Talousveden desinfiointi ultraviolettivalolla

Vesilaitosyhdistyksen
julkaisusarja nro 58

Helsinki 2014

Vesilaitosyhdistys
Aleksanterinkatu 44 A, 00100 Helsinki
sähköposti: vvy@vvy.fi
kotisivu www.vvy.fi

ISSN-L 2242-7317
ISSN 2242-7317

ISBN 978-952-6697-98-7(nid.)
ISBN 978-952-7545-23-2 (pdf)

Painopaikka Helsinki 2014
2. painos

<table>
<tr><td colspan="4">KUVAILULEHTI</td></tr>
<tr><td>Julkaisija</td><td colspan="3">Suomen Vesilaitosyhdistys ry</td></tr>
<tr><td>Tekijät</td><td colspan="3">Suomen Vesilaitosyhdistys ry</td></tr>
<tr><td>Julkaisun nimi</td><td colspan="3">Talousveden desinfiointi ultraviolettivalolla</td></tr>
<tr><td>Julkaisusarjan nimi ja numero</td><td colspan="3">Vesilaitosyhdistyksen julkaisusarja nro 58</td></tr>
<tr><td>Julkaisun teema</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>Saatavuus</td><td colspan="3">Julkaisu on tilattavissa nidottuna Vesilaitosyhdistykseltä.</td></tr>
<tr><td>Tiivistelmä</td><td colspan="3">Vesilaitosyhdistys (VVY) julkaisi Talousveden desinfiointi ultraviolettivalolla -oppaan vuonna 2003. UV-desinfiointi on viimeisen kymmenen vuoden aikana lisääntynyt merkittävästi vesilaitoksilla Suomessa. Laitteiden kehittymisen myötä ja kotimaisten kokemusten kartuttua opas päivitettiin vuonna 2013.

UV-desinfiointi on todettu helppokäyttöiseksi ja turvalliseksi varokeinoksi veden laadun varmistamisessa myös Suomessa. Vaikka UV-desinfioinnilla ei voida turvata veden laadun säilymistä vesijohtoverkostossa, se tuhoaa oikein mitoitettuna ja käytettynä tehokkaasti laitokselta lähtevän veden bakteerit, virukset, alkueläimet ja niiden kystat. Erityisen suositeltavaa UV-desinfiointi on turvaamaan pohjavesilaitosten veden mikrobiologinen laatu. UV-desinfiointi ei vaikuta veden hajuun ja makuun, eikä siinä synny haitallisia sivutuotteita kuten kloorauksessa ja se tuhoaa tehokkaasti klooria erittäin hyvin kestäviä alkueläimiä.

Talousveden desinfiointi ultraviolettivalolla –oppaassa on perustiedot UV-desinfioinnista, laitteiston hankinnasta, asennuksesta ja käytöstä. Tämän oppaan avulla halutaan lisätä tietoisuutta UV-desinfioinnin perusteista ja käytöstä ja laitteiden valinnasta vesilaitokselle. Toimiakseen tehokkaasti UV-desinfiointi edellyttää laitteiden oikeaa valintaa, mitoitusta, asennusta, käyttöä ja huoltoa.

Oppaan sisältöä on päivityksen yhteydessä tarkennettu kauttaaltaan ja erityisesti laitteiden mitoituksen ja sertifioinnin osalta. Päivitettyyn oppaaseen on otettu mukaan käytännön kokemuksia vesilaitoksilta UV-laitteiden hankintaan, asennukseen ja käyttöön liittyen. Oppaan liitteenä on tarvittavat asiakirjat tarjouspyyntöjen laatimista varten.</td></tr>
<tr><td>Avainsanat</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>Rahoittaja/ toimeksiantaja</td><td colspan="3">Suomen Vesilaitosyhdistys ry</td></tr>
<tr><td></td><td>ISBN (nid.) 978-952-6697-98-7
ISBN (pdf) 978-952-7545-23-2</td><td>ISSN
2242-7317</td><td>2. painos</td></tr>
<tr><td></td><td>Sivuja
57</td><td>Kieli
suomi</td><td>luottamuksellisuus
julkinen</td></tr>
<tr><td>Julkaisun jakelu</td><td colspan="3">Vesilaitosyhdistys, www.vvy.fi</td></tr>
<tr><td>Painopaikka ja -aika</td><td colspan="3">Copy-Set Oy, Helsinki, kesäkuu 2014</td></tr>
</table>

BESKRIVNINGSBLAD			
Publicerat av	Finlands Vattenverksförening r.f.		
Författare	Finlands Vattenverksförening r.f.		
Publikationens titel	Desinficering av hushållsvatten med ultraviolett ljus		
Publikationsseriens titel och nummer	Vattenverksföreningens publikationsserie nr 58		
Publikationens tema			
Tillgänglighet	Publikationen kan beställas häftad från Vattenverksföreningen		
Sammanfattning	Vattenverksföreningen (VVY) publicerade 2003 en handbok i desinficering av hushållsvatten med ultraviolett ljus. Användningen av UV-desinficering har under det senaste decenniet ökat markant vid vattenverken i Finland. Genom att anordningar och apparater har förbättrats och de inhemska erfarenheterna ökat uppdaterades handboken 2013. Även i Finland har UV-desinficering konstaterats vara en lättanvändbar och trygg säkerhetsåtgärd för säkrande av vattnets kvalitet. Även om UV-desinficering inte tryggar varaktigheten av vattnets kvalitet i vattenledningsnät dödar UV-strålningen korrekt dimensionerad och använd bakterier, virus, protozoer och deras cystor effektivt i det utgående vattnet från vattenverk. UV-desinficering är särskilt att rekommendera för tryggande av vattnets mikrobiologiska kvalitet i grundvattenverk. UV-desinficering påverkar inte vattnets lukt och smak. Det skapar inte heller skadliga biprodukter som vid klorering och det dödar protozoer effektivt, vilka tål klor synnerligen väl. Handboken om desinficering av hushållsvatten med ultraviolett ljus innehåller grundläggande information om UV-desinficering samt installation, användning och upphandling av anordningar. Syftet med handboken är att öka medvetenheten om UV-desinficeringens grunder och användning samt val av apparaturer till vattenverk. För att fungera effektivt kräver UV-desinficering korrekt val, dimensionering, installation, användning och underhåll av apparaturer. I samband med uppdateringen har innehållet i handboken helt igenom preciserats, i synnerhet kring dimensionering av apparaturer samt certifiering. Praktiska erfarenheter från vattenverk i anknytning till upphandling, installation och användning av UV-apparater har tagits med i handboken. Bilagorna till handboken innehåller dokument som behövs vid utformande av offertförfrågningar.		
Finansiär/ uppdragsgivare	Finlands Vattenverksförening r.f.		
	ISBN (inbunden) 978-952-6697-98-7 ISBN (pdf) 978-952-7545-23-2	ISSN 2242-7317	2. uppl.
	Sidantal 57	Språk finska	Konfidentialitet offentlig
Distribution av publikationen	Vattenverksföreningen, www.vvy.fi		
Tryckort och tidpunkt för tryck	Copy-Set Oy, Helsingfors, juni 2014		

Esipuhe

Vesilaitosyhdistys (VVY) julkaisi Talousveden desinfiointi ultraviolettivalolla –oppaan vuonna 2003. Tuolloin oppaan tarkoituksena oli lisätä laitosten tietämystä UV-desinfioinnista, edistää UV-desinfioinnin käyttöönottoa vesilaitoksilla ja siten vähentää erityisesti pohjaveden likaantumisesta johtuvia epidemioita. UV-desinfiointi onkin lisääntynyt merkittävästi erityisesti pohjavesilaitoksilla viimeisen kymmenen vuoden aikana. Vesilaitokset hankkivat edelleen uusia ja päivittävät olemassa olevia UV-laitteita, joten laitteiden kehittymisen myötä ja kokemusten kartuttua pidettiin tarpeellisena päivittää vuonna 2003 laadittu opas.

Tästä vuonna 2013 päivitetystä oppaasta löytyvät perustiedot UV-desinfioinnista, laitteiston hankinnasta, asennuksesta ja käytöstä. Päivitystyössä huomioitiin käytännön kokemuksia vesilaitoksilta laitteiden hankintaan, asennukseen ja käyttöön liittyen. Sisältöä on päivityksen yhteydessä tarkennettu erityisesti laitteiden mitoituksen ja sertifioinnin osalta, missä on hyödynnetty soveltuvin osin Norjan, Saksan, Itävallan ja USAn ja Kanadan jo pitkään voimassa olleita määräyksiä ja ohjeita. Oppaan liitteenä on tarvittavat asiakirjat tarjouspyyntöjen laatimista varten

Alkuperäisen oppaan laatimista ohjasi rahoittajista koostunut työryhmä, johon kuuluivat puheenjohtaja Jukka Meriluoto Tampereen Vedestä, Eira Toivanen Helsingin Vedestä, Elina Antila HyXo Oy:stä, Salla Häkkinen ProMinent Finland Oy:stä, Markku Verho SK-Trade Oy:stä, Eero Ylikylä HOH Separtec Oy:stä, Jari Keinänen sosiaali- ja terveysministeriöstä, Pentti Keränen Kuopion Vedestä, Kalle Vuorela Tuusulan seudun vesilaitos ky:stä, Jari Hakala Vihdin vesihuoltolaitoksesta, Simo Koskinen Someron Vesihuolto Oy:stä ja Raimo Lampi Pohjois-Suomen vesivaliokunnasta. Asiantuntijajäseninä toimivat lisäksi Matti Valve SYKE:sta ja Riku Vahala VVY:stä. Opastyöryhmän sihteerinä toimi Marika Orava, jonka samasta aiheesta kirjoittamaa diplomityötä ohjasi professori Tuula Tuhkanen Tampereen teknillisestä korkeakoulusta. Oppaan laati Vesihydro Oy vastuuhenkilönään Tapio Ala-Peijari.

Oppaan päivitti FCG Suunnittelu ja Tekniikka Oy vastuuhenkilönään Elina Antila. Päivitystyötä ohjasi työryhmä, johon kuuluivat Tapio Helenius (Keravan kaupunki), Tapio Lankinen (Vihdin Vesi), Markku Lehtola (Kuopion Vesi), Juha Lemmetyinen (Joensuun Vesi), Riina Liikanen (Vesilaitosyhdistys), Ilkka Miettinen (Terveyden- ja hyvinvoinninlaitos), Jari Mäntylä (Seinäjoen vesi), Timo Ranta-Pere (Tuusulan seudun vesilaitos kuntayhtymä), Jarkko Rapala (Sosiaali- ja terveysministeriö), Sami Sillstén (Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut Kuntayhtymä), Tapio Tolvanen (Verlatek Oy) ja Emmi-Maria Ukko (Kymenlaakson Vesi) ja Veli-Pekka Vuorilehto (Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut Kuntayhtymä).

Vesilaitosyhdistys kiittää kaikkia oppaan tekemiseen ja sen päivittämiseen osallistuneita heidän aktiivisesta panostuksestaan.

Helsingissä 23.1.2014

Vesilaitosyhdistys

Sisällysluettelo

1 Johdanto ... 1
2 Desinfioinnin periaatteista ... 2
3 Ultraviolettidesinfioinnin perusteet ... 3
3.1 UV-valo ... 3
3.2 UV-annos ... 5
3.3 UV-transmittanssi eli läpäisevyys ... 5
3.4 Desinfiointitehokkuus ... 6
4 UV-desinfiointilaitteisto ... 7
4.1 Reaktori ... 7
4.2 Lamput ... 8
4.2.1 Matalapainelamput ... 9
4.2.2 Keskipainelamput ... 10
4.2.3 Lampputeknologioiden vertailu ... 11
4.3 Lamppujen suojukset ... 12
4.4 Pyyhkijät ja puhdistuslaitteisto ... 13
4.5 Anturit ... 13
4.6 Instrumentointi ja automaatio ... 13
5 UV-laitteen sertifiointi ja annoksen määrittäminen ... 15
5.1 Annoksen määrittäminen ... 15
5.1.1 Kollimaattori ... 15
5.1.2 Biodosimetrinen annos ... 16
5.1.3 Keskimääräinen annos ... 16
5.1.4 Minimiannos ... 17
5.2 Eri maiden säädöksiä ja standardeja ... 17
6 Laitteen mitoitus ja valinta ... 18
6.1 Tärkeät parametrit ... 18
6.2 Mitoitusvirtaama ... 18
6.3 Vedenlaatu ... 18
7 UV-laitteiston käyttö ja huolto ... 20
7.1 Käyttötarkkailu ... 20
7.2 Lampunsuojusten puhdistus ... 21
7.2.1 Mekaaniset pyyhkijät ... 21
7.2.2 Kemiallinen puhdistus ... 21
7.2.3 Pesutiheyksiä Suomessa ... 22
7.3 Käyttökokemuksia Suomesta ... 23
7.3.1 Huomioita laitteiden käytöstä ... 24
7.4 Käyttöturvallisuus ... 25
8 UV-laitteen sijoittaminen laitokselle ... 26
9 Kustannukset ... 28
9.1 Hankintakustannukset ... 28
9.2 Käyttökustannukset ... 29
10 UV-desinfioinnin etuja ja haittoja ... 30
11 Tarjouspyyntö ja mitoitus ... 31
12 Kirjallisuus ... 32
13 Liitteet ... 33

Liiteluettelo

Liite 1. Mikrobien inaktivoimiseen tarvittavia annoksia
Liite 2. SAK- eli absorptiokertoimia
Liite 3. UV-laitteen hankintaohjelma
Liite 4. Desinfiointimenetelmien ominaisuuksien vertailutaulukko
Liite 5. Sanastoa ja käsitteitä
Liite 6. UV-laitteiden toimittajien yhteystietoja
Liite 7. Tarkistuslistat UV-laitteen käytöntarkkailuun ja hankintaan

1 JOHDANTO

Suomessa vesihuolto on pääosin hyvin toimivaa ja talousvedenlaatu on hyvää. Veden mikrobiologinen saastuminen on kuitenkin mahdollista. Suomessa raportoitiin (Terveyden ja hyvinvoinninlaitos) vuosina 1997-2012 79 vesiepidemiaa (veden välityksellä leviävä sairaus), joissa sairastui yhteensä lähes 29 000 ihmistä. Näistä pääosa johtui raakaveden saastumisesta pohjavesilaitoksilla. Pintavesilaitoksilla monivaiheinen veden puhdistus ja desinfiointi turvaa veden laadun, mutta pohjavesilaitoksilla vettä ei edelleenkään aina desinfioida ennen verkostoon johtamista.

Pohjaveden desinfiointia ei ole koettu aina tarpeelliseksi, sillä pohjavesi on yleensä sellaisenaan juomakelpoista. Pohjavesi voi kuitenkin likaantua mikrobiologisesti esim. runsaiden sateiden yhteydessä, mikä saatetaan huomata vasta sairastapausten ilmaannuttua. UV-desinfiointia onkin suositeltavaa käyttää veden mikrobiologisen laadun varmistamiseen. Desinfioinnin varmistamiseksi UV-laite pidetään käytössä jatkuvasti eikä siitä aiheudu haittoja veden laadulle.

Ultraviolettisäteilyn mikrobeja tuhoava vaikutus on tiedetty jo viime vuosisadalla Sveitsi ja Itävalta ovat olleet Euroopassa UV-desinfioinnin edelläkävijöitä viisi- ja kuusikymmenluvuilta lähtien. USA:ssa UV-laitteita on otettu käyttöön useilla laitoksilla 20-luvulla ja Marseillessa Ranskassa jo vuonna 1907. UV-desinfiointi on havaittu helppokäyttöiseksi ja turvalliseksi varokeinoksi veden laadun varmistamisessa myös Suomessa. Vaikka UV-desinfioinnilla ei voidakaan turvata veden laadun säilymistä vesijohtoverkostossa, se tuhoaa oikein mitoitettuna ja käytettynä tehokkaasti laitokselta lähtevän veden bakteerit, virukset, alkueläimet ja niiden kystat. UV desinfioinnissa ei synny ei-toivottuja sivutuotteita kuten kloorauksessa ja se tuhoaa tehokkaasti klooria erittäin hyvin kestäviä alkueläimiä.

Tämän oppaan avulla halutaan lisätä tietoisuutta UV-desinfioinnin perusteista ja käytöstä ja laitteiden valinnasta vesilaitokselle. UV-desinfioinnin tehokkuus edellyttää laitteiden oikeaa valintaa, mitoitusta, asennusta, käyttöä ja huoltoa.

2 DESINFIOINNIN PERIAATTEISTA

Suomessa talousveden terveysriskit aiheutuvat pääosin mikrobiologisten taudinaiheuttajien esiintymisestä. Vesilaitokset käyttävät desinfiointia veden hygieenisen laadun turvaamiseen. Primääridesinfioinnilla tuhotaan raakavedessä olevat tautia aiheuttavat mikrobit ja jälkidesinfioinnilla estetään mikrobien lisääntyminen verkostossa. Desinfiointiin käytetään UV-valoa, otsonia ja kloorikemikaaleja. Liitteessä 4 on esitetty taulukossa eri desinfiointimenetelmien ominaisuuksia.

Klooria käytetään yleisesti, sillä se on tehokas ja melko edullinen desinfiointimenetelmä. Lisäksi kloorauksella on jäämävaikutus, joka rajoittaa verkoston bakteerikasvua. Kloorin käytön haittoja voivat olla muutokset veden aistinvaraisesti havaittavassa laadussa, terveydelle haitalliset sivutuotteet, niiden kertyminen luonnossa, korroosio ja suhteellisen suuri tarvittava viipymä (allastilavuudet). Osa mikrobeista, kuten eräät alkueläimet, ovat hyvin kestäviä kloorille. Otsoni ja klooridioksidi tuhoavat tehokkaasti mikrobeja ja niillä on myös muita positiivisia vaikutuksia veden laatuun kuten makuun ja hajuun. Otsonointia ja klooridioksidia käytetään tällä hetkellä Suomessa lähinnä pintavesilaitoksilla. Otsoni ja klooridioksidi ovat toteutukseltaan kloorausta vaativampia. Otsonointi on menetelmänä kallis eikä sillä ole verkostovaikutusta. Klooridioksidin säilyvyys verkostossa on parempi kuin natriumhypokloriitilla.

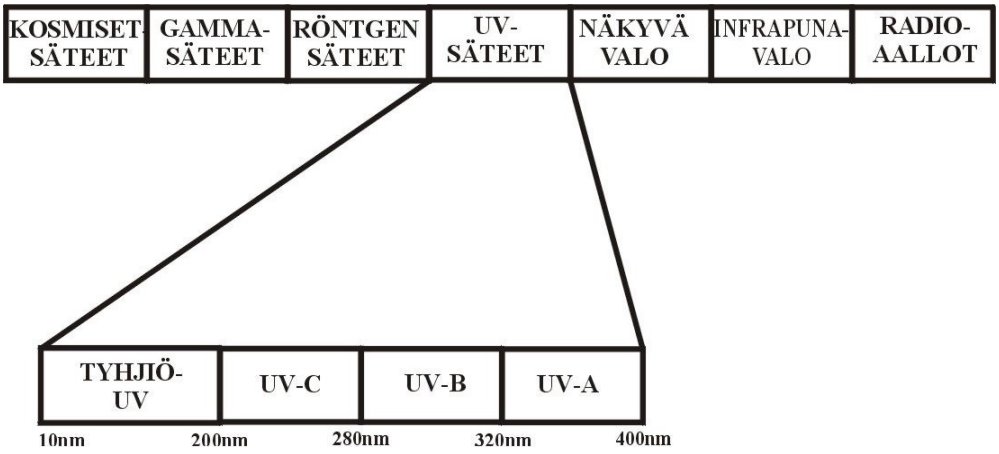
UV-desinfiointi on tehokas menetelmä bakteerien, virusten, alkueläinten ja niiden kystien tuhoamiseen vedessä. Se ei kuitenkaan anna suojaa verkostossa, joten verkoston kunnosta ja laajuudesta riippuen voidaan UV-desinfioinnin lisäksi tarvita jälkidesinfiointi. Tähän käytetään usein pientä klooriannosta tai klooriamiinia. Näin käyttäen UV-desinfiointia primäärisenä desinfiointimenetelmänä saadaan raakaveden mikrobit tuhottua ja desinfioinnin kemiallisten sivutuotteiden määrä vähenee.

Erilaisilla suodattimilla ja erityisesti aktiivihiilisuodattimilla kasvaa heterotrofisia bakteereita. Vaikka näiden karkaaminen ei olisikaan suoranainen ongelma, voidaan mahdollisia haittoja estää inaktivoimalla bakteerit ultraviolettikäsittelyllä.

3 ULTRAVIOLETTIDESINFIOINNIN PERUSTEET

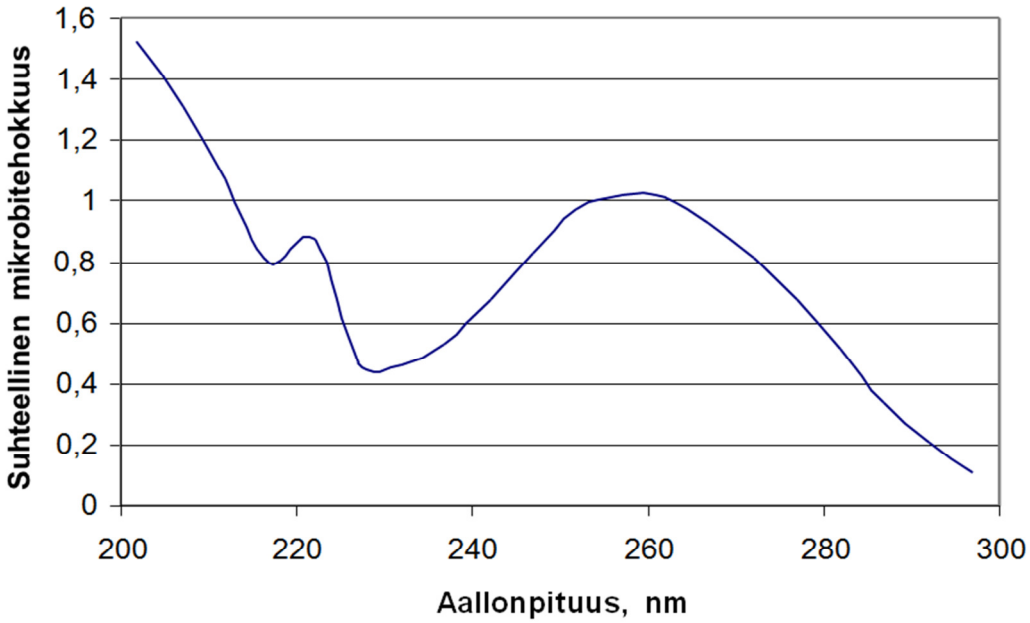
3.1 UV-VALO

Ultraviolettivalo sijoittuu näkyvän valon ja röntgensäteilyn välille. UV-aallonpituusalueen jakautuminen on esitetty kuvassa 1. Desinfiointiin soveltuu UV-C –alue optimin ollessa välillä 245…285 nm. (1 nm = 0,000 000 001 m).



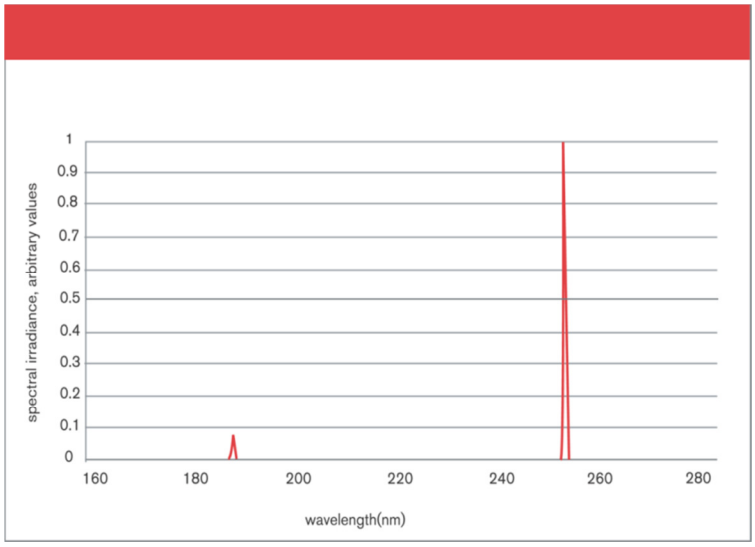
Kuva 1 Ultravioletin aallonpituusalueen sijoittuminen säteilyspektriin

UV-valon desinfioiva vaikutus perustuu siihen, että UV-valo tunkeutuu tehokkaasti mikrobien soluihin ja tuhoaa solujen DNA-molekyyliketjuja. Kun DNA-ketjut vaurioituvat, ne eivät pysty enää kahdentumaan, joten mikrobit eivät enää kykene lisääntymään vaan ovat inaktivoituneet. UV-valo, jonka aallonpituus on 254 nm, adsorboituu tehokkaimmin DNA-molekyyleihin. DNA:n absorptio on esitetty kuvassa 2. UV-valo voi aiheuttaa muutoksia myös solun proteiineissa ja entsyymeissä haitaten mikrobin elintoimintoja.

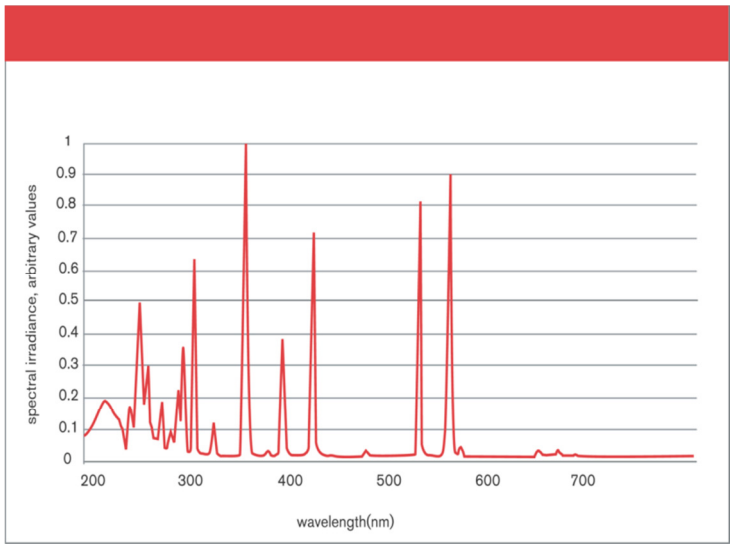


Kuva 2 DNA:n absorptiokäyrä

UV-desinfioinnissa käytetään matalapaine- ja keskipainelamppuja. Matalapainelamput lähettävät pääosin desinfioivaa aallonpituutta 254 nm, mutta keskipainelamppujen lähettämä valonpituusalue on paljon laajempi (185-600 nm). Koska lyhyet aallonpituudet (alle 240 nm) voivat hapettaa vedessä olevaa nitraattia nitriitiksi ja aiheuttaa myös muiden ei-toivottujen sivutuotteiden muodostumisen veteen, keskipainelamppujen suojaputket on käsiteltävä tai pinnoitettava niin, etteivät ne läpäise lyhyitä aallonpituuksia.



Kuva 3 Matalapainelamppujen lähettämä aallonpituusalue



Kuva 4 Keskipainelamppujen lähettämä aallonpituusalue. Alle 240 nm säteily suodatetaan pois pinnoittamalla tai käsittelemällä kvartsilasiputken pinta.

3.2 UV-ANNOS

Mikrobien inaktivoimiseen vaikuttaa käytetty UV-säteilyannos. UV-annos määritellään UV-C –alueen valon voimakkuuden eli intensiteetin ja vaikutusajan tulona:

$$D = I \cdot t \qquad (1)$$

missä D = UV-annos, J/m² = 0,1 mJ/cm²
I = valon intensiteetti, W/m². Usein käytetään yksikköä mW/cm², joka on 10 W/ m²
t = altistusaika, s

Desinfiointituloksen kannalta ei ole merkitystä käytetäänkö tiettyä valon intensiteettiä tai säteilytysaikaa. Tärkeintä on, että näiden tulo on riittävän suuri. Eri mikrobien inaktivoimiseen tarvitaan erisuuruisia UV-annoksia. Mikrobien inaktivoimiseen tarvittavia annoksia on esitetty liitteessä 1. Useimmat bakteerit, virukset ja hiivat tuhoutuvat pienemmillä annoksilla kuin homeet ja alkueläimet.

UV-annoksen ilmoittamiseen on useita tapoja, kuten biodosimetrinen-, keskimääräinen- ja minimiannos. Nämä on esitetty tarkemmin kappaleessa 5.1. Biodosimetrinen annos on ainoa puolueettoman laitoksen testaukseen ja usean maan säädöksiin (Saksa, Sveitsi, Itävalta, Norja, USA) perustuva mitoitustapa. Keskimääräinen- ja minimiannos taas perustuvat jokaisen laitetoimittajan omaan mitoitukseen, jossa käytetään apuna mm. mallinnusta.

3.3 UV-TRANSMITTANSSI ELI LÄPÄISEVYYS

UV-desinfioinnin ja – laitteen mitoituksen kannalta veden UV-valon läpäisevyys (%) on tärkeä parametri. UV-laite mitoitetaan käsiteltävän veden UV-läpäisevyyden eli transmittanssin perusteella. Veden UV-läpäisevyys vaihtelee ja mitoitus on tehtävä huonoimman mahdollisen arvon mukaan. Läpäisevyys ja absorbanssi mitataan laboratoriossa spekt-

rofotometrillä aallonpituudella 254 nm tietyn paksuista vesikerrosta kohti. Veden UV-läpäisevyys mitataan joko 10 mm (T10) tai 50 mm (T50) paksuisessa kvartsilasisessa kyvetissä. Tulosta ilmoitettaessa pitää aina ilmoittaa myös mittauksessa käytetyn kyvetin paksuus.

Läpäisevyys voidaan ilmoittaa myös termillä absorptiokerroin SAK, joka on riippumaton matkasta ja siten ominainen tietylle vedelle. SAK-kertoimia ja niiden ja absorbanssien muuntaminen transmittanssiksi on esitetty liitteessä 2. Taulukossa 1. on esitetty muutama yhteys SAK– ja transmittanssiarvojen välillä.

Taulukko 1 Veden transmittanssiarvoja ja matkasta riippumaton absorptiokerroin.

SAK	%T10	%T50
1	97,7	89,1
3	93,3	70,8
5	89,1	56,2

3.4 DESINFIOINTITEHOKKUUS

Desinfiointitehokkuus ilmoitetaan usein jäljelle jääneiden ja alkuperäisten mikrobien lukumäärän suhteena. Kun 10 % mikrobeista selviytyy UV-käsittelystä lisääntymiskykyisenä, kutsutaan tätä 1log-vähennykseksi (90% mikrobeista inaktivoituu). Jos mikrobeista selviytyy käsittelyssä 1 %, on kokonaisinaktivaatio 99%, jota kutsutaan 2log-vähennykseksi. Vastaavasti 4log-vähennyksessä 99,99 % mikrobeista tuhoutuu.

4 UV-DESINFIOINTILAITTEISTO

UV-desinfiointilaitteessa on reaktori, jonka sisällä on UV-lamppuja kvartsilasisten suojaputkien sisällä. Vesi johdetaan laitteeseen reaktorissa olevien laippojen kautta. Laitteiston sähköistys ja ohjauslaitteet on sijoitettu erilliseen ohjauskaappiin, joka kiinnitetään seinälle tai telineeseen. Laitteen tehoa ja toimintaa seurataan reaktorin sisään sijoitetun UV-anturin avulla, joka mittaa UV-valon intensiteettiä. Tarvittaessa laitteessa voi olla automaattisesti tai manuaalisesti liikuteltavat kvartsilasiputkia puhdistavat pyyhkimet.

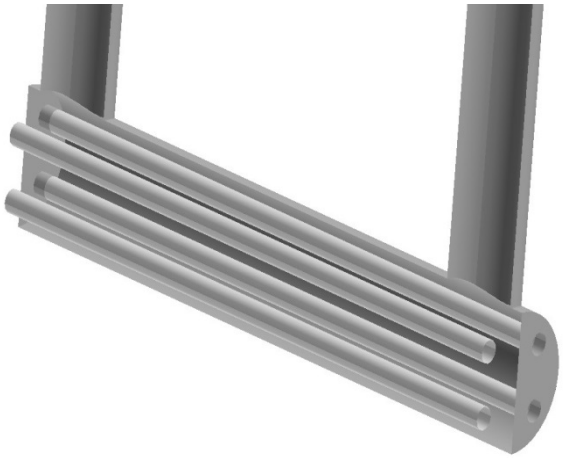
Kuva 5 UV-desinfiointilaitteisto

4.1 REAKTORI

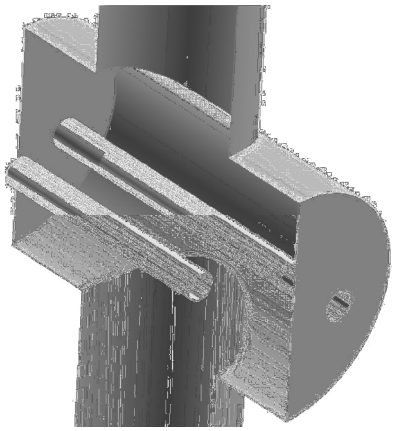
Talousveden desinfioinnissa käytetään UV-laitteita, joiden lieriön mallisen reaktorin sisälle on sijoitettu UV-lamppuja. Jäteveden desinfioinnissa käytetään yleensä avokanavaan sijoitettavia lamppukehikkoja. UV-laitteen reaktorissa on kaksi laippaa, joista toisesta johdetaan desinfioitava vesi sisään ja toisesta laipasta käsitelty vesi ulos. Laipat sijaitsevat joko samalla (U-mallinen laite) tai eri puolella (Z-mallinen) reaktoria tai vesi johdetaan reaktorin kyljessä olevasta laipasta sisään ja ulos reaktorin päädyssä olevasta laipasta. Reaktori kiinnitetään vesilaitoksen putkistoon laippaliitoksilla.

Lamput ovat ruostumattomasta teräksestä valmistetun reaktorin sisällä, joko virtauksen suuntaisesti (kuva 6) tai kohtisuoraan virtausta vastaan (kuva 7). UV-laitteen lamppujen lukumäärä riippuu käsiteltävän veden määrästä ja laadusta, lampputyypistä sekä käyttökohteesta.

Reaktoreiden sisälle asennetaan joskus levyjä, joilla ohjataan veden virtausta. Levyt estävät veden kulun lyhintä mahdollista reittiä reaktorin läpi ja samalla parantavat laitteen suorituskykyä. Reaktorissa pitää olla yhteet laitteen tyhjentämistä sekä laitteen pesua varten. Vesinäytteiden ottamista varten tarvitaan laippoihin kiinnitetyt näytteenottohanat. Reaktorin sisälle jäävän ilman poistamista varten tarvitaan myös venttiili.



Kuva 6 Poikkileikkauskuva UV-laitteesta, jossa on neljä lamppua. Lamput ovat virtauksen suuntaisesti. Sisääntuloja poistoputket voivat olla U-muodon sijaan myös eri suuntiin, esimerkiksi Z-mallisesti. Kuvassa on poistettu puolet laitteen ulkopinnasta.



Kuva 7 Poikkileikkauskuva UV-laitteesta, jossa on kaksi lamppua kohtisuoraan virtausta vastaan. Keskipainelamput sijoitetaan yleensä tällä tavoin. Kuvassa on poistettu puolet laitteen ulkopinnasta.

4.2 LAMPUT

Desinfioinnissa käytetyt lamput muistuttavat tavallisia loisteputkilamppuja. Loisteputkilamppu on päällystetty fluoresoivalla aineella, joka muuntaa UV-säteilyn näkyväksi valoksi. UV-lamput puolestaan ovat kirkkaita ja niissä käytetään kvartsilasia, joka läpäisee hyvin desinfioinnissa tarvittavan UV-valon. UV-lamppu on täytetty reagoimattomalla kaasulla ja pienellä määrällä elohopeaa tai elohopeaseosta. Reagoimattomana kanto-

kaasuna on usein argon. Kun UV-laite käynnistetään, sähkövirta ionisoi lampun sisällä elohopeahöyryn, joka lähettää sille ominaista säteilyä UVC-alueella.

Desinfioinnissa käytetään kahta erilaista lampputyyppiä, jotka eroavat elohopean kaasunpaineeltaan ja ne lähettävät säteilyä eri aallonpituuksilla. Matalapainelamppujen lähettämästä säteilystä pääosa (noin 90 %) on desinfioiva aallonpituutta 254 nm. Hyvin pieni osa säteilystä on aallonpituutta 185 nm. Keskipainelamppujen spektri on huomattavasti laajempi ja säteily on alueella 185…600 nm. Lyhyet aallonpituudet voivat hapettaa vedessä olevia orgaanisia ja epäorgaanisia yhdisteitä, jolloin veteen voi muodostua haitallisia sivutuotteita kuten nitriittiä ja mikrobeille käyttökelpoista orgaanista hiiltä (AOC). Tämän takia kvartsilasisuojus on käsiteltävä tai pinnoitettava niin, että se ei päästä lävitseen alle 240 nm aallonpituuksia.

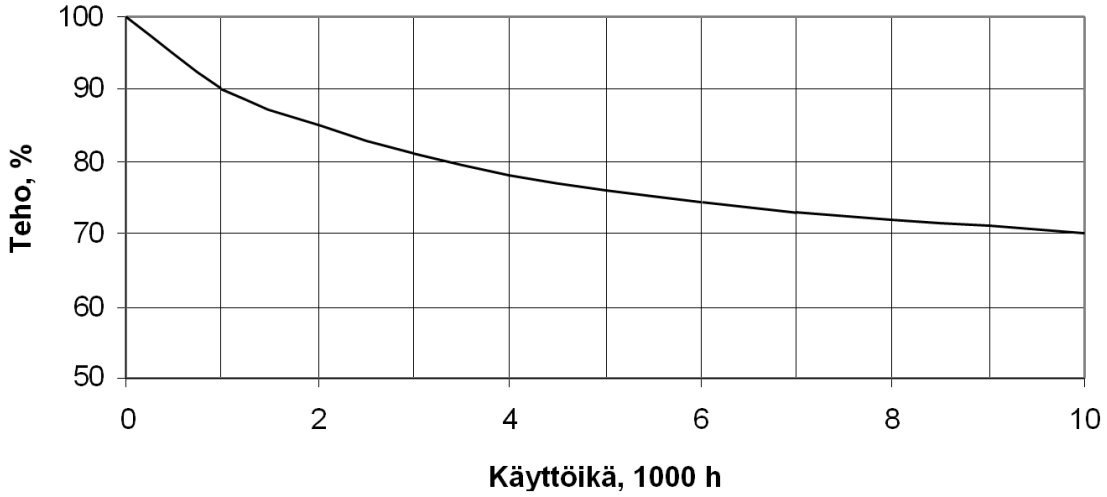
Lamppujen teho heikkenee ikääntymisen seurauksena. Tämä johtuu pääasiassa palaneiden elektrodihiukkasten tarttumisesta lampun kvartsilasin sisäpintaan, jolloin lamppu tummuu. Toinen ikääntymisen syy on lampun seinämateriaalin solarisaatio, jolloin lampun lasi muuttuu himmeäksi. Lamput on vaihdettava, kun niiden UV-intensiteetti laskee desinfioinnin kannalta kriittisen raja-arvon alle. Desinfiointilaitteistot mitoitetaan niin, että lamppujen UV-intensiteetti on riittävä vielä lamppujen käyttöiän lopussa.

UV-lamput tarvitsevat toimiakseen kuristimet, joiden avulla säädetään lampulle tulevaa sähkötehoa. Tällöin saadaan leikattua lamppujen käyttöiän alussa vallitsevaa ylitehoa ja säästetään samalla energiakustannuksissa. Myös lamppujen käyttöikä pitenee, kun niitä voidaan alussa käyttää pienemmällä sähköteholla.

4.2.1 Matalapainelamput

Matalapainelampun UV-säteily tapahtuu lähes yksinomaan aallonpituudella 254 nm, toinen säteilypiikki on aallonpituudella 185 nm. Lamppujen ikääntyminen on hidasta tyypillisen käyttöiän ollessa 10 000 – 14 000 tuntia. Käyttöiän alussa lampun teho alenee selvästi, mutta tehonlasku hidastuu muutaman sadan käyttötunnin jälkeen (kuva 8). Lampun käyttöikä riippuu myös sytytysten määrästä, sillä yksi sytytys ja sammutus vastaa tunnin käyttöaikaa. Normaaleissa olosuhteissa matalapainelamppu pysyy käyttökuntoisena ainakin vuoden.

Matalapainelampun UV-teho lampun pituutta kohti on pieni, vaihdellen välillä 0,2-0,3 W/cm. Lampputyypin desinfiointiteho on riippuvainen käsiteltävän veden lämpötilasta optimin ollessa 40 °C. Lämpötila vaikuttaa matalapainelampun sisältämän elohopean höyrynpaineeseen ja samalla tuotettuun valotehoon, joten matala vedenlämpötila voi laskea lampun tehoa. Veden lämpötilan ollessa alle 4 °C voi joillain matalapainelampuilla olla syttymisvaikeuksia, mutta on olemassa matalapainelamppuja, jotka toimivat matalissakin lämpötiloissa. Käyttölämpötila-alueissa on lamppukohtaisia eroja ja lampuille on määritelty toiminta-alueet. Matalapainelamppujen säteilytehoa ei yleensä säädetä käytetyn virtaaman mukaan, koska niiden energiankulutus on niin pieni, että ei saavuteta merkittävää säästöä käyttökustannuksissa.



Kuva 8 Matalapainelampun säteilyvuon aleneminen lampun ikääntyessä.

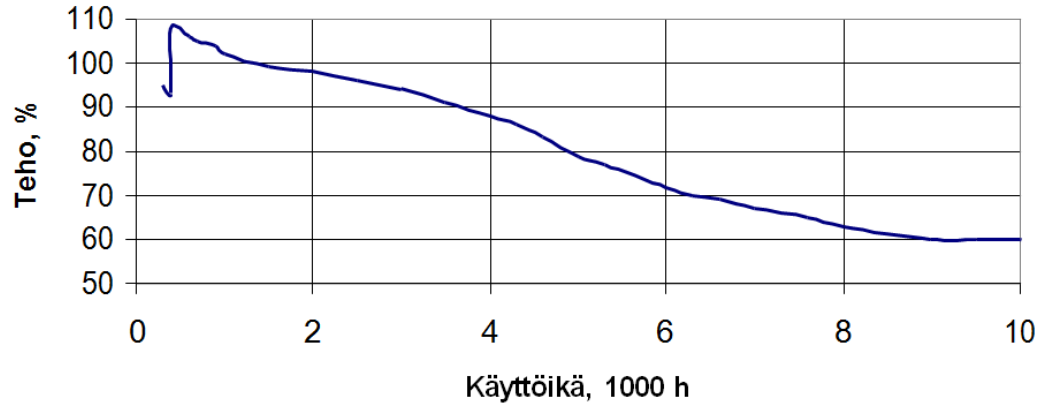
4.2.2 Keskipainelamput

Keskipainelamppujen säteily jakautuu aallonpituusalueelle 180…1370 nm. Osa lampun tuottamasta säteilystä pitää leikata pois käyttämällä sopivaa lampun seinämateriaalia tai pinnoitusta, koska lampun halutaan säteilevän vain desinfioivilla aallonpituuksilla. Kaikki aallonpituudet eivät ole yhtä tehokkaita mikrobien inaktivoimisessa, vaan tehokkuus riippuu DNA:n absorptiosta, joka on voimakkaimmillaan välillä 240 – 285 nm (kts. kuva 2).

Keskipainelampuilla säteilyteho UV-C –alueella on 10 – 15 W/cm lampun pituutta, nykyään jopa 30 W/cm. Tämän takia keskipainelamput ovat lyhyempiä kuin matalapainelamput. Valolähde säteilee usealla aallonpituudella ja 40 – 50 % tuotetusta valosta sopii desinfiointiin.

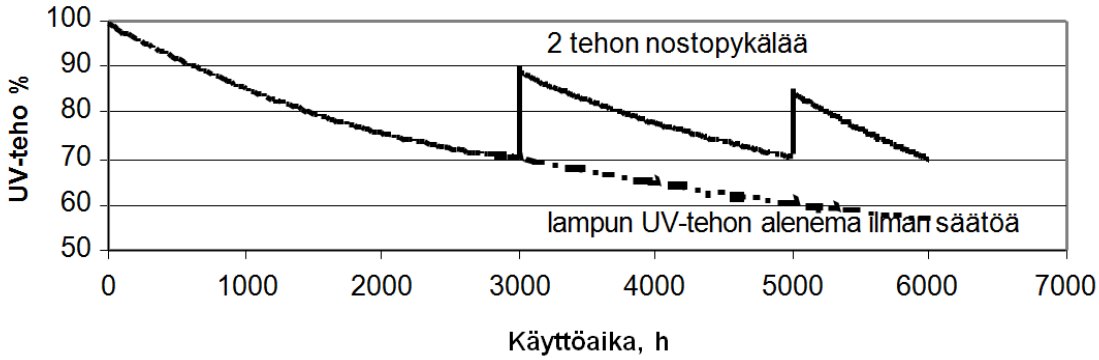
Keskipainelampun sisältämä elohopea on kaasumaisessa muodossa. Lamppujen käyttölämpötila on noin 400 – 800 °C, joten veden lämpötilalla ei ole merkitystä lamppujen desinfiointitehoon. Korkeasta käyttölämpötilasta johtuen lampun suojaputket likaantuvat nopeasti ja laitteissa tarvitaan automaattiset pyyhkijät. Keskipainelamppuja käytettäessä virtaus säteilykammiossa ei saa pysähtyä pitkäksi aikaa, jotta laite ei ylikuumene ja vaurioidu.

Keskipainelampun käyttöikä on noin 6000-10000 tuntia. Keskipainelamppujen kuluttamaa energianmäärää kannattaa säätää virtaaman mukaan etenkin suurilla virtaamilla ja/tai virtaamanvaihteluilla. Keskipainelampun tuottama UV-säteily on suunnilleen suoraan suhteessa syöttöjännitteeseen, joka myös määrittää lamppujen keskimääräisen syöttötehon. Lamppujen käyttämä jännite (3 – 5kV) vaatii muuntajan, joka mahdollistaa tehon säätämisen tarpeen mukaan esimerkiksi virtaaman tai vedenläpäisevyyden muuttuessa. Lisäämällä sähkötehoa lamppujen ikääntyessä saadaan tuotettua suunnilleen sama määrä valoa koko ajan.



Kuva 9 Esimerkki tehonlaskusta keskipainelampun ikääntyessä.

Keskipainelampuilla voidaan käyttää esimerkiksi neliportaista tehonsäätöä. Tällöin UV -laitteeseen on asetettu annoksen raja-arvo, joka tulee koko ajan ylittää. Mikroprosessori ohjaa lamppujen tehoa virtaama- ja läpäisevyysmittauksen avulla. Tehonsäädöllä saadaan säästettyä energiaa ja pidennettyä lamppujen käyttöikää. Tällä hetkellä käytettävissä sovelluksissa tulevaa sähkötehoa voidaan säädellä välillä 60 – 100 % nimellisestä, jolloin UV-valon määrä muuttuu karkeasti ottaen samassa suhteessa.



Kuva 10 Esimerkki keskipainelampun tehonsäädöstä. Alussa käytetään pienempää sähkötehoa ja lampun ikääntyessä nostetaan UV-tehoa nostamalla sähkötehoa. Samalla pidennetään lampun käyttöikää ja säästetään energiaa, kun lamppu on uusi.

4.2.3 Lampputeknologioiden vertailu

Lamppuja kehitetään jatkuvasti ja tämä vertailu on tehty vuoden 2013 tiedoilla. Muita olemassa olevia lampputyyppejä, kuten Led-UV, ei ole eritelty tässä, sillä niiden käyttö talousveden desinfioinnissa ei ole yleistynyt eikä käytännön kokemuksia ole saatavilla.

Taulukko 2 Matala- ja keskipainelamppujen ominaisuuksia.

	Matalapainelamppu	**Keskipainelamppu**
Säteilyspektri	Desinfioivalla alueella pääosin	Myös ei-desinfioivalla alueella
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 (4)* – 60 °C	ei rajoitusta
Lampun lämpötila	40 °C	400 – 900 °C
Käyttöikä (takuu)	10 000-14 000 h	6000-10 000 h

*) vaihtelee lampun valmistajasta riippuen

Keskipainelamppujen säteily jakaantuu laajemmalle aallonpituusalueelle, joten perimän lisäksi ne hajottavat mikrobin elinkelpoisuudelle tärkeitä proteiineja ja entsyymejä. Tällä on merkitystä erityisesti mikrobien uudelleenaktivoinnin estämisessä, sillä proteiineilla ja entsyymeillä ei ilmeisesti ole korjausmekanismeja. DNA:ssa syntyneiden vaurioiden korjaamiskyky puolestaan riippuu mikrobista ja vaatii yleensä valoa. Talousvesisovelluksissa käytetyillä UV-annoksilla (biodosimetrinen annos) mikrobien uudelleenaktivointi ei kuitenkaan ole merkittävä.

Keskipainelamppujen säteilyteho on suurempi kuin matalapainelampulla, joten saman vesimäärän käsittelyyn riittää pienempi määrä lamppuja. Keskipainelamppujen energiankulutus on kuitenkin suurempi ja hyötysuhde huonompi kuin matalapainelampuilla.

Keskipainelampun sähkönkulutus on suurempi kuin matalapainelampulla, mutta matalapainelamppujen vaihtokustannus on suurilla virtaamilla usein isompi. Laitteistojen investointi- ja käyttökustannukset vaihtelevat laitoskohtaisesti, jolloin paras lampputeknologia riippuu käyttötilanteesta ja olosuhteista, kuten virtaamasta, vedenlaadusta, laitoksella käytettävissä olevasta tilasta ja putkistoissa tarvittavista muutostöistä. Keskipainelamppuja käytettäessä pitää aina varmistua, että suojaputket ovat sellaisia, että ne eivät läpäise alhaisia aallonpituuksia.

4.3 LAMPPUJEN SUOJUKSET

Lamput on sijoitettu säteilykammiossa kvartsilasista valmistettujen suojaputkien sisälle. Suojukset erottavat lamput virtaavasta vedestä ja suojaavat niitä mekaaniselta rikkoutumiselta ja veden paineelta. Suojusten avulla tasataan lamppujen lämpötilan vaihteluita ja estetään lamppujen pinnan likaantumista.

Matalapainelampuilla kvartsisuojukset ovat olennaisia estämään lamppujen lämpötilan ja säteilytehon lasku, ja keskipainelampuilla estämään saostumien syntymistä lampun seinämille. Suojaputken avulla voidaan myös suodattaa pois tarpeettomat aallonpituudet. Suojukset ovat rakenteeltaan suljettuja, joten lampun vaihto onnistuu, vaikka reaktorin sisällä on vettä.

Kvartsilasi haurastuu käytössä hitaasti ja se muuttuu himmeäksi. Keskipainelampuilla kvartsisen suojaputken läpäisevyys voi pudota 20 000 – 30 000 käyttötunnin aikana solarisaation vaikutuksesta 50 %. Matalapainelampuilla solarisaatio tapahtuu hitaammin.

Saostumien syntymisen takia kvartsilasiputkien puhdistaminen on välttämätöntä, sillä niiden likaantuminen laskee valotehoa. Puhdistustiheys riippuu käytetystä lampputyypistä sekä vedenlaadusta.

4.4 PYYHKIJÄT JA PUHDISTUSLAITTEISTO

Keskipainelampuilla käytetään lähes aina kvartsilasiputkien automaattisia pyyhkijöitä korkeasta lämpötilasta johtuvan likaantumisen takia. Pyyhkijöitä, joko automaattisia tai manuaalisia, voidaan käyttää myös matalapainelamppujen kanssa, jos vedenlaatu on sellainen, että on odotettavissa, että putket likaantuvat nopeasti. Pyyhkijöiden lisäksi lamput ja reaktori vaativat ajoittaisen pesun myös kemikaalilla, esimerkiksi hapolla, koska mekaaninen puhdistus ei poista tehokkaasti kaikkea sakkaa suojaputken pinnalta. Kemiallinen puhdistus voidaan tehdä joko käsin tai pesukemikaalin kierrätyslaitteistolla.

4.5 ANTURIT

Mikrobien inaktivointi UV-käsittelyssä riippuu laitteen UV-säteilyn intensiteetistä ja siten lamppujen säteilytehosta. Lamppujen ikääntymisestä ja suojalasien likaantumisesta johtuen UV-säteilyn intensiteetti heikkenee ajan myötä. Myös vedenlaatu voi muuttua ja vaihdella. Jotta olosuhteiden vaihdellessa varmistutaan riittävästä desinfiointitehosta, täytyy valon intensiteettiä tarkkailla. Käytännössä juomaveden desinfioinnissa käytetään jatkuvaa UV-intensiteetin mittausta anturilla, jolloin valon määrän lasku havaitaan helposti ja nopeasti.

UV-anturi pystyy mittaamaan pääasiassa yksittäisen lampun aiheuttamaa intensiteettiä mittauspisteessä. Tällöin oletetaan, että jokainen lamppu vanhenee ja likaantuu samalla tavoin. Siksi kaikki lamput pitää vaihtaa kerralla tai huolehtia siitä, että anturi mittaa vanhinta lamppua. Asetettaessa lamppua suojalasin sisälle pitää varmistaa, että sähköä johtava lanka ei tule anturin eteen.

UV-anturi on kalibroitava säännöllisesti valmistajan ohjeen mukaan. Kalibroinnin aikana UV-laitteen läpi pitää virrata vesi, jotta kalibrointi onnistuu. UV-antureiden rakenne ja sijoittaminen säteilykammioon on määritelty muun muassa Itävallan ja Saksan UV-desinfiointistandardeissa.

4.6 INSTRUMENTOINTI JA AUTOMAATIO

Laitteistoon liittyy ohjausyksikkö, joka sisältää tarvittavat muuntajat, kuristimet ja näytön laitteen käyttämiseksi. Ohjausyksikkö riittää laitteen käsikäyttöön. UV-laitteen sähkökeskukseen tuodaan 1- tai 3-vaihevirtaa (230 tai 400 V) ja siitä viedään käyttö- ja ohjaustiedot kaukovalvontaan.

Valvonnan ja ohjauksen minimivaatimuksia ovat:

- jokaisen lampun toiminnan tarkkailu ja hälytys, jos lamppujen toiminnassa on häiriöitä
- lamppujen intensiteettimittaus reaktoriin sijoitetun valon intensiteettiä mittaavan anturin (tai antureiden) avulla.
- laskuri lamppujen käyttöiän kirjaamiseksi
- ylikuumenemisen estävä lämpökatkaisu, jos laitteen reaktorissa lämpötila nousee liikaa tai varmistetaan, että reaktorin läpi virtaa aina pieni virtaus (esimerkiksi näytteenottohanan kautta), mikä riittää jäähdyttämään laitteen

- Jos UV-laite sammuu tai hajoaa, pitää verkostopumppauksen pysähtyä kunnes UV-desinfiointi on uudelleen päällä ellei muulla tavoin ole varmistettu verkostoon lähtevän veden hygieenisyyttä,
- UV-laite saavuttaa täyden desinfiointitehon vasta n. 5-10 minuutin kuluttua käynnistyksestä: automaatiolla pitää varmistaa, että verkostopumppaus käynnistyy vasta, kun UV-laite on saavuttanut riittävän tehon

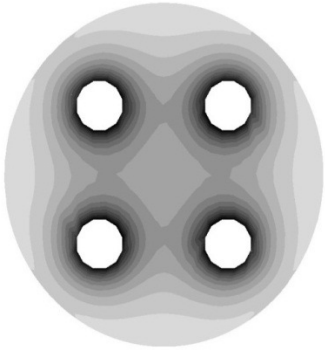
Laitteen mitoitusvirtaamaa, jolla saavutetaan biodosimetrinen annos 400 J/m², ei saa ylittää, jotta varmistetaan desinfioinnin tehokkuus. Virtaamatiedot voidaan kerätä erillisellä virtaamamittarilla tai esimerkiksi pumppujen käyntitietojen avulla.

Suurissa yksiköissä veden UV-läpäisevyyden jatkuva mittaus yhdistettynä virtaamamittaukseen auttaa säätämään käytettyjen laitteiden tai lamppujen lukumäärää sekä tehoa.

5 UV-LAITTEEN SERTIFIOINTI JA ANNOKSEN MÄÄRITTÄMINEN

5.1 ANNOKSEN MÄÄRITTÄMINEN

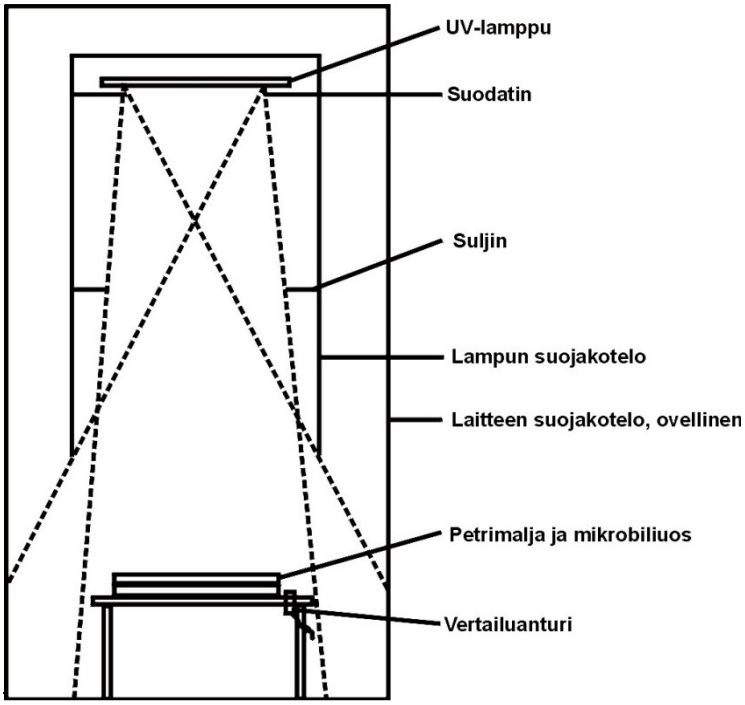
Valon intensiteetti säteilykammiossa ei ole tasainen ja lisäksi veden virtaus laitteen läpi on monimutkaista ja altistusaika ei riipu yksinkertaisesti viipymästä vaan jokaisen mikrobin kulkemasta reitistä. Seuraavassa esitetään muutamia annoksen laskentatapoja sekä kolimaattori, jolla voidaan tutkia laboratoriossa eri mikrobien vaatimia UV-annoksia.



Kuva 11 Valon intensiteetin jakautuminen nelilamppuisessa säteilykammiossa. Mitä tummempi alue, sitä voimakkaampi on valo.

5.1.1 Kollimaattori

Kollimaattori on laboratoriolaite, jolla mitataan eri mikrobien herkkyyttä valolle ja mikrobin tuhoamisen tarvittavan UV-annoksen suuruus. Laitteessa on UV-lampulle kotelo, josta lähtee pitkä kollimaattoriputki. Näiden välissä on sulkija, jonka avulla säädetään valotusaikaa. Putken alapuolella on paikka petrimaljalle, jossa säteilytettävä mikrobiliuos on. Kollimaattorin avulla valosta saadaan mahdollisimman yhdensuuntaista, jolloin säteilytehon mittaaminen on tarkempaa. Laitteen avulla tutkitaan, millainen UV-annos tarvitaan halutun tuhoutumisasteen saavuttamiseksi tietyllä mikrobilla.



Kuva 12 Kollimaattorin rakenne

5.1.2 Biodosimetrinen annos

Biodosimetrinen annos on luotettavin ja puolueettoman testilaitoksen tekemään testaukseen perustuva mitoitusarvo UV-laitteelle. Kokeessa laitteeseen syötetään vettä, johon on sekoitettu testimikrobeja. Inaktivoitumisaste saadaan tutkimalla mikrobien määrä ennen ja jälkeen UV-käsittelyn. Biodosimetrikokeessa käytetään yleisesti UV-säteilyä hyvin kestäviä *Bacillus subtilis* - itiöitä, joiden avulla määritetään, missä olosuhteissa (veden virtausnopeudelle ja UV-läpäisevyydelle) laite tuottaa halutun annoksen, jolla testiorganismit tuhoutuvat 99,99 %:sti (=log4).

Suuremmilla vesilaitoksilla on muualla maailmassa (esim. Tukholmassa, USAssa) tehty myös omia pilot-kokeita oikean laitemitoituksen hakemiseksi ja varmistamiseksi.

Jotta laite antaa myös käytön aikana oikean biodosimetrisesti sertifioidun annoksen, täytyy laitetta huoltaa ja puhdistaa ohjeiden mukaan ja käyttää UV-lamppuja, jotka ovat tyypiltään samoja kuin sertifioinnin yhteydessä käytetyt.

5.1.3 Keskimääräinen annos

Laitteen tuottama UV-annos voidaan laskea keskimääräisenä. Tämä tarkoittaa sitä, että säteilykammiossa lasketaan keskimääräinen intensiteetti ja kerrotaan tämä keskimääräisellä veden viipymällä. Näin saadut arvot antavat optimistisemman kuvan kuin biodosimetrinen testi, koska veden sekoittuminen reaktoreissa on epätäydellistä ja UV-valo ei jakaannu täydellisesti.

5.1.4 Minimiannos

Laitteen tuottaman laskennallisen annoksen ilmoittamiseksi käytetään myös minimiannosta, jonka käsiteltävän vesimäärän jokainen osa saa vähintään. Laskennassa käytetään säteilykammion minimi-intensiteettireitin ja keskimääräisen viipymän tuloa. Minimiannoksella varmistetaan, että jokainen mikrobi saa vähintään ko. annoksen. Myös minimiannokset, kuten keskimääräinen annoskin, on laitetoimittajien itsensä määrittämä.

5.2 ERI MAIDEN SÄÄDÖKSIÄ JA STANDARDEJA

Taulukkoon 3 on listattu eri maissa talousveden desinfioinnissa käytettyjä UV-annosvaatimuksia.

Itävallan ja Saksan säädöksissä on määritelty kuinka laitteiden biodosimetriset testaukset tulee suorittaa. Lisäksi niissä on määritelty mm. UV-anturin rakenteeseen ja niiden sijoittamiseen reaktorissa liittyviä seikkoja. Norjassa UV-laitteiden pitää olla Folkehelseinstituttetin (FHI) tyyppihyväksymiä, mutta FHI ei tee erikseen testauksia, vaan he edellyttävät hyväksyttäviltä laitteilta, että ne on biodosimetrisesti testattuja ja hyväksyttyjä edellä mainittujen standardien mukaan. USA:n USEPAn antamat säädökset löytyvät UVDGM-manuaalista (Ultra Violet Disinfection Guidance Manual). Säädökset ovat hyvin samanlaisia kuin itävaltalaisilla ja saksalaisilla, mutta siellä on myös mahdollisuus testata laite kyseisellä laitoksella ja testiorganismina käytetään eri mikrobia. USEPA edellyttää myös jatkuvatoimista UV-läpäisevyyden mittausta laitoksella ennen UV-desinfiointia.

Taulukko 3 Annossuosituksia eri maissa.

Maa	**Annos J/m²**	**Annossuosituksen laskentaperuste ja lähde/suosituksen antaja**
Itävalta	400	biodosimetrinen*, ÖNORM M5873-1, 2001
Norja	400	biodosimetrinen*, Folkehelseinstituttet, 2002
Saksa	400	biodosimetrinen*, DVGW Technische Regel W 294, Oct. 1997
USA	400	biodosimetrinen, myös testaus suurilla laitoksilla on vaihtoehto, USEPA 2006 Guidance Manual for the Long term 2 En
Sveitsi	400	biodosimetrinen*, SVGW
Ruotsi	400	biodosimetrinen*, suositus oppaassa: Svensk Vatten Råd och riktlinjer för UV-ljus vid vattenverk 2009

*) biodosimetrinen annos 400 J/m³, joka tuhoaa 99,99 % *Bacillus subtilis* – itiöistä eli saavutetaan log4-reduktio

6 LAITTEEN MITOITUS JA VALINTA

6.1 TÄRKEÄT PARAMETRIT

Kun UV-laitetta mitoitetaan ja valitaan, kolme tärkeintä tekijää ovat:

1. Desinfioitavan veden maksimivirtausmäärä tunnissa (m^3/h)
2. Desinfioitavan veden UV-läpäisevyys (%) huonoimmillaan
3. Haluttu annos eli biodosimetrinen annos 400 m^2 (tai laitoskohtaisella testauksella määritelty annos)

Lisäksi tulee tarkastella seuraavia asioita:

1. Riittääkö yksi laite vai halutaanko varmistaa desinfiointi laitteen huollon/rikkoutumisen aikana toisella tai useammalla laitteella
2. Minne prosessiin UV-laite sijoitetaan niin, että laitokselta lähtevän veden laatu turvataan parhaiten ja niin, että kvartsilasiputkien likaantuminen minimoidaan
3. Mitenkä laitetta ohjataan niin, että varmistetaan veden hygienia myös sähkökatkojen ja muiden häiriöiden aikana
4. Valitaanko laite, jossa on matala- vai keskipainelamput. Jos valitaan keskipainelamput, pitää varmistua, että suojaputket eivät läpäise alle 240 nm aallonpituutta.
5. Laitteen puhdistus: tarvitaanko automaattiset tai manuaaliset kvartsilasiputkien pyyhkijät tai kemiallinen puhdistuslaitteisto. Pyyhkijöitä ei yleensä voi asentaa laitteeseen jälkikäteen ja kemiallista puhdistuslaitteistoa varten tarvitaan kemikaalin kierrättämistä varten yhteet reaktorin laippoihin.

6.2 MITOITUSVIRTAAMA

UV-desinfiointi mitoitetaan pääsääntöisesti laitoksen tuottamalle suurimmalle virtaamalle tunnissa (m^3/h). Laite on mitoitettava niin, että vielä lamppujen käyttöiän lopussa saadaan maksimivirtaamalle biodosimetrinen annos 400 J/m^2. Tällä tavoin varmistetaan, että desinfiointiteho on riittävä virtaaman vaihteluista riippumatta. Yleensä mitoitusvirtaamana voidaan käyttää verkostopumppujen verkostoon pumppaamaa maksimivirtausta.

6.3 VEDENLAATU

Laitteen mitoitusta varten tarvitaan huonoin mahdollinen UV läpäisevyys ja siksi mittaustietoa pitää olla pidemmältä aikaväliltä ja eri vuodenaikoina mitattuna. Talousveden UV läpäisevyyteen vaikuttaa pääasiassa veden orgaanisen aineen määrä sekä mangaani- ja rautapitoisuus. Desinfiointitehoa heikentävät vedessä olevat yhdisteet, jotka absorboivat UV-valoa sekä kiinteät hiukkaset. Veden pH, lämpötila, alkaliteetti ja liukoisen epäorgaanisen hiilen kokonaismäärä eivät vaikuta ultraviolettidesinfioinnin tehoon.

Kiintoaineen poistolla yksinään on nimellinen vaikutus UV-läpäisevyyteen, mutta sillä on suuri merkitys mikrobien vähentämiselle. Mikrobit voivat tarttua vedessä olevaan kiintoaineeseen, joka suojaa niitä desinfiointiprosessilta, koska UV-valo ei pysty tunkeutumaan partikkeleihin. Kiintoaineen merkitys korostuu prosessihäiriöiden aikaan, jos esimerkiksi kiintoaineen saostus ei toimi riittävän tehokkaasti.

Pintavettä käytettäessä ultraviolettikäsittely vaatii aina esikäsittelynä orgaanisen aineen, mangaanin ja raudan tehokkaan poistamisen toimiakseen luotettavasti. Esikäsittelyllä parannetaan veden UV-läpäisevyyttä poistamalla humusta, rautaa ja mangaania ja poistetaan vedestä partikkeleita., jotka suojaavat mikrobeja ultraviolettikäsittelyltä. Saostamattoman veden sisältämän humuksen hajoaminen ultraviolettikäsittelyssä voi myös lisätä mikrobikasvua verkostossa.

Vesilaitoksen desinfiointia tulee käsitellä kokonaisuutena, jossa mahdollinen UV-käsittely on vain osa. Muiden tehokkaiden desinfiointimenetelmien käyttö (otsoni, klooridioksidi) voi vähentää viimeisenä olevan UV-desinfioinnin vaatimustasoa. Kuitenkin esimerkiksi otsonoinnin käyttö yhdessä aktiivihiilisuodatuksen kanssa aiheuttaa biologisesta yksiköstä vapautuvien bakteerien inaktivointitarpeen. Tämä voidaan tehdä käyttäen ultraviolettidesinfiointia.

Vapaan kloorin ja monokloorıamiinin UV-absorbanssi on melko pieni klooripitoisuuden ollessa 5 mg/l tai pienempi. Monokloorıamiinin ja vapaan kloorin läsnäolo vedessä ei siksi vaikuta merkittävästi UV-desinfioinnin tehokkuuteen ja laitteen mitoitukseen.

7 UV-LAITTEISTON KÄYTTÖ JA HUOLTO

Oikein suunniteltu, mitoitettu ja asennettu UV-laitteisto toimii automaattisesti. Huoltotarve rajoittuu lamppujen vaihtoon sekä suojalasien, reaktorin ja anturin säännölliseen puhdistukseen. Puhdistustarve vaihtelee päivittäisestä kahteen kertaan vuodessa. Puhdistustiheyteen vaikuttaa desinfioitavan vedenlaatu ja muu vedenkäsittelyprosessi sekä UV-lampputyyppi. Jos raakavedessä on rautaa ja mangaania, on käytännössä huomattu, että puhdistustarve on yleensä tiheä, vaikka laitoksella olisikin käsittely raudan ja mangaanin poistamiseksi.

Laitteisto pitää huoltaa kokonaan ainakin kerran vuodessa. Tällöin pitää vähintään

- tarkastaa ja tarpeen mukaan vaihtaa lamput,
- puhdistaa ja tarkastaa lamppujen suojaputkien UV-läpäisevyys,
- puhdistaa reaktorikammio,
- puhdistaa anturi ja tarkastaa sen luotettavuus vertailuanturilla sekä kalibroida tarvittaessa ja
- suorittaa laitteen yleinen mekaaninen huolto (esimerkiksi pyyhinrenkaiden vaihto, jos laitteessa on automaattiset tai manuaaliset pyyhkimet kvartsilasiputkille).

Jatkuva/päivittäinen tarkastus voidaan toteuttaa automatiikan avulla, ja sen pitää sisältää ainakin:

- lamppujen toiminnan tarkastuksen,
- lamppujen käyttötuntien tarkastus,
- intensiteetin tarkastuksen ja
- puhdistustarpeen arvioinnin.

UV-laitetta huollettaessa, puhdistettaessa ja vaihdettaessa lamppuja pitää käyttää puhtaita työkaluja ja välineitä ja noudattaa hygieenisiä työskentelytapoja. Puhdistusaineista (hapot tai alkoholi) ei saa jäädä jäämiä UV-laitteeseen tai suojaputkien pinnoille.

7.1 KÄYTTÖTARKKAILU

UV-laitteen toimivuutta tarkkaillaan anturin reaktorissa mittaaman UV-intensiteetin perusteella. Laitteen koosta riippuen reaktorissa on oltava vähintään yksi anturi, jonka avulla intensiteettiä mitataan jatkuvatoimisesti. Anturi on kalibroitava laitteen käyttöönoton yhteydessä ja sen jälkeen säännöllisesti esimerkiksi kerran vuodessa.

Laitteen anturin toiminta tarkistetaan käyttämällä vertailuanturia. UV-laitteen mittaus pysäytetään ja tarkkailuikkunaan vaihdetaan kalibroitu vertailuanturi. Harkinnan mukaan laitos voi hankkia oman vertailuanturin, lähettää anturin tehtaalle tarkistettavaksi tai teettää vertailumittaukset laitetoimittajalta.

Toiminnantarkkailussa tarkkaillaan UV-annoksen sijaan UV-intensiteettiä. Intensiteetille asetetaan laitteeseen hälytysraja-arvot. Valotehon laskiessa alle esihälytysrajan valvomoon lähtee hälytys, jonka perusteella tiedetään puhdistaa lamppujen suojalasit ja/tai vaihtaa lamput. Esihälytys asetetaan sellaiselle tasolle, että käyttöhenkilökunta ehtii tehdä laitteeseen tarvittavat puhdistukset, tarkistukset ja lampunvaihdot, ennen kuin intensiteetti on laskenut desinfioinnin kannalta liian alas.

Käyttötarkkailussa laitteen toimintakykyä on lisäksi seurattava ottamalla säännöllisesti näytteitä ennen ja jälkeen UV-laitteen ja tutkimalla näytteistä koliformisten bakteerien ja heterotrofisten pesäkkeiden määrä sekä käsiteltävän veden UV-läpäisevyys.

7.2 LAMPUNSUOJUSTEN PUHDISTUS

Lampun kvartsilasiputkien puhdistus voidaan tehdä käsin, pesurilla tai pyyhkijöillä, jotka voivat olla joko käsikäyttöisiä tai automaattisesti toimivia. Puhdistustiheys vaihtelee laitoskohtaisesti. Yleensä anturi mittaa vain yhtä lamppua, jolloin ei huomata muiden suojusten mahdollista likaantumista. Pesu suositellaankin tehtäväksi vähintään kaksi kertaa vuodessa, vaikka anturin mittaama intensiteetti ei laskisikaan.

Jos valon intensiteetti ei nouse pesun jälkeen, on pesu toistettava. Tällöin voidaan käyttää toisentyyppistä pesuainetta tai pidempää pesuaikaa. Jos tämäkään ei auta, voi intensiteetin laskun syynä olla lampun vanheneminen, veden laadun vaihtelu/heikkeneminen, lampun suojuksen läpäisevyyden lasku tai vika anturissa. Samalla kun lamppujen suojukset pestään, pestään myös anturin ikkuna. Sensorin suojalasin kirkkauden voi tarkistaa myös taskulampulla laitteen ollessa sammuksissa.

Verkostoon johdettavan veden turvallisuus pitää varmistaa myös UV-laitteen puhdistuksen aikana. Tämä voidaan tehdä joko pysäyttämällä pumppaus verkostoon/säiliöön, johtamalla vesi verkostoon rinnakkaisen UV-laitteen kautta tai annostelemalla veteen pesun ajan natriumhypokloriittia. Pesun jälkeisessä laitteen käyttöönotossa on huomioitava, että lamppujen sytytys ja täyden desinfiointitehon saavuttaminen kestää 5-10 minuuttia.

7.2.1 Mekaaniset pyyhkijät

Mekaanisia pyyhkijöitä käytetään erityisesti keskipainelampuilla ja myös matalapainelampuilla, kun vedessä on rautaa, mangaania tai humusta. Pyyhkijä voidaan asettaa toimimaan automaattisesti UV-intensiteetin laskiessa tavoitetason alapuolelle, säännöllisin aikavälein tai käsikäynnistyksellä ohjauspaneelista. Pyyhkijöillä on oma moottori, joka samalla liikuttaa kaikkien suojuksien pyyhkijöitä sekä UV-anturin suojalasin pyyhkijää. Pyyhkijät voivat olla myös sellaisia, että niitä liikutellaan manuaalisesti laitteessa olevan kammen avulla. Pyyhkijän etu on, että sitä käytettäessä ei virtausta tarvitse pysäyttää. Mekaanisen pyyhkimisen lisäksi suojaputket, anturi ja reaktori puhdistetaan tarpeen mukaan käyttämällä kemiallista pesua.

7.2.2 Kemiallinen puhdistus

Suojusten kemiallinen puhdistus voidaan tehdä käsin tai koneellisesti. Pesun ajaksi veden virtaus pysäytetään, UV-laite sammutetaan ja reaktori tyhjennetään. Käsinpesussa lamput ja suojalasit irrotetaan yksitellen ja suojukset pyyhitään kostealla pehmeällä ja puhtaalla kankaalla, joka on tarvittaessa kostutettu laimealla hapolla (sitruuna-, muurahais- tai fosforihappo) tai alkoholilla. Ennen kuin putket asennetaan takaisin laitteeseen, ne pyyhitään viimeiseksi puhtaalla kostealla rätillä, jotta saadaan putken pinnalta poistettua mahdolliset pesuainejäämät. Vaaleasta kankaasta nähdään parhaiten, paljonko pintaan on kertynyt likaa. Puhdistukseen kuluu lamppua kohden aikaa noin 10 minuuttia.

Pesuria käytettäessä liitetään syöttö- ja poistoletkut reaktorin pesuyhteisiin liittimillä ja kierrätetään pesuliuosta riittävän ajan, esimerkiksi 10 – 30 min. Konepesun jälkeen laite vielä huuhdellaan huolellisesti puhtaalla vedellä.

Pesukemikaaleina käytetään yleisesti 20 – 30 % sitruunahappoa (pH < 2-3), fosforihappoa (pH < 4) ja muurahaishappoa. Samaa happoliuosta voi käyttää pesuun useaan kertaan niin kauan kuin pH pysyy oikealla alueella. Suolahappoa käytetään joillakin laitoksilla pesuaineena, mutta suolahappo saattaa haurastuttaa lasia ja on työturvallisuuden kannalta hankalampi kuin laimeammat hapot. Kalkkisaostumat, rauta ja mangaani poistuvat hyvin hapoilla. Muiden lika-aineiden poistoon saatetaan tarvita muita pesuaineita kuten metanolia, etanolia ja lipeää. Pesun tai lamppujen vaihdon aikana ei saa koskea lasiin paljain käsin, koska pintaan voi jäädä sormista kiinnipalavia rasvatahroja. Kvartsilasiputkien sisälle ei saa jäädä kosteutta. Jos putken sisään pääsee kosteutta, on sen kosteuden poistaminen käytännössä hankalaa. Jos putket pitää puhdistaa sisäpuolelta, kannattaa käyttää alkoholia, joka haihtuu helposti. Jos putken sisälle on kuitenkin päässyt kosteutta, voi kuivausta tehostaa puhaltimella.

UV-laite pitää täyttää uudelleen rauhallisesti, jotta vältytään paineiskuilta. Lamppujen ylikuumeneminen voi aiheutua ilman keräytymisestä reaktoriin. Tämä voidaan estää huolehtimalla kunnollisesta ilmauksesta.

7.2.3 Pesutiheyksiä Suomessa

Taulukkoon 4 on koottu suomalaisilta vesilaitoksilta kerättyjä puhdistuskokemuksia. Vaikka taulukon vedenlaatuarvot ovat samat, voi pesutiheys vaihdella riippuen laitoksen puhdistuskäytännöistä. Lisäksi lampunsuojusten likaantumiseen raudan ja mangaanin saostumisen takia voi vaikuttaa se vallitseeko vedessä hapelliset vai hapettomat olosuhteet. Rauta ja mangaani voivat saostua helpommin UV-laitteen aiheuttaman lämmönnousun takia kvartsilasien lähikerroksessa, jos pH on korkea, ja erityisesti jos veden kalsiumkarbonaattipitoisuus on lähellä kyllästymispistettä. Korkeassa lämpötilassa vedessä oleva kalsium saostuu myös suojaputken pintaan kalsiumkarbonaatiksi. Saostuvan kalkkisakan määrä riippuu veden kalsiumpitoisuudesta, alkaliteetista ja pH:sta.

Taulukko 4 UV-lamppujen suojalasien puhdistustiheyksiä suomalaisilla vedenottamoilla. MP = matalapainelamppu, KP = keskipainelamppu. Läpäisevyys on mitattu 5 cm:n matkalla.

	Raakavesi	**Vedenkäsittely**	**Vedenlaatu ennen UV:ta (mg/l)**	**Puhdistustiheys**
MP	pohjavesi	ilmastus+kalkkikivialkal.	Fe<0,02, Mn<0,01	1 krt/a, ei pyyhkijöitä
MP	pohjavesi	kalkkikivialkalointi	Fe<0,02, Mn<0,01	1 krt/a, käsin liikuteltavat pyyhkijät, joita liikutetaan noin 1 krt/2kk
MP	pohjavesi	ilmastus+kalkkikivialkal.	Fe 0,03, Mn 0,017	1 ktr/2kk, anturi 1 krt/vko
MP	pohjavesi	ilmastus+hiekkasuodatus	Fe<0,02, Mn<0,01	1 krt/a
MP	pohjavesi	ilmastus+hiekkasuodatus	Fe <0,02, Mn<0,014	2 krt/a
MP	pohjavesi	ilmastus+hiekkasuodatus	Fe <0,02, Mn<0,012	2 krt/a
MP	pohjavesi		Fe<0,02, Mn<0,01	1 krt/a
MP	pohjavesi	kalkkikivialkal.	Fe<0,02, Mn<0,01	1 krt/a
MP	pohjavesi	lipeäalkaloin-ti+painehiekkasuodatus	Fe<0,02, Mn<0,01	2 krt/a kemiallisella pesulaitteistolla
MP	pohjavesi	aktiivihiilisuodatus+sooda alkalointi	Fe<0,02, Mn<0,01	1 krt/a
KP	pohjavesi	ilmastus+hiekkasuodatus	Fe<0,024, Mn<0,017	pyyhkijät 1 krt/16 h + 2 ktr/a käsinpesu
KP	tekopohja	kalkkikivisuodatus	Fe 0,03, Mn<0,01	pyyhkijät 1 krt/a, 2 krt/a käsinpesu
MP	pintavesi	saos-tus+selkeytys+hiekkasuodatus+aktiivihiisuodatus	Fe<0,02, Mn<0,03	1 krt/a kemiallisella pesulaitteistolla

7.3 KÄYTTÖKOKEMUKSIA SUOMESTA

Niillä vesilaitoksilla, joiden raakavedessä ei ole todettu rautaa tai mangaania, UV-laitteiston käyttö edellyttää pääsääntöisesti vain suojaputkien ja anturin pesua pari kertaa vuodessa ja lamppujen vaihdon 1-1,5 vuoden välein. Jos laitoksen raakavedessä on rautaa ja mangaania ja ne eivät poistu täysin vedenkäsittelyssä, on pesutiheys selkeästi tiheämpi. Mikäli kvartsilasiputkien ja anturien oletetaan vedenlaadusta johtuen likaantuvan nopeasti tai laite on keskipainelamppulaitteisto, kannattaa laitteistoon valita automaattinen pyyhinpuhdistus tai pesulaitteisto. Pyyhkijät vähentävät käsin tehtävän pesutarpeen muutamaan kertaan vuodessa.

Laitteissa, joissa on automaattiset pyyhkijät, on ilmennyt enemmän laitevikoja, joiden korjaamiseen tarvitaan lähes aina laitevalmistajan huolto. Peruslaitteet ovat pääsääntöisesti toimineet varmasti, satunnaisia yksittäisiä vikoja lukuun ottamatta. Joillakin valmistajilla on myös manuaalinen pyyhinlaitteisto. Jos laitteessa on monta lamppua, pyyhkimien liikuttelu käsin voi olla hankalaa tai jopa mahdotonta. Laitteissa, joissa on vain pari lamppua, on manuaalinen pyyhinlaitteisto todettu hyväksi, koska laitetta ei tarvitse aina sammuttaa ja puhdistaa käsin.

Lamppujenvaihtoon menevä aika riippuu lamppujen lukumäärästä. Laitteessa, jossa lamppuja on alle kymmenen, on arvioitu, että lampunvaihtoon kuluva aika on noin 0,5-1 tunti. Pyyhinlaitteiston huolto, pyyhinrenkaiden vaihto yms, vie aikaa muutaman tunnin.

Ongelmia lamppujen hiipumiseen ennen takuuaikaa on ollut jonkin verran. Laitetoimittajien takuu kuitenkin yleensä korvaa lampun jäljellä olevan takuun mukaisen ajan ja tällaista pitää tarjouspyynnössä myös edellyttää. Lamppujen käyttöikä on noussut viimeisten kymmenen vuoden aikana.

Suomenkieliset käyttöohjeet ja vaarakilvet ovat pääsääntöisesti olleet saatavilla UV-laitteille. Laitetoimittajilta saa referenssilistoja, joista selviää missä UV-laitteita on käytössä.

7.3.1 Huomioita laitteiden käytöstä

Tähän oppaaseen kerättiin käyttökokemuksia vesilaitoksilta, joilla on 10-20 vuoden kokemus UV-desinfioinnista usealla laitoksella ja laitteella. Alle on koottu huomioita haastatteluista:

- Lamppujen sytytys kestää tyypistä riippuen n. 5 – 10 min, jonka aikana laitteella ei ole vielä desinfiointitehoa. Verkostopumppaus käynnistetään, kun lamput ovat täydessä tehossa. Tämä voidaan toteuttaa automatiikalla.

- Myös sähkökatkon jälkeen laitteet käynnistyvät viidessä – kymmenessä minuutissa. Jos veden virtaus ei riipu sähköstä, voi verkkovirrasta riippumaton natriumhypokloriitin syöttö olla sähkökatkon aikana tarpeen riittävän desinfioinnin varmistamiseksi.

- UV-laite ei välttämättä käynnisty sähkökatkon jälkeen automaattisesti uudelleen. Sähkökatkon jälkeen on syytä käydä aina laitoksella paikanpäällä tarkistamassa ja varmistamassa UV-laitteen toiminta.

- Pohjavesilaitoksen raakavedessä on todettu rautaa, mikä näkyi tiheänä UV-laitteen pesutarpeena. Laitoksella otettiin käyttöön paineellinen hiekkasuodatus raudan poistamiseksi, minkä jälkeen pesutiheys on enää pari kertaa vuodessa (aikaisemmin joka toinen kuukausi).

- Lamput voivat ylikuumeta, jos veden virtaus pysähtyy riittävän pitkäksi aikaa. Ylikuumeneminen voidaan estää asettamalla UV-laite sammumaan pumppujen pysähtyessä tai jättämällä laitteessa oleva tyhjennyshana tiputtamaan jatkuvasti tai järjestämällä laitteelle jäähdytys. Matalapainelampuilla noin 5 – 10 l/h virtaama riittää estämään ylikuumenemisen. Tarvittavan virtaaman suuruus riippuu laitteen tehosta (lamppujen määrä ja tyyppi).

- Kaikki lamput on vaihdettava kerralla tai pitää huolehtia siitä, että anturi mittaa vanhinta lamppua. Jos kaikkia lamppuja ei vaihdeta kerralla, täytyy lampun vaihdoista ja käyttötunneista pitää tarkasti kirjaa, jotta kaikkien lamppujen intensiteettitaso on riittävä desinfioinnin kannalta.

- Ohjaukseen ja sähköistykseen liittyviä varaosia ei yleensä saa laitetoimittajilta nopeasti ja tähän pitää varautua laitoksella.

- Eräällä laitoksella on päävedenottamon UV-desinfiointia varmistettu niin, että on hankittu varaosaksi normaaliosien lisäksi UV-laitteen ohjauskeskus.

- Asetettaessa lamppua suojalasin sisälle pitää katsoa ettei sähköä johtava lanka jää anturin eteen.

- Jos lamppu tai kvartsilasiputki rikkoutuu huollon/pesun aikana niin, että lasinsirpaleita on voinut jäädä reaktorin sisälle, täytyy sirpaleet kerätä huolella ennen kuin laite käynnistetään uudelleen.

- Virtaamaa on tarkkailtava ja säädettävä, jotta laitteen mitoitusvirtaamaa ei ylitetä ja saavutetaan haluttu desinfiointitehokkuus.

- Raakaveden sameuden lisääntyminen ja veden UV-läpäisevyyden vähentyminen, esimerkiksi raakaveden pumppauksen uudelleen aloittamisen seurauksena, voi johtaa siihen, että UV-laitteen intensiteettiarvo ei ole enää riittävä. Verkostopumppaus täytyy tällöin pysäyttää tai käynnistää tilapäinen natriumhypokloriitin syöttö. Jatkuvatoimiset sameusmittarit auttavat myös UV-desinfioinnin tarkkailussa.

- UV-laitteet on yleensä valmistettu haponkestävästä teräksestä, joten laitoksen laipat ja kiinnityspultit on hyvä tehdä samasta materiaalista. Kondenssiveden tiivistyminen laitteen pintaan on jatkuvaa, kun käsiteltävän veden lämpötila on 4-5 °C. Tämä aiheuttaa syöpymistä, jos laipat ja ruuvit ovat galvanoitua terästä.

- Uudet UV-lamput on hyvä tilata varastoon samalla, kun vaihtaa vanhat uusiin lamppuihin.

7.4 KÄYTTÖTURVALLISUUS

UV-säteily on vahingollista silmille ja iholle. Talousvesisovelluksissa lamput ovat suljetun säteilyreaktorin sisällä, jolloin säteilyä ei pääse ulos. Jos UV-anturi tai lamppu vaihdetaan laitteen ollessa päällä, pitää käyttää suojalaseja ja –vaatteita. Päällä olevaa UV-lamppua ei saa katsoa paljain silmin. Iho on silmiä herkempi UV-säteilylle, joten parasta on käyttää koko kasvot peittävää suojusta. UV-säteily on näkymätöntä ja sen vaikutuksen huomaa vasta hetken päästä altistuksesta. Ihovauriot ovat samantyyppisiä kuin auringon aiheuttama ihon palaminen.

Lamput sisältävät pieniä määriä elohopeaa ja käytetyt lamput tulee toimittaa ongelmajätekeräykseen ja rikkoutuneita lamppuja käsitellä niin, ettei elohopeaa vapaudu. Sähkölaitteiden asennus tehdään kuten yleensä vastaavissa tiloissa noudattaen sähköturvallisuusmääräyksiä.

8 UV-LAITTEEN SIJOITTAMINEN LAITOKSELLE

UV-laitteiden tilantarve riippuu laitteen koosta, lamppujen pituudesta, sijoittelusta ja pesumenetelmästä. Tilaa arvioitaessa täytyy huomioida lamppujen vaihdon vaatima tila reaktorin päädyssä. Jos laitteessa on pyyhkijät, pitää huoltotilassa huomioida, että puhdistuskehikko voidaan vetää turvallisesti ulos laitteesta. Jos pyyhinkoneikko on painava, täytyy sitä pystyä siirtämään esimerkiksi valjaiden avulla. Huoltotilan lisäksi laitteelle tarvitaan kulkureitti, jota pitkin lamppujen kuljettaminen onnistuu helposti.

Tarpeellisia venttiileitä ovat:

- sulkuventtiilit laitteen tulo- ja lähtöpuolella, jotta laite voidaan tyhjentää huoltoa ja pesua varten,
- ohituslinja venttiileineen, jos käytössä on yksi laite ja muulloin tarpeen mukaan,
- sulkuventtiili virtauksen avaamiseksi vasta, kun lamput toimivat täydellä teholla,
- näytteenottohanat laitteelle tulevasta ja lähtevästä vedestä ja
- ilmaus- ja tyhjennysventtiilit.

Laitteen sijoittamisessa on huomioitava viemäröinnin järjestäminen laitteiston nopeaa tyhjennystä varten ja puhtaan veden saaminen laitteen puhdistukseen ja huuhteluun. Ohjauskaappi kiinnitetään seinälle tai erilliseen telineeseen laitteen lähelle, yleensä laitteen ja kaapin väliset johdot ovat 5-7 metriä. Sähköyksikön tulee olla kuivassa ja ilmastoidussa tilassa.

Useimmiten UV-laitteisto asennetaan laitokselta lähtevän veden putkeen. Mikäli alkalointikemikaalin täydellistä sekoittumista ei voida varmistaa (esimerkiksi alavesisäiliössä), kannattaa alkalointikemikaali annostella UV-laitteen jälkeen. Tällöin on kalkin saostuminen kvartsilasin pintaan vähäisempää. Käytännössä on todettu, että lipeää ei saa koskaan annostella ennen UV-laitetta vaan aina vasta UV-laitteen jälkeen. Kun lipeä annostellaan ennen UV-laitetta, palaa suojaputken pinnalle tumma vaikeasti poistettava sakka hyvin nopeasti. Mikäli jälkikloorausta käytetään rauta- ja mangaanipitoisilla vesillä, kloorin annostelu sijoitetaan UV-käsittelyn jälkeen.

Kuten muillakin laitteilla, UV-laitteen sijoittaminen automaatioon vaatii lisäyksen automaatiojärjestelmään. Tarpeellisia mittauksia ovat virtaama- ja intensiteettimittaus. Lisäksi tulee järjestää lamppujen, suojalasien ja sähkölaitteiden säännöllinen tarkkailu.

.

Kuva 13 Tekopohjavesilaitokselta lähtevän veden putkistoon asennettu UV-desinfiointilaite. UV-laite on asennettu laitokselle jälkikäteen (Tuusulan seudun vesilaitos kuntayhtymä, Jäniksenlinnan laitos).

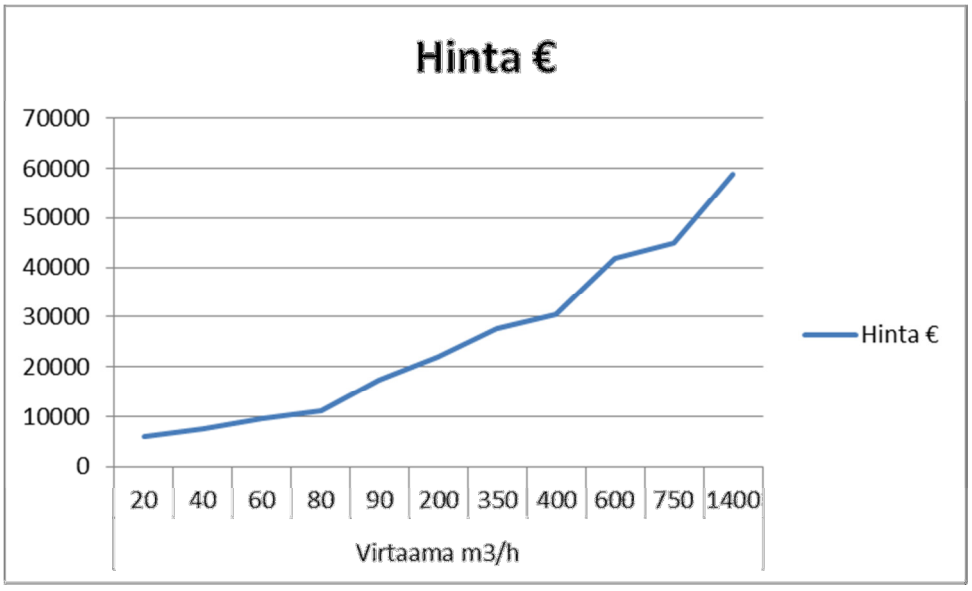
9 KUSTANNUKSET

UV-desinfioinnin investointikustannukset muodostuvat laitteisto-, asennus-, instrumentointi- ja putkistokustannuksista. Käyttökustannukset voidaan jakaa kolmeen osaan: energia-, lamppujen vaihto- ja työvoimakustannuksiin.

UV-desinfiointilaite mahtuu usein vanhoihin tiloihin, mutta erityisesti isoilla laitoksilla se saattaa tarvita lisätilaa. Mikäli olemassa olevia putkistoja ja rakenteita ei voida hyödyntää, on otettava huomioon tarvittavien putkistojen ja rakennusten rakentaminen. Joissain tapauksissa putkistotyöt voivat muodostaa suuremman osan kustannuksista kuin itse UV-laite.

9.1 HANKINTAKUSTANNUKSET

Kuvasta 14 voidaan arvioida UV-desinfiointilaitteiden hankintakustannuksia karkealla tasolla. Kuvassa käytetyt laitehinnat perustuvat biodosimetriseen mitoitukseen 400 J/m², kun veden UV-läpäisevyys on vähintään 94 % (1 mm kyvetissä mitattuna). Hinnoissa ei ole huomioitu putkistojen tai rakennusten rakentamista eikä mahdollisesti hankittavaa varakapasiteettia. Käytännössä kustannustaso riippuu myös laitteen lisävarusteista ja laitteiden lukumäärästä. Putkisto- ja sähköasennuksen kulut ovat laitoskohtaisia ja ne ovat usein noin 50-100 % laitteen hankintahinnasta tai jopa enemmän.



Kuva 14. UV-laitteiston hankintakustannus suhteutettuna virtaamaan. Hinnat ovat matalapainelamppulaitteille, jotka on mitoitettu biodosimetriselle annokselle 400 J/m² ja veden UV-läpäisevyydelle 94 % (1 cm). Kuvaaja perustuu vuoden 2013 hintatasoon.

9.2 KÄYTTÖKUSTANNUKSET

Käyttökustannukset muodostuvat energia-, lamppujen vaihto- ja työvoimakustannuksista. Ultraviolettikäsittely voi olla pienillä laitoksilla edullisempi kuin klooraus ja suurillakin laitoksilla kustannukset ovat samansuuruisia.

Käyttökustannuksia on arvioitu erikokoisille matalapainelamppulaitteille, jotka on suunniteltu virtaamille 20 - 1400 m³/h sekä keskipainelamppulaitteille joiden virtaama on 600 ja 1200 m³/h. Käyttökustannuksessa on mukana lampunvaihto- ja sähkökustannus.

Taulukko 5 UV-laitteiston käyttökustannukset (suuntaa antavat). Laitteet on mitoitettu biodosimetrisesti. Sähkön hinnaksi on oletettu 8 senttiä/kWh.

Virtaama m^3/h	20	40	60	80	90	200	350	400	600	750	1200	1400
Matalapainelamppulaitteisto												
Hinta €/a	650	1100	1500	1600	2100	3100	4100	4300	6200	8400		14400
Keskipainelamppulaitteisto												
Hinta €/a									15 400		20800	

10 UV-DESINFIOINNIN ETUJA JA HAITTOJA

UV-desinfiointi on tunnettu ja pitkään yleisesti käytetty desinfiointimenetelmä. Seuraavassa on esitetty menetelmän etuja ja mahdollisia haittoja erilaisissa tilanteissa:

UV-desinfioinnin etuja

1. UV-desinfiointi (riittävällä annoksella) on tehokas tuhoamaan bakteerit, alkueläimet (kuten Cryptosprodium ja Giardia) ja virukset.
2. Desinfiointiteho ei ole riippuvainen veden pH:sta.
3. Talousveden desinfioinnissa käytetyt UV-annokset ja valon aallonpituudet eivät merkittävästi muuta veden laatua ja siinä olevia kemiallisia yhdisteitä.
4. UV-desinfioinnin investointi- ja käyttökustannukset ovat kohtuulliset ja samaa suuruusluokkaa tai edullisemmat kuin muilla desinfiointimenetelmillä.
5. UV-laitteisto on yksinkertainen ja sen käytössä pitää seurata ainoastaan UV-valon intensiteettiä, veden virtausmäärää tunnissa ja UV-läpäisevyyttä.
6. Laitteisto on kompakti ja voidaan yleensä sijoittaa olemassa olevaan laitokseen yksinkertaisilla putkistomuutoksilla (ei kuitenkaan aina).
7. Laitoksella ei ole tarvetta kemikaalien varastointiin tai valmistukseen.
   UV-desinfioinnissa ei tarvita kemikaaleja, ainoastaan pieniä määriä kvartsilasien puhdistuksessa käytettäviä puhdistusaineita

UV-desinfioinnin haittoja

1. UV-desinfioinnilla ei ole jälkidesinfioivaa vaikutusta ja veden mikrobiologisen laadun säilyttämiseksi laajassa verkostossa voidaan tarvita kloorausta.
2. Jos veden laatu on sellainen, että siinä on todettu rautaa, mangaania ja/tai orgaanista ainesta, eikä vedenkäsittelyprosessi poista niitä tehokkaasti, voi laitteen puhdistustarve olla erittäin tiheä ja käyttö siksi työlästä.
3. UV-lamput ja lamppujen suojaputket on valmistettu lasista ja niitä pitää käsitellä varovasti ja niiden rikkoutuessa poistaa huolellisesti kaikki lasinsirut laitteen sisältä.
4. Jos käytetään sellaisia keskipainelamppuja, joiden kvartsilasiputkia ei ole pinnoitettu estämään lyhyiden aallonpituuksien läpipääsy, voi muodostua nitriittiä ja orgaanisesta aineksesta mikrobeille käyttökelpoisia hiiliyhdisteitä (AOC).
5. Varaosien (paitsi lamput ja suojaputket) saaminen voi kestää kauan laitevalmistajan tehtaalta.

11 TARJOUSPYYNTÖ JA MITOITUS

UV-laitteiston hankintaohjelman teknisen osan laatimisen helpottamiseksi on tehty malli, joka on liitteenä 3. Laitteita hankittaessa huomioitavia asioita on lueteltu liitteen 3 kohdassa ”Toimituksen sisältö”. Malli on tehty erityisesti pienten laitosten tarpeita ajatellen. Suurilla laitoksilla voi olla tarkoituksenmukaista hankkia useampi laite rinnan, enemmän automatiikkaa ja esimerkiksi virtaama- ja transmittanssimittaus, jotta käytössä olevien laitteiden lukumäärää tai lamppujen tehoa voidaan säätää hetkellisen tarpeen mukaan. Transmittanssimittaukseen on olemassa jatkuvatoimisia mittalaitteita.

UV-laitteen hankintaa varten on selvitettävä seuraavat asiat.:

- UV-laitteella käsiteltävän vedenlaatu (UV-läpäisevyys yms)
- UV-laitteella käsiteltävän veden määrä (yleensä verkostoon pumpattava veden määrä maksimissaan m^3/h)
- Tarvittavien UV-laitteiden määrä (riittääkö yksi vai tarvitaanko UV-desinfioinnille varmennus)
- Laitteen ja kvartsilasiputkien puhdistus: riittääkö manuaalinen vai tarvitaanko kemikaalin kierrätyslaitteisto tai manuaaliset/automaattiset kvartsilasiputkien pyyhkijät
- Laitteen asennuksen vaatimat putkistomuutokset ja asennustyöt sekä sähköliitännät
- Laitteen kytkentä laitoksen automaatioon ja kaukovalvontajärjestelmään

12 KIRJALLISUUS

Bolton J. 2000. Calculation of Ultraviolet Fluence Rate Distributions in an Annular Reactor: Significance of Refraction and Reflection. Wat. Res. Vol. 34. No. 13. s. 3315-3324.

Eriksson U. 2009, Råd och riktlinjer för UV-ljus vid vattenverk, Svensk Vatten, Stockholm.

Masschelein W. 2002. Ultraviolet Light in Water and Wastewater Sanitation. Lewis Publishers. CRC Press LLC. s. 174.

Orava M. 2003. Talousveden desinfiointi ultraviolettivalolla. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Ympäristö- ja energiatekniikan osasto. Diplomityö. Tampere.

Svenskt Vatten, Pott B 2013, Förenklad GDP God Desinfektion Praxis

Sommer R., Cabaj A., Haider T. ja Hirschmann G. 2004, UV Drinking water Disinfection-Requirements, Testing and Surveillance: Exemplified by the Austrian National Standards M 5873-1 and M 5873-2. Austria. s. 27-35.

Veer I. 2004. By-product formation during UV disinfection of a pre-treated surface water. Netherlands.

W 294 Technical Standard. 1997. UV Systems for Disinfection in Drinking Water Supplies Requirements and Testing. DVGW Deutscher Verein des Gasund Wasserfaches e.V. s.61.

ÖNORM M 5873-1. 2001. Plants for the disinfection of water using ultraviolet radiation Requirements and testing Low pressure mercury lamp plants. Österreichisches Normungsinstitut. Wien. s. 18.

ÖNORM M 5873-2. 2001. Anlagen zur Desinfektion von Wasser mittels UltravioletStrahlen. Anforderungen und Prüfung. Teil 2: Anlagen mit QuecksilberdampfMitteldruckstrahlern. VORSCHLAG. Österreichisches Normungsinstitut, Wien. s. 45.

International Ultraviolet Association. http://www.iuva.org.

13 LIITTEET

Liite 1. Mikrobien inaktivoimiseen tarvittavia annoksia
Liite 2. SAK- eli absorptiokertoimia
Liite 3. UV-laitteen hankintaohjelma
Liite 4. Desinfiointimenetelmien ominaisuuksien vertailutaulukko
Liite 5. Sanastoa ja käsitteitä
Liite 6. UV-laitteiden toimittajien yhteystietoja
Liite 7. Tarkistuslistat UV-laitteen käytön tarkkailuun ja hankintaan

LIITE 1. Mikrobien inaktivoimiseen tarvittavia annoksia.

Mikrobien 90% inaktivointiin tarvittavia UV-annoksia (J/m²). Lähde: Ben F. Kalisvaart, Berson UV-techniek BV, The Netherlands (v.2000)

Bakteerit	
Aeromonas	50
Aeromonas salmonicida	10
Agrobacterium tumefaciens	30-50
Bacillus anthracis, solumuoto	30-50
Bacillus anthracis, itiö	90
Bacillus enteritidis	40
Bacillus megaterium, solumuoto	10-20
Bacillus megaterium, itiö	10-50
Bacillus mesentericus fascus, solu	60
Bacillus mesentericus fascus, itiö	90
Bacillus paratyphosis	30-40
Bacillus prodigiosus	10
Bacillus pyocyaneus	40
Bacillus stearothermophilus, itiö	600-1800
Bacillus subtilis, solumuoto	60-80
Bacillus subtilis, itiö	50-120
Bacillus subtilis Sawamura, solumuoto	70
Bacillus subtilis Sawamura, itiö	110
Bacterium coli	50-60
Branhamella catarrhalis	30-40
Citrobacter freundii	20
Clostridia, yleisesti	130
Clostridium botulinum	120
Clostridium tetani	50-130
Corynebacterium diphteriae	20-40
Dysentery bacilli	20-30
Eberthella typhosa	10-30
Enterobacteria, yleisesti	10-60
Enterobacter cloacae	30-80
Enterocolitica faecium	50-60
Escherichia coli laboratoriokanta	20
Escherichia coli villi kanta	30-100
Escherichia coli ATCC 11299	20-70
Escherichia coli ATCC 23958	20-50
Escherichia coli NCTC 5934	20-50
Escherichia coli NCIB 9481	20-50
Escherichia coli ilmassa	10-30
Fusobacterium nucleatum	10-30
Klebsiella pneumoniae	30-80
Legionella bozemanii	20
Legionella dumofii	30
Legionella gormanii	20-30
Legionella longbeachae	10-20
Legionella micdadei	10-20
Legionella pneumophila	20-50
Leptospira canicola	30
Leptospira interrogans	20
Leptospira spp.	20-30
Listeria monocytogenes	30-40
Micrococcus candidus	60-70
Micrococcus luteus	100-260
Micrococcus lysodeikticus	230
Micrococcus piltoniensis	60-80
Micrococcus radiodurans	200-500
Micrococcus sphaeroides	100-160
Mycobacterium smegmatis	50-80
Mycobacterium tuberculosis	50-60
Neisseria catarrhalis	40-50
Phytomonas tumefaciens	30-40
Proteus vulgaris	10-40
Pseudomonas aerogunosa, lab.kanta	10-20
Pseudomonas aerogunosa, villi kanta	50-60
Pseudomonas fluorescens	30-40
Pseudomonas tumefatiens	40-50
Rhodospirillum rubrum	50-60
Salmonella enteritidis	40-80
Salmonella paratyphi	30-60
Salmonella typhi	10-40
Salmonella typhimurium	40-80
Salmonella typhosa	10-60
Sarcina lutea	200-260
Serratia marcescens	10-30
Shigella dysenteriae	10-40
Shigella flexneri	10-20
Shigella paradysenteriae	10-30
Shigella sonnei	20-30
Spirillum rubrum	40-50
Staphylococcus albus	20-30
Staphylococcus aureus	20-30
Staphylococcus haemolyticus	60-70
Staphylococcus opidermidis	20
Streptococcus faecalis	40-50
Streptococcus haemolyticus	20-90
Streptococcus lactis	60-90
Streptococcus pyogenes	20-30
Streptococcus salivarius	20
Streptococcus viridans	20-30
Tuberculosis bacillus	100
Vibrio anguillarum	30
Vibrio cholerae villi kanta	20-50
Vibrio comma	30-40
Vibrio salmonicida	30-40
Yersinia enterocolitica	30-80
Yersinia ruckeri	10-20
Virukset	
Adenovirus 3	10-20
Bacteriophage (E.coli virus)	20-30
Coliphage	10-40
Coxsackie virus A9	120
Coxsackie virus B1	150-160
Echovirus 1	110
Echovirus 11	120
Enterovirus	40-350
Hepatitis A virus	40
Hepatitis B virus	30-110
Infectious hepatitus virus	50-80
Influenza virus	20-40
IHN-virus	20
ILA-virus	40
IPN-virus	1200
MS2 phage	190
Poliovirus	30-70
Poliovirus 1	70-110
Poliovirus 2	120

Poliovirus 3	100
Staphylococcus aureus phage A994	100
Reovirus 1	150-160
Rotavirus	60
Rotavirus SA11	60-90
Tabacco mosaicvirus	750

Homeet	
Aspergilus amstelodami	660-700
Aspergillus flavus	400-1000
Aspergillus glaucus	440
Aspergillus niger	440-1320
Cladosporium herbarum	300-700
Fungi from manure, soil	1200
Fusarium	250-350
Mucor mucedo	500-700
Mucor racemosus A	170
Mucor racemosus B	170
Mucor ramosissimus	170
Olpidium	350
Oospara lactis	50
Penicillium chrysogenum	300-500
Penicillium digitatum	290-1000
Penicillium expansum	130
Penicillium roqueforti	130
Phytophtora	350
Pythium	350
Rhizopus nigricans	1100-2000
Scopulariopsis brevucaulis	300-800
Verticillium	350

Hiivat	
Kuivahiiva	40
Panimohiiva	100
Palahiiva	40-50
Gunger yeast	190
Pichia	350
Saccharomyces carlsbergensis	100
Saccharomyces cerevisiae	60
Saccharomyces ellipsoideus	40-60
Saccharomyces sake	80-90
Saccharomyces turpidans	90
Saccharomyces uvarum	30-40
Saccharomyces willianus	340
Torula spaerica	20-30
Hiivat, yleisesti	40-60

Alkueläimet	
Acanthamoeba castellinii	340
Chorella vulgarus	70-140
Cryptosporidium parvum oocyst	20-1200
Giardia lamblia cyst	630-1000
Giardia muris	820
Nematode munat	310-510
Paramecium species	640-2000

Levät	
Sinilevä	3000-6000
Chlorella vulgaris	140
Viherlevä	3000-6000

Kalankäsittelylaitosten mikrobit	
Chilodonella cyprini	10000
Cryptcaryon irritans	8000
Sieni (tyypillinen)	240
Ichthyophthirius species	1000-3360
Ichthyophthirius (valkea läikkä)	400
Infectious pancreatic necrosis (IPN)	600
Oodinium ocellatum	350
Paramecium species	2000
Saprolegnia species	100-350
Sarcina lutea	270
Trichodina nigra	1590
Viral hemorrhagic sepricaemia (VHS)	100

LIITE 2. SAK- eli absorptiokertoimia

Absorptiokerroin SAK ja transmittanssi %T

Absorptiokerroin lasketaan mitatun veden absorbanssin tai transmittanssin avulla. (ks. kpl 3.3)

$A_d = - \lg T_d$ — A_d = absorbanssi matkalla d (mm)

$SAK = - \lg T_d * 1000 / d$ — T_d = transmittanssi matkalla d (mm), esim. 0,998

$SAK = A_d * 1000 / d$ — d = mitatun vesikerroksen paksuus (mm)

	Transmittanssi				Transmittanssi		
SAK(1/m)	10 mm	50 mm	100 mm	SAK (1/m)	10 mm	50 mm	100 mm
0,00	100,0 %	100,0 %	100,0 %	4,40	90,4 %	60,3 %	36,3 %
0,10	99,8 %	98,9 %	97,7 %	4,50	90,2 %	59,6 %	35,5 %
0,20	99,5 %	97,7 %	95,5 %	4,60	89,9 %	58,9 %	34,7 %
0,30	99,3 %	96,6 %	93,3 %	4,70	89,7 %	58,2 %	33,9 %
0,40	99,1 %	95,5 %	91,2 %	4,80	89,5 %	57,5 %	33,1 %
0,50	98,9 %	94,4 %	89,1 %	4,90	89,3 %	56,9 %	32,4 %
0,60	98,6 %	93,3 %	87,1 %	5,00	89,1 %	56,2 %	31,6 %
0,70	98,4 %	92,3 %	85,1 %	5,10	88,9 %	55,6 %	30,9 %
0,80	98,2 %	91,2 %	83,2 %	5,20	88,7 %	55,0 %	30,2 %
0,90	97,9 %	90,2 %	81,3 %	5,30	88,5 %	54,3 %	29,5 %
1,00	97,7 %	89,1 %	79,4 %	5,40	88,3 %	53,7 %	28,8 %
1,10	97,5 %	88,1 %	77,6 %	5,50	88,1 %	53,1 %	28,2 %
1,20	97,3 %	87,1 %	75,9 %	5,60	87,9 %	52,5 %	27,5 %
1,30	97,1 %	86,1 %	74,1 %	5,70	87,7 %	51,9 %	26,9 %
1,40	96,8 %	85,1 %	72,4 %	5,80	87,5 %	51,3 %	26,3 %
1,50	96,6 %	84,1 %	70,8 %	5,90	87,3 %	50,7 %	25,7 %
1,60	96,4 %	83,2 %	69,2 %	6,00	87,1 %	50,1 %	25,1 %
1,70	96,2 %	82,2 %	67,6 %	6,10	86,9 %	49,5 %	24,5 %
1,80	95,9 %	81,3 %	66,1 %	6,20	86,7 %	49,0 %	24,0 %
1,90	95,7 %	80,4 %	64,6 %	6,30	86,5 %	48,4 %	23,4 %
2,00	95,5 %	79,4 %	63,1 %	6,40	86,3 %	47,9 %	22,9 %
2,10	95,3 %	78,5 %	61,7 %	6,50	86,1 %	47,3 %	22,4 %
2,20	95,1 %	77,6 %	60,3 %	6,60	85,9 %	46,8 %	21,9 %
2,30	94,8 %	76,7 %	58,9 %	6,70	85,7 %	46,2 %	21,4 %
2,40	94,6 %	75,9 %	57,5 %	6,80	85,5 %	45,7 %	20,9 %
2,50	94,4 %	75,0 %	56,2 %	6,90	85,3 %	45,2 %	20,4 %
2,60	94,2 %	74,1 %	55,0 %	7,00	85,1 %	44,7 %	20,0 %
2,70	94,0 %	73,3 %	53,7 %	7,10	84,9 %	44,2 %	19,5 %
2,80	93,8 %	72,4 %	52,5 %	7,20	84,7 %	43,7 %	19,1 %
2,90	93,5 %	71,6 %	51,3 %	7,30	84,5 %	43,2 %	18,6 %
3,00	93,3 %	70,8 %	50,1 %	7,40	84,3 %	42,7 %	18,2 %
3,10	93,1 %	70,0 %	49,0 %	7,50	84,1 %	42,2 %	17,8 %
3,20	92,9 %	69,2 %	47,9 %	7,60	83,9 %	41,7 %	17,4 %
3,30	92,7 %	68,4 %	46,8 %	7,70	83,8 %	41,2 %	17,0 %
3,40	92,5 %	67,6 %	45,7 %	7,80	83,6 %	40,7 %	16,6 %
3,50	92,3 %	66,8 %	44,7 %	7,90	83,4 %	40,3 %	16,2 %
3,60	92,0 %	66,1 %	43,7 %	8,00	83,2 %	39,8 %	15,8 %
3,70	91,8 %	65,3 %	42,7 %	8,10	83,0 %	39,4 %	15,5 %
3,80	91,6 %	64,6 %	41,7 %	8,20	82,8 %	38,9 %	15,1 %
3,90	91,4 %	63,8 %	40,7 %	8,30	82,6 %	38,5 %	14,8 %
4,00	91,2 %	63,1 %	39,8 %	8,40	82,4 %	38,0 %	14,5 %
4,10	91,0 %	62,4 %	38,9 %	8,50	82,2 %	37,6 %	14,1 %
4,20	90,8 %	61,7 %	38,0 %	8,60	82,0 %	37,2 %	13,8 %

LIITE 3. UV-laitteen hankintaohjelma

Tässä ohjeessa on esitetty otsikoittain asiat, jotka esitetään UV-laitteen hankinta-ohjelman teknisessä osassa.

ESITIEDOT

Asennuskohde

Määritellään lyhyesti kohde

Rakennuttaja, Suunnittelijat

Yhteystiedot

VEDEN KÄSITTELY JA LAATU

Käsiteltävän veden alkuperä

Kerrotaan mitä vettä kyseessä on. Esim. pohjavettä useilta ottamoilta tai pintavettä tai tekopohjavettä tms.

UV-laitteelle menevän ja raakaveden laatu

Raakaveden laatua kuvaavat seuraavat analyysit: UV:n kannalta tärkeimmät laatusuureet ovat:

- Veden UV-läpäisevyys 254 nm joko 10 mm tai 50 mm kyvetillä spetrofotometrillä mitattuna, huonoin mahdollinen ko. veden läpäisevyysarvo
- Rautapitoisuus
- Mangaanipitoisuus
- sameus
- Orgaanisen aineen pitoisuus $KMnO_4$-luku tai TOC
- Nitraatti
- Kalsiumpitoisuus, pH-arvo, alkaliteetti ja hiilidioksidipitoisuus kalsiumkarbonaatin saostumispotentiaalin arvioimiseksi
- Lämpötila

Lisäksi kuvaus vedenlaadun vaihtelusta ja tiedot huonoimmasta vedenlaadusta. Laadun vaihtelu voi johtua esimerkiksi vuodenaikojen vaihtelusta ja käytettyjen kaivojen eroista.

Käsittely

Kuvaus käsittelyprosessista. Mahdollisesti kaavio.

Käsitellyn veden laatu

Käsitellystä vedestä tiedot, mitkä tekijät muuttuvat raakaveteen nähden tai jos käytettävissä, niin analyysitiedot tai tavoitearvot.

LAITEVAATIMUKSET

Yleiset vaatimukset

Esim.:
Tämä hankintaohjelma sisältää UV-desinfiointilaitteiden hankinnan määrittelyt ja yleiset tekniset vaatimukset. Näistä ehdoista poikkeamiset on ilmoitettava tarjouksessa. Sopimuksen allekirjoituksen jälkeen tehdyt huomautukset poikkeamisista eivät oikeuta lisälaskutukseen. Tarjotuista laitteista on esitettävä valmistaja, toimittaja, merkki, malli ja toimitusaika jo tarjouksessa.

UV-desinfiointilaitteistot

1 Yleisiä laitevaatimuksia

Määritellään halutut materiaalit standardit yms.

2 Putkisto

Esitetään rajaus kuuluuko putkisto ja asennukset sekä sähköliitännät toimitukseen ja jos kuuluu, niin missä laajuudessa.

3 UV-laitteen mitoitus

Tarjottava laitteisto mitoitetaan em. tietoja ja seuraavia perusteita käyttäen:

Virtaama
Laite mitoitetaan virtaamalle XX m³/h.

Tässä yhteydessä on hyvä esittää tiedot virtaaman vuorokausi- ja vuodenaikaisvaihtelusta.

Laitelukumäärä
Valitaan joku vaihtoehdoista esim:
- Laitteita hankitaan 1 kpl ja sille ohitusmahdollisuus.
- Laitteita hankitaan 2 kpl siten, että ne yhteensä täyttävät maksimikapasiteetin tai että toinen on varalla
- laitteita hankitaan 3 kpl siten, että kaksi laitetta täyttää maksimikapasiteetin ja yksi on varalla.
- tms.

Valinta riippuu paikallisista olosuhteista ja halutusta varmuudesta. Eri vaihtoehtojen kustannusvertailua tehtäessä on huomattava, että lukumäärän lisääntyessä myös putkiston ja venttiilien määrä lisääntyy (ja koko pienenee).

Veden UV-läpäisevyys
Mitoituksessa käytetään veden UV-läpäisevyyttä eli transmittanssia aallonpituudella 254 nm mitattuna 10 mm kyvetissä: $T\%_{10}$ > XX %. **TAI**
Mitoituksessa käytetään veden transmittanssia aallonpituudella 254 nm mitattuna 50 mm kyvetissä:$T\%_{50}$ > XX %.

UV-annos
Vaadittava annos on saavutettava vielä lampun käyttöiän (takuuarvo) loppuvaiheessa.

Vaatimuksena on **biodosimetrinen annos 400 J/m².**

Paine
Laitteisto asennetaan verkostoon menevään linjaan, jossa sen tulee kestää vähintään X bar:n paine.

4 Laitteiston tietojen antaminen

Tarjouksessa on annettava riittävästi yksityiskohtaisia tietoja annoksen riittävyyden, käyttökustannusten yms. seikkojen varmistamiseksi. Tiedot annetaan liitteenä olevalla lomakkeella ja tarvittaessa käytetään lisänä erillisiä selvityksiä. DVGW- ,ÖNORM-, USEPA tai SVGW- standardien mukaisten sertifikaattien on oltava saatavissa viimeistään laitteen toimituksen yhteydessä.

Vastaavista Suomessa toimitetuista ja käytössä olevista laitteista on annettava referenssilista.

5 Automaatio

Laitteiston käyttö tulee olla automaattinen siten, että pumppauksen käynnistyksen ja pysäytyksen yhteydessä (tms. ulkopuolinen viesti) myös UV-desinfiointi käynnistetään tai pysäytetään siten, että desinfiointi tapahtuu luotettavasti kaikissa tilanteissa. Ohjauksella varmistetaan, ettei desinfioimatonta vettä pumpata verkostoon.

Laitteistoon tulee kuulua seuraavat automaatiotoiminnot:
- Laitteen pysäytys ja käynnistys. Toiminto on esim. seuraava: Kun pumppaus aloitetaan tauon jälkeen, niin UV-laitteisto käynnistyy automaattisesti etukäteen määritellyn ohjelman mukaisesti ja vasta laitteen saavutettua täyden tehonsa pumput/virtaus käynnistetään.
- Jos valokenno toteaa valon määrän jäävän liian pieneksi, niin automaatio antaa hälytyksen. Isoissa laitteissa voidaan vaatia myös virtaaman ja veden laadun ottaminen huomioon siten, että laskentaohjelma laskee reaktoritietojen ja em. tietojen perusteella sen hetkisen annoksen.
- Lamppujen rikkoutumisesta saatava lamppukohtainen tieto ja ryhmähälytys, joka siirretään eteenpäin.
- Muut automaatiotoiminnot, jotka ovat välttämättömiä laitteiston luotettavalle ja jatkuvalle toiminnalle. Esim. tarvittaessa lämpötilamittaukseen perustuva laitteen pysäytys, jos virtaus on liian kauan yhtäjaksoisesti pois päältä.

TOIMITUKSEN SISÄLTÖ

Laitteisto

Toimituksen sisällön tulee olla vähintään seuraava:

UV-desinfiointilaitteisto

Tarvittava sähkö/automaatiokeskus edellä esitetyn automaatioselvityksen mukaisine toimintoineen.

Keskuksen ja laitteen väliset kaapelit.

UV-laitteen ylilämpösuoja

Kvartsiputkien puhdistusmenetelmä määritellään: käsin tapahtuva puhdistus, käsikäyttöinen tai automaattinen kvartsilasiputkien pyyhinlaitteisto tai kemiallinen pesulaitteisto. Voidaan pyytää myös erillishintana.

Vähintään 1 (yksi) **UV-anturi** reaktoria kohti. Isoissa laitteissa voidaan vaatia useampiakin.

Näytteenottohanat, ennen ja jälkeen laitetta. Näytteenottohanojen pitää olla sellaisia, että niiden avulla voidaan ottaa mikrobiologiset näytteet. Näytteenottohanat on pystyttävä liekittämään ja näytteenottamisen tapahduttava niin, että se ei kontaminoidu näytettä otettaessa.

Ilmausventtiilit ja tyhjennysyhteet, joiden avulla voidaan poistaa ilmaa ja vesi reaktorista.

Mittakuva laitteistosta, josta ilmenee tarvittava huoltotila ja muut asennukseen vaikuttavat asiat (lamppujen ulostulosuunta laitteistosta yms).

Ehdotus putkiston toteutuksen periaatteesta ja asennustavasta sekä asennus ja sähkötyöt. Putkisto- ja sähkötyöt voidaan pyytää myös erikseen urakoitsijoilta.

Toimitukseen tulee sisältyä laitteistoon tarvittavista **sähkö- ja automaatioasennuksista työpiirustukset**. Laitteen ohjauskeskukselle tuleva syöttöjohto ja tarvittavat tiedonsiirtokaapelit hankitaan erikseen.

Laitteiston **asennuksen valvonta, koekäyttö, käytön koulutus ja opastus laitoksella**. Tarjouksessa on esitettävä koulutukseen käytettävä aika sekä tuntihinta, jos koulutusta halutaan enemmän.

Käyttö- ja huolto-ohjeet suomeksi

Ensimmäisen vuoden normaalit huoltotoimenpiteet tarvittavine varaosineen kuuluvat myös toimitukseen. Lisäksi huollon aikana laitoksen henkilökunta on opastettava tekemään huollot myöhemmin itsenäisesti. Näihin on sisällyttävä myös ainakin yksi lamppujen vaihto **lamppuineen**, vaikka käyttöikä olisi yli vuoden. Normaaleista huoltotoimenpiteistä on esitettävä erittely.

Varastoon hankittavista sekä tarvittaessa hankittavista **varaosista** (kuten kvartsilasisista suojaputkista) on annettava suositus sekä niiden yksikköhinnat sekä arvio tarpeesta. Ne osat, jotka eivät kuulu varaosaluetteloon kuuluvat mekaanisen takuun piiriin.

Takuut

DVGW- ,ÖNORM-, USEPA tai SVGW- standardien mukaisen sertifikaatin, josta ilmenee että laitteisto on mitoitettu biodosimetrisella annoksella 400 J/m² halutulle virtaamalle ja veden UV-läpäisevyydelle. Sertifikaatti oltava saatavissa viimeistään laitteen toimituksen yhteydessä.

Toimintatakuu tulee antaa lamppujen käyttöiälle sekä sähkönkulutukselle. Ellei takuuarvoja saavuteta toimittajan tulee maksaa sakkoina laskennollisesti arvioitava kahden vuoden aikana kertyvä takuuarvoon verrattu ylimääräinen käyttökustannus.

Laitteen sähköistyksen EMC-suojauksen tulee täyttää teollisuuden ja kotitalouksien standardivaatimukset.

Lampun käyttöiän alentuminen takuuarvoon nähden voidaan korvata uusilla lampuilla, joiden käyttöikä korvaa puuttuvan käyttöajan.

Sähkönkulutuksen takuuarvoon sisältyy myös laitteen keskuksessa kuluva sähköenergia. Sähkön hinta on x €/kWh.

Laitteelle tulee antaa vähintään 2 vuoden mekaaninen takuu.

TARJOUKSEN TEKNIIKKALOMAKE

Tekniset tiedot, laite:

Laitteen maksimivirtaama m³/h

Tarjottavan laitteiston teknisiä ominaisuuksia:

Ominaisuus	määrä	yksikkö	mahdollisia lisätietoja liite nro
Lamppujen lukumäärä		kpl	
Yhden lampun sähköteho		kW	
Yhden lampun UV-C valoteho		W	
Lampun pituus		mm	
Suojaputken läpi menevä UV-valoteho		%	
Koko laitteiston kuluttama sähköteho häviöineen (takuuarvo)		kW	
Reaktorin tilavuus		dm³	
Biodosimetrinen UV-annos *	400	J/m²	
Painehäviö mitoitusvirtaamalla		kPa	
Kvartsiputken käyttöikä		h	
Lampun käyttöikä (takuuarvo)		h	
Anturin käyttöikä			
Muita tietoja:			

*) sertifikaattien on oltava saatavissa viimeistään laitteen toimituksen yhteydessä

KÄYTTÖKUSTANNUSLASKELMA

laitteen maksimivirtaama m³/h

Käyttökustannuslaskelma kannattaa antaa tarjoajan täytettäväksi esim. seuraavan lomakkeen pohjalta. Näin mahdollisten säätöjen vaikutus käyttökustannuksiin tulee otetuksi huomioon. Perusteet on syytä vaatia myös aina nähtäväksi. Käyttökustannuslaskelma voidaan pyytää pelkästään maksimiteholle, jos laitteen toiminta on lähes jatkuvaa eikä lamppujen tehon säätömahdollisuutta ole ajateltu (pienet ja keskisuuret laitokset).

Jos laitoksen virtaama vaihtelee olennaisesti ja virtaama on suuri, kannattaa kustannuslaskelma pyytää myös todellisia olosuhteita vastaavana ilmoittamalla, miten virtaamat vaihtelevat esim.:

12 tuntia	60 %:n tuotto
6 tuntia	100 %:n tuotto
6 tuntia	0 %:n tuotto

Mahdollinen tehonsäätö voi tapahtua jännitesäätönä tai laitteiden lukumäärää automaattisesti vaihtelemalla.

	EUR/a	mahdollisia lisätietoja liite nro
Koko laitoksen sähkökulutus (x €/kWh)		
Lamppujen vaihto		
Kvartsiputkien vaihto		
Tiivisteet ja muut kuluvat osat		
Muuntajat ja muut sähkölaitteet		
UV-anturin tarkistus/kalibrointi kerran vuodessa		

LIITE 4. Desinfiointimenetelmien ominaisuuksien vertailutaulukko

	UV-säteily	Kloori	Otsoni	Kloridioksidi	Permanganaatti	Kloriamiini	O_3+H_2O_2	Kalvosuodatus
Muodostaa halogenoituja sivutuotteita	-	+	+/-	-	-	-	+/-	-
Lisää orgaanisen aineen pilkkoutumista	-	+/-	+	+/-	+/-	-	+	-
Muodostaa epäorgaanisia sivutuotteita	-	-	+/-	+	+/-	+/-	+/-	-
Sopii suojadesinfiointiin	-	+	-	+/-	-	+	-	-
Sameus häiritsee desinfektiota	+/-	-	+/-	-	-	-	+/-	-
Tehoaa Giardiaan >2log	+	-	+	+	-	-	+	+
Tehoaa Cryptoon >2log	+	-	+	-	-	-	+	+
Tehoaa Viruksiin >2log	+	+	+	+	-	-	+	+

+ = kyllä, = ei, +/-= joskus

LIITE 5. Sanastoa ja käsitteitä

Aallonpituuden merkitys	ultraviolettidesinfiointi perustuu UV-valon aiheuttamiin muutoksiin solujen sisältämässä perimässä. Osa aallonpituuksista on tehokkaampia kuin toiset, koska ne imeytyvät soluun helpommin. (kts kuva 2)
Absorptio	vaimentuminen, imeytyminen, ks. kpl 7.2.
DNA	deoksiribonukleiinihappo, joka sisältää perintötekijät
Ekvivalenttiannos	mikrobien tuhoutumisastetta vastaava UV-valoannos, jos käsiteltävä vesimäärä saisi tasaisen annoksen
Emissio	säteilyn lähettäminen
Inaktivaatio	mikrobien tuhoaminen, lisääntymisen estäminen
Intensiteetti	voimakkuus, kirkkaus, pinta-alalle integroitu säteilyvuontiheys
Keskipainelamppu	UV-desinfioinnissa käytetty lamppu, joka säteilee laajalla aallonpituusalueella.
Kysta	mikrobin kestomuoto, jonka avulla se selviää epäsuotuisissa olosuhteissa.
Log-vähennys	mikrobien vähennys kymmenesosaan, kts. kpl 3.4
Matalapainelamppu	UV-desinfioinnissa käytetty lamppu, joka säteilee pääosin aallonpituudella 254 nm.
Ominaissäteily	lampulle tyypillinen säteily, esimerkiksi muutamalla aallonpituudella (matalapainelamput) tai laajalla aallonpituusalueella (keskipainelamput). Vrt. kuvat 3 ja 4
Reaktori	tässä: teräksinen UV-laite, jonka sisällä on yksi tai useampi UV-lamppu.
Säteilykammio	=reaktori, UV-laitteen se osa, jossa lamput ovat.
Solarisaatio	suojalasin ja lampun lasin haurastuminen ja läpinäkyvyyden heikkeneminen UV-valon vaikutuksesta.
WHO	World Health Organization, Maailman terveysjärjestö

LIITE 6. UV-laitteiden toimittajien yhteystietoja

Aqua Nova Oy www.aquanova.fi
Riimukatu 4
20380 Turku
puh. 020 741 2010

BWT Separtec Oy www.hoh.fi
Varppeenkatu 28
21201 Raisio
puh. 02 436 7300

Filterit Oy www.filterit.fi
Karjalankatu 2
00520 Helsinki
puh. 010 229 0630

HyXo Oy www.hyxo.fi
Palokorvenkatu 2
04261 Kerava
puh. 09 417 4500

IP Produkter www.ip-produkter.fi
Muuntotie 3
01510 Vantaa
puh. 010 219 2100

ProMinent Finland Oy www.prominent.fi
Orapihlajatie 39
00320 Helsinki
puh. 09 4777 890

Sarlin Oy www.sarlin.com
Kaivokselantie 3-5
01610 Vantaa
puh.010 550 4000

Laitteiden valmistajien kotisivuja

www.bersonuv.com
www.bestuv.com
www.hanovia.com
www.prominent.com
www.wedeco.com
www.aquafides.com
trojanuv.com

Liite 7. Tarkistuslistat UV-laitteen toiminnan tarkkailuun ja hankintaan

TARKISTUSLISTA UV-LAITTEEN TOIMINNAN TARKKAILUUN KÄYTÖN AIKANA:

Jatkuva/päivittäinen tarkastus pitää sisältää ainakin:

- lamppujen toiminnan tarkastus
- lamppujen käyttötuntien tarkistus
- intensiteetin tarkistus
- puhdistustarpeen arviointi

Laitteisto pitää huoltaa kokonaan ainakin kerran vuodessa. Tällöin pitää vähintään

- tarkastaa ja tarpeen mukaan vaihtaa lamput
- puhdistaa ja tarkastaa lamppujen suojaputkien UV-läpäisevyys
- reaktorikammion puhdistus
- anturin puhdistus ja luotettavuuden tarkastus vertailuanturilla sekä kalibrointi tarvittaessa
- laitteen yleinen mekaaninen huolto (esimerkiksi pyyhinrenkaiden vaihto, jos laitteessa on automaattiset tai manuaaliset pyyhkimet kvartsilasiputkille)

TARKISTUSLISTA UV-LAITTEEN HANKINTAA VARTEN SELVITETTÄVISTÄ ASIOISTA:

- UV-laitteella käsiteltävän vedenlaatu (UV-läpäisevyys yms)
- UV-laitteella käsiteltävän veden määrä (yleensä verkostoon pumpattava veden määrä maksimissaan m^3/h)
- Tarvittavien UV-laitteiden määrä (riittääkö yksi vai tarvitaanko UV-desinfioinnille varmennus)
- Laitteen ja kvartsilasiputkien puhdistus: riittääkö manuaalinen vai tarvitaanko kemikaalin kierrätyslaitteisto tai manuaaliset/automaattiset kvartsilasiputkien pyyhkijät
- Laitteen asennuksen vaatimat putkistomuutokset ja asennustyöt sekä sähköliitännät
- Laitteen kytkentä laitoksen automaatioon ja kaukovalvontajärjestelmään