



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Jani Riekkinen

Pohjaveden rakentamisen aikainen alentaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

27.5.2019

Tekijä Otsikko	Jani Riekkinen Pohjaveden rakentamisen aikainen alentaminen
Sivumäärä Aika	44 sivua 27.5.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Projektinhallinta
Ohjaajat	Lehtori Tapani Järvenpää Työpäällikkö Mika Ojala
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Kreate Oy:ssä. Opinnäytetyössä tarkoituksena oli tutkia rakentamisen aikaista pohjaveden alentamista. Infrarakentajana Kreate Oy on usein mukana hankkeissa, joissa pohjavettä joudutaan alentamaan. Työn tavoite oli koostaa Kreate Oy:lle tutkimus pohjaveden alentamisesta ja löytää ratkaisuja sellaisiin tilanteisiin, joissa pohjaveden alentaminen ei ole mahdollista.</p> <p>Opinnäytetyössä käsiteltiin pohjaveden muodostumiseen, maaperässä virtaamiseen sekä pohjaviesialueisiin liittyviä aihekokonaisuuksia sekä perehdyttiin pohjaveden alentamisen vaikutuksiin ympäristöön sekä rakennuksiin. Tutkimuksessa selvitettiin keskeinen pohjaveden alentamista ohjaavan lainsäädäntö sekä perehdyttiin vaadittaviin pohjatutkimuksiin, suunnitelmiin ja pohjaveden alentamisen seurantaan.</p> <p>Tutkimus tehtiin aineistotutkimuksena perustuen haastatteluihin, Internet-sivustohakuihin ja kirjallaisiin lähteisiin.</p> <p>Opinnäytetyötä voidaan hyödyntää Kreate Oy:ssä päätöksenteon pohjana valittaessa rakennustyömaalle sopivinta ja kustannustehokkainta pohjaveden alennusmenetelmää. Tutkimusta voidaan myös hyödyntää jo suunnitteluvaiheessa pohjaveden alennuskohteiden tunnistamisessa.</p> <p>Kaivuutöissä pohjaveden kohtaaminen on erittäin yleistä. Oikeat menetelmät pohjaveden alentamisessa ovat tärkeitä rakentamisen aikataulun ja kustannusten kannalta. Suuri paino on myös suunnittelulla ja ajoissa tehdyillä sekä riittävän kattavilla pohjatutkimuksilla.</p>	
Avainsanat	alentaminen, infra, pohjavesi

Author Title	Jani Riekkinen Groundwater Lowering During Construction
Number of Pages Date	44 pages 27 May 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Program	Construction engineering
Professional Major	Project Management
Instructors	Tapani Järvenpää, Senior Lecturer Mika Ojala, Construction Manager
<p>This thesis was commissioned for and in collaboration with Kreate Oy. The purpose of this thesis was to study and research the importance of groundwater receding during construction. Kreate, the civil engineering company, is often involved in projects where the lessening of groundwater is necessary. The aim of this study was to create a research plan for Kreate Oy in terms of using it as a model for lowering groundwater and using it as a basis for decision-making if the groundwater diminishing was not possible.</p> <p>The theory of the thesis consists of the formation of groundwater, outflow in the soil, and groundwater aquifers. In addition, the effects of the groundwater lowering in the environment and nearby buildings were dealt with. The relevant legislation of the groundwater tapering-off was investigated. Surveys for a construction site needed plans, and monitoring work during the groundwater lowering was also covered in this research.</p> <p>The results of the study and research were based on interviews, internet sources, and other important and relevant literature.</p> <p>Kreate Oy can use this thesis as a basis for decision-making when looking for the most suitable and cost-effective plan for groundwater lowering at construction sites. This study can also be utilized in order to recognize possible projects where groundwater cessation is needed.</p> <p>It is most likely to face groundwater during excavation. The correct methods of groundwater abatement are important in order to keep up with the schedule and budget of a construction project. Planning well ahead and having enough of comprehensive surveys for the construction site is extremely important for success.</p>	
Keywords	groundwater, infrastructure, lowering

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Pohjavesi rakennustyömaalla	1
1.2	Pohjaveden aiheuttamat haasteet	2
2	Pohjavesi	3
2.1	Muodostuminen	3
2.2	Maaperä, huokoisuus ja virtaus	4
2.2.1	Orsivesi	5
2.3	Pohjavesialueet ja niiden luokitus	6
3	Pohjaveden alentamisen vaikutus ympäristöön ja rakennuksiin	7
3.1	Maaperän kuivuminen ja painuminen	7
3.1.1	Puupaaluilla tuetut rakenteet	8
3.2	Virtaussuunnan muuttuminen	8
3.3	Pilaantuminen	9
3.3.1	Pilaantuneen pohjaveden puhdistaminen	10
4	Pohjaveden alentamiseen liittyvä lainsäädäntö	11
4.1	Keskeiset yhteiskunnalliset toimijat	11
4.2	Vesipolitiikan puitedirektiivi	12
4.3	Vesilaki	12
4.4	Ympäristönsuojelulaki	13
4.5	Kaupunkien ja kuntien ohjeet ja määräykset	14
5	Yleisesti pohjaveden alentamisessa huomioitavia asioita	16
5.1	Pumpattavan vesimäärän ja pumppauksen vaikutusalueen arviointi	16
5.2	Tutkimukset	19
5.3	Suunnitelmat	22
5.4	Tarkkailu	22
6	Erilaiset pohjaveden alentamismenetelmät	24
6.1	Käytettävän pohjaveden alennustavan valinta	24
6.2	Pumppaus	25

6.2.1	Pumppaus avokaivannosta	26
6.2.2	Pumppaus suodatinkaivoista	27
6.3	Tyhjiömenetelmä	28
6.4	Kun alentaminen ei onnistu	32
6.4.1	Suihkuinjektoitu seinä	33
6.4.2	Teräsponttiseinä	35
6.4.3	Porapaaluseinä	35
7	Kustannukset	37
8	Tulokset	39
9	Yhteenveto	40
	Lähteet	41

Lyhenteet

ELY Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

SYKE Suomen ympäristökeskus

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö on tehty Kreate Oy:hyn pohja- ja betonirakentamisen yksikölle. Kreate Oy on Suomen johtavia infrarakentajia. Sen toimialaan kuulu silta-, rata-, väylä-, teollisuus- ja ympäristörakentamiseen liittyvät infrarakentamisen kohteet. Kreate Oy on erikoistunut poikkeuksellisen vaativiin pohjanrakennuskohteisiin.

Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä Kreate Oy:n käyttöön tutkimus, jota voidaan hyödyntää valittaessa hankkeelle, jossa esiintyy pohjavettä, sopiva ja kustannustehokas pohjaveden alennustapa.

1.1 Pohjavesi rakennustyömaalla

Pohjavesi on oleellinen osa maapallon veden kiertokulkua, sillä sen avulla sadevedet pääsevät kohti meriä ja kaivoista saadaan vettä. Maanrakennustyömailla pohjavesi on kuitenkin lähes päivittäinen haaste, johon on syytä suhtautua vakavasti. Mikäli pohjaveden olemassaoloon ei ole jo suunnitteluvaiheessa reagoitu, saattaa se rakennusvaiheessa aiheuttaa rakentamiseen merkittävää myöhästymistä. Myös yllättäen vastaan tulleen pohjaveden alentamisen kustannukset voivat yllättää.

Erityisesti pohjarakentamisessa pohjavesi aiheuttaa haasteita. Esimerkiksi Etelä-Suomessa rannikon lähistöllä pohjavesi voi maata kaivaessa tulla hyvinkin pian vastaan. Kellareiden kaivuu onnistuu vain harvoin ilman pohjaveden alentamista. Myös talojen anturapohjat joudutaan usein tekemään pohjaveden yläpinnan tason alapuolella.

Pohjaveden alentaminen on lähes aina kannattava ja kustannustehokas ratkaisu. Pohjatöiden tekeminen vedenalaisen työnä on kallista sekä usein myös erittäin haastavaa, jos ei mahdotonta [9, s. 72]. Kuivatyönä tehdyssä kaivannossa on myös mahdollista perustaa rakenteet häiriintymättömälle maapohjalle. Pohjaveden alentaminen myös lisää kaivannon turvallisuutta, vähentämällä luiskasortumia ja lisää muutenkin kaivannon vakavuutta.

1.2 Pohjaveden aiheuttamat haasteet

Kaivannoissa pohjavesi saattaa sorruttaa kaivannon seiniä ja tämän vuoksi ne on kaivettava huomattavasti suuremmiksi kuin alun perin on ollut tarkoitus. Mikäli kaivettava maa-aines on erittäin löyhää, saattaa se sotkeentua liejuksi, kaivettaessa pohjaveden kanssa.

Haasteena voi myös olla yllättäen vastaan tullut rakentamisen korkoon nähden ylhäällä oleva pohjaveden pinta. Yllätyksenä saattaa myös tulla pohjaveden alentamista varten tarvittavien lupien ja ilmoitusten pitkä haku-aika. Tällöin rakentamisaikataulu voi venyä ja aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia.

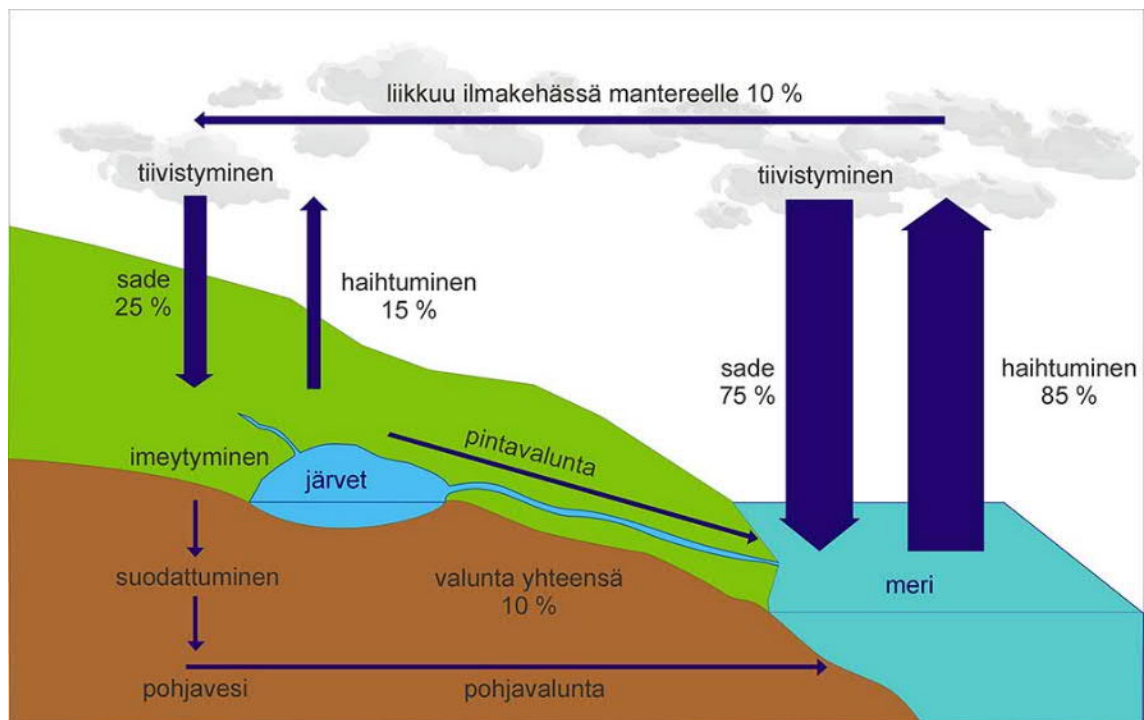
Näihin edellä mainittuihin haasteisiin voi varautua hyvällä ennakkosuunnittelulla ja pohjatutkimuksilla. Huolellisesti suunniteltu ja oikein toteutettu pohjaveden alennus varmistaa rakentamisen aikataulussa pysymisen ja pitää kustannukset kurissa.

2 Pohjavesi

Pohjavesi on tärkeä osa veden hydrologista kiertoa maapallolla. Se on maaperään ja kallioperän halkeamiin varastoitunutta vettä. Tässä luvussa tarkastelemme sen muodostumista ja virtausta sekä tutustumme erilaisiin pohjavesialueluokituksiin Suomessa.

2.1 Muodostuminen

Veden hydrologisessa kierrossa vesi on vesihöyrynä ilmakehässä, nesteinä merissä, mantereiden vesivarastoissa ja maaperässä. Lisäksi se voi esiintyä myös lumena ja routana. Hydrologisessa kierrossa vesi siirtyy haihtuntana, kosteutena ilmakehässä, sadantana ja valuntana. [5.]



Kuva 1. Veden hydrologisen kierron periaate [6].

Kuvassa 1 on esitetty veden kierto maapallolla. Lämmön vaikutuksesta vesi haihtuu meristä taivaalle. Kuvan osoittamien prosenttilukujen mukaisesti suurin osa vedestä palaa sateena takaisin mereen, mutta osa siirtyy ilmakehässä mantereelle ja päättyy

sadantana maanpinnalle. Osa maanpinnalle sataneesta vedestä haihtuu takaisin ilma-kehään ja osa valuu takaisin meriin joko pintavaluntana tai maakerrosten läpi suodattuneen pohjaveden pohjavaluntana. [6.]

Pohjavesi on siis maaperään ja kallioperän halkeamiin varastoitunutta vettä. Sen muodostuminen on alkanut sadannasta. Sadannassa vesi päätyy maanpinnalle joko sateena tai lumena. Osa näistä pintavesistä vajoaa maaperään painovoiman avulla erilaisten maakerrosten läpi. Nämä kerrokset suodattavat ja siten puhdistavat veden. Esimerkiksi bakteerit ja muut epäpuhtaudet jäävät yleensä ylempiin maakerroksiin, mikäli maata on riittävästi pohjaveden pinnan yläpuolella [3]. Pohjaveden vajoaminen jatkuu niin kauan, kunnes se kohtaa heikosti vettä johtavan maaperän tai kallioperän. Kallioperäsäkin se voi jatkaa vajoamista halkeamissa [2]. Pohjaveden pinnan ylin taso on se taso, jossa maaperän huokosissa olevan vedenpaine on sama kuin ilmanpaine [8, s. 8].

2.2 Maaperä, huokoisuus ja virtaus

Maaperä muodostuu maa-aineksesta ja huokostiloista. Maa-ainekset ovat kallioperän päällä ja ne ovat alun perin kallioperästä irronnutta ainesta, jonka karkeus vaihtelee. Huokostilat ovat maa-aineksen seassa olevia tyhjiä tiloja. Ne ovat täyttyneet joko ilmastaa tai vedestä. Maan huokoisuuteen vaikuttavat esimerkiksi sen raakoostumus ja tiiveys. [9, s 13.]

Maa-aineksen laatu vaikuttaa merkittävästi veden vajoamiseen ja virtaukseen maaperässä. Karkearakeisessa maassa vesi siirtyy huomattavasti nopeammin sekä alaspäin että pohjavaluntana. Hienorakeisesta maa-aineksesta koostuvassa maaperässä vesi liikkuu huonosti. Esimerkiksi savi on huokoista, mutta silti erittäin hienorakeista, minkä vuoksi vesi liikkuu siinä huonosti tai ei ollenkaan. Taulukossa 1 on esitetty yleisten maalajien vedenläpäisevyyttä sekä pohjaveden saantia Suomessa. [1.] [4.] [9.]

Taulukko 1. Yleisimpien maalajien vedenläpäisevyys ja pohjaveden saanti [10].

Maalaji	Raekoko (mm)	Vedenläpäisevyys	Pohjaveden saanti
Hiekkamoreeni (Mr)		Pieni tai kohtalainen	Huono tai kohtalainen
Silttimoreeni (HMr)		Pieni	Huono
Soramoreeni (SrMr)		Kohtalainen	Kohtalainen
Sora (Sr)	2-60	Suuri	Hyvä
Karkeahiekka (Hk)	0,2-2,0	Suuri	Hyvä
Hienohiekka, Hieta (Ht)	0,06-0,2	Kohtalainen	Kohtalainen
Keski- ja hienosiltti (Hs)	0,02-0,002	Kohtalainen	Huono tai Kohtalainen
Savi (S)	n. 0,002	Pieni	Huono

Rakentamisen aikaisessa pohjaveden alentamisessa on huomioitava vedenvirtaamisen nopeuden lisäksi sen suunta. Joistakin paikoista, riippuen veden virtaamissuunnasta, voi vettä tulla kaivantoon huomattavasti enemmän kuin toisesta. Tämä johtuu siitä, että maalajit voivat vaihdella paikallisesti hyvinkin paljon. Mikäli kaivantoon tehdään vettä läpäisemättömiä rakenteita, kuten suihkuinjektointiseiniä, voivat nämä muuttaa pohjaveden virtaussuuntia. [9.] [7.]

Pohjaveden virtausuuntien ja virtausnopeuden mallintamiseen on kehitetty erilaisia numeerisia menetelmiä, joita tietokone sovellukset käyttävät. Mikäli on kyse suuresta pohjaveden alennuksesta, jolla on paljon vaikutusta ympäröivään pohjavesi tilanteeseen, voidaan näitä ohjelmia käyttää hyväksi. Ohjelmat antavat arviota, kuinka pohjaveden virtaukset voivat muuttua tehtäessä esimerkiksi tilapäisiä tai pysyviä esteitä pohjaveden virtausreiteille. [7.]

2.2.1 Orsivesi

Mikäli maa-aines koostuu hienorakeisesta maasta, jolla on pieni veden johtavuuskyky, pysähtyy pohjaveden vajoaminen tämän hienorakeisen maakerroksen päälle. Tällainen maalaji voi olla esimerkiksi tiivis moreeni tai savi. Vesi voi myös jäädä kahden hienorakeisen vettä läpäisemättömän kerroksen väliin. Tällöin vesi muuttuu paineelliseksi ja saattaa esimerkiksi paaluja lyötäessä purkautua maan pinnalle. [2.]

2.3 Pohjavesialueet ja niiden luokitus

Suomen maaperässä oleva pohjavesi on yleisesti laadultaan hyvää ja sitä voidaan käyttää juoma- tai talousvetenä [1]. Käytännössä pohjavettä on lähes kaikkialla Suomen maaperässä, mutta sen hyödynnettävyys riippuu paljon maaperän ominaisuuksista [4]. Suomessa vesilaitosten tuottamasta vedestä noin 60 %:a on pohjavettä. Loput 40 %:a vedestä tuotetaan pintavedestä [1]. Esimerkiksi Helsingin juomavesi otetaan Päijänteestä pintavetenä ja tuodaan kallioon louhittua tunnelia pitkin [11].

Suomessa muodostuu vuorokaudessa 5,4 miljoonaa m³ pohjavettä ja käytössä siitä on noin 0,7 miljoonaa m³ vuorokaudessa [1]. Pohjaveden pinta on yleisesti kahden ja neljän metrin välillä maanpinnasta. Se voi olla myös huomattavasti syvempänä esimerkiksi harjualueilla, joissa vesi pääsee helposti suodattumaan alemmas [7, s. 10]. Ylimmillään sen pinta on lumien sulaessa keväällä ja alimmillaan kevättalvesta [2].

Hyödynnettäviä pohjavesialueita Suomessa on noin 5000 kappaletta. Ne on luokiteltu kahteen pääluokkaan. Lisäksi käytössä on yksi lisäluokka. 1-luokkaan kuuluvat sellaiset pohjavesialueet, joita käytetään vedenhankintaan tai talousvetenä enemmän kuin 10 m³ vuorokaudessa. 2-luokkaan kuuluvat pohjavesialueet, joita voidaan käyttää vedenottamiseen. Lisäksi on käytössä E-luokka. Tässä luokassa pintavesi- ja maa-ekosysteemi on läheisesti riippuvainen pohjavedestä. Nämä luokitukset ovat olleet käytössä vuoden 2015 huhtikuusta lähtien. Ennen sitä on ollut käytössä kolmiasteinen luokitus. Luokituksia voidaan vielä käyttää rinnakkain. [12.] [1.]

Alueilla, joissa pohjavettä muodostuu, on pohjavesiasiat huomioitava erityisen tarkasti rakennusvaiheessa. Monet viranomaistahot ovat antaneet määräyksiä ja rajoituksia pohjaveden alentamiselle. Määräykset pitävät sisällään suuren joukon ohjeita, joilla rakentamisen aikana estetään pohjaveden pilaantuminen. Mikäli rakennettava kohde sijaitsee pohjavesialueella, on tämä huomioitava jo suunnitteluvaiheessa, ennen kuin alueella aloitetaan rakennuksen pohjatyöt.

3 Pohjaveden alentamisen vaikutus ympäristöön ja rakennuksiin

Pohjaveden alentaminen aiheuttaa maaperän painumista ja huonosti tehtynä alentaminen voi aiheuttaa pohjaveden pilaantumista. Myös vaikutukset lähistöllä oleviin rakenteisiin on huomioitava. Pohjaveden pinnan alentamisella on pitkä- ja lyhytaikaisia vaikutuksia.

3.1 Maaperän kuivuminen ja painuminen

Pohjaveden alentaminen saattaa kuivattaa maaperää laajallakin säteellä alennuspainan ympäristössä, vaikka pumppuja olisikin vain yksi. Mikäli pumppuja on useampia, voivat vaikutukset ovat vieläkin suuremmat. Maaperän kuivuminen aiheuttaa ympäristössä esimerkiksi kasvillisuuden heikkenemistä ja mahdollisesti jopa kasvillisuuden häviämistä [9, s. 62]. Lisäksi lähialueen talousvesikaivot saattavat kuivua.

Kuivumisen vaikutukset ovat vähäisempiä, mikäli pohjaveden alentuminen on vain rakentamisen aikaista ja rakentamisen jälkeen pohjavesi pääsee palautumaan ennalleen [15, s. 157]. Vaikutukset riippuvat huomattavasti maaperästä ja alentamisajasta. Yksi vakavimmista kuivumisen aiheuttamista seurauksista on maaperän painuminen. Kun pohjavettä alennetaan, tapahtuu aina maaperän painumista. Maaperän koostumus määrää painuman määrän. Hienorakeisella maalla painuma on suurinta ja se on huomioitava pohjavettä alennettaessa.

Yleisesti ottaen maaperä painuu neljällä eri tavalla. Näitä painumatyyppejä ovat alkupainuma, konsolidaatiopainuma, sivusiirtymän aiheuttama painuma ja jälkipainuma. Alkupainuma voi olla suurtakin ja se tapahtuu hyvin nopeasti usein jo rakentamisen aikana. Konsolidaatiopainuma alkaa heti maata kuormitettaessa, milloin vedellä kyllästyneen maan tilavuuden pientyminen aiheuttaa maaperään huokosveden ylipaineen. Huokosveden ylipaineen vuoksi vettä puristuu pois maaperästä alueella, jossa ylipaine vaikuttaa. Karkeissa kitkamaissa painuma on nopeaa, mutta hienorakeisissa koheesiomaalajeissa painuma voi olla erittäin hidasta. Konsolidaatiopainumaa seuraa yleensä pieni jälkipainuma, joka alkaa maaperän huokosveden ylipaineen hävittyä. Jälkipainuma on hidasta ja kestää usein vuosia. [9, s. 64-65.] [16, s. 11-13.] [15, s. 209.]

Rakenteille aiheutuvat painumat riippuvat sen perustamisratkaisusta. Paaluperustukselle tehdyt rakenteet kestävät painumaa huomattavasti paremmin kuin maanvaraisesti perustetut rakenteet. Mikäli painuma on tasaista ja pientä, se ei yleensä aiheuta vauriota rakenteissa. Epätasainen painuma sen sijaan on vahingollista rakenteille. Rakenteita, jotka voivat painua pohjavettä alennettaessa, ovat talojen lisäksi esimerkiksi maahan asennetut putket ja tiet. Mikäli talo on paaluperustuksella, mutta sen kunnallistekniset rakenteet ovat maanvaraisesti asennettu, voi eri perustusratkaisujen painuman ero aiheuttaa suuriakin vauriota. Esimerkiksi paaluperustaisen talon painuminen voi olla vähäistä, mutta maanvaraisesti asennetut putket saattavat painua merkittävästi enemmän. [17.]

Pohjaveden alentamisen aiheuttamalla maan painumisella on vaikutusta myös rakenteiden perustuksissa käytettyihin paaluihin. Maan painuminen aiheuttaa paaluihin sivusiirtymää. Myös paaluihin syntyvä negatiivinen vaippahankaus on mahdollinen. Vaippahankauksessa pohjaveden alentamisen vuoksi painunut maa-aines tarttuu paalun kylkeen kiinni ja tuo lisäkuormaa paalulle. Negatiivinen vaippahankaus on tyypillistä koheesiomaille, kuten hienojakoiselle ja huokoiselle savelle. [9, s. 65.] [14, s. 11.]

3.1.1 Puupaaluilla tuetut rakenteet

Puupaalut ovat erityisen herkkiä pohjaveden alentamiselle. Kun aiemmin pohjavedessä ollut paalu joutuu kosketukseen ilman kanssa, lisää tämä puupaalun lahoamista merkittävästi. [13, s. 33.]

Pohjaveden virtauksen heikkenemisellä saattaa olla paaluja vaurioittava vaikutus. Tällaisessa tapauksessa niihin voi kertyä bakteeri- ja mikrobikasvustoja, mitkä heikentävät niitä. Puupaalut voivat olla myös lyötyinä orsiveden läpi, milloin orsiveden alentuminen tai huonoimmassa tapauksessa häviäminen poistaa puupaaluilta suojan [9 s. 66].

3.2 Virtaussuunnan muuttuminen

Pohjaveden määrällisesti suuri alentaminen saattaa muuttaa pohjaveden virtaussuuntaa maaperässä. Huonoimmassa tapauksessa pohjaveden virtaussuunta muuttuu

päinvastaiseen suuntaan alkuperäiseen nähden. Tämä virtaussuunnan muutos voi vaikuttaa merkittävästi alueen pohjavesitilanteeseen. [9, s. 63.]

3.3 Pilaantuminen

1-, 2- ja E-luokitelluilla pohjavesialueilla pohjaveden pilaantuminen on yhteiskunnalle erityisen herkkää ja siksi viranomaisten puolesta säänneltyä. Näillä alueilla rakentamiselle on annettu tarkentavaa ohjeistusta ja kieltoja, mutta luokittelemattomillakaan alueilla pohjavettä ei saa pilata.

Pohjaveden pilaantumisella tarkoitetaan kaikenlaista sellaista toimintaa, joka pilaa joko sen laadun tai määrän. Pohjaveden pilaantumiseksi lasketaan myös pohjaveden alentaminen, mikäli pohjaveden taso jää alkuperäistä tasoa alhaisemmaksi. Pohjaveden laatuun vaikuttavat siihen päässeet aineet. Tällaisia ovat esimerkiksi bensiinit, öljyt, puunkyllästysaineet, kreosootit, torjunta-aineet, räjähdysainejäämät sekä tri- ja tetra-kloorietyleeni [19].

Pohjaveden pilaantumisen laajuuteen vaikuttavat maaperän laatu, ilmasto-olosuhteet, geologia ja maahan päässeet aineet. Mikäli maaperä on karkeaa ja vesi pääsee hyvin liikkumaan, voivat veteen päässeet pilaantuvat aineet levitä suhteellisen nopeasti laajalle alueelle. Maan geologia vaikuttaa haitta-aineiden virtaussuuntaan ja nopeuteen. Mikäli haitta-aine on päässyt maahan kallioruhjeen lähelle, voi sen leviäminen olla hyvinkin nopeaa. Pohjaveden pinnan ollessa lähellä maanpintaa, myös haitta-aineiden suodattuminen on vähäistä.

Rakentaminen pohjavesialueilla saattaa aiheuttaa pohjaveden pilaantumista. Kaivantoa kaivettaessa hienorakeinen maa-aines voi häiriintyä ja pohjaveteen liuenneet hienoaineet pilata veden laadun samentamalla sen. Luokittelemattomilla alueilla veden samentumisesta ei ole suurta haittaa, koska hienoainekset suodattuvat takaisin maaperään veden virratessa. Hienorakeisen maanläjitys voi myös aiheuttaa veden samennemista sekoittamalla maanpinnalta pohjaveteen, etenkin jos maanpinta on hyvin lähellä pohjavettä. Myös työkoneiden vauriosta johtuvat öljyvuodot tai muut haitta-aine vuodot aiheuttavat veden pilaantumista. [20, s. 7 – 9.]

3.3.1 Pilaantuneen pohjaveden puhdistaminen

Pohjavettä voidaan puhdistaa monin eri tavoin, riippuen pilaantumisen aiheuttajasta. Yleisesti ottaen ei ole määritely, milloin alue on niin pilaantunut, että pohjavettä ja maaperää pitää kunnostaa, mutta vähintäänkin heti vahingon sattuessa on aloitettava työ sen puhdistamiseksi. Kun pilaantuminen aiheuttaa vaaraa 1- tai 2-luokan pohjavesialueelle on kunnostustyöt aloitettava viipymättä. [20 s. 7-9.]

Pohjaveden kunnostustavat jaotellaan kahteen eri ryhmään, paikan päällä tehtävään ja muualla tehtävään puhdistamiseen. Pohjaveden puhdistusmenetelmä valitaan pilaavan haitta-aineen mukaan. Menetelmät voivat olla kemiallisia, fysikaalisia tai biologisia. Yhteistä näille kaikille puhdistus tavoille on niiden hitaus ja suuret kustannukset. Luontaista puhdistumista ei yleensä voida käyttää. Helposti liikkuvat haitta-aineet saattavat liikkua pohjaveden mukana pitkiäkin matkoja. Maaperään sitoutuneet haitta-aineet taas saattavat pysyä maaperässä erittäin pitkään. Pohjaveden pilaantumisen estämisessä on tärkeintä ennaltaehkäisy. [20 s. 7-9.]

4 Pohjaveden alentamiseen liittyvä lainsäädäntö

Pohjavedet ovat elintärkeä osa Suomen vesihuoltoa. Sen vuoksi monella eri viranomaistaholla on suuri halu suojella sitä. Yleisesti ottaen on kaikille pohjavesialueluokille mahdollista saada lupa alentaa pohjavettä rakentamisen aikana. Mitä tärkeämpi pohjavesialue on sitä hyödyntävälle yhdyskunnalle, sitä enemmän eri viranomaistahot asettavat ehtoja sen alentamiselle. Esimerkiksi 1-luokan alueille on myönnetty tilapäisiä alennuslupia, mutta pumpatut vedet on määrätty imeytettäväksi takaisin maahan. Tässä luvussa käsitellään eri viranomaistahojen määräyksiä pohjavesiin liittyen.

4.1 Keskeiset yhteiskunnalliset toimijat

Pohjavesien suojeleminen on monien eri viranomaisten, kuntien ja muiden yhteistoimintaa. Taulukossa 2 on esitetty eri toimijoiden vastuualueet.

Taulukko 2. Keskeiset pohjaveden suojelemaan liittyvät toimijat [21.].

Toimija	Vastuualue
Elinkeino, liikenne ja ympäristökeskukset (ELY-keskukset)	<ul style="list-style-type: none"> - Pohjavesien suojeleminen ohjaus ja valvonta - Pohjavesialueiden suojelemissuunnitelmien ohjaus - pohjavedenottamoiden valvonta
Aluehallintovirasto (AVI)	<ul style="list-style-type: none"> - Ympäristösuojele- ja vesilain mukaisten lupa-asioiden ratkaisu
Kunnat	<ul style="list-style-type: none"> - Vastuussa pohjaveden suojeleminen valvonnasta - Ympäristösuojele- ja vesilain mukaisten lupa-asioiden ratkaisu (kunnan ympäristösuojeleviranomainen) - Osallistuu pohjavesialueiden suojelemissuunnitelmien laadintaan
Vesihuoltolaitokset	<ul style="list-style-type: none"> - Toimittaa laatuvaatimukset täyttävää talousvettä - Vastaavat, että heidän toiminnastaan ei aiheudu pohjaveden pilaamista
Toiminnanharjoittaja (Esim. rakennusliike)	<ul style="list-style-type: none"> - Hakee luvat kunnalta tai AVI:sta - Toimittaa lupaehtojen ympäristövaikutusten seurantatiedot ELY-keskukselle

4.2 Vesipolitiikan puitedirektiivi

Euroopan unionin vesipolitiikan puitedirektiivi (2000/60/EY) antaa perustan koko Euroopan vesien suojelemiseksi. Direktiivin tarkoitus on taata pohjaveden määrän riittävyys ja varmistaa sen hyvä kemiallinen tila. Direktiivillä varmistetaan, että kaikissa jäsenmaissa noudatetaan samoja vesien suojelun periaatteita. Euroopan unionin vesipolitiikkaan liittyvää sääntelyä on täydennetty vuonna 2006 direktiivillä pohjavesien suojelusta, pilaantumiselta ja huononemiselta (2006/118/EY). Suomessa on tämän puitedirektiivin pohjalta laadittu laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä (1299/2004) sekä asetus vesien hoidon järjestämisestä (1040/2006). Lain 1299/2004 tarkoituksena on suojata, parantaa, ja ennallistaa pinta- ja pohjavesiä niin, että niiden tila säilyy hyvänä tai ei heikkene entisestään. Laissa määritellään pohjavesialueet, luokitukset, luokitusten muuttaminen, muuttamiseen liittyvät valmistelutoimet, suojelusuunnitelma sekä suojelusuunnitelman valmistelu. [22.] [23.]

4.3 Vesilaki

Suomessa on voimassa vesilaki 587/2011. Lain tavoitteena on edistää, järjestää ja sovittaa yhteen vesivarojen ja vesiympäristön käyttöä niin, että se on yhteiskunnallisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä. Tarkoituksena on lisäksi ehkäistä ja vähentää vedestä ja vesiympäristön käytöstä aiheutuvia haittoja sekä parantaa vesivarojen ja vesiympäristön tilaa. Lakia sovelletaan rinnakkain ympäristönsuojelulain kanssa. Mikäli asia liittyy vesitalousasiaan, joka aiheuttaa vaaraa vesistön pilaantumiseen, mutta ei vaadi tämän lain mukaista lupaa, sovelletaan siihen ympäristölakia.

Pohjaveden alentaminen on huomioitu vesilaissa. Luvun 2 1 §:n mukaan pohjavesi kuuluu sille, jolle kyseisen maa-alueen omistaa. Luvussa 3 käsitellään luvanvaraisia vesitaloushakkeita. Pohjaveden alentaminen voidaan määritellä tällaiseksi. Luvun 3 2 §:n mukaan mainitaan, että mikäli hanke muuttaa pohjaveden määrää tai laatua ja erityisesti mikäli alentamisella on vaikutusta vedenotolle tai käytölle talousvetenä, on se luvanvaraista toimintaa. Luvun 3 3 §:ssä tarkennetaan, että lupa on haettava, mikäli pumpattava määrä on enemmän kuin 250 m³ vuorokaudessa. Lupahakemus tehdään paikalliseen aluehallintovirastoon (AVI). Myös vedenimeyttäminen maahan on luvanvaraista toimintaa. 3 luvun 15§:n mukaan määrätään ilmoitusvelvollisuus, mikäli pinta- tai pohjavettä otetaan enemmän kuin 100 m³ vuorokaudessa. Tämä ilmoitus on tehtävä

vähintään 30 vuorokautta ennen toimenpiteen aloittamista. Ilmoitus on tehtävä sähköisesti hankkeen vastaavan toimesta ELY-keskukselle.

Luvussa 13 on määrätty korvauksista, joita joudutaan maksamaan, mikäli pohjaveden alentaminen on aiheuttanut haittaa muille kyseisen alueen pohjavettä käyttäville. Luvussa määritellään myös luontovahinkojen korjaamisesta ja määrätään, että vesilainrikkomisesta voidaan tuomita sakkorangaistukseen. Luvussa 16 mainitaan, että mikäli ilman lupaa ryhtyy vesilaissa määriteltyihin toimiin, voidaan tuomita sakkoihin. Lisäksi mainitaan, että ympäristön turmelemisesta aiheutuvat rangaistukset on määrätty erikseen rikoslaissa.

[24.]

4.4 Ympäristönsuojelulaki

Ympäristönsuojelulain 527/2014 tarkoitus on ehkäistä ympäristön pilaantumista ja pilaantumisen vaaraa, vähentää päästöjä, poistaa pilaantumisesta aiheutuvia haittoja ja torjua ympäristövahinkoja. Lisäksi se turvaa terveellisen ympäristön, edistää luonnonvarojen kestäväää käyttöä, tehostaa ympäristöä pilaavan toiminnan vaikutusten arviointia sekä parantaa kansalaisten mahdollisuuksia osallistua ympäristöön liittyvään päätöksentekoon.

Lain 1 luvun 6 §:n mukaan on määritelty, että toiminnanharjoittajan on oltava selvillä toimintansa ympäristövaikutuksista ja riskeistä. Saman luvun 7 §:n mukaan määrätään toiminnanharjoittaja järjestämään toimintansa siten, että ympäristön pilaantuminen voidaan ehkäistä ennakolta. Toiminnan ollessa luvanvaraista täytyy toiminnanharjoittajan 8 §:n mukaan käyttää parasta käyttökelpoista tekniikkaa. Energiankäytön on oltava tehokasta sekä toiminnan vaikutuksia ja päästöjä on seurattava. Lisäksi on varmistettava toiminnan laatuun ja laajuuteen nähden riittävä asiantuntemus.

Ympäristönsuojelulaki ei ota kantaa erityisesti pohjaveden alentamiseen, koska tämä on jo sisällytetty vesilakiin. Kuitenkin lain 2 luvun 17 § määrää pohjaveden pilaamiskiellon. Se kieltää päästämästä pohjaveteen mitään sellaista ainetta, energiaa tai pieneliötä, jotka voivat pilata pohjaveden laadun ja aiheuttaa terveysriskiä. Viranomaisen on 6

luvun 52 §:n mukaan toimijalle antamassaan ympäristöluvassa annettava määräykset pilaantumisen ehkäisemisestä, mitä on noudatettava rangaistuksen uhalla.

[25.]

4.5 Kaupunkien ja kuntien ohjeet ja määräykset

Kaikilla kunnilla ja kaupungeilla on oma rakennusjärjestyksensä, jossa määrätään pohjavesien huomioon ottamisesta rakentamisvaiheessa. Suurimmalla osalla on lisäksi erityinen ohje pohjavesialueelle rakennettaessa. Koska tämä tutkimus on tehty Kreate Oy:n Uudenmaan pohja- ja betonirakentamisen yksikölle, keskitytään tässä vain Helsingin kaupungin antamiin ohjeisiin. Ohjeet ovat samankaltaisia muissakin kaupungeissa ja kunnissa, mutta ne on tarkistettava aina erikseen ennen hankkeen aloitusta.

Helsingin kaupungin rakennusjärjestys määrää IX luvun 53 §:n mukaan pohjaveden huomioonottamisesta rakentamisessa. Suunnitteluvaiheessa on tarvittaessa tutkittava rakentamisen vaikutukset pohjaveden laatuun, korkeusasemaan ja virtausmahdollisuuksiin. Tämä tutkimus on liitettävä lupahakemuksiin. Mikäli pohjavettä joudutaan pysyvästi alentamaan, pitää alentamisesta tehdä asiantuntijan pohjaveden hallintasuunnitelma. Suunnitelmasta on selvittävä alentamisen vaikutukset kasvillisuuteen ja kunnallistekniikkaan. Tämän pykälän määräykset koskevat kaikkia alueita, joissa on pohjavettä. [26.]

Luvun IX 54 § käsittelee rakentamista vedenhankintaa varten tärkeillä pohjavesialueilla. Helsingissä tällaisia alueita ovat Fazerilan, Tattarisuon, Vartiokylän, Vuosaaren, Isosaaren ja Santahaminan pohjavesialueet [19]. Rakennusjärjestys määrää, että rakennuslupaa haettaessa on näillä alueilla rakennusluvan asiakirjoihin aina liitettävä pohjaveden hallintasuunnitelma ja pohjaveden tarkkailuohjelma. Rakennustyöhön ryhtyvän on kiinnitettävä huomiota pohjaveden pilaantumisen estämiseksi ja sitä varten laadittua suunnitelmaa on noudatettava toteuttamisvaiheessa. Tärkeillä pohjavesialueilla pohjavettä ei saa alentaa. Lisäksi maata kaivettaessa on aina jätettävä pohjaveden pinnan ja maanpinnan väliin riittävä suojakerros. Täyttöjä ei saa tehdä sellaisella maaineksella, joka saattaa pilata pohjaveden laadun. Jätevesijärjestelmä on koestettava tiiveyden varmistamiseksi. [26.]

Puisten perustusrakenteiden huomioimisesta on määrätty IX luvun 55 §:ssa. Mikäli alueella on käytetty puisia perustusrakenteita, ei rakentaminen saa muuttaa haitallisesti pohjaveden pintaa tai estää sen virtausta. Näillä alueilla pohjavettä ei voida alentaa edes tilapäisesti. [26.]

Helsingin kaupungilla on lisäksi käytössä erillinen ohje tärkeille pohjavesialueille rakentamisesta. Siinä käydään tarkemmin läpi rakennusjärjestyksen määräykset ja annetaan lisäohjeita niiden noudattamiseen. Ohjeessa esimerkiksi määrätään mitä hallintasuunnitelman ja tarkkailuohjelman tulee sisältää. Työmaille asetetaan rajoituksia säilytettävien öljyjen ja liuottimien määrästä sekä työmaille veloitetaan pesemään ja puhdistamaan koneet pohjavesialueen ulkopuolella sekä ohjeistetaan työmaan jätehuollon järjestämisestä. Maankaivuusta tarkennetaan maanpinnan ja pohjavedenpinnan suojaetäisyydeksi 1,5 metriä. Tärkeille pohjavesialueille on myös käytössä vuonna 2014 valmistunut pohjaveden pinnan tarkkailuohje. Siinä käsitellään miten ja millaisilla välineillä pohjaveden tarkkailua on tehtävä. [27.]

5 Yleisesti pohjaveden alentamisessa huomioitavia asioita

Ennen pohjaveden alentamisen aloittamista on sen pinnan tasosta sekä alennettavan alueen ympäristöstä tehtävä tutkimuksia, luotava alentamissuunnitelma ja hoidettava tarvittavat lupa- tai ilmoitusmenettelyt. Alentamisen aikana on tarkkailtava pohjaveden pintaa, pumpatun veden määrää sekä seurattava pohjaveden ja pumpatun veden laatua.

5.1 Pumpattavan vesimäärän ja pumppauksen vaikutusalueen arviointi

Pumpattavien vesimäärien ja pumppauksen vaikutusalueen laskemiseen on kehitetty analyttisiä menetelmiä. Niissä pohjavettä alennettavan maaperän huokoisuus ja vedenjohtavuus huomioimalla, saadaan arvioita pumpattavista vesimääristä ja alentamisen vaikutuksesta. Kaavoja käytettäessä on aina huomioitava, että vain harvoin maaperä on homogeenistä työmaalla. Taulukossa 3 on esitetty yleisimpien maalajien vedenläpäisevyyskerroin ja kokonaishuokoisuus.

Taulukko 3. Maalajien vedenläpäisevyyden ja kokonaishuokoisuuden arvoja [30. s 12.].

Maalaji	Vedenläpäisevyyskerroin k (m/s)	Kokonaishuokoisuus (%)
Soramoreeni (SrMr)	$10^{-4} - 10^{-7}$	
Hiekkamoreeni (Mr)	$10^{-6} - 10^{-8}$	
Silttimoreeni (HMr)	$10^{-7} - 10^{-10}$	
Sora (Sr)	$10^{-1} - 10^{-4}$	25 – 50
Karkeahiekka (Hk)	$10^{-1} - 10^{-4}$	30 – 46
Hienohiekka, Hieta (Ht)	$10^{-3} - 10^{-6}$	26 – 53
Keski- ja hienosiltti (Hs)	$10^{-5} - 10^{-8}$	40 – 50
Savi (S)	$10^{-8} - 10^{-10}$	34 – 70

Pohjavesi virtaa maaperässä paineellisena tai vapaasti. Molemmille virtaustavoille on omat laskukaavansa. Paineellisena vesi virtaa esimerkiksi saven ja tiiviin moreenikerroksen välissä. Pumpattavia vesimääriä arvioitaessa on laskettava ensin pumppauksen vaikutusetäisyys. Vaikutusetäisyys riippuu pumppauksen kestoajasta, vedenoton määrästä ja kaivon rakenteesta. Paineellisessa pohjavedessä pumppauksen vaikutusalue on suurempi kuin vapaasti virtaavassa vedessä.

Yhden kaivon ympärille syntyneen pohjavedenpinnan alennuksen säteen voi laskea kaavalla 1.

$$R = c \sqrt{\frac{kHt}{n}} \quad (1)$$

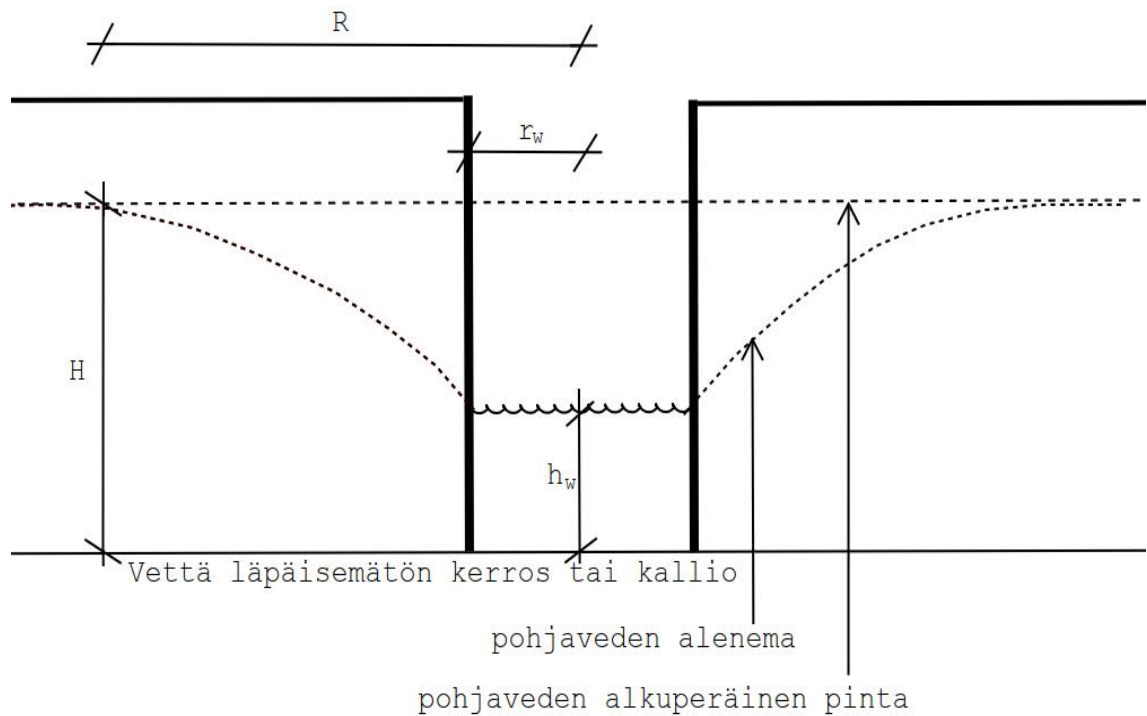
R on	kaivon ympärille muodostuvan vedenpinnan alennuksen säde (m)
c	kerroin 1,5 – 3 väliltä. c on 3 kun pumppausaika on 3 -10 vrk
k	vedenläpäisevyyskerroin (m/s)
H	vettä läpäisevän maakerroksen paksuus. (m)
t	pumppauksen kesto aika (vrk)
n	maaperän huokoisuus

Kokemusperäistä Sichardtin kaavaa 2 voidaan myös käyttää pumppauksen vaikutusalueen määrittämiseen. Kaava antaa vain likimääräisen vastauksen, mutta sen tulos on sitä tarkempi, mitä suurempi alennus korkeus on. Mikäli avovesistö on lähellä veden alennuskaivoa, voi pumppauksen vaikutusalue olla enintään kaksi kertaa vesistön rannan ja alennuskaivojen painopisteen välisen etäisyyden suuruinen.

$$R = 3000s\sqrt{k} \quad (2)$$

R on	Pumppauksen ulottuvuus (m)
s on	vedenpinnan suunniteltu alennus (m)
k	vedenläpäisevyyskerroin (m/s)

Kuvassa 2 on esitetty pumppauksen aiheuttama pohjaveden alenema maaperässä.



Kuva 2. Veden alennuksen aiheuttama painuma [33.] [30, liite 1, s.4.].

Vapaasti virtaavan pohjaveden yhdestä kaivosta pumpatulle vesimäärälle Q voidaan käyttää kaavaa 3. Kaavaa käytettäessä on huomioitava, että oletuksena kaivo jatkuu koko vettä läpäisevän maakerroksen läpi.

$$Q = \frac{\pi k (H^2 - h_w^2)}{\ln(R/r_w)} \quad (3)$$

Q on	Veden virtaama (m^3/s)
R	pumppauksen vaikutusalueen säde (m)
r_w	kaivon säde (m)
H	pohjaveden pinnan alkuperäinen korkeus (m)
h_w	pohjaveden korkeus kaivossa
k	vedenläpäisevyyskerroin (m/s)

Pohjaveden ollessa paineellista on käytettävä kaavaa 4, jotta voidaan arvioida yhdestä kaivosta pumpattavaa vesimäärää Q .

$$Q = \frac{2\pi bk(H_1 - h_{w1})}{\ln(R/r_w)} \quad (4)$$

R on	pumpattavan alueen vaikutussäde
r_w	kaivon säde (m)
H_1	pohjaveden pinnan alkuperäinen korkeus, paineellisen pohjavesikerroksen yläpinnasta
h_{w1}	pohjaveden korkeus kaivossa, paineellisen pohjavesikerroksen yläpinnasta
b	paineellisen pohjavesikerroksen paksuus
k	vedenläpäisevyyskerroin (m/s)

[15.] [28.] [29.] [30, liite 1.]

5.2 Tutkimukset

Ennen hankkeen yleissuunnitteluvaiheen aloitusta tarveselvitysvaiheessa tehdään rakennuspaikalle alustava pohjavesitutkimus. Siinä apuna käytetään pääasiassa olemassa olevaa tietoa ja tutkimuksia. Esimerkiksi Maanmittauslaitoksen ylläpitämän paikkatietoikkuna.fi verkkosivuston karttapalvelussa on nähtävillä Suomen Ympäristökeskuksen SYKE tietokannasta löytyvät Suomen pohjavesialueet. Myös ympäristö.fi verkkosivuston Oiva palvelusta löytyy tietoa pohjavesialueista, vedenottoluvista, havaintopisteistä, vedenlaadusta, riskikohteista, virtaussuunnista ja lista tehdyistä pohjaveden aluesuunnitelmista. ELY-keskuksilta ja Suomen Ympäristökeskuksesta on mahdollista saada tietoa pohjavesialueista ja asiantuntijapalvelua. Geologian tutkimuskeskuksella on alueellista ja valtakunnallista pohjavesitutkimustietoa. Pohjavesien laadusta ja seurannasta saa tietoa Suomen Vesiensuojeluyhdistyksen liitosta. Peruskarttoihin, orto- ja ilmakuviin sekä maaperäkarttoihin on merkitty pohjaveden pintatietoja. Näistä kartoista usein myös selviää kohteen maaperä. [30, s. 13.] [31, liite 2, opaskortti 4.]

Kun hankkeen yleissuunnittelu on käynnistynyt, tehdään rakennettavaan kohteeseen pohjavesitutkimus yleisen pohjatutkimuksen yhteydessä. Sen laajuus määräytyy alustavan pohjavesitutkimuksen perusteella. Laajuuteen vaikuttaa rakennuspaikan sijainti suhteessa pohjavesialueisiin. Vaikutusta on myös pohjaveden alentamisen tarpeella. Mikäli rakennukseen tulee syviä kellarikerroksia, pitää pohjavettä alentaa paljon. Silloin tarvitaan laajaa pohjavesitutkimusta. Jos alennustarve on vain vähäinen, riittävät vä-

häisemmät tutkimusmenetelmät. [30, s. 13.] Taulukossa 4 on esitetty pohjatutkimus-suosituksen mukainen näytteidenottomäärä kaivannon vaativuusluokan mukaan.

Taulukko 4. Rakennuskaivannon pohjatutkimusohjelman mukaiset näytteidenottomäärät [43.].

Pohjavesi	Menetelmä	Tavanomainen	Vaativa	Erittäin vaativa
pohjaveden taso kaivantoalueella	koekuoppa tai havaintoputki	1 - 2	-	-
	havaintoputki kaivantoalueella	-	≥2	≥2
pohjaveden taso kaivannon ympäristössä	havaintoputki kaivannon ympäristössä	-	≥2	≥2
pohjaveden virtausolosuhteet maapohjassa	koepumppaus ja seuranta havaintoputkista	-	≥2	≥2
Pohjaveden virtausolosuhteet kalliossa	koepumppaus kallioista kaivantoalueella	-	-	x
	koepumppaus kallioista tukiseinälinjalla	-	-	x

x) otetaan porakonekairausreitistä, joissa hyväksytty vedenpainekoe tulos

Pohjavesitutkimuksessa selvitetään alueen pohjavedenpinnan taso, korkeusvaihtelut, veden virtaussuunnat, maaperän vedenjohtavuusominaisuudet, pohjaveden paineellisuus sekä pohjavesiolosuhteet. Pohjavesiolosuhteista erityisesti maaperän koostumus ja kerrokset on selvitettävä. Maaperän koostumuksen ja kerroksien selvitys kuuluu myös tavanomaiseen pohjatutkimukseen, joka rakennuspaikalle tehdään. Pohjavesitutkimuksessa perehdytään aluksi aiempaan alustavaan pohjavesitutkimuksessa tehtyyn maaston tarkasteluun ja täydennetään sitä. Tämän lisäksi siihen lisätään kaivojen- ja lähteiden kartoitus sekä selvitetään lähiympäristön rakennusten perustusratkaisut ja suoritetaan niihin alkukatselmukset sekä laaditaan painumatarkkailun seurantaohjelma. Tutkimuksia jatketaan tekemällä tutkimukset pohjaveden pinnasta, maakerrosrakenteesta, kallionpinnasta ja sen laadusta. Näiden lisäksi otetaan maannäytteitä, selvitetään mahdollisesti pilaantunut maa-aines sekä asennetaan pohjaveden tarkkailuputket.

Lopuksi tehdään vielä koekuoppa ja suoritetaan koepumppaus. Tämän jälkeen voidaan aloittaa pohjavedenhallintasuunnitelman laatiminen. [30, s. 14-15.]

Erilaisia menetelmiä rakennuspaikalla tehtäviä tutkimuksia varten on monia. Koe-kuopan ja koepumppauksen lisäksi voidaan suorittaa mittauksia ja kairauksia. Kairausmenetelmillä saadaan tietoa vettä johtavien maakerrosten paksuudesta, tiiveydestä, raakoostumuksesta sekä kallionpinnan korkeusasemasta ja rikkonaisuudesta. Kairauksilla voidaan myös ottaa maanäytteitä. Erilaisia kairausmenetelmiä, jotka sopivat pohjaveden alentamiseen ovat esimerkiksi CPTU-kairaus ja porakonekairaus. [30, s. 19.]

CPTU-kairauksella voidaan mitata maakerrosrakennetta, kerrosten lujuutta ja vedenläpäisevyyttä, huokosvedenpainetta sekä maaperän eri kerrosten konsolidaatiotilaa. Kairauksista voidaan käyttää niin kivettömässä kitkamaassa kuin koheesiomaassakin. Porakairauksella voidaan arvioida kohteen kallioperää sekä sen lujuutta ja rikkonaisuutta. Tällä kairaustavalla voidaan havaita maakerrosten rajoja, maalajeja, maaperässä olevia suuria kiviä ja pohjaveden pintaa. Porakonekairauksen veden- tai ilmanpaineen muutoksista voidaan havaita, onko kallionpohjan ruhjeissa pohjavettä. Ruhjeessa olevaa vettä ja sen virtausta voidaan arvioida puhaltamalla vettä ja arvioimalla vedentulon voimakkuutta. Myös näytteenotto on mahdollista tällä menetelmällä. Muita käytettävissä olevia kairausmenetelmiä ovat puristin-heijarikairaus, heijarikairaus, tärykairaus, lyöntikairaus ja paineilmakairaus. [30, 19–21.]

Rakennuspaikalla tehtäviä mittauksia ovat maanäytteiden ottaminen, pohjavesiputkista tehtävät mittaukset, antoisuusmittaukset sekä Slug-testit. Slug-testillä voidaan mitata maaperän vaakasuuntaista vedenjohtavuutta ja maaperän vedenjohtokykyä. Lisäksi sen avulla saadaan tietoa mahdollisesti maahan varastoituneesta vedestä. Joissain tapauksissa, jos pohjavesiolosuhteet eivät ole vaativat, testi voi jopa korvata koepumppauksen suorittamisen. Slug-testissä maahan asennettuun pohjavesiputkeen tai kallioreikään aiheutetaan hetkellinen ja nopea vedenpinnan muutos. Muutoksen palautumista normaalitasoon seurataan vedenpainemittarilla. Vedenpinnan muutos saadaan aikaan pumppaamalla vettä, joko lisää tai poistamalla sitä putkesta. Slug-testissä voidaan käyttää erityyppisiä tiputettavia kappaleita vedenpinnan muutoksen aikaansaamiseksi. Vedenpinnan palautumisnopeudesta voidaan päätellä maaperän vedenjohtavuus. Esimerkiksi maaperän ollessa savea, voi vedenpinnan palautuminen normaalita-

soon kestää tunneista jopa kuukausiin. Karkeilla maalajeilla palautuminen voi tapahtua hyvinkin nopeasti. [30, s. 15, 22-24.]

5.3 Suunnitelmat

Pohjaveden hallintasuunnitelma tehdään pohjatutkimusten tulosten perusteella. Laati- misesta vastaa rakennuspaikan haltija ja sen tekee riittävän ammattitaidon omaava asiantuntija. Pohjaveden hallintasuunnitelman laajuus riippuu rakennettavan paikan pohjavesiolosuhteista ja pohjaveden alennuksen vaativuudesta. Hallintasuunnitelmas- sa esitetään hakijan yhteystiedot, hankkeen yleiskuvaus, hankkeen vastuutahot, vas- tuuaika ja vastuurajat. Lisäksi siinä määritetään pohjaveden suojelun tarve, määritel- lään pohjaveden tarkkailuohjelma, kuvataan tarvittavat pohjaveden suojausrakenteet ja rakennusaikaiset suojaustoimenpiteet. Siihen on myös liitettävä suunnitelma toiminnas- ta äkillisissä pohjaveden laatua uhkaavissa tilanteissa ja selvitys maaperän kanssa kosketuksissa olevien materiaalien ja kemikaalien haitattomuudesta pohjavedelle. [27, s. 2-3.]

Muita suunnitelmia, joita voidaan pohjaveden alentamiseen liittyen tehdä, on tietoko- neohjelmalla laadittu pohjaveden virtausmallinnus ja painumalaskelmat. Painumalas- kelmissa arvioidaan pohjaveden alenemisen aiheuttamaa maaperän painumisen suu- ruutta ympäristössä. Virtausmallinnus tehdään suotovirtausmallinnuksena, jonka avulla saadaan yksinkertaistettu käsitys todellisesta veden virtauksesta rakennuspaikalla. [30, s. 32-33.]

Huokoisessa maaperässä tai rakoilleessa kalliossa tapahtuvaa hidasta pohjaveden virtausta kutsutaan suotovirtaukseksi. Tätä suotovirtausta mallintamalla voidaan selvit- tää kaivantoon tuleva vesimäärä, pohjaveden virtaukset sekä sen suunnat. Suotovir- tausmallia voidaan hyödyntää suunniteltaessa kuivatustapaa, arvioitaessa ympäristö- vaikutuksia sekä määritettäessä kallion ja maan leikkauksia. [30, s. 32-33.]

5.4 Tarkkailu

Pohjaveden hallintasuunnitelmassa määrätään suoritettavat tarkkailut pohjaveden alentamiselle pohjaveden alentamisen vaikutusten seuraamiseksi. Mikäli pumpattava

vesimäärä on yli 250 m³ vuorokaudessa, saattaa alennusluvan myöntävä viranomainen asettaa lisäseurantaehtoja alentamiselle. Erilaisia tarkkailuja ja seurantoja, joita pohjaveden hallintasuunnitelmassa voidaan määrätä, ovat painumatarkkailu, pohjaveden pinnan seuranta, pumpatun veden määrän ja laadun seuranta.

Painumatarkkailua voidaan tehdä maaperään ja ympäristön rakennuksiin. Pohjatutkimussuunnitelmassa määritetään tarkkailtavat paikat. Lupaviranomainen usein määrää lupaehdoissa, kuinka pitkään rakentamisen päätyttyä mittauksia on jatkettava. Pohjaveden pintaa seurataan havainnointiputkista, jotka on usein asennettu jo pohjavesitutkimusta tehdessä. Suunnitelmista käy ilmi tarvittava mittausten tiheys. Mittaustiheys saattaa olla kuukaudesta jopa yhteen päivään. Pumpatun veden määrää voidaan mitata pumppuihin asennettavilla vesimittareilla tai manuaalisesti. Lupaviranomainen usein velvoittaa ilmoittamaan pumpatut vesimäärät. Pohjaveden laatua seurataan havainnointiputkista otetuilla laboratorionäytteillä. Myös pois pumpattavan vedenlaatua on seurattava. Mikäli siinä on hienoaainesta seassa, täytyy se puhdistaa, ennen kaivannosta pois pumppaamista, saostusaltaita käyttämällä.

6 Erilaiset pohjaveden alentamismenetelmät

Pohjaveden alentamiseen on monia eri menetelmiä. Niiden soveltuvuus riippuu paljon rakennettavasta kohteesta. Joissakin tapauksissa on myös mahdollista, että kaivannon ulkopuolella ei pohjavettä voida alentaa ollenkaan. On myös mahdollista, että pumpattu pohjavesi joudutaan palauttamaan takaisin maaperään.

6.1 Käytettävän pohjaveden alennustavan valinta

Kaivannon maaperän rakeisuus ja huokosten läpäisevyys määrittävät käytettävän kaluston [32, s 120.]. Pohjavettä alentavia yrityksiä ei ole monia, joten oman haasteensa voi tuottaa oikeanlaisen kaluston saatavuus. Työmaalla pohjavedenalennuksesta vastaava urakoitsija valitsee usein soveltuvimman kaluston yhdessä tilaajan kanssa. Pohjanalennus urakoitsijan valinnan pohjana on usein kokemus tietyn tyyppisen pumpauksen onnistumisesta kyseisessä maaperässä. [33.]

Taulukko 5. Pohjaveden alennusmenetelmien käyttöalueet [29.] [36].

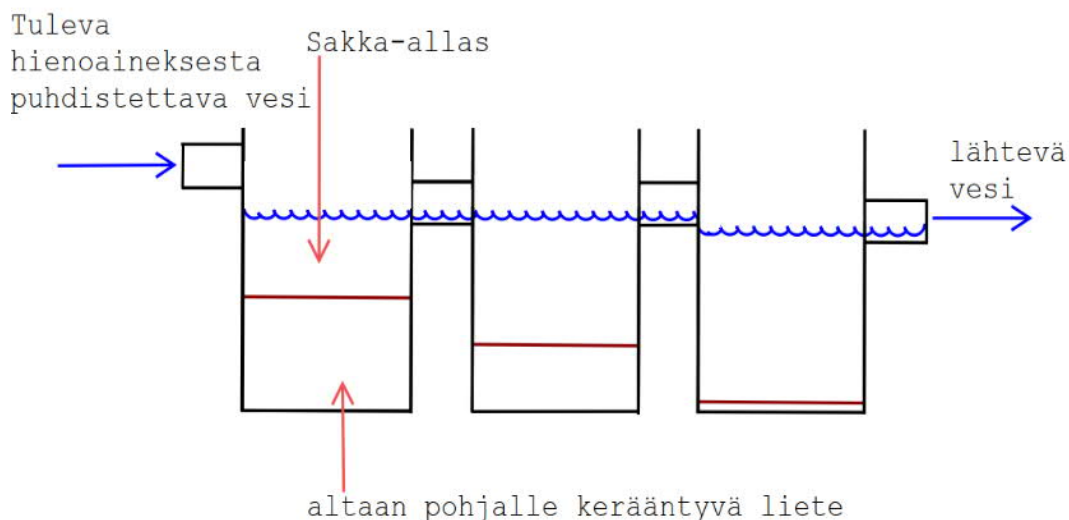
Soveltuva pohjaveden alennus menetelmä		
	1. Sähköosmoosi	2. Tyhjiöpumppaus
	3. Suodatinkaivopumppaus	4. Avoin pumppaus
Maalaji	Karkeus	Soveltuva menetelmä
Savi		1.
	Hieno	1. 2.
Siltti	Keskikarkea	1. 2.
	Karkea	2.
	Hieno	2. 3.
Hiekka	Keskikarkea	2. 3.
	Karkea	2. 3. 4.
	Hieno	2. 3. 4.
Sora	Keskikarkea	3. 4.
	Karkea	4.
Kivet		4.

Taulukossa 5. on esitetty yleisimmät tavat alentaa pohjavettä, sekä niiden soveltuvuus eri tyyppisiin maalajeihin. Tietyllä maaperällä on taulukon 5 mukaan mahdollista käyttää eri alennustapoja. Näissä tapauksissa työmaalla on tehtävä koepumppauksia oikean tavan selvittämiseksi.

Kaluston valinnassa on otettava huomioon myös alennettavan pohjaveden korkeus. Mikäli alennus on monia metrejä, ei alennus useinkaan onnistu avokaivannosta pumpaamalla, vaan on käytettävä menetelmää, joka ylettää riittävän syvälle. Lisäksi pohjavettä on alennettava yleensä noin 0,5 – 1 metriä suunnitellun kaivutason alle [30. s.31]. Sateiden kaivantoon aiheuttamat hule- ja pintavedet on myös huomioitava. Ne on pyrittävä ohjaamaan pois ennen kaivantoon valumista ojia tai patoja tekemällä [30. s. 31].

6.2 Pumppaus

Pohjaveden pumppausta kaivannosta uppo- ja kaivantopumpuilla voidaan tehdä joko suoraan kaivannon pohjalta tai suodatinkaivopumppumenetelmällä. Näillä menetelmillä pohjaveden alentaminen onnistuu, mikäli maaperä pysyy hyvin koossa ja on huonosti vettä läpäisevää. Myös karkearakeisemmasta maaperästä voidaan pumpata pohjavettä, mutta tällöin pohjavesi ei voi olla kovin paljon kaivannon pohjan yläpuolella. Karkearakeisemmassa maassa pumppujen määrää on lisättävä. Pumppujen määrän ollessa suuri, on riittävä työmaasähkön saatavuus huomioitava. Hienorakeisessa maassa pumppujen tukkeutuminen on myös huomioitava. Niiden kuntoa on seurattava säännöllisesti ja puhdistuksia on suoritettava usein. Työmaalla on hyvä pitää varalla ylimääräistä pumppauskalustoa tätä pumppausmenetelmää käytettäessä. Uppo- ja kaivantopumppuja käytettäessä on pumpatussa pohjavedessä usein paljon hienoainesta mukana. Pumpattu vesi on puhdistettava saostusaltaita käyttäen. Kuvassa 3 on esitetty saostusaltaan toimintaperiaate. Myös saostusaltaiden säännöllinen puhdistaminen on huomioitava. [32, s. 120.]



Kuva 3. Saostusaltan toimintaperiaate [33].

6.2.1 Pumppaus avokaivannosta

Pohjaveden pumppaus avokaivannosta tapahtuu uppo- tai kaivantopumpulla. Kaivannon pohjaan tehdään kaivinkoneella syvennys, johon pohjavesi pääsee kerääntymään. Mikäli on vaarana pumpun tukkeutuminen liiallisesta veden mukana kulkeutuneesta hienoaineksen määrästä, voidaan syvennykseen laittaa suodatinkangas ja sepeliä estämään hienoaineksen kulkeutumista pumppuun. Pohjaveden alennuksen syvyys ei tällä menetelmällä ole kovin suuri, mutta paikallinen pohjaveden alentaminen on mahdollista. Suurin alennuksen syvyys, johon voidaan päästä, on 2,5 – 3 metriä [9, s. 61]. Mikäli kaivanto on laaja, ei tämä menetelmä sovellu käyttöön. Tarvittavien pumppujen määrää voidaan arvioida pohjaveden hallintasuunnitelmassa ilmoitettujen virtaavien pohjavesien määrästä, mikäli laskelmat on tehty. Kuvassa 4 on esitetty pohjaveden alentamista avokaivannosta pumppaamalla. Menetelmän vaikutussäde pohjaveden alenemiseen on usein hyvin pieni, joten kaivannon luiskasortumat on otettava huomioon. Tällä menetelmällä luiskasortumissa pohjavesi virtaa usein kaivannon luiskaa pitkin kohti pumppua ja kuljettaa siten hienoainesta pois. Kun hienoainesta on kulunut riittävästi pois, luiskan reuna romahtaa.



Kuva 4. Pohjaveden alentamista kaivannon pohjalta [35.].

6.2.2 Pumppaus suodatinkaivoista

Suodatinkaivomenetelmä sopii maaperälle, joka on hiekkaa, hiekkamoreenia tai sora-moreenia. Suodatinkaivoina käytetään halkaisijaltaan 100 – 200 millimetriä siiviläputkikaivoja. Ensin maahan asennetaan 300 – 800 millimetrin työputki, jonka sisälle laitetaan siiviläputkikaivo. Tämän jälkeen täytetään vähän kerrallaan siivilä- ja työputken väliä suodatinhiekalla sekä samalla nostetaan työputkea ylemmäs. suodatin kaivoja asennetaan noin 5 – 15 metrin välein riippuen maaperän vedenjohtavuudesta. Jos pohjavettä joudutaan alentamaan paljon, alkuperäiseen korkeuteen nähden, joudutaan suodatinkaivoja asentamaan moneen eri tasoon kaivantoon. [32, s. 120.]

Suodatinkaivo menetelmään perustuen voidaan pohjaveden alentamista tehdä syväkaivolla. Sillä voidaan alentaa pohjavettä 6 – 7 metriä. Tässä menetelmässä maahan kaivetaan vähintään 400 mm suoja-putki, jonka pohjalle laitetaan uppopumppu. Kuvassa 5 on betonirenkailla maahan asennettu syväkaivo.

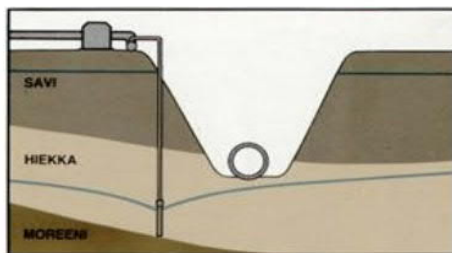


Kuva 5. Betonirenkaista tehty syväkaivo [35].

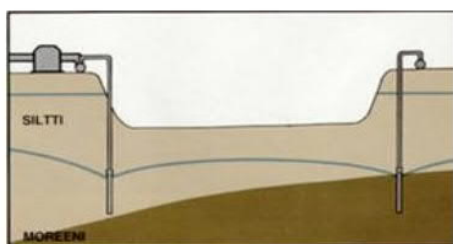
6.3 Tyhjiömenetelmä

Tyhjiömenetelmässä pumpulla muodostetaan siiviläputkien kärkeen alipaine. Alipaineen vuoksi vesi alkaa imeytymään maasta [32, s. 120]. Tyhjiömenetelmällä pohjavettä voidaan alentaa noin 6 metriä. Siiviläputket asennetaan 2 – 5 metrin välein maahan, riippuen maaperän vedenläpäisykyvystä [36]. Kaikista pohjaveden alennus menetelmistä tyhjiömenetelmä soveltuu parhaiten eri maaperiin [37]. Sitä voidaan käyttää kaikissa maaperissä savea lukuun ottamatta. Kuitenkin maaperässä olevat suuret kivet saattavat estää putkien asentamisen. Siiviläputkien asennusväliä tihentämällä voidaan vettä imeä hyvinkin karkeassa maaperässä [37]. Tämä lisää kuitenkin tarvittavien imupumppujen määrää. Kuvassa 6 esitetään tyhjiömenetelmän käyttö erilaisissa kaivannoissa.

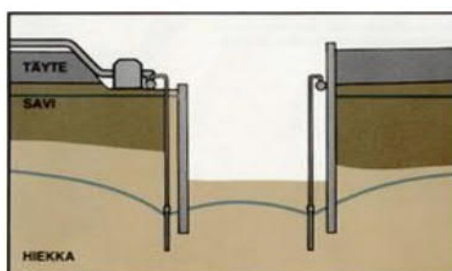
Havainnekuvat



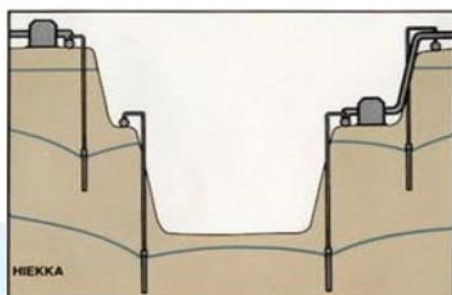
Imukärjet asennetaan riviin kaivannon reunalle.



Imukärjet asennetaan kaivannon ympärille.



Imukärjet asennetaan tuetuissa kaivannoissa tukiseinien sisä- ja ulkopuolelle.



Imukärjet asennetaan syvissä kaivannoissa vaihteittain.

Kuva 6. Tyhjiömenetelmän eri käyttötapoja kaivannon mukaan [36].

Siivilä kärkiputket asennetaan syöttämällä putkiin vettä sekä samaan aikaan kiertämällä putkea maahan. Putket painuvat helposti maahan vedenpaineen avulla. Siiviläputken ympärille syntyneeseen tyhjiään tilaan laitetaan suodatinhiekkaa. Kuvassa 7 siiviläkärkiputkea asennetaan maahan. Joskus asentamisessa voi tulla ongelmia, mikäli maaperä on erittäin tiivistä tai kivistä. Tällöin ennen siiviläputken asennusta voidaan sille tehdä esireikä. Esireikä voidaan tehdä esimerkiksi MOVAX-sivuoteiskijällä. MOVAX:n avulla siiviläkärkiputkea hieman suurempi umpinainen päästä terävä terästanko täyrytetään maahan ja ylös. Terästangolla tehtyyn esireikään voidaan siiviläkärkiputki asentaa normaalisti veden avulla.



Kuva 7. Siivilä kärkiputkien asentaminen [35.].

Tyhjiömenetelmässä tarvitaan paljon kalustoa, varsinkin jos kaivanto on laaja. Vettä alennetaan kuvan 8 mukaisella pohjaveden alennuspumpulla, johon siiviläkärkiputket liitetään runkoputkella. Kuvassa 9 on siiviläkärkiputken liitos runkoputkeen. Siiviläkärkiputket asennetaan kuvassa 10 olevan huuhtelupumpun avulla.



Kuva 8. Kuvassa on tyhjiömenetelmässä käytetty pohjaveden alennuspumppu [35.].



Kuva 9. Siiviläputken ja runkoputken liitos [35.].



Kuva 10. Kuvassa on siiviläkärkiputkia sekä niiden asentamisessa käytettävä huuhtelupumppu [35.].

6.4 Kun alentaminen ei onnistu

Aina pohjaveden alentaminen ei ole mahdollista. Tällaisia paikkoja ovat esimerkiksi pohjavesialueet sekä alueet, joissa talot ovat puupaaluperustuksella tuettuja. On myös mahdollista, että talot on perustettu sellaisen hienorakeisen maan päälle, joka voi painua pohjaveden alentamisen seurauksena. Näissä tapauksissa on pohjaveden pääsy kaivantoon estettävä ennen kaivuutyön aloittamista.

Kun pohjavettä ei alenneta kaivannon ulkopuolella, on veden virtauksen katkaisemiseksi tehtävä patoseinä. Se on veden ulkopuolellaan pitävä tukiseinä, joka veden tiiveyden lisäksi mahdollistaa kaivannon tekemisen. Patoseinän on kestettävä vedenpaineen lisäksi siihen kohdistuva maanpaine. Tällaiset tukiseinät ovat usein hyvin työläitä toteuttaa. [38, s. 14.]

Tukiseinä voidaan toteuttaa joko kallioon asti ulottuvana tai vain osan matkaa maahan ulottuvana. Mikäli tukiseinä tehdään kallioon asti, on kallio usein injektoitava riittävän vesitiiveyden saamiseksi. Myös tukiseinän ja kallion liitoksen vesitiiveydestä on varmistuttava. Jos tukiseinä ei ylety kallioon asti, on varmistettava, että kaivannossa ei tapah-

du hydraulista murtumaa. Siinä tiiviin hienorakeisen maakerroksen alla, hyvin vettä johtavassa karkearakeisessa maakerroksessa, oleva vedenpaineen noste aiheuttaa murtuman kaivannon pohjaan. Murtuma tapahtuu, kun vedenpaine hienorakeisen maaperän alapinnassa muuttuu suuremmaksi kuin tämän hienorakeisenkerroksen oma paino. Patoseinä, joka ei ylety kallioon asti on aina mitoitettava hydrauliselle murtumalle. [38, s. 9, 14-15.]

6.4.1 Suihkuinjektoitu seinä

Suihkuinjektioinnissa maan rakenne leikataan korkeapaineisella vesisuihkulla ja tilalle suihkutetaan vesisementtisuspensiota. Kovettuessaan vesisementtisuspensio muodostaa yhdessä alkuperäisen irronneen maaperän kanssa kiinteän ja tiiviin paalun. Paalun lujuteen vaikuttaa alkuperäinen maaperä. Suihkuinjektoituja paaluja voidaan tehdä vierekkäin lomittaen ne. Näin saadaan aikaan vesitiivis seinärakenne. Suihkuinjektioinnilla tehty seinärakenne ei kestä vetojännitystä. Myös jäätyminen rikkoo sen. Suihkupaalutusta käytetään usein muiden patoseinien yhteydessä varmistamassa seinän tiiveyttä. Suihkupaalutuksen ongelmana voidaan pitää paineilman hallitsematonta pääsyä maaperään sekä paalulietteen karkaamista. Esimerkiksi viereisen talon alle nostaa sen alapohjaa. [38, s. 21-24.]

Suihkuinjektointia varten tontilla pitää olla riittävästi tilaa. Siihen kuuluu poravaunun lisäksi esimerkiksi kookas betonisiilo ja korkeapainepumppu. Myös porapaalulietteen varastointiin on varauduttava. Lietettä syntyy suuria määriä ja sen on usein annettava kovettua työmaalla ennen pois viemistä. Kuvassa 11 suihkuinjektoidaan suihkupaaluseinää, kuvasta voidaan myös havaita käytettävää kalustoa. Kuvassa 12 on valmis suihkupaaluseinä. [42.]



Kuva 11. Suihkupaaluseinän suihkuinjektointi [39].



Kuva 12. Valmis suihkupaaluseinä [40].

6.4.2 Teräsponttiseinä

Teräsponttiseinä koostuu maahan täryttämällä upotetuista teräsponteista, jotka lukittuvat toisiinsa. Teräsponteista voidaan tehdä jäykkä seinä ankkuroimalla se maaperään tai kallioon. Ankkurit kiinnitetään vaakasuuntaisiin palkkeihin, jotka hitsataan pontteihin kiinni. Sitä voidaan myös jäykistää lisää poraamalla pontin uumaan porapaaluja. Teräsponttiseinä on kustannustehokas ja siitä voidaan huolellisen suunnittelun ja toteutuksen avulla tehdä vesitiivis. Pontit on myös mahdollista nostaa pois rakentamisen päätyttyä ja käyttää uudelleen toisessa kohteessa.

Teräsponttiseinän asennusta rajoittaa käytettävän maaperän kivisyys sekä maan suuri tiiveys. Vedenpitävä teräsponttiseinä pitäisi pystyä asentamaan kallionpintaan kiinni. Alapään vesitiiveys on usein osoittautunut ongelmaksi ponttiseinässä. Vain harvoin kallio on riittävän tasainen, jotta pontti olisi alapäästään riittävän vesitiivis. Alapään vesitiiveyttä voidaan lisätä tiivistämisellä ja juuripalkkivalulla. Juuripalkkivalu on kuitenkin usein haasteellinen pontin alapäästä virtaavan veden vuoksi. Toisena ongelmana voidaan pitää maaperää. Tiivis maaperä ja kivisyys pysäyttävät pontin upotuksen tai taivuttavat sitä niin paljon, että lukot irtoavat toisistaan. Ironneiden lukkojen välistä vesi pääsee virtaaman kaivantoon. Ponttien lukot eivät ole vesitiiviitä, mutta mikäli maa on riittävän hienoainespitoista, tukkii se ajan mittaan lukot lähes vesitiiviiksi. Mikäli kaivanto on syvä, saattaa vedenpaine aiheuttaa hienoaineksen poistumisen lukoista ja lukot alkavat vuotaa uudelleen. Ongelmana teräsponttiseinässä saattaa olla myös upotuksesta aiheutuva tärinä.

[38, s. 16-18.]

6.4.3 Porapaaluseinä

Porapaaluseinä soveltuu kaikkiin maaperiin. Isot kivet tai tiivis maaperä ei ole ongelma porapaalujen asentamiselle. Paalut porataan kallioon. Paalut kiinnittyvät toisiinsa vesitiiviiden lukkojen välityksellä. Paalut raudoitetaan ja valetaan täyteen. Porapaaluseinää voidaan tehdä alueella, jossa on tiukat rajat ympäristövaikutuksille. Tällaisia vaikutuksia ovat esimerkiksi tärinä, painumat ja siirtymät. [38, s. 24.]

Porapaaluseinän tekemisen haasteeksi on osoittautunut riittävän vesitiiveyden saaminen. Ongelmia on ilmennyt kallion ja paaluputken liitoskohdissa, lukkorakenteessa, ankkureiden läpivienneissä sekä porapaalulietteen hallinnassa. Kuvassa 13 on porapaalujen väliin lukkorakenteen päälle hitsattu lisäteräslevy. Teräslevyn takaosa on myös injektoitu täyteen vedentiiveyden lisäämiseksi. [38, s. 27, 99-100.]



Kuva 13. Porapaaluseinä [42.]

7 Kustannukset

Pohjaveden alentamisen kustannukset rakentamisen aikana riippuvat ensisijaisesti kaivannon koosta, käytetystä kalustosta ja rakentamisen kestosta. Laajaan kaivantoon tarvitaan paljon pumppuja ja muuta vuokrakalustoa. Mikäli pohjavettä ei voida alentaa, joudutaan usein turvautumaan teknisesti haastaviin ja kalliisiin ratkaisuihin. Tässä kappaleessa tutkitaan mistä kustannuksia syntyy käytettäessä tiettyä pohjaveden alennustapaa.

Pohjaveden alentamisen suunnitteleminen ja pohjatutkimukset aiheuttavat kustannuksia. Suunnittelukustannukset riippuvat kaivannon laajuudesta, pohjaveden alentamisen tarpeesta ja alennuspaikasta. Tavanomaisissa pienissä kaivannoissa, joissa pohjaveden alentamisella ei ole riskiä ympäristölle lisäsuunnittelukustannuksia ei juurikaan ole tavanomaisen pohjatutkimuksen ja yleissuunnittelu asiakirjojen lisäksi. Toisaalta taas laajoissa ja haastavissa kaivannoissa suunnittelukustannuksia syntyy huomattavasti enemmän. Kuitenkin nämä kustannukset voivat olla vain joitakin prosentteja kaikista pohjaveden alentamisen aiheuttamista kustannuksista [43, s. 28]. Suunnitelmissa tai vesien pumppausluvista määrätyistä seurannoista, tulee myös kustannuksia. Suurimmat kustannukset syntyvät, jos pohjaveden alentamiseen ei ole varauduttu riittävän aikaisin suunnitteluvaiheessa. Tällöin suunnittelu on kallista ja kiireessä ei välttämättä päädytä parhaaseen pohjaveden alennusratkaisuun.

Halvin ja yksinkertaisin tapa toteuttaa pohjaveden alentamista on pumppaaminen syvennyksistä kaivannon pohjalta uppopumpuilla. Pohjaveden alenemisen vaikutus on kuitenkin hyvin pieni, varsinkin veden virtauksen ollessa suurta. Tämän pumppaustavan kustannukset syntyvät kaivinkoneen ja asentajan työtunneista, pumppukuoppaan käytetystä sepelistä, pumpusta, letkuista ja veden puhdistamiseen tarvittavasta sakkaaltaasta. Pumppujen huoltoon ja puhdistukseen kuluu työtunteja. Työmaasähkökeskuksista syntyy kustannuksia, koska työmaasähköä on oltava riittävästi saatavilla. Syväkaivoista pumppaaminen on jonkin verran kalliimpaa kuin kaivannon pohjalta. Kuitenkin tällä menetelmällä saadaan pohjavettä alennettua tehokkaammin. Suuremman kustannuksen aiheuttaa kaivon maahan kaivamisesta tulevat kaivinkoneen ja avustavan työmiehen tunnit. Lisäksi kustannuksia tulee kaivoon asennettavasta suojaputkesta kuten betonirenkaista tai muovisesta suojaputkesta. [33.]

Tyhjiömenetelmä on tehokas tapa alentaa pohjavettä ja se soveltuu moniin eri maala-jeihin. Kuitenkin tässä menetelmässä kustannuksia syntyy vuokrakalustosta, joka on pääasiassa aliurakoitsijan. Kuluja syntyy kaluston rahdeista, siiviläkärkiputkien asentamisesta sekä niiden ympärille laitettavavasta suodatinhiekestä. Lisäksi asentajan on pumppauksen aikana tarkkailtava pumppujen toimintaa ja huollettava niitä säännöllisesti. Vuokrakustannuksia tulee runkolinjasta, siiviläputkista ja pumpuista. Pohjaveden alennuskustannukset tällä menetelmällä riippuvat merkittävästi kaivannon laajuudesta ja alentamisajan pituudesta vuokrakustannusten muodossa.

Jos pohjaveden alentaminen ei ole mahdollista ja joudutaan turvautumaan patoseiniin, nousevat kustannukset merkittävästi. Suunnittelukustannukset kasvavat tarvittavien lisätyövaiheiden suunnittelusta. Näistä lisääntyneistä työvaiheista tulee paljon kustannuksia. Tällaisia työvaiheita voi olla esimerkiksi seinän tuenta, porapaalutus, suihkuinjektointi tai porapaalujen valut. Vedentiiveyden aikaansaamiseksi tarvitaan usein monia lisätöitä kuten juuripalkkeja ja injektointeja. [38 s. 95-98.] [43, s. 30-31.]

8 Tulokset

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä haastatteluihin sekä kirja- ja internet lähteisiin perustuva aineistotutkimus pohjaveden alentamisesta rakentamisen aikana. Työssä tutkittiin aihekokonaisuuksina pohjaveden muodostumista, virtausta maaperässä, alentamisen vaikutusta ympäristöön ja rakenteisiin. Lisäksi selvitettiin pohjaveden alentamista ohjaavaa lainsäädäntöä, tarvittavia tutkimuksia sekä suunnitelmia. Rakennustyömaan keskeisimmät pohjaveden alentamismenetelmät sekä niiden kustannusten muodostuminen käytiin läpi.

Työn tuloksena saatua tutkimusta voidaan käyttää hankesuunnitteluvaiheessa ja työmaalla, sopivaa ja riittävän tehokasta pohjaveden alennustapaa valittaessa. Hankesuunnitteluvaiheessa tutkimusta hyödyntäen voidaan kartoittaa tarvittavia pohjantutkimusmenetelmiä ja suunnitelmia sekä mahdollisesti vaadittavia lupia. Riittäväillä ja oikein tehdyillä pohjatutkimuksilla voidaan säästää pohjaveden alennuskustannuksissa. Kun tutkimukset on tehty hyvin niistä saaduilla tiedoilla, voidaan valita oikea pohjaveden alennusmenetelmä. Ylimoittaminen menetelmän valinnassa voi aiheuttaa suuriakin ylimääräisiä kustannuksia. Työssä myös todettiin pohjavesiasioiden olevan tarkasti laissa säädeltyjä sekä havaittiin niihin liittyvän monta eri viranomaistahoa, joiden kanssa on asioitava pohjavettä alennettaessa.

Rakentamisen aikana työmaalla on pohjaveden alennusmenetelmäksi valittava se menetelmä, joka on riittävän tehokas, tarkoituksenmukainen sekä kustannustehokkain. Tätä työtä voidaan käyttää sellaisen menetelmän arviointiin. Työssä todettiin kaivannosta pumppaamisen olevan edullisinta, mutta pohjaveden alenemisen olevan pieni. Sopivimmaksi lähes kaikkiin maalajeihin sekä alennus vaikutukseltaan hyväksi havaittiin tyhjiömenetelmä. Suurissa kaivannoissa kuitenkin syntyy vuokratkustannuksia. Rakennushankkeissa, jossa tehdään syviä maanalaisia rakenteita tai ne ovat pohjavesialueella, voi tulla vastaan tilanteita, joissa pohjavettä ei voida alentaa. Nämä tilanteet tulee pystyä tunnistamaan ennakolta. Niistä on tehtävä sellaiset suunnitelmat, että riittävän tukevan ja vesitiiviin patoseinän voi tehdä mahdollisimman alhaisilla kustannuksilla.

9 Yhteenveto

Pohjaveden alentamisella on aina kustannusvaikutuksia. Tästä syystä on tärkeää, että hankkeet, joissa pohjavettä pitää alentaa, tunnistetaan riittävän ajoissa. Mitä pidemmällä rakentaminen on edennyt, ennen kuin pohjaveden alentamisen suunnittelu aloitetaan, sitä suuremmiksi tulevat kustannukset.

Pohjavettä alennettaessa on aina huomioitava sen merkitys ympäristölle. Alennuksen lähiympäristön rakennuksiin aiheuttamien painumien ja vaurioiden korjaaminen on usein erittäin kallista. Viranomaiset säätelevät pohjaveden ottamista ja pilaantumista tarkasti. Tämä johtuu siitä, että suurin osa tuotetusta talousvedestä on peräisin pohjavedestä. Viranomaisten antamia ohjeita on siis syytä noudattaa.

Tämän työn jatkokehityksenä voisi olla tarkempi kustannusvertailu patoseinien eri toteutustavoista. Siinä voisi huomioida myös niiden toteuttamisessa vastaan tulleet haasteet. Jatkokehityksessä voitaisiin käydä läpi nämä haasteet ja tutkia kuinka ne voidaan havaita ennakoita ja reagoida niihin. Jos hankkeessa päädytään patoseinien tekemiseen, olisi niiden oltava mahdollisimman tiiviitä. Kuitenkin jo tämänkin työn lähdemateriaalissa on sellaista monta hanketta, joissa vedentiiveyden kanssa on ollut haasteita. Jatkotutkimuksessa voisi selvittää kustannus eroja ja mahdollisia ongelmakohtia, sellaisista kohteista, missä maaperäolosuhteet ovat samankaltaiset, mutta patoseinän toteutus on ollut erilainen.

Lähteet

- 1 Geologian tutkimuskeskus. Pohjavesi. Verkkosivusto. Viitattu 29.3.2019.
<http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/pohjavesi/>
- 2 Geologian tutkimuskeskus. Pohjaveden synty ja esiintyminen. Verkkosivusto. Viitattu 28.3.2019.
http://weppi.gtk.fi/aineistot/mp-opas/pohjav_esiintyminen.htm
- 3 Hyvärinen, Nina. 2013. Mikrobin kulkeutuminen pohjavesialueen maaperässä. Pro Gradu. Itä-Suomen yliopisto.
- 4 Lahti.fi. Pohjavedet. Verkkosivusto. Viitattu 20.3.2019.
<https://www.lahti.fi/palvelut/luonto-ja-ymparisto/pohjavedet>
- 5 Salaojayhdistys Ry. Hydrologian perusteet ja vesitalous. Verkkojulkaisu. Viitattu 1.4.2019.
http://www.salaojayhdistys.fi/wp-content/uploads/2016/05/hydrologian_perusteet_ja_maan_vesitalous_2013-2.pdf
- 6 Lindström, Salla. Internetix.fi verkkosivu. CC BY-SA 3.0. Viitattu 20.4.2019.
http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/ge/ge1/4_vesikeha_eli_hydr-osfaari/01?C:D=iPT6.iLSC&m:selres=iPT6.iLSC
- 7 Lottanen, Emma. 2013. Maanalaisten tilojen rakentamisen vaikutus Tikkurilan keskusta-alueen pohjaveden virtaukseen. Diplomityö. Aalto-yliopisto.
- 8 Alanen, Janika. 2013. Pohjaveden alenemisesta aiheutuvien painumien mallintaminen pehmeikkökohteissa. Diplomityö. Aalto-yliopisto.
- 9 Martio, Johanna. 2011. Pohjavesitilanteen tarkastelu alikulkusilta-alueilla. Diplomityö. Aalto-yliopisto.
- 10 Geologian tutkimuskeskus. Maalajien ominaisuudet. Verkkojulkaisu. Viitattu 1.4.2019.
<http://weppi.gtk.fi/aineistot/mp-opas/kuvat/maalajiominaisuudet.pdf>
- 11 HSY Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä. Mistä juomavesi tulee. Verkkosivu. Viitattu 15.4.2019.
<https://www.hsy.fi/fi/asukkaalle/kodinvesiasiat/mistajuomavesitulee/Sivut/default.aspx>

- 12 Ympäristö.fi. 15.6.2018. Pohjavesialueet. Verkkosivusto. Viitattu 14.4.2019.
[https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesiensuojelu/Pohjaveden_suojelu/Pohjavesialueet/Pohjavesialueet\(26765\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesiensuojelu/Pohjaveden_suojelu/Pohjavesialueet/Pohjavesialueet(26765))
- 13 Rantala, Joni. 2011. Perustamisratkaisujen aiheuttamat ongelmat 1950 – 2000-luvun pientaloissa. Opinnäytetyö. Kymenlaakson Ammattikorkeakoulu.
- 14 Tiehallinto. 1999. Teräsputkipaalut. Kolmas painos. Helsinki. Edita Oy.
- 15 Rantamäki, Martti; Jääskeläinen, Raimo ja Tammirinne, Markku. 1979. Geotekniikka 464. 21 painos. Helsinki. Hakapaino Oy.
- 16 Latvala, Ahti. 1980. Vesihallituksen tiedotuksia: 194 Pehmeikölle rakennetun penkereen painumisesta. Helsinki. Valtion painatuskeskus.
- 17 Slunga, Eero. Pohjarakenteiden suunnittelu. Verkkojulkaisu. Rakennustieto.fi. Viitattu 16.4.2019.
<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK00s669.pdf>
- 18 Piilo, Terhi. 1999. Pohjaveden pilaantumiskit Helsingissä. Helsinki. Helsingin kaupungin julkaisuja.
<https://www.hel.fi/static/ymk/julkaisut/julkaisu-09-99.pdf>
- 19 Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. Pohjaveden pilaantumisen lähteet ja vettä pilaavat aineet. Verkkosivusto. Viitattu 20.4.2019.
<https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/vesi/talousvesi/kaivovesi/pilaantuneesta-maasta-kaivoveteen-paatyvat-kemialliset-aineet/pohjaveden-pilaantumisen-lahteet-ja-vetta-pilaavat-aineet>
- 20 Penttinen, Riina. 2001. Suomen ympäristökeskus: 227 Maaperän ja pohjaveden kunnostus. Helsinki. Oy Edita Ab.
<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/40841>
- 21 Ympäristö.fi. 31.1.2019. Pohjaveden suojele. Verkkosivusto. Viitattu 21.4.2019
<https://www.ymparisto.fi/pohjavedensuojelu>
- 22 EUR-Lex. 23.10.2000. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/60/EY yhteisön vesipolitiikan puitteista.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=celex:32000L0060>
- 23 FINLEX. 30.12.2004. Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä 1299/2004.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2004/20041299>
- 24 FINLEX. 27.5.2011. Vesilaki 587/2011.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110587>

- 25 FINLEX. 27.6.2014. Ympäristönsuojelulaki 527/2014.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527#L2P7>
- 26 Helsingin kaupunki Rakennusvalvontavirasto. 1.11.2010. Rakennusjärjestys. Helsinki.
<https://www.hel.fi/static/rakvv/Rakennusjarjestys.pdf>
- 27 Helsingin kaupunki Rakennusvalvonta. Tammikuu 2014. Pohjavesialue. Helsinki.
https://www.hel.fi/static/rakvv/ohjeet/Pohjavesialueille_rakentaminen_liitteinen_2014.pdf
- 28 Airaksinen, Jussi U. 1978. Maa- ja pohjavesihydrologia. Oulu. Kirjapaino Osa-keyhtiö Kaleva.
- 29 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 1974. Pohjarakennus. Jyväskylä. K. J. Gummerus Oy.
- 30 Liikennevirasto. Tammikuu 2013. Pohjavedenhallinta alikulkupaikoilla. Helsinki. Liikenneviraston oppaita verkkojulkaisu.
https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lop_2013-01_pohjaveden_hallinta_web.pdf
- 31 Liikennevirasto. Toukokuu 2013. Radanpidon ympäristöohje. Helsinki. Liikenneviraston oppaita verkkojulkaisu.
https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2013-22_radanpidon_ymparistooohje_web.pdf
- 32 Rakennustietosäätiö RTS. 2010. MaaRYL2010. Helsinki. Rakennustieto Oy.
- 33 Ojala, Mika Työpäällikkö. 29.4.2019. Haastattelu. Tuusula. Kreate Oy.
- 34 Riekkinen, Jani. 2019. Piirros. Helsinki.
- 35 Riekkinen, Jani. 2018. Valokuva. Helsinki.
- 36 PVA Palvelu Oy. Pohjaveden alentaminen. Verkkosivusto. Viitattu 1.5.2019.
<https://www.pva-palvelu.fi/pohjaveden-alentaminen>
- 37 Suominen, Mika Toimitusjohtaja. 13.5.2019. Haastattelu. Helsinki. PVA Palvelu Oy.
- 38 Tirkkonen, Elina. huhtikuu 2016. Vesitiivis kaivanto porapaaluseinärakenteella. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.
- 39 Pykälämäki, Mika. 2019. Valokuva. KFS Finland Oy.

- 40 KFS Finland Oy. KFS.fi. Kuva verkkosivulta. Viitattu 1.5.2019
https://www.kfs.fi/kfs_palvelut/suihkuinjektointi/
- 41 Ojala, Mika. 2019. Valokuva. Kreate Oy.
- 42 Pykälämäki, Mika. 2012. Suihkuinjektointilietteen käsittelyn kehittäminen. Opin-
näytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu.
- 43 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2014. RIL 263-2014 Kaivanto-ohje.
Tammerprint Oy.