



VEDENSUODATUSMENETELMÄN VALINTA ANALYYSIN PERUSTEELLA YKSITYISTALOUKSISSA

Nina Lankinen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2014
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikan
koulutusohjelma
Kemiantekniikan suuntautumis-
vaihtoehto

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikka
Kemiantekniikka

NINA LANKINEN

Vedensuodatusmenetelmän valinta analyysin perusteella yksityistalouksissa

Opinnäytetyö 44 sivua, joista liitteitä 4 sivua
Huhtikuu 2014

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia vuokaavio, jonka avulla vedensuodatusmenetelmän valinta vesianalyysin perusteella on helppoa yksityistalouksissa. Työ tehtiin BWT Separtec Oy:lle, joka on Raisiossa toimiva vedenkäsittelyn asiantuntijayritys. BWT Separtec Oy tarjoaa asiakkailleen monipuolisia vedensuodatusratkaisuja, niiden myyntiä sekä huoltoa.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään yleisesti suomalaisten talousvesien laatua. Mitä haitta-aineita suomalaiset kaivovedet sisältävät, mistä ne ovat peräisin ja mitkä ovat Suomen sosiaali- ja terveysministeriön laatimat laatuvaatimukset ja -suositukset. Tämän lisäksi käydään läpi yleisimmät raakaveden suodatukseen käytettävät vedensuodatusmenetelmät ja niiden käyttökohteet.

Työn tuloksena saatiin kattava kokonaisuus oikean suodatusmenetelmän valintaan vaikuttavista osatekijöistä, joiden perusteella oikean suodatusmenetelmän valinta tapahtuu. Kokonaisuutta voidaan myöhemmin hyödyntää uusien työntekijöiden ja jälleenmyyjien perehdytyksessä sekä yleisenä oppimateriaalina. Tämän opinnäytetyön kokeellinen osuus on luottamuksellista aineistoa.

Asiasanat: vedensuodatusmenetelmä, yksityistalous, vuokaavio

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Degree programme in Paper, Textile and Chemical Engineering
Option of Chemical Engineering

NINA LANKINEN

Choosing the Correct Water Filtration Method Based on Analysis in Private Households

Bachelor's thesis 44 pages, appendices 4 pages

April 2014

The purpose of this thesis was to design a flow chart which makes it easier to choose the correct water filtration method based on water analysis in private households. This examination was made for the company BWT Separtec Ltd, which specializes in water filtration technology. They offer a wide range of water filtration solutions and maintenance to their customers.

The theoretical part of this thesis discusses the quality of tap water in Finland in general. It lists the harmful substances water drawn from wells contain, where they come from and what are the quality requirements and recommendations of Finland's Ministry of Social Affairs and Health for tap water. In addition, the most common water filtration methods and applications are reviewed.

The result of this thesis was a comprehensive database of the components in choosing the best filtration method. This database can also be used later for training new employees and retailers, or as study material. The experimental section of this thesis is confidential information.

Key words: Water Filtration Method, private household, flow chart

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	VEDEN LAATUVAATIMUKSET JA -SUOSITUKSET	7
2.1	Kemialliset laatuvaatimukset.....	7
2.1.1	Arseeni	7
2.1.2	Fluoridi.....	8
2.1.3	Nitraatit ja nitriitit	8
2.2	Kemialliset laatusuosituksset	9
2.2.1	Rauta ja mangaani	9
2.2.2	KMnO ₄ -luku (permanganaattiluku) ja COD _{Mn} (hapettuvuus).....	10
2.2.3	pH ja alkaliniteetti	11
2.2.4	Kloridit ja sähkönjohtavuus	12
2.2.5	Uraani.....	13
2.2.6	Radon	13
2.2.7	Sameus ja väriluku	14
2.2.8	Haju ja maku	14
2.2.9	Kokonaiskovuus.....	15
2.3	Mikrobiologiset laatuvaatimukset ja -suositukset.....	15
2.3.1	<i>Escherichia coli</i> & suolistoperäiset enterokokit	16
2.3.2	Koliformiset bakteerit	16
3	VEDENKÄSITTELYMENETELMÄT	17
3.1	Ioninvaihto	17
3.1.1	Ioninvaihtohartsit ja niiden huuhtelu	17
3.1.2	Ioninvaihdon soveltaminen vedenkäsittelyssä	18
3.2	Katalyyttinen suodatus ja ilmastus	20
3.3	Alkalointi	20
3.4	Käänteisosmoosi	22
3.5	Aktiivihiiliadsorptio.....	24
3.6	UV-desinfiointi	25
	LÄHTEET.....	27
	LIITTEET	30
	Liite1. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 401/2001	30

LYHENTEET JA TERMIT

COD	Chemical oxygen demand (Kemiallinen hapenkulutus vedessä)
CP	Konsentraatiopolarisaatio
DNA	Deoksiribonukleiinihappo
FTU	Formazin Turbidity Units (Veden sameus)
pH	Pondus Hydrogenii (Vedyn potentiaali)
pmy	Pesäkkeiden muodostama yksikkö
RO	Reverse Osmosis (Käänteisosmoosi)
STM	Sosiaali- ja terveysministeriö
STUK	Säteilyturvakeskus
UV	Ultravioletti
WHO	World Health Organization (Maailman terveysjärjestö)

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on laatia vuokaavio, jonka avulla vedensuodatusmenetelmän valinta on helppoa vesianalyysin perusteella. Työ rajoittuu ainoastaan yksityistalouksissa käytettäviin suodatusmenetelmiin ja -laitteistoihin. Työn lähtökohtana on helpottaa analyysitulosten tulkittamista ja nopeuttaa sekä yksinkertaistaa oikean suodatuslaitteiston valintaa. Ennen varsinaisen työn aloittamista tehtiin paljon taustatyötä tutustumalla yrityksen laajaan tuotevalikoimaan, harjoiteltiin vesianalyysien tulkintaan ja sen pohjalta oikean suodatuslaitteiston valintaa.

Opinnäytetyössä käsitellään yleisesti Suomen raakavesissä esiintyviä vedenlaatuun vaikuttavia haitta-aineita, sosiaali- ja terveysministerin laatimia laatuvaatimuksia ja -suosituksia sekä yleisimpiä vedensuodatuksessa käytettäviä suodatusmenetelmiä. Tämän lisäksi esitetään muutamia vuokaaviomalliratkaisuja oikean suodatuslaitteiston valinnasta vesianalyysin perusteella. Vuokaaviomallit perustuvat BWT Separtec Oy:n tuotevalikoimasta löytyviin suodatuslaitteistoihin.

2 VEDEN LAATUVAATIMUKSET JA -SUOSITUKSET

Kappaleessa käsitellään yleisesti Suomen kaivovesissä esiintyviä haitta-aineita sekä Suomen sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 401/2001 mukaisia vedenlaatuvaatimuksia ja -suosituksia yksityistalouksissa. (Liite 1.)

Kaivovesissä esiintyvät kemialliset aineet ovat maa- ja kallioperästä veteen liukenevia aineita kuten arseeni, uraani, radon, fluoridi, rauta sekä mangaani. Muita kaivovesiin pääseviä haitallisia aineita ovat muun muassa nitraatit ja nitriitit sekä erilaiset torjunta-aineet, jotka kulkeutuvat talousvesiin valumavesien mukana. Osa kaivovesiin pääsevistä haitta-aineista ovat ihmisten oman huolimattomuuden aikaan saannosta (THL 2014.)

2.1 Kemialliset laatuvaatimukset

Kemialliset laatuvaatimukset ovat Suomen sosiaali- ja terveysministeriön laatimia vaatimuksia, jotka liittyvät veden terveydelliseen laatuun (MetropoliLab 2012.) Yksityistalouksien kaivovesien laatu tulee täyttää nämä arvot.

2.1.1 Arseeni

Arseeni on hajuton ja mauton, maa- ja kallioperässä oleva karsinogeeninen alkuaine, joka on porakaivotalouksien yleinen ongelma. Luonnossa arseeni muodostaa yleensä yhdisteitä rikin, hapen ja raudan kanssa. Pohjavesissä arseeni muodostaa hapen kanssa muun muassa arsenaattia (AsO_4^{3-}) ja arseniittia (AsO_3^{3-}), jotka ovat vallitsevimmat hapestumisasteet luonnossa esiintyville arseenin muodoille (Kalvas 2013, 22.)

Suomessa suurimmat arseenipitoisuudet on mitattu Pirkanmaan keski- ja eteläosissa, alueilla, jotka ovat rakentuneet kallioperän sekä moreenipohjaisen maaperän päälle. Lisäksi korkeisiin arseenipitoisuuksiin vaikuttavat alueen vanhat puun kyllästämö alueet, kaivokset, kaatopaikat sekä ampumaradat (GTK 2014.)

Sosiaali- ja terveysministeriön asettamien laatuvaatimuksien mukaan kaivoveden arseenipitoisuuden tulisi olla alle 0,010 mg/l. Runsaasti arseenia sisältävän juomaveden

pitkäaikainen käyttö on terveydelle haitallista. Yleisimpiä oireita krooniselle arseenimyrkytykselle ovat ruokatorven ärtyneisyys, yleinen pahoinvointi, ääreishermoston toimintahäiriöt sekä ihomuutokset (Kalvas 2013, 22.) Pitkäaikaisen altistumisen seurauksena arseeni lisää todennäköisyyttä sairastua ihosyöpään. Yhteyksiä myös muihin syöpämuotoihin on esitetty. Tuoreen Yhdysvaltalaisen tutkimuksen mukaan juomaveden korkea arseenipitoisuus nostaa myös riskiä sairastua yleisimpiin sydän- ja verisuonitauteihin pitkän altistumisen seurauksena (Yle 2013.)

2.1.2 Fluoridi

Fluoridi on hajuton ja mauton ihmiselle välttämätön hivenaine, joka on yleensä porakaivotalouksien ongelma. Se kulkeutuu pohjavesiin maa- ja kallioperän kautta sekä erilaisten kasvinsuojeluaineiden käytön, desinfiointiaineiden ja kemianteollisuuden jätevesien mukana. Fluoridipitoisuudet vaihtelevat maaperän ja vesistötyypin mukaan. Korkeimmat Suomessa mitatut fluoridipitoisuudet löytyvät Vakka-Suomen rapakivialueilta, jotka ylettyvät aina Turun seudulle asti (Nummelin 2001, 16.)

Sosiaali- ja terveysministeriön laatimien laatuvaatimusten mukaan juomaveden fluoridipitoisuus tulee olla alle 1,5 mg/l. Liiallinen fluoridin saanti aiheuttaa hampaiden kiillevaurioita sekä luuston haurastumista. Fluoridi on haitallisempaa kehittyville lapsille, kuin aikuisille. Aikuisille suositeltu fluoridipitoisuuden raja-arvo on 2 mg/l (Metropoli-lab 2012.)

2.1.3 Nitraatit ja nitriitit

Nitraatti (NO_3^-) ja nitriitti (NO_2^-) ovat typen ja hapen muodostamia anioneja. Ne ovat hajuttomia sekä mauttomia täysin ihmisaistein havaitsemattomia. Niiden terveysriskit kohdistuvat lähinnä imeväisiin lapsiin, joilla nitraatista, typpiyhdisteiden hapettumisen seurauksena muodostuva nitriitti, häiritsee punasolujen aineenvaihduntaa ja tätä kautta heikentää lapsen tai sikiön hapen saantia. Korkeat nitraatti- ja nitriittipitoisuudet saattavat aiheuttaa elimistöön joutuessaan vatsavaivoja. Mahalaukun ja virtsarakon syövällä epäillään myös olevan yhteyttä veden korkean nitriittipitoisuuden kanssa (Watman 2010.)

Sosiaali- ja terveysministeriön laatuvaatimusten mukaan veden nitraattipitoisuus saa olla enintään 50 mg/l ja nitriittipitoisuuden 0,5 mg/l. Korkeasta nitriittipitoisuudesta voidaan päätellä kaivoveden sisältävän runsaasti bakteereja. Nitraatit ja nitriitit kulkeutuvat kaivovesiin muun muassa lannoitteiden, eläinten ulosteiden ja jätevesien mukana sekä typpeä sisältävien aineiden hajoamisen seurauksena. Suurin osa ihmisen saamasta nitraatista tulee kuitenkin vihanneksista (Metropolilab 2012.)

2.2 Kemialliset laatusuositukset

Kemialliset laatusuositukset ovat Suomen sosiaali- ja terveysministeriön laatimia suosituksia yksityistalouksien kaivovesien laadulle (MetropoliLab 2012.) Yksityistalouksien kaivovesien laadun olisi hyvä täyttää nämä arvot.

2.2.1 Rauta ja mangaani

Rauta ja mangaani ovat yleisimpiä Suomen talousvesissä esiintyviä metalleja. Ne ovat molemmat maankuoressa esiintyviä alkuaineita, jotka ilmenevät vedessä eri asteittain hapettuneissa muodoissa. Rauta ja mangaani esiintyvät hyvin usein samanaikaisesti veden laatua analysoitaessa (Kalvas 2013, 39.)

Rauta ilmenee luonnossa eri yhdisteinä, kuten oksideina ($\text{Fe}(\text{OH})_2$), magnetiittina (Fe_2O_4), hematitiittina (Fe_2O_3) ja rautakarbonaattina (FeCO_3). Rauta voi ilmetä vedessä joko liuenneessa tai liukenemattomassa muodossa. Kemiallisissa yhdisteissä rauta esiintyy positiivisina kahdenarvoisina ferroyhdisteinä sekä positiivisina kolmenarvoisina ferriyhdisteinä. Ollessaan hapen kanssa kontaktissa nämä kaksi yhdistetyyppiä reagoivat veden kanssa voimakkaasti. Happi muodostaa ferri -ionien kanssa lähes liukenematonta ferrihydroksidia ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) ja vastaavasti fosfaattien kanssa ferrifosfaattia. Humusyhdisteiden kanssa rauta muodostaa helposti kompleksiyhdisteitä kelaation kautta, jossa hapen metalli-ioni tarttuu saman molekyylin useampaan emäksiseen osaan (Keinänen-Toivola, Ahonen & Kaunisto 2007, 53.)

Sosiaali- ja terveysministeriön laatusuositusten mukaan kaivoveden rautapitoisuus tulisi olla alle 0,4 mg/l. Vedessä oleva rauta ei aiheuta ihmiselle terveydellistä riskiä järkevissä määrin nautittuna. Raudan aiheuttamat ongelmat ovat pääosin esteettisiä, sillä se aiheuttaa veteen värimuutoksia, sameutta, metallista makua ja veden värjäävyyttä. Veden pinnalla esiintyvä öljymäinen kalvo on tavallisesti raudan aiheuttama ongelma. Korkeissa pitoisuuksissa rauta voi myös aiheuttaa teknisiä ongelmia saostuessaan putkistöihin ja teknisiin laitteisiin (Kalvas 2013, 39.)

Mangaani on raudan sukuinen metalli, joka esiintyy luonnossa useimmiten oksideina. Sen suoloista kloridit, nitraatit ja sulfaatit ovat vesiliukoisia ja oksidit, karbonaatit sekä hydroksidit niukkaliukoisia. Mangaani esiintyy luonnossa pääosin aina liuenneessa muodossa. Mangaani on erittäin reaktiivinen metalli, sillä se reagoi laimeimpienkin happojen kanssa (Keinänen-Toivola ym. 2007, 51.)

Sosiaali- ja terveysministeriön laatusuositusten mukaan kaivoveden mangaanipitoisuus tulisi olla alle 0,1 mg/l. Mangaani aiheuttaa veteen muun muassa epämiellyttävää makua sekä saostumia saniteetti kalusteisiin. Lisäksi mangaanipitoinen vesi värjää erittäin herkästi sillä pestävää pyykkiä. Vedessä haittavaikutukset voivat näkyä harmaana värinä tai mustana sakkana, joka on hieman öljymäinen ja haiseva (MetropoliLab 2012.)

Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen (THL) tutkimuksen mukaan juomaveden mangaani on yhteydessä lasten oppimis- ja käyttäytymishäiriöihin, hienomotoriseen kömpelyyteen ja alentuneeseen älykkyysosamäärään. Mangaanin vaikutus lapsiin on samankaltainen kuin lyijyllä. Aikuisilla juomaveden korkean mangaanipitoisuuden on todettu aiheuttavan motoristen toimintojen hidastumista pitoisuuksien ollessa huomattavasti suurempia kuin lapsilla. Mangaani on elimistölle välttämätön hivenaine, jonka tasapainoa elimistön säätelymekanismit säätelevät. Haitta syntyy kun nämä elimistön säätelymekanismit ylitetään (THL 2014.)

2.2.2 KMnO₄-luku (permanganaattiluku) ja COD_{Mn} (hapettuvuus)

KMnO₄-luku eli permanganaattiluku kuvaa vedessä olevien luonnossa hajoavien orgaanisten aineiden määrää. Näitä luonnossa hajoavia orgaanisia yhdisteitä ovat muun

muassa ligniini, tanniini sekä humushapot. Yleisesti näistä orgaanisista yhdisteistä käytetään nimitystä humus (Watman 2010.)

Permanganaattiluku voidaan esittää myös kemiallisena hapenkulutuksena (COD_{Mn}) eli hapettuvuutena. Sen määrittäminen perustuu kaliumpermanganaatin kykyyn hapettaa orgaanista ainesta. Molempia menetelmiä käytetään vedessä olevien orgaanisten aineiden määrän analysointiin. (Keinänen-Toivola, ym. 2007, 39.) Luonnossa hajoavat orgaaniset yhdisteet voivat päätyä kaivoveteen joko suoraan maaperästä tai kaivon valuvien pintavesien mukana. Näin ollen humuspitoinen vesi on yleensä rengaskaivojen ja järvivettä talousvetenä käyttävien talouksien ongelma (Kalvas 2013, 45.)

Sosiaali- ja terveysministeriön laatusuositusten mukaan kaivoveden permanganaattiluvun tulee olla alle 20 mg/l ja COD -luvun maksimissaan 5 mg/l. Humus sinällään ei ole terveydellinen häiritsevä tekijä, mutta se aiheuttaa veteen epämiellyttävää väriä sekä makua. Samea ja väriltään ruskehtava humuspitoinen vesi ei myöskään sovellu pyykinpesuun, sen voimakkaan värjäävyyden takia (MetropoliLab 2012.)

2.2.3 pH ja alkaliniteetti

Veden pH-arvolla kuvataan veden happamuuden ja emäksisyyden suhdetta toisiinsa. Näiden kahden tekijän välistä tasapainoa mitataan asteikolla 0-14, jolloin 0 tarkoittaa happamista mahdollista arvoa ja 14 emäksisintä arvoa. Hyviä esimerkkejä happamista aineista ovat akkuhappo, mahahapot sekä kolajuomat ja emäksisistä aineista lipeä (NaOH), pyykinpesuaineet sekä ammoniakki. Neutraali pH-arvo on 7, tällöin vetyioneja (H^+) ja hydroksidi-ioneja (OH^-) on yhtä paljon. Happamassa vedessä vetyionien määrä on suurempi kuin hydroksidi-ionien, kun taas emäksisessä vedessä tilanne on päinvastainen (Kalvas 2013, 54.)

Sosiaali- ja terveysministeriön laatusuositusten mukaan veden pH-arvon tulisi olla välillä 6,5 - 9,5. Veden pH-arvolla ei ole terveydellisiä haittavaikutuksia. Hapan vesi lisää putkistojen sekä laitteistojen korroosio-ongelmia, mutta syöpymiseen vaikuttavat muutkin veden ominaisuudet, kuten alkaliniteetti, veden kovuus sekä kloridit (MetropoliLab, 2012.) Suomessa pohjavedet ovat usein happamia ja pehmeitä. Tämä tekee vedestä erit-

täin aggressiivista. Happamuus johtuu veden suuresta hiilidioksidipitoisuudesta ja vedestä puuttuvista kalsiumista ja magnesiumista (Ympäristö 2014.)

Alkaliniteetti eli veden puskurikyky kuvaa veden kykyä vastustaa pH-arvon muutosta neutraloimalla happoja. Alkaliniteetti koostuu bikarbonaateista (HCO_3^-), karbonaateista (CO_3^{2-}) ja hydroksideista (OH^-) (Keinänen-Toivola ym. 2007, 77.) Matala pH-arvoisessa vedessä yleensä alkaliniteetti on myös matala ja tämän seurauksena veden pH-arvo reagoi helpommin muutoksiin. Alhainen alkaliniteetti viittaa yleensä aina veden happamoitumiseen tai kalkkiköyhään maaperään. Mitä korkeampi veden alkaliniteetti on sitä paremmin vesi vastustaa happamoitumista. Sosiaali- ja terveysministeriö ei ole määritellyt alkaliniteetille raja-arvoa, mutta tavoite arvo on 1,5 mmol/l (Kalvas 2013, 57.)

2.2.4 Kloridit ja sähkönjohtavuus

Kloridit ovat vetykloridin (HCl) eli suolahapossa esiintyvän kloorin suoloja. Tunnetuin suola on natriumkloridi (NaCl) eli ruokasuola. Klorideja esiintyy luonnonvesissä, etenkin rannikkoalueilla sekä vanhoilla merenpohja-alueilla. Kaivoveden kohonneen kloridipitoisuuden syynä saattaa olla myös tiesuolaukset, jätevedet sekä lähialueen teollisuus (Keinänen-Toivola ym. 2007, 70.)

Klorideilla ei tiedetä olevan terveydellisiä haittavaikutuksia, mutta se aiheuttaa makua veteen jo 200–300 mg/l pitoisuuksissa. Veden korroosiovaikutukset lisääntyvät jo kymmenien milligrammojen pitoisuuksissa ja tästä syystä veden kloridipitoisuuden tulisi olla alle 25 mg/l (Metropolilab 2012.)

Sähkönjohtokyky johtuu veteen liuenneiden suolojen ioneista ja niiden laadusta sekä määrästä. Mitä korkeampi veden sähkönjohtokyky on, sitä enemmän se sisältää suoloja. Sosiaali- ja terveysministeriön laatusuosituksen mukaan veden sähkönjohtavuuden tulisi olla alle 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Yleisimmät syyt veden korkeaan sähkönjohtavuuteen on meri- tai murtoveden pääsy kaivoon (Keinänen-Toivola ym. 2007, 72.)

2.2.5 Uraani

Luonnossa esiintyvä uraani on myrkyllinen raskasmetalli, joka liukenee maa- ja kallioperästä veteen. Uraani on suomalaisissa pehmeissä hiilidioksidi- ja bikarbonaattipitoisissa pohjavesissä ilmenevistä radioaktiivisista aineista liukoisin (Ahonen, Kaunisto, Mäkinen, Hatakka, Vesterbacka, Zacheus & Keinänen-Toivola 2008, 115.) Luonnossa ilmenevä uraani koostuu kolmesta eri isotoopista, joista säteilysuojelun kannalta merkityksellisimpiä ovat uraani-238 ja uraani-234. Suomen kallioperän uraanipitoisuudet vaihtelevat paljon, mutta suurimmat pitoisuudet on mitattu Etelä-Suomen alueelta Salpausselän vyöhykkeeltä sekä Uudeltamaalta (STUK 2013.)

Uraani poikkeaa muista radionuklideista siinä suhteessa, että se on todennäköisesti kemiallisena myrkkynä haitallisempi kuin radioaktiivisena aineena. Kehoon kertynyt uraanin vahingoittaa suurina pitoisuuksina munuaisia sekä luustoa (Mäkeläinen, Huikuri, Salonen, Markkanen & Arvela 2001, 21.) Suomessa ei ole varsinaista raja-arvoa juomaveden uraanin enimmäispitoisuudelle, mutta WHO:n ohjeellisen raja-arvon mukaan juomaveden uraanipitoisuus saa olla korkeintaan 0,030 mg/l. (Mäkeläinen ym. 2001, 43.)

2.2.6 Radon

Radon on maa- ja kallioperässä oleva radioaktiivinen alkuaine. Se on hajuton, mauton ja väritön jalokaasu, joka syntyy maakuoressa uraanin hajoamistuotteena. Tästä syystä radon on enimmäkseen porakaivotalouksien ongelma. Radon liukenee veteen ja siirtyy siitä erittäin helposti ilmakehään. Suurin osa veteen liuenneesta radonista vapautuu huoneilmaan vesihöyryn mukana vettä kuumennettaessa. Vedestä huoneilmaan vapautuva radon altistaa ihmisen säteilylle sekä hengitettynä että juotuna. Huoneilmaan vapautuvan radonpitoisuus riippuu muun muassa käytetyn veden määrästä, asunnon koosta sekä ilmanvaihdosta (Mäkeläinen ym, 18.) Säteilyturvakeskuksen (STUK) mittausten mukaan suurimmat radonpitoisuudet Suomessa on mitattu Etelä-Suomen ja Pirkanmaan soraharjualueilla sekä salpausselkämudostelmilla ja Kaakkois-Suomessa (STUK 2013.)

Radonin terveyshaitan suuruutta kuvataan säteilyannoksella. Radon kulkeutuu kehoon joko ruoansulatuskanavan kautta tai hengitysilman mukana. Ruoansulatuskanavan kautta kehoon joutunut radon lisää mahasyövän riskiä. Huoneilmasta hengitysteiden mukana kehoon kulkeutunut radon nostaa riskiä sairastua keuhkosityöpään (STUK 2008.) Suomen säteilyturvakeskuksen antaman suosituksen mukaan talousveden radonpitoisuus tulisi olla alle 1000 Bq/l (Metropolilab 2012).

2.2.7 Sameus ja väriluku

Veden sameuden syytä on vaikea määrittää, mutta se johtuu tavallisimmin vedessä olevasta raudasta, kaivonpohjasakasta tai savesta. Se on yleensä myös selvä merkki kaivoon pääsevästä pintavedestä. Sosiaali- ja terveysministeriön kemiallisten laatusuositusten mukaan veden sameuden tavoitetaso on 1 FTU. Veden sameudella ei ole terveydellisiä haittavaikutuksia, vaan se on lähinnä kosmeettinen haitta (Metropolilab 2012.)

Veden väriluku mittaa keltaisen ruskeaa väriä, joka johtuu yleensä raudasta, mangaanista, kuparista tai humuksesta. Väriluvulla ei ole suoranaista terveysvaikutusta, mutta sitä käytetään nopeana ja yksinkertaisena analyysinä kuvaamaan veden yleistä laatua. Mitä korkeampi veden väriluku on sitä todennäköisemmin se sisältää väriä aiheuttavia haitta-aineista. Sosiaali- ja terveysministeriön laatusuositusten mukaan veden väriluvun tulee olla alle 5 mg Pt/l (Metropolilab 2012.)

2.2.8 Haju ja maku

Sosiaali- ja terveysministeriön laatusuositusten mukaan talousvedessä ei tule olla mitään poikkeavia hajuja tai makuja. Vedessä oleva poikkeava haju saattaa aiheutua erilaisista levistä, homeista, putkistoissa olevista bakteereista tai pohjaveteen liuenneesta rikkivedystä (Nummelin 2001, 17.) Rikkivety on mädälle kananmunalle haiseva kaasu, joka syntyy useimmiten maa-ainesten hajoamisesta tai kallion rakoihin jääneiden rikkivetykaasutaskujen purkautumisesta pohjaveteen. Vedessä ilmenevä rikkivety ei ole terveydelle haitallista, vaan on enemmänkin hajun vuoksi kiusallinen ja epämiellyttävä haitta (Nummelin 2001, 19.)

2.2.9 Kokonaiskovuus

Veden kokonaiskovuudella tarkoitetaan pääasiassa veteen liuenneiden kalsium- ja magnesiumionien määrää. Mitä korkeampi kyseisten suolojen määrä on sitä kovempaa vesi on. Taulukossa yksi on esitetty vedenkovuuden asteikko sekä SI- järjestelmän mukaisen yksikkönä (mmol/l) että saksalaisen kovuusasteikon yksikkönä (°dH) (Kalvas 2013, 58.)

TAULUKKO1. Veden kokonaiskovuus asteikko

Kovuus	mmol/l	°dH
Erittäin pehmeä	0-0,55	0-3
Pehmeä	0,55-1,10	3-6
Keskikova	1,10-1,60	6-9
Kovahko	1,60-2,15	9-12
Kovaa	2,15-3,20	12-18
Erittäin kova	>3,20	>18

Kokonaiskovuudelle ei ole määriteltä varsinaista raja-arvoa, mutta sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen mukaan hyvälaatuisen veden kovuus on noin 0,55 - 1,10 mmol/l eli 3-6 °dH:ta. Veden kovuudella ei ole terveydellisiä haittavaikutuksia, mutta kalkkipitoinen vesi aiheuttaa valkoisia saostumia kalusteisiin sekä veden kanssa kosketuksissa oleville pinnoille. Lisäksi se huonontaa pyykinpesutulosta ja saattaa aiheuttaa tukkeumia hanoissa, suuttimissa ja putkistossa. Lämmitystekniikan osalta kalkkipitoinen vesi aiheuttaa ongelmia lämmönsiirtolaitteistolle heikentämällä niiden lämmönsiirtokykyä kalkin ja lämpimän veden muodostaman kattilakiven vuoksi (Kalvas 2013, 58.)

2.3 Mikrobiologiset laatuvaatimukset ja -suositukset

Mikrobiologiset laatuvaatimukset ja -suositukset ovat sosiaali- ja terveysministeriön laatimia vaatimuksia ja suosituksia yksityistalouksien kaivovesien laadulle. Yksityistalouksien kaivovesien laadun tulisi täyttää nämä arvot (MetropoliLab 2012.)

2.3.1 *Escherichia coli* & suolistoperäiset enterokokit

Escherichia coli -bakteeri on koliformisiin bakteereihin kuuluva suolistoperäinen bakteeri, joka elää ihmisten sekä tasalämpöisten eläinten suolistoissa. Suurin osa *E. coli* -bakteereista ovat ihmisen vastustuskyvylle hyödyllisiä, mutta osa näistä bakteereista on kuitenkin muuntautunut muotoon, jossa ne aiheuttavat ruoansulatukseen joutuessaan ripulia ja vatsavaivoja (Evira 2013.)

Suolistoperäisiä enterokokkilajeja ovat esimerkiksi *Enterococcus durans*, *E. hirae*, *E. faecium* ja *E. faecalis*. Enterokokkibakteerit ovat *E. coli* -bakteerin tavoin ihmisten ja tasalämpöisten eläinten suolistoissa eläviä bakteerilajeja, mutta osa näistä pystyy lisääntymään myös muualla luonnossa. Enterokokkibakteerit aiheuttavat ihmiselle yleensä virtsatieinfektioita sekä vatsavaivoja (Raatikainen 2010, 5.)

Sosiaali- ja terveysministeriön laatuvaatimusten mukaan *E. coli* -bakteerien sekä muiden suolistoperäisten enterokokkibakteerien raja-arvo on 0 pmy/100 ml eli pesäkkeitä muodostavia yksiköitä ei saa olla yhtään (MetropoliLab 2012.) Kyseisten bakteerien löytyminen kaivosta kertoo yleensä alueella vallitsevan veden ulosteperäisestä saastumisesta. *E. coli* -bakteerit ja suolistoperäiset enterokokkibakteerit valuvat kaivovesiin käymälöiden, karjatilojen tai lähistöllä olevan maataloustuotannon valumavesien mukana. Bakteerit saattavat joutua huonokuntoiseen kaivoon myös pieneläinten ulosteiden mukana (Kalvas 2013, 9.)

2.3.2 Koliformiset bakteerit

Koliformiset bakteerit ovat fakultatiivisesti anaerobisia eli happea ja nitraatteja aineenvaihdunnassaan käyttäviä, itiöitä muodostamattomia sauvabakteereja. Koliformiset bakteerit, luvussa 2.3.1 käsiteltyä *E. coli* -bakteeria lukuun ottamatta, voivat olla peräisin muualtakin kuin ihmisten tai tasalämpöisten eläinten ulosteista, esimerkiksi maaperästä, kasveista tai jätevesistä (Keinänen-Toivola ym. 2007, 32.) Koliformisten bakteerien määrää käytetään yleisesti juomaveden hygieenisen laadun arvostelussa. Sosiaali- ja terveysministeriön laatusuosituksen mukaan vedessä olevien koliformisten bakteerien määrän tulee olla alle 100 pmy/100ml. Koliformiset bakteerit juomavedessä voivat aiheuttaa ripulia ja oksentelua (MetropoliLab, 2012.)

3 VEDENKÄSITTELYMENETELMÄT

Vedenkäsittelyprosessissa raakavedestä tehdään juomakelpoista poistamalla siitä haitalliset aineet ja mikrobit, tai vaihtoehtoisesti käsitellään se käyttötarpeisiin sopivaksi. Vedenkäsittelymenetelmät luvussa käsitellään yleisimpiä vedensuodatusmenetelmiä ja niiden käyttökohteita.

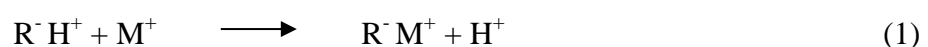
3.1 Ioninvaihto

Ioninvaihtoprosessi on kiinteän faasin ja nestefaasin välillä tapahtuvaa jatkuvaa ionien liikettä. Vedenkäsittelyprosessissa ioninvaihto tapahtuu ioninvaihtohartsseissa, jotka sisältävät joko positiivisesti tai negatiivisesti varautuneita ryhmiä (Viiala 2005, 12.) Ioninvaihtoprosessi perustuu diffuusion, jossa molekyylit pyrkivät siirtymään väkevämästä konsentraatiosta laimeampaan, tasoittaen pitoisuuserot. Diffuusion suunta määräytyy sattumanvaraisesti, mutta on odotettavaa että partikkeli siirtyy sellaiseen paikkaan, johon ei ole vielä kiinnittynyt partikkeliä (Pakkanen 2009, 18.) Ioninvaihdon monipuolisuuden vuoksi sitä käytetään muun muassa täyssuolanpoistoon ja veden pehmennykseen (Viiala 2005, 9.)

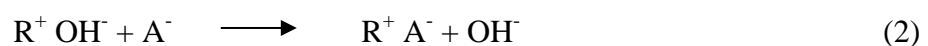
3.1.1 Ioninvaihtohartsit ja niiden huuhtelu

Ioninvaihtimissa käytetään erilaisista polymeereistä valmistettuja kationi- ja anionihartseja sekä näiden kahden sekoitusta. Yleisimmät käytössä olevat ioninvaihtohartsit ovat styreenidivinylibentseenipolymeerejä. Kationihartsi sitoo positiivisesti varautuneita ioneja ja vapauttaa vetyioneja (H^+) kun taas anionihartsi sitoo negatiivisesti varautuneita ioneja vapauttaen hydroksyyli-ioneja (OH^-) (Cheremisinoff 2002, 374.) Kationin- ja anioninvaihtohartsseissa tapahtuvat reaktioyhtälöt on esitetty kaavassa yksi ja kaksi.

Kationinvaihtohartsi (R^-):



Anioninvaihtohartsi (R^+):



Ioninvaihtohartsit regeneroidaan eli elvytetään joko myötä- tai vastavirtahuuhtelun avulla. Elvytyksessä käytettävä kemikaali määrätty ioninvaihtoprosessin mukaan. Ioninvaihtohartsien elvytyksessä käytettävät prosessikohtaiset kemikaalit käsitellään kappaleessa 3.1.2. Huuhtelun pääasiallisena tehtävänä, elvytyksen lisäksi, on huuhdella ioninvaihtohartsiin sitoutuneet epäpuhtaudet viemäriin sekoittamalla massapatjaa. Huuhtelun avulla ioninvaihtohartsi pysyy pidempään huokoisena, jolloin se pystyy sitomaan itseensä paremmin epäpuhtauksia. Ioninvaihtohartsit menettävät kapasiteettinsa noin 3-8 vuoden kuluessa, jonka jälkeen ne tulee vaihtaa uusiin (Auvinen, Haverinen 2011, 17–21.)

Myötävirtahuuhtelu tehdään käyttövirtauksen suuntaisesti kun taas vastavirtahuuhtelu tehdään suodatus suunnan vastaisesti. Myötävirtaan elvytettävien ioninvaihtimien ansiosta hartsipatja pysyy paikoillaan, eikä hartsi kulu hankauksen seurauksena. Ongelma kuitenkin on hartsipatjan epätasainen elvytystulos sekä pitkät elvytysajat. Vastavirtahuuhtelun avulla hartsipatja sekoittuu tasaisesti, jolloin siihen sitoutuneiden epäpuhtauksien pois huuhtelu helpottuu. Vastavirtahuuhtelun avulla hartsin elvytysaika on lyhyempi ja elvytyksessä käytettävän kemikaalin kulutus pienempi. Vastavirtahuuhtelu on näistä kahdesta huuhtelutavasta käytetympi (Auvinen, Haverinen 2011, 17–21.)

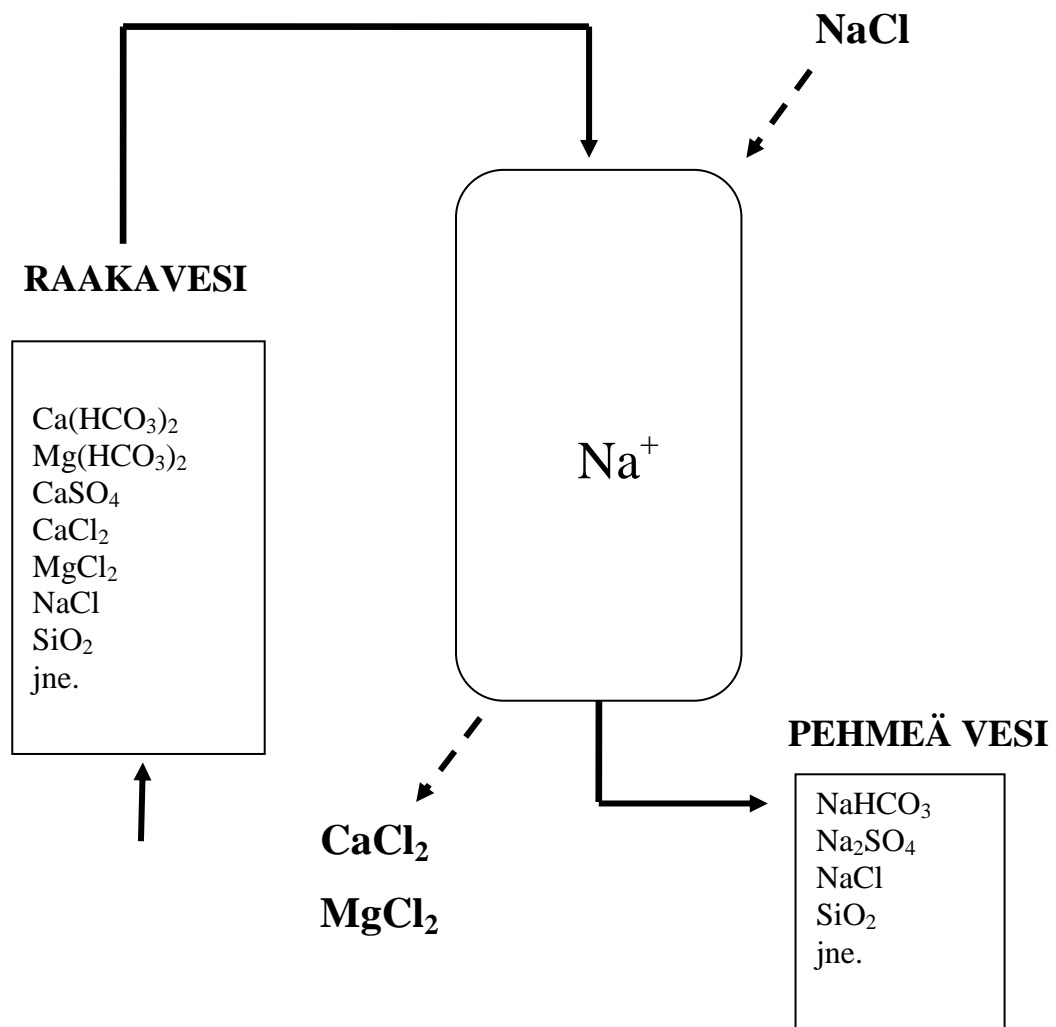
3.1.2 Ioninvaihdon soveltaminen vedenkäsittelyssä

Vedenkäsittelyssä ioninvaihtoa sovelletaan raakaveden täyssuolanpoistoon ja veden pehmennykseen. Täyssuolanpoistolla tarkoitetaan vedessä olevien emästen ja happojen täydellistä poistamista ioninvaihtomenetelmällä. Suolanpoisto tapahtuu kahdessa vaiheessa. Raakavesi johdetaan ensin hapolla elvytettävään kationivaihtimeen, jossa vedessä olevat kationit vaihdetaan vetyioneiksi (H^+). Seuraavaksi vesi johdetaan natriumhydroksidilla elvytettävään anionivaihtimeen, jossa anionit vaihdetaan hydroksyyli-ioneiksi (OH^-). Suodatusprosessin lopputuloksena saadaan suolatonta, ultrapuhdasta vettä (H_2O) (Salmi, Mäkelä, Kalvas & Tolvanen 1988, 195.) Täyssuolanpoistoprosessia käyttävät muun muassa laboratoriot, kirjapainot, akkuteollisuus sekä elektroniikka- ja kemianteollisuus (BWT Separtec Oy 2009.)

Vedenpehmennyksen avulla raakavedestä saadaan poistettua kovuutta aiheuttavat kationit kalsium (Ca^{2+}) ja magnesium (Mg^{2+}), vaihtamalla ne natriumioneiksi (Na^+). Veden-

pehmennysprosessissa käytetyllä kationihartsilla saadaan raakavedestä suodatettua myös pieniä määriä veteen liuenutta rautaa ja mangaania. Vedenpehennysuodattimet soveltuvat muun muassa yksityistalouksien, pesuloiden, sairaaloiden sekä monen teollisuudenalan käyttötärpeisiin (Lempiäinen 2013.)

Kuvassa yksi on esitetty yksinkertainen vedenpehennysprosessi, jossa raakavedestä poistetaan kovuutta aiheuttavat ionit. Lopputuloksena saadaan ionivaihdettua pehmeää vettä. Katkoviivoin merkatut nuolet esittävät suodattimessa tapahtuvaa vastavirtahuuhtelua. Vastavirtahuuhtelussa raakavedestä poistetut kalsium- ja magnesiumionit huuhtellaan polystyreenimassasta natriumkloridin avulla. Massasta irronneet kationit johdetaan huuhteluveden mukana viemäriin (Lempiäinen 2013.)



KUVA 1. Vedenpehennysprosessi (Lempiäinen 2013)

3.2 Katalyyttinen suodatus ja ilmastus

Katalyyttisessä suodatuksessa on kyse liuenneen raudan ja mangaanin hapettamisesta saostuneeseen muotoon. Saostunut rauta ja mangaani adsorboituvat eli kiinnittyvät suodatusmassan huokoiseen pintaan, josta ne saadaan huuhdeltua pois vastavirtahuuhtelun avulla. Suodatusmassa valmistetaan yhdisteistä, jotka katalysoivat eli nopeuttavat hapettumisreaktiota. Markkinoilla olevat katalyyttiset massat sisältävät usein piitä (Si) ja mangaanidioksidia (MnO_2). Muita katalyyttisiä suodatusmassoissa käytettyjä yhdisteitä ovat ferrihydroksidi ja kupari (Cu). Hapettumisreaktiota voidaan edellä mainittujen yhdisteiden lisäksi nopeuttaa ilmastuksen avulla. Ilmastusta voidaan käyttää katalyyttisen suodatuksen tehostamisen lisäksi raakavedessä olevan rikkivedyn poistoon, joko yhdessä katalyyttisen massasuodatuksen kanssa tai yksittäisenä prosessina (Watman 2010.)

Katalyyttisen suodatuksen etuina on sen helppokäyttöisyys, sillä massojen huuhteluun ei käytetä erillisiä kemikaaleja. Massat ovat kulutustavaraa ja ne menettävät kapasiteettinsa noin 3-5 vuoden kuluessa, jonka jälkeen ne tulee vaihtaa uusiin. Katalyyttistä suodatusmenetelmää ei voida käyttää humuspitoisen veden suodatukseen, koska rauta sitoutuu voimakkaasti humusainekseen. Näiden voimakkaiden sidosten vuoksi raudan hapettaminen ei onnistu kuin osittain. Mangaanin suodatus vaatii korkeamman pH-arvon kuin rauta. Katalyyttistä suodatusta käytettäessä mangaanin suodatukseen, tulee veden pH-arvon olla väliltä 8-9 (Watman 2010.) Katalyyttistä suodatusta ja ilmastusta käytetään esimerkiksi omakotitalojen, kesämökkien, maatilojen ja ravintoloiden raakaveden raudan, mangaanin sekä rikkivedyn suodatukseen.

3.3 Alkalointi

Alkalointia käytetään happaman veden pH-arvon nostamiseen poistamalla siitä aggressiivinen hiilihappo. Veden matala pH-arvo johtuu hiilihappoylijäämästä, jolloin vesi ei ole kalkki-hiilihappotasapainossa. Kalkki-hiilihappotasapaino saavutetaan, kun vedessä on kalkkikovuutta vastaava määrä vapaata hiilihappoa (Salmi ym. 1988, 143.) Vedessä oleva aggressiivinen hiilihappo estää metallia suojaavan oksidikerroksen muodostumisen, jonka seurauksena putkistojen korroosio-ongelmat lisääntyvät (Watman 2010.)

Alkalointi voidaan tehdä joko ilmastamalla, kemikaalin lisäyksellä tai kalkkikivisuodatuksen avulla. Ilmastuksella veteen johdetaan ilmaa, joka poistaa vedestä happamuutta aiheuttavan hiilidioksidin. Ilmastuksen seurauksena veden pH-arvo nousee. Kemikaalin sekä kalkkikivisuodatuksen käyttö alkalointimenetelmänä perustuu vedessä olevan hiilidioksidin neutralointiin bikarbonaatiksi, jolloin veden pH ja kovuus kasvavat. Yleisimmät alkaloinnissa käytetyt kemikaalit ovat natriumhydroksidi, natriumkarbonaatti ja kalsiumhydroksidi (Ympäristö 2014.)

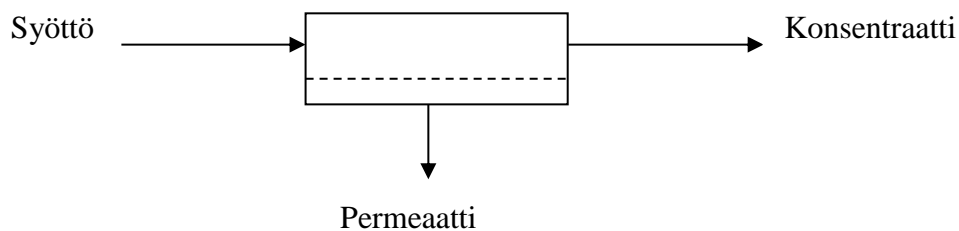
Yksityistalouksissa käytetyin alkalointimenetelmä on kalkkikivisuodatus. Suodatusmassana käytetään yleensä joko kalsiumkarbonaattia tai kalsium-magnesiumkarbonaattia. Kalkkikivisuodatuksessa vesi johdetaan suodatusmassan läpi, jolloin siinä olevat kalsiumkarbonaatti-ionit muuttuvat veden ja hiilidioksidin kanssa kalsium-ioneiksi ja vetykarbonaateiksi. Suodatuksen lopputuloksena veden pH-arvo, alkaliniteetti sekä kokonaiskovuus nousevat ja samalla veden korroosio-ominaisuudet vähenevät. Kalkkikivisuodatuksen avulla vedestä saadaan poistettua myös pieniä määriä rautaa ja mangaania. Ensisijainen käyttötarkoitus on kuitenkin veden pH-arvon säätäminen joko yksittäisenä suodatusmenetelmänä tai yhdessä muiden suodatusmenetelmien kanssa (Vanhanarkaus, 2012, 5-8.)

Kalkkikivisuodatuksen alkalointitehokkuus riippuu käytettävän suodatusmassan kokonaishuokospinta-alasta sekä huokosten muodosta. Mitä pienempi suodatusmassan rae koko on, sitä enemmän sillä on kontaktipintaa. Suuren kontaktipinnan ansiosta alkalointi on tehokkaampaa. Raudan ja mangaanin kohdalla tehokas suodattaminen riippuu suurimmilta osin metallien ja kalkkikiven kemiallisista ominaisuuksista. Muita kalkkikiven alkalointitehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat veden lämpötila, virtausnopeus sekä massapatjan paksuus (Vanhanarkaus, 2012, 8.)

Kalkkikivimassan pinnalle saostunut rauta ja mangaani heikentävät alkalointitehokkuutta. Tästä syystä massat tulee huuhdella mahdollisimman usein alkalointitehon sekä muiden ominaisuuksien ylläpitämiseksi. Suodatusmenetelmä on käyttäjäturvallinen, koska massan huuhtelussa ei käytetä lainkaan kemikaaleja. Kalkkikivimassa liukenee veteen ajan myötä, jolloin liuennut osuus tulee korvata uudella massalla. Kalkkikivimassan pinnalle saostuneet epäpuhtaudet tukkivat massan huokoisen pinnan ilman säännöllistä vastavirtahuuhtelua. Tästä syystä massat on hyvä vaihtaa uusiin noin 3-5 vuoden välein (Watman 2010.)

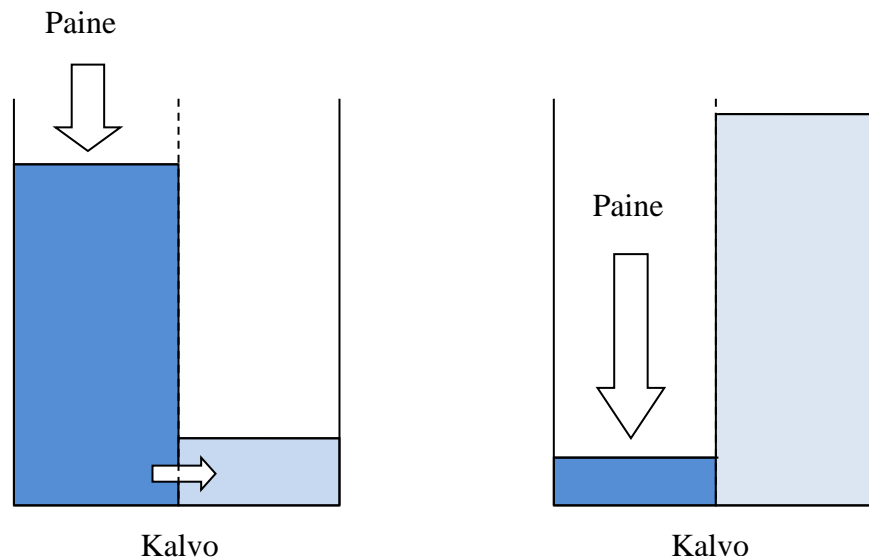
3.4 Käänteisosmoosi

Käänteisosmoosi (RO) on kalvoerotusprosessi, jossa korkean vedenpaineen avulla vedestä saadaan erotettua raakaveden liuenneet epäpuhtaudet. Käänteisosmoosissa ei ole kyse ionien poistamisesta, kuten ioninvaihdossa, vaan liuenneiden epäpuhtauksien erottamisesta vedestä. Suodatus tapahtuu puoliläpäisevän kalvon lävitse väkevästä liuoksesta laimeaan liuokseen (Cheremisinoff 2002, 360.) Käänteisosmoosin avulla vedestä voidaan suodattaa muun muassa fluorideja, arsenia, nitraatteja, nitriittejä ja suolaa. Suodatuksessa käytettävien kalvojen huokokset ovat niin pieniä, etteivät edes mikroorganismit läpäise niitä. Kuvassa kaksi (2) on esitetty yksinkertaistettu käänteisosmoosierotusprosessi. Kalvon läpi paineen avulla puristettu suodatettu vesi eli permeaatti varastoidaan tai otetaan suoraan käyttöön ja epäpuhtauksia sisältävä konsentraatti johdetaan viemäriin (BWT Separtec Oy 2009.)



KUVA 2. Kalvoerotusprosessi käänteisosmoosiprosessissa (Ojala 2012, 1)

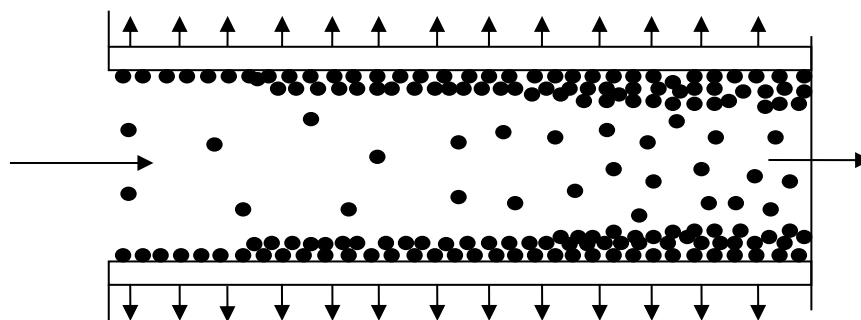
Käänteisosmoosiprosessia käytetään yleisesti vedenpuhdistuksen eri sovellutuksissa, kuten esimerkiksi meriveden suolanpoistossa tai puhtaan veden valmistamisessa lääketieteen sekä muun teollisuuden käyttötarpeisiin (Cheremisinoff 2002, 360.) Käänteisosmoosin avulla liuenneet epäpuhtaudet saadaan erotettua vedestä 90–99 prosenttisesti. Käänteisosmoosia ei voida käyttää kuitenkaan kaikkien epäpuhtauksien suodatukseen, sillä raakavedessä oleva rauta, mangaani, kovuussuolat, kiintoaineet sekä erilaiset bakteerit tukkivat käänteisosmoosikalvon erittäin nopeasti. Kuvassa kolme (3) on esitetty käänteisosmoosikalvon toimintaperiaate, jossa paineen avulla pakotetaan puhdas vesi puoliläpäisevän kalvon läpi. Vasemmalla puolella oleva neste on suolapitoista merivettä ja oikealla puolella, paineen avulla kalvon läpi pakotettua, suodatettua vettä (Lempiäinen 2013.)



KUVA 2. Käänteisosmoosin periaate (Lempiäinen 2013)

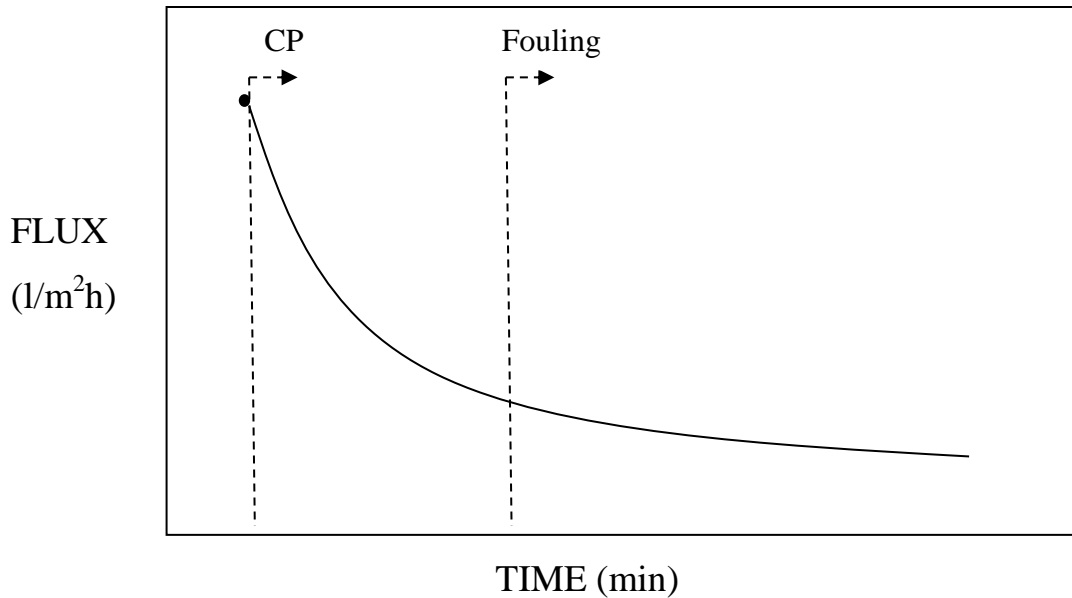
Käänteisosmoosikalvojen erilaiset moduulit mahdollistavat monipuoliset suodatus mahdollisuudet eri teollisuuden aloille. Putki-, spiraali-, levy- sekä onttokuitumoduulit ovat yleisimpiä käänteisosmoosisuodatukseen käytettäviä kalvorakenteita. Näistä yleisin on spiraalinmuotoinen kalvorakenne, jossa puhdistettava vesi kulkee paineen avulla spiraalikalvon läpi keskikutkeen permeaatiksi (Rossi 2011, 34.)

Kalvojen pinnalle kertyneet epäpuhtaudet aiheuttavat kalvon alkuperäisen kapasiteetin menetyksen, jolloin kalvon suodatusteho laskee ajan myötä. Tämä johtuu konsentraatiopolarisaatiosta (CP) sekä fouling -ilmiöstä. Konsentraatiopolarisaatio on fouling -ilmiön esiaste, joka aiheutuu ainesosasten kerrostumisesta kalvon pinnalle. Kerrostuminen tapahtuu ainesosasten kulkeutumisesta paine-eron vaikutuksesta kohti kalvon pintaa, kuvan neljä (4) mukaisesti (Ojala 2013, 5.)



KUVA 4. Konsentraatiopolarisaatio (Ojala 2012, 6)

Käytön seurauksena kalvon pintaan kerrostuneet epäpuhtaudet tukkivat kalvon, jolloin kalvojen läpäisevyyden lasku hidastuu. Tätä kalvojen likaantumista ja tukkeutumista kutsutaan fouling -ilmiöksi. Kuvassa viisi (5) on esitetty kalvon alkuperäinen puhtaan veden läpäisevyys pisteellä. Läpäisevyyden lasku tapahtuu aluksi konsentraatiopolarisaation vaikutuksesta, jonka jälkeen alkaa fouling -ilmiö. Oikeilla kalvovalinnoilla sekä esikäsitteilyllä voidaan pienentää fouling -ilmiötä ja pidentää näin kalvojen käyttöikää (Ojala 2012, 7.)



KUVA 5. RO -kalvon läpäisevyyden lasku ajan suhteen (Ojala 2012, 7)

Käänteisosmoositeknikka soveltuu erittäin hyvin suomalaisille kunnallisissa sekä teollisuuden raakavedenkäsittelylaitoksissa käsitellyille vesille. Käänteisosmoositekniikkaa sovelletaan nykypäivänä myös yksittäisten talouksien vedensuodatuksessa joko koko talousveden suodatuksessa tai hanakohtaisena ratkaisuna juomaveden suodatuksessa (Lempiäinen 2013.)

3.5 Aktiivihiliadsorptio

Adsorptiolla tarkoitetaan prosessia, jossa kaasumainen tai nestemäinen aine kiinnittyy huokoisen kiinteän aineen pintaan. Vedensuodatuksessa adsorptiota hyödynnetään aktiivihiliisuodatuksessa. Aktiivihilien tehokkuus perustuu sen huokoiseen rakenteeseen

sekä suureen ominaispinta-alaan. Aktiivihiiliadsorptio on yksi monipuolisimmista menetelmistä poistamaan epämiellyttävien, hajua ja makua aiheuttavien, orgaanisten yhdisteiden jäämäpitoisuuksia vedestä. Orgaanisten yhdisteiden lisäksi aktiivihiilellä pystytään suodattamaan vedestä haitallinen radonkaasu. Radonia suodatettaessa tulee kuitenkin huomioida suodattimesta vapautuva haitallinen säteily, joka tulee ottaa huomioon suodattimen asennuspaikkaa suunniteltaessa (Isoaho & Valve 1986, 194.)

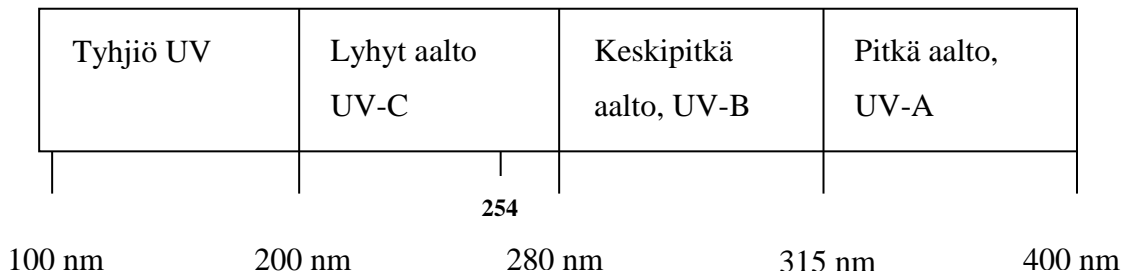
Aktiivihiili valmistetaan kolmessa vaiheessa. Ensimmäisenä vaiheena on raaka-aineen valinta, joka tehdään aina käyttökohteen vaatimusten mukaan. Käytetyimpiä raaka-aineita aktiivihiilen valmistuksessa ovat muun muassa puu, sahanpuru, turve, kivihiili ja raakaöljyn jäte. Näistä kivihiili on käytetyin materiaali sen halvan hinnan vuoksi. Valmistusprosessin toisessa vaiheessa hiili kuivataan ja hiillytetään tietyssä lämpötilassa, jonka jälkeen se aktivoidaan joko kemiallisesti aktivointikemikaalia avuksi käyttäen tai fysikaalisesti kuumen höyryn avulla (Pulkkinen 2010, 15.)

Ajan kuluessa aktiivihiili kyllästyy epäpuhtauksilla ja menettää adsorptiokykynsä. Kyllästymisvyöhyke liikkuu vähitellen läpi koko suodatuspatjan, kunnes koko hiilipatjan kapasiteetti on käytetty loppuun. Tämän jälkeen aktiivihiilimassa on vaihdettava uuteen. Massat vaihdetaan noin 3-5 vuoden välein riippuen raakaveden laadusta (Isoaho & Valve 1986, 196.)

3.6 UV-desinfiointi

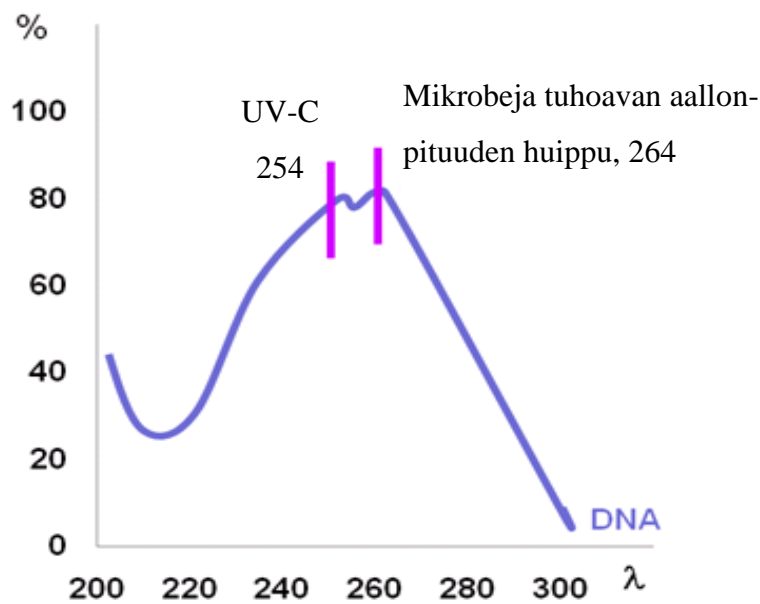
UV -säteily on sähkömagneettista säteilyä, joka on luonnollinen, ympäristöystävällinen ja täysin kemikaaliton tapa puhdistaa vettä. Käsiteltävä vesi altistetaan UV -säteilylle, joka hajottaa tehokkaasti bakteerit, virukset ja alkueläimet. UV -säteily ei varsinaisesti poista mikrobeja, vaan tekee ne lisääntymiskyvyttömiksi ja vaarattomiksi rikkomalla niiden DNA:n rakenteen (BWT Separtec Oy 2009.)

Sähkömagneettinen säteily jakautuu eri osa-alueisiin säteilyn aallonpitoisuuksien perusteella. Sähkömagneettisessa spektrissä ultraviolettivalo on jaettu vielä erikseen neljään ryhmään aallonpituuksilla 100-400nm. Kuvassa kuusi (6) on esitetty ultraviolettivalon spektri eri aallonpituuksilla (Van Rammen internetsivut.)



KUVA 6. Ultraviolettivalon spektri eri aallonpituuksilla (Van Remmen 2013)

UV-desinfiointiprosessissa käytetään lyhytaaltoista UV-C valoa. Kyseinen UV-C valo pystyy tunkeutumaan mikrobien soluseinämän läpi, aiheuttaen pysyviä vaurioita sen sisältämän DNA:n rakenteeseen. UV-desinfioinnissa käytetyin aallonpituus on 254 nm. Tämä aallonpituus on lähes optimaalinen, sillä pienetkin aallonpituuden muutokset laskevat merkittävästi UV-desinfioinnin tehoa. Alle 254 nm aallonpituudet eivät riitä tuhoamaan mikrobien DNA:n rakennetta, koska suurin osa säteilystä absorboituu pelkästään ympärillä olevaan ilmaan sekä veteen (Kalvas 2013, 10.) Mikrobeja tuhoavan aallonpituuden huippulukema on 264 nm. Tämän arvon ylittävät aallonpituudet ovat vastaavasti liian pitkiä, eivätkä pysty tunkeutumaan tarpeeksi tehokkaasti mikrobien sisälle. Kuvassa seitsemän (7) on esitetty mikrobeihin absorboituvan säteilyn määrä prosentteina suhteessa aallonpituuteen (Kalvas 2013, 11).



KUVA 7. Mikrobeihin absorboituvan säteilyn määrä suhteessa aallonpituuteen (Van Remmen 2013)

LÄHTEET

Ahonen, M. Kaunisto, T. Mäkinen, R., Hatakka, T. Vesterbacka, P. Zacheus, P & Keinänen-Toivola, M. 2008. Suomalaisen talousveden laatu raakavedestä kuluttajan hanaan vuosina 1999-2007. Turku: Karhukopio.

Auvinen, I. Haverinen T. 2011. Ioninvaihto- ja käänteisosmoositekniikan vertailu vesilaitoksen uusimista varten. Talotekniikan koulutusohjelma. Mikkelin Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

BWT Separtec Oy. 2009. MPMB – ioninvaihdin. Luettu 11.12.2013
http://www.hoh.fi/pdf/es_fi_mpmb_bwt.pdf

BWT Separtec Oy. 2009. RO-2100 käänteisosmoosilaitte esite. Luettu 11.12.2013
http://www.hoh.fi/pdf/es_fi_ro-2100_bwt.pdf

BWT Separtec Oy. 2009. UV-Laitteet. Luettu 12.12.2013.
<http://www.hoh.fi/index.php?pageid=3&aid=29&lang=fi>

Cheremisinoff, N. 2002. Handbook of water and wastewater treatment technologies. Woburn: Butterworth-Heinemann.

Evira. 2013. *Escherichia coli* /EHEC (VTEC/STEC) ruokamyrkytysten aiheuttajana. Luettu 10.12.2013
<http://www.evira.fi/portal/fi/elintarvikkeet/tietoa+elintarvikkeista/elintarvikevaarat/ruokamyrkytykset/ruokamyrkytyksia+aiheuttavia+bakteereja/escherichia+coli>

GTK. 2014. Arseenin esiintyminen. Luettu 4.12.2013.
http://www.gtk.fi/system/print.html?from=/system/PressReleases/news_0354.html

Isoaho, S. & Valve, M. 1986. Vesikemian perusteet. Helsinki: Otakustantamo

Kalvas, K. 2013. Pientalojen omavesijärjestelmien vedenkäsittelyprosessit. Talotekniikan koulutusohjelma. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Keinänen-Toivola, M., Ahonen, M. & Kaunisto, T. 2007. Talousveden laatu Suomessa vuosina 1984-2006. Turku: Karhukopio

Lempiäinen, A. 2013. Vedenkäsittelyn perusteet pehmennyksestä elektrodeionisaatioon. Luento 30.9.2013. BWT Separtec Oy:n toimistotilat. Raisio.

MetropoliLab. 2012. Mitä Kaivovesien tutkimustulokset kertovat. Vesianalyysin laboratoriotutkimus seloste.

Mäkeläinen, I. Huikuri, P. Salonen, L. Markkanen, M. & Arvela, H. 2001. Talousveden radioaktiivisuus – perusteita laatuvaatimuksille. Helsinki: Edita Oyj.

Nummelin, A. 2001. Kaivotietoa. Haja-asutuksen vesihuoltotyöryhmä. Turun Ammattikorkeakoulu. Pdf -tiedosto.
<http://www.valonia.fi/public/download.aspx?ID=65145&GUID=%7B9BFFE4AC-78CA-45D5-9843-62BDAA511E60%7D>

- Ojala, A. 2012. Aineensiirtoprosessit/kalvotekniikat. Luentomateriaali. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere
- Pakkanen, T. 2009. Kaukolämpöverkon lisäveden pehmennyssuodatin. Kemianteeniikan koulutusohjelma. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Pulkinen, M. 2010. Aktiivihiihen aktivointi, regenerointi ja käyttö. Kemianteeniikan koulutusohjelma. Keski-Pohjanmaan Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Raatikainen, J. 2010. Pitkien vesilinjojen vaikutus juomaveden laatuun. Ympäristöteknologia. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Rossi, A. 2011. Nanosuodatuksen soveltuvuus Naistenlahden voimalaitoksen lisävesien valmistuksessa. Kemianteeniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Salmi, V. Mäkelä, A. Kalvas, A. & Tolvanen, T. 1988. Vesikirja. Insinööritoimisto Kaiko Oy. Helsinki: Amer-yhtymä Weilin + Göös.
- STUK 2008. Juomaveden radioaktiivisuus. Luettu 3.2.2014.
http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/fi_FI/katsaukset/files/88192704355896135/de_fault/juomaveden_radioaktiivisuus_huhtikuu_2008.pdf
- STUK. 2013. Porakaivoveden radon- ja uraanikartasto. Luettu 4.12.2013
http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/tiivistelmat/a_sarja/fi_FI/stuk-a256
- THL. 2014. Kaivovesi. Luettu 29.10 & 4.12.2013.
http://www.thl.fi/fi_FI/web/fi/aiheet/tietopaketit/vesi/talousvesi/kaivovesi
- THL. 2014. Mangaani on terveystarve juomavedessä. Luettu 11.10.2013
http://www.thl.fi/fi_FI/web/fi/tiedote?id=34166
- Vanhanarkaus, O.2012. Kalkkikivialkalointi yksityisten talousvesikaivojen kunnostusmenetelmänä. Geotieteiden ja maantieteen laitos. Helsingin yliopisto. Pro gradu - tutkielma.
- Van Remmen. 2013. UV-Technology. Luettu 12.12.2013.
<http://www.vanremmen.nl/index.php?id=76>
- Viiala, H. 2005. Käänteisosmoosi- ja sähköisen ioninvaihtotekniikan taloudellisuus voimalaitosten syöttöveden käsittelyssä verrattuna perinteiseen ioninvaihtotekniikkaan. Automaatio- ja systeemitekniikan osasto. Espoon teknillinen korkeakoulu. Diplomityö
- Watman. 2010. Miten tulkita yleisimpiä vesitutkimusten tuloksia? Luettu 9.12.2013.
<http://www.watman.fi/pdf/vedenlaatu.pdf>
- Watman. 2010. Happaman veden neutralointi. Luettu 12.2.2014
<http://www.watman.fi/pdf/neutralointi.pdf>

Yle 2013. Juomaveden arseeni voi olla sydänriski. Luettu 4.12.2013.

http://yle.fi/uutiset/juomaveden_arseni_voi_olla_sydanriski/6862395

Ympäristö. 2014, Kaivot. Kaivoveden alkalointi ja pH. Luettu 11.10.2013 s. 1

<http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B9C2B589F-B517-4618-935E-4750CD0C4099%7D/57106>

LIITTEET

Liite1. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 401/2001

1(4)

1154		N:o 401		
LIITE I				
TALOUSVEDEN LAATUVAATIMUKSET JA –SUOSITUKSET				
Taulukko 1. Mikrobiologiset laatuvaatimukset (enimmäistiheys)				
<i>Escherichia coli</i>	0 pmy/100 ml			Huomautus (1)
Suolistoperäiset enterokokit	0 pmy/100 ml			
Taulukko 2. Kemialliset laatuvaatimukset (enimmäispitoisuus)				
				Huomautus
Akryyliamidi	0,10	µg/l		(2)
Antimoni	5,0	''		
Arseeni	10	''		(4)
Bentseeni	1,0	''		
Bentso(a)pyreeni	0,010	''		
Boori	1,0	mg/l		
Bromaatti	10	µg/l		(3)
Kadmium	5,0	''		
Kromi	50	''		
Kupari	2,0	mg/l		
Syanidit	50	µg/l		
1,2-dikloorietaani	3,0	''		
Epikloorihydrini	0,10	''		(2)
Fluoridi	1,5	mg/l		(4)
Lyijy	10	µg/l		
Elohopea	1,0	''		
Nikkeli	20	''		
Nitraatti (NO ₃ ⁻)	50	mg/l		(5)
Nitraattityppi (NO ₃ -N)	11,0	''		
Nitriitti (NO ₂ ⁻)	0,5	''		(5)
Nitriittityppi (NO ₂ -N)	0,15	''		
Torjunta-aineet	0,10	µg/l		(6 ja 7)
- '' - yhteensä	0,50	''		(6)
Polysykliset aromaattiset hiilivedyt	0,10	''		(8)
Seleeni	10	''		
Tetrakloorieteeni ja trikloorieteeni yhteensä	10	''		
Trihalometaanit yhteensä	100	''		(3 ja 9)
Vinyylikloridi	0,50	''		(2)
Kloorifenolit yhteensä	10	''		(10)

(jatkuu)

N:o 401

1155

Huomautukset:

- 1) *Escherichia colin* tunnistus standardimenetelmässä kuvatussa laajuudessa
- 2) pitoisuus lasketaan käytetystä polymeeristä tuoteselosteen mukaan enimmillään irtoavasta tai liukenevasta määrästä; vedessä todetun aineen raja-arvona sovelletaan havaitsemisrajaa
- 3) desinfiointitehoa vaarantamatta on pyrittävä mahdollisuuksien mukaan tätä alempaan pitoisuuteen
- 4) talousvedelle, jota ei juoda tai joka ei päädy suoraan elintarvikkeeseen tai joka ei suoraan joudu kosketuksiin elintarvikkeiden kanssa elintarvikkeiden valmistuksen, jalostuksen, säilytyksen ja markkinoille saattamisen yhteydessä arseenin laatuvaatimus on alle 20 µg/l ja fluoridin alle 5,0 mg/l
- 5) nitriitin enimmäispitoisuus vesilaitokselta lähtevässä vedessä on 0,10 mg/l; nitraattipitoisuus/50 + nitriittipitoisuus/3 ei saa ylittää arvoa 1
- 6) tarkoitetut yhdisteet orgaanisia hyönteis-, rikkaruoho-, sieni-, ankerois-, punkki-, levä- ja jyrsijämyrkyjä, orgaanisia limantorjunta-aineita sekä muita vastaavia tuotteita sekä yhdisteiden metabolia-, hajoamis- ja reaktiotuotteita
- 7) aldriin, dieldriin, heptakloorin ja heptaklooriepoksidin raja-arvo on 0,030 µg/l
- 8) tarkoitetut yhdisteet bentso(b)fluoranteeni, bentso(k)fluoranteeni, bentso(ghi)peryleeni, indaani-(1,2,3-cd)-pyreeni
- 9) tarkoitetut yhdisteet kloroformi, bromoformi, dibromikloorimetaani, bromidikloorimetaani
- 10) tarkoitetut yhdisteet tri- tetra- ja pentakloorifenoli

3(4)

1156

N:o 401

Taulukko 3. Laatusuositukset

	<i>Enimmäispitoisuus</i>	<i>Huomautus</i>
Alumiini	200 µg/l	
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0,50 mg/l	
Ammoniumtyppi (NH ₄ -N)	0,40 "	
Kloridi	100 "	(1,2)
Mangaani	50 µg/l	(3)
Rauta	200 "	(3)
Sulfaatti	250 mg/l	(1,4)
KmnO ₄ -luku	20 mg/l	
COD _{Mn} - O ₂	5 mg/l	
Koliformiset bakteerit	0 pmy/100 ml	(5)
Radon	300 becquerel/l	(6)
	<i>Tavoitetaso</i>	
pH	6,5 - 9,5	(1)
Sähkönjohtavuus	alle 2 500 µS/cm	(1)
Sameus	1,0 NTU	
Väriluku	5	
Haju ja maku	ei selvää vierasta hajua tai makua	

Huomautukset:

- 1) vesi ei saa olla syövyttävää
- 2) vesijohtomateriaalien syöpymisen ehkäisemiseksi kloridipitoisuuden tulisi olla **alle 25 mg/l**
- 3) 1 §:n 3 kohdan talousvedelle raudan enimmäispitoisuus on **alle 400 µg/l** ja mangaanin enimmäispitoisuus **alle 100 µg/l**
- 4) vesijohtomateriaalien syöpymisen ehkäisemiseksi sulfaattipitoisuuden tulisi olla **alle 150 mg/l**
- 5) 1 §:n 3 kohdan talousvedelle koliformisten bakteerien enimmäispitoisuus on **alle 100 pmy/100 ml**
- 6) 1 §:n 3 kohdan talousvedelle radonin enimmäispitoisuus on **alle 1000 becquerel/l**

N:o 401

1157

LIITE II

TALOUSVEDEN VALVONTATUTKIMUKSET

Taulukko I. Säännöllisissä tutkimuksissa määritettävät muuttujat vähintään:

Sameus
Väri
Haju
Maku
pH
Rauta
Mangaani
KMnO₄-luku
Kloridi *
Ammonium *
Nitraatti *
Nitriitti *
Fluoridi **
Escherichia coli
Koliformiset bakteerit
Suolistoperäiset enterokokit ***

* Määritettävä vähintään neljänä peräkkäisenä tutkimuksena eri vuodenaikoina. Jos parametrin laatuvaatimukset tai -suositukset eivät ylity, määrittäminen voidaan tämän jälkeen tehdä vain joka neljännellä tutkimuskerralla.

** Määritettävä vähintään kerran.

*** Täydentävänä tutkimuksena silloin, kun koliformisten bakteerien määrä ylittää liitteen I taulukon 3 enimmäispitoisuuden, mutta *Escherichia coli* ei esiinny vedessä.