



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

ÄLYKKÄÄT PATOLUUKUT SEKAVIEMÄRIVERKOSTON YLIVUOTOREITTIIEN HALLINNASSA

TEKIJÄ: Arttu Pelho

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Arttu Pelho			
Työn nimi Älykkäät patoluukut sekaviemäriverkoston ylivuotoreittien hallinnassa			
Päiväys	25.4.2017	Sivumäärä/Liitteet	42(5)
Ohjaaja(t) Yliopettaja Pasi Pajula ja lehtori Teemu Räsänen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Helsingin seudun ympäristöpalvelut – kuntayhtymä, vesihuolto, verkko-osasto			
Tiivistelmä			
<p>Helsingin kantakaupungin alueella sijaitsee Suomen laajin sekaviemäriverkosto, jossa tapahtuu ylivuotoja useita kertoja vuodessa rankkasateiden seurauksena. Ylivuotojen mukana ympäristöön pääsee esimerkiksi ravinteita, orgaanista ainesta sekä mikrobeja, jotka heikentävät ympäröivän vesistön tilaa. Ylivuotokaivot sijaitsevat vesistön rannassa ja niiden korkeusasema on melko lähellä merenpintaa, jolloin merenpinnan noustessa väliaikaisesti sääolosuhteiden takia, ylivuotokynnykset jäävät veden alle ja merivettä pääsee vuotamaan sisään sekaviemäriverkoston. Verkostoon päässyt merivesi aiheuttaa ylimääräisiä pumppauskustannuksia ja haittaa jätevedenpuhdistamon toimintaa.</p> <p>Insinööriyön tavoitteena oli selvittää Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymälle älykkäiden patoluukkujen vaikutukset ja kustannusnäkökohdat Helsingin sekaviemäriverkoston ylivuotokaivoihin asennettaessa. Tulokset oli tarkoitus saada konkreettinen kustannuslaskelma, josta selviää älykkäiden patoluukkujen tuomat säästöt ja investointikustannukset. Työssä selvitettiin myös älykkäiden patoluukkujen käyttöä maailmalla.</p> <p>Työn perustaksi tehtiin ensimmäisenä kirjallisuusselvitys älykkäistä luukuista sekaviemäriverkoston. Työtä jatkettiin selvittämällä Helsingin sekaviemäriverkoston vesistöön päätyvien ylivuotojen määrä ja laatu. Ylivuotovesille määritettiin hinta Tanskassa käytössä olevan jätevesiveron pohjalta. Seuraavana vaiheena määritettiin keino arvioida sekaviemäriin sisään vuotavan meriveden määriä. Arviot päätettiin tehdä Torricellin lain pohjalta. Sisään vuotavan meriveden kustannusvaikutusten tarkastelu pohjautui HSY:n jätevesipuolelta saatuihin tietoihin jäteveden pumppauskustannuksista verkostossa sekä käsittelykustannuksista jätevedenpuhdistamolla.</p> <p>Työn tuloksena saatiin kustannuslaskelma älykkäiden patoluukkujen asentamisen kannattavuudesta sekä kirjallisuustutkimus älykkäiden luukkujen käytöstä maailmalla. Tuloksena saatiin myös arviot älykkäiden patoluukkujen asentamisen imagollisista ja ympäristöllisistä vaikutuksista. Työn tuloksena tehtiin myös hahmotelma investointisuunnitelmasta sekä annettiin ehdotuksia sekaviemäriverkoston kehittämiseen. Työn tuloksia voidaan käyttää perusteltaessa älykkäiden patoluukkujen tarvetta osana Helsingin sekaviemäriverkoston. Lisäksi työn tulosten pohjalta voidaan jatkaa sekaviemäriverkoston kehittämistä.</p>			
Avainsanat Sekaviemäriverkosto, ylivuoto, patoluukku, älykäs vesi			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author(s) Arttu Pelho			
Title of Thesis Smart gates in the control of overflow routes in the combined sewer network			
Date	25.4.2017	Pages/Appendices	42(5)
Supervisor(s) Mr Pasi Pajula, Principal Lecturer and Mr Teemu Räsänen, Lecturer			
Client Organisation /Partners Helsinki Region Environmental Services Authority, Water services			
<p>Abstract</p> <p>The largest combined sewer network in Finland is located in the Helsinki city center, where overflows occur several times a year as a result of heavy rains. In the case of overflows, nutrients, organic matter and microbes, for example, flow into the surrounding waters and can weaken the state of them. The overflow structures are located at the waterfront and their altitude is quite close to the sea surface, so when the sea surface temporarily rises due to weather conditions, the overflow thresholds remain underwater and the seawater can leak into the combined sewer network. Seawater entering the network causes additional pumping costs and impedes the operation of the wastewater treatment plant.</p> <p>The aim of this thesis was to find out about the impact and cost aspects of smart gates in combined sewer overflow structures in the Helsinki combined sewer network. The purpose was to get a tangible cost calculation, which explains the savings and investment costs of smart gates. Also the use of smart gates around the world was studied.</p> <p>First, a literature review was conducted on smart gates in combined sewage networks. The work was continued by finding out the amount and quality of the overflows reaching the watercourse from the Helsinki combined sewer network. For overflows, the price was determined on the basis of the Danish waste water tax. The next step was to determine the way to estimate the amount of seawater that is leaking into the combined sewer. Estimates were made on the basis of Torricelli's law. The review of cost implications of the leaking seawater was based on data from the waste water experts of HSY on the pumping costs of wastewater in the network and on the treatment costs at the wastewater treatment plant.</p> <p>As a result of the study, a cost calculation of the profitability of the installation of smart gates and literary research on the use of smart gates around the world were obtained. The results of the study also included estimates of the image and environmental impacts of the installation of the smart gates. The study also resulted in an outline of the investment plan and suggested proposals for the development of a combined sewer network. The results of the work can be used when justifying the need for smart gates as part of the Helsinki combined sewer network. In addition, based on the results of the study, the development of a combined sewer network can be continued.</p>			
Keywords Combined sewer network, smart gates, combined sewer overflow, smart sewer			

ESIPUHE

Haluan kiittää Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut -kuntayhtymän vesihuollon verkostopalveluiden tutkimusryhmää ja erityisesti Tiia Lampolaa, joka ennakkoluulottomasti tarjosi tätä opinnäytetyön aihetta minulle, sekä Anssi Yrjölää ammattitaitoisesta ja kannustavasta ohjaamisesta työn aikana.

Toiseksi haluan kiittää Pasi Pajulaa, joka ensimmäisen opintovuoden kursseilla loi minulle kiinnostuksen vesialaan ja joka ohjasi tämän työn tekemistä.

Kolmanneksi haluan kiittää perhettäni. Avopuolisoani, joka on tukenut minua opinnäytetyön tekemisessä ja opinnoissani sekä vanhempiani, jotka ovat aina kannustaneet minua tekemään omat päätökseni, ja veljeäni ja siskoani, joita ilman minusta ei olisi tullut sitä mitä nyt olen.

Viimeiseksi haluan kiittää Tarinan Puutarhan yrittäjää, Timo Korpea, joka on opettanut minulle, mitä työnteko on, ja jonka työntekijänä olen saanut tienata opiskelijaelämää helpottavaa taskurahaa aina 15-vuotiaasta lähtien.

Tämän työn tekeminen oli suuri ponnistus, mutta mielenkiintoinen ja kehittävä sellainen. Aihe oli hyvin kiinnostava ja Suomen mittakaavassa melko ainutlaatuinen. Haasteita työn tekemiseen toi erityisesti sen tekeminen täysin etätyönä. Se opetti yhteydenpidon tärkeyden, jossa nykytekniikka auttoi merkittävästi. Oman haasteensa toi myös lähdemateriaali, jota ei suomen kielellä juurikaan löytynyt. Kaikkien haasteiden myötä tunnen ammattitaitoni kehittyneen insinööriltä vaadittavalle tasolle. Tästä on hyvä jatkaa.

Kuopiossa 20.4.2017

Arttu Pelho

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	SEKAVIEMÄRÖINTI.....	7
2.1	Sekaviemäreiden ylivuodot	8
3	ÄLYKÄS VESIHUOLTO	9
3.1	Älykäs vesihuolto maailmalla.....	10
3.2	HSY:n ÄlykäsVesi -projekti.....	11
4	ÄLYKKÄÄT PATOLUUKUT	13
4.1	Älykkäät luukut maailmalla	14
4.2	Älykkäiden luukkujen haasteita	15
5	HELSINGIN SEKAVIEMÄRIVERKOSTON LÄHTÖTILANNE	17
5.1	Verkostotarkastelu	17
5.2	Purkuvesistön vedenlaatu	18
5.3	Nykyiset ratkaisut ylivuotoreiteillä	19
6	SEKAVIEMÄRIVERKOSTOON SISÄÄNVUOTAVAN MERIVEDEN MÄÄRÄN ARVIOINTI	22
7	VESISTÖÖN PURKAUTUVIEN YLIVUOTOJEN HINNOITTELU	25
8	VIEMÄRIIN SISÄÄNVUOTAVAN MERIVEDEN AIHEUTTAMAT KUSTANNUKSET	28
9	ÄLYKKÄIDEN LUUKKUJEN ASENTAMISEN KUSTANNUSLASKELMA.....	30
10	ÄLYKKÄIDEN PATOLUUKKUJEN ASENTAMISEN VAIKUTUKSET	32
10.1	Imagovaikutukset	32
10.2	Ympäristövaikutukset	32
11	JOHTOPÄÄTÖKSET	33
	LÄHTEET	35
	LIITE 1: HELSINGIN SEKAVIEMÄRIVERKOSTON YLIVUOTOKAIVOT (VAIN TILAAJAN KÄYTTÖÖN)38	
	LIITE 2: SEKAVIEMÄRÖIDYN ALUEEN LASKENNALLISET VERKOSTOYLIVUOTOMÄÄRÄT 2016.....	39
	LIITE 3: HELSINGIN SEKAVIEMÄRÖIDYN ALUEEN YLIVUODOT KARTALLA 2015 (VAIN TILAAJAN KÄYTTÖÖN).....	40
	LIITE 4: YLIVUOTOJEN KAIVOKOHTAINEN KUSTANNUSLASKELMA	41
	LIITE 5: MERIVEDEN SISÄÄNVUODON YLIVUOTOKAIVOKOHTAINEN KUSTANNUSLASKELMA (VAIN TILAAJAN KÄYTTÖÖN).....	42

1 JOHDANTO

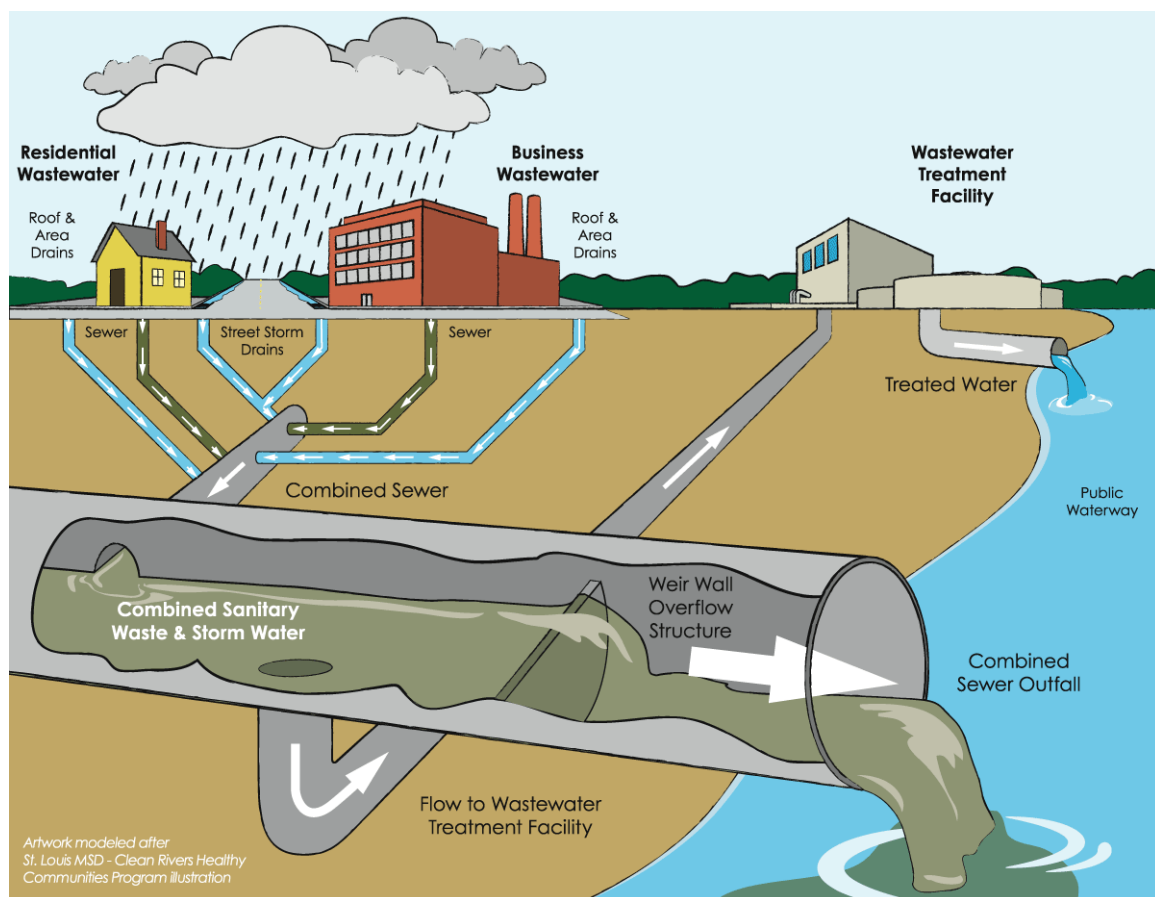
Helsingin kantakaupungin alueella sijaitsee Suomen mittakaavassa ainutlaatuinen sekaviemäriverkosto. Sekaviemäriverkosto on vanhanaikainen tapa johtaa jätevedet ja hulevedet pois kaupunkien keskustoista ja siksi niitä tavataan lähinnä suurten vanhojen kaupunkien keskusta-alueilla. Euroopassa sekaviemäröityjä kaupunkeja on paljon ja siellä etsitään ratkaisuja samankaltaisiin ongelmiin kuin Helsingissä.

Helsingin kantakaupungin sekaviemäriverkostosta pääsee vuosittain karkaamaan jätevettä ylivuotoina Suomenlahteen. Ylivuodot lisäävät Suomenlahden jo muutenkin suurta ravinnekuormitusta ja heikentävät erityisesti rantavesien laatua. Sekaviemäriverkosto on myös haavoittuvainen merenpinnan hetkellisille nousuille, jolloin merivesi pääsee ylivuotokaivojen kautta verkostoon ja aiheuttaa ongelmia verkostossa sekä jätevedenpumppaamalla. Helsingin seudun ympäristöpalvelut - kuntayhtymässä nämä asiat on otettu huomioon ja sekaviemäröinnin ongelmiin haetaan ratkaisuja, sillä esimerkiksi ylivuodot eivät ole enää samalla tavalla hyväksytyjä kuin ennen, koska niiden vähentämiseen vaadittava teknologia on olemassa ja taloudellisesti mahdollista.

Tässä työssä on tavoitteena selvittää onko älykkäiden patoluukkujen asentaminen sekaviemäriverkoston ylivuotokaivoihin taloudellisesti kannattavaa vesihuoltolaitoksen näkökulmasta tarkasteltuna. Älykkäillä patoluukuilla on tarkoitus vähentää sekaviemäriverkoston ylivuotojen ja meriveden sisäänvuotojen määrää lähes reaaliaikaisen seurannan ja ohjauksen avulla. Investoinnin kannattavuutta arvioitaessa huomioidaan paitsi taloudellinen näkökulma myös imago- ja ympäristövaikutukset. Sisään vuotavan meriveden aiheuttamien kustannusten arvioimiseksi työssä tehdään laskennallinen arvio sisään vuotavasta merivedestä, joka perustuu ylivuotokynnysten ja merenpinnan korkeustietoihin sekä nykyisten luukkujen arvioituun tiiveyteen. Sekaviemäriverkoston ylivuodot ympäristöön hinnoitellaan maailmalta saatujen esimerkkien mukaan ja työssä tarkastellaan alustavasti myös ylivuotojen imago- ja ympäristövaikutuksia. Työssä otetaan selvää älykkäiden luukkujen hinnoista ja niiden asentamiskustannuksista. Työssä perehdytään älykkäisiin luukkuihin ja sekaviemärin ylivuotoihin maailmalla. Lopuksi laaditaan tulosten perusteella investointijärjestys sekaviemäriverkoston ja suositellaan jatkotoimenpiteitä. Työn päällimmäisin ja tärkein tavoite on kustannuslaskelman aikaansaaminen patoluukkujen kustannuksista ja tuotoista, jonka avulla HSY pystyy arvioimaan luukkujen asentamisen tarpeellisuutta.

2 SEKAVIEMÄRÖINTI

Sekaviemäri on viemäröintijärjestelmä, jossa asuinjätevedet, teollisuuden jätevedet ja hulevedet johdetaan samaan viemäriin. Yleensä sekaviemärijärjestelmiä on käytössä vain vanhojen kaupunkien keskusta-alueilla, joiden viemärijärjestelmä on rakennettu 1900-luvun alussa tai ennen sitä. Länsimaissa on 1960-luvun jälkeen rakennettu pääasiassa vain erillisviemäröityjä järjestelmiä, kun kaupungeja on laajennettu. (Field, Sullivan & Tafuri 2004; Marsalek, Sztruhan, Guilianelli & Urbonas 2004.)



Kuva 1. Sekaviemärijärjestelmän toiminta (Heron 2014.)

Ensimmäiset tiedot sekaviemäreistä ovat minolaisesta kulttuurista Kreetalta noin vuosilta 3000 – 1000 eaa. Heillä oli käytössään kivistä tehtyjä ojia ja kanavia, jotka johtivat asuinjätevedet ja sadevedet pääviemäriin, joka purki jätevedet huomattavan etäisyyden päähän. Ensimmäiset maanalaiset viemärijärjestelmät rakensivat etruskit vuoden 600 eaa. tienoilla. Roomalaiset paransivat näitä etruskien järjestelmiä kehittämällä järjestelmällisesti viemäriverkostoa erityisesti hulevesien johtamiseksi pois kivipäällysteisiltä teiltä ja kaupungeista. Roomalaisessa sekaviemärijärjestelmässä viemäri ei kuitenkaan ollut liitettyä taloihin, vaan sanitaatiojätteet heitettiin kadunvarressa olevaan viemäriin, josta ne huuhtoutuivat akveduktien ja sateiden tuoman veden vaikutuksesta pois. Rooman valtakunnan ajaututtua tuohon, viemäröintijärjestelmät vaipuivat unholaan yli tuhannen vuoden ajaksi. Vasta 1800-luvun puolivälissä Lontoossa ja Hampurissa alettiin suunnittelemaan sanitaatiojätteiden viemäröintiä. Silloin ratkaisuna oli käyttää hulevesien johtamiseen tarkoitettuja viemäreitä myös sanitaatiojätteen poiskuljettamiseen ja nykyaikainen sekaviemärijärjestelmä oli syntynyt. (Field, Sullivan & Tafuri 2004.)

2.1 Sekaviemäreiden ylivuodot

Koska sekaviemärissä kulkee sekä asuinjätevesi että hulevedet, on selvää, että rankkojen ja pitkäkestoisten sateiden sekä lumen sulamisen aikaan viemärijärjestelmän kapasiteetti joutuu koetukselle. Sekaviemärit ovat yleensä aina mitoitettu moninkertaisesti kuivan sään virtaamaa suuremmiksi, mutta silti niiden kapasiteetti ei aina riitä. Näin ollen sekaviemäriverkostossa tarvitaan keino estää kapasiteetin ylittyminen, jotta katujen ja talojen viemärit eivät tulvi yli. Ratkaisuna ovat ylivuotokynnykset, joiden kautta jätevesi pääsee purkautumaan vesistöihin, kun verkoston kapasiteetti ylittyy. Kapasiteetin ylittyminen esitetty kuvassa 1. Näitä tapahtumia kutsutaan sekaviemäriverkoston ylivuodoiksi (engl. combined sewer overflow, CSO). (Field, Sullivan & Tafuri 2004.)

Sekaviemäreiden ylivuodot ovat yksi merkittävimmistä tekijöistä ympäröivien vesistöjen veden laadun heikkenemisen suhteen. Niiden myötä vesistöihin voi päätyä mm. kiintoainesta, suoloja, orgaanisesti biohajoavaa ainesta (BOD/COD), E-colia, raskasmetalleja ja PAH-yhdisteitä. Näistä BOD/COD ja E-coli tulevat pääasiassa asuinjätevedestä ja muut haitta-aineet hulevesien mukana kaduilta. Vaikutus ympäristöön ilmenee kolmella tavalla, fyysisesti, kemiallisesti ja mikrobiologisesti. Fyysinen vaikutus tulee veden virtauksen myötä, joka voi aiheuttaa eroosiota ja kuljettaa sedimenttiä purkuvesistöön. Kemialliset vaikutukset näkyvät purkuvesistön hapenkulutuksessa, ravinteiden määrässä ja mahdollisesti jopa myrkkujen määrässä. Mikrobiologiset vaikutukset tulevat jäteveden mikrobien mukana, jotka saattavat saastuttaa purkuvesistöä siinä määrin, että sen käyttö virkistämiseen, kuten uimiseen, tulee vaaralliseksi. Ylivuotojen vaikutukset vesistöön ovat sitä suuremmat mitä pienemmästä vesistöstä on kyse. Jokialueilla päästöjen vaikutus vesistön laatuun voi olla merkittävä, mutta meren rannoilla vaikutukset jäävät paikallisiksi purkupisteiden läheisyyteen. (Marsalek, Sztruhan, Guilianelli & Urbonas 2004.)

3 ÄLYKÄS VESIHUOLTO

Älykäs vesihuolto (engl. Smart Water) on termi, jolla kuvataan uusia, reaaliaikaisesti hallinnoitavia vesi- ja viemärijärjestelmiä tai niiden osia. Älykkään vesihuollon tarkoituksena on tehostaa vesihuollon resurssien käyttöä kehittämällä ja käyttöönottamalla uusia sovelluksia, jotka perustuvat informaatio- ja tietoliikennetekniikkaan. (Helsingin seudun ympäristöpalvelut 2017.)

Maailmassa on nykyisin yli 7 miljardia ihmistä, joista jokainen tarvitsee elääkseen puhdasta vettä. Arvioiden mukaan vuonna 2050 ihmisiä on 9 miljardia ja heistä 75 % asuu kaupungeissa. Jotta tuollaisen ihmismäärän vesihuolto saadaan taloudellisesti ja ympäristöystävällisesti hoidettua, täytyy vesihuoltojärjestelmät saada kehitettyä äärimäisen tehokkaiksi. Teknologian tehokkaampi hyödyntäminen mahdollistaisi nykyistä kehittyneemmän vesihuollon järjestämisen ja hallinnan. Vertailun vuoksi lentoliikenteen polttoaineenkulutus väheni 80 % vuodesta 1960 vuoteen 2010 tekniikan kehittyessä. Samaan aikaan vesihuollossa energiankulutus mitattavaa yksikköä kohden on vain kasvanut. Kasvua selittävät kiristyneet puhdistuskriteerit, mutta kehittämällä koko ajan uudempia ja parempia tekniikoita, tehokkuutta olisi mahdollista parantaa. Juuri tähän älykäs vesihuolto pyrkii – tuomaan uuden teknologian vesihuollon tehostamiseen. (Ingildsen & Olsson 2016.)

Haasteet, joita vesihuolto nykyisin kohtaa, vaativat vesiresurssien älykkäämpää hallintaa ja käsittelyä. Kaupungistuminen tapahtuu useilla alueilla nopeammin kuin vesihuollon infrastruktuuri kasvaa. Nouseva elintaso kasvattaa odotuksia puhtaan veden määrästä ja laadusta sekä jäteveden käsittelystä. Kaikki tämä lisää painetta huolehtia ympäristön ja vesistöjen puhtaudesta. (Ingildsen & Olsson 2016.)

Vedentuotanto ja jätevesien käsittely voi olla jonkin aikaa ympäristölle kestävämpiä, mutta jossain vaiheessa tullaan pisteeseen, missä vesihuollon on muututtava kestävämmäksi. Liiallinen pohjaveden ottaminen talous- tai kasteluvedeksi laskee pohjavedenpintaa ja voi johtaa maan vajoamiseen tai järvien ja jokien kuivumiseen sen lisäksi, että vedenlaatu heikkenee. Siellä missä vettä ei tuoteta kestävästi ja missä jätevettä ei käsitellä riittävästi päädytään ennen pitkää ongelmiin puhtaan veden saamisessa. (Ingildsen & Olsson 2016.)

Etenevä ilmastonmuutos lisää painetta vesihuollon kehittämiseen. Ilmastonmuutoksen seurauksena sademäärät muuttuvat totutusta, myrskyjen tuomat tulvat lisääntyvät sekä merenpinnat ja lämpötilat nousevat. Kaikki tämä vaikuttaa vesimääriin ja veden saatavuuteen ja sen myötä ihmisten elinolosuhteisiin sekä ruuantuotantoon. Nämä haasteet lisäävät tarvetta kehittää vesihuoltoa. Pitää tehdä kestävämpiä päätöksiä ja käsitellä vettä älykkäämmin. (Ingildsen & Olsson 2016.)

3.1 Älykäs vesihuolto maailmalla

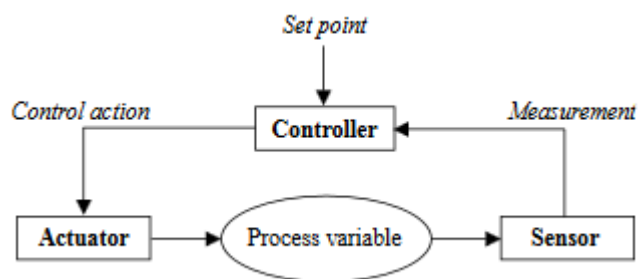
Maailmalla on suuressa nosteessa älykkään vesihuollon (engl. smart water) kehittäminen. Tietotekniikan kehittyessä on ymmärretty sen mahdollisuudet vesihuollon kokonaisvaltaisessa hallinnassa ja valvonnassa. Älykkäässä vesihuollossa verkostoon asennetut anturit, mittarit ja säätimet ovat yhdistettyinä toisiinsa ja automaatiojärjestelmään, joka seuraa ja ohjaa verkoston käyttöä. Kaikki tapahtuu reaaliajassa langattoman tiedonsiirron avulla.

Talousveden jakelussa suurimpina haasteina ympäri maailmaa ovat verkostovauriot ja niistä johtuvat vedenlaatuongelmat, tulvimiset sekä hukkaan menevä vesi. Reaaliaikaisella verkoston valvonnalla pystytään lähes välittömästi havaitsemaan vaurioiden syntyminen, jolloin asiaan voidaan reagoida nopeasti ja syntyvät haitat pystytään minimoimaan. Viemäriverkostoissa haasteet keskittyvät vuotovesien ja ylivuotojen vähentämiseen ja virtaaman säätämiseen optimaaliseksi jätevedenpuhdistamoiden toiminnan kannalta. Vuotovesillä tarkoitetaan viemäripuolella hule- ja pohjavesiä, jotka vuotavat sisään viemäriin joko tarkastuskaivoista tai maaperästä. (Campisano, Cabot Ple, Muschalla, Pleau & Vanrolleghem 2013, 300–311; Public Utilities Board Singapore 2016.)

Vesihuoltoverkostojen kehittämisessä on suosiossa reaaliaikainen verkoston hallinta (engl. Real Time Control, RTC), joka on kokonaisvaltainen järjestelmä. Se koostaa säädatasta, anturitiedoista ja muusta saatavilla olevasta datasta käytäntöjä verkoston hallintaan. Viemäriverkostoissa RTC:n tavoitteena on vähentää tulvimista sekä ylivuotoja, vähentää sedimentin muodostumista viemäriin, vähentää käyttökuluja ja parantaa jätevedenpuhdistamon toimintaa virtaamaa tasaamalla. Talousvesiverkostoissa tavoitteena on seurata verkoston veden hydraulista ja laadullista tilaa sekä havaita verkostovauriot, jolloin niihin voidaan reagoida nopeasti ja estää suuremmat vahingot. Erittäin kehittyneissä järjestelmissä putkirikkotilanteessa automaatiojärjestelmä pystyisi täysin autonomisesti sulkemaan rikkoutuneen kohdan kauko-ohjattavien venttiilien avulla jakeluverkoston ulkopuolelle, jolloin vuodon määrä jää vähäiseksi ja sitä myötä haittoja ei juuri ehtisi syntyä. (Campisano ym. 2013; Public Utilities Board Singapore 2016.)

RTC:n kaltaiset älykkäät järjestelmät ovat kuitenkin vielä melko harvinaisia maailmalla. Yhtenä syynä ovat hankaluudet edistyneen tekniikan soveltamisessa käytäntöön ja vesihuoltoverkostojen monimutkaisuus. Teknologian kehittyessä hinta ei enää ole suuri ongelma järjestelmien hankinnassa. (Campisano ym. 2013.)

RTC koostuu pääasiassa hallintarenkaasta, mihin voidaan sijoittaa komponentteja kuten antureita, käyttölaitteita, säätimiä ja kaukomittausjärjestelmiä (Kuva 2.). Anturit keräävät reaaliaikaista tietoa verkoston toiminnasta, käyttölaitteet, kuten älykkäät luukut ja venttiilit, muokkaavat monitoroitua prosessia ja säätimet säätävät käyttölaitteita halutun käyttötarkoituksen mukaan. Kaukomittausjärjestelmä tukee toimintaa siirtämällä dataa laitteiden välillä. (Campisano ym. 2013.)



Kuva 2. Hahmotelma hallintarenkaasta. Nuolet merkitsevät datan kulkua, lihavoidut sanat komponentteja, kursivoidut sanat siirrettävää informaatiota. (Campisano ym. 2013.)

Hyvin toimiva vesihuoltoverkostojen reaaliaikainen hallinta lisää toimintavarmuutta, vähentää ja lyhentää häiriötilanteita, tuo turvallisuutta kuluttajille, vähentää kustannuksia ja suojelee ympäristöä. (Public Utilities Board Singapore 2016.)

3.2 HSY:n ÄlykäsVesi -projekti

Pääkaupunkiseudulla sijaitsee Suomen laajin yhtenäinen vesihuoltoverkosto. HSY:llä on talousvesiverkosta yhteensä 3 000 km, jossa on kiinteistöliittymiä 70 000 kpl. Paineenkorotusasemia on 18 kpl ja vesitorneja 12 kpl. Nykyisin vedenjakelun ohjausjärjestelmä ohjaa vedenjakelua ja kerää mittaustietoa ja verkoston paikka- ja kunnossapitotietoa hallitaan verkkotietojärjestelmällä. HSY:n viemäriverkoston pituus on 2 600 km ja se sisältää yli 500 jätevedenpumppaamaa ja 10 mittausasema. Pumppaamoiden ohjausjärjestelmä kerää mittaustietoa ja ohjaa pumppaamoiden toimintaa. Paikka- ja kunnossapitotietoa hallitaan verkkotietojärjestelmällä (Fred 2015).

Älykäs Vesi -projektin tavoitteena on kehittää näiden jo olemassa olevien ratkaisujen pohjalta uusia ja innovatiivisia älykkäitä järjestelmiä yhä paremman hallittavuuden ja tehokkuuden saavuttamiseksi. Lisäksi tavoitteena on rakentaa työkalut modernin vesihuollon kasvavan tietomäärän hallintaan. (Helsingin seudun ympäristöpalvelut 2017.)



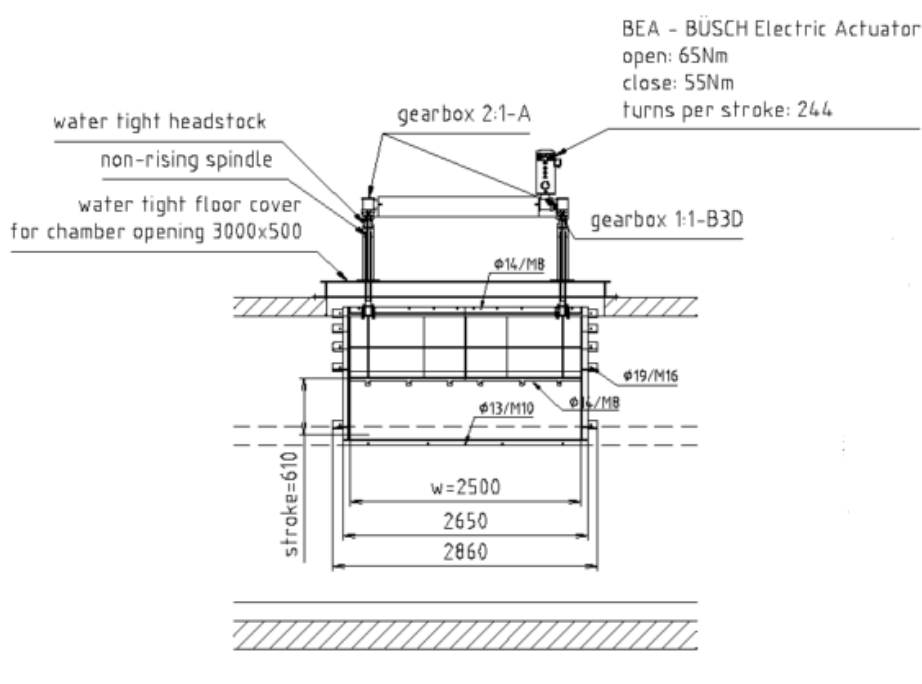
Kuva 3. Älykäs Vesi -teemat (Fred 2015.)

ÄlykäsVesi -projekti ei itsessään ole yhtenäinen hanke, jolla olisi tietty sisältö, vaan kyseessä on kattokokonaisuus, jonka alla suoritetaan erilaisia itsenäisiä hankkeita älykkääseen vesihuoltoon liittyen. Tarkoituksena on tarjota pilotointialusta HSY:n toimintaympäristöstä yritysten tarjoamille kiinnostaville teknologiaratkaisuille, jotka voivat hyödyttää koko toimialaa. ÄlykäsVesi-projektin toimintamalliin kuuluu innovatiivisten julkisten hankintojen lisäksi myös HSY:n sisäisen innovaatiotoiminnan kehittäminen. (Helsingin seudun ympäristöpalvelut 2017.)

Älykäs Vesi -projekti kietoutuu viiden teeman ympärille (Kuva 3). Teemat tukevat toisiaan ja keskitymällä jokaisen teeman kehittämiseen pääkaupunkiseudun vesihuollosta tulee älykkäämpää ja tehokkaampaa, josta hyötyvät sekä kuluttajat että ympäristö.

4 ÄLYKKÄÄT PATOLUUKUT

Älykäs patoluukku on järjestelmän ohjaama portaattomasti säädettävä tiivis luukku, jolla on monia käyttömahdollisuuksia viemäriverkoston hallinnassa. Yleisimmin älykkäät luukut toimivat verkostossa osana kokonaisvaltaista hallintajärjestelmää, jossa niiden tehtävänä on säädellä viemäriin virtaamaa ja hyödyntää verkoston varastointikyky poikkeustilanteissa. Älykästä luukkuja voidaan käyttää myös ylivuotoreiteillä, joissa sillä voidaan sekä estää meriveden pääsy sekaviemäriverkostoon että tilanteen mahdollistaessa vähentää ylivuotojen määrää viemäristä vesistöihin. Älykäs luukku rakentuu käyttölaitteesta, jossa on sähkömoottori ja ohjauksyksikkö, joka on langattomassa yhteydessä automaatiojärjestelmään, vaihdelaatikosta, akseleista ja metalliluukusta karmeineen (Kuva 4).



Kuva 4. Älykkään patoluukun rakennekuva (Tecaflow 2016)

Älykkäitä luukkuja käytetään nykyaikaisissa RTC-systeemeissä erityisesti viemäriverkoston varastointilavuuden hyödyntämiseen. RTC tulee sanoista Real Time Control eli suomeksi reaaliaikainen hallinta. Säädettävien luukkujen avulla voidaan myös muodostaa viemäriin voimakas aalto, joka puhdistaa viemäriin pohjalle syntyneet sedimenttipadot ja muun sedimentin. Hyvin suunniteltuna säädettävien luukkujen avulla voidaan jopa estää sedimentin kasautuminen viemäriin vähentäen näin puhdistuskustannuksia. Kunnolla säädettävissä olevaa luukkuja on myös mahdollista käyttää virtaaman säädössä ennen jätevedenpuhdistamo, jolloin se estää rankkasateesta johtuvat yhtäkkiset virtaaman kasvut. (Campisano ym. 2013, 300–311.)

Luukut suunnitellaan aina erikseen asennettavan paikan ominaisuuksien ja haluttujen vaikutusten mukaan. Nykytekniikka ei käytännössä rajoita luukkujen toimintaedellytyksiä, vaan luukkuja voi soveltaa miten tahansa. Uudenaisten säätöjärjestelmien ja luukkutyypin kehitys on edullista ja nopeaa. (Campisano ym. 2013, 300–311.)

4.1 Älykkäät luukut maailmalla

Sekaviemäriverkostossa käytössä olevia tai testattuja älykkäitä luukkuja löytyy maailmalta jonkin verran. Tässä työssä esitellään kaksi ratkaisua, Kööpenhaminan älykkäät luukut sekä Edmontonin älykkäät luukut, joiden toimintatavat poikkeavat hieman toisistaan. Edmontonin kaltaisia ratkaisuja löytyy lisäksi mm. Cosenzasta Italiasta (Carbone, Garofalo & Piro 2014) ja Quebecista Kanadasta (Schütze, Campisano, Colas, Vanrolleghem & Schilling 2003). Järjestelmä älykkään luukun käytöstä erillisen suljetun varastotilan hyödyntämisessä ylivuotovesien ympäristöön pääsemisen estämiseksi löytyy mm. South Endista, Indianasta (Ruggaber, Talley & Montestruque 2006).

Kööpenhaminassa älykkäät luukut ovat osa suurempaa Sewerflex-järjestelmää, joka on kokonaisvaltainen viemäriverkoston hallintajärjestelmä. Järjestelmä yhdistelee sääennusteita, sadantamittauksia ja viemäreistä kerättyä anturitietoa paremman hallinnan aikaansaamiseksi. Järjestelmällä on saatu tulvaluukkujen avulla vähennettyä ylivuotojen määrää 50 %. Sewerflex-järjestelmässä ylivuotojen hallinnan mahdollistaa ennuste, jolla jätevedenpuhdistamolla voidaan valmistautua rankkasateeseen ja kasvaviin vesimääriin ennakolta, jolloin patoluukut voidaan sulkea ilman pelkoa viemäriin tulvimisesta (Krüger Veolia 2015). Ylivuotoluukkujen sulkeminen on mahdollista, sillä Tanskan sekaviemäriverkostot on suunniteltu suuremmille kapasiteeteille kuin muualla maailmassa (Miljøstyrelse 2000). Ennusteiden pohjalta verkostoa voidaan myös tyhjentää RTC:n avulla ennen sadetapahtumaa, jolloin verkoston kapasiteetti kasvaa (Grum, Thornberg, Christensen, Shididi & Thirsing 2011).

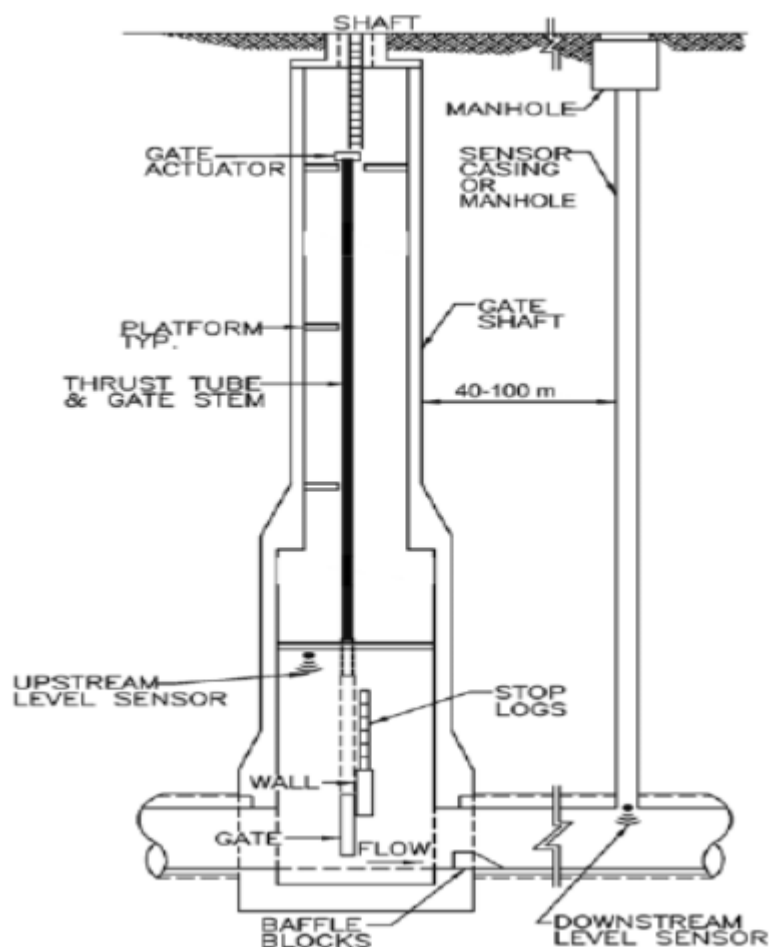
Kööpenhaminassa sekaviemäriverkoston ylivuotoja ei lasketa suoraan mereen, vaan niille on oma keräysjärjestelmänsä, jolla ne varastoidaan suuriin altaisiin ja säiliöihin. Kun verkostoa ja jätevedenpuhdistamoja kuormittava tapahtuma on ohi, näistä ylivuotoaltaista pumpataan jätevesi puhdistamoille. Kööpenhaminassa on myös käytössä pelkästään sekaviemäriin laimealle jätevedelle tarkoitettu kevyempi jätevedenpuhdistamo, jolla puhdistetaan sekaviemäriin ylivuotovesiä siten, että ne täyttävät vesistöön purettavan puhdistetun jäteveden hygieniavaatimukset. Kööpenhaminassa on 31 ylivuotoasennelmaa, joista 25 on yhdistetty viivytysaltaisiin tai sedimentaatio-säiliöihin. (Andersen, Cronqvist, Nielsen, Mathiasen, Albertsen & Bentsen 2005.)

Edmontonissa on käytössä älykkäät patoluukut sekaviemäriverkoston ylivuotojen hallinnassa. Kuten Kööpenhaminassa, myös Edmontonin luukut ovat osa kokonaisvaltaista viemäriverkoston hallintajärjestelmää. Luukut olivat myös ensimmäinen vaihe suuremmassa strategiassa ylivuotovesien vähentämiseksi. Älykkäitä luukkuja on asennettu verkostoon yhteensä kolme; vuosina 2003, 2004 ja 2012. Niiden tarkoitus on varastoida vettä verkostoon lyhyiden tulvavirtaamien aikana. Luukkujen avulla virtaama vapautetaan hitaasti verkoston läpi jätevedenpuhdistamolle aiheuttamatta liiallista hetkelistä kuormitusta. Edmontonin sekaviemäriverkoston kokonaisvaltaisen hallintajärjestelmän muut vaiheet olivat viemäritunneli Edmontonin läpi virtaavan North Saskatchewan -joen ali, sekaviemäriin muuttaminen erillisviemäreiksi ennalta määritellyillä alueilla ja ylivuotoreittien ylivuotopatojen korottaminen virtaamaan suurentamiseksi verkostossa ja ylivuotojen vähentämiseksi. (City of Edmonton 2017.)

4.2 Älykkäiden luukkujen haasteita

Älykkäiden luukkujen käytössä on ollut myös ongelmia. Esimerkiksi Edmontonissa kolmesta asennetusta luukusta ensimmäinen, RTC#4, ei toiminut halutulla tavalla. Luukun käytössä oli ongelmia prosessin epävakauden ja luukun liiallisen liikkeen kanssa. Ongelmia yritettiin korjata, mutta hallintaa ei saatu parannettua kuin vasta laajan off-site simulaation avulla. Off-site simulaatiossa rakennettiin vastaava älykkään luukun rakenne kuin viemäriverkostossa maanpinnalle, jossa pystyttiin tuottamaan haluttuja skenaarioita milloin tahansa, toisin kuin viemäriverkostossa. (Lachance & Lodewyk 2013.)

Ensimmäinen ongelma luukun kanssa oli liian hidas reagointi tapahtumiin. Luukku on sijoitettu kairoon, jossa se normaaliasennossa on vedenpinnan yläpuolella ja laskeutuu siitä säättämään virtaamaa viemärissä (Kuva 5). Tapahtuman ilmaantuessa luukku laskeutui liian hitaasti saavuttaen vedenpinnan vasta 25 minuuttia tapahtuman alun jälkeen. Kyseisen luukun toimintaidea on erilainen kuin tässä työssä tutkittavien luukkujen, sillä luukku sulkeutuu ylhäältä alaspäin tarkoituksena pienentää virtaamaa luukun alapuolisessa verkostossa samalla varastoiden vettä luukun yläpuoliseen verkostoon. Luukun hitaan toiminnan takia alapuolisen verkoston vedenpinta ehti nousta 40 cm korkeammalle kuin säättöarvo, minkä seurauksena saattoi syntyä tarpeettomia ylivuotoja. (Lachance & Lodewyk 2013.)



Kuva 5. RTC#4 - patoluukun poikkileikkaus (Lachance & Lodewyk 2013.)

Toinen ongelma luukun kanssa oli sitä ohjaavien järjestelmien epävakaus. Luukua säädetään ylä- ja alapuolisten pinnanmittausantureiden (Kuva 5) datan pohjalta. Kun vedenpinta jommallakummalla puolella nousee yli säätöarvon, ohjaa luukku kyseisen puolen ohjausjärjestelmä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tapahtuman alussa, virtaaman ja pinnan noustessa, alapuolinen pinnanmittaus ohjaa luukku laskeakseen alapuolisen verkoston pinnantaso. Kun luukku on padottanut vettä yläpuoliseen verkostoon niin kauan, että säätöarvo siellä saavutetaan, yläpuolinen pinnanmittaus ohjaa luukku estäen säätöarvon ylittymisen. Tätä jatkuu kunnes virtaama pienenee ja alapuolisessa verkostossa vedenpinta laskee alle säätöarvon, jolloin ohjain nostaa luukun takaisin alkuasentoon. (Lachance & Lodewyk 2013.)

Haasteena oli vedenpinnan aaltoilu molemmissa pinnanmittauskohdissa, yläpuolella ± 50 cm ja alapuolella ± 25 cm säätöarvon ympärillä, joka aiheutti epätoivottuja tilanteita. Kun luukku painui säätöarvon alle, sillä oli vaikutus luukun yläpuoliseen verkostoon nostoen ylivuotojen ja tulvimisen riskiä. Kun taas luukku nousi säätöarvon yläpuolelle, alapuolisessa verkostossa kasvoi ylivuotojen riski. Häiriötä aiheutti aaltoilun lisäksi alapuolisen anturin sijainti 40 m päässä luukusta, kun yläpuolinen oli aivan luukun vieressä. (Lachance & Lodewyk 2013.)

Useiden off-site simulaatioiden jälkeen luukun käyttäytyminen saatiin hallintaan ja RTC#4:ään tehtiin seuraavat muutokset:

- Yläpuolisesta pinnanmittauksesta käytetään 150 sekunnin keskiarvoa.
- Yläpuolisen ohjaimen säätöajaksi asetetaan 100 s, jolloin luukku ei ohjata turbulenttisen pinnan tason mukaan.
- Luukun lähtötaso pudotettiin 25 %, jolloin reagointiaika lyhenee ja säätöarvon ylitykset häviävät.
- Alapuolisesta pinnanmittauksesta käytetään 60 s keskiarvoa.
- Alapuolisen ohjaimen säätöajaksi asetetaan 60 s, jolloin etäisyyden vaikutus pinnanmittauksen ja luukun välillä poistuu.

Simulaation tulosten pohjalta tehtyjen muutosten avulla luukun ongelmat saatiin poistettua ja luukku toimi halutusti. (Lachance & Lodewyk 2013.)

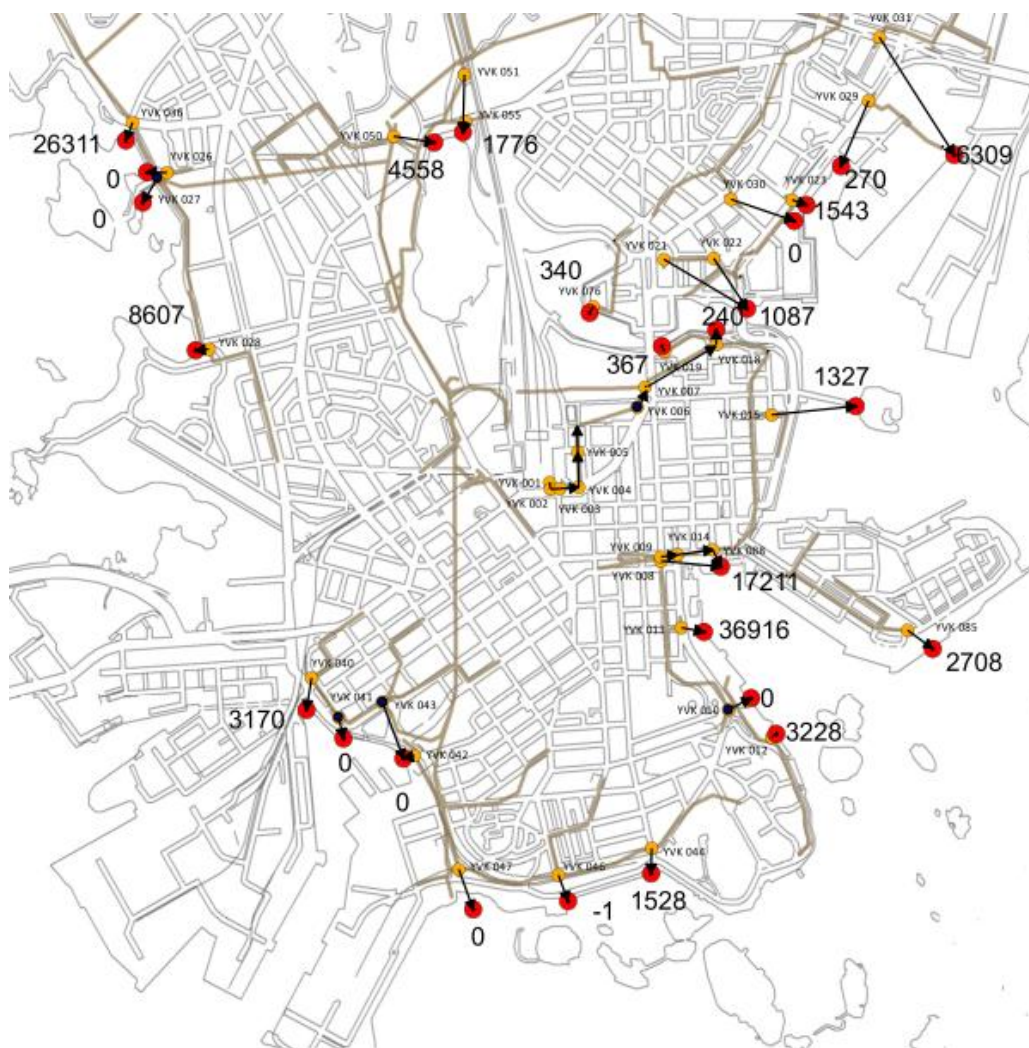
5 HELSINGIN SEKAVIEMÄRIVERKOSTON LÄHTÖTILANNE

Helsingin kantakaupungin sekaviemäröidyillä alueella tapahtuu vuosittain useita ylivuotoja sulamisvesien ja rankkasateiden seurauksena, vaikka iäkäs sekaviemäriverkosto on mitoitettu kerran kolmessa vuodessa toistuville sateille. Suurempien sateiden ja häiriötilanteiden aikaan viemärivettä ohjataan hallitusti ylivuotoreittien kautta vesistöön. Verkostoylivuotoja ei pääsääntöisesti mitata, vaan tässä työssä esitetyt luvut perustuvat FCG:n tekemiin mallinnuksiin. (Maasilta & Hyypiä 2017.)

5.1 Verkostotarkastelu

Helsingissä on Suomen laajin sekaviemäröity alue (Liite 3). Helsingin keskustan, Munkkiniemen ja Herttoniemen noin 2 100 hehtaarin alueelta johdetaan viemäriin jätevesien lisäksi myös sade- ja kuivatusvedet. Sekaviemäriverkoston pituus on noin 200 km ja se sisältää noin 140 ylivuotokaivoa (Liite 1). Ylivuotokaivoista noin puolella ylivuotokynnyksen korkeus on alle 1,50 m keskimerenpinnan yläpuolella, jota on pidetty tulvaluukun asentamisen rajana (Pitkänen 2010). Tulvaluukkuja on asennettu noin 80 kappaletta ja HSY:n suunnitelmissa on asentaa niitä lisää myös pienemmän tulvariskin alueille.

Vuonna 2016 sekaviemäriverkostosta purkautui ylivuotona vesistöihin mallinnettujen laskentatulosten mukaan noin 297 700 m³ jätevettä asumisjäteveden osuuden ollessa 0,76 % eli noin 2 265 m³. Vuonna 2016 lumien sulamisvesistä ei koitunut suurta piikkiä. Ylivuotojen jakautuminen ylivuotokaivojen kesken oli hyvin suurta. Kaikista 51:stä mallinnetusta ylivuotokaivosta seitsemässä ylivuotojen määrä oli yli 10 000 m³ vuodessa, kun taas 17 kaivossa ylivuotoa ei syntynyt lainkaan (Liite 2). Kolmen eniten ylivuotaneen kaivon osuus kokonaiskertymästä oli lähes puolet. Ylivuodot keskittyvät siis muutamiin paikkoihin ja näin ollen näiden kohteiden osalta verkostoon on syytä kehittää uusia ratkaisuja. Pahimmat paikat näkyvät vuoden 2015 kartalla (Kuva 6.). Ylivuotovesien määrä vaihtelee vuosittain, mutta yleensä eniten ylivuotoja syntyy em. seitsemästä kaivosta. (Maasilta & Hyypiä 2017.)



Kuva 6. Ylivuotokaivot (keltaiset), purkupisteet (punaiset) ja määrät (m^3) Helsingin kantakaupungin alueen sekaviemäriverkostossa 2015. Kartta on kokonaisuudessaan liitteessä 3. (Väyrynen & Hyypiä 2016.)

Ylivuotojen lisäksi HSY on kiinnostunut meriveden kulkeutumisesta verkostoon ylivuotokaivojen kautta. Vuonna 2005 poikkeuksellinen merenpinnan nousu aiheutti valtavan tulvan Helsingissä meriveden noustessa kauppatorille saakka. Tulva aiheutti merkittäviä ongelmia Helsingin vedelle, sillä ylivuotokaivojen kautta merivesi pääsi sekaviemäriverkostoon ja aiheutti suuria ongelmia verkostossa ja jätevedenpuhdistamolla. Tulvan seurauksena Helsingissä päätettiin alkaa asentaa tulvaluukkuja ylivuotokaivoihin, jotta meriveden hallitsematon pääsy viemäriverkostoon saataisiin estettyä samankaltaisen tapahtuman toistuessa. (Yrjölä 2017.)

5.2 Purkuvesistön vedenlaatu

Suomenlahti tunnetaan pahoin rehevöityneenä merialueena, joskin viime aikoina sen tilaa on saatu kohennettua erilaisin toimin niin Suomessa, Virossa kuin Venäjällä. Erityisesti Venäjällä tehdyt toimet ovat vähentäneet Suomenlahden itäosien fosforikuormitusta huomattavasti. Sen sijaan Suomenlahden länsiosan fosforikuorma on ollut lievässä nousussa johtuen Itämeren pääaltaan vaikutuksesta. Levämäärien suhteen kehitys on ollut positiivista niin idässä kuin lännessä määrien laskiessa. (Raateoja & Setälä 2016.)

Helsingin edustalla vedenlaatuun vaikuttaa enemmän mantereelta tulevat päästöt kuin Suomenlahden vedenlaatu. Helsingin edustan meriveden hygieeniseen laatuun vaikuttaa suuresti puhdistettujen jätevesien ja sekaviemärylivuotojen purku vesistöön. Alueilla, joihin lasketaan jätevesiä, meriveden hygieeninen laatu on selkeästi heikompaa *E. coli* -bakteerimäärien ollessa suuria. Samoin alueilla, joihin laskee jokia ja puroja sekä on runsaasti laivaliikennettä ja satamatoimintaa, merivedessä esiintyy runsaasti *E. coli* ja veden hygieeninen laatu on heikko. Rehevöitymistä ilmaisevien kokonaisravinteiden, kokonaistypen ja kokonaisfosforin, määrät ovat myös suurempia alueilla, joilla ilmenee suuria määriä *E. coli* -bakteereja. Jätevesien osuus vedenlaatuun on merkittävä, mutta vuoden 2016 päästötasoilla pieni. Sekaviemärin ylivuotojen pienentäminen on kuitenkin tärkeää erityisesti Töölönlahden ja Länsi- sekä Eteläsataman veden hygieenisen laadun kannalta. Kruunuvuorenselällä vedenlaatuun vaikuttaa jo merkittävässä määrin Vantaanjoen ravinnepäästöt, joten sekaviemärylivuotojen päästövaikutukset ilmenevät vain purkupaikkojen välittömässä läheisyydessä. (Vahtera, Muurinen, Räsänen & Pääkkönen 2014.)

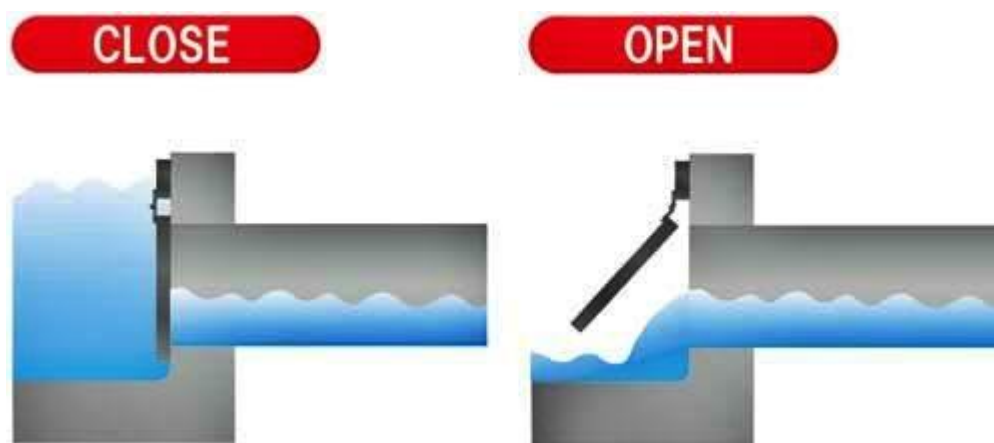
5.3 Nykyiset ratkaisut ylivuotoreiteillä

Tällä hetkellä Helsingin kantakaupungin sekaviemäriverkoston ylivuotoreiteillä on kahdenlaisia ratkaisuja. Alle 1,50m korkeudella merenpinnasta sijaitsevat ylivuotoreitit on luokiteltu riskialttiiksi myrskystä tai poikkeuksellisesta säästä aiheutuvalle merenpinnan nousulle ja niihin on asennettu tai ollaan asentamassa tulvaluukkuja (Kuva 7). Yli 1,50 m korkeudella merenpinnasta olevat ylivuotoreitit ovat pääosin avonaisia joitain riskialttiita paikkoja lukuun ottamatta, joihin on asennettu tulvaluukku. (Pitkänen 2010.)



Kuva 7. HSY:n perinteinen tulvaluukku ylivuotokaivossa 082

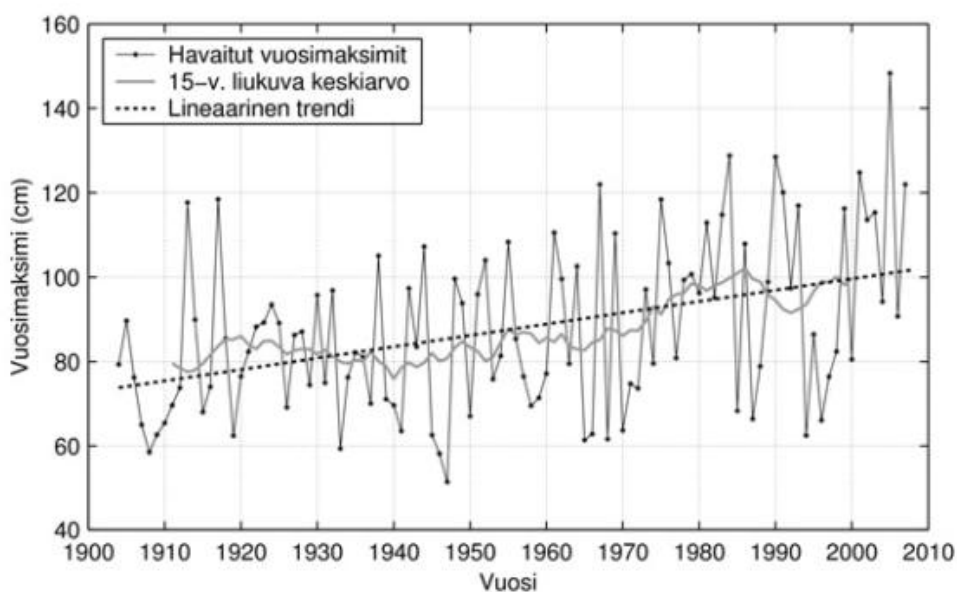
Nykyiset luukut ovat ns. passiivinen ratkaisu eli niitä ei säädellä tai ohjata millään tavalla. Luukut aukeavat vain yhteen suuntaan tarkoituksenaan päästää ylivuotovedet ulos ja pitää merivesi poissa viemäristä. Ylivuotokynnyksen ylittyessä vedenpaine työntää luukkua auki ja ylivuotovesi pääsee purkautumaan ulos. Meriveden tai sulamisvesien tulviessa vedenpaine puolestaan painaa luukkua kiinni, jolloin vettä ei pääse virtaamaan viemäriverkostoon (Kuva 8).



Kuva 8. Perinteisen tulvaluukun toimintaperiaate. (Luân Nguyen 2016)

Epäillään, että nykyisten luukkujen tiiveys ja toimivuus ei ole riittävällä tasolla. Luukuissa ei ole tiivisteitä eikä niiden kuntoa seurata säännöllisesti. Tämän seurauksena arvellaan, että luukkujen väliin voi joutua vieraita kappaleita, jolloin merivesi pääsee vuotamaan verkostoon. Arvellaan myös, että luukkujen väliin joutuneet kappaleet voivat pahimmassa tapauksessa vaurioittaa luukkua aiheuttaen vuotomäärien lisääntymistä. Vuotamista tapahtunee myös ilman luukun vaurioitumista tai auki kiihlautumista tiivisteiden puuttumisen takia, kun vedenpinta on korkealla. Luukut on jätetty tiivistämättä huoltovapauden lisäämiseksi. Ne on asennettu hieman viistoon, jolloin nouseva merivesi paineellaan painaa luukut tiiviisti kiinni karmeihin ja näin tiivistää reunat. Tiivisteiden puuttumisesta johtuvaa pientä sisäänvirtaamaa ei ole todennäköisesti nähty haitallisena sen vähäisyyden vuoksi. Verkostoon pääsevät vuotovedet laimentavat jätevedenpuhdistamolle tulevaa jätevettä ja vaikeuttavat puhdistusprosessin toimintaa. Lisäksi lisääntynyt vesimäärä verkostossa tuo lisää pumppauskustannuksia. (Yrjölä 2017.)

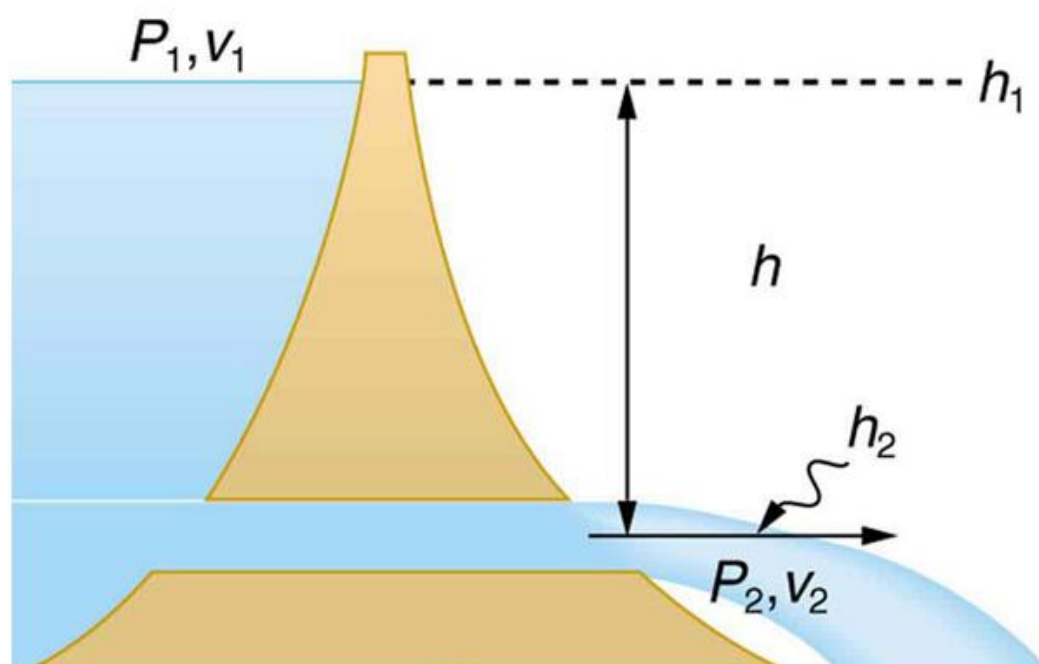
Ilmastomuutoksen edetessä merenpinta Suomenlahdella tulee nousemaan ja merenpintaa väliaikaisesti nostavat sääilmiöt lisääntymään. Suomessa merenpinnan nousun seurauksia hillitsee maanpinnan kohoaminen. Pohjanlahdella maanpinnan kohoaminen riittää tasapainottamaan merenpinnan nousua ainakin seuraavina vuosikymmeninä, mutta Suomenlahdella merenpinta tulee nousemaan. Kaikkein korkeimpien ennusteiden toteutuessa merenpinta nousee Suomenlahdella jopa 90 cm vuosisadan loppuun mennessä. Lisäksi ilmastomallien ennusteiden mukaan länsituulet voimistuvat, mikä aiheuttaa väliaikaista merenpinnan nousua Suomen rannikolla enenevässä määrin. Merenpinnan väliaikaisten nousujen kehitystä kuvaa mainiosti merenpinnan vuosittaisten maksimien lineaarisen trendin nousu viimeisen 100 vuoden aikana (Kuva 9.) (Ilmatieteenlaitos 2013.)



Kuva 9. Vedenkorkeuden vuosittaiset maksimi-arvot Helsingin edustalla tarkennetun teoreettisen keskiveden suhteen, sekä lineaarinen trendi ja 15 vuoden liukuva keskiarvo (Kahma & Johansson 2008.)

6 SEKAVIEMÄRIVERKOSTOON SISÄÄNVUOTAVAN MERIVEDEN MÄÄRÄN ARVIOINTI

Viemäriin sisäänvuotavien vesimäärien arvioiminen on hyvin hankalaa ilman empiiristä tutkimusta nykyisten tulvaluukkujen tiiveydestä. Siksi kaikki laskennallisesti saadut määrät ovat karkeita arvioita ja todellisuus voi olla jotain muuta. Sisäänvuotavan meriveden määriä arvioidaan Torricellin lain pohjalta. Torricellin lain mukaan veden nopeus nestesäiliön, tässä tapauksessa meren, aukossa on sama kuin veden pudotessaan vapaasti samalta korkeudelta kuin mikä on nesteen pinnan ja aukon välinen korkeusero (Kuva 10). Nopeuteen vaikuttava suure on vedenkorkeus, jonka aiheuttama paine antaa vedelle nopeuden. Mitä syvemmillä säiliössä reikä on, sitä suurempi paine painaa vettä aukosta ulos ja sitä kovemmalla nopeudella vesi poistuu (Openstax 2017).



Kuva 10. Torricellin laki. Aukosta ulos virtaavan veden nopeus on sama kuin vedellä, joka tippuisi vapaasti korkeudelta h_1 . (Openstax 2017.)

Torricellin lain kaava on:

$$v = \sqrt{2gh} \quad (1),$$

jossa v = vedennopeus (m/s)
 g = putoamiskiintyvyys (m/s^2)
 h = vedenpinnan ja aukon välinen korkeusero (m)

Torricellin lain avulla saadaan vedennopeus aukossa selvittyä ja sen perusteella pystytään laske-
maan virtaama aukossa kaavalla:

$$Q = Av$$

$$Q = A\sqrt{2gh} \quad (2),$$

jossa Q = veden virtaama (m^3/s)
 A = aukon pinta-ala (m^2)

Määritetään keskimääräinen luukun koko ja päätetään minkä kokoinen rako luukun alareunaan jää. Keskimääräiseksi luukun leveydeksi määritetään 2,00 m ja lasketaan sisäänvirtaama sekaviemäriverkossa raoilla 2 mm ja 5 mm. HSY:n asiantuntijoiden mukaan 2 mm on todennäköisin rako, mikä luukun alle voi jäädä normaalitilanteessa (Yrjölä 2017). Luukuista vuotaa vuototilanteessa vettä sisään myös sivuilta, mutta sivuilta sisään vuotavan veden määrä muuttuu suoraan pinnankorkeuden mukaan, jonka huomioiminen laskuissa olisi ollut haasteellista. Siksi päädyttiin yksinkertaistamaan tapahtumaa, sillä arviot ovat muutenkin vain suuntaa-antavia. Aukon pinta-ala saadaan kertomalla luukun leveys raon korkeudella. Tuloksia esitetty taulukoissa 2, 3 ja 4.

Taulukoissa esiintyvät merenpinnan korot on saatu ilmatieteenlaitoksen tutkijoiden tutkimuksesta (Kahma, Pellikka, Leinonen, Leijala & Johansson 2014), jossa on laskennallisesti määritetty merenpinnan maksimiarvot tietyin esiintymisvälein (Taulukko 1.). Sen lisäksi on laskettu määriä merenpinnan koroilla 0,8 m, 1,0 m ja 1,2 m.

Taulukko 1. Merivedenkorkeuden kuukausimaksimijakaumat eri ylittymistäajuuksilla tapausta/vuosi suhteessa teoreettiseen keskivedenkorkeuteen. (Kahma ym. 2014.)

Merivedenkorkeus (m) N2000-järjestelmässä						
1/5	1/10	1/20	1/50	1/100	1/250	1/1000
1,43	1,54	1,66	1,81	1,93	2,08	2,31

Taulukko 2. HSY:n sekaviemäriverkoston ylivuotokaivoista sisään vuotavan veden määrät eri merenpinnan tasoilla raon ollessa 2 mm. Merenpinnan korko N2000-järjestelmässä suhteessa laskennalliseen keskivedenpinnan korkoon. Ei sisällä tulvaluukuttomia ylivuotokaivoja

Esiintyvyys	Merenpinnan korko (m)	Sisään vuotava vesi (m^3/h)	Sisään vuotava vesi (m^3/d)
	0,8	130	3120
	1	220	5280
	1,2	500	12000
1/5 vuodessa	1,43	1500	36000
1/10 vuodessa	1,54	2000	48000
1/20 vuodessa	1,66	2500	60000
1/50 vuodessa	1,81	3000	72000

Taulukko 3. HSY:n sekaviemäriverkoston ylivuotokaivoista sisään vuotavan veden määrät eri merenpinnan tasoilla raon ollessa 5 mm. Merenpinnan korko N2000-järjestelmässä suhteessa laskennalliseen keskivedenpinnan korkoon. Ei sisällä tulvaluukuttomia ylivuotokaivoja.

Esiintyvyys	Merenpinnan korko (m)	Sisään vuotava vesi (m ³ /h)	Sisään vuotava vesi (m ³ /d)
	0,8	280	6720
	1	540	12960
	1,2	1200	28800
1/5 vuodessa	1,43	3600	86400
1/10 vuodessa	1,54	4900	117600
1/20 vuodessa	1,66	6200	148800
1/50 vuodessa	1,81	7600	182400

Taulukko 4. Kolmen ylivuotokynnykseltään matalimman tulvaluukuttoman ylivuotokaivon sisään vuotavan veden määrät eri merenpinnantasoilla. Merenpinnan korko N2000-järjestelmässä suhteessa laskennalliseen keskivedenpinnan korkoon.

		YVK144 (0,64 m)	YVK141 (0,79 m)	YVK124 (1,27 m)
Esiintyvyys	Merenpinnan korko (m)	Sisään vuotava vesi (m ³ /h)	Sisään vuotava vesi (m ³ /h)	Sisään vuotava vesi (m ³ /h)
	0,8	2040	30	0
	1	6890	3000	0
	1,2	12000	9400	0
1/5 vuodessa	1,43	14000	12800	2300
1/10 vuodessa	1,54	15000	13800	6500

Sisäänvuotavan meriveden määrä jää tulvaluukullisissa kaivoissa HSY:n arvioimalla 2 mm raolla suhteellisen vähäiseksi merenpinnan huomattavastakin noususta huolimatta. 0,8 ja 1,0 metrin merenpinnan korkeuksilla vuotomäärät jäävät vain muutamiin satoihin kuutioihin tunnissa, eikä kerran viidessä tai kymmenessä vuodessa tapahtuvan merenpinnannousun vaikutus ole kuin joitakin tuhansia kuutioita tunnissa. Verrattuna tulvaluukuttomien ylivuotokaivojen sisäänvirtausmääriin (taulukko 4), tulvaluukullisten ylivuotokaivojen sisäänvuotojen määrät ovat lähes mitättömiä. Suurin ero tulvaluukullisten ylivuotokaivojen sisäänvuotojen määrässä on merenpinnan korkojen 1,2 m ja 1,43 m välillä. Tästä pystyy päättämään, että kyseisten korkojen välissä on huomattava määrä ylivuotokynnyksiä. Kerran viidessä vuodessa esiintyvä merenpinnan nousu tulee näin ollen nousemaan huomattavan monen ylivuotokynnyksen yläpuolelle.

7 VESISTÖÖN PURKAUTUVIEN YLIVUOTOJEN HINNOITTELU

Tässä työssä on tarkoituksena saada aikaan kustannuslaskelma, joten sekaviemärin ylivuodoille täytyy antaa joku hinta. Tällä hetkellä Suomessa ei ole määritetty ylivuodoille mitään maksua tai veroa, vaan niiden päästöt lasketaan mukaan jätevedenpuhdistamon päästöihin, joille on annettu tiukat raja-arvot ympäristöluvassa. Sen sijaan Tanskassa on ollut vuodesta 1997 käytössä jätevesivero, jonka suuruus määräytyy ympäristöön purettavan jäteveden koostumuksen mukaan. Veroa joutuu maksamaan typpi-, fosfori- ja orgaanisen aineen päästöistä. Veron määrä on typelle 20 tanskan kruunua (DKK) (2,69 €), fosforille 110 DKK (14,8 €) ja orgaaniselle ainekselle 11 DKK (1,48 €) per kilogramma. (Confédération Fiscale Européenne 2017; Institute for European Environmental Policy (IEEP) 2014.)

Myös Saksassa on maksu ympäristöön purettavalle jätevedelle. Kuten Tanskassa, Saksan mallikin perustuu ympäristöön purettavan jäteveden koostumukseen, mutta siinä tarkastellaan useampia haitta-aineita. Saksan mallissa on 11 erilaista määritettävää haitta-ainetta, joille jokaiselle on määritetty yksikkö (unit) (Kuva 11). Aineet ovat kemiallinen hapenkulutus (COD), fosfori (phosphorus), typpi (nitrogen), orgaaniset klooriyhdisteet (AOX), elohopea (Hg), kadmium (Cd), kromi (Cr), nikkeli (Ni), lyijy (Pb), kupari (Cu) sekä myrkyllisyys vesieliöille (Tf). Yhdestä yksiköstä menevä maksu on 35,79 euroa. Kokonaissumma saadaan laskettua jakamalla päästö määrä yksiköllä ja kertomalla se yksikkömaksulla. (Reinhard 2014.)

<i><u>Parameter</u></i>	<i><u>Unit</u></i>
COD	50 kg
Phosphorus	3 kg
Nitrogen	25 kg
AOX	2 kg
Hg	20 g
Cd	100 g
Cr	500 g
Ni	500 g
Pb	500 g
Cu	1000 g
Tf	3000 cbm/Tf

Kuva 11. Saksan jätevesien purkumaksun määrittelyluokat (Parameter) ja yksiköt (Unit) (Reinhard 2014.)

Sovelletaan sekä Tanskan että Saksan jätevesimaksujen perusteita laskettaessa Helsingin sekaviemäriverkoston ylivuodoille hinta. On hyvin mahdollista, että jonkinlainen vero tai maksu tulee käyttöön myös Suomessa. Helsingin sekaviemäriverkoston vuoden 2016 ylivuotojen laskennalliset ravinnepitoisuudet selviävät taulukosta 5. Saksan mallin mukainen hintalaskelma sisältää vain Helsingissä mitattujen haitta-ainepitoisuuksien osuuden. Todennäköisesti ylivuotovesissä on jonkin verran myös metalleja, joista Saksassa peritään maksua, mutta joita ei Helsingissä mitata ylivuotovesien osalta. Koska mitatut ja laskutettavat orgaaniset aineet ei ole eritelty samalla tavalla, tehdään yksinkertaistavat oletukset. Tässä työssä käytetään oletuksena, että Helsingin ylivuotovesien COD-pitoisuus on sama kuin mallinnettu BHK7 eli BOD-pitoisuus. Tanskan mallin mukaisessa laskussa käytetään siis kaksinkertaista BHK7-arvoa. Saksan mallin laskuissa oletetaan BHK7 samaksi kuin COD.

Taulukko 5. Vuoden 2016 Helsingin sekaviemäriverkoston mallinnetut ylivuotovesimäärät ja ainekuormitukset (Maasilta & Hyypiä 2017.)

Vuosi 2016	I	II	III	IV	YHTEENSÄ
Sademäärä (mm)	140	220	188	112	660 mm
Vesisademäärä (mm)	95	220	188	86	589 mm
Ylivuotovesimäärä (m ³)	1301	195 321	97 309	3 770	297 701 m³
Asumisjätevedenmäärä (m ³)	147	1 001	930	187	2 265 m³
BHK ₇ (kg)	82	557	518	104	1 261 kg
P-kok (kg)	2	16	15	3	36 kg
N-kok (kg)	13	88	82	17	199 kg

Taulukko 6. Tanskan mallin mukainen hinta Helsingin ylivuotovesille vuodessa

Tanskan malli			
	Maksu e/kg	Päästöt mereen (kg)	Ylivuotojen hinta (€) 2016
N-kok	2,69	199	535
BOD/COD	1,48	2522	3733
P-kok	14,8	36	533
Kokonaishinta (€):			4801

Taulukko 7. Saksan mallin mukainen hinta Helsingin ylivuotovesille vuodessa

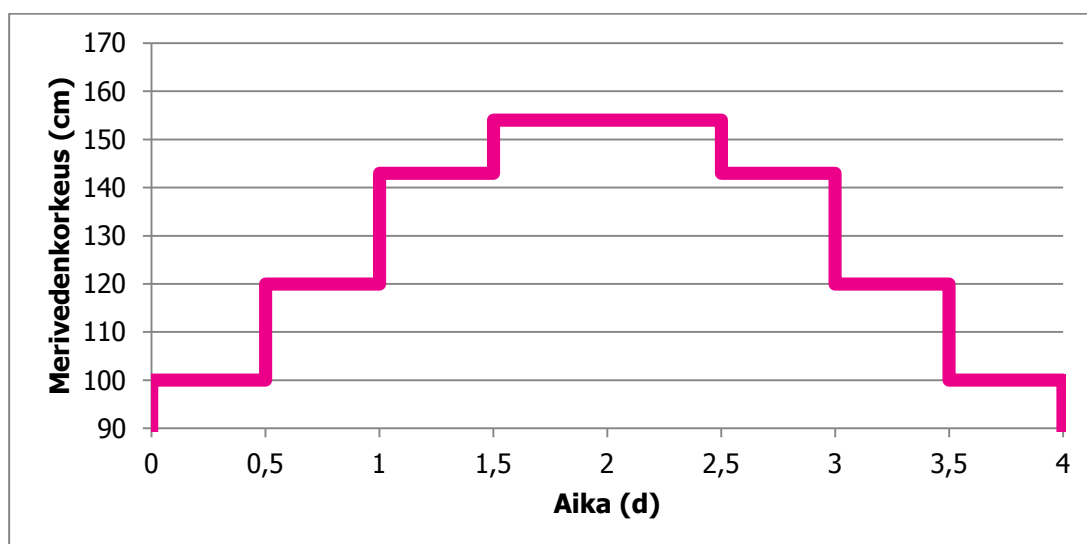
Saksan malli				
	Päästöt mereen (kg)	Yksikkö (kg)	Yksiköiden määrä	Päästöjen hinta
BHK ₇ (kg)	1261	50	25,22	903
P-kok (kg)	36	3	12	429
N-kok (kg)	199	25	7,96	285
Päästöyksikön hinta (€)				
35,79				Kokonaishinta (€): 1617

Kuten taulukoista 5 ja 6 käy ilmi, Helsingin sekaviemäriverkoston ylivuotojen hinnaksi ei Tanskan ja Saksan malleilla tule suurta summaa. Fosforin osalta maksutaso on Tanskassa ja Saksassa samaa luokkaa ollen noin 500 euroa, mutta typen ja biologisesti hajoavan aineksen osalta erot ovat huomattavasti suuremmat. Typpipäästöistä maksettaisiin Tanskan mallin mukaan reilun 500 euron maksun, kun taas Saksan mallin mukaan vain vajaat 300 euroa. Orgaanisen aineksen hinnassa ero on valtava, sillä Tanskassa maksetaan BOD:sta ja COD:sta molemmista ja Saksassa vain COD:sta. Hintaeroa on yli 3000 euroa. Koska Tanskassa on Pohjoismaa, kuten Suomi, ja siellä maksu on tuotu käyttöön ja päivitetty lähempänä nykypäivää, käytetään Tanskan mallin mukaista hinnoittelua kustannuslaskelmassa ylivuotovesille. Myös Kööpenhaminan ja Helsingin sekaviemäriverkostojen ylivuotojen vaikutus on samankaltainen kohdistuen pääasiassa satama-altaisiin ja virkistyskäytössä olevien rantojen läheisyyteen niin on perustelua käyttää Tanskan mallia Saksan mallin sijaan.

Selvittäessä, ovatko älykkäät luukut kannattava investointi ylivuotoreiteille, tarkastellaan kuinka kuormitusosuus jakautuu eri ylivuotokaivojen kesken. Kuten aiemmin on mainittu, ylivuodot keskittyvät suurelta osin muutamaa ylivuotokaivoon. Näin jakautuvat myös asumisjäteveden osuudet, joiden mukana vesistöä kuormittavat aineet tulevat (Liite 2). Ylivuotokaivo 013 on suurin kuormittaja 47 % osuudella. Myös ylivuotokaivo 008 kuormittaa merkittävästi 23,8 % osuudellaan. Muiden ylivuotokaivojen kuormitusosuudet ovat pieniä. Ylivuotojen hintaa per ylivuotokaivo tarkastellessa YVK 013 ylivuotojen hinnaksi tulee 2 256 €/vuosi. Se alkaisi olla sellainen summa, joka houkuttelisi asentamaan älykkään patoluukun jo ilman sisään vuotavan veden tarkasteluakin. YVK 013 sijaitsee kuitenkin alueella, jota ollaan parhaillaan muuttamassa sekaviemäroidystä erillisviiemäroityyn alueeseen (Maasilta & Hyypiä 2017), joten kyseisen ylivuotokaivon päästöt tulevat todennäköisesti pienenevän lähitulevaisuudessa merkittävästi eikä näin ollen luukun asentaminen ole ylivuotojen osalta kannattavaa. Ainoastaan kahdeksan ylivuotokaivon kuormitusmäärät ovat sen suuruiset, että Tanskan mallin mukaisella maksulla hinnaksi tulee yli 100 euroa vuodessa, joten ylivuotojen aiheuttamilla vuotuisilla kustannuksilla ei voi älykkäiden luukkujen asentamista perustella.

8 VIEMÄRIIN SISÄÄNVUOTAVAN MERIVEDEN AIHEUTTAMAT KUSTANNUKSET

Sisäänvuotojen kustannukset on laskettu kappaleessa kuusi esitetyistä virtaamista, jotka on saatu Torricellin lain pohjalta saatujen vedennopeuksien ja arvioitun luukun keskimääräisen koon ja vuotavuuden avulla. Keskimääräisen luukun on arvioitu olevan 2,00 m leveä ja tiivisteiden puutteen takia jättävän 2 mm raon alareunaan. Sisäänvuotojen kustannusten laskuissa on oletettu, että merivesi pysyy vuorokauden ajan huippuarvossaan. Todellisuudessa niin ei kuitenkaan ole, vaan meriveden pinta voi pysyä lähellä huippuarvoa vain tunteja tai jopa useita vuorokausia. Laskelmat ovat kuitenkin hyvin karkeita arvioita kustannuksista. Sisään vuotavan veden hinnat pohjautuvat verkoston pumppauskustannuksiin ja jätevedenpuhdistamon toimintakustannuksiin. Nämä kustannukset ovat verkoston osalta 0,082 kWh/m³ (Saarinen 2017) ja jätevedenpuhdistamon osalta 0,10 €/m³ (Kuokkanen 2017). Sähkön hinnaksi laskelmissa on arvioitu 0,10 €/kWh. Kymmenen vuoden kustannukset on laskettu olettamalla merivedenkorkeuden saavuttavan 1/10 vuodessa tapahtuvan huippuarvon kerran, 1/5 vuodessa tapahtuvan kerran, 120 cm arvon kahdesti ja 100 cm arvon joka vuosi. Arvio merenpinnan noususta 100 cm korkeudelle joka vuosi pohjautuu merenpinnan vuosittaisten maksimiarvojen kehitykseen viimeisen 100 vuoden aikana (Kuva 7.) Näin ollen tehdyn yksinkertaistuksen (Kuvio 1) mukaan meriveden pinta on 10 vuoden aikana yhden vuorokauden ajan 1/10 vuodessa esiintyvän huipun korkeudella, kahden vuorokauden ajan 1/5 vuodessa esiintyvän huipun korkeudella tai yli, neljän vuorokauden ajan 120 cm korkeudella tai yli ja kymmenen vuorokauden ajan 100 cm korkeudella tai yli. Lisäksi mukana ovat ylivuodoista Tanskan mallilla syntyneet kustannukset niissä kaivoissa, joista mallinnusta on tehty.



Kuvio 1. Laskelmissa käytetty yksinkertaistus merivedenpinnan noususta huippuarvoonsa. Samaa mallia käytetty myös 1/5 vuodessa tapahtuvan huippuarvon sekä 120 cm arvon ilmenemisissä.

Laskelmista käy ilmi, että tulvaluukuttomien ylivuotokaivojen aiheuttamat kustannukset ovat valtavat suhteessa tulvaluukullisiin. Matalimman ylivuotokynnyksen omaava tulvaluukuton kaivo on YVK 144 ja sen laskennalliseksi vuosikustannukseksi tulee noin 42 000 euroa. Myös kynnykseltään seuraavan tulvaluukuttoman kaivon YVK 141:n kustannukset nousevat noin 27 000 euroon. Näihin kaivoihin

kuitenkin on rakenteilla perinteiset tulvaluukut, samoin kuin neljään kustannuksiltaan seuraavaksi suurimpiin tulvaluukuttomiin kaivoihin, joten ei keskitytä niiden kustannuksiin tulevissa laskelmissa.

Tulvaluukullisten ylivuotokaivojen kustannuksiltaan kymmenen suurinta kohdetta on esitetty taulukossa 8. Siitä selviää, että ylivuotokaivojen vuosikustannukset jäävät hyvin pieniksi kahta kaivoa lukuun ottamatta. Niiden kustannuksia verrattuna muihin nostaa ylivuotokustannusten suuruus, jotka ovat kaivolla YVK 013 noin 2260 euroa vuodessa ja kaivolla YVK 008 noin 1140 euroa vuodessa (Liite 4). YVK 013 kustannukset ovat ylivoimaisesti suurimmat, mutta kuten aiemmin on mainittu, kyseinen kaivo sijaitsee alueella, jota ollaan muuttamassa sekaviemäroidystä erillisviiemäroidyksi parhaillaan, joten kustannus tulee laskemaan (Maasilta & Hyypiä 2017). Muiden ylivuotokaivojen vuosikustannukset jäävät maksimissaan muutamiin satoihin euroihin. Kaikkien kaivojen kustannukset löytyvät liitteestä 5.

Taulukko 8. Laskennalliset kustannukset per ylivuotokaivo. 10 suurikustannuksisinta ylivuotokaivoa. Ei sisällä tulvaluukuttomia kaivoja.

YVK	Kynnys	Hinta e/10a	Hinta e/a
013	0,74	24277	2428
008	1,00	12059	1206
009	1,25	4310	431
014	1,21	2603	260
103	0,36	2455	245
159	0,42	2355	235
090	0,74	1717	172
088	1,09	1580	158
074	0,88	1329	133
101	0,91	1224	122

9 ÄLYKKÄIDEN LUUKKUIEN ASENTAMISEN KUSTANNUSLASKELMA

Kustannuslaskelmassa lasketaan kaivokohtaisesti asennettavan älykkään patoluukun takaisinmaksuaika. Älykkään patoluukun hinnaksi on tilaaja arvioinut noin 25 000 euroa, ulkoisen virtalähteen hinnaksi paikkoihin, joissa ei sähkökaapelia ole lähellä, noin 30 000 euroa ja luukun asennuskustannukseksi noin 20 000 euroa (Yrjölä 2017). Yhteensä älykkään luukun asentaminen ylivuotokaivoon tulee siis kustantamaan noin 75 000 euroa. Tehdään laskelma kahdella tavalla. Toisessa oletetaan ylivuotojen loppuvan kokonaan älykkäiden patoluukkujen asentamisen jälkeen ja toisessa oletetaan ylivuotojen puolittuvan. Takaisinmaksuaika on laskettu jakamalla älykkään patoluukun asentamisen kokonaiskustannus arvioidulla vuosittaisella kustannushyödyllä, joka asentamisesta seuraisi. Huomiota ei ole otettu älykkään patoluukun käyttökustannuksia. Tulokset ovat luettavissa taulukoista 9 ja 10.

Taulukko 9. Ylivuotokaivokohtainen laskelma älykkään patoluukun asentamisen takaisinmaksuajasta olettaen, että älykkäs patoluukku poistaisi ylivuodot kokonaan.

YVK	Kynnys (m)	Nykytila	Älykkään patoluukun tuoma kustannushyöty €/a	Takaisinmaksu aika (a)
144	0,64		41570	2
141	0,79		26880	3
013	0,74	läppä	2430	31
124	1,27		2220	34
126	1,32		1460	51
008	1,00	läppä	1200	63
009	1,25	läppä	430	174
142	1,41		390	192
125	1,42		360	208
150	1,42		350	214

Taulukko 10. Ylivuotokaivokohtainen laskelma älykkään patoluukun asentamisen takaisinmaksuajasta olettaen, että älykkäs patoluukku vähentäisi ylivuotojen kustannukset puoleen.

YVK	Kynnys (m)	Nykytila	Älykkään patoluukun tuoma kustannushyöty €/a	Takaisinmaksu aika (a)
144	0,64		41570	2
141	0,79		26880	3
124	1,27		2220	34
126	1,32		1460	51
013	0,74	läppä	1300	58
008	1,00	läppä	630	119
142	1,41		390	192
125	1,42		360	208
150	1,42		350	214
103	0,36	läppä	240	313

Laskelmasta käy ilmi, että takaisinmaksuajat venyvät todella pitkiksi ylivuotokaivoissa, joissa on jo asennettuna tulvaluukku. Ainoastaan luukuttomien ylivuotokaivojen 144 ja 141 muutostyöt olisivat rahallisesti kannattavia takaisinmaksuaikojen ollessa kaksi ja kolme vuotta. Tulvaluukullisista ylivuotokaivoista lyhin takaisinmaksuaika, 31 vuotta, on kaivolla 013, jonka ympäristöä ollaan muuttamassa sekaviemäroidystä erillisviemäroidyksi. Ylivuotokaivon 013 kustannushyötyyn ylivuotovesien määrä vaikuttaa huomattavasti kustannushyödyn pudotessa lähes puoleen, kuten huomaa verrattessa taulukon 8 ja taulukon 9 tuloksia. Älykkään patoluukun poistaessa ylivuodot kokonaan, ylivuotokaivon 013 kustannushyöty olisi noin 2400 euroa, kun patoluukun vähentäessä ylivuotojen määrän puoleen, kustannushyöty olisi vain noin 1300 euroa. Takaisinmaksuaika tulee siis kasvamaan, kun ylivuotojen määrä ylivuotokaivosta 013 vähenee erillisviemäroinnin seurauksena. Älykkään patoluukun käyttöä voidaan olettaa olevan korkeintaan 50 vuotta, jolloin asentaminen ei olisi taloudellisesti kannattavaa yhteenkään ylivuotokaivoon, jossa on jo tulvaluukku. Tulokset ovat kuitenkin hyvin karkeita arvioita ja erityisesti sisään vuotavan meriveden osalta määrät voivat vaihdella yksittäisissä ylivuotokaivoissa huomattavasti yksinkertaistetusta laskelmasta.

10 ÄLYKKÄIDEN PATOLUUKKIJEN ASENTAMISEN VAIKUTUKSET

10.1 Imagovaikutukset

Ylivuodoista syntyvät imagovaikutukset ovat vähäisiä. Sekaviemärin ylivuodoista johtuvista hajuhaittoista tulee HSY:lle vain muutamia ilmoituksia vuosittain (Yrjölä 2017). Ylivuotojen määrän vähentäminen ei siis vaikuttaisi merkittävästi hajuhaittojen vähenemiseen niiden vähäisyyden takia. Älykkäiden luukkujen asentamisesta voisi saada imagohyötyä myös ilmoittamalla niiden käyttöönotosta ja hyödyistä näkyvästi asiakkaille. Sen toimenpiteen imagovaikutus saattaisi olla jopa merkittävä, sillä Itämeren ja Suomenlahden tila on pääkaupunkiseutulaisilla varmasti tiedossa ja jokainen ravinne päästöjä vähentävä toimenpide näyttätyy positiivisena kehityksenä ihmisten silmissä. Kokonaisuudessaan imagovaikutukset eivät kuitenkaan ole merkittävässä roolissa älykkäiden patoluukkujen asentamista perustellessa.

10.2 Ympäristövaikutukset

Ympäristövaikutukset ovat aina merkittävässä roolissa, kun puhutaan jätevesistä. Älykkäiden patoluukkujen asentamisella on mahdollista vähentää sekaviemäriverkoston ylivuotoja ja täten jäteveden pääsyä ympäristöön. Ympäristövaikutusten määrä riippuu kuitenkin siitä, kuinka paljon älykkäillä patoluukuilla on mahdollista vähentää ylivuotovesien määrää. Parhaassa tapauksessa ylivuodot saadaan lähes kokonaan lopetettua, jolloin ympäristövaikutus on merkittävä. Vuoden 2016 mallinnettujen ylivuotovesimäärien ja ainekuormitusten perusteella ravinteiden pääsy vesistöihin pystyttäisiin vähentämään satoja kiloja vuosittain ja purkuvesistön happea kuluttavan orgaanisen aineen pitoisuuksia yli tuhat kiloa vuosittain (Taulukko 4). Vesistön fyysistä ja kemiallista tilaa heikentävien päästöjen lisäksi älykkäiden patoluukkujen avulla vähenevät myös mikrobipäästöt, jotka heikentävät purkuvesistön veden hygieenistä laatua ja pahimmillaan estävät vesistön virkistyskäytön purkupaikan läheisyydessä. Älykkäät patoluukut eivät kuitenkaan todennäköisesti mahdollista ylivuotojen poistamista kokonaan, vaan ne pystyvät vain vähentämään ylivuotojen määrää.

Ylivuotojen lisäksi älykkäät patoluukut voivat vähentää viemäriin sisään vuotavan meriveden määrää. Viemäriin päässyt merivesi aiheuttaa haittaa jätevedenpuhdistamon toiminnalle ja pahimmassa tapauksessa heikentää puhdistusprosessia, jolloin puhdistamon purkuvesien päästöt voivat lisääntyä (Etelä-Suomen Aluehallintovirasto 2015). Kaiken kaikkiaan ympäristövaikutukset jäävät kuitenkin hyvin paikallisiksi ylivuotojen purkupisteiden läheisyyteen. Ne voivat kuitenkin olla merkittäviä tapahtuessaan ympäristöllisesti herkillä alueilla. Tällaisissa paikoissa älykkään patoluukun asentamista voi perustella ympäristövaikutuksilla. Pääsääntöisesti saatavat ympäristölliset hyödyt ovat kuitenkin niin vähäisiä suhteutettuna älykkäiden patoluukkujen hintaan, että pelkillä ympäristövaikutuksilla ei pysty asentamista perustelemaan.

11 JOHTOPÄÄTÖKSET

Selvitystyön perusteella älykkäiden patoluukkujen asentaminen ei tule olemaan taloudellisesti kannattavaa ylivuotokaivoihin, joissa on tulvaluukku, takaisinmaksuaikojen noustessa kymmeneen, jopa satoihin vuosiin. Sen sijaan tulvaluukuttomiin ylivuotokaivoihin kannattaa mahdollisimman pian asentaa joko tulvaluukku tai älykäs patoluukku. Niistä pääsee valtavia määriä merivettä viemäriverkostoon merenpinnan noustessa ylivuotokynnyksen yli ja se aiheuttaa arviolta jopa kymmenien tuhansien eurojen pumppauskustannukset vuosittain ja merkittäviä haittoja jätevedenpuhdistamolla. Myös tulvaluukullisiin ylivuotokaivoihin pitää kiinnittää huomiota. Laskelmien perusteella tulvaluukullisista ylivuotokaivoista sisään pääsevän meriveden määrä on vähäinen, mutta laskelmien tulokset ovat hyvin karkeita arvioita. Työtä varten kehitetty meriveden pinnan nousemista huippuunsa ja laskeutusta takaisin normaalivaihteluun kuvaava malli on hyvin yksinkertainen eikä vastaa todellisia tilanteita.

Ympäristöllisestä näkökulmasta älykkäiden patoluukkujen asentaminen on suositeltavaa paikoissa, joissa sekaviemärin ylivuoto purkautuu suljettuun tai ahtaaseen lahdelmaan, jossa veden vaihtuvuus ei ole suurta. Tällaisia paikkoja ovat esimerkiksi Töölölahti ja Eteläsatama. Näissä paikoissa verkostosta ylivuotanut jätevesi voi heikentää veden laatua lisäten ravinnekuormaa, joka voi johtaa esimerkiksi leväkasvustojen lisääntymiseen. Lisäksi ylivuotovesien purkautuminen vesistöön heikentää veden hygieenistä laatua ja haittaa täten virkistyskäyttöä. Älykkäiden patoluukkujen imago vaikutukset jäävät vähäisiksi, sillä nykyiset ylivuodot ovat niin vähäisiä ja laimeita, ettei esimerkiksi hajuhaittoja juurikaan ole. Tietenkin HSY voisi tiedottaa näkyvästi uusien älykkäiden patoluukkujen asentamisesta ja asentamisen hyödyistä, joka vaikuttaisi asiakkaiden mielipiteeseen HSY:stä positiivisesti.

Älykäs patoluukku 75 000 euron asennuskustannuksineen on selvitettyjen kustannus-, ympäristö- ja imago hyötyjen valossa liian kallis ollakseen vartenotettava vaihtoehto laajamittaiseen käyttöön Helsingin sekaviemäriverkostossa. Sisään verkostoon vuotavan meriveden osalta nykyiset yksinkertaiset tulvaluukut hoitavat hommansa hyvin estäen meriveden pääsyn suurissa määrin verkostoon. Pientä vuotoa niissäkin on, mutta sisään pääsevän veden vuosittaisten pumppaus- ja käsittelykustannusten ollessa vain muutamissa sadoissa euroissa, ei ole syytä kalliiseen saneeraukseen. Sekaviemäristä vesistöihin päin tapahtuvien ylivuotojen osalta rahallisten kustannusten määrää on hankala arvioida, mutta koska nykyiset ylivuodot ovat sen verran laimeita, eivätkä osu esimerkiksi uimarantojen läheisyyteen, joten niiden vähentäminen käyttämällä satoja tuhansia euroja älykkäisiin patoluukkuihin ei ole järkevää.

Investointijärjestyksen tekemiseksi suositellaan lisätutkimuksia. Nykyisten tulvaluukkujen tiiveys olisi suotavaa selvittää mittaamalla ja merenpinnan käyttäytyminen olisi syytä mallintaa paremmin, jotta voitaisiin tarkemmin arvioida kuinka paljon tulvaluukullisista ylivuotokaivoista todellisuudessa pääsee vuotamaan merivettä verkostoon. Myös tulvaluukkujen toimintavarmuus ja poikkeustapauksissa, kuten luukun kiilautuessa auki, sisään pääsevän veden määrä on syytä selvittää. Sekaviemäristä vesistöön päin suuntautuvien ylivuotojen osalta ylivuotokaivoihin sijoittuvien älykkäiden patoluukkujen asentamisen sijaan suositellaan HSY:tä selvittämään sekaviemäriverkostoon asennettavien älykkäi-

den luukkujen hyötyjä verkoston virtaaman hallinnassa ja verkoston varastointikapasiteetin maksimoinnissa. Kyseisiä luukkuja käytetään maailmalla menestyksekkäästi ylivuotojen ehkäisyyn sekä jätevedenpuhdistamolle menevän virtaamaan tasaamiseen sekaviemäriverkostoissa. Lisäselvitysten pohjalta on helpompi päättää olisiko Edmontonin mallin mukaiset verkoston virtaaman ja kapasiteetin hallintaan tarkoitetut luukut yhdessä nykyisten ylivuotokaivojen tulvaluukkujen kanssa parempi ratkaisu Helsingin sekaviemäriverkoston haasteisiin kuin ylivuotokaivoihin asennettavat älykkäät patoluukut.

LÄHTEET

- ANDERSEN, CRONQVIST, NIELSEN, MATHIASSEN, ALBERTSEN & BENTSEN 2005. Construction and testing of a CSO treating combined sewage to bathing water quality standards. [Viitattu 2017-03-20] Saatavissa: <http://www.cowi.com.pl/SiteCollectionDocuments/cowi/en/menu/06.%20News/1.%20News%20archive/Other%20file%20types/CSO.pdf>
- CAMPISANO, CABOT PLE, MUSCHALLA, PLEAU & VANROLLEGHEM 2013. Potential and limitations of modern equipment for real time control of urban wastewater systems. Urban Water Journal, 2013 Vol. 10, No. 5, 300–311
- CARBONE Marco, GAROFALO Giuseppina & PIRO Patrizia 2014. Decentralized Real Time Control in Combined Sewer System by Using Smart Objects. Procedia Engineering 89 473-478. Amsterdam: Elsevier Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/270157994_Decentralized_Real_Time_Control_in_Combined_Sewer_System_by_Using_Smart_Objects
- CITY OF EDMONTON 2000. The City of Edmonton - Combined Sewer Overflow (CSO) Control Strategy - Implementation Plan [Viitattu 2017-03-10] Saatavissa: https://www.edmonton.ca/city_government/documents/CSOReportJune2000.pdf
- CITY OF EDMONTON 2017. Combined Sewer Overflow Control [Viitattu 2017-03-10] Saatavissa: https://www.edmonton.ca/city_government/utilities/combined-sewer-overflow-control.aspx
- CONFÉDÉRATION FISCALE EUROPÉENNE 2017. Environmental Taxes in Denmark. [Viitattu 2017-03-20] Saatavissa: <http://www.cfe-eutax.org/taxation/environmental-taxes/denmark>
- ETELÄ-SUOMEN ALUEHALLINTO VIRASTO 2015. Viikinmäen jätevedenpuhdistamon ympäristöluvan lupamääräysten tarkastaminen, Helsinki. Päätös. Saatavissa: https://www.avi.fi/web/avi/ymparisto/-/asset_publisher/4OTEHOj6Z1s0/content/id/5210754#.WOogmvkT6Uk
- FIELD Richard, SULLIVAN Daniel & TAFURI Anthony N. 2004. Management of Combined Sewer Overflows. Boca Raton: Lewis Publishers
- FRED, Tommi 2015. ÄlykäsVesi HSY:ssä - Tulevaisuuden tehokas vesihuolto. [Viitattu 2017-03-08.] Saatavissa: <https://www.hsy.fi/ropa/Documents/AlykasVesi/3%20AlykasVesiFred.pdf>
- GRUM, THORNBERG, CHRISTENSEN, SHIDIDI & THIRSING 2011. Full-Scale Real Time Control Demonstration Project in Copenhagen's Largest Urban Drainage Catchments [Viitattu 2017-03-14] Saatavilla: <https://web.sbe.hw.ac.uk/staffprofiles/bdgsa/temp/12th%20ICUD/PDF/PAP005541.pdf>
- HELSINGIN SEUDUN YMPÄRISTÖPALVELUT 2017. ÄlykäsVesi [Viitattu 2017-03-01] Saatavissa: <https://www.hsy.fi/ropa/fi/alykasvesi/Sivut/default.aspx>
- HERON, Linda 2014. EBR Application for Review - Alternative Bypass Reporting Procedures - ORA to MOECC. Ontario Rivers Alliance 2014. [Viitattu 2017-03-21] Saatavissa: <http://www.ontarioriversalliance.ca/ebr-application-review-alternative-bypass-reporting-procedures-ora-moecc/>
- ILMATIETEENLAITOS 2013. Ilmastonmuutos nostaa merenpintaa Suomenlahdella [Viitattu 2017-03-13] Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/tiedote/650329>
- INGILDTSEN, Pernille & OLSSON, Gustaf 2016. Smart Water Utilities - Complexity made simple. Lontoo: IWA Publishing
- INSTITUTE FOR EUROPEAN ENVIRONMENTAL POLICY (IEEP) 2014. Environmental tax reform in Europe: Opportunities for the future. [Viitattu 2017-03-20] Saatavissa: http://www.ieep.eu/assets/1398/ETR_in_Europe_-_Annex_2_3_4.pdf
- KAHMA Kimmo, PELLIKKA Hilikka, LEINONEN Katri, LEIJALA Ulpu, JOHANSSON Milla 2014. Pitkän aikavälin tulvariskit ja alimmat suositeltavat rakentamiskorkeudet Suomen rannikolla. Helsinki: Ilmatieteidenlaitos Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/135226>

- KRÜGER VEOLIA 2015. Sewerflex - optimises the operation of catchment | Case Study [Viitattu 2017-03-02] Saatavissa: http://technomaps.veoliawatertechnologies.com/krugeras/ressources/files/1/41097-Lynetten_STAR_UTILITY-solutions_CS.pdf
- KUOKKANEN, Anna 2017. VS: kysely jätevesiasioista. Kehittämisisinööri, Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä [sähköposti]
- LACHANCE, Maxym & LODEWYK, Sid 2013. Simulate Your Way out of a Difficult Real Time Control Problem: Automatically Controlling Gates to Reduce Combined Sewer Overflows (CSOs) [Viitattu 2017-03-10] Saatavissa: https://isawwsymposium.com/wp-content/uploads/2013/08/WWAC2013_Lachance-Lodewyk_RTC-control-of-CSOs-in-Edmonton_paper.pdf
- LUÂN, Nguyen 2016. Flap valve-limited solutions due to the flooding tide. [Viitattu 2017-03-29] Saatavissa: <http://hiepthanhphu.com.vn/flap-valve-limited-solution-due-to-flooding-tide/>
- MAASILTA, Minna & HYYPIÄ, Jouni 2017. Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY - Sekaviemäriverkon ylivuotojen kuormitustarkastelut - Yhteenvetoraportti 2017. Helsinki: FCG Suunnittelu ja Tekniikka Oy
- MARSALEK Jiri, SZTRUHAR Daniel, GIULIANELLI Mario & URBONAS Ben 2004. Enhancing Urban Environment by Environmental Upgrading and Restoration. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers
- MILJØSTYRELSE 2000. Stofkoncentrationer i regnbetingede udledninger fra fællessystemer. [Viitattu 2017-03-20] Saatavissa: <http://www.statensnet.dk/pligtarkiv/fremvis.pl?vaerkid=6405&repid=0&filid=35&iarkiv=1>
- OPENSTAX 2017. The Most General Applications of Bernoulli's Equation - Torricelli's Theorem. [Viitattu 2017-03-30] Saatavissa: http://cnx.org/contents/_P4p4D_P@4/The-Most-General-Applications-
- PITKÄNEN, Juha 2010. Tulvaluukkujen rakentaminen viemäriverkostoon 2007-2009. Laskelma. HSY Verkko-osasto.
- PUBLIC UTILITIES BOARD SINGAPORE 2016. Managing the water distribution network with a Smart Water Grid. Smart Water 2016, Vol. 1, 1-13. [Viitattu 2017-04-03] Saatavissa: <http://smartwaterjournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40713-016-0004-4>
- RAATEOJA Mika & SETÄLÄ Outi 2016. The Gulf of Finland assessment. Helsinki: Suomen ympäristökeskus
- REINHARD, Walter 2014. Wastewater regulations in Germany - Implementation, practical examples. [Viitattu 2017-03-22] Saatavissa: http://www.industry.org.il/GetFileCl.asp?File=04_Wastewater_regulations_in_Germany.pdf
- RUGGABER, Timothy, TALLEY, Jeffrey & MONTESTRUQUE, Luis 2006. Using Embedded Sensor Networks to Monitor, Control, and Reduce CSO Events: A Pilot Study. Environmental Engineering Science 2006. [Viitattu 2017-03-16] Saatavissa: <https://pdfs.semanticscholar.org/62f4/0f96872b9024a9642b6c0fadf75a1ca24ebf.pdf>
- SAARINEN, Perttu 2017. VS: kysely jätevesiasioista. titteli, Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä [sähköposti]
- SCHÜTZE Manfred, CAMPISANO Alberto, COLAS Hubert, VANROLLEGHEM Peter & SCHILLING Wolfgang 2003. Real-Time Control of Urban Water Systems. [Viitattu 2017-03-16] Saatavissa: <http://modeleau.fsg.ulaval.ca/fileadmin/modeleau/documents/Publications/pvr419.pdf>
- TECAFLOW 2016. HSY tulvansuojelu tekninen ehdotus 4.11.2016. Tecalemit Flow Oy [Tarjous]
- VAHTERA Emil, MUURINEN Jyrki, RÄSÄNEN Marjut & PÄÄKKÖNEN Jari-Pekka 2014. Helsingin ja Espoon merialueen tila vuonna 2013. Helsinki: Kopio Niini Oy. Saatavissa: www.hel.fi/static/ymk/julkaisut/julkaisu-06-14.pdf

YRJÖLÄ, Anssi 2017. Verkostoinsinööri. HSY vesihuolto, verkkopalveluyksikkö. Suullinen tiedonanto 2017.

VÄYRYNEN, J. & HYYPIÄ, J. 2016. Helsingin sekaviemäriverkon ylivuotojen kuormitustarkastelut. Helsinki: FCG Suunnittelu ja Tekniikka Oy

LIITE 1: HELSINGIN SEKAVIEMÄRIVERKOSTON YLIVUOTOKAIVOT (VAIN TILAAJAN KÄYTTÖÖN)

LIITE 2: SEKAVIEMÄRÖIDYN ALUEEN LASKENNALLISET VERKOSTOYLIVUOTOMÄÄRÄT 2016

Ylivuotokaivo	Ylivuotokertymä [m ³]	Asumisjäteveden määrä [m ³]	Asumisjäteveden osuus [%]	Kuormitusosuus [%]
YVK 001	1	0	0	0
YVK 002	0	0	0	0
YVK 003	1	0	0	0
YVK 004	4.3	0.0	0.0	0.0
YVK 005	7.0	0.0	0.0	0.0
YVK 006	0	0	0	0
YVK 007	0	0	0	0
YVK 008	21 041	540	2.6	23.8
YVK 009	12 343	192	1.6	8.5
YVK 010	0	0	0	0
YVK 012	4 554	78	1.7	3.4
YVK 013	44 363	1 064	2.4	47.0
YVK 014	8 411	111	1.3	4.9
YVK 015	2 905	0.5	0.0	0.0
YVK 018	160	3	2	0
YVK 019	1 055	7.9	0.7	0.3
YVK 021	0	0	0	0
YVK 022	3 714	0	0	0
YVK 023	3 061	0	0	0
YVK 026	0	0	0	0
YVK 027	0	0	0	0
YVK 028	18 999	0.6	0.0	0.0
YVK 029	931	0	0	0
YVK 030	0	0	0	0
YVK 031	9 708	0	0	0
YVK 033	9 981	0.0	0.0	0.0
YVK 036	54 944	6.7	0.0	0.3
YVK 040	6 073	1.8	0.0	0.1
YVK 041	0	0	0	0
YVK 042	0	0	0	0
YVK 043	0	0	0	0
YVK 044	5 550	0.2	0.0	0.0
YVK 046	1 441	0.1	0.0	0.0
YVK 047	0	0	0	0
YVK 050	10 980	0	0	0
YVK 051	0	0	0	0
YVK 055	7 264	0.3	0.0	0.0
YVK 058	36 383	67	0.2	3.0
YVK 060	0	0	0	0
YVK 065	0	0	0	0
YVK 067	4 792	141	3	6
YVK 068	0	0	0	0
YVK 069	0	0	0	0
YVK 072	1 657	0.2	0.0	0.0
YVK 073	2 999	0.0	0.0	0.0
YVK 074	6 660	0.1	0.0	0.0
YVK 076	557	0.1	0.0	0.0
YVK 083	4 642	0.0	0.0	0.0
YVK 085	7 015	0.7	0.0	0.0
YVK 088	5 502	50	0.9	2.2
Yhteensä	297 700	2 265	0.8	100

LIITE 3: HELSINGIN SEKAVIEMÄRÖIDYN ALUEEN YLIVUODOT KARTALLA 2015 (VAIN TILAAJAN
KÄYTTÖÖN)

LIITE 4: YLIVUOTOJEN KAIVOKOHTAINEN KUSTANNUSLASKELMA

Kokonaishinta (€):	4800,67
--------------------	---------

YVK	%-osuus	Ylivuodon hinta €
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	23,8	1143
9	8,5	408
10	0	0
12	3,4	163
13	47	2256
14	4,9	235
15	0	0
18	0	0
19	0,3	14
21	0	0
22	0	0
23	0	0
26	0	0
27	0	0
28	0	0
29	0	0
30	0	0
31	0	0
33	0	0
36	0,3	14
40	0,1	5
41	0	0
42	0	0
43	0	0
44	0	0
46	0	0
47	0	0
50	0	0
51	0	0
55	0	0
58	3	144
60	0	0
65	0	0
67	6	288
68	0	0
69	0	0
72	0	0
73	0	0
74	0	0
76	0	0
83	0	0
85	0	0
88	2,2	106

LIITE 5: MERIVEDEN SISÄÄNVUODON YLIVUOTOKAIVOKOHTAINEN KUSTANNUSLASKELMA (VAIN
TILAAJAN KÄYTTÖÖN)