



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

SIIRTOVESIJOHDON SUUNNITTELU

TEKIJÄ: Mikko Pajukoski

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Mikko Pajukoski			
Työn nimi Siirtovesijohdon suunnittelu			
Päiväys	10.6.2015	Sivumäärä/Liitteet	47/14
Ohjaaja(t) yliopettaja Pasi Pajula ja lehtori Teemu Räsänen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Vesikolmio Oy/Vesihuoltopäällikkö Petri Rajaniemi			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämä opinnäytetyö on tehty Vesikolmio Oy:lle. Yhtiö vastaa Kalajokilaakson osakaskuntien vesi- ja viemärlaitosten talousveden hankinnasta, jäteveden puhdistamisesta sekä runkojohtojen ja siirtoviemäreiden ylläpidosta. Työn keskeisimpänä tavoitteena oli suunnitella ja mitoittaa siirtovesijohto suunnitteilla olevalta Vanha-Someron vedenottamolta Uusi-Someron vedenkäsittelylaitokselle. Työn tarkoituksena oli myös mitoittaa uuden vedenottamon siiviläputkikaivo sekä tarkastella kasvavien vedenottomäärien vaikutusta vedenkäsittelylaitoksen alkalointikapasiteettiin. Työ liittyy osittain Vesikolmio Oy:n tavoitteeseen parantaa vedenjakeluvarmuutta osakaskuntien alueella.</p> <p>Opinnäytetyössä on aluksi käsitelty pohjaveden muodostumiseen ja laatuun vaikuttavia tekijöitä, jonka jälkeen on kuvattu veden virtauksen liittyviä fysikaalisia ilmiöitä ja kaavoja. Seuraavaksi työssä on esitetty pohjavesialueen erityispiirteet, joissa on kerrottu tiivistetysti pohjavesialueella tehtyjen pohjavesitutkimusten tuloksista. Sen jälkeen työssä on kuvattu suunnittelumenetelmät ja suunnitteluprosessin kulku. Suunnitteluprosessi alkoi maastokatselmuksella, jonka jälkeen luotiin alustavat siirtovesijohtolinjaukset. Kartat ja piirustukset luotiin AutoCAD Map 3D- ja Novapoint Base -suunnitteluohjelmilla. Mitoituslaskelmat ja kustannusarviot laskettiin puolestaan Excel-tilukkolaskentaohjelmalla. Siirtovesijohdon optimilinjau- ja koko valittiin tämän jälkeen ottaen huomioon siirtovesijohdon toiminnallisuus ja sen elinkaaren aikana muodostuvat kokonaiskustannukset.</p> <p>Työn tuloksena siirtovesijohdosta saatiin luotua suunnitelmadokumentit, jotka sisältävät siirtovesijohdon rakentamisessa tarvittavat suunnitelmapiirustukset, piirustukset ja mitoituslaskelmat. Uuden vedenottamon siiviläputkikaivoa ei voitu suunnitella puuttuvien lähtötietojen vuoksi. Tarkkojen maaperätietojen puuttuessa on ennen uuden vedenottamon rakentamista syytä tehdä tarkemmat kaivonpaikkatutkimukset. Uusi-Someron vedenkäsittelylaitoksen alkalointitehoa on mahdollista kasvattaa lisäämällä kalkkikiveä, vaihtamalla se pienempään tai tehostamalla ilmastusta. Näistä kaksi ensimmäistä vaihtoehtoa ovat ensisijaisia keinoja alkalointitehon parantamiseksi. Siirtovesi- ja vedenottamohankkeesta tehtiin lopuksi investointikustannusarvio.</p>			
Avainsanat pohjavesi, hydrodynamiikka, siirtovesijohto, vesijohtoverkot, alkalointi, suunnittelu			

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology	
Author(s) Mikko Pajukoski	
Title of Thesis Planning of Water Transfer Pipeline	
Date 10 June 2015	Pages/Appendices 47/14
Supervisor(s) Mr Pasi Pajula, Principal Lecturer and Mr Teemu Räsänen, Lecturer	
Client Organisation /Partners Vesikolmio Ltd./Mr Petri Rajaniemi, Water Supply Manager	
<p>Abstract</p> <p>This thesis was made for Vesikolmio Ltd. The company is responsible for drinking water purchase, sewage water treatment and the maintenance of main water and sewage pipes in the region of Kalajokilaakso. The main objective of this thesis was to plan and design the water transfer pipeline from the Vanha-Somero area to the Uusi-Somero's water treatment plant. The purpose of this thesis was also to design a new tube well to the Vanha-Somero area as well as to examine how the growing discharge rates effect the water treatment plant's alkalization capacity. The thesis is partly related to Vesikolmio Ltd's. objective to improve water distribution reliability in their region.</p> <p>The first part of the thesis highlights the factors that have an effect on the groundwater formation and quality as well as describes the physical phenomena and formulas of water flow. Finally, special features of groundwater area are introduced through groundwater researches. The second part describes design methods and planning process. The thesis started with a terrain review and after that a preliminary water transfer route was created. All the maps and drawings were created using AutoCAD Map 3D and Novapoint Base modelling programs. The design calculations and cost estimations were calculated using Excel spreadsheet program. After that the optimal water transfer route and size was chosen with paying attention to its functionality and the total life-cycle cost.</p> <p>As a result of this thesis, plan documents that consist of the necessary construction drawings and calculations of water transfer pipeline were created. The new tube well was not planned due to missing initial data. It is recommended to do a specific research for the well location before starting to build a new tube well to get accurate soil data. It also became clear that it is possible to increase water treatment plant alkalization capacity by adding more limestone, changing its grain size or enhancing water aeration. The first of those two are the priority method to increase alkalization. Finally, an investment cost estimation was made for the whole project.</p>	
<p>Keywords groundwater, hydrodynamics, water transfer pipeline, water distribution system, alkalization, planning</p>	

ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö saatiin päätökseen alkukesällä 2015. Haluaisin kiittää työn toimeksiantajaa, Vesikolmio Oy:n vesihuoltopäällikköä Petri Rajaniemeä mielenkiintoisesta opinnäytetyöaiheesta, tärkeistä neuvoista ja hyvästä kesätyöpaikasta. Haluaisin myös kiittää Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksen tarkastajaa Aarne Miettusta opastuksesta ja työn kannalta tärkeistä tiedoista. Erityiskiitokset haluan osoittaa Savonia-ammattikorkeakoulun yliopettajalle Pasi Pajulalle, joka kannusti ja rautalangasta vääntäen opasti minua opinnäytetyön aikana. Haluan myös kiittää perhettäni ja ystäviäni kannustuksesta ja ymmärryksestä opinnäytetyöprosessin aikana.

Nivalassa 10.6.2015

Mikko Pajukoski

1	JOHDANTO	7
1.1	Taustat ja tavoitteet.....	7
1.2	Vesikolmio Oy.....	7
2	POHJAVESIGEOLOGIA	9
2.1	Pohjaveden muodostuminen ja varastoituminen.....	9
2.2	Pohjaveden käyttöönotto.....	11
2.2.1	Pohjavesitutkimukset.....	12
2.2.2	Pohjavesikaivot.....	13
2.3	Pohjaveden laatu ja siihen vaikuttavat tekijät.....	13
3	VEDENSIIRRON HYDRAULIIKKA	16
3.1	Siiviläputkikaivon mitoitus.....	17
3.2	Putkivirtaus ja painehäviöt.....	20
3.3	Raakaveden pumppaus	22
3.4	Kavitaatio ja paineiskut	25
4	UUSI-SOMERON POHJAVESIALUE.....	26
4.1	Pohjavesialueen erityispiirteet.....	26
4.2	Pohjavesitutkimukset ja koepumppaukset.....	27
4.2.1	Vanha-Somero	27
4.2.2	Uusi-Somero.....	28
5	RAAKAVESIKAIVON JA SIIRTOVESIJOHDON SUUNNITTELU	29
5.1	Suunnittelu- ja mitoitusperiaatteet	29
5.2	Maastokatselmus	29
5.3	Raakavesikaivon sijainti ja mitoituslaskelmat.....	31
5.4	Siirtovesijohdon suunnittelu ja mitoituslaskelmat.....	32
5.4.1	Siirtovesijohdon optimikoko	32
5.4.2	Linjausten vertailu.....	33
5.4.3	Suosittelun linjauksen piirustukset ja mitoituslaskelmat	37
5.5	Raakavesipumpun valinta	38
5.6	Kustannusarvio.....	38
6	ALKALOINTILAITOKSEN KAPASITEETIN TARKASTELU.....	39
7	YHTEENVETO.....	42
	LÄHTEET	44

- LIITE 1: YLEISKARTTA MK 1:100 000 (SALATTU)
- LIITE 2: MAAPERÄKARTTA MK 1:20 000 (SALATTU)
- LIITE 3: SIJAINTIKARTTA MK 1:10 000 (SALATTU)
- LIITE 4: RAAKAVESIKAIVON PIIRUSTUKSET MK 1:50 (SALATTU)
- LIITE 5: SIIVILÄPUTKIKAIVON MITOITUSLASKELMAT (SALATTU)
- LIITE 6: SIIRTOVESIJOHDON OPTIMIKOKOLASKELMAT (SALATTU)
- LIITE 7: VEDENKÄSITTELYLAITOKSEN ASEMAPIIRROS MK 1:1000 (SALATTU)
- LIITE 8: SIIRTOVESIJOHDON LINJAUSVAIHTOEHDOT MK 1:10 000 (SALATTU)
- LIITE 9: UUDEN VEDENOTTAMON ASEMAPIIRROS MK 1:1000 (SALATTU)
- LIITE 10: SIIRTOVESIJOHDON PITUUS- JA POIKKILEIKKAUS MK 1:2000/1:250 (SALATTU)
- LIITE 11: SIIRTOVESIJOHDON KOKONAISPAINEHÄVIÖLASKELMAT (SALATTU)
- LIITE 12: SIIRTOVESIJOHDON HYDRAULINEN PROFIILI (SALATTU)
- LIITE 13: SIIRTOVESIJOHDON OMINAISKÄYRÄ (SALATTU)
- LIITE 14: KUSTANNUSARVIO (SALATTU)

1 JOHDANTO

1.1 Taustat ja tavoitteet

Tämä opinnäytetyö on tehty Vesikolmio Oy:lle. Opinnäytetyöaiheen sain tammikuussa 2015. Olen työskennellyt yrityksessä kahtena edellisenä kesänä, jolloin osallistuin pohjavesitutkimuksiin Kalajoella. Kiinnostuin aiheesta koulussa suoritetun vesilaitosten suunnittelu -kurssin ansiosta, joten olin tyytyväinen saadessani juuri tämän opinnäytetyöaiheen.

Vesikolmio Oy:n toiminta-alue laajeni vuoden 2015 alusta lähtien, kun Kalajoen kaupunki päätti yhtenäistää vesihuoltoa. Vesikolmion vastuulle siirtyi entisen Himangan kunnan talousveden hankinta ja jäteveden puhdistaminen. Kalajoen kaupunki luovutti Vesikolmiolle muun muassa Himangan Uusi-Someron pohjavedenottamon raakavesikaivot ja vedenkäsittelylaitoksen.

Työn keskeisimpänä tavoitteena on suunnitella ja mitoittaa siirtovesijohto suunnitteilla olevalta Vanha-Someron vedenottamolta Uusi-Someron vedenkäsittelylaitokselle. Siirtovesijohdosta on tarkoitus luoda sellaiset suunnitelmat ja piirustukset, joilla rakentaminen voidaan aloittaa. Työn tarkoituksena on myös mitoittaa suunnitteilla olevan vedenottamon raakavesikaivo. Alueella on tehty pohjavesitutkimuksia 1990-luvun vaihteessa, joissa on todettu Vanha- ja Uusi-Someron pohjavesien soveltuvan hyvin yhdyskuntien vedenhankintaan. Viime kesien kuivuus ja suuret massatapahtumat ovat kuitenkin aiheuttaneet haasteita talousveden riittävyydelle. Uusi vedenottamo parantaisi talousveden laatua ja määrää entisen Himangan kunnan alueella. Se myös mahdollistaisi raakavesikaivojen pumpauksen vuorottelun sekä helpottaisi kasvavien vedenottomäärien myötä Uusi-Someron vedenkäsittelylaitoksen huollon ilman vedenjakelun häiriintymistä. Kasvavien vedenottomäärien johdosta työssä tarkastellaan myös vedenkäsittelylaitoksen alkalointikapasiteetin riittävyttä.

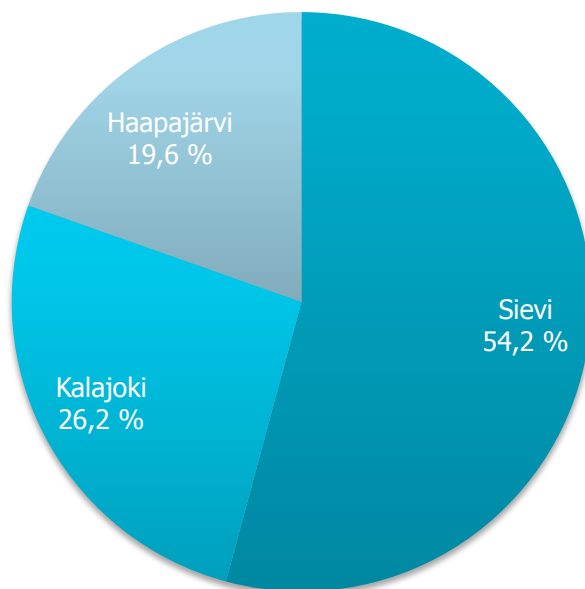
Opinnäytetyön kirjallisuusosuuden pohjavesigeologia-kohdassa käsitellään pohjaveden muodostumiseen, hyödyntämiseen ja laatuun vaikuttavia tekijöitä. Vedensiirron hydraulikka -kohdassa puolestaan tuodaan esille veden virtauksen liittyviä fysikaalisia ilmiöitä sekä mitoituksessa tarvittavia kaavoja. Uusi-Someron pohjavesialue -kohdassa esitellään pohjavesialueen ominaispiirteet pohjavesitutkimusten, karttatarkastelun ja muiden lähteiden avulla. Opinnäytetyön käytännönsuudessa puolestaan esitellään käytetyt suunnittelu- ja mitoitusperiaatteet sekä kuvataan koko suunnittelu-prosessi.

1.2 Vesikolmio Oy

Vesikolmio Oy on Nivalassa Pohjois-Pohjanmaalla sijaitseva tukkuvesiyhtiö, joka vastaa Kalajokilaakson alueen talousveden hankinnasta, jäteveden puhdistamisesta sekä runkovesijohtojen ja siirtoviemäreiden ylläpidosta. Yhtiö toimittaa talousvettä noin 50 000 vedenkäyttäjälle. (Vesikolmio Oy 2014, 6.) Yhtiön tavoitteena on taata laadukkaan talousveden riittävyys alueella, jossa pohjavesivarat ovat jakautuneet epätasaisesti.

Vesikolmio Oy:n osakkaita ovat Kalajoen, Ylivieskan, Nivalan ja Haapajärven kaupungit sekä Sievin ja Alavieskan kunnat. Vesikolmio Oy on aloittanut toimintansa vuonna 1968, jolloin toiminta keskittyi toiminta-alueen raakaveden hankintaan ja talousveden käsittelyyn. Vuodesta 2008 lähtien toimintaan on kuulunut myös jäteveden siirtäminen ja puhdistaminen. Vuodesta 2015 alkaen Vesikolmion vastuulle kuuluu myös entisen Himangan kunnan runkoverkko, vedenottamot ja jätevedenpuhdistamo. (Vesikolmio Oy 2014.)

Tällä hetkellä Vesikolmiolla on yhteensä 15 pohjavedenottamoita, 2 välipumppaamoja, 43 pohjavesikaivoa ja talusvesiverkostoa 324 km. Talusvettä pumpattiin vuonna 2014 yhteensä noin 3,68 miljoonaa kuutiometriä eli noin 10 100 m³/d. Talusvettä pumpattiin puolestaan myyntiin noin 3,56 miljoonaa kuutiometriä. Talusveden veroton tukkuhinta oli 0,35 €/m³. (Vesikolmio Oy 2014.) Yhtiöllä on tällä hetkellä 13 vakituista työntekijää, joista talusvedenhankinnasta vastaa 4 henkilöä. Suurin osa Kalajokilaakson talusvedestä pumpataan verkostoon Sievin pohjavedenottoilta (kuva 1).

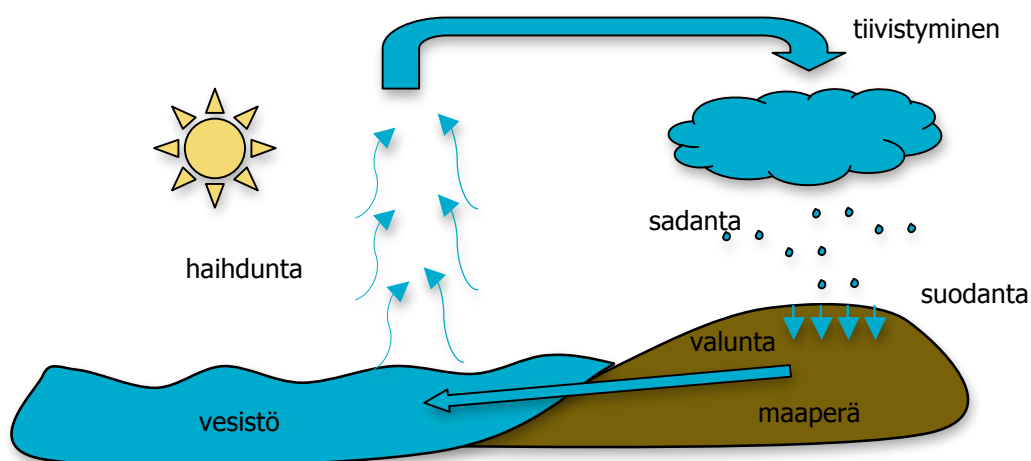


Kuva 1. Pohjaveden pumppaus kunnittain (Vesikolmio Oy 2014, 12)

2 POHJAVESIGEOLOGIA

2.1 Pohjaveden muodostuminen ja varastoituminen

Pohjavettä muodostuu, kun sade- ja sulamisvesiä suotautuu maa- tai kallioperän pohjavesivyöhykkeisiin. Tältä ns. pohjavesivyöhykkeeltä pohjavesi virtaa hitaasti painovoiman vaikutuksesta takaisin kohti vesistöjä, josta se lämmitessään haihtuu takaisin ilmakehään. Lopulta ilmakehässä vesi tiivistyy sadepisaroiksi, jolloin vedenkiertokulku alkaa alusta (kuva 2).



Kuva 2. Vedenkiertokulku

Suomessa sataa keskimäärin vuodessa 500–750 mm, joista lumena 200–250 mm (Airaksinen 1978, 21). Alueesta riippuen sateesta voi suotautua pohjaveteen 5–80 % (Hatva, Lapinlampi ja Vienonen 2008, 24). Kasvillisuus ja vesistöt vähentävät suotautumista, koska ne kummatkin haihduttavat vettä. Suomessa keskimääräinen vuotuinen haihdunta vaihtelee tarkasteltavan alueen sijainnista riippuen 150–450 mm/a (Airaksinen 1978, 21). Kasvillisuuden puute, maaston kaltevuus ja rakennetut alueet puolestaan lisäävät pintavalunnan osuutta, jolloin iso osa sateesta menee pintavaluntana vesistöihin suotautumatta syvempiin maakerrokseen (Airaksinen 1978, 21–23).

Pohjaveden suotautumiseen vaikuttaa mm. vuotuinen sademäärä, haihdunta, sulanta, valunta, maastomuodot, kasvillisuus sekä tärkeimpänä maa- ja kallioperän vedenjohtavuus (Korkka-Niemi ja Salonen 1996, 26). Suurimmillaan pohjaveden muodostuminen on loppusyksystä ja alkukevästä, jolloin syysateet ja kevään sulamisvedet nostavat pohjavedenpintoja. Kesällä ja talvella pohjaveden suotautuminen on huonointa, koska kesällä haihtuminen on suurinta ja talvella puolestaan routa ja pakkanen estää pintavesien suotautumisen. (Korkka-Niemi ja Salonen 1996, 36).

Maan alle suotautunut vesi voidaan tarkemmin jaotella maavedeksi ja pohjavedeksi. Maanpinnan alapuolelta alkavassa maavesivyöhykkeessä maahiukkasten huokostilat ovat osittain veden kyllästämiä, jolloin vesi voi liikkua kaikkiin suuntiin mm. painovoiman, haihtumisen tai kapillaari-ilmion vaikutuksesta. Vajoavan veden kohdatessa pohjaveden yläpinnan, alkaa pohjavesivyöhyke, joka jatkuu vettä läpäisemättömään kerrokseen esim. kalliopintaan asti. Pohjavesivyöhykkeessä maahiukkasten

huokostilat ovat kokonaan veden kyllästämiä, jolloin veden liikkeisiin vaikuttaa pääasiassa painovoima. (Airaksinen 1978, 43–46.)

Maaperän vedenjohtavuudella kuvataan kuinka nopeasti pohjavesi virtaa maaperässä. Virtausnopeuteen vaikuttaa ennen kaikkea maaperän tehokas huokoisuus. Huokoisuudella tarkoitetaan huokostilan ja huokoisen aineen tilavuuden välistä suhdetta. Maa-aineksen raekoko ei itsessään vaikuta maaperän huokoisuuteen, vaan rakeiden muoto, koostumus, lajittuneisuus ja tiivistyneisyys. (Airaksinen 1978, 36–40.) Karkearakeisissa lajittuneissa maalajeissa, kuten sorassa ja karkeassa hiekassa vedenjohtavuus on hyvä. Suuressa huokostilassa veden liikettä ohjaa painovoima, jolloin vesi on ns. vapaata vettä. Harjujen hiekka- ja sorakerrostumissa pohjavettä voikin muodostua n. 50–60 % sadannasta (Hatva ym. 2008, 24). Hienojakoisissa ja tiivistyneissä siltti- ja savimaissa vedenjohtavuus on puolestaan huonointa, koska vesi pidättyy adsorptio- ja kapillaarivoimien avulla huokostilaan. (taulukko 1).

Taulukko 1. Maalajien vedenjohtavuus ja niiden vedenantoisuus (RIL 124-1-2003, 105 & 110)

Maalaji	Raekoko (mm)	Vedenjohtavuus k (m/s)					Vedenantoisuus		
		10^{-2}	10^{-4}	10^{-6}	10^{-8}	10^{-10}	Hyvä	Keskimääräinen	Pieni
Sora	60...2	[Hyvä]					[Hyvä]		
Hiekka	2...0,06	[Keskimääräinen]					[Keskimääräinen]		
Siltti	0,06...0,002	[Pieni]					[Pieni]		
Savi	<0,002	[Pieni]					[Pieni]		

Suomen tärkeimmät pohjavesivarastot sijaitsevatkin karkearakeisissa ja lajittuneissa hiekka- ja sora-harjuissa. Raakaveden hankintaan soveltuvissa pohjavesiesiintymissä, hyvin vettä johtavan pohjavesikerroksen paksuus peruskallion päällä on yleensä vähintään 5–10 m. (Korkka-Niemi ja Salonen 1996, 37–38.) Korkeissa harju- ja reunamuodostelmissa vedenjohtavuus on yleensä erinomainen, jolloin pohjavedenpinta saattaa sijaita todella syvällä (Korkka-Niemi ja Salonen 1996, 56). Pohjavesivaraston suuruuteen vaikuttavat pohjaveden muodostumisalueen laajuus, maaperän vedenjohtavuus sekä tehokas huokoisuus eli vettä johtavien huokosten osuus maa-aineksen kokonaistilavuudesta (Airaksinen 1978, 49).

Pohjaveden muodostumisalueen rajoja reunustavat ympäristöään korkeammalla oleva vedenjakajat, jotka ohjaavat veden valumista alueelta toiselle. Toisaalta myös vesistöt rajaavat pohjavesiesiintymien valuma-alueita. Pohjaveden muodostumisalue käytännössä kuvaa, kuinka paljon sade- ja sulamisvettä voi valua pohjavesivarastoon eli akviferiin. (Korkka-Niemi ja Salonen 1996, 38.) Akviverin ominaisuuksia kuvataan käsitteillä vedenjohtokyky ja varastokerroin. Vedenjohtokyky kuvaa koko pohjavettä johtavan pohjavesikerroksen keskimääräistä vedenjohtavuutta. Se lasketaan kertomalla keskimääräinen vedenjohtavuus vettä johtavan maakerroksen paksuudella. (Airaksinen 1978, 50.) Pohjaveden varastokerroin eli ominaisantoisuus kuvaa taas pohjaveden pinnankorkeuden välistä suhdetta koko akviferin vesitilavuuteen (RIL 124-1-2003, 106). Varastokerroin on yksi tärkeimmistä

indikaattoreista kuvaamaan alueen pohjavesivarjoja sekä soveltuvuutta vedenottamiseen. Käytännössä vedenjohtokyky ja varastokerroin määritellään pohjaveden koepumppausten avulla, jossa verrataan alueen pohjavedenpinnan muutosta pumpatun veden määrään.

2.2 Pohjaveden käyttöönotto

Pohjavedet luokitellaan kemiallisten ja määrällisten ominaisuuksien perusteella hyvään tai huonoon tilaan, sen perusteella kumpi niistä on huonompi (Valtioneuvoston asetus vesienhoidon järjestämisestä annetun asetuksen muuttamisesta 341/2009, 14 §). Ko. asetuksen 14c § mukaan pohjaveden kemiallinen tila luokitellaan hyväksi, jos mm. pilaavan aineen pitoisuus ei aiheuta ympäristöriskiä eikä heikennä pohjavesiesiintymän soveltuvuutta pohjaveden käyttöönotossa. Saman asetuksen 14a § mukaan pohjaveden määrällinen tila luokitellaan hyväksi, jos keskimääräinen vedenottomäärä ei ylitä pohjavesiesiintymässä muodostuvan veden määrää eikä pohjaveden pinnankorkeus jatkuvasti alene ihmistoiminnan vaikutuksesta. (Valtioneuvoston asetus vesienhoidon järjestämisestä annetun asetuksen muuttamisesta 341/2009, 14 §.)

Suomessa ELY-keskus on luokitellut pohjavesialueet sen mukaan miten hyvin ne soveltuvat yhdyskuntien vedenhankintaan. Pohjavesiesiintymien tutkimisella ja luokittelemisella on saatua tietoa mm. pohjavesiesiintymien sijainnista, laajuudesta ja virtaussuunnista (Britschgi, Antikainen, Ekholm-Peltonen, Hyvärinen, Nylander, Siiro ja Suomela 2009, 10). Pohjavesialueet jaotellaan tärkeysjärjestyksen mukaan:

Luokka I	Vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue
Luokka II	Vedenhankintaan soveltuva pohjavesialue
Luokka III	Muu pohjavesialue (Britschgi ym. 2009, 14).

Britschgi ja muut (2009, 14–16) mainitsivat, että I-luokan pohjavesialuetta käytetään tai tullaan käyttämään seuraavien 20–30 vuoden aikana yhdyskuntien vedenhankintaan tai varavedenottoon vesihuollon erityistilanteissa yli 50 ihmisen tarpeisiin tai enemmän kuin keskimäärin 10 m³/d. II-luokan pohjavesialue puolestaan soveltuu pohjavedenhankintaa, mutta niille ei ole toistaiseksi käyttöä yhdyskuntien vedenhankinnassa. III-luokan pohjavesiesiintymät voivat olla hyödyntämiskelpoisia, mutta ne vaativat lisätutkimuksia laadun ja antoisuuden selvittämiseksi.

Kuitenkin uuden voimaan tulleen lakimuutoksen myötä (Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä 1299/2004, 2a) pohjavesialueet tullaan jatkossa rajaamaan ja luokittelemaan seuraavasti:

Luokka 1	Vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue
Luokka 2	Vedenhankintaan soveltuva pohjavesialue
Luokka E	Pohjavesialue joista pintavesi- tai maakekosysteemit ovat suoraan riippuvaisia.

Säädöksen (1299/2004, 10b §) mukaan 1-luokan pohjavesialuetta käytetään tai tullaan käyttämään yhdyskunnan veden hankintaan yli 50 ihmisen tarpeeseen ja enemmän kuin keskimäärin 10 m³/d. 2-luokan kuuluvat ne pohjavesialueet, jotka antoisuuden ja muiden ominaisuuksien puolesta soveltuvat 1-luokkaan. III-luokan pohjavesialueet poistuvat käytöstä, jolloin ne siirretään uudelleen arvioinnin perusteella 1- 2- tai E-luokkaan. E-luokan pohjavesialueita ovat jatkossa alueet, jonka pohjavedestä pintavesi- tai maaekosysteemit (esim. lähteet) ovat suoraan riippuvaisia. Siirtymäsäännösten mukaan ELY-keskusten pitää rajata ja luokitella pohjavesialueet 1.1.2019 mennessä.

2.2.1 Pohjavesitutkimukset

Pohjaveden hyödynnettävyys ja kannattavuus riippuu pääasiassa pohjavesiesiintymän sijainnista, antoisuudesta ja saatavan pohjaveden laadusta. Poikkeavuudet yhdessäkin tekijässä voivat tehdä järvi- tai jokiveden puhdistamisesta kannattavamman vedenhankintavaihtoehdon. Pohjavesiesiintymille on tyypillistä, että ne sijaitsevat usein kaukana asutuskeskuksista, jolloin siirtoetäisyydet voivat kasvaa suuriksi (Airaksinen 1978, 168). Tällöin pohjavesiesiintymän antoisuudella ja laadulla on suuri rooli vedenottohanketta suunniteltaessa.

Pohjavesiesiintymän antoisuudella tarkoitetaan sellaista keskimääräistä pohjavesivirtaamaa, joka alueelta voidaan ottaa yhtäjaksoisesti (Karttunen 1999, 88). Pohjavesiesiintymän antoisuuteen vaikuttaa erityisesti pohjaveteen suotautuvan sadannan osuus, pohjaveden muodostumisalueen laajuus ja maaperän vedenjohtokyky (Pajula 2015). Pohjavesiesiintymän antoisuuden selvittämiseksi täytyy pohjavesialueella suorittaa koepumppaukset, joilla saadaan selvitettyä maaperän vedenjohtavuus- ja varasto-ominaisuudet sekä muut vedenotto- ja vedenjohtamisen suunnitteluun tarvittavat tiedot, kuten maaperätiedot ja vesinäytteiden analyysit (Karttunen 1999, 89). Koepumppaukset on suositeltavaa tehdä kuivimpana vuodenaikana eli talvella tai kesällä, jolloin esiintymästä saadaan selvitettyä ns. vähimmäisantoisuus (Airaksinen 1978, 182). Vasta koepumppauksen jälkeen voidaan aloittaa vedenotto- ja kaivojen suunnittelu.

Koepumppauksessa pohjavettä pumpataan pois pohjaveden muodostusalueelta tietyllä teholla, yhdestä tai useammasta siiviläosalla varustetusta koepumppausputkesta tai siiviläputkikaivosta. Samaa aikaan pohjavedenpinnan muutosta seurataan pohjavesialueelle asennetuista pohjavedenpinnan havaintoputkista niin harjun pituus- kuin poikkisuunnistakin (Karttunen 1999, 92). Lisäksi koepumppausputken pohjavedestä kerätään vesinäytteitä, joilla seurataan vedenlaadun muutoksia koepumppauksen aikana. Liian suuri pumppausaste tai väärä pumppausvyvyys saattavat aiheuttaa huomattavia vedenlaadun muutoksia. Seurannan kohteena ovat erityisesti pohjaveden rauta- ja mangaanipitoisuudet, mutta myös pohjaveden happipitoisuutta, pH:ta ja lämpötilaa tarkkaillaan (Airaksinen 1978, 182). Koepumppaukset kestävät usein parista viikosta useampaan kuukauteen tai niin kauan, että pohjavedenpinnan muutoksia ei enää tapahdu. Koepumppausasteen ja pohjavedenpinnan alenemisesta piirretään tämän jälkeen koepumppauskäyrä, jonka perusteella voidaan ennustaa pohjaveden pinnankorkeudet oikeassa vedenottotilanteessa (Karttunen 1999, 95). Pohjavesitut-

kimusten jälkeen pystytään vasta aloittamaan vedenotto-kaivon suunnittelu. Jos vedenotto-kaivo aiotaan rakentaa koepumppauspaikan ulkopuolelle, sitä ennen on tehtävä vielä ns. kaivonpaikkatutkimukset (Airaksinen 1978, 196), koska paikallisesti pohjaveden laatu ja maaperän ominaisuudet saattavat muuttua paljon. Siitä syystä antoisuus ja vesinäytteet on syytä tarkistaa ennen kaivon suunnittelua.

2.2.2 Pohjavesikaivot

Kaivon tyyppin valinnassa otetaan huomioon vedenotto-keho, pohjavesipinnan etäisyys maanpinnasta sekä maaperän ominaisuudet (Karttunen 1999, 97). Suomessa käytetään tavallisesti kahta kaivotyyppiä: kuilukaivoa ja siiviläputkikaivoa. Kuilukaivo soveltuu rakennettavaksi, kun pohjavedenpinta on lähellä maanpintaa (alle 8 m) ja vedentarve on vähäistä. Siiviläputkikaivot puolestaan soveltuvat, kun pohjavedenpinta on syvällä ja pumpattavat vesimäärät ovat suuria. (Airaksinen 1978, 206.)

Kuilukaivot ovat tavallisesti läpimitaltaan 2–4 m ja ne upotetaan maahan sisältäpäin kaivaen. Kuilukaivon alaosaan sijaitsee suodatinosa, jossa on vähintään kaksi rakeisuudeltaan erilaista suodatinkerrosta (Airaksinen 1978, 198). Kaivoa ei saa upottaa kallioperään asti, vaan suodatinkerroksen alapuolelle pitää jättää vähintään 0,5–1 m, karkearakeinen hyvin vettä johtava kerros (RIL 124-2-2004, 284).

Siiviläputkikaivot ovat tavallisesti läpimitaltaan 200–400 mm ja ne voivat olla kymmenien metrien syvyisiä (Airaksinen 1978, 202). Siiviläputkikaivo koostuu syöpymättömästä siiviläputkesta, jonka alaosa sijaitsee hyvin vettä johtavassa kerroksessa. Siiviläputken alaosaan on pieniä siivilärakoja, joista pohjavesi kulkeutuu siiviläputkeen. Siiviläputkikaivo rakennetaan upottamalla maahan työputki, josta sisäosaan jäänyt maa-aines kaivetaan tyhjäksi. Työputken sisälle asennetaan siiviläputki ja sen ulkopuolinen tila täytetään suodatinsoralla. Lopuksi työputki nostetaan varovaisesti ylös. (RIL 124-2-2004, 286.)

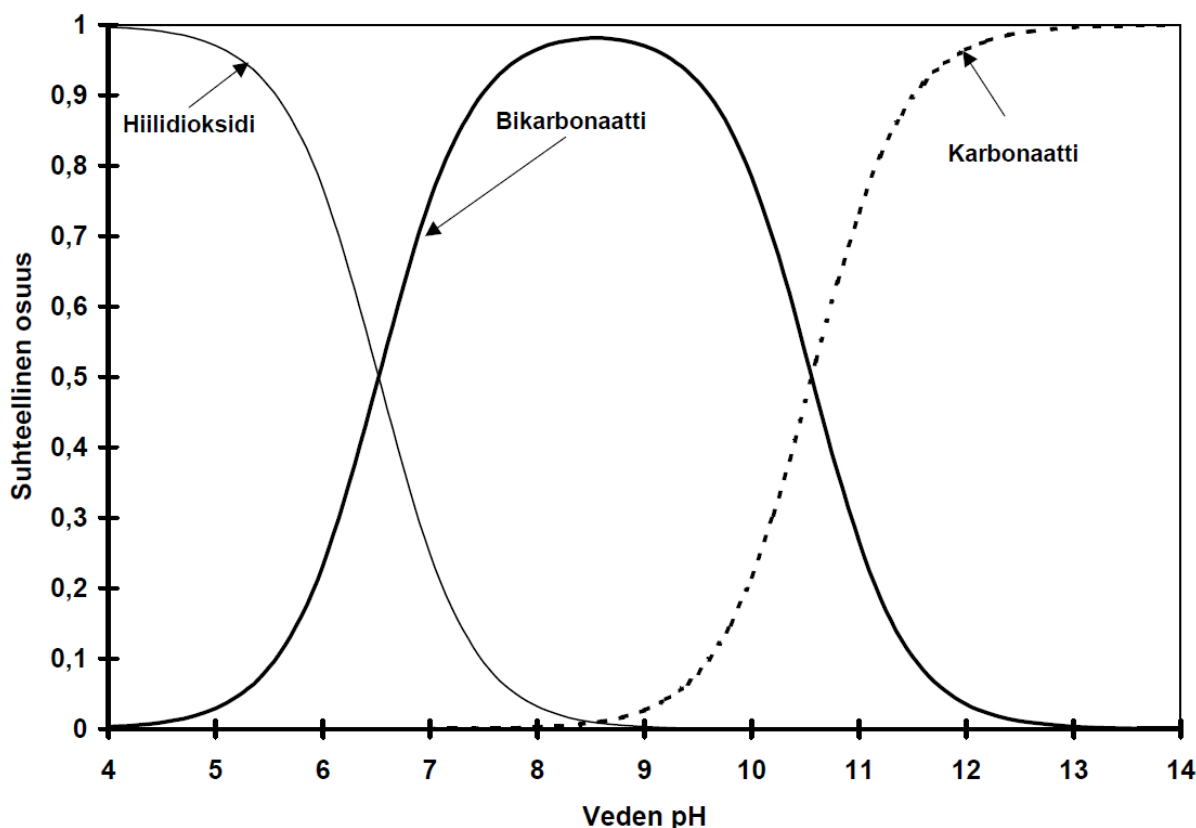
2.3 Pohjaveden laatu ja siihen vaikuttavat tekijät

Tärkein pohjaveden laatuun vaikuttava perustekijä on ilmasto, mutta myös maaperä, läheiset vesistöt ja ihmisen toiminta vaikuttavat siihen (Airaksinen 1978, 168–174). Suomen ilmastossa sadanta on suurempaa kuin haihdunta (Airaksinen 1978, 21). Sadevetten on liuenneena yhdisteitä, jotka reagoiessaan maaperän yhdisteiden kanssa synnyttävät maaperää rapauttavia ja mineraaleja liuottavia hiili- ja suolahappoja. (Korkka-Niemi ja Salonen 1997, 65.)

Maaperän rakenne, huokoisuus ja mineraalikoostumus vaikuttavat pohjaveden leviämiseen ja yhdisteiden liukenemiseen. Esimerkiksi maan pintakerroksen hienorakeinen maa-aines voi pidättää huokosissaan yhdisteitä ja estää näin ollen niiden etenemisen pohjavesivyöhykkeeseen. Toisaalta karkearakeisessa maa-aineksessa yhdisteet leviävät nopeammin, jolloin pohjaveden pilaantuminen voi

tapahtua nopeasti (Korkka-Niemi ja Salonen 1997, 70). Rannikkoalueella voi olla kohonneita pitoisuuksia kloridi- ja natriumpitoisuuksia, jos maaperä on vanhaa merenpohjaa tai merivettä pääsee suotautumaan pohjaveteen (Airaksinen 1978, 173–174). Ihmistoiminnan vaikutuksesta tavallisimpia pohjaveden saastuttajia ovat maahan valuneet jätevedet, öljyhiilivedyt ja raskasmetallit sekä laskeumalla levinneet torjunta-aineet ja teollisuuden aiheuttamat haposateet (Korkka-Niemi ja Salonen 1997, 73).

Pohjavesi on yleensä hyvälaatuista I-luokan pohjavesialueilla, mutta pohjaveden laadussa voi olla alueellisia ja paikallisia eroja. Pohjavesi on Suomessa luontaisesti lievästi hapanta, aggressiivista ja pehmeää. Veden happamuuteen ja aggressiivisuuteen vaikuttaa veden hiilidioksidipitoisuus. Pehmeyteen puolestaan vaikuttaa pääasiassa veden sisältämä kalsiumsuolojen määrä. Vedessä hiilidioksidia voi esiintyä sekä liuenneena vapaana hiilidioksidina (CO_2) että sidottuina bikarbonaateina (HCO_3^-) tai karbonaateina (CO_3^{2-}). Muuttamalla vapaan hiilidioksidin, bikarbonaatin ja bikarbonaatin suhteellista osuutta, voidaan veden pH:ta säätää sopivaksi veden korroosio-ominaisuuksien kannalta (kuvio 1). pH:n säätäminen tapahtuu esimerkiksi lisäämällä veteen emäksistä alkalointikemikaalia tai ilmastamalla (Vesi- ja viemärlaitosyhdistys 2002, 4).



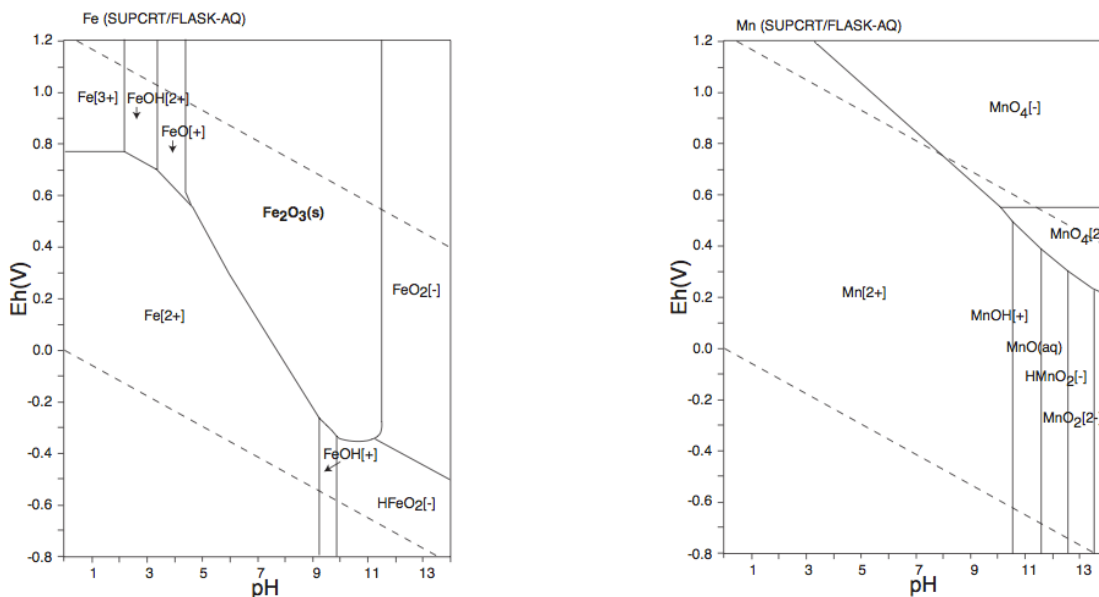
Kuvio 1. Veden pH:n riippuvuus hiilidioksidin, bikarbonaatin ja karbonaatin suhteellisista osuuksista (Vesi- ja viemärlaitosyhdistys 2002, 4).

STM 461/2000 laatusuosituksen mukaan talousvesi ei saa olla syövyttävää ja sen pH:n pitää pysyä 6,5–9,5 välillä. Vesi- ja viemärlaitosyhdistyksen laatusuositukset verkostokorroosion ehkäisemiseksi ovat puolestaan pH >7,5, alkaliteetti >0,6 mmol/l, kalsium >10 mg/l ja korroosioindeksi >1,5. (Vesi-

ja viemäriulaitosyhdistys 2002, 8). Korroosio-indeksi kuvaa veden alkaliteetin suhdetta sen sulfaatti- ja kloridipitoisuuteen.

Suomen pohjavesiesiintymissä on usein suuria rauta- ja mangaanipitoisuuksia. Kaakkois- ja Lounais-Suomen rapakivialueilla laatuongelmia aiheuttavat kohonneet fluoridipitoisuudet. Lisäksi Hämeessä ja Lounais-Suomen saaristossa arseeni voi aiheuttaa ihmisille terveyshaittoja (Isomäki, Valve, Kivimäki ja Lahti 2006, 14).

Raudan ja mangaanin liukeneminen on riippuvainen pohjaveden redox-potentiaalista (hapetus-pelkistys-potentiaalista), happamuudesta ja lämpötilasta. Redox-potentiaaliin vaikuttaa pääasiassa pohjaveden liukaisen hapen määrä, joka laskee sadeveden suotautuessa maanpintakerroksista kohti pohjavesiesiintymää, kun orgaanista ainesta hajottavat aerobiset mikrobit kuluttavat suotoveden liuenutta happea (Airaksinen 1978, 173). Hapettomuus muuttaa maaperässä saostuneessa muodossa olevan kolmiarvoisen raudan kaksiarvoiseksi, jolloin rauta liukenee veteen ja pohjaveteen syntyy maku- ja värivirheitä (RIL 124-1-2003, 257). Tutkimusten mukaan redox-potentiaalin laskiessa alle +230 mV ja pohjaveden muuttuessa happamaksi, rautaa alkaa liukenemaan pohjaveteen (Hattva, Ärölä, Björkell, Pääkkönen ja Efraimsson 1978). Raudan ja mangaanin liukenemistä voidaan arvioida Pourbaix-diagrammien avulla, kun tiedetään veden redox-potentiaali ja pH (kuvio 2). STM 461/2000 laatusuosituksen mukaan veden sisältämän raudan enimmäispitoisuus on 200 µg/l ja mangaanin 50 µg/l.



Kuvio 2. Pourbaix-diagrammit raudalle ja mangaanille (Takeno, 2005). Pohjaveteen liukenee rautaa [Fe] ja mangaania [Mn], kun pH ja redox-potentiaalin leikkauspiste on alueella, jossa rauta tai mangaani ovat kaksiarvoisia [2⁺].

3 VEDENSIIRRON HYDRAULIIKKA

Hydrauliikka tutkii nesteiden ominaisuuksia sekä niiden tasapaino- ja virtaustiloja. Sen tärkeimmät perustat ovat nesteen virtaukseen liittyvät ominaisuudet, joista tärkeimmät ovat viskositeetti ja kokoonpuristumattomuus. Veden viskositeetti eli sisäinen kitka, johtuu nesteen sisäisistä voimista, jolloin vierekkäisten eri nopeuksilla liikkuvien vesimolekyylien välinen kitka aiheuttaa kitkahäviötä. Veden viskositeetti vaihtelee lämpötilan suhteen. Vedellä on hyvin pieni kokoonpuristuvuus, joten paineen vaikutus veden tilavuuteen on vähäinen. Käytännön laskelmissa veden oletetaan usein olevan kokoonpuristumatonta. (RIL 124-1-2003, 121.)

Hydrauliikka voidaan jaotella hydrostatiikkaan, joka tutkii nesteiden ja kaasujen käyttäymistä lepotilassa sekä hydrodynamiikkaan, joka tutkii nesteiden ja kaasujen käyttäytymistä virtaustilassa. Erityisesti hydrodynamiikan teoriolla on suuri merkitys vesijohtoverkoston putkistojen ja pumppaamoiden suunnittelussa. (RIL 124-1-2003, 121.)

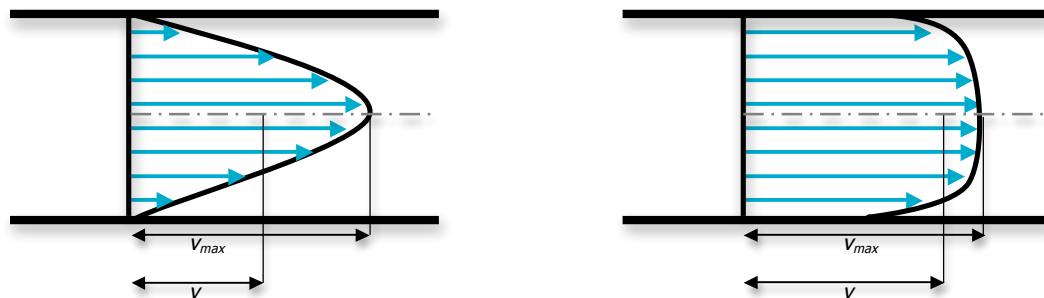
Yksi tärkeimmistä vedenvirtauksen liittyvistä perussuureista on virtaama Q , joka kuvaa virtauspoikkileikkauksen läpi virtaavan vesimäärään tilavuutta aikayksikköä kohden (RIL 124-1-2003, 139):

$$Q = v \cdot A \tag{1}$$

jossa Q = virtaama (m^3/s)
 v = veden keskimääräinen virtausnopeus (m/s)
 A = putken poikkipinta-ala (m^2).

Veden virtaustilaa kuvataan ns. Reynoldsin luvun avulla, joka kertoo onko virtaus laminaarista vai turbulenttista (kuva 3). Laminaarisessa virtauksessa nesteessä on vain päävirtaussuunnan mukaisia nopeusvektoreita eli nestehiukkaset liikkuvat yhdensuuntaisesti. Virtausnopeuden kasvaessa nesteeseen muodostuu päävirtaussuunnasta poikkeavia nopeusvektoreita, jolloin nesteeseen syntyy pyörteitä. Se aiheuttaa nesteen sekoittumista, jolloin nestepartikkelit törmäävät toisiinsa. Nestepartikkelien törmäminen aiheuttaa kitkaa, jolloin syntyy ns. kitkahäviötä (RIL 124-1-2003, 133-136).

Laminaarisessa virtauksessa kitkahäviöiden määrä kasvaa lineaarisesti virtausnopeuden kasvaessa. Turbulenttisessa virtauksessa puolestaan kitkahäviöt kasvavat eksponentiaalisesti. Kitkahäviöiden ehkäisemiseksi virtausnopeus pyritään pitämään putkijärjestelmissä laminaarisena. Käytännössä laminaariehdon toteuttaminen on vaikeaa, koska se saattaa nostaa investointikustannukset kohtuuttomiksi.



Kuva 3. Virtausnopeuden jakaantuminen laminaarisessa ja turbulentsissa virtauksessa. Laminaarisessa virtauksessa putken virtausprofiili on paraboloidinen, koska seinämän adheesiovoimat hidastavat virtausnopeutta. Turbulenttisessa virtauksessa virtausprofiili on tylppä, koska nesteessä on päävirtaussuunnasta poikkeavia virtaussuuntia, jotka aiheuttavat virtausnopeutta hidastavia pyörteitä putken keskelle. (RIL 124-1-2003, 133.)

Virtausnopeuden kasvu ei kuitenkaan yksiselitteisesti määrittele virtauslajia, vaan siihen vaikuttaa myös nesteen viskositeetti sekä putken ominaisuudet (halkaisija, muoto ja karheus). Virtauslaji voidaan määrittellä ns. laaduttoman Reynoldsin luvun (R_e -luku) avulla (RIL 124-1-2003, 133):

$$R_e = \frac{v \cdot d}{\mu}, \quad (2)$$

jossa v = veden keskimääräinen nopeus (m/s)

d = putken sisähalkaisija (m)

μ = veden kinemaattinen viskositeetti = $1,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ($t = 5,5 \text{ }^\circ\text{C}$).

Laminaarisen ja turbulentsin virtauksen raja-arvona pidetään $R_{ek} = 2300$ (RIL 124-1-2003, 133). Virtauslajin vaihtuminen toiseen ei kuitenkaan ole yksiselitteinen, koska muutosvyöhyke voi tutkimusten mukaan vaihdella olosuhteista riippuen $1230 < R_e < 39560$ välillä (Kanda 2007, 2).

3.1 Siiviläputkikaivon mitoitus

Siiviläputkikaivon suunnittelun lähtökohtana on, että pohjavesikaivosta on edullista pumpata vettä, vedessä ei ole hienojakoista maa-ainesta, kaivolla on matalat ylläpito- ja huoltokustannukset sekä pitkä käyttöikä (Delleur 2010, 19–4). Optimaalisen siiviläputkikaivon mitoittamiseksi tarvitaankin vähintään seuraavat lähtötiedot:

- mitoitusvirtaama
- maaperän laatu (rakeisuuskäyrät ja kerrosrakenne)
- pohjaveden pinnankorkeuden vaihtelut tietyillä pumppausteholla
- veden laatu eri kerroksissa (Kinnunen 2005, 30).

Kun edellä mainitut tiedot on saatu selvitettyä koepumppausten ja kaivonpaikkatutkimusten avulla, voidaan aloittaa kaivon suunnittelu. Siiviläputkikaivon mitoitus etenee pääpiirteittäin seuraavasti:

1. porausläpimitan määrittäminen
2. suodatinkerrosten valinta
3. siiviläputken ja siivilärakojen läpimitan määrittäminen

Suodatinkerroksen minimiulkohalkaisija eli porausläpimita D_p voidaan määrittää kaavalla (RIL 124-2-2004, 286):

$$D_p = \frac{280 \cdot Q}{\pi \cdot L \cdot d_{10}}, \quad (3)$$

jossa D_p = suodatinkerroksen ulkohalkaisija (m)
 Q = kaivon arvioitu tuotto (m³/s)
 L = siiviläosan pituus (m)
 d_{10} = maaperän tehokas raekoko (m).

Siiviläosan pituus L valitaan kaivon syvyyden ja pohjaveden pinnankorkeuden mukaan. Siiviläosan yläosan pitää olla koko ajan pohjaveden pinnan alapuolella, koska ajoittainen kuivuminen tukkisi siiviläosan. (RIL 124-2-2004, 286.) Maaperän tehokas raekoko d_{10} kuvaa raekokoa seulontakäyrän 10 % kohdalla. Porausläpimita muodostuu siiviläputken sisäläpimitasta ja seinämän vahvudesta sekä suodatinkerrosten paksuudesta.

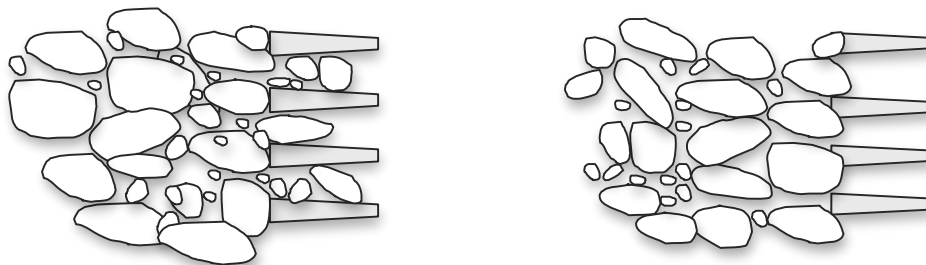
Siiviläputkikaivoja suunniteltaessa veden virtausnopeuden on oltava laminaarista suodatinkerroksen ja siivilärakojen läpi virratessa, koska liian suuri virtausnopeus saattaa irrottaa hienojakoista maainesta ja tukkia siiviläraot (AWWA 2003, 59). Liian suuri virtausnopeus kasvattaa myös kitkahäviöitä, jotka puolestaan lisäävät pumppauskustannuksia. Virtausnopeuden tuleekin pysyä suodatinkerroksessa ja siiviläraoissa 0,03–0,06 m/s välillä (Bloetscher, Muniz ja Largey 2007, 138). Seuraavan kaavan avulla voidaan tarkistaa suodatinkerroksen ja siiviläputken rajapinnan laminaarisuusehdon täytyminen (RIL 124-2-2004, 286):

$$V_f = \frac{R_e \cdot \mu}{d_s \cdot 10^{-3}}, \quad (4)$$

jossa V_f = virtausnopeus suodatinkerroksen ja siiviläraon rajapinnalla (m/s)
 R_e = Reynoldsin luku <10
 μ = kinemaattinen viskositeetti = $1,5 \cdot 10^{-6}$ m²/s ($t = 5,5$ °C)
 d_s = suodatinkerroksen keskimääräinen raekoko (mm).

Siivilärakojen yhteenlasketun pinta-alan tulisi olla 10–30 % koko siiviläosan pinta-alasta (Nielsen 1991, 309). Hyvälaatuisessakin kaivossa arviolta 40 % siiviläraon pinta-alasta tukkeutuu rakeiden

vaikutuksesta, kun taas heikkolaatuisemmassa kaivossa lukema voi olla yli 50 %. Todellisuudessa siis tehokasta pinta-alaa on puolet vähemmän kuin mitä siiviläraot muodostavat. (Delleur 2007, 19–17.) Tehollista pinta-alaa voidaan säätää kasvattamalla siivilärakojen pituutta tai paksuutta (AWWA 2003, 59). Kuvassa 4 on esitetty kuvat huonosti ja hyvin kehittyneestä kaivon siiviläraoista.



Kuva 4. Ensimmäisessä kuvassa siiviläraot ovat tukkeutuneet, koska suodatinkerros on ollut liian ohut tai suodatinpora on ollut liian pientä. Jälkimmäisessä kuvassa kaivo on kehittynyt hyvin, jolloin siiviläraot ovat pysyneet puhtaina ja kaivon antoisuus on pysynyt hyvänä.

Suodatinkerrosten suodatinmateriaali valitaan ympäröivän maakerroksen raekoostumuksen perusteella ja niiden perusteella päätetään tarvitaanko yksi tai useampi suodatinkerros. Suodatinmateriaali valitaan maa-aineksen seulontakäyrän 80–50 % kohdalta siten, että tiiviissä maassa käytetään suurempia arvoja (RIL 124-2-2004, 287). Tämän jälkeen maaperän keskimääräinen raekoko d_{80-50} kerrotaan ns. suodinkertoimella 4–5. Määritetty luku ilmaisee uloimman suodatinkerroksen ns. keskimääräisen raekoon d_s (Pajula 2014, 2). Siiviläputkien rakojen leveys valitaan suodatinmateriaalin pienimmän raekoon eli tehokkaan raekoon mukaan siten, että rakojen leveys on 50 % suodatinmateriaalin pienimmästä raekoosta (Pajula 2014, 3). Vaihtoehtoisesti suodatinkerros voidaan muodostaa perusmaasta huuhtelemalla, jolloin kaivosta pumpataan vettä suurella virtaamalla. Tällöin maa-aineksen hienoaines kulkeutuu kaivoon, josta se voidaan pumpata pois työmaapumpuilla. (Pajula 2015.)

Myös siiviläputken läpimitan määrittämisessä on otettava huomioon virtauksen laminaarisuus. Veden virratessa jatkoputkessa virtausnopeuden pitää pysyä 1,0–1,5 m/s välillä, jotta kitkahäviöt eivät nouse liian isoiksi (Delleur 2007, 9–4). Siiviläputken sisälle asennetaan uppopumppu pohjavedenpinnan alapuolelle, jolloin pumpun ja siiviläputken sisäreunan väliin on jätävä riittävästi tilaa veden virtaukselle ja pumpun asentamiselle. (Pajula 2014, 4.) Siiviläputken sisähalkaisijan D_s tulee olla 50–100 mm suurempi kuin pumpun halkaisija (RIL 124-2-2004, 287). Taulukossa 2 on esitetty uppopumppujen tavallisimmat läpimitat.

Taulukko 2. Tavallisimpien uppopumppujen suurin läpimitta ja niiden tuotto (Karttunen 1999, 102)

Pumpun tuotto (m ³ /h)	Suurin läpimitta (mm)
10	140
10 - 30	190
30 - 200	240

Siiviläputken minimisisäläpimitta D_s saadaan määritettyä kaavalla (Pajula 2014, 4):

$$D_s = \frac{\left(\frac{Q}{v_f}\right)}{\pi \cdot L}, \quad (5)$$

jossa Q = kaivon tuotto (m^3/s)
 v_f = virtausnopeus suodatinkerroksen ja siiviläraon rajapinnalla (m/s)
 L = siiviläosan pituus (m).

Käytännössä sisäläpimitta valitaan pumpun ja virtaustilan yhteenlasketun läpimitan perusteella, josta valitaan seuraava saatavilla oleva standardikoko.

3.2 Putkivirtaus ja painehäviöt

Veden virratessa painejohdossa syntyy energiahäviöitä, koska veden viskositeetti aiheuttaa kitkaa eri nopeudella liikkuvien vesikerrosten välillä. Suurimman energiahäviön muodostavat painejohdossa nämä ns. kitkahäviöt, mutta varsinkin pumppaamojen suunnittelussa korostuvat myös ns. paikallishäviöt. Siirtovesijohdon suunnittelussa pyritäänkin pitämään energiahäviöt niin alhaisina kuin se on sekä taloudellisesti että toiminnan kannalta mahdollista. (RIL 124-1-2003, 140.)

Kitkahäviöiden suuruuteen vaikuttavat virtaavan veden ominaisuudet, kuten viskositeetti ja keskimääräinen virtausnopeus sekä putken ominaisuudet, kuten pituus ja putken sisäpinnan karheus (RIL 124-1-2003, 140). Veden maksimivirtausnopeuden pitäisi painejohdossa pysyä 0,6–1,2 m/s välillä, etteivät kitkahäviöt kasvaisi liian suuriksi (RIL 237-2-2010, 29). Putkistoissa virtauslaji on lähes poikkeuksetta turbulenttista, jolloin virtausnopeuden kasvaessa kaksinkertaiseksi kitkahäviöt nelinkertaistuvat (Pajula 2015). Kitkahäviöiden laskemiseksi on kehitetty useita kaavoja, joista putkivirtauksille käytetään tavallisesti Darcy-Weisbachin ja Hazen-Williamsin -yhtälöitä sekä avouomavirtauksille Manningin-yhtälöä (RIL 124-1-2003, 140–142).

Yleinen kitkahäviökaava eli Darcy-Weisbachin yhtälö (RIL 124-1-2003, 140):

$$H_f = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (6)$$

jossa H_f = kitkahäviö (mvp)
 f = kitkahäviökerroin (laaduton luku)
 L = putken pituus (m)
 d = putken sisähalkaisija (m)
 v = veden keskimääräinen nopeus (m/s)
 g = putoamiskiihtyvyyys ($9,81 \text{ m}/\text{s}^2$).

Darcy-Weisbachin yhtälössä putkimateriaalin ominaisuuksia kuvaa kitkakerroin f , joka voidaan ratkaista usealla eri yhtälöllä. Laminaarisessa virtauksessa f -kertoimen saadaan ratkaistua seuraavalla yhtälöllä (RIL 124-1-2003, 140):

$$f = \frac{64}{Re}. \quad (7)$$

Turbulenttisessa virtauksessa f -kertoimen määrittäminen on vaikeampaa, koska se riippuu Re -luvusta ja putken karheudesta. f -kertoimen ratkaisemiseksi on kehitetty useita yhtälöitä, mutta niiden monimutkaisuuden vuoksi käytännön sovelluksissa on mielekkäämpää käyttää nomogrammeja f -kertoimen selvittämiseksi. (RIL 124-1-2004, 140–142.)

Hazen-Williamsin yhtälö on ehkä yleisin kaava kitkahäviöiden laskemiseksi. Yhtälö on puolikokeellisesti kehitetty, joten siinä ei laadut täsmää totutulla tavalla. Se soveltuu vain läpimitaltaan yli 50 mm putkille ja alle 3,0 m/s virtausnopeuksille. Hazen-Williamsin kertoimen C arvot vaihtelevat n. 60–140 välillä siten, että pienet arvot tarkoittavat vanhaa karkeaa putkeaa valurautaputkea ja suuret arvot tarkoittavat uutta sileää muoviputkea (taulukko 3).

Hazen-Williams -yhtälö:

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot d^{2,63} \cdot \left(\frac{H_f}{L}\right)^{0,54} \leftrightarrow H_f = \left(\frac{Q}{0,278 \cdot C \cdot d^{2,63}}\right)^{\frac{1}{0,54}} \cdot L, \quad (8)$$

jossa Q = mitoitusvirtaama (m³/s)
 C = Hazen-Williamsin kerroin (laaduton luku)
 d = putken sisähalkaisija (m)
 H_f = kitkahäviö (mvp)
 L = putken pituus (m). (RIL 237-2-2010, 36).

Taulukko 3. Hazen-Williamsin kertoimien C-arvoja (RIL 124-1-2003, 145)

Putken materiaali	C -arvo
Muovi	150 - 140
Asbesti-sementti	140 - 80
Valurauta	130 - 64
Teräs	120 - 110

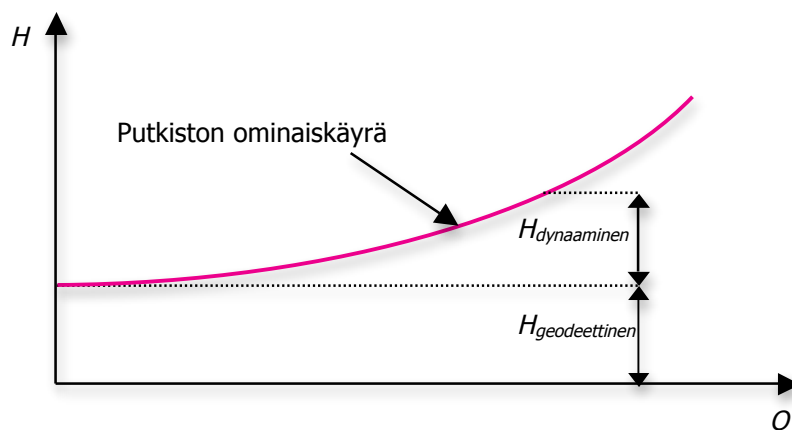
Paikallishäviöihin puolestaan vaikuttavat putken muodonmuutokset ja virtauslaji. Putken liitokset, kulmat, haarakohdat ja toimilaitteet aiheuttavat putkistoon turbulenssia, jonka suuruus on riippuvainen virtausnopeudesta. (RIL 124-1-2003, 151–158.) Paikallishäviökaavat ovat tavallisesti muotoa (RIL 124-1-2003, 151):

$$H_p = \xi \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}, \quad (9)$$

jossa H_p = paikallisvastus (mvp)
 v = veden virtausnopeus (m/s)
 ξ = vastuskerroin (laaduton luku).

Vastuskertoimen suuruus on riippuvainen putken muodonmuutoksesta ja virtauslajista, joten sen arvo valitaan erillistä taulukoista (RIL 124-1-2003, 151–158). Tämän jälkeen kokonaispainehäviö saadaan laskettua summaamalla jokainen paikallishäviö ja lisäämällä se kitkahäviöön.

Kun putken kokonaispainehäviöt on saatu laskettua eri virtaamilla, putkesta voidaan piirtää ns. putkiston ominaiskäyrä, jossa on esitetty kokonaispainehäviöt virtaaman eri funktiona. Putkiston ominaiskäyrä koostuu muuttumattomasta staattisesta nostokorkeudesta eli ns. geodeettisesta nostokorkeudesta ja muuttuvasta dynaamisesta nostokorkeudesta, joka koostuu kitka- ja paikallishäviöistä (kuvio 3). Sen avulla pystytään määrittelemään järjestelemään optimaalinen pumppu.



Kuvio 3. Putkiston ominaiskäyrä Sarvannea ja Borgia mukaillen. Y-akselilla on esitetty painehäviö H ja x-akselilla putkiston virtaama Q . Kuvaajan mukaan putkiston kokonaispainehäviö on riippuvainen virtaamaan aiheuttamasta dynaamisesta painehäviöstä sekä maaston muodostamasta geodeettisesta nostokorkeudesta. (Sarvanne ja Borg 1984, 39.)

3.3 Raakaveden pumppaus

Pumpun tarkoituksena on siirtää pumpun tuottama mekaaninen energia veden liike- ja paineenergiaksi. Pumput voidaan luokitella toimintaperiaatteen mukaan useampiin ryhmiin, joista vesihuollon kannalta tärkeimmän muodostavat ns. keskipakopumput. Sen toiminta perustuu keskipakovoimaan, jossa juoksupyörillä lisätään veden kokonaisenergian määrää (RIL 124-2-2004, 27). Pumppukammion sisällä pyörivä juoksupyörä pakottaa veden pumppukammion ulkokehälle, jolloin veden syöksyessä ulkokehälle, pumppukammion keskelle virtaa lisää vettä kehittyneen alipaineen johdosta. Näin pumppu kehittää jatkuvan ja tasaisen virtauksen, jolla pystytään siirtämään vettä pumpun tehosta riippuen tiettyyn korkeuteen asti (RIL 124-1-2003, 182).

Raakavesipumpun valinta alkaa arvioimalla painejohdon virtaama ja vaadittava nostokorkeus. Kokonaisnostokorkeus muodostuu geodeettisesta ja dynaamisesta nostokorkeudesta sekä halutusta purkupaineesta. (Grundfos 2015, 28.) Pumpun valinnassa on otettava myös huomioon energiatehokkuus, asennus ja pumpun ohjaustapa.

Pumpun geodeettinen nostokorkeus muodostuu pumpun imukorkeuden ja nostotason välisestä etäisyydestä. Dynaamiseen nostokorkeuteen vaikuttaa pohjavesipumppauksessa putkiston virtaus- ja paikallishäviöt sekä pohjaveden pinnankorkeuden vaihtelut. Pumpun kokonaisnostokorkeus H muodostuu siis:

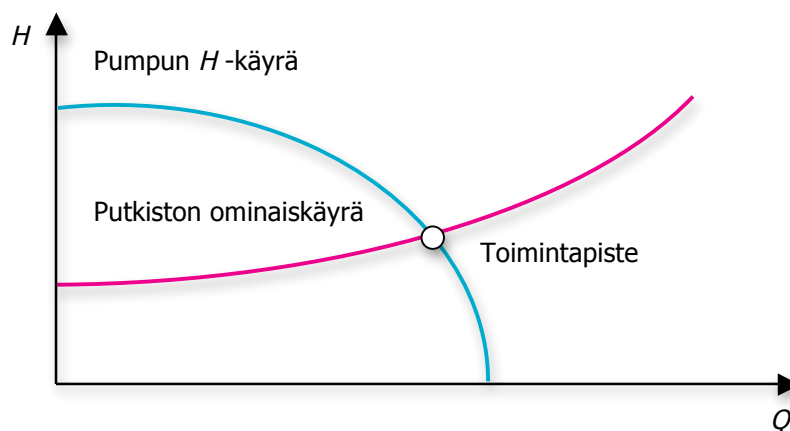
$$H = H_{geodeettinen} + H_{dynaaminen} + H_{purku}, \quad (10)$$

jossa $H_{geodeettinen}$ = geodeettinen nostokorkeus (mvp)

$H_{dynaaminen}$ = dynaaminen nostokorkeus (mvp)

H_{purku} = purkupaine (mvp).

Virtaaman lisääminen kasvattaa virtaus- ja paikallishäviöitä, jolloin pumpun nostokorkeus pienenee. Virtaaman Q ja kokonaisnostokorkeuden H välistä suhdetta kuvataankin ns. Q/H -pumppukäyrällä (kuvio 4). Siinä kohtaa missä Q/H -pumppukäyrä ja painejohdon vastuskäyrä risteävät on pumpun ns. toimintapiste (RIL 124-1-2003, 186). Optimaalista pumppua valittaessa pitää ottaa huomioon myös muut pumpun ominaiskäyrät, joihin kuuluu mm. hyötysuhdekäyrä η ja tehontarvekäyrä E (RIL 124-2-2004, 29). Pumput yleensä ylimitoitetaan järjestelmän toiminnan varmistamiseksi, mutta haittapuolena on suurempi energiankulutus. Alimitoitettu pumppu puolestaan voidaan joutua vaihtamaan, virtaaman jäädessä odotettua heikommaksi. Pumput pyritäänkin valitsemaan niin, että niiden käyttö on mahdollisimman energiatehokasta.



Kuvio 4. Pumpun toimintapiste sijaitsee pumpun H -käyrän ja putkiston ominaiskäyrän leikkauspisteessä

Pumpun vaatimaa tehoa P voidaan arvioida seuraavalla kaavalla, kun tiedetään pumpun tuotto ja kokonaisnostokorkeus:

$$P = \frac{q \cdot H}{102 \cdot \eta}, \quad (11)$$

jossa q = pumpun tuotto (m^3/s)
 H = kokonaisnostokorkeus (mvp)
 η = pumpun hyötysuhde (n. 60–80 %).

Eryisesti raakavesipumppujen asennuksessa tulee huomioida imuputken pituus. Pohjaveden pinnankorkeuden vaihtelun vuoksi raakaveden pumppaamisessa suositetaan uppupumppuja, joiden pumppukammio pysyy koko ajan veden alla. (RIL 124-2-2004, 324.)

Pumpun toimintapistettä voidaan säätää usealla ohjaustavalla, joista yleisimpiä ovat pumpun kierrosnopeudenohjaus taajuusmuuttajalla, pumpun on/off -ohjaus yhdellä tai useammalla pumpulla, juoksupyörien lisääminen sekä painepuolen venttiilin kuristus. Jokainen näistä kuitenkin muuttaa pumpun alkuperäistä hyötysuhdetta, joten niiden soveltuvuutta on tarkasteltava järjestelmäkohtaisesti.

Taajuusmuuttaja soveltuu parhaiten sellaiseen järjestelmään, jossa nostokorkeus muodostuu dynaamisista häviöistä (Pulli 2009, 199). Taajuusmuuttaja säätää pumpun pyörimisnopeutta paineen tai säiliön pinnankorkeuden mukaan, jolloin järjestelmää voidaan ajaa vaihtelevilla virtaamilla (RIL 124-1-2003, 188). On/off -ohjauksessa pumppua säädetään paineen tai säiliön pinnankorkeuden mukaan. Pumpulle on annettu käynnistys- ja pysäytysrajat, joiden ylittyessä pumppu käynnistyy tai sammuu. On/off -ohjauksessa menetetään kuitenkin energiaa, koska pumpun käyntiaika lyhenee ja pumppu joutuu jatkuvasti kiihdyttämään vesimassoja putkistossa. Tällöin joudutaan yleensä käyttämään tehokkaampaa pumppua. Suositeltavaa onkin mitoittaa pumppu pienemmälle ja tasaisemmalle virtaamalle ja asentaa kaksi pumppua rinnakkain (Pulli 2009, 197). Rinnakkain asennettulla pumpulla järjestelmän tuottoa saadaan kasvatettua nostokorkeuden kuitenkin pysyessä samalla tasolla (RIL 124-1-2003, 189). Pumpun juoksupyöriä lisäämällä tai vaihtamalla voidaan pumpun nostokorkeutta kasvattaa. Se soveltuukin hyvin vanhojen pumppujen tai ikääntyneen verkoston toiminnan parantamiseen. (RIL 124-2-2004, 29.) Painepuolen venttiilin sulkeminen kasvattaa paineputken kokonaisnostokorkeutta, minkä seurauksena pumpun tuotto alenee. Venttiilin kuristustamisella hukataan kuitenkin paljon energiaa, joten sen käyttö tulee kysymykseen vain, jos vedenkäytön tarve ei vastaa suunnitteluarvoja. (Pulli 2009, 199.)

3.4 Kavitaatio ja paineiskut

Kavitaatiota kehittyy veden paineen laskiessa yhtäkkiä alle höyrystymispaineen. Tällöin vesi muuttaa olomuotoaan nesteestä kaasuksi. Kaasuntuessa veden tilavuus kasvaa moninkertaiseksi, jolloin paineen taas ylittäessä höyrystymispaineen höyrykuplat romahtavat kasaan. Höyrykuplien romahtaessa iskeytymisnopeus voi nousta jopa 100 m/s, jolloin syntyvä paikallinen paineisku saattaa vaurioittaa materiaalia. (Pulli 2009, 26.)

Kavitaatiota voi muodostua pumpuissa, putkissa ja venttiileissä höyrönpaineen laskiessa. Pumpuissa liian alhainen tulopaine voi aiheuttaa höyrönpaineen laskun juoksupyörissä, jolloin kavitointi voi vahingoittaa pumppua. Putkissa kavitaatiota voi muodostua vesipatsaan katketessa pumpun käynnistyessä tai sammuaessa sekä venttiilin sulkeutuessa. (RIL 168-1986, 15.) Tällöin virtaamatilassa tapahtuvat muutokset voivat aiheuttaa vesipatsaiden törmäämisen, jolloin voi syntyä vahingollinen paineisku.

Paineisku on erityisen vahingollista putkistolle ja sen varusteille silloin, kun ali- tai ylipaine ylittää niiden painekestävyyden. Tällöin ali- tai ylipaine voi pahimmassa tapauksessa rikkoa putken. Alipaineessa putkeen saattaa imeytyä ympäristöstä likaa huonokuntoisten liitosten tai putkiin syntyneiden reikien kautta, jolloin paineisku voi aiheuttaa vedenkäyttäjille terveydellisen riskin. Paineiskujen ehkäisemiseksi siirtovesijohdon suunnittelussa onkin syytä tunnistaa ja ottaa huomioon ne toiminnalliset ja rakenteelliset tekijät, joilla voi olla vaikutusta näiden muodostumiselle.

Tavallisimpia toiminnallisia syitä paineiskujen muodostumiseen ovat aiemmin mainitut sähkökatkon aiheuttama pumpun pysähtyminen sekä venttiilien liian nopea avautuminen ja sulkeutuminen. Lisäksi tyhjän linjan nopea täyttäminen voi puolestaan aiheuttaa putkistoon liian suuria virtausnopeuksia, koska alkuvaiheessa nostokorkeus ja painehäviöt on hyvin matalia. (Pulli 2009, 37.) Rakenteellisia syitä ovat mm. väärin asennetut toimilaitteet ja paineaaltoja tasaavan ylävesisäiliön puuttuminen. Myös liian pieni paineviivan ja linjaprofiilin etäisyys voi aiheuttaa muuttuvissa virtaustilanteissa ali- tai ylipainetta. (Pulli 2009, 39–40.)

4 UUSI-SOMERON POHJAVESIALUE

4.1 Pohjavesialueen erityispiirteet

Uusi-Someron pohjavesialue (1031553) sijaitsee maakunnallisesti arvokkaalla harjualueella (liite 1 ja 2). Se on osa rantavoimien muokkaama luode-kaakko suuntaista pitkittäisharjujaksoa, joka koostuu kolmesta peräkkäisestä laajentumasta: Uusi-Somerosta, Vanha-Somerosta ja Vähä-Somerosta. Laajentumien päälle ja reunoille on muodostunut kookkaita rantavalleja sekä paikoitellen myös dyynivalleja. (Ramboll Finland Oy 2010, 75.) Harjun ydinosa koostuu hyvin lajittuneesta hiekasta ja sorasta. Pohjaveden päävirtaussuunta kulkee kaakosta luoteeseen ja pohjavettä purkautuu suoalueille alueen luoteisosasta. Pohjavesialueen eteläosa kuuluu Heinistönojan valuma-alueeseen, mutta suurin osa pohjavedenmuodostumisalueesta kuuluu Himanganjoen valuma-alueeseen (77,8 km²) (Maanmittauslaitos 2015). Pohjavesialueen kokonaispinta-ala on 4,04 km² ja muodostumisalueen pinta-ala on 2,14 km². Alueen imeytymiskertoimella 0,4 pohjavettä on arvioitu muodostuvan n. 1300 m³/d. (Valpola, Rankonen, Lyytikäinen, Laxström, Auri, Koivisto, Antikainen, Hyry, Breilin ja Rämetsä 2000.) Alueella sijaitsee Vesikolmion omistama, vuonna 2008 rakennettu Uusi-Someron vedenottamo, jolla on vedenottolupa 700 m³/d vuorokausivirtaamalle.

Maanmittauslaitoksen kartta-aineiston perusteella pohjavesialue sijaitsee Svekofennisellä liuskekivi-vyöhykkeellä ja kallioperä koostuu granodioriitista. Pohjavesialueella ei tietyvästi ole tehty kallioperäkairauksia, mutta pohjavesialueelta n. 3,5 km kaakkoon, Vesikodanlammella, Geologian tutkimuskeskus on tehnyt kairauksia vuosina 1966 ja 2008. Kallioperä on siellä alkanut n. 8,1–12,7 m syvyydeltä. (Maanmittauslaitos 2015.) Uusi-Someron pohjavesialueen pohjamaa koostuu suurimmaksi osaksi luokittelemattomasta karkealajitteisista maa-aineksista (liite 2). Paikoitellen pohjamaa on pohjavesialueen reunoilla paksujen turvekerrosten peittämä. Pintamaa on enimmäkseen pohjaveden muodostumisalueella luokittelemattomia karkealajitteisia maa-aineksia, ainoastaan alueen reunoilla voi esiintyä pintamaissa ohuita turvekerroksia (Geologian tutkimuskeskus 2015). Maanpinnan korkeus laskee luodetta kohti mentäessä, jolloin pohjavesialueen itäosassa n. +55,0 m mpy ja luoteisosassa matalimmillaan n. +42,5 m mpy. (Maanmittauslaitos 2015.)

Uusi-Someron pohjaveden muodostumisalueen pinta-alasta suurin osa on metsämaata. Valtaosa metsämaasta koostuu kuivahkosta ja kuivasta mäntykankaasta. Paikoitellen muodostumisalueella on myös kitumaata. Pohjavesialueen reunoja ympäröivät kitumaat ovat karukkokankaita, jotka koostuvat ojitetuista soista. Vanha-Someron ympäristössä voi olla paikoitellen louhikkoa. (Maanmittauslaitos 2015.) Pohjavesialueella sijaitsee 2 soranottamo, joiden kunnostustarve on vähäinen (Valpola ym. 2000). Koilliosassa sijaitseva Pitkäjärven vesistö on osittain pohjavesialueella. Sen rannalle on rakennettu loma-asuntoja, leirikeskus ja uimaranta, mutta ne eivät kuulu pohjavesialueeseen. Pitkäjärvestä saattaa imeytyä harjuun humuspitoista pintavettä (Kylmänen, Hertteli, Tikkanen & Laitinen, 2013, 145). Pitkäjärveltä lähtee myös luontoreittejä, jotka kulkevat pohjavesialueen halki. Pohjavesialueelle on rakennettu vain muutama luokittelematon rakennus. Alue koostuu useista pitkistä ja kapeista metsälohkoista. (Maanmittauslaitos 2015.) Pohjavesialueen kaakkoisosaan on suunnitteilla

Mutkalammen tuulivoimapuisto. Lähin tuulivoimala saatetaan rakentaa vain n. 30 m päähän pohjavesialueen reunasta. (Kylmänen ym. 2013, 147.)

Pohjavesialueen välittömässä läheisyydessä ei ole luonnonsuojelualueita. Lähin Natura 2000 -alue sijaitsee n. 9 km kaakkoon (Jäkäläneva FI1000008). Pohjavesialueen pohjoiskärjessä sijaitsee pronssikautinen Someronkankaan muinaisjäännös sekä itäosassa Kivikankaan muinaisjäännösalue. (Maanmittauslaitos 2015.)

4.2 Pohjavesitutkimukset ja koepumppaukset

Uusi-Someron pohjavesialueella on tehty kaksi pohjavesitutkimusta 90-luvun vaihteessa, joissa tutkittiin Vanha-Someron ja Uusi-Someron alueiden pohjaveden laatua ja antoisuutta. Sitä ennen Kokkolan vesi- ja ympäristöpiiri teki yhteistyössä Himangan kunnan kanssa alustavia pohjavesiselvityksiä, joiden perusteella valittiin koepumppauspaikat.

4.2.1 Vanha-Somero

Vanha-Somerossa Maa- ja Vesi Oy suoritti koepumppaukset 15.8–14.9.1989 välillä. Alueelta pumpattiin vettä keskimäärin 1300 m³/d havaintoputken 5 läheisyyteen asennetuista 6 imuputkesta (liite 3). Antoisuuspumppaukset tehtiin imuputkista siiviläsyvyyksillä 6–7 m ja 5–6 m. (Maa- ja Vesi Oy 1989.) Maaperä koostui 0,0–2,0 välillä hiekasta (Hk) ja 2,0–7,0 välillä hienosta sorasta (HSr) (Miettunen 2015a). Koepumppausvesi johdettiin läheisen Teerinevan kuivatusoisiin. Koepumppauksen vaikutuksia seurattiin alueelle asennetuista 12 havaintoputkesta. Lähimmällä havaintoputkella 5 pohjaveden pinta laski selvästi (0,66 m). Seuraavaksi lähimmillä havaintoputkilla pohjaveden pinnankorkeus laski 0,25–0,40 m. Kauemmilla havaintoputkilla alenema oli vain muutamia senttejä. Pohjaveden palautuminen oli kaikilla havaintoputkilla hidasta, mutta se saattoi johtua vähäsateisesta keväästä ja kevästä. Pohjaveden laadun selvittämiseksi koepumppauksen aikana otettiin vesinäytteet 4 kertaa. (Maa- ja Vesi Oy 1989.)

Vesinäyteanalyysien perusteella pohjaveden laadusta voidaan koepumppauspisteessä 5 todeta mm. seuraavaa:

- Veden väri kasvoi 5 → 10 Pt/l siiviläsyvyyttä nostamalla,
- permanganaattiluku laski 12,5 → 8,5 mg/l siiviläsyvyyttä nostamalla,
- pohjavesi on lähes hapetonta (0,2–0,3 mg/l),
- rautapitoisuus kasvoi pumppauksen aikana pitoisuuteen 0,6 mg/l, jolloin siiviläsyvyyttä nostamalla ja pumppaustehoa laskemalla rautapitoisuus aleni tasolle 0,4 mg/l,
- mangaanipitoisuus pysyi erittäin alhaisena ja muuttumattomana (<0,01 mg/l),
- vapaan hiilidioksidin osuus (26 mg/l) oli koko ajan korkea,
- pH (5,7–5,9) ja alkaliteetti (0,15 mmol/l) pysyivät alhaisena. (Maa- ja Vesi Oy 1989.)

Verrattaessa vesinäyteanalyysin tuloksia talousvedelle asetettuihin laatuvaatimuksiin ja -suosituksiin (STM 461/2000), voidaan todeta raudan ja pH:n ylittävän laatusuosituksen. Veden väri pysyi koko ajan alle laatusuosituksen ylärajan. Permanganaattiluku oli korkea, mutta se pysyi alle laatusuosituksen ylärajan. Permanganaattiluku kuvaa kuinka paljon maaperässä on happea kuluttavaa orgaanista ainesta esimerkiksi humusta. Se voisi osittain selittää alhaisen pohjaveden happipitoisuuden. Pohjaveden vähähappisuus voi johtua myös pintamaan hapettomista hienoaineskerroksista.

Vertaamalla vesinäyteanalyysin tuloksia raudan ja mangaanin Pourbaix-diagrammeihin (kuvio 2), voidaan todeta redox-potentiaalin vaikuttavan raudan liukenemiseen, mutta ei mangaanin liukenemiseen. Toisin sanoen pohjaveden rautapitoisuus saattaa kasvaa pohjavettä pumpattaessa, mutta mangaanin liukenemistä ei pitäisi tapahtua.

Vanha-Someron koepumppausraportin perusteella alueelta on saatavissa pohjavettä 1080–1150 m³/d (Maa- ja Vesi Oy 1989). Pyrittäessä raudattomaan ja hyvälaatuiseen pohjaveteen antoisuuden on arvioitu olevan n. 700 m³/d (Länsi-Suomen Vesioikeus 1992).

4.2.2 Uusi-Somero

Uusi-Somerossa Kokkolan vesi- ja ympäristöpiiri suoritti koepumppaukset tammi-toukokuussa vuonna 1990. Alueelta pumpattiin vettä keskimäärin 895 m³/d havaintoputken 43 läheisyyteen asennetuista 4 imuputkesta (liite 3). Uusi-Someron koepumppausraportin perusteella alueelta on saatavissa pohjavettä 800–900 m³/d ja raudattomana n. 700 m³/d. Tällöin Vanha-Someron antoisuuden on arvioitu laskevan 600–700 m³/d. (Kokkolan vesi- ja ympäristöpiiri 1990.)

Uusi-Someron koepumppauksen aikana on seurattu alueelle syntyviä ympäristövaikauksia, jonka mukaan pohjavedenotolla ei ole vaikutusta läheisen Pitkäjärvi-vesistön vesipintaan. Raportin mukaan järven vesipinta on ollut koko koepumppauksen ajan korkeammalla kuin pohjavedenpinta harjussa sekä harjun ja järven välisellä alueella. (Kokkolan vesi- ja ympäristöpiiri 1990.) Kuitenkin Länsi-Suomen Vesioikeuden tekemän katselmuksen mukaan Pitkäjärven lounaisosan ja harjun välillä on hyvin vettä johtava sorakerros, jolla voi olla pohjavettä pumpattaessa vaikutusta järveen valuvien pohja- ja pintavesien määrään (Länsi-Suomen Vesioikeus 1992).

Tällä hetkessä Uusi-Somerossa on 3 raakavesikaivoa, joista pumpataan maksimissaan 700 m³/d vettä viereiselle vedenkäsittelylaitokselle. Sieltä vesi siirtyy alkaloimisen ja UV-desinfiointin jälkeen kohti Himangan alavesisäiliötä.

5 RAAKAVESIKAIVON JA SIIRTOVESIJOHDON SUUNNITTELU

5.1 Suunnittelu- ja mitoitusperiaatteet

Suunnittelun lähtötietoina käytettiin Uusi-Someron pohjavesialueen koepumppausraportteja, Mutkalammin tuulipuiston YVA -asiakirjoja sekä Uusi-Someron vedenkäsittelylaitoksen suunnitteluasiakirjoja. Siirtovesijohdon suunnittelun tukena käytettiin pääasiassa RIL 124 Vesihuolto 1 ja 2 -teoksia sekä Martti Pullin Virtaustekniikka-oppikirjaa.

Kartta-aineistoina käytettiin Maanmittauslaitoksen avoimien aineistojen tiedostopalvelusta sekä Suomen ympäristökeskuksen LAPIO -latauspalvelusta ladattuja taustakartta-, ortoilmakuva-, laserkeilaus- ja paikkatietoaineistoja. Taustakartta- ja paikkatietoaineistot yhdistettiin ja käsiteltiin AutoCAD Map 3D -paikkatieto-ohjelmalla. Laserkeilausaineistot purettiin ja suodatettiin LASzip-pakkausohjelmalla, jonka jälkeen tiedosto muunnettiin neliöverkoksi Novapoint Base -suunnitteluohjelmalla. Siirtovesijohdon linjauksen pituus- ja poikkileikkaukset mallinnettiin puolestaan Novapoint Water & Sewer -suunnitteluohjelmalla. Kaikki mitoituslaskelmat ja taulukot tehtiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla.

Siirtovesijohdon linjauksen suunnittelussa huomioitiin suunnittelualueen maasto (maa- ja kallioperä, pohjaveden pinnankorkeus, maastonmuodot, vesistöt) ja rakennettu ympäristö (kiinteistörajat, tiet, rakennukset sekä sähkö- ja vesijohtolinjat). Mitoituslaskelmissa otettiin huomioon sekä olemassa olevien putkirakenteiden että rakennettavan siirtovesijohdon putkimateriaalit ja muut varusteet (mm. sulkuventtiilit, mutkat ja virtaamamittarit). Putken asennussyvyyden ja kaivannon suunnittelussa huomioitiin maaperän koostumus, routa ja pohjavesi.

Siirtovesijohdosta laadittiin tämän jälkeen suunnitelmadokumentit, joissa on esitetty siirtovesijohdon linjausvaihtoehdot ja optimikoko, suositeltu linjaus sekä siihen liittyvät piirustukset ja mitoituslaskelmat. Näiden tietojen perusteella saatiin laadittua lähtötiedot raakavesipumpun tarjouspyyntöä varten sekä hankkeen alustava investointikustannusarvio.

5.2 Maastokatselmus

Kävin tutustumassa Vanha-Someron koepumppauspaikkaan maaliskuun alussa. Se sijaitsee n. 1 km pohjoiseen Uusi-Someron vedenkäsittelylaitokselta. Koepumppauspaikka sijaitsee kuivalla mäntykanakaalla, jossa kasvoi mäntyjä varsin harvassa. Näin ollen alueelta ei tarvitse kaataa paljon puita siirtovesilinjaa rakennettaessa (kuva 5).



Kuva 5. Vanha-Someron koepumppauspaikka

Vanha-Someron koepumppausalueelta kohti Uusi-Someron vedenkäsittelylaitosta maasto nousee hieman. Siirtovesilinja voidaan suunnitella kulkemaan vedenkäsittelylaitokselle johtavaa metsäautotietä pitkin, jolloin vältetään liialliselta puiden hakkuulta. Alueelta on jo jonkun verran hakattu metsää, joten hakkuuaukeita on järkevää hyödyntää linjausta suunniteltaessa. Koepumppausalueen metsätilojen rajoja sekä pienempiä piennarteita voidaan myös hyödyntää suunnittelussa. Teiden alituksia ei todennäköisesti tarvitse tehdä yhtään. Alueella on paikoittain louhikkoa, johon on syytä varautua kaivantoa tehdessä.

Uusi-Someron vedenkäsittelylaitoksen läheisyydessä on edelleen hyvin nähtävissä mihin laitokselta lähtevä 160 PEH-10- runkovesijohto on kaivettu: alueella näkyy selvä hakkuuaukko ja maanpinta on vieläkin hiekan peitossa. Uusi siirtovesilinja onkin järkevä rakentaa kulkemaan saman suuntaisesti riittäväällä etäisyydellä runkovesilinjaa pitkin (kuva 6).



Kuva 6. Uusi-Someron hakkuuaukea, johon lähtevä runkovesijohto on kaivettu.

Vedenkäsittelylaitoksen pihassa uusi siirtovesilinja tulee kulkemaan runkovesijohdon ja laitoksen pihassa olevien raakavesikaivojen siirtovesijohtojen välistä. Suunnittelussa onkin huomioitava erityisesti laitoksen edessä kulkevat sähkökaapelit ja vesijohdot. Sähkölaitoksen pitääkin tulla näyttämään sähkökaapeleiden sijainnit ennen kaivuutöiden aloittamista. Kaikki siirtovesilinjat yhtyvät vedenkäsittelylaitoksen pihassa samaan prosessiputkeen, josta vesi johdetaan laitoksen sisälle. Tämä liitoskoh- ta voi aiheuttaa ongelmia, koska uuden siirtovesijohdon liitos joudutaan tekemään ahtaaseen väliin.

5.3 Raakavesikaivon sijainti ja mitoituslaskelmat

Raakavesikaivo on tarkoitus rakentaa Vanha-Someron koepumppauspaikalle pisteeseen 5 (liite 3). Koepumppausraporttien perusteella Vanha-Someron ja Uusi-Someron välillä on hydraulinen yhteys, joten Uusi-Someron pohjavedenottoilla voi olla vaikutusta Vanha-Someron pohjavedenpinnan korkeuksiin ja kokonaisantoisuuteen. Sen lisäksi on havaittu, että Uusi-Someron raakavesikaivojen antoisuudet eivät ole vastanneet odotuksia, joten myös Vanha-Somerossa on syytä varautua samaan. Suositeltavaa olisikin tehdä uudet koepumppaukset Vanha-Somerossa ennen kaivon rakentamista.

Tästä syystä Vanha-Someron raakavesikaivo mitoitetaan alustavasti pienemmälle vesimäärälle, jotta vedenlaatu pysyisi hyvänä. Vanha-Someron koepumppauspaikan 5 muodostumisalueen on arvioitu olevan n. 0,35 km², jolloin sen todellinen antoisuus on lähempänä 300–350 m³/d (Miettunen, 2015b). Raakavesikaivo on tarkoitus rakentaa siiviläputkikaivona, jolloin siiviläputkikaivon siivilätaso ulotetaan siihen syvyyteen, jossa koepumppaus on suoritettu tai jota koepumppauksen tutkimuksen suorittaja suosittelee. Jos siivilätasoa päätetään nostaa tai laskea, niin vastuu vedenlaadusta kuuluu

päätöksen tekijälle. Pohjaveden laatu ja antoisuus voivat muuttua jo muutamien metrien matkalla, joten siivilätaso on varminta asentaa koepumppausvyöteen (liite 4).

Siiviläputkikaivon mitoituskalkelmia ei voi vielä tässä vaiheessa tehdä, koska koepumppausraporttien perusteella kaikkia suunnittelun lähtötietoja ei ole saatavilla. Suodatinkerrosten suunnittelussa sekä siivilärakojen koon määrittämisessä tarvitaan maaperänäytteiden seulontakäyriä, joiden perusteella voidaan tehdä siiviläputkikaivon mitoituskalkelmat. Tämän jälkeen mitoituskalkelmat voitaisiin tehdä liitteen 5 avulla.

Tässä tapauksessa, kun tutkimustulokset ovat puutteellisia tulisi välttää tarkempaa suunnittelua siiviläputkikaivon ja siirtovesijohdon osalta ja toimia seuraavasti:

1. tehdä perusteellinen kaivonpaikkatutkimus tai
2. ulkoistaa tutkimukset ja kaivon mitoituskalkelmat urakoitsijalle ja
3. rakentaa koepumppauksen perusteella pelkkä siiviläputkikaivo koepumppauspaikalle ja tehdä loput investoinnit myöhemmin.

5.4 Siirtovesijohdon suunnittelu ja mitoituskalkelmat

5.4.1 Siirtovesijohdon optimikoko

Siirtovesijohdon optimikoko määritettiin taloudellisin ja teknisin perustein. Siirtovesijohdon tärkein tehtävä on siirtää vesi määränpäähänsä mahdollisimman edullisesti, kuitenkin putken toiminnallisuus huomioon ottaen. Näin ollen siirtovesijohdon suunniteltuna käyttöaikana syntyvät kokonaiskustannukset määrittävät siirtovesijohdon optimikoon. Kokonaiskustannukset koostuivat pääoma- ja energiakustannuksista.

Pääomakustannukset laskettiin annuiteettiperiaatteella putken hankintakustannuksista. Hankintahintaan otettiin mukaan vain putken materiaalikustannukset, koska rakennuskustannusten oletettiin olevan lähes samat kaikilla putkiko'illa. Pääomakustannukset laskettiin seuraavalla kaavalla:

$$K_p = \frac{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^n \cdot p}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^{-n} \cdot L \cdot kp} \quad (12)$$

jossa K_p = pääomakustannukset (€)
 p = korkoprosentti (%)
 n = kuoletusaika (a)
 L = putken pituus (m)
 kp = putken yksikköhinta (€/m).

Vedenpumppaaminen kuluttaa aina energiaa, joten oikealla putkikoolla voidaan vaikuttaa paihehäviöiden muodostumiseen. Pumpun kokonaisnostokorkeus muodostui geodeettisesta nostokorkeudesta ja putkistossa kehittyvistä kitkahäviöistä. Kitkahäviöt laskettiin kaavan 8 avulla (Hazen-Williamsin yhtälö). Pumppauksesta aiheutuvat vuotuiset energiakustannukset laskettiin kaavalla (RIL 124-1-2003, 186):

$$K_e = 365 \cdot Q_{kesk} \cdot \frac{H \cdot 367}{\eta} \cdot e \quad (13)$$

jossa K_e = energiakustannukset (€/a)
 Q_{kesk} = keskimääräinen vuorokautinen virtaama (m³/d)
 H = pumpun kokonaisnostokorkeus (mvp)
 η = pumpun kokonaishyötysuhde (%)
 e = sähkön hinta (€/kWh).

Tämän jälkeen pääoma- ja energiakustannukset laskettiin yhteen, jolloin saatiin selvitettyä siirtovesijohdon toiminta-aikana kertyvät vuotuiset kokonaiskustannukset. Liitteen 6 avulla on vertailtu eri putkikokojen kokonaiskustannuksia, jonka perusteella on saatu määritettyä siirtovesijohdon optimikoko.

5.4.2 Linjausten vertailu

Siirtovesijohdon linjaukset piirrettiin Vanha-Someron raakavesikaivolta Uusi-Someron vedenkäsittelylaitokselle tulevaan 140 PEH-10-linjaan asti (liite 7). Siirtovesijohdon kokonaispainehäviöt ja -kustannukset mallinnettiin kolmea eri reittiä pitkin (linjaus 1, 2, ja 3) ja kolmella eri putkikoolla (110 PEH-10, 140 PEH-10 ja 160 PEH-10). Linjausvaihtoehdot on esitetty liitteessä 8. Siirtovesijohdon mitoituksen lähtötiedot on puolestaan esitetty seuraavassa:

Siirtovesijohdon mitoituksen lähtötiedot

- Keskimääräinen vuorokausivirtaama Q_{dkesk} :	400 m ³ /h
- Maksimituntivirtaama Q_{hmax} :	35 m ³ /h
- Siirtovesijohdon alin korkeus NW :	+43,25 mpy
- Siirtovesijohdon ylin korkeus HW :	+49,46 mpy
- Geodeettinen nostokorkeus H_{geod} :	6,21 mvp
- Putkimateriaali:	PEH-10
- Hazen-Williams kerroin, C :	140
- Hintatiedot:	kts. liite 6
- Korkoprosentti p :	5 %
- Velan kuoletusaika n :	40 a
- Sähkön hinta e :	0,08 €/kWh
- Pumpun kokonaishyötysuhde η :	60 %

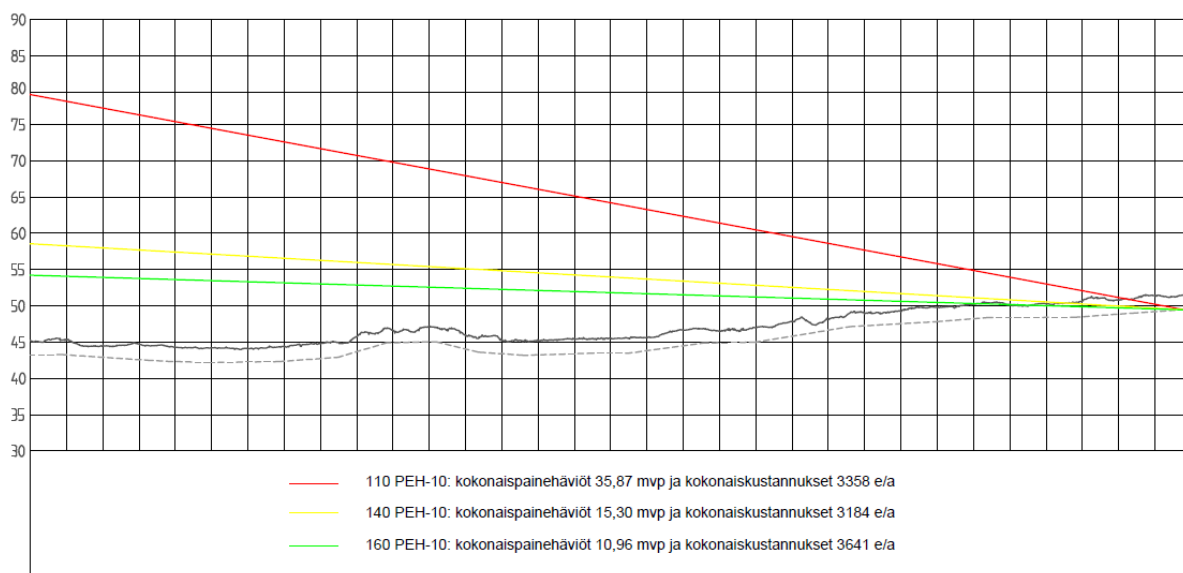
Siirtovesijohto mallinnettiin tilanteessa, jossa vain Vanha-Somerosta pumpataan vettä vedenkäsittelylaitokselle. Keskivuorokausivirtaamana käytettiin $Q_{d_{kesk}} = 400 \text{ m}^3/\text{d}$, joka on vesimäärää, jota Vanha-Somerosta on tarkoitus tulevaisuudessa pumpata. Maksimituntivirtaamana käytettiin $Q_{h_{max}} = 35 \text{ m}^3/\text{h}$, joka laskettiin Uusi-Someron kahden alkuperäisen raakavesikaivon maksimivuorokausi- ($700 \text{ m}^3/\text{d}$) ja maksimituntivirtaaman ($2 \cdot 30 \text{ m}^3/\text{h}$) välisestä suhteesta. Maksimituntivirtaamasta tuli yllätteen sama mikä on alkalointilaitoksen kapasiteetti. Maksimituntivirtaamalla pumpattaessa vuorokautinen pumppausaika on hieman alle 7 h. Siirtovesijohto mallinnettiin purkautumaan ilmanpaineeseen. Geodeettinen nostokorkeus muodostui putken alimmasta korkeudesta (+43,25 mpy) ja 140 PEH-10-putken korkeudesta alkalointilaitoksen edessä (+49,46 mpy).

Putkimateriaalina mallinnuksessa käytettiin PEH-10-putkea ja hintoina putkivalmistajan kuvaston yksikköhintoja (Pipelife Finland Oy 2014). Uuden siirtovesijohdon lainan korkona käytettiin 5 % ja velan kuoletusaikana 40 vuotta (RIL 237-2-2010, 139). Sähkönhintana käytettiin varsin varovaista arviota 0,08 €/kWh, joka sisältää sähkönkäyttö- ja sähkönsiirtomaksut. Pumpun hyötysuhteena on käytetty kokonaishyötysuhdetta 60 %, jossa on huomioitu pumpun ja moottorin hyötysuhteet.

Kokonaispainehäviöiden laskemisessa ei otettu huomioon paikallishäviöitä, koska niiden jäädessä hyvin pieniksi, niillä ei olisi ollut käytännön merkitystä linjausta valittaessa. Mallinnuksessa ei myöskään otettu huomioon raakavesikaivossa ja alkalointilaitoksen prosessiputkissa kehittyviä painehäviöitä, koska ne ovat yhtä suuret jokaisessa tapauksessa.

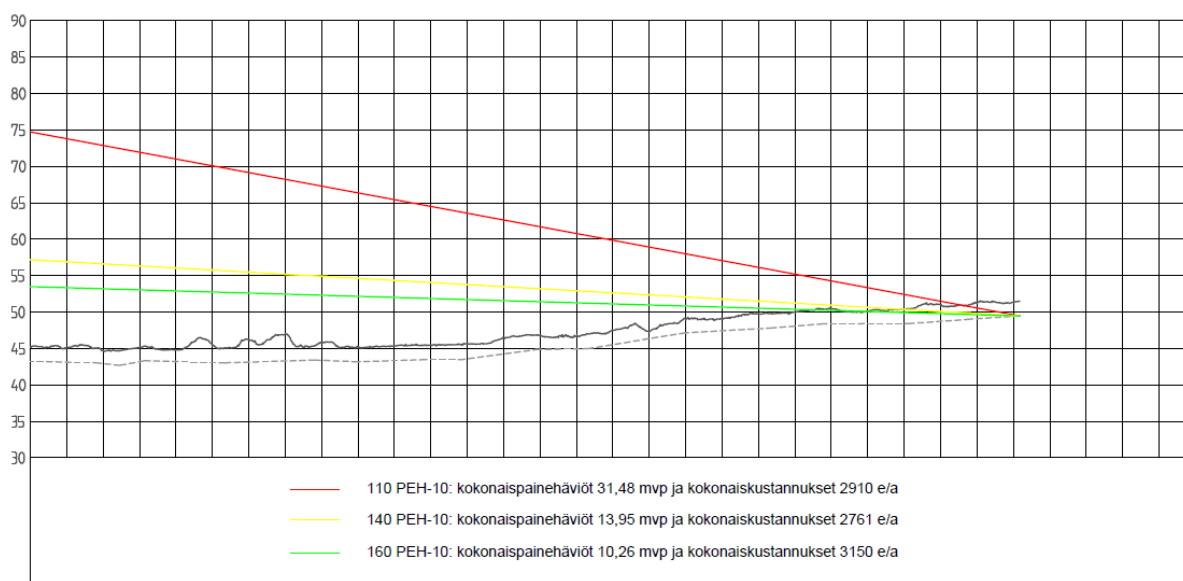
Tämän jälkeen mitoitusvirtaamien perusteella laskettiin siirtovesijohdossa kehittyvät kokonaispainehäviöt sekä sen toiminta-aikana muodostuvat vuotuiset kokonaiskustannukset. Kokonaispainehäviöt piirrettiin tämän jälkeen ns. paineviivoina linjausten pituusleikkauskuviin.

Linjaus 1 on kaikista pisin (kuvio 5). Linjauksen 1 pituus on 1591 m ja putken kokonaispituus 1600 m. Linjaus 1 kulkee lähes koko matkan paikallista metsäautotietä pitkin, joten siihen on hyvät huoltoyhteydet. Alkalointilaitoksen läheisyydessä linjaus kulkee aiemmin kaivetun 160 PEH-10-linjan vierestä. 110 PEH-10 putken lähtöpaineen pitäisi olla n. 36 mvp, jotta vesi saataisiin purkautumaan ilmanpaineeseen Uusi-Somerossa. Suuremmalla 140 PEH-10-putkella kokonaispainehäviöt ovat n. 15 mvp eli yli 20 mvp pienemmät kuin 110 PEH-10-putkella. 160 PEH-10-putkella kokonaispainehäviöt ovat n. 11 mvp.



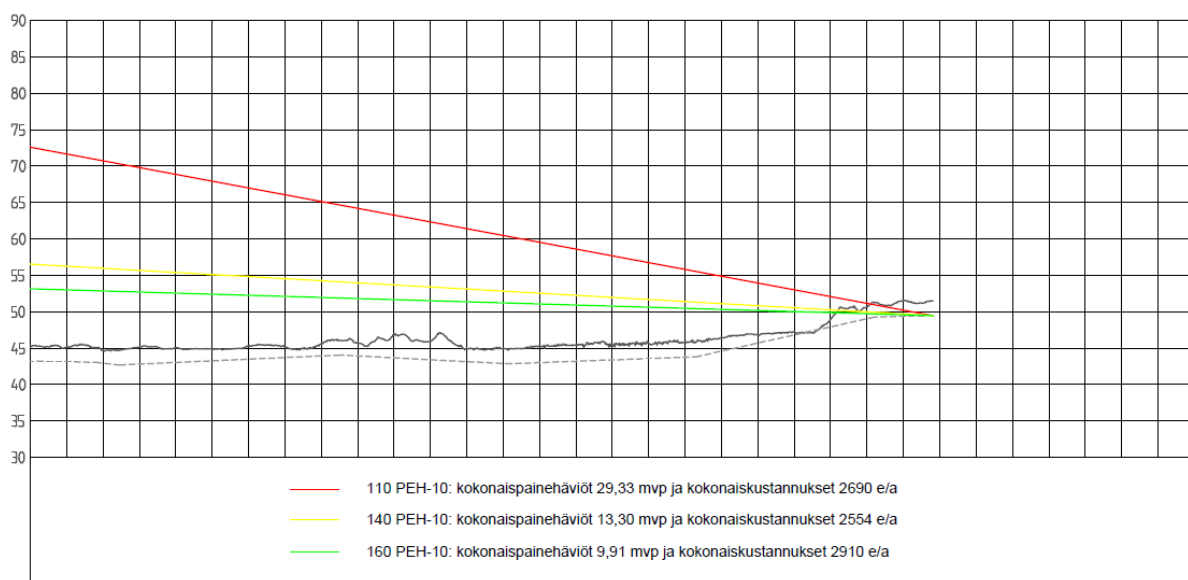
Kuvio 5. Linjaus 1 on kaikista pisin ja kokonaiskustannuksiltaan kallein, mutta sillä on parhaimmat huoltoyhteydet.

Linjaus 2 on n. 200 m lyhyempi kuin 1. linjausvaihtoehto (kuvio 6). Linjauksen 2 pituus on n. 1359 m ja putken kokonaispituus n. 1363 m. Linjaus 2 kulkee pääosin samaa reittiä kuin linjaus 1, mutta se kiertää ensimmäiset n. 500 m vaihtoehtoista reittiä pitkin. Huoltoyhteydet ovat hyvät tässäkin tapauksessa. 110 PEH-10 putken lähtöpaineen pitäisi olla n. 31 mvp, jotta vesi saataisiin purkautumaan ilmanpaineeseen Uusi-Somerossa. Suuremmalla 140 PEH-10-putkella kokonaispainehäviöt ovat n. 14 mvp eli n. 17 mvp pienemmät kuin 110 PEH-10-putkella. 160 PEH-10-putkella kokonaispainehäviöt ovat n. 10 mvp.



Kuvio 6. Linjaus 2 on edellistä vaihtoehtoa lyhyempi. Se on myös kokonaiskustannuksiltaan edullisempi ja sillä on hyvät huoltoyhteydet.

Linjaus 3 on lyhyin kaikista linjausvaihtoehdoista (kuvio 7). Linjan 3 pituus on n. 1240 m ja putken kokonaispituus n. 1247 m. Linjaus 3 kulkee ensimmäiset n. 200 m samaa reittiä linjaus 2 kanssa. Tämän jälkeen linjaus jatkuu tien, kiinteistörajojen ja kuivatusojien reunoja pitkin alkaloitilaitokselle. 110 PEH-10 putken lähtöpaineen pitäisi olla n. 29 mvp, jotta vesi saataisiin purkautumaan ilmanpaineeseen Uusi-Somerossa. Suuremmalla 140 PEH-10-putkella kokonaishäviöt ovat n. 13 mvp eli n. 16 mvp pienemmät kuin 110 PEH-10-putkella. 160 PEH-10-putkella kokonaispainehäviöt ovat n. 10 mvp.



Kuvio 7. Linjaus 3 on lyhyin ja kokonaiskustannuksiltaan edullisin, mutta se on haasteellisin rakentaa ja sillä on huonoimmat huoltoyhteydet.

Ottamalla huomioon siirtovesijohdon kokonaispainehäviöt- ja kustannukset sekä huoltoyhteydet ja maasto, suositeltavin linjausvaihtoehto on linjaus 2. Se on n. 200 m lyhyempi kuin linjaus 1 ja se kulkee myös koko matkan metsäautoteiden vierestä. Lisäksi vaikka 1 linjaus oikaisisi loppuvaiheessa, se on silti n. 100 m pitempi kuin linjaus 2. Linjaus 2 nousee myös tasaisemmin ylöspäin kuin linjaus 1, jolloin ilmaa ei pääse kertymään putken notkoihin. Tällöin vältetään ilmanpoistokaivojen rakentamiselta. Linjauksen 2 hyvä puoli on myös, että se on paremmassa näkösuojassa kuin linjaus 1, jolloin ulkopuolisen on vaikeampi löytää sinne. Linjaus 3 on lyhyin, mutta se on myös huonoin vaihtoehto, koska se kulkee osittain suota pitkin, jolloin sen huoltoyhteydet ovat heikoimmat. Suosta johtuen rakentaminen ja mahdollisten vuotojen korjaaminen on mahdollista tehdä vain talvella.

Vertailemalla linjauksen 2 kokonaispainehäviöitä ja -kustannuksia suositeltavin putkikoko on 140 PEH-10. 140 PEH-10-putkella kokonaispainehäviöt (14 mvp) ja virtausnopeus (0,81 m/s) pysyvät kohtuullisina, jolloin kokonaiskustannukset ovat pienimmät. 110 PEH-10-putkella kokonaispainehäviöt (31 mvp) ja virtausnopeus (1,32 m/s) nousevat liian korkeaksi, jolloin virtaamaa ei ole kannattavaa kasvattaa tulevaisuudessa. 160 PEH-10-putkella kokonaispainehäviöt (10 mvp) ja virtausnopeus (0,62 m/s) ovat pienimmät, mutta kokonaiskustannukset ovat suurimmat. Mikäli virtaamaa ei aiota

tulevaisuudessa kasvattaa huomattavasti nykyistä mitoitusvirtaamaa suuremmaksi, 140 PEH-10 on pitkällä aikavälillä edullisin.

5.4.3 Suositellun linjauksen piirustukset ja mitoituslaskelmat

Linjauksen valinnan jälkeen vedenottamosta piirrettiin asemapiirros (liite 9) ja linjasta pituus- ja poikkileikkauspiirustukset (liite 10). Pituusleikkauksen piirtämisessä huomioitiin roudan vaikutus putken asennussyvyyteen. Uusi-Someron pohjavesialueen maaperä koostuu hyvin lajittuneesta hiekasta ja sorasta, jolloin roudan maksimisyvyys lumisella aukealla on kyseisellä leveyspiirillä n. 90 cm ja lumettomalla aukealla n. 2,5 m maanpinnan alapuolella (Valtion ympäristöhallinto 2015 ja RIL 124-2-2004, 611). Tällöin putken peittosyvyytenä on käytettiin tukemattoman kaivannon maksimisyvyyttä 2 m. Tässä syvyydessä vältetään kaivannon tukemiselta ja roudan aiheuttamilta jäätymisongelmilta. Poikkileikkauksiprofiilissa kaivannon luiskan kaltevuuden pitää olla vähintään 20°–45°, koska rakennetaan karkearakeiselle maaperälle (Työsuojeluhallinto 2010, 6). Alueilla joissa pohjavesi yltää kaivantoon, luiskien pitää olla tätäkin loivemmat. Kaivanto voitiin suunnitella perustettavaksi suoraan perusmaan varaan, koska maapohja koostuu karkearakeisista maalajeista (RIL 124-2-2004, 614). Erillistä asennusalustaa ei tarvita, koska putki ei sijaitse katualueella (InfraRYL 2006, 51).

Kokonaispainehäviöt laskettiin kolmessa osassa (raakavesikaivo, siirtovesijohto ja alkalointilaitos) usealla eri virtaamalla (15, 25, 35, 45 ja 55 m³/h). Kokonaispainehäviölaskelmat on esitetty liitteessä 11. Kokonaispainehäviöt muodostuivat geodeettisesta nostokorkeudesta (NW +41,75 ja HW +54,00) sekä kitka- ja paikallishäviöistä. Kitkahäviöt laskettiin Hazen-Williamsin yhtälön avulla huomioiden putken halkaisija ja materiaali eri kohdissa linjaa. Paikallishäviöt laskettiin puolestaan paikallishäviökaavan ja vastuskertoimien avulla (RIL 124-1-2003, 151-158). Paikallishäviöitä aiheuttivat 90°- ja T-mutkat, laajentumat ja supistumat sekä venttiilit ja virtaamamittarit. Näiden määrä arvioitiin maastokatselmuksen aikana sekä alkalointilaitoksen suunnitelmadokumenttien perusteella.

Tämän jälkeen kokonaispainehäviöiden ollessa tiedossa siirtovesijohdosta piirrettiin hydraulinen profiili (liite 12), jossa on esitetty linjaprofiililin lisäksi minimi- ja maksimipaineviivat. Kuten liitteestä 12 on nähtävissä ylipaineen riskiä ei ole olemassa, mutta viimeisellä 500 m matkalla siirtovesijohdon paineviiva laskee mitoitusvirtaamalla 35 m³/h ja sitä pienemmillä virtaamilla minimipaineviivan alapuolelle, jolloin esim. hallitsemattoman pumpun pysähdyksen aikana putkeen voi syntyä alipainetilanne. Siitä syystä putken purkupaineen on suositeltavaa olla yli 10 mvp. Varsinaista tarkempaa paineiskuanalyysia siirtovesijohdosta ei ole välttämätöntä tehdä, koska siirtovesijohdossa vesi siirretään matalapaineisena, pienellä virtausnopeudella eikä siirtovesijohdon paineviiva ja minimipaineviiva enää risteä. Lisäksi siirtovesijohto on tasaisesti nouseva, jolloin ilman aiheuttamia haittavaikutuksia ei linjassa esiintyä. Siitä syystä ilmanpoistokaivoja ei tarvitse rakentaa.

5.5 Raakavesipumpun valinta

Raakavesipumpun valinta kannattaa ulkoistaa pumppuvalmistajille. Raakavesipumpun tarjouspyyntöä tehdessä on syytä painottaa pumpun kokonaisuhyötysuhdetta ja energiatehokkuutta. Investointikustannukset ovat vain pieni osa pumpun elinkaaren aikana kertyvistä energiakustannuksista, joten pumpun oikealla valinnalla on suuret taloudelliset vaikutukset.

Raakavesipumpun alustavat mitoitus tiedot tarjouspyyntöä varten on esitetty seuraavaksi. Mitoitusvirtaama ja kokonaisnostokorkeus ovat tällä hetkellä vain arvioita, koska kaivon todellista antoisuutta ei vielä tiedetä. Ne pitääkin tarkistaa liitteiden 5 ja 6 avulla ennen tarjouspyynnön lähettämistä. Tarjouspyynnön mitoitus tietojen tueksi liitteessä 13 on esitetty siirtovesijohdon ominaiskäyrä, joka esittää kokonaispainehäviöiden muutosta virtaaman funktiona.

Raakavesipumpun alustavat mitoitus tiedot

- Mitoitusvirtaama:	9,7 l/s, 35 m ³ /h
- Virtausnopeus:	0,81 m/s
- Pumpputyyppi:	uppopumppu
- Käyttökohde:	pohjaveden pumppaus
- Sääötapa:	taajuusmuuttaja
- Paineputken koko:	140 PEH-10
- Paineputken pituus:	1363 m
- Imukorkeus NW:	+41,75 m (mpy)
- Purkukorkeus HW:	+54,00 m (mpy)
- Kokonaisnostokorkeus:	+ 30,71 mvp
o Geodeettinen nostokorkeus	+ 12,25 mvp
o Kitkahäviöt:	+ 7,89 mvp
o Paikallishäviöt:	+ 0,57 mvp
o Purkupaine:	+ 10,00 mvp

Pumpun toimintapiste:

9,7 l/s, +31 mvp

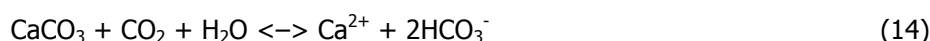
5.6 Kustannusarvio

Investointikustannukset on arvioitu aiempien vastaavien hankkeiden perusteella (Rajaniemi 2015). Kustannusarviossa on otettu huomioon tien parantaminen, kaivonpaikkatutkimuksen tekeminen, raakavesikaivon ja siirtovesijohdon rakentaminen ja varustaminen sekä vedenottamoalueen suojaaminen aitauksella. Kustannusvarauksena on käytetty 20 % ja investointikustannukset on laskettu ilman arvonnlisäveroa (alv. 0%). Hankkeen investointikustannukset on esitetty liitteessä 14.

6 ALKALOINTILAITOKSEN KAPASITEETIN TARKASTELU

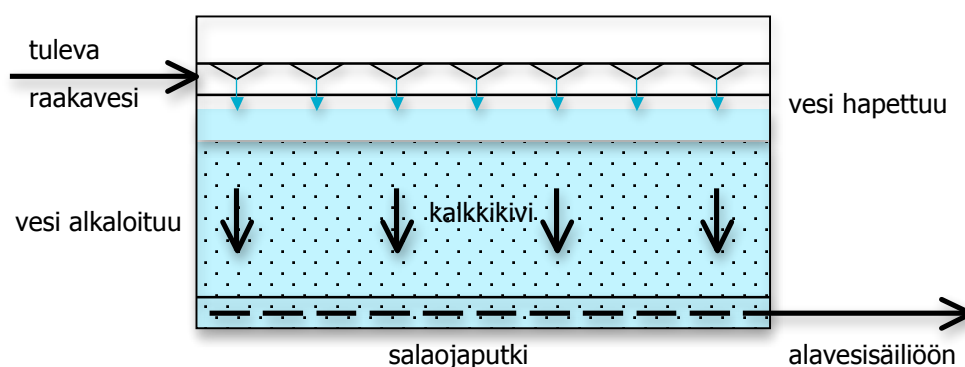
Uusi-Someron ja Vanha-Someron pohjavesi on luonnostaan pehmeää ja hapanta, joten se vaatii alkaloinnin ennen verkostoon johtamista. Matala pH lisää putkiston syöpymistä, joka puolestaan lyhentää vesijohtoverkoston metallisten osien sekä kiinteistöjen vesilaitteiden käyttöikää. Se myös aiheuttaa veteen maku- ja värivirheitä. Alkaloinnin tarkoituksena onkin nostaa veden pH:ta, alkaliteettia ja kovuutta, joilla saadaan vähennettyä verkostokorroosiota.

Uusi-Someron vedenkäsittelylaitoksella alkaloinnissa käytetään kalkkikivisuodatusta, jossa kalkkikivi eli kalsiumkarbonaatti reagoi hiilidioksidin ja veden kanssa seuraavasti:



Reaktion kulkiessa vasemmalta oikealle, veteen liukenee kalsiumia ja bikarbonaattia, jolloin vapaan hiilidioksidin määrä pienenee ja pH kasvaa. Reaktion puolestaan kulkiessa oikealta vasemmalta, kalsiumkarbonaattia alkaa saostumaan, jolloin kalsium- ja bikarbonaatti pitoisuus pienenee. Liukenemisen ja saostumisen ollessa yhtä nopeaa, sanotaan veden olevan kalkki-hiilidioksiditasapainossa, jolloin veden pH voi nousta vain tasapainon edellyttämään arvoon asti. (Vesi- ja viemäriulaitosyhdistys 2002, 5.)

Uusi-Someron kalkkikivisuodatin on toteutettu ns. perinteiseen tapaan, jossa vesi virtaa ylhäältä alaspäin (kuva 7). Alkalointiprosessissa vesi johdetaan aluksi ränniin, josta vesi tippuu alkalointialtaaseen. Samalla vesi hapettuu, jolloin ilma syrjäyttää osan hiilidioksidista. Veden kulkiessa kalkkivirouheen läpi se alkaloituu, jolloin veden sisältämä vapaa hiilidioksidi neutraloituu bikarbonaatiksi tai karbonaatiksi.



Kuva 7. Kalkkivisuodatuksen periaatekuva

Pohjavesitutkimusraporttien mukaan pohjavesialueen koepumppauspaikkojen ja nykyisten vedenotamoiden veden alkaliteetti on vaihdellut 0,08–0,15 mmol/l välillä ja vapaan hiilidioksidin 26,0–31,8 mg/l välillä. (Maa- ja vesi Oy 1989, Kokkolan vesi- ja ympäristöpiiri 1990.) Vedenkäsittelylaitos on mitoitettu $Q_h = 35 \text{ m}^3/\text{d}$ ja n. 20 minuutin viipymälle, jolloin veden pH saadaan nousemaan noin tasolle 8,0. Vedenottomäärän kasvaessa nykyisestä $700 \text{ m}^3/\text{d} \rightarrow 1100 \text{ m}^3/\text{d}$, tarkoittaa se mitoitusvir-

taaman kasvamista vähintään arvoon $Q_h = 55 \text{ m}^3/\text{d}$. Se taas aiheuttaa alkalointitehossa muutoksia, jolloin alkalointikapasiteettia tulee tarkastella uudestaan kasvavilla vesimäärillä.

Kalkkikivisuodatuksen tehoon vaikuttaa veden alkaliteetti ja hiilidioksidipitoisuus, kalkkikiven liukoisuus ja raekokojakauma sekä veden viipymä (Vesi- ja viemäriulaitosyhdistys 2002, 17). Muuttamalla veden kemiallisia ominaisuuksia, vaihtamalla kalkkikiven raekokoa pienemmäksi tai pidentämällä viipymää, on mahdollista saada alkalointitehoa parannettua.

Edellä mainitut tekijät määrittelevät alkalointilaitoksen tehollisen viipymän eli ajan, jonka veden täytyy reagoida kalkkikiven kanssa, jotta saavutetaan riittävä alkalointiteho. Tehollista viipymää voidaan tarkastella seuraavaan kaavan avulla:

$$V_{\text{kalkkikivi}} = \frac{t_{\text{eff}} \cdot Q_h}{60 \text{ min} \cdot \alpha'} \quad (15)$$

jossa $V_{\text{kalkkikivi}}$ = kalkkikiven irtotilavuus (m^3)
 t_{eff} = tehollinen viipymä (min)
 Q_h = mitoitusvirtaama (m^3/h)
 α = kalkkikivipatjan huokoisuus ($\approx 0,4$) (Vesi- ja viemäriulaitosyhdistys 2002, 18).

Uusi-Someron alkalointilaitoksessa on 2 alkalointialtasta, joiden kivitilavuus on yhteensä $28,288 \text{ m}^3$ (2 kpl * $1,6 \text{ m} * 2,6 \text{ m} * 3,4 \text{ m}$). Tällä hetkellä altaassa käytetään kalkkikiveä raekooltaan $5...8 \text{ mm}$, jolloin veden pH saadaan nousemaan n. $8,0$. (Rajaniemi 2015.) Taulukossa 4 on esitetty alkalointialtaan mitoituslaskelmat. Kaavan 15 mukaan mitoitusvirtaamalla $35 \text{ m}^3/\text{h}$ viipymäksi saadaan $19,4 \text{ min}$ eli $19 \text{ min } 24 \text{ s}$. Alkalointialtaassa on ylimääräistä kalkkikiven lisäys varaa n. $0,5 \text{ m}$, jolloin lisäämällä kalkkikiveä saadaan samalla tehollisella viipymällä mitoitusvirtaamaa kasvatettua arvoon $46 \text{ m}^3/\text{h}$. Jos mitoitusvirtaamaa täytyy edellisestä kasvattaa vielä tasolle $55 \text{ m}^3/\text{h}$, tehollista viipymää pitäisi saada laskettua $16,2 \text{ min}$ eli $16 \text{ min } 12 \text{ s}$. Tällöin veden alkalointia täytyy todennäköisesti tehostaa jollain muulla menetelmällä.

Taulukko 4. Alkalointialtaan mitoituslaskelmat

	Nykytilanne	Lisätään kalkkikiveä 0,5 m kerros	Kasvatetaan virtaamaa $55 \text{ m}^3/\text{h}$
pH	$\sim 8,0$	$\sim 8,0$	$\sim 8,0$
Mitoitusvirtaama Q_h (m^3/h)	35	46	55
Kivitilavuus $V_{\text{kalkkikivi}}$ (m^3)	28,288	37,128	37,128
Tehollinen viipymä t_{eff} (min)	19,4	19,4	16,2

Uusi-Someron alkalointilaitoksen tehollista viipymää on mahdollista lyhentää vaihtamalla kalkkikiven raekokoa pienemmäksi tai vähentämällä veden hiilidioksidipitoisuutta ilmastuksen avulla. Sitä ennen alkalointitehoa kannattaa testata pienillä viipymillä, jotta saadaan selvitettyä millä viipymällä vesi on kalkki-hiilidioksiditasapainossa.

Kalkkikiveä on myynnissä ainakin raekooltaan 0,5...1,5 mm, 1...3 mm, 2...5 mm ja 5...8 mm (Nordkalk 2015). Vaihtamalla raekokoa pienempään, tehollista viipymää saadaan lyhennettyä ja mitoitusvirtaamaa kasvatettua. Ongelmia voivat kuitenkin aiheuttaa kalkkikiven nopeampi kuluminen ja pohjaveden sisältämä liukoinen rauta. Kalkkikiven kuluessa pienemmäksi ja raudan saostuessa kalkkikivien väliin, kalkkikivimassa puuroutuu. Silloin kalkkikivi ei enää suodata vettä, jolloin alkalointiteho heikkenee. Se taas lyhentää alkalointialtaan huoltoväliä.

Vaihtoehtoisesti alkalointia voidaan tehostaa ennen suodatusta ilmastamalla vettä, jos vapaan hiilidioksin pitoisuus on yli 20 mg/l (Vesi- ja viemäriulaitosyhdistys 2002, 13). Ilmastamisella voidaan vähentää veden hiilidioksidipitoisuutta, nostaa pH:ta ja vähentää kalkkikiven kulumista. Uusi-Someron pohjavesi sisältää paljon vapaata hiilidioksidia 26,0–31,8 mg/l, joten ilmastuksen tehostaminen vaikuttaa järkevältä vaihtoehdolta. Ilmastusta voidaan tehostaa esim. porrastilastuksen tai Dresden-suuttimien avulla, joilla veden hiilidioksidipitoisuutta saadaan vähennettyä 50–70 % (Vesi- ja viemäriulaitosyhdistys 2002, 13).

7 YHTEENVETO

Työn keskeisimpänä tavoitteena oli suunnitella ja mitoittaa siirtovesijohto suunnitteilla olevalta Vanha-Someron vedenottamolta Uusi-Someron vedenkäsittelylaitokselle. Työn tarkoituksena oli myös mitoittaa uuden vedenottamon siiviläputkikaivo sekä tarkastella kasvavien vedenottomäärien vaikutusta vedenkäsittelylaitoksen alkalointikapasiteettiin.

Opinnäytetyön tavoitteet toteutuivat mielestäni hyvin. Siirtovesijohdosta saatiin luotua suunnitelma-dokumentit, jotka sisältävät suunnitelmakartat sekä piirustukset ja mitoituslaskelmat. Siirtovesijohdon kitkahäviöiden laskemisessa käytettiin Hazen-Williamsin yhtälöä. Siirtovesijohdon pituudeksi tuli si linjauksen 2 mukaan 1363 m. Uuden siirtovesijohdon optimikoko olisi mitoitusvirtaamalla 35 m³/h 140 PEH-10-putki. Tällä putkikoolla kokonaispainehäviöt 31 mvp ja virtausnopeus 0,81 m/s pysyisivät kohtuullisina, jolloin putken virtaamaa on mahdollista kasvattaa tulevaisuudessa. Suhteellisen pienen paineen vuoksi putkimateriaalina olisi mahdollista käyttää myös halvempaa pienemmän paineluokan (140 PEH-6) putkea. Myös muiden putkimateriaalien käyttöä kannattaa harkita tarjouspyyntöä tehdessä, koska ne saattavat tulla edullisemmaksi.

Siirtovesijohdon mallintamisessa ei otettu huomioon kuinka eri pumppaustilanteet vaikuttavat painehäviöihin ja virtaamaan muutoksiin, koska se olisi ollut haastavaa Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Siirtovesijohdon virtaaman käyttäytymistä olisi ollut mahdollista simuloida esim. EPANET-mallinnusohjelman avulla, mutta se jäi aikataulu syistä tekemättä. Todelliset muutokset ovatkin nähtävissä vasta pohjavettä pumpattaessa erilaisten pumppaustilanteiden aikana.

Uuden vedenottamon siiviläputkikaivoa ei voitu suunnitella puuttuvien lähtötietojen vuoksi. Tarkkojen maaperätietojen puuttuessa on ennen uuden vedenottamon rakentamista syytä tehdä tarkemmat kaivonpaikkatutkimukset. Samalla saadaan selvitettyä onko nykyisellä Uusi-Somerossa tapahtuvalla pohjaveden pumppaamisella vaikutusta koko Uusi-Somero -pohjavesialueen veden laatuun ja antoisuuteen.

Vedenkäsittelylaitoksen mitoitusvirtaaman kasvaessa tulevaisuudessa on vedenkäsittelylaitoksen alkalointitehoa mahdollistaa kasvattaa lisäämällä kalkkikiveä, vaihtamalla se pienempään tai tehostamalla ilmastusta. Lisäämällä kalkkikiveä n. 0,5 m alkalointialtaiden mitoitusvirtaaman pitäisi kasvaa 35 m³/h → 46 m³/h, jotta pH nousisi nykyiselle tasolle. Mitoitusvirtaaman kasvaessa 55 m³/h kalkkikiven lisääminen tai vaihtaminen ei enää välttämättä riitä nostamaan pH:ta riittävälle tasolle, jolloin on lisättävä ilmastuslaite tai kasvatettava alkalointialtaiden allastilavuutta. Raakavesi voi kuitenkin olla kalkki-hiilidioksiditasapainossa jo nykyistä pienemmillä viipymillä. Siitä syystä alkalointialtaissa pitäisi tehdä eri virtaamilla käytännön kokeita, jotta saadaan selville vedenkäsittelylaitoksen todellinen alkalointikapasiteetti.

Tulevaisuudessa jos vedenkäsittelylaitoksen virtaamaa on aikomus kasvattaa 55 m³/h, niin lähtevän 160 PEH-10 -syöttövesijohdon kapasiteetti on jäämässä pieneksi kitkahäviöiden kasvaessa. Nopean

tarkastelun perusteella n. 19 km pituinen syöttövesilinja laskee n. 40 m, jolloin 55 m³/h virtaamalla lähtöpaineen pitäisi olla vähintään 90 mvp, jotta vesi saadaan johdettua Himangan alavesisäiliölle. Äkillisen paineiskun tapahtuessa on todennäköistä, että hetkellinen ylipaine ylittää putken paineenkeston rajan. Siitä syystä on suositeltavaa rakentaa nykyisen syöttövesijohdon rinnalle uusi linja. Toisena vaihtoehtona on vähentää linjan lähtöpainetta ja rakentaa sopivaan kohtaan linjaa paineenkorotuspumppaamo, jolloin painetasot saadaan pidettyä kohtuullisina.

Opinnäyte oli kaiken kaikkiaan varsin opettavainen. Haasteita tuottivat suunnitteluohjelmien käyttö ja ajanhallinta. Karttojen tekemiseen meni AutoCAD Map 3D- ja Novapoint Base -ohjelmistoilla yllättävän paljon aikaa, joten sillä oli vaikutusta opinnäytetyön aikatauluun. Kirjoittaminen oli myös välillä varsin työlästä, joten se hidasti työn etenemistä. Työn parasta antia oli putkessa kehittyvien kitka- ja paikallishäviöiden laskeminen yhtälöiden ja taulukoiden avulla. Painehäviöiden laskemisessa oli yllättävää, että paikallishäviöiden osuus kokonaispainehäviöistä oli vain n. 3 % -luokkaa.

Opinnäytetyöprosessin aikana joitain asioita olisi voinut kuitenkin tehdä toisin. Keskityin opinnäytetyöprosessin alussa vain teorian kirjoittamiseen, jolloin teorian ymmärtämiseen meni paljon aikaa. Teoria alkoi paremmin vasta hahmottumaan, kun laskelmia pääsi tekemään käytännössä. Työn teoriaosuudessa kirjoitin myös omasta mielestäni liikaa pohjavedestä, vaikka tärkeämpää olisi ollut keskittyä siirtovesijohdon rakentamiseen liittyvien suunnitelumenetelmien esille tuomiseen.

LÄHTEET

- AIRAKSINEN, J. 1978. Maa- ja pohjavesihydrologia. Oulu: Kustannusosakeyhtiö Pohjoinen.
- AWWA. 2003. Groundwater - Manual of Water Supply Practices, M21 (3rd. edition). American Water Works Association (AWWA).
- BLOETSCHER, F., MUNIZ, A. & LARGEY, J. (toim.) 2007. Siting, Drilling and Construction of Water Supply Wells. American Water Works Association (AWWA).
- BRITSCHGI, R., ANTIKAINEN, M., EKHOLM-PELTONEN, M., HYVÄRINEN, V., NYLANDER, E., SIIRO, P. & SUOMELA, T. (toim.) 2009. Pohjavesialueiden kartoitus ja luokitus. Ympäristöopas. Helsinki: Suomen Ympäristökeskus.
- GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS. 2015. Karttapalvelut. Maankamara [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-2-20]. Saatavissa: <http://gtkdata.gtk.fi/Maankamara/index.html>
- GRUNDFOS. 2015. Grundfos SP Engineering Manual [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-2-11]. Saatavissa: [http://www.grundfos.com/content/dam/Global Site/Industries %26 solutions/waterutility/pdf/engineering-manual.pdf](http://www.grundfos.com/content/dam/Global%20Site/Industries%20solutions/waterutility/pdf/engineering-manual.pdf)
- DELLEUR, J.W. 2007. The Handbook of Groundwater Engineering (2nd. edition). CRC Press.
- HATVA, T., LAPINLAMPI, T. & VIENONEN, S. (toim.) 2008. Kaivon paikka. Selvitykset ja tutkimukset kiinteistön kaivon paikan määrittämiseksi. Ympäristöopas. Helsinki: Suomen Ympäristökeskus.
- HATVA, T., ÄRÖLÄ, T., BJÖRKELL, K., PÄÄKKÖNEN, J. & EFRAIMSSON, J. 1978. Pohjaveden käsittely ja tekopohjaveden muodostaminen maaperää hyväksikäyttäen. Helsinki: YVY.
- INFRARYL 2006. 2006. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Rakennustietosäätiö RTS: Vammalan kirjapaino Oy.
- ISOMÄKI, E., VALVE, M., KIVIMÄKI, A-L. & LAHTI, K. 2006. Pienten pohjavesilaitosten ylläpito ja valvonta. Ympäristöopas. Helsinki: Suomen Ympäristökeskus.
- KANDA, H. 2007. Laminar-Turbulent Transition: Calculation of Minimum Critical Reynolds Number in Channel Flow (Kyoto Conference on the Navier-Stokes Equations and their Applications). Kyoto University [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-5-22]. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/2433/174044>
- KARTTUNEN, E. 1999. Vesihuoltotekniikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.

KINNUNEN, T. 2005. Pohjavesitutkimusopas. Käytännön ohjeita. Suomen Vesiyhdistys r.y.: Vammalan kirjapaino Oy.

KOKKOLAN VESI- JA YMPÄRISTÖPIIRI. 1990. Uusi-Someron koepumppaus 21.3.1990 - 2.5.1990. Pohjavesiselvitykset, Himanka. Tutkimusraportti.

KORKKA-NIEMI, K. & SALONEN, V-P. (toim.) 1996. Maanalaiset vedet - pohjavesigeologian perusteet. Turun yliopiston täydennyskoulutuskeskuksen julkaisuja A50. Turku: Turun Yliopiston täydennyskoulutuskeskus.

KYLMÄNEN, E., HERTTELI, P., TIKKANEN, H. & LAITINEN, J. 2013. YVA-ohjelma Mutkalammin tuulivoimapuisto. Kokkola: Ramboll Finland Oy [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-2-5]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/mutkalampituulivoimaYVAKokkola>

LAKI VESIENHOIDON JA MERENHOIDON JÄRJESTÄMISESTÄ 1299/2004. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2004/20041299>

LÄNSI-SUOMEN VESIOIKEUS. 1992. Päätös: 38/1992/2. Pohjavedenottamon rakentaminen ja veden ottaminen Kälviän kunnan Jokikylässä ja Lohtajan kunnan Marinkaisten kylässä. Helsinki: Länsi-Suomen Vesioikeus.

NIELSEN, D.M. 1991. Practical Handbook of Ground-Water Monitoring. National Water Well Association.

NORDKALK OY AB, 2015. Nordkalk Filtra A ja Aito Kaivokalkki [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-4-29]. Saatavissa: <http://www.nordkalk.fi/Filtra>

MAA- JA VESI OY. 1989. Vanha-Someron koepumppaus 21.11.1989. Himangan kunta. Tutkimusraportti.

MAANMITTAUSLAITOS. 2015. Paikkatietoikkuna [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-2-20]. Saatavissa: <http://www.paikkatietoikkuna.fi/>

MIETTUNEN, A. 2015a. Tarkastaja. Vanha-Someron pohjavesitutkimukset. Piste 5 lisäkaivoluonnos. [sähköpostikeskustelu 2015-1-26]. Oulu: Pohjois- Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.

MIETTUNEN, A. 2015b. Tarkastaja. Vanha-Someron pohjavesitutkimukset. Vanha-Somero ja Uusi-Somero tutkimuskartta. [sähköpostikeskustelu 2015-1-26]. Oulu: Pohjois-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.

PAJULA, P. 2014 Pohjavesikaivon suunnittelu [opetusmoniste]. Vesilaitosten suunnittelu -kurssi. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.

PAJULA, P. 2015. Yliopettaja. [haastattelu]. Opinnäytetyöohjaus. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.

PIPELIFE FINLAND OY. 2014. Hinnasto 1.5.2014 [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-4-11]. Saatavissa: http://www.pipelife.com/media/fi/Hinnastot/Voimassaoleva/Pipelife_hinnasto.pdf

PULLI, M. 2009. Virtaustekniikka. Vedensiirtojärjestelmien toiminnallinen suunnittelu nykyaikaisin menetelmin. Jyväskylä: Tammertekniikka.

RAJANIEMI, P. 2015. Vesihuoltopäällikkö. [haastattelu]. Opinnäytetyöohjaus. Nivala: Vesikolmio Oy.

RAMBOLL FINLAND OY. 2010. Keski-Pohjanmaan Liitto. Keski-Pohjanmaan maakuntakaavan 3. vaihekaava. Kohdekuvaukset [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-3-19]. Saatavissa: [http://www.keski-pohjanmaa.fi/Data/Upload/e0b43ad7-a854-4928-a7f7-af538816680e_K-P_maakuntakaavan_3.vaiheen_kohdekuvaukset240310_vahvistettu_08022012_\(ID_828\).pdf](http://www.keski-pohjanmaa.fi/Data/Upload/e0b43ad7-a854-4928-a7f7-af538816680e_K-P_maakuntakaavan_3.vaiheen_kohdekuvaukset240310_vahvistettu_08022012_(ID_828).pdf)

RIL 124-1-2003. Vesihuolto I. Suunnitteluohjeet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 123-2-2004. Vesihuolto II. Suunnitteluohjeet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 168-1986. Paineisku vesihuoltoverkoissa. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 237-2-2010. Vesihuoltoverkkojen suunnittelu. Mitoitus ja suunnittelu. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

SARVANNE, H. & BORG, H. 1984. Sarlin uppopumppukirja.

STM 461/2000. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 461/2000. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2000/20000461>

TAKENO, N. 2005. Atlas of Eh-pH-diagrams. Intercomparison of Thermodynamic Databases. Geological Survey of Japan Open File Report No.419. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-3-25]. Saatavissa: http://www.eosremediation.com/download/Chemistry/Chemical Properties/Eh_pH_Diagrams.pdf

TYÖSUOJELUHALLINTO. 2010. Kapeat kaivannot. Työsuojeluoppaita- ja ohjeita 15. Työsuojeluhallinto [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-5-21]. Saatavissa: tyosuojelujulkaisu.wshop.fi/documents/2010/07/TSO_15.pdf

VALPPOLA, S., RANKONEN, E., LYYTIKÄINEN, A., LAXSTRÖM, H., AURI, J., KOIVISTO, A-M., ANTIKAINEN, M., HYRY, I., BREILIN, O. & RÄMET, J. 2000. Pohjavesien suojelun ja kiviaineshuollon yhteensovittaminen - Keski-Pohjanmaan loppuraportti. Länsi-Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 6. Vaasa: Länsi-Suomen Ympäristökeskus.

VALTIONEUVOSTON ASETUS VESIENHOIDON JÄRJESTÄMISESTÄ ANNETUN ASETUKSEN MUUTTAMISESTA 341/2009. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090341>

VALTION YMPÄRISTÖHALLINTO. 2015. Roudan ja lumen syvyys Oulussa, maastotyyppinä aukea, maalajina Hk [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-5-21]. Saatavissa: www3.ymparisto.fi/i3/tilanne/FIN/routa/PPO.htm

VESI- JA VIEMÄRILAITOSYHDISTYS. 2002. Kalkkikivialkalointi - opas veden syövyttävyyden vähentämiseksi. Helsinki: Vesi- ja viemärlaitosyhdistys.

VESIKOLMIO OY. 2014. Vuosikertomus 2014 [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-5-29]. Saatavissa: <http://vesikolmio.fi/esitteet/vuosikertomus2014/FLASH/index.html>

VESILAKI 587/2011. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110587>