

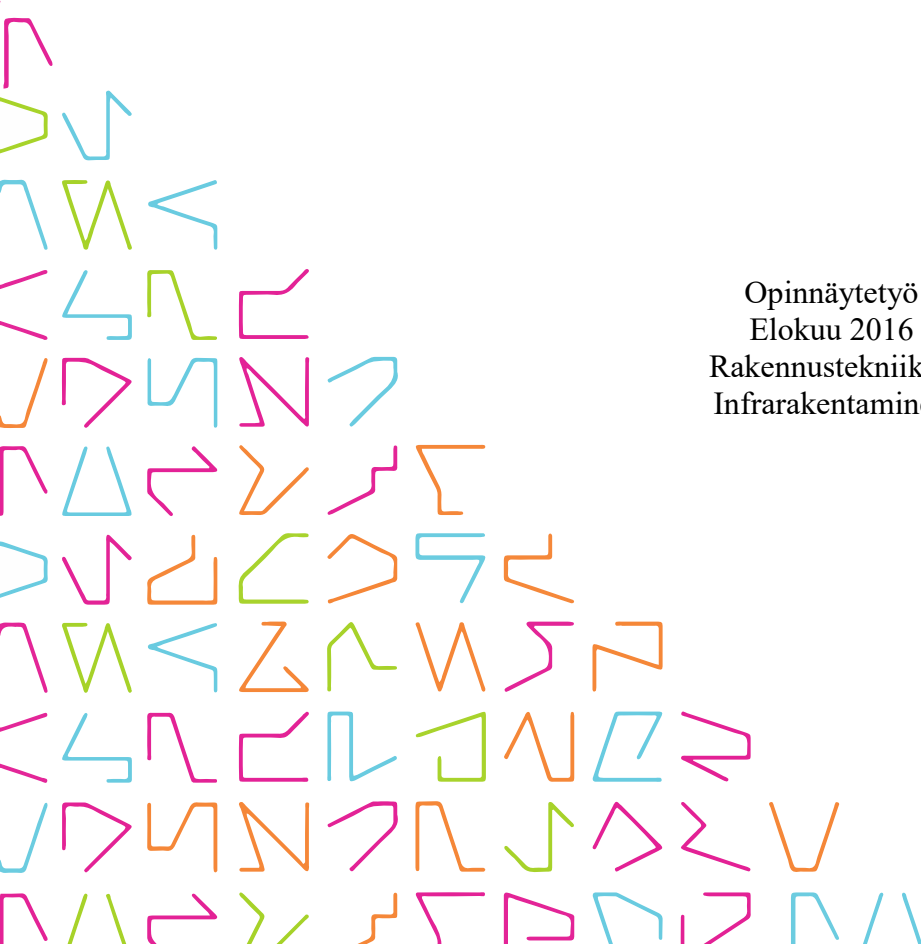


TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

Vesien käsittely tunnelityömaalla

Masud Hashimi

Opinnäytetyö
Elokuu 2016
Rakennustekniikka
Infrarakentaminen



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka
Infrarakentaminen

HASHIMI MASUD:
Vesien käsittely tunnelityömaalla

Opinnäytetyö 73 sivua, joista liitteitä 6 sivua
Elokuu 2016

Insinööritöä tehtiin Lemminkäinen Infra Oy:n toimeksiannosta, ja sen tarkoituksena oli selvittää, onko suljettua vedenkierrätysjärjestelmää mahdollista toteuttaa tunnelityömaolosuhteissa. Lisäksi oli tutkittava mahdollisia kustannustehokkaampia menetelmiä työmaan laskeutusaltaiden kiintoaineiden hävittämisessä. Insinööritöön esimerkkikohteena oli Lemminkäisen Espoon Blominmäen jätevedenpuhdistamon työmaa.

Lemminkäisen Blominmäen jätevedenpuhdistamon luolaston louhintatyömaalla oli jo organisoituna moitteeton vesien käsittelyjärjestelmä. Poistovedet käsiteltiin tunnelivesien poisto- ja selkeytysuunnitelman mukaisesti, tilaajan ja vesilaitosten määrittelemiä haitta-aineraja-arvoja ei ylitetty eikä sovittujen tehtävien ja velvollisuuksien hoitamista kertaakaan laiminlyöty. Ongelmana oli puhtaan veden hankinnasta ja työmaan laskeutusaltaiden kiintoaineiden hävittämisestä aiheutuneet hyvin suuret kustannukset.

Tunnelityömaan poistovedet syntyvät eri työvaiheissa käytetyistä vesistä ja itse kallion vuotovesistä. Tunnelin poistovesiin sekoittuu suuri määrä kiviperäistä kiintoainesta sekä räjäytöksissä käytetyistä räjäytysaineista ja vuotovesistä peräisin olevia kemiallisia aineita. Työmaolosuhteissa tunnelin poistovedet on käsiteltävä niin puhtaaksi, etteivät siinä olevien poistettavien aineiden pitoisuudet olisi korkeampia kuin normaalissa asumajätevedessä, kun sitä lasketaan viemäriverkkoon. Mikäli työmaan jätevesien laatu poikkeaa normaalista asumajätevedestä, tilaaja voi määrätä urakkaohjelmaan kirjattuja laatuerojen sanktiomaksuja.

Vedellä on hyvin suuri merkitys missä tahansa louhintatyömaalla. Ilman vettä on mahdotonta esimerkiksi louhia tai lujittaa kalliota ja kun sitä kertyy liikaa työympäristöön, on mahdotonta tehdä töitä. Toimiva, järjestelmällinen ja kustannustehokas vesien käsittely työmaalla voi mahdollistaa hankkeen onnistumisen.

Insinööritöä tehtiin tutkimalla ja soveltamalla vesihuollon kirjallisuudesta yleisesti käytettyjä operaatioita vesien käsittelyssä ja olemalla läsnä työmaalla. Lisäksi sain tehdä yhteistyötä Lemminkäinen Infra Oy:n huoltopäällikön Jari Redsvénin kanssa, jolta sain paljon apua insinööritööhön ja oppia työelämään. Insinööritööstä Lemminkäinen Infra Oy saa kootun tietopaketin Blominmäen Mikkilänkallion urakka-alueen vesien käsittelyn järjestelyistä, siihen tulleista muutoksista, suljetun vesien kierrätysjärjestelmän toimivuudesta sekä veden hankinnasta ja työmaan laskeutusaltaiden kiintoaineiden hävittämisestä aiheutuneiden suurten kustannusten ongelman ratkaisusta.

Asiasanat: vesien käsittely, selkeytys, laskeutus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Civil Engineering

HASHIMI MASUD:
Water Treatment at Tunnel Construction Site

Bachelor's thesis 73 pages, appendices 6 pages
August 2016

This thesis was commissioned by Lemminkäinen Infra Oy to search conditions for implementing a closed water recycling system for a tunnel construction site. Methods to dispose solids from the site clarification tanks were investigated to improve cost effectiveness. Lemminkäinen Infra Oy's wastewater treatment plant's construction site (Blominmäki, Espoo) was used as an example target for this thesis.

The major goals in Blominmäki was to dispose the solids from the clarification tanks of the construction site and to reduce the high costs of clean water acquisition. There exist large amount of discharge water of tunnel construction site at different stages of tunnel. Moreover, the rock itself leaks water. This water is contaminated by rock-derived solid particles and chemicals derived from explosive substances. Therefore, having a well-functioning wastewater treatment at tunnel construction site very for tunnel project since it is repeatedly required throughout the work.

Tunnel construction site discharge water must be treated till it is as clean as normal domestic sewage. It may result in high penalty fees if the site wastewater differs from the normal domestic sewage. Water has a very important role in all tunnel construction sites. Without water it is impossible, for example, to extract or consolidate rock. On the other hand if the water accumulates too much in the working environment, it becomes impossible to work. Thus it can be concluded that functional, systematic and cost-effective water treatment at the site is very crucial for the success of the project.

The general operations of the water supply were studied and applied at the construction for this thesis. In addition, I had the pleasure to work together and be as an apprentice to Lemminkäinen Infra Oy's service manager Jari Redsven from whom I received a lot of help and learn for the work life.

From this thesis Lemminkäinen Infra Oy receives a collection of information about the arrangements of waste water treatment at Blominmäki site, all the proposed changes, the functionality of closed water recycling system, the clean water acquisition and disposal of sewage management and a solution to reduce the operation cost.

Key words: Wastewater treatment, closed water recycling system, clarification

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
1.1	Vesien merkitys tunnelirakentamisessa	7
1.2	Insinööriyön tilaaja	8
1.3	Insinööriyön kohde	9
1.4	Insinööriyön tavoite ja tutkimuskysymykset	10
2	Lainsäädäntö.....	11
2.1	Rakentamista koskevat asetukset.....	11
2.2	Maanalaista rakentamista ohjaavat lait ja määräykset.....	12
2.3	Maankäyttö- ja rakennuslaki.....	13
2.4	Maanalaisen tilan asemakaava.....	14
2.5	Rakennuslupa.....	15
2.6	Ympäristölupa.....	16
2.7	Johtamislupa jätevedelle	18
3	Tunnelityömaalle soveltuvat vesien käsittelymenetelmät.....	20
3.1	Vesihuollon yksikköoperaatiot ja -prosessit	20
3.2	Menetelmät	21
3.2.1	Ilmastusmenetelmä.....	21
3.2.2	Suodatus	22
3.2.3	Koagulaatio	22
3.3	Työmaaolosuhteisiin soveltuvat menetelmät.....	23
3.3.1	Välppäys ja siivilöinti	23
3.3.2	Sekoitus ja hämmennys.....	24
3.3.3	Selkeytys	26
3.3.4	Laskeutus	27
3.3.5	Tehostetut laskeutusmenetelmät	31
4	Laskeutuksen mitoitusperusteet	33
4.1	Yleistä mitoituksesta.....	33
4.2	Pintakuorma	34
4.3	Turbulenssi.....	36
4.4	Oikovirtaukset.....	38
4.5	Koagulaatiokemikaalin käyttö ja määrän arviointi	39
4.6	pH-arvon mittaus ja merkitys.....	40
5	Poistoveden käsittely Lemminkäisen Blominmäen Mikkilänkallion työmaalla	44
5.1	Alkuvaiheet	44
5.2	Poistoveden käsittely Mikkilänkalliossa	46
5.3	Ratkaisuna suljettu vedenkiertojärjestelmä	55

5.4	Toisena ongelmana imuautojen käynneistä aiheutuvat kustannukset.....	63
5.5	Ratkaisu imuautojen käyntimääriin	64
6	Kehitysehdotuksia tunnelityömaan vesien käsittelyyn.....	66
6.1	Mitä voidaan tehdä.....	66
6.2	Pumppujen imukorkeuden säätö	66
6.3	Ojien enempi käyttö.....	67
6.4	Altaiden tulo- ja lähtöjärjestelyt	67
7	POHDINTA.....	69
	LÄHTEET	71
	LIITTEET	74
	Liite 1. Tilaajan määräämät metallien ja muut ainekohtaiset raja-arvot jätevesien laadulle Lemminkäisen Espoon Blominmäen hankkeessa.	74
	Liite 2. Viemärointilupa 1(2).....	75
	Liite 3. Poistovesi- ja selkeytyssuunnitelma 1(2).....	77
	2(2) 78	
	Liite 4. Esi-injektointi, pulttaus ja ruiskubetonointi aikavälillä 01.05. – 15.06.2016	79

LYHENTEET JA TERMIT

HSY	Helsingin seudun ympäristöpalvelut.
YVA	Ympäristövaikutusten arviointimenettely on osa ympäristöluvan myöntämiseen liittyvää menettelyä, jolla pyritään vähentämään tai kokonaan estämään hankkeen haitallisia ympäristövaikutuksia.
ELY	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.
AVI	Aluehallintovirasto.
Adsorptio	Fysikaalinen prosessi, jossa kaasumainen aine muodostaa ohuen kalvon kiinteän aineen pintaan.
Flokkautuminen	Vedenkäsittelytekniikassa laskeutumisen aikana kiintoaineshiukkaset tarttuvat löyhästi toisiinsa, jolloin hiukkasten koko ja tiheys sekä tämän seurauksena laskeutumisnopeus muuttuvat.
Kolloidi	Toiseen aineeseen hienojakoisena sekoittunut aine, joka muodostuu hyvin pienistä hiukkasista ja ovat kooltaan noin $0,01 \dots 0,1 \mu\text{m}$.
Viskositeetti	Kuvaa nesteen tai kaasun kykyä vastustaa virtaamista.
Konsentraatio	Erityisesti kemiassa käytetty suure, joka ilmoittaa liuenneen aineen pitoisuuden liuoksessa. Konsentraatio on lämpötilasta riippuva suure, sillä kun lämpötila muuttuu, niin muuttuu myös liuoksen tilavuus. Konsentraation tunnus on c ja yksikkö mol/m^3 .

1 JOHDANTO

1.1 Vesien merkitys tunnelirakentamisessa

Maanalaisten tilojen rakentamisessa vesi otetaan joko vesijohtoverkosta tai järvestä. Käytössä oleva vesi voi siis olla samaa kuin jalostamaton vesi. Tunneliin maan pinnalta vettä syöttävä poraus- ja poksiverkosto eli painevesiverkosto on nykyaikaisen tunnelitoiminnan tärkeimpiä osia. Paineveettä käytetään porauksen huuhtelun ja jäähdytyksen lisäksi pumppujen poksivetenä, porausreikien ja louhittujen tilojen seinien puhdistukseen, kaluston pesemiseen, erilaisten massojen kuten sementin tekemiseen, louhosten kasteluun sekä pölyn sitomiseen esimerkiksi kuormauksen yhteydessä. Käytössä olevien porajumbojen vedenkulutus on keskimäärin 90 – 100 l/min per poraava puomi porattaessa. Räjätysreikien porauksen lisäksi porakalustoa käytetään myös tunnelin lujitukseen, joten parametrejä kertyy paljon.

Yleensä työmailla sanotaan, että ”tunneliin tulee suunnilleen yhtä paljon vettä kuin sieltä louhitaan kiveä.” Johtuen työvaiheiden luonteesta, tunnelityömaalla kertyy runsaasti poistovettä. Suurin osa poistovedestä on peräisin porauksessa käytetystä huuhtelu- ja jäähdytysvedestä, mutta paljon poistovettä valuu tunneliin pohja- ja pintavesistä sekä tunnelitöissä ja laitteistoissa, esimerkiksi massanteko-, kaluston pesu-, kastelu- ja pölynpoistojärjestelmissä käytetyistä vesistä. Käytännössä vedentulo tunneliin on jatkuvaa, mutta valumavesien määrä vaihtelee vuodenaikojen, sateisuuden ja lumen sulamisen vaikutuksesta. (Paalumäki, Lappalainen & Hakapää 2015, 337-346.)

Tunnelivesiin sekoittuu porauksen, räjäytyksen ja lastauksen yhteydessä hienoa kiviainesta, jolloin syntyy lietettä eli soijaa. Vastaavasti tunneliin kulkeutuu kallioperän ja maanpinnan valumavesien mukana erilaisia haitallisia ja hyvin vaarallisia epäorgaanisia aineita, kuten raskasmetallit. Nämä veden mukana kulkeutuvat hienorakeiset kiviainekset sekä kemialliset aineet aiheuttavat tunnelitoiminnassa paljon hankaluuksia, työtä ja kunnossapitokustannuksia. (Paalumäki, Lappalainen & Hakapää 2015, 337-346.)

Vedenhankinta, -käsittely ja sen poisjohtaminen on aina ollut jokaisen tunnelityömaan yksi suurimmista haasteista. Vedenhankinnasta, -käsittelystä ja -poisjohtamisesta kertyvät kustannukset voivat joskus työmaan vedenkäsittelyjärjestelmän järjestelyistä, me-

netelmästä ja kestosta riippuen nousta hyvin korkeiksi. Veden hankinnasta on lähes aina maksettava, joten siihen ei voida muutoin vaikuttaa kuin tinkiä veden litrahinnasta vesilaitoksen kanssa. Parantamalla ja tehostamalla työmaan vedenkäsittelyjärjestelmää niin että käytetty vesi olisi uudelleen käyttökelpoinen edes joihinkin työvaiheisiin, säästettäisiin vesikustannuksissa varsin merkittävästi.

Tunnelin rakentamis- ja louhintasuunnitelmat on tehtävä aina ottaen huomioon eri muuttujien vaikutus louhintakustannuksiin. Työmaan kestosta riippuen käyttö- ja poistovedestä kertyvät kustannukset voivat nousta hyvin korkeiksi. Aikaisemmin porauksessa on kokeiltu myös tunnelin käsiteltä poistovettä, tarkoituksena säästää sekä veden hankinnan kustannuksissa että veden pois johtamisen kustannuksissa, mutta tämä toimenpide on tuottanut hankaluuksia veden happamuuden sekä kiintoainepitoisuuden vuoksi.

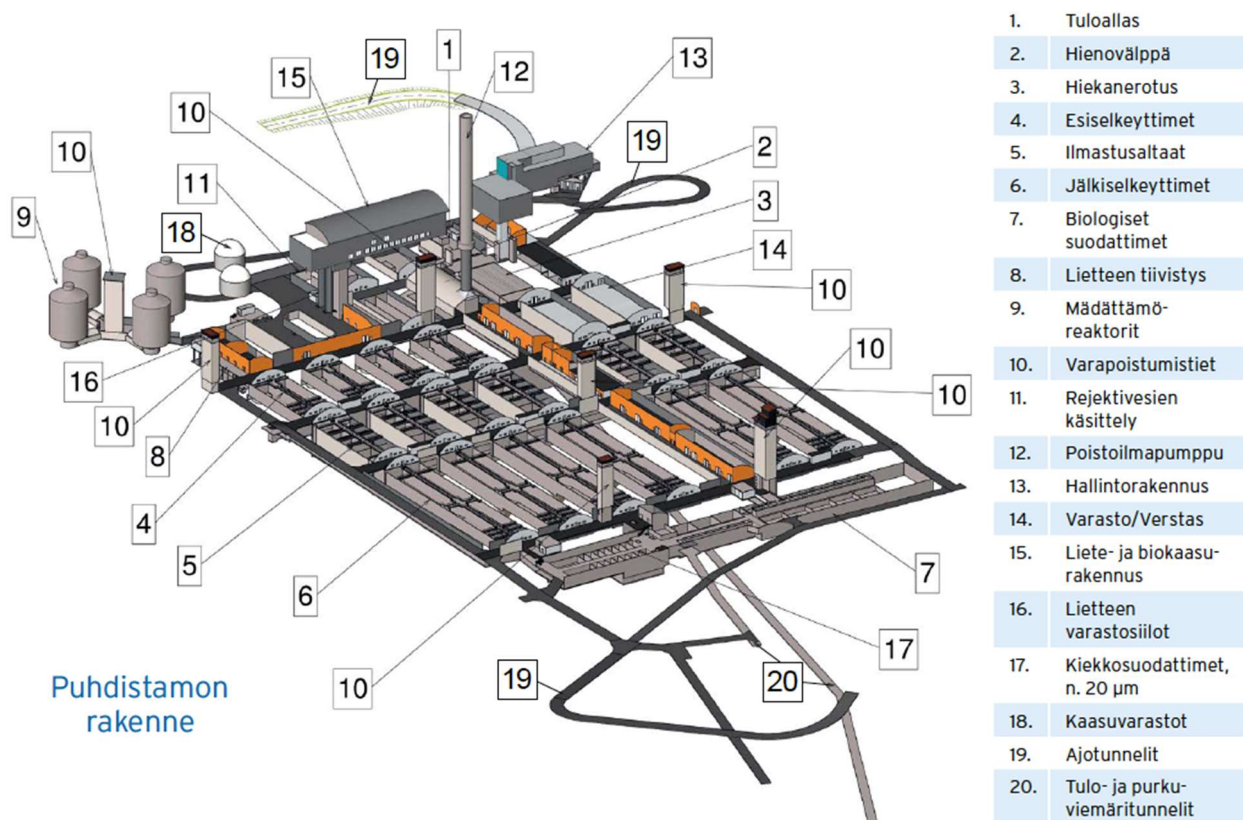
Kaupungeilla hulevesiviemäriin laskettava vesi on käsiteltävä vesilaitoksen antamien haitta-aineraja-arvojen puitteissa. Päästäkseen vesilaitosta tyydyttäviin raja-arvoihin, on työmaalle järjestettävä toimiva ja kustannustehokas poistovesijärjestelmä. Oikein mitoitettulla poistovesijärjestelmällä on voitava käsitellä käytetty vesi työmaaolosuhteissa niin puhtaaksi, että se voitaisiin laskea hulevesiverkostoon ja mahdollisesti käyttää uudestaan tunnelityömaan työvaiheissa. (Paakki 2014, 1.)

1.2 Insinööriyön tilaaja

Tämän insinööriyön toimeksiantajana toimii Lemminkäinen Infra Oy. Yhtenä Pohjois-Euroopan suurimmista infrarakentajista, Lemminkäinen Infra Oy tarjoaa asiakkailleen kattavat palvelut tie-, katu-, ja rataverkoston rakentamisesta teiden ylläpitoon sekä infrarakentamisen vaativiin- ja erikoisurakointiin Suomessa, Ruotsissa, Norjassa, Tanskassa, Venäjällä, ja Baltian maissa. Lemminkäinen Infra tytäryhtiöineen toimii tieverkon rakentajana ja kunnostajana sekä vaativan infrarakentamisen erikoisosajana. Lemminkäinen Infra Oy tarjoaa myös eri käyttötarkoituksiin soveltuvia päällysteitä ja kiviaineksia niin ammattilaisille kuin kuluttajillekin. Yhtiön liikevaihdosta noin puolet syntyy kansainvälisestä toiminnasta. (Lemminkäinen 2015.)

1.3 Insinööriyön kohde

Tämä työ tehdään Lemminkäisen Espoon Blominmäellä rakennettavaan jätevedenpuhdistamon työmaalle. Tuleva jätevedenpuhdistamo rakennetaan maan alle louhittavaan luolastoon, jonne sijoittuvat jäteveden puhdistusaltaat sekä pääosa muista toiminnoista reilun kymmenen hehtaarin alueelle. Uuden puhdistamon on tarkoitus korvata nykyinen Suomenojan jätevedenpuhdistamo, sillä asukasmäärä ja odotukset jäteveden nykyistäkin tehokkaampaan puhdistamiseen kasvavat ja Suomenojan puhdistamon kapasiteetti ei enää riitä käsittelemään kaikkia alueen jätevesiä. Valmistuttuaan vuonna 2020 jätevedenpuhdistamo tulee käsittelemään 400 000 asukkaan jätevedet Espoosta, Kauniaisista, Kirkkonummelta, Siuntioista ja Länsi-Vantaalta. On arvioitu, että vuonna 2040 puhdistamo käsittelee jo 550 000 asukkaan jätevedet, jolloin puhdistamon keskivirtaama olisi 150 000 kuutiometriä päivässä, mikä ylittää noin puolella nykyisin Suomenojan puhdistamolle virtaavan jäteveden määrän. (Uusi jätevedenpuhdistamo Blominmäkeen 2016.)



Kuva 1 Espoon Blominmäkeen tulevan jätevedenpuhdistamon rakenne (HSY 2016)

12. kesäkuuta 2015 Helsingin seudun ympäristöpalvelut –kuntaryhmän hallitus valitsi Blominmäen jätevedenpuhdistamon kalliotilojen louhinnan urakoitsijaksi Lemminkäinen Infra Oy:n. 16. syyskuuta 2015 Lemminkäinen käynnisti Blominmäen jäteveden-

puhdistamon maanalaisen luolaston louhinnat maanrakennustöillä. Kalliota on tarkoitus louhia urakassa kaikkiaan noin 910 000 kuutiometriä vuoden 2017 loppuun mennessä kolmen tunnelin kautta. Jätevedenpuhdistamon louhintojen jälkeinen rakentaminen on suunniteltu alkavan vuodenvaihteessa 2017-2018. (HSY 2016.)

1.4 Insinööriyön tavoite ja tutkimuskysymykset

Lemminkäinen Infra Oy on pian louhinut Blominmäen luolastoa noin vuoden verran ja vedenhankinnasta, käsittelystä ja poisjohtamisesta kertyvät kustannukset ovat jo nousseet merkittävään tasoon. Lisäksi tunnelin poistovesien mukana kulkeutuvan kiintoaineen pois kuljettaminen imuautoilla saostusaltaan ja laskeutusaltaiden pohjista on todettu suureksi kustannustekijäksi.

Tämän työn tavoitteena on tutkia ja selvittää keinoja kustannustehokkaampaan ja ekologisempaan vedenkäsittelyjärjestelmään päämääränä suljettu vesikiertojärjestelmä, missä vettä lisättäisiin järjestelmään tai pumpattaisiin viemäriin vain häiriötapauksissa. Lisäksi tavoitteena on tutkia ja selvittää vaihtoehtoja imuautojen käytölle saostusaltaan ja laskeutusaltaiden kiintoaineiden hävittämisessä. Tulisi vedenkäsittelyjärjestelmä olemaan minkäläinen tahansa, mutta viemäriin laskettavan veden haitta-aineraja-arvojen pitoisuus on oltava vesilaitoksen sallimissa haitta-aineraja-arvoissa.

Insinööriyötä rajaavat ja ohjaavat seuraavat kysymykset:

Mitä lainsäädäntö määrää?

Mitkä ovat käytetyimpiä vesienkäsittelymenetelmiä tunnelityömailla?

Millä innovaatioilla saataisiin aikaan kustannustehokkaamman vesienkäsittelymenetelmän tunnelityömaaolosuhteisiin?

Onko suljettua vesienkiertojärjestelmää mahdollista järjestää tunnelityömaaolosuhteisiin?

2 Lainsäädäntö

2.1 Rakentamista koskevat asetukset

Rakentamista koskevat asetukset tulevat uudistumaan vuoteen 2018 mennessä vuonna 2013 voimaan tulleen maankäyttö- ja rakennuslain muutoksen mukaisesti. Laissa tulee olemaan viiden vuoden siirtymäaika asetusten uusimiselle. Aiempia Suomen rakentamismääräyskokoelman määräyksiä ja ohjeita sovelletaan siirtymäajan puitteissa kunnes uudet säännökset annetaan.

Uudistuksen tavoitteena on rakentamista koskevan sääntelyn selkeys sekä sen soveltamisen yhtenäisyys ja ennakoitavuus. Uudistuksen myötä sääntelyä myös vähennetään.

Paloturvallisuutta, kosteusturvallisuutta, taloteknisiä järjestelmiä, rakennusten ääniolosuhteita ja meluntorjuntaa sekä esteettömyyttä koskevien säännösten valmistelu on käynnissä. Käynnissä on myös rakennusten energiatehokkuutta koskeva lainsäädäntökokonaisuus. Lisäksi eräitä keskeisiä rakennustuotteita koskevia asetuksia valmistellaan. (Ympäristöministeriö 2016.)

Monet kaupunkialueet ovat jo tällä hetkellä tiheästi rakennettuja ja varsinkin keskusta-alueella tilanpuute on hyvin huomattava. Vaikka on syytä totuttautua ajatukseen kasvun hidastumisesta, tulemme edelleenkin tarvitsemaan lisää tilaa tyydyttämään asuntotuotannon, teollisuuden ja liikenteen lisääntyvät tarpeet. Jos tarvittava lisätila otetaan maan pinnalta, kaupungin rakenne muuttuu yhä tiheämmäksi ja massiivisemmaksi, jolloin erilaisten palvelujen saatavuus paranee, mutta asuinympäristön viihtyvyyden laatu ja sille varatun tilan riittävyys vähenee. On ilmeistä, että keskusta ja muut valmiiksi rakennetut alueet tulevat olemaan vastaisuudessa vielä entistäkin halutumpia sijoittumiskohteita muun muassa energiakustannusten kallistumisen vuoksi kuin vapaita pinta-aloja paremmin tarjoava periferia. Mutta kaupunkirakenteen tulee olla sellainen, että se tarjoaa asukkailleen sekä riittävän palvelutason että inhimillisen asuin ympäristön. (RIL154-1 1987, 31)

Kaupunkialueilla kalliorakennuskohteet sijoittuvat pääsääntöisesti olemassa olevien kiinteistöjen alle, jolloin monesti joudutaan ratkaisemaan monimutkaisia ongelmia kuten kaava- ja lupa-asiat sekä ottamaan kantaa kuinka syvälle kiinteistön omistusoikeus ulottuu maan alle. (Kotkansalo 2004, 11.)

2.2 Maanalaista rakentamista ohjaavat lait ja määräykset

Maanalaista rakentamista ohjaa maankäyttö- ja rakennuslaki (MRL) sekä lukuiset muut pykälät muista laista. Erilaisten maanalaisten rakennushankkeiden asemakaavoitusajat sekä –määräykset vaihtelevat eri kaupunkien välillä. Lisäksi maanalaisten kalliotilojen louhinta- ja lujitustöitä toteutetaan eri luvilla riippuen hankkeesta ja kaupungista. kiinteistön omistusoikeutta katsotaan ulottuvan niin syvälle kuin nykyisin ja tulevaisuuden teknisin menetelmin on mahdollisuus rakentaa. Maanalaisen rakennushankkeen toteuttajan on siis tehtävä sopimus kiinteistön omistajan kanssa rakennuspaikan hallinnasta ja oikeuksista maanalaiseen tilaan. Selkeimpänä hallintamuotona pidetään maanalaisen tilan hallintaa koskevaa käyttöoikeussopimusta. Julkinen taho voi vain tietyissä tapauksissa hankkia maanalaisen tilan hallintaansa MRL:n tai lunastuslain mukaisesti. (Kotkansalo 2004.)

Kaikki maanalaiset tilat tulee asemakaavoittaa, poikkeuksena yhdyskuntatekniset tunnelit, joita saa toteuttaa ilman asemakaavaa. Maanalaisten kalliotilojen rakentaminen edellyttää ominaisuuksiensa vuoksi viranomaisvalvontaa ja rakennuslupaa. Rakennuslupaprosessi maanalaisille tiloille on kaksivaiheinen. Ensimmäisessä vaiheessa lupaa haetaan louhintaa varten louhinta-, lujitus- ja tiivistyssuunnitelmilla ja toisessa vaiheessa maanalaisen tilan sisustusta ja varustelua varten louhintatöiden toteutumisen mukaan tarkennetuilla LVIAS- ja rakenneteknisillä suunnitelmilla. Tässäkin poikkeuksena yhdyskuntatekniset tunnelit, jotka eivät kuulu rakennusluvan piiriin. Tällaiset tilat voidaan rakentaa ilman rakennuslupaa, joko laajaan kunnan eri organisaatioiden lausuntomenetelyyn perustuen tai ilmoitusmenettelyllä. (Kotkansalo 2004.)

Maanalaisen tilan rakentaminen mineraalien ottoon on kaivostoimintaa, jota ohjaa kaivoslaki. Kaivoslain 16 §:n mukaan kaivoksen perustamiseen ja kaivostoiminnan harjoittamiseen on oltava kaivoslupa. Lupaa voi hakea, vaikkei alueelle tai sen osalle olisi

malminetsintälupaa. Luvan myöntää turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes, jonka kaivoslupien valmisteluun erikoistunut toimipiste sijaitsee Rovaniemellä. Tukes ei voi myöntää lupaa ennen kuin joka tason kaavoituksessa alue on merkitty kaivosalueeksi ja YVA-menettely on viety loppuun. Kaivoslupa oikeuttaa hyödyntämään kaivosalueella löydettyt mineraalit sekä kaivostoiminnassa sivutuotteena syntyvän orgaanisen ja epäorgaanisen pintamateriaalin, ylijäämäkiven ja rikastushiekan. (Pasma 2013, 11.)

Suurin osa työmailla tehtävistä töistä edellyttää viranomaislupaa tai lausuntoa ja/tai kaupungin omistamilla yleisillä alueilla maanomistajan edustajan lupaa tai suostumusta työhön. Näissä luvissa, päätöksissä ja lausunnoissa annetaan määräyksiä työmaavesien käsittelystä, johtamisesta ja laadusta. Kuten kaikilla muillakin työmailla, joissa ollaan veden kanssa tekemisissä myös tunnelityömailla vesien käsittelyä varten tulee olla kaksi voimassa olevaa erillistä lupaa. Ympäristösuojelulain mukainen ympäristölupa tarvitaan aina, kun jokin toiminta aiheuttaa ympäristölle pilaantumisen vaaran. Toinen lupa sallii käsitellyn veden laskemisen hule-, jäte- tai sekavesiviemäriin vesilaitoksen määrittämissä haitta-aineraja-arvojen puitteissa. (Helsingin kaupunki 2010, 6-7.)

Työmaalle voidaan tarvita myös muita lupia riippuen työmaan laadusta, koosta, kestosta tai sijainnista. Luvan tarve voi selvittää kunnan tai alueen Rakennusvalvontavirastosta, Rakennusvirastosta, Kiinteistövirastosta, Kaupungin ympäristökeskuksesta sekä Uudenmaan ELY-keskuksesta. (HSY 2015, 2)

2.3 Maankäyttö- ja rakennuslaki

Maankäyttö- ja rakennuslaki (MRL) astui voimaan vuoden 2000 alussa ja korvasi vanhan rakennuslain vuodelta 1958. Merkittävämpänä maankäyttö- ja rakennuslain muutoksena vanhan rakennuslain aikaiseen järjestelmään verrattuna on kunnan aseman vahvistuminen alueensa maankäytöstä päättävänä tahona. Lisäksi uudessa laissa on yhdistetty asema-, rakennus- ja rantakaava yhdeksi kaavamuodoksi, asemakaavaksi. Maankäyttö- ja rakennuslaissa on säädetty erikseen myös maanalaisesta asemakaavasta, mikä käsitteenä puuttui kokonaan vanhasta rakennuslaista.

Maankäyttö- ja rakennuslain tavoitteena on järjestää alueiden käyttö ja rakentaminen niin että siinä luodaan mahdollisuudet hyvälle elinympäristölle sekä edistetään ekologisesti, taloudellisesti, sosiaalisesti ja kulttuurisesti kestävästä kehitystä. Lisäksi lain tavoitteena on turvata jokaisen osallistumismahdollisuus asioiden valmisteluun, suunnittelun laatu ja vuorovaikutteisuus, asiantuntemuksen monipuolisuus, sekä avoin tiedottaminen käsiteltävissä olevissa asioissa. (Kotkansalo 2004, 17-18.)

2.4 Maanalaisen tilan asemakaava

Prosessina maanalaisen tilan asemakaavoitus ei poikkea maanpäällisestä kaavoituksesta ja yleensä maanalaisille tiloille laaditaan pääsääntöisesti asemakaava normaalin kaavoitusprosessin mukaisesti. Kaavoitusprosessin painotus on kuitenkin joiltain osilta erilainen johtuen maanalaisen hankkeen luonteesta ja laajuudesta. Rakennusaikaiset haitat kuten esimerkiksi melu, pöly, värinä ja liikenne sekä maanalaisen tilan ympäristövaikutukset kuten pohjavesiasiat tulevat korostetusti esille asemakaavan vaikutusten arvioinnissa.

Maanalaista kaavaa laadittaessa on vakavasti otettava huomioon kalliorakentamisen peruuttamattomuus, sillä kerran tehtyä tilaa ei voi purkaa kuten rakennusta. Lisäksi joudutaan ottaa huomioon maanalaisen kalliotilan vaatima suojaetäisyys, joka vaihtelee rakennetun tilan dimensioiden ja käyttötarkoituksen mukaan.

Maanalaiset asemakaavat ovat niin kutsuttuja hankekaavoja, eli yhtä tiettyä käyttötarkoitusta varten kaavoitettuja. Ilman asemakaavaakin on rakennettu joitain teknisen huollon tunneleita ja salassapitosyistä tiettyjä puolustusvoimien hankkeita. (Kotkansalo 2004, 38)

2.5 Rakennuslupa

Maanalaisten tilojen ominaisuuksien vuoksi rakentaminen vaatii viranomaisvalvontaa, ja siksi usein myös rakennuslupaa. Maankäyttö- ja rakennuslain mukainen rakennuslupaprosessi perustuu maanpäällisen rakentamisen lähtökohtiin. Tästä aiheutuu tulkinnanvaraisuutta etenkin louhinta- ja lujitustöiden vaatimasta luvasta.

Kuten edellä on mainittu, maanalaisen kalliorakentamisen rakennuslupaprosessi vaihtelee eri kaupunkien ja kuntien välillä. Esimerkiksi Espoossa sallitaan maanalaiset louhinta- ja lujitustyöt tehtäväksi maisematyöluvalla, mutta Vantaalla ei. (Kotkansalo 2004, 11)

MRL:n 125 §:ssä sanotaan, että rakennuksen rakentaminen vaatii rakennusluvan. Maanalaisessa rakentamisessa on tulkinnanvaraisuutta siitä, onko maanalainen kalliotilahanke maankäyttö- ja rakennuslain tarkoittama rakennus, jolloin vaaditaan rakennuslupa.

Ratkaisevana perusteena maanalaisten tilojen rakennusluvan alaisuuden kannalta on vaatiiko maanalaisen tilan käyttötarkoitus, laatu, laajuus tai muut seikat viranomaisvalvontaa, ja siten tarvetta rakennusluvalla. Eli luvantarve määräytyy sen mukaisesti, miten rakennusvalvontaviranomainen tulkitsee maankäyttö- ja rakennuslakia. Esimerkiksi kunnissa on erilaisia eikä luvanvaraisuuteen aina pystytä antamaan yksiselitteistä tulkintaa.

Puolustusvoimien hankkeissa salassapitosyistä puolustustarkoitusta varten tapahtuva rakentaminen on vapautettu lupavelvollisuudesta. MRL:n 146 §:ssä sanotaan, että ilman rakennuslupaa on sallittua rakentaa valtion hallussa olevalle alueelle välittömästi puolustustarkoituksiin liittyviä rakennuksia, rakennelmia ja laitteita.

On kuitenkin huomattavaa, että MRL:n mukaan puolustustarkoituksiin tarkoitettu rakentaminen on vapautettu lupavelvollisuudesta ainoastaan silloin kun rakentamiseen tarkoitettu alue on valtion hallinnassa. Eli vaikka rakennuslupaa ei tarvitakaan, on myös valtion hankittava tarvittavat käyttöoikeudet rakentamista varten. (Kotkansalo 2004, 51-57.)

2.6 Ympäristölupa

Ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttaville toiminnoille tarvitaan ympäristösuojelulain mukainen lupa. Ympäristöluvassa annetaan määräyksiä muun muassa toiminnan laajuudesta, päästöistä ja niiden vähentämisestä. Luvan myöntämisen edellytyksenä on, että toiminnasta ei saa aiheutua terveyshaittaa tai merkittävää ympäristön pilaantumista tai sen vaaraa.

Ympäristölupa voidaan hakea aluehallintovirastosta ja ELY-keskukset toimivat myönnettyissä luvissa valvontaviranomaisena paikallisten ympäristönsuojeluviranomaisten kanssa. Ympäristölupaviranomainen tiedottaa hakemuksesta kuulutuksella, antaa hakemuksesta lausunnon ja asianosaiset saavat tehdä muistutuksia ja hankkeen vaikutusalueen asukkaat voivat esittää asiasta mielipiteensä.

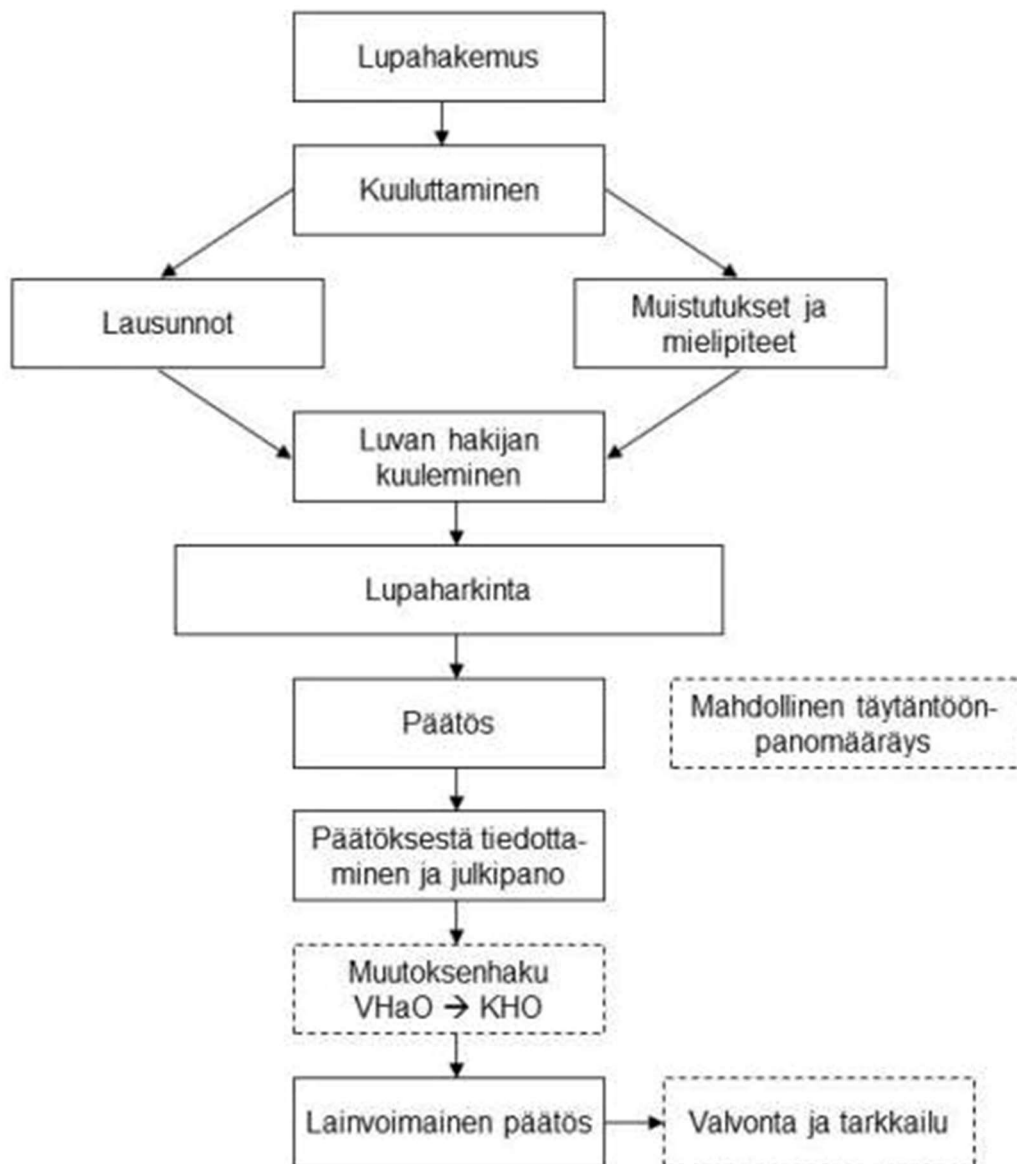
Hakijan kuultua lausunnoista ja muistutuksista, lupaviranomainen tekee asiassa päätöksen. Lupapäätöksestä hakija voi valittaa Vaasan hallinto-oikeuteen ja tämän päätöksestä edelleen korkeimpaan hallinto-oikeuteen. Lupahakemuksen käsittelystä peritään hakijalta maksu. (Suomen ympäristökeskus 2015.)

Ympäristölupahakemus toimitetaan liitteineen ympäristölupaviranomaiselle yleensä kolmena kappaleena. Lupaviranomainen voi tarvittaessa pyytää lisäkappaleita. Ympäristölupahakemuksen liitteet luvan käsittelyä varten on määritelty ympäristönsuojeluasetuksessa (YSA). Niistä on mahdollisuus neuvotella etukäteen luvan myöntävän viranomaisen kanssa. Hakemukseen on liitettävä sijaintikartta toiminta-alueesta sekä asemapiirros, johon on merkitty eri toimintojen sijainnit.

Hakemusta on mahdollisuus tehdä myös vapaamuotoisesti niin että siitä ilmenevät ympäristönsuojeluasetuksessa vaaditut tiedot. Vapaamuotoisessa hakemuksessa asiat on esitettävä samassa järjestyksessä kuin lomakkeessa.

Lupahakemuksen käsittelyä on mahdollisuus edistää ja nopeuttaa ennakkoneuvotteluilla viranomaisen kanssa, hyvissä ajoin ennen toiminnan aloittamista jätetty hakemus sekä hyvin selkeä, kattava ja asiantuntevasti laadittu hakemus liitteineen.

Hakemukseen vaaditaan liitettäväksi lupaharkinnan kannalta tarpeellinen selvitys toiminnasta, sen vaikutuksista, asianosaisista ja muista merkityksellisistä seikoista. Hakemuksesta on myös käytävä ilmi, mihin aineistoon ja laskenta-, tutkimus- tai arviointimenetelmään annetut tiedot perustuvat. Erityisen tärkeä on myös se että hakemuksen laatijalla on riittävä asiantuntemus ympäristölainsäädännöstä, tekniikasta, ympäristövaikutuksista ja niin edelleen. (Suomen ympäristökeskus 2016, 4.)



Kuva 2 Lupakäsittelyn vaiheet kaaviona (Suomen ympäristökeskus 2015).

2.7 Johtamislupa jätevedelle

Työmaaveden johtaminen vesistöön, ojiin, hule-, seka- ja jätevesiviemäriin tai sen imeyttäminen maahan vaatii aina lupaa ja sen tulee aina olla laadultaan sellainen, ettei siitä aiheudu ympäristön pilaantumista tai haittaa rakennetulle ympäristölle ja sen rakenteille, kuten hulevesiviemäriin tukkeutumista tai syöpymistä.

Vesistöön johdettaessa työmaaveden laadun tulee aina vastata tai olla puhtaampaa kuin purkuvesistön laatu. Hule-, jäte- ja sekavesiviemäriin johdettavien vesien yleiset laatuvaatimukset määritellään kunkin alueen jätevedenpuhdistamolle johdettavien jätevesien raja-arvot asiakirjassa. Viemäröintiluvissa annetaan lisäksi muita pitoisuusrajoja.

Yleisiä ohjeellisia raja-arvoja vesistöön, ojiin tai maaperään johdettavan työmaaveden laadulle on määritelty niin että esimerkiksi kiintopitoisuuden on oltava alle 300 mg/l, pH:n arvo 6-9, lämpötilan oltava alle 25 °C ja öljyä alle 5 mg/l eikä näkyvää öljykalvoa. Tarvittaessa poistettavan veden laatu on selvitettävä näytteenotoin ja laboratorioanalyysin. Vedenlaadun tutkiminen katsotaan olevan tarpeen esimerkiksi louhintatyömailla, pilaantuneen maaperän työmailla ja työmailla, joilla käytetään tuotteita, joista voi liueta poistettaviin vesiin haitta-aineita. Hule-, jäte- ja sekavesiviemäriin johdettaessa, veden määrä tulee myös pystyä mittaamaan luotettavin menetelmin laskutusta varten. (Helsingin kaupunki 2010, 3-7.)

Esimerkiksi pääkaupunkiseudulla vesien johtaminen hule-, jäte- tai sekavesiviemäriin vaatii aina luvan HSY:n liittymispalveluilta. Liittymisestä on laadittava ensin liitoskohtalausunto, jonka jälkeen tehdään liittymissopimus. Liittymissopimuksessa voidaan määrätä tarvittaessa myös poistoveden maksimivirtaamasta.

Johdettaessa työmaavedet jätevesiviemäriin, voidaan ennen liitoskohtalausuntoa työmaan koosta, kestosta sekä työmaaveden laadusta riippuen tarvita lisäksi HSY:n valvontapalveluiden myöntämä viemäröintilupa. Viemäröintilupa voidaan tarvita aina, kun työmaavesiä johdetaan jätevesiviemäriin pilaantuneiden maiden kunnostustyömailta tai isoilta louhintatyömailta.

Yleensä vesilaitokset määrittävät myönnettyihin lupiin yleisiä toimitusehtoja ja haitta-aineraja-arvoja. Raja-arvojen noudattaminen on hyvin tärkeää, koska vesilaitoksilla on oikeus keskeyttää veden toimitus ja vastaanotto, mikäli viemäriin laskettavan veden laatu ei täytä sovittuja ehtoja.

Työmaavesien hallitsemattomasta käsittelystä ja johtamisesta voi aiheutua haittaa ympäristölle ja terveydelle. Mikäli työmaavesien johtaminen luvattomasti tai lupaehtojen vastaisesti alueen viemäriin aiheuttaa vahinkoa viemäreille tai jätevedenpuhdistamolle, voidaan lähettää lasku vahinkojen korjaamisesta aiheuttajalle toimitusehtojen mukaisesti, mikä tarkoittaa palvelun keskeyttämistä sekä aiheutettujen vahinkojen korvaamista. (Helsingin kaupunki 2010, 3-7.)

3 Tunnelityömaalle soveltuvat vesien käsittelymenetelmät

3.1 Vesihuollon yksikköoperaatiot ja -prosessit

Vesihuoltotekniikassa vesien käsittelymenetelmät on jaettu toimintaperiaatteidensa mukaan fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin menetelmiin. Jaottelu ei kuitenkaan ole näin yksioikoinen, koska fysikaaliset menetelmät voivat vaikuttaa myös veden kemiallisiin sekä biologisiin ominaisuuksiin ja päinvastoin. Tunnelityömaalla on mahdollista käyttää vain osa tunnetuista menetelmistä, sillä resursseja budjetoidaan vesienkäsittelyyn niukasti ja sitä ei pidetä tuottavana työnä. Toisaalta monet edistyneet käsittelyprosessit ovat hyvin häiriöherkkiä ja vaativat jatkuvaa huoltoa, minkä takia ne eivät sovellu työmaan toimintaympäristöön. (Paakki 2014, 13.)

Vesien käsittelyn fysikaalisessa menetelmässä veden laadun muutos toteutetaan fysikaalisten ilmiöiden avulla, joita kutsutaan fysikaalisiksi yksikköoperaatioiksi. Näitä tyypillisiä yksikköoperaatioita ovat välppäys ja siivilöinti (poistetaan suurimmat kiinteät epäpuhtaudet nesteestä), sekoitus ja hämmennys (muuttaa käsiteltävän veden homogeeniseksi jatkotoimenpiteitä varten), suodatus, adsorptio, ilmastus, flokkaus, selkeytys laskeutuksen ja flotaation avulla sekä kalvotekniikat. Insinööritieteissä näitä menetelmiä kutsutaan mekaanisiksi puhdistusprosesseiksi.

Perinteisesti nämä fysikaaliset menetelmät on käytetty ennen kaikkea veden kiintoaineksen erottamisessa. Vesien käsittelymenetelmien kehittyessä myös liuenneita aineita on ryhdytty käsittelemään ja poistamaan fysikaalisten menetelmien, kuten esimerkiksi adsorption avulla.

Kemiallisiksi vesien käsittelymenetelmiksi kutsutaan prosesseja, joissa kemikaalilisäyksellä tai kemiallisilla reaktioilla pyritään aikaansaamaan muutoksia veden laadussa. käsiteltävä vesi voi sisältää suspendoituneita aineita, kolloideja ja liuenneita aineita. Nämä aineet voivat olla alkuperältään mineraaleja (hiekkä, siltti, savi ja niin edelleen) tai käsiteltävä vesi voi myös sisältää orgaanisia aineita (humus, hajoamistuotteet ja niin edelleen). Suspensio saattaa sisältää mikro-organismeja, kuten bakteereita, leviä, planktonia ja viruksia. Suspendoituneet aineet voivat aiheuttaa veteen myös sameutta ja väriä.

Kolloidit ja suspendoituneet aineet ovat alkuperiltään samoja aineita, mutta kolloidit ovat kooltaan noin $0,01 \dots 0,1 \mu\text{m}$ ja laskeutuvat erittäin hitaasti. Eli voidakseen vedestä poistaa kolloidikokoa olevia hiukkasia niiden kokoa on kasvatettava keinotekoisesti kemiallis-fysikaalisilla prosesseilla. Kuten suspendoituneet aineet kolloiditkin aiheuttavat veteen sameutta ja väriä. Jätevesiin liuenneet aineet eivät ole poistettavissa ilman kemiallista käsittelyä ja sitä seuraavia fysikaalis-kemiallisia prosesseja.

Biologisissa vesien käsittelymenetelmissä käytetään hyväksi biologisia prosesseja vesien puhdistamiseen. Aktiivilieteprosessi on kaikkein tunnetuin ja tyypillisin biologinen yksikköprosessi. Vesien biologisessa käsittelyssä tarkoitus onkin poistaa vedestä siihen liuenneita tai kolloidisina esiintyviä laskeutumattomia orgaanisia ja epäorgaanisia aineita.

Biologisen vesien käsittelyn periaate on sama kaikille biologisille prosesseille. Mikroorganismit eli bakteerit käyttävät hyväksi vesien orgaanista ainetta ja epäorgaanisia suo- loja kasvuunsa. Näin bakteeri tyydyttää energiatarpeensa, mikä kuuluu uuden solumateriaalin synteesiin ja elintoimintojen ylläpitoon. Näin ollen syntynyt solumateriaali voidaan erottaa käsiteltävästä vedestä, koska sen ominaispaino on jonkin verran suurempi kuin vedellä. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 17; 53; 133 & 165.)

Biologiset vesien käsittelyprosessit ovat tarkoitettuja enemmänkin orgaanisille ja hyvin herkästi hajoaville aineksille ja lisäksi ovat varsin pitkäkestoisia. Näin ollen voidaan todeta, että biologiset menetelmät eivät sovellu työmaaolosuhteisiin, sillä tunnelivesissä ei yleensä ole orgaanisia yhdisteitä.

3.2 Menetelmät

3.2.1 Ilmastusmenetelmä

Ilmastusta käytetään yleisterminä kaasun siirrolle vesi ja kaasufaasin välillä. Ilmiö on luonteeltaan fysikaalinen mutta sillä on runsaasti kemiallisia vaikutuksia, joten sitä voidaan kutsua fysikaalis-kemialliseksi käsittelyksi. Ilmastusmenetelmän avulla muutetaan veteen liuenneiden kaasujen määrää. Vaikka toimenpide sellaisenaan on fysikaalinen, siitä saattaa olla seurauksena kemiallisia tai biokemiallisia laadun muutoksia.

Ilmastusmenetelmä on jaettu kahteen päätapautumaan seuraavasti: kaasun lisäys veteen, jota kutsutaan absorptioksi ja kaasun poisto vedestä, jota kutsutaan desorptioksi eli yleisemmin strippaukseksi. Absorptiossa tavoitteena ovat rauta-, mangaani- ja rikkiyhdisteiden hapettaminen ja desinfointi, kun taas strippauksessa päätavoitteena ovat korroosion vähentäminen, hajua aiheuttavien aineiden poistaminen sekä haihtuvien orgaanisten aineiden poistaminen. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 69.)

3.2.2 Suodatus

Vesien käsittelyssä suodatus on laajasti käytetty prosessi. Sitä käytetään sekä jätevesien että teollisuusvesien käsittelyyn, usein viimeisenä vaiheena. Suodatuksessa vesi johdetaan suodatinmateriaalin läpi, jolloin kiintoainetta jää joko suodattimen pinnalle tai pidättyy syvempään suodatinmateriaaliin. Suodatuksella poistetaan aina suuremmista kolloidikokoa ($10^{-1} \mu\text{m}$) olevista hiukkasista ylöspäin oleviin epäpuhtauksiin saakka.

Suodattimet poistavat vedestä fysikaalisia partikkeleita ja vaikuttavat myös veden kemiallisiin ja biologisiin ominaisuuksiin. Siksi suodattimet jaetaan toimintaperiaatteidensa mukaan fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin menetelmiin. Lisäksi suodattimet jaetaan eri tyyppisiin käytetyn suodatinmateriaalin tai suodatusajan mukaan tai sen mukaan, onko kysymyksessä painovoimaisesti toimiva suodatin eli avosuodatin tai paineella toimiva painesuodatin. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 109 & 134.)

3.2.3 Koagulaatio

Koagulaatio on yksi vesien käsittelyn keskeisimmistä prosesseista. Koagulaatiomenetelmällä luodaan edellytykset suspendoituneiden ja kolloidikokoa ($0,1..0,01 \mu\text{m}$) olevien epäpuhtauksien poistamiselle. Koagulaatio on kemiallinen prosessi, jossa yleensä negatiivisesti varautuneet kolloidit neutralisoidaan kemikaalin avulla. Tällöin kolloidit kasvavat suuremmiksi laskeutumiskelpoisiksi hiukkasiksi. Lopullinen hiukkasten poistaminen tapahtuu joko laskeutuksen, flotaation tai suodatuksen avulla. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 133.)

3.3 Työmaaolosuhteisiin soveltuvat menetelmät

3.3.1 Välppäys ja siivilöinti

Välppäys ja siivilöimällä pyritään poistamaan käsiteltävästä vedestä karkeimmat kiintoainekset johtamalla vesi ahtaiden aukkojen tai rakojen kautta, jolloin aukkoja suuremmat kiintoaineshiukkaset pidättyvät laitteeseen. Menetelmälle luonteenomaista on se että muut tekijät kuin hiukkasten ja virtausaukkojen keskinäinen suhteellinen suuruus eivät vaikuta tulokseen. Täten kysymyksessä on vain kiinteän aineksen erottaminen yksinkertaisesti siivilöimällä. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 53-56.)



Kuva 3 Yleisesti tunnelityömailla käytössä oleva uppopumppu. Punaisella nuolella on osoitettu uppopumpun siiviläosa (Paakki 2014, 16).

Välpiässä tarvittava läpivirtausaukko on yhdensuuntaisten välppäsauvojen välinen rako ja siivilöissä läpivirtausaukko on metalli- tai tekokuitukudoksen silmä tai metallilevyn lävistetty reikä. Sekä välppien että siivilöiden päätarkoituksena on useimmiten lähinnä vain varmistaa seuraavien käsittelyvaiheiden toiminta, eikä niinkään vaikuttaa veden laatuun. Poikkeuksena tietenkin kaikkein tehokkaimmat siivilöintimenetelmät, joita pidetään veden laatuunkin vaikuttavina prosesseina. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 53-56.)



Kuva 4 Jätevedenkäsittelylaitoksen välppä (Puru 2015, 10).

3.3.2 Sekoitus ja hämmennys

Sekoitus on hyvin yleinen ja keskeinen elementti vedenkäsittelyprosessissa. Sekoituksella varmistetaan se, että vedessä olevat aineet sekoittuvat mahdollisimman hyvin. Näin saavutetaan yhtenäinen pitoisuustaso ja lämpötila systeemin eri osissa. Hyvällä sekoituksella voidaan vaikuttaa kemikaalien käyttömääriin, flokkien muodostumiseen ja selkeytyksen onnistumiseen. Vedenkäsittelyn lopputuloksen kannalta hyvällä sekoituksella voidaan luoda edellytykset seuraavien käsittelymenetelmien onnistumiselle. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 58-59.)

Teknisesti sekoitus jaetaan kahteen osaan:

- 1) pikasekoitukseen ja
- 2) hämmennykseen.

Pikasekoitus tapahtuu samanaikaisesti koagulaatiokemikaalin lisäyksen yhteydessä tai seuraa välittömästi koagulaatiokemikaalin lisäystä. Hämmennyksessä pikasekoitusaltaassa aikaansaadut mikrofolkit kasvatetaan laskeutumiskelpoisiksi makroflokeiksi.

Pikasekoitus ja hämmennys poikkeavat toisistaan myös ajalliselta kestoaltaan merkittävästi, sillä pikasekoituksen kesto aika on vain muutamasta sekunnista muutama kymmenen sekuntiin, kun taas hämmennys kestää muutamasta minuutista kymmeneen minuuttiin. Vaikka sekoitus ja hämmennys poikkeavatkin toisistaan hyvin paljon tekniseltä arvoiltaan ja toteutustavoiltaan, on niillä fysikaalisessa mielessä yhteinen tavoite, mikä on kasvattaa kolloidikokoa olevat hiukkaset laskeutumiskelpoiseksi flokeiksi. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 58-59.)

Sekoittimia on eri tyyppisiä ja ne jaetaan vedenkäsittelyssä seuraaviin päätyyppeihin:

- Lapa- eli turbiinisekoittimet
- Potkurisekoittimet
- Pneumaattiset sekoittimet
- Hydrauliset sekoittimet
- Putkisekoittimet

(Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 62.)

Turbiini- ja potkurisekoittimet ovat yleisimpiä sekoitintyyppiä ja niitä käytetään myös työmaaolosuhteissa (Paakki 2014, 23).

Pneumaattisia sekoittimia käytetään silloin, kun vettä siirretään kanavissa tai kouruissa käsittely-yksiköiden välissä veden- ja jätevedenkäsittelylaitoksissa (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 62).

Hydrauliset sekoitusmenetelmät käytetään muun muassa kloorin syötön yhteydessä vesi- ja jätevesilaitoksissa (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 62).

Putkisekoittimet ovat hyvin tehokkaita esimerkiksi koagulaatiokemikaalin syötössä suoraan putkeen. Näitä sekoittimia käytetään vesilaitoksilla, mutta soveltuvat erittäin hyvin myös työmaille, missä kiintoainespitoisuudet ovat suuret. (Paakki 2014, 23).

3.3.3 Selkeytys

Selkeytyksellä tarkoitetaan vedessä olevan kiintoaineksen tai nestemäisen partikkelin poistamista painovoiman tai keskipakovoiman avulla. Poistettavien hiukkasten koko vaihtelee silmin havaittavasta lähelle kolloidihiuksien kokoa (0,0001mm).

Selkeytyksen tavallisin muoto on laskeutus, mikä yksinkertaisesti tarkoittaa sitä että erotettavat hiukkaset ovat vettä raskaampia ja laskeutuvat painovoiman vaikutuksesta pohjaan. Laskeutus on yleisin käsittelymenetelmä niin veden kuin jätevesien puhdistuksessa. Laskeutus on myös yksi lietteen käsittelyn perusoperaatioista ja sitä käytetään hiekanerotuksessa, esilaskeutuksessa sekä saostuksessa syntyneiden kemiallisten flokkien poistamiseen. Laskeutuksen ensisijainen tarkoitus on poistaa vedestä tai jätevedestä kiintoainekset siten, että vesi on tarpeeksi puhdasta johdettavaksi purkuvesistöön tai vastaavasti jäte- ja sekavesiviemäriin. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 77.)

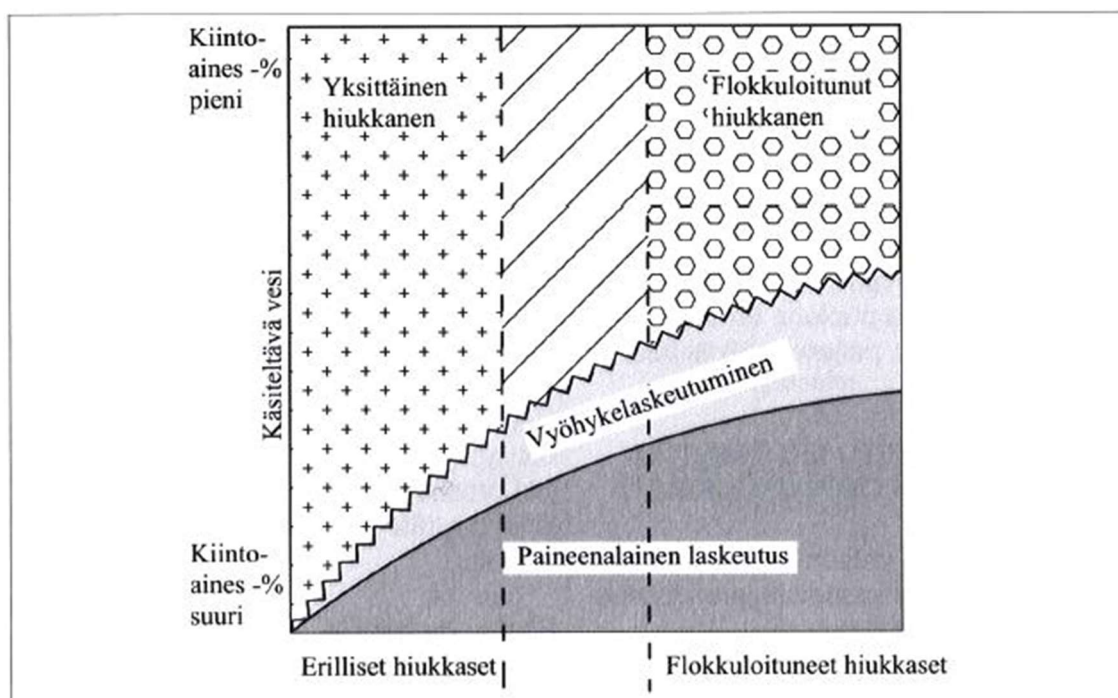
Selkeytyksen toinen muoto on flotaatio. Flotaatio on yksikköoperaatio ja sitä käytetään erottamaan vedestä kiintoaineet tai nestemäiset partikkelit. Flotaatio saadaan aikaan johtamalla veteen pieniä ilmakuplia, jotka kiinnittyvät poistettaviin partikkeleihin ja nostavat ne veden pinnalle, jolloin ne on helposti poistettavissa. Tätä flotaation muotoa kutsutaan ilmaflotaatioksi. Flotaatiosta on myös toinen muoto, jonka päätarkoitus on vettä luonnostaan keveämpien hiukkasten, kuten öljypisaroiden tai rasvahiukkasten erottaminen vedestä. Tämä prosessi on toimintaperiaatteeltaan ja järjestelyltään luonnollinen flotaatio. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 77.)

Ilma- ja luonnolliselle flotaatiolle on yhteistä painovoiman hyväksikäyttö kiintoaineksen tai nestemäisen partikkelin poistamiseksi. Painovoimasta johtuen, selkeytyksen aikaansaama erottelu on vakio. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 77.)

3.3.4 Laskeutus

Laskeutuksen toimintaperiaate yksinkertaisesti perustuu siihen, että nesteessä olevat kiintoaineet annetaan laskeutua omalla painollaan pohjaan erotettavaksi. Vettä raskaampi kiinteä hiukkanen laskeutuu vedessä aluksi kiihtyvällä nopeudella, kunnes veden aiheuttama vastus kasvaa hiukkasen painon suuruiseksi ja muuttaa hiukkasen laskeutumisenopeutta tasaiseksi. Tasapainonopeus määräytyy hiukkasen tiheyden, koon, ja muodon sekä veden tiheyden ja viskositeetin mukaan. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 77-79.)

Laskeutus tapahtuu seuraavilla tavoilla:



Kuva 5 Laskeutumisvyöhykkeet kaaviona (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 78).

I. Yksittäisen hiukkasen laskeutuminen

Yksittäisen hiukkasen ja flokkuloivan laskeutumisen tapauksessa hiukkaset laskeutuvat vapaasti toisistaan riippumatta. Vapaan laskeutuksen mukaisia prosesseja on muun muassa esilaskeutusvaiheessa. Yksittäisten hiukkasten laskeutumisenopeudet riippuvat

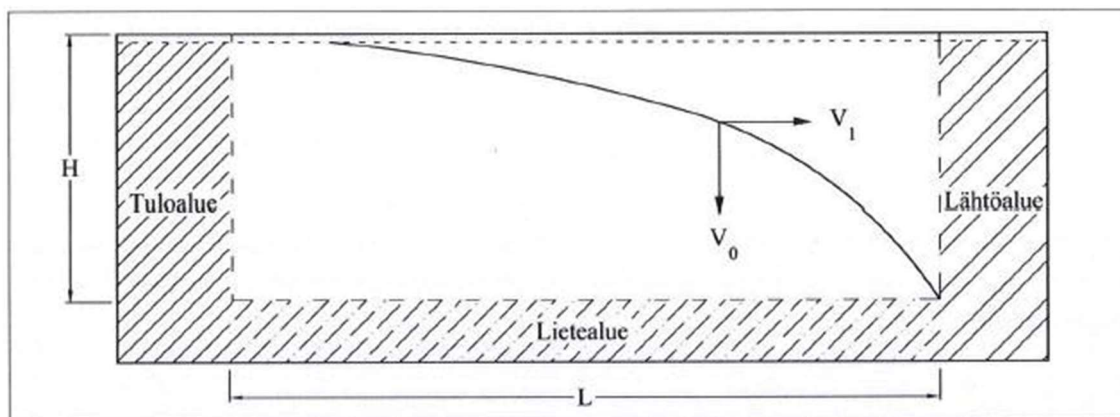
hiukkasten muodosta ja keskinäisistä etäisyyksistä. Mitä enemmän hiukkasen muoto poikkeaa pallon pyöreästä muodosta, sitä hitaammaksi laskeutumisnopeus muuttuu vastaavanpainoiseen palloon verrattuna. Laskeutuksen tehokkuus on riippuvainen hiukkasten laskeutumisnopeudesta sekä veden viskositeetista ja viime kädessä lämpötilasta. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 77-79.)

Taulukko 1 Pallonmuotoisten kivennäishiukkasten laskeutumisnopeus liikkumattomassa vedessä, missä $t = 10^{\circ}\text{C}$ ja tiheys 2,65 (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 79).

	d mm	v cm/s	Laskeutumisaika
Sora	10,0	100,0	1,0 s
Karkea hiekka	1,0	10,0	10,0 s
Hieno hiekka	0,1	0,8	2 min 5 s
Hieta	0,01	0,0154	1 h 48 min
Savi	0,001	0,00000154	2 v 20 d

II. Flokkautuva laskeutuminen

Vedenkäsittelytekniikassa on kysymys hiukkasista, jotka laskeutumisen aikana tarttuvat löyhästi toisiinsa, jonka seurauksena hiukkasten koko ja tiheys kasvaa, jolloin laskeutumisnopeuskin muuttuu. Tästä johtuen erilaisten kaavojen avulla lasketut tulokset voidaan pitää vain suuntaa antavina ja aina käsittelyä suunniteltaessa on laskelmien tulokset varmistettava asianomaisella vedellä tehdyin kokein. Eli mitään luotettavaa matemaattista kaavaa flokin laskeutumisnopeuden määrittämiseksi ei toistaiseksi ole, vaan laskeutumisnopeus on määrättävä laboratoriossa kokeellisin menetelmin, jonka tulokset voitaisiin esittää esimerkiksi graafisessa muodossa. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 82.)



Kuva 6 Periaatekuva flokin laskeutumisnopeuden muutoksesta vaakalasketusaltaassa (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 82).

Kuviossa näkyvät mitat tarkoittavat:

H = altaan korkeus, jossa laskeutus tapahtuu

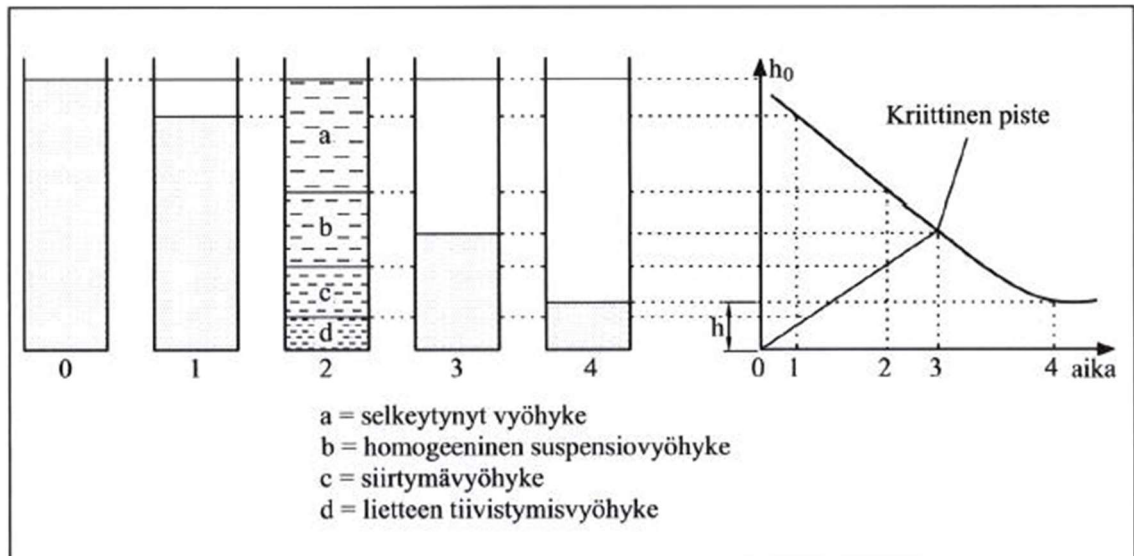
V = eteenpäin suuntautuvan flokin nopeus (m/s)

V_0 = alaspäin suuntautuvan flokin nopeus (m/s)

Kuvasta 6 voidaan nähdä, että eteenpäin kulkeva flokki törmää matkallaan muihin flokkeihin ja löyhästi kiinnittyvät toisiinsa, jolloin flokkien kokonaisuudessa kasvaa. Massan kasvaessa flokit alkavat vähitellen vajoamaan pohjaan. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 82.)

III. Vyöhykelaskeutuminen

Kun flokkikonsentraatio kasvaa olennaisesti, muuttuvat flokkien keskinäiset törmäysvaikutukset yhä tärkeämmiksi. Raja-arvona sille, että laskeutumisesta tulee niin sanottu vyöhykelaskeutuminen, pidetään flokkikonsentraatiota 2500..3500 mg/l. Tästä laskeutumisesta käytetään nimitystä vyöhykelaskeutuminen, koska laskeutumisen lopputuloksena muodostuu altaaseen selkeästi toisistaan erotettavia flokkivyöhykkeitä. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 82.)



Kuva 7 Kaaviokuva vyöhykelaskeutumisesta (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 83).

Kuvassa 7 esitetään neljää erillistä laskeutuksen vyöhykkeitä eri ajanjaksoina. Kuvasta 7 nähdään, että nollassa hetkellä kaikki kiintoainne on tasaisesti sekoittuneena veteen. Ajanhetkellä 1 selkeytynyt vyöhyke on erotettavissa yläpuolella ja alhaalla on entistä sakeampi kerros. Ajanhetkellä 2 on nähtävissä, että laskeutusalttaaseen on muodostunut neljä erillistä vyöhykettä, jossa kolmessa alimmaisessa tapahtuu laskeutusta. Ajanhetkellä 3 tapahtuu niin sanottu homogeenisen suspensio- siirtymävyöhykkeen yhdistyminen. Tämä on hetki, jota kutsutaan kriittiseksi pisteeksi ja tästä eteenpäin mentäessä flokit joutuvat yhä enemmän tekemisiin toistensa kanssa ja aiheuttavat lisääntyvää painetta alempana oleviin kerroksiin. (Paakki 2014, 21.)

IV. Paineenalainen laskeutus

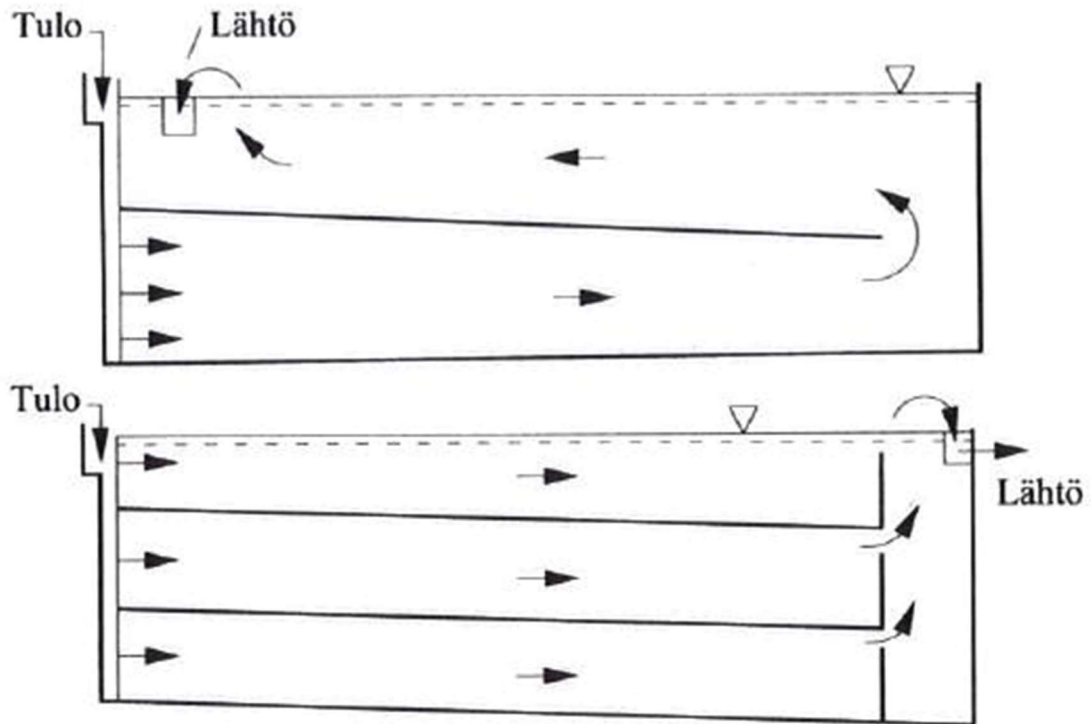
Vedenkäsittelytekniikassa on havaittu hämmennyksen auttavan lietteen tiivistymistä, koska se rikkoo flokkeja ja helpottaa sillä tavoin veden poistumista lietteestä. Tämä ilmiö tapahtuu niin sanotulla puristuneella lietevyöhykkeellä. Toistaiseksi ei ole vielä kehitetty menetelmiä, joilla voitaisiin laskea ja suunnitella lietteen hämmennys ottamalla huomioon kuvattu ilmiö, joten ainoa keino selvittää mitoituksen vaikuttavat asiat on tehdä laboratoriokokeita. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 84.)

3.3.5 Tehostetut laskeutusmenetelmät

Yksinkertaisen laskeutuksen heikko tehokkuus vedenkäsittelytekniikassa on kannustanut etsimään prosessiin erilaisia parannuskeinoja. Koska itse laskeutumislmiöön sinänsä ei voida vaikuttaa, on siksi periaatteena ollut joko lisätä laskeutusaltaan teoreettista pinta-alaa, jolloin samalla pintakuormalla saadaan suurempi tehokkuus tilavuusyksikköä kohti tai muuttaa virtaustila äärettömän stabiiliksi, jolloin laskeutumisprosessi toimii varmemmin. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 84.)

Viipymän pidentäminen on turha keino laskeutuksen tuloksen parantamisessa, sillä se edellyttää suurennettua allastilavuutta ja lisää siten kustannuksia. Poistoveden käsittelyssä liian pitkä viipymä aiheuttaa jätteaineiden hajoamista laskeutusaltaassa, josta voi seurata monenlaisia käyttöhäiriöitä.

Teoreettista allaspintaa on mahdollista lisätä rakentamalla altaaseen yksi tai useampi välipohja, jota kutsutaan lamelliksi. Näitä allastyyppejä on käytössä muun muassa vedenkäsittelylaitoksissa. Pintakuormaa laskettaessa on otettava näissä allastyypeissä huomioon sekä altaan pinta että välipohjat. Kun lamellien kaltevuus on riittävän optimaalinen, flokkautuneet hiukkaset liukuvat jatkuvana virtana alaspäin ja laskeuttamo voi toimia keskeytyksettä. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 84.)



Kuva 8 Välipohjalla / lamellilla varustetut laskeutusaltaat (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 84).

Kuvasta 8 voidaan nähdä, että välipohjalla varustettujen laskeutusaltaiden veden virtaussuunta voi olla joko nouseva tai laskeva. Jälkimmäistä vaihtoehtoa voidaan sikäli pitää johdonmukaisempuna, että siinä veden ja lietteen rajapinnalla virtauksen suhteellinen nopeusero on mahdollisimman pieni, eikä hiukkasten uudelleensekoittumista veteen tapahdu samassa määrin kuin ensimmäisessä vaihtoehdossa. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 84.)

Koeolosuhteissa on välipohjaperiaatteella päästy tilavuusyksikköä kohti tehokkuuteen, joka on noin kymmenen kertaa tehokkaampi yksinkertaiseen laskeutukseen verrattuna (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 84).

4 Laskeutuksen mitoitusperusteet

4.1 Yleistä mitoituksesta

Yksinkertaisin ja yksittäisen partikkelin laskeutumisteoriaa eli pintakuormaa parhaiten vastaava käytännön sovellutus laskeutuksesta on täyttö- ja tyhjennysperiaatteella toimiva allas, jossa käsiteltävä vesi johdetaan altaaseen, kiintoaineksen annetaan laskeutua rauhassa, minkä jälkeen johdetaan ensin selkiytynyt vesi ja viimeisenä poistetaan liete. Tällöin olisi laskeutusolosuhteet ihanteelliset, koska vesi on täysin liikkumaton laskeutuksen aikana. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 86).

Edes vesihuoltotekniikassakaan ei nykyisin enää käytetä täyttö- ja tyhjennysperiaatteella toimivia altaita, vaan laskeutus tapahtuu liikkuvassa vedessä. Toinen huomioon otettava tekijä on se että vesi johdetaan laskeutusaltaaseen ja sieltä pois johdoilla, joissa virtausnopeus on niin suuri, että laskeutusta häiritsevää turbulenssia syntyy sen vaikutuksesta itse altaassakin. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 86).

Vedenkäsittelyjärjestelmää mitoittaessa törmätään teoriassa moniin olettamuksiin ja laboratorio-olosuhteissa havaittuihin ilmiöihin. Teorian soveltamista käytännössä heikentävät moni asia työmaaolosuhteissa, kuten esimerkiksi turbulenttinen virtaus, resurssit, tilan kapasiteetti, altaiden ja putkistojen laatu ja muodot sekä aika ja lämpötilavaihtelut. Oikein mitoitetulla järjestelmällä voidaan kuitenkin mahdollistaa vesienkäsittelyn kohtuullisen stabiilissa ympäristössä sekä valvovan tahon määrittelemien haitta-aineraja-arvojen puitteissa. (Paakki 2014, 24).

Suunniteltaessa laskeutusaltaita työmaalle on otettava huomioon muun muassa seuraavat hydrauliset tekijät, jotka olennaisella tavalla vaikuttavat altaiden toimintaan ja näin ollen myös syntyvään puhdistustulokseen:

- turbulenssin rajoittaminen laskeutusaltaan tuloalueella
- virtauksen tulo- ja lähtöjärjestelyt
- oikovirtaukset
- riittävä pinnan tasaisuus ja kantavuus, koska täynnä käsiteltävää vettä olevat laskeutusaltaat painavat useita tonneja
- altaan muodon vaikutus hydrauliikkaan

(Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 91-92).

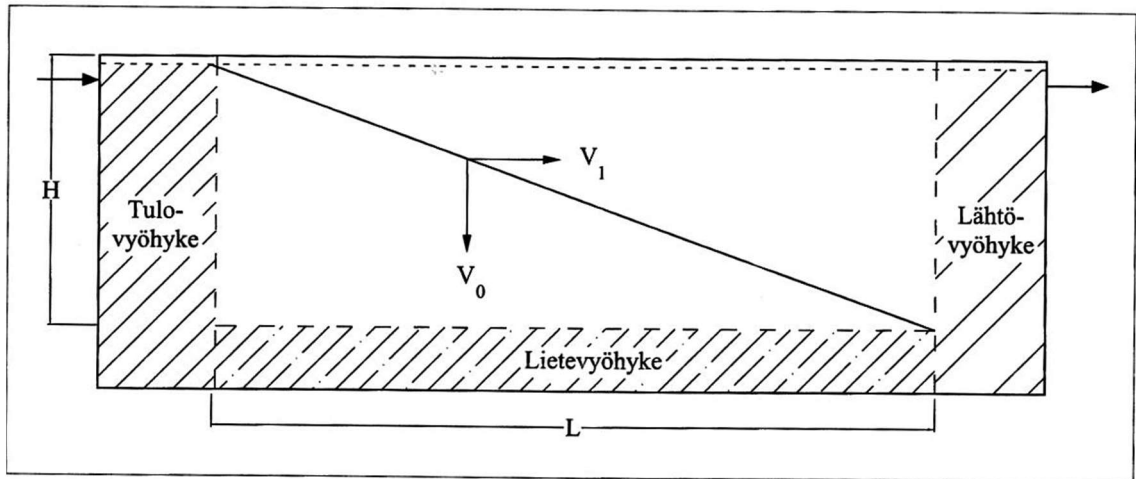
Laskeutuksen mitoituksessa tärkein ja käytetyin parametri on pintakuorma, joka on myös olennaisin yksikköoperaatio vesienkäsittelyprosessissa työmaalla. Laskeutuksen suunnittelussa on myös muita tärkeitä huomioon otettavia tekijöitä, kuten tehokas vesisyvyys, keskimääräinen vaakasuora nopeus, viipymä, turbulenssi ja oikovirtaukset. (Paakki 2014, 24).

4.2 Pintakuorma

Pintakuormasta on tullut eräänlainen standardi, koska se on laskeutusaltaan mitoituksessa tärkein ja käytetyin mitoitusp parametri. Pintakuorma perustuu yksittäisen hiukkasen laskeutumisteoriaan, jossa hiukkasen laskeutumisnopeuteen vaikuttavat tekijät ovat itse hiukkasen muoto ja sen keskinäinen etäisyys muihin hiukkasiin. Mitä enemmän hiukkasen muoto poikkeaa pallon muodosta, sitä hitaammin se laskeutuu. Pintakuorma on se erään paksuinen virtaamasta altaan pinnalle yhdessä aikayksikössä muodostunut vesikerros, jonka dimensiona on tavallisesti m/h. (Paakki 2014, 24).

Laskeutusprosessin läpivirtausperiaatetta sovellettaessa vesi johdetaan altaaseen, jossa se viipyy niin kauan, että kiintoaines ehtii laskeutua haluttuun hiukkaskokoon saakka vedestä altaan pohjalle. Tällöin mitoituksessa käytetään usein perusteena pintakuormaa, jonka yksinkertaistettua teoriaa on selitetty seuraavalla tavalla. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 86.)

Suorakulmaisessa altaassa (kuva 9), jonka pituus on L , syvyys H ja leveys B , hiukkasia sisältävä vesi jakautuu tasaisesti altaan poikkileikkaukselle tuloalueella, josta alkaen virtaava vesi on nopeukseltaan altaan kaikissa osissa tasainen lähtöalueelle asti. Oletetaan, että ne hiukkaset, jotka vielä ovat vedessä lähtöalueen alussa, jäävät veteen. Vastaavasti ne hiukkaset, jotka ehtivät laskeutua altaan pohjalle ennen tätä rajakohtaa, erottuvat vedestä pysyvästi. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 86.)



Kuva 9 Yksittäisen hiukkasen laskeutuminen suorakaiteenmuotoisessa altaassa, virtauksen ollessa horisontaalinen (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 86).

Jotta hiukkasen olisi mahdollista laskeutua altaan pohjalle, sen laskeutumisnopeuden V_0 on oltava suurempi kuin veden hiukkaseen aiheuttaman ylöspäin suuntautuvan nopeuden. Olkoon hiukkasen vaakasuora nopeus V_1 . (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 86.)

Viimeinen hiukkanen, joka on aivan pinnassa veden jättäessä tuloalueen, ehtii pohjaan juuri lähtöalueen rajalla. Eli voidaan päätellä, että virtausaika t altaan pituussuuntaisella matkalla L on siten sama kuin hiukkasen laskeutumisaika pohjaan matkalla H , kun laskeutumisnopeus on V_0 ja virtausnopeus V_1 . (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 86.)

$$t = \frac{L}{V_1} = \frac{H}{V_0} \quad (1)$$

t = laskeutukseen tarvittava aika, h

L = altaan tehokas pituus, m

V_1 = partikkelin vaakasuora nopeus, m/h

V_0 = partikkelin nopeus alaspäin, m/h

Toisaalta $V_1 = Q/(H * B)$, jossa Q on virtaama altaan kautta. Lisäksi otetaan huomioon, että altaan pinta-ala $A = B * L$, saadaan

$$V_0 = \frac{H * V_1}{L} = \frac{Q * H}{H * B * L} = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

Kaavalla (2) tarkoitetaan sitä, että kaikki ne hiukkaset, joiden nopeus on suurempi kuin V_0 laskeutuvat altaan pohjalle. Kun taas ne partikkelit, joiden nopeus on pienempi kuin V_0 , poistuvat nopeuksien suhteessa V/V_0 , missä V on laskeutuvan hiukkasen nopeus. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 86-87.)

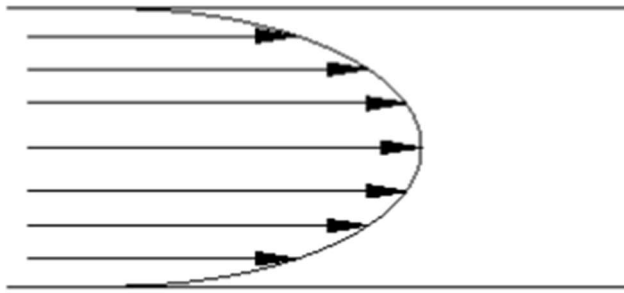
Pintakuormateorian mukaan selkeytyksen tulos ei ole riippuvainen altaan syvyydestä ja kaavan (2) mukaan kaikki ne hiukkaset, joiden nopeudet ylittävät arvon V_0 , ovat poistettavissa vedestä. Käytännössä nämä ei kuitenkaan pidä täysin paikkansa seuraavista syistä:

- virtauksen epätasainen jakaantuminen
- lietteen epätasainen kasaantuminen ja lietteen kerääminen häiritsee hiukkasten laskeutumista.

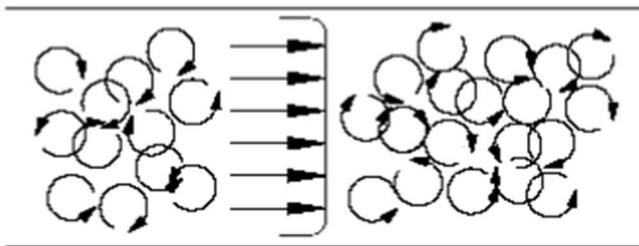
Pintakuormateorian lähtökohtana olevat oletukset pitävät paikkansa vain likimäärin, koska todellisuudessa virtausolosuhteet poikkeavat varsin paljon otaksutuista. Mutta silti pintakuorma on edelleen tärkein ja käytetyin mitoitusperuste, jonka suuruus vaihtelee käytännössä 0,8... 1,5 m/h. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 86 – 88.)

4.3 Turbulenssi

Virtausta on kahta tyyppiä, laminaarinen virtaus (kuva 10) ja turbulenti virtaus (kuva 11) ja (kuva 12). Laminaarinen virtaus tarkoittaa kerrosomaista virtausta, jossa kaikki nestehiukkaset liikkuvat yhdensuuntaisesti tiettyä rataa, jota kutsutaan virtaviivaksi. Virtausnopeuden kasvaessa laminaarinen virtaus muuttuu turbulenttiseksi. Turbulentti virtaus on pyörteellistä, jossa nestehiukkaset liikkuvat vapaasti noudattamatta minikäänlaisia ratoja. Turbulentti virtaus kulkee tiettyyn suuntaan, mutta virtauksen yksittäiset nestepartikkelit liikkuvat jopa tätä suuntaa vastakkaiseen suuntaan hetkellisesti. (Heikkinen 2010, 16.)



Kuva 10 Laminaarinen virtaus (Metropolia 2009).



Kuva 11 Turbulenttinen virtaus (Metropolia 2009).

Vaakasuoran virtauksen aiheuttaman turbulenssin säilyttäminen hyväksyttävissä rajoissa on mahdollista mutta silloin on altaan Reynoldsin luvun Re oltava alle 10000. Tämä tunnusluku on englantilaisen fyysikon Osborne Reynoldsin (1842 – 1912) kehittämä ja laskemisessa käytetään kaavaa:

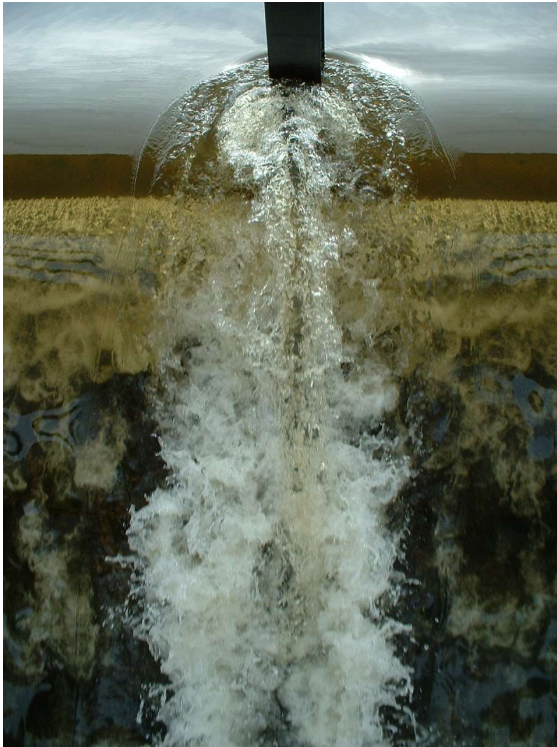
$$Re = \frac{V * R}{\nu} \quad (3)$$

V = keskimääräinen virtausnopeus, m/s

R = hydraulinen säde, m (eli uomassa virtaavan vesipatjan poikkileikkauksen muoto kerroin)

ν = veden kinemaattinen viskositeetti, m^2/s

(Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 92.)



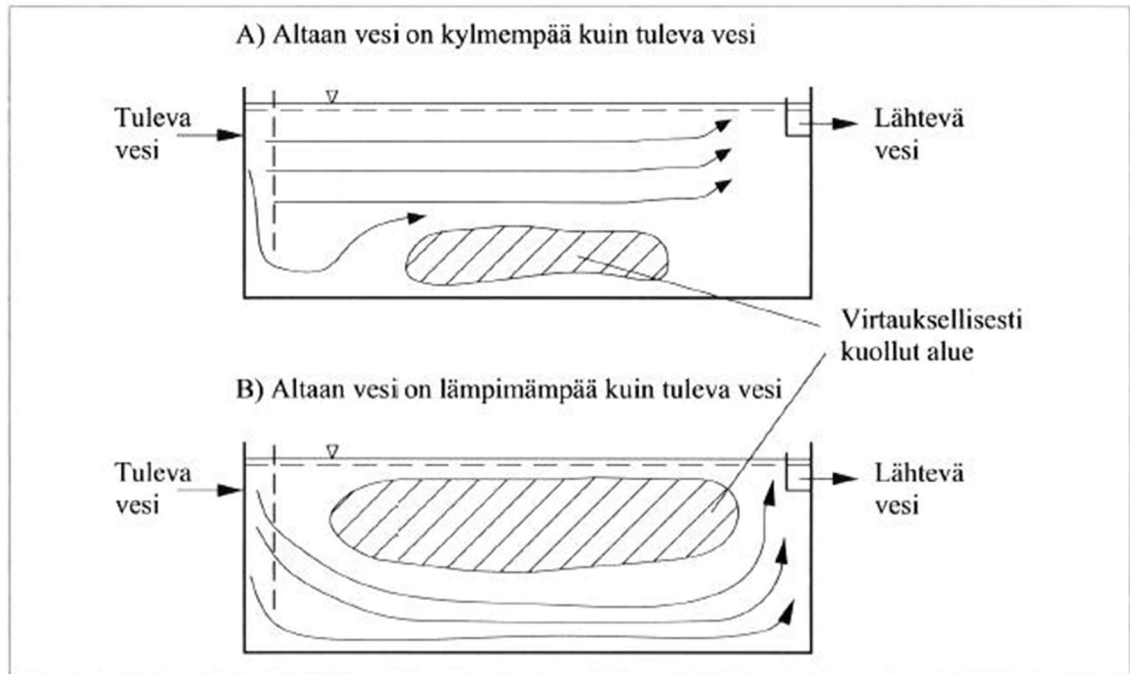
Kuva 12 Turbulenttinen virtaus veden sisällä (Wikipedia 2015).

Turbulenssin aiheuttamia häiriöitä ei voida täysin poistaa mutta siihen voidaan vaikuttaa ja häiriöt minimoida laskeutusaltaiden tulo- ja lähtöjärjestelyillä. Veden tulojärjestelyjen epäonnistuminen laskeutusaltaissa voi aikaansaada pahimmassa tapauksessa pysyviä häiriöitä, jotka heikentävät altaiden laskeutustehoa. Tulojärjestelyissä olennaista olisi se että tuleva vesi jaettaisiin mahdollisimman tasaisesti altaan koko poikkileikkaukselle. Tähän voidaan käyttää esimerkiksi suoria tai kaarevia estelevyjä, vaimennussäleikköjä tai virtauksen suuntaamista suoraan altaan päätyseinää vasten tarpeeksi hiljaisella virtauksella. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 93.)

4.4 Oikovirtaukset

Laskeutustehoa heikentävistä tekijöistä oikovirtaus on varsin tavallinen, jonka aiheuttaa veden tiheyserot. Kuten on edelläkin todettu, eräs toimintavarmuuden ja suorituskyvyn arvosteluperuste on itse altaan toiminta mitoitusotaksumista poikkeavissa olosuhteissa, erityisesti silloin, kun virtaama ylittää määritetyn mitoitusarvon. Yhtenä syynä tehoa heikentäviin oikovirtauksiin on altaan muodosta johtuva epäedullinen hydrauliikka.

Mitä leveämpi suorakulmainen allas on pituuteen verrattuna, sitä enemmän todellinen läpivirtausaika poikkeaa lasketusta arvosta, toisin sanoen sitä suurempi osa altaan kokonaistilavuudesta on toiminnan kannalta hyödytöntä tilaa. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 94 - 95.)



Kuva 13 Tiheyseroista johtuvia oikovirtauksia laskeutusaltaassa (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 95).

Oikovirtauksen syntyä on havainnollistettu erittäin hyvin kuvassa 13. Eli kun altaaseen tulevan veden lämpötila muuttuu siinä olevaa vettä lämpimämmäksi tai kylmemmäksi syntyy oikovirtaus tapauksessa A) pinnalle ja tapauksessa B) pohjaan. On todettu, että jo $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ altaassa olevaa vettä kylmempänä tuleva vesi aiheuttaa oikovirtauksia. Tällöin altaasta vain osa on toimintaa ajatellen tehokasta, mikä voi aiheuttaa paikallisesti suuria horisontaalisia virtausnopeuksia. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 94).

4.5 Koagulaatiokemikaalin käyttö ja määrän arviointi

Koagulaatiokemikaalin käyttö poistoveden käsittelyssä luo edellytykset suspendoituneiden ja kolloidikokoa ($0,1 \dots 0,01\ \mu\text{m}$) olevien epäpuhtauksien poistamiselle. Koagulaatio on prosessi, jossa yleensä negatiivisesti varautuneet kolloidit neutraloidaan kemikaalin avulla. Tällöin kolloidit kasvavat suuremmiksi hiukkasiksi. Nämä suurentuneet hiukkaset eli mikroflokkit kasvatetaan vielä suuremmiksi laskeutumiskelpoiseksi hiukkasiksi

(makroflokeiksi) hämmennyksen eli flokkauksen avulla. Hiukkasten lopullinen poistaminen tapahtuu joko laskeutuksen tai riippuen työmaan poistoveden käsittelyn järjestelyistä flotaation avulla tai suodattamalla. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 133).

Koagulaatio on vesien käsittelyn keskeisimmistä prosesseista. Jotta tilaajan ja vesilaitoksen toimesta työmaan poistovedelle asetetut raja-arvovaatimukset saavutettaisiin, on vesi yleensä käsiteltävä myös kemiallisesti. Esimerkiksi useiden liuenneiden aineiden poistaminen edellyttää koagulaatio-flokkausprosessia. Usein myös jopa sellaiset aineet, joiden puhdistamiseksi käsittelylaitosta ei ole tehty, vähenevät vedestä. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 133).

Koagulaatiokemikaalin määrä riippuu niin monista ja osaksi tuntemattomista tekijöistä, että sen osalta on nojaututtava kokemukseen, koska vesianalyysinkin perusteella voidaan vain likimääräin arvioida tarvittavat kemikaalimäärät. Siksi olisikin hyvä selvittää käytettävien kemikaalien optimiannostus suoranaissilla kokeilla, jossa annostuksia ja niiden suhteita vähitellen muutetaan, kunnes lopputuloksen kannalta edullisin yhdistelmä löydetään. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 139).

Jotta fysikaaliset olosuhteet olisivat täysin samanlaiset, on käytettävä rinnakkaisia astiakokeita. Näin voidaan varmistaa tulosten verrattavuutta jo silmävaraisesti. Koagulaatiokemikaalimäärän arvioinnin lisäksi on kokein myös selvitettävä veden pH:n säätöön koagulaation jälkeen tarvittavien kemikalioiden laatu ja määrä. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 139 - 140).

4.6 pH-arvon mittaus ja merkitys

pH on happamuusaste, joka kuvaa vedessä olevien vetyionien määrää. Eli toisin sanoen se kuvaa positiivisten vetyionien (H^+) aktiivisuutta liuoksessa. Vetyionit aiheuttavat vesiliuoksen happamuuden ja niiden määrä lasketaan teoreettisin mittauksin. pH on eräs laajimmin käytetyistä mittauksista niin vesihuollossa kuin työmailla. (Onkamo 2010, 6.)

pH:n lukuarvot ovat yleensä väliltä 0...14, mutta voi erittäin happamilla tai emäksisillä liuoksilla olla hieman näiden rajojen ulkopuolellakin. Puhtaan veden ollessa 25 °C ja

pH:n arvo noin 7 ($6,998 \pm 0,001$) niin liuos on silloin neutraali. Kun $\text{pH} < 7$, liuos on hapan ja emäksinen, kun $\text{pH} > 7$. (Onkamo 2010, 6.)

pH- anturien kalibrointi on hyvin tärkeä osa pH-mittauksen tarkkuuden ylläpidossa. Anturit on kalibroitava mittauksen tärkeydestä sekä mitattavasta aineesta ja mittausolosuhteista riippuen jopa useammin kuin kerran viikossa. pH:n mittauksessa elektrodit kuluvat ja likaantuvat käytössä, siksi niiden uusiminen onkin aika ajoin välttämätöntä ja pH:n mittaus vaatii säännöllistä kalibrointia. (Onkamo 2010, 27.)

Yleensä työmailla esiintyy aina silloin tällöin ongelmia poistoveden pH arvon ylityksistä. Riippuen hankkeesta, hankkeen sijainnista, tilaajasta tai tilaajan ja urakoitsijan välisistä sopimuksista, nykyisin käytäntönä on ollut ainakin pääkaupunkiseudulla, että ylityksistä raja-arvoista urakoitsija voi saada sanktioita. Esimerkiksi Lemminkäisen Espoon Blominmäen hankkeessa tilaaja on määrännyt Viikinmäen ja Suomenojan jätevedenpuhdistamoille johdettavien jätevesien pH:n raja-arvoiksi 6,0 – 11,0 (Liite 1). Jos määritettyjen pH:n raja-arvojen puitteissa ei pysytä ja ylityksiä tulisi jatkuvasti, urakoitsija saa ylityksistä ensin huomautuksia ja jos ylitykset vielä jatkuvat, tilaaja voi silloin määrätä sanktiot.

Suomen pohjavedet ovat yleensä happamia ja pehmeitä. Happamuus aiheutuu veden suuresta hiilidioksidipitoisuudesta ja pehmeys johtuu siitä, ettei vedessä ole kovuus suoloja kalsiumia ja magnesiumia. Näin ollen voimme olla varmoja siitä, että käsiteltävän veden pH arvon ylitykset eli veden emäksisyys ei ainakaan johdu vuotovesistä. Veden vahvan happamuuden osalta suurin merkitys on rikkihapolla, sekä jonkin verran myös typpihapolla. Veden happamuuteen vaikuttavat erilaiset veteen lienneet vahvat emäkset, vahvat ja heikot hapot sekä dissosioitumaton hiilidioksidi. Erittäin hiilidioksidipitoinen vesi on luontaisesti hapan pH-arvoon 5,5 asti. (Ymparisto.fi 2016.)

Käsiteltävän veden korkea pH-arvo eli emäksisyys johtuu työmaan ruiskubetonointi-, injektointi- ja kallion lujitusta varten tehtävistä massantekotöistä. Ruiskubetonin sisältämä sekä injektoinnissa ja kallion lujitusta varten käytettävän sementin korkea emäksisyys nostaa käsiteltävän veden pH:ta yli sallitun raja-arvon. Työmailla on todettu, kuinka jyrkästi käsiteltävän veden pH arvot yhtäkkiä voi nousta, kun työmaalla käynnistyy ruiskubetonointi- tai injektointityöt ja varsinkin jos ovat yhtä aikaa käynnissä.



Kuva 14 Esimerkkikuva Norjan Stavangerin E39 Eiganesmaantietunnelista, jossa näkyy juuri ruiskubetonoitu tunnelin pinta ja käynnissä oleva perään injektointityöt

Esimerkiksi Skanskan Länsimetron Tapiolan ratatunnelin ja aseman työmaalla, jossa käsiteltiin 100-200 kuutiota vettä vuorokaudessa, kallion louhinnassa veteen sekoittuva maa-aines ja ruiskubetonointi aiheuttivat poistovesien pH:n nousemista, mikä esti niiden suoran johtamisen sade- tai jätevesiviemäriin. Näin ollen poistovedet oli neutraloitava ensin. (AGAn uutiset 2014.)

Määräys alkalisten teollisuusjätevesien neutraloinnista tulee ympäristöluvasta. pH:n säätöön ja käsiteltävän veden emäksisyyden raja-arvoissa pitämiseen on monenlaisia ratkaisuja. Esimerkiksi Skanska valitsi AGAn hiilidioksidineutraloinnin Tapiolan ratatunnelin ja aseman työmaan vesien käsittelyyn. Ja kokivat tämän hiilidioksidilla neutralointiratkaisun turvalliseksi ja helpoksi. (AGAn uutiset 2014.)

On todettu, että työmaaolosuhteissa hiilidioksidi on helppo ja turvallinen tapa hoitaa poistovesien neutralointi. Hiilihappo on heikko happo ja sillä saadaan aikaan tasainen ja helposti säädettävä pH. Käytettäessä vahvoja happoja jo pieni muutos hapon määrässä saattaa muuttaa veden pH:ta hyvin rajusti. Hiilidioksidi ei tuo vesiin suoloja, kuten vahvat hapot tuovat, eikä aiheuta samanlaista korroosiota laitteistoihin kuin vahvat hapot.

Käytettäessä tätä menetelmää ei myöskään tarvita erillistä syöttöpumppua, sillä tarvittava syöttöpaine saadaan hiilidioksidisäiliöstä tai pullosta. (AGAn uutiset 2014.)

AGAn mukaan Skanskalla on ollut vain positiivisia kokemuksia tästä menetelmästä urakoissa, joissa tämä menetelmä on ollut käytössä. Laitteissa ei ole ilmennyt ongelmia ja menetelmää pidetään turvallisena ja seuranta helppona. Menetelmän tiedonkeruujärjestelmä kerää jatkuvasti analysoitavaksi ja urakoitsijan on helppo seurata, millaista vettä neutralointialtaista pumpataan viemäriin. (AGAn uutiset 2014.)

5 Poistoveden käsittely Lemminkäisen Blominmäen Mikkälänkallion työmaalla

5.1 Alkuvaiheet

Syyskuussa 2015 Lemminkäinen infra oy sai luvan johtaa Mikkälänkallion louhinta-työmaalla syntyvät poistovedet HSY:n jätevesiviemäriin seuraavin ehdoin: jätevesiviemäriin johdettavan veden kiintoainepitoisuus saa olla enintään 300 mg/l, veden pH arvo saa olla enintään 11 ja minimissään 6 sekä viemäriin johdettavan veden suurin sallittu maksimivirtaama saa olla 5 l/s. Muilta osin viemäriin johtamisessa tulee noudattaa HSY:n vesihuollon yleisiä toimitusehtoja sekä Viikinmäen ja Suomenojan puhdistamoille johdettavien jätevesien raja-arvoja, jotka ilmenevät liitteestä 1. (viemäröintilupa 2015 (Liite2).)

HSY:n ehtoja ja määräyksiä kunnioittaen Mikkälänkallion tunnelityömaan poistovedet on johdettu jätevesiviemäriin tunnelivesien poisto- ja selkeytysuunnitelman mukaisesti. Kiintoaineen määriä, pH:n arvoja ja öljynerottimia on tarkkailtu säännöllisesti. Tarkkailusta ja selkeytysaltaiden tyhjentämisestä ja siisteydestä on pidetty kirjaa, joka on ollut tarvittaessa HSY:n nähtävillä.

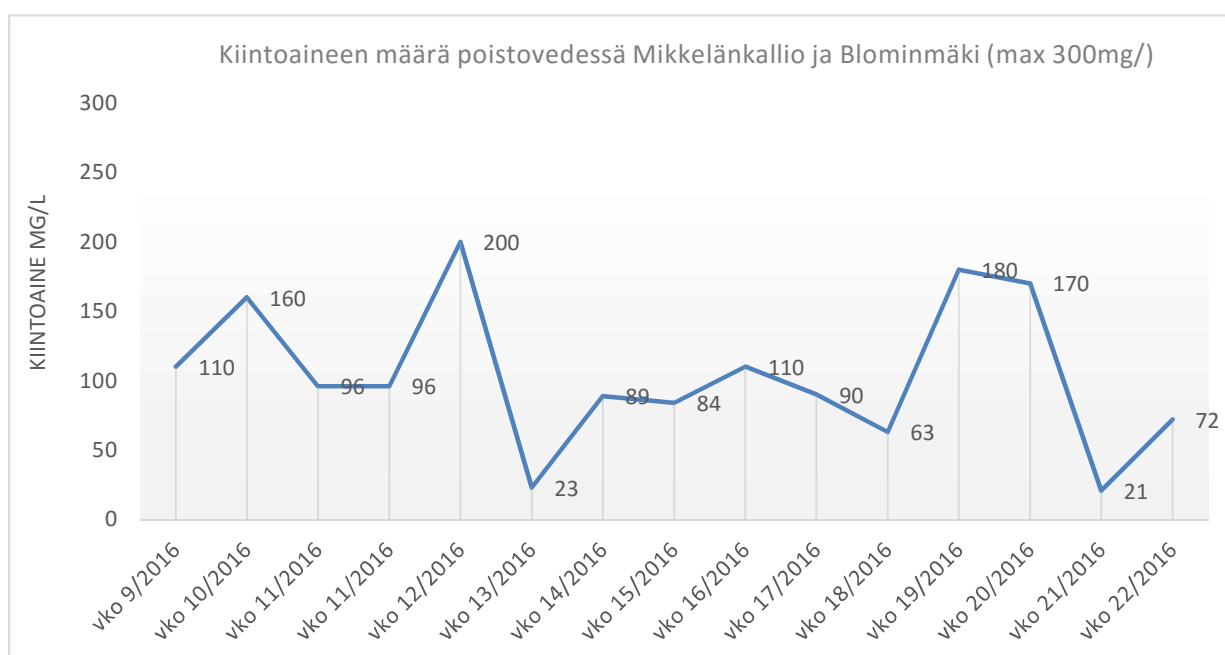
On tärkeää, että sovituista asioista ja määräyksistä pidetään kiinni, sillä jos urakoitsija laiminlyö sovittujen tehtäviensä ja velvollisuuksien hoitamisen, tulee HSY urakoitsijalta perimään rahallinen rangaistus eli sakko seuraavan taulukon mukaisesti:

Taulukko 2 Rangaistustaulukko jos urakoitsija laiminlyö velvollisuuksiensa hoitamisen (Viemäröintilupa 2015 (liite 2)).

Kirjallisen muistutuksen tai sakon perusteena olevat tehtävien laiminlyöntikategoriat (1,2,3,4)	urakkakohtaiset samasta laiminlyöntikategoriasta annetut huomautuskerrat ja niiden sakot		
	1. kerta	2. kerta	Seuraavat kerrat
1. Laatusuunnitelman vastainen toiminta ja ympäristöasioihin liittyvät laiminlyönnit	kirjallinen muistutus	1 000 €	2 000 €
2. Tilaajan tekemän pistokokeen perusteella havaittu huomattava laadunlasku, jota ei ole osoitettu urakoitsijan laatueroilmoituksessa	1 500 €	2 500 €	5 000 €
3. Urakoitsijan laatusuunnitelman mukaisessa asiakirjassa (esim. laaturaportissa tai päiväkirjoissa) todennettavasti on kirjattu tosiasioita vastaamattomia tietoja (vakava laiminlyönti)	3 000 €	5 000 € ja urakoitsijan edustajan vaihto	10 000 € ja urakoitsijan edustajan vaihto

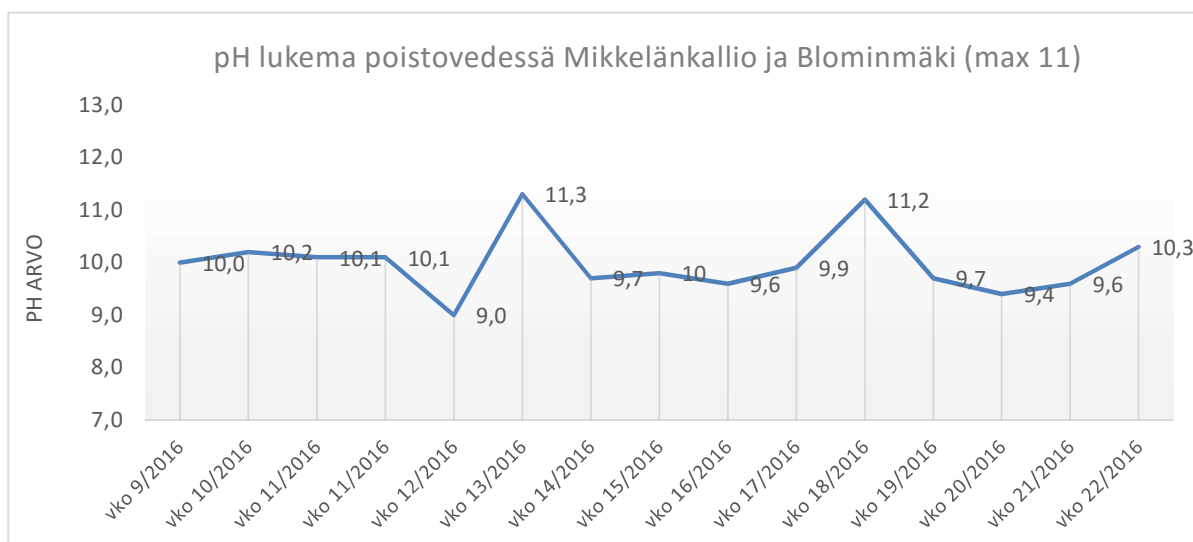
Viemäriin johdettavien vesien laatua on tarkkailtu kerran viikossa hankkeen alusta lähtien ottamalla näyte työmaan poistovedestä ennen jätevesiviemäriin johtamista. Näytteen ottaa ulkopuolinen taho, jolla on riittävä asiantuntemus näytteenotosta. Näytteistä tutkitaan kiintoainepitoisuus ja pH, joiden tulokset laboratorio lähettää heti niiden valmistuttua HSY:n valvontapalveluille. (viemäröintilupa 2015 (Liite2).)

Hankkeen aloittamisesta on pian kulunut vuosi ja Lemminkäinen Infra oy ei ole kertaakaan ylittänyt poistoveden kiintoaineen maksimiraja-arvoa (Kuva 15), maksimivirtaama (5 l/s) ei ole ylittynyt ja pH arvot on onnistuttu pitämään sallituilla rajoilla (kuva 16).



Kuva 15 Kiintoainediagrammi hankkeen alusta alkaen (Lemminkäinen Infra oy 2016)

Työmaan poistovedestä laboratoriossa tehtyjen kokeiden tulosten perusteella laaditusta diagrammista (kuva 15) voidaan nähdä, kuinka paljon poistoveden kiintoainepitoisuus on määrältään ollut vaihtelevaa tunnelin poistovedessä. Kaaviosta voidaan myös nähdä, että vaikka maksimiraja-arvo ei ole kertaakaan ylittynyt mutta kuinka lähelle maksimiraja-arvoa poistoveden kiintoainepitoisuus on päässyt viikoilla 12 ja 19/2016.



Kuva 16 Työmaan poistoveden pH arvot hankkeen alusta alkaen (Lemminkäinen Infra oy 2016)

Laboratorion viikoittaisten kokeiden tulosten perusteella laaditusta diagrammista (kuva 16) voidaan nähdä, kuinka työmaan poistoveden pH arvot ovat olleet kiintoainespitoisuuden tapaan hyvin vaihtelevia. Lukuun ottamatta viikon 13/ 2016 ja 18/2016 minimaaliset 0,3 ja 0,2 pH:n ylärajan ylitykset, työmaan poistoveden pH arvot ovat olleet hankkeen alusta lähtien hyvin hallinnassa.

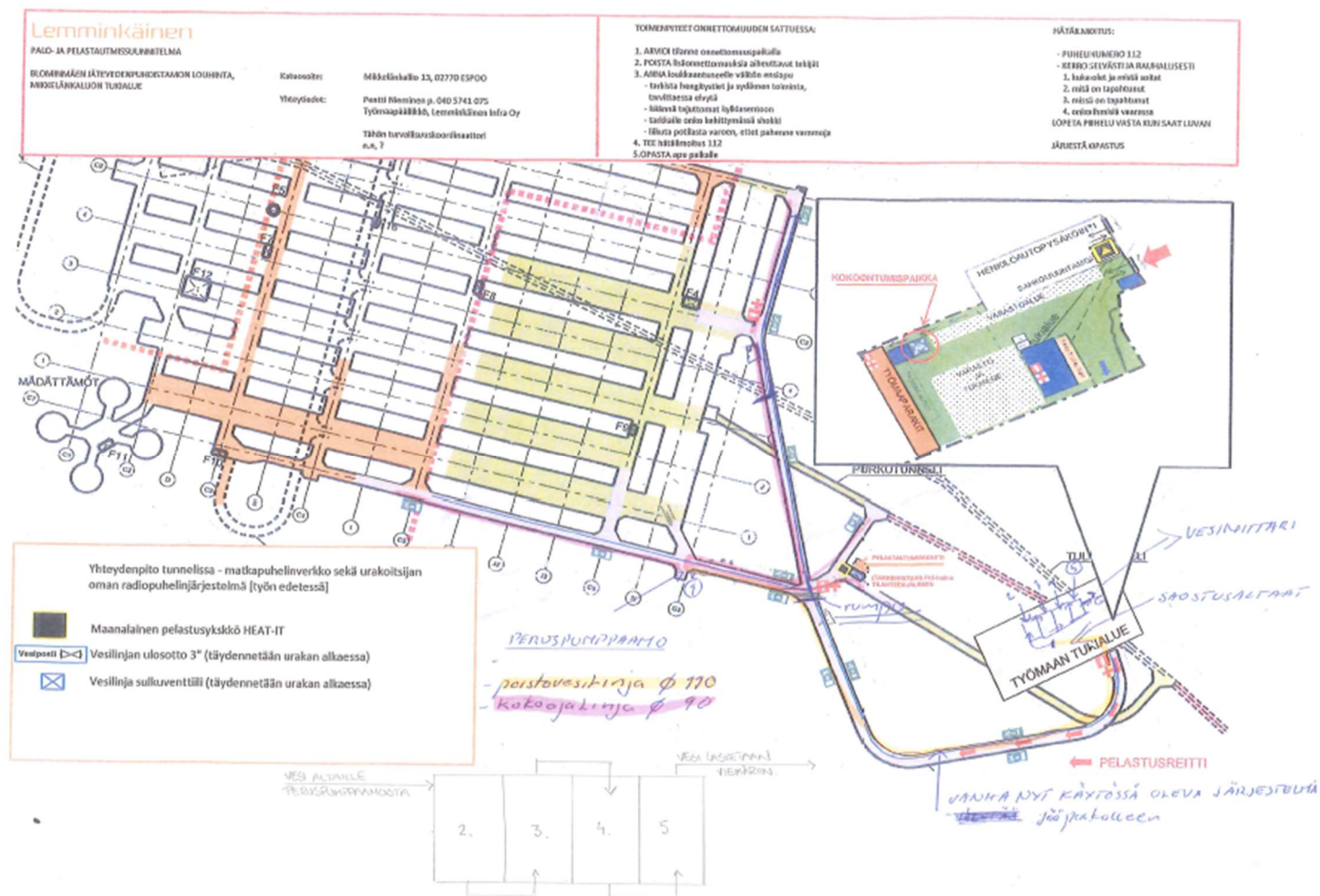
Työmaan päiväkirjan tietojen mukaan viikolla 2/2016, 13/2016 ja 18/2016, jolloin poistoveden pH arvot ovat olleet kohoimmillaan välillä 10,8 – 11,3, työmaalla on ollut injektointi-, ruiskubetonointi- tai lujitustöitä normaalia enemmän. Tämä selittää sen, miksi poistoveden emäksisyys eli pH arvon nousu on noina aikoina koholla.

5.2 Poistoveden käsittely Mikkälänkalliossa

Hankkeen alusta lähtien Lemminkäinen Infra oy toteutti Mikkälänkallion työmaansa poistoveden käsittelyn tuttuun tapaan selkeytysmenetelmän avulla. Lemminkäinen Infra oy hoiti työmaan poistovedenkäsittelyn järjestelyt moitteettomasti sovittujen seikkojen mukaisesti ja HSY:n sekä Viikinmäen ja Suomenojan jätevedenpuhdistamoiden ehdot huomioon ottaen.

Työmaan poistoveden käsittelyn järjestelyjä varten Lemminkäinen Infra oy laati poistovesi- ja selkeytysuunnitelman (liite 3), jossa on tarkasti dokumentoitu, miten työmaan poistovedet tullaan hankkeen aikana käsittelemään ennen jätevesiviemäriin johtamista.

Poistovesi- ja selkeytysuunnitelmassaan Lemminkäinen laati periaatepiirroksen (kuva 17), josta voi nähdä muun muassa tunnelin sisälle louhitun esiselkeytysaltaan sekä tunnelin suuaukon läheisyyteen sijoitettujen jälkiselkeytysaltaiden sijainnit. Lisäksi kuten periaatepiirroksessakin (kuva 17) näkyy, selkeytysaltaat on numeroitu niin että tunnelin sisälle louhittu esiselkeytysallas on ensimmäinen ja tunnelin suuaukon läheisyyteen sijoitetut jälkiselkeytysaltaat ovat kahdesta viiteen.



Kuva 17 Lemminkäisen Mikkälänkallion työmaan alkuperäinen poistovesi- ja selkeytysuunnitelman periaatepiirros (Lemminkäinen Infra oy 2016 (Liite 3)).

Käytännössä Mikkälänkallion työmaan poistoveden käsittely toteutettiin niin että tunnelin perissä poraustöiden ja kallion vuotovesien jäljiltä kertyneet vedet pumpattiin keräysaltaisiin (kuva 18). Keräysaltaiden täytyttyä vesi ohjautui suoraan tunnelin teiden varsiin rakennettuun ojaan (kuva 19) ja (kuva 20), jota pitkin poistovesi kulkeutui tunnelin sisään louhittuun esiselkeytysaltaaseen (kuva 21). Esiselkeytysaltaasta osittain selkeytynyt poistovesi pumpattiin tunnelin suuaukon läheisyyteen sijoitettuihin jälkisel-

keytysaltaisiin (kuva 22), joissa poistovesi sai lopullisen käsittelyn ennen jätevesiviemäriin laskemista.



Kuva 18 Mikkilänkallion työmaan yksi poistoveden keräysaltaista.

Mikkilänkallion urakka-alueella mitä enemmän on menty maanalaisen tilan louhinnassa eteenpäin sitä enemmän sinne on viety erilaisia ja eri kokoisia poistoveden keräysaltaita, kuten esimerkiksi yllä olevan kuvan 18 mukainen iso poistoveden keräysallas. Keräysaltaita on hyvä olla työmaalla riittävän paljon varastossa. Keräysaltaita sijoitetaan poistovesilinjan yhteyteen, jottei esimerkiksi poistovesipumpuille aiheudu liikaa kuormitusta pumpatessa raskasta poistovettä liian pitkiä matkoja määränpäähän.

Yleensä tehdään niin, että iso keräysallas sijoitetaan kahden tai useamman tunneliperän läheisyyteen, jotta periin kerääntyneet vedet voidaan välittömästi pumpata keräysaltaseen, josta vesi voidaan taas edelleen pumpata poistovesilinjaa pitkin pois. Näin pidetään sekä tunnelin perät kuivina että luodaan hyvät työedellytykset louhintatyöntekijöille.

Keräysaltaat toimivat myös viivytyksaltaina eli osana poistoveden selkeytysprosessia. Keräysaltaisiin pumpattu poistovesi viipyy keräysaltaassa kunnes se täyttyy, jolloin joko se pumpataan poistovesilinjaa pitkin eteenpäin tai ohjataan ojaan. Tämän aikana tietysti poistoveden suurimmat kiintoaineet ehtivät jo laskeutua painovoiman ansiosta keräysaltaan pohjalle ja poistovesi osittain selkeytyy. Keräysaltaisiin jääneet kiintoaineet tyhjennetään kaivinkoneella aina tietyin aikaväleihin.



Kuva 19 Poistoveden lasku ojaan.

Keräysaltaan täytyttyä, osittain selkeytynyt poistovesi hiljalleen ohjautuu ojaan. Veden pienen virtausmäärän ja ojien vähäisen vieton ansiosta, poistovesi selkeytyy jo matkallaan niin paljon, että selkeytysaltaaseen päätyvät vain hyvin pienet kiintoaineshiukkaset.



Kuva 20 Poistoveden päätyminen ojasta selkeytysaltaaseen.

Kuvasta 20 voidaan nähdä, kuinka hyvin ojan pohja on värjäytynyt, kun siihen on tarttunut ja kerrostunut poistoveden hienoainekset. Poistoveden kuljettaminen ojia pitkin on näyttänyt toimivan odotettua paremmin ja on tärkeä osa vesien käsittelyn prosessia. Poistoveden käsittelyn kannalta ojat toimivat parhaiten, mitä vähemmän niissä on lietettä ja tasaista pintaa. Tästä syystä tunnelin ojat tyhjennetään ja putsataan aina tietyin aikaväleihin.



Kuva 21 Tunnelin sisään louhittu selkeytysallas.

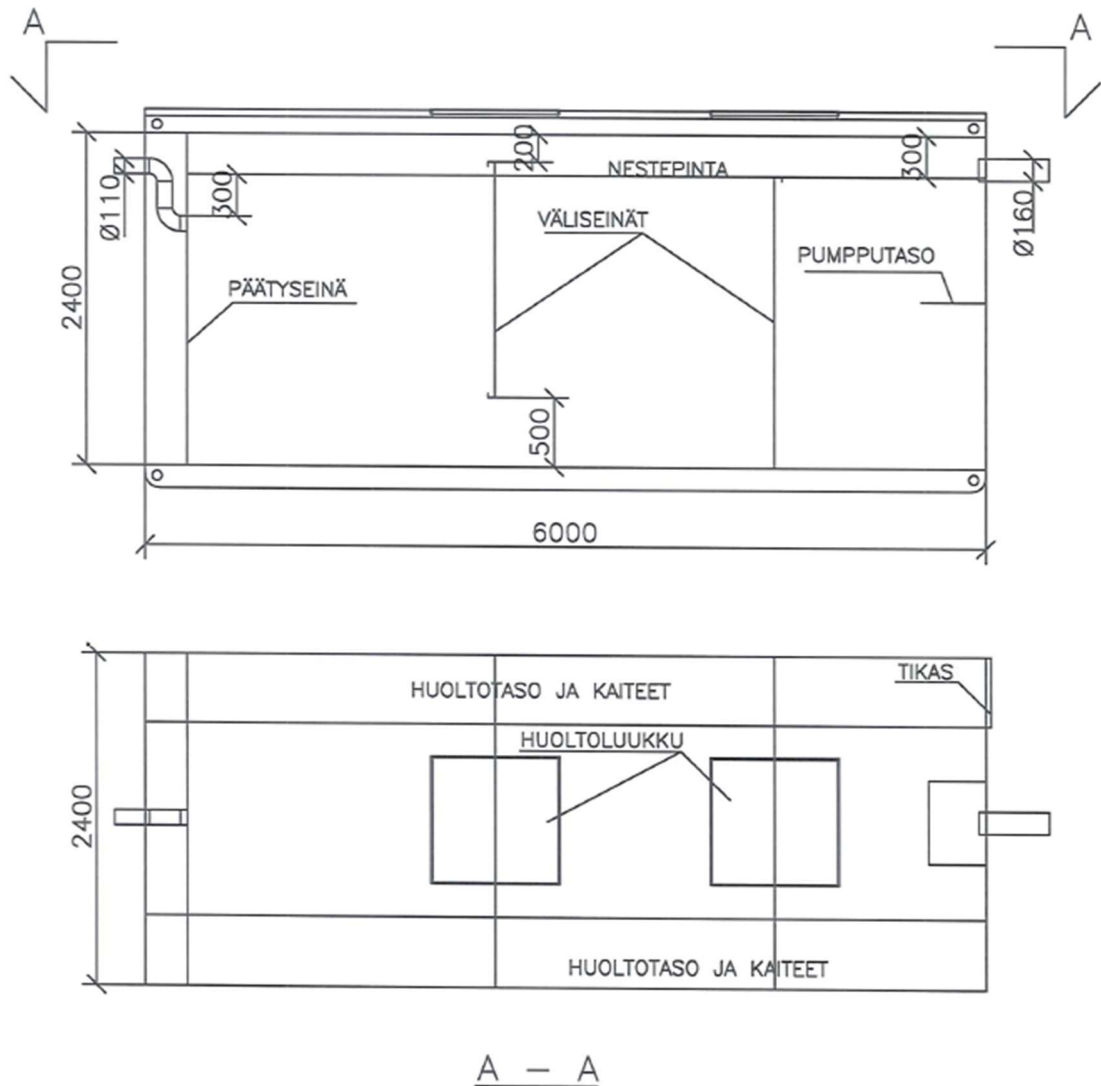
Yllä oleva kuva 21 on tunnelin sisään louhitusta selkeytysaltaasta, joka on pinta-alaltaan $14,4 \text{ m}^2$ ja tilavuudeltaan $30,24 \text{ m}^3$. Tunnelin kaikkia ojia pitkin osittain hyvin selkeytyneet vedet päätyvät kaikki tuohon selkeytysaltaaseen. Suuressa selkeytysaltaassa iso vesimassa pidetään siinä häiritsemättä ja annetaan pientenkin kiintoaineshiukkasten laskeutua altaan pohjalle ja veden selkeytyä rauhassa.

Tunnelin selkeytysaltaassa suoritetaan ensimmäinen öljynerotustoimenpide öljynerotuskankailla. Selkeytysaltaan keskeltä noin $0,3\text{-}0,5\text{m}$ vedenpinnan alapuolelta jo melko hyvin selkeytynyt vesi pumpataan maanpinnalla oleviin jälkiselkeytysaltaisiin. Kuten tunnelin keräysaltaat, selkeytysaltaaseen kerääntynyt liete tyhjennetään myös kaivinkoneen avulla aina tietyin aikaväleihin. Tämä suuri selkeytysallas on erittäin tärkeä ja käytännöllinen työmaan poistoveden käsittelyssä, koska se on hyvin tilava, kustannustehokas, helppokäyttöinen ja siinä tapahtuu suurin osa lietteen erotusmäärästä.



Kuva 22 Tunnelin suuaukon läheisyydessä sijaitsevat jälkiselkeytysaltaat.

Kuvassa 22 näkyy Mikkeläkallion jälkiselkeytysaltaat, joita on tällä hetkellä neljä kappaletta. Kuten edellä on mainittu, nämä altaat on sijoitettu suuaukon läheisyyteen. Nämä altaat ja tunnelin sisällä oleva esiselkeytysallas ovat kaikki sekä pinta-alaltaan että tilavuudeltaan samankokoisia, eli $14,4 \text{ m}^2$ /allas ja $30,4 \text{ m}^3$ /allas. Näiden jälkiselkeytysaltaiden dimensiot on esitetty alla olevassa kuvassa 23.



Kuva 23 Jälkiselkeytyssaltaiden rakennepiirustus (Lemminkäinen Infra oy).

Altaat 3 ja 5 ovat tuplalaipiollisia, joiden ensimmäinen laipio on alhaalta auki ja toinen laipio ylhäältä. Altaissa 2 ja 4 välilaipiot ovat vain alhaalta auki ja niissä altaissa tehdään öljynerotustoimenpide imeytyskankailla. Aina tietyin aikavälein nämä kankaat kerätään jäteöljyastioihin ja toimitetaan Lassila & Tikanojan toimesta ongelmajätelaitokselle. (Poistovesi- ja selkeytyssuunnitelma 2015, (liite 3).)

Jokaiseen altaaseen on järjestetty kulkusilloin ja tarkastusluukuin pääsy kiintoaineksen mittausta ja imuautolla tyhjennystä varten. Työnjohtajilla on tehtävänä tarkkailla altaiden kiintoaineen määrää päivittäin. Altaiden kiintoaineet tyhjennetään Lassila & Tikanojan toimesta imuautoilla ja viedään porasoijan vastaanotto paikalle. (Poistovesi- ja selkeytyssuunnitelma 2015, (liite 3).)

Edellä mainittujen tietojen perusteella voidaan todeta, että poistovedenkäsittely Mikkelänkallion urakka-alueella on hoidettu hyvin. Mikkelänkallion työmaallaan Lemminkäinen Infra oy on hoitanut ja käsitellyt työmaan poistovedet niin hyvin, ettei tähän mennessä tilaajan tai muun tahon toimesta ole esitetty minkäänlaista sanktiota tai huomautusta poistoveden laadusta. Sovittujen tehtävien ja velvollisuuksien hoitamista ei ole laiminlyöty, raja-arvoissa on pysytty ja HSY:n jätevesiviemäriin laskettu vesi on ollut tarpeeksi puhdas.

Mikkelänkallion urakka-alueella ongelmaksi koettiin liian suuret kustannukset puhtaan veden kulutuksesta. Puhdas vesi jota HSY:n vesihuolto toimittaa työmaalle maksaa 2,48 €/m³, mikä sisältää sekä vesimaksun 1,11 €/m³ että jätevesimaksun 1,37 €/m³. Veden ja jäteveden käyttömaksut perustuvat HSY:n vesihuollon vesimittarilla mittaamaan määrätietoon.

Mikkelänkallion työmaalla puhdasta vettä kului ensisijaisesti hyvin paljon porajumbojen jäähdytys- ja huuhtelutoimintoihin. Porakalustoa käytetään normaalisti räjäytysreikien porauksen lisäksi myös tunnelin lujitukseen tarvittavien reikien poraukseen, joten parametrejä kertyy erittäin paljon. Käytössä olevien porajumbojen vedenkulutus on normaalisti 90 – 100 l/min per poraava puomi porattaessa.

Lisäksi puhdasta vettä käytettiin injektointiin, ruiskubetonointiin, lujituksiin, kalustepe-suihin, työmaaympäristön ja katujen pesuun sekä työmaan sosiaalituloihin (suihkut, ves-sat ja lavuaarit). Esimerkiksi vedenkulutus viikolla 8/2016 Mikkelänkallion työmaalla on ollut 2 683 m³, mikä on maksanut Lemminkäiselle 6 653,84 euroa pelkästään yhden viikon kulutuksesta. Työmaan edetessä puhtaan veden kulutuksesta aiheutui suuret kus-tannukset, joten siihen oli löydettävä jonkinlainen ratkaisu.

5.3 Ratkaisuna suljettu vedenkiertojärjestelmä

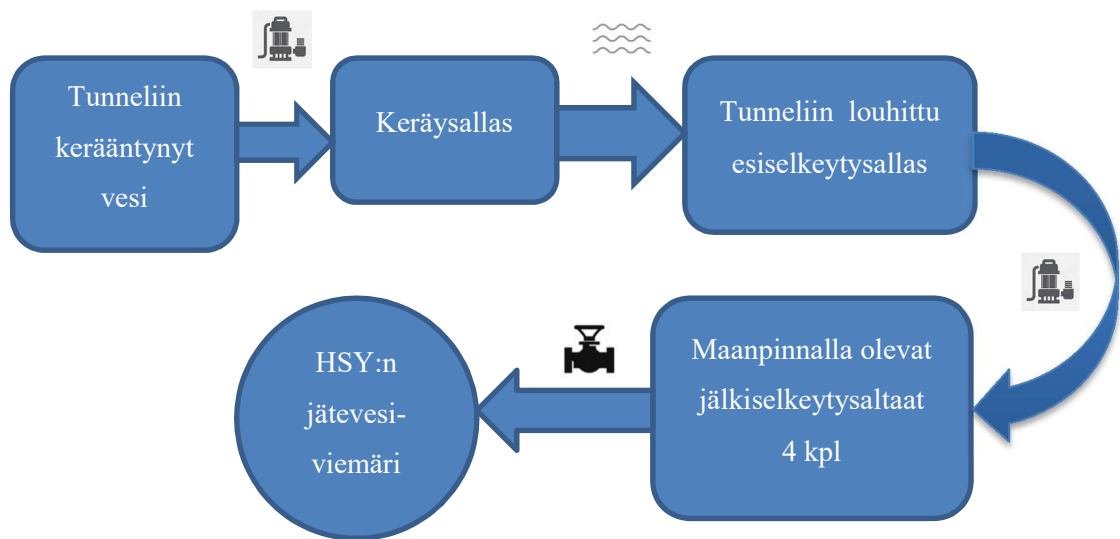
Ratkaistakseen puhtaan veden kulutuksesta aiheutuvat liialliset kustannukset Lemmin-käinen Infra Oy hankki Mikkelänkallion työmaalleen 100 m³:n kokoisen altaan (kuva 26). Työmaalla tehtyjen kokeiden ja tarkastusten perusteella todettiin, että vesi jota laskeettiin neljännen jälkiselkeytysaltaan kautta jätevesiviemäriin, onkin vain pienen lisäkäsittelyn jälkeen tarpeeksi puhdas kierrätettäväksi. Näin ollen sadan kuution allas otettiin heti käyttöön niin että neljännestä jälkiselkeytysaltaasta johdettiin vedet jätevesiviemäriin sijasta suoraan tähän altaaseen.

Pieni lisäkäsittely, josta on edellä mainittu tapahtuu nimenomaan tämän valtavan sadan kuution altaan sisällä. Nimittäin altaan päädyssä ennen veden lähtöaluetta altaaseen on asennettu väliseinä, mikä ylettyy altaan pohjasta altaan keskikorkeuteen. Kun vesi johdetaan altaaseen, täyttyy tämä ensimmäinen osa altaasta rauhallisesti ja tämän aikana pienenkin pienet kiintoaineshiukkaset vedessä jos niitä onkaan enää jäljellä laskeutuvat altaan pohjalle. Siinä tapahtuu samanlainen ilmiö, kuin jälkiselkeytysaltaissa mutta paljon isommassa mittakaavassa ja siinä varmistetaan viimeistenkin hienoimpien kiintoaineshiukkasten laskeutumista ennen kuin vesi kulkeutuu väliseinän huipun kautta lähtöalueelle.

Sadan kuution altaan loppupäästä kierrätysvesi pumpataan takaisin (kuva 27) kierrätysvedelle erikseen rakennetun linjaa pitkin tunnelin kierrätysvesipisteisiin (kuva 26). Vesi jota pumpataan takaisin tunnelin kierrätysvesipisteisiin käytettäväksi, on monin kerroin tarkastettu ja sitä tarkastetaan ja tarkkaillaan jatkuvasti. Viikolla 19/2016 kierrätysvettä otettiin testikäyttöön ja kun testeissä ja kokeissa ei ilmennyt vikoja eikä huomautuksia, kierrätysvesi otettiin käyttöön viikolla 21/2016.

Nyt HSY:n jätevesiviemäriin ohjautuu vettä vain silloin kun ison altaan kapasiteetti ylittyy. Lisäksi jatkossa tulee olemaan käytäntönä niin että aina viikonloppuisin tyhjenetään iso allas kokonaan jätevesiviemäriin ja kierrätyksen myötä se täytetään uudelleen. Näin varmistetaan, ettei kierrätysveden ainekohtaiset raja-arvot, kuten esimerkiksi pH:n arvot kohoaisivat yli sallittujen rajojen. Tyhjennyksen aikana, voidaan myös tarkistaa allasta sisältäpäin epäpuhtauksilta.

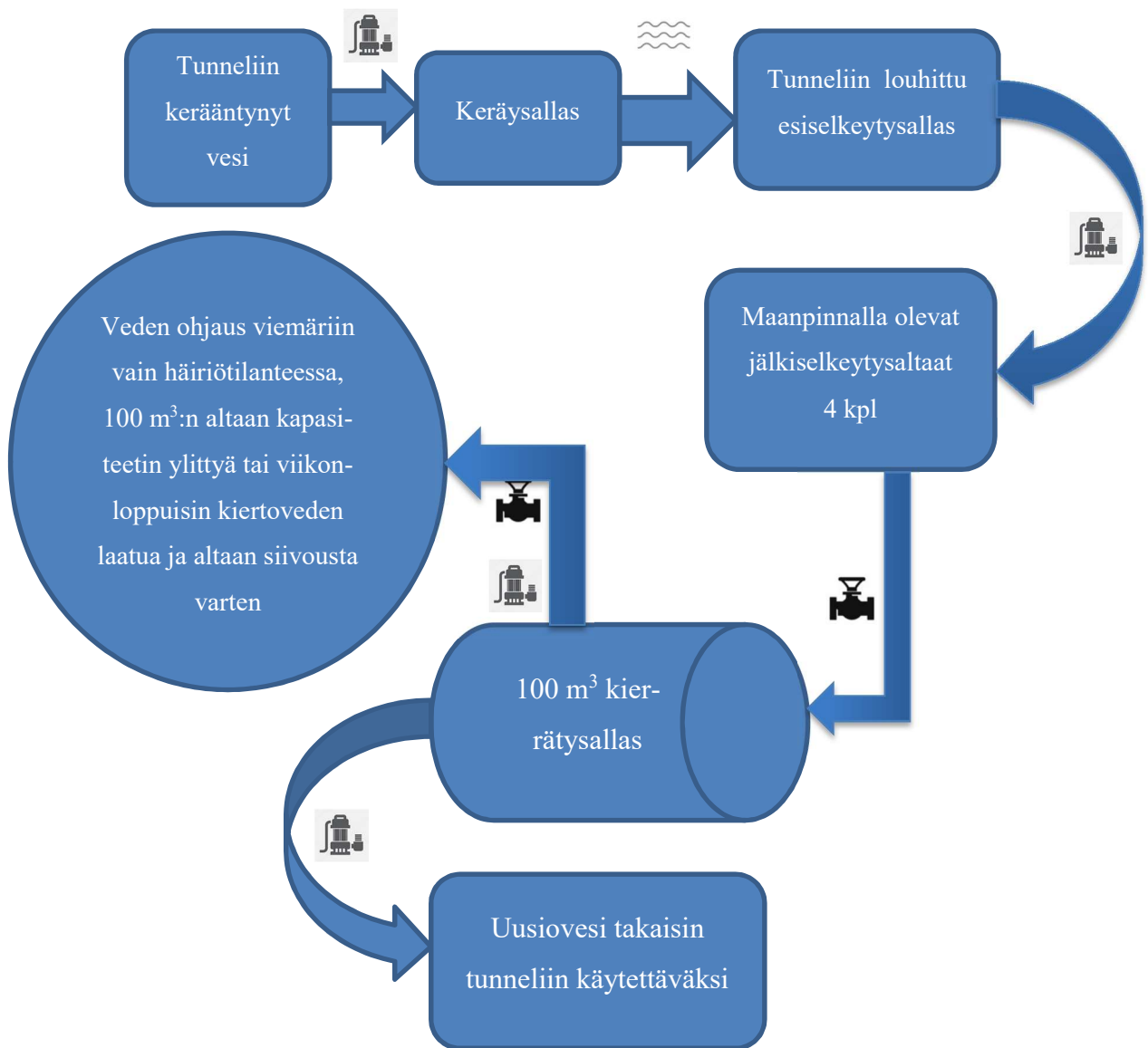
Alla on esitetty kaavioin Lemminkäisen Mikkilänkallion tunnelityömaan poistovedenkäsittely ennen kuva 24 ja suljetun vesien kiertojärjestelmän käyttöönoton jälkeen kuva 25. Suljetun vesien kiertojärjestelmän järjestelyt ja lisäykset kaavioissa näkyy hyvin yksinkertaiselta, mutta käytännössä alkuperäisen poistoveden käsittelyjärjestelmän muuttaminen suljettuun vesien kierrätysjärjestelmään on vaatinut paljon töitä, hankintoja, neuvotteluja ja tehtäviä tutkimuksia.



Kuva 24 Poistovesien käsittely Mikkilänkalliossa ennen

Alkuperäisen poistoveden käsittelyjärjestelmän muuttaminen toimivaksi suljetuksi vesien kierrätysjärjestelmäksi on vaatinut paljon töitä ja aikaa, mutta se on iso askel kohti parempaa ja ympäristöystävällisempää rakentamista.

Suljetun vesien käsittelyjärjestelmän päällimmäiset ja tärkeimmät edut ovat ympäristöystävällisyys, kustannustehokkuus ja yrityksen kilpailukykyä parantava seikka. Miinuspuolena ovat suuren tilan vaativuus ja jatkuva kierrätysveden laadun tarkkailu sekä altaiden kunnon ja toimivuuden varmistus.



Kuva 25 Vesien käsittely Mikkelänkalliossa suljetun vesien kierrätysjärjestelmän käyttöönoton jälkeen



Veden siirto paikasta toiseen pumpun avulla



Veden siirto jatkokäsittelyä varten tunnelin avo-ojia pitkin



Veden ohjaus paikasta toiseen putkilinjojen avulla.



Kuva 26 Sadan kuution allas, jonka loppupäästä vesi pumpataan takaisin tunnelin kierrätysvesipisteisiin.

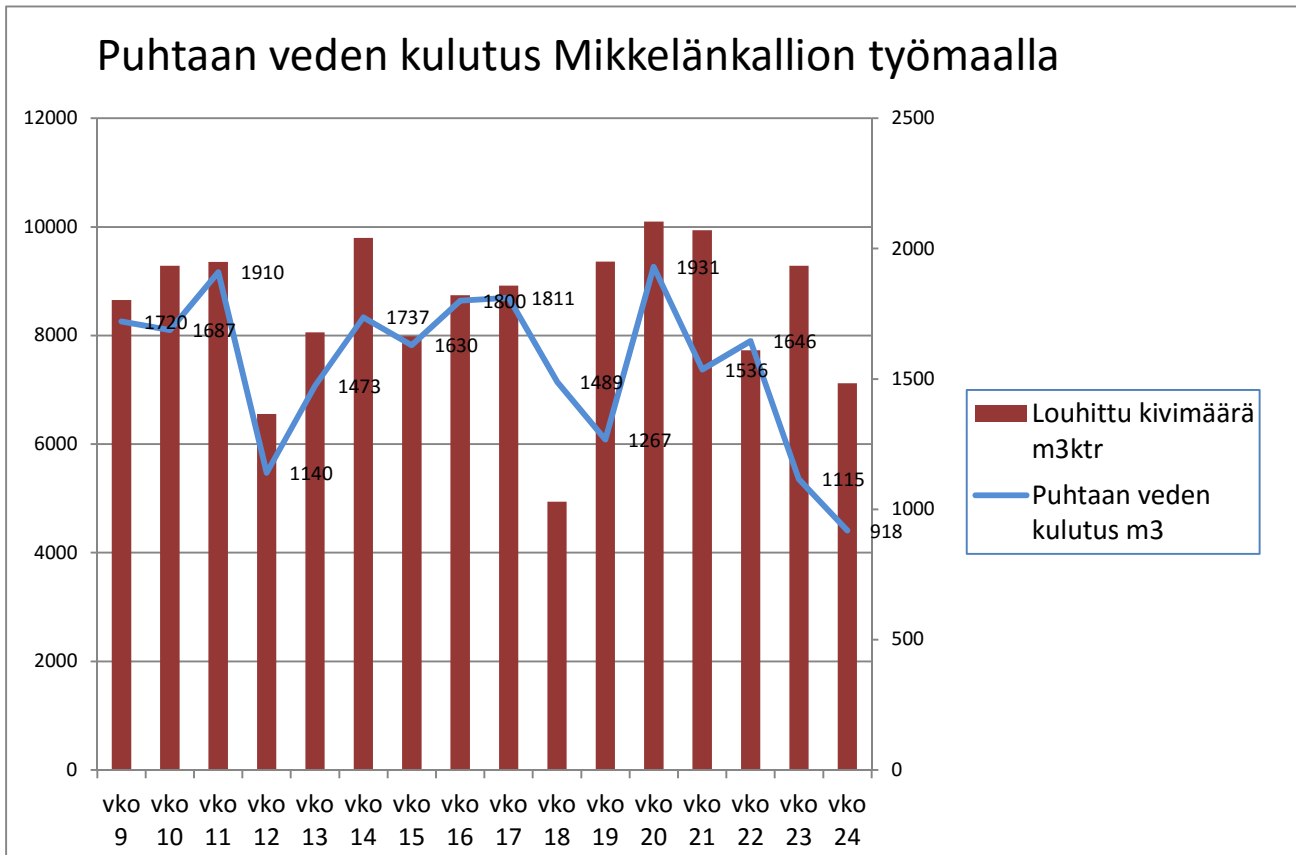
Yllä oleva kuva 26 on sadan kuution kierrätysaltaasta, jota on varustettu kulkusilloin ja tarkastusluukuin. Tarkastusluukun kautta tehdään mittaukset veden laadusta ja tehdään tarkastuksia altaan sisällöstä ja kunnosta.



Kuva 27 Pumppujärjestelmä, jonka avulla kierrätysvesi pumpataan takaisin tunneliin käytettäväksi.

Yllä oleva kuva 27 on kierrätysveden pumppauspisteestä, jonka avulla kierrätysvesi pumpataan takaisin tunneliin jumbojen vaadittavalla paineella. Tunneliin on asennettu mahdollisimman paljon kierrätysveden pisteitä (kuva 27), jotta kierrätysvettä voidaan käyttää täydellä teholla.

Kierrätysvettä käytetään vain ja ainoastaan porajumbojen jäähdytys- ja huuhtelutoimintoihin, jotka vaativat eniten vettä työmaalla sekä työmaaympäristön, katujen ja kivien pesuun. Suljetun kierrätysvesijärjestelmän käyttöönoton jälkeen työmaan puhtaan veden kulutus on tullut huomattavasti alas, joka tarkoittaa sitä että puhtaan veden kulutuksesta muodostuneet kustannukset ovat laskeneet samalla tavalla ja näin ongelma on ratkaistu.



Kuva 28 Puhtaan veden kulutus suhteessa louhittuun kivimäärään viikosta 9/2016 viikkoon 24/2016 (Itse laadittu diagrammi Lemminkäisen määrätietojen ja HSY:n vesihuollon vesimittarilla mittaamaan määrätietoon).

Yllä olevasta kuva 28 diagrammista voidaan nähdä, kuinka jyrkästi puhtaan veden kulutus on laskenut louhintamäärien ollessa samoilla lukemilla, kuin ennen. Lasku on alkanut juuri viikon 21 jälkeen, jolloin kierrätysvedelle asennettiin useampia pisteitä ja aloitettiin sitä käyttämään täydellä teholla työmaalla puhtaan veden sijasta.

Vertailukohteina voidaan ottaa esimerkiksi viikot 11 ja 23, jolloin molemmilla viikoilla on louhittu kalliota noin 9 300 m³ktr mutta puhtaan veden kulutus on ollut viikolla 11 1910 m³, joka on maksanut Lemminkäiselle 4 736 € ja kierrätysvesijärjestelmän käyttöönoton jälkeen viikolla 23 puhtaan veden kulutusta on ollut 1115 m³ ja tämä on maksanut Lemminkäiselle vain 2 765 €. Eli säästöjä on tehty yhdeltä viikolta 1971 €, mikä on jo melko hyvä saavutus.

Puhtaan veden kulutuksen lasku olisi voinut olla vielä jyrkempi, koska kierrätysvesijärjestelmän käyttöönoton aika sijoittui juuri aikaan, jolloin työmaalla oli käynnissä esi-injektointi-, pulttaus- ja ruiskubetonointitöitä normaalia paljon enemmän Mikkelänkalliossa. Esimerkiksi esi-injektointia tehtiin viikkojen 18 – 24 aikana noin 23 % hankkeen alusta viikkoon 24 asti tehdystä koko esi-injektointimäärästä. Samaten pulttauksesta, jota tehtiin 46 % hankkeen alusta viikkoon 24 asti tehdyistä pulttauksista ja samaten myös ruiskubetonoinnista, jota tehtiin 33 % viikkojen 18 – 24 aikana hankkeen alusta viikkoon 24 asti tehdyistä ruiskubetonoinneista. (Lemminkäinen Infra Oy 2016, (liite 4).)

Esi-injektointi, pulttaus ja ruiskubetonointi vaikuttavat puhtaan veden kulutuksen käyrään siksi, koska ne ovat ainoita tunnelitöiden toimenpiteitä, joihin on käytettävä pelkästään puhdasta vettä. Työmaan sosiaalitulojen vedenkäytön lisäksi nämä toimenpiteet vaativat puhdasta vettä ja niihin kuluukin melko runsaasti sitä ja siksi se vaikuttaakin puhtaan veden kulutuksen käyrään.

Pian on kulunut suljetun vesien kierrätysjärjestelmän käyttöönotosta 5 viikkoa Mikkelänkallion työmaalla ja puhtaan veden kulutus on laskenut entisestään. Jos veden kierrätys jatkuu tällä tavalla eteenpäin, puhtaan veden kulutus laskee vähintään 50 % ja tavoitteena olisi päästä 60 – 70 prosentin alenemaan.



Kuva 29 Merkattu kierrätysveden piste tunnelissa.

Yllä oleva kuva 29 on yhdestä tunnelin kierrätysvesilinjan pisteistä, jota on kirkkaalla värillä merkattu ja tiedotelapulla varustettu, jossa selvästi lukee, ettei kierrätysvettä saa käyttää pulttaus-, ruiskubetonointi- ja injektointitoimiin.

5.4 Toisena ongelmana imuautojen käynneistä aiheutuvat kustannukset

Mikkelänkallion työmaalla koettiin toisena melko suurena ongelmana imuautojen käynnejä työmaalla, joista muodostui aina jokaisella kerralla suuret kustannukset (kuva 30) Lemminkäiselle. Työmaan jälkiselkeytysaltaisiin kerääntyy aina vedenkäsittelyn ja vesien kierrätyksen myötä paljon kiintoainesmassaa altaiden pohjiin. Kerääntynyttä kiintoainesmassaa ei voi muutoin altaista poistaa kuin imemällä ne suoraan altaan pohjasta suurella paineella.

74768		YHTEENSÄ	EUR	jatkuu
	IBAN FI59 1571 3000 1164 50 FI94 5000 0120 2210 14 FI87 8000 1900 3964 26		BIC NDEAFIHH OKOYFIHH DABAFIHH	
	BIC NDEAFIHH OKOYFIHH DABAFIHH			
	Viihenro Ref.nr	91000 04069 70594 74768		
	Eräpäiva Förf.dag	18.07.2016	Euro	8 681,81

Kuva 30 Lasku imuauton yhdestä käyntikerrasta työmaalla (Lemminkäinen Infra oy 2016).

Kuva 30 esittää tyypillistä palvelulaskua, joka on kahdesta imuauton käyntikeikasta työmaalla. Lassila & Tikanojan toimesta työmaan jälkiselkeytysaltaisiin kerääntyneet kiintoainesmassat tyhjennetään imuautomenetelmällä aina sovituin aikaväleihin. Kiintoainesmassat kuljetetaan ongelmajätteen vastaanotto paikalle.

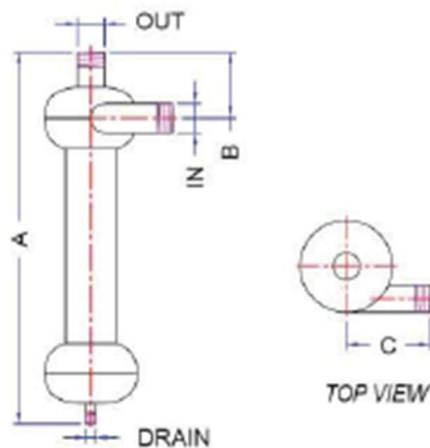
Lassila & Tikanojan imuautomenetelmä palvelun voimin huolehditaan työmaan jälkiselkeytysaltaiden kiintoainesmassojen hävittämisestä sekä altaiden puhtaudesta. Työmaalla työnjohtajat tarkistavat joka päivä jälkiselkeytysaltaiden veden laatua sekä altai-

den pohjaan kerääntyneen kiintoainesmassan määrän. Työnjohtajien arvioidessa altaiden pohjaan kerääntyneen kiintoainesmassan liian suureksi, lähetetään asiasta ilmoitus Lassila & Tikanojalle, jolloin heiltä saapuu imuauto työmaalle, suorittavat altaiden tyhjennyksen ja jälkipuhdistuksen.

Imuauton saavuttua työmaalle, tyhjennetään altaan vedet viemäriin, altaan pohjasta imeetään kiintoainesmassa imuauton säiliöön, puhdistetaan allas työn jäljiltä ja kuljetetaan kiintoainesmassa ongelmajätteen vastaanotto paikalle. Lassila & Tikanojan imuautomenetelmän palvelumaksu koostuu kiintoainesmassan painosta (99,20 €/t), ammattimiehen tuntiveloituksesta (66,7 €/h), imuauton tuntiveloituksesta (95,25 €/h) sekä vastaanotto paikan perusmaksusta (31 €/kerta).

5.5 Ratkaisu imuautojen käyntimääriin

Imuautojen käynneistä aiheutuneet kustannukset on askarruttanut Mikkilänkallion työmaalla jo pitkään työmaajohtoa. Näin ollen asiaa tutkittiin ja eri vaihtoehtoja ja menetelmiä käytiin läpi. Lemminkäisen huoltopäällikön, Jari Redsvenin toimesta työmaalle on hankittu niin sanottu separaattori (kuva 31), jonka pitäisi ainakin osittain ratkaista kyseistä ongelmaa.



Kuva 31 TMF – 80 – LP suodatin (HyXo oy 2016).

Toimintaperiaatteeltaan separaattori (kuva 31) toimii niin että puhdistettava vesi siirretään tangentiaalisesti separaattoriyksikköön aukosta B, jolloin separaattori luo vedelle keskipakoisen virtauksen. Separattorin erikoinen vastaanottorakenne kiihdyttää keskipakoista virtausta ja keskipakoisvoiman avulla pakottaa kiintoainepartikkelit ylemmän kammion reunoille. Kammion reunoille kerääntyneet kiintoainepartikkelit siirtyvät vähitellen separattorin runkoa pitkin alempaan kammioon, josta ne määrätyn aikavälein syötetään ulos. Puhdistettu vesi siirtyy yläkammion toisesta aukosta ulos automaattisesti. (HyXo oy 2016).

Valintaperusteisiin vaikuttivat tämän laitteen sopivuus työmaolosuhteisiin sekä laitteen hyvät edut. Laitteen etuina ovat minimaalinen hukkavesi per puhdistuskierros, jatkuva puhtaan veden virtaus puhdistuksen aikana, alhainen painehäviö, helppo asentaa ja on lähes huoltovapaa. (HyXo oy 2016).

Separattorilaitetta on testattu työmaalla ja tulokset ovat vaikuttaneet positiivisilta ja laitetta tullaan asentamaan mahdollisimman pian paikalleen. Laitteen valmistaja on luvannut, että laite tulee suodattamaan 60 – 70 % laitteelle syötetyn veden kiintoainemäärästä. Jos kiintoainemäärä vähentyisi noin paljon tai edes 50 % ennen kierrätysveden tuloa jälkiselkeytysaltaisiin, imuautojen käyntitarve työmaalla vähentyisi huomattavasti.

Separattori tullaan asentamaan tunnelin esiselkeytysaltaan yhteyteen niin että altaan vedet pumpataan separattorin kautta ylös maan pinnalla oleviin jälkiselkeytysaltaisiin. Näin ollen jälkiselkeytysaltaisiin päätyy entistä paljon vähemmän kiintoainepitoista vettä, joka parantaa sekä kierrätysveden laatua entistä enemmän sekä vähentää imuautojen käyntitarvetta. Mitä vähemmän kiintoainesta päätyy jälkiselkeytysaltaisiin sitä enemmän vähentyvät imuautojen käyntikerrat työmaalla ja näin pienentyvät myös imuautojen käyntikerroista aiheutuneet suuret kustannukset.

6 Kehitysehdotuksia tunnelityömaan vesien käsittelyyn

6.1 Mitä voidaan tehdä

Tarkastelemalla ja kokeilemalla eri järjestelyvaihtoehtoja, voidaan aikaansaada suuria parannuksia tunnelityömaan vesien käsittelyyn. Muokkaamalla ja parantamalla vesien käsittelyn kannalta pienetkin oleelliset seikat, kuten pumppujen imukorkeuden säätö tunnelin perissä, ojien laajempi käyttö, välttämällä liian suurta tulovirtauksen aiheuttamaa turbulenssia (kuva 33) tai modifioimalla esimerkiksi altaiden tulo- ja lähtöjärjestelyjä (kuva 32), saadaan varmasti suurta kehitystä niin kierrätysveden laadussa kuin järjestelmän sujuvuudessa. Huomioimalla ja parantamalla nämä pienet seikat, vähennettäisiin kiintoainesmäärän kulkeutumista kiertovesijärjestelmään, jolloin pienennetään sekä järjestelmän kuormittumista sekä säästetään kustannuksissa.

6.2 Pumppujen imukorkeuden säätö

Kriittisin vaihe tunnelityömaan vesien käsittelyprosessissa on juuri silloin, kun käsiteltävää vettä pumpataan järjestelmään tunnelin peristä tai injektointi- ja ruiskubetonointitöiden jäljiltä kertyneistä vesistä. Tunnelin periin kertyneisiin vesiin sekoittuu kaikki räjäytysreikien porauksesta syntyvät porasoijat ja hienot kiintoaineshiukkaset. Injektointi- ja ruiskubetonointitöistä sekoittuu vesiin sementtiä, joka on sekä hyvin hienoa ainesta että äärimmäisen emäksistä.

Rajoittamalla näiden aineiden ja hiukkasten liiallista pääsyä vesien käsittelyjärjestelmään heti alkuun, voidaan päästä ihanteellisiin tuloksiin niin kiertoveden laadussa kuin kustannuksissa. Mitä vähemmän järjestelmään kulkeutuu poistettavaa kiintoainesta, sitä vähemmän sitä kulkeutuu keräys-, esiselkeytys- ja jälkiselkeytysaltaisiin.

Säätämällä pumppujen imukorkeutta ja asettamalla pumppu oikeaan paikkaan tunnelin perissä sekä injektointi- ja ruiskubetonointitöiden pisteissä, voidaan tehdä karkea esiselkeytys jo ennen kuin käsiteltävä vesi päätyy järjestelmään. Tähän päästään tiedottamalla ja perehdyttämällä jatkuvasti jokaista työntekijää, joka voi olla tekemisissä pumppujen kanssa tunnelin louhintatöiden aikana.

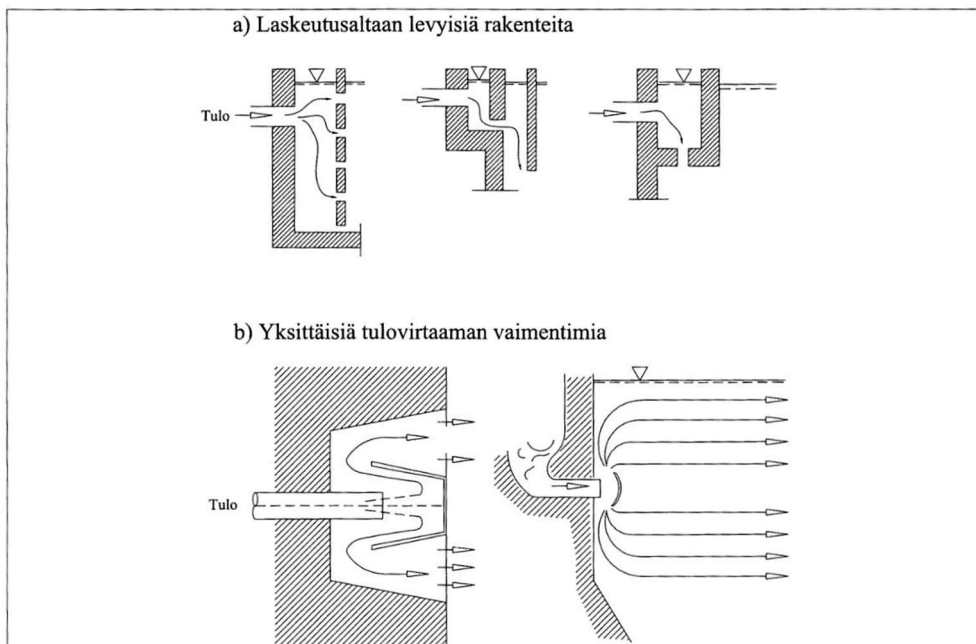
6.3 Ojien enempi käyttö

Käsiteltävän veden ohjaaminen tunnelin avo-ojia pitkin jatkokäsittelyihin on osoittautunut hyvin tehokkaaksi osa selkeytysprosessin menetelmää. Avo-ojien vähäisen vieton ja veden hiljaisen virtauksen vuoksi veden mukana kulkevat kiintoaineshiukkaset tarttuvat avo-ojien pohjaan ja seinämiin, jolloin vesi selkeytyy jo matkallaan jatkokäsittelyihin.

Tehostamalla tunnelin avo-ojien käyttöä niin että kaikki tunnelin vedet siirrettäisiin yksinkertaisesti aina avo-ojien kautta jatkokäsittelyihin eikä esimerkiksi suoraan tunnelin perästä esiselkeytysaltaaseen, parannettaisiin varmasti kierrätysveden laatu entisestään ja säästettäisiin kustannuksissa. Lisäksi avo-ojien kuntoa on tarkkailtava jatkuvasti niin että sen ajoittainen siivoaminen ja ylläpito on säännöllisesti jatkuvaa.

6.4 Altaiden tulo- ja lähtöjärjestelyt

Tulojärjestelyjen epäonnistuminen laskeutusaltaassa voi aikaansaada pysyviä häiriöitä, jotka heikentävät altaan laskeutustehoa (kuva 32) ja näin myös kierrätysveden laatua. Laskeutukselle edullisten hydraulisten olosuhteiden aikaansaamiseen liittyvät myös veden johtamiseen liittyvät tulo- ja lähtöjärjestelyt. Yksityiskohdissaan esimerkiksi altaiden tulojärjestelyjen eri sovellutukset voivat erota toisistaan hyvinkin paljon. Alla olevassa kuvassa 32 on esitetty muutama esimerkki altaan tulojärjestelyistä. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 93.)



Kuva 32 Laskeutusaltaan tulovedenjärjestelyjä (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 93).

Alla oleva kuva 33 on laskeutusaltaan tulovesijärjestelystä, joka on juuri sillä tavalla luotu, miten sen ei kuuluisi olla. Tulovesijärjestelyissä on olennaista, että tuleva vesi jaetaan mahdollisemman tasaisesti altaan koko poikkileikkaukselle. Alla olevan laskeutusaltaan tuloveden järjestely on huono siksi, koska ensinnäkin tuloveden virtaus on suunnattu juuri altaan syvyyksiin niin että kovan virtauksen aiheuttama turbulenssi ei varmastikaan mahdollista laskeutusprosessin tapahtua. Ja jos jonkinlaista laskeutusta tapahtuu ennen veden tulovirtauksen alkua, noin kovan virtauksen aiheuttama turbulenssi sekoittaa kaiken uudelleen. Lisäksi noin kovan virtauksen vuoksi vedessä oleva kiintoaines ei ehdi laskeutua viipymän aikana ja näin ollen kulkeutuu seuraavaan laskeutusaltaaseen.



Kuva 33 Tulovedenjärjestely maanpinnalla olevaan ensimmäiseen laskeutusaltaaseen.

Yllä olevan kuvan mukaiseen tuloveden järjestelyyn voidaan käyttää esimerkiksi suorita tai kaarevia estelevyjä, vaimennussäleikköjä tai virtauksen suuntaamista altaan päätyseinää vasten. Vaativissa tapauksissa tulojärjestelyjen suunnittelussa on hyvä käyttää apuna pienoismallikokeita.

7 POHDINTA

Insinööriyön päätavoitteena oli tutkia ja selvittää, onko suljettua vesien kierrätysjärjestelmää mahdollista toteuttaa Lemminkäisen Blominmäen jätevedenpuhdistamon louhintatyömaalla. Insinööriyön toisena päätavoitteena oli tutkia vaihtoehtoja imuautojen käytölle työmaan laskeutusaltaiden kiintoaineiden hävittämisessä. Työn tarkoituksena oli saada vedenhankinnasta, -käsittelystä ja -poisjohtamisesta aiheutuvat kustannukset pienemmiksi.

Insinööriyötä tehdessä ja olemalla läsnä työmaalla sekä tekemällä yhteistyötä Lemminkäinen Infra Oy:n huoltopäällikkö, Jari Redsvenin kanssa selvisi, että vesi jota laskettiin neljännen jälkiselkeytysaltaan kautta jätevesiviemäriin onkin vain pienen lisäkäsittelyn jälkeen tarpeeksi puhdas kierrätettäväksi. Avoimen vesien käsittelyjärjestelmän muuttaminen suljetuksi vesien kierrätysjärjestelmäksi onnistui Lemminkäisen Blominmäen louhintatyömaalla ongelmitta ja asetetut tavoitteet saavutettiin. Ennen uusioveden käyttöönottoa louhintatyövaiheissa, veden laatu tarkistettiin ja sen käyttökelpoisuus todettiin työmaalla tehdyillä kokeilla.

Vaihtoehtoja imuautojen käytölle työmaan laskeutusaltaiden kiintoaineiden hävittämisessä ei valitettavasti löydetty mutta parantamalla vesien käsittelyjärjestelmää ja kierrätysveden käyttöönoton myötä imuautojen käytön tarvetta työmaalla saatiin alhaisemmaksi. Parantamalla ja tehostamalla vesien käsittelyjärjestelmää, työmaan laskeutusaltaihin päätyy entistä paljon vähemmän kiintoainesta. Mitä vähemmän työmaan laskeutusaltaiden pohjiin kerääntyy poistettavaa kiintoainesta sitä vähemmän on tarvetta kaltille imuauton käytölle.

Insinööriyön päätarkoituksen mukaisesti, Lemminkäinen Infra Oy:n Blominmäen tunnelityömaan vedenhankinnasta, -käsittelystä ja -poisjohtamisesta aiheutuvat kustannukset saatiin pienemmiksi. Vesien kierrätysjärjestelmän myötä ja parantamalla vesien käsittelyä työmaalla, puhtaan veden hankintakustannukset alenivat ja imuautojen käyntimäärät työmaalla laskivat. Tämä kaikki on Lemminkäinen Infra Oy:n huoltopäällikkö, Jari Redsvenin ammattimaisen osaamisen ja hyvän työotteen ansiosta. Insinööriyö tehtiin osittain häntä seuraamalla ja häneltä saatujen neuvojen myötä.

Insinöörietyön tulokset ovat luotettavista lähteistä sovellettua tietoa. Sovellukset olisivat hyvä varmistaa asianmukaisin kokein työmaalla. Vesien kierrätysjärjestelmän rakentaminen ja operointi työmaolosuhteissa vaatii monipuolista osaamista aina suunnittelusta järjestelmän käyttöönottoon ja kunnossapitoon asti. Jakamalla tietoja, ohjeistamalla ja tekemällä yhteistyötä työntekijöiden kanssa sekä lisäämällä vuorovaikutukseen aliurakoitsijat ja laitetoimittajat kehitetään monipuolista tietämystä työmaalla.

LÄHTEET

Paalumäki, T., Lappalainen, P. & Hakapää, A. 2015. Kaivos- ja louhintatekniikka. 3. Helsinki: Kaivosteollisuus ry.

Paakki, O. 2014. Tunnelityömaan poistovesien käsittely. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Lemminkäinen. 2015. Lemminkäinen Infra Oy. Helsinki. Luettu. 08.03.2016.
<http://www.lemminkainen.fi/Infrarakentaminen/>

Uusi jätevedenpuhdistamo Bluminmäkeen. 2016. HSY. Helsinki. Luettu. 11.03.2016.
<https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/vesihuolto/jatevedenpuhdistus/blominmaki/Sivut/default.aspx>

HSY. 2016. Uusi jätevedenpuhdistamo Blominmäkeen –esite 10 (PDF). Helsinki. Luettu. 11.03.2016.
<https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/vesihuolto/jatevedenpuhdistus/blominmaki/Sivut/default.aspx>

HSY. 2016. Näin rakentaminen etenee. Helsinki. Luettu. 11.03.2016.
<https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/vesihuolto/jatevedenpuhdistus/blominmaki/rakentaminen-etenee/Sivut/default.aspx>

RIL154-1. 1987. Tunneli- ja kalliorakennus I. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

Kotkansalo, P. 2004. Maanalaisen kalliorakentamisen kaavoitus- ja lupamenettely. 2. Helsinki: Maanalaisten tilojen rakentamisyhdistys, MTR ry.

Pasma, T. 2013. Tietopaketti kaivoslaista ja kaivoshankkeiden viranomaisvaiheista. Lappi: Suomen luonnonsuojeluliitto ry. Luettu. 25.03.2016.
<http://www.sll.fi/mita-sina-voit-tehda/vaikuta-lahiymparistoosi/tietopaketti-kaivoslaista-ja-viranomaisvaiheista>

Helsingin kaupunki. 2010. Helsingin kaupungin työmaavesiohje. Helsinki: Helsingin kaupunki & HSY. Luettu. 26.03.2015.
<http://www.hel.fi/hel2/ymk/julkaisut/oppaat/Tyomaavesiohje.pdf>

HSY. 2015. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymän HSY:n työmaavesiohje. Helsinki: HSY Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä. Luettu. 27.03.2016.

<https://www.hsy.fi/fi/yhteisollejayritykselle/vesihuolto/Documents/tyomaavesiohje.pdf>

Suomen ympäristökeskus. 2015. Ympäristölupa. Helsinki. Suomen ympäristökeskus SYKE. Luettu. 04.04.2016.

<http://www.ymparisto.fi/fi->

[FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa](http://www.ymparisto.fi/fi-)

Suomen ympäristökeskus. 2016. Kivenlouhimon, kivenlouhinnan ja kivenmurskaamon ympäristölupahakemuksen täyttöohje. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.

Ympäristöministeriö. 2016. Maankäyttö ja rakentaminen. Helsinki: Ympäristöministeriö. Luettu. 06.04.2016.

<http://www.ym.fi/rakentamismaaraykset>

Karttunen, E. Tuhkanen, T. & Kiuru, H. 2004. RIL 124-2 Vesihuolto. 2. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Puru, T. 2015. Sellutehtaan jätevedenkäsittelyn toimintavarmuuden parantaminen. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Karelia-ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Heikkinen, T. 2010. Järkäleen hydrauliiikan painehäviön pienentäminen. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Savonia ammattiakorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Metropolia. 2009. Koneautomaatio. Hydrauliiikka. Luettu. 08.06.2016.

<https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/4.+Putkivirtaus>

Wikipedia. 2015. Turbulenssi. Luettu. 08.06.2016.

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Turbulenssi>

Onkamo, M. 2010. pH:n mittaukset prosessiteollisuudessa. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Ymparisto.fi. 2016. Kaivoveden alkalointi ja pH:n säätö. Luettu. 14.06.2016.

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

AGAn uutiset. 2014. Ympäristöystävällistä vesien neutralointia Skanskan työmaalla.
Luettu. 14.06.2016. http://www.aga.fi/fi/news_ren/news1/20140402a.html

HyXo oy. 2016. Suodatus. Myyntiedustajan kanssa oltu yhteistyössä tuotteen hankinnassa ja toimittamisessa työmaalle. HyXon myyntiedustajana toimi Tackan Jim.

jim.tackman@hyxo.fi.

<http://www.hyxo.fi/products/fin/suodatus-9>

LIITTEET

Liite 1. Tilaajan määräämät metallien ja muut ainekohtaiset raja-arvot jätevesien laadulle Lemminkäisen Espoon Blominmäen hankkeessa.



27.9.2012

VIIKINMÄEN JA SUOMENOJAN JÄTEVEDENPUHDISTAMOILLE JOHDETTAVIEN JÄTEVESIEN RAJA-ARVOT

METALLIEN RAJA-ARVOT

Metalli		Enimmäis- pitoisuus mg/l
Arseni	(As)	0,1
Elohopea	(Hg)	0,01
Hopea	(Ag)	0,2
Kadmium	(Cd)	0,01
Kokonaiskromi	(Cr)	1,0
Kromi VI	(Cr ⁶⁺)	0,1
Kupari	(Cu)	2,0
Lyijy	(Pb)	0,5
Nikkeli	(Ni)	0,5
Sinkki	(Zn)	3,0
Tina	(Sn)	2,0

MUUT AINEKOHTAISET RAJA-ARVOT

pH-luku	6,0 - 11,0
Lämpötila	40 °C
Sulfaatti,	400 mg/l
Kokonaissyaniidi CN	0,5 mg/l

TAPAUSSKOHTAISET RAJA-ARVOT

Tapauskohtaisia raja- ja kuormitusarvoja voidaan asettaa mikäli se osoittautuu tarpeelliseksi viemäriverkon tai puhdistamoiden toiminnan kannalta esim.

pH-luku
Kiintoaine
Metallit
Rasva (elintarviketeollisuus)
BHK₇ (biologinen hapenkulutus)
Typenpoistoa häiritsevät aineet



VIEMÄRÖINTILUPA

5.10.2015

1804/10.107.1072.10720/2015

Lemminkäinen Infra Oy

PL 169

00181 Helsinki

BLOMINMÄEN MAANALAISEN JÄTEVEDENPUHDISTAMON KALLIORAKENTAMINEN, MIKKELÄN URAKKA-ALUE

Lemminkäinen Infra Oy on pyytänyt lupaa johtaa Blominmäen jätevedenpuhdistamon louhintatyömaalta (Mikkelänkallio 13, 02770 Espoo) syntyvät vedet HSY:n jäteviemäriin. Jätevedet muodostuvat louhinnassa tarvittavista porausvesistä sekä maaperän vuotovesistä. Jätevedet johdetaan jätevesiviemäriin tunnelivesien poisto- ja selkeytys suunnitelman mukaisesti kiintoaineen- ja öljynerotuksen jälkeen. Jätevesimäärä mitataan vesimittarilla.

Urakka on käynnistynyt syyskuussa 2015 ja se päättyy tammikuussa 2018. Viemärii-
tös-
paikka, suurin sallittu maksimivirtaama (5 l/s) ja vedentoimituksen ehdot on vahvistettu erillisel-
sellä HSY:n liittymissopimuksella.

Louhintatyömaan vedet voidaan johtaa HSY:n jätevesiviemäriin seuraavin ehdoin:

Jätevesiviemäriin johdettavan veden kiintoainepitoisuus saa olla enintään 300 mg/l. Muilta osin viemäriin johtamisessa tulee noudattaa HSY:n vesihuollon yleisiä toimitusehtoja (liite 1) sekä Viikinmäen ja Suomenojan puhdistamoille johdettavien jätevesien raja-arvoja, jotka ilmenevät liitteestä 2. Kiintoaineen ja öljynerottimia on tarkkailtava säännöllisesti. Tarkkailusta ja selkeytysaltaiden tyhjentämisestä on pidettävä kirjaa, jonka tulee olla on tarvittaessa HSY:n nähtävillä.

Työmaan tulee ilmoittaa vesimittarilukemat kerran kuukaudessa HSY:n valvontapalveluille osoitteeseen eija.lehtinen@hsy.fi sekä laskutusta varten osoitteeseen laskutus@hsy.fi. Ilmoitukseen tulee liittää myös käyttöpaikan numero. Jäteveden käyttömaksu peritään vesilaskutuksen yhteydessä myydyin vesimäärän mukaan. Louhinnassa muodostuvien vuoto-
yms. vesien johdosta viemäriin pumpattava jätevesimäärä on usein suurempi kuin myyty ve-
simäärä. Tästä syystä myös työmailta viemäriin pumpattavat jätevesimäärät tulee mitata. Jä-
tevesimittari tulee lukea kuukausittain samana päivänä kuin vesimittari. Jätevesimittari luke-
mat ilmoitetaan HSY:n valvontapalveluille osoitteeseen eija.lehtinen@hsy.fi. Viemäriin pum-
pattavien jätevesien vastaanotosta tehdään tarvittaessa tasauslasku jätevesimäärän mitta-
uksen perusteella. Tasauslasku tehdään vuodenvaihteessa ja urakan päätyttyä.

Mikäli louhintatyömaan jätevesien laatu poikkeaa normaalista asumajätevedestä, voidaan jä-
teveden käyttömaksu periä korotettuna. Jäteveden korotetun käyttömaksun suuruuteen vai-
kuttavat työmaiden jätevesien BHK₇-(orgaaninen aine), kiintoaine-, typpi- ja fosforipitoisuu-
det (liite 3). Aikaisemmista vastaavista urakoista saatujen kokemusten perusteella tässä
urakassa ei sovelleta korotettua jätevesitaksaa vaan tarvittaessa urakkaohjelmaan kirjattu
laatupoikkeamien sanktiomaksuja:

Mikäli urakoitsija laiminlyö sovittujen tehtäviensä ja velvollisuuksien hoitamisen, tullaan ura-
koitsijalta perimään rahallinen rangaistus eli sakko seuraavan taulukon mukaisesti:



VIEMÄRÖINTILUPA

5.10.2015

1804/10.107.1072.10720/2015

Kirjallisen muistutuksen tai sakon perusteena olevat tehtävien laiminlyöntikategoriat (1,2,3,4)	urakkakohtaiset samasta laiminlyöntikategoriasta annetut huomautuskerrat ja niiden sakot		
	1. kerta	2. kerta	Seuraavat kerrat
1. Laatusuunnitelman vastainen toiminta ja ympäristöasioihin liittyvät laiminlyönnit	kirjallinen muistutus	1 000 €	2 000 €
2. Tilaajan tekemän pistokokeen perusteella havaittu huomattava laadunlatus, jota ei ole osoitettu urakoitsijan laatuportkeamaraportissa	1 500 €	2 500 €	5 000 €
3. Urakoitsijan laatusuunnitelman mukaisessa asiakirjassa (esim. laaturaportissa tai päiväkirjoissa) todennettavasti on kirjattu tosiasioita vastaamattomia tietoja (vakava laiminlyönti)	3 000 €	5 000 € ja urakoitsijan edustajan vaihto	10 000 € ja urakoitsijan edustajan vaihto

Viemäriin johdettavien vesien laatua tarkkaillaan ottamalla kerran viikossa näyte. Näytteen ottaa ulkopuolinen taho, jolla on riittävä asiantuntemus näytteenotosta. Näytteistä tutkitaan kiintoainepitoisuus ja pH. Näytteet tutkinut laboratorio lähettää tulokset heti niiden valmistuttua HSY:n valvontapalveluille osoitteisiin eija.lehtinen@hsy.fi ja heli.lindberg@hsy.fi.

HSY:llä on oikeus muuttaa tämän viemärointiluvan ehtoja, mikäli se osoittautuu tarpeelliseksi viemärlaitoksen tai vesiensuojelun turvaamiseksi.

Lisätietoja antavat valvontapalveluissa:

valvontapäällikkö Eija Lehtinen (eija.lehtinen@hsy.fi), puh. 09 1561 3751
valvontainsinööri Heli Lindberg (heli.lindberg@hsy.fi), puh. 09 1561 3447

Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY

Jätevedenpuhdistusosasto

Tommi Fred
osastonjohtaja

Tiedoksi: pentti.nieminen@lemminkainen.com
kirjaamo@hsy.fi
vesiliitos.espoo@hsy.fi
vesisopimus.espoo@hsy.fi
laskutus@hsy.fi
jari.kallio@hsy.fi
kari.kairajarvi@hsy.fi
tiina.hietanen@hsy.fi
jukka.yli-kuivila@hsy.fi



Projektin nimi: Blominmäen maanalaisen jätevedenpuhdistuslaitoksen kalliorakentaminen, Mikkilän urakka-alue
29.09.2015

Projektin numero: XA-360105238

TUNNELIVESIEN POISTO- JA SELKEYTYSSUUNNITELMA

Menetelmäkuvaus

Vesien selkeytys toteutetaan liitteenä olevan laskentataulukon (liite 2) mukaisesti. Karkea esiselkeytys toteutetaan perässä porauksen yhteydessä pumpun imukorkeutta säätämällä. Tämän jälkeen esiselkeytys tapahtuu tunnelissa louhitussa pumppukuopassa ja pumppualtaissa. Pumppukuopasta vesi pumpataan tunnelin suuaukolle sijoitettuihin peräkkäisiin saostusaltaisiin, joiden saostuskorkeus on liitteen 3 tyyppiirroksen mukaisesti 2,1 m. Altaiden sijainti ja numerointi on esitetty liitteessä 1 olevassa periaatepiirroksessa.

Altaat 3 ja 5 ovat tuplalaipiollisia, joiden välilaipiot ovat sekä alhaalta että ylhäältä auki. Näiden altaiden ensimmäinen laipio on alhaalta auki ja toinen on ylhäältä auki. Altaiden 2 ja 4 välilaipiot ovat alhaalta auki ja näissä altaissa tehdään öljynerotus imeytyskankaalla. Kankaat kerätään jäteöljyastioihin jotka toimitetaan Lassila & Tikanojan toimesta ongelmajätelaitokselle. Toiseen altaaseen sijoitetaan tarvittaessa pH:n säätelyjärjestelmä (rikkihappoannostelu tai vastaava). Jokaiseen altaaseen järjestetään kulkusilloin ja tarkastusluukuin pääsy kiintoaineksen mittausta ja imuautolla tyhjennystä varten. Ulkotiloihin sijoitettavien altaiden ympärille rakennetaan eristys jäätymisen estämiseksi.

Työnjohtajat tarkkailevat kiintoaineen määrää päivittäin. Altaista imuautolla tyhjennettävä kiintoainekes ajetaan porasoijan vastaanotto paikalle.

Vesinäytteet otetaan kerran viikossa ja dokumentoidaan pöytäkirjaan

- Sallittu kiintoainepitoisuus max 300 mg/l
- Sallittu PH arvo min 6, max 11

