



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Sasu Pirttipерä

PIENTEN POHJAVESIESIINTYMIEN
TILAPÄINEN HYÖDYNTÄMINEN

Tekniikka
2018

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö tehtiin Vaasan Vesi -liikelaitokselle. Työ tehtiin kesällä 2018.

Olen kiitollinen rakentavasti kritiikistä ja hyvistä neuvoista, joita sain Vaasan Veden toimitusjohtajalta Irma Hyryltä sekä opinnäytetyötäni ohjaavalta opettajalta Pekka Sténiltä. Koin itseni etuoikeutetuksi, kun jaksoitte käydä työni läpi niin perusteellisesti ja esittää siihen kohdistuvia huomautuksia. Tästä syystä työn lopullinen laatu parani huomattavasti.

Haluan kiittää myös Elina Kortetia, joka ohjasi työtäni Vaasan Veden puolelta. Oma työni perustui suureen määrään työtä, jota Elina on aiemmin tehnyt. Näin ollen koko opinnäytetyötä ei olisi syntynyt ilman Elinaa.

Lopuksi haluan kiittää kaikkia työntekijöitä, joiden kanssa olen työskennellyt. Monilla teistä oli merkittävä vaikutus itse työhön sekä stressittömän ilmapiirin luomiseen.

Vaasassa 5.9.2018

Sasu Pirttipera

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Sasu Pirttiperä
Opinnäytetyön nimi	Pienten pohjavesiesiintymien tilapäinen hyödyntäminen
Vuosi	2018
Kieli	suomi
Sivumäärä	67
Ohjaaja	Pekka Stén

Tämän opinnäytetyön oli tarkoitus vastata kolmen eri pohjavedenottamon tilapäistä käyttöönottoa koskeviin kysymyksiin. Opinnäytetyön tehtävä oli hahmottaa kyseisten vedenottamoiden rooli ja niiden käyttöönoton kannattavuus. Lisäksi työssä pyrittiin tarkastelemaan erilaisia puhdistusmenetelmiä, joiden avulla kohteista saatua vettä voisi hyödyntää. Työn toimeksiantajana toimi Vaasan Vesi -liikelaitos.

Pohjavesi on maaperän läpi suotautunutta sade- tai sulamisvettä. Useilla eri tekijöillä ja prosesseilla on vaikutuksia pohjaveden laatuun. Pohjaveden käyttöä ja luokitusta koskeva lainsäädäntö täytyy ottaa huomioon vettä hyödynnettäessä. Pohjavettä on mahdollista puhdistaa talousvedeksi eri tekniikoiden avulla. Puhdistusprosessi voidaan saada toimivaksi yhdistämällä eri yksikköoperaatioita ja -prosesseja tai valmiiksi kootuilla järjestelmillä. Tässä työssä pyritään selvittämään myös tekniikoiden soveltuvuutta eri kohteisiin.

Työn aikana on selvinnyt, että tarkasteluun valituilla vedenottamoilla ei ole suurta merkitystä poikkeustilanteiden kannalta. Kohteissa on havaittu eri ongelmakohtia, jotka hankaloittavat vedenottamoiden käyttöönottoa. Tarkasteluun valitut vedenottamot voidaan tämän työn perusteella sulkea jatkossa pois varautumista koskevista suuren mittakaavan suunnitelmista.

ABSTRACT

Author	Sasu Pirttipерä
Title	Temporary Utilization of Small Aquifers
Year	2018
Language	Finnish
Pages	67
Name of Supervisor	Pekka Stén

The purpose of this thesis was to answer to several questions concerning the temporary utilization of three small groundwater intake plants. The aim was to understand the role of these plants and whether the utilization of these plants were worthwhile. In addition, this thesis tried to scrutinize different kind of water treatment processes and clarify whether these processes would work in the chosen areas. This thesis was commissioned by Vaasan Vesi.

Groundwater is rain or meltwater that has flowed through an unsaturated porous medium and reached water table. The quality of groundwater is affected by several factors and processes. During this thesis material about the selected water intake plants was examined. With the help of this material, field work and literature conclusions about the future of these water intake plants could be made.

During this thesis it was noticed that none of these three chosen water intake plants would have a significant impact with regard to exceptional situations. It was observed that there were several problems that would have made it difficult to utilize these plants. According to this thesis, all the evaluated water intake plants can be excluded from large-scale plans that consider contingency planning in the future.

Keywords	Groundwater, groundwater engineering, water treatment, groundwater resources, domestic water and contingency planning
----------	---

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	14
	1.1 Työn tausta.....	14
	1.2 Työn tarkoitus	14
2	VAASAN VESI.....	16
3	POHJAVESI.....	18
	3.1 Pohjaveden muodostuminen	18
	3.2 Akviferityypit.....	19
	3.3 Pohjaveden virtaus	20
	3.4 Pohjaveteen liittyviä käsitteitä	21
	3.4.1 Huokoisuus.....	21
	3.4.2 Ominaisantoisuus ja ominaispidättyvyys.....	21
	3.4.3 Varastokerroin.....	23
	3.4.4 Transmissiviteetti	24
	3.4.5 Hydraulinen gradientti	24
	3.5 Tekopohjavesi	24
	3.6 Pohjavesi Suomessa	25
	3.7 Pohjavesikaivot.....	26
	3.7.1 Kaivohydrauliikka.....	27
	3.7.2 Pysyvä virtaus kaivossa	28
	3.7.3 Muuttuva virtaus kaivossa.....	29
4	POHJAVEDEN LAATU.....	30
	4.1 Epäorgaaniset yhdisteet	30
	4.2 Orgaaniset yhdisteet.....	31
	4.3 Mikrobit	31
	4.4 Radioaktiivisuus.....	32
	4.5 Sadeveden vaikutukset.....	32
	4.6 Geologisen rakenteen vaikutukset	32

4.7	Vesijohtomateriaalien korroosiota aiheuttavat tekijät pohjavedessä	33
5	POHJAVETTÄ KOSKEVA LAINSÄÄDÄNTÖ	34
5.1	Vesilaki	34
5.2	Ympäristönsuojelulaki	34
5.3	Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä	35
5.4	Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista annetun sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen muuttamisesta	35
6	POHJAVESIEN LUOKITTELU	37
6.1	Uusi luokitus	37
6.2	Vanha luokitus	37
7	PUHDISTUSTEKNIIKAT.....	39
7.1	Paikan päällä tapahtuva puhdistus	40
7.2	Yksikköprosessit ja -operaatiot.....	42
7.2.1	Alkalointi	42
7.2.2	Desinfiointi.....	43
7.2.3	Ilmastus	44
7.2.4	Hiekkasuodatus	45
7.2.5	Hidassuodatus	46
7.2.6	Adsorptio.....	46
7.2.7	Kalvosuodatus	47
8	PUHDISTUSTEKNIIKOIDEN VERTAILU	51
8.1	Tekniikoiden rooli.....	51
8.2	Valmiit puhdistuslaitokset	51
9	KOhteET.....	55
9.1	Vedenottamo 1	55
9.2	Vedenottamo 2	56
9.3	Vedenottamo 3	57
10	ARVIO TEKNIIKOIDEN SOVELTUVUUDESTA KOhteISSA.....	58
10.1	Soveltuvuus kohteessa Vedenottamo 1	58
10.2	Soveltuvuus kohteessa Vedenottamo 2.....	58
10.3	Soveltuvuus kohteessa Vedenottamo 3.....	59

11 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	60
LÄHTEET.....	63

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Pilvilammen vesilaitos. /2/	16
Kuva 2. Raakaveden matka Kyrönjoesta vesilaitokselle. /3/	17
Kuva 3. Pohjaveden liikkeen yhteys sen yläpuolella olevan maanpinnan muotoon. /11/	19
Kuva 4. Akviferien ja vettä läpäisemättömän kerroksen geologinen rakenne. /11/	19
Kuva 5. Huokoisuus. /18/	21
Kuva 6. Ominaisantoisuus. /20/	22
Kuva 7. Varastointikertoimen määrittäminen. /11/	23
Kuva 8. Tekopohjaveden muodostuminen. /23/	25
Kuva 9. Pohjavesien tila Suomessa. /28/	26
Kuva 10. Pohjavesikaivo.	27
Kuva 11. Pumpkauksen aiheuttama alenemasuppilo. /30/	28
Kuva 12. Pohjaveden kunnostusmenetelmien luokitus käsittelypaikan mukaan. /10/	39
Kuva 13. Reaktiivinen seinämä. /45/	41
Kuva 14. Pohjaveden puhdistusprosessi. /10/	42
Kuva 15. UV-säteilylaite. /44/	44
Kuva 16. Hiekkapikasuodatin. /44/	45
Kuva 17. Kalvosuodatuksen toimintaperiaate. /44/	47
Kuva 18. Suodattavat aineet eri tekniikoiden mukaan. /38/	47
Kuva 19. Spiraalikalvopuhdistin. /52/	49
Kuva 20. Kalvolle jäävien epäpuhtauksien poistaminen vastavirtahuuhtelun avulla. /51/	50
Kuva 21. Veden puhdistuslaitos WTC 8000 /15000 RO/UF C. /53/	52
Kuva 22. Vedenpuhdistuslaitos SolaRO PRO 300. /54/	53
Kuva 23. Vedenpuhdistuslaitos WTC 5000 UF. /56/	54
Kuva 24. Hypoteettinen matriisi puhdistustekniikoista veden laadun, varastoidun veden riittävyyden ja tarvittavan vesimäärän mukaan.	62
Taulukko 1. Perustietoja Vaasan talousveden laadusta. /6/	17

Taulukko 2. Kemialliset laatuvaatimukset pääosin raakavedestä peräisin oleville muuttujille. /37/	36
Taulukko 3. Uusi ja vanha pohjavesiluokitus. /15/.....	38
Taulukko 4. Pienille pohjavesilaitoksille sopivia puhdistustekniikoita. /44/	40
Taulukko 5. Eri kalvopuhdistusmenetelmien painevaatimukset. /13/	48
Taulukko 6. Tuotteiden tietoja. /53, 56, 62/	52
Taulukko 7. Kohteita koskevia tietoja. /26/	55

KESKEISIMMÄT KÄSITTEET JA SYMBOLIT

Käsitteet

Akviferi	Maankuoren kerrostuma, joka varastoi tai johtaa vettä
Antoisuus	Jatkuvaan käyttöön pumpattavan veden määrä
pH	Happamuutta tai emäksisyyttä ilmaiseva vetyioniväkevyyden negatiivinen logaritmi
Pintavesi	Virtaava vesi tai maanpinnalle varastoitunut vesi
Talousvesi	Vesijohtovesi
Raakavesi	Käsittelemätön vesi
In situ	Paikan päällä
Yksikköoperaatio	Menetelmä, jossa veden laadun muutos toteutetaan fysikaalisten ilmiöiden avulla
Yksikköprosessi	Menetelmä, jossa veden laadun muutos toteutetaan kemiallisten reaktioiden avulla tai biologisilla prosesseilla
Osasläjit (species)	Kaikki termodynaamisessa systeemissä esiintyvät aineen kemialliset osaset, molekyylit, atomit, ionit, elektronit jne.
Adsorptio	Aineen tai aineiden kiinnittyminen toisen aineen pinnalle
Adsorbentti	Aine, jonka pinnalle toinen aine kerääntyy
Adsorbaatti	Aine, joka pyrkii kerääntymään toisen aineen pinnalle
RO	Käänteinen osmoosi
NF	Nanosuodatus
UF	Ultrasuodatus

MF	Mikrosuodatus
Permeaatti	Kalvon läpäisevä vesi
Konsentraatti/	
Retentaatti	Kalvoa läpäisemätön vesi

Symbolit

v	Veden nopeus
k	Vedenjohtavuuskerroin
i	Hydraulinen gradientti
h	Korkeus
l	Pituus
n	Huokoisuus
V_v	Huokosten yhteenlaskettu tilavuus
V	Näytteen kokonaistilavuus
v_t	Todellinen nopeus
S_y	Ominaisantoisuus
V_w	Veden tilavuus
V_s	Maan tilavuus
S_r	Ominaispidättyvyys
T	Transmissiviteetti
b	Vesikerroksen paksuus

Q	Kaivoon tuleva virtaama
h_1	Korkeus etäisyydellä r_1
h_2	Korkeus etäisyydellä r_2
r_1	Säde etäisyydellä h_1
r_2	Säde etäisyydellä h_2
$W(u)$	Theisin kaivofunktio
r	Pumppaamon ja seurantapisteen välinen etäisyys
S	Varastokerroin
t	Pumppausaika
dN/dt	Ydinten lukumäärän derivaatta ajan suhteen
N	Ydinten määrä
λ	Hajoamisvakio
x	Adsorboituneen aineen määrä
m	Adsorbentin määrä
C	Adsorbaatin pitoisuus liukoisessa tasapainotilassa
Q_w	Veden vuo
ΔP	Painehäviö veden virratessa kalvon läpi
$\Delta \pi$	Osmoottinen paine
Q_s	Suolan vuo
C_b	Suolan pitoisuus konsentraatissa

C_p

Suolan pitoisuus permeaatissa

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee pohjavettä ja sen käyttöönottoa mahdollistavia tekniikoita. Työ keskittyy eri tekniikoihin, joilla pohjavettä voidaan hyödyntää paikallisesti. Tarkoituksena on perehtyä erilaisiin ratkaisuihin, joita olisi mahdollisuus hyödyntää väliaikaisissa tilanteissa. Myös eri ongelmakohtia tuodaan työssä esille.

Työssä pyritään hahmottamaan eri ratkaisuja pienien pohjavesiesiintymien hyödyntämiseksi. Erilaisia puhdistustekniikoita tarkastellaan ja niiden soveltuvuutta eri pohjavesiesiintymiin arvioidaan. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Vaasan Vesi -liikelaitos.

1.1 Työn tausta

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus pohtia eri tekniikoiden tuomia mahdollisuuksia kolmessa eri kohteessa. Nämä kohteet on valittu tarkasteluun, koska niillä on aiemmin arvioitu olevan ainakin hypoteettinen merkitys mahdollisen poikkeustilanteen sattuessa. Käsiteltävinä kohteina ovat kolme eri vedenottamo, jotka ovat nimetty tässä työssä yksinkertaisesti: vedenottamo 1, vedenottamo 2 ja vedenottamo 3. Kohteet ovat valittu tarkasteluun, koska työn toimeksiantajalla on niihin nykyisin vedenottolupa.

Kaikkia kohteita tullaan arvioimaan yksitellen. Tavoitteena on selvittää valittujen kohteiden rooli varautumisen kannalta. Kohteisiin sopivia tekniikoita arvioidaan ja parhaat kohdekohtaiset ratkaisut pyritään selvittämään.

1.2 Työn tarkoitus

Pohjaveden hyödyntäminen on haastavaa. Raakaveden muuntaminen talousvedeksi ja sen siirtäminen kuluttajalle vaatii usein mittavaa infrastruktuuria. Tässä työssä pyritään selvittämään eri mahdollisuuksia hyödyntää pohjavettä hajautetusti. Käytännössä tekniikoita hyödynnettäisiin paikan päällä pumppauskohteessa, eikä pohjavettä siirrettäisi mihinkään keskitettyyn laitokseen. Kiireellisissä tilanteissa paikan päällä pumppauskohteessa hyödynnettävä tekniikka voisi olla joustava rat-

kaisu, mikäli vesihuollon hyödyntämä infrastruktuuri ei olisi syystä tai toisesta käytettävissä. Vaikka vesihuoltolaitoksilla on suuri rooli vedenjakelun kannalta, voisi poikkeustilanteen sattuessa paikallisesti toteutettavat tekniset ratkaisut tuoda helpotusta alueille, joilla sijaitsee pohjavesiesiintymiä, mutta joissa ei ole hyödynnettävissä kunnollista vesihuoltoa.

Työ kartoittaa eri tekniikoiden tuomia mahdollisuuksia. Tarkoituksena on myös tarkastella eri tekniikoiden tuomia rajoituksia ja haasteita. Vertailuun otetaan eri yksikköoperaatioiden ja -prosessien yhdistelmiä sekä valmiita kokonaisuuksia.

Työn tavoite on selvittää tarkasteluun valittujen kohteiden merkitys poikkeustilanteen sattuessa. Tekniikoiden soveltuvuuden arviointi kuuluu myös työn tavoitteisiin. Käytännössä työ pyrkii hahmottamaan vanhojen vedenottamoiden käyttöönoton realistisuutta.

Opinnäytetyö pyrkii vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

- Ovatko tarkasteluun valitut kohteet varautumisen kannalta merkityksellisiä?
- Mikä tai mitkä puhdistustekniikat soveltuvat kohteisiin?
- Mitkä ovat sellaisia ongelmakohtia, jotka aiheuttavat haasteita veden hyödyntämiselle eri kohteissa?
- Onko tarvetta suorittaa jatkotutkimuksia?
- Mikä on pienten pohjavesiesiintymien rooli varautumisen kannalta tulevaisuudessa verrattuna muihin raakavesilähteisiin?

2 VAASAN VESI

Vaasan Vesi -liikelaitos tuottaa vesihuoltopalveluita Vaasaan sekä lähialueille. Vesipalveluiden piiriin kuuluu yhteensä 70 000 asukasta. Palveluista keskeisimpinä ovat talousveden jakelu sekä jätevesiviemärointi ja sen puhdistus. Ympäristö, luonto ja laatu kuuluvat arvoihin, joita Vaasan Vesi pitää tärkeinä. /1/

Vaasan Vesi saa raakavetensä Kyrönjoesta. Raakaveden puhdistus on haasteellista, sillä Kyrönjoesta saatavan veden laatu on epätasaista. Veden puhdistusprosessi on kuitenkin vuosien saatossa saatu tehokkaaksi ja näin ollen juomaveden laatu on nykyisin hyvä. Vaasassa käytettävä talousvesi valmistetaan Pilvilammen vesilaitoksella, joka sijaitsee Vanhassa Vaasassa (Kuva 1). /2/



Kuva 1. Pilvilammen vesilaitos. /2/

Pilvilammen vesilaitos on toiminut nykyisellä paikallaan 103 vuotta /2/. Vesilaitoksella pumpataan myös pohjavettä, mutta kyseistä vettä ei käytetä talousvetenä vaan pumppauksella lasketaan pohjaveden pinnankorkeutta. Pumppauksella pyritään varmistamaan, ettei pohjavesi aiheuta vahinkoa laitoksen rakenteille. Toimenpide on automatisoitu.

Vaasan kaupungin kannalta Kyrönjoesta saatu vesi on erittäin tärkeää. Kaikki juomavesi, mitä Vaasassa käytetään on peräisin Kyrönjoesta. Vettä ei saada suoraan

Kyrönjoesta, vaan eri välivaiheiden kautta. Kyrönjoesta vesi pumpataan ensin Båskasin raakavedenpumppaamon kautta Kalliolammen esisaostuslaitokselle. Vesi päätyy Kalliolammen kautta lopulta Pilvilammelle ja sieltä vesilaitoksen prosesseihin (Kuva 2). /3/

Vettä ei ole aina saatu Kyrönjoesta. Vedenotto Kyrönjoesta alkoi v. 1952. Tätä ennen raakavetenä käytettiin pohjavettä. Tekopohjaveden valmistus alkoi ensimmäisenä Suomessa Vaasassa v. 1929. Syynä tekopohjaveden valmistukseen oli pohjaveden määrän toteaminen riittämättömäksi. Tekopohjavettä valmistettiin johtamalla pintavettä Pilvilammen alueelta pohjavesikaivojen läheisyyteen, jossa vesi imeytettiin maastoon. /4, 5/



Kuva 2. Raakaveden matka Kyrönjoesta vesilaitokselle. /3/

Pilvilammella voidaan myös varastoida vettä. Varastoidulla vedellä on mahdollista turvata yhteensä kahden kuukauden vedentarve. Vesivarastoa hyödynnetään aikoina, jolloin Kyrönjoesta saadun veden laatu on erityisen heikkoa. Alla olevassa taulukossa on valmistetun talousveden laatuun liittyviä perustietoja (Taulukko 1). Osa tiedoista on keskiarvoja ja niitä on mitattu eri vuosilta. /3, 6/

Taulukko 1. Perustietoja Vaasan talousveden laadusta. /6/

pH	~8
kovuus/mmol/l	1,02
sähkönjohtavuus +25 °C/μS/cm	280–300
fluoripitoisuus/mg/l	0,2

3 POHJAVESI

Pohjavesi on maa- ja kallioperään varastoitunutta vettä, joka on peräisin sade tai sulamisvedestä. Pohjavettä muodostuu tyypillisesti alueilla, joissa esiintyy karkearakeisia ja huokoisia maalajeja. Myös kallioalueille on mahdollista muodostua pohjavettä. Kallioalueilla pohjavettä syntyy kallioiden rakoihin suotautuneesta vedestä. Pohjavesi virtaa päävirtaussuuntaansa lähes vaakasuoraan. Pohjavettä pidetään uusiutuvana luonnonvarana. /7–10/

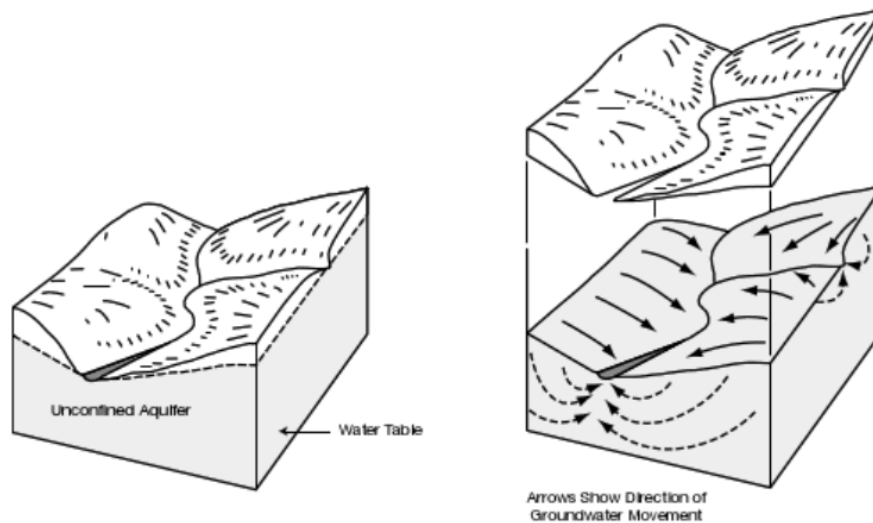
Maapallon kokonaisvesimäärästä vain 0,61 % on järvissä, joissa, puroissa ja pohjavesissä olevaa makeaa vettä. Suurin osa maapallon vedestä on valtamerissä olevaa suolaista vettä. Vaikka maapallon kokonaisvesimäärä on valtava, tästä huolimatta ongelmaksi voi koitua juuri makean veden riittävä saanti. /11/ Varsinkin pohjaveden käyttöönotto on usein hankalaa, eikä sitä välttämättä hyödynnetä edes alueilla, joilla sen saatavuus olisi hyvä /12/.

3.1 Pohjaveden muodostuminen

Pohjavesi muodostuu, kun maahan imeytyy sade- tai sulamisvettä. Imeytyvä vesi vajoaa maaperän läpi. Veden vajoaminen jatkuu siihen asti, kunnes pohjaveden pinta on saavutettu. Tätä painovoiman vaikutuksesta vajoavaa vettä kutsutaan vajovedeksi. /7, 12/

Pohjavesi liikkuu jatkuvasti kohti purkautumispaikkaansa. Eri geologisten kerrosten vedenläpäisevyys sekä kaltevuus määrittävät pohjaveden virtauksen suunnan ja nopeuden. Tyypillisesti pohjavesi purkautuu järveen tai jokeen. Tällöin purkautuminen tapahtuu veden pinnan alapuolella ja virtaaman arviointi on haasteellista. /7, 13/

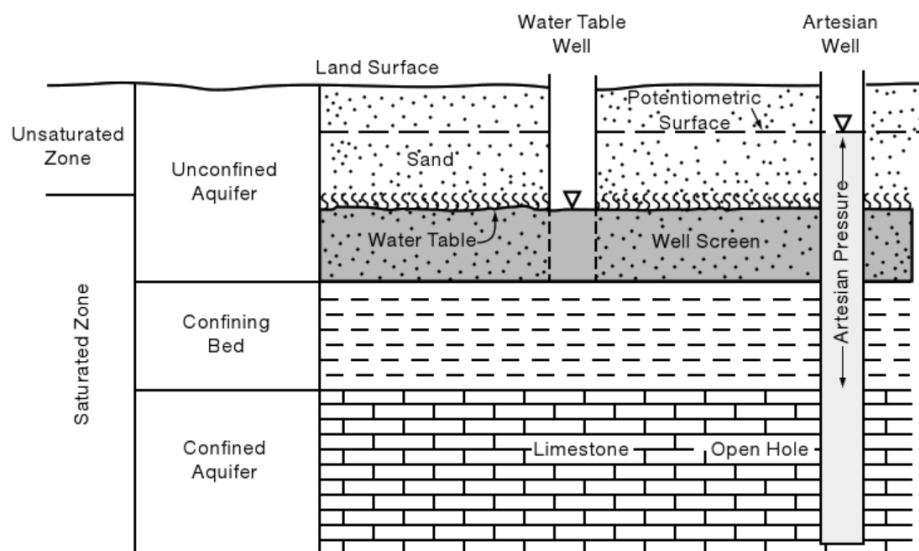
Pohjaveden liikkeen suuntaa voi arvioida ylläolevan maanpinnan muotojen avulla. Arviointi pätee silloin, kun maanpinta laskee vesimuodostumaa kohti. Vastaavissa tapauksissa pohjaveden pinta muistuttaa yllä olevaa maanpintaa (Kuva 3). /11/



Kuva 3. Pohjaveden liikkeen yhteys sen yläpuolella olevan maanpinnan muotoon. /11/

3.2 Akviferityypit

Akviferi eli pohjavesimuodostuma on pohjaveden kyllästämä vyöhyke, josta on mahdollista pumpata vettä käyttöönottoa varten /8/. Toisin sanoen akviferi on maankuoren kerrostuma, joka varastoi tai johtaa vettä /14/. Akviferit voidaan luokitella kahteen päätyyppiin: vapaa akviferi ja paineellinen akviferi (Kuva 4) /7/.



Kuva 4. Akviferien ja vettä läpäisemättömän kerroksen geologinen rakenne. /11/

Vapaassa akviferissa vedenpinnan paine on yhtä suuri kuin ilmanpaine. Pohjaveden pinnan yläpuolella ei myöskään ole vettä läpäisemätöntä kerrosta (Kuva 4). Vapaan pohjaveden yläpuolella voi myös olla tiivis maakerros, jonka yläpuolelle kertyy vapaata pohjavettä. Edellä mainittua pohjavettä kutsutaan orsivedeksi. /7/

Paineellinen akviferi sisältää pohjavettä, jonka paine on suurempi kuin ilmanpaine. Paineellisen akviferin pohjavettä kutsutaan myös salpavedeksi. Paineellista pohjavettä rajoittaa tiivis vettä läpäisemätön kerros (Kuva 4). /7, 15/

Paineellisessa akviferissa pohjaveden pinnan painetaso on maanpintaa korkeammalla. Tästä johtuen vesi nousee pumpatessa pietsometriselle tasolle (kuvassa potentiometric surface), joka sijaitsee akviferin vedenpinnan yläpuolella (Kuva 4). Paineellisen akviferin pietsometrinen taso voi olla myös maapinnan yläpuolella. Tällöin pohjavettä kutsutaan arteesiseksi pohjavedeksi. /7, 15/

3.3 Pohjaveden virtaus

Pohjaveden näennäistä nopeutta voidaan kuvata Henry Darcyn (1803–1858) mukaan nimetyllä yhtälöllä. Edellä mainitussa yhtälössä pohjaveden näennäinen nopeus on verrannollinen vedenläpäisevyyskertoimeen ja pohjaveden pinnan kaltevuuteen. Darcyn yhtälö voidaan esittää yksinkertaisimmillaan muodossa:

$$v = k \cdot i = k \cdot \frac{dh}{dl} \quad (1)$$

jossa v on veden näennäinen nopeus (m/s), k vedenjohtavuuskerroin (m/s), i hydraulinen gradientti (m/m), h korkeus (m) ja l pituus (m). /7, 16/

Todellisuudessa virtausnopeuteen vaikuttaa myös maaperän huokoisuus. Huokoisuus on huokosten yhteenlasketun tilavuuden ja kokonaisnäytteen tilavuuden suhde. Maaperän huokoisuus voidaan esittää:

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (2)$$

jossa n on maaperän huokoisuus, V_v huokosten yhteenlaskettu tilavuus (m³) ja V näytteen kokonaistilavuus (m³). /7/

Näennäisen nopeuden käyttö on yleistä pohjavesitekniikassa. Todellisen nopeuden merkitys on käytännön kannalta olematon. Näennäinen nopeus kuvaa paremmin pohjaveden liikettä kokonaisuutena ja tästä syystä sitä käytetään todellista nopeutta useammin. Todellinen nopeus voidaan kuitenkin ilmaista huokoisuuden avulla:

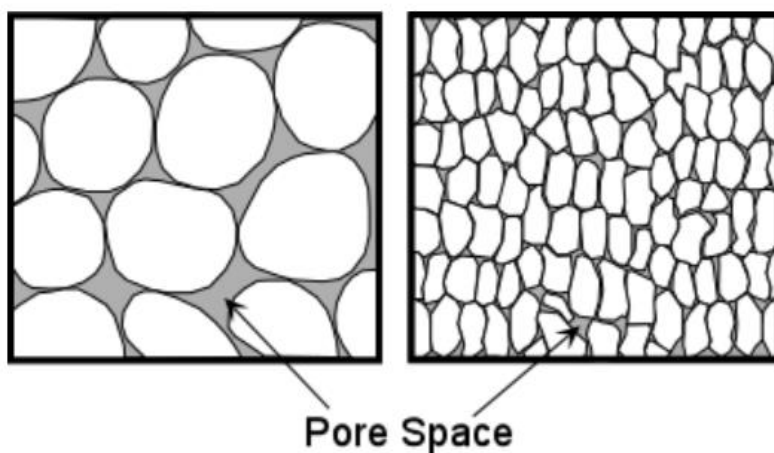
$$v_t = i \cdot \frac{k}{n} \quad (3)$$

jossa v_t on todellinen nopeus (m/s). /7/

3.4 Pohjaveteen liittyviä käsitteitä

3.4.1 Huokoisuus

Maan huokoisuudella tarkoitetaan maassa olevien ilma- ja vesirakkuloiden määrää (Kuva 5). Huokoisuuden avulla voidaan hahmottaa maaperän rakenne ja sen tiiviys. /17/ Maan huokostilan määrä sekä huokostilojen välinen yhteys vaikuttavat suoraan pohjavesivaraston kapasiteettiin /7/.



Kuva 5. Huokoisuus. /18/

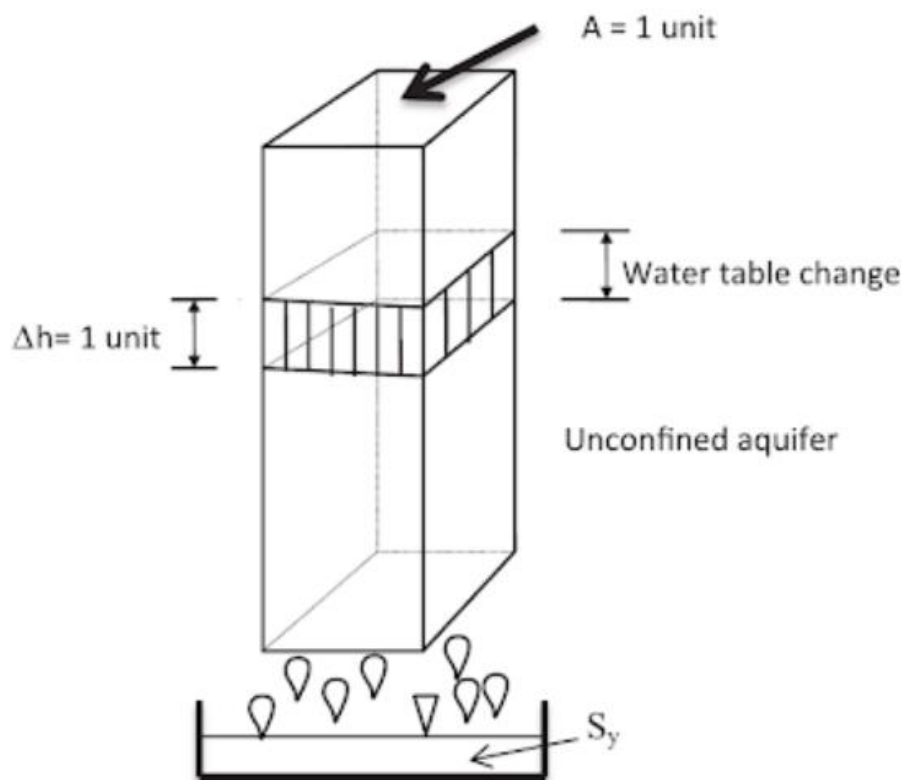
3.4.2 Ominaisantoisuus ja ominaispidättyvyys

Ominaisantoisuudella kuvataan akviferistä saatavan pohjaveden määrää prosentteina. Tarkemmin ilmaistuna ominaisantoisuus on akviferistä poistuneen veden

sekä akfiverin huokoisen aineen suhde (Kuva 6) /19/. Käytännössä ominaisantoi-
suus kuvaa maaperän huokoisista pois valuneen veden määrää /12/. Ominaisantoi-
suus voidaan esittää yhtälöllä:

$$S_y = \frac{V_w}{V_s} \cdot 100 \% \quad (4)$$

jossa S_y on ominaisantoisuus (%), V_w veden tilavuus (m^3) ja V_s maan tilavuus (m^3).
/7/



Kuva 6. Ominaisantoisuus. /20/

Pohjaveden antoisuus voidaan selvittää koepumppauksilla. Antoisuuden selvittäminen on yleensä vaikeaa. Sadeveden imeytymisedellytysten vaihtelevuus sekä pohjaveden liike maaperässä tekevät pohjaveden kerääntymisalueen selvittämisestä haasteellista. Jatkuva antoisuus ilmoitetaan ominaisantoisuudesta poiketen yksikössä m^3/d . /12, 13/

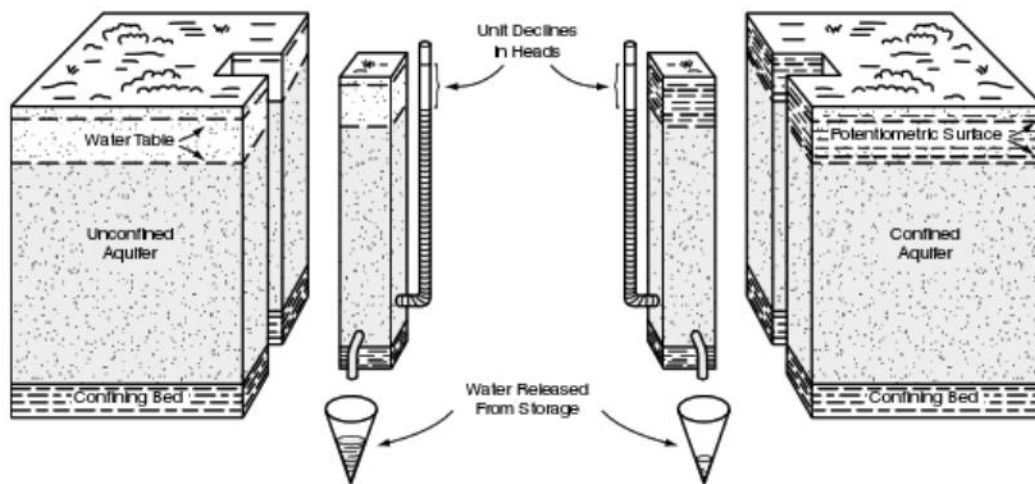
Ominaisantoisuudella kuvattiin huokosista pois valuvaa vettä. Maaperän huokosiin jäävän veden määrää kutsutaan puolestaan ominaispidättyvyydeksi. Ominaispidättyvyyden, ominaisantoisuuden ja kokonaishuokoisuuden välillä on suhde. Edellä mainittujen muuttujien välinen suhde voidaan esittää matemaattisesti:

$$S_y + S_r = n \quad (5)$$

jossa S_r on ominaispidättyvyys. /7, 12, 21/

3.4.3 Varastokerroin

Akviferin varastoima veden tilavuus on riippuvainen siihen tulevasta ja lähtevästä vedestä. Varastokerroin on akviferiin varastoituneen veden ja sitä koskevan vedenpinnan muutoksen riippuvuussuhde. Varastokerroin voidaan määrittää akviferiin lisätyn tai poistetun veden tilavuuden suhteena kokonaistilavuuteen (Kuva 7). Vapaassa akviferissa varastokerroin on sama kuin ominaisantoisuus. Paineellisessa akviferissa varastokerroin on huomattavasti pienempi kuin vapaassa akviferissa (Kuva 7). /7, 10, 15, 22/



Kuva 7. Varastointikertoimen määrittäminen. /11/

3.4.4 Transmissiviteetti

Transmissiviteetti eli vedenjohtokyky kuvaa akviferin vedenkuljetuskapasiteettia. Vedenjohtokykyyn vaikuttavat hydraulinen johtavuus sekä akviferin vesikerroksen korkeus. Transmissiviteetti voidaan esittää yksinkertaisella yhtälöllä:

$$T = k \cdot b \quad (6)$$

jossa T on transmissiviteetti (m^2/d) ja b vesikerroksen korkeus (m). /7, 10/

3.4.5 Hydraulinen gradientti

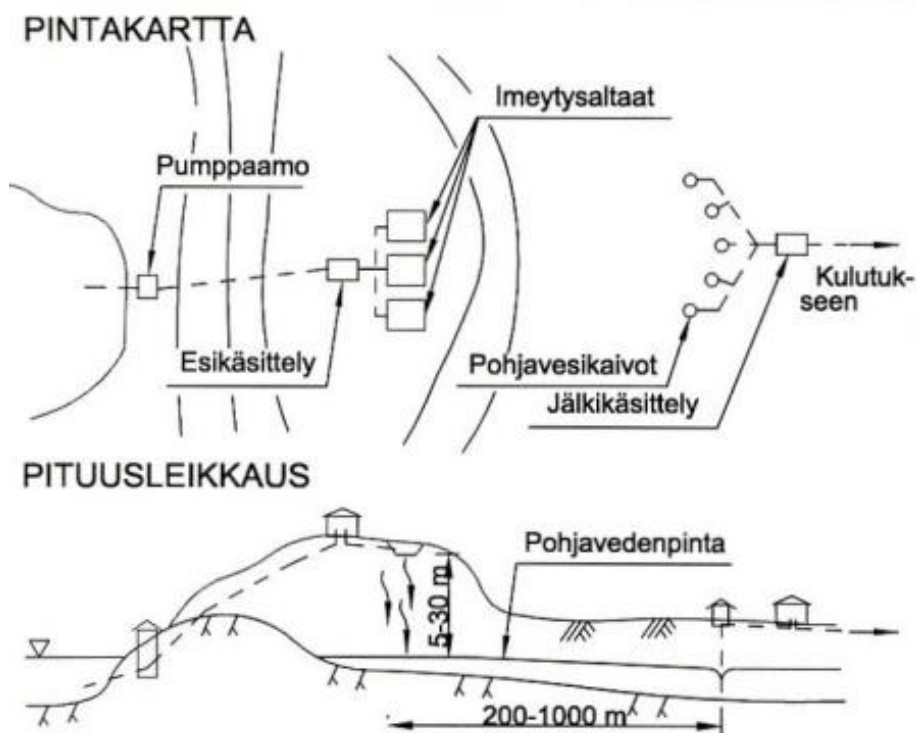
Hydraulinen gradientti antaa tietoa väliaineesta, jossa veden virtaus tapahtuu. Hydraulinen gradientti kuvaa pietsometrisen vedenpinnan kaltevuutta ja sen avulla on mahdollista päätellä hydraulinen johtavuus. Pohjaveden pilaantumista tutkiessa, hydraulisen gradientin tunteminen voi auttaa määrittämään aineiden kulkusuuntia sekä nopeuksia. /7, 12/

3.5 Tekopohjavesi

Pohjavesialueen antoisuutta voidaan lisätä muodostamalla tekopohjavettä. Antoisuus voidaan tekopohjaveden avulla kasvattaa parhaimmillaan yli kymmenkertaiseksi. Tekopohjavedellä tarkoitetaan maa-alueille keinotekoisesti johdettua vettä, joka on imeytetty maanpinnan läpi (Kuva 8). /12, 13/

Hyvin vettä johtavien maalajien läpi tekopohjavettä imeyttämällä voidaan saada huomattavasti enemmän pohjavettä, kuin mitä sade- ja sulamisvesistä muodostuisi. Keinotekoisesti lisätyn veden on täytettävä tietyt kohtuulliset laatuvaikutukset ennen, kun siitä voidaan tehdä pohjavettä. /12, 13/

Veden happipitoisuudella on oleellinen vaikutus tekopohjaveden laatuun. Hapen määrää laskee pienelijöiden ansiosta. Vedessä olevan hiilidioksidin määrä kasvaa hapen vähentyessä. Raakaveden laatua voidaan parantaa vähentämällä imeytettävän veden kiintoaineita sekä happea kuluttavien aineiden määrää. /21/



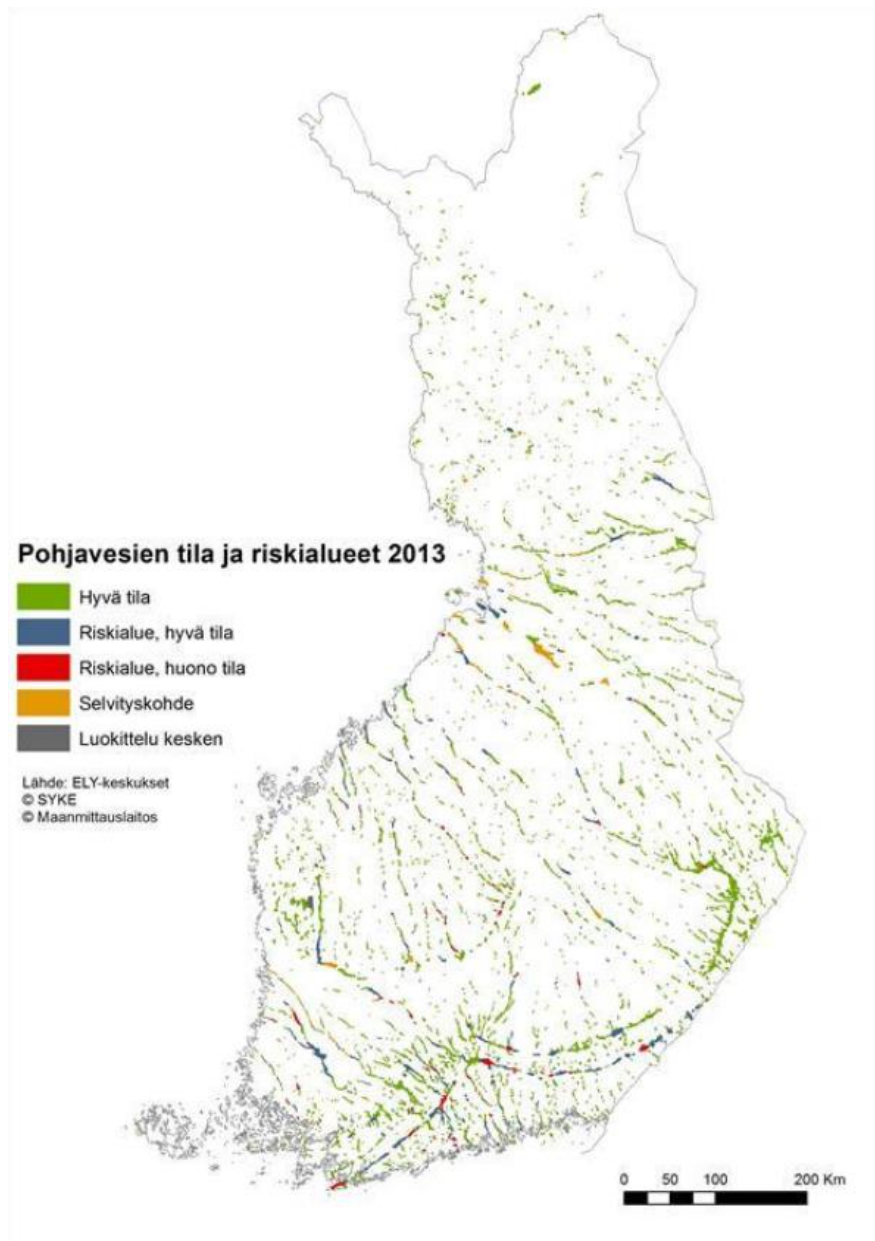
Kuva 8. Tekopohjaveden muodostuminen. /23/

Maanalaisten virtausten hallinta on edellytys tekopohjaveden muodostamiselle. Myös maakerroksen paksuudella on merkitystä. Pohjavedenpinnan yläpuolella tulisi olla noin kymmenen metriä korkea vettä läpäisevä maakerros. Veden olisi tarkoitus virrata maaperässä yhteensä 100...1000 m. Maakerroksen ja virtausten ominaisuuksien tulisi olla sellaiset, että haluttu viipymä voitaisiin saavuttaa. /12, 13, 24/

3.6 Pohjavesi Suomessa

Suomen pohjaveden laatua pidetään valtaosin hyvänä (Kuva 9). Pohjavesivarat ovat suuret ja Suomi on täysin omavarainen pohjaveden suhteen. Arvioiden mukaan pohjavettä muodostuu Suomessa n. $5,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$. /8, 25, 26/

Pohjaveden pinta on Suomessa keskimäärin seitsemän metrin syvyydessä. Pohjavesiä suojaava maakerros kuitenkin on yleensä ohut, jolloin pohjavedellä on myös suuri pilaantumisen riski. Suomen pohjavesiesiintymät eivät ole sijoittuneet tasaisesti. Esimerkiksi rannikkoseuduilla pohjavesiesiintymiä on niukasti. /9, 27/



Kuva 9. Pohjavesien tila Suomessa. /28/

3.7 Pohjavesikaivot

Pohjaveden hyödyntäminen vaatii yhden tai useampia kaivoja (Kuva 10). Kaivon tyyppi määräytyy rakennuspaikan maaperän, pohjaveden pinnankorkeuden ja vedenottamon pumppaustehon mukaan. Pohjavesikaivotyyppejä ovat kuilukaivo, putkikaivo ja kallioporakaivo sekä edellä mainittujen kaivojen yhdistelmät. /13/

Kaivotyyppi valitaan pohjavesiolosuhteiden ja maaperän perusteella. Joissain tapauksissa vertailu eri kaivotyyppien välillä voi olla tarpeellista. Yleensä valinta tehdään putkikaivon ja kuilukaivon välillä. Kallioporakaivo valitaan, jos edellä mainituista kaivotyypeistä kumpikaan ei ole käyttökelpoinen ja kallioperä sijaitsee maanpinnan lähetyvillä. /13/

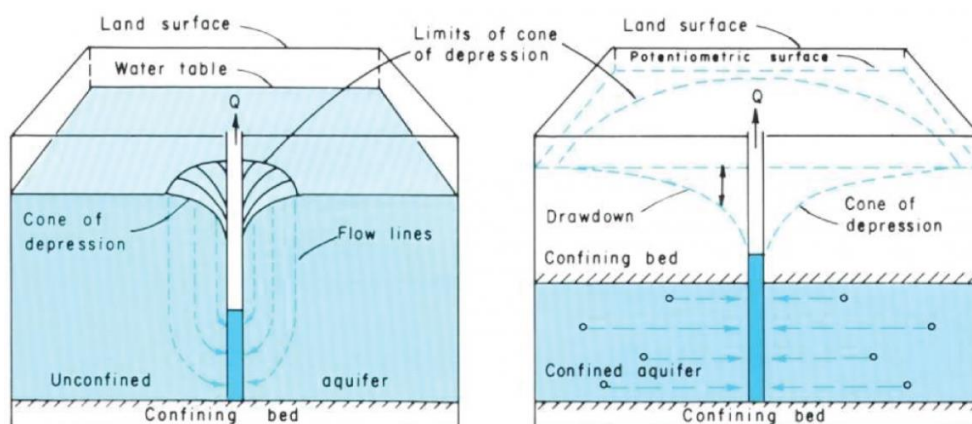


Kuva 10. Pohjavesikaivo.

3.7.1 Kaivohydrauliikka

Pohjaveden virtausta kuvaavia yhtälöitä voidaan soveltaa säteisessä virtauksessa pohjavesikaivoon. Edellä mainittuja yhtälöitä käyttäessä on kuitenkin huomioitava, että ne eivät välttämättä kuvaa täysin eksaktisti todellisuutta. Yhtälöiden avulla voidaan kuitenkin vertailla kaivovirtaukseen vaikuttavia muuttujia ja ne antavat lähtökohdan käytännön ongelmien tarkasteluun ja ratkaisemiseen. /7, 29/

Pohjaveden pumppaaminen luo pumppauskohteen ympärille suppilomaisen pohjavedenpinnan aleneman (Kuva 11). Kun pumppaus jatkuu, on veden virrattava pidempien matkojen päästä kohti pumppauspaikkaa. Tämä luo suppilomaisen pinnan aleneman kaivon tai pumppauskohteen ympärille. Alenemasuppilo käyttäytyy eri tavoilla vapaassa ja paineellisessa akviferissa (Kuva 11). /7, 22, 29/



Kuva 11. Pumppauksen aiheuttama alenemasuppilo. /30/

Useita oletuksia on käytettävä ennen kuin kaivohydrauliikan peruskaavoja käytetään. Näitä oletuksia ovat: vettä johtava kerros homogeeninen, vettä johtava kerros on isotrooppinen (vedenjohteen ominaisuudet ovat samanlaiset eri päävirtaussuunnissa), vettä johtava kerros on rajaton, kaivon suodatin- ja siiviläosien putoushäviöt oletetaan olemattomiksi ja kaivo ulottuu vettä johtavan kerroksen pohjalle asti. Oletuksista johtuen seuraavien yhtälöiden soveltaminen kenttätöissä ei aina onnistu. /7, 31, 63/

3.7.2 Pysyvä virtaus kaivossa

Pysyvän virtauksen yhtälöt vapaassa- ja paineellisessa akviferissa muistuttavat paljolti toisiaan, sillä ne ovat johdettu yhteisestä peruskaavasta. Kaivon tuleva pysyvä virtaus on vapaassa akviferissa:

$$Q = \pi k \frac{(h_2^2 - h_1^2)}{\ln(r_2/r_1)} \quad (7)$$

jossa Q on kaivoon tuleva virtaama (m^3/s), h_1 korkeus etäisyydellä r_1 (m), h_2 korkeus etäisyydellä r_2 (m), r_1 säde etäisyydellä h_1 (m), r_2 säde etäisyydellä h_2 (m) ja k vedenjohtavuus (m/s). /7, 29/ Kaivoon tuleva virtaama paineellisessa akviferissa puolestaan on:

$$Q = 2\pi kb \frac{(h_2 - h_1)}{\ln(r_2/r_1)} \quad (8)$$

jossa b on salpavesikerroksen paksuus (m). /21, 29, 31/

3.7.3 Muuttuva virtaus kaivossa

Muuttuvaa virtausta kuvataan Charles Vernon Theisin (1900–1987) kehittämällä yhtälöllä /32/. Theisin yhtälössä on muuttumattoman virtauksen perusyhtälön oletamuksien mukaan seuraavat lisäolettamukset: kaivon halkaisija on äärettömän pieni ja veden korkeus alenee välittömästi, kun vettä pumpataan /7/. Yhtälö voidaan esittää:

$$s(r, t) = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (11)$$

jossa $s(r, t)$ on pohjaveden pinnan lasku (m) ja $W(u)$ Theisin kaivofunktio /7, 31/.

Edellisessä yhtälössä esiintyvä integraali tunnetaan matematiikassa eksponentiaalisena integraalina. Kyseinen integraali voidaan esittää äärettömän sarjan muodossa /29/. Täten Theisin kaivofunktio voidaan esittää:

$$W(u) = -0,5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - \frac{u^4}{4 \cdot 4!} + \dots \quad (10)$$

Kaivofunktiossa $W(u)$ sekä u ovat dimensiottomia. Muuttuja u on:

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (11)$$

jossa r on pumppaamon ja seurantapisteen välinen etäisyys (m), S varastokerroin ja t pumppausaika (d) /29/.

4 POHJAVEDEN LAATU

Pohjaveteen ja sen ominaisuuksiin vaikuttavat ihmisen toiminnan lisäksi myös sääolosuhteet, sadeveden laatu ja maaperän ominaisuudet. Pinta- ja pohjavesien laadussa voidaan havaita samoja piirteitä. Liuenneita aineita esiintyy pohjavesissä kuitenkin huomattavasti enemmän kuin vastaavissa pintavesissä. /7/

Luonnontilainen pohjavesi sopii Suomessa yleensä hyvin vesilaitoksen raakavedeksi. Pohjavesi vaatii yleensä suhteellisen vähän käsittelytoimenpiteitä. Poikkeuksena pidetään hyvin korkean rautapitoisuuden omaavaa pohjavettä, jota ei välttämättä voida pitää vesilaitoskäyttöön sopivana. Pohjavesien laatu vaihtelee paikallisesti sekä alueellisesti. /7, 12/

Pohjaveden laatu muuttuu jatkuvasti ja sen ennustaminen on hankalaa. Viimeisimmän vesinäytteen perusteella ei voi arvioida veden nykyistä laatua. Myös laadun kehityksen ennustaminen on haasteellista ja vasta koepumppauksilla ja tarkoilla tutkimuksilla voidaan saada realistinen kuva veden laadusta. /12/

Pohjaveden laatua käsiteltäessä on huomioitava myös veden vaikutukset rakenteisiin. Pohjavesi voi sisältää aineita, joilla on korroosiota edistäviä vaikutuksia. Varsinkin Suomalaiset pohjavedet ovat yleensä lievästi syövyttäviä ja veden käsittelytystä syystä on usein tarpeen, vaikka muut laadulliset seikat olisivat kunnossa /7/.

4.1 Epäorgaaniset yhdisteet

Pohjavedessä olevat typpeä sisältävät yhdisteet ovat useimmiten peräisin maataloudesta. Yleisimmin typpi esiintyy pohjavedessä nitraatin (NO_3^-) muodossa. Typen yhdisteet voivat olla peräisin esimerkiksi viljelyalueilla käytävistä lannoitteista tai turkistarhaeläinten ulosteista. /7, 33/

Yleisiä pohjavesissä esiintyviä metalleja ovat rauta (Fe) ja mangaani (Mn). Raudan ja mangaanin aiheuttamat haitat ovat usein vain esteettisiä, mutta suurissa pitoisuuksissa mangaani voi aiheuttaa terveydellisiä haittoja. Mangaani voi aiheuttaa esteettisten haittojen lisäksi saostumisia. Liian korkeat rautapitoisuudet ovat puolestaan Suomessa yleisimpiä pohjavesiongelmia. /7, 34, 35/

4.2 Orgaaniset yhdisteet

Hiili on orgaanisten yhdisteiden tärkein alkuaine. Orgaaniset yhdisteet koostuvat useimmiten hiilestä, vedystä ja hapesta. Useat orgaaniset yhdisteet liukenevat heikosti veteen. /29/

Saastumattomissa pohjavesissä esiintyvät orgaaniset aineet ovat yleensä humusaineita. Kyseiset aineet ovat peräisin eläinten jätösten sekä kasvien luonnollisesta hajoamisesta. Humusaineet jaetaan kolmeen luokkaan:

1. fulvohappo – aine, joka liukenee pH:sta riippumatta
2. humushappo – aine, joka ei liukene, mikäli pH on matala
3. humiini – aine, joka ei liukene veteen lainkaan, oli pH mikä tahansa

Kolmesta edellä mainitusta humusaineesta vain fulvohappo liukenee pohjaveteen. /29, 31/

Synteettisesti valmistettuja orgaanisia aineita voi myös esiintyä pohjavesissä. Näihin aineisiin kuuluvat mm. petrokemikaaliset tuotteet, tuholaismyrkyt ja liuottimet. Synteettisiä orgaanisia yhdisteitä voi päätyä pohjaveteen mm. öljyn imeytyessä maaperän läpi. /31, 36/

4.3 Mikrobit

Luonnontilaisissa pohjavesissä esiintyy lukuisia eri mikro-organismeja. Mikrobit ovat yleensä peräisin ylemmistä kerroksista, joiden läpi vesi on valunut. Pohjaveden mikrobimäärään vaikuttaa ravinteet, happamuus, lämpötila ja mineraalikoostumus. Parhaiten pohjaveden mikrobeista tunnetaan bakteerit. Niitä on erilaisia, eikä niistä normaalisti aiheudu haittoja veden laadulle. Osa bakteereista kuitenkin viittaa pohjaveden likaantumiseen. /12/

Mikrobiologialla on tärkeä rooli talousveden laatua määriteltäessä. Tietyt organismit toimivat indikaattoreina, joiden avulla voidaan arvioida laatua. Arviointi suoritetaan lämpökestoisten koliformisten bakteerien määrän avulla. /12/

4.4 Radioaktiivisuus

Pohjavesien radioaktiivisuus on yleensä peräisin luonnon radioaktiivisista aineista. Kyseiset aineet ovat liuenneet pohjaveteen yleensä maa- tai kallioperän mineraaleista. Hajoamisprosessin yhteydessä radioaktiivisista aineista lähtee alfa-, beta- tai gammasäteilyä. /12/ Aineen hajoamista tietyllä hetkellä voidaan kuvata differentiaaliyhtälöllä, jonka voi ratkaista erottamalla muuttujat. Yhtälö kirjoitetaan:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (12)$$

jossa N on ydinten määrä ja λ hajoamisvakio. /31/

Pohjaveden laatua heikentävät radioaktiiviset aineet ovat yleisimmin radon ja uraani. Suomessa näitä aineita on runsain määrin kuitenkin vain pienessä osassa porakaivojen vesistä. Maaperän pohjavettä hyödyntävissä kaivoissa radioaktiivisuus on huomattavasti pienempi. Radioaktiivisten aineiden aiheuttama ionisoiva säteily voi olla haitallista terveydelle. /12/

4.5 Sadeveden vaikutukset

Sade on tärkein meteorologinen tekijä, joka vaikuttaa pohjaveden laatuun. Sadevesi sisältää monia aineita, joilla on vaikutuksia pohjaveden eri ominaisuuksiin. Vaikutukset ovat voimakkaimmat maanpintaa lähellä olevissa kerroksissa. Itse sadeveden laatuun vaikuttavat ihmisen toiminta sekä maantieteellinen sijainti. /7, 21/

Sadevesi sisältää kiintoainesta. Ilmasta sadeveteen tarttuu suurimmaksi osaksi epä-organisisista ja orgaanisista aineista koostuvaa pölyä. Myös mikrobeja ja itiötä voi esiintyä pölyn joukossa. Sadevesi on hapanta, jolloin pH on yleensä 4–5. /7, 12/

4.6 Geologisen rakenteen vaikutukset

Pohjavesiesiintymän geologiset tekijät vaikuttavat veden laatuun. Savikerrosten välissä kauan virrannut vesi sisältää paljon liuenneita aineita. Saven yläpuolella muodostunut pohjavesi on puolestaan vähäsuolaista. Kallioperässä virtaavassa vedessä on liuenneita aineita enemmän kuin maaperässä virtaavassa pohjavedessä. /21/

Maaperän ominaisuudet vaikuttavat kuinka paljon pohjavettä muodostuu. Sadevedestä syntyy soramaassa ja hiekkapitoisessa soramaassa enemmän pohjavettä kuin moreenimaassa. Moreenimaiden pohjavesi on kuitenkin yleensä laadultaan parempaa. Savikoilla pohjavettä ei juuri muodostu, sillä vesi ei pysty imeytymään niin tiiviiseen maalajiin. Pohjavesialueen kapasiteetti riippuu maaperän huokoisuudesta. /7, 8/

4.7 Vesijohtomateriaalien korroosiota aiheuttavat tekijät pohjavedessä

Korroosio on ympäristöolosuhteista aiheutuvaa materiaalien vahingoittumista. Metallien syöpyemisellä on merkittävä vaikutus rakenteiden sekä laitteiden käyttöikään. Pohjaveden korroosiota aiheuttavia tekijöitä ovat matala pH-arvo sekä runsaat kloridi- tai sulfaattipitoisuudet. /7/

Pohjavedessä kloridi lisää korroosiota sekä aiheuttaa makuhaittoja. Kloridista ei kuitenkaan ole terveydellisiä haittoja. Suuria kloridipitoisuuksia on havaittavissa vanhoilla merenpohja-alueilla. Jätevedestä johtuva likaantuminen ja teiden suolaus voivat olla myös syy normaalia korkeammalle kloridipitoisuudelle. /7/ Kloridipitoisuuden tulisi olla alle 25 mg/l, mikäli vesijohtomateriaalien syöpyminen halutaan estää /37/.

Sulfaattipitoisuuden ollessa alle 250 mg/l siitä ei aiheudu terveydellisiä haittoja. Tästä huolimatta sulfaattipitoisuuden tulisi olla alle 150 mg/l, jotta vesijohtomateriaalit eivät syöpyisi. /37/ Korroosio näyttää kuitenkin lisääntyvän, kun sulfaattia on alle 100 mg/l /7/.

Luonnonvesien pH-arvo vaihtelee. Pohjavesien pH-arvo Suomessa on yleensä 6–7. Poikkeuksellisen alhainen pH-arvo voi johtua rannikkoalueilla maaperän sulfaattipitoisuudesta. Normaalialhaisempi pH-arvon syy tulisi aina tutkia, koska sillä on vaikutus korroosio-olosuhteisiin. Materiaalien valinnan kannalta on tärkeä tietää, miten ne käyttäytyvät eri pH-alueilla. /7/ Liuoksen pH-arvo on:

$$pH = -\log_{10}(H^+) \quad (13)$$

jossa (H^+) on vetyionien aktiivisuus /31, 38/.

5 POHJAVETTÄ KOSKEVA LAINSÄÄDÄNTÖ

Tässä osiossa luodaan katsaus eri lakeihin, joilla on vaikutuksia pohjaveden käyttöön, suojeluun ja laadun määrittämiseen. Lakien tarkoitus on ehkäistä eri haittoja, joita pohjavesialueisiin voisi kohdistua. Tässä luvussa käsiteltävät lait selventävät pohjaveden käyttöä koskevia lupia sekä pohjavesialueita koskevaa luokittelua.

5.1 Vesilaki

Vesilain tavoitteena on edistää vesivarojen ja vesiympäristön kestäväää käyttöä. Lain on tarkoitus estää veden vesiympäristön käytöstä johtuvia haittoja. Tavoitteena on myös parantaa vesiympäristön ja vesivarojen tilaa. /39/

Vesilain 3. luvun 2. §:n mukaan vesitaloushanke vaati lupaviranomaisen luvan, mikäli se aiheuttaa muutoksia mm. veden korkeudessa, virtauksessa, syvyydessä, laadussa ja määrässä. Pohjavesiesiintymän kohdalla viranomaisen lupa vaaditaan, jos edellä mainitut muutokset aiheuttavat pohjavesiesiintymän laadun heikkenemisen. Lupa vaaditaan myös, mikäli muutokset vähentävät pohjavesiesiintymän antoisuutta. Lupaviranomaisen lupa on oltava aina 3. luvun 3. §:n mukaan, kun vedenottomäärä on yli 250 m³/d ja myös silloin, jos vettä imeytetään maahan tekopohjaveden valmistamiseksi tai laadun parantamiseksi. Vaikka lupaa ei tarvitsisikaan, pohjaveden ottamisesta täytyy aina ilmoittaa 2. luvun 15. §:n mukaan, mikäli otettava vesimäärä on yli 100 m³/d. /39/

5.2 Ympäristönsuojelulaki

Ympäristönsuojelulain tarkoitus on ehkäistä ympäristölle aiheutuvia vahinkoja. Lain on tarkoitus turvata monimuotoisen ympäristön säilyminen ja ylläpitää kestäväää kehitystä. Laki pyrkii myös parantamaan pilaantumista aiheuttavien vaikutusten arviointia. Pohjavesi kuuluu ympäristönsuojelulaissa käsiteltäviin aiheisiin. /40/

Pohjaveden pilaamiskieltoa käsitellään ympäristönsuojelulain 17. §:ssä. Pilaamiskielto tarkoittaa, että aineiden, pieneliöiden ja energian aiheuttamat laatuun kohdistuvat haitat pohjavesille estetään. Ympäristönsuojelulain 17. §:n mukaan pohjaveden laadun muutos ei saisi myöskään aiheuttaa haittoja terveydelle tai ympäristölle. /40/

5.3 Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä

Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä pyrkii suojelemaan, parantamaan ja ennallistamaan Itämeren sekä vesiä, jotta Itämeren, pohjavesien ja pintavesien tila ei heikkenisi. Lain mukaan vesienhoidon järjestämisessä tulisi ottaa huomioon vesien laatu, vesien riittävyys, vesien kestävä käyttö, vesipalvelut, tulvarisikit, vesien virkistyskäyttö, veden välityksellä leviävät taudit ja vesiekosysteemit. Myös maaekosysteemit ja kosteikot, jotka ovat vesiekosysteemeihin yhteydessä otetaan kyseisessä laissa huomioon. /41/

Lain luku 2 a käsittelee pohjavettä. Edellä mainitussa luvussa käsitellään lähinnä pohjavesien luokittelua ja määrittelyä. Laki käsittelee myös pohjavesien suojelemissuunnitelmia ja niiden valmistelua. /41/ Opinnäytetyön luku 6 keskittyy tarkemmin pohjavesien luokitteluun.

5.4 Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista annetun sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen muuttamisesta

Talousveden laatuvaatimukset antavat tietoa veden laatutavoitteista. Vaikka tässä laissa ei käsitellä juurikaan pohjavesiä, on sen asettamat raja-arvot silti hyvä huomioida. Kun eri muuttujia koskevat laatuvaatimukset ja suositukset tunnetaan, voidaan hahmottaa eri puhdistusprosessit, joita pohjaveden täytyy käydä läpi ennen kuin se kelpaa talousvedeksi.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista annetun sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen muuttamisesta 22. §:ssä esitetään talousvedelle eri laatuvaatimuksia. Laissa määritellään tietyt laatuvaatimuksia ja -tavoitteita myös raakavedestä peräisin oleville muuttujille. Kemiallisia laatuvaatimuksia raakavedestä peräisin oleville muuttujille on esitetty lain 22. §:ssä taulukon muodossa (Taulukko 2). /37/

Taulukko 2. Kemialliset laatuvaatimukset pääosin raakavedestä peräisin oleville muuttujille. /37/

Muuttuja	Enimmäisarvo ja yksikkö
Pääosin raakavedestä peräisin olevat muuttujat	(A)
Arseeni	10 µg/l
Bentseeni	1,0 µg/l
Boori	1,0 mg/l
1,2-dikloorietaani	3,0 µg/l
Elohopea	1,0 µg/l
Fluoridi	1,5 mg/l
Nitraatti (NO ₃ ⁻)	50 mg/l
Seleeni	10 µg/l
Syanidit	50 µg/l
Tetrakloorieteeni ja trikloorieteeni yhteensä	10 µg/l
Torjunta-aineet	0,10 µg/l
Torjunta-aineet yhteensä	0,50 µg/l
Uraani	30 µg/l
<i>Desinfioinnin sivutuotteet</i>	(B)
Bromaatti	10 µg/l
Trihalometaanit yhteensä	100 µg/l

Pohjaveden kohdalla raakavedestä peräisin olevien muuttujien (Taulukko 2) joukossa voi olla myös muita aineita, kuten rauta ja mangaani. Laatusuositus on talousvedessä raudalle alle 200 µg/l ja mangaanille alle 50 µg/l. Jatkuvan valvonnan alla olevat talousvedestä vähintään tutkittavat muuttujat ovat: *Escherichia coli*, koliformiset bakteerit, pesäkkeiden lukumäärä (22 °C), haju, maku, sameus, väri, pH, sähkönjohtavuus, rauta, mangaani, nitriitti, ammonium ja alumiini. /37/

6 POHJAVESIEN LUOKITTELU

6.1 Uusi luokitus

Pohjavesialueet luokitellaan kolmeen eri luokkaan. 1-luokkaan kuuluvat vedenhankinnan kannalta tärkeät pohjavesialueet, joita käytetään tai on tarkoitus käyttää talousvetenä tai yhdyskunnan vedenhankintaan keskimäärin yli 10 m³/d tai yli 50 henkilön tarpeisiin. 2-luokkaan kuuluvat vedenhankintakäyttöön soveltuvat pohjavesialueet, jotka soveltuvat antoisuudeltaan ja muiden ominaisuuksiensa perusteella 1-luokan käyttötarkoituksiin. E-luokan pohjavesialueisiin kuuluvat alueet, joiden pohjavedestä pintavesi ja maaekosysteemi ovat suoraan riippuvaisia. /15, 27/

Uusi luokitus perustuu pohjavesialueiden määrittämistä koskevaan lakiin. Laki vesienhoidon ja merienhoidon järjestämisestä vaatii, että pohjavesialueet luokitellaan uudelleen. Luokitusta koskeva lainmuutos astui voimaan 1.2.2015. Luokitukseen vaikuttaa vedenhankintakäyttö ja vesistön suojelutarve. /27, 41/

Uuteen E-luokkaan kuuluvia ekosysteemejä ovat mm. lähteet, lähdepurot ja lähdelammet. Pienvesien muodostamat ekosysteemit ovat tärkeitä useille hyönteisille, kaloille, linnuille ja kasvilajeille. Vaikka pienvesien määrä on Suomessa suuri, on luonnontilaisten pienvesien määrä kuitenkin vähäinen. E-luokan alueet voidaan liittää myös 1- ja 2-luokan pohjavesialueisiin. Tällöin pohjavesialue voi olla luokaltaan esimerkiksi 1E tai 2E. Uusi E-luokka voi toimia jatkossa lisämääränä, joka välittää tarkempaa informaatiota luokkaan 1 ja 2 kuuluvista alueista. /15, 42/

6.2 Vanha luokitus

Pohjavedet luokiteltiin aikaisemmin roomalaisin numeroin kolmeen eri luokkaan. Vanhaa luokitusta koskevat ohjeet valmistuivat vuonna 1991 /61/. Vanhaan luokitukseen kuuluvat kolme eri luokkaa ovat:

- I Pohjavesialue, joka on vedenhankinnan kannalta tärkeä
- II Pohjavesialue, joka soveltuu vedenhankintaan
- III Muu pohjavesialue

Vanha luokitus poikkeaa jokseenkin uudesta luokittelusta. Luokkaan I sisältyy alueet, joiden pohjavettä tullaan käyttämään 20–30 vuoden sisällä tai kriisiajan vedenhankintaa varten vähintään kymmenelle asuinhuoneistolle vettä tuottavissa vesilaitoksissa. Luokkaan II kuuluvat alueet, jotka soveltuvat yhteisvedenhankintaan, mutta joilla ei ole toistaiseksi vielä käyttötarvetta yhdyskuntien vedenhankinnassa. Luokka III koskee alueita, joiden hyödyntämiskelpoisuudesta ei ole toistaiseksi tietoa. /13/

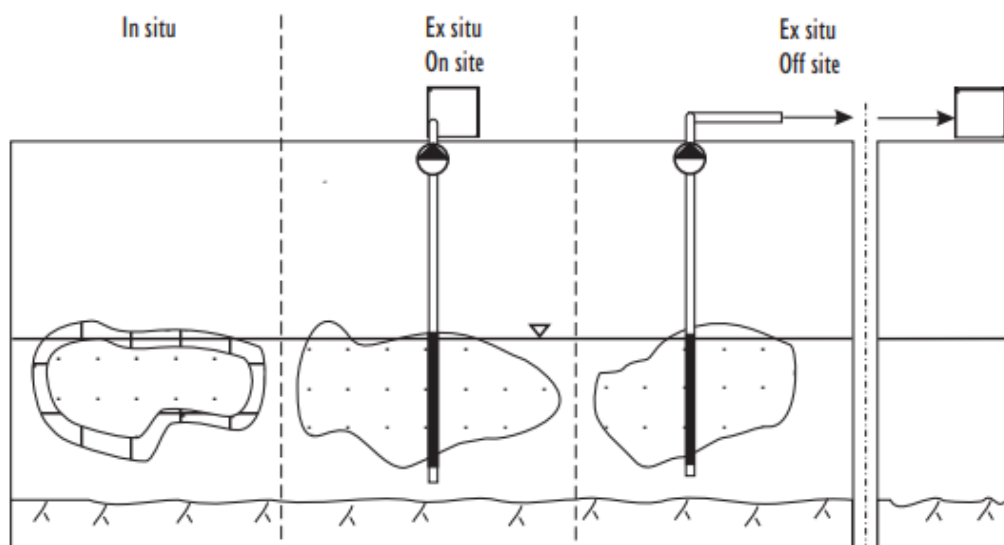
Vanha roomalaisiin numeroihin perustuva luokittelu on edelleen käytössä uuden arabialaisiin numeroihin perustuvan luokittelun rinnalla. Uusi luokitus on tarkoitus saada tehtyä vuoden 2019 loppuun mennessä. /13, 27, 43/ Uuden ja vanhan luokituksen eroja voi tarkastella alla olevasta taulukosta (Taulukko 3).

Taulukko 3. Uusi ja vanha pohjavesiluokitus. /15/

Vesienhoitolainsäädännön mukainen luokitus	Vanha ohjeistus
1-luokka	I luokka
Vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue Alue, jonka vettä käytetään tai tullaan käyttämään yhdyskunnan vedenhankintaan taikka talousvetenä enemmän kuin keskimäärin 10 m ³ /d tai yli viidenkymmenen ihmisen tarpeisiin	Vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue Alue, jonka pohjavettä käytetään tai tullaan käyttämään 20–30 vuoden kuluessa tai tarvitaan vesihuollon erityistilanteissa liittymäärältään vähintään 50 ihmisen tarpeisiin tai enemmän kuin keskimäärin 10 m ³ /d. Erityisperustein pienempiäkin vedenottamoita palvelevia alueita voidaan merkitä tähän luokkaan kuuluviksi.
2-luokka	II luokka
Muu vedenhankintakäyttöön soveltuva pohjavesialue Alue, joka pohjaveden antoisuuden ja muiden ominaisuuksien perusteella soveltuu 1 kohdassa tarkoitettuun vedenhankintaan. Alue kuuluu pääsääntöisesti luokkaan 2, kun siellä muodostuu pohjavettä yli 100 m ³ /vrk, jos se myös muutoin ominaisuuksiltaan soveltuu vedenhankintaan.	Vedenhankintaan soveltuva pohjavesialue Alue, joka soveltuu yhteisvedenhankintaan, mutta jolle ei toistaiseksi ole osoitettavissa käyttöä yhdyskuntien, haja-asutuksen tai muussa vedenhankinnassa. Arvio muodostuvan pohjaveden määrästä koko pohjavesialueella on yli 250 m ³ /d tai jolta on yhdeltä alustavasti tutkitulta vedenottamoalueelta saatavissa vettä yli 100 m ³ /d tai jolla muutoin voi olla vedenhankinnan kannalta alueellista merkitystä.
Tämänhetkiset III-luokan alueet poistuvat kokonaan eli siirtyvät tarkemman arvioinnin perusteella joko uuteen 1-, 2- tai E- luokkaan tai kokonaan pois luokituksesta. ELY-keskukset käyvät lävitse nykyiset I, II ja III pohjavesialueet ja tekevät luokittelut ennen 3. vesienhoidon suunnittelukautta.	III luokka
E-luokka	Muu pohjavesialue Alue, jonka hyödyntämiskelpoisuuden arviointi vaatii lisätutkimuksia vedensaantiedellytysten, veden laadun tai likaantumisen tai muuttumisuhan selvittämiseksi.
Pohjavesialue, jonka pohjavedestä pintavesi- tai maaekosysteemi on suoraan riippuvainen Jos nämä pohjavesialueet kuuluvat luokkaan 1 tai 2, ne luokitellaan kuitenkin kyseiseen luokkaan (1E ja 2E), jossa E toimii informatiivisena lisämääränä.	

7 PUHDISTUSTEKNIIKAT

Ennen pohjaveden käyttöönottoa on varmistuttava siitä, että vesi on riittävän puhdasta. Pohjaveden puhdistamiseen on olemassa useita eri menetelmiä, joiden soveltuvuus vaihtelee kohteen mukaan. Kunnostusmenetelmät on mahdollista jakaa käsittelypaikan mukaan kolmeen eri luokkaan. Näitä luokkia ovat: in situ, on site/ex situ ja off site/ex situ (Kuva 12). /10/



Kuva 12. Pohjaveden kunnostusmenetelmien luokitus käsittelypaikan mukaan. /10/

In situ-menetelmissä pohjaveden kunnostus tapahtuu paikan päällä pohjavesiympäristössä ja menetelmät perustuvat biologisiin hajoamisprosesseihin tai haitta-ainesten poistoon fysikaalisin keinoin. On site/ex situ-menetelmissä pohjavesi pumpataan maan päälle käsittelyä varten. Jos pumpattava pohjavesi käsitellään alueen ulkopuolella, on kyseessä off site/ex situ-menetelmä. /10/

Valittu puhdistusmenetelmä riippuu pohjavesiesiintymän laadusta (Taulukko 4). Osa käsittelymenetelmistä soveltuu yksittäisen aineen tai eliön poistoon. Eräiden menetelmien avulla on kuitenkin mahdollista poistaa myös useita laatua heikentäviä aineita tai eliöitä vedestä. Monimutkaisemmat puhdistusmenetelmät vaativat yleensä asiantuntijoiden hyödyntämistä. /44/

Taulukko 4. Pienille pohjavesilaitoksille sopivia puhdistustekniikoita. /44/

Poistettava aine tai eliö	Käsittelymenetelmä																		
	hiekkasuodatus	hidassuodatus	biosuodatus (kuiva-suodatus)	VYR	katalyyttiset massat	rakeistettu rautahydroksidi	aktiivihiili	nanosuodatus	käanteisosmoosi	anionimassa	kationimassa	sekamassa	ilmastus ¹	happi (ilma)	kalium-permanganaatti	klooraus	UV-säteily	alkaloivat massat	lipeä, sooda, kalkki
Mikrobit																**	**		
Arseeni					**														
Ammonium	**							**	**				**						
Fluoridi								**	**										
Haju ja maku	*			*		**							*	*					
Happamuus													**				**	**	
Humus ja väri	*		*	**			**				**								
Kloridi								**											
Kovuus										**									
Mangaani	**	**	**	**	**								*	**					
Nikkeli							**	**		**	**								
Nitriitti, nitraatti								**	**										
Radon						**							**						
Rauta	**	**	**	**									**	**					
Rikkivety	*			**								*	**						
Torjunta-aineet						**	*	*											
Uraani										**									

** käytetään yleisesti tämän yhdisteen poistamiseksi tai ominaisuuden parantamiseksi

* soveltuu tämän yhdisteen poistamiseksi tai ominaisuuden parantamiseksi, mutta ei ensisijaisena menetelmänä

¹ yhdessä suodatuksen kanssa

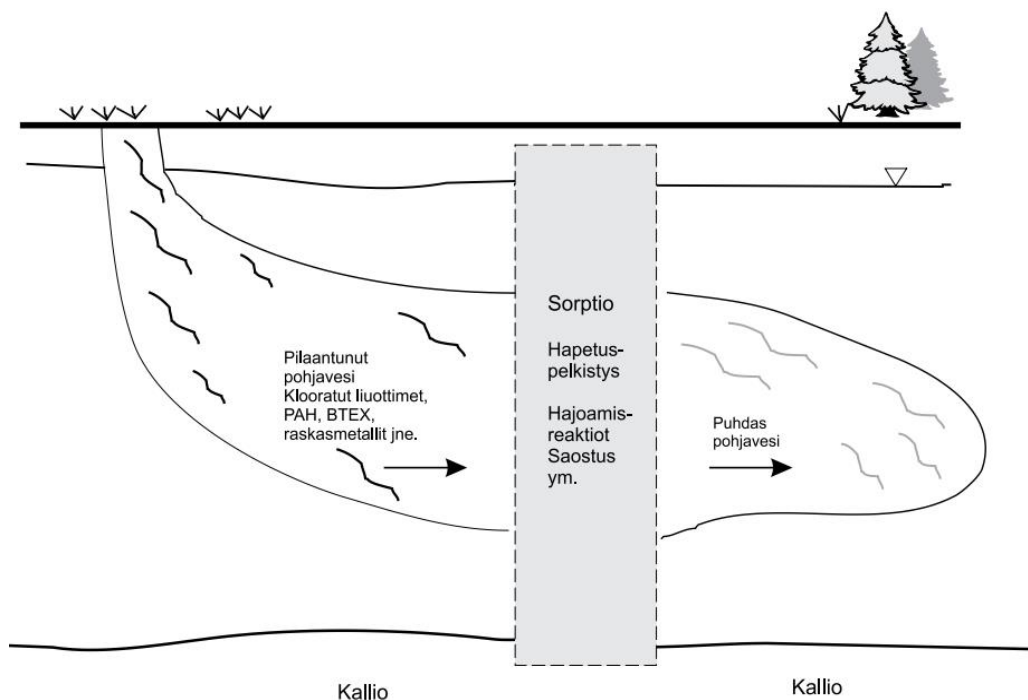
7.1 Paikan päällä tapahtuva puhdistus

Pohjaveden laatua voidaan parantaa paikan päällä tehostamalla pohjavesiesiintymän sisältämien epäpuhtauksien luontaista hajoamista. Hapellinen ympäristö aiheuttaa monien orgaanisten yhdisteiden hajoamista. Hapetus voidaan suorittaa paineilman avulla, joka johdetaan akviferiin pohjavesiputkien kautta. Otsonia ja vetyperoksidia voidaan myös käyttää pohjavettä hapetettaessa. /10/

Pohjavettä voidaan puhdistaa myös ns. reaktiivisella seinämällä (Kuva 13). Maaperään asennettu reaktiivinen seinämä toimii reaktorina, jonka läpi kulkiessa vesi puh-

distuu. Reaktiivisen materiaalin kanssa reagoivat haitta-aineet poistuvat pohjavedestä biologisen hajoamisen, fysikaalisten tai kemiallisten reaktioiden johdosta.

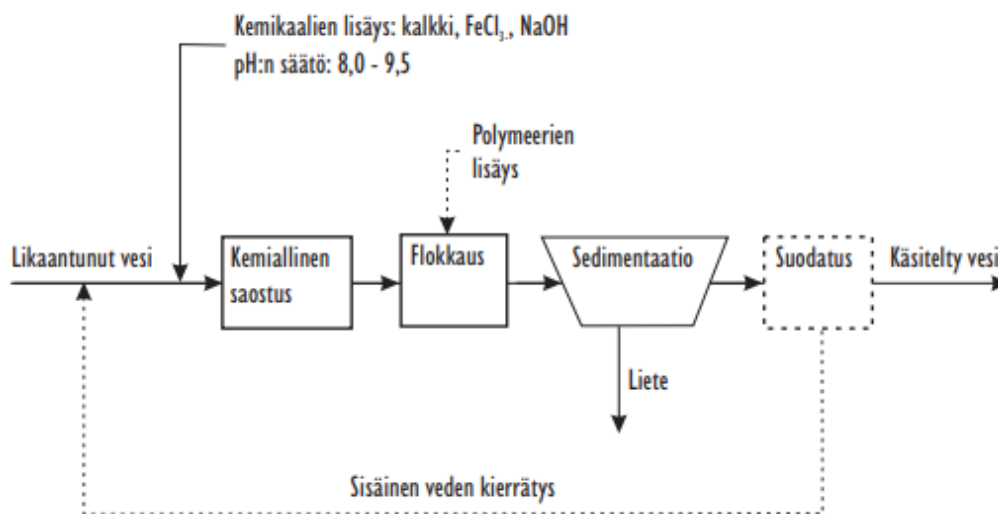
/10, 45/



Kuva 13. Reaktiivinen seinämä. /45/

Puhdistusprosessi koostuu usein useamman eri yksikköprosessin ja -operaation yhdistelmästä (Kuva 14). Eri yksikköprosessien ja -operaatioiden yhdistäminen hyvin suunnitellusti takaa puhdistusprosessin taloudellisuuden. Yksikköoperaatioiden yhdistelmää kutsutaan kunnostusjunaksi. /10, 38/ Veden puhdistamiseen ei ole olemassa mitään yksittäistä ja oikeaa tapaa. Näin ollen puhdistuksessa on mahdollista käyttää useita vaihtoehtoja ja niiden yhdistelmiä. /46/

Haluttuun lopputulokseen päästään harvoin vain yksittäisen menetelmän avulla. Vaikka yksittäisen operaation käyttö ei ole välttämättä kannattavaa pidemmällä aikavälillä, on pohjavesi mahdollista puhdistaa esimerkiksi nanosuodatuksella tai käänteisosmoosilla ilman esikäsitelyä. Ongelmana kyseisissä menetelmissä on lähtökohtaisesti kalvojen tukkeutuminen pidemmällä aikavälillä. /10, 44, 47/



Kuva 14. Pohjaveden puhdistusprosessi. /10/

7.2 Yksikköprosessit ja -operaatiot

Pohjaveden puhdistamiseen voidaan käyttää useita eri yksikköprosesseja ja -operaatioita. Tässä osiossa ei tarkastella kaikkia mahdollisia menetelmiä. Painopiste on kalvosuodatustekniikoissa sekä raudan ja mangaanin poiston mahdollistavissa prosesseissa. Varsinkin kalvosuodatustekniikoihin perehdytään syvällisemmin, sillä useat vedenpuhdistustekniikkaan keskittyneet yritykset käyttävät kalvosuodatustekniikkaa omissa valmiiksi räätälöidyssä vedenpuhdistuslaitteissaan.

7.2.1 Alkalointi

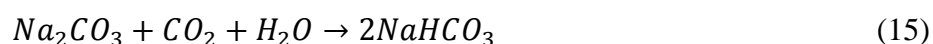
Alkalointi nostaa veden pH-arvoa. Happamuutta madaltamalla voidaan välttyä mm. vesijohtomateriaalien syöpymiseltä. Alkaloinnilla veden pH-arvo asetetaan kovuuden mukaan yleensä välille 7,5–8,5. Suomessa pohjavedet ovat yleensä happamia, jonka vuoksi alkalointi tulisi suorittaa lähes kaikilla pohjavesilaitoksilla. /44/

Alkaloinnissa veteen syötetään alkaloivaa kemikaalia tai vaihtoehtoisesti hapan vesi johdetaan alkaloivan suodattimen lävitse. Alkalointi voidaan suorittaa alkalointikemikaaleilla tai alkaloivilla massoilla. Seuraavat kemikaalit soveltuvat alkalointiin: lipeä (NaOH), sooda (Na_2CO_3) ja sammutettu kalkki ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Alkaloinnina massoina toimivat kalsiumkarbonaatti (CaCO_3) sekä dolomiitti ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). /44/

Hiilidioksidi pyritään sitomaan kemiallisesti käyttämällä alkalointikemikaaleja tai alkalioivia massoja. Alkaliniteetti kasvaa, kun yhdestä moolista hiilidioksidia muodostuu yksi mooli bikarbonaattia. Lipeä eli natriumhydroksidi (NaOH) reagoi hiilidioksidin kanssa seuraavasti:



Sooda eli natriumkarbonaatti (Na₂CO₃) reagoi hiilidioksidin ja veden kanssa seuraavasti:



Sammutettu kalkki (Ca(OH)₂) reagoi hiilidioksidin kanssa seuraavasti:



Reaktioissa esiintyvät suolat on esitetty reagoivan hiilidioksidin kanssa, koska tämä on vedessä esiintyvistä hapoista yleisin. /48/ Vedessä olevan hiilidioksidin tasapainoreaktio on:

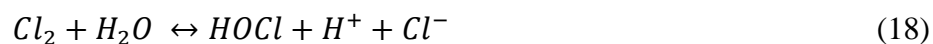


Hiilidioksidi esitetään yhtälön (17) mukaan vedessä yleensä hiilihappona (H₂CO₃). /7/

7.2.2 Desinfiointi

Desinfioinnilla pyritään poistamaan vedessä olevia tauteja aiheuttavia mikro-organismeja. Talousveden kannalta desinfiointi on tärkeä, sillä sen ansiosta juomavesi ei aiheuta ihmisille sairauksia. Desinfiointi voidaan suorittaa esimerkiksi kloorauksella tai UV-säteilyllä. /13/

Sähköisesti neutraali osalaji pystyy tunkeutumaan parhaiten varautuneen bakteerin solukalvon sisälle. Tällainen varaukseton osalaji on esimerkiksi kloorin ja veden reaktiosta syntyvä alikloori-happomolekyylä (HOCl). Alikloorihapoke muodostuu seuraavasti:

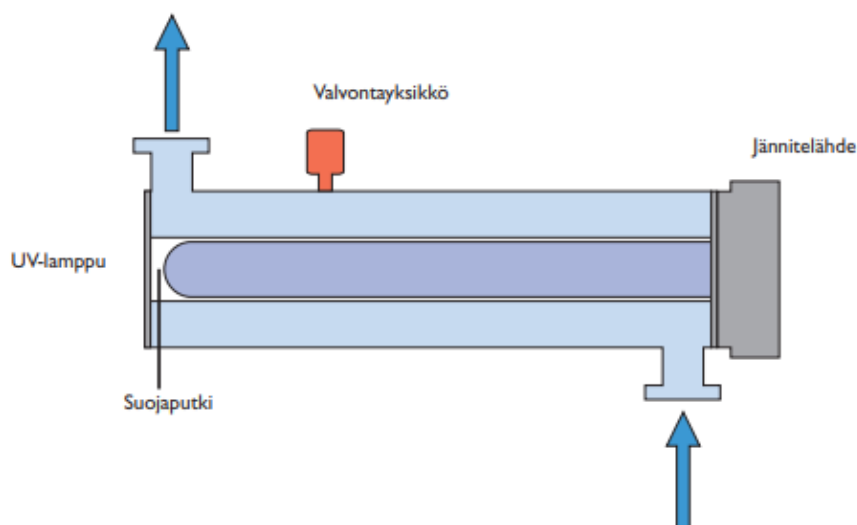


Muodostumisensa jälkeen HOCl dissosioituu:



Muodostunut hypokloriitti-ioni (OCl^-) on heikompi desinfiointiaine kuin HOCl, koska sen täytyy muuttua varauksettomaan muotoon ennen kuin se pystyy vaikuttamaan solun toimintoihin. Klooraus toteutetaan viimeisenä osana puhdistusprosessia. /13, 46/

Desinfiointi voidaan toteuttaa myös UV-säteilyllä. UV-desinfioinnissa putkimaisessa kammiossa virtaava vesi säteilytetään UV-valolla (Kuva 15). Veden täytyy kuitenkin olla täysin kirkasta, jotta UV-desinfiointi laitteisto toimisi optimaalisesti. Laite vaatii myös säännöllistä huoltoa. /44/



Kuva 15. UV-säteilylaite. /44/

7.2.3 Ilmastus

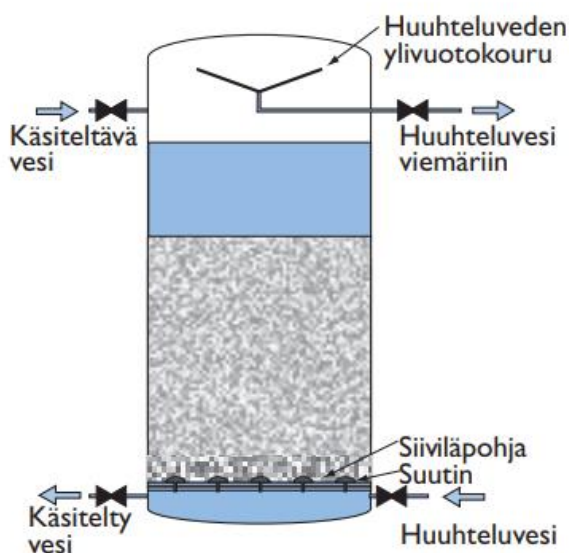
Ilmastuksen tarkoituksena on hapettaa epäpuhtauksia tai vaihtaa veteen liuenneita kaasuja ilmaan /44/. Veteen lisätään ilmastuksessa happea tai ilmaa /44, 49/. Ilmastuksen avulla vedestä voidaan poistaa liuenneita kaasuja sekä haihtuvia makua ja hajua aiheuttavia yhdisteitä /44/.

Ilmastus voidaan toteuttaa usealla eri menetelmällä. Käsiteltävä vesi voidaan hajottaa pisaroiksi ja johtaa ilmavirtaan. Ilmaa voidaan kuplittaa vesipatjan läpi tai vaihtoehtoisesti vettä voidaan valuttaa materiaaleja pitkin avonaisissa altaissa tai suljetuissa ilmastintorneissa. /44/ Itse toimenpide on fysikaalinen, mutta se voi vaikuttaa myös kemialliseen tai biokemialliseen laatuun /13/. Ilmastinlaitteet voivat tukkeutua esimerkiksi rauta- ja mangaanipitoisten sakkujen johdosta /44/.

7.2.4 Hiekkasuodatus

Hiekkasuodatuksen tarkoituksena on poistaa rautaa- ja mangaania vedestä. Menetelmää käytetään yhdessä ilmastuksen kanssa. Vedessä olevia saostumia voidaan poistaa hiekkasuodatuksen avulla. /44/

Suodatin voi yksinkertaisimmillaan olla hiekalla täytetty säiliö, jossa vesi virtaa ylhäältä alas (Kuva 16). Hiekkakerroksen paksuus ja hiekan raekoko vaihtelevat. Suodattimessa tapahtuva virtaus voi tapahtua painovoiman vaikutuksesta tai paineellisesti pumpun avulla. On olemassa myös katalyyttisiä suodattimia, joiden avulla raudan ja mangaanin poisto tapahtuu huomattavasti nopeammin kuin hiekkasuodattimilla. /44/



Kuva 16. Hiekkapikasuodatin. /44/

7.2.5 Hidassuodatus

Hidassuodatus on pääosin biologinen puhdistusprosessi. Suodattimen pinnalle muodostuva pieneliöistä koostuva kasvusto puhdistaa vedestä hajua, makua ja orgaanisia yhdisteitä. Puhdistuksesta vastaavat eri bakteerit, pieneliöt sekä levät. Prosessi poistaa tehokkaasti veden sameutta. /44, 48/

Hidassuodatuksella voidaan poistaa vedestä myös rautaa- ja mangaania. Nimensä mukaisesti prosessi vaatii paljon aikaa. Esimerkiksi mangaania hapettavan biofilmin muodostuminen voi kestää useita kuukausia. /44/ Hidassuodattimen käynnistysaika on yleensä 3–6 viikkoa /48/. Suodatinkalvon kehittymiseen vaadittava aika riippuu lämpötilasta ja veden laadusta /13/.

7.2.6 Adsorptio

Adsorptio tarkoittaa fysikaalista tai kemiallista prosessia, jossa kahden faasin rajapinnalle kerääntyy aine tai aineita. Poistettavaa ainetta nimitetään adsorbaatiksi ja adsorboivaa ainetta puolestaan adsorbentiksi. Fysikaalisessa adsorptiossa adsorbaattiin kohdistuu heikkoja van der Waalsin voimia, jotka vetävät adsorbaatin adsorboivan aineen pinnalle. Kemiallisessa adsorptiossa adsorbaatti sitoutuu kemiallisten sidosvoimien avulla adsorbentin pinnalle. /13/ Määrätyssä lämpötilassa, jonka käsittelysystemissä oletetaan tasapainotila, voidaan adsorptiota kuvata yhtälöllä:

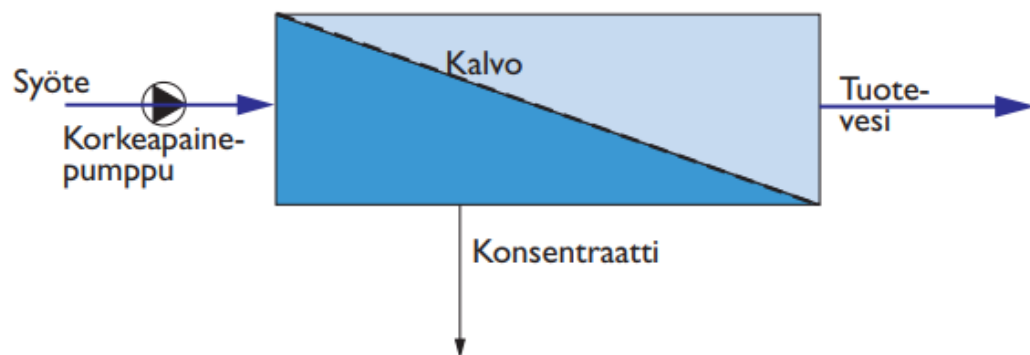
$$\frac{x}{m} = \frac{a \cdot b \cdot C}{1 + b \cdot C} \quad (20)$$

jossa x on adsorboituneen aineen määrä (g), m adsorbentin määrä (g), C adsorbaatin pitoisuus liukoisessa tasapainotilassa (mg/l) ja a ja b vakioita /13, 46/.

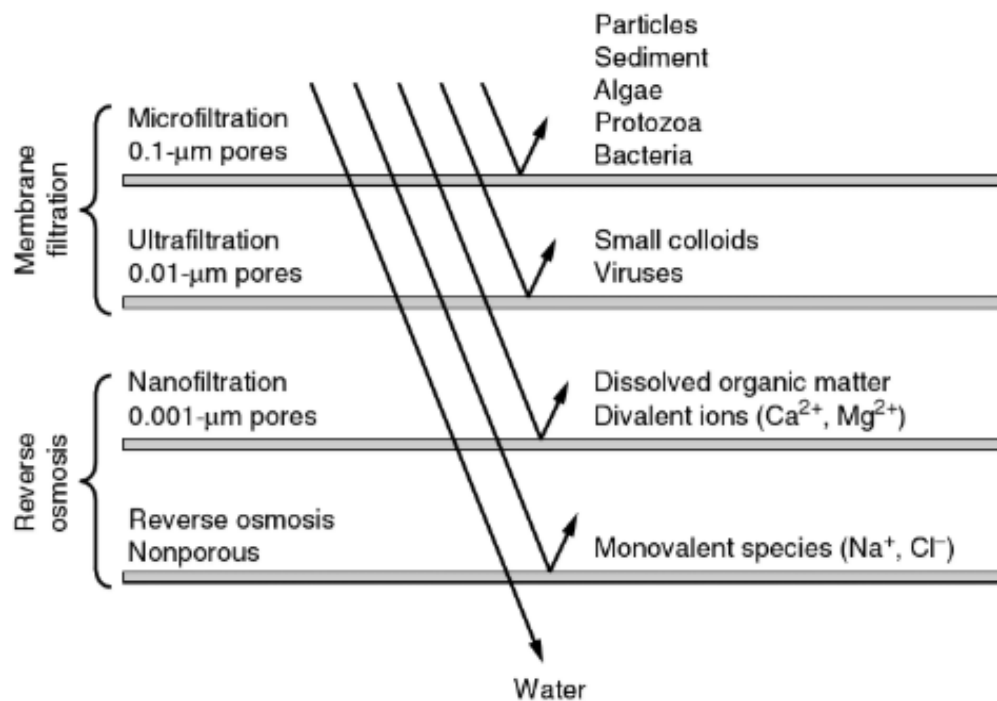
Vesihuoltotekniikassa aktiivihiiltä käytetään useimmiten adsorbenttina. Aktiivihiilen avulla vedestä voidaan poistaa makua ja hajua aiheuttavia aineita. Vedenkäsittelyssä aktiivihiiltä käytetään joko jauheena tai rakeina. /13, 44/

7.2.7 Kalvosuodatus

Kalvosuodatus on fysikaalinen prosessi, jossa vesi puristetaan puoliläpäisevän kalvon läpi (Kuva 17). Kalvon huokosten koko määrittää läpäisevän kiintoaineen määrän (Kuva 18). Kalvosuodatustekniikoihin kuuluu: käänteinen osmoosi (RO), nanosuodatus (NF), ultrasuodatus (UF) ja mikrosuodatus (MF). /13, 44/



Kuva 17. Kalvosuodatuksen toimintaperiaate. /44/



Kuva 18. Suodattavat aineet eri tekniikoiden mukaan. /38/

Käänteisessä osmoosissa puoliläpäisevän kalvon välisessä tilassa oleva vesi virtaa väkevämmästä liuoksesta laimeampaan liuokseen. Toimenpide toteutetaan paineen avulla. Eri kalvosuodatustekniikoilla on omat painevaatimukset (Taulukko 5). /13, 46/ Kalvon läpi virtaavaa vettä voidaan kuvata matemaattisesti:

$$Q_w = K \cdot (\Delta P - \Delta \pi) \quad (21)$$

jossa Q_w on veden vuo ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$), K kalvon läpäisevyyttä kuvaava vakio, ΔP painehäviö veden virratessa kalvon läpi (kPa/m^2) ja $\Delta \pi$ osmoottinen paine (kPa/m^2) /13/.

Suolan vuo kalvon läpi voidaan kuvata yhtälöllä:

$$Q_s = k \cdot (C_b - C_p) = k \cdot \Delta C \quad (22)$$

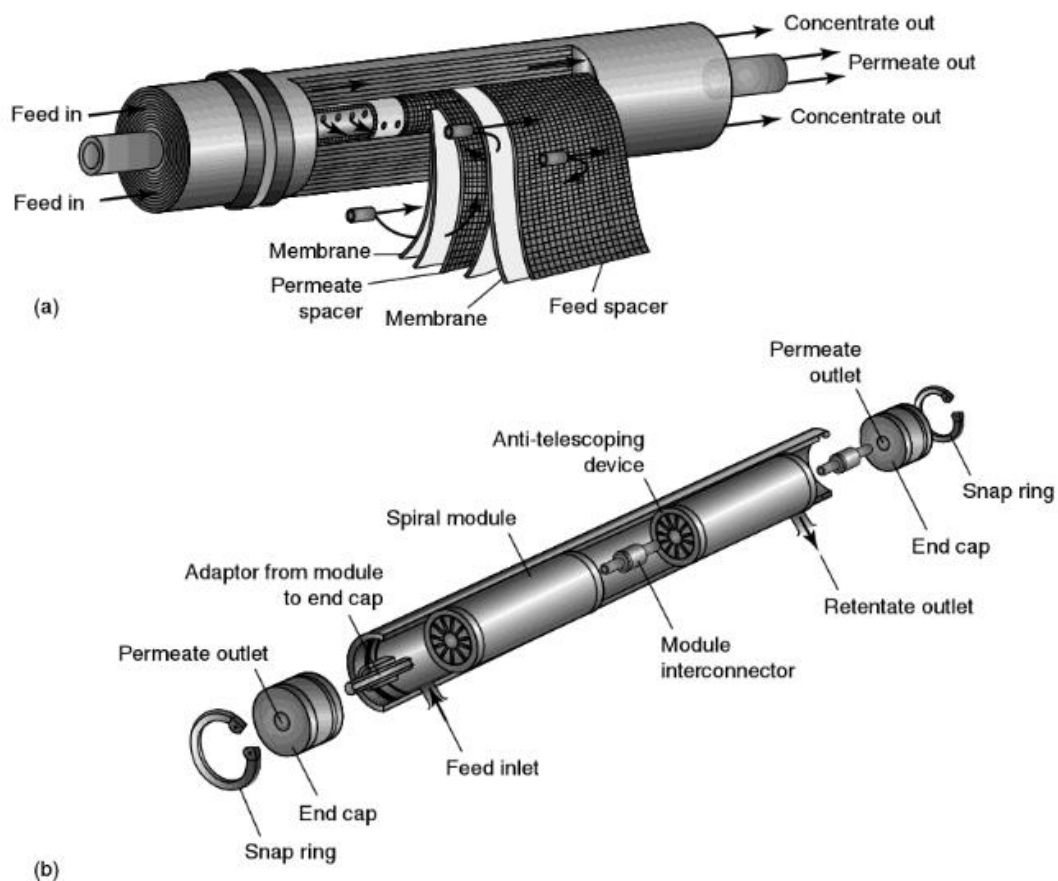
jossa Q_s on suolan vuo ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{h}$), C_b suolan pitoisuus konsentraatissa (kg/dm^3), C_p suolan pitoisuus permeaatissa (kg/dm^3), ΔC konsentraatioero ja k vakio. Yhtälöstä (21) voi päätellä, että veden virtaus kalvon läpi kasvaa, kun syöttöveden painetta lisätään. Kalvon läpi kulkevaan suolan määrään paine ei kuitenkaan vaikuta yhtälön (22) mukaisesti. /13, 46, 50/

Taulukko 5. Eri kalvopuhdistusmenetelmien painevaatimukset. /13/

Kalvopuhdistusmenetelmä	Paine, kPa
MF	100...210
UF	140...520
NF	340...1030
RO (murtovesi...merivesi)	860...8270

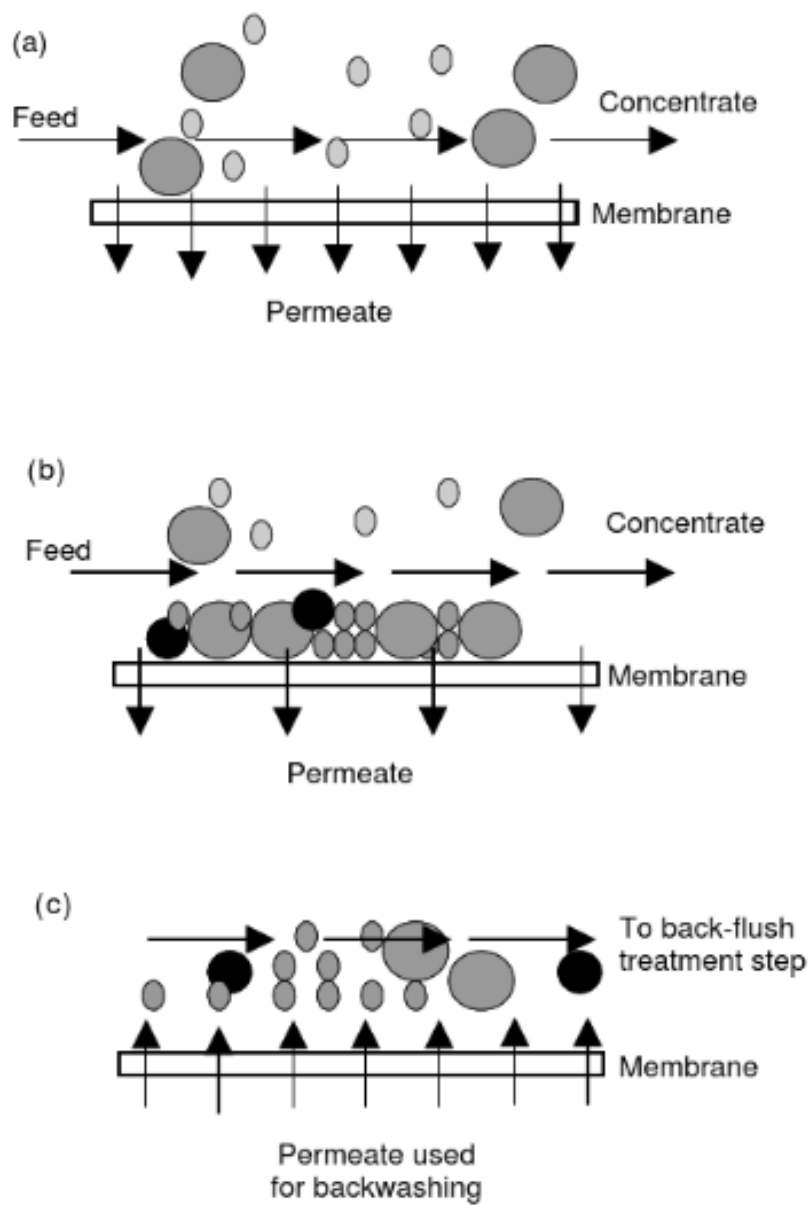
Kalvosuodatusprosessissa vesi jakaantuu kahteen eri jakeeseen. Kalvon läpäisevää vettä kutsutaan permeaatiksi ja kalvoa läpäisemätöntä osaa konsentraatiksi tai retentaatiksi. Talousveden käsittelyssä käytettävät kalvosuodatinyksiköt ovat useimmiten ns. spiraalikalvopuhdistimia (Kuva 19). /13, 44/

Pohjaveden kohdalla kalvosuodatustekniikat, kuten nanosuodatus ei vaadi välttämättä esikäsittelyä. Ongelmia aiheuttaa kalvojen tukkeutuminen, mikä voidaan estää oikeilla esikäsittelymenetelmillä. Suodattimet täytyy myös vaihtaa useimmissa tapauksissa 3-5 vuoden välein. /44/ Joissain tapauksissa ongelmia, kuten kalvojen tukkeutumista on mahdollista vähentää vastavirtahuuhtelulla (Kuva 20) /51/. Kalvosuodatuksen jälkikäsittelytarve on yleensä vähäinen /44/.



Kuva 19. Spiraalikalvopuhdistin. /52/

Tulevaisuudessa kalvosuodatustekniikoiden käyttö tulee kasvamaan. Käänteisosmoosi vaati kuitenkin huomattavan määrän energiaa. Menetelmää käyttäessä tulisi huomioida myös mahdolliset CO₂-päästöt, jos energia tuotetaan fossiililla polttoaineilla. Mikäli hiilivero astuu voimaan tulevaisuudessa, tulisi käänteisosmoosia käytettäessä huomioida kasvavat kustannukset. /46/



Kuva 20. Kalvolle jäävien epäpuhtauksien poistaminen vastavirtahuuhtelun avulla. /51/

8 PUHDISTUSTEKNIKOIDEN VERTAILU

8.1 Tekniikoiden rooli

Eri puhdistustekniikoiden hyödyntäminen riippuu pohjaveden laadusta. Kiireellisissä tilanteissa myös ajalliset tekijät tulisi ottaa huomioon. Paikan päällä tapahtuva puhdistus onnistuu yksikköprosesseista ja -operaatioista kootulla kunnostusjunalla tai tehokkailla kalvosuodatustekniikoilla kuten käänteisosmoosilla.

Puhdistustekniikoiden valintaan vaikuttaa puhdistettavassa pohjavedessä olevat epäpuhtaudet /38/. Varmuus laadusta saadaan vasta kattavien koepumppausten (muutama kuukausi) jälkeen /10, 31/. Aiempien laatutietojen avulla ei voida tehdä johtopäätöksiä veden nykyisestä laadusta /12/. Tästä syystä laatua koskevat tutkimukset on tehtävä sopivana ajankohtana, mahdollisimman lähellä ajan hetkeä, jolloin pohjavettä hyödynnetään.

Paikan päällä tapahtuvat luonnolliset puhdistusmenetelmät ovat yleensä hitaita /10/. Tästä syystä niitä ei voi hyödyntää kiireellisissä tilanteissa. Mikäli aikaa on riittävästi, voidaan pohjaveden puhdistus toteuttaa yhdistelemällä eri yksikköprosesseja ja -operaatioita. Puhdistustekniikoiden hyödyntäminen paikan päällä tulee varsinkin silloin kysymykseen, kun poikkeustilanteen aiheuttamat ongelmat ovat vesijohdoverkostoissa. Jos ongelmat ovat verkostossa, täytyy pumppauspaikalta saatua vettä siirtää kuluttajille esimerkiksi kuljetusautojen avulla /44/.

8.2 Valmiit puhdistuslaitokset

Puhdistusprosessia ei välttämättä tarvitse koota itse useista eri yksikköprosesseista ja -operaatioista. Monet yritykset tarjoavat valmiita puhdistuskokonaisuuksia, jotka hyödyntävät mm. käänteisosmoosia. Valmiiksi koottujen järjestelmien etuja ovat niiden helppokäyttöisyys ja näin ollen pienempi tarve asiantuntijoille. Toisaalta yksikköprosesseista ja -operaatioista saadaan koottua veden laatua vastaava optimaalisempi järjestelmä, mikä on usein myös taloudellisesti kannattava ratkaisu.

Yksikköprosessit ja -operaatiot valitaan veden laadun mukaan. Tietyissä tilanteissa, joissa laadusta ei ole tietoa, on joustavampi käyttää valmiiksi koottuja järjestelmiä.

Tällainen valmis puhdistuslaitos on esimerkiksi Kärcherin valmistama WTC 8000 /15000 RO/UF C, joka valmistajan mukaan puhdistaa veden riippumatta sen laadusta (Kuva 21). Kyseinen tuote käyttää sekä ultrasuodatusta että käänteisosmoosia hyödykseen. Tuote soveltuu mm. kriisialueille ja tuottaa puhdasta vettä maksimissaan 350 m³/d. /53/ Alla esitetyssä taulukossa on tietoja kahdesta Kärcherin tarjoamasta puhdistuslaitoksesta (Taulukko 6).

Taulukko 6. Tuotteiden tietoja. /53, 56, 62/

Tuote	Yritys	Hinta/€	Arvioitu toimitusaika/kk	Max tuotto/m ³ /d	Kalvojen arvioitu ikä/käyttö h	Energian kulutus/kVA
WTC 5000 UF	Kärcher	47000	4	120	-	-
WTC 8000/15000 RO/UF C	Kärcher	937000	12	350	7000–8000	38–92



Kuva 21. Veden puhdistuslaitos WTC 8000 /15000 RO/UF C. /53/

Puhdistuslaitteita on saatavilla myös pienemmässä mittakaavassa. Esimerkiksi suomalainen Solar Water Solutions Oy valmistaa käänteisosmoosilla toimivia vedenpuhdistuslaitteita. Vaikka laitteiden tuottama puhtaan veden määrä (m^3/d) on pienempi kuin esimerkiksi WTC 8000 /15000 RO/UF C tuottama vesimäärä, on SolaRO PRO 300-laitteita mahdollisuus kytkeä myös useita rinnakkain (Kuva 22). /54/



Kuva 22. Vedenpuhdistuslaitos SolaRO PRO 300. /54/

Solar Water Solutions Oy valmistamien laitteiden vedentuotto on laitteesta ja raakavedenlähteestä riippuen 50...3500 l/h. Maksimissaan SolaRO PRO 3500 SW voi tuottaa vettä 84 m^3/d . Laitteita markkinoidaan mm. niiden helppokäyttöisyydellä, energiatehokkuudella, hiljaisuudella ja ympäristöystävällisyydellä. Nimensä mukaisesti Solar Water Oy:n valmistamia laitteita on mahdollista operoida aurinkoenergian avulla. Aurinkoenergiaa käyttäessä laitteen tuottama vesimäärä ei jakaudu tasaisesti pitkin vuorokautta. Laitteet voivat käyttää tarvittaessa muitakin energianlähteitä. /55/

Valmiit laitteet ovat eri kokoisia ja niiden vaatima energia vaihtelee. Puhdistuslaitteiden valmistajat pyrkivät markkinoimaan tuotteitaan helppokäyttöisyyden ja energiatehokkuuden lisäksi myös niiden logistisella joustavuudella. Kärcherin

WTC 5000 UF on helppo purkaa pienempiin osiin ja siirtää haluttuun kohteeseen (Kuva 23) /56/. Toisaalta myös suuri ja painava puhdistuskokonaisuus kuten WTC 8000 /15000 RO/UF C on mahdollista kuljettaa sujuvasti, koska sen kuljetus tapahtuu standardoidussa merikontissa (Kuva 22) /53/.



Kuva 23. Vedenpuhdistuslaitos WTC 5000 UF. /56/

9 KOHTEET

Tässä osiossa tarkastellaan valittuja vedenottamoita ja niiden ominaisuuksia. Esille tuodaan ongelmakohdat ja mahdolliset riskit. Vedenottamoita ja niihin liittyvien pohjavesiesiintymien tietoja esitetään alla olevassa taulukossa (Taulukko 7).

Taulukko 7. Kohteita koskevia tietoja. /26/

	Vedenottamo 1	Vedenottamo 2	Vedenottamo 3
Antoisuus/m ³ /d	1500	1000	1600 + (1000)
Vedenottolupa max/m ³ /d	1000	1000	1300
Käytetty viimeksi/m ³ /d	160 (v.1992)	-	820
Kokonaispinta-ala/km ²	5,54	0,42	1,13 + (0,85)
Muodostumispinta- ala/km ²	1,07	0,05	0,16 + (0,09)
Ongelmakohdat	mustaliuske, pohjavedenvirtauksen muutokset, rauta ja mangaanipitoisuudet	rauta- ja mangaa- nipitoisuudet pumppaustehon kasvaessa, turkis- tarha	rapistuneet kai- vot ja yhdysve- sijohdot, aggres- siivinen vesi
Käyttöönotto	epätodennäköinen	mahdollinen, mutta epätoden- näköinen	ei mahdollista ilman mittavia kunnostustoi- menpiteitä

9.1 Vedenottamo 1

Vedenottamo 1 sijaitsee alueella, jonka pohjaveden laatu on ollut suhteellisen heikkoa. Vedessä on vuosien varrella havaittu mm. korkeita rauta- ja mangaanipitoisuuksia. Alueella on useita veden laatuun vaikuttavia riskitekijöitä.

Pohjavesiesiintymä on synkliininen eli ympäristöstään vettä keräävä. Täten myös pohjavesialueen lähetyvillä olevat riskitekijät voivat heikentää veden laatua. Alueen vettä ei nykyisin pidetä vesilaitoskäyttöön sopivana. Näin ollen vettä ei hyödynnetä myöskään talousvetenä.

Alueen pohjavesiesiintymä on yhteydessä toiseen vedenottamoon. Mikäli vedenottamo 1 pohjavesiesiintymästä alettaisiin pumppaamaan lisää vettä, voisi se mahdollisesti heikentää muiden lähialueilla sijaitsevien pohjavesiesiintymien laatua ja vähentää toisella vedenottamolla saatavan veden määrää. Muutos laadussa johtuisi pohjavesiesiintymän virtauskuvan vaihtelusta. Laatuun vaikuttavien riskien ja niukan antoisuuden johdosta vedenottamo 1 on varautumisen kannalta ongelmallinen ja sen roolia poikkeustilanteiden kannalta voidaan pitää minimaalisena.

9.2 Vedenottamo 2

Vedenottamo 2 on kolmesta valitusta kohteesta antoisuudeltaan pienin (1000 m³/d). Pohjavesiesiintymän pinta-ala on myös pienin (0,05 km²) verrattuna muihin kohteisiin. Alueen pohjavedenlaatu on ollut käyttöaikana kohtalaisen hyvä. Haittaa on käyttövuosina aiheuttanut ajoittain suuret rauta- ja mangaanipitoisuudet sekä korkeat pH-arvot.

Rauta- ja mangaanipitoisuudet ovat kasvaneet mitä suurempia määriä vettä on pumppattu. Tämä on luultavasti johtunut siitä, että pumppaustehon kasvaessa pohjavesiesiintymän reunaosien hapeton vesi on lähtenyt liikkeelle /10/. Korkeat pH-arvot ovat luultavammin seurausta vedenottamon epäoptimaalisesta alkalointiprosessista. Pohjavesien pH-arvo on Suomessa suhteellisen matala, joten korkea pH-arvo on aiheutunut todennäköisesti vasta vedenottamon prosesseista /7/.

Alueella olevaa pohjavettä voisi mahdollisesti hyödyntää paikallisesti. Kyseistä pohjavettä voisi kuitenkin mahdollisesti johtaa myös kauemmas, mikäli yhdysvesijohdon kunto sen sallisi. Esiintymä on kuitenkin niin pieni, että hyödynnettävissä oleva vesimäärä ei ole varautumisen kannalta kovin merkittävä. Vedenottamo 2 sijaitsee vedenottamon 1 läheisyydessä. Myös vedenottamon 2 lähialueella on potentiaalisia riskitekijöitä. Alueen lähetyvillä olevilla riskitekijöillä ei kuitenkaan ole ollut negatiivisia vaikutuksia veden laatuun käyttövuosien aikana.

9.3 Vedenottamo 3

Vedenottamo 3 on poistettu käytöstä 2000-luvun alussa. Kyseinen vedenottamo hyödynsi kahden eri pohjavesiesiintymän vettä. Vedenottamon 3 antoisuus on arvioiden mukaan valituista kohteista suurin. Veden laatu oli käyttöaikana kohtalaista. Pohjavedessä oli kuitenkin usein korkeita sulfaatti- ja kloridipitoisuuksia, eikä se niiltä osin aina täyttänyt asetuksen mukaisia talousveden laatuvaatimuksia ja suosituksia.

Vesijohtomateriaalit ovat syöpyneet, eikä niitä voida enää hyödyntää alueella, jossa vedenottamo 3 sijaitsee. Tästä syystä erilaiset paikallisesti toteutettavat puhdistustekniikat voisivat soveltua kyseiselle alueelle. Alueella on yhteensä viisi kaivoa. Kaivojen rakenteet ovat päässeet huonoon kuntoon vuosien varrella. Tiivisteistä on päässyt läpi mm. erilaisia hyönteisiä, minkä ei pitäisi olla mahdollista /57/. Vanhat kaivot voivat olla myös potentiaalinen riskitekijä, sillä ne saattavat aiheuttaa akviferissä olevan veden pilaantumisen /58/.

Verkoston ja kaivojen syöpyminen on aiheutunut luultavimmin aggressiivisesta vedestä. Kloridi- ja sulfaattiarvot ylittivät vesijohtomateriaalien syöpymistä aiheuttavat raja-arvot useasti käyttövuosien aikana. Korkeat kloridiarvot voivat johtua siitä, että vedenottamo 3 sijaitsee vanhalla merenpohja-alueella /7/.

Vedenottamon läheisyydessä sijaitsee pohjavesiesiintymien ohella myös toinen makean veden lähde. Varautumisen kannalta pohjavesiesiintymällä ei ole rapistuneen infrastruktuurinsa johdosta merkitystä. Alueen läheisyydessä sijaitseva toinen raakaveden lähde on luultavammin merkityksellisempi poikkeustilanteessa.

10 ARVIO TEKNIKOIDEN SOVELTUVUUDESTA KOHTEISSA

10.1 Soveltuvuus kohteessa Vedenottamo 1

Vedenottamo 1 on sijainniltaan ongelmallinen. Pohjavesiesiintymän vettä on mahdollista pumpata, mutta kasvavissa määrin pumppaus voi aiheuttaa laatuongelmia läheisillä alueilla. Valmiiden puhdistuskokonaisuuksien mahdollistama pumppausmäärä ei kuitenkaan välttämättä ylitä riskejä aiheuttavaa pumppausraja-arvoa.

Veden laatuongelmia ovat ainakin korkeat rauta- ja mangaanipitoisuudet, jotka voivat pidemmällä aikavälillä aiheuttaa tukoksia kalvosuodatustekniikoita hyödyntävissä laitteissa. Paikan päällä hyödynnettävä tekniikka on kuitenkin tarkoitettu vain tilapäiseksi ratkaisuksi, eikä näin ollen laitteiden kalvot välttämättä ehdi tukkeutua.

Tilapäisten kalvosuodatustekniikoiden lisäksi voisi raudan ja mangaanin poistoon keskittyvät prosessit sopia alueelle. Mikäli aikaa olisi riittävästi, voitaisiin rauta ja mangaani mahdollisesti poistaa optimaalisilla yksikköprosesseilla ja -operaatioilla. Huomioiden pohjavesiesiintymän yhteyden ja vaikutuksen lähialueella sijaitsevaan toiseen vedenottamoon ei pohjaveden pumppaaminen vedenottamon 1 alueelta ole välttämättä käyttökelpoinen ratkaisu, vaikka puhdistustekniikat veden kunnostamiseen olisivatkin olemassa.

10.2 Soveltuvuus kohteessa Vedenottamo 2

Vedenottamon 2 pohjavesi oli käyttövuosinaan hyvälaatuista muutamia ongelmia lukuun ottamatta. Käyttövuosien aikana havaitut korkeat pH-arvot olisi luultavasti mahdollista saada vaatimusten mukaisiksi, jos alkalointiprosessi toimisi optimaalisemmin. Myös raudan ja mangaanin poisto on mahdollista lukuisilla eri menetelmillä. Pohjavesiesiintymän antoisuus on arvioiden mukaan pieni, eikä sille näytä löytyvän suuren mittakaavan suunnitelmissa sopivaa roolia, vaikka vesi pystyttäisiin puhdistamaan. Veden hyödyntäminen toisi helpotusta luultavammin vain lähialueelle poikkeustilanteen sattuessa.

Tekniikoiden hyödyntäminen alueella riippuu siitä, kuinka paljon aikaa ja resursseja väliaikaisessa tilanteessa olisi käytettävissä. Vedenottamon 2 prosessit voitaisiin mahdollisesti optimoida paremmiksi, mikäli aikaa olisi riittävästi. Tämä toki edellyttäisi, että vedenottamoon liittyvän verkoston kunto olisi riittävän hyvä vedenjakelua varten.

Käyttövuosina veden laadussa ei ollut nähtävissä suuria ongelmia. On hyvin mahdollista, että alueen lähetyvillä sijaitsevat riskikohteet ovat tästä huolimatta voineet vaikuttaa laatuun. Osa laatuun kohdistuvista ongelmista tulee esiin vasta pitkän ajan kuluttua /7/.

10.3 Soveltuvuus kohteessa Vedenottamo 3

Vedenottamon 3 alueella olevaa pohjavettä on hankala hyödyntää, sillä alueella sijaitsevat kaivot ovat epäkunnossa ja vedenkäsittelylaitoksen tekniikka on rapistunut. Kaivojen nykyinen heikko tila voi aiheuttaa lisää laatuongelmia pumpattavassa vedessä. Jotta kaivojen vettä pystyttäisiin hyödyntämään, tulisi kaivot kunnostaa ja pestä. Kiireellisessä tapauksessa eri kunnostustoimenpiteet ovat kuitenkin vedenhankintaa hidastavia tekijöitä.

Vedenottamon 3 tapauksessa järkevämpää lienee hyödyntää alueen läheisyydessä olevaa toista makean veden lähettä. Käytännössä vedenottamo 3 voidaan sulkea pois varautumista käsittelevistä suunnitelmista. Säännöllisten huoltotoimenpiteiden puuttuessa alueen yhdysvesijohtojen ja kaivojen laatu on päässyt heikentymään siihen pisteeseen asti, että niiden uudelleenkäyttöä voidaan pitää todella epätodennäköisenä.

Vedenottamon 3 alueen pohjavedessä on aikanaan havaittu korkeita kloridipitoisuuksia. Vastaavan kaltaisissa pohjavesiesiintymissä suoloja voitaisiin poistaa käänteisosmoosilla. Käsittelyssä oleva vedenottamo 3 on ongelmallinen, koska alueen kaivoja ei voida välttämättä hyödyntää. Ilman kaivoja pohjavesiesiintymän hyödyntäminen vaatisi mahdollisesti kairauksia, joiden avulla vettä saataisiin pumpattua maan pinnalle käsittelyä varten. Käytännössä vedenottamo 3 ei kohteena ole varautumisen kannalta merkittävä.

11 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tässä työssä on perehdytty kolmeen eri vedenottamoon, joiden käyttöönoton mahdollisuus on haluttu tarkistaa. Työn aikana on selvinnyt, että mikään työssä käsiteltävistä kohteista ei ole varautumisen kannalta merkittävä. Pitkäjänteisissä suunnitelmissa tarkasteluun otetuiden vedenottamoiden rooli on merkityksetön tai korkeintaan minimaalinen. Näin ollen kyseisten vedenottamoiden käyttöönotto ei luultavimmin tuo merkittävää lisähyötyä suuren mittakaavan suunnitelmissa.

Kohteissa on havaittavissa ongelmakohtia, jotka aiheuttavat huomattavia haasteita niiden käyttöönottoa ajatellen. Haasteita tai ongelmia aiheuttivat esimerkiksi vesijohtomateriaalien huono kunto ja pohjaveden virtauskuvan mahdolliset muutokset. Jo lähtökohtaisesti kohteiden arvioitu antoisuus oli niukka, mistä johtuen niiden panos poikkeustilanteessa olisi pieni. Eri ongelmat huomioon ottaen kohteiden käyttöönotto tuskin on teknillistaloudellisesti järkevää.

Kohteista saatavaa pohjavettä on mahdollista puhdistaa talousvesiasetuksen vaatimuksen mukaiseksi. Nykyisin markkinoilla on valmiita puhdistuskokonaisuuksia, joilla on mahdollista valmistaa juomakelpoista vettä raakaveden laadusta riippumatta. Väliaikaisissa tilanteissa valmiiksi räätälöidyt prosessit ovat joustavia ja harkintaan otettavia ratkaisuja, mikäli muita vaihtoehtoja ei syystä tai toisesta löydy. Toki pohjavesi voidaan puhdistaa yksikköprosesseista ja -operaatioista kootulla kunnostusjunalla, joka on luultavimmin järkevämpi ratkaisu, jos alan asiantuntijoita on saatavilla ja aikaa on riittävästi.

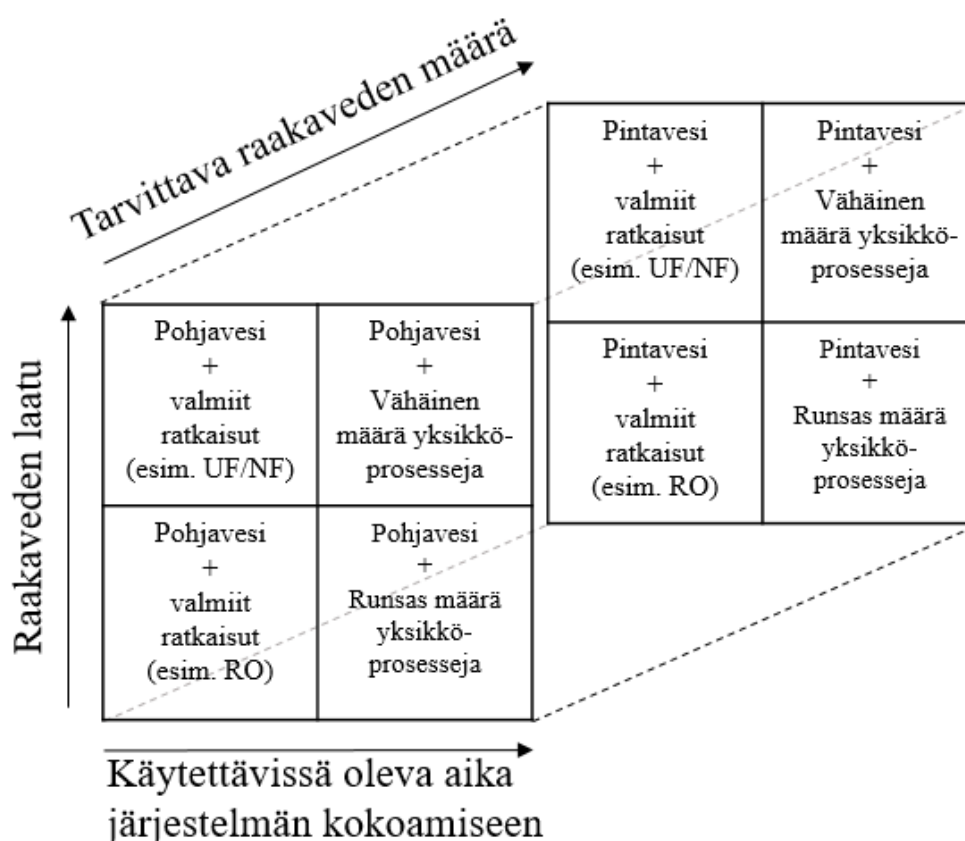
Pohjavesiesiintymien laatu muuttuu jatkuvasti. Tästä syystä pohjaveden laatua kartoittavat tutkimukset täytyisi tehdä hyvin lähellä ajankohtaa, jolloin vettä hyödynnettäisiin. Kiireellisissä tilanteissa aikaa ei välttämättä ole riittävästi tarkkojen laatututkimusten suorittamiseen. Laadun vaihdellessa kattavien laatututkimusten tekeminen alueille, joiden pohjaveden hyödyntäminen on epätodennäköistä ei ole välttämättä tarkoituksenmukaista. Jos pohjavesiesiintymällä on vaikutusta ympäristössä oleviin kasvi- ja eläinlajeihin, on tällöin tutkimusten suorittaminen perusteltua.

Pohjaveden etuina pidetään yleensä sen puhtautta, sillä onhan vesi vajonnut maaperän läpi ja siitä on suodattunut laatua heikentäviä aineita. Toisaalta Suomessa pohjavettä suojaava maan pintakerros on usein ohut ja näin ollen pohjavesi on pilaantumisherkkää. Myös vedenotto voi aiheuttaa pohjavesiesiintymän tai sen ympäristön pilaantumisen /10, 58/. Tästä syystä mahdolliset pohjavettä koskevat tutkimukset tulisi suunnitella aina hyvin tarkasti /10/.

Pohjavesiesiintymien antoisuudet ovat yleensä pieniä. Vettä saadaan joesta tai järvestä enemmän ja veden laatua on myös helpompi tutkia. Pohjaveden pilaantuessa sitä on hankalampaa puhdistaa kuin vastaavassa tilassa olevaa pintavettä. Väestön muuttaessa asutuskeskuksiin vesienkäsittelylaitosten täytyy käsitellä yhä suurempia määriä vettä. /59/ Täten pienten vedenottamoiden rooli tulee tulevaisuudessa luultavasti laskemaan entisestään.

Pitkiä pohjavesipumppauksia alustavine tutkimuksineen ei ole mahdollista suorittaa kiireellisessä tilanteessa. Täten tekniikat, jotka eivät ole veden laadusta vahvasti riippuvaisia tarjoavat joustavuutta. Mikäli poikkeustilanteen sattuessa on mahdollista hyödyntää varavesisäiliön vettä, jää aikaa mahdollisille tutkimuksille ja puhdistusprosessien optimoinnille (Kuva 24). Seuraavalla sivulla esitetystä matriisista myös veden laatu ja tarvittava veden määrä vaikuttavat prosessien sekä raakaveden lähteen valintaan (Kuva 24). Varastoitu vesi riittää esimerkiksi Vaasassa runsaaksi kahdeksi kuukaudeksi /3/.

Työssä tarkasteltujen pohjavesiesiintymien antoisuus varautumistilanteiden kannalta, joissa veden tarve lähestyy $20\,000\text{ m}^3/\text{d}$ on hyvin niukka. Tästä syystä Vedenhankintamatriisiin on otettu mukaan raakaveden lähteeksi myös pintavesi (Kuva 24). Oletuksena on pidetty sitä, että pintaveden määrä (m^3/d) on suurempi kuin tyyppillisten pohjavesiesiintymien. Matriisista on oletettu myös, että valmiita puhdistusjärjestelmiä on nopeasti saatavilla tai varastossa. Kuten luvussa 8 esitetystä Kärcherin tuotteita kuvaavasta taulukosta (Taulukko 6) pystyy päätellä, voi valmiiden järjestelmien toimitusajat olla todellisuudessa hyvinkin pitkiä.



Kuva 24. Hypoteettinen matriisi puhdistustekniikoista veden laadun, varastoidun veden riittävyys ja tarvittavan vesimäärän mukaan.

Vedenkäsittelytekniikoiden kehittyessä talousvettä voidaan valmistaa yhä huonolaatuisemmasta raakavedestä. Kun tekniikoiden kustannustehokkuus paranee, voi pohjaveden rooli vedenhankinnan kannalta laskea. Tehokkaiden puhdistustekniikoiden avulla raakaveden lähteellä ei ole niin suurta merkitystä. Nykyisin juomavettä voidaan valmistaa merivedestäkin kalvosuodatustekniikan avulla yhä alhaisemmilla kustannuksilla /59/.

Tulevaisuudessa kalvosuodatustekniikoiden rooli tulee kasvamaan. Suolaista vettä on saatavilla enemmän kuin makeaa vettä ja useissa paikoissa kalvosuodatustekniikka voisi ratkaista vedenhankintaa koskevia ongelmia. Kalvosuodatustekniikoiden kehitystä ajaa myös niiden tutkimus vesiteknikan ulkopuolella. Esimerkiksi farmasian ja biotekniikan aloilla kehitetään myös kalvosuodatustekniikkaa. /60/ Eri tekniikoiden kehittyessä on luultavaa, että myös vesihuolto ja vesien käsittelyprosessit tulevat olemaan muutosten kohteina tulevina vuosikymmeninä.

LÄHTEET

- /1/ Vaasan Vesi. Vaasan Vesi -liikelaitos. Viitattu 18.5.2018. <https://www.vaasanvesi.fi/vaasan-vesi>.
- /2/ Vaasan Vesi. Vesilaitos. Viitattu 18.5.2018. <https://www.vaasanvesi.fi/pilvilammen-vesilaitos>.
- /3/ Vaasan Vesi. Raakaveden pumppaus. Viitattu 23.5.2018. <https://www.vaasanvesi.fi/raakaveden-pumppaus>.
- /4/ Vaasan Vesi. VAASAN VEDEN VUOSIKERTOMUS 2002. Viitattu 18.6.2018. <https://www.vaasanvesi.fi/documents/67954/71919/2002su.pdf/d42a14bd-be41-4677-b629-0412db1bf4e>.
- /5/ Juuti, P. & Katko, T. 2006. Vaasan Vedet. Vaasa. Vaasan Vesi.
- /6/ Vaasan Vesi. Yleisiä kysymyksiä ja vastauksia. Viitattu 25.5.2018. <https://www.vaasanvesi.fi/kysymykset-ja-vastaukset>.
- /7/ Karttunen, E. & Tuhkanen, T. 2009. RIL 124-1 Vesihuolto I. 2. painos. Helsinki. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- /8/ Geologian tutkimuskeskus. Pohjavesi. Viitattu 15.5.2018. <http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/pohjavesi/>.
- /9/ Britschgi, R., Antikainen, M., Ekholm-Peltonen, M., Hyvärinen, V., Nylander, E., Siiro, P. & Suomela, T. 2009. Pohjavesialueiden kartoitus ja luokitus. Suomen ympäristökeskus. Viitattu 12.6.2018. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38830/YO_2009_Pohjavesi_11_5_09.pdf?sequence=1.
- /10/ Kinnunen, T. 2005. Pohjavesitutkimusopas - käytännön ohjeita. Vammala. Suomen Vesiyhdistys r.y.
- /11/ AWWA. M21 - 4th Edition - Groundwater. 2014. 4. painos. American Water Works Assoc.
- /12/ Mälkki, E. Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö. 1999. Tampere. Tammerpaino Oy.
- /13/ Karttunen, E., Tuhkanen, T. & Kiuru, H. 2004. RIL 124-2 Vesihuolto II. Helsinki. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- /14/ Ympäristösanakirja EnDic. Suomen ympäristökeskus, Ilmatieteen laitos. Viitattu 18.6.2018. <https://mot-kielikone-fi.ezproxy.puv.fi/mot/indic/net-mot.exe?UI=fied&height=164>.
- /15/ Britschgi, R. & Rintala, J. 2016. Pohjavesialueet – määrittäminen, luokitus ja suojeleusuunnitelmat; 29.11.2016 luonnos. Suomen ympäristökeskus.

- /16/ Ronkainen, N. 2012. Suomen maalajien ominaisuuksia. Suomen ympäristökeskus. Viitattu 28.5.2018. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38773/SY2_2012_Suomen_maalajien_ominaisuuksia.pdf.
- /17/ Ahokas, J. & Oksanen, T. 2015. Maamekaniikka. 2. painos. Helsinki. Helsingin yliopisto. Viitattu 28.5.2018. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/153954/Maamekaniikka%202015.pdf?sequence=1>.
- /18/ Nelson, S., A. 2015. Groundwater. Viitattu 17.5.2018. <https://www.tulane.edu/~sanelson/eens1110/groundwater.htm>.
- /19/ Ympäristösanakirja EnDic. Suomen Ympäristökeskus, Ilmatieteenlaitos. Viitattu 18.6.2018. <https://mot-kielikone-fi.ezproxy.puv.fi/mot/ending/net-mot.exe?UI=fied&height=164>.
- /20/ Zekâi, Ş. 2014. Practical and Applied Hydrogeology. Elsevier.
- /21/ Airaksinen, J., U. 1978. Maa- ja pohjavesihydrologia. Oulu. Kustannusosakeyhtiö pohjoinen.
- /22/ Aral, M. & Taylor, S. 2011. Groundwater Quantity and Quality Management. American Society of Civil Engineers.
- /23/ Karttunen, E. 1999. Vesihuoltotekniikan perusteet. Helsinki. Opetushallitus.
- /24/ Mustonen, S. 1986. Sovellettu hydrologia. Helsinki. Vesiyhdistys r.y.
- /25/ Varsinais-Suomen ELY-keskus. Pohjavedet. 2018. Viitattu 18.5.2018. http://www.ymparisto.fi/fi-FI/LounaisSuomen_vedet/Pohjavedet.
- /26/ Leminen, M. & Ikonen, M. 2016. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksen alueen pohjavesien toimenpideohjelma 2016–2021. Viitattu 5.22.2018. <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/124453/Raportteja%2049%202016.pdf?sequence=2>.
- /27/ Suomen Ympäristökeskus. 2017. Pohjavesialueet. Viitattu 18.5.2018. [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesiensuojelu/Pohjaveden_suojelu/Pohjavesialueet/Pohjavesialueet\(26765\)](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesiensuojelu/Pohjaveden_suojelu/Pohjavesialueet/Pohjavesialueet(26765)).
- /28/ Ympäristöhallinto. 2018. Pohjavesien määrällinen ja kemiallinen tila. Viitattu 17.5.2018. http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Pohjavesien_tila?f=EtelaPohjanmaan_ELYkeskus.
- /29/ Karamouz, M., Ahmadi, A., & Akhbari, M. 2011. Groundwater Hydrology: Engineering, Planning and Management. CRC Press.
- /30/ Salt Lake Community College. Water. Viitattu 25.5.2018. <http://opengeology.org/textbook/11-water/>.
- /31/ Delleur, J., W. 1999. The handbook of groundwater engineering. CRC Press LLC.

- /44/ Isomäki, E., Valve, M., Kivimäki, A-L. & Lahtinen, K. 2006. Pienten pohjavesilaitosten ylläpitoja valvonta. Suomen ympäristökeskus. Viitattu 2.7.2018. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38828/YO_PIPOT_2006.pdf?sequence=1.
- /45/ Kivimäki, A.-L., Reinikainen, J., Tuominen, S., Nystén, T., Eskola, P., Hjorth, S., Järvikivi, M., Sarkkila, J. & Heino, P. 2009. Pohjaveden puhdistaminen reaktiivisella seinämällä. Suomen ympäristökeskus. Viitattu 3.7.2018. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38005/SY_15_2009.pdf?sequence=3.
- /46/ Binnie, C. & Kimber, M. 2013. Basic Water Treatment. London. 5. painos. ICE Publishing.
- /47/ Zhang, T. 2012. Membrane Technology and Environmental Applications. American Society of Civil Engineers.
- /48/ Peltokangas, J., Heinänen, J. & Viitasaari, M. 1995. Vesihuoltotekniikan yksikköoperaattorit ja yksikköprosessit OSA I: Vedenhankinta. Tampere. Tampereen teknillinen korkeakoulu Vesi- ja ympäristötekniikan laitos.
- /49/ Ympäristösanakirja EnDic. Suomen ympäristökeskus, Ilmatieteen laitos. Viitattu 6.7.2018. <https://mot.kielikone.fi/mot/indic/>.
- /50/ AWWA Staff. 2006. Reverse Osmosis and Nanofiltration. American Water Works Assoc.
- /51/ Benjamin, M. & Lawler, D. 2013. Water Quality Engineering: Physical / Chemical Treatment Processes. John Wiley & Sons, Incorporated.
- /52/ Shammas, N., Lawrence, K. & Okun, D. 2015. Water Engineering: Hydraulics, Distribution and Treatment. John Wiley & Sons, Incorporated.
- /53/ Kärcher Futuretech GmbH. WTC 8000 /15000 RO/UF C. Viitattu 12.7.2018. http://www.karcher-futuretech.com/futuretech_en/products/Water_Supply_Systems/Water_purification_systems/Reverse_Osmosis_Systems_RO/WTC_8000/13431300.htm.
- /54/ Solar Water Solutions Oy. Kuvaus. Viitattu 12.7.2018. <https://solarwatersolutions.fi/fi/shop/solarro-pro-300/>.
- /55/ Solar Water Solutions Oy. PRODUCTS 2018 – CATALOGUE Viitattu 23.7.2018. <http://solarwatersolutions.fi/wp-content/uploads/2018/07/SolarRO-Product-Catalogue-2018.pdf>
- /56/ Kärcher Futuretech GmbH. WTC 5000 UF. Viitattu 12.7.2018. http://www.karcher-futuretech.com/futuretech_en/products/Water_Supply_Systems/Water_purification_systems/Ultrafiltration_Systems_UF/14301100.htm.

/57/ Ympäristöhallinto. Kaivon tyhjennys ja pesu kannattaa tehdä keväällä. Viitattu 11. 7.2018. [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennushanke/Talotekniset_jarjestelmat_LVI/Vedenhankinta_kaivosta/Kaivon_tyhjennys_ja_pesu_kannattaa_tehda\(44906\)](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennushanke/Talotekniset_jarjestelmat_LVI/Vedenhankinta_kaivosta/Kaivon_tyhjennys_ja_pesu_kannattaa_tehda(44906)).

/58/ Government of Alberta. Protecting Your Well From Contamination. Viitattu 11.7.2018. [https://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/wwg413](https://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/wwg413).

/59/ Isomäki, E., Britschgi, R., Gustafsson, J., Kuusisto, E., Munsterhjelm, K., Santala, E., Suokko, T. & Valve, M. 2007. Yhdyskuntien vedenhankinnan tulevaisuuden vaihtoehdot. Helsinki. Suomen ympäristökeskus. Viitattu 20.7.2018. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38390/SY27_2007_Yhdyskuntien_vedenhankinnan_tulevaisuuden_vaihtoehdot.pdf?sequence=1

/60/ Wang, L., Chen, J., P., Hung, Y.-T. & Shammas, N. 2010. Membrane and Desalination Technologies. Humana Press.

/61/ Britschgi, R. & Gustafsson, J. 1996. Suomen luokitellut pohjavesialueet. Helsinki. Suomen ympäristökeskus.

/62/ Frey, S. 2018. Your inquiry. Email Stefanie.Frey@de.kaercher.com. 8.8.2018. Tulostettu 9.8.2018.

/63/ Ympäristösanakirja EnDic. Suomen ympäristökeskus, Ilmatieteen laitos. Viitattu 28.8.2018. <https://mot.kielikone.fi/mot/indic/netmot.exe?UI=fied>.