

Otto Paakki

Tunnelityömaan poistovesien käsittely

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

10.11.2014

Tekijä Otsikko	Otto Julius Paakki Tunnelityömaan poistovesien käsittely
Sivumäärä Aika	38 sivua + 2 liitettä 10.11.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Infrarakentaminen
Ohjaaja(t)	projektipäällikkö Ville Järvinen lehtori Mika Räsänen
<p>Insinööriä tehtiin SRV Rakennus Oy:n toimeksiannosta selvittämään tunnelissa käytettävien puhdistusmenetelmien luonnetta ja niiden tehokkuutta työmaaympäristössä. Poistovedet käsitellään vesilaitoksen määrittelemiin raja-arvoihin, ennen kuin vedet lasketaan hulevesiverkostoon. Vesilaitoksella on oikeus olla ottamatta vastaan vettä, mikäli haitta-ainepitoisuuden kasvavat ja ylittävät toistuvasti raja-arvoja. Poistovesiä syntyy työmaalla monista työvaiheista eli niiden käsittely on erittäin merkittävä työvaihe, joka kestää koko työmaan ajan. Toimiva poistovesien käsittelyjärjestelmä mahdollistaa hankkeen onnistumisen.</p> <p>Insinööriä keskityttiin yksinkertaisiin ja melko edullisiin ratkaisuihin vesien käsittelyssä. Tunnelityömaalla on jatkuvasti muuttuva luonne, jonka takia ratkaisut on hyvä olla nopeasti mobilisoitavia ja muunneltavia. Työvaiheissa käytettyyn veteen sekoittuu suuri määrä kiviperäistä kiintoainesta, jonka koko vaihtelee silminnähtävästä hiukkaskokoon. Tämä aines tulee erotella vedestä, jotta viemärien kapasiteetti ei supistu.</p> <p>Insinööriä tehtiin selvittämällä kirjallisuudesta yleisesti käytettyjä operaatioita veden käsittelyssä ja vierailemalla työmailla. Työn tuloksena selvisi, että laskeutusaltaita modifioimalla ja kokoaikaisella pumppauksella pystytään rajoittamaan veden virtaamaa. Luomalla mahdollisimman stabiili tilanne voidaan käsittelyssä päästä huomattavasti lähemmäksi teoreettisia arvoja, joilla järjestelmä on mitoitettu. Työn tuloksena syntyy yleisohje vesien käsittelyyn tunnelityömaalla.</p>	
Avainsanat	Vesienkäsittely, laskeutus,

Author(s) Title	Otto Julius Paakki Waste water treatment in tunnel work site
Number of Pages Date	38 pages + 2 appendices 10 November 2014
Degree	Engineer
Degree Programme	Civil engineering
Specialisation option	Infrastructural Engineering
Instructor(s)	Ville Järvinen, Project Manager Mika Räsänen, Lecturer
<p>This thesis was commissioned by SRV Rakennus Oy to examine methods used in waste water treatment and particularly their efficiency in underground work sites. Waste water is treated to meet the values set by the water supply facility before it is lowered to the sewer. The water supply facility can refuse to accept waste water if the level of detrimental elements is above the set values repetitively. Various stages of work produce waste water so treatment is a very significant phase of work which is repeated throughout the project. Functionally working waste water treatment system makes the success in project possible.</p> <p>This thesis focused on simple and rather cheap solutions in water treatment. At tunnel work site changes throughout the project so the solution needs to be easily moved and modified. The water used in different work phases is mixed up with a great amount of stony sediment which varies in dimension from visible to particle size. This substance needs to be separated from water so that the sewers capacity is not reduced.</p> <p>This thesis is based on reviewing the literature about common ways to treat waste water as well as site visits. Results of thesis show that the flow of water can be limited by modifying the settling tanks and using continuous pumping. By stabilizing the circumstances one can get closer the values set by the water supply facility. This thesis provides general instructions for waste water treatment in underground sites.</p>	
Keywords	Water treatment, settling

Sisällys

Käsitteiden määrittely

1	Johdanto	1
1.1	Tavoite	1
1.2	Tutkimuskysymykset	2
1.3	Insinööriyön tilaaja	2
1.4	Insinööriyön esimerkitapaus	3
2	Maanalaista rakentamista ohjaavat lait ja määräykset	4
2.1	Maankäyttö- ja rakennuslaki	5
2.2	Maanalaisen tilan asemakaava	5
2.3	Rakennuslupa	5
2.4	Kaivos- ja kaivosturvallisuuslupa	6
2.5	Ympäristölupa	7
2.6	Johtamislupa jätevedelle	8
3	Riskienhallinta	9
3.1	Työmaan riskit ja niiden hallinta	9
3.2	Ympäristön riskit	10
4	Yleisimmät vesienkäsittelymenetelmät tunnelityömaalla	13
4.1	Välppäys ja siivilöinti	15
4.2	Sekoitus ja hämmennys	16
4.2.1	Sekoittimien tyypit	17
4.3	Selkeytys	17
4.3.1	Selkeytyksen muodot	18
4.3.2	Laskeutus	18
4.3.3	Tehostetut laskeutusmenetelmät	22
5	Poistovesijärjestelmän mitoitus	24
5.1	Laskeutuksen mitoitus	24
5.1.1	Pintakuorma	24
5.1.2	Turbulenssi	26
5.1.3	Oikovirtaukset	27
5.1.4	Muut huomioon otettavat tekijät	28
5.2	Koaguloitkemikaalin määrän arviointi	29

5.3	pH:n säätely hiilidioksidilla	29
6	Vesienkäsittelymenetelmät ja niiden kehittäminen	32
6.1	Kehitysehdotuksia vesienkäsittelyyn	33
6.1.1	Taajuusmuuttaja osana pumppausta	33
6.1.2	Virtauksen tulo- ja lähtöjärjestelyt laskeutusaltaissa	34
7	Yhteenveto	36
	Lähteet	37
	Liitteet	
	Liite 1. Työmaaohje vesien käsittelyyn tunnelityömaalla	
	Liite 2. Riskienhallinta vesienkäsittelyssä tunnelityömaalla	

Käsitteiden määrittely

AVI: Aluehallintovirasto

ELY: Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

Flokkautuminen: Hienoaineshiukkaset yhdistyvät suuremmiksi partikkeleiksi liimautumalla toisiinsa.

HSY: Helsingin seudun ympäristöpalvelut

Koagulaatio: On fysikaalinen ilmiö, jossa hiukkasten sähköpotentiaalia muuttamalla saadaan ne yhdistymään isommaksi partikkeliksi.

Kolloidi: Ympäröivään aineeseen sekoittunut aine, joka muodostuu häviävän pienistä hiukkasista (0,1 ... 0,01 μm).

Konsentraatio: Kertoo liuenneen aineen määrän tilavuusyksiköissä

MVR: Maa- ja vesirakentamisen turvallisuusmittari

Viipymä: Se aika, mikä vedellä kestää kulkea laskeutusaltaan päästä päähän.

YVA: Ympäristövaikutusten arviointimenettely, joka on osa ympäristöluvan myöntämiseen liittyvä menettelyä, kun hankkeen katsotaan mahdollisesti aiheuttavan merkittäviä ympäristövaikutuksia.

1 Johdanto

1.1 Tavoite

Tunnelityömaalla kertyy paljon poistovettä, johtuen työvaiheiden luonteesta. Suurimmat määrät syntyvät porauksessa käytetystä jäähdytys- ja huuhteluvvedestä, mutta myös louhittu tila itsessään päästää ympäristöön imeytyynyttä vettä läpi lähes aina. Porakalustoa käytetään räjäytysreikien porauksen lisäksi myös tunnelin lujitukseen, joten parametrejä kertyy paljon. Käytössä olevien porajumbojen vedenkulutus on normaalisti 90 - 100 l/min per poraava puomi.

Työmaan kestosta riippuen poistovedestä kertyvät kustannukset voivat nousta korkeiksi. Pääkaupunkiseudulla viemäriin laskettava vesi pitää käsitellä vesilaitoksen antamien haitta-aineraja-arvojen puitteissa. Päästäkseen laitosta tyydyttävään tulokseen, on työmaalle usein hankittava monia laskeutusaltaita ja muuta kalustoa. Oikein mitoitetulla järjestelmällä voidaan työmaaolosuhteissa käsitellä käytetty vesi niin puhtaaksi, että se voidaan laskea hulevesiviemäriin ja mahdollisesti käyttää uudestaan työvaiheissa.

Raportissa käydään aluksi läpi lyhyesti maanalaista rakentamista ohjaavat lait ja määräykset sekä riskien hallinta työmaalla. Alan kirjallisuus keskittyy pääosin vesihuoltoon laitosten näkökulmasta, mutta prosessit soveltuvat pienemmässä mittakaavassa myös työmaaympäristöön. Työssä esitellään tunnelityömailla toimivat poistovesien käsittelymenetelmät sekä niiden mitoitus järjestelmään. Aiheeseen paneudutaan tutustumalla alan kirjallisuuteen sekä Länsimetron Otaniemen aseman esimerkkityömaan avulla. Insinööriyön liitteiksi on lisätty työmaaohje vesien käsittelyyn tunnelityömaalla sekä ohjeet riskien hallintaan.

1.2 Tutkimuskysymykset

Insinööriyttä rajaavat ja ohjaavat seuraavat kysymykset:

Mitkä ovat toimivia ja käytännöllisiä ratkaisuja poistovesien käsittelyyn etenkin tunnelityömaalla?

Mitä ongelmia esiintyy nykyisessä käsittelyprosessissa?

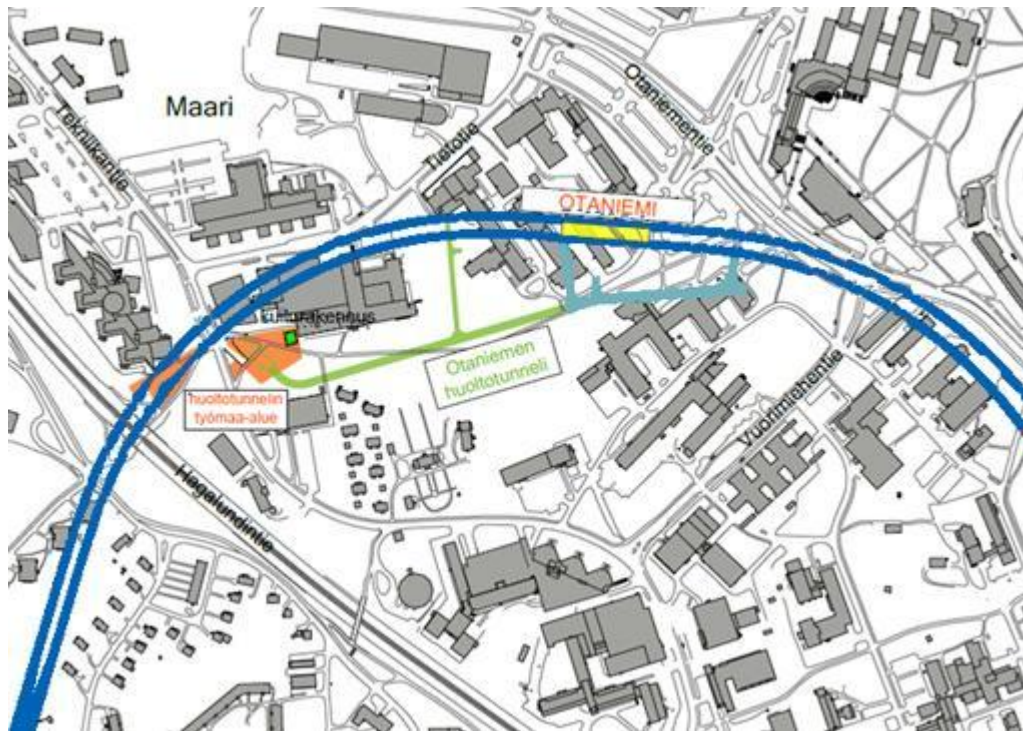
Mitkä innovaatiot voisivat ratkaista ongelmat ja tehostaa poistovesien käsittelyprosessia?

1.3 Insinööriyön tilaaja

Insinööriyön tilaajana toimii SRV Rakennus Oy. SRV:n toimintamalli on projektijohdourakointi, mutta tunnelipuolella luotetaan omaan väkeen työn luonteesta johtuen. Yhtiön toimiala on rakentaminen ja se pitää sisällään asunto-, toimitila-, korjaus- ja inf-rarakentamista. Yhtiö harjoittaa myös kiinteistö- ja aluekehittämistä sekä kiinteistösijoittamista.

SRV Rakennus Oy on suomalainen rakennusliike, jonka historia alkaa vuodesta 1987, jolloin yritys perustettiin nimellä SRV Viitokset. Yritys sai nimensä viiden perustetun yhtiön mukaan ja SRV tulee sanoista Suomen Rakennusvienti. 1990-luvulla SRV hankki erinäisiä toimitila- ja asuntorakentamista harjoittavia yrityksiä ja ne fuusioitiin emoyhtiöön. Yrityksen historian merkittävimpiä urakoita on 2002 aloitettu Kampin Keskusten rakentaminen. [1.]

1.4 Insinööriyön esimerkkitapaus



Kuva 1. Otaniemen metroaseman raiteiden linjaus [16.]

SRV Rakennus Oy ja Länsimetro Oy allekirjoittivat maanantaina 28.3.2011 urakkasopimuksen Otaniemen metrotunnelien ja aseman louhinnasta. Urakka käsitti yhteensä kahden noin 1,6 km pituisen rinnakkaisen tunnelin, aseman sekä kolmen pystykuilun louhinnan. Urakka päättyi lokakuussa 2013. [2.]

Urakan aikana työmaan poistovesien haitta-aineraja-arvojen noudattamisessa oli vaikeuksia aika ajoin. Kiviperäinen kiintoaines erityisesti oli ongelma. Kiintoaines ei laskeutunut suunnitellusti altaissa vaan kulkeutui veden mukana seuraavaan altaaseen ja sieltä aina viemäriin asti.

2 Maanalaista rakentamista ohjaavat lait ja määräykset

Maanalaisesta rakentamista ohjaa maankäyttö- ja rakennuslaki (MRL) sekä lukuisten muiden lakien pykälät. Lisäksi maanalaisten kalliotilojen louhinta- ja lujitustöitä on toteutettu hankkeesta ja kaupungista riippuen eri luvilla. Kiinteistön tai maa-alueen omistusoikeuden voidaan katsoa ulottuvan niin syväälle, kuin nykyisin tai tulevaisuudessa on mahdollista rakentaa. Julkinen taho voi tietyissä tapauksissa hankkia maanalaisen tilan hallintaansa MRL:n tai lunastuslain mukaisesti.

Asemakaavassa määritetään maanalaisten tilojen sijoittuminen, mutta poikkeuksena ovat yhdyskuntatekniset tunnelit, jotka voidaan toteuttaa ilman asemakaavaa. Rakennuslupaprosessi maanalaisille tiloille on kaksivaiheinen. Louhintaa varten lupaa haetaan louhinta-, lujitus- ja tiivistyssuunnitelmilla. Toisessa vaiheessa maanalaisen tilan sisustusta ja varustelua varten haetaan lupa louhintatöiden toteutumisen mukaan tarkennetuilla LVIAS- ja rakenneteknisillä suunnitelmilla. Poikkeuksena tässäkin yhdyskuntatekniset tunnelit, jotka eivät kuulu rakennusluvan piiriin. Kyseiset tilat voidaan rakentaa ilman rakennuslupaa, joko laajaan kunnan eri organisaatioiden lausuntomenettelyyn perustuen tai ilmoitusmenettelyllä. [3.]

Maanalaisten tilojen käyttö mineraalien ottoon on kaivostoimintaa, jota ohjaa kaivoslaki. Kaivoslain mukaan kaivoksen perustamiseen ja kaivostoiminnan harjoittamiseen pitää olla lupa. Luvan myöntää Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (TUKES), jolla on lupien valmisteluun erikoistunut toimipiste Rovaniemellä. Luvan edellytyksiä ovat esimerkiksi kaivosalueen merkitseminen kaikkiin kaavoitukseen tasoihin ja päättynyt YVA-menettely. [4.]

Vesien käsittelyä varten maanalaisessa tilassa tulee olla kaksi voimassa olevaa erillistä lupaa. Ympäristölupa tarvitaan aina, kun jokin toiminta aiheuttaa ympäristölle pilaantumisen vaaran. Toinen lupa mahdollistaa käsitellyn veden laskemisen viemäriverkostoon jätevesilaitoksen määrittämässä haitta-aineraja-arvojen puitteissa. [5.]

2.1 Maankäyttö- ja rakennuslaki

Maankäyttö- ja rakennuslaki koskee alueiden käyttöä ja rakentamista. Lain tavoitteena on luoda terveellinen, turvallinen ja viihtyisä elinympäristö, joka on sosiaalisesti toimiva ja eri väestöryhmät huomioon ottava. Vuoden 2000 alussa voimaan astuneen maankäyttö- ja rakennuslaki korvasi vanhan rakennuslain vuodelta 1958. Merkittävimpänä muutoksena laissa on kunnan aseman vahvistaminen alueensa maankäytön päättävänä tahona. Lisäksi uudessa laissa yhdistettiin asema-, rakennus- ja rantakaava yhdeksi kaavamudoksi, asemakaavaksi. Nykyään laissa säädetään erikseen myös maanalaisesta kaavasta, mikä käsitteenä puuttui kokonaan vanhasta rakennuslaista. [3, s. 17.]

2.2 Maanalaisen tilan asemakaava

Maanalaisille tiloille laaditaan pääsääntöisesti asemakaava normaalin kaavoitusprosessin mukaisesti. Korostetusti kaavassa tulee esille rakennusaikaiset haitat (melu, pöly, tärinä, liikenne) sekä maanalaisen tilan ympäristövaikutukset muun muassa pohjavesiasiat.

Kalliorakentamisen peruuttamattomuus on otettava huomioon laadittaessa maanalaista kaavaa. Kerran tehtyä tilaa ei voi purkaa kuten rakennusta. Lisäksi on otettava huomioon maanalaisen kalliotilan vaatima suojaetäisyys, joka vaihtelee rakennetun tilan dimensioiden ja käyttötarkoituksen mukaan.

Ilman asemakaavaa on rakennettu joitakin teknisen huollon tunneleita ja salassapitosyistä puolustusvoimien hankkeita [3, s. 38].

2.3 Rakennuslupa

Maankäyttö- ja rakennuslain mukainen rakennuslupaprosessi on tehty maanpäällisen rakentamisen lähtökohdista. Maanalaisessa rakentamisessa on usein 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 rakennusluvalle.

Yhdyskuntateknisten tunneleiden ei Helsingin alueella katsota kuuluvan rakennusluvan piiriin. Sen sijaan tunneleihin liittyvät, maanpinnalle tulevat hätäpoistumiskuilut sekä IV- ja savunpoistokuilut rakennetaan asianmukaisilla rakennus- tai toimenpideluvalla. [3, s. 51–57]

2.4 Kaivos- ja kaivosturvallisuuslupa

Kaivoksen perustamiseen ja kaivostoiminnan harjoittamiseen tarvitaan kaivoslupa, jonka voi myöntää Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). Kaivoslupa oikeuttaa hyödyntämään kaivosalueella tavatut kaivosmineraalit sekä kaivostoiminnassa sivutuotteena syntyvän orgaanisen ja epäorgaanisen pintamateriaalin, ylijäämäkiven ja rikastushiekan.

Kaivosluvan myöntämisen edellytyksenä on, että mineraaliesiintymä on kooltaan, pitoisuudeltaan ja teknisiltä ominaisuuksiltaan hyödyntämiskelpoinen. Esiintymää voidaan pitää hyödyntämiskelpoisena, jos siitä saatavat tulot kattavat kaivoksen käyttökustannukset ja takaavat vaadittavan tuoton sijoitetulle pääomalle. Lupaviranomainen arvioi myös kaivoksen teknisiä ominaisuuksia, joista tärkeimpiä ovat louhintatekniset ja rikastustekniset ominaisuudet.

Kaivosturvallisuuslupa on osa uutta kaivoslakia, joka tuli voimaan 1.7.2001. Kaivoslain uusia turvallisuuteen liittyviä vaatimuksia on muun muassa yleissuunnitelman laajeneminen kaivosturvallisuusluvaksi. Tukes valvovana viranomaisena myöntää kaivostoimintaa harjoittavalle luvat. Hakemukseen tulee liittää seuraavat tiedot:

- hakijan nimi, yhteystiedot ja kotipaikka
- hakijan kaupparekisteriote tai virkatodistus
- tiedot alihankkijoille suoritetuista toimenpiteistä

- kaivoksen rakentamisen suunniteltu aikataulu
- yleissuunnitelma
- riskien arviointi
- toimintaperiaateasiakirja
- sisäinen pelastussuunnitelma
- tiivistelmä hakemuksessa ja sen liitteissä olevista tiedoista.

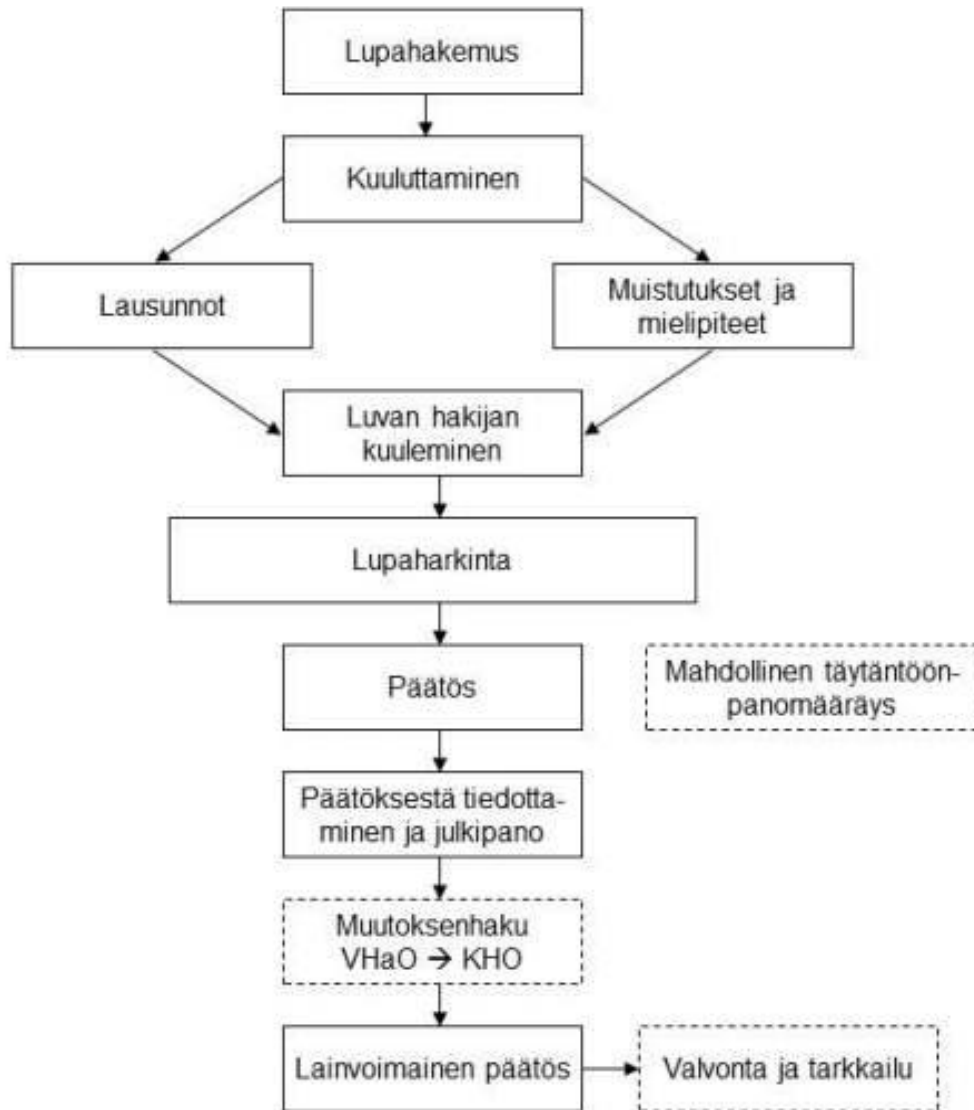
Jos lupaa hakeva on ulkomainen yritys, sen on toimitettava vastaavat tiedot yrityksen sijoittautumismaan lainsäädännön mukaisella rekisteriotteella tai vastaavalla todistuksella [6].

2.5 Ympäristölupa

Ympäristölupa haetaan aluehallintovirastosta ja ELY-keskukset toimivat myönnettyissä luvissa valvontaviranomaisena paikallisten ympäristönsuojeluviranomaisten kanssa.

Ympäristölupahakemus tehdään liitteineen kolmena kappaleena ja mahdollisuuksien mukaan sähköisenä. Hakemuksen liitteet luvan käsittelyä varten on määritelty ympäristönsuojeluasetuksessa (YSA). Niistä voi neuvotella etukäteen luvan myöntävän viranomaisen kanssa. Asetuksen mukaan hakemuksen laatijalla on oltava riittävä asiantuntemus. Jos sellaista ei löydy, voidaan käyttää ulkopuolista asiantuntijaa.

Hakemuksen valmisteluun kannattaa uhrata aikaa, koska hyvissä ajoin ennen toiminnan aloittamista jätetty hakemus sekä selkeä ja mahdollisimman täydellinen hakemus edistävät luvan käsittelyä. Hakemuksen täyttämisen yleisohjeet löytyvät ympäristöministeriön verkkosivuilta www.ymparisto.fi osiosta asiointi ja luvat. [7.]



Kuva 2. Lupakäsittelyn vaiheet kaaviona [7.]

2.6 Johtamislupa jätevedelle

Lupa haetaan alueen vesilaitokselta. Monet laitokset ohjeistavat internetsivuillaan prosessin kulkua. Yleisesti vesilaitos selvittää veden viemärintikelpoisuuden muun muassa asiakkaan antamien työmaan vesien käsittely- sekä näytteenottosuunnitelman perusteella. Myönnettyihin lupiin määritellään haitta-aineraja-arvot. Raja-arvojen noudattaminen on otettava vakavasti, koska vesilaitoksilla on oikeus keskeyttää veden myynti ja vastaanotto, jos viemäriin laskettavan veden laatu ei täytä sovittuja ehtoja. [5.]

3 Riskienhallinta

Riskien tarkastelu ja hallinta alkaa hankkeen esi- ja hankesuunnitteluvaiheessa. Tässä vaiheessa tilaaja määrittää työryhmän, joka koostuu 3 - 10 henkilöstä, jolloin keskustelua kohteen vaara- ja haittatekijöistä saadaan riittävällä laajuudella. Työryhmän koko vaihtelee kohteen laajuuden ja vaativuuden mukaan. Ryhmässä on mukana rakennuttajan edustajat sekä mahdollisesti suunnittelijat, kunnossapidon edustajat, kohteen loppukäyttäjät ja palo- ja turvallisuusviranomaiset. Työryhmä laatii turvallisuus selvityksen.

Aloittaessaan projektia urakoitsija laatii omat riskienhallintasuunnitelmat eri työvaiheista ja osa-alueista rakennuttajan turvallisuus selvityksen pohjalta. Selvitykset kannattaa tehdä perusteellisesti, jotta kaikki mahdolliset toimintahäiriöt, onnettomuuksien ja tapaturmien mahdollisuudet tulevat esille. Kartoituksen tuloksena syntyy riskianalyysi, jonka pohjalta määritellään toimenpiteet ja vastuuhenkilöt kuhunkin riskiin. Kartoitusta tehtäessä tarkasteltava kokonaisuus tulee jaotella mielekkäisiin osiin ajankäytön hallitsemisen vuoksi. Liian laajat ja ajallisesti pitkät katselmuksot johtavat analyysin laadun heikkenemiseen. Kartoituksen ja analyysin voi tehdä esimerkiksi työmaainsinööri, mutta palvelu voidaan ostaa konsultilta ja mahdollisesti siirtää osaaminen tätä kautta omaan organisaatioon. [8.]

3.1 Työmaan riskit ja niiden hallinta

Työmaalla yleisimpiä riskejä ovat työnaikana sattuvat vahingot ihmiselle tai kalustolle, johtuen huolimattomuudesta ja/tai välinpitämättömyydestä. Yleensä riskit tiedostetaan eri tilanteissa ja työvaiheissa, mutta ajatellaan, etteivät ne osu omalle kohdalle. Rutii-neista koostuvassa toimessa riskeihin ei enää kiinnitetä niiden vaatimaa huomiota. Työmaan riskienhallinnan välineitä ovat huolellisuus, oikea henkilökohtainen suojava-rustus ja koulutus. Viikoittain järjestettävä MVR-mittaus antaa myös ajankohtaista tie-toa riskeistä ja näin niihin voidaan puuttua heti havainnon tekemisestä. [9.]

3.2 Ympäristön riskit

Ympäristölaki velvoittaa toimimaan niin, että vaaraa ympäristön pilaantumiselle ei ole. Tunnelityömaalla riskit rakentuvat muun muassa eri työvaiheissa aiheutuvasta melusta, räjäytysten synnyttämästä pölystä ja tärinäistä, kalliosta valuvista vuotovesistä, materiaalien varastoinnista sekä kuljetuksista.

Melu

Tunnelityömaan ulkopuolella ja sen ympäristössä ei esiinny niin korkeita melutasoja, että ihmisillä olisi kuulovaurion riskiä. Sen sijaan tulisi arvioida, kuinka suurta viihtyvyyshaittaa työmaa aiheuttaa ympäristöönsä.

Ihmiset kokevat melun yksilöllisesti. Sama melu aiheuttaa eri vasteen ihmisissä ja saman henkilön vaste voi olla toisenlainen eri aikoina ja eri ympäristössä. [10.]

Pöly

Pöly muodostuu mekaanisen rikkomisprosessin kuten kaivamisen, murskaamisen, po-raamisen tai räjähdysten seurauksena. Pölyämisen aiheuttaa jauhemaisen irtotavaran siirto, lastaus tai annostelu.

Jos pölyä pääsee karkaamaan työtilaan, se joutuu hengityselimiin, mistä voi seurata monia haittatekijöitä aina lievästä epävihtyvyydestä palautumattomiin tai jopa hengenvaarallisiin sairaustiloihin. Altistuminen riippuu pölyn pitoisuudesta työilmassa (mg/m^3) ja altistumisajasta, mutta myös pölyn ominaisuudet kuten liukoisuus, pysyvyys ja muoto vaikuttavat altistumisen vakavuuteen. Elimistöön kertyvä annos on monen tekijän summa. [11.]

Tärinät

Tärinä voi vaurioittaa rakenteita venymien, repeämien tai taipumien kautta. Vauriot eivät aina johdu pelkästään tärinän suuruudesta, vaan niiden syntyyn vaikuttavat myös rakenteen oma kunto, paino ja muut kuormitukset.

Ennen räjäytystöiden aloittamista työmaalla täytyy lähiympäristössä suorittaa katselmus, jossa tarkastetaan alueen rakenteet ja kiinteistöt. Katselmuksen alueen laajuus riippuu kerralla käytettävän räjähdysaineen määrästä. Katselmuksen tarkoituksena on selvittää rakenteiden senhetkinen kunto ja räjäytystöistä johtuvat todelliset vahingot.

Katselmuksesta laaditaan kirjallinen pöytäkirja rakenteiden kunnosta määritellyn alueen puitteissa. Pöytäkirjaan luokitellaan ja mitataan rakenteissa jo olevat halkeamat, sekä niitä täydennetään piirroksin, valokuvoin ja videoin. Halkeamiin voidaan asentaa kipsisiltoja, paperiteippiä tai mittamerkkejä liikkumisen havainnoimiseksi. Rakenteille suoritetaan korkeusaseman ja vinouksien mittaukset maanvaraisten rakenteiden osalta.

Räjäytystöiden jälkeen suoritetaan loppukatselmus, jossa verrataan alkutarkastuksen pöytäkirjaa senhetkiseen tilanteeseen. Pöytäkirjojen perusteella voidaan todeta räjäytystöiden mahdollisesti aiheuttamat vahingot sekä hakea korvauksia aiheutuneille vahingoille. [12.]

Vuotovedet

Tunneliin vuotavan veden riski on suurin kallion heikkousvyöhykkeiden alueella, jotka ovat selvitetty suunnitteluvaiheessa. Injektoimalla heikkousvyöhykkeet systemaattisesti vuotoja saadaan hillittyä, mutta tukkimisesta huolimatta osa vuodoista jatkuu myös tunnelin käytön aikana. [13.]

Varastointi

Järjestyksen ja varastoinnin osuutta työmaan riskejä arvioitaessa ei voida väheksyä. Hyvä yleisjärjestys työmaalla takaa turvallisen toimintaympäristön ja luo positiivisen yleisilmeen. Tarvikkeiden varastoinnin osalta korostuu etenkin räjähdysainesten varastointi sekä niille asetettujen vaatimusten noudattaminen. Poltto- ja voiteluaineita käytetään myös suuria määriä, joten asianmukaisesta varastoinnista sekä mahdollisten päästöjen torjunnasta on huolehdittava. [14.]

Kuljetukset

Tunnelityömaalla lähes kaikki liikkuu pyörillä tai teloilla, joten työmaan tiestö on pidettävä aina tasaisena ja puhtaana irtokivistä. Suurin osa rengasrikoista ja muista käyttöhäi-

riöistä on näin vältettävissä. Ajonopeuksissa on noudatettava työmaan määräyksiä ja sen on oltava tarpeeksi alhainen turvalliseen liikkumiseen työmaalla. Ulkopuolinen tarantoimittaja on myös hyvä ajattaa ainakin ensimmäisen kerran oikeaan purkupaikkaan, jotta liikennöinti ja vaaranpaikat tulevat selviksi. [14.]

4 Yleisimmät vesienkäsittelymenetelmät tunnelityömaalla

Vesienkäsittelymenetelmät jaetaan toimintaperiaatteidensa mukaan: fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin menetelmiin. Jaottelu ei aina ole näin yksioikoinen, koska fysikaaliset menetelmät saattavat vaikuttaa myös veden kemiallisiin sekä biologisiin ominaisuuksiin ja päinvastoin. Tunnelityömaalla käytetään vain osaa tunnetuista menetelmistä. Resursseja budjetoidaan vesienkäsittelyyn niukasti, koska se ei ole tuottavaa työtä. Myös monet edistyneet käsittelyprosessit ovat häiriöherkkiä sekä vaativat jatkuvaa huoltoa, jonka takia ne eivät sovellu työmaan toimintaympäristöön.

Fysikaaliset menetelmät:

Välppäys ja siivilöinti

Poistavat suurimmat kiinteät epäpuhtaudet nesteestä.

Sekoitus ja hämmennys

Takaa käsiteltävän veden homogeenisuuden.

Ilmastusmenetelmä

Tämän käsittelymenetelmän avulla muutetaan veteen liuenneiden kaasujen määrää. Ilmiö on luonteeltaan fysikaalinen, mutta sillä on myös kemiallisia vaikutuksia, joten menetelmää voidaan kutsua myös fysikaalis-kemialliseksi käsittelyksi. Ilmastus jaetaan kahteen päätaphtumaan seuraavasti: kaasun lisäys veteen, jota kutsutaan absorptioksi sekä kaasun poisto vedestä, jota kutsutaan desoprtioksi eli yleisimmin strip-paukseksi.

Selkeytys

Painovoimaa hyväksikäyttäen vedessä olevat kiintoaines- tai nestemäiset partikkelit laskeutuvat altaan pohjalle, jonka jälkeen niiden päälle muodostunut selkeytynyt vesikerros johdetaan seuraavaan käsittelyvaiheeseen.

Suodatus

Suodatus on laajasti käytetty prosessi vesien käsittelyssä. Suodatuksessa vesi johdetaan suodatinmateriaalin läpi, jolloin kiintoaines jää joko suodattimen pinnalle tai pidättyvät suodatinmateriaalin sisälle. Menetelmällä voidaan poistaa $1 \cdot 10^{-4}$ mm kokoa olevia hiukkasia ja siitä suurempia. Suodattimet eivät poista vain fysikaalisia partikkeleita vedestä, vaan vaikuttavat veden kemiallisiin ja biologisiin ominaisuuksiin, joten ne voidaan myös luokitella toimintaperiaatteidensa mukaan myös muihin menetelmäryhmiin.

Kemialliset menetelmät:

Koagulaatio

Koagulaatio on prosessi, jossa yleensä negatiivisesti varautuneet noin 0,1 ... 0,01 μm kokoa olevat kolloidit neutralisoidaan kemikaalin avulla. Varauksensa menettäneet kolloidit eivät enää hylji toisiaan vaan voivat siten tarttua toisiinsa ja kasvaa suuremmiksi laskeutumiskelpoisiksi hiukkasiksi. Lopullinen hiukkasten poistuminen tapahtuu joko laskeutuksessa tai/ja suodatuksessa. Yleisin käytetty elektrolyytti on alumiinisulfaatti $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$.

Biologiset menetelmät eivät sovellu työmaaympäristöön johtuen niiden pitkästä kestoista. Menetelmien periaate on sama kaikille biologisille prosesseille. Bakteerit käyttävät hyväksi käsiteltävän veden orgaanista ainetta ja epäorgaanisia suoloja kasvuunsa. Syntynyt solumateriaali voidaan erottaa vedestä, koska sen ominaispaino on jonkin verran suurempi kuin vedellä.

Työmaalla tarvittavia sekä soveltuvia menetelmiä ovat välppäys ja siivilöinti, sekoitus ja hämmennys sekä selkeytys tärkeimpänä, joista lisää yksityiskohtaisemmin seuraavissa luvuissa. [15.]

4.1 Välppäys ja siivilöinti

Poistoveden karkeimmat kiinteät epäpuhtaudet voidaan poistaa johtamalla vesi rakojen tai reikien läpi, jolloin aukkoja suuremmat kiintoaineshiukkaset jäävät laitteeseen. Prosessille on luontaista, että siihen ei vaikuta muut tekijät, kuin hiukkasen ja laitteen aukkojen välinen suhde.

Välppät ovat laitteita, joissa on yhdensuuntaisia välppätankoja. Virtausaukko muodostuu välppätankojen väliin.



Kuva 3. Vedenpuhdistuslaitoksen välppä [17.]

Siivilöissä läpivirtausaukko on metalli- tai tekokuitukudoksen silmä tai metallilevyyn lävistetty reikä. Yleensä siivilänä toimii jäykälle tukirakenteelle kiinnitetty metalli- tai nailonkudos. Tavoitteesta riippuen voidaan kudoksen silmäkoko valita sopivaksi.



Kuva 4. Uppopumpun siivilä. Siiviläosa on osoitettu punaisella nuolella [18.]

Välppiä ja siivilöitä käytetään yleensä työmaalla vedenottolaitteissa estämään poistovedessä uiskentelevia suurten ja karkeiden kiintoainepartikkelien joutumista pumppuihin. Välppien ja siivilöiden tarkoitus onkin yleensä vain varmistaa seuraavien käsittelyvaiheiden toiminta, eikä niinkään vaikuttaa veden laatuun. [15, s. 53–56.]

4.2 Sekoitus ja hämmennys

Sekoitus on erittäin yleinen elementti vedenkäsittelyprosesseissa. Sillä varmistetaan, että vedessä olevat aineet sekoittuvat hyvin keskenään ja samalla saavutetaan homogeeninen pitoisuustaso ja lämpötila systeemin eri osissa. Hyvä sekoitus edesauttaa flokkautumista ja vähentää puhdistuksessa käytettävien kemikaalien määrää. Sekoitaminen myös pienentää poistovedelle tarvittavaa viipymää altaissa, koska kiintoaines flokkautuu nopeammin ja laskeutuu pohjalle.

Sekoitus ja hämmennys poikkeavat toisistaan ajallisesti. Sekoitus kestää sekunneista minuutteihin ja hämmennys monista minuuteista ylöspäin. Ne poikkeavat myös teknisiltä arvoiltaan ja toteutustavoiltaan, mutta fysikaalisessa mielessä niillä sama tavoite: kasvattaa kolloidikokoa olevat hiukkaset laskeutumiskelpoisiksi flokeiksi.

4.2.1 Sekoittimien tyypit

Sekoittimet jaetaan vedenkäsittelyssä seuraaviin päätyyppeihin:

- lapa- eli turbiinisekoittimet
- potkurisekoittimet
- pneumaattiset sekoittimet
- hydrauliset sekoittimet
- putkisekoittimet.

Lapa- ja potkurisekoittimet ovat yleisimpiä sekoitintyyppisiä ja niitä käytetään myös työmaaolosuhteissa.

Pneumaattisia sekoittimia käytetään, kun vettä siirretään kanavissa tai kouruissa käsittely-yksiköiden välillä. Nämä sekoittimet soveltuvat veden- ja jätevedenkäsittelylaitoksiin.

Hydraulisia sekoitusmenetelmiä käytetään esimerkiksi kloorin syötön yhteydessä niin vesi- kuin jätevesilaitoksilla.

Putkisekoitin on tehokas sekoitin esimerkiksi koagulaatiokemikaalin syötössä suoraan putkeen. Käytetään vesilaitoksilla, mutta myös työmailla joissa on erittäin suuria kiintoainepitoisuuksia. [15, s. 58–64.]

4.3 Selkeytys

Selkeytyksellä tarkoitetaan vedessä olevan kiintoaineksen tai nestemäisen partikkelin poistamista painovoimaa tai keskipakovoimaa hyväksi käyttäen. Poistettavien hiukkasten koko vaihtelee 10 mm ... 0,0001 mm.

4.3.1 Selkeytyksen muodot

Selkeytyksen tavallisin muoto on laskeutus, jolloin kiintoainees tai neste on vettä raskaampia ja näin laskeutuvat painovoiman vaikutuksesta pohjaan. Laskeutus on ollut kautta aikojen ja on edelleenkin yleisin käsittelymenetelmä kaikenlaisessa vedenpuhdistuksessa. Laskeutuksen ensisijainen tarkoitus on poistaa vedestä niin paljon kiintoainesta, että vesi on tarpeeksi puhdasta johdettavaksi seuraavaan prosessiin tai jätevesiverkoston.

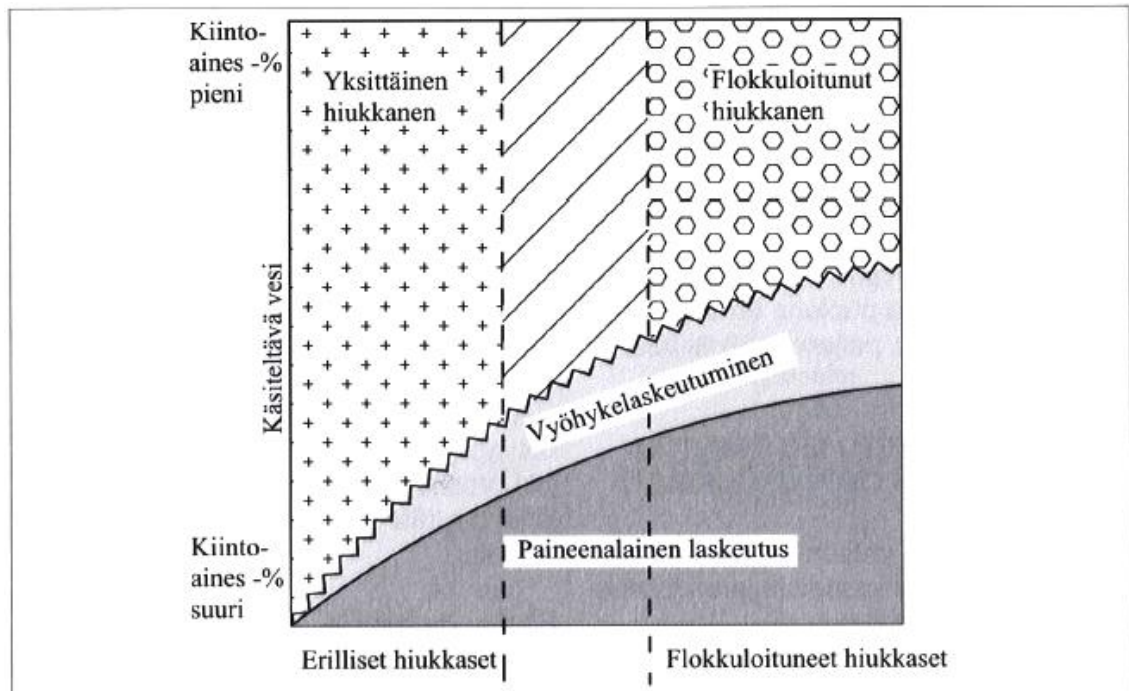
Flotaatio on selkeytyksen toinen muoto. Flotaatiossa hiukkaset muutetaan ilmakuplien avulla selvästi vettä kevyemmiksi ja ne kohoavat prosessissa pinnalle (ilmaflotaatio). Flotaation toisena muotona on vettä luonnostaan kevyempien hiukkasten, kuten öljyjen ja rasvojen erottuminen vedestä, jolloin prosessi on toimintaperiaatteiltaan ja järjestelyltään myös flotaatio (luonnollinen flotaatio).

Ilmaflotaatiolle ja luonnolliselle flotaatiolle on yhteistä painovoiman hyväksikäyttö kiintoaineksen tai nestemäisen partikkelin poistamiseksi. Selkeytyksen aikaansaama erotelu on vakio, johtuen painovoimasta. [15, s. 77.]

4.3.2 Laskeutus

Vettä raskaampi kiinteä hiukkanen laskeutuu aluksi kiihtyvällä nopeudella, kunnes veden oma vastus kasvaa hiukkasen massan suuruiseksi, jolloin laskeutuvan hiukkasen kiihtyvyys loppuu ja laskeutumisenopeus muuttuu tasaiseksi. Kiihtyvyyden ja tasaisen nopeuden määrittävät hiukkasen tiheys, koko ja muoto sekä veden tiheys ja viskositeetti. Pallonmuotoisella hiukkasella vähiten vastusta ja näin saavuttaa suuremman nopeuden, kuin muun muotoinen, vastaavan kokoinen ja tiheyden omaava hiukkanen. Laskeutuksen tehokkuus riippuu hiukkasten laskeutumisenopeudesta, ja on siten riippuvainen veden viskositeetista ja viime kädessä sen lämpötilasta.

Laskeutus voi tapahtua seuraavilla tavoilla:



Kuva 5. Laskeutumisyöhykkeet kaaviona [15, s. 78.]

a. *Yksittäisen hiukkasen laskeutuminen*

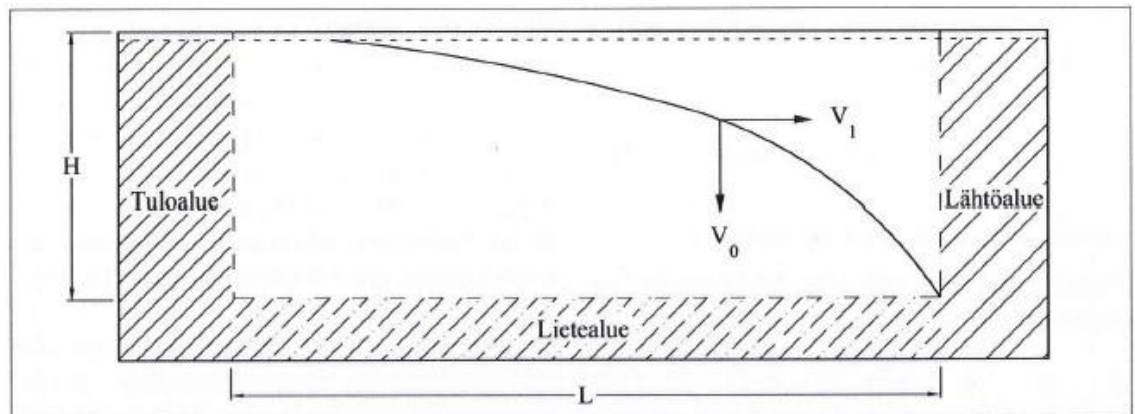
Vedessä vapaasti putoavaan hiukkaseen vaikuttaa alaspäin hiukkasen painon ja veden nostovoiman erotus. Yksittäisen hiukkasten laskeutumisnopeuteen vaikuttavia tekijöitä ovat hiukkasten muoto ja keskeinen etäisyys. Mitä enemmän hiukkanen poikkeaa pallon muodosta, sitä hitaammaksi laskeutumisnopeus muuttuu vastavainpaiseen pallon verrattuna. Hiukkasten määrän kasvaessa tilavuusyksikköä kohden käy veden virtausreitti niiden välisissä tiloissa ahtaammaksi. Hiukkasten laskeutumisnopeus hidastuu ja lopulta ne ikään kuin leijuvat paikoillaan. Alla olevassa taulukossa (kuva 6) on esitetty pallon muotoisen kiviainespartikkelin laskeutumisnopeus:

	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	0,0000154	2 v 20 d

Kuva 6. Pallon muotoisen kivennäisainehiukkasen (tiheys 2,65) laskeutumisnopeus liikkumattomassa vedessä $t = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ [15, s. 79.]

b. Flokkautuva laskeutuminen

Usein veden käsittelyssä on kysymys hiukkasista, jotka laskeutuessaan tarttuvat löyhästi toisiinsa, jolloin hiukkasten koko ja tiheys sekä tämän seurauksena laskeutumisenopeus muuttuu. Tästä johtuen luotettavaa matemaattista kaavaa flokin laskeutumisenopeuden määrittämiseksi ei toistaiseksi ole olemassa, joten se tulee määrittellä laboratoriossa kokeellisin menetelmin asianomaisella vedellä tehtynä.



Kuva 7. Periaatekuva flokin laskeutumisenopeuden muutoksesta vaakalasketusaltaassa [15, s. 82.]

H = altaan tehokas korkeus, jossa laskeutusta tapahtuu

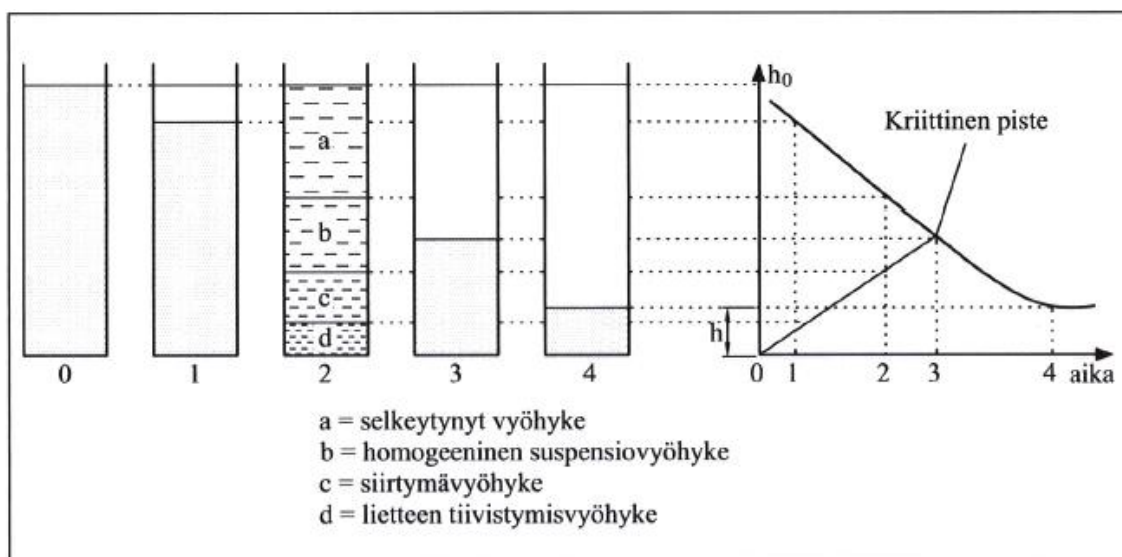
V_1 = laskeutuvan flokin nopeus eteenpäin (m/s)

V_0 = laskeutuvan flokin nopeus alaspäin (m/s)

Kuvassa eteenpäin kulkeva flokki törmää matkalla muihin flokkeihin, jotka tarttuvat löyhästi toisiinsa kasvattaen kokonaismassaa. Massan kasvaessa alaspäin suuntautuva vauhti kasvaa myös.

c. *Vyöhykelaskeutuminen*

Kun flokkikonsentraatio kasvaa olennaisesti, tulevat flokkien keskinäiset törmäysvaikutukset yhä tärkeämmiksi. Raja-arvo kiintoaineksen määrälle, että laskeutumisesta tulee niin sanottu vyöhykelaskeutuminen, on 2 500...3 500 mg/l. Estetyssä laskeutumisessa voidaan erottaa neljä erillistä vyöhykettä, jotka esitetään alla olevassa kuvassa 8:



Kuva 8. Kaaviokuva vyöhykelaskeutumisesta [15, s. 83.]

Kuvassa on laskeutuksen vyöhykkeitä eri ajanjaksoina. Nollahetkellä kaikki kiintoainekset on tasaisesti sekoittuneena veteen. Ajan hetkellä 1 voidaan erottaa selkeytynyt vyöhyke ylhäällä ja alhaalla entistä sakeampi kerros. Kohdassa 2 laskeutusalttaassa on muodostunut neljä erillistä vyöhykettä, jossa kolmessa alimmaisessa tapahtuu laskeutusta. Yleensä vaiheessa 3 tapahtuu homogeenisen suspensio- ja siirtymävyöhykkeen yhdistyminen. Tätä hetkeä kutsutaan kriittiseksi pisteeksi, jonka jälkeen kiintoainekset tiivistyy yhtenä vyöhykkeenä.

d. Paineenalainen laskeutus

Hämmennyksen on havaittu auttavan lietteen tiivistymistä, koska se rikkoo flokkeja ja helpottaa sillä tavoin veden poistumista lietteestä. Tällainen ilmiö tapahtuu niin sanotussa puristuneessa lietevyöhykkeellä. Toistaiseksi ei ole olemassa menetelmiä, joilla voidaan laskea ja suunnitella lietteen hämmennyksestä lisääntyvää laskeutusta. Ainoa keino on selvittää mitoitukseen vaikuttavat asiat laboratorion keinoilla.

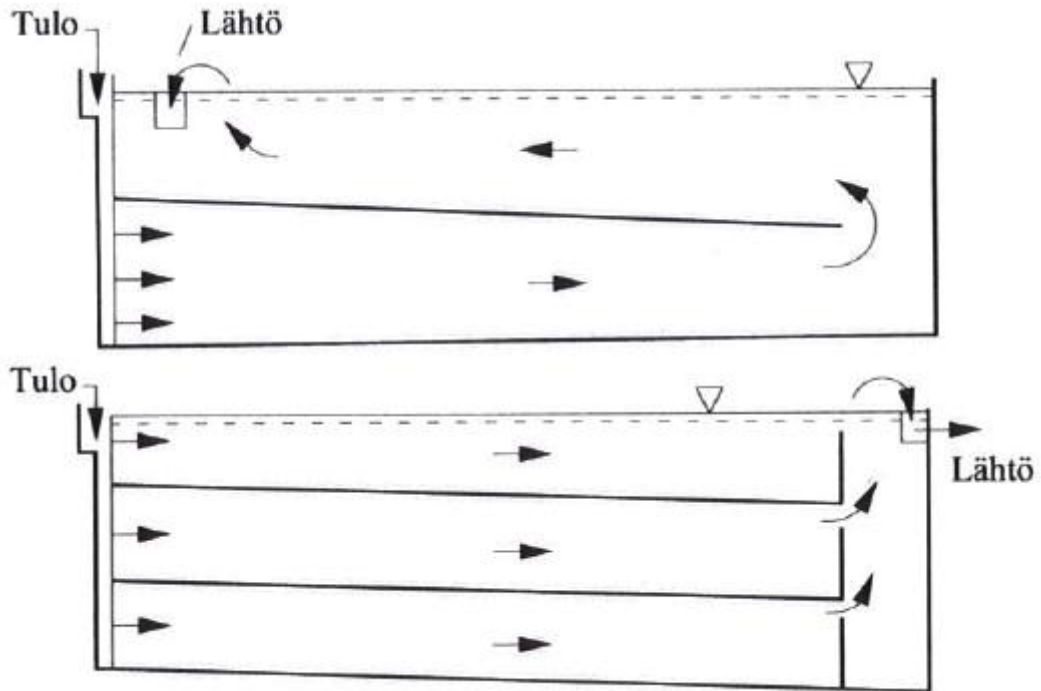
[15, s. 77–84.]

4.3.3 Tehostetut laskeutusmenetelmät

Yksinkertaisen laskeutuksen heikko tehokkuus kannustaa etsimään prosessiin erilaisia parannuskeinoja. Koska laskeutusilmiöön sinänsä ei voida vaikuttaa, on periaatteena ollut joko lisätä laskeutusaltaan teoreettista pinta-alaa, jolloin samalla pintakuormalla saadaan suurempi tehokkuus tilavuusyksikköä kohtaan tai muuttaa virtaustila mahdollisimman stabiiliksi, jolloin laskeutusprosessi toimii varmemmin.

Viipymän pidentäminen ei yleensä tule kysymykseen prosessin tuloksen parantajana. Se edellyttää suurennettua allaskapasiteettia ja täten lisää kustannuksia. Jätevesien käsittelyssä liian pitkä viipymä aiheuttaa jäteaineiden hajoamista jo laskeutusaltaissa, josta seuraa monenlaisia käyttöhäiriöitä.

Teoreettista allaspintaa voidaan lisätä rakentamalla altaaseen yksi tai useampi välipohja eli lamelli. Pintakuormaa laskettaessa otetaan näissä allastyypeissä huomioon sekä altaanpinta että välipohjat. Kun lamellien kaltevuus on riittävä, flokkautuneet hiukkaset liukuvat jatkuvana virtana altaan pohjalle.



Kuva 9. Välipohjalla varustettuja laskeutusaltaita [15, s. 84.]

Kuvan altaat eroavat toisistaan veden virtaussuunnassa. Ensimmäisessä altaassa vesi lasketaan altaaseen alhaalta, jolloin vesi virtaa alhaalta ylöspäin ja toisessa altaassa järjestys on päinvastoin. Jälkimmäinen vaihtoehto on johdonmukaisempi, koska tällöin virtauksessa ei esiinny kovinkaan suuria veden ja kiintoaineksen välisiä suhteellisia nopeuseroja ja hiukkasten uudelleen sekoittuminen on myös vähäistä. Koeolosuhteissa on lamelliperiaatteella päästy kymmenen kertaa tehokkaampaan laskeutukseen verrattuna yksinkertaiseen laskeutukseen.

Lamellien asemasta voidaan käyttää myös putkia, joiden hydrauliset ominaisuudet prosessia ajatellen ovat vieläkin edullisemmat. Putket voidaan asentaa jyrkkään kaltevuuteen, jolloin toimintatapa on jatkuva, kuten lamelleja käytettäessä. Putket voidaan asentaa myös lähes vaakasuoraan, mutta tällöin allas on lietteen poistoa varten tyhjennettävä ja putket huuhdeltava samalla. [3, s. 84–85.]

5 Poistovesijärjestelmän mitoitus

Poistovesijärjestelmää mitoittaessa törmätään teoriassa moniin olettamuksiin ja laboratorio-olosuhteissa havaittuihin ilmiöihin. Teorian soveltamista käytännössä heikentää työmaalla jatkuvasti muuttuva tilanne esimerkiksi virtauksessa. Oikein mitoitettu järjestelmä kuitenkin mahdollistaa vesienkäsittelyn kohtuullisen stabiilissa ympäristössä sekä valvovan tahon määrittelemien haitta-ainerajojen sisällä. [15, s. 84–92.]

5.1 Laskeutuksen mitoitus

Pintakuoma on tärkein ja käytetyin parametri laskeutuksen mitoituksessa ja laskeutus tärkein yksikköoperaatio vesienkäsittelyssä työmaalla. Muita laskeutuksen suunnittelussa huomioon otettavia tekijöitä ovat turbulenssi, oikovirtaukset, tehokas vesisyvyys, keskimääräinen vaakasuora nopeus ja veden viipymä. [15, s. 88.]

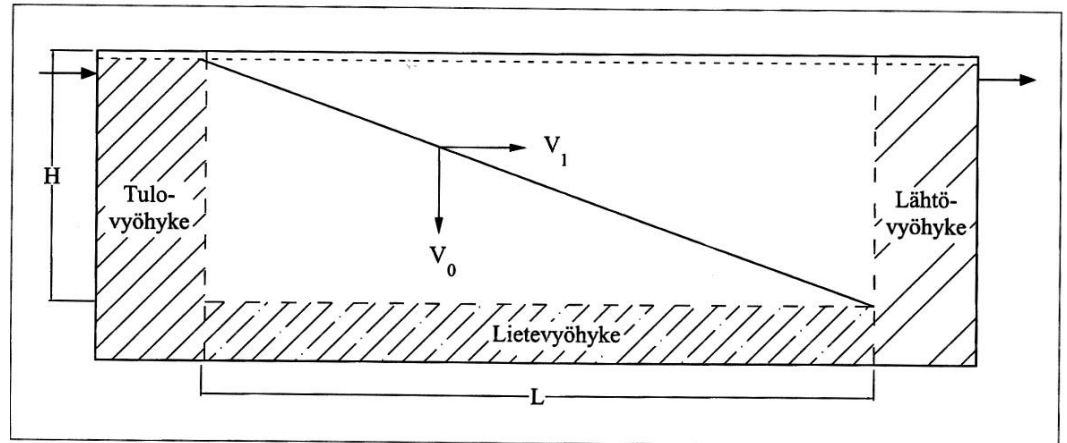
5.1.1 Pintakuorma

Pintakuormateoria perustuu yksittäisen hiukkasen laskeutumisteoriaan, jolloin laskeutumisenopeuteen vaikuttavia tekijöitä ovat hiukkasten muoto ja keskinäinen etäisyys. Mitä enemmän hiukkanen poikkeaa pallosta, sitä hitaampaa laskeutus on. Pintakuormaa voidaan mieltää erään paksuisena vesikerroksena johon partikkeleja on kerääntynyt yhdessä aikayksikössä.

Esimerkki

Suorakulmaisessa altaassa, jonka pituus on l , syvyys h ja leveys b johdetaan hiukkasia sisältävää vettä tasaisesti jakautuneena koko altaan poikileikkaukselle. Tulovyöhykkeestä lähtövyöhykkeelle altaassa vallitsee tasainen virtausnopeus. Oletetaan, että kaikki hiukkaset ovat ehtineet laskeutua ja erottua vedestä altaan pohjalle ennen lähtövyöhykkeen rajakoh-
taa.

Jotta hiukkanen laskeutuisi altaan pohjalle, on sen laskeutumisenopeuden oltavan suurempi, kuin veden aiheuttama noste.



Kuva 10. Yksittäisen hiukkasen laskeutuminen suorakaiteenmuotoisessa altaassa, kun virtaus on horisontaalista. [15, s. 86]

Viimeinen hiukkanen, joka ehtii erottua vedestä ja jäädä altaan pohjalle, on aivan pinnassa altaan tulovyöhykkeellä. Virtausaika t altaan pituus-suunnassa on siten sama kuin hiukkasen laskeutumisaika alaspäin matkalla h , kun laskeutumisnopeus on v_v ja virtausnopeus v_h .

$$t = \frac{l}{v_h} = \frac{h}{v_v}$$

t = laskeutumiseen tarvittava aika, h

l = altaan tehokas pituus, m

v_h = partikkelin vaakasuora nopeus, m/h

v_v = partikkelin nopeus alaspäin, m/h

Kun taas $v_h = Q / (h * b)$, jossa Q on virtaama altaassa. Ottamalla huomioon, että $A = b * l$ saadaan

$$v_v = \frac{h * v_h}{l} = \frac{Q * h}{h * b * l} = \frac{Q}{A}$$

$$v_v = \text{pintakuorma} = v_p$$

Teoria esittää, että kaikki ne hiukkaset, joiden nopeus on suurempi kuin v_p , laskeutuvat altaan pohjalle. Partikkelit, joiden nopeus on pienempi kuin v_p , poistuvat altaasta no-

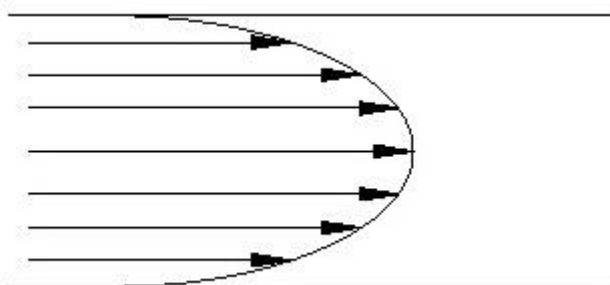
peuksien suhteessa v/v_p , jossa v on laskeutuvat partikkelin nopeus. Pintakuormateorian mukaan laskeutuksen tulokseen ei vaikuta altaan syvyys.

Todellisuudessa virtausolosuhteet muuttuvat jatkuvasti ja tästä syystä pintakuorman tulokset pitävät paikkansa vain likimäärin. Epätarkkuudesta huolimatta pintakuorma on yleisesti käytetty mitoitusparametri ja sen suuruus vaihtelee käytännössä 0,8 ... 1,5 m/h välillä.

[15, s. 79, 85–87.]

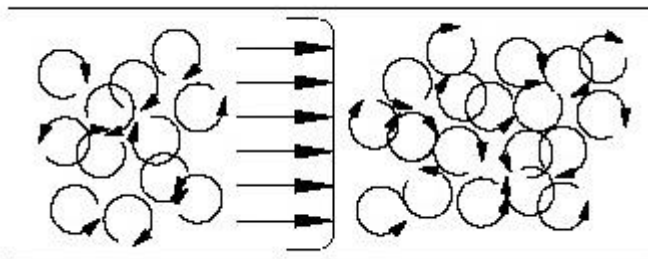
5.1.2 Turbulenssi

Neste voi edetä kahdella täysin erilaisella tavalla: laminaarisesti tai turbulentsesti. Laminaarisessa virtauksessa nesteen hiukkaset etenevät tasaisesti rinnakkaisissa kerroksissa.



Kuva 11. Laminaarinen virtaus [19.]

Yleisin virtausmuoto on turbulentsi, jossa itse virtaus etenee suoraan, mutta yksittäiset hiukkaset sinkoilevat nesteen sisällä sinne tänne sekoittaen rinnakkaiset kerrokset.



Kuva 12. Turbulenttinen virtaus. [19.]

Turbulenssia ei voida täysin estää laskeutusaltaissa, mutta sen kanssa voidaan toimia hyväksyttävissä rajoissa. Turbulenssia arvioidaan Reynoldsin luvulla, joka on tärkeä dimensioton suhdeluku virtausmekaniikassa. Luvun ollessa pieni nesteen oma massa pystyy vastustamaan muita voimia ja pysymään niin sanotusti koossa. Reynoldsin luvun arvon tulee olla < 10000 mitoittaessa virtaamaa. Tämän arvon ylittävät luvut kertovat, että virtaus on varmasti turbulenttisenä.

$$Re = \frac{v * R}{\nu}$$

v = keskimääräinen virtausnopeus, m/s

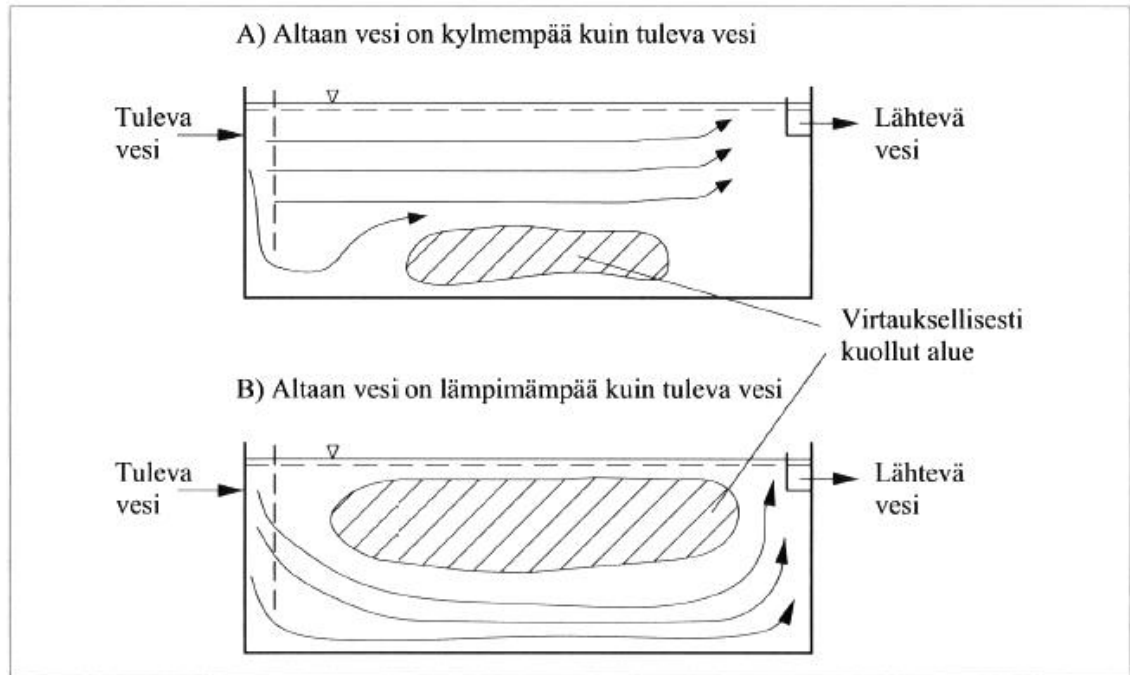
R = hydraulinen säde, m

ν = veden kinemaattinen viskositeetti, m^2/s

Laskeutusaltaiden tulo- ja lähtöjärjestelyillä voidaan vaikuttaa virtaukseen ja sitä kautta turbulenssiin [15, s. 92].

5.1.3 Oikovirtaukset

Yleinen laskeutustehoa heikentävä tekijä on veden tiheyseroista johtuva oikovirtaus. Oikovirtauksia laskeutusaltaissa aiheuttaa altaaseen johdetun veden ja altaassa olevan veden lämpötilaero. On havaittu jo $0,3 \text{ } ^\circ\text{C}$ eron vaikuttavan veden tiheyteen niin paljon, että erilämpöiset vesikerrokset eivät sekoitu keskenään ennen lämpötilojen tasaantumista ja tällöin altaasta jää osa tilavuudesta käyttämättä.



Kuva 13. Tiheyseroista johtuvia oikovirtauksia laskeutusaltaassa [15, s. 95]

Laskeutuksen tehoa heikentävää oikovirtausta aiheutuu myös altaan muodosta johtuvasta epäedullisesta hydraulikasta. Mitä leveämpi suorakulmainen allas on suhteessa pituuteen, sitä enemmän todellinen virtausaika eroaa lasketusta arvosta. Näin ollen leveämmän altaan kokonaistilavuudesta osa on toiminnan kannalta hyödytöntä tilaa. [15, s. 94–96.]

5.1.4 Muut huomioon otettavat tekijät

Edellä kerrotun pintakuormateorian mukaan muilla tekijöillä, kuin partikkelin laskeutumisnopeuden ja pintakuormalla, ei ole vaikutusta laskeutuksen tehoon. Tämä teoria ei ole kuitenkaan käytännössä riittävä, jo sen vuoksi, että monesti työmaan poistovedessä on suspendoituneita partikkeleja, jotka eivät käyttäydy yksittäisen hiukkasen tapaan.

Mitoitustekijä	Numeerinen arvo
Keskimääräinen vaakasuora nopeus, m/min	0,15...0,9
Vesisyvyys, m	3...5
Viipymä, h	1...2
Poistokourun reunakuorma, m ³ /(h·m)	5...11*
Lietetilavuuskuorma S _{MLSS} , m/h	0,25...0,7
Reynoldsin luku, turbulenssi	< 10 000
Frouden luku, oikovirtaus	10 ⁻⁵ ...10 ⁻⁶

Kuva 14. Vaakalasketusaltaan mitoitusarvoja [15, s. 89.]

Yllä olevassa taulukossa (kuva 14) on esitetty tyypillisiä mitoitusarvoja jätevedenpuhdistamon laskeutusaltaille [15, s. 88].

5.2 Koagulantikemikaalin määrän arviointi

Työmaalla alati muuttuvan poistoveden konsentraation vuoksi vesianalyysillä voidaan arvioida vain likimäärin koagulointiin tarvittavat kemikaalimäärät. Itse koagulaatiokemikaalin määrä riippuu niin monista ja osaksi tuntemattomista tekijöistä, että annostelussa joudutaan turvautumaan kokemukseen. Käytetyn kemikaalin optimiannosta määriteltessä suhteutusta muutetaan, kunnes edullisin yhdistelmä järjestelmän kannalta löydetään.

Veden ja kemikaalin sekoittaminen on tapahduttava tehokkaasti ja nopeasti. Tapahtumaan tulisi mieluiten käyttää erityistä pikasekoitusallasta, jossa viipymä on enintään muutama minuutti. Kemikaali voidaan syöttää altaan tuloputkeen juuri ennen ulostuloa, jolloin kemikaali sekoittuu turbulenssin avulla. Tässä altaassa turbulenssista on vain hyötyä. [15, s. 88–89.]

5.3 pH:n säätely hiilidioksidilla

Monilla työmailla ilmenee ongelmia poistoveden pH:n kanssa. Syy löytyy ruiskubetonin, tarkemmin betonissa käytettävän sementin erittäin korkeasta emäksisyydestä. Kun työmaalla ruiskutustahti kasvaa, useimmiten pH:ta on saatava laskettua, jotta vaadituissa raja-arvoissa pysytään.

Helpoin, turvallis ja kustannustehokkain ratkaisu työmaaolosuhteissa on hiilidioksidi. Hiilidioksidi muodostaa veden kanssa heikon hapon, jolla pH:ta pystytään säätämään tarkasti ja turvallisesti.

Hiilidioksidia voidaan syöttää vakiomäärä laskeutusaltaaseen jatkuvasti, mutta tämä ratkaisu on harvoin kustannustehokas. Automatisoitu järjestelmä poistaa tarvittavan mitoittamisen hiilidioksidin määrälle sekä vaatii vain vähän ylläpitotoimenpiteitä, joten usein päädytään tähän. Järjestelmässä on pH-anturit, jotka välittävät reaaliaikaista tietoa tietokoneyksikölle, joka ohjaa hiilidioksidin syöttöä.



Kuva 15. Automatisoidun pH-laitteiston anturit



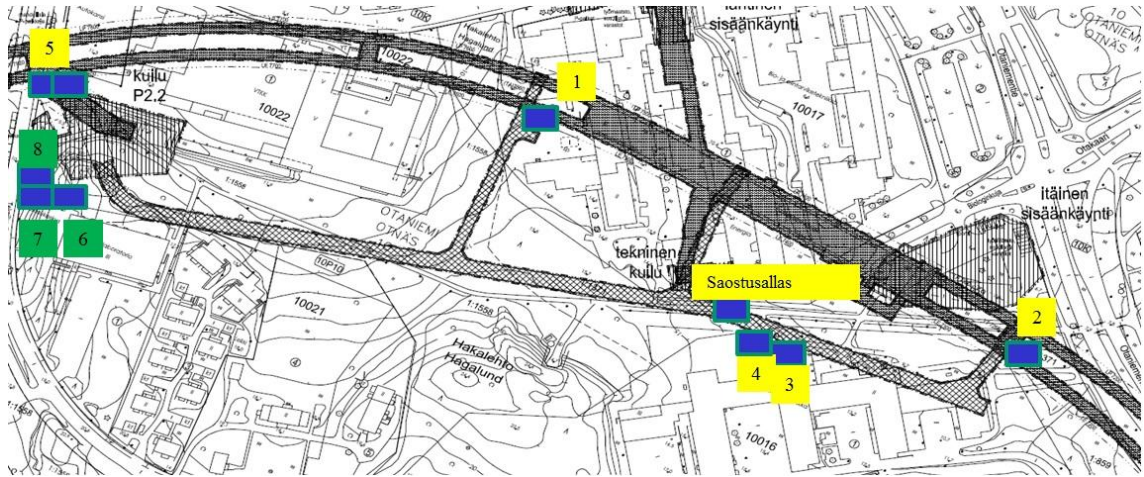
Kuva 16. Automatisoidun pH-laitteiston tietokone



Kuva 17. Automatisoidun pH-laitteiston syöttöputkisto säätimillä

6 Vesienkäsittelymenetelmät ja niiden kehittäminen

SRV Rakennus Oy järjesti Otaniemen metrotyömaalla poistoveden pumppauksen ja käsittelyn alla olevan kuvan 18 mukaisesti.



Kuva 18. Työnaikainen poistovesijärjestelmä

Tunneliin kertyvät veden pumpattiin keräysaltaisiin, jotka ovat numeroitu 1 - 5. Itäperistä tuleva vesi johdettiin 2 -> 3 -> 4 altaan kautta saostusaltaaseen. Länsiperän vedet johdettiin altaan numero 5 kautta saostusaltaaseen. Allas numero 1 toimi metroaseman alueen kokooja-altaana. Saostusaltaan syvyys oli 3 m, leveys 12 m ja pituus 7 m. Saostusaltaalta osittain puhdistunut vesi pumpataan edelleen tunnelin ulkopuolisiin laskeutusaltaisiin 6 - 8. Altaasta numero 8 puhdistunut vesi johdettiin HSY:n viemäriverkostoon.



Kuva 18. Poistovesijärjestelmän prosessikaavio

Tilaaaja oli määritellyt ainoaksi mitoittajaksi vesienkäsittelyssä pintakuorman, jonka tuli olla 0,40 m/h. Oletetulla virtauksella, joka työmaan aluksi oli 15 m³/h ja ainoastaan sa-

ostusallasta käytettynä laskuissa pintakuorman teoreettinen arvo oli 0,18 m/h. Tämä arvo alitti vaaditun reilusti, mutta silti työmaan aikana ilmeni monia ongelmia ja kiintoaineraja-arvon ylityksiä viikoittaisissa poistoveden laboratoriotesteissä.

Ongelmaksi koettiin pumppauksen syklit. Ajoittain pumppuja ajettiin täydellä teholla ja välillä ne olivat sammutettuina. Osittain pumppauspiikit johtuvat työn luonteesta, mutta osittain myös tietämättömyydestä.

Esimerkki

Louhittavassa laskuperässä huomataan loppuviikosta vuotoa, mutta perjantaina sinne ei järjestetä asianmukaista pumppausta. Viikonloppuna ei louhita ja perä jää valvomatta. Maanantaina laskuperässä odottaa monia satoja kuutioita vettä vuodoista ja avo-ojista valuneena. Pumppaus käynnistetään. Porauksen alkaessa pumpuille tulee työtä n. 0,1 m³/min jo olemassa olevan lisäksi ja näin virtaus systeemissä kasvaa. Kyseinen ilmiö voi toistua viikon aikana monesti.

Liian kova virtaus aiheuttaa turbulenssia, joka ottaa laskeutusaltaista mukaansa jo laskeutunutta kiintoainesta. Prosessin hallinnointi vaatii erityistä huomiota virtauksen suhteen.

6.1 Kehitysehdotuksia vesienkäsittelyyn

6.1.1 Taajuusmuuttaja osana pumppausta

Taajuusmuuttaja on elektroninen laite, joka kytketään kahden erillisen sähköverkon välille. Sen pääasiallinen käyttötarkoitus on sähkömoottorin pyörimisnopeuden säätö. Suoraan sähköverkkoon kytketty moottori pyörii vakionopeudella, jonka määrittää sähköverkon taajuus. Kytkemällä taajuusmuuttaja sähkömoottorin ja verkon väliin, voidaan moottorin nopeutta säätää portaattomasti muuttamalla verkosta tulevan sähkövirran taajuutta.

Taajuusmuuttajaa käyttämällä saavutetaan monia merkittäviä etuja. Sähkömoottoreille ominaisen suuren käynnistysvirran ja siitä johtuvan sähköverkon jännitteen alenema

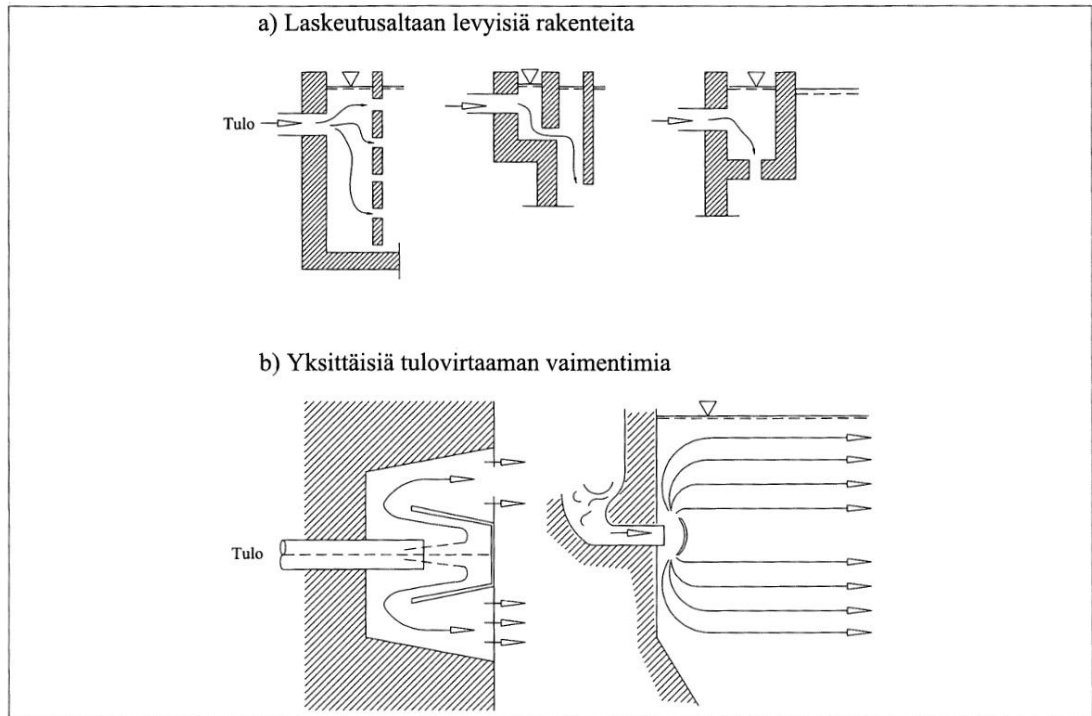
saadaan hillittyä taajuusmuuttajalla. Laitteella voidaan säätää virtaa ja taajuutta niin, että moottori kiihtyy haluttuun nopeuteen ramppimaisesti ja näin käynnistysvirta pysyy kohtuullisena eikä sähköverkon jännite alene. Hidas kiihdytys ja pysäytys säästävät ohjattua moottoria, työlaitteita, vaihteistoja, hammaspyöriä ja muita voimansiirtoon liittyviä komponentteja.

Energiansäästö on myös yleinen käyttöperuste taajuusmuuttajalle. Esimerkiksi pumpu- ja puhallinkäytössä moottoroidun laitteen nopeus voidaan säätää täsmälleen prosessille sopivaksi ja näin epätarkat säädöt eivät aiheuta ylimääräisiä energiakustannuksia. [20.]

6.1.2 Virtauksen tulo- ja lähtöjärjestelyt laskeutusaltaissa

Tulojärjestelyjen epäonnistuminen vaakalasketusaltaassa voi aiheuttaa pysyviä häiriöitä, jotka heikentävät altaan laskeutustehoa. Häiriöalueella virtausajat ovat suurempia, kuin suunniteltu viipymä ja kiintoaines kulkeutuu seuraavaan altaaseen laskeutumatta.

Laskeutukselle edullisten hydraulisten olosuhteiden aikaansaamiseksi on kiinnitettävä huomiota altaiden tulo- ja lähtöjärjestelyihin. Yksityiskohdissa sovellukset eivät juuri eroa toisistaan. Olennaista järjestelyille on, että tuleva vesi jakaantuu mahdollisimman tasaisesti koko poikkileikkaukselle. Tähän voidaan käyttää estelevyjä, vaimennussäleikköjä tai virtauksen suuntaamista altaan päätyseinää vasten. Alla olevassa kuvassa on esitetty muutama esimerkki. Vaativissa tapauksissa suunnittelussa voidaan käyttää pienoismallikokeita apuna havainnollistamaan eri vaihtoehtoja. [15, s. 93.]



Kuva 19. Laskeutusaltaan tulojärjestelyjä [15, s. 93]

7 Yhteenveto

SRV Rakennus Oy kokee, että poistovesien hallinnointi työmaalla on merkittävä osa onnistunutta hanketta ja se ei ole tällä hetkellä halutulla tasolla. Ongelmana nähtiin myös ohjeistuksen ja yleissuunnitelmien puute. Työn teettäjä halusi, että eri vaihtoehtoja tutkitaan ja samalla kehitetään nykyistä järjestelmää toimivammaksi. Tietoa aiheeseen on etsitty alan kirjallisuudesta ja internetistä.

Työtä tehdessä selvisi, että työmaalla elänyt oletamus allaspinta-alan kasvattamisen hyödyistä on virheellinen ilman muita toimenpiteitä kuten virtauksen rajoittamista. Virtauksen rajoittaminen poistaa haitallista turbulenssia ja se onnistuu muokkaamalla laskeutusaltaiden veden tulo- ja lähtöjärjestelyjä koko altaan leveydeltä. Pumpun yhteyteen asennettu taajuusmuuttaja pystyy myös takaamaan tasaisen virtauksen. Myös pintakuormateorian avulla voidaan näyttämää toteen, että laskeutusaltaita modifioimalla päästään huomattavasti tehokkaampaan laskeutustulokseen kuin altaiden lukumäärää lisäämällä.

Tulokset ovat luotettavista lähteistä sovellettua tietoa. Ongelma piilee niiden puhtaassa teoreettisuudessa. Sovellukset olisikin hyvä varmistaa asianmukaisin kokein työmaalla, mutta tähän on vain harvoin aikaa ja kohdennettuja resursseja aikatauluissa sekä budjetissa. Insinööriä voisi viedä eteenpäin kohti suljettua vesikiertojärjestelmää, jossa vettä lisätään järjestelmään tai pumpataan viemäriin vain häiriötapauksissa.

Lähteet

[1.] SRV Rakennus Oy:n referenssit. Saatavissa:

<https://www.srv.fi/palvelut/referenssit>

Luettu: 18.3.2014

[2.] Rakennuslehden projektit osio. Saatavissa:

<http://www.rakennuslehti.fi/2011/03/lansimetro-ja-srv-toimitilat-sopimukseen-otaniemen-metrotunnelin-ja-aseman-louhinnasta/>

Luettu: 8.4.2014

[3.] Maanalaisen kalliorakentamisen kaavoitus- ja lupamenettely, Maanalaisten tilojen rakentamisyhdistys ry, Helsinki, ISBN 951-96180-6-6 (PDF)

[4.] Kaivoslain tietopaketti, Suomen luonnonsuojeluliitto ry. Saatavissa:

<http://www.sll.fi/mita-sina-voit-tehda/vaikuta-lahiymparistoosi/tietopaketti-kaivoslaista-ja-viranomaisvaiheista>

Luettu: 8.4.2014

[5.] Helsingin kaupungin työmaavesiohje, Helsingin kaupunki. Saatavissa:

<http://www.hel.fi/hel2/ymk/julkaisut/oppaat/Tyomaavesiohje.pdf>

Luettu: 18.12.2013

[6.] Kaivosturvallisuussäädökset, Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes), Helsinki, ISBN 978-952-5649-34-5 (PDF). Saatavissa:

http://www.tukes.fi/Tiedostot/kaivokset/kaivosturvallisuussaadokset_opas.pdf

Luettu: 8.4.2014

[7.] Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Saatavissa:

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

[FI/Asiointi ja luvat/Luvat ilmoitukset ja rekisterointi/Ymparistolupa](http://www.ymparisto.fi/fi-Asiointi_ja_luvat/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa)

Luettu: 10.12.2013

[8.] Infrahankkeiden turvallisuusriskien tunnistusmenetelmä, Liikennevirasto, Dnro 3067/090/2012. Saatavissa:

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/kaytto-ohje_turvallisuusriskit.pdf

Luettu: 17.4.2014

[9.] Tolvanen Raija, Riskienhallintaosaamisen kehittäminen, Mikkelin AMK 2011.

[10.] Melun terveysvaikutukset ja ympäristömelun häiritsevyys, Helsingin kaupungin ympäristökeskus, Helsinki, ISBN 978-952-272-324-6 (PDF). Saatavissa:

http://www.hel.fi/hel2/ymk/julkaisut/2012/julkaisu_12_12_net.pdf

Luettu: 2.9.2014

[11.] Pölyntorjunta, VTT Automaatio, Tampere. Saatavissa:

<http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/pace.pdf>

Luettu: 2.9.2014

[12.] Laaksonen Sami, Tärinävaikutusten huomioiminen hankkeen eri toimijoiden näkökulmasta, Turun AMK 2010.

[13.] Pisara-rata. Ympäristövaikutusten arviointiselostus, Helsingin kaupunki. Saatavissa:

http://www.hel.fi/static/helsinki/paatosasiakirjat/Kh2011/Esityslista23/Liitteet/Pisara-rata_ymparistovaikutusten_arviointiselostus_15.3.2011.pdf?Action=sd&id=%7B0B38110E-94CA-4C98-8119-8A8E531D8D73%7D

Luettu: 10.9.2014

[14.] Kuusela Antti, Kalliorakennustyömaan turvallisuustason arviointi ja kehittäminen, Saimaan AMK 2011.

[15.] RIL 124-2 Vesihuolto II, Suomen Rakennusliitto, Helsinki, ISBN 951-758-438-5

[16.] Kuva, Otaniemen metroaseman raiteiden linjaus. Saatavissa:

<http://www.lansimetro.fi/fi/tyomaat/otaniemi>

Luettu: 8.4.2014

[17.] Kuva, Vedenpuhdistuslaitoksen välppä. Saatavissa:

https://peda.net/yhdistykset/bmol-ry/koulutus/eyy/yhteinen_ymparisto/rehev%C3%B6ityminen/kuvamappi2/kuvamappi/jp akas-va:file/download/e3361c0f9433577d32d81c5b3efb884c56edee3c/V%C3%A4lpp%C3%A4.JPG

Luettu: 16.4.2014

[18.] Kuva, Uppopumpun siivilä. Saatavissa:

<http://tuotteet.ramirent.fi/sites/tuotteet.ramirent/files/Uppopumppu%20Pumpex%20P-601%20W.jpg>

Luettu: 16.4.2014

[19.] Kuva, Laminaarinen ja turbulenttinen virtaus. Saatavissa:

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

Luettu: 27.10.2014

[20.] Kiiski Tuomas, Taajuusmuuttajien luotettavuus, huollettavuus ja kunnossapito teollisessa ympäristössä, Tampereen Teknillinen Yliopisto 2012.

[21.] Wesanko Jyri, Riskienhallintaprosessi ja operatiivisten riskien kvantifiointi, Helsingin teknillinen korkeakoulu 2010

[22.] Riskimatriisi. Saatavissa:

http://www.tyoturva.fi/files/375/414/riski_matriisi.jpg

Luettu: 7.4.2014

[23.] Työsuojelun olosuhdemittari maa- ja vesirakentamiseen. Saatavissa:

<http://www.tyosuojelu.fi/fi/olosuhdemittarit>

Luettu: 7.10.2014

[24.] Turvataustaryhmä. Saatavissa:

<https://www.srv.fi/pitkajanteinen-tyo-toi-srvlle-valtakunnallisen-tyoturvallisuuspalkinnon>

Luettu: 7.10.2014

Työmaan poistovesien käsittely, yleisohje

1. Yleistä

Ohje on tarkoitettu helpottamaan poistovesien käsittelyn suunnittelua ja tuomaan esille mahdolliset ongelmakohdat kaluston sijoittelussa sekä kapasiteetin riittävydessä. Dokumentissa selostetaan teoreettinen mitoitus kalustolle ja sen valinta sekä tarvittavat ylläpitotyöt. Ohje on koottu opinnäytetyön aikana kertyneiden tietojen pohjalta.

2. Lähtökohtien määrittely

Mitä tilaaja vaatii?

Mitä vesilaitos määrää?

Mikä on oletettu virtaama?

3. Mitoittaminen

Poistovesijärjestelmän mitoittaminen on teoreettinen toimenpide, joka pohjautuu laboratorio-olosuhteissa havaittuihin ilmiöihin. Teorian soveltaminen täysin käytäntöön on liki mahdotonta, mutta hyvin suunniteltu järjestelmä välttää monet ongelmat käytössä.

Pintakuorma on tärkein ja käytetyin parametri mitoituksessa ja laskeutus toimivin yksikköoperaatio vesienkäsittelyssä työmaalla. Muita mitoituksessa huomioon otettavia seikkoja ovat turbulenssi ja oikovirtaukset. Näiden ilmiöiden hallitseminen voi olla hankalaa, mutta käsitteiden tiedostaminen auttaa ymmärtämään prosessia kokonaisuutena.

a. Pintakuorma

Pintakuorma voidaan mieltää erään paksuisena vesikerroksena johon kiintoainepartikkeleja on kerääntynyt yhdessä aikayksikössä. Kiintoaineksen laskeutusnopeus saadaan altaan tulovirtaaman ja pinta-alan osamäärästä.

$$v_p = \frac{Q}{A}$$

v_p = pintakuorma (m/h)

Q = virtaama (m³/h)

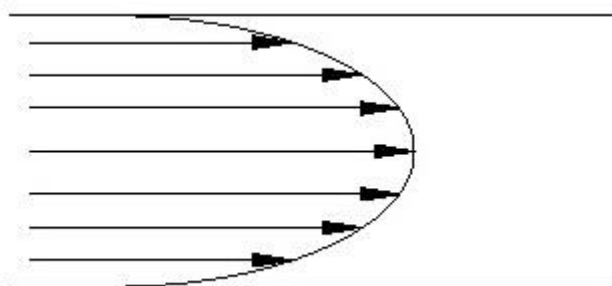
A = altaan pinta-ala (m²)

Pintakuorma ei ole riippuvainen altaan muodosta tai syvyydestä!

Teoria on yksinkertainen eikä vastaa todellisuutta. Syynä tähän on, että todelliset virtausolosuhteet muuttuvat jatkuvasti oletetusta. Epätarkkuudesta huolimatta pintakuorma on yleisesti käytetty mitoitusparametri.

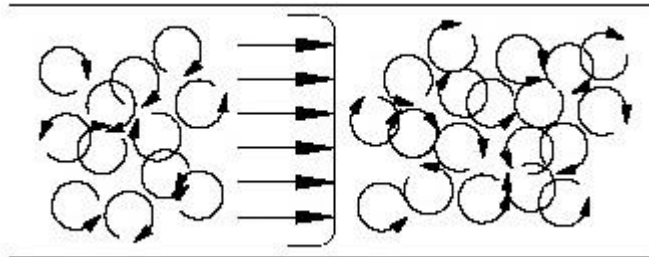
b. Turbulenssi

Neste voi edetä kahdella täysin erilaisella tavalla: laminaarisesti tai turbulentsesti. Laminaarisessa virtauksessa nesteen hiukkaset etenevät tasaisesti rinnakkaisissa kerroksissa.



Kuva 1. Laminaarinen virtaus

Yleisin virtausmuoto on turbulentsi, jossa itse virtaus etenee suoraan, mutta yksittäiset hiukkaset sinkoilevat nesteen sisällä sinne tänne sekoittaen rinnakkaiset kerrokset.



Kuva 2. Turbulenttinen virtaus.

Turbulenssia ei voida täysin estää laskeutusaltaissa, mutta sen kanssa voidaan toimia hyväksyttävissä rajoissa. Turbulenssia arvioidaan Reynoldsin luvulla, jonka arvon tulee olla < 10000 mitoittaessa virtaamaa. Tämän arvon ylittävät luvut kertovat, että virtaus on varmasti turbulenttina. Laskeutusaltaiden tulo- ja lähtöjärjestelyillä voidaan vaikuttaa virtaukseen ja sitä kautta turbulenssiin

Reynoldsin luku:

$$Re = \frac{v * R}{\nu}$$

v = keskimääräinen virtausnopeus, m/s

R = hydraulinen säde, m

ν = veden kinemaattinen viskositeetti, m^2/s

c. Oikovirtaukset

Oikovirtaukset aiheutuvat altaassa olevan veden ja sinne laskevan veden lämpötila-erosta. Veden tiheys muuttuu lämpötilan mukana, jolloin erilämpöiset vesikerrokset eivät sekoitu keskenään ja näin syntyy laskeutusaltaaseen virtauksellisesti kuollut alue. Ilmiöön ei voi vaikuttaa muuten, kuin tasaamalla lämpötilaeroja.

4. Kaluston valinta

Mitkä pumput?

Monta allasta, millaisia? Altaisiin kannattaa hitsata valutuskaukalo koko poikkileikkauksen leveydeltä tasaamaan virtausta (jolloin turbulenssi vähenee).

Kemikaalit? (pH ja koagulaatio)

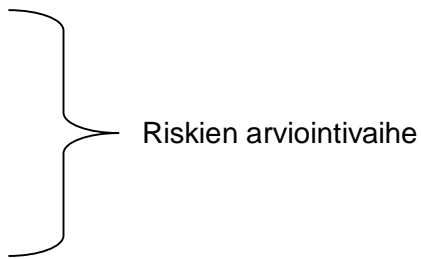
5. Ylläpito

Altaat sijoiteltava niin, että voi puhdistaa helposti kiintoaineesta.

Riskienhallinta vesienkäsittelyssä tunnelityömaalla

1. Yleistä

Vesienkäsittely on hyvä erottaa erilliseksi aihealueeksi riskienhallinnassa. Näin järjestelmää tarkastellaan kriittisemmin ja tulokset ovat lähempänä totuutta. Riskienhallintaprosessi koostuu seuraavista vaiheista:

- Taustatietojen määrittäminen
 - Riskien tunnistaminen
 - Riskien analysointi
 - Riskiarvioiden evaluointi
 - Riskihallintatoimenpiteiden toteuttaminen
 - Seuranta
 - Riskin hallinnan arviointi [21.]
- 

Taustatietojen määrittämisessä voi käyttää esimerkiksi Liikenneviraston INFRA-riskikarttaa, arviointivaiheessa riskimatriisia ja seurannassa MVR-mittaria. Riskin hallinnan arvioinnissa sopiva työkalu on Turvataustaryhmä, josta enemmän omassa kapaleessa.

2. INFRA-riskikartta

Liikenneviraston julkaisemalla INFRA-riskikartalla voidaan tarkastella hankkeen riskejä yleisesti. Julkaisussa on kerätty yleiset asiat joihin vastaamalla kyllä tai ei hankkeen taustatiedot tarkentuvat ja määrittyvät urakoitsijalle, jonka pohjalta on helppo jaotella osa-alueet riskienhallintaan.

3. Riskimatriisi

Kun vesienkäsittelyn riskit on saatu tunnistettua, on aika arvioida ne. Riskimatriisi on toimiva ratkaisu siihen. Alla kuva matriisista:

Todennäköisyys	Seuraukset		
	Vähäiset	Haitalliset	Vakavat
Epätodennäköinen	1 Merkityksetön riski	2 Vähäinen riski	3 Kohtalainen riski
Mahdollinen	2 Vähäinen riski	3 Kohtalainen riski	4 Merkittävä riski
Todennäköinen	3 Kohtalainen riski	4 Merkittävä riski	5 Sietämätön riski

Kuva 3. Riskimatriisi [22.]

Jokainen riski sijoitetaan yksitellen matriisiin, josta saadaan seuraamuksille numero. Todennäköisyys valitaan sen perusteella, kuinka usein riskin oletetaan toteutuvan.

- Epätodennäköinen, teorettinen riski
- Mahdollinen, voi tapahtua ainakin kerran hankkeen toteutusaikana
- Todennäköinen, esiintyy monia kertoja hankkeen toteutusaikana

Seuraukset arvioidaan vähäisen, haitallisen ja vakavan väliltä. Näin toimittua saadaan riskille toimenpideluokka 1 - 5 välillä.

- 1. luokka. Riskit tässä kohdassa ovat merkityksettömiä ja ne eivät edellytä toimenpiteitä.
- 2. luokka pitää sisällään vähäiset riskit. Näitä riskejä seurataan, etteivät ne pääse tunnistamattomasti nousemaan vakavampaan luokkaan.
- 3. luokan riskit ovat kohtalaisia. Ne edellyttävät tunnistamisen jälkeen suunnitellua toimintamallia varten, jos tai kun riski toteutuu.
- 4. luokassa riskit ovat merkittäviä ja edellyttävät toimenpiteitä sillä hetkellä valitsevassa työvaiheessa. Esimerkiksi jos suunnitteluvaiheessa havaitaan merkittävä riski, on siihen tehtävä toimenpiteet ko. suunnitteluvaiheessa. Vastavasti rakennusvaiheessa riski aiheuttaa välittömiä toimenpiteitä.
- 5. luokka on vakavin. Tällöin riski on sietämätön ja se vaatii välittömiä toimenpiteitä sen hallitsemiseksi.

4. MVR-mittari

MVR-mittari on maa- ja vesirakennustyömaan työturvallisuuden havaintomenetelmä. Tuloksena syntyy prosenttiluku kunnossa olevien havaintojen suhteesta kaikkiin havaintoihin. Havainnot saadaan kiertämällä koko työmaa kunnossa/korjattavaa -merkintöjä tehden ja pitämällä niistä tukkimiehen kirjanpitoa viidessä kategoriassa (työskentely ja koneenkäyttö; kalusto, sähköt ja valaistus; suojaukset ja varoalueet, ajo- ja kulkuväylät; järjestys ja varastointi).

Esimerkiksi kohdassa 1. havainnoidaan työskentelyä ja koneenkäyttöä merkitsemällä ruutuun merkintä per jokainen nähty työntekijä, myös kuljettajat. Hyväksymisperusteet on suojainten oikeaoppinen käyttö ja riskittömyys työssä. Mittarin laatuun ja luotettavuuteen vaikuttaa havaintojen määrä, joten on erittäin tärkeää, että jokainen kohde havaitaan aina ja uudet kohteet otetaan heti havaittua mukaan mittaukseen. [23.]

MVR –MITTARI

Rakennusliike:

Työmaa:

Päiväys:

	KUNNOSSA (OIKEIN)	YHT.	EI KUNNOSSA (VAARIN)	YHT.
1. TYÖSKENTELY JA KONEENKÄYTTÖ				
2. KALUSTO, SAHKOT JA VALAISTUS				
3. SUOJAUKSET JA VAROALUEET				
4. AJO- JA KULKUVÄYLÄT				
5. JÄRJESTYS JA VARASTOINTI				
	KUNNOSSA YHTEENSÄ		EI KUNNOSSA YHTEENSÄ	
MVR –INDEKSI =	$\frac{\text{KUNNOSSA (KPL)}}{\text{KUNNOSSA + EI KUNNOSSA (KPL)}} \times 100 =$			$\times 100 =$ %
Korjattavaa / Huomautukset	Vastuuhenkilö	Korjattu PVM		

VÄLITONTÄ KORJAAMISTA VAATIVAT PUUTTEET SEKÄ PUUTTEET, JOITA EI MAINITA KRITEREISSÄ. MERKITÄÄN KORJATTAVAA -KOHTAAN

TARKASTAJA _____

Kuva 4. MVR-mittari

5. Turvataustaryhmä

SRV Rakennus Oy järjestää lähes joka työmaallaan kolmen kuukauden välein riskienhallintaan keskittyvän Turvataustaryhmän kokoontumisen. Ryhmään kuuluu kunkin työmaan toimihenkilöt sekä yhtiön turvallisuuspäällikkö, alirakoitsijoiden edustajat, vakuutusyhtiön edustaja, viranomaiset ja muut sidosryhmät.

Kokouksissa on paikalla vähintään turvallisuuspäällikkö, työmaan toimihenkilöt ja tilaajan edustaja. Ensimmäisenä delegaatio tekee työmaakierroksen ja kaikki sidosryhmät tekevät havaintoja edustamastaan näkökulmasta. Kierroksen jälkeen pidetään palaveri, jossa käydään läpi työmaan sen hetkinen tilannekuva; viikoittaiset MVR-mittausten tulokset ja niiden analysointi; poikkeamat, tapaturmat ja läheltä piti -tilanteet; turvallisuusriskit sekä sidosryhmien havainnot työmaakierrokselta. [24.]