

Sanna Savisto

HUMUKSEN POISTAMINEN POHJAVEDESTÄ

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Tammikuu 2023**



Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Tammikuu 2023	Tekijä/tekijät Sanna Savisto
Koulutus Kemiantekniikan koulutusohjelma		<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK
Työn nimi HUMUKSEN POISTAMINEN POHJAVEDESTÄ		
Työn ohjaaja Jana Holm		Sivumäärä 22
<p>Humus on orgaanista ainetta, jonka voi poistaa pohjavedestä erilaisilla menetelmillä. Humus poistetaan pohjavedestä, koska suurina pitoisuuksina humus voi aiheuttaa erilaisia terveysriskejä. Hyväksi havaittuja menetelmiä ovat ilmastus, pH:n säätö ja alkalointi, selkeytys, suodatus ja desinfiointi.</p> <p>Ilmastuksessa päätavoitteena on korroosion vähentäminen, hajua ja makua aiheuttavien aineiden poistaminen sekä haihtuvien orgaanisten aineiden (VOC) poistaminen. pH:n säädössä ja alkaloinnissa, veden hiilidioksidipitoisuus (CO₂) vaikuttaa siihen, kuinka paljon alkalointikemikaalia tarvitaan pH-nostossa. Alkaloinnissa nostetaan veden puskurikapasiteettia, jolla tarkoitetaan veden kykyä vastustaa pH-muutosta.</p> <p>Saostamisen tarkoituksena on saada kiintoaine ja humus saostumaan poistettavissa olevaksi sakaksi. Selkeytyksessä poistetaan kuiva- ja märkäsuodattimilla veden virtauksen mukana kulkeutuvat hiutaleet (flokkit) sekä tehostetaan raudan autokatalyyttistä hapettumista jo syntyneiden hiutaleiden pinnoille. Suodatuksessa vesi johdetaan suodatinmateriaalin läpi, jolloin kiinteät partikkelit jäävät suodattimen pinnalle tai pidättyvät syvemmälle suodatinmateriaaliin.</p> <p>Desinfiointinissa on tarkoitus tuhota haitalliset tautia aiheuttavat mikrobit ja turvata puhdistetun veden hygieeninen laatu varastoinnin ja jakelun aikana verkostossa.</p>		
Asiasanat Desinfiointi, humus, ilmastus, pH ja alkalointi, saostus, selkeytys, suodatus.		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date January 2023	Author Sanna Savisto
Degree programme Chemical Engineering		
Name of thesis REMOVAL OF HUMUS FROM GROUNDWATER		
Centria supervisor Jana Holm	Pages 22	
<p>Humus is an organic substance that can be removed from groundwater using various methods. Humus is removed from groundwater, because in high concentrations of humus can cause various health risks. Methods found to be good include aeration, pH adjustment and alkalization, clarification, filtration and disinfection.</p> <p>In aeration, the main goal is to reduce corrosion, remove substances that cause odor and taste, and remove volatile organic compounds (VOC). pH regulation and alkalizing, the carbon dioxide (CO₂) content of the water affects how much alkalizing chemical is needed to raise the pH. Alkalization increases the water's buffer capacity, which refers to the water's ability to resist a pH change.</p> <p>The purpose of sedimentation is to cause solid matter and humus to precipitate into sediment to be removed. During filtration, flakes (flocs) carried along with the water flow are removed with dry and wet filters, and the autocatalytic oxidation of iron on the surfaces of already formed flakes is enhanced. In filtration, the water is passed through the filter material, so that the solid particles remain on the surface of the filter or are retained deeper in the filter material.</p> <p>The purpose of disinfection is to destroy harmful disease-causing microbes and to secure the hygienic quality of purified water during storage and distribution in the network.</p>		

<p>Key words Disinfection, filtration, humus, in aeration, pH regulation and alkalizing, sedimentation.</p>
--

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

COD_{Mn}	Kemiallinen hapen kulutus, Chemical Oxygen Demand
DOM	Liennut orgaaninen aine, Dissolved organic matter
KMnO₄	Kemiallinen hapen kulutus, Chemical Oxygen Demand
RAAKAVESI	Käsittämätön luonnonvesi ja pohjavesi, Untreated natural water and groundwater
TOC	Orgaaninen hiilen kokonaismäärä, Total organic carbon
UV	Ultravioletti, Ultraviolet
VOC	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet, volatile organic compounds

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 HUMUS	2
2.1 Pohjaveden muodostuminen	2
2.2 Veden värjäytyminen humuksesta	3
2.3 Orgaaninen hiili ja sen mittaaminen	3
2.4 Liuennut orgaaninen aines	4
2.5 Orgaaniset epäpuhtaudet	5
2.6 Humus pitoisuuden mittaaminen.....	5
3 HUMUKSENPOISTOMENETELMIÄ	7
3.1 Ilmastus	7
3.2 pH:n säätö ja alkalointi	8
3.3 Saostus.....	10
3.4 Selkeytys.....	12
3.5 Suodatus	13
3.6 Desinfiointi	16
4 JOHTOPÄÄTÖKSET	19
LÄHTEET	20
KUVAT	
KUVA 1. Pohjaveden muodostuminen	2
KUVA 2. Humuspitoista vettä juomalasissa	5
KUVA 3. Ilmastus huoneet	8
KUVA 4. Kalkinsyöttökone	11
KUVA 5. Hämmennysaltaat	11
KUVA 6. Selkeytysaltaat	13
KUVA 7. Hiilidioksidin syöttö	13
KUVA 8. Suodatusaltaat	15
KUVA 9. Desinfiointisyöttö	17
KUVA 10. Poikkileikkaus UV-desinfiointi lampusta	18

1 JOHDANTO

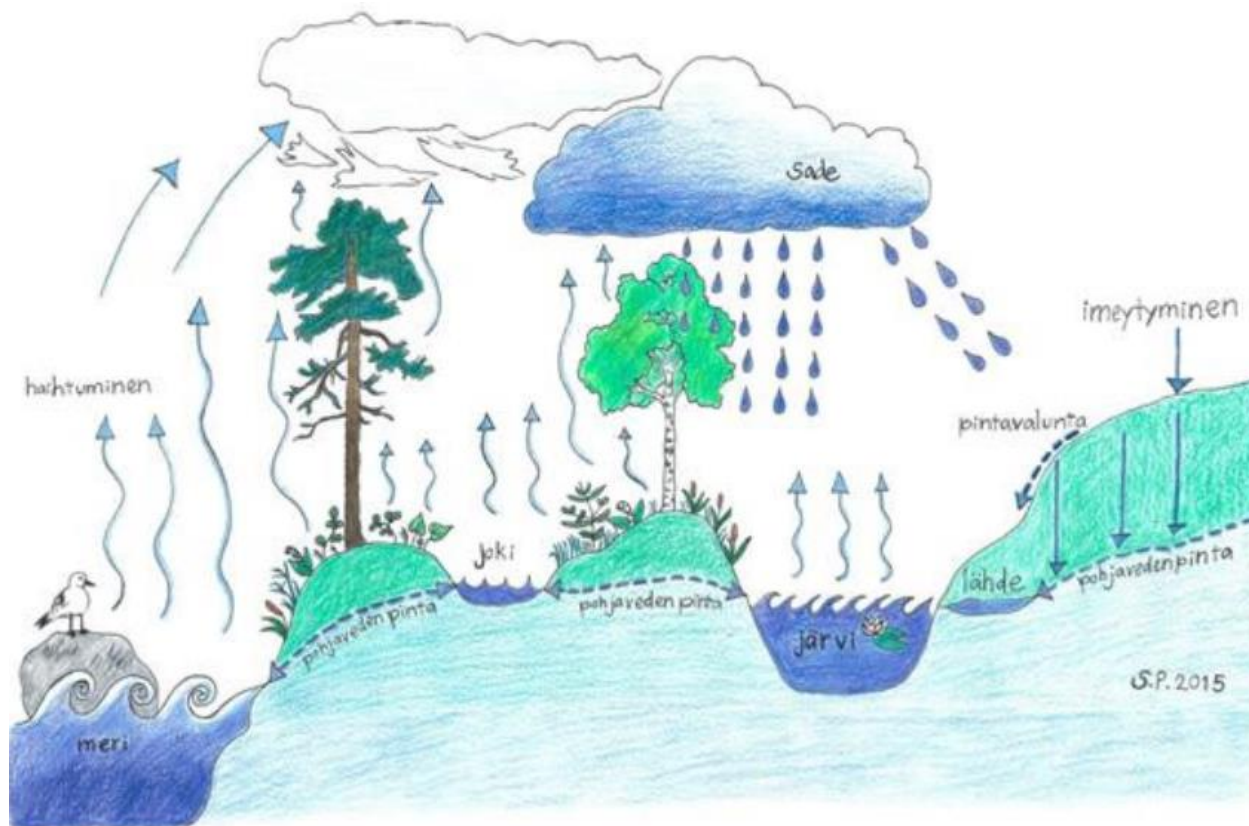
Päädyin tämän opinnäytetyön tekemiseen osittain siksi, että olen opintojeni ohella työskennellyt Kokkolan Vesilaitoksella koneenhoitajana n. 3 vuotta. Huomasin pohjavesilaitoksen pilottihankkeessa, kuinka tärkeää humuksen poisto pohjavedestä on, jotta pohjavesi ei vaaranna ihmisten terveyttä. Pohjavesi syntyy sadeveden ja lumen sulamisvesien imeytyessä maaperän kiviainesten välitilaan ja kalliope-
rän halkeamiin, joissa se kulkee hitaasti liikkuvana vetenä, joten hiekka- ja savimaat ovat hyviä pohja-
veden muodostumisalueita. Kun vesi hiljakseen imeytyy maahan, tapahtuu samalla koko ajan suoda-
tusta. Tämän suodattumisen vaikutuksesta vesi puhdistuu, kun siinä olevat erilaiset epäpuhtaudet adsor-
boituvat maa-ainepartikkeleihin. Tällaisia epäpuhtauksia ovat esimerkiksi bakteerit ja useat orgaaniset
yhdisteet. Tässä opinnäytetyössä käyn läpi asioita teoreettisesti eri kirjoitettujen materiaalien pohjalta,
kerron ilmastuksesta, pH:n säädöstä ja alkaloinnista, saostuksesta, selkeytyksestä, suodatuksesta ja des-
infioinnista, jotka on havaittu hyviksi humuksen poistossa. Humuspitoisuutta tulee poistaa siinä määrin,
että vesi täyttää sille asetetun laatuvaatimuksen. Vettä käsitellään sekä mekaanisesti että kemiallisesti,
koska raakavedestä pitää saada poistettua mikrobit ja kiintoaineet, jotta lainsäädännön edellyttämät vaa-
timukset käyttövedelle täyttyvät.

2 HUMUS

Pohjaveden muodostuminen, mistä ja miten humusta muodostuu ja miten se päätyy pohjaveteen. Tärkeimmät humuksen mittaus menetelmät pohjavedestä ovat kokonaishiilen määrän ja kokonaishapen kulutuksen määrittämisellä. Mistä humus muodostuu ja mitä se sisältää.

2.1 Pohjaveden muodostuminen

Pohjavesi virtaa maaston muotojen mukaan alaspäin ja purkautuu paikoitellen vesistöihin tai maanpintaan paineen tai painovoiman seurauksena eri pohjavesivyöhykkeissä. Pohjavedenpinta Suomessa on noin 1- 4 metrin syvyydellä maanpinnasta, mutta kallioperässä ja korkeilla harjuilla saattaa vedenpinta olla jopa 20 metrin syvyydellä maanpinnasta. Matalimmillaan pohjaveden pinta on vain noin metrin syvyydellä maanpinnasta ja syvimmillään se voi olla jopa yli 20 metriä maanpinnasta. Kuvassa 1 näkyy, kuinka pohjavesi muodostuu. (Ylä-Savon Vesi Oy)



KUVA 1. Pohjaveden muodostuminen (Ylä-Savon Vesi Oy).

2.2 Veden värjäytyminen humuksesta

Pintakerroksien maaperän humuspitoisuus vaikuttaa pohjaveden väriin ja mangaanin kulutukseen. Mangaania ja rautaa on varsin yleisesti pohjavesissä. Jos vedessä on orgaanista ainetta samanaikaisesti raudan kanssa, rauta voi olla sitoutuneena sen kanssa kompleksisiksi yhdisteiksi, jolloin rauta lisää veden väriä. (Karttunen & Tuhkanen 2003, 256.)

“Kaivovesistä humusta ilmenee yleisemmin rengaskaivojen vesissä kuin porakaivojen vesissä. Suomen järvivesissä humus on myös yleinen ongelma.” (Jalovesi.)

Humus on peräisin hajoavista eläin- ja kasviaineksista sekä pieneliöiden eritteistä. Humuksesta voi aiheutua veteen maan hajua ja makua sekä ruskean - keltaista väriä. Humusta esiintyy maaperässä ja pohjavesissä sekä pintavesissä. Sulamisvedet, rankkasateet ja tulvat lisäävät humuksen määrää pohja- ja pintavesissä. Humuspitoisuus on tästä syystä keväällä korkeampaa, kun jäät sulavat, sekä syksyllä sateiden yhteydessä. Humuspitoisuuden vesistöissä vaikuttaa suuresti sen maantieteellinen sijainti, valuma-alueen ominaisuudet (mm. maaperän, kasvillisuuden, soiden, maatalouden ja ojituksen osuudet). (Kangasluoma & Kainua 2012.)

2.3 Orgaaninen hiili ja sen mittaaminen

Vesistöissä oleva humus on orgaanisen aineksen hajoamistuote, joka koostuu monimutkaisista ja suuri-kokoisista hiiliyhdisteistä ja siksi sillä ei ole olemassa vain yhtä kemiallista rakennekaavaa. Humus koostuu suurimmaksi osaksi hiilestä ja lisäksi muita alkuaineita humuksessa ovat typpi (1 %), vety (4 – 5 %) ja happi (35 – 40 %). Lisäksi luonnonvedet sisältävät paljon muitakin hiiliyhdisteitä kuten hartsit, vahat, aminohapot ja hiilihydraatit, sekä muita orgaanisia aineksia, kuten planktoneita, mutta näitä ei luokitella humukseksi. (Kangasluoma & Kainua 2012.)

Orgaaniset aineet vedessä voivat olla myös myrkyllisiä, joten orgaanisen hiilen kokonaismäärää (TOC) voidaan mitata on-line-mittareilla jatkuvatoimisesti. Mittareilla mitataan useita eri toimintaperiaatteita mm. epäorgaanisen hiilen määrää tai hiilen hapettumista hiilidioksiidiksi (CO₂), käyttämällä IR-spektrofotometriä mittaamiseen. Haittapuoli näissä mittauksissa on, että ne vaativat lisäksi suodattimen, minkä vuoksi mittaustuloksissa voi olla suuriakin virheitä. (Karttunen, Tuhkanen, & Kiuru 2004, 50.)

2.4 Liuennut orgaaninen aines

Hiilidioksidi pohjavedessä on peräisin orgaanisen aineksen hajoamisesta. Orgaanista ainesta liukenee maan pintakerroksista sade- ja tulvavesien suotautuessa pohjavedeksi. Mikrobitoiminnan vaikutuksesta syvemmällä maaperässä se hajoaa hitaasti vedeksi ja hiilidioksidiksi. Kallioperämme laadusta johtuen suurin osa syntyneestä hiilidioksidista jää vapaaksi hiilidioksidiksi, eikä sitoudu biokarbonaatiksi. (Palmäki & Kuorikoski 2001, 8.)

Humus koostuu vesistöjen heterogeenisistä biomolekyyleistä. Molekyyli­massaltaan ne ovat suuria ja väriltään ruskeita, keltaisia ja mustia. Humus voidaan jakaa liukoisuuden mukaan kolmeen komponenttiin: fulvohappoihin, humushappoihin ja humiiniin. Orgaanisia happoja ovat fulvohapot, jotka ovat kaikissa pH-arvoissa liukoisia. Liukoisia pH:n ollessa yli kahden ovat humushapot, kun taas humiini on pääosin liukenematon. Humus voi esiintyä vesistöissä joko kiinteässä tai liuenneessa muodossa. Suurin osa orgaanisesta materiaalista vesistöissä on liuenneena orgaanisena aineena (DOM). DOM on heterogeeninen aromaattisten ja alifaattisten yhdisteiden seos ja DOM:sta 40-60 % kattavat liuenneet fulvohapot monissa vesiekosysteemeissä. (Hessen & Tranvik 1998.)

Humus on pysyvä hiiliyhdiste, jossa orgaaninen aines on hajonnut voimakkaasti ja liuen­nut veteen. Humus on sitoutunut rautaan, joka antaa vedelle sen ruskean värin. Tumma järvivesi vähentää valon läpäisyä ja nopeuttaa pinnan lämpenemistä. Nopea lämpötila kerrostuneisuus vähentää kesäaikaista hapen saantia syvissä altaissa. (Vesienhoidon toimenpideohjelmat 2021.)

Turvesoilla altaat ovat alun perin humuspitoisia, mutta rantaimetyminen lisää humuksen huuhtoutumista valuma-alueelta. Myös ilmaston muutoksen aiheuttamat jäätymisjaksojen lyheneminen ja sää­näri-ilmiöiden lisääntyminen todennäköisesti lisäävät huuhtoutumista. (Vesienhoidon toimenpideohjelmat 2021.)

Hiilivirtoja tutkittiin viimeksi osana Metsä Vesi-hanketta (Finér ym. 2020), jossa havaittiin orgaanisen hiilen pitoisuuden kasvava trendi useimmissa tutkituissa valuma-alueissa. Kemijoen valuma-alueen kohteista nouseva trendi havaittiin Simojoen ja Yljoen valuma-alueella. Myös koko Simojoen orgaanisen hiilen pitkäaikaisessa virtauksessa Perämereen havaittiin kasvua (Lepistö, Futter & Kortelainen 2014). Kemijoen vesien hoitoalueen vesistö tarkkailutiedot osoittavat myös, että valuma-alueen metsä­valtaisissa järvissä on havaittu sameutta. (Vesienhoidon toimenpideohjelmat 2021.)

Hiukkasilla tarkoitetaan veden mukana kulkeutuvia hiukkasia ($> 0,4 \mu\text{m}$). Hiukkasten koostumus riippuu niiden lähteestä, mutta liittyy yleensä ravinteisiin ja metalleihin. Kiintoaineen poistuminen valuma-alueelta tapahtuu maaperän eroosion seurauksena ja se on merkittävä ongelma rinteiden ja hienorakeisten kivennäismaiden kuivatuksessa. Hienojakoinen kiintoaine samentaa vettä ja virtaukset kuljettavat sen helposti pois, kun taas raskaampi kiintoaine laskeutuu jokisuiden ja järvien pohjalle. Kiintoaineen laskeutuminen edistää järvien umpeenkasvua ja rehevöitymistä sekä kalojen kutualueiden liettymistä joissa. Hiukkasmainen pilaantuminen on laajalle levinnyt ongelma valuma-alueilla, joilla on suuria jätevesipäästöjä. (Vesienhoidon toimenpideohjelmat 2021.)

2.5 Orgaaniset epäpuhtaudet

Humus voi myös olla osittain peräisin kasvien, eläinten ja mikro-organismien eritteistä. Humus vaikuttaa orgaanisten epäpuhtauksien ja raskasmetallien toksisuuteen ympäristössä, koska monet myrkylliset aineet muodostavat humuksen kanssa komplekseja. Suurin ero pintaveden ja pohjaveden välillä on se, että pintavesi sisältää yleensä paikallisesti ja ajallisesti vaihtelevassa määrin orgaanista aineita, kun taas pohjavedessä orgaanisia aineita on yleensä hyvin vähän. (Löfgren, Forsius & Andersen.)

2.6 Humus pitoisuuden mittaaminen

Vesianalyysin tuloksissa COD_{Mn} - tai KMnO_4 -luku (permanganaattiluku tai kemiallinen hapenkulutus) kertoo veden humuspitoisuudesta. Maaperästä tai pintavesistä peräisin oleva veden humus on orgaanista ainetta. Jos humuspitoista sisältävää vettä käytetään koneissa ne voivat rikkoutua ja pyykki ja vesikalusteet värjäytyä. Kuvassa 2 on humuspitoista vettä juomalasissa. (Jalovesi.)



KUVA 2. Humuspitoista vettä juomalasissa (Jalovesi).

”Hapettavuus (CODMn) perustuu kaliumpermanganaatin kykyyn hapettaa orgaanista ainesta ja sillä mitataan talousveden orgaanisen aineksen määrää” (Valvira 2020, 28).

Veden kemiallinen hapenkulutus on hapettimen kanssa ekvivalentti määrä happea, jonka näytteen liuenut ja suspendoitunut orgaaninen aine kuluttaa reaktio-olosuhteissa. CODMn-luku tarkoittaa kemiallista hapenkulutusta (happena ilmoitettuna). KMnO_4 -luku tarkoittaa kemiallista hapenkulutusta (kaliumpermanganaattikulutusena ilmoitettuna). (Opetushallitus.)

3 HUMUKSENPOISTOMENETELMIÄ

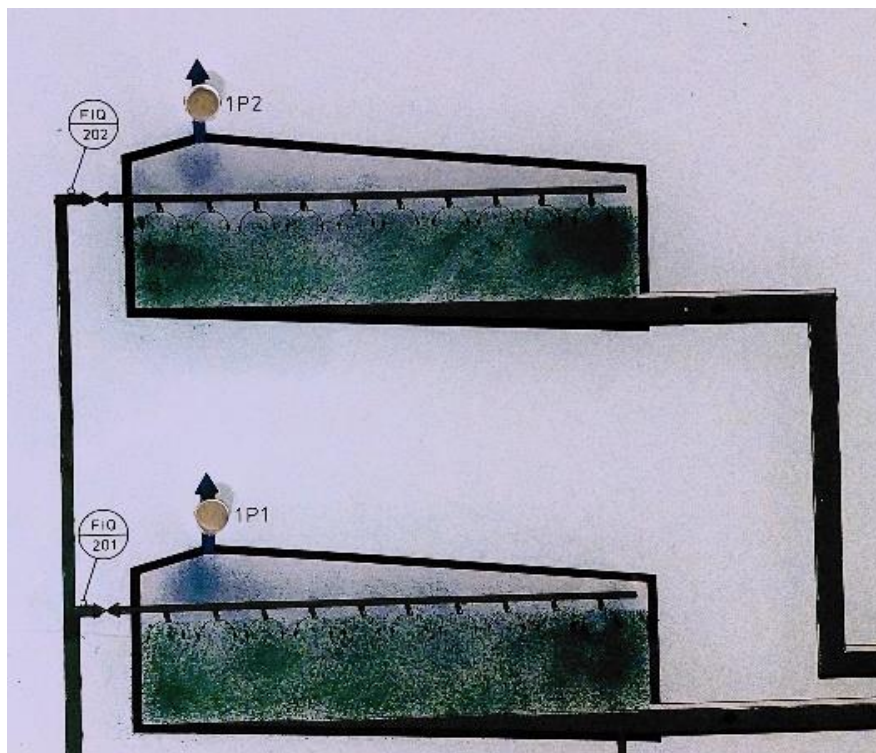
Yleisimmät Suomessa käytetyt pohjaveden käsittelyprosessit ovat ilmastus, pH:n säätö ja alkalointi, saostus, selkeytys, suodatus ja desinfiointi.

3.1 Ilmastus

Ilmastus on yleinen termi, jota käytetään puhuttaessa kaasun siirrosta vesi- ja kaasufaasin välillä. Toimenpiteenä se on fysikaalinen, mutta sillä saattaa olla seurauksena kemiallisia laadun muutoksia. Ilmastus on myös kaasujen lisäämistä veteen ja sitä kutsutaan absorptioksi (kemiallinen absorptio on ilmiö, jossa atomit, molekyylit ja ionit pidättyvät nesteeseen), kaasun poistoa vedestä kutsutaan desorptioksi tai strippaukseksi (kemiallinen desorptio tarkoittaa kemiassa absorption vastakohtaa eli pintaan nousevien atomien, molekyylien tai ionien vapautumista aineen pinnalle tai pintaan kiinnittyneiden molekyylien irtoamisprosessissa). Vesihuoltotekniikassa ilmastus voi sisältää molemmat prosessit samanaikaisesti. Kaasuabsorptiossa hapen lisäämisen tavoitteena on rauta-, mangaani- rikkiyhdisteiden hapettaminen. Päätaavoite desorptiossa on korroosion vähentäminen ja hiilidioksidin, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) sekä hajua ja makua aiheuttavien yhdisteiden poistaminen. VOC-analyysillä mitataan helposti haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärää. VOC-aineita saattaa päätyä veteen myös vesijohtoverkoston materiaaleista. (Karttunen ym. 2004, 69.)

Ilmastus tapahtuu ilmastushuoneissa, jossa vesi suihkutetaan ilmaan pieniksi pisaroiksi Dresden-suuttimilla. Ilmanvaihto tapahtuu huippuimurilla ja tarvittava korvausilma otetaan joko ulkoa tai laitoksen sisätiloista. (Patamäen vedenottamo – Kokkola 2022.)

Ilmastuksen tarkoituksena on poistaa raakavedessä oleva hiilidioksidi, jolloin prosessissa tarvittavan kalkin määrä pienenee. Toisena päämääränä on hapen lisääminen veteen, jotta raudan ja mangaanin hapettaminen helpottuu. Kuvassa 3 on Patamäen kasi ilmastus huonetta. (Patamäen vedenottamo – Kokkola 2022.)



KUVA 3. Ilmastus huoneet (Patamäen vedenottamo – Kokkola. 2022).

Täyteaineiden pinnoille ja ilmastimiin käytössä muodostuu bakteerikasvustoa, joka voi aiheuttaa veteen haju- ja makuhaittoja sekä sameutta. Ilmastusteho voi myös pienentyä koska mangaani- ja rautasakkaa saattaa kerääntyä tätekappaleiden ja muiden osien pinnoille. Käsiteltävän veden laatu määrää tornien pesuvälin tarpeen, joka voi olla kuukaudesta vuoteen. (Isomäki, Valve, Kivimäki & Lahti 2007, 37-38.)

3.2 pH:n säätö ja alkalointi

Suomessa pohjavedet ovat pehmeitä ja happamia, minkä johdosta ne ovat syövyttäviä. Veden pH:ta, kovuutta ja alkaliteettia saadaan kuitenkin nostettua kalkkikiven avulla, jonka johdosta saadaan vähennettyä korroosiota putkissa. Kalkkikivialkalointi on toimintavarma, yksinkertainen ja turvallinen menetelmä, eikä yliannostuksen riskiä ole. Yleisesti veden pH 7,5-8,0 saavutetaan kalkkikivialkaloinnilla. (Nordkalk Filtra A 2016.)

Alkalointikemikaaleilla tarkoitetaan vesilaitoksilla käytettäviä kemikaaleja, joilla veden pH- arvoa säädetään sopivaan arvoon. Alkalointikemikaaleja ovat muun muassa lipeä (natriumhydroksidi, NaOH), sooda (natriumkarbonaatti, Na₂CO₃) tai kalkki (vesilaitoskalkki, kalsiumhydroksidi, Ca(OH)₂). Veden

veteen lisätty emäs neutraloi hiilidioksidin bikarbonaatiksi. Myös ilmastus nostaa veden pH-arvoa. Ilmastuksessa ilmafaasiin siirtyy vapaa hiilidioksidi. (Meriluoto 2002, 4–7.)

Puhdistuskemikaalina käytetään teollisuushienokalkkia eli kalsiumhydroksidia ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Kalkin syötön määrää säädetään siten, että veden pH-arvo nousee noin 9,5:een, jolloin saadaan rauta ja mangaani hapettumaan ja poistettua puhdistusprosessissa. Kalkin syötön määrä on noin $45 \text{ g} / \text{m}^3$. (Patamäen vedenottamo – Kokkola 2022.)

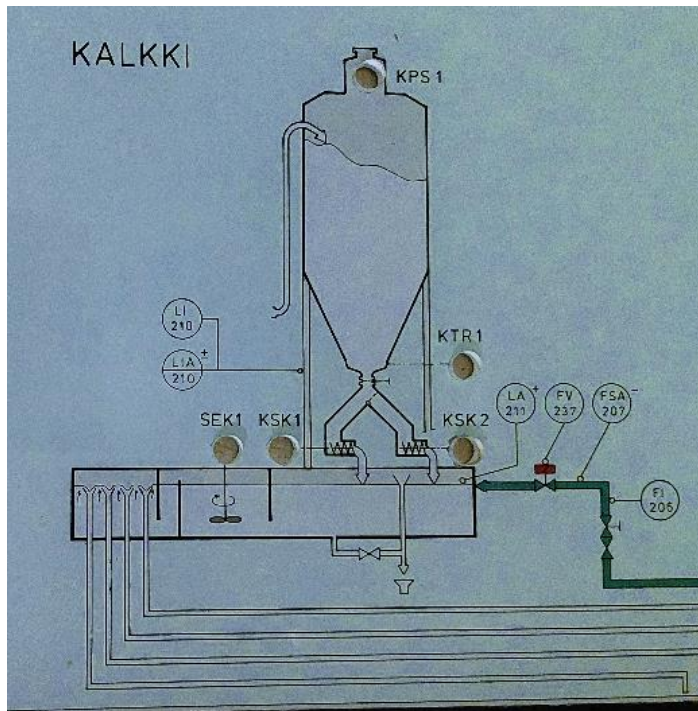
3.3 Saostus

Saostuskemikaalin annostelun tarkoituksena on saostaa kiintoaineet ja humus poistettavaksi sakaksi. Saostuskemikaali laskee veden pH-arvoa, joten tarvitaan pH:n säätökemikaalia, ettei pH-arvo laskisi liian alas. (Vesilaitostekniikka ja hygienia 2018.)

Kemiallis-fysikaalisella koagulaatio-flokkausprosessilla tarkoitetaan kemiallista saostusta. Tällä raakaveden prosessilla poistetaan rautaa ja mangaania, humusaineksen poistoon voidaan tätä myös käyttää. Tässä prosessissa on tarkoitus kasvattaa flokit niin suuriksi, että ne voidaan poistaa selkeytyksessä ja suodatuksessa. (vesihuolto II: RIL 124-2.2004, 361-362.)

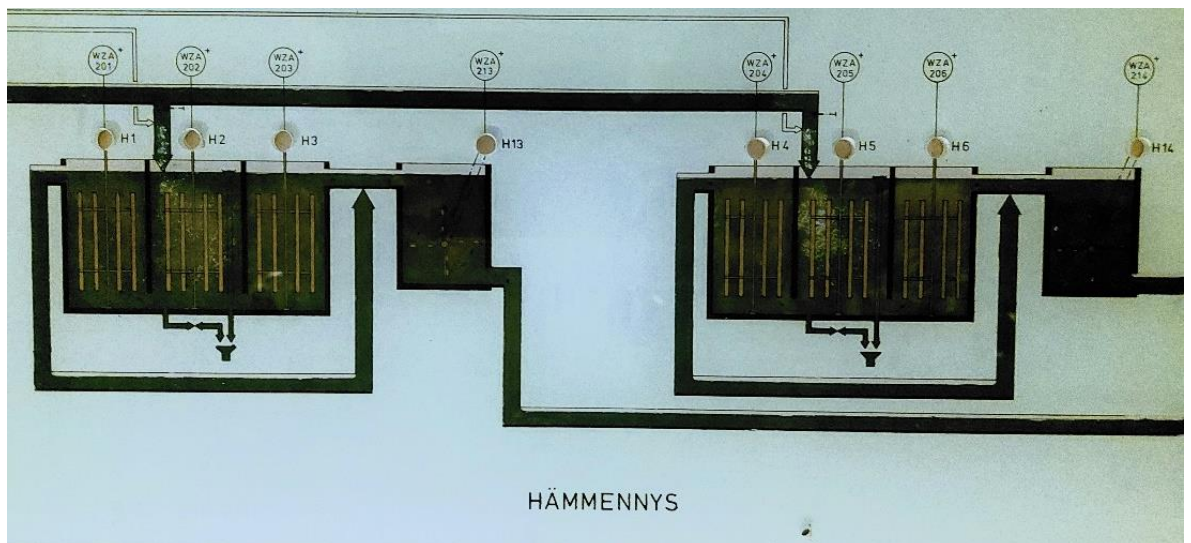
Saostamalla orgaaninen aines poistetaan useaan eri ilmiöön perustuen: adsorptioon, tarttumiseen, kompleksien muodostukseen ja varausten neutralointiin. Orgaanisen aineen koostumuksesta riippuu, millä mekanismeilla se vedestä poistuu. Suurimolekyylisiä hydrofobista orgaanista ainesta saadaan poistettua vedestä saostamalla. Saostamalla orgaanisen aineksen poistoteho on riippuvainen saostuskemikaalin annostuksesta, pH:sta, tyypistä, lämpötilasta ja sekoitusolosuhteista. Poistotehoon vaikuttaa lisäksi orgaanisen aineksen partikkelikoko, varaus, laatu ja hydrofobisuus. Myös vedessä olevilla ioneilla kuten klorideilla, bikarbonaateilla ja sulfaateilla on omanlaisensa vaikutus poistotehoon. (Huoltovarmuusorganisaatio 2020, 9.)

Saostuskemikaalina käytettävä kalkki tuodaan laitokselle autokuljetuksina, joista se siirretään vesilaitoksen kalkkisiiloon. Siilosta kalkin annostus tapahtuu kuivasyöttökojelta käytäen. Syöttökojeen säätö tapahtuu käsin raakaveden laadun ja määrän mukaan. Kalkista valmistetaan kalkkisuususpensio sekoittamalla kuivasyöttökojeelta tuleva kalkki liotusveteen. Kalkkimaidon valmistukseen käytettävän veden määrä säädetään noin $9 \text{ m}^3 / \text{tunnissa}$. Tällöin maksimisyöttötilanteissa saadaan noin 1%:nen kalkkisuususpensio. Viipymä sekoitusaltaassa on noin 4 minuuttia, josta kalkkisuususpensio johdetaan hämmennyslinjojen alkuun. Kuvassa 4 on Patamäen kalkinsyöttökone. (Patamäen vedenottamo – Kokkola 2022.)



KUVA 4 Kalkinsyöttökone (Patamäen vedenottamo – Kokkola 2022).

Hämmennimet ovat kahdessa prosessilinjassa, joissa molemmissa on neljä erillistä hämmennintä. Hämmennistä kolme ensimmäistä on pystyhämmennimiä ja neljäs hämmennin on vaakahämmennin. Kemikaloitu vesi johdetaan yhteen pystyhämmennimeen, josta se jaetaan kahteen rinnakkaiseen pystyhämmennimeen. Näistä vesi johdetaan viimeisenä olevaan vaakahämmennimeen. Hämmennimien pyörimisnopeuksia voidaan säätää, ja käytännössä nopeudet ovat alkupäässä suurempia. Viipymäaika hämmennimissä pitää mitoitusasteella olla vähintään 40 minuuttia. Vaakahämmennimistä vesi johdetaan selkeytysaltaisiin. Kuvassa 5 on Patamäen hämmennysaltaat. (Patamäen vedenottamo – Kokkola 2022).



KUVA 5. Hämmennysaltaat (Patamäen vedenottamo – Kokkola. 2022).

3.4 Selkeytys

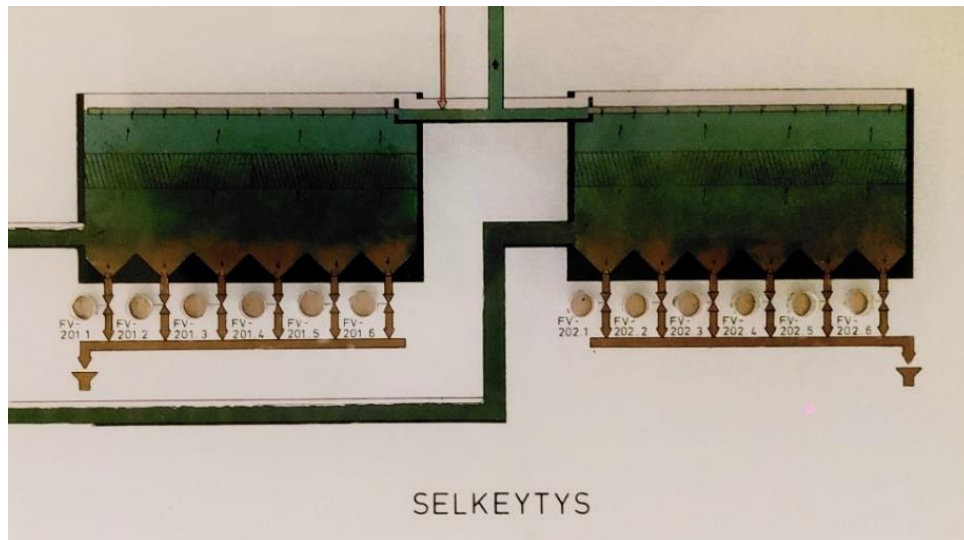
Selkeytyksellä tarkoitetaan nestemäisen partikkelin tai kiintoaineksen poistamista vedestä, käyttäen hyväksi keskipakovoimaa tai painovoimaa. ”Poistettavien hiukkasten koko vaihtelee tällöin silmin havaittavasta lähelle kolloidishiukkasten kokoa.” Hiukkaset voivat olla selkeytyksellä erotetut veden aikaisemmissa käsittelyvaiheissa biologisin tai kemiallisin menetelmin aikaansaatuja. (Karttunen ym. 2004, 77.)

Selkeytyksen yleisin muoto on laskeutus, jossa erotettavat partikkelit laskeutuvat painovoiman avulla selkeytysaltaan pohjalle, koska partikkelit ovat vettä raskaampia. ”Laskeutusta käytetään hiekanerotuksessa, esilaskeutuksessa, aktiivilieteprosessissa syntyneiden biologisten sekä saostuksessa syntyneiden kemiallisten flokkien poistamiseen.” Laskeutuksen tarkoitus on poistaa vedestä kiintoainesta siten, että kuluttajat saavat puhdasta juomavettä. (Karttunen ym. 2004, 77.)

Selkeytyksen tarkoituksena on poistaa kuiva- ja märkäsuodattimilta veden virtauksen mukana kulkeutuvat hiutaleet (flokkeja) sekä tehostaa raudan autokatalysoitua hapettumista jo syntyneiden hiutaleiden pinnoille. Selkeytykseen voidaan käyttää normaalia laskeutusallasta, joka voitaneen mitoittaa huomattavasti pienemmäksi kuin vesilaitostekniikassa yleensä käytetyt mitoitusarvot osoittavat. (Hatava & Seppänen 1983.)

Vedessä olevien hiukkasten poistoon käytetään selkeytystä joko nostamalla ne pinnalle tai laskeuttamalla ne altaan pohjalle. Puhdistettava vesi laskeutuksessa johdetaan laskeutusaltaisiin, joissa vesi virtaa hitaasti, minkä vuoksi tiheydeltään suuret hiukkaset ennättävät laskeutua altaan pohjalle ja muodostavat lietettä, joka pumpataan pumpuilla pois altaista. Pienten ilmakuplien avulla pyritään flotaatiossa nostamaan hiukkaset veden pinnalle. Paineellinen ilma vapautuu puhdistettavan veden sekaan pieninä mikrokuplina, jotka kiinnittyvät hiukkasiin ja nostavat ne veden pintaan. Veden pinnalta ne poistetaan liete-kaapimilla. (vesihuolto II: RIL 124-2.2004, 381-391.)

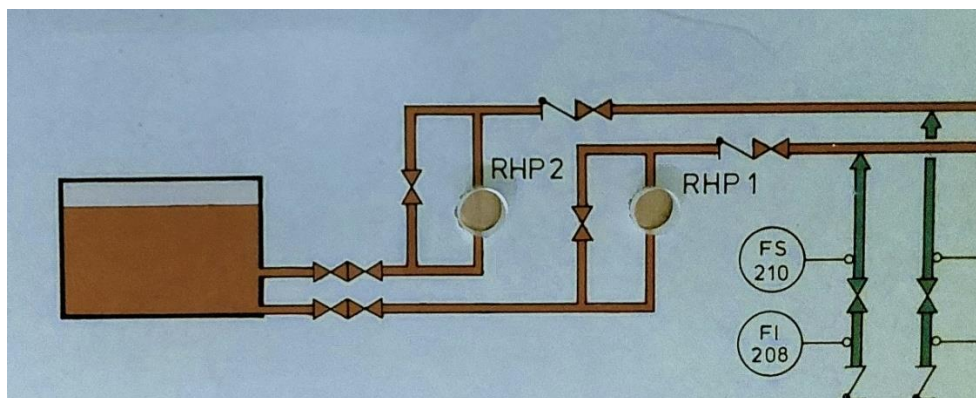
Vaakahämmmentimistä vesi johdetaan neljän selkeytysaltaan pohjaosaan. Selkeytysmenetelmänä käytetään pystyselkeytystä, jonka tehoa on lisätty 60 cm korkeiden muovisten Munters -lamellien käytöllä. Pystyselkeytyksessä kemikaloitu vesi nousee pohjaosasta ylöspäin ja virtaa lamellien läpi altaan yläosaan, josta selkeytynyt vesi kerätään pintaputkistoon, joista matka sitten jatkuu hiekkasuotimille. Kuvassa 6 on Patamäen selkeytysaltaat. (Patamäen vedenotto – Kokkola 2022.)



KUVA 5. Selkeytysaltaat (Patamäen vedenottamo – Kokkola 2022).

Selkeytysaltaista vesi kerätään kahteen kanavaan ja johdetaan suodattimille. pH:n säätö tapahtuu syöttämällä kanavaan hiilihappoa CO_2 :a. (Patamäen vedenottamo – Kokkola.2022.)

Hiilihapon syöttö tapahtuu pH-ohjattuna siten, että suotimille menevän veden pH-arvo on noin 8,6. Hiilihapon syöttömäärä on noin 5 g/m^3 . Kuvassa 7 on Patamäen hiilidioksidin syöttö. (Patamäen vedenottamo – Kokkola.2022.)



KUVA 7. Hiilidioksidin syöttö (Patamäen vedenottamo – Kokkola 2022).

3.5 Suodatus

Suodatus on paljon käytetty prosessivaihe vesien käsittelyssä. Suodatuksessa vesi johdetaan suodattimen läpi. Kiintoaineet jäävät suodattimen pinnalle tai jäävät syvempiin kerroksiin suoratinmateriaalissa. Hiekkasuodattimessa oleva aktiivihiili poistaa erityisen tehokkaasti vedessä esiintyviä hajuja ja makuja. Prosessissa hyödynnettävä fysikaalinen ilmiö on adsorptio, joka saa poistettavat epäpuhtaudet kiinnittymään aktiivihiilen pintaan. Rakeiset suodattimet koostuvat yhdestä tai useammasta materiaalista, ja niitä

valmistetaan erilaisista materiaaleista. Suodatus tapahtuu pääasiassa suodattimen sisällä. Kun vesihiukkaset pääsevät suodattimeen, joko ne kulkeutuvat suodatinaukoista läpi tai kasaantuvat suodattimen pinnalle. Kulkeutuessaan epäpuhtaudet pidäytyvät suodattimen rakeiden väliin mm. pinta- ja adheesiovoimien vaikutuksesta. Myös suodatinmateriaalin muoto vaikuttaa mm. tarvittavan huuhteluveden määrään, suodattimen puhdistumiseen, painehäviöön ja suodattimen huokoisuuteen. (Karttunen ym. 2004, 107 - 110, 394.)

Aktiivihieillä voi olla erilaisia suorituskykyominaisuuksia riippuen kerroksista, joista se on johdettu (esim. bitumi- tai antrasiittihiehi, luuhiehi, kookospähkinän kuori) ja sen valmistustavasta. Tästä syystä on tärkeää sovittaa oikea aktiivihiehi erityistarpeeseen. Näin saavutetaan tehokkain suodatus ja pisin laitteiston käyttöväli. Kookospähkinän kuoret ja kivihiiehi (antrasiitti tai bitumi) ovat molemmat orgaanisia aktiivihiehin lähteitä. Hieltä muodostuu, kun orgaanista lähdettä poltetaan ympäristössä, jossa ei ole happea. Tämä prosessi jättää vain noin 30 % orgaanisesta massasta koskemattomaksi, mikä ajaa pois raskaita orgaanisia molekyylejä. Ennen kuin sitä käytetään vedenkäsittelyyn, orgaaninen massa on sitten aktivoitava. Aktivointiprosessi avaa hiehin valtavan määrän huokosia ja ajaa edelleen pois ei-toivottuja molekyylejä. Avoimet huokokset sallivat hiehin vangita epäpuhtauksia, mikä tunnetaan nimellä adsorptio. Kun vesi kulkee aktiivihiehisuodattimen läpi, orgaaniset hiukkaset ja kemikaalit jäävät sisään prosessin kautta, joka tunnetaan adsorptiona.

Adsorptioprosessi riippuu viidestä päätekijästä:

- 1) aktiivihiehin fyysiset ominaisuudet (pinta-ala ja huokoskokojakauma)
- 2) hiehin lähteen kemiallinen koostumus (hapen ja vedyn määrä)
- 3) kontaminantin kemiallinen koostumus ja pitoisuus
- 4) veden lämpötila ja pH
- 5) aika, jonka vesi on alttiina aktiivihiehisuodattimelle (kutsutaan tyhjän kerroksen kontaktiajaksi) (Water professionals 2022.)

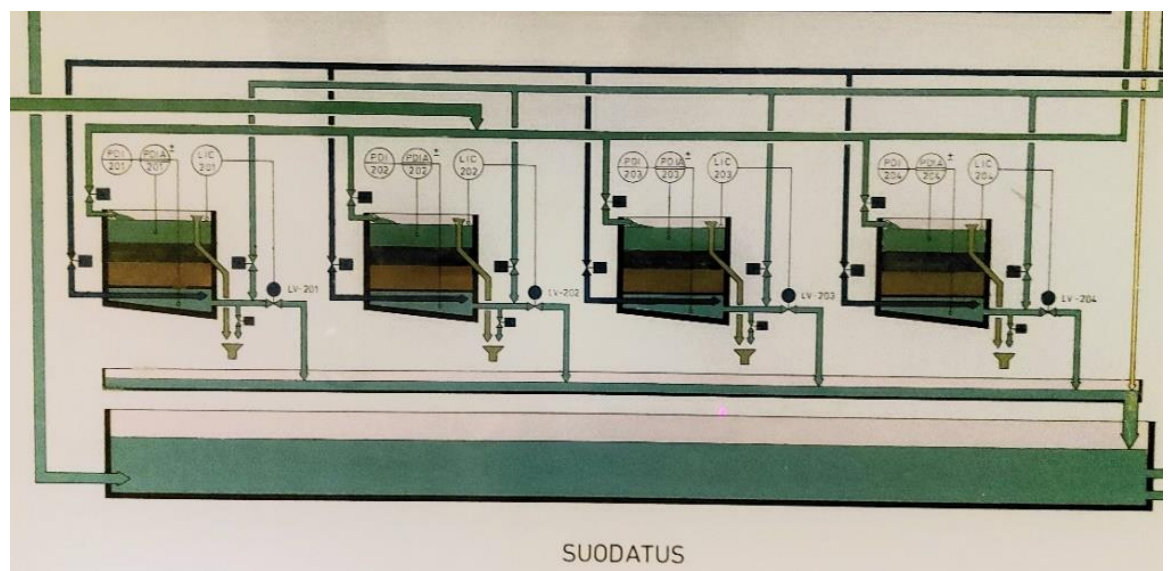
Suodattimen huokoisuus laskee, suodatusnopeus hidastuu ja virtausvastus kasvaa, kun siihen alkaa käytettäessä kertymään epäpuhtauksia. Virtausvastuksen muutos on riippuvainen suodattimen suodatinmateriaalista, toimintaperiaatteesta sekä suodatettavan veden epäpuhtauksista. Huuhtelutarve määräytyy esimerkiksi, kun suodattimen kapasiteetti on käytetty tai kun suodatusnopeus laskee merkittävästi. (Karttunen ym. 2004, 113–114.)

Suodattimien oikea ajoitus huuhteluille on tärkeää, ettei suodattimien huuhtelu ja tukkeutuminen aiheuta suodatetun veden laatuun häiriöitä. (Vesilaitostekniikka ja hygienia 2018, 21).

Pikasuodatuksessa vesi johdetaan sorasta ja hiekasta koostuvan suodatusaineen läpi, jolloin karkeiden partikkelien lisäksi osa raudasta ja mangaanista voivat saostua hapettumisen kautta. Pintakuorma on 10–20 m/h pikasuodatuksessa. (Kivimäki 1992.)

Kontaktisuodatuksessa veteen lisätään saostuskemikaali juuri ennen suodatinta. Kaikki käsittely tapahtuu suodattimessa, joka on yleensä hiekkasuodatin tai kaksikerrossuodatin (jossa materiaalina on antrasiittihiiltä ja kaksi kerrosta rakeista hiekkaa). Myös käännteissuodattimia on olemassa ja niitä on mahdollista käyttää. Kontaktisuodatus soveltuu yleensä vedelle, jonka humuspitoisuus on alhainen. Hiekan lisäksi suodatuksessa voidaan käyttää muitakin materiaaleja. Näitä materiaaleja voidaan käyttää erityisesti vaikuttamaan suodatusnopeuteen. Tavallinen suodatusnopeus on yksikerrossuodattimessa 5–10 m/h ja monikerrossuodattimissa 10–20 m/h. (Isomäki ym. 2007, 40.)

Suodattimia on molemmilla prosessilinjilla neljä kappaletta. Suodattimet ovat kaksikerrossuodattimia, joissa materiaaleina on antrasiitti ja kaksi eri rakeista hiekkakerrosta. Suodattimissa tapahtuu kaksi eri toimintoa rinnakkain. Toisaalta suotimiin jää lähes kaikki lopuista rauta- ja mangaanisakoista, jotka tulevat selkeytyksen läpi. Toisaalta suotimissa poistuu raakavedessä oleva ammoniakki nitrifikaation avulla. Kuvassa 8 on Patamäen suodatusaltaat. (Patamäen vedenottamo – Kokkola 2022.)



KUVA 7. Suodatusaltaat (Patamäen vedenottamo – Kokkola 2022).

3.6 Desinfiointi

Yksi tärkeimmistä vedenkäsittelyprosessin vaiheista on desinfiointi. Desinfiointimenetelmien tai desinfiointiaineiden tulee poistaa kaikki patogeeniset organismit vaihtuvissa olosuhteissa eikä niistä saa aiheutua terveydelle minkään laista haittaa. (Karttunen 2004, 152.)

Desinfiointi on Suomessa pakollinen osa pintavesien käsittelyssä, mutta pohjavesiesiintymä, joka on hyvin suojattu ja valvottu voidaan jättää desinfioidumatta. Käytännössä pohjavesiesiintymät vain harvoissa tapauksissa ovat sellaista vettä, että sitä voitaisiin sellaisenaan käyttää talousvetenä ilman jatkuvaa desinfiointia. Desinfiointimenetelmistä yleisimpiä ovat otsonointi, klooraus ja UV-säteilyn käyttö. (Vesihuolto II: RIL 124-2, 417-419.)

Desinfiointi on haitallisten tauteja aiheuttavien mikrobien tuhoamista. Desinfiointiin kuuluvat klooripohjaiset aineet ja UV-käsittely (ultravioletivalosäteilytys). (Vesilaitostekniikka ja hygienia 2018.)

Veden desinfiointissa orgaanisten aineiden kokonaismäärä vaikuttaa ei toivottujen sivutuotteiden määrään, joiden terveydelle haitallisuus on osoitettu. Desinfiointiin käytettävä klooripohjaiset aineet reagoivat haitallisesti veden humuspitoisuuteen, jonka seurauksena voi muodostua syöpää aiheuttavaa trihalometaanina, jonka on havaittu aiheuttavan koe-eläimillä mm maksa-, munuais- ja suolistokasvaimia. (Valvira 2020, 25.)

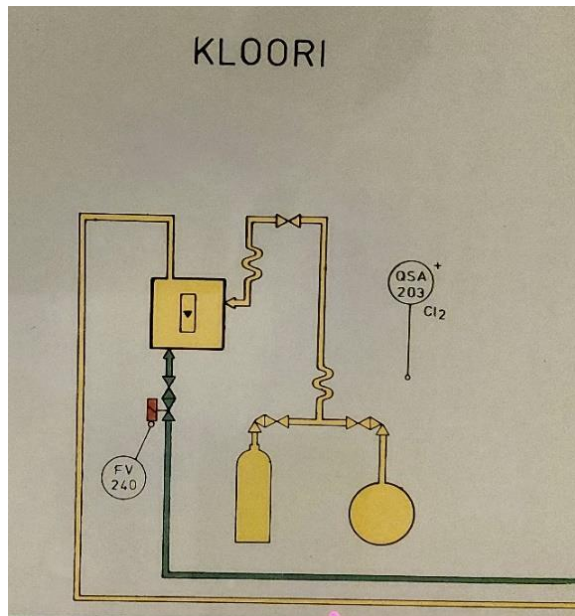
Pisimpään käytössä ollut desinfiointimenetelmä on klooraus. Sen monet hyvät puolet on desinfiointiteho ja desinfiointiominaisuudet verkostossa. Kloorauksen seurauksena syntyvät karsinogeeniset sivutuotteet voivat aiheuttaa ongelmia. (Vesihuolto II: RIL 124-2. 2004, 420.)

”Nämä sivutuotteet syntyvät, kun hypokloriitti tai kloorikaasu pääsee reagoimaan orgaanisen aineen eli humuksen kanssa.” (Talousveden klooraus 2006, 5.)

Pohjavesilaitoksella veden desinfiointiin käytetään natriumhypokloriittia, jota syötetään prosessiin hiekkasuodatuksen jälkeen. Natriumhypokloriitti säilyy parhaiten viileässä ja suojassa valolta. Kemikaali on hyvin syövyttävää, minkä vuoksi tulee aina käsiteltäessä käyttää suojavarusteita ja säiliöt tulee suojata niin, ettei kemikaalia pääse maaperään tai viemäriin. (Isomäki ym. 2007, 30.)

Koska raakavetenä käytetään pohjavettä, on vesi hygieenisesti puhdasta. Desinfioinnin tarkoituksena on turvata puhdistetun veden hygieeninen laatu varastoinnin ja jakelun aikana verkostossa. (Patamäen vedenottamo – Kokkola 2022.)

Desinfiointi tapahtuu syöttämällä puhtasvesialtaaseen hypokloriittia ja ammoniumsulfaattia. Verkostoon pumpattavan veden klooripitoisuus on noin 0,30 mg/l. Kuvassa 9 on Patamäen hypokloriitin annostelu. (Patamäen vedenottamo – Kokkola 2022.)

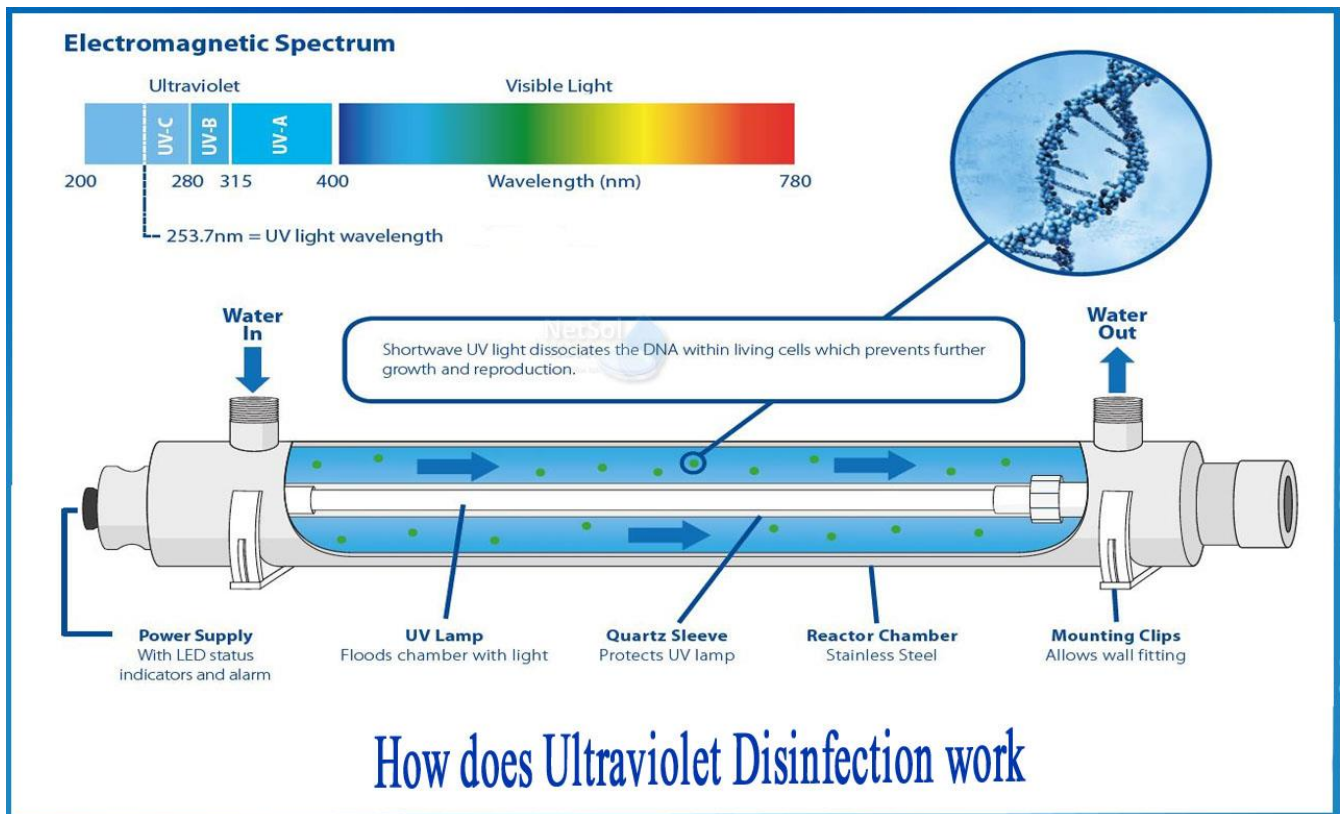


KUVA 9. Hypokloriitin annostelu (Patamäen vedenottamo – Kokkola 2022).

Pohjavesilaitoksella voidaan lisäksi käyttää veden desinfiointiin ultraviolettisäteilyä. Desinfiointimenetelmänä ultraviolettisäteily on erittäin tehokas tautia aiheuttavien mikrobien tuhoamisessa. UV-laitteen sisällä putkimaisessa kammiossa vesi virtaa läpi, missä on yksi tai useampi UV-lamppu (Isomäki ym. 2007, 33).

Veden mikrobiologisen laadun käyttökelpoinen varmistaminen on erittäin helppoa UV-desinfioinnilla. UV-laitetta voidaan käyttää yhtäjaksoisesti, vaikka sitä ei aina niin tarvittaisikaan, sillä se ei aiheuta vedelle laadulle mitään haittoja. UV-desinfiointi ei myöskään reagoi haitallisesti orgaanisen ainekseen. Huonopuoli UV-desinfiointissa on, että sen desinfiointiteho ei yllä verkostoon asti. Paljon kiintoainetta sisältävä vesi on huono UV-desinfiointissa, sillä mikrobit voivat kiinnittyä partikkelien pinnoille ja ovat näin suojassa UV-desinfiointilta, sillä näihin partikkeleihin UV-valo ei pysty tunkeutumaan. UV-lampun tehoon vaikuttaa UV-desinfiointissa oleellisesti myös veden kovuus, joka voi vähentää UV-lampun tehoa, joka johtuu kalsiumin ja mangaanin saostumisesta UV-lampun pinnalle. (Talousveden desinfiointi ultravioletivalolla 2003, 2-4, 17-18.)

UV-desinfiointi toimii tunkeutumalla mikrobeihin ja tuhoamalla niiden DNA:n. Koska DNA:lla on niin olennainen osa organismien toiminnassa ja lisääntymisessä, sen poistaminen estää niitä olemasta aktiivisia ja lisääntymästä. Tästä johtuen UV-säteilyä pidetään parhaana menetelmänä vesisterilointiin. Kuvassa 10 on kuva veden UV-steriloinnista. (NetSolWater 2022.)



KUVA 10. Poikkileikkaus UV-desinfiointi lampusta (NetSolWater 2022).

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tulin tässä työssä sellaiseen johtopäätelmään, että humuspitoisilla vesialueilla pitoisuutta pitää tarkkailla ja mitata säännöllisesti ja varsinkin rankkasateiden aikana, jolloin tulvat saattavat aiheuttaa humuksen lisääntymisen pohjavesissä. Toinen tärkeä johtopäätös on, että humusta ei saa pohjavedestä poistettua ilman kemikaaleja ja suodatusta. EU:n juomavesidirektiivi (98/83/EC) on humuspitoisuuden suhteen tarkentanut vedenlaatunormien täytäntöönpanoa. Humuksen poistaminen ennen veden desinfiointia on todella tärkeätä, koska jos humusta ei poisteta riittävästi, aiheuttaa se vedessä “desinfiointin yhteydessä terveydelle haitallisia (syöpää aiheuttavia) yhdisteitä mm. Trihalometaania”(Valvira 2020, 25). Suomessa pohjavedet ovat pääsääntöisesti vähän humusta sisältäviä vesiä. Ihmisten omalla toiminnallaan saatetaan vaarantaa pohjavesi varantoja, jonka vuoksi ihmisten tietoutta pohjaveden tärkeydestä ja suojelemisesta olisi hyvä lisätä.

LÄHTEET

Finér, L., Lepistö, A., Karlsson, K., Räike, A., Tattari, S., Huttunen, M., Härkönen, L., Joensuu, S., Kortelainen, P., Mattsson, T., Piirainen, S., Sarkkola, S., Sallantausta, T. & Ukonmaanaho, L. 2020. Metsistä ja soilta tuleva vesistökuormitus. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2020:6.

Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162009/VNTEAS_2020_6.pdf

Viitattu 10.04.2023

Hatava, T. & Seppänen, H. 1983. Pohjaveden puhdistus hidassuodatusmenetelmällä. Suomen itsenäisyyden juhluvuoden 1967 rahasto. 109 s. Sarja A, nro 75. Helsinki.

Hessen D. & Tranvik L. (ed.). 1998. Aquatic Humic Substances. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Huoltovarmuusorganisaatio. 2020. Helsinki. Kemiallisen saostuksen huoltovarmuuden parantaminen Suomen vesihuollossa. Saatavissa: https://www.vvy.fi/site/assets/files/5105/kemiallisen_saostuksen_huoltovarmuuden_parantaminen.pdf Viitattu 12.4.2023

Isomäki, E., Valve, M., Kivimäki, A-L. & Lahti, K. 2007. Pienten pohjavesilaitosten ylläpito ja valvonta. Suomen ympäristökeskus. Vammala: Vammalan kirjapaino OY.

Jalovesi. HUMUS, COD_{mn}, KMnO₄ vedessä. saatavissa: <https://jalovesi.fi/vedensuodatuslaitteet/humus/> Viitattu 12.4.2023

Kangasluoma, M. & Kainua, K. 2012. Pöyry Turvetuotannon humuskuormitus ja humus vesistössä. Saatavissa: http://turveinfo.fi/wp-content/uploads/2017/01/Humusesitys_180412.pdf Viitattu 25.03.2023

Karttunen, E. & Tuhkanen, T. 2003. Vesihuolto 1. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörienliitto

Karttunen, E., Tuhkanen, T. & Kiuru, H. 2004. Vesihuolto 2. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörienliitto

Kivimäki, A. 1992. Tekopohjavesilaitokset Suomessa. Helsinki, VYH julkaisuja, A 98.

Lepistö, A., Futter, M & Kortelainen, P. 2014. Almost 50 years of monitoring shows that climate, not forestry, controls long-term organic carbon fluxes in a large boreal watershed. *Global Change Biology* 20:1225–1237. Saatavissa: <https://www.etpo.fi/kemijoki/3/3-2/3-2-2/> Viitattu 10.04.2023

Löfgren, S. Forsius, M. (Suomi) ja Andersen, T. (Norja). Veden väri. Saatavissa: https://www.slu.se/globalassets/ew/org/inst/vom/laboratorier/vattnensfargbroschyr/veden_vari.pdf Viitattu 10.04.2023

Meriluoto, J. 2002. Vesi- ja viemärlaitosyhdistys VVY. Kalkkikivialkalointi - Opas veden syövyttävyyden vähentämiseksi. Helsinki: VVY. Saatavissa: <https://www.vvy.fi/shop/tuotteet/kalkkikivialkalointi-opas-veden-syovyttavyyden-vahentamiseksi/> Viitattu 10.04.2023

NetSolWater. 2022. Saatavissa: [How does Ultraviolet disinfection work - Netsol Water](#) Viitattu 12.04.2023

Nordkalk Filtra A. 2016. Kalkkikivialkalointi. Pdf-dokumentti. Saatavissa: https://www.nordkalk.fi/document/1/276/db88f50/d45f_upload_61a64f8_nord_filtra_a_kalkkikivialkalointi_2015.pdf Viitattu 23.04.2023.

Opetushallitus Laboratorioanalyysit. Saatavissa: http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/ymparistoanalyysit_veden_kemiallinen_hapen_kulutus.html Viitattu 12.04.2023

Palomäki, J. & Kuorikoski, A. 2001. Länsi-Suomen ympäristökeskus. Vaasa

Patamäen vedenottamo – Kokkola. 2022. Saatavissa: <https://www.kokkola.fi/asuminen-ja-ymparisto/vesihuolto/kokkolan-vesi/tietoa-vedesta/> Viitattu 15.02.2023

Pääkkönen, J. & Peltonen, P. 2007. Vesilaitostekniikka ja hygienia. Helsinki: Vesi- ja viemärlaitosyhdistys

Talousveden desinfiointi ultravioletivalolla. 2003. Helsinki: Vesi- ja viemärlaitosyhdistys.

Talousveden klooraus. 2006. Helsinki: Vesi- ja viemärlaitosyhdistys

Valvira. 2020. Talousvesiasetuksen soveltamisohje osa III. Saatavissa: https://www.valvira.fi/documents/14444/6739502/Talousvesiasetuksen_soveltamisohje_osa_3.pdf/b9faedd0-cd83-fd94-09e2-452e7e7ee123 Viitattu 25.03.2023

Vesienhoidon toimenpideohjelmat. 2021. ELY-keskus. Saatavissa: [eTPO - Toimenpideohjelma](#) Viitattu 14.04.2023

Vesihuolto II: RIL 124-2. 2004. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto.

Vesilaitostekniikka ja hygienia. 2018. Vesilaitosyhdistyksen julkaisusarja nro 51. Helsinki. Suomen Vesilaitosyhdistys ry.

Vesi- ja viemärlaitosyhdistys. 2007. Vesilaitostekniikka ja hygienia. 3. painos. Helsinki, 43s. ISBN 978-952-5000-57-3.

Ylä-Savon Vesi Oy. 2023. Saatavissa: [Pohjavesi - Ylä-Savon Vesi - Puhdas ympäristö turvaa puhtaan veden \(yla-savonvesi.fi\)](#)

Water professionals. 2022. Activated carbon filters. Saatavissa: <https://www.waterprofessionals.com/learning-center/activated-carbon-filters/> Viitattu 12.04.2023