



**SAVONIA**

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# ESISELVITYS VEDEN UV-DESINFIOINNISTA ITKONNIEMEN VEDENTUOTANTOLAITOKSELLA

Koulutusala			
Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma			
Ympäristötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä			
Olli Tikkanen			
Työn nimi			
Esiselvitys veden UV-desinfiointista Itkonniemen vedentuotantolaitoksella			
Päiväys	27.4.2016	Sivumäärä/Liitteet	31/7
Ohjaaja(t)			
Lehtori Teemu Räsänen ja yliopettaja Pasi Pajula			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t)			
Kuopion Vesi Liikelaitos, ohjaaja kehitysinsinööri Petri Juntunen			
Tiivistelmä			
<p>Desinfiointimenetelmän valinta vedentuotantolaitokselle liittyy aina käsiteltävän veden laatuun sekä sen ominaisuuksiin. Vedentuotantolaitoksen yksilölliset prosessit sekä käytössä olevat resurssit vaikuttavat myös desinfiointimenetelmän valintaan. UV-desinfiointi on turvallinen ja tehokas veden desinfiointimenetelmä, jossa ei tarvita lainkaan kemikaaleja.</p> <p>Työn tavoitteena oli tehdä esiselvitys UV-desinfiointiin siirtymisestä Itkonniemen vedentuotantolaitoksella. Esiselvitys antaa lähtökohdat UV-desinfiointin laitteisto- ja prosessisuunnitteluun sekä selvittää ja määrittää laitteiston sijoituspaikan laitoksella ja siihen liittyvät toimenpiteet.</p> <p>Kirjallisuusuuden tavoitteena oli selvittää erilaisten talousveden desinfiointimenetelmien ominaisuuksia ja niiden käyttöön liittyviä hyötyjä sekä haittoja ja vertailla niitä UV-desinfiointiin. UV-desinfiointin suunnittelu perustuu aina käsiteltävän veden maksimivirtaamaan ja veden pienimpään UV-läpäisevyyteen. Työssä käytettiin apuna englanninkielisiä ohjeita UV-desinfiointilaitteiston suunnitteluun.</p> <p>Työn tuloksena saatiin selvitettyä UV-desinfiointilaitteiston teknisesti paras sijoituspaikka ja siihen liittyvät toimenpiteet laitoksella. Käsiteltävän veden UV-läpäisevyyden laboratoriotutkimukset suoritettiin työn aikana Itkonniemen vedentuotantolaitoksen laboratoriossa. Myös tarvittavat oheislaitteet sekä putkimuutokset on esitetty tässä työssä. Työssä vertailtiin neljää erilaista UV-desinfiointilaitteistoa ja niiden ominaisuuksia sekä investointi- ja käyttökuluja. Tavoiteltu UV-annos ja laitteistojen vaatimat virran määrät selvitettiin myös tässä työssä. Klooriamiinin käyttö jälki-desinfiointimenetelmänä selvitettiin myös.</p>			
Avainsanat			
UV, UV-desinfiointi, desinfiointi, esiselvitys, klooriamiini, vedentuotantolaitos			

Field of Study			
Technology, Communication and Transport			
Degree Programme			
Degree Programme in Environmental Technology			
Author			
Olli Tikkanen			
Title of Thesis			
Preliminary Study on UV Disinfection at Itkonniemi Water Plant			
Date	27 April 2016	Pages/Appendices	31/7
Supervisor(s)			
Mr Teemu Räsänen, Lecturer and Mr Pasi Pajula, Principal Lecturer			
Client Organization /Partners			
Kuopion Vesi Public Utility/ Petri Juntunen, Development Engineer			
Abstract			
<p>Choosing the disinfection system for municipal water is always related to the properties and quality of the water. The available resources and the properties of the water plant also affect the decision about the disinfection system. UV disinfection makes the water disinfection safer and more effective with none added chemicals.</p> <p>The objective of this thesis was to make a preliminary study about the transition to the UV disinfection at the Itkonniemi water plant. The preliminary study set a basis for planning the facilities and processes for UV disinfections. It also defines the mounting place and facilities for the UV reactor.</p> <p>The objective of the literature part was to find out the properties of different disinfection systems together with their advantages and disadvantages. The advantages of UV disinfection systems compared to traditional disinfection systems were also studied. The study of UV disinfection is always based on the maximum water flow and the lowest UV transmittance of the water. Instructions about designing UV disinfection systems were used as a basis for designing.</p> <p>The result of this thesis was a proposal of the technically best location for the UV disinfection system and studies related to that. A study of UV transmittance was also carried out at the laboratory of the Itkonniemi water plant. Necessary peripheral devices and pipelines were found in this thesis. Four different UV disinfection systems and their properties were compared in this study. Also investment costs within operation and maintaining costs of different UV disinfection systems were studied. Also the desirable UV dose and the requisite power requirements were also discovered. Furthermore, a study about the usage of chloramine as a post-disinfection method was also carried out.</p>			
Keywords			
UV, UV disinfection, disinfection, chloramine, preliminary study, water treatment plant			

## ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö tehtiin Kuopion Vesi Liikelaitokselle kevään 2016 aikana lähinnä Itkonniemen vedentuotantolaitoksen tiloissa. Haluan kiittää Kuopion Vettä mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta sekä mahdollisuutta tehdä työtä oikeassa työympäristössä. Haluan erityisesti kiittää Kuopion Veden vedentuotannon kehitysinsinööriä Petri Juntusta opinnäytetyöni ohjauksesta ja mielenkiinnosta sitä kohtaan.

Haluan myös kiittää lehtori Teemu Räsästä opinnäytetyöni ohjauksesta työn jokaisessa vaiheessa.

Kuopiossa 25.4.2016

Olli Tikkanen

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
2	TALOUSVEDEN DESINFIOINTIMENETELMÄT .....	7
2.1	Klooraus kloorikaasulla tai klooridioksidilla .....	7
2.2	Hypokloriitit .....	8
2.3	Klooriamiini .....	9
2.4	Kalvosuodatus .....	9
2.5	Otsonointi .....	10
2.6	UV-desinfiointi .....	11
3	UV-DESINFIOINTI .....	12
3.1	UV-desinfiointilaitteisto .....	13
3.2	UV-lamput ja niiden suojaputket .....	14
4	ITKONNIEMEN VEDENTUOTANTOLAITOS.....	16
4.1	Hietasalon tekopohjavesi.....	16
4.2	Jänneniemien tekopohjavesi.....	17
5	UV-DESINFIOINTI ITKONNIEMEN VEDENTUOTANTOLAITOKSELLA .....	18
5.1	UV-desinfiointilaitteistolla saavutettavat hyödyt.....	18
5.2	Tärkeimmät suunnittelua määrittävät tekijät.....	18
5.3	Suunnittelu.....	19
5.4	Klooriamiinin käyttö.....	25
6	KUSTANNUSARVIO .....	27
7	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	29
	LÄHTEET .....	30
	LIITE 1: VALITTUJEN UV-DESINFIOINTILAITTEIDEN LAITEVERTAILU .....	32
	LIITE 2: LAYOUT-KUVA UV-DESINFIOINTILAITTEISTOSTA LAITOKSELLA, MUOKATTU LAITOKSEN PIIRUSTUKSISTA (OLLI TIKKANEN) .....	34
	LIITE 3: KAAVIOKUVA JÄNNENIEMEN JA HIETASALON VESIEN KÄSITTELYPROSESSEISTA (KUOPION VESI 2012) .....	35
	LIITE 4: PI-KAAVIO UV-DESINFIOINNIN KANSSA, MUOKATTU LAITOKSEN PI-KAAVIOSTA (OLLI TIKKANEN) .....	36
	LIITE 5: KYSELYN YHTEENVETO SUURIEN UV-DESINFIOINTILAITTEISTOJEN TOIMINNASTA SUOMESSA .....	37

## 1 JOHDANTO

Juomakelpoista vettä valmistettaessa on aina ollut tarve poistaa vedestä patogeenejä sairastumisen riskin pienentämiseksi, koska vesi on ollut ja on edelleen yleisin väliaine maapallolla esiintyvien vakavien tautien esiintymisessä (RIL 124-2, 2004). Tekniikan kehittyessä taudinaiheuttajien osuutta vedessä on onnistuttu vähentämään paljon erilaisten desinfiointitekniikoiden avulla. Yleisimpiin tautia aiheuttaviin organismeihin luokitellaan bakteerit, virukset ja alkueläimet. Erilaisissa desinfiointitekniikoissa on kuitenkin aina omat haasteensa, jotka poissulkevat tiettyjen desinfiointitekniikoiden käytön tietyntylaiselle vesilaadulle. Ongelmia ovat muun muassa kloorauksen aiheuttamat mahdolliset haitalliset sivutuotteet vedessä tai aineiden desinfiointitehon heikkous verkostossa.

Vesilaitoksen talousveden desinfiointitekniikan valinta on haastavaa ja vaikuttaa laitoksen toimintaan sekä kehittämiseen. Desinfiointitekniikan ja -kemikaalin valintaan vaikuttavat senhetkinen lainsäädäntö ja viranomaisvaatimukset veden laadusta ja sen sisältämien patogeeneiden enimmäismäärästä. Käsiteltävän veden laatu vaikuttaa myös valittavan desinfiointimenetelmän. Desinfiointilaitteiston hinta sekä välttämättömät prosessitekniset muutostoimenpiteet uutta tekniikkaa varten vaikuttavat myös suuresti laitteiston hankintapäätökseen. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista (1352/2015) määrittelee talousveden laatuvaatimukset. Kuopion Veden toiminta-alueen lähes kaikilla muilla vedenkäsittelylaitoksilla lukuun ottamatta Itkonniemen laitosta on jo toiminnassa UV-desinfiointijärjestelmät matalapainelampuilla.

Suomessa veden desinfiointi on pakollista pintavesiprosessissa, mutta pohjavesi voidaan jättää desinfiointimatta, jos esiintymä on turvattu tarkoin saastumiselta. Käytännössä hyvin harvat pohjavesilaitokset jättävät desinfiointin pois prosessistaan turvallisuussyistä. Onkin tutkittu, että 2/3 vesiepidemiatapauksista aiheutuu pohjaveden käytöstä. Tekopohjavesi puolestaan on enemmän pinta- kuin pohjaveden kaltaista, jolloin sitä usein käsitelläänkin pintavesiprosessin kaltaisesti. Suomessa yleisimmät veden desinfiointikeinot ovat klooraus, otsonointi ja UV-desinfiointi. UV-desinfiointin käyttö kasvaa jatkuvasti Suomessa ja suuret vedenkäsittelylaitokset vaihtavat desinfiointimenetelmänsä siihen.

Työn pohjana käytetään apuna netistä löytyviä englanninkielisiä ohjeita desinfiointilaitteiston suunnitteluun ja selvittämällä laitteistovalintaan vaikuttavat tekijät sekä potentiaaliset sijoituspaikat laitteistolle. Laitteistovalinta aloitetaan kartoittamalla potentiaalisia desinfiointilaitteita, jonka jälkeen tutkitaan ja vertaillaan niiden ominaisuuksia sekä soveltuvuuksia laitokselle.

Tässä työssä selvitetään UV-desinfiointilaitteiston valintaa ja sijoittamista Itkonniemen vedentuotantolaitoksella. Näihin sisältyvät muun muassa laitteiston fyysisen sijoituspaikan valinta, laitteistotyyppi ja -malli, laitteiston mitoitus sekä suuntaa antavat kustannuslaskelmat. Työssä myös pohditaan tarvittavia muutoksia olemassa oleviin prosesseihin sekä putkistoihin UV-desinfiointiin siirryttäessä.

## 2 TALOUSVEDEN DESINFIOINTIMENETELMÄT

Veden desinfiointilla pyritään pääsemään lakien ja asetusten määrittämiin laatuvaatimuksiin sekä suositusarvoihin ja pyritään myös eliminoimaan vedestä ihmiselle haitalliset patogeenit. Kaikkia veden sisältämiä tautia aiheuttavia organismeja on käytännössä mahdotonta tutkia, joten tehtävään on valittu indikaattoriorganismeja, joiden avulla voidaan päätellä vedessä olevan myös muita taudinaiheuttajia. Suomessa yleisesti käytössä oleva indikaattoribakteeri on kolibakteeri (*Escherichia coli*). (Vesihuolto II: RIL 124-2 2004, 344.) Yleisimmin veden desinfiointiin käytetään erilaisia klooriyhdisteitä, UV-säteilytystä ja otsonointia. Veden desinfiointimenetelmistä muilla kuin kloorilla ei ole verkostovaikutuksia. Jääskeläinen (2007, 24) toteaaakin esiselvityksessään ”Talousveden riskienhallinnan kustannus-hyötyvertailu” seuraavasti: ”Veden klooraus on näin ollen ainoa desinfiointimenetelmä, jolla voidaan rajoittaa mikrobien kasvua vesijohtoverkostossa sekä vähentää veden käyttäjien sairastumisriskiä verkoston saastuessa.” Tässä luvussa ei käydä yksityiskohtaisesti kaikkia olemassa olevia talousveden desinfiointikeinoja vaan perehdytään oleellisimpiin ja käytetyimpiin keinoihin.

On tärkeää poistaa vedestä desinfiointitehoa heikentävät ja vaarallisia aineita mahdollisesti muodostavat epäpuhtaudet. Poistettaviin aineisiin kuuluvat muun muassa orgaaniset aineet, kiinteät hiukkaset, rauta- ja mangaaniyhdisteet sekä otsoni. Veden ominaisuuksien lisäksi desinfiointitehoon vaikuttavat reaktioaika, desinfiointiaineen väkevyys ja lämpötila. Välttämättömät vedestä poistettavat aineet ennen desinfiointia riippuvat käytettävästä desinfiointitekniikasta, koska esimerkiksi klooriyhdisteet ja otsoni reagoivat eri tavalla eri epäpuhtauksien kanssa.

Vesilaitoksilla täytyy myös olla mahdollisuus suorittaa niin sanottu shokkiklooraus eli pesuklooraus tilanteen niin vaatiessa esimerkiksi vesiepidemian kitkemiseksi tai ennen uuden vesijohtoputken käyttöönottoa. Shokkikloorauksessa veteen syötetään moninkertainen määrä klooria normaalitilanteeseen verrattuna, jotta varmistutaan toimenpiteen vaikutuksesta patogeeniin. Pesukloorauksen kloorauskemikaaliksi suositellaan natriumhypokloriittia vahvuudella 10 mg vapaata klooria litrassa ja käsittelyajaksi 12 tuntia. Toimenpiteen jälkeen kloori huuhdellaan verkostosta ja otetaan vesinäytteet tutkittaviksi laboratorioon veden laadun varmistamiseksi. (Talousveden Klooraus 2006, 20–21.)

### 2.1 Klooraus kloorikaasulla tai klooridioksidilla

Kloorikaasu ( $\text{Cl}_2$ , kaasumaisena  $\text{Cl}_2$ ) on halvin klooriyhdiste, mutta vaarallisuutensa ja säilytyksen haastavuuden vuoksi sitä käytetään lähinnä suurilla vedenkäsittelylaitoksilla. Kloorikaasu ei yksinään ole syövyttävää, paitsi reagoidessaan veden kanssa, johon sen desinfiointiteho perustuukin ja sen säilyttäminen vesiliuoksena on ongelmallista sen suuren syövyttävyyden vuoksi. Sitä kestävätkä vain eräät jalometallit, titaani sekä muun muassa teflonpinnoitteet. Kloorikaasu liuotetaan veteen alipainelaitteessa ja se muodostaa alikloorihapoketta, joka hajoaa edelleen hypokloriitti-ioniksi ja vetyioniksi pH-arvosta riippuen. (Talousveden klooraus 2006, 6.)

Kloorikaasun, kuten kaikkien muidenkin kloorausmenetelmien käytössä desinfiointiin on myös ongelmana mahdollinen trihalometaanin (THM), sekä muiden orgaanisten klooriyhdisteiden muodos-

tuminen ilman tarkkaa valvontaa ja seurantaa. Ne muodostuvat lähinnä humuksen ja kloorin sekoittumisen yhteydessä. Pintaveden käytössä talousveden valmistamiseen yhdisteiden muodostuminen oli suurinta. Orgaanisten klooriyhdisteiden muodostuminen veden käsittelyn yhteydessä käsitettiin maailmalla 1970-luvulla ja sitä alettiin tutkia aktiivisesti Suomessa 1980-luvulla, jonka jälkeen vesilaitoksilla tehtiin suuria investointeja ongelman ratkaisemiseksi ja pohjaveden käyttö raakavetenä yleistyikin tämän jälkeen suuresti, joka ratkaisi osaltaan ongelman. (Desinfiointi varmistaa talousveden mikrobiologisen puhtauden, Vesitalous 4/2007, 4.)

Klooridioksidi ( $\text{ClO}_2$ ) valmistetaan natriumkloriitista ( $\text{NaClO}_2$ ) ja haposta tai kloorikaasusta. Se on erittäin tehokas bakteerien, virusten, alkueläinten ja loiseläinten tuhoaja sekä kloorreja ja hypokloriitteja voimakkaampi hapetin. Klooridioksidia voidaan käyttää myös maun, hajun, värin, raudan ja mangaanin poistoon sekä levien tuhoamiseen. Päinvastoin kuin muiden kloorauskemikaalien osalta, veden pH ei vaikuta klooridioksidin pitoisuuteen tai hajoamisnopeuteen. Sen etuna voidaan pitää myös, ettei se oikein annosteltuna muodosta trihalometaanina, muita orgaanisia klooriyhdisteitä, eikä myöskään makuvirheitä. Kemikaali on kuitenkin aina valmistettava paikan päällä, eikä sitä saa säilyttää valmiina liuoksena edes lyhyitä aikoja ja sen käyttökulut ovat korkeat. Kemikaalin hallittu käyttäminen turvallisesti vaatii tarkan perehtymisen prosessiin ja jatkuvaa seurantaa, koska prosessin seurauksena voi mahdollisesti muodostua tietyissä olosuhteissa haitallisia kloriitteja ja kloraatteja. Suomessa vain muuta suuri vedenkäsittely käyttää klooridioksidia vedenkäsittelyssä. (Talousveden klooraus 2006, 6.)

## 2.2 Hypokloriitit

Hypokloriitit ovat ioneja muodostuen sekä kloori- että happiatomista. Hypokloriitteja on nestemäisiä natriumhypokloriitteja ( $\text{NaClO}$ ) tai kiinteitä kalsiumhypokloriitteja ( $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ) ja hypokloriittien desinfektantit ovat alikloorihapokkeen suoloja. Sitä käytetään aina desinfiointitarkoitukseen vesiliuoksena ja se liuotetaan kylmään veteen aineen hajoamisen estämiseksi. Natriumhypokloriitti toimitetaan vesilaitokselle valmiina liuoksena, kun taas kalsiumhypokloriittiliuos täytyy tehdä paikan päällä, joka on rajoittanut sen käyttöä vesilaitoksilla. Kalsiumhypokloriittia käytetään lähinnä uima-altaissa ja yksittäisten vesijohtoputkien kloorauksessa, joten tässä työssä siihen ei keskitytä. Hypokloriitit pyrkivät nostamaan veden pH:ta niiden suuren emäspitoisuuden vuoksi ja tämä vaikutus on otettava huomioon toiminnassa. Hypokloriittien heikkoutena voidaan pitää niiden heikkoa säilyvyyttä verrattuna kloorikaasuun, joskin asianmukaisella säilytyksellä niiden säilyvyyttä voidaan parantaa. (Talousveden klooraus 2006, 7.)

Laitoksille toimitettavan natriumhypokloriittiliuoksen aktiivisen kloorin pitoisuus on 10, 13 tai 15 % ja liuotusvaiheessa  $\text{NaClO}$  hajoaa hypokloriitti-ioniksi ja natriumioniksi. Se on emäksistä (pH 12–14), nostaa veden alkaliteettia ja on pistävän hajuista sekä erittäin syövyttävää. Hypokloriittien syöttömäärät täytyy aina laskea tapauskohtaisesti, mutta yleisesti syöttömäärä on alle 1 mg/l. Liuos aiheuttaa saostumia ja tukkeutumia putkilinjaa ja pumppuun, joten ne on puhdistettava säännöllisin väliajoin ja niiden toimintaa on tarkkailtava jatkuvatoimisesti. Liuoksen säilytyksessä täytyy käyttää tietyntyyppistä muovisäiliötä ja suoja-allasta vuotojen varalle. Myös varoitusjärjestelmän on oltava



kunnossa, jos klooria sattuu pääsemään ilmaan. Natriumhypokloriitin säilymisen kannalta heikentäviä elementtejä ovat pH:n laskeminen alle 11, veden lämpötilan nousu, valo sekä mikäli liuoksessa on rautaa, mangaania, kuparia, nikkeliä tai kobolttia. Reagoidessaan orgaanisten aineiden kanssa natriumhypokloriitti voi synnyttää muun muassa eliöille myrkyllistä trihalometaania, joka useiden tutkimusten mukaan saattavat aiheuttaa syöpää. (Talousveden klooraus 2006, 7.)

### 2.3 Klooriamiini

Klooriamiini ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ) kuuluu kloramiinien ryhmään, jotka muodostuvat kloorin reagoidessa ammoniumin kanssa ja on syövyttävä aine, jota käytetään veden desinfiointiin. Klooriamiinia valmistetaan lisäämällä veteen kloorin tai hypokloriitin lisäksi ammoniakkia tai ammoniumsuolaa ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). Prosessissa yleensä kloori syötetään ensin ja annetaan vaikuttaa noin 0,5 tuntia desinfiointitehokkuuden varmistamiseksi, jonka jälkeen syötetään ammoniumsuola, jonka tarkoitus on sitoa jäljellä oleva vapaa kloori kloramiiniksi. Yleisesti ottaen kloorin ja ammoniumin yhdistetty syöttömäärä on alle 1 mg/l, jolla pyritään sidotun kloorin pitoisuuteen 0,3–0,6 mg/l. Klooriamiinin syöttömäärä täytyy kuitenkin aina tehdä yksilökohtaisesti jokaisen systeemin osalta, koska desinfiointitehokkuus on oltava riittävällä tasolla myös verkoston kaukaisimmilla osilla. (Klooraus – tuttu ja turvallinen, Vesitalous 4/2007, 11.) Kloramiinikloorauksen vaikutukset vesijohtoverkostossa säilyvät pitkään, joskaan niiden desinfiointiteho, tässä tapauksessa mikrobien inaktiointiteho, ei yllä samalle tasolle kloorin ja hypokloriitin kanssa. Klooriamiinia käytetäänkin yleensä vesijohtoverkostossa varmistamaan desinfiointin säilyvyys ja hillitsemään bakteerikasvua jonkin tehokkaamman desinfiointikeinon, kuten UV-desinfiointin jälkeisenä prosessina. (Talousveden klooraus 2006, 9.)

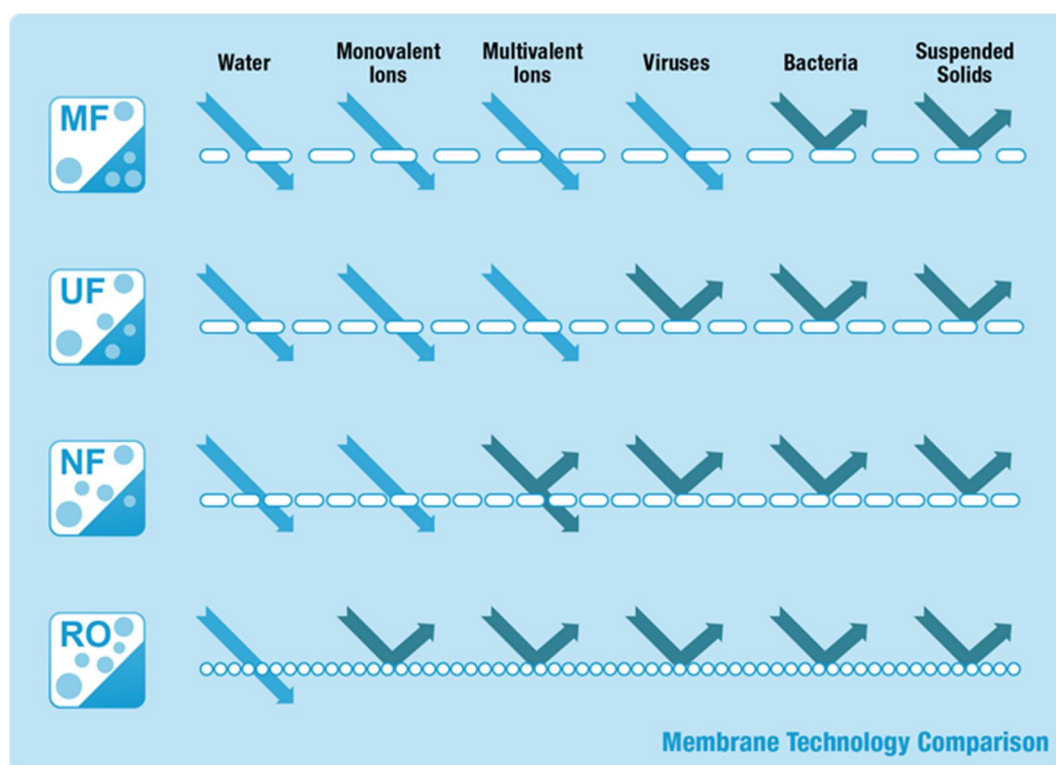
Kloramiinin käytön etuina voidaan pitää, ettei se aiheuta veteen yhtä helposti maku- tai hajuvirheitä kuin vapaa kloorijäännös, eikä menetelmässä myöskään synny kloorautuneita sivutuotteita, kuten trihalometaania. Haittapuolena tekniikassa on mahdollinen nitriitin muodostuminen. Nitriittiä voi muodostua verkostossa klooriamiinin hajotessa ammonium-ioniksi ja edelleen hapettuminen bakteerien toiminnan seurauksena nitriitiksi, jonka pitoisuutta verkostossa täytyy seurata aktiivisesti. (Talousveden klooraus 2006, 9; Vesihuolto II: RIL 124-2 2004, 426.) Euroopan maista kloramiinia käytetään UV-desinfiointin parina ainakin pohjoismaissa sekä Espanjassa (Juntunen).

### 2.4 Kalvosuodatus

Kalvosuodatustekniikat voidaan jakaa niiden liikkeelle panevien voimien mukaisesti. Paine-erolla toimiviin kalvotekniikoihin luetaan huokoskoon mukaan suurimmasta pienimpään mikro-suodatus (MF), ultrasuodatus (UF), nanosuodatus (NF) sekä käänteisosmoosi (RO). Suodatus perustuu hydrostaattisen paineen avulla syötteen ohjaamiseen huokoisen pienireikäisen kalvon läpi epäpuhtauksien jäädessä kalvoon. Ultrasuodatuksessa kalvon huokoskoko on noin 10nm ja kalvon materiaaleina käytetään muun muassa polyamidia, polyvinylideenifluoridia, polysulfoneja sekä keraamisia kalvoja. Ultrasuodatus ei yllä tehokkuudessaan nanosuodatuksen ja käänteisosmoosin tasolle, mutta on käyttökustannuksiltaan paljon edellä mainittuja tekniikoita edullisempi. Muita liikkeelle panevia voimia kalvotekniikoissa ovat muun muassa lämpötilaero, dialyysi sekä sähkövarauksen ero. Sähkövarauksen eroon perustuvaa elektrodialyysia käytetään muun muassa Lähi-idän maissa sekä Yhdysvalloissa suolan poistossa merivedestä, jonka jälkeen voidaan alkaa valmistaa talousvettä jatkoprosessien

avulla lähinnä kuivuudesta kärsivillä alueilla, joissa merivesi on suurin raakaveden lähde. (Membrane separation processes in environmental protection.)

Talousveden desinfiointin kannalta ultrasuodatus on jo riittävän tehokas keino virusten ja bakteerien poistamiseksi vedestä, mutta sen käyttö vesihuoltolaitoksilla on erittäin harvinaista. Käyttöä rajoittavat kuitenkin korkeat käyttökustannukset johtuen kalvojen nopeasta tukkeutumisesta ja siten niiden puhdistus- ja vaihtotarpeesta. Talousveden käsittelyssä ultrasuodatus vaatii veden esikäsittelyn ennen suodatusprosessia. Ultrasuodatusta käytetään yleisesti muun muassa ruokateollisuuden eri prosesseissa ja paikka paikoin kaatopaikkojen suotovesien käsittelyssä. (Water and wastewater technologies Volume 2, 224–225; Membrane separation processes in environmental protection.)



Kuva 1 Kalvosuodatustekniikan suodatustehokkuuksia huokoskoon mukaan suurimmasta pienimpään, mikrosuodatus, ultrasuodatus, nanosuodatus ja käänteisosmoosi (Koch Membrane Systems)

## 2.5 Otsonointi

Otsoni ( $O_3$ ) on epästabili kolmesta happiatomista muodostuva kaasu, joka hajoaa nopeasti. Otsonoinnin teho perustuu sen hapettaviin ominaisuuksiin. Otsonia tuotetaan otsonisaattorin avulla aina paikan päällä sähköpurkauksen avulla joko ilmassa olevasta hapesta tai puhtaasta hapesta. Otsonaattorilla tuotetun otsonin pitoisuus on noin 1–3 % ja desinfioiduksi annokseksi riittää yleensä jo 0,5–0,9 mg/l. Se on tehokas virusten ja bakteerien tuhoaja sekä poistaa vedestä erittäin tehokkaasti haju- ja makuaineita sekä värejä. Prosessissa ei myöskään synny esimerkiksi kloorauksen yhteydessä mahdollisia haitallisia sivutuotteita ja kloorausta voidaan käyttää turvallisemmin toisena desinfiointikeinona, koska suurin osa orgaanisista yhdisteistä on jo poistettu vedestä. Otsonointia käytetään usein aktiivihillisuodatuksen parina varmistaen riittävä desinfiointituloksena. Otsonoinnin kanssa käytetään aina jotain pidempivaikutteista desinfiointimenetelmää verkostoveden säilyvyyden kannal-

ta, koska sen puoliintumisaika on nopea, noin 165 minuuttia. (Vesihuolto II: RIL 124-2 2004, 426–431.)

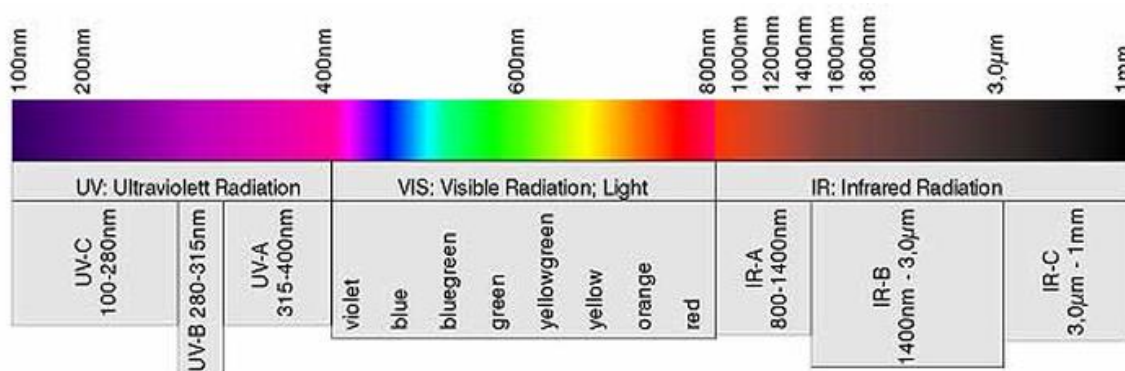
Otsoni on voimakas hapetin, eikä näin ollen sovi käytettäväksi monien instrumenttitekniikoiden kanssa kuten venttiilit, liittimet ja putket. Se hajottaa luonnonkumia ja myös prosessiin liittyvät sähkölaitteet tulisi olla koteloituja varmuuden vuoksi. Kertainvestointina otsonointilaitteiston hankinta on kallis ja sen käyttökustannukset ovat korkeat johtuen enimmäkseen suuresta sähkönkulutuksesta, joten siitä on tullut lähinnä suurten vedentuotantolaitosten desinfiointimenetelmä. Hyviksi puoliksi voidaan mainita, ettei käsiteltävän veden lämpötilalla tai pH:lla ole juuri vaikutusta otsonoinnin tehokkuuteen. (Vesihuolto II: RIL 124-2 2004, 426–431.)

## 2.6 UV-desinfiointi

Veden UV-desinfiointi perustuu ultraviolettisäteilyn aiheuttamiin muutoksiin solujen DNA-molekyyliketjuissa, jolloin ne eivät enää pääse lisääntymään. Se on tehokas keino tuhota veden sisältämiä bakteereja, viruksia ja alkueläimiä, mutta sen desinfiointivaikutus ei yllä verkostoon, joten sen lisäksi tarvitaan myös jokin jälkidesinfiointimenetelmä, joka Suomessa on usein klooriamiiniklooraus. UV-säteilytys ei kuitenkaan muodosta veteen terveydelle haitallisia sivutuotteita, kuten klooraus voi tehdä. UV-desinfiointissa on mahdollista käyttää matala- ja keskipainelamppuja, jotka eroavat toisistaan muun muassa toiminnaltaan ja rakenteeltaan. Desinfiointitehoon vaikuttavat muun muassa UV-annos, UV-transmittanssi eli läpäisevyys ja veden laatu. (Talousveden desinfiointi ultravioletivalolla 2014, 2–6.) UV-desinfiointista kerrotaan tarkemmin seuraavassa luvussa 3.

## 3 UV-DESINFIOINTI

Optinen säteily (kuva 2) on sähkömagneettisen säteilyn spektrin osa-alue, joka sisältää lueteltuna pienimmästä suurimpaan aallonpituuteen ultravioletti- eli UV-säteilyn, näkyvän valon ja infrapuna- eli IR-säteilyn. Kokonaisuudessaan ihmisen silmälle aistittavaa säteilyä sähkömagneettisessa spektrissä on vain näkyvän valon alue eli aallonpituudet 400nm–780nm. Näkyvää valoa pienempiä optisen säteilyn aallonpituuksia kutsutaan UV-säteilyksi, jotka jaotellaan vielä UVA-, UVB- ja UVC-säteilyihin. Näistä UVC-säteilyllä ja tarkemmin esitettynä aallonpituuksilla 260nm–265nm on tehokkain mikrobeja tuhoava vaikutus ja sitä käytetään yleisesti veden UV-desinfiointissa. (Ultravioletti- ja lasersäteily 2009, 12–14.)



Kuva 2 Optisen säteilyn spektri (Gigahertz-Optik)

Ultraviolettidesinfiointi on todettu sekä turvalliseksi että helpoksi veden laadun varmistamiskeinoksi. Sen käyttö talousveden laadun varmistamiseksi on lisääntynyt Suomessa ja maailmalla viimeisten kymmenien vuosien ajan, joskin sen desinfiointivaikutus on tiedetty jo yli sadan vuoden ajan. UV-säteilytyksellä vaikuttaa veden senhetkisiin bakteereihin, viruksiin, alkueläimiin sekä niiden kystiin, joskaan sillä ei ole vaikutusta verkostoveden laadun varmistamisessa. Tällöin tarvitaan myös jokin muu keino varmistamaan veden hygieeninen laatu verkostossa. UV-desinfiointi ei aiheuta muutoksia veden makuun ja hajuun eikä siinä synny haitallisia sivutuotteita. (Talousveden desinfiointi ultravioletilla 2014, 1–3.)

Veden laadulla on merkittävä vaikutus UV-desinfiointin toimivuuteen. UV-laitteiston tärkein mitoitustuseruste onkin veden UV-transmittanssi eli läpäisevyys, jonka arvoksi tarvitaan huonoin mahdollinen. Arvo mitataan laboratorio-olosuhteissa spektrofotometrin avulla. UV-läpäisevyyteen vaikuttavat pääasiassa veden orgaanisen aineen määrä sekä mangaani- ja rautapitoisuus ja veteen liuenneet kemikaalit. Vedessä olevat UV-valoa absorboivat yhdisteet sekä kiinteät hiukkaset heikentävät desinfiointitehoa. Muita desinfiointitehoa heikentäviä elementtejä voivat olla esimerkiksi lämpötila. Matala lämpötila voi laskea matalapainelampun tehoa, koska se vaikuttaa sen sisältämän elohopean höyrönpaineeseen ja näin ollen myös lampulla tuotettuun valotehoon. Käsiteltävän veden lämpötilalla ei ole käytännössä merkitystä keskipainelamppuja käyttäessä. (Talousveden desinfiointi ultravioletilla 2014, 9, 18.)

Mikrobien inaktivoitumiseen käytettävä suure on UV-annos [ $J/m^2$ ], joka määritellään UV-C – alueen valon intensiteetin  $E$  [ $W/m^2$ ] ja vaikutusajan  $t$  [s] tulona. Eri mikrobien tuhoamiseen tarvitaan erisuuruisia UV-annoksia, ja virukset tuhoutuvat tehokkaammin kuin alkueläimet. UV-annoksen voi ilmoittaa monella eri tavalla, mutta biosimetrisestä testistä on tullut monien mielestä ainoa puolueeton tutkimusmenetelmä. Biosimetrisen testi määritellään Vesitalouslehden 1/2003 artikkelissa Talousveden desinfiointi ultraviolettivalolla testiksi, jossa käytössä olevaan laitteeseen syötetään testimikrobeja ja tutkitaan, mikä osuus niistä selviää käsittelyssä. Käytetty virtaama ja vedenlaatu liittyvät aina koetuloksiin. Menetelmästä on julkaistu standardeja muun muassa Itävallassa, Saksassa ja Yhdysvalloissa. Monissa maissa biosimetrisen sertifikaatin saadakseen täytyy suorittaa säädösten ja standardien mukaiset testit. Yleisin biosimetrisesti mitattu UV-annossuositus on nykyään  $400 J/m^2$ . UV-desinfiointiteho puolestaan ilmoitetaan jäljelle jääneiden ja alkuperäisten mikrobien lukumäärän suhteena, joka ilmoitetaan 1log-vähennyksenä. UV-laitteen säteilykammion valon intensiteetti ei ole tasaista ja yksittäisten mikrobien kulkema reitti ja altistus aika voikin poiketa toisistaan virtausolosuhteiden vuoksi. Lähempänä lamppua kulkeva mikrobi saa suuremman säteilyannoksen kammion reunalla kulkeviin mikrobeihin nähden. (Talousveden desinfiointi ultraviolettivalolla 2014, 5–6, 15–17; Talousveden desinfiointi ultraviolettivalolla, Vesitalous 1/2003, 11.)

UV-valon on todettu aiheuttavan muutoksia solun proteiineissa ja molekyyliä haitaten mikrobin elintoimintoja, jonka jälkeen se ei enää kykene monistumaan tai lisääntymään ja näin ollen se katsotaan kuolleeksi ja ihmiselle vaarattomaksi. (VVY 2014, 3). Tehokkain UV-säteilyn mikrobeja tuhoava aallonpituusalue on 260 nm–265 nm, jolloin mikrobit absorboivat parhaiten UV-valoa. Useimmiten UV-desinfiointissa käytetään matalapaineisia UV-C-elohopealamppeja, joiden säteilyenergiasta yli 90 prosenttia emittoituu 254 nm aallonpituudelle. Toinen mahdollinen UV-desinfiointiin käytettävä lampputyyppi on keskipainelamppu, jonka säteily spektri jakautuu välille 185–600 nm, suurimman säteilypiikin osuessa aallonpituudelle 365 nm. (Ultravioletti- ja lasersäteily 2009, 233.)

Säteilyn tuotto UV-lampuissa perustuu lampun purkausputkessa tapahtuvaan kaasupurkaukseen, jossa lampun tulevan sähköenergian muunnetaan UV-säteilyksi sekä näkyväksi valoksi. Toisin sanoen sähkövirta ionisoi lampun elohopeahöyryn. Täytekaasuna lampuissa käytetään usein argonia tai muuta reagoimatonta kaasua, jonka sekaan on lisätty pisara elohopeaa tai elohopeaseosta. Lampussa synnytetään sähköpurkaus, jonka seurauksena elohopea höyrystyy ja alkaa lähettää suurienergistä UV-säteilyä. Ultraviolettilampuissa käytetään kallista kvartsilasia, koska se läpäisee säteilyä paremmin kuin tavallinen lasimateriaali. (Ultravioletti- ja lasersäteily 2009, 4, 8.)

### 3.1 UV-desinfiointilaitteisto

Talousveden desinfiointissa käytetään suljettua UV-laitteistoa ja jäteveden käsittelyssä yleensä avokanavaan sijoitettuja lamppukehikkoja. UV-lamput sijaitsevat ruostumattomasta teräksestä valmistetussa reaktorissa kvartsilasisten suojaputkien sisällä. Lamput ovat reaktorissa joko suoraan virtauksen mukaisesti tai kohtisuoraan sitä vastaan ja joissain tilanteissa 45 asteen kulmassa virtaukseen nähden. Käsiteltävä vesi johdetaan reaktoriin ja ulos reaktorista laippojen kautta. Yleisesti on käytössä U-mallisia, L-mallisia ja Z-mallisia reaktoreita riippuen siitä, miltä puolelta reaktoria käsiteltävä

vesi halutaan johtaa reaktorista sisään ja ulos. Reaktoriin liittyy myös erillinen ohjausyksikkö, jossa on laitteen sähköistys sekä ohjaus- ja mittalaitteet ovat. Reaktorissa voi olla myös UV-valon intensiteettiä mittaava UV-anturi, virtaamamittari, näytteenottohanat sekä suojaputkien pyyhintälaitteisto joko manuaali- tai automaattitoimisena. Lamppujen lukumäärään vaikuttavat lampputyypin, veden määrä ja laatu sekä käyttökohde. (Talousveden desinfiointi ultraviolettivalolla 2014, 7.) Useiden eri maiden standardien mukainen biososimetrinen annos  $400 \text{ J/m}^2$  ( $40 \text{ mJ/cm}^2$ ) maksimivirtaamalle on saavutettava myös lamppujen käyttöiän lähestyessä loppuaan ja säteilytehon heikentyessä.



Kuva 3 U-mallinen UV-reaktori neljällä matalapainelampulla (Wedeco)

### 3.2 UV-lamput ja niiden suojaputket

UV-lamput jaetaan kaasupurkauksiensa mukaisesti matalapurkaus- eli matalapainelamppuihin ja korkeapurkaus- eli keskipainelamppuihin. Korkeapurkauslamput tuottavat tehokkaampaa säteilyä, mutta vaativat myös samalla korkeamman kaasunpaineen ja enemmän energiaa toimiakseen. Ne myös lähettävät paljon laajempaa aallonpituutta ja desinfiointiin sopivaa säteilyä on vain noin 40–50 %, jolloin suurin osa säteilystä menee hukkaan. Keskipainelamppujen suojaputket käsitellään ja pinnoitetaan joskus siten, etteivät ne läpäise lyhyitä aallonpituuksia (alle 240 nm), jotka muuten saattaisivat aiheuttaa haitallisia sivutuotteita veteen. Suojaputkien käsittelyn vaikutuksesta ei kuitenkaan ole olemassa puolueetonta tietoa ja käsittely heikentää UV-läpäisykykyä. Klooraus jälkikäsitteilynä eliminoi mahdolliset jäljelle jääneet patogeenit, joita UV-desinfiointi ei kykene eliminoimaan.

UV-desinfiointinissa käytetään kahta erilaista lampputyypin, jotka vaikuttavat koko laitteistoon. Matalapainelamput ja keskipainelamput eroavat muun muassa elohopean kaasunpaineeltaan ja säteilyn aallonpituuksiltaan. Lamppujen käyttöikä vaihtelee vajaasta vuodesta reiluun vuoteen, keskipaine-

lamppujen ollessa hieman lyhytikäisempiä. Keskipainelamppujen käyttöikä voidaan nostaa lisäämällä niiden sähkötehoa pykälittäin muutaman kerran sen elinkaaren aikana. Matala- ja keskipainelampuilla on eroja esimerkiksi niiden energiankulutuksen ja lampun käyttölämpötilan osalta, kuten taulukosta 1 voidaan todeta. Keskipainelampuilla toimiva UV-desinfiointilaitteisto voidaan asentaa huomattavasti pienempään tilaan verrattuna matalapainelamppuihin, jotka usein tarvitsevat suuren tilan lamppujen vaihtoa varten. (Talousveden desinfiointi ultraviolettilalla 2014, 9–12.)

Taulukko 1 Matala- ja keskipainelamppujen ominaisuuksia (Talousveden desinfiointi ultraviolettilalla 2014, 12 Taulukko 2)

	Matalapainelamppu	Keskipainelamppu
Säteilyspektri	254 nm	185 – 600 nm
Energiankulutus	20 – 300 W/lamppu	60 – 7500 W/lamppu
UV-C – valoteho	5 – 95 W/lamppu	9 – 1500 W/lamppu
Hyötysuhde	~ 30 – 40 %	~ 10 – 15 %
Käyttölämpötila	0 – 60 °C	ei rajoitusta
Lampun lämpötila	~ 40 °C, joskus jopa 100 °C	400 – 900 °C
Käyttöikä	10 000 – 14 000 h	6000 – 10 000 h
Pyyhkijöiden tarve	Ei, jos vedenlaatu ei vaadi	Kyllä

## 4 ITKONNIEMEN VEDENTUOTANTOLAITOS

Kuopion Veden vedenkäsittelylaitos toimii Kuopion Itkonniemellä, jonne tekopohjavettä johdetaan putkia pitkin sekä Hietasalosta että Jänneniemeltä. Kuopion Vesi käytti suoraan Kallaveden vettä kaupungin käyttövedeksi vuoteen 1988 saakka, jonka jälkeen käyttöön otettiin Hietasalon tekopohjavesi. Vesi on edelleen Kallaveden vettä, mutta se suotautuu Hietasalon harjun läpi ottokaivoihin muodostaen tekopohjavettä. Nykyisin tuotetusta vedestä noin 2/3 tulee Jänneniemestä ja 1/3 Hietasalosta, jotka sekoitetaan keskenään käsittelyjen jälkeen. Verkostoon pumpatun veden laatu tiedot näkyvät taulukossa 2. Jänneniemen tekopohjavesilaitos on otettu käyttöön vuonna 2008. Itkonniemen vedenkäsittelylaitoksella on myös edelleen mahdollisuus käyttää Kallaveden vettä suoraan, jolloin kuitenkin kemikaalien syötöt joudutaan säätämään uudelleen käsiteltävän veden ominaisuuksien muuttuessa. Kaaviokuva Jänneniemen ja Hietasalon vesien käsittelyprosesseista löytyy liitteestä 2.

Taulukko 2 Esimerkki verkostoon pumpatun veden laatu tiedoista 02/2016 (Kuopion Vesi)

Ominaisuus, yksikkö	Arvo
Sameus, NTU	0,10
Väri, mg Pt/l	<5
Sähkönjohtavuus $\mu\text{S}/\text{cm}$	265
Kokonaishiili TOC, mg/l	2,1
Alumiini $\mu\text{g}/\text{l}$	35
Mangaani $\mu\text{g}/\text{l}$	22
Rauta $\mu\text{g}/\text{l}$	12
Nitraatti mg/l	0,14
Kok. kloori mg $\text{Cl}_2/\text{l}$	0,40
Kovuus, $^{\circ}\text{dH}$	6,0
Kovuusluokka	Keskikova

## 4.1 Hietasalon tekopohjavesi

Hietasalossa on kahdeksan siiviläputkikaivoa, joiden tuottama vesi johdetaan Itkonniemelle käsitte-lyyn putkea pitkin. Kaivojen antoisuus on mitoitettu jopa 20 000  $\text{m}^3/\text{d}$ , joskin niistä otetaan vain noin 6 000  $\text{m}^3/\text{d}$ . Suotautumisprosessin aikana happi kuluu maaperässä lähes loppuun, jonka seuraukse- na rauta ja mangaani pääsevät liukenemaan veteen. Vesi on myös vielä melko pehmeää ja sisältää jonkin verran orgaanista ainetta. Hietasalon vesi käsitellään laitoksella pintavedenkäsittelyprosessia mukaillen. Hietasalosta otetun veden ensimmäinen käsittelyvaihe on hapetus ilmastustornissa, joka on raudan- ja mangaanin poiston edellytys prosessissa. Ilmastuksen yhteydessä veteen lisätään kalkkia veden pH:n nostamiseksi ja hiilidioksidia bikarbonaattikovuuden nostamiseksi. Hapetuksen jälkeen veteen lisätään alumiinisulfaattia saostuskemikaaliksi ja lisätään polymeerivetenä järvivettä Kallavedestä 10–15 % käsiteltävän veden kokonaisvirtaamasta saostumisen parantamiseksi.



Alkukemikaloinnin jälkeen vesi johdetaan hämmennys-selkeytysyksiköihin, joita on laitoksella kaksi erillistä osastoa. Osaston 1 ollessa käytössä Jännenimen ja Hietasalon käsitellyt vedet yhdistetään vasta lähellä puhdasvesiallasta, kun taas puolestaan osaston 2 ollessa käytössä vedet yhdistetään jo aikaisemmin ja johdetaan samaa putkea pitkin jatkokäsittelyyn. Osastoja vaihdellaan määrätäylin väliajoin huoltotoimenpiteitä varten tai vian ilmetessä käytössä olevassa osastossa. Selkeytyksen jälkeen vesi johdetaan vielä hiekkasuodatukseen. Edellä mainittujen prosessien tavoitteina on poistaa vedestä saostunut rauta, flokkaukseen käytetty alumiini sekä jäljellä oleva orgaaninen aines. Hietasalun ja Jänneniemen vesien yhdistämisen jälkeen suoritetaan vielä jälkialkalointi kalkkivedellä ja desinfiointi natriumhypokloriitin avulla. (Kuopion Kaupunki.)

#### 4.2 Jänneniemen tekopohjavesi

Jänneniemessä raakavesi pumpataan viidestä suuresta siiviläputkikaivosta pumppujen avulla ja vettä tuotetaan noin 12 000 m<sup>3</sup>/d. Siiviläputkikaivojen pumput on varustettu taajuusmuuttajilla, jolloin niiden tehoa on helppo säätää. Jänneniemen tekopohjavesi suotautuu Jännevedestä ja Juurusvedestä siiviläputkikaivoille. Vesi on aluksi lähes hapetonta ja sisältää rautaa sekä mangaania ja ensimmäinen prosessivaihe on esi-ilmastus, jossa luodaan edellytykset rautabakteeritoiminnalle ja sen myötä raudan poistolle ensimmäisessä biologisessa pikahiekkasuodatuksessa. Raudanpoistosuodatuksen jälkeen vesi ohjataan kahteen pohjailmastusaltaaseen, jossa happipitoisuus nostetaan riittävän korkeaksi (7 mg/l) mangaanibakteeritoiminnalle toista biologista pikahiekkasuodatusta varten. (Kuopion Vesi.)

Vedenkäsittelyprosessien jälkeen suurin osa Jänneniemen vedestä johdetaan Itkonniemelle putkea pitkin ja pieni osa vedestä erillisen UV-desinfiointilaitteiston kautta Jänneniemeä ympäröivälle haja-asutusalueelle. Hietasalun ja Jänneniemen lähes verkostovalmiit vedet yhdistetään, jonka jälkeen niille suoritetaan vielä alkalointi kalkilla pH:n säätämiseksi sekä desinfiointi natriumhypokloriitilla veden hygieenisen laadun takaamiseksi. (Kuopion Vesi.)

## 5 UV-DESINFIOINTI ITKONNIEMEN VEDENTUOTANTOLAITOKSELLE

Tässä luvussa selvitetään UV-desinfiointilaitteistoon (myöhemmin laitteisto) liittyviä asioita Itkonniemen vedentuotantolaitosta (myöhemmin laitos) koskien. Lähtökohtaisesti laitteisto suunnitellaan ainoastaan laitoksen normaalitoimintaa ajatellen, eikä näin ollen oteta huomioon mahdollisia poikkeustilanteita. Poikkeustilanteisiin voidaan perehtyä mahdollisissa esiselvityksen jälkeisissä mahdollisissa suunnitelmissa, jolloin myös suunnitteluastetta korotetaan. Tämän esiselvityksen tarkoituksena onkin lähinnä selvittää UV-laitteiston mitoitusta määrittävät tekijät, kartoittaa mahdollisia UV-laitteistokokoonpanoja sekä laitteistotoimittajia ja tehdä vähintään suuntaa antava kustannusarvio investointikustannuksista. Luvussa 5.4. selvitetään klooriamiinin käyttöön liittyviä tekijöitä sekä siihen kuuluvia prosessilaitteita. Tässä työssä selvitetään myös laitteiston toimivuuden kannalta tehtävät muutostoimenpiteet laitoksen prosesseissa ja prosessilaitteistoissa.

### 5.1 UV-desinfiointilaitteistolla saavutettavat hyödyt

UV-desinfiointilaitteistoa voisi kutsua hajuttomaksi ja mauttomaksi, mutta positiivisessa mielessä. Se ei aiheuta käsiteltävään veteen minkäänlaisia maku- tai hajuhaittoja, koska prosessissa ei käytetä, eikä tarvita minkäänlaisia kemikaaleja, vaan luonnollista ultraviolettivaloa. Se on myös erittäin tehokas bakteerien, virusten sekä hiivojen tappaja ja se hoitaa desinfioinnin muutamissa sekunneissa. Se myös tehoaa kloorille vastustuskykyisiin giardia loiseläimeen ja cryptosporidium alkueläimeen. Ultraviolettidesinfioinnin aiheuttama hiilijalanjälki on myös huomattavasti pienempi verrattuna klooridesinfiointiin eikä sen käyttö aiheuta ihmisille haitallisia sivutuotteita. Laitteen käyttö sekä huolto ovat yksinkertaisia, eikä huoltotoimenpiteitä yleensä juurikaan tarvita. Laitteiston käyttökulut ovat matalat ja laitteet ovat yleisesti ottaen erittäin luotettavia ja kestäviä. Itkonniemen laitokselle asennettaessa UV-desinfiointilaitteisto korvasi natriumhypokloriitin primäärisenä desinfiointimenetelmänä ja vähentäisi vapaan kloorin määrää verkostossa sen korvautuessa klooriamiinilla eli sidotulla kloorilla.

### 5.2 Tärkeimmät suunnittelua määrittävät tekijät

UV-desinfiointilaitteiston suunnittelussa tärkeimmät mitoituserusteet ovat

- UV-läpäisevyys (%) huonoimmillaan
- desinfioitavan veden maksimivirtaus ( $\text{m}^3/\text{h}$ )
- tavoiteltu UV-annos ( $\text{J}/\text{m}^2$ ) (Ehrhard 2006, 11–14).

Käsiteltävän veden UV-läpäisevyys kerrotaan useimmiten prosentteina ja siihen tarvitaan pienin läpäisevyyden arvo. Veden UVT 254 eli UV-läpäisevyys voidaan laskea absorbanssin avulla. Laskenta voidaan suorittaa muokkaamalla Beerin lakia muotoon:  $10^{(2-\text{absorbanssi})} = T \%$ , jolloin saadaan  $10^{(2-0,04445)} = \text{UVT } 90,27 \%$ . Absorbanssi on laskettu Jänneiemmen ja Hietasalon sekoittuneista vesistä Itkonniemen vedentuotantolaitoksen laboratorioissa 8.4.2016 ja 11.4.2016 suoritettujen mittaus-ten keskiarvona. Käsiteltävän veden UV-läpäisevyyden voidaankin sanoa olevan 90 %, joka vaikuttaa merkittävästi UV-laitteen mitoitukseen ja laitteiston kykyyn tuhota patogeenejä vedestä. Laite

mitoitetaan niin, että riittävä desinfiointiteho saavutetaan, vaikka UV-läpäisevyys laskisikin hieman alle 90 %. Esimerkiksi keväisin sulamisvesien aikaan vesi saattaa sisältää normaalia enemmän huumusta ja kiintoainetta. Pelkän Jänneniemien veden UV-läpäisevyys on hieman yli 91 % ja Hietasalon veden alle 90 %. (Ehrhard 2006, 14–17.)

Mitoitusperusteet määrittävät suunnittelun suuntaviivat ja antavat lähtökohdat laitteiston fyysiselle koolle ja teknisten dimensioiden määrittelemiselle. UV-desinfiointilaitteiston koko mitoitetaan sen läpi kulkevan suurimman virtaaman mukaan. Virtaama ei ole jatkuvasti sama johtuen olosuhtemuutoksista ja veden käytöstä. Itkonniemen käyttöpäivystäjien (2016-04-04) mukaan normaalitilanteessa talousvettä tuotetaan laitoksella noin 750 m<sup>3</sup>/h. Heidän mukaansa virtausmäärät ovat välillä 600 m<sup>3</sup>/h –900 m<sup>3</sup>/h, joskin 900 m<sup>3</sup>/h virtaama on harvinainen laitoksella. Ottaen huomioon varmuuskerroimen ja hitaasti lisääntyvän vedentarpeen kaupungin kasvaessa, voidaan mitoitusvirtaamaksi asettaa 1 000 m<sup>3</sup>/h. Kuopion ympärillä olevia pieniä kyliä saatetaan liittää keskitettyyn vesijohtoverkoston, jolloin veden tarve kasvaa. Mitoitusvirtaama rajaa laitteistotoimittajien määrää huomattavasti. Laitteistoa ei pidä myöskään ylimitoittaa, jolloin sen käyttöprosentti jäisi alhaiseksi, eikä se välttämättä toimisi parhaalla mahdollisella tavalla. Myös investointikustannukset nousisivat huomattavasti. Nykyaikaisissa malleissa on kuitenkin jo usein tehonsäätömahdollisuus, jolloin lamppujen tehoa voidaan säätää virtaaman ja intensiteetin mukaan, kuitenkin UV-annoksen pysyen vakiona, jolloin saadaan kasvatettua energiatehokkuutta sekä lamppujen käyttöikä. Tavoiteltu UV-annos on nykyään vakiintunut 400 J/m<sup>2</sup>, jolloin prosessin desinfiointiteho on riittävä patogeenien inaktivoimiseksi.

Tavoiteltu desinfiointitehokkuus määrittää UV-desinfiointilaitteiston vähimmäistehokkuuden. Sosiaali- ja terveysministeriö on antanut talousvedelle laatuvaatimukset sekä suositukset, jotka molemmat Kuopion Veden Itkonniemen vedentuotantolaitos jo nykyiselläänkin täyttää. UV-desinfiointin tarkoitus olisikin parantaa veden laatua entisestään ja turvata sen hygieeninen laatu turvallisin ja nykyisin menetelmin. Vuosien saatossa laitokselle on tullut paljon yhteydenottoja asiakkailta veden laatuun liittyen, jotka koskevat lähinnä vedessä ilmenneitä makuhaittoja. Klooriamiinin on tutkitusti todistettu aiheuttavan vähemmän mahdollisia maku- sekä hajuhaittoja verrattuna muihin kloorausmenetelmiin. Makuero perustuu vapaan- ja sidotun kloorin eroihin. Veden makua ei voi mitata tieteellisin menetelmin, vaan se perustuu aina yksilön omiin havaintoihin hyödyntäen maku- sekä hajuaistiaan. UV-desinfiointilaitteiston yhteydessä tehtävän klooriamiinin syötön toivotaankin aiheuttavan vähemmän yhteydenottoja laitokselle veden laatuun liittyen verrattuna nykytilanteeseen.

### 5.3 Suunnittelu

UV-desinfiointin suunnittelu laitokselle alkaa määrittelemällä desinfiointin tavoitteet laitteiston ja tuhattavien mikro-organismien osalta suunnitteluperusteet huomioon ottaen. Ensimmäinen vaihe suunnittelussa on laitteiston integroimisen hahmottaminen olemassa olevaan prosessiin sekä tarvittavien muutostoimenpiteiden selvittäminen. Näihin liittyy potentiaalisten sijoituspaikkojen valinta ottaen huomioon prosessiteknisesti parhaan paikan, veden laadun, veden määrän sekä laitteiston laitteiston tarvitseman tilan tarpeen. Laitteiston sijoituspaikan valinnan jälkeen alkaa laitteistokokoon-

panojen kartoittaminen ja niistä sopivimman valitseminen. Laitteiston teknisten tietojen selvittämisen jälkeen voidaan laskea itse tai pyytää laitteen toimittajaa selvittämään laitteen ja siihen liittyvän putkiston aiheuttama painehäviö teknisten tietojen avulla sekä selvittämään tarvittava virran määrä katkeamattoman toiminnan kannalta, jonka jälkeen tehdään tarkat tekniset suunnitelmat ja laskennat. Projektin kustannukset lasketaan alusta alkaen yksityiskohtaisesti eritellen sen jokainen vaihe. (Ehrhard 2006, 2–3.)

Suunnitteluun liittyviä tekijöitä ovat

- vedenlaatu
- putkiliitännät, putkikoot, putkilinjaus ja venttiilit
- näytteenottohanat reaktorin molempiin päihin
- laitteiston valmistaja ja toimittaja
- valinta matala- ja keskipainelamppujen välillä
- lamppujen suojaputkien ja reaktorin puhdistustekniikat
- kytkentä laitoksen automaatioon ja kaukovalvontajärjestelmään
- tarvittava virran määrä laitteiston yhtämittaiseen toimintaan
- varautuminen virransaannin katkeamiseen liittämällä laitteisto varavoimajärjestelmän piiriin ja mahdollisti UPS-laitteeseen
- mahdollinen varadesinfiointijärjestelmä ongelmatilanteen sattuessa sekä siihen liittyvät komponentit (Design of UV disinfection systems for drinking water, 1–2).

Suunnittelukohteessa matalapainelaitteeseen päädyttäessä olisi järkevintä valita standardi U-mallinen reaktori (kuva 3), joka kävisi putkilinjauksen kanssa parhaiten yhteen. Reaktori tulisi asentaa vaakatasoon, jolloin käsiteltävä vesi tulisi ylhäältä päin reaktoriin ja desinfioitu vesi nousisi ylöspäin reaktorin toisesta päästä. Suunnittelutilan rajoitteiden mukaan laite asennettaisiin pitkittäin pisimmän sivun suuntaisesti lähelle ensimmäistä puhdasvesiallasta, kuitenkin jättäen riittävä suuri tila laitteiston huoltoon sekä lamppujen vaihtoon. Keskipainelaitteeseen päädyttäessä putkilinjauksen vaihtoehtoja olisi useampia useiden reaktorimallien myötä. UV-annokseksi valitaan  $400 \text{ J/m}^2$ , jolloin saavutetaan todistetusti riittävä desinfiointiteho. Jotkin vedentuotantolaitokset käyttävät Suomessa  $250 \text{ J/m}^2$  ja jotkin jopa  $500 \text{ J/m}^2$ .

Laitteiston sijoittaminen laitokselle

UV-desinfioinnille järkevin sijoituspaikka on prosessiteknisesti hiekkasuodatuksen jälkeen ennen alkaloitua, jolloin vedestä on jo poistettu liiallinen sameus, rauta- ja mangaani sekä muut desinfiointitulosta heikentävät tekijät. Hietasalon ja Jänneniemien käsitellyt veden yhdistyvät hiekkasuodatusten jälkeen erittäin lyhyelle suoralle putkelle, jonka jälkeen putki johtaa ensimmäiseen puhdasvesialtaaseen, jonka alkupäähän myös jälkikalkki sekä natriumhypokloriitti syötetään nykyiselläänkin. UV-laitteen myötä natriumhypokloriitti sidotaan kloramiiniksi ammoniumkloridin avulla syöttäen ammoniumkloridia ensimmäisen ja toisen puhdasvesialtaan väliseen putkeen. Vesien sekoittumissuhdetta liitospisteessä on hankala arvioida sekoittuneiden vesien putkessa puhdistusosaston 1 ollessa käy-

tössä, jonka vuoksi UV-läpäisevyysmittauksen luotettavuuskin on tällöin kyseenalainen. Puolestaan puhdistusosaston 2 ollessa käytössä, vesien sekoittuminen on huomattavasti selkeämpää. Tätä työtä varten mitatut UV-absorbanssit on mitattu Jänneniemen ja puhdistusosaston 2 sekoitetusta vedestä. Jänneniemen ja Hietasalon vesien määrän suhde vaihtelee jaksoittain, jonka vuoksi UV-läpäisevyyden mittauksia tarvittaisiin jokaisesta sekoitussuhteesta, jotta pienimmän UV-läpäisevyyden arvo saataisiin selville.

Hallintapaneeli sekä ohjainlaitteet voidaan sijoittaa puhdasvesipumppusaliiin, joka sijaitsee aivan suunnittelutilan vieressä. Kaapeleiden pituudeksi voidaan valita jopa 25 m, joiden pituus riittää yhdistämään laitteiston sekä hallintapaneelin niiden valittujen sijoituspaikkojen välillä. Puhdasvesipumppusalissa on riittävästi tilaa sähköteknisille laitteille, tila on kuiva ja hyvin valaistu sekä ilmastoitu. Lämpötila pysyy salissa tasaisena vuoden ympäri.

Ilman muutoksia olemassa olevalle putkistolle UV-laitteen sijoitukselle jää vain lyhyt pätkä DN 600 putkea, johon laitteisto voitaisiin liittää nykyisen putkiston jäädessä ennalleen. Putken alapuolella on 2 980 mm × 4 290 mm × 3 600 mm (L × S × K) tyhjä tila, jonne laitteisto voidaan sijoittaa. Kuva UV-desinfiointilaitteiston suunnitellusta tilasta esitetään kuvassa 4 ja tila jatkuu pituussuunnassa portaiden vieressä noin kaksi metriä mahdollistaen mahdollisten matalapainelamppujen vaihtotyöt. Suunnittelutilaan vie portaat putkien yläpuolella sijaitsevalta kävelytasolta ja UV-laitteiston myötä onkin portaiden paikka mahdollisesti mietittävä uudelleen, jolloin mahdollistettaisiin suurempi liikumisvara suunnittelussa. Sijoitettaessa laitteisto tähän tilaan laitteisto ja siihen tulevat ja lähtevät putket täytyisi mitoittaa tarkoin ottaen huomioon tilan reunoilla sijaitsevat putkistot sekä laitteistot ja niiden viemä osuus tilasta. Keskipainejärjestelmä vie yleensä pienemmän tilan verrattuna matalapainejärjestelmään, mutta myös niitä on mahdollisuus asentaa kyseiseen tilaan. Tilaan olisi myös mahdollista asentaa kaksi pienempää matalapainereaktoria, joilla pystyttäisiin desinfiomaan tarvittava vesimäärä. Laitteistoa tulisi pystyä ajamaan portaattomalla teholla erilaisille virtausmäärille kuitenkin saavuttaen riittävä desinfiointiteho.

PI-kaavio UV-desinfiointin osalta löytyy liitteestä 4. UV-laitteiston putkisto täytyy sovittaa olemassa olevaan putkeen DN 600. UV-putkiston lähtö on mahdollista liittää Jänneniemen ja Hietasalon vesien risteyskohdassa sijaitsevaan käyttämättömään laippaan, josta uusi putki viedään alemmas suunnittelutilaan ja edelleen UV-reaktoriin. Putkisuunnittelu ja tilantarve määrittävät reaktorin virtausmallin, mutta toisaalta reaktorin dimensiot ja virtausmalli määrittävät putkilinjausta riippuen suunnittelun määrittävästä perusteesta. Tässä tapauksessa suunnittelutilan ahtauden vuoksi täytyy lähteä liikkeelle laitteiston valinnasta, joka puolestaan määrittelee tulevat toimenpiteet. Reaktorin molemmissa päissä tulee olla sulkuventtiilit, jotka sisältyvät yleensä itse laitteeseen. Myös ilmanpoistoveniilit olisi hyvä sisällyttää laitteistoon jo alkuvaiheessa, jolloin ne on helpompi rakentaa laitteistoon. UV-putkikierron väliin valmiiseen olevaan putkeen tulee asentaa myös sulkuventtiili, jolloin UV-laite voidaan ohittaa tilanteen niin vaatiessa. Uuden sulkuventtiilin rakentaminen voidaan jättää pois, jos UV:n jälkeinen putki liitetään olemassa olevan venttiilin jälkeiseen putkeen lähelle ensimmäistä puhdasvesiallasta. Toisaalta liitoksen rakentamisen edellä mainittuun kohtaan tekee vaikeaksi venttiilin ja seinän välinen lyhyt etäisyys ja tekee koko vaihtoehdon mahdottomaksi toteuttaa ilman putkiston

muutostöitä. Vanhan venttiilin kunto ja mahdolliset kunnostustoimenpiteet täytyy arvioida ennen päätöksiä. Toisessa linjausvaihtoehdossa putkelle voidaan tehdä oma uusi sisääntulo puhdasvesialtaalle, joka vaatii uuden reiän tekemistä altaaseen, mutta toisaalta helpottaa putkilinjauksen suunnittelua tilan osalta. Mittausten ja pohdinnan seurauksena päädyttiin siihen, että veden sisääntulo-putki UV-laitteelle olisi parasta liittää kuvassa 4 näkyvän putken sekä tulevan veden liitospaikkaan ja viedä putki siitä suoraan alaspäin UV-laitteelle, jonka jälkeen puhdistettu vesi ohjattaisiin ensimmäiseen puhdasvesialtaaseen uuden sisääntulon kautta.



Kuva 4 UV-desinfiointilaitteiston suunniteltu sijoituspaikka laitoksella (Olli Tikkanen)

#### Valittujen UV-desinfiointilaitteistojen vertailu

Talousveden katkeamaton toimittaminen kuluttajille on vedentuotantolaitosten tärkein tehtävä, johon liittyy myös veden desinfioinnin jatkuva sekä katkeamaton toiminta. Edellä mainitut seikat huomioon ottaen olisi laitteiston varaosien saatavuus oltava nopeaa ja myös ammattitaitoa vaativien huoltotoimenpiteiden suorittajien tulisi löytyä nopeasti. Suomessa on tarjolla vain muutamia laitteita muutamalta eri laitetoimittajalta tarvittavalle virtaamalle, joilta löytyy myös myynti, suunnittelu ja huoltopalvelut Suomesta. Liitteestä 4 esitetään UV-desinfiointilaitteekyselyn tulokset, joista selviää muun muassa Wedecon matalapainejärjestelmien olevan käytetyimpiä kyselyn laitoksilla. Kyselyn vastausprosentti oli 57. Pyyhkijöiden toimivuudesta sekä tarpeellisuudesta oltiin kyselyn mukaan montaa mieltä, joskin kaikilla kyselyn laitoksilla veden UV-läpäisevyys oli vähintään 96 %, joka on selvästi parempi Itkonniemen laitoksen 90 % verrattuna. Lika tarttuu herkemmin kiinni lampun suo-  
japutkeen UV-läpäisevyyden ollessa suhteellisen alhainen, jolloin pyyhkijöiden tarve korostuu.

Suomessa käytössä olevista suuren mittaluokan UV-desinfiointilaitteistoista valtaosa toimii matalapainelampuilla. Matalapainelamppujärjestelmä on usein keskipainelamppujärjestelmää varmatoimisempi, hyötysuhteeltaan korkeampi, investointi- ja käyttökuluiltaan pienempi sekä lamppujen eliniältään korkeampi. Matalapainejärjestelmän hankintahinta jää yleensä noin puoleen keskipainejärjestelmään verrattuna ja tehonkulutus on niissä huomattavasti pienempi. Keskipainejärjestelmän eduksi voidaan laskea sen pieni tilan tarve ja desinfiointitehokkuus laitteen pieneen fyysiseen kokoon nähden. Keskipainejärjestelmää voisikin luonnehtia ahtaiden tilojen järjestelmäksi, joka asennetaan ai-noastaan tiloihin, joihin ei saada mahdutettua matalapainejärjestelmää. Niitä on asennettu paljon esimerkiksi laivojen vedenpuhdistusjärjestelmiin tilan ahtauden vuoksi.

Tämän esiselvityksen potentiaalisiksi UV-desinfiointilaitteistoiksi on valittu neljä erilaista UV-desinfiointilaitteistoa, jotka ovat matalapainelaitteistot Wedeco BX 1800 ja Trojan UV Swift SC D30 sekä keskipainelaitteistot Wedeco Quadron 1200 ja Trojan UV Swift 4L24 ja. UV-desinfiointilaitteistolle suunnitellun tilan pienuuden vuoksi keskipainelamppujärjestelmä on helpommin suunniteltavissa ja asennettavissa tilaan pienen fyysisen kokonsa vuoksi. Vertailun matalapainelamppujärjestelmät mahtuvat kuitenkin myös suunniteltavaan tilaan mittausten perusteella sopivin tilajärjestelyin. Lamppuille täytyy kuitenkin jättää vähintään valmistajan ohjeistama mitta vapaata tilaa lamppujen vaihtoa varten, joka tarkoittaa laitteesta riippuen noin reaktorin pituuden verran tilaa. Matalapainelamput ja niiden reaktorit ovat keskimäärin huomattavasti pidempiä keskipainelamppuihin verrattuna. Matalapainejärjestelmistä UV Swift SC D30:n desinfiointiteho ei kuitenkaan riittäisi mitatulle veden UV-läpäisevyydelle, jolloin niitä jouduttaisiin asentamaan kaksi kappaletta rinnakkain, mikä nostaisi kokonaislamppumäärän 60:een. Kahden laitteen asentaminen nostaisi suunnitelu-, investointi-, käyttö- sekä huoltokuluja. Tällöin jouduttaisiin myös rakentamaan kaksi erillistä putkistoa UV-laitteille ja esimerkiksi myös ohjauskaappeja täytyisi olla kaksi.

Kaikkien valittujen laitteistojen biosimetrisesti mitattu UV-annos on vähintään 400 J/m<sup>2</sup>. Ikääntyneiden lamppujen osalta laite laskee tarvittavan UV-annoksen lisäämällä aloitusarvoon likaantumiskertoimen sekä ikääntymiskertoimen, jotka se analysoi automaattisesti. Lamppujen suoja-putkien puhdistusmenetelmäksi voidaan valita joko automaattinen tai manuaalinen järjestelmä, joista automaattiset pyyhkijät vähentävät selkeästi henkilötyön tarvetta. Vertailun keskipainejärjestelmissä lamput ovat poikittain virtaukseen nähden ja matalapainejärjestelmissä pitkittäin virtaukseen nähden, jolloin lamppujen vaihtotyön tarvitsema tila määrittelee putkilinjauksen ja laitteiden asennuspaikan sekä -suunnan. Laitteiston tehonkulutus riippuu senhetkisestä virtaamasta ja määrätystä UV-annoksesta, joiden mukaan tehoa voidaan säätää useissa mailleissa jopa 30 % ja 100 % välillä. Tehonkulutuksessa on kuitenkin suuria eroja keski- ja matalapainejärjestelmien välillä. Vertailun laitevalmistajat ilmoittavat keskipainejärjestelmiensä tehonkulutukseksi noin 25 kW ja matalapainejärjestelmien vastaavaksi kulutukseksi noin 7 kW. Ultraviolettilamppuja on vertailun molemmissa keskipainejärjestelmissä 4 kappaletta, Wedeco BX1800 järjestelmässä 18 kappaletta ja Trojan UV Swift SC D30 järjestelmässä 30 kappaletta. Valmistajien ilmoittama lamppujen takuukäyttöikä vaihtelee keskipainelamppujen 8 000 tunnista matalapainelamppujen 14 000 tuntiin, mutta lamput kestävät paljon pidempään, jos tehoa säädetään virtaaman mukaisesti, eikä niiden tarvitse toimia täydellä teholl-

la. Matalapainelamppujen keskihinnat liikkuvat 200–500 eurossa ja keskipainelamppujen hinnat noin 1000 eurossa, joiden avulla voidaan laskea lamppujen vaihtohinnat vuodessa. Taulukon 3 lamppujen hinnat ovat suuntaa antavia. Taulukosta 4 voidaan todeta keskipainelaitteiden kuluttavan sähköä täydellä teholla 20 000 euron edestä, kun taas matalapainelaitteet kuluttavat sähköä vain noin 1/4 keskipainelaitteistoon verrattuna. Lamput voivat kestää takuuta pitempään, mutta vaihtohinnat on laskettu takuuajan mukaan, jonka puitteissa myyjä korvaa rikkoutuneen lampun veloituksetta. Vertailun UV-desinfiointilaitteistojen tekniset tiedot esitetään kokonaisuudessaan liitteessä 1.

Taulukko 3 Vertailulaitteiden UV-lamppujen hinnat

	Wedeco BX 1800	Wedeco Quadron 1200	Trojan UV Swift 4L24	Trojan UV Swift SC D30 *(2 kpl)
Lampun takuukäyttöikä	14 000	8 000	9 000	12 000
Lamppujen lkm	18	4	4	60
Lampun hinta (€) ~	500	1 000	800	250
Lamppujen vaihtohinta (€/a)	5 600	4 400	3 100	11 000
Lamppujen vaihtohinta (€/10a)	56 000	44 000	31 000	110 000

#### Laitteiston huoltotoimenpiteet ja mahdolliset lisävarusteet

UV-desinfiointilaitteistosta olisi hyvä tarkastaa päivittäin lamput, käyttötunnit, intensiteetti sekä arvioida puhdistustarve. UV-lamppujen huollon lisäksi UV-desinfiointilaitteistojen huoltotoimenpiteisiin kuuluvat mahdollinen pyyhkijälaitteiston huolto sekä UV-anturin huolto. Laitteistolle olisi hyvä suorittaa hieman laajempi huolto vähintään kerran vuodessa, johon kuuluu mahdollinen lamppujen vaihto, lamppujen suojaputkien läpäisevyydestit ja putkien mahdollinen vaihto, reaktorin puhdistus puhdistusliuoksen avulla, UV-anturin puhdistus ja kalibrointi tarvittaessa sekä muu mekaaninen huolto. (Talousveden desinfiointi ultraviolettivalolla 2014, 48.) UV-desinfiointilaitteet ovat kuitenkin kaiken kaikkiaan suhteellisen varmatoimisia ja helppohoitoisia. Laitteiston huollon yhteydessä tulee olla varovainen, etteivät laitteiston herkäät osat rikkoudu vahingossa. Suurin riski on yleensä kvartsilasisten suojaputkien hajoaminen täyttäessä reaktoria uudelleen vedellä. Riski kasvaa, jos käsiteltävä vesi pumpataan pumpun avulla reaktoriin, jolloin paine kasvaa merkittävästi. Putkistoon on saattanut päästä ilmaa sisään, kun pumppu on ollut pois päältä. Ilmiö esiintyy useammin silloin, kun putket UV-laitteelle on rakennettu laitokselle jälkikäteen. Paineiskuja voidaan lievittää asentamalla laitteistoon ilmanpoistiventtiilejä ja täyttämällä reaktori varovasti vedellä ennen pumpun käynnistystä.

UV-reaktori voidaan varustaa halutessaan joko mekaanisella tai automaattisella pyyhinlaitteistolla, jonka tarkoituksena on puhdistaa lampun suojaputket pinnalle tarttunut lika. Yli kymmenellä lampulla varustettu reaktori suositellaan varustamaan pyyhinlaitteistolla huoltotoimenpiteiden helpottamiseksi. Pyyhinlaitteisto ei kuitenkaan ole välttämätön, jos veden UV-läpäisevyys on yli 95 %, mutta valmistajat suosittelevat UV-laitteiston varustamista pyyhinlaitteistolla, jos veden läpäisevyys on



huonohko. Suojaputket voidaan puhdistaa myös käsin, jolloin vältytään mahdollisista pyyhinlaitteistoon liittyviltä ongelmilta. Joissain malleissa, kuten Trojan UV Swift 4L24, pyyhkijöihin sisältyy kemikaaligeeli, joka levittyy ja poistuu suojaputkien pinnalta pyyhkimien liikkeessä edestakaisin. Kemikaali ei kuitenkaan ole missään vaiheessa tekemisissä käsiteltävän veden kanssa, vaan sen tarkoitus on parantaa puhdistustulosta ja edelleen säteilytehoa.

Mahdolliseen lyhytaikaiseen virransaannin katkeamiseen voidaan varautua liittämällä laitteisto niin sanottuun UPS-laitteeseen, joita jotkin laitevalmistajat tarjoavat optiona. Virran palattua lampuilla kestää muutamia minutteja syttyä uudelleen. UPS tarkoittaa keskeytymätöntä virransyöttöä ja laitteen virranlähteenä toimii akku. Laite voidaan liittää UV-desinfiointilaitteiston ohjausyksikköön ja se lähtee käyntiin heti verkkovirran katkettua. UPS pystyy antamaan laitteistolle virtaa muutamien minuuttien ajasta muutamiin tunteihin riippuen akun kapasiteetista. Pääasiallinen varavirta tuotettaisiin kuitenkin polttoainekäyttöisten varavoimakoneiden avulla, joilla pystytään tuottamaan koko laitoksen tarvitsema sähkö.

#### 5.4 Klooriamiinin käyttö

UV-desinfioinnilla ei ole desinfioivaa vaikutusta vesijohtoverkossa, joten tarvitaan myös jokin keino talousveden hygieenisen laadun takaamiseksi verkostossa. Klooriamiinia käytetään yleisesti veden desinfioinnissa UV-desinfioinnin yhteydessä sen pitkän vaikutusajan vuoksi. Se ei myöskään aiheuta vedessä maku- eikä hajuhaittoja, joita saattaa esiintyä muiden kloorausmenetelmien käytössä. Ammoniumkloridin syöttöön soveltuva laitteisto löytyy jo ennestään laitokselta, joskaan se ei ole ollut käytössä pitkään aikaan. Laitteiston sekä syöttöputkiston kunto täytyy kartoittaa, jotta sen kunnostusarve saadaan selville. Laitteisto täytyy liittää laitoksen automaatiojärjestelmään UV-desinfioinnin ohella ja selvittää kemikaalin syöttömäärät sekä syöttöpisteet.

Natriumhypokloriittia voidaan käyttää jatkossa klooriamiinin valmistamisessa ja kemikaalin syöttöpiste voidaan säilyttää nykyisellä paikallaan, jolloin säästytään uuden kloorivalmisteen hankinnalta ja käyttöönotolta sekä säästytään niihin liittyviltä selvityksiltä. Kloramiinikloorausprosessissa natriumhypokloriitin annettaisiin vaikuttaa puhdasvesialtaan kierrossa noin 0,5 tuntia, jonka jälkeen suoritettaisiin vapaan kloorin sitominen ammoniumkloridilla ( $\text{NH}_4\text{Cl}$  eli salmiakki). Salmiakkin syöttöpiste sijoitettaisiin ensimmäisen ja toisen puhdasvesialtaan väliselle putkiosuudelle, jolloin natriumhypokloriitti on ehtinyt vaikuttaa vedessä riittävän pitkään varmistaakseen riittävän desinfiointitehon. Ammoniumkloridin valmistukseen sekä syöttämiseen tarvittavan prosessilaitteiston kunto täytyy kartoittaa ja suorittaa tarvittavat puhdistus- ja kunnostustoimenpiteet sekä uudistaa laitteistoa toimimaan automaattisesti. Aiemmin laitoksella käytössä olleessa kloramiinikloorauksessa ammoniumkloridin vesiliuos valmistettiin käsin kaatamalla kiinteää jauhemaista ammoniumkloridia suoraan säkistä kuljettimelle, joka vei sen säiliöön vesiliuoksen valmistusta varten. Tulevalle ammoniumkloridin syöttöputkistolle laitoksen vedentuotantoprosessiin täytyy myös selvittää ja rakentaa sopiva ja turvallinen reitti liuoksen valmistuspaikan ja syöttöpisteen välille.

Laitoksella on hyvä olla myös jokin vaihtoehtoinen veden desinfiointimenetelmä, jos UV-desinfiointilaitteen toimivuudessa tai virransaannissa ilmenee ongelmia. Natriumhypokloriittia voidaan käyttää jatkossa klooriamiinin valmistamiseen ja ongelmatilanteessa voidaan desinfiointimenetelmä vaihtaa nopeasti hypokloriittiklooraukseen sulkemalla ammoniumkloridin syöttöventtiili ja mittaamalla natriumhypokloriitin syöttömäärä senhetkisellem vesimäärälle.

Kloramiinikloorauksen haittapuolena on syntyvä nitriitti, jonka pitoisuus on verrannollinen syötetyn klooriamiinin määrään. Klooripitoisuuden ollessa alle 0,50 mg/l nitriitin muodostuminen on vähäistä. Nitriittipitoisuuksia seurataan tarkasti vesianalyyysien avulla. Klooriamiinin käytössä mahdollisesti syntyvän nitriittipitoisuuden valvonnasta määrittää talousvesiasetuksen (1352/2015) mukaiset talousveden kemialliset laatuvaatimukset. Asetus myös määrää klooriamiinia veden desinfiointissa käyttävien tahojen tutkivan nitriittipitoisuutta jatkuvassa valvonnassa käyttäjän vesihanasta otetusta näytteestä. Myöskään nitraattipitoisuus/50 + nitriittipitoisuus/3 ei saa ylittää arvoa 1. Valvira on täydentänyt talousvesiasetuksen ohjeistusta nitraattien ja nitriittien valvonnan osalta. Sen mukaan nitriitin enimmäispitoisuus saa olla käyttäjän vesihanasta otetussa näytteessä 0,50 mg/l laitokselta lähtevässä vedessä 0,10 mg/l. Lisäksi klooriamiinidesinfiointia käyttävien laitosten nitriittipitoisuus on määriteltävä jaksottaisessa seurannassa käyttäjän vesihanasta sekä talousvettä toimittavan laitoksen lähtevästä vedestä. (Vesilaitosyhdistys 2014, talousveden nitraatin ja nitriitin valvonnasta.)

## 6 KUSTANNUSARVIO

Matalapainejärjestelmän kokonaishinta on keskimäärin puolet keskipainejärjestelmän hinnasta. Käytökustannukset ovat UV-desinfiointissa kloorausta pienemmät, 1/5 otsonoinnin kustannuksista ja 1/10 kalvosuodatuksen kustannuksista. UV-desinfiointilaitteiston kustannuksiin vaikuttavat suuresti tavoiteltu UV-annos, mitattu UV-läpäisevyys, veden virtaama sekä veden ominaisuudet.

Tärkeimpiin UV-desinfiointilaitteistojen investointikustannuksiin kuuluvat

- UV-reaktori
- UV-lamput
- putket, venttiilit, sovitteet
- mahdollinen paineenkorotuspumppu
- instrumentaatio- ja sähkötyöt sekä muutostyöt.

Edellä mainittujen investointikustannusten lisäksi on myös hyvä mainita muut kustannukset, kuten suunnittelutyö, urakoitsijoiden palkat, luvat ja niihin liittyvät maksut sekä muut pienemmät kulut. Käyttö- ja huoltokuluihin sisältyvät lähinnä työvoima, sähkö ja varaosat. Normaali UV-desinfiointilaitteen huoltotoimenpiteet on kuitenkin helppo suorittaa itse, jolloin säästyy ulkopuolisen työvoiman palkkaamiselta.

Wedecon jälleenmyyjältä saamien tietojen mukaan laitteen BX1800 viitehinta on noin 38 000 euroa ilman lisälaitteita ja vastaava Quadron 1200 viitehinta on noin 68 000 euroa. BX1800 saa optiona automaattisen pyyhinlaitteiston, jonka hinta on noin 6 000 euroa ja tehonsäätön mahdollistava lisälaitte puolestaan maksaa hieman alle 4 000 euroa. Quadronissa käyttö- ja huoltohinnat ylittävät investointihinnan noin kolmessa vuodessa ja BX1800:ssa neljässä vuodessa tehden BX 1800:sta edullisemmän laitteen pitkällä aikavälillä.

Käyttö- ja huoltokuluiltaan vertailun halvin laite on Wedeco BX 1800, ollen 20 vuoden jatkuvalla käytöllä yli puolet halvempi vertailtaviiin laitteisiin nähden Kallein laite on puolestaan Wedeco Quadron 1200. Lamppujen vaihdon vuotuiset kustannukset vaihtelevat vertailun laitteistoissa 3 100 euron ja 11 000 euron välillä. Suurempi hintaero saadaankin vertailemassa laitteistojen kuluttamia vuotuisia sähkön kokonaishintoja taulukossa 3, jolloin saadaan selville sähkön hintojen vaihtelevan Wedeco BX 1800:n 4 900 eurosta Wedeco Quadron 1200:n 21 200 euroon. Käyttö- ja huoltokustannuksissa ei ole otettu huomioon esimerkiksi pyyhinlaitteiston, UV-anturin tai ohjainkortin vikoja, joiden korjaus voi tuoda merkittäviä lisäkustannuksia. Edellä mainittujen vikojen ennustaminen on hankalaa ja tilanteet ovat aina tapauskohtaisia. Hintavertailussa ei myöskään oteta huomioon esimerkiksi suunnitteluun, lupiin tai työvoimaan liittyviä kustannuksia, jotka kaikki määräytyvät aina tapauskohtaisesti. Taulukko 4 esittää laitteiston pidempiaikaisen yhtenäisen käytön kustannuseroja. Laitteiston 20 vuoden yhtenäisellä käytöllä BX 1800 säästäisi rahaa Quadron 1200:een verrattuna 302 000 euroa käyttö hinnassa sillä oletuksella, että laitteet toimivat muuten moitteetta. Trojan Swift SC D30 -UV-desinfiointilaitteen ongelmaksi muodostuu lamppujen vaihtojen sekä kahden reaktorin aiheuttamat korkeat kokonaiskustannukset BX 1800:een verrattuna.

Taulukko 4 Vertailulaitteistojen tehonkulutus ja sähkön hinta täydellä teholla sekä merkittävimmät käyttö- ja huoltokulut 20 vuoden yhtämittaisella käytöllä

	Wedeco BX 1800	Wedeco Quadron 1200	Trojan UV Swift 4L24	Trojan UV Swift SC D30 *(2 kpl)
Tehonkulutus täydellä teholla (kW)	6	26	23	16
Tehonkulutus täydellä teholla (kWh/a)	52 000	228 000	201 000	140 000
Viitteellinen investointihinta (€)	38 000	68 000	193 000	98 000
Sähkön hinta laitteistolle (€/a)	4 900	21 200	18 800	13 000
Lamppujen vaihtohinta (€/20a)	112 000	88 000	62 000	220 000
Sähkön hinta laitteistolle (€/20a)	98 000	424 000	376 000	263 000
Käyttö- ja huoltokulut (€/20a)	210 000	512 000	438 000	483 000
Kokonaiskulut (€/20a)	248 000	580 000	631 000	581 000

Laitteiston sähkön kulutusta voidaan alentaa säätämällä laitteiston teho vastaamaan senhetkistä virtaamaa sekä haluttua intensiteettiä, jolloin myös oletettavasti lamppujen käyttöikä kasvaa. Oletetaan intensiteetin olevan 400 J/m<sup>2</sup>. Laitoksen käsiteltävän veden keskivirtaamalla 750 m<sup>3</sup>/h tehonkulutusta voitaisiin laskea 57 % täydestä tehosta laitteen BX 1800 osalta, jolloin tehonkulutus olisi 3,4 kW. Sähkön kulutus laskisi 2 800 euroon vuositasolla, mikä tarkoittaisi 56 000 euroa 20 vuoden jatkuvalla käytöllä. Vertailun muiden laitteiden vastaavat lukemat löytyvät taulukosta 5. Laitteella UV Swift SC D30 tehonsäätömahdollisuus on 60 % –100 %, jolloin tehoa ei voida säätää täysin haluttuun lukemaan. Lamput kestävät luultavasti tehonsäädön myötä takuuajakoja pidempään, mutta niiden käyttöiän pidentymisestä ei voi suorittaa selkeitä mittauksia.

Taulukko 5 Vertailulaitteiden tehonkulutukset virtaama säädettynä

	Wedeco BX 1800	Wedeco Quadron 1200	Trojan UV Swift 4L24	Trojan UV Swift SC D30 *(2 kpl)
Tehonkulutus virtaamalla 750 m <sup>3</sup> /h (kW)	3,4	12,3	17,3	9,6
Sähkön hinta laitteistolle (€/a)	2 800	10 000	14 000	7 900
Käyttö- ja huoltokulut (€/20a)	168 000	288 000	342 000	378 000

## 7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

UV-desinfiointilaitte on tehokas ja nykyaikainen tapa desinfioida talousvettä. UV-desinfiointin ohella Itkonniemen vedentuotantolaitokselle jäisi kuitenkin vielä vaihtoehtoinen desinfiointimenetelmä, hypokloriittiklooraus. Hypokloriittia syötetään joka tapauksessa jälkidesinfiointiin UV-laitteen jälkeen sitomalla se klooriamiiniksi ammoniumkloridin avulla, jolloin desinfiointi pelkällä hypokloriittikloriitilla on helppo aloittaa tarpeen vaatiessa esimerkiksi UV-laitteen huoltotöiden ajaksi. UV-desinfiointilaitteiston hankintahinta on korkeampi kuin kloorauksen, mutta käyttökulut ovat matalat. Klooria jouduttaisiin kuitenkin edelleen käyttämään jälkidesinfiointitarkoitukseen. Kokonaisu hintaan lisätään vielä sekä ammoniumkloridin syötön rakentamisen että itse kemikaalin hankinnan aiheuttamat investointikustannukset ja ammoniumkloridin käyttökustannukset. UV-desinfiointiin siirtyminen kuitenkin parantaisi veden hygieenistä puhtautta entisestään ja toisaalta klooriamiiniklooraukseen siirtymisen toivottaisiin parantavan veden makua käyttäjien suussa.

UV-desinfiointilaitteen sijoituspaikaksi prosessiteknisesti tarkasteltuna on monta vaihtoehtoa. Eräs vaihtoehto olisi käyttää putki viereisessä puhtaan veden pumppusalissa, jonne UV-desinfiointilaitteisto sijoitettaisiin. Laitteistolle olisi pumppusalissa huomattavasti suurempi tila, joka helpottaisi suunnittelua. Tila olisi myös paremmin ilmastoitu sekä varusteltu palkkinosturilla, joka puolestaan helpottaisi laitteiston asentamistoimenpiteitä sekä huoltoa. Lisätyötä kuitenkin tuottaisi uuden putken asentaminen ja putken seinästä läpiviennit. Myös hydrauliset olosuhteet muuttuisivat huomattavasti putkipituuden kasvaessa ja mahdollinen paineenkorotustarve täytyisi huomioida. Joissain tapauksissa UV-reaktoreita on asennettu myös puhtasvesipumppujen jälkeen. Tällöin ongelma voi kuitenkin tulla laitteistoa rasittava kova paine, jonka vuoksi sitä saatetaan joutua vahvistamaan paineen kestämiseksi. Laitteisto alentaa myös pumpattavan veden hydraulista painetta, jolloin olosuhteet verkostossa voivat muuttua merkittävästi. Hydraulisen paineen aleneminen voitaisiin kumota asentamalla lisäpumppu UV-desinfiointilaitteiston perään, mikä puolestaan taas nostaisi investointi- sekä käyttökustannuksia. Laitteiston asentaminen puhtasvesipumppujen perään ei näin ollen osoittaudu kannattavaksi vaihtoehdoksi sen edellä mainitut heikkoudet huomioon ottaen. (Design of UV disinfection systems for drinking water, 4.)

Teknitaloudellisesti laitteen paras sijoituspaikka on luvussa 5.3 esitetty tila. Tällöin putkiosuukien viemä painehäviö ei kasva merkittävästi, eivätkä taloudelliset kustannukset nouse liian korkeiksi joh-tuen rakennettavan putken lyhyestä pituudesta. Laitteiston perään ei myöskään tällöin tarvitse asentaa paineenkorotuspumppua. Investointi- sekä käyttö- ja huoltokustannuksia vertailemalla saatiin selville matalapainejärjestelmien taloudellinen etu verrattuna keskipainejärjestelmiin. Laitevertailun matalapainejärjestelmistä Wedeco BX 1800 olisi taloudellisesti ja huoltoteknisesti järkevämpi vaihtoehto, koska tällöin tavoiteltu desinfiointiteho saavutettaisiin yhdellä UV-reaktorilla sekä lamppujen lukumäärä sekä sähkönkulutus jäisivät maltillisiksi. BX 1800 kokonaisinvestointihinnaksi muodostuisi lisälaitteineen noin 50 000 euroa ja sen vuotuiset käyttö- ja huoltokustannukset olisivat täydellä teholla hieman yli 10 500 euroa ja virtaama säädettyinä noin 8 500 euroa.

## LÄHTEET

EHRHARD, Raymond. 2006. UV Disinfection Systems for Drinking Water – Planning and Design. CED engineering. [Viitattu 2016-04-04.] Saatavissa:

<https://www.cedengineering.com/userfiles/UV%20Planning%20and%20Design%20Principles%20for%20DWT.pdf>

GIGAHERTZ-OPTIK. The wavelength range of optical radiation. 2016. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2016-03-16.] Saatavissa: <http://light-measurement.com/wavelength-range/>

ITKONNIEMEN KÄYTTÖPÄIVYSTÄJÄT 2016-04-04. [Suullinen tiedonanto]. Kuopio, Itkonniemen vedentuotantolaitoksen valvomo.

JUNTUNEN, Petri. 2016-03-17. [Suullinen tiedonanto.] Kuopio, Itkonniemen vedentuotantolaitos.

JÄÄSKELÄINEN, Ari. 2007. Talousveden riskienhallinnan kustannus-hyötyvertailu. Esiselvitys. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu. [Viitattu 2016-04-08.] Saatavissa:

[http://portal.savonia.fi/pdf/julkaisutoiminta/Talousveden\\_riskienhallinta.pdf](http://portal.savonia.fi/pdf/julkaisutoiminta/Talousveden_riskienhallinta.pdf)

KABSCH-KORBUTOWICZ, Małgorzata ja MAJEWSKA-NOWAK, Katarzyna. Membrane separation processes in environmental protection –PART 1. Wrocław University of Technology.

KOCH MEMBRANE SYSTEMS. 2016. Membrane technologies. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2016-03-14.] Saatavissa: <http://www.kochmembrane.com/Learning-Center/Technologies.aspx>

KUOPION KAUPUNKI. Itkonniemen vesilaitos. Vesilaitosprosessi. Yleinen toimintaselostus.

KUOPION VESI. 2003. Jännekiemen vesilaitos. Toimintaselostus.

SOSIAALI- JA TERVEYSMINISTERIÖN ASETUS TALOUSVEDEN LAATUVAATIMUKSISTA JA VALVONTATUTKIMUKSISTA 1352/2015, Liite 1. [Verkkajulkaisu]. Finlex. Lainsäädäntö. [Viitattu 2016-04-04.] Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20151352>

SUOMEN RAKENNUSINSINÖÖRIEN LIITTO RIL RY. 2004. Vesihuolto II: RIL 124-2. Helsinki.

SÄTEILYTURVAKESKUS. 2009. Ultravioletti – ja lasersäteily. Helsinki.

UNIVERSITY OF NEW HAMPSHIRE. Design of UV disinfection systems for drinking water. PDF-julkaisu. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2016-04-05.] Saatavissa:

[http://www.unh.edu/wttac/WTTAC\\_Water\\_Tech\\_Guide\\_Vol2/uv\\_pdf\\_files/UT\\_Web\\_Site\\_UV\\_Design\\_Module.PDF](http://www.unh.edu/wttac/WTTAC_Water_Tech_Guide_Vol2/uv_pdf_files/UT_Web_Site_UV_Design_Module.PDF)

VESI- JA VIEMÄRILAITOSYHDISTYS. 2006. Talusveden klooraus. Helsinki.

VESILAITOSYHDISTYS. 2014. Talusveden desinfiointi ultravioletivalolla.

VESILAITOSYHDISTYS. 2014. Talusveden nitraatin ja nitriitin valvonnasta uusi Valviran ohje.

[Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2016-03-31.] Saatavissa:

[http://www.vvy.fi/ajankohtaista/talusveden\\_nitraatin\\_ja\\_nitriitin\\_valvonnasta\\_uusi\\_valviran\\_ohje.3674.news](http://www.vvy.fi/ajankohtaista/talusveden_nitraatin_ja_nitriitin_valvonnasta_uusi_valviran_ohje.3674.news)

VESITALOUS 1/2003. Talusveden desinfiointi ultravioletivalolla. [digilehti]. [Viitattu 2016-04-11.]

Saatavissa: [http://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2013/07/1\\_2003.pdf](http://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2013/07/1_2003.pdf)

VESITALOUS 4/2007. Desinfiointi varmistaa talusveden mikrobiologisen puhtauden. [digilehti]. [Viitattu 2016-03-23.] Saatavissa: <http://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2010/02/4-2007.pdf>

VIGNESWARA, Saravanamuthu. 2009. Water and wastewater treatment technologies. [Viitattu 2016-03-14.] Saatavissa:

<https://books.google.fi/books?id=Zw9xCwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Waste+Water+Treatment+Technologies+ +-+Volume+II&hl=fi&sa=X&ved=0ahUKEwjUi7O-1ufLAhUCPQ8KHQy9Bo8Q6AEILzAA#v=onepage&q&f=false>

WEDECO. UV disinfection systems, BX Series. PDF-esite. [Viitattu 2016-03-15.] Saatavissa:

<http://www.hyxo.fi/products/documents/4fe054a525bc1/UVdisinfectionsystemsBXseriesENG.pdf>

WEDECO. UV disinfection systems, Quadron Series. PDF-esite. Saatavissa:

<http://www.xylem.com/Assets/Resources/1391-Wedeco-Quadron-UV.pdf>

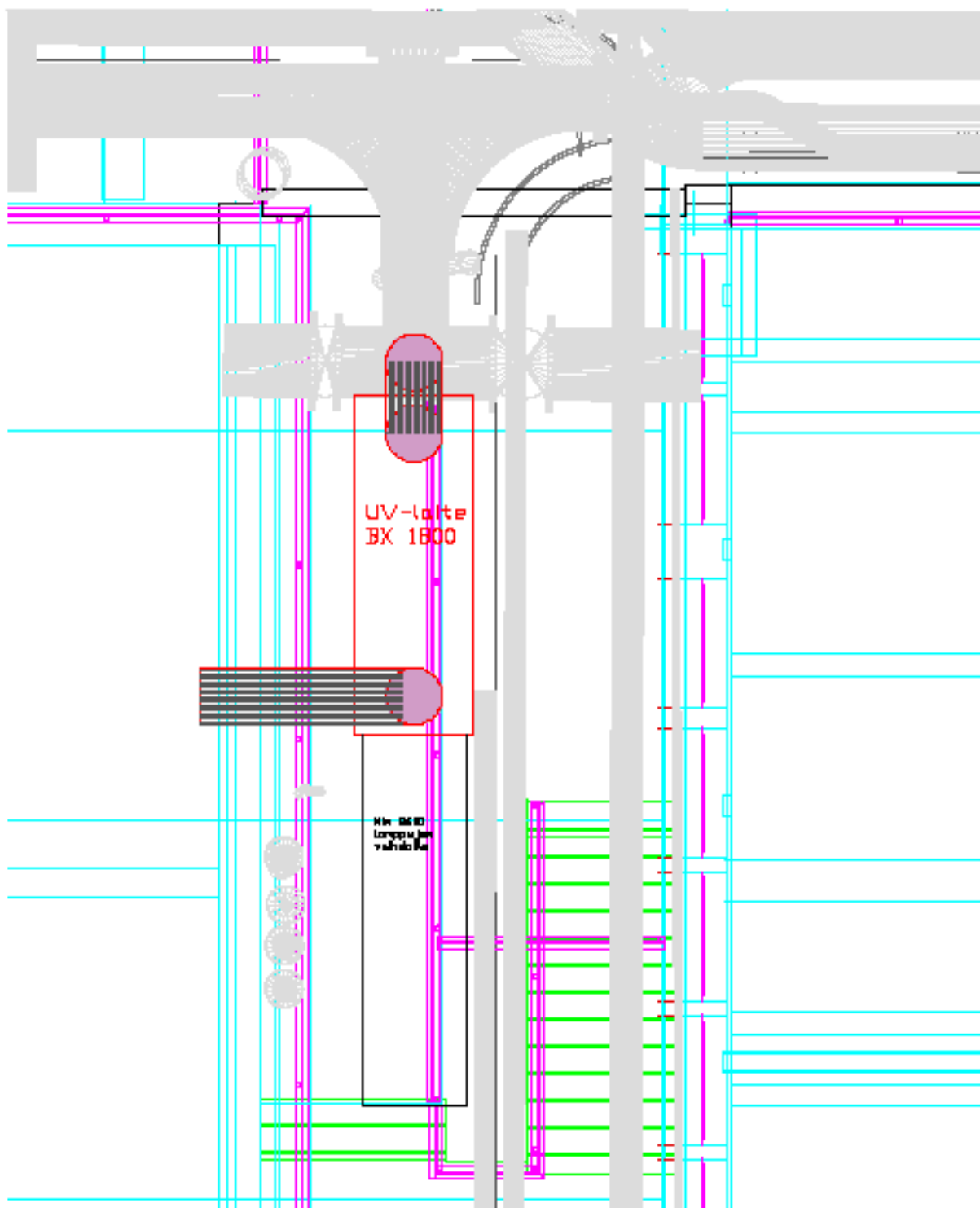
## LIITE 1: VALITTUJEN UV-DESINFIOINTILAITTEIDEN LAITEVERTAILU

Valmistaja/malli	Wedeco/BX 1800	Wedeco/Quadron 1200
Matala-/keskipainelamput	matalapaine	keskipaine
Maksimivirtaama (m <sup>3</sup> /h)	1 350 (UVT 90 %)	1 580 (UVT 90 %)
UV läpäisykyky % (1cm)	80 - 100	65 - 98
UV-annos (mJ/cm <sup>2</sup> ) DVGW	40	40
Yksilöllinen lampun monitorointi	kyllä	kyllä
Lampun käyttöikä (h)	14 000	8 000
Lamppujen lkm	18	4
Lampun teho (W)	285	6 000
Lampun vaihtoon tarvittava tila (mm)	min. 2 600	880 (lamput poikittain virtaukseen nähden)
UV-intensiteetin monitorointi	kyllä, ÖNORM kalibroitu	kyllä, ÖNORM-validointi
Validoinnit	UVDGM, UV-anturi ÖVGW-sertifioitu	UVDGM, DVGW
Pyyhkijät		automaatti, mekaaninen (valinnainen)
Laipan koko	DN 400, valittavana U- ja Z-malli	DN 450, valittavana U- ja Z-malli
Maksimi toimintapaine (bar)	10	10
Reaktorin mitat (W × H × D mm)	730×2 400×925	950x1 050x1 100
Reaktorin paino (kuiva/märkä) (kg)	850/-	260/-
Näytteenottohanat	reaktorin molemmissa päissä	reaktorin molemmissa päissä
Ohjauskaapin mitat (W×H×D) mm	800×2 100×600	1 400×2 200×600
Ohjauskaapin paino (kg)	320	-
Käsiteltävän veden lämpötila (°C)	5 - 40 °C	5 - 30 °C
Painehäviö, totaalinen (mm)	460 (750 m <sup>3</sup> /h)	
Yleisiä ilmoituksia	prosessin tila, lampun tila, hälytykset, prosessin arvot	prosessin tila, lampun tila, hälytykset, prosessin arvot
Tehonkulutus (kW)	5,9	26
Tehonkulutus täydellä teholla (kWh/a)	5 1684	227 760
Sähkön hinta laitteistolle (€/a)	4 874	21 214
Voimavirran tarve	kyllä	kyllä
Lisätietoja	Lampun lämpötila 100 °C, lampujen tehonsäätömahdollisuus 50 % - 100 % (PLC-säätö), kaapelin pituus 5m, 10m, 15m tai 25m	lamppujen tehonsäätömahdollisuus 30 % - 100 %
Laitteen hinta (€)	38 550	68 550 (sisältää pyyhinlaitteiston)
Lisälaitteiden hinnat (€)	pyyhinlaitteisto 5 800 €, tehonsäätömahdollisuus 3 725 €	

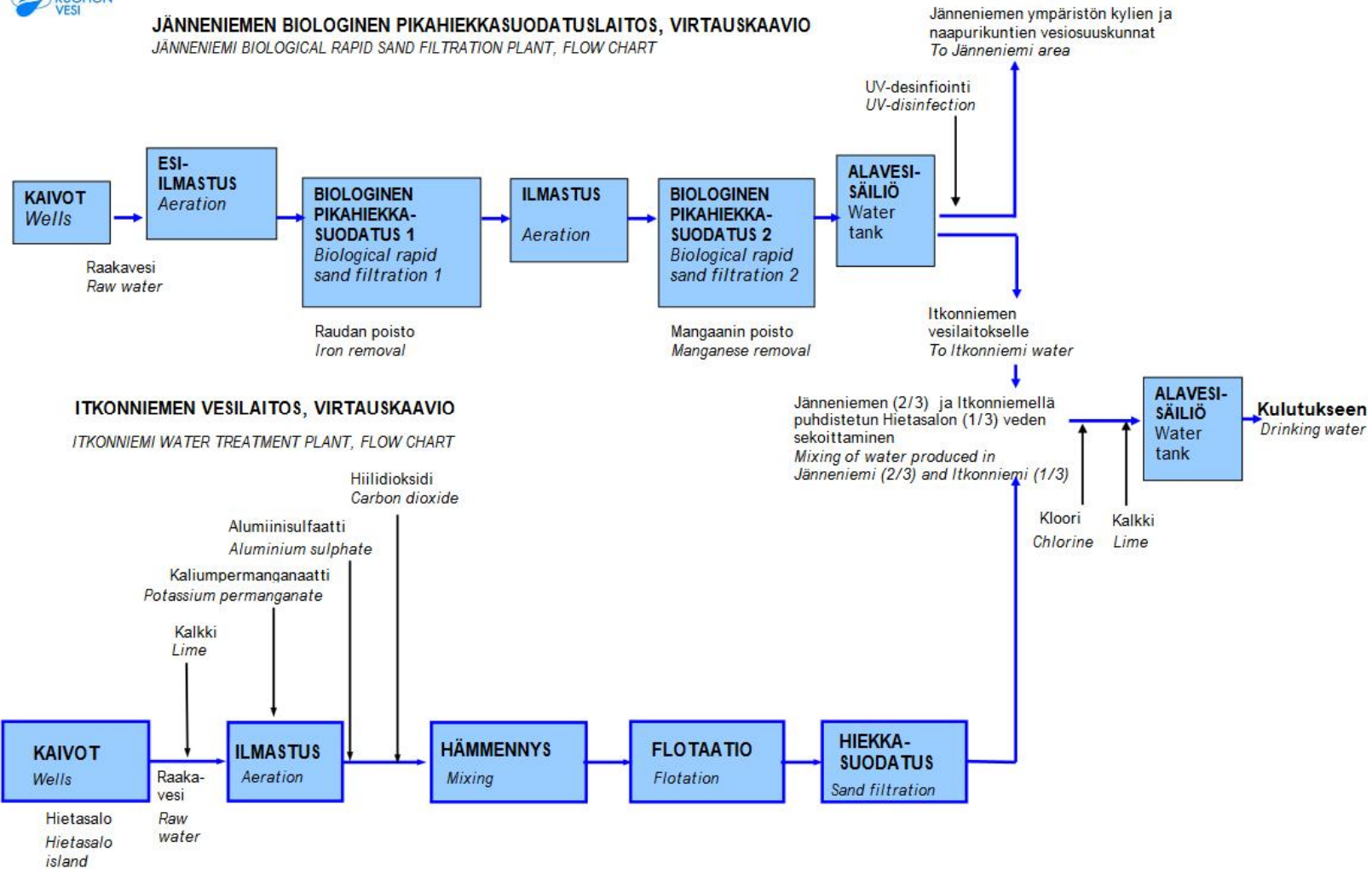


Valmistaja/malli	Trojan/UV Swift 4L24	Trojan/UV Swift SC D30
Matala-/keskipainelamput	keskipaine	matalapaine
Maksimivirtaama (m <sup>3</sup> /h)	1 000	806 (UVT 95 %)
UV läpäisykyky % (1cm)	90->	70 - 98
UV-annos (mJ/cm <sup>2</sup> ) DVGW	40	40
Yksilöllinen lampun monitorointi	1 sensori neljälle lampulle	1 sensori kymmenelle lampulle
Lampun käyttöikä (h)	9 000	12 000
Lamppujen lkm	4	30
Lampun teho (W)		-
Lampun vaihtoon tarvittava tila (mm)	(lamput poikittain virtaukseen nähden)	1 880
UV-intensiteetin monitorointi	kyllä, anturi DVGW hyväksytty	kyllä, anturi DVGW hyväksytty
Validoinnit	USEPA UVGM	DVGW
Pyyhkijät	automaattinen, mekaaninen (valinnainen), (kemikaaligeeli mukana)	automaattinen (valinnainen)
Laipan koko	DN 600	DN 350
Maksimi toimintapaine (bar)	10	10
Reaktorin mitat (W × H × D mm)	pituus 883	pituus n. 2 000
Reaktorin paino (kuiva/märkä) (kg)	680/1 016	545/1 150
Näytteenottohanat	reaktorin molemmissa päissä	reaktorin molemmissa päissä
Ohjauskaapin mitat (W×H×D) mm	1 791×2 205×596	91×122×25
Ohjauskaapin paino (kg)	618	250
Käsiteltävän veden lämpötila (°C)	0 - 30 °C	1 - 40 °C
Painehäviö, totaalinen (mm)	40	-
Yleisiä ilmoituksia	virtaus, UVT, UV-intensiteetti	
Tehonkulutus (kW)	23	8
Tehonkulutus täydellä teholla (kWh/a)	201 480	70 080
Sähkön hinta laitteistolle (€/a)	18 775	6 581
Voimavirran tarve	kyllä	ei
Lisätietoja	lamppujen tehonsäätömahdollisuus 30 % - 100 %, kaapelin pituus 12 m (vaihtoehtoisesti jopa 22 m), Trojanilla 2 huoltomiestä Suomessa	lamppujen tehonsäätömahdollisuus 60 % - 100 %, kaapelin pituus 7,5m, Trojanilla 2 huoltomiestä Suomessa
Laitteen hinta (€)	193 000	49 000
Lisälaitteiden hinnat (€)		

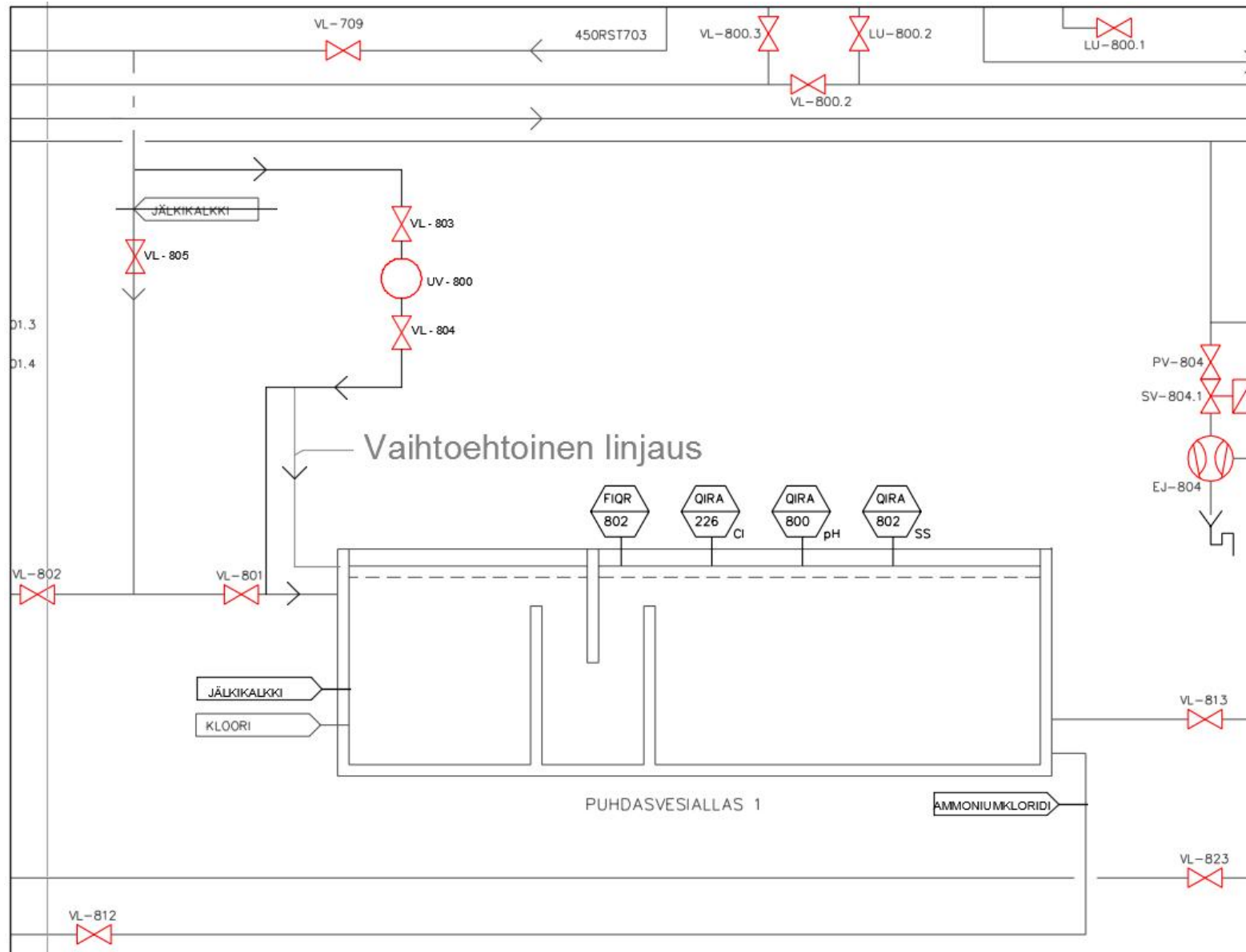
LIITE 2: LAYOUT-KUVA UV-DESINFOINTILAITTEISTOSTA LAITOKSELLA, MUOKATTU LAITOKSEN  
PIIRUSTUKSISTA (OLLI TIKKANEN)



## LIITE 3: KAAVIOKUVA JÄNNENIEMEN JA HIETASALON VESIEN KÄSITTELYPROSESSEISTA (KUOPION VESI 2012)


**JÄNNENIEMEN BIOLOGINEN PIKAHIEKKASUODATUSLAITOS, VIRTUSKAAVIO**  
 JÄNNENIEMI BIOLOGICAL RAPID SAND FILTRATION PLANT, FLOW CHART


## LIITE 4: PI-KAAVIO UV-DESINFIOINNIN KANSSA, MUOKATTU LAITOKSEN PI-KAAVIOSTA (OLLI TIKKANEN)



## LIITE 5: KYSELYN YHTEENVETO SUURIEN UV-DESINFIOINTILAITTEISTOJEN TOIMINNASTA SUOMESSA

Yleistietoja	Vesilaitos 1	Vesilaitos 2
Matala- vai korkeapainelamput	Matala	Matala
Lamppujen lukumäärä	36	40
Laitteen valmistaja/malli	Wedeco BX3200	Wedeco K-sarja
Käsiteltävä vesimäärä (m <sup>3</sup> /h)	max 2300	3500m <sup>3</sup> /linja
Pyyhkijöiden tyyppi (automaatti, käsitoiminen)	Ei pyyhkijöitä	Ei pyyhkijöitä
Jälkidesinfiointimenetelmä	Kyllä	Klooriamiini
Reaktorityyppi	preferably horizontal	-
Lamppujen asento virtaukseen nähden	Virtauksen suuntainen	Virtauksen suuntainen
Laitteiston vaatiman tilan koko	1 m x 3 m	-
UV-annos (J/m <sup>2</sup> )	440	250 (tulevaisuudessa 500)
Veden UV-läpäisevyys (%)	97,2	96
Oheislaitteet (näytteenottohanat, UV-anturi, venttiilit etc.)	Näytteenottohanat ennen ja jälkeen, reaktorin lämpötila, ilmaus venttiilit	Juuri nuo ja manuaalipesuri
Desinfiointijärjestelmä ennen UV:n hankintaa	Klooridesinfiointi oli ja on edelleen	-

Havaintoja toiminnasta		
Onko laitteisto toiminut moitteetta? Jos ei, niin mikä ei ole toiminut	kyllä	Laite on toiminut erittäin hyvin
Pyyhkijöiden toimintavarmuus ja puhdistustehokkuus	ei pyyhkimä	-
Lamppujen kestävyys	14 000 h	1 2000 h
UV-anturin kestävyys/toimintavarmuus	-	Yksi anturi/40lamppua. Anturilla ei käytännön merkitystä.
Onko tullut muutoksia veden laatuun?	ei	Raakaveden UVT on noussut hieman vuosien saatossa
Muita yleisiä havaintoja/vinkkejä suunnitteluun	Jos reaktori on päässyt tyhjenemään vedestä, niin pumppun käynnistyksessä on hajonnut lamppuja paineiskuntakia. ilmanpoisto kannattaa rakentaa!	Jos laitteessa on tehon säätö, tulee huomioida, että virtaamamittaukselle on riittävät häiriöttömät putkiosuudet.

Yleistietoja	Vesilaitos 3	Vesilaitos 4
Matala- vai korkeapainelamput	Matala	Matala
Lamppujen lukumäärä	12	6
Laitteen valmistaja/malli	WEDEGO AG / B400	Wedeco BX-400
Käsiteltävä vesimäärä (m <sup>3</sup> /h)	500	350
Pyyhkijöiden tyyppi (automaatti, käsitoiminen)	Ei pyyhkijöitä	Automaatti
Jälkidesinfiointimenetelmä	Klooriamiini	Ei mitään
Reaktorityyppi	Haponkestävä teräs 1.4571 (316Ti)	-
Lamppujen asento virtaukseen nähden	Virtauksen suuntainen	Virtauksen suuntainen
Laitteiston vaatiman tilan koko	Leveysxkorkeusxsyvyys=650x1595x460	n. 3 m lampun vaihto huomioiden
UV-annos (J/m <sup>2</sup> )	-	-
Veden UV-läpäisevyys (%)	95	96
Oheislaitteet (näytteenottohanat, UV-anturi, venttiilit etc.)	Näytteenottohanat, UV-anturi ja reaktorin tyhjennysventtiili.	Näytehana, anturi.
Desinfiointijärjestelmä ennen UV:n hankintaa	Kun laitos rakennettiin niin siihen tuli jo silloin UV.	Ei mitään

Havaintoja toiminnasta		
Onko laitteisto toiminut moitteetta? Jos ei, niin mikä ei ole toiminut	Aluksi lamput paloivat vain 3000–4000 tuntia. Wedeco teki tuotekehitystä ja nyt lamput palavat reilusti yli 10000 tuntia. Laitteissa on ollut pieniä vikoja, mutta pääsääntöisesti ne ovat toimineet hyvin.	Alussa ohjaimen kuristuskorteissa valmistusvirhe ja niitä vaihdettiin useampi. Sittemmin emolevy on vaihdettu.
Pyyhkijöiden toimintavarmuus ja puhdistustehokkuus	Tässä laitteessa ei ole pyyhkijöitä, mutta meillä on monissa muissa laitteissa pyyhkijät. Pyyhkijöistä ei ole kuin kosmeettista apua, niihin ei kannata hukata rahojaan. Jos kvartsiputket likaantuvat niin käsin ne saa oikeasti vain puhtaiksi.	Melko hyvin toimii, kaipa ne jotain putsaa.
Lamppujen kestävyys	yli 10 000 h	n. 12 000 h
UV-anturin kestävyys/toimintavarmuus	Anturit tuntuvat kestävän noin 5 vuotta ja sitten alkavat näyttämään väärin.	Kesto 5 vuotta, toimintavarmuus kohtalainen
Onko tullut muutoksia veden laatuun?	Ei	Ei ole läpäisevyyttä tutkittu, mutta ei suurempia muutoksia.
Muita yleisiä havaintoja/vinkkejä suunnitteluun	Kuten jo aikaisemmin mainitsin, pyyhkijöitä ei kannata ottaa vaikka myyntimies kovasti niitä haluaisikin myydä. Mitä uudempi malli, sitä enemmän lasten tauteja, kuten yhteen aikaan oli riesana elektroniset kuristin kortit. Kunnes valmistaja sai niiden kestävyys kuntoon. Tilaa kannattaa varata hyvin, että lamppujen vaihdot ja kvartsiputkien put-saukset onnistuvat.	-