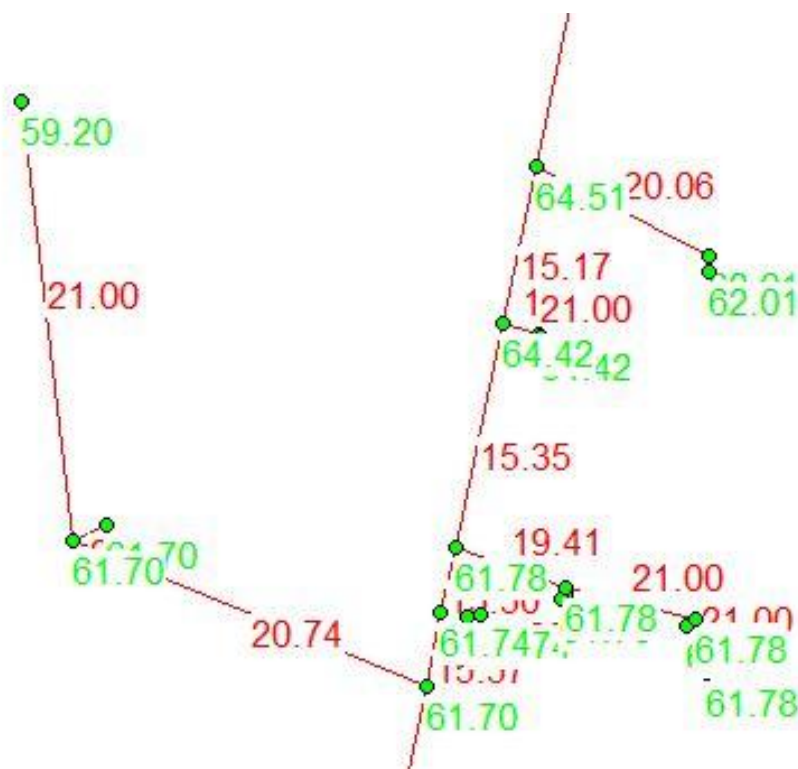
Kuva 21 Mallinnustuloksien ajankohdan valitseminen(Ville Pennanen)



Kuva 22 Mallinnustuloksien katselu(kuva Ville Pennanen)

Värikoodausta käytettäessä pitää päättää myös, minkälaisella tarkkuudella kukin parametri esitetään. Esimerkiksi kuvan 20 esimerkissä paineen suuruutta solmupisteissä on ilmaistu eri värein, tällöin koodauksesta kyllä näkee millä tasolla paineet ovat kussakin solmupisteessä. Ongelmana on että tarkkaa paineentasoa väristä ei näe. Esimerkiksi jos paine solmupisteessä x on vaikkapa 23.6 mvp(metriä vesipatsasta), niin silloin solmupiste olisi vihreän värinen ja väristä näkisi kyllä, että paineen taso on välillä 20 - 30 mvp, mutta tarkkaa arvoa tällöin ei näe. Siksi pä teemakartoituksessa mallinnustulokset voisivat näkyä solmupisteissä ja putkissa lukuarvoina värikoodauksen lisäksi.

Lukuarvojen näytön huonona puolena on se, että näkymä menee äkkiä hyvin sekavaksi kun lukuja on paljon. Tästä johtuen lukuarvojen näyttö voisi olla käyttäjän valittavissa. Lukuarvojen näyttöä on havainnollistettu kuvassa 23. Kuvassa näkyvät paine solmupisteissä ja veden viipymä. Kuten esimerkiksi kuvasta voi huomata, niin lukuarvojen näytössä on ongelmana se että ne tahtovat helposti mennä päällekkäin, jolloin tuloksien luettavuus ja selkeys heikkenevät.



Kuva 23 Lukuarvojen näyttö esimerkki (kuva Ville Pennanen)

Mallinnustuloksien siirtäminen ja tallentaminen verkkotietojärjestelmään on oma lukunsa. Epanetistä saadaan tuotettua aikaisemmin kohdassa 4.3 esitelty raporttiedosto, jossa on verkostomallinnuksen tulokset mallinnusajanjaksolta. Yhtenä haasteena ovat vielä kuinka tulokset saadaan tallennettua ja esitettyä KeyAquassa. Tuloksien tallentaminen vaatii KeyAquan järjestelmään jonkinlaisen toiminnon joka lukee raporttiedoston tai sitten RPT-tiedosto pitää lukea jollakin toisella ohjelmalla, jotta tiedot saadaan verkkotietojärjestelmään ajatellen sopivaan muotoon. Haasteena on, että tiedot saadaan yhdistettyä oikein ja oikeisiin kohtiin verkostossa. Tiedonsiirrossa ja muuntamisessa on kumminkin aina mahdollisuus virheisiin.

#### 4.6 Yhteenveto

Tärkeimpiä verkkotietojärjestelmässä esitettäviä parametreja Epanetin osalta ovat paine solmupisteissä, virtausnopeus, painehäviöviivan kaltevuus, virtaama ja viipymä. SWMM-ohjelman tuloksista vieto, täyttöaste, virtausnopeus ja tulviminen ovat olennaisia parametreja. Tosin siirtotiedosto pitää saada toimimaan, jotta mallinnusta päästään ylipäättänsä tekemään. Molemmissa ohjelmissa tulokset ovat lukuarvoja, joten niiden esittäminen teemakartoituksena KeyAquassa on helpointa tehdä värikoodauksen avulla, jolla ilmaistaan tarkasteltavien parametrien suuruutta ja tasoa.

Esitettäessä mallinnustuloksia esitystavan pitää olla selkeä ja ymmärrettävä, sekä riittävän yksinkertainen.

Mallinnustulosten esittäminen KeyAquassa on mahdollista, mutta se vaatii vielä järjestelmän muok-  
kausta ja kehittämistä. Mallinnustulosten esittämisessä ja tallentamisessa järjestelmään on monia  
hyötyjä joten kehitystyötä kannattaa ehdottomasti jatkaa.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia KeyAqua-verkkotietojärjestelmän soveltuvuutta viemäri-verkoston mallinnuksen lähdemateriaaliksi. Työn toisen tavoitteena oli tutkia kuinka Epanet - mallinnusohjelman mallinnustuloksia voitaisiin siirtää verkkotietojärjestelmään ja esittää selkeästi järjestelmässä. Työssä käsiteltiin myös mallinnusohjelmien ominaisuuksia ja kykyjä, sekä yleisesti verkostomallinnuksen teoriaa.

Työ aloitettiin teoriaosuudella ja mallinnuksen teoriaan perehtymisestä oli hyötyä työtä tehtäessä. KeyAquasta tuotettu siirtotiedosto ei vielä osoittautunut täysin toimivaksi ja näin ollen itse mallinnusta ei päästy suorittamaan toivotussa mittakaavassa. Suurimmat ongelmat siirtotiedostossa liittyivät puutteellisiin ja virheellisiin verkostotietoihin. Tältä osin siirtotiedostossa on vielä kehitettävää. Työn tuloksena saatiin selville siirtotiedostossa ilmeneviä ongelmia ja tietojen avulla yritys voi kehittää lisää KeyAqua -verkkotietojärjestelmää, jotta tiedot saataisiin siirtymään oikein siirtotiedostoon. Yritys sai myös tietoa siirtotiedoston rakenteesta ja viettoviemärin mallinnuksessa tarvittavista tiedoista.

Mallinnustulosten viemisestä verkkotietojärjestelmään yritys sai tietoa siitä, mitä mallinnustuloksista pitäisi verkkotietojärjestelmässä esittää ja miten tietoja voidaan esittää verkkotietojärjestelmässä teemakartoituksen avulla. Työn tuloksena yritys sai myös tietoa mallinnusohjelmien kyvyistä ja ominaisuuksista. Tiedoista on hyötyä kehitettäessä asiakkaille tarjottavia palveluita ja kehitettäessä jo olemassa olevia ohjelmia ja palveluita mallinnusta ajatellen.

Verkostomallinnuksella on merkittävä asema vesihuollon suunnittelussa ja ylläpidossa. Tulevaisuuden suuntauksena näyttää olevan yhä enemmän verkkotietojärjestelmien hyödyntäminen mallinnusprosesseissa. Verkkotietojärjestelmän tarjoamat hyödyt ovat merkittävät ja voidaankin olettaa verkkotietojärjestelmien käytön kasvavan verkostomallinnuksessa.

## LÄHTEET

American Water Works Association 2005a. Steady-state simulation. M32 Computer Modeling of Water Distribution Systems. Second Edition. Denver: Colorado.

American Water Works Association 2005b. Extended-Period Simulation. M32 Computer Modeling of Water Distribution Systems. Second Edition. Denver: Colorado.

American Water Works Association 2012a. Steady-state simulation. M32 Computer Modeling of Water Distribution Systems. Third Edition. Denver: CO.

American Water Works Association 2012b. Extended-Period Simulation. M32 Computer Modeling of Water Distribution Systems. Third Edition. Denver: CO.

American Water Works Association 2012c. Transient Analysis. M32 Computer Modeling of Water Distribution Systems. Third Edition. Denver: CO.

EPA (U.S. Environmental Protection Agency) 2000. Epanet 2 Users Manual. Cincinnati: OH

EPA (U.S. Environmental Protection Agency) 2003. SWMM Input Data Formats. Cincinnati: Ohio.

EPA (U.S. Environmental Protection Agency) 2010. Storm Water Management Model Users` s Manual V5.0. Cincinnati, OH.

EPA (U.S. Environmental Protection Agency) 2013a [verkkojulkaisu] [viitattu: 14.9.2013] Saatavissa: <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/dw/epanet.html>

EPA (U.S. Environmental Protection Agency) 2013b [verkkojulkaisu] [viitattu: 14.9.2013] Saatavissa: <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/swmm/>

Keypro Oy 2013. Keyaqua - käyttöohje versio 1.6.

Walski T.M., Chase D.V., Savic D.A. 2001. Applications of Water Distribution Modeling. Water Distribution Modeling. Yhdysvallat: Connecticut.

Walski T.M., Chase D.V., Savic D.A. 2001. Types of Simulations. Water Distribution Modeling. First Edition. Yhdysvallat: Connecticut.

Walski T.M., Chase D.V., Savic D.A. 2001. Skeletonization. Water Distribution Modeling. First Edition. Yhdysvallat: Connecticut.

LIITE 1 SIIRTOTIEDOSTON ESIMERKKI

```
[TITLE]
ESIMERKKI PROJEKTI

[OPTIONS]
FLOW_UNITS          LPS
INFILTRATION        HORTON
FLOW_ROUTING        KINWAVE
START_DATE           03/17/201
START_TIME           00:00:00
REPORT_START_DATE    03/17/2011
REPORT_START_TIME    00:00:00
END_DATE             03/18/2011
END_TIME             00:00:00
SWEEP_START          01/01
SWEEP_END            12/31
DRY_DAYS             0
REPORT_STEP          00:00:01
WET_STEP             00:00:01
DRY_STEP             00:00:01
ROUTING_STEP         0:00:01
ALLOW_PONDING       NO
INERTIAL_DAMPING     PARTIAL
VARIABLE_STEP        0.75
LENGTHENING_STEP    0
MIN_SURFAREA         0
NORMAL_FLOW_LIMITED BOTH
SKIP_STEADY_STATE    NO
FORCE_MAIN_EQUATION  H-W
LINK_OFFSETS         DEPTH
MIN_SLOPE            0

[EVAPORATION]
;;Type      Parameters
;;-----
CONSTANT    0.0
DRY_ONLY    NO
```



[JUNCTIONS]

;; ;;Name ;;	Invert Elev.	Max. Depth	Init. Depth	Surcharge Depth	Ponded Area
1	91.5	2.5	0	0	0
2	90.5	2.5	0	0	0
3	94.5	2.5	0	0	0
4	90.5	2.5	0	0	0
5	88	2.5	0	0	0
6	86.5	2.5	0	0	0
7	85.5	2.5	0	0	0
8	85	2.5	0	0	0
9	86	2.5	0	0	0
10	84.5	2.5	0	0	0
11	87	2.5	0	0	0
12	86	2.5	0	0	0
13	84	2.5	0	0	0
14	85.5	2.5	0	0	0
15	83.5	2.5	0	0	0
16	83	2.5	0	0	0
17	82.5	2.5	0	0	0
18	84.5	2.5	0	0	0
19	86.5	2.5	0	0	0
20	89	2.5	0	0	0
21	84	2.5	0	0	0
23	84.5	2.5	0	0	0
24	89	2.5	0	0	0
25	84	2.5	0	0	0
26	85.5	2.5	0	0	0
27	90	2.5	0	0	0
29	82	2.5	0	0	0
30	83	2.5	0	0	0
31	87	2.5	0	0	0
33	86.5	2.5	0	0	0
34	85.5	2.5	0	0	0
35	84.5	2.5	0	0	0

[OUTFALLS]

;; ;;Name ;;	Invert Elev.	Outfall Type	Stage/Table Time Series	Tide Gate
22	81	FREE		NO

[CONDUITS]

;; ;;Name	Inlet Node	Outlet Node	Length	Manning N	Inlet Offset	Outlet Offset	Init. Flow	Max. Flow
p2	3	2	173.7	0.02	0	0	0	0
p3	4	5	322.4	0.02	0	0	0	0
p4	7	8	30.51	0.02	0	0	0	0
p5	8	10	164.7	0.02	0	0	0	0
p6	11	9	135.1	0.02	0	0	0	0
p7	14	13	72	0.02	0	0	0	0
p8	18	30	106.2	0.02	0	0	0	0
p10	29	22	115.4	0.02	0	0	0	0
p11	20	19	285.5	0.02	0	0	0	0
p12	24	23	132.1	0.02	0	0	0	0
p13	27	26	127.1	0.02	0	0	0	0
p14	26	25	208.99	0.02	0	0	0	0
p15	25	22	166.15	0.02	0	0	0	0
p17	23	21	77.84	0.02	0	0	0	0
p18	19	21	55.23	0.02	0	0	0	0
p20	9	7	94.34	0.02	0	0	0	0
p22	5	6	125.95	0.02	0	0	0	0
p23	2	5	177	0.02	0	0	0	0
p24	1	2	176.88	0.02	0	0	0	0
p25	12	8	100.4	0.02	0	0	0	0
p26	33	10	150.43	0.02	0	0	0	0
p27	10	13	106.5	0.02	0	0	0	0
p28	15	16	118.90	0.02	0	0	0	0
p29	34	16	85.07	0.02	0	0	0	0
p30	16	17	78.03	0.02	0	0	0	0
p31	17	29	103.1	0.02	0	0	0	0
p32	21	30	106.6	0.02	0	0	0	0
p33	30	29	121.8	0.02	0	0	0	0
p34	35	17	136.71	0.02	0	0	0	0
p35	13	15	159.33	0.02	0	0	0	0
1	6	7	180.76	0.02	0	0	0	0

[XSECTIONS]

;;Link	Shape	Geom1	Geom2	Geom3	Geom4	Barrels
p2	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p3	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p4	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p5	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p6	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p7	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p8	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p10	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p11	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p12	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p13	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p14	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p15	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p17	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p18	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p20	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p22	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p23	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p24	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p25	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p26	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p27	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p28	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p29	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p30	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p31	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p32	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p33	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p34	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
p35	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1
1	CIRCULAR	0.15	0	0	0	1

[REPORT]

INPUT NO  
CONTROLS NO  
SUBCATCHMENTS ALL  
NODES ALL  
LINKS ALL  
|

[MAP]

DIMENSIONS 34380.640 67856.480 35416.670 68863.490  
Units None

[COORDINATES]

;;Node	X-Coord	Y-Coord
1	34618.800	68408.100
2	34626.160	68233.020
3	34472.400	68293.830
4	34427.730	68180.100
5	34696.880	68074.430
6	34770.310	67972.580
7	34943.160	68025.480
8	34956.080	67997.830
9	35008.740	68091.560
10	35118.210	67980.130
11	35123.690	68111.880
12	34876.830	67951.090
13	35221.440	67964.550
14	35229.730	68034.750
15	35369.570	68009.620
16	35292.380	68100.060
17	35255.860	68167.150
18	35125.350	68218.650
19	35026.320	68263.210
20	34834.210	68164.310
21	35020.020	68318.070
23	35011.780	68395.480
24	34900.960	68448.490
25	35094.860	68415.440
26	34995.590	68539.870
27	34885.370	68583.680
29	35231.120	68266.190
30	35126.080	68323.470
31	34658.160	67902.250
33	35133.087	68108.753
34	35234.520	68043.424
35	35129.993	68211.561
22	35254.820	68373.840