



Mikko Nurmi

Kiintoaineenpoisto kaivantovesistä on-site-menetelmällä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

9.5.2023

Tiivistelmä

Tekijä: Mikko Nurmi
Otsikko: Kiintoaineenpoisto kaivantovesistä on-site-menetelmällä
Sivumäärä: 61 sivua + 2 liitettä
Aika: 9.5.2023

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine: Ympäristötekniikka
Ohjaajat: Lehtori Miika Kuivikko
Asiantuntija Antti Seppälä

Opinnäytetyön tarkoituksena oli rakentaa helposti liikuteltava laitteisto kaivantovesien kiintoaineen poistoon. Kiintoaineenpoistolaitteisto rakennettiin yhdessä Engwater Oy:n kanssa. Työn tavoitteena oli tutkia erilaisia kiintoaineenpoistomenetelmiä ja löytää sopiva ratkaisu on-site eli paikan päällä tehtävään kiintoaineen redusointiin.

Työssä huomioidaan ja käsitellään erilaisten kohteiden maalajeja ja sitä, miksi on tärkeää tietää, millaiselle maaperälle kiintoaineenpoistojärjestelmää ollaan suunnittelemassa. Lisäksi annetaan vinkkejä silmämääräiseen maaperätarkasteluun.

Eri kohteilla on erilaiset raja-arvot kiintoaineelle, joita saa johtaa viemäriverkoston, jotta viemäriverkosto pysyy kunnossa. On tärkeää selvittää kohteen taustat viemäriverkoston raja-arvoista mahdollisimman tarkasti ennen vedenpuhdistusprosessin aloittamista.

Opinnäytetyö käsittelee aiheita, joita on otettava huomioon kiintoaineen redusoinnissa. Case-esimerkeillä pyritään luomaan aiheeseen perehtymättömämmällekin lukijalle selkeitä tapauksia, jotka tukevat luettua tekstiä.

Tulokset indikoivat rakennetun kiintoaineenpoistolaitteiston toimivan kaivantovesialueilla. Kiintoainetta pystyttiin redusoimaan alle kohteen viemäriverkoston raja-arvojen.

Avainsanat: kiintoaine, redusointi, on-site

Abstract

Author: Mikko Nurmi
Title: Solids Removal from Excavation Site Waters by an On-Site Method
Number of Pages: 61 pages + 2 appendices
Date: 9 May 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Energy and Environmental Technology
Professional Major: Environmental Technology
Supervisors: Miika Kuivikko, Senior Lecturer
Antti Seppälä, Specialist

The purpose of this thesis was to build easily movable equipment for the removal of solids from excavation site waters. The solids removal equipment was built together with Engwater Oy. The goal of the thesis was to study different solids removal methods and find a suitable solution for on-site (in its original place) solids reduction.

The thesis also considers and discusses the types of soils in different areas and the importance of knowing what kind of soil the area contains where the solids removal equipment will be placed. In addition, there are some tips on how to distinguish different types of soils from each other.

Different areas have different limit values for solids that can be led to the floor drain, so that the drainage network remains in order. It is important to know the area's background information on the limit values that can be led to the sewer system, before starting the solids removal process.

This thesis addresses aspects that need to be considered in the solids removal process. The aim of case examples is to create clear cases in support of the text for readers less familiar with the subject.

The results indicate that the solids removal equipment was sufficient to be able to remove the solids from the excavation site water areas. The reduction of the solids was below the drainage network limit values.

Keywords: solids, removal, on-site

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Suomen maalajit	2
2.1	Moreeni	2
2.2	Sora ja hiekka	2
2.3	Hienohiekka (karkea hieta) ja karkeasiltti (hieno hieta)	3
2.4	Keski- ja hienosiltti (hiesu)	3
2.5	Savi	4
2.6	Geotekninen maalajiluokitus kohteelle	4
2.7	D ₅₀ -menetelmä ja tasarakeisuus	7
3	Virtausprofiili: laminaarinen ja turbulenttinen virtaama	8
4	Kiintoaineenpoiston teoriaa	10
4.1	Pintakuormateoria	11
4.2	Case-esimerkki: kuormitus ja reduktio	12
5	Kiintoaineenpoiston menetelmiä	14
5.1	Laskeutusallas	14
5.1.1	Yksittäisen hiukkasen laskeutuminen	15
5.1.2	Case-esimerkki: laskeutuminen	18
5.2	Pystyselkeytin	19
5.3	Vyöhykeselkeytin	20
5.4	Lamelliselkeytin	22
5.5	Chevron-mallisen lamelliputken tehokkuus	26
5.5.1	Lamellin toimivuus kaivantovesialueilla: Chevron-malli	29
5.5.2	Case-esimerkki: Hazenin nopeus	30
5.6	Sykloni	30
5.7	Flotaatio ja flokit	32
5.8	Saostus	33
5.9	Suodatusmenetelmät	34
5.10	Kemiallinen avustus	37
5.11	Kiintoaineenpoistomenetelmien hyviä ja huonoja puolia	39

6	Ympäristölupa	41
7	Rakennettu selkeytin työmaavesille	43
7.1	Rakennettu laitteisto ja laitteiston toiminta	44
7.2	Testiympäristö ja esivalmistelut	48
7.3	Kemiallinen avustus ja ajo	49
7.4	Puhdistus ja lopputoimenpiteet	53
8	Tulokset	55
9	Johtopäätökset	57
	Lähteet	59

Liite 1: Viikinmäen ja Blominmäen jätevedenpuhdistamoille johdettavien jätevesien raja-arvot

Liite 2: Käytössä olevan lamellin mitat

Lyhenteet

- BHK7: Biologinen hapen kulutus mg/l (7 päivän analysointiaikana). Vastaa sitä määrää hapetta, jonka yksi litra jätevettä kuluttaa luonnossa.
- BOD: *Biological Oxygen Demand*. Biologinen hapenkulutus. Kertoo kuinka paljo hapetta mikrobit kuluttavat hajottaessaan orgaanista ainetta hapellisissa oloissa suhteessa aikaan ja lämpötilaan.
- COD_{cr}: *Chemical Oxygen Demand*. Kemiallinen hapenkulutus. Vedessä olevien kemiallisesti hapettavien orgaanisten aineiden määrä. COD_{cr} on vahvempi hapetusprosessi, kuin COD_{Mn}. COD_{Mn} alaindeksi viittaa permanganaatti-ioniin (MnO₄⁻). Kun taas COD_{cr} viittaa dikromaattikulutukseen.
- C_u: Tasarakeisuuden arvosteluperuste. Viittaa maalajin raekokosuhteeseen. $C_u = d_{60}/d_{10}$.
- D₁₀: Tehokas raekoko. Vastaa 10 %:n läpäisyä vastaavaa raekokoa. Kertoo muun muassa veden läpäisykyvystä.
- D₅₀: Keskimääräinen raekoko. Kertoo, kuinka suuri osa seulassa olevasta maa-aineksestä läpäisee seulan 50 %:n läpäisyä vastaavasta kohdasta. Kyseistä raekokoa suurempia ja pienempiä hiukkasia on suhteessa yhtä paljon.
- GEO: Geotekninen maalajiluokitus.
- On-site: Paikan päällä tapahtuva (kunnostus).
- PAH: Polysykliset aromaattiset hiilivedyt.
- RT: Rakennustekninen maalajiluokitus.

- TOC: *Total Organic Carbon*. Orgaaninen kokonaishiili. Orgaanisiin yhdisteisiin sitoutuneen hiilen määrä.
- TOD: *Total Oxygen Demand*. Hapen kokonaiskulutus. Mittaa kokonaisuudessaan jätevesinäytteessä hapettunutta ainetta.
- VOC: *Volatile organic compound*. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet.
- V_{sor} : *Surface Overflow Rate*. Pinnan ylivirtausaste. Pienimmän mahdollisen partikkelin laskeutumisnopeus, jonka laitteisto pystyy erottamaan.

1 Johdanto

Kiintoainehiukkaset ovat ongelmallisia vedenpuhdistusprosessissa. Mitä enemmän kiintoainetta puhdistettavassa vedessä on, sitä hankalammaksi käy muiden ei-toivottujen aineiden puhdistusprosessi. Joskus kiintoaine voi olla ainoa poistettava häirtatekijä. Tällaisia tilanteita voi olla esimerkiksi silloin, kun halutaan redusoida suuria määriä kiintoainesta puhdistettavasta vedestä tai jos kiintoaine ylittää kohteessa määrätyn viemäriverkoston tai muualle pois johdettavan veden raja-arvon. Kiintoaine ei ole hyväksi viemäriverkostolle ja laskee verkoston käyttöikää kuluttamalla viemäriverkoston materiaa eroosion tavoin. Kiintoaineella on myös tapana tukkia viemäriverkostoja. Mikäli puhdistettavassa vedessä on suuria määriä kiintoainesta, on järkevää ennaltaehkäistä tukkeutumista ja minimoida tukkeutumiskit.

Toisinaan kiintoaineenpoistojärjestelmä voi olla usean vedenpuhdistusprosessin ensimmäinen vaihe. Tällaisia tilanteita voi olla esimerkiksi, jos kiintoainehiukkaset häiritsevät muiden haitta-aineiden poistoa tai silloin, kun kiintoaineen lisäksi halutaan poistaa mm. öljyhiilivetyjä, PAH- (polysykliset aromaattiset hiilivedyt) ja VOC (*volatile organic compound* haihtuva orgaaninen yhdiste) -yhdisteitä. Näitä haitta-aineita voidaan yleensä poistaa adsorptiomenetelmin, jolloin on olennaista, että suurin osa kiintoainesta on poistettu vedestä.

On-site-tekniikalla tehtävä kiintoaineenpoistolaitteisto tulisi olla helposti siirrettävissä kohteeseen, eikä se saisi viedä liikaa tilaa kohteesta. Kiintoaineenpoistomenetelmistä annetaan hyviä ja huonoja puolia ja mietitään erilaisten kiintoaineenpoistomenetelmien soveltuvuutta on-site-menetelmällä tehtävään kiintoaineenpoistoprosessiin.

Taustatietojen hankkiminen kohteesta on erityisen tärkeää. Siksi opinnäytetyö käsittelee erilaisia Suomessa esiintyviä maalajeja ja antaa lukijalle mahdollisuuden perehtyä ja tunnistaa erilaiset maalajit. Se millaisella maaperällä kaivanto-vesialue sijaitsee, vaikuttaa kiintoaineenpoistoprosessiin.

Opinnäytetyö tehtiin yhdessä Engwater Oy:n kanssa. Opinnäyte antoi viitettä siitä, minkälainen voisi olla mahdollinen kaivantovesialueiden on-site-menetelmällä tehtävien kiintoaineiden poistolaitteisto. Lisäksi työssä käsitellään, mitä kaikkea on hyvä ottaa huomioon kiintoaineenpoistolaitteiston rakentamisen suunnitteluvaiheessa.

2 Suomen maalajit

Suunniteltaessa kaivantoalueen vedenpuhdistusta on hyvä ottaa huomioon kyseisen alueen maalaji. Maalajeja on erilaisia, ja osa näistä saattaa vaikeuttaa vedenpuhdistusprosessia. Esimerkiksi savi saattaa olla ongelmallinen sen pienen raekoon takia. Se minkälainen maalaji kohteessa on, voi vaikuttaa siihen, millä tavalla käsiteltävään veteen pääsee käsiksi. [1.] Maalajien nimeämisessä on käytetty geoteknistä ja rakennusteknistä maalajiluokitusta.

2.1 Moreeni

Moreeni on Suomen yleisin maalaji. Moreeni muodostuu eri maalajeista, eli on siten lajittumatonta. Moreenissa voi olla maa-ainesta lohkareista savekseen. [2.]

Moreenit ovat muodostuneet mannerjäätiköiden seurauksesta. Mannerjäätikkö murskasi ja sekoitti maalajeja. Kuivana moreenimaa on erittäin tiivistä, sillä moreenissa on aina mukana hienoainesta. Moreenimaa on yleensä harmaata ja voi sisältää eloperäistä ainetta esimerkiksi kasveista. Lähellä maan pintaa kasveista liuenneet humushapot tekevät moreenin värin kuitenkin ruskehtavaksi. [3, s. 66.]

2.2 Sora ja hiekka

Sora on lajittunut kivennäismaalaji. Geoteknisen maalajiluokituksen mukaan soran raekoko vaihtelee 2–60 mm [4]. Sora on hyvin vettä läpäisevä maalaji. Soran rakeet ovat pyöristyneitä, ja tämän lisäksi raekoko on sen verran suuri, että ne pystytään havaita paljain silmin [3, s. 66].

Hiekalle pätee samat ominaisuudet, kuin soralle mutta hiekan raekoko vaihtelee geoteknisen maalajiluokituksen mukaan 0,06–2 mm [3, s. 66–67].

2.3 Hienohiekka (karkea hieta) ja karkeasiltti (hieno hieta)

Geoteknisen maalajiluokituksen mukaan hienohiekan ja karkeasiltin maalajiluokituksen pääasiallinen raekoko on 0,2–0,02 mm. Rakennusteknisen maalajiluokituksen mukaan hienohiekka on karkeaa hietaa ja karkeasiltti hienoa hietaa. [6].

Hienohiekka on vielä paljain silmin nähtävissä. Hienohiekassa voi olla hiekan lisäksi hieman savea (alle 10 m-%). Hienohiekan voi tunnistaa kellanruskeasta väristään ja irtonaisesta, kuohkeasta ja joskus löyhästi kokkareisesta rakenteestaan. Hienohiekan vedenläpäisykyky on hyvä, osittain kuitenkin pidättyvä. Kapillaariominaisuudet ovat hienohiekassa suhteellisen voimakkaita. [6].

Karkeasiltti poikkeaa hienohiekasta siten, että rakeita on vaikea erottaa paljain silmin. Karkeasilttissä voi olla karkeampaa hietaa, karkeampaa hiesua, sekä hieman savea (alle 20 m-%). Karkeasiltin voi tunnistaa kellanharmaasta väristä ja löyhästi kokkareisesta ja pehmeästä rakenteesta. Karkeasiltin vedenläpäisykyky on heikko. Kapillaari ominaisuudet karkeasilttissä ovat kuitenkin voimakkaita. [6.]

2.4 Keski- ja hienosiltti (hiesu)

Keski- ja hienosiltin raekoko vaihtelee 0,02–0,002 mm. Savea ja hienoa hietaa voi maalajitteessa olla 20–30 m-%. Hiesun raekoko alkaa olla niin pientä, että rakeita ei pystytä enää erottamaan paljain silmin. Maalajin voi tunnistaa valkeanharmaasta väristään ja sitä voisi kuvailla hieman perunajauhomaiseksi koostumukseltaan. Kuivan ja kovan kappaleen saa hienonnettua liukkaaksi jauhoksi, joka on pölyävää ja takertuvaa. Muotoillessa hiesun kappaleeksi se voi olla aluksi kova ja hauras. Mikäli kappaletta taputtaa ja venyttää, se muuttuu hytkyväksi ja kittimäiseksi. Savesta poiketen hiesu ei ole muovailtavissa, eikä se ole sitkeää. Mikäli hiesumaa kuivuu, siinä esiintyy osittain halkeamista.

Hiesun kapillaariominaisuudet ovat heikompia kuin hienohiedassa, ja pienikin määrä vettä muuttaa hiesun juoksevaksi massaksi. [7.]

2.5 Savi

Savihiukkasen eli saveksen raekoko on alle 0,002 mm [3, s.67]. Savi maalajina sisältää savea (raekoko <0,002 mm) yli 30 m-% [8]. Saven voi tunnistaa siitä, että sitä on helppo muotoilla. Kierityskokeessa luonnonkosteana savesta saa muotoiltua kierittämällä 2 mm:n paksuisen tangon. Värin perusteella savea on vaikea tunnistaa, sillä savimaat voivat olla väriltään sinertäviä, harmaita, punertavia tai lähes mustia. Savikappaleen kuivuessa se myös kutistuu. Kuivaluujukokeessa huomataan, että savipala ei murskaannu sormivoimin. Lisäksi savi ei pölyä, mikäli sitä hangataan sormivoimin. Kiillonmäärityskokeella voidaan todeta, että veitsellä leikattaessa savikappaleen pinta on kiiltävä. [3, s. 66.]

2.6 Geotekninen maalajiluokitus kohteelle

Geotekninen maalajiluokitus otettiin käyttöön vuonna 1974 tukemaan rakennusteknillisiä ratkaisuja. Maalajiluokitus on soveltuva etenkin Suomen maaperälle. Geotekninen maalajiluokitus perustuu rakeiden syntyperään eli siihen miten erilaiset olosuhteet ovat vaikuttaneet maalajien syntyyn. Maalajiryhmät geoteknisessä maalajiluokituksessa on esitelty taulukossa 1. [9, s. 9.] Suomen maaperä on muodostunut lähinnä esihistoriallisista geologisista tapahtumista kuten jääkauden jäätikön vaikutuksesta, joka aiheutti kallion rikkoutumista, rappeutumista, hajoamista ja hautautumista [3, s. 33]. Suomen syväkivilajit ovat muodostuneet 1800 miljoonaa vuotta vanhoista poimuvuoristojen juurista [3, s. 26].

Taulukko 1. Maalajiryhmät geoteknisessä maalajiluokituksessa, sisältäen maalajin lyhenteen ja kuvauksen maalajin ominaisuuksista [3, s. 57].

Maalajiryhmä	Lyhennys	Ominaisuudet
Eloperäiset maalajit	E	Koostuu pääosin eloperäisestä aineesta tai sisältää eloperäistä ainetta > 20 m-%
Hienorakeiset maalajit	H	Lajittuneet hienorakeiset maalajit, jonka hienoainepitoisuus ($\leq 0,06$ mm) ≥ 50 % ja humuspitoisuus ≤ 20 m-%
Karkearakeiset maalajit	K	Lajittuneet karkearakeiset maalajit, jonka hienoainepitoisuus ≤ 50 %
Moreenimaalajit	M	Lajittumattomat eli useita eri lajitteita sisältävät maalajit

Geoteknisen maalajiluokituksen mukaan maalajit voidaan lajitella neljään lohkoon: eloperäiset maalajit E, hienorakeiset maalajit H, karkearakeiset maalajit K ja moreenimaalajit M. Jokaisen lohkon maalajit ovat koostumukseltaan erilaisia.

Geoteknisen ja rakennusteknisen maalajiluokituksen raekoko ja maa-aineksen nimeäminen on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Maa-aineksen nimi ja raekoko geoteknisessä ja rakennusteknisessä maalajiluokituksessa [3, s. 67].

Geotekninen maalajiluokitus	Rakeiden läpimitta (mm)	Rakennustekninen maalajiluokitus
Savi	<0,002	Savi
Siltti	0,002–0,02	Hiesu
	0,02–0,06	Hieta
Hiekka	0,06–0,2	
	0,2–2	Hiekka
Sora	2–20	Sora
	20–60	Kivet
Kivet	60–200	
	200–600	Lohkareet
Lohkareet	>600	

Geoteknisellä ja rakennusteknisellä maalajiluokituksella on hieman eroavaisuuksia rakeiden nimeämisessä. Geoteknisen maalajiluokituksen mukaan esimerkiksi siltti on raekooltaan 0,002–0,06 mm. Rakennusteknisen maalajiluokituksen mukaan 0,002–0,006 mm:n raekoko jaetaan kahteen osaan. 0,002–0,02 mm:n raekoko on hiesua ja 0,02–0,06 mm:n raekoko hietaa.

Geotekninen maalajiluokitus GEO on uudempi, kuin Rakennustekninen maalajiluokitus RT. Geotekninen maalajiluokitus otettiin käyttöön 1970-luvulla. Rakennustekninen maalajiluokitus oli ennen 1970-lukua käytössä vielä rakennusalan ammattilaisten ammattisanastona. Rakennusteknistä maalajiluokittelua nähdään vielä nykyäänkin ja on hyvä osata erottaa GEO ja RT toisistaan maankäyttelyprosesseissa. [3, s. 67.]

Geoteknisessä maalajiluokituksessa käytetään lyhenteitä ja kunkin päälajitteen alalajitetta erottamaan lajitteet toisistaan (taulukko 3).

Taulukko 3. Geoteknisen maalajiluokituksen kivennäismaalajien lajitteet, lyhenne ja raekoko [3, s. 58].

Päälajite		Alalajite	Rakeiden läpimitta, mm
Nimi	Lyhennys		
Savi	Sa		<0,002
Siltti	Si		>0,002–0,06
		Hienosiltti	>0,002–0,006
		Keskisiltti	>0,006–0,02
		Karkeasiltti	>0,02–0,06
Hiekka	Hk		>0,06–2,0
		Hienohiekka	>0,06–0,2
		Keskihiekka	>0,2–0,6
		Karkeahiekka	>0,6– 2,0
Sora	Sr		>2,0–60,0
		Hienosora	>2,0–6,0
		Keskisora	>6,0–20,0
		Karkeasora	>20,0–60,0
Kivet	Ki		>60–600
		Pienet kivet	>60–200
		Suuret kivet	>200–600
Lohkareet	Lo		>600

Suurin osa Suomen maaperästä on moreenia [9, s. 8], joka tarkoittaa sitä, että maaperä voi sisältää kaikkia eri maalajeja sekaisin. Kohteen maalajin tunnistamiseen voidaan käyttää näköhavaintoja, tunnustelua, sekä esimerkiksi d_{50} -menetelmää. D_{50} -menetelmässä maa-aines ajetaan raeseulan läpi. Maalaji nimitetään sen mukaan, mikä on sen keskimääräinen raekoko. [3, s. 56.]

2.7 D_{50} -menetelmä ja tasarakeisuus

D_{50} -menetelmällä voidaan tarkastella, kuinka suuri osa seulassa olevasta maa-aineksesta läpäisee seulan 50 %:n läpäisyä vastaavasta kohdasta. Kyseistä 50 %:n läpäisyä vastaavaa raekokoa kutsutaan keskimääräiseksi raekooksi. Kyseistä raekokoa karkeampia ja hienompia rakeita on siis suhteessa yhtä paljon. [10, s. 19]

D_{10} eli tehokas raekoko vastaa 10 %:n läpäisyä vastaavaa raekokoa. Tehokas raekoko kertoo muun muassa vedenläpäisykyvystä [10, s. 19].

Raekokosuhteeksi sanotaan d_{60}/d_{10} :n suhdetta ja sitä kutsutaan nimellä C_u . C_u on tasarakeisuuden arvosteluperuste. Maa-aines on tasarakeista eli se sisältää tiettyä lajitetta eli raekokoa, mikäli C_u saa arvon <5 , sekarakeista, jos arvo on 5–15 ja suhteistunut eli lajittumatonta, jossa pienemmät rakeet täyttävät isompien rakeiden välejä, jos arvo on >15 . [10, s. 19.]

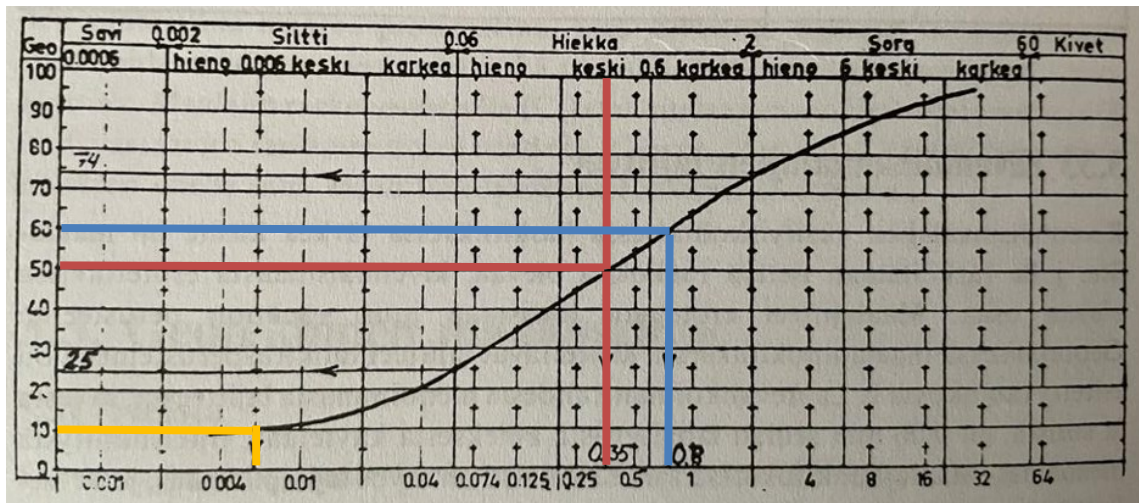
Kuvassa 1 d_{50} -menetelmällä, 50 %:n läpäisyn kohdalta luettuna maa-aines nimitetään keskihiekaksi. Tasarakeisuustarkastelussa maa-aineksen voidaan kaavan 1 mukaan todeta olevan suhteistunut, sen arvon ollessa n. 130. [3, s. 58–59.]

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0.8 \text{ mm}}{0.006 \text{ mm}} \approx 130 \quad (1)$$

jossa C_u = raekokosuhte

d_{60} = 60 %:n läpäisyä vastaava raekoko

$d_{10} = 10\%$:n läpäisyä vastaava raekoko.



Kuva 1. Rakeisuuskäyräpohja ja esimerkkirakeisuuskäyrä. Y-akselilla seulan läpäisy % ja x-akselilla partikkelin raekoko. Punaisella merkitty nimeämisperuste 50 %:n läpäisyn kohdalta. Sinisellä merkitty d_{60} -arvo ja oranssilla d_{10} -arvo. [3, s. 58.]

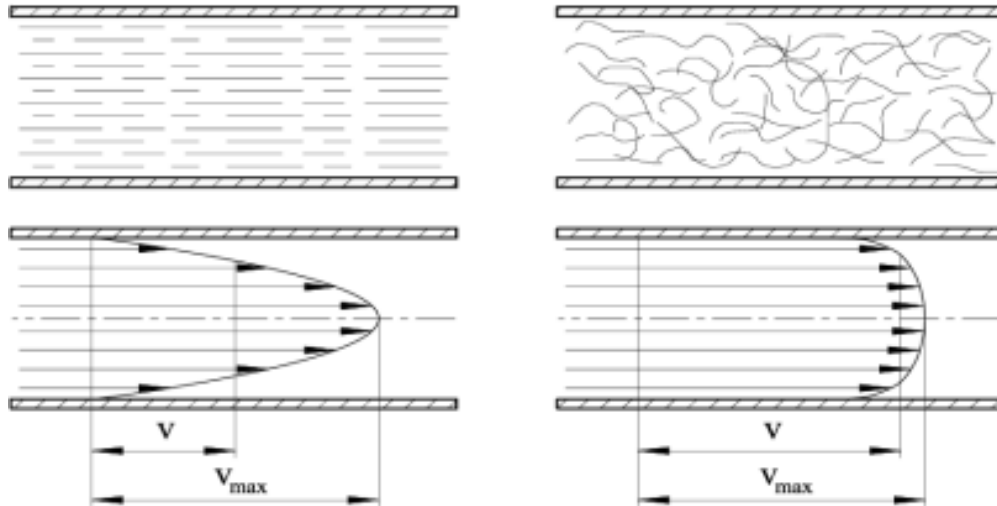
Se millaisella maaperällä kiintoaineen poistoa tehdään vaikuttaa kunnostusoperaatioon. Maankäsittelyssä maaperän koostumus vaikuttaa kaivettavuuteen ja kiintoaineen partikkelikoko vedenkäsittelyyn. On tiedettävä alueen maa-aineksen partikkeleiden raekoko, jotta voidaan valita optimaalinen kunnostusmenetelmä alueen puhdistettavalle vedelle.

3 Virtausprofiili: laminaarinen ja turbulентtinen virtaama

Erilaisten prosessien läpi kulkevan veden maksimivirtaama, jolla prosessia ajetaan, on aina erilainen. On syytä ottaa huomioon rakennetun kiintoaineenpoistoprosessin maksimivirtaama, jolla virtaus ei vielä muutu turbulenttiseksi. Virtauksen turbulenttisuus vaikeuttaa vedenpuhdistusprosessia sekoittamalla kiintoainetta takaisin kirkasteeseen eli puhdistettuun veteen. [1.]

Reynoldsin luku kertoo, onko virtaus laminaarista vai turbulenttista. Laminaarissa virtauksessa virtaus on tasaista ja nestehiukkaset liikkuvat

yhdensuuntaisesti. Turbulenttisessa virtauksessa aiheutuu pyörteitä, jolloin nestehiukkasten virtaussuunta voi kulkea jopa virtaussuuntaa vastaan. Laminaarinen ja turbulenttinen virtaama on esitetty kuvassa 2. [11, s. 175.]



Kuva 2. Laminaarinen (vasemmalla) ja turbulenttinen virtaus (oikealla) [11, s. 175].

Reynoldsin luku on dimensioton luku ja se voidaan määrittää kaavan 2 mukaan.

$$Re = \frac{\rho v_s L}{\mu} = \frac{v_s L}{\nu} \quad (2)$$

jossa Re = Reynoldsin luku

ρ = virtauksen väliaineen tiheys (kg/m^3)

v_s = virtauksen nopeus (m/s),

L = virtausta luonnehtiva pituus (m)

μ = virtauksen väliaineen viskositeetti eli sisäinen kitka ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)

ν = väliaineen kinemaattinen viskositeetti = μ / ρ (m^2/s).

Mikäli virtaus ohjataan putkeen, saadaan Reynoldsin luku kaavan 3 mukaan.

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (3)$$

jossa Re = Reynoldsin luku

ρ = virtauksen väliaineen tiheys (kg/m^3)

v = virtauksen nopeus (m/s)

d = putken halkaisija (m)

μ = virtauksen väliaineen viskositeetti eli sisäinen kitka ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)

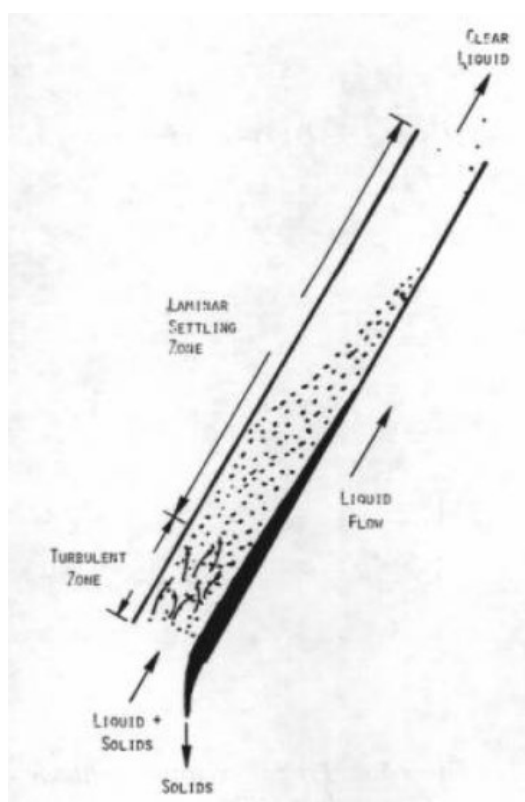
Virtaama voidaan määritellä laminaariseksi, mikäli Reynoldsin luku on alle 2 100 ja turbulenttiseksi mikäli luku on yli 2 100 [12]. Laminaarisen ja turbulenttisen virtauksen välissä on siirtymäalue, jolloin virtausta ei pystytä kategorisoi-
maan laminaariseksi tai turbulenttiseksi. Siirtymäalueen Reynoldsin luku on yleensä noin 2 000–3 000. Laskennallisesti siirtymäalueen oletetaan kuvastavan enemmän turbulenttista virtausta. [11, s. 175.]

Virtausprofiliin vaikuttaa monet tekijät, eikä tarkkojen rajojen määrittäminen laminaariselle ja turbulenttiselle virtaukselle ole aina mahdollista. Putken pinnan karheus on hyvä esimerkki tällaisesta tekijästä [11, s. 175]. Kiintoaineenpoisto-
järjestelmä vaatii, että selkeyttimessä oleva virtaama on laminaarista, jotta kiintoainepartikkeleilla on mahdollisuus laskeutua suunnitellulla tavalla.

4 Kiintoaineenpoiston teoriaa

Useimmilla kiintoaineenpoistomenetelmillä on sama peruseriaate. Kiintoaine laskeutuu painovoiman vaikutuksesta alaspäin, minkä jälkeen eroteltu kiintoaine poistetaan altaan pohjalta esimerkiksi kaapimien avulla tai altaan pohjalla olevan poistoventtiilin kautta. Häiritseviä tekijöitä kiintoaineen käyttäytymiseen

laskeutuksessa on erilaiset pyörteet. Pyörteitä voi aiheutua, mikäli selkeyttimessä on liian suuri virtaama. Toimiakseen selkeyttimessä on oltava virtaama, jonka virtausprofiili on laminaarista. Mikäli virtausprofiili muuttuu turbulenteiksi, kiintoainehiukkaset eivät enää laskeudu, vaan sekoittuvat puhdistettavaan veteen (kuva 3). Liian suuri virtaama voi myös olla ongelmallinen laminaarisessa virtausprofiilissa. Kiintoaineet eivät välttämättä ehdi laskeutua altaan pohjalle ennen kirkasteenpoistoa ja näin ollen jäävät puhdistettavaan veteen.



Kuva 3. Lamelliputkessa tapahtuva turbulenteinen virtaama putken alkupäässä [13, s. 69].

4.1 Pintakuormateoria

Pintakuormateorian mukaan hiukkaset, joiden laskeutumisenopeus on suurempi tai yhtä suuri kuin pintakuorman arvo laskeutuvat altaan pohjalle. Hiukkaset, joiden laskeutumisenopeus jää pintakuorman arvoa pienemmäksi poistuvat laskeutusaltaasta puhdistetun veden mukana. Pintakuorman arvo määritellään altaassa olevan virtaaman ja altaan pinta-alan osamääränä kaavan 4 mukaisesti.

$$vp = \frac{Q}{A} \quad (4)$$

jossa vp = pintakuorma (m/h)

Q = altaan virtaama (m³/h)

A = altaan pinta-ala (m²).

Kaavan osamäärästä saadaan pituus, jonka voidaan ajatella tarkoittavan sen vesikerroksen paksuutta, joka virtaamasta muodostuisi yhdessä aikayksikössä. Pintakuormateorian mukaan altaan syvyydellä ei ole merkitystä selkeytyksen tehokkuuteen. [15, s. 86–87.]

4.2 Case-esimerkki: kuormitus ja reduktio

Kiintoainetta halutaan poistaa, jotta se ei häiritse muiden poistettavien haitta-ainesten käsittelyä. Kiintoaine saattaa myös joissakin tapauksissa olla ainoa haittatekijä, josta halutaan eroon. Tällaiset tapaukset voivat liittyä muun muassa siihen, että viemäriverkosto ei kykene vastaanottamaan suuria määriä kiintoainetta sillä se aiheuttaa haittaa verkostojärjestelmään. Käsitellyn veden kiintoaine voi aiheuttaa haittaa myös purkupaikassa tai vastaanottavassa vesistössä. Toisenlaisessa tapauksessa kiintoainetta halutaan poistaa, jotta puhdistettavaa vettä voidaan jälkikäsitellä esimerkiksi aktiivihieillä esiselkeytyksen jälkeen. Aktiivihieitä käytetään, mikäli vedestä halutaan poistaa öljyhielet, PAH- tai VOC-yhdisteitä. Suurin osa kiintoaineesta on poistettava ennen aktiivihieleen ajamista. Yleisesti aktiivihielesuodattimeen ajetaan vettä, jossa kiintoainetta on jäljellä noin 5–20 mg/l, sillä suuremmat kiintoainepitoisuudet voivat tukkia aktiivihielesuodattimen. [1.]

Havainnollistetaan tilanne, jossa kiintoainetta on puhdistettavassa vedessä 1000 mg/l. Tällöin kiintoainetta muodostuisi virtaamalla 1, 5 ja 10 m³/h taulukon 4 mukaisesti.

Taulukko 4. Kiintoaineen kuormitustaulukko, kolmella eri virtaamalla.

	Q1	Q2	Q3	
virtaama	1	5	10	m ³ /h
kiintoaine	1000	1000	1000	mg/l
kiintoaine	1	1	1	kg/m ³
kuormitus	24	120	240	kg/d

Huomataan että vedessä, jonka kiintoainepitoisuus on 1 000 mg/l, kiintoainetta muodostuisi virtaamalla 1:5:10 m³/h, 24:120:240 kg vuorokaudessa.

Mikäli puhdistettavaa vettä halutaan ajaa aktiivihiihluodattimien läpi tilanteessa, jossa kiintoainetta saa olla enintään 5–20 mg/l sen tullessa suodattimille, on kiintoainereduktion oltava taulukon 5 mukaisia.

Taulukko 5. Kiintoainereduktio, kun aktiivihiihlueseen voidaan ajaa maks. 5–20 mg/l kiintoainetta ja kyseiseen maksimiarvoon tarvittava reduktio.

Hiiheen ajetaan kiintoainetta (maks.)	5	10	15	20	mg/l
kiintoainetta yhteensä	1000	1000	1000	1000	mg/l
reduktio %	99,5	99	98,5	98	%

Huomataan, että kiintoainereduktion on oltava 5:10:15:20 mg/l tapauksissa 99,5:99:98,5:98 %.

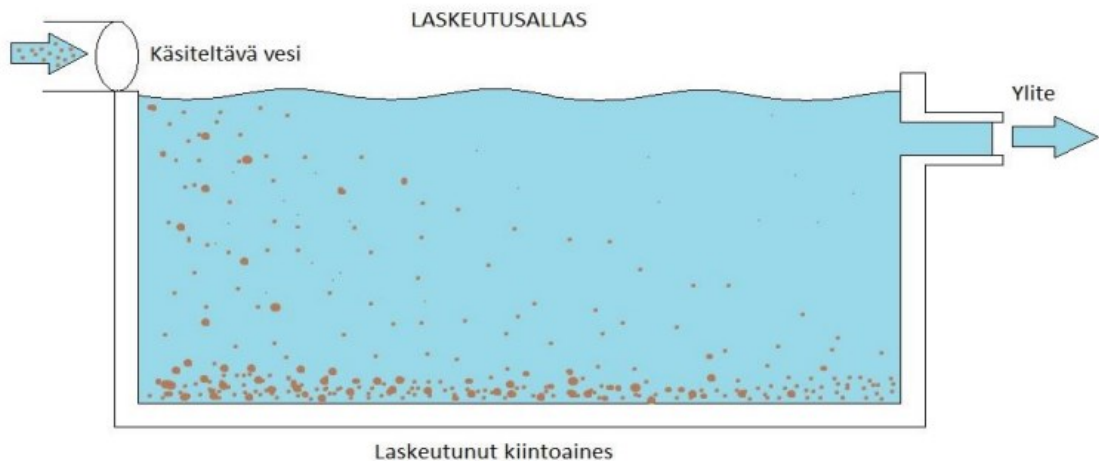
Kiintoaineenpoistojärjestelmän tulee siis olla suhteellisen tehokas poistamaan kiintoainetta. Usein yhdellä menetelmällä ei saavuteta riittävää kiintoainereduktioita. Toimiva kiintoaineenpoistolaitteisto voisi olla sellainen, joka koostuu useammasta kiintoaineenpoistomenetelmästä. [1.]

5 Kiintoaineenpoiston menetelmiä

5.1 Laskeutusallas

Laskeutusaltaan tehtävänä on poistaa puhdistettavasta vedestä kiintoainesta ja kiintoaineeseen sitoutuneita ravinteita [16]. Laskeutusallas (kuva 4) on yksinkertaisin tapa poistaa kiintoainetta. Laskeutusaltaan toimintaperiaate perustuu painovoimaan. Vettä raskaammat kiintoainepartikkelit laskeutuvat altaan pohjalle painovoiman vaikutuksesta. Laskeutuminen on aluksi kiihtyvää, kunnes saavutetaan piste, jossa veden aiheuttama vastus on hiukkasen painon suuruinen. Tämän jälkeen hiukkasen laskeutuminen tapahtuu vakionopeudella. Tasapainonopeus määräytyy hiukkasen muodon, tiheyden ja koon, sekä veden tiheyden ja viskositeetin perusteella. Laskeutuksen tehokkuus riippuu siitä, millainen on hiukkasen laskeutumisnopeus. Täten laskeutuksen tehokkuus on myös riippuvainen veden viskositeetistä ja lämpötilasta. [15, s. 77–78.]

Laskeutusaltaassa kiintoaineen laskeutustehokkuus riippuu laskeutusaltaan pinta-alasta ja virtaamasta. On tärkeää, että laskeutusaltaassa ei ole kovinkaan suuri virtaama, jotta kiintoainepartikkelit ehtivät laskeutua. Teoriassa hiukkaset, joiden laskeutumisnopeus on suurempi kuin altaan pintakuorman arvo, ehtivät laskeutua altaan pohjalle ennen kirkasteen poistoa. Pintakuorman arvo v_{sor} (*surface overflow rate*) voidaan määrittää jakamalla virtaaman Q arvo altaan laskeuttavalla pinta-alalla A (m^3 / m^2h eli m/h). Vesihuolto II:n mukaan pintakuorman arvo laskeutusaltaassa vaihtelee 0,8–1,5 m/h . [15, s. 87.] Crittenden ym. laatimassa tutkimuksessa pintakuorman arvo tyypillisessä laskeutusaltaassa vaihtelee 1,25–2,5 m/h [17, s. 689].



Kuva 4. Laskeutusallas, jossa käsiteltävä vesi virtaa laskeutusaltaan läpi. Kiintoainepartikkelit laskeutuvat altaan pohjalle. [18.]

5.1.1 Yksittäisen hiukkasen laskeutuminen

Laminaarisessa virtausprofiilissa yksittäisen hiukkasen laskeutumista voidaan kuvata Stokesin lailla (kaava 5), joka muodostuu seuraavasti.

$$v_s = \frac{g * (\rho_s - \rho) * d^2}{18 * \mu} \quad (5)$$

jossa v_s = hiukkasen laskeutumisnopeus (m/s)

g = maan vetovoima eli putoamiskiihtyvyyys (m/s²)

ρ_s = hiukkasen tiheys (kg/m³)

ρ = fluidin tiheys (kg/m³)

d = hiukkasen halkaisija (mm)

μ = dynaaminen viskositeetti (Pa*s).

Stokesin lakia voidaan käyttää virtauksen ollessa laminaarista ja Reynoldsin luvun ollessa $10^{-4} < Re < 0,2$. Virtaus voi olla myös laminaarista ja Reynoldsin luku $0,2 < Re < 500-1000$. Tällöin tulee käyttää Fairin, Geyerin ja Okunin johtamaa kaavaa 6. [14, s. 367–454.]

$$V_s = \left(\frac{4g(\rho_s - \rho)d}{3C_d\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

jossa V_s = laskeutumisnopeus (m/s)

g = maan vetovoima eli putoamiskiihtyvyys (m/s^2)

ρ_s = hiukkasen tiheys (kg/m^3)

ρ = fluidin tiheys (kg/m^3)

C_d = vastuskerroin = $24/Re + 3/Re^{1/2} + 0,34$.

Kummankin kaavan oletuksena on seuraavaa:

1. Partikkelit ovat muodoltaan pallomaisia, kovia ja sileitä ja ne ovat tiheydeltään samanlaisia.
2. Jätetään huomiotta sivuttain ja ylöspäin suuntautuvat liikkeet. Huomioidaan suunta vain alaspäin.
3. Ei huomioida muiden partikkeleiden vaikutusta tarkasteltavaan partikkeliin.
4. Partikkelin laskeutumista vastustaa ainoastaan fluidin viskositeetti. [14, s. 367–454.]

Vastuskertoimen C_d , Reynoldsin luku saadaan kaavasta 7.

$$Re = \frac{v_s * d * \rho}{\mu} \quad (7)$$

jossa Re = Reynoldsin luku

v_s = hiukkasen laskeutumisnopeus (m/s)

d = hiukkasen halkaisija (mm)

ρ = fluidin tiheys (kg/m³)

μ = dynaaminen viskositeetti (Pa*s).

Yksittäisen kiintoainehiukkasen laskeutumisnopeuteen vaikuttaa sen muoto ja keskinäinen etäisyys. Mitä enemmän hiukkanen poikkeaa pallomaisesta muodosta, sitä hitaampi on hiukkasen laskeutumisnopeus. [15, s. 79.] Taulukko 6 kuvastaa yksittäisen pallonmuotoisen hiukkasen laskeutumisnopeutta ja laskeutumisaikaa seisovassa vedessä.

Taulukko 6. Pallonmuotoisen kivennäishiukkasen (tiheys 2,65) laskeutumisnopeus liikkumattomassa vedessä $t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ [15, s. 79].

	d mm	v cm/s	Laskeutumis- aika 1 m
Sora	10,0	100,0	1,0 s
Karkeahiekka	1,0	10,0	10,0 s
Hienohiekka	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

Oletetaan, että kiintoainehiukkanen on seisovassa vedessä. Huomataan, että mitä pienempi on hiukkasen raekoko, sitä kauemmin sillä kestää laskeutua altaan pohjalle. Savella tämä voi kestää jopa vuosia.

Mikäli puhdistettavasta vedestä halutaan poistaa kiintoainetta, jonka raekoko on saven tai hienosiltin luokkaa, ei laskeutusallas sellaisenaan ole tehokas vaihtoehto kiintoaineen poistoon. Tämän lisäksi laskeutusallas mitoitetaan yleensä 3,0–4,5 metriä syväksi. Syvyys suhteutettuna pituuteen 1:15 ja leveyteen 1:4 [19, s. 171]. Huomataan, että laskeutusallas on suhteellisen suuri ja vaatii paljon tilaa. Mikäli aiotaan rakentaa helposti liikuteltavissa oleva kiintoaineenpoistolaitteisto, ei laskeutusallas ole tähän tarkoitukseen sopiva vaihtoehto.

5.1.2 Case-esimerkki: laskeutuminen

Mikäli 20 jalan merikonttiin, jonka pituus l on 5,89 m, leveys b on 2,33 m ja korkeus h on 2,37 m halutaan ajaa puhdistettavaa vettä virtaamalla 1, 5 ja 10 m³/h, saadaan pintakuorman vp arvoksi kaavan 8:n mukaan (Q1) 0,073 m/h, vp (Q2) 0,364 m/h, vp (Q3) 0,729 m/h.

$$vp = \frac{Q}{As} \quad (8)$$

jossa vp = pintakuorman arvo (m/h)

Q = virtaama (m³/h)

As = selkeyttävä pinta-ala (m²).

Partikkelin laskeutumisnopeuden on oltava suurempi kuin pintakuorman arvo, mikäli se aiotaan erottaa laskeuttamalla. Taulukossa 7 on kuvattu eri maalajien laskeutumisnopeudet yksiköissä cm/s ja m/h.

Taulukko 7. Laskeutumisnopeudet eri partikkeleille

Laskeutumisnopeudet				
Sora	100	cm/s	3600	m/h
Karkeahiekka	10	cm/s	360	m/h
Hienohiekka	0,8	cm/s	28,8	m/h
Hieta	0,0154	cm/s	0,5544	m/h
Savi	0,00000154	cm/s	5,54E-05	m/h

Huomataan, että 20 jalan merikontissa virtaamalla Q1 ja Q2 ehtivät laskeutua partikkelit, joiden raekoko on hiedan luokkaa tai sitä suurempaa. Q3-virtauksella hieta ei ehdi enää laskeutua ja jää käsiteltyyn veteen. Q3-virtauksella ehtivät laskeutua partikkelit, joiden raekoko on hienohiekan luokkaa tai sitä suurempaa. Tulo -, liete- ja lähtövyöhykkeitä ei ole otettu laskennassa huomioon.

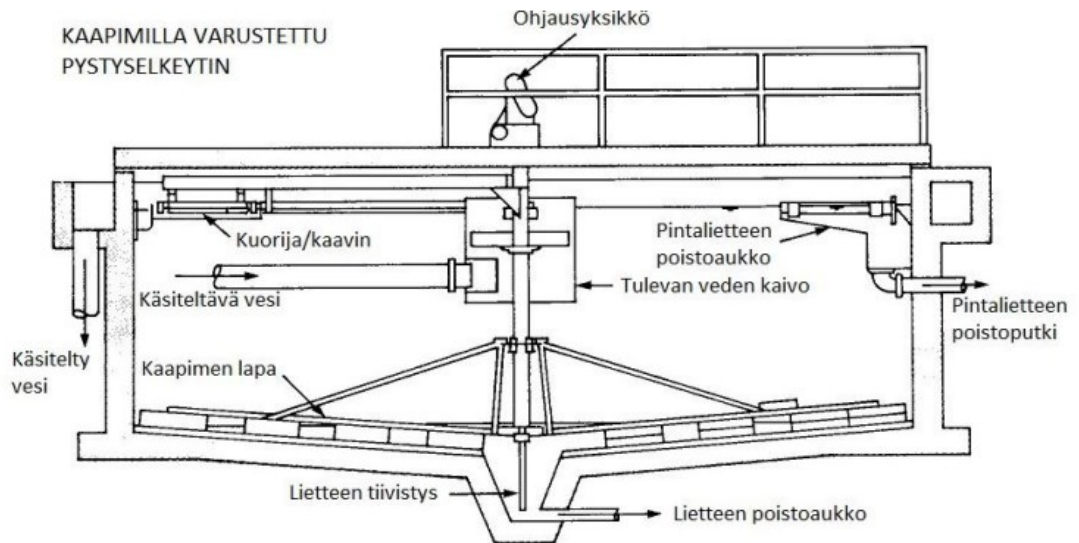
5.2 Pystyselkeytin

Pystyselkeyttimen perusidea on sama kuin perinteisen vaakalasketusaltaan. Eli annetaan hiukkasten laskeutua altaan pohjalle painovoiman vaikutuksesta. Virtaussuunta tosin poikkeaa tavallisesta vaakalasketusaltaasta. Se voi olla pystysuora tai lähes pystysuora, jolloin selkeytys tapahtuu kärjellään olevan kartion muotoisessa selkeytysaltaassa. [15, s. 91.]

Kiintoaine laskeutuu painovoiman vaikutuksesta lietteenpoistoaukkoon, mikäli pohjan kallistuskulma on yli 50 astetta [15, s. 91]. Tällainen pohjan muotoilu veisi valtavan määrän tilaa pystysuunnassa ja olisi täten epäkäytännöllinen. Tämän takia pystyselkeyttimen pohja rakennetaan yleensä 1–10 asteen kallistuskulmaan. Pystyselkeytin tarvitsee erilliset kaapimet ohjaamaan lietettä kohti selkeyttimen pohjan keskellä sijaitsevaa lietteenpoistoaukkoa. [20.] Perinteisen pystyselkeyttimen pintakuorman arvo vaihtelee 1,25–1,90 m/h [15, s. 96].

Selkeytynyt vesi poistuu altaan reunoilta ylitteenä. Joskus altaan pinnalle tarvitaan erilliset kaapimet, mikäli vedestä halutaan poistaa myös kelluvat partikkelit. Tällöin puhdistetun veden poisto tapahtuu hieman vesipinnan alapuolelta, jotta

kelluvat partikkelit eivät poistu puhdistetun veden mukana. Pystyselkeytin vaatii lähes aina selkeyttimen valamisen paikalleen. (kuva 5).

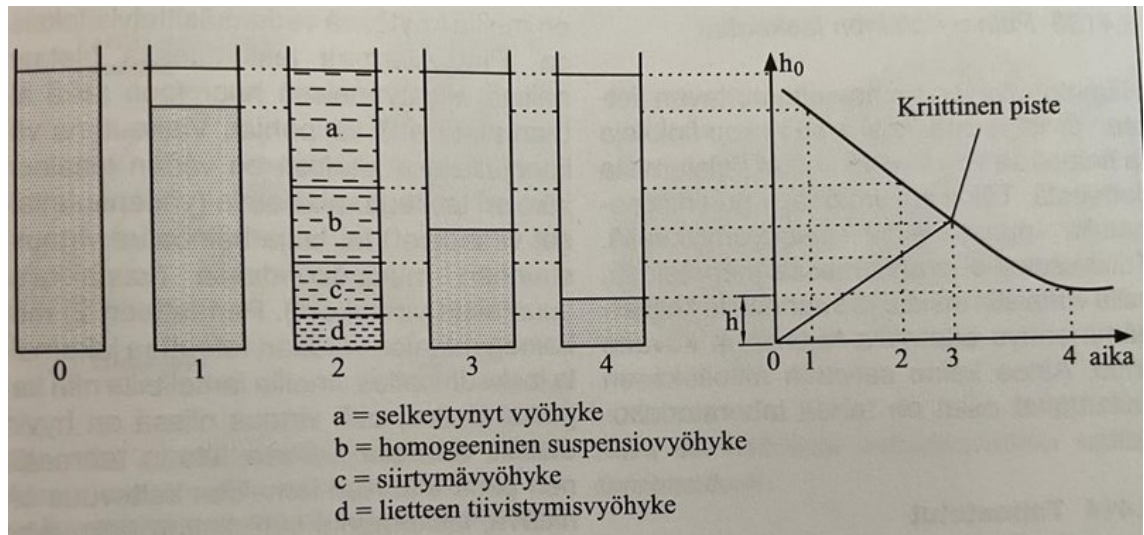


Kuva 5. Kaapimilla varustettu Dortmund-pystyselkeytin [21, s. 9].

5.3 Vyöhykeselkeytin

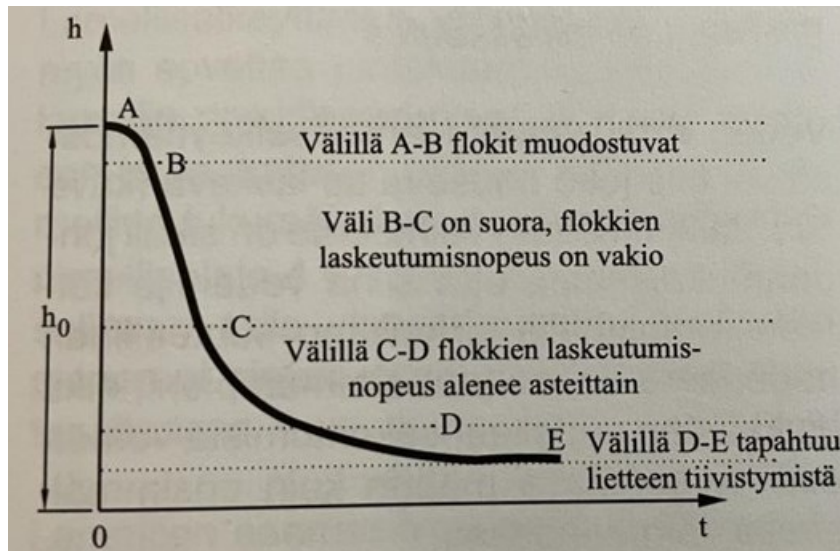
Vyöhykelaskeutumiseksi kutsutaan laskeutumista, jossa lietekonsentraatio on 2 500–3 500 mg/l. Suuri lietekonsentraatio on tyypillistä aktiivilietelaitoksilla. Laskeutumista sanotaan vyöhykelaskeutumiseksi, sillä siinä muodostuu lopputuloksena toisistaan erottuvia flokkivyöhykkeitä. [15, s. 82]

Vyöhykelaskeutumisessa voidaan havaita neljä eri vyöhykettä, jotka esitetään kuvassa 6. A-kohta esittää kuvassa selkeytynyttä vyöhykettä, b-kohta homogeenistä suspensiovyöhykettä, c-kohta siirtymävyöhykettä ja d-kohta lietteen tiivistymisvyöhykettä. Ajan kuluessa yleisesti vaiheessa 3 tapahtuu b- ja c-vyöhykkeiden häviäminen. Kohtaa, jossa vyöhykkeet b ja c häviävät, kutsutaan kriittiseksi pisteeksi. [15, s. 82]



Kuva 6. Kaaviokuva vyöhykelaskeutumisesta, jossa kohdat 0–4 kuvaavat laskeutumisen eri vaiheita. Oikealla kriittinen piste. [15. s. 83.]

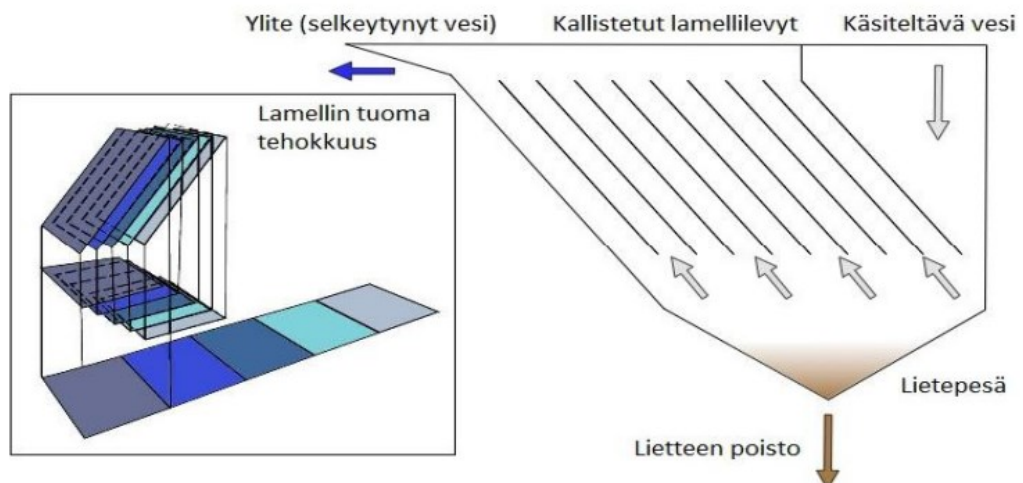
Kynchin käyrä kuvassa 7 perustuu siihen, että hiukkasen laskeutumisnopeus riippuu sen hetkisestä paikallisesta konsentraatiosta. Kohta A–B kuvastaa flokkien muodostumista. Kohta B–C kuvastaa hiukkasen laskeutumista vakionopeudella. Hiukkasen laskeutumisnopeus v_v riippuu siitä, millainen konsentraatio on alkutilanteessa, sekä suspension ominaisuuksista. Kohdassa C–D laskeutumisnopeus asteittain hidastuu. Kohdasta D eteenpäin hiukkaset joutuvat yhä useammin vuorovaikutukseen toistensa kanssa, jolloin alempana olevien kerrosten paine kasvaa. [15, s. 83.] Voidaan siis ilmaista, että mitä suurempi konsentraatio kyseisellä alueella on, sitä hitaampi on hiukkasen laskeutumisnopeus.



Kuva 7. Kynchin käyrä. Kohdat A-E kuvaavat hiukkasen laskeutumista ja sen vaiheita ajan kuluessa. [15, s. 83.]

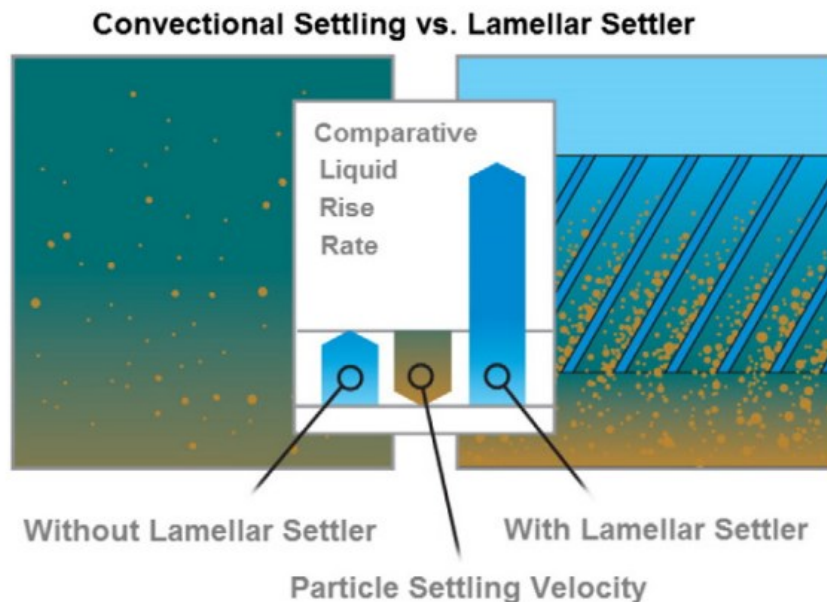
5.4 Lamelliselkeytin

Lamelliselkeytyks voi olla jopa kymmenen kertaa tehokkaampaa tilavuusyksikköä kohden kuin perinteinen laskeutusmenetelmä [15, s. 84]. Lamelliselkeyttimen toiminta perustuu lamellilevyjen kallistamiseen tiettyyn kulmaan, mikä vähentää selkeyttimen kokonaistilavuutta ja parantaa suhteellista tehokkuutta (kuva 8).



Kuva 8. Lamellin tehokkuus (vasemmalla) ja toimintaperiaate (oikealla) [21, s. 12].

Lamelliselkeytin on halvempi rakentaa ja operoida kuin perinteinen laskeutusallas, säilyttäen saman toimintaperiaatteen, joka hyödyntää painovoimaa laskeutukseen. [22.] Kiintoaineen käyttäytymistä lamellissa ja tavallisessa selkeyttimessä on havainnollistettu kuvassa 9.



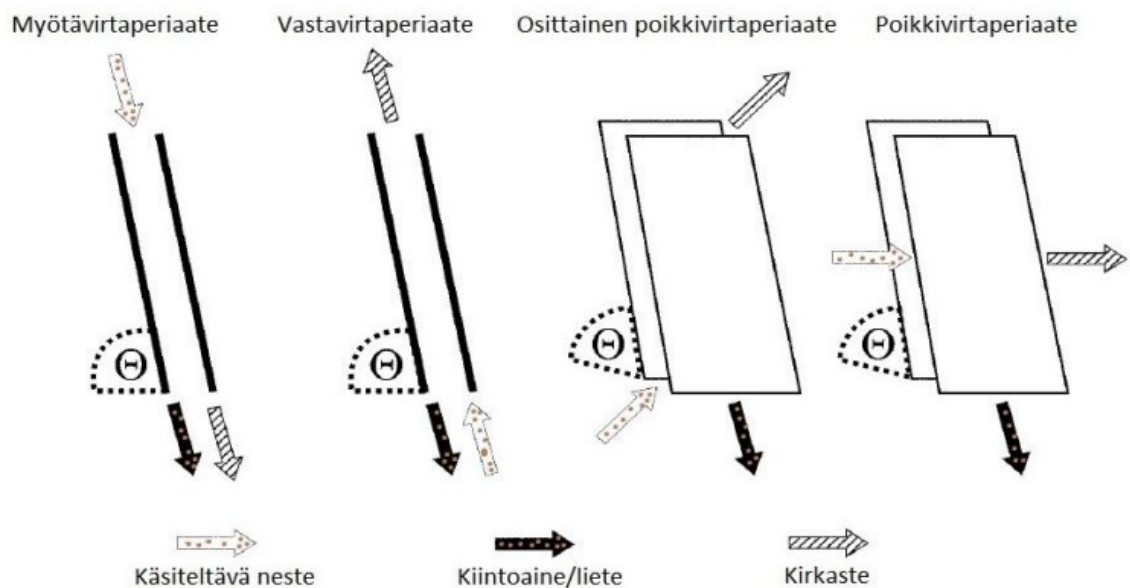
Kuva 9. Kiintoaineen laskeutuminen tavallisessa selkeyttimessä ja lamelliselkeyttimessä [23].

Lamelliselkeytin voi toimia ns. vastavirta-, myötävirta-, poikkivirta- tai osittaisella poikkivirtaperiaatteella (kuva 10). Myötävirtaperiaatteella toimivan lamelliselkeyttimen vesi johdetaan lamellipakan päältä. Vesi valuu lamellipakan suuntaisesti lamelliselkeyttimessä alaspäin, ja vedessä olevat kiintoainepartikkelit laskeutuvat lamellille ja jatkavat matkaa veden virtauksen suuntaisesti kohti lamelliselkeyttimen pohjalla olevaa lietepesää. Käsitelty vesi voidaan johtaa takaisin ylöspäin kohti lamelliselkeyttimen pintaa, jolloin vesi poistuu ylitteenä. Veden voi ohjata poistumaan myös lamelliselkeyttimen pohjalla olevan lietepesän yläpuolelta, jolloin lietepesän yläpuolelle on asennettava erillinen kirkasteenpoistoputki. [21, s. 12.]

Vastavirtaperiaatteella toimivan lamelliselkeyttimen vesi johdetaan lamellipakan alapuolelta. Vesi virtaa lamelliselkeyttimen sisällä lamelleja pitkin ylöspäin kohti

kirkasteenpoistoa. Vedessä olevat kiintoainepartikkelit laskeutuvat lamellilevyjen pinnalle. Lamellilevyiltä kiintoaineet laskeutuvat painovoiman vaikutuksesta veden virtaukseen nähden vastakkaiseen suuntaan alaspäin kohti lietteenpoistoa. Tästä nimitys vastavirtaperiaatteella toimiva lamelliselkeytin. [24, s. 75.] Vastavirtaperiaate on toimintavarmempi siinä suhteessa, että hiukkaset eivät pääse sekoittumaan uudelleen puhdistettuun veteen [15, s. 84].

Lamelliselkeytin voi toimia myös poikkivirta- tai osittaisella poikkivirtaperiaatteella. Virtaussuunta voi olla hieman poikittainen tai jopa 90° vaakatasoon nähden. Tällainen lamellien asettelu vie kuitenkin paljon tilaa leveyssuunnassa. Lisäksi poikkivirtaperiaatteella toimiva lamelliselkeytin ei voi koostua putkimaisista rakenteista, vaan lamellien on oltava levymäisiä. Hyvänä puolena on, että poikkivirta- tai osittaisella poikkivirtaperiaatteella toimiva lamelli vie vähemmän tilaa pystysuunnassa, kuin myötävirtaperiaatteella toimiva lamelliselkeytin, eikä kiintoaineesta ja virtaussuunnasta aiheutuva kitka ole yhtä suuri kuin vastavirtaperiaatteella toimivassa lamelliselkeyttimessä. [21, s. 12.]

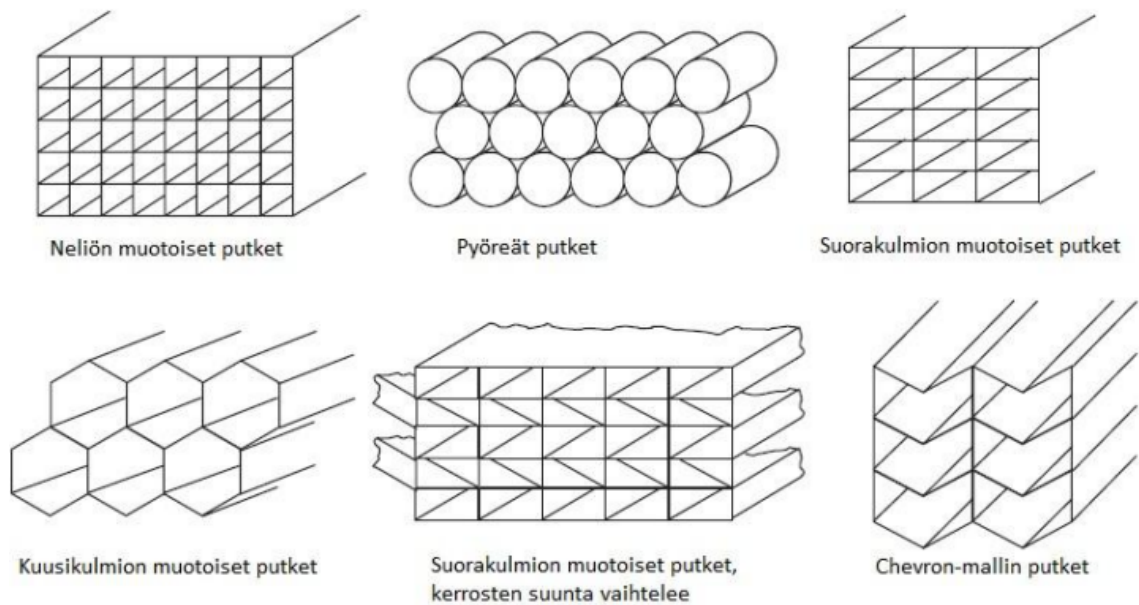


Kuva 10. Erilaisilla periaatteilla toimivia lamelliratkaisuja [21, s. 13].

Lamellin materiaalina käytetään yleisesti muovia tai metallia. Metallien ominaisuudet ovat paremmat siinä suhteessa, että ne kestävät paremmin kulutusta ja

muotoilua. Metallit ovat kuitenkin yleisesti kalliimpaa materiaalia kuin muovit ja painavat enemmän. Tämän takia muovi on metallin lisäksi yleisesti käytettävä materiaali lamelliratkaisuissa.


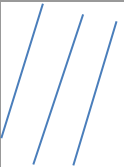




Lamelleja voidaan muotoilla erilaisiin muotoihin ja ne on esitetty kuvassa 11. Muovista lamellia ei pystytä hyödyntämään yhtä hyvin levymäisessä ratkaisussa, kuin pyöreissä putkimaisessa ratkaisussa, muovin lujuusominaisuuden takia. [21, s. 13.]



Kuva 11. Lamellien erilaisia muotoja [21, s. 13].

Mitä suurempi on lamellipakan tuoma laskeutusala, sitä tehokkaampi lamellijärjestelmä on. Lamellia rakentaessa tulee ottaa huomioon, ettei lamelli kuitenkaan likaannu sellaisista paikoista, joista sitä on vaikea puhdistaa. Havainnollistetaan kuutta eri lamellityyppiä taulukolla 8. Oletetaan, että hydraulinen halkaisija on 80 mm, kallistuskulma 60° ja lamellin pituus 1,5 m.

Taulukko 8. Lamellien muodon vaikutus laskeutuspinta-alaan. Muokattu lähteestä [25].

Lamellipakan tyyppi	Ilman lamellia	Litteät levyt	Litteät levyt	Ympyräputket (linjassa)	Ympyräputket lomittain	Neliöputket	Kuusi-kulmio moduulit
Vastaava hydraulinen halkaisija (mm)		80 mm (40 mm levyjen väli)	160 mm (80 mm levyjen väli)	80 mm	80 mm	80 mm	80 mm
Muotoilu							
Vastaava laskeutus pinta-ala	1.00	16.20	8.10	6.40	7.40	8.10	10.80

Lamellipakkaa valittaessa ei aina kannata luottaa sokeasti parhaaseen laskeutuspinta-alaan. Levymuotoisen lamellin tehokkuus ilmentyy vain silloin, kun levyt tuodaan lähelle toisiaan, jolloin riski lamellipakan toimivuudesta kärsii. Lisäksi lian kertyminen paikkoihin, josta sitä on vaikea poistaa kasvaa. Heksagonaalinen lamellipakka ei likaannu helposti, ja sitä on helppo puhdistaa. Heksagonaalisella lamellipakalla on myös suhteellisen suuri laskeutuspinta-ala verrattuna muun muotoisiin lamelleihin. [25.]

5.5 Chevron-mallisen lamelliputken tehokkuus

Chevron-mallilla on samat ominaisuudet kuin heksagonaalisella mallilla siinä suhteessa, että lamelliputket voidaan asettaa lomittain. W. A. Beachin tekemän tutkimuksen mukaan paras lamellimuoto on sellainen, jolla on suuri ympärystämitta ja pieni hydraulinen halkaisija.

Hydraulinen halkaisija ei-ympyränmuotoisille putkille voidaan laskea kaavalla 9

$$\text{Hydraulinen halkaisija} = \frac{4 \times \text{pinta-ala}}{\text{Ympärysmitta}} \quad (9)$$

ja Reynoldsin luku ei-ympyränmuotoisille putkille kaavalla 10.

$$Re = \frac{4 * \text{Pinta-ala} * \rho}{\text{Ympärysmitta} * \mu} * V \text{ (dimensioton)} \quad (10)$$

jossa ρ = nesteen tiheys (kg/m³)

μ = nesteen viskositeetti (Pa*s)

V = nesteen nopeus (m/s)

Pinta-ala = putken poikittais- pinta-ala kohtisuorassa virtaamaa vastaan (m²)

Ympärysmitta = putken poikittais- ympärysmitta kohtisuorassa virtaamaa vastaan (m).

W. A. Beachin tekemän tutkimuksen mukaan suurin nesteen nopeus yhtälössä saavutetaan pienellä hydraulisella halkaisijalla. Paras mahdollinen muoto on siis sellainen, jonka ympärysmitta on suuri, säilyttäen samalla pienen hydraulisen halkaisijan. Chevron-mallisella lamellilla saavutetaan suurin ympärysmitta muihin yleisesti käytettyihin muotoihin verrattuna (taulukko 9). [13, s. 74–75.]

Taulukko 9. Putkien muodot, mitat ja hydraulinen halkaisija [13, s. 75].

Muoto	Pinta-ala, neliö tuu- maa	Ympä- rysmitta, tuumaa	Hydraulinen halkaisija, tuumaa
Ympyrä	4	7	2.3
Kuusikulmio	4	7,6	2,1
Timantti	4	8	2
Neliö	4	8	2
Chevron (1.7")	4	10	1.6
Chevron (1")	1.4	6	0.94

Suorituskyvyltään parhaan tuloksen saavuttamiseksi on Chevron-mallisen putken pinta-alaa pienennetty 1.4 tuumaan. Tällöin saadaan hydraulinen halkaisija, joka on alle 1 tuumaa. Chevron-mallissa alle 1 tuuman hydraulisella halkaisijalla voidaan ajaa kaksi kertaa suurempia virtaamia verrattuna esimerkiksi neliön muotoiseen putkeen säilyttäen saman Reynoldsin luvun.

Maksimivirtaama voidaan laskea kaavalla 11.

$$Virtaama_{max} = \left[\frac{\text{Putken pituus, } L}{\text{Hydraulinen halkaisija, } D} \right]^{0.8} \quad (11)$$

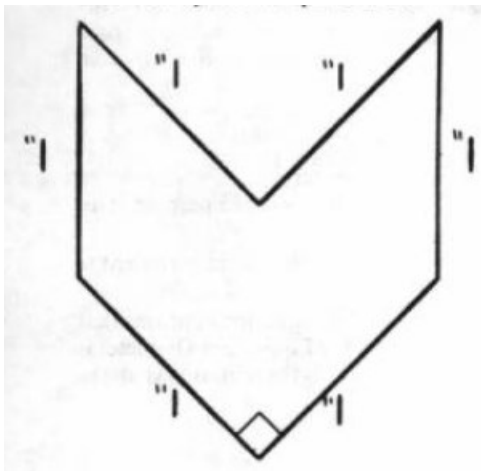
Yhtälöstä voidaan havaita, että mikäli $\frac{L}{D}$ suhde kaksinkertaistuu, virtaama kasvaa noin 75 %:lla. Kaava osoittaa, että virtaaman kasvaessa tietyllä putken pituudella, hydraulinen halkaisija pienenee.

Lamelliselkeyttimen toimivuus ja tehokkuus riippuu Beachin mukaan seuraavista asioista:

1. pieni hydraulinen halkaisija
2. korkea pituus
3. alhainen korkeus putken poikkileikkaukseen

4. yhtenäinen laskeutumisetäisyys
5. v-urapohja positiivisen lietteen virtauksen aikaansaamiseksi
6. kyky asettaa lamelliputkia lomittain menettämättä pinta-alaa. [13, s. 75–76.]

Chevron-mallisen lamelliselkeyttimen muoto on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Chevron-muoto. Beachin tekemän tutkimuksen mukaan Chevron-muoto täyttää kaikki kohdat 1–6 [13, s. 76].

5.5.1 Lamellin toimivuus kaivantovesialueilla: Chevron-malli

Kaivantoalueiden vedessä olevien kiintoainepartikkelien tiheys on yleensä suuri, ja ne laskeutuvat hyvin normaaliolosuhteissa laskeutumisnopeuden ollessa 0,8–1 m/h. Chevron-mallisen lamellin kiintoaineenpoistotehokkuus voidaan ajatella olevan 80 %. Mikäli kiintoaineenpoistotehokkuutta halutaan nostaa esim. saven kannalta, on puhdistettavaan veteen lisättävä koagulantteja, jotta saven kaltaisista pienistä hiukkasista muodostuisi flokkeja. [26.]

Tärkein asia mikä vaikuttaa lamellin toimivuuteen ja tehokkuuteen on Hazenin laki, joka on esitetty kaavassa 12. Hazenin laki määräytyy virtaaman ja

laskeutettavan kokonaispinta-alan osamäärästä. Osamäärän on oltava $\leq 0,8-1$ m/h, jotta lamelli toimii tarkoituksensa mukaisesti. [26.]

$$v_h = \frac{Q}{A_s} \quad (12)$$

jossa v_h = Hazenin nopeus (m/s)

Q = virtaama (m^3/h)

A_s = laskeuttava pinta-ala (m^2).

5.5.2 Case-esimerkki: Hazenin nopeus

Ajatellaan maksimivirtaaman olevan $20 m^3/h$. Mikäli halutaan saavuttaa Hazenin nopeus $0,8 m/h$, tarvittaisiin tilavuudeltaan $2,28 m^3$:n kokoista lamellia, joka on oletuksena kallistettu 60° :seen (Lamellin tarkka pinta-ala 60° :ssa $11 m^2/m^3$). Saadaan Hazenin nopeudeksi noin $0,8 m/h$.

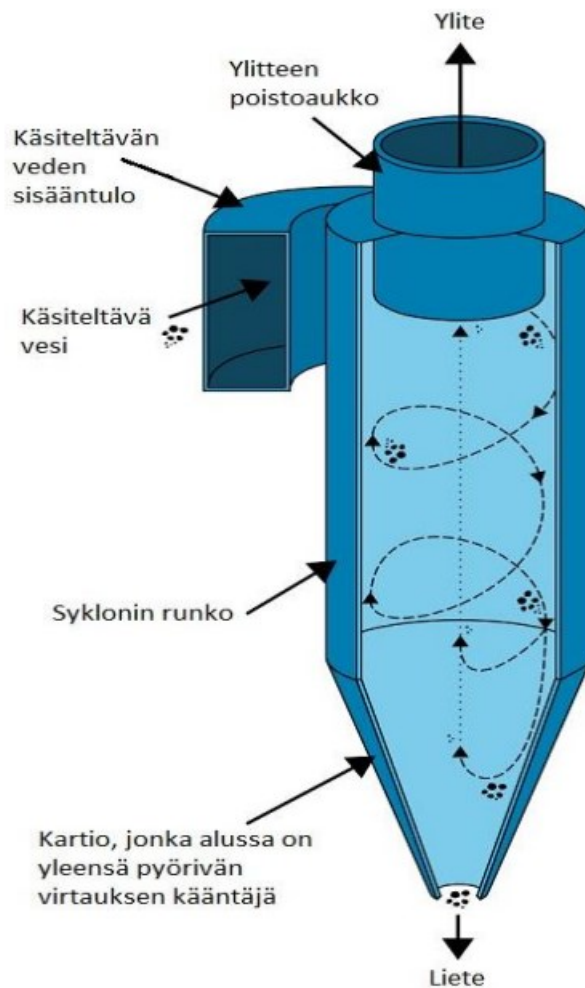
$$v_h = \frac{20 \frac{m^3}{h}}{2,28 m^3 * 11 \frac{m^2}{m^3}} \approx 0,8 \frac{m}{h}$$

jossa v_h = Hazenin nopeus (m/h).

5.6 Sykloni

Syklonin toimintaperiaate perustuu keskipaikoisvoimaan ja johdettavan veden virtausnopeuteen (kuva 13). Syklonissa syntyy kaksi pääfaasia, sedimentti ja nestefaasi. Sedimentti koostuu erikokoisista hiukkasista aina kolloideista laskeutumiskelpoisiin hiukkasiin. Nestefaasi koostuu eri tiheyksistä faaseista ja voi olla joko kirkas tai samea. [15, s. 103.] Pumppauksen jälkeen vesi ja kiintoaine lähtevät kiertämään syklonin kehää, josta kevyempi aine eli neste johdetaan

ylöspäin kohti kirkasteenpoistoaukkoa. Raskaampi aine eli kiintoaine osuu syklonin seinään ja laskeutuu alaspäin kohti lietteenpoistoaukkoa.

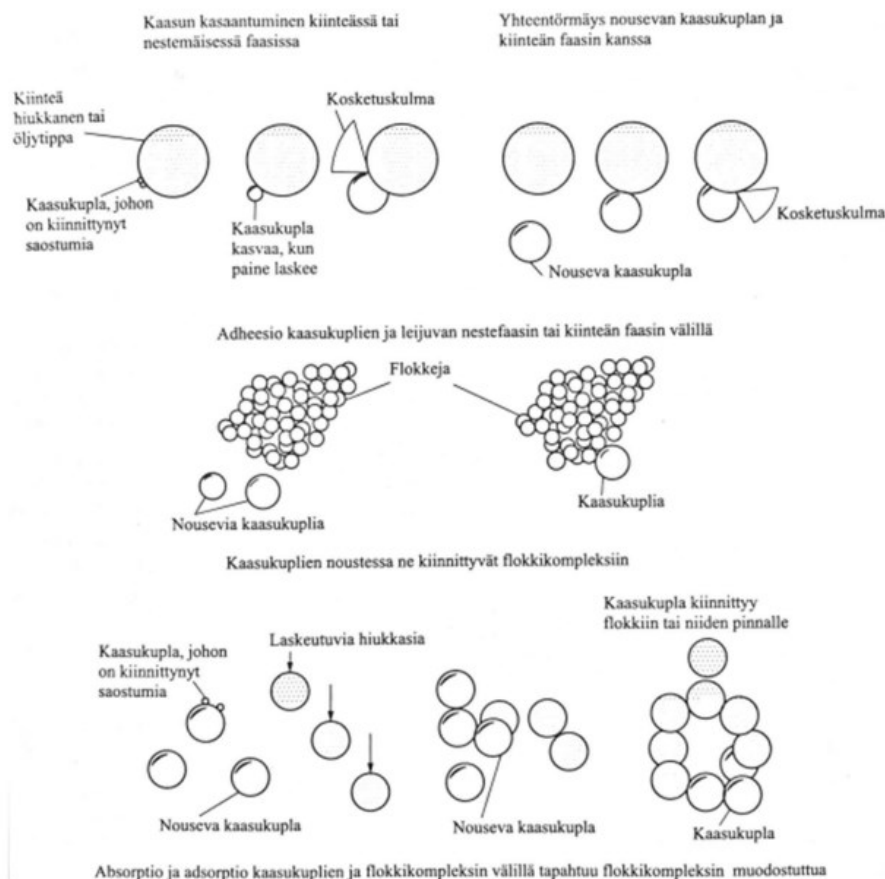


Kuva 13. Syklonin toimintaperiaate [21, s. 14].

Sykloni voisi toimia paremmin esiselkeyttimenä, kuin primääriselkeyttimenä, sillä syklonissa riittävän virtausnopeuden saaminen kiintoaineen poistamiseen vaatii pumppausta. Syklonissa vesi virtaa jatkuvasti, mikä tarkoittaa sitä, että saostuskemikaaleja ei voida käyttää. Saostuskemikaaleilla täytyy olla aikaa sitouttaa kiintoainepartikkelit toisiinsa. Syklonissa tämä ei ole mahdollista. Lisäksi kovalla vauhdilla pumpattava kiintoaineen ja veden sekoitus kuluttavat sekä syklonin rakenteita että pumpun ja putkien rakenteita. Täten sykloni sopii enemminkin pienille vesimäärille ja sellaiseen kohteeseen, jossa virtaus pystytään pitämään suhteellisen tasaisena. [21, s. 14]

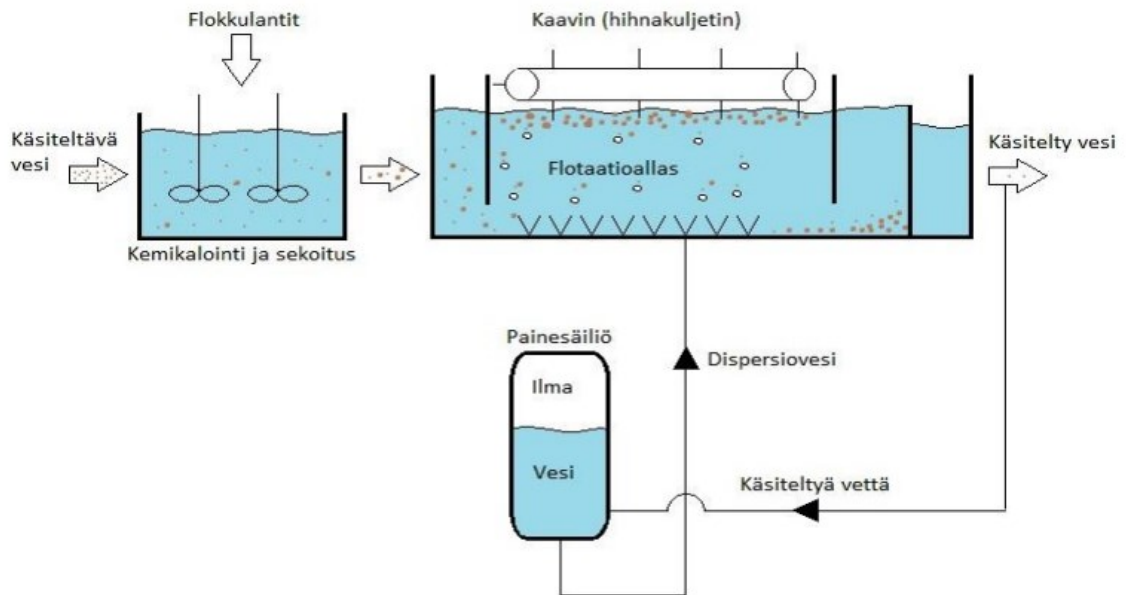
5.7 Flotaatio ja flokit

Flotaatiossa kiintoaine pyritään tuomaan altaan pinnalle, jolloin kiintoaineen voi poistaa erilaisten kaapimien, tai kourujen avulla. Kiintoainesta voidaan käsitellä luonnollisella flotaatiolla tai ilmaflotaatiolla. Luonnollinen flotaatio on mahdollista silloin kun veden tiheys on riittävän paljon suurempi kuin partikkelin tiheys. Mikäli tilanne on päinvastainen, tarvitaan flotaatioon ilmastusta. Ilmastusta edesauttaa, mikäli kiintoainepartikkeleista tehdään flokkeja sopivan flokkulantin avulla. [15, s. 97.] Flokissa kiintoainehiukkaset ovat tarttuneet toisiinsa kiinni pienen pintavarauksen ansiosta. Tätä vaihetta kutsutaan koagulaatio-flokkausvaiheeksi. Ilmastuksen muodostamalla kuplilla on näin ollen suurempi pinta-ala mihin tarttua, jolloin flokkiin muodostuu suurempi noste, mikä edesauttaa flokkien pääsyä altaan pinnalle (kuva 14).



Kuva 14. Ilmakuilien tarttuminen flokkiin [15, s. 99].

Ilmakuplat muodostuvat dispersioveden avulla. Dispersioveettä muodostuu käsitellyn veden ja ilman seoksesta. Käsiteltyä vettä johdetaan dispersiovesisäiliöön, joka on puolillaan kompressorin paineistamaa ilmaa. Ylipaine mahdollistaa ilman runsaan liukenemisen veteen. Kun dispersiovesi johdetaan ilmastusaltaan pohjalla oleviin dispersiovesisuuttimiin, se muodostaa kuplia ilmastusaltaaseen (kuva 15). [21, s. 15.]



Kuva 15. Flotaatioaltaan toimintaperiaate [21, s. 15].

Mineraalisen kiintoaineen poistossa halutaan ensisijaisesti kuitenkin sellaisia flokkeja, jotka painuvat altaan pohjalle. Esimerkiksi savea saostaessa pelkällä koagulantilla saviflokin laskeutuminen nopeutuu. On myös otettava huomioon saven muoto. Mikäli savi on hilamainen, se laskeutuu helpommin altaan pohjalle kuin muodoltaan levymäinen savi. [1.]

5.8 Saostus

Saostus on prosessi, joka muodostaa flokkeja. Saostuskemikaaleja lisätään käsiteltävään veteen, josta halutaan poistaa tiettyjä hiukkasia. Saostuskemikaali kerää hiukkaset yhteen muodostaen suurempia hiukkasia eli flokkeja. Saostus adsorboi myös liuenneita orgaanisia aineita flokkeihin. [27, s. 36.] Flokit on

helppo laskeuttaa, tai nostaa altaan pinnalle dispersioveden avulla ja poistaa vedestä myöhemmässä vedenpuhdistusprosessissa.

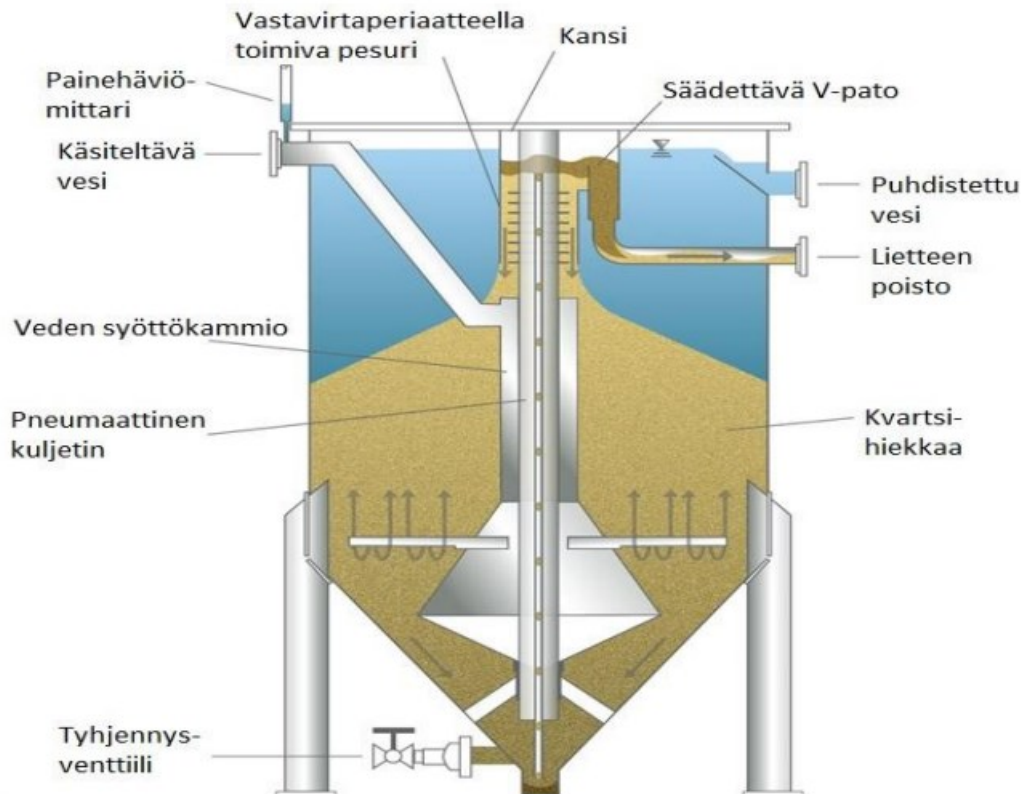
Saostuskemikaaleja käytetään monien erityyppisten epähaluttujen substanssien poistoon. On hyvin tärkeää valita oikeantyyppinen saostuskemikaali halutun substanssin poistamiseen. Veden laatu määrittää kyseiselle vedelle optimaaliset saostuskemikaalit.

5.9 Suodatusmenetelmät

Suodatuksen tarkoituksena on erottaa partikkeleita suodatinmateriaalin läpi. Suodatinmateriaalissa on läpäiseviä reikiä, joiden huokoskoko ratkaisee, kuinka suuria hiukkasia materiaali läpäisee. Suodattimena voi toimia muun muassa välppä, hiekkasuodatin, mikrosuodatin, ultrasuodatin, nanosuodatin tai käänteisosmoosi.

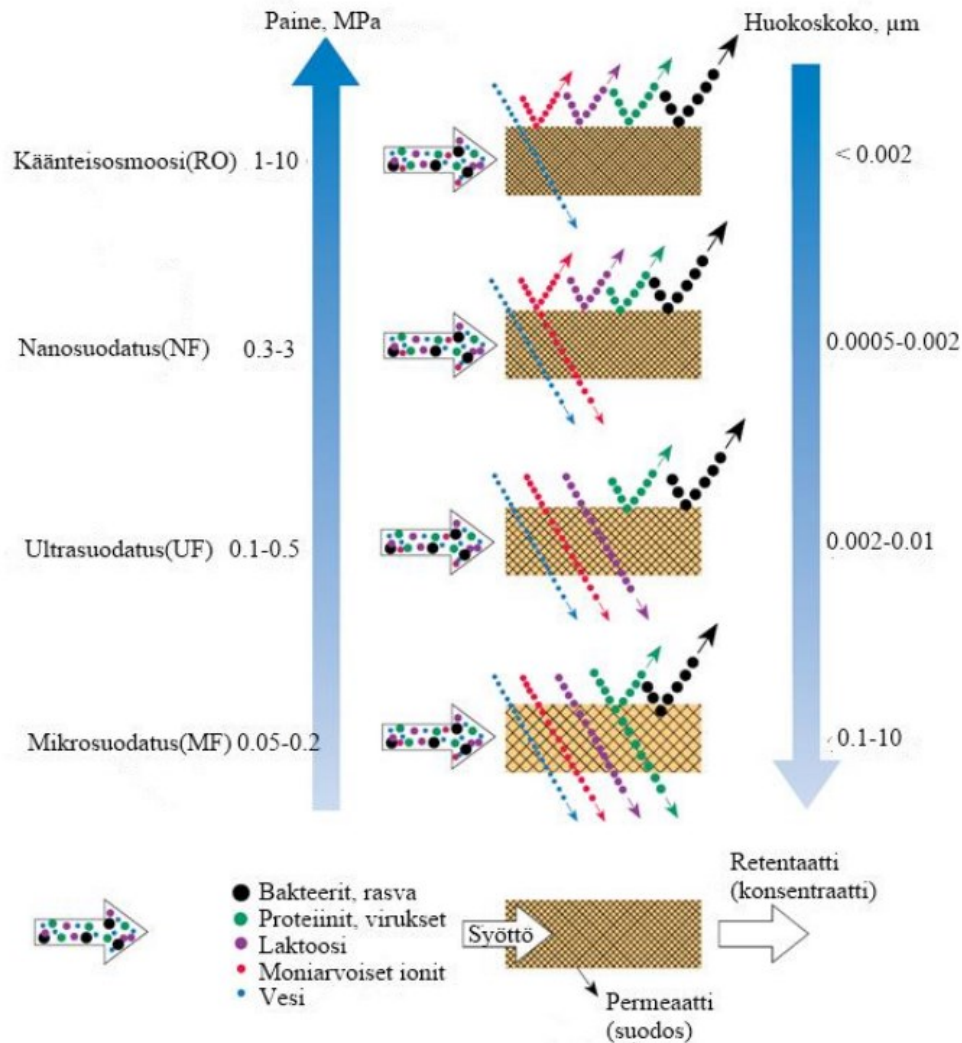
Välppäys on tarkoitettu lähinnä suurempien partikkeleiden kuten risujen, tai muiden roskien erottamiseen. Karkeavälppä läpäisee partikkelit, joiden raekoko on alle 10 mm ja hienovälppä partikkelit, joiden raekoko on alle 3 mm. Välppäystä käytetään esimerkiksi jätevedenpuhdistamoilla esisuodattimena. [28.]

Hiekkasuodatus kuvassa 16 perustuu puhdistettavan veden suodattumiseen hiekkakerroksen läpi. Hiekkasuodatuksessa suodatettavat partikkelit sitoutuvat suodatinhiekkään. [29, s. 38.] Hiekkasuodatusta voidaan tehostaa viljelemällä hiekkakerroksiin mikrobikantoja, jolloin hiekka suodattaa myös haitalliset bakteerit ja muut yhdisteet, joita puhdistettavasta vedestä halutaan poistaa.



Kuva 16. Dynasand-hiekkasuodatin [21, s. 16].

Kalvosuodatuksen luetaan mikro-, ultra-, nanosuodatus sekä käänteisosmoosi. Kalvosuodatus perustuu puoliläpäisevään kalvoon, joka päästää lävitseen hiukkasia raekoon tai varauksen mukaan. Kalvo asetetaan kahden eri nestefaasin väliin, jolloin se toimii ns. seinänä faasin välillä. Puhdistettava vesi pyrkii kalvon läpi paine-eron takia, jolloin vesimolekyylit läpäisevät kalvon pienen raekoon ansiosta. Suuremmat molekyylit, kuin kalvon raekoko eivät pysty läpäisemään kalvoa. Kuva 17 kertoo kalvosuodatuksen tehokkuuden eri kalvosuodatuksille. Kuvassa on ilmoitettu käyttöpaine, huokoskoko ja se, millaisia molekyylejä kalvo suodattaa permeaattiin eli suodokseen tai päästää lävitseen retentaattiin eli konsentraattiin. [30.]



Kuva 17. Kalvosuodatuksen toimintaperiaate, paine ja huokoskoko mikro-, ultra- ja nanosuodatuksessa sekä käänteisosmoosisa [21, s. 17].

Kalvomaisia suodattimia kenttäkohteissa kaivantoalueilla ei juuri käytetä. Kalvosuodatus soveltuu paremmin erityyppisiin teollisuuskohteisiin, joissa kiintoainetta ei ole valtavia määriä ja poistettavat haitta-aineet ovat molekyylikooltaan pieniä. Mikäli suodatusta halutaan käyttää työmaaveden kiintoaineen poistossa, on suotuisaa valita kalvojen sijaan patruunoita, joissa on enemmän suodatuspinta-alaa kalvoon verrattuna. Suodattimet tukkeutuvat helposti, ja niitä täytyy vaihtaa mekaanisesti usein, riippuen käsiteltävän veden virtaamasta, kiintoaineen määrästä ja patruunoiden huokoskoosta. Mikäli kiintoainetta, jota halutaan poistaa, on kohteessa paljon, ei suodatus yksinään ole tehokkain vaihtoehto.

[1.]

5.10 Kemiallinen avustus

Kiintoaineen poistoon tarvitaan kemiallista avustusta, mikäli kiintoaine on hyvin hienojakoista ja laskeutumisaika olisi muutoin liian pitkä. Kemiallisella avustuksella pyritään kasvattamaan partikkelien kokoa laskeutumisen edistämiseksi. Esimerkiksi veteen liuenneiden kolloidisten hiukkasten, joiden raekoko on 10^{-1} - 10^{-3} μm , laskeutumisnopeus on Stokesin lain mukaan 2–200 vuotta [15, s. 134].

Kolloideista voidaan muodostaa suurempia hiukkasia koagulaation avulla. Koagulaatiossa negatiivisesti varautuneet kolloidit neutraloidaan, jolloin kolloideista muodostuu suurempia mikroflokkeja. Makroflokkeja eli laskeutumiskelpoisia flokkeja muodostuu mikroflokeista ulkoisten voimien ja flokkauksen avulla. [15, s. 133.]

Kaava 13 kuvaa kolloidiin vaikuttavista voimista, josta toinen on Van der Waahlsin vetovoima ja toinen elektrostaattinen työntövoima. Kaavassa esitetään voimien taso.

$$E = E_A + E_B \quad (13)$$

jossa E_A = Van der Waahlsin energia (rakenne, muoto ja materiaali)

E_B = elektrostaattinen energia (pintavaraus)

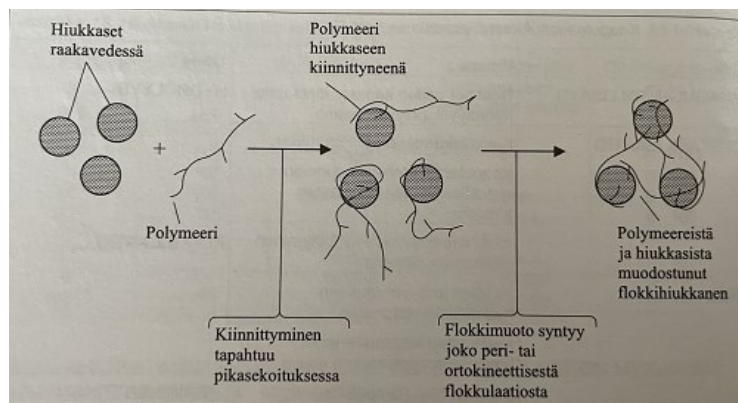
Nämä voimat määrittävät kolloidin suspendoituneiden hiukkasten pysyvyyden.

Vedessä hiukkasten yhteenliittyminen vaatii kolloidin zeta-potentiaalin arvon lähestymistä noltaan, jolloin diffuusiokerros ohenee niin paljon, että hiukkasilla on mahdollisuus yhdistyä. Tämä tapahtuu zeta-potentiaalin arvon ollessa $-10 \dots -40$. Tällöin Van der Waahlsin vetovoima voittaa elektrostaattisen työntövoiman. [15, s. 134.]

Koagulaatiossa on neljä olennaista päävaihetta, jotka mahdollistavat flokkien muodostumisen:

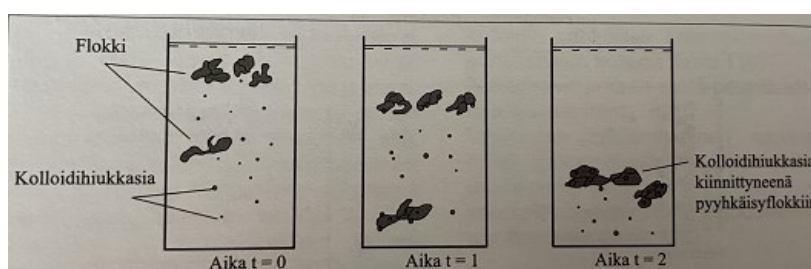
1. kolloidin sähköisen kaksoiskerroksen puristuminen kokoon
2. kolloidin varauksen (zeta-potentiaalin) neutraloituminen
3. hiukkasten kasaantuminen suuremmiksi kokonaisuuksiksi polymeerin avulla
4. kolloidin kiinnittyminen muodostuneisiin flokkeihin. [15, s. 134.]

Polymeeri toimii flokkausta edistävänä tekijänä. Sopivan polymeerin käyttäminen edesauttaa hiukkasten kiinnittymisessä toisiinsa. Polymeerin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Polymeerin toimintaperiaate, jossa polymeeri kiinnittyy vapaana kelluviin hiukkasiin muodostaen flokin [15, s. 136].

Kolloidin flokkausvaihe on esitetty kuvassa 19. Kuvassa nähdään vapaana kellovia kolloideja, jotka ajan kuluessa kerääntyvät flokkeiksi.



Kuva 19. Kolloidista muodostuvia flokkeja [15, s. 136].

5.11 Kiintoaineenpoistomenetelmien hyviä ja huonoja puolia

Suunniteltaessa helposti siirrettävissä olevaa kiintoaineenpoistojärjestelmää on hyvä ottaa huomioon useita käytännön asioita.

1. Laitteisto ei saa olla liian suuri, jotta sitä on helppo kuljettaa paikasta A paikkaan B. Toimiva ratkaisu voisi olla esimerkiksi kuorma-auton lava.
2. Tukkeutumisriskiä tulee välttää, jotta laitos toimisi aktiivisena ilman keskeytyksiä mahdollisimman pitkään.
3. Kiintoaineenpoistojärjestelmän on oltava helposti puhdistettavissa, mikäli tukkeutumista tapahtuu.
4. Hauraiden osien käyttöä tulee välttää, jotta toimintavarmuus säilyy.
5. Kiintoainetta täytyy pystyä poistamaan tehokkaasti ja suurella virtaamalla, jotta vettä pystytään puhdistamaan järkevän aikamäärän puitteissa.
6. Virtaaman on oltava laminaarista, jotta kiintoaineen uudelleensekoittumista ei tapahdu. [1.]

Taulukossa 10 on kuvattu erilaisten kiintoaineenpoistoratkaisujen positiivisia ja negatiivisia kohtia sekä annettu kyseisen kiintoaineenpoistomenetelmän pintakuorman arvo ja käyttökohde.

Taulukko 10. Menetelmä, pintakuorma, käyttökohde ja positiiviset ja negatiiviset kohdat eri kiintoaineenpoistomenetelmillä. Muokattu lähteestä [15, s. 87 ; 17, s. 681, 689 ja 703 ; 31, s. 861 ; 21 ; 32, s. 13 ja 18].

Menetelmä	Pinta-kuorma	Käyttökohde	Positiiviset ja negatiiviset kohdat (+/-)
Laskeutusallas	0,8–2,5 m/h	Jätevedenpuhdistamot / Suuret laitokset	+ Suhteellisen helppo ajaa, hyvä toimintavuorokausi - Ei sovellu helposti siirrettäväksi suuren koon puolesta
Pystyselkeytin	1,25–1,88 m/h	Keskikokoiset ja pienet laitokset	+ Suhteellisen pieni ja tehokas poistamaan kiintoainetta - Syntyy oikovirtaamia ja ei kestä kuormituksen vaihteluja
Vyöhykeselkeytin	0,16–7,2 m/h	Keskikokoiset ja pienet laitokset	+ Mikäli halutaan muodostaa flokkeja, toimii moitteettomasti - Lietepedin muodostuminen vie aikaa ja ei kestä kuormituksen vaihteluja
Lamelliselkeytin	2,5–7,5 m/h	Voidaan käyttää monissa käyttökohteissa	+ Erinomainen kiintoainepoistotehokkuus, rinnakkain asennus toisten selkeyttimien kanssa - Lamellia voi olla vaikea puhdistaa riippuen muotoilusta ja lamellipakan suunnittelusta.
Sykloni	18–20 m/s (virtausnopeus)	Esikäsittely	+ Suuri suhteellinen käsittelymäärä - Ei sovi primääriseksi selkeyttimiksi ja vaatii paljon huoltoa kulumien vuoksi
Flotaatio/ilmastus	5–45 m/h	Suuret laitokset	+ Tehokas virtaaman ollessa suuri - Suhteellisen kallis ja paljon liikkuvia ja hajoavia osia
Suodatus	0,038–150 m/h	Yritykset ja kunnat	+ Voidaan poistaa hyvin pieniä partikkeleita taudinaiheuttajiin asti - Tukkeutuu helposti ja voi olla hidasta.

Suunniteltaessa sopivaa kiintoaineenpoistomenetelmää on hyvä ottaa huomioon aikamääre eli kuinka kauan kiintoaineen poistoon on varattu aikaa. Mikäli kiintoaine halutaan poistaa lyhyessä ajassa, on järkevää lähteä suunnittelemaan helposti siirrettävissä oleva laitteisto, joka täyttää hyvin suunnitellun, pienemmän mittakaavan laitteiston kriteerit. Mikäli kiintoaineen poistoon on varattu enemmän aikaa ja tarve on pysyvä, on järkevämpää lähteä suunnittelemaan kiinteä ja suuremman mittakaavan selkeytysmenetelmä. [1.]

6 Ympäristölupa

Ennen kiintoaineenpoistoprosessin aloittamista on syytä selvittää ympäristölupa-asiat. Ympäristölupa määrittää vedenpuhdistusprosessille tiettyjä ehtoja. Kiintoaineenpoistoprosessiin vaikuttavia ehtoja löytyy muun muassa Ympäristönsuojelulaissa, sekä Valtioneuvoston asetuksessa yhdyskuntajätevesistä.

Ympäristönsuojelulain säädöksen (27.6.2014/527) mukaan, jos teollisuusjätevettä johdetaan yhdyskunnan jätevedenpuhdistamolle, on tarvittaessa määrättävä jätevesien esikäsittelystä ympäristön pilaantumisen ehkäisemiseksi tai jätevedenpuhdistamon toimintakyvyn turvaamiseksi. [33, § 67.]

Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä (888/2006) määrää jätevesien biologisen käsittelyn vähimmäisvaatimukset. Biologisella käsittelyllä tarkoitetaan jälkiselkeytyksellä varustettua jäteveden biologista käsittelyprosessia tai muuta vastaavaa menetelmää, jolla saavutetaan tässä taulukossa (taulukko 11) esitetyt vaatimukset. Pitoisuuden ja poistotehon vaatimukset voivat olla vaihtoehtoisia. [34, § 8.]

Taulukko 11. Jätevesien biologisen käsittelyn vaatimukset [34, § 8].

Muuttuja	Pitoisuus	Poistoteho vähintään⁽¹⁾	Määrittäminen⁽²⁾
Biologinen hapenkulutus (BHK₇20°C:ssa ilman nitrifikaatiota³⁾)	30 mg/l O ₂	70 %	Homogenoitu, suodattamaton, selkeyttämätön näyte. Liuenneen hapen määrittäminen ennen ja jälkeen 7 vuorokauden inkubointia 20°C ± 1 °C:ssa pimeässä. Nitrifikaation estoaineen lisäys
Kemiallinen hapenkulutus	125 mg/l O ₂	75 %	Homogenoitu, suodattamaton, selkeyttämätön näyte. Kaliumdikromaatti hapettimena
Kiintoaine	35 mg/l	90 %	Edustavan näytteen suodatus 0,45 mikrometrin suodatuskalvolla. Kuivaus 105 °C:ssa ja punnitus

Poistoteholle, määrittämismenetelmälle ja biologiselle hapenkulutukselle on asetettu seuraavia ehtoja:

(1) Poistoteho lasketaan puhdistamolle tulevasta kuormituksesta.

(2) Määrittämismenetelmä voidaan korvata toisella menetelmällä, mikäli sen ja tässä mainitun menetelmän antamien tulosten suhde voidaan määrittää.

⁽³⁾ BHK₇:n määrittäminen voidaan korvata orgaanisen hiilen kokonaismäärän (TOC) tai hapentarpeen kokonaismäärän (TOD) määrittämisellä, mikäli BHK₇:n ja korvaavan suureen välinen suhde voidaan määrittää.

Lammikoitua jätevettä koskevat analyysit on tehtävä suodattetuista näytteistä; suodattamattomien vesinäytteiden kiintoainepitoisuus saa kuitenkin olla enintään 150 mg/l. [34, § 8.]

Mikäli pilaantunutta vettä halutaan johtaa paikallisesti maastoon tai viemäriin, on oleellista tietää kunta- / puhdistamokohtaiset raja-arvot haitta-aineille. Raja-arvot maastoon tai viemäriin johdettavista vesistä ovat aina paikkakunta- tai puhdistamokohtaisia. Viemäröinnin raja-arvoista on aina tiedusteltava paikallisen kunnan tai siihen liittyneen vedenpuhdistamon kanssa. Liitteessä 1 on esitetty Viikinmäen ja Blominmäen jätevedenpuhdistamoille johdettavien jätevesien raja-arvot. Maastoon johdettaessa on erityisen tärkeää, että ympäristölupaehdot täyttyvät.

7 Rakennettu selkeytin työmaavesille

Rakennetun laitteiston täytyisi olla helposti siirrettävissä eri kohteisiin. Tällaisen laitteiston rakentaminen hieman rajaa sitä, millaisia kiintoaineenpoistotekniikoita voidaan käyttää. Paras mahdollinen tulos saavutetaan sillä, että laitteisto on kooltaan pieni mutta samalla tehokas poistamaan kiintoainetta. Lisäksi kiintoaineenpoistojärjestelmän tulisi olla on-site-käyttöön nähden toteutettavissa sopivan aikamääreen puitteissa.

Laitteisto rakennetaan yleensä merikonttiin. Merikontti on siinä mielessä helppo ratkaisu, että merikonttia voidaan kuljettaa esimerkiksi kuorma-auton lavalla. Toinen vaihtoehto voisi olla, että laitteisto rakennettaisiin pelkälle tasolle. Tällöin se ei kuitenkaan olisi suojassa vaihtuvilta sääolosuhteilta. Esimerkiksi talvella liian kova pakkanen haittaa merkittävästi laitteen toimintaa, sillä laitteiston osien sekä osissa ja laitteissa virtaavan veden jäätymisriski on suuri. Jäätyminen kuluttaa tai voi jopa hajottaa kestäviäkin osia kiintoaineenpoistojärjestelmässä. Jäätyneen kiintoaineenpoistojärjestelmän uudelleen käynnistäminen vie lisäksi

aikaa, mikäli laitos on ylipäärään kunnossa ja toimintakykyinen jäätymisen jälkeen. [1.]

Suljettuun ja eristettyyn merikonttiin on helppo ohjata sähköt ja lämmittää ilmaa erilaisilla puhaltimilla tai pattereilla. Ulos jäävät letkut ja pumput voidaan eristää esimerkiksi solukumimuovilla ja lämpövastuksilla. [1.]

7.1 Rakennettu laitteisto ja laitteiston toiminta

Käsiteltävää kiintoainepitoista vettä pumpataan hiekanerotusaltaasta, joka on esitetty kuvassa 20.



Kuva 20. Hiekanerotusallas.

Käsiteltävä vesi jatkaa pumpulta kohti kiintoaineen erotus yksikköä eli lamellia. Ennen lamellia käsiteltävään veteen lisätään polymeeriä polymeeripumpun avulla (kuva 21).



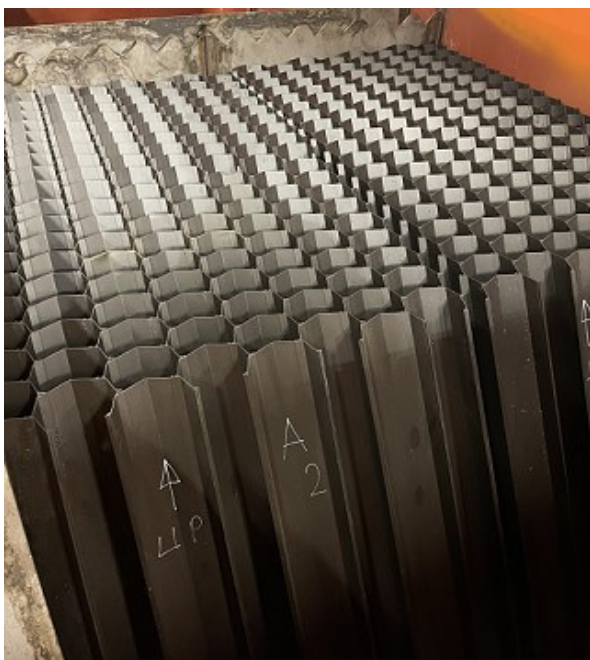
Kuva 21. Polymeerisäiliö, polymeeripumppu ja polymeeriyhde.

Polymeeripumppu (kuva 22) säädettiin pumppaamaan polymeeriliuosta tasaisella virtaamalla käsiteltävään veteen, ennen käsiteltävän veden pääsyä lamelille. Annostelupumppu säädettiin pumppaamaan polymeeriä virtaamalla 8.0 l/h, 12.0 l/h ja 16.0 l/h. Havaintojen perusteella, mitä enemmän polymeeriliuosta virtasi käsiteltävään veteen, sitä toimivampaa flokkia muodostui. Polymeeripumpun maksimivirtaama on 17.0 l/h, joten pumppu säädettiin pumppaamaan virtaamalla 16 l/h, joka on hiukan alle pumpun tehollisen maksimin. Pumpun maksimiteholla ajamista tulee välttää pumpun kulutuksen minimoimiseksi ja haajoamisriskin välttämiseksi.



Kuva 22. Polymeeripumpun polymeeriliuoksen annostelukokeilu. Näytteet on otettu pumpun annostelun ollessa 16 l/h.

Käsiteltävä vesi jatkaa merikonttiin, jonka sisälle on rakennettu lamelliselkeytin (kuva 23).



Kuva 23. Chevron-lamellipakka merikontin sisällä.

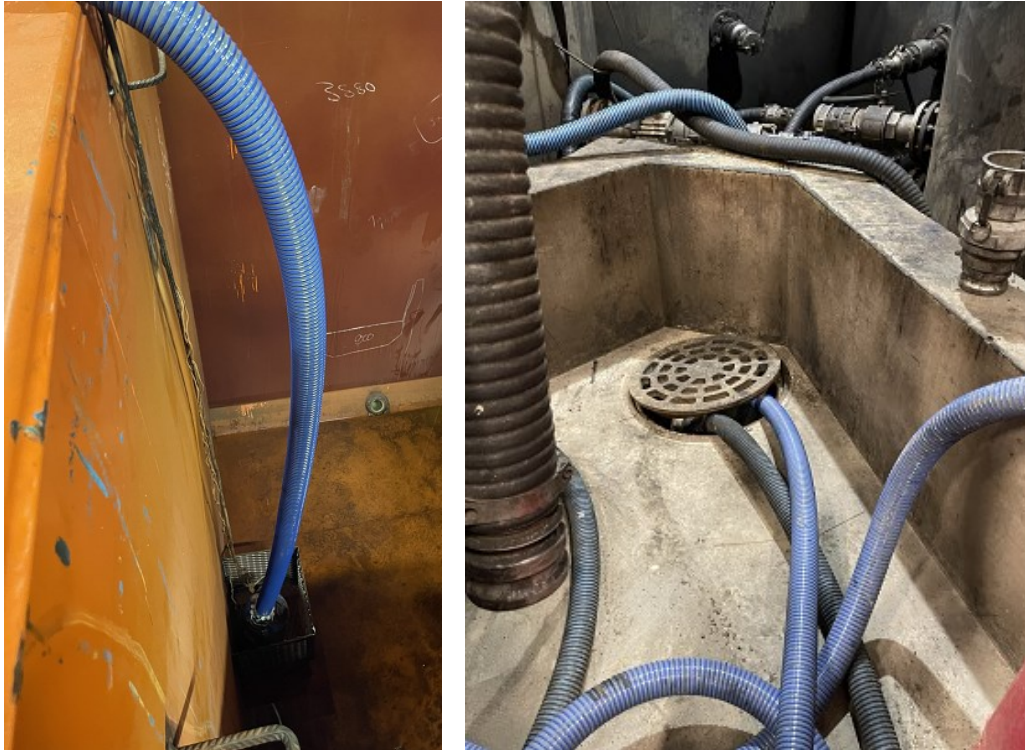
Lamelli on hitsattu kiinni seinään, jossa on v-patolovet. Näistä lovista vesi valuu kouruun, joka ohjaa veden jatkokäsittelyyn (kuva 24).



Kuva 24. Käsiteltävän veden virtausta lamellilta v-patokouruun.

Vedessä olevilla kiintoainepartikkeleilla, jotka pääsivät poistumaan lamellilta ylittäänä, oli vielä aikaa laskeutua ja erottua jatkokäsittelyssä. Jatkokäsittely koostuu toisesta puolesta merikonttia, joka on rakennettu yrityksen innovaatioiden lopputulemana. Jatkokäsittely koostuu elementeistä B ja C.

Käsitelty vesi ohjataan prosessin päätteeksi pumpun avulla kiinteistön viemäri-verkoston (kuva 25).



Kuva 25. Käsitellyn veden pumppu ja veden ohjaus hallin viemäriverkostoon.

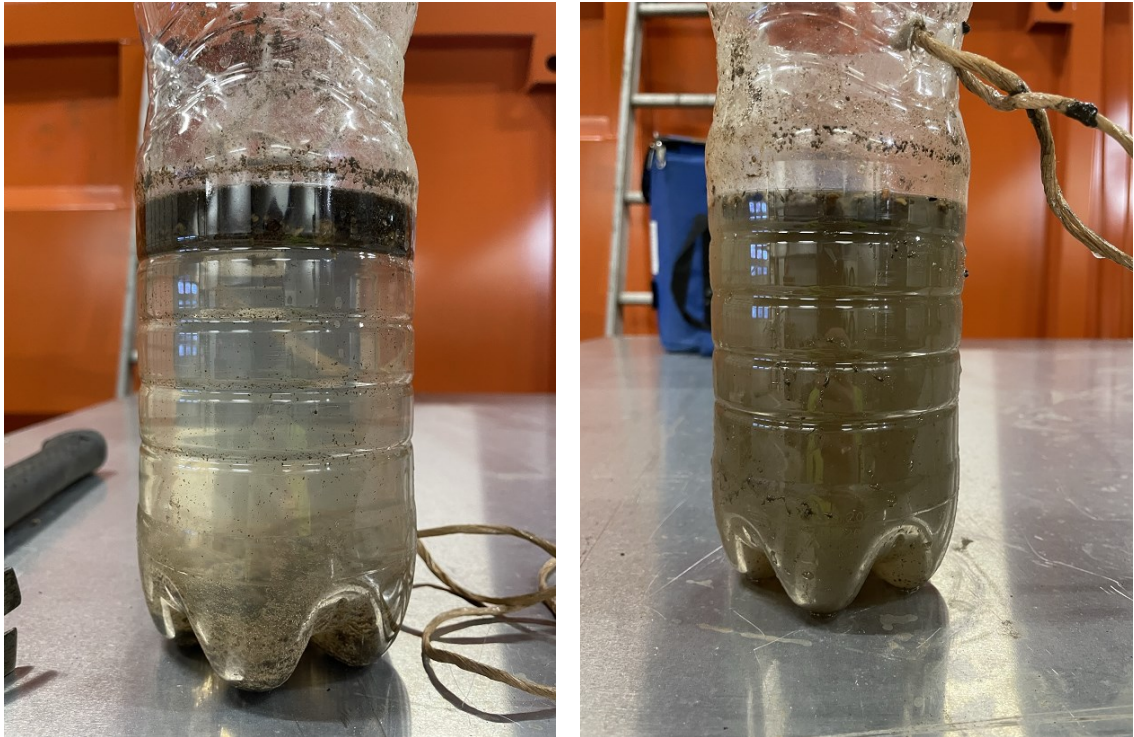
7.2 Testiympäristö ja esivalmistelut

Testiympäristöksi valikoitui pääkaupunkiseudulla sijaitseva nestemäisen jätteen käsittelylaitos. Laitokseen tuodaan jätevesiä valumakaivoista eri puolilta pääkaupunkiseutua. Erityisesti paljon kiintoainetta sisältävät jätevedet tuodaan laitoksen hiekanerotusaltaaseen. Kiintoaineenpoistolaitteisto asetettiin lähelle hiekanerotusallasta, josta on helppo pumpata vettä kiintoaineenpoistojärjestelmään.

Ennen prosessin käynnistämistä kiintoainepitoisesta vedestä otettiin näyte. Näyte lähetettiin laboratorioon, jotta saatiin määriteltyä sopiva polymeeri kyseiselle vedelle. Sopivan polymeerin löytäminen on tärkeää, jotta kiintoaineenpoistojärjestelmä toimisi odotetulla tavalla [1]. Vääränlainen polymeeri muodostaa heikosti flokkeja, jolloin kiintoaine ei välttämättä laskeudu lamellilla odotetusti. Analyysitulosten perusteella sopivaksi polymeeriksi valikoitui FLOPAM FO 4490 SH.

7.3 Kemiallinen avustus ja ajo

Analyysitulosten perusteella sopivaksi polymeerisuhdanteeksi valittiin 0,5-massaprosenttinen polymeeriliuos (kuva 26).



Kuva 26. Kuvassa ennen ja jälkeen 0,5-massaprosenttisen polymeeriliuoksen lisäämistä (oikealla ennen, vasemmalla jälkeen).

Näytteet otettiin virtaamalla 600 l/h, 3,5 m³/h, 5 m³/h ja 10 m³/h. Kyseisillä virtaamilla pitäisi teoreettisesti saavuttaa tarpeeksi suuri kiintoainereduktio ottaen huomioon lamellipakan lasketun teoreettisen maksimivirtaaman, jolla Hazenin nopeus on alle 0,8–1 m/h (kaava 13). Lamellin mitat on esitetty liitteessä 2 (liite 2: Käytössä olevan lamellin mitat). Virtaamalla 5–10 m³/h havaittiin kuitenkin virtauksen muuttuvan turbulenttiseksi (kuva 27).



Kuva 27. Turbulenttista virtaamaa lamellilla.

Hiekkanerotuskaivoon tulee vettä eri puolilta pääkaupunkiseutua useita kertoja päivässä, joten käsiteltävän veden laatu vaihtelee jatkuvasti. Toisinaan 0,5-massaprosentin polymeeriliuos toimii moitteettomasti ja toisinaan ei. Testikohde antaa täten vain viitteitä siitä, kuinka rakennettu kiintoaineenpoistojärjestelmä toimii kaivantovesialueella, jossa veden laatu ja erityisesti kiintoaine pysyy koko ajan aikana pääosin samanlaisena. Täten kaivantovesialueelle suunniteltu kiintoaineenpoistojärjestelmä ei vaadi jatkuvasti muuttuvaa polymeerisuhdannetta polymeeriliuoksessa.

Näytteitä otettiin vielä samoilla virtaamilla kuin aiemmin, mutta 0,75-massaprosenttisella polymeeriliuoksella, sillä kyseinen polymeerisuhdanne näytti toimivan sen hetkiseen veden laatuun hyvin. Kuvassa 28 vedenlaatu ennen polymeerin lisäystä.



Kuva 28. Veden laatu ennen 0,75-massaprosenttisen polymeerin lisäystä.

Kuvassa 29 havaitaan 0,75-massaprosenttisen polymeeriliuoksen vaikuttavan positiivisesti sen hetkisen vedenlaadun flokkauskykyyn. Kuvassa nähdään suhteellisen paksu flokkikerros, joka on painunut näytepullon pohjalle, sekä kirkkaampaa vettä flokkikerroksen päällä.



Kuva 29. Kiintoainehiukkaset muodostavat flokkeja ja painuvat pohjalle 0,75-massaprosenttisen polymeeriliuoksen lisäyksen jälkeen.

Veden laatu muuttui melko nopeasti, sillä uutta kiintoainepitoista vettä saapui eri puolelta pääkaupunkiseutua kyseisenä päivänä useaan otteeseen. 0,75-massaprosenttisen polymeerin flokkauskyky alkoi heiketä nopeasti.

7.4 Puhdistus ja lopputoimenpiteet

Merikontti on rakennettu helposti avattavaksi ja puhdistettavaksi. Likaa kertyy erityisesti lamellin pohjalle, johon on suunniteltu sakanpoistoaukko ja sakanpoistoon tarvittava pumppausyhde (kuva 30).



Kuva 30. Sakanpoistoyhde. Sakanpoistoyhteeseen voi asentaa pumpun pumpaamaan kertyneen sakan lamellin pohjalta.

Toinen tapa poistaa sakka lamellin pohjalta on avata merikontin sivuluukku, jolloin sakkaan pääsee suoraan käsiksi. Sakan voi poistaa kaapimalla tai imuautolla, jonka jälkeen lamellin pohjan voi pestä esimerkiksi painepesurilla (kuva 31).



Kuva 31. Lamellin pohjasakkaa.

8 Tulokset

Näytteitä otettiin yhteensä 9 kappaletta. Näytteet on pulloitettu hiekanerotusaltaasta käsittelemättömästä vedestä sekä puhdistetusta viemäriverkostoon menevästä käsitellystä vedestä. Näytteet otettiin virtaamalla 0,6–10 m³/h. 0,75-massaprosenttisella polymeeriliuksella otettiin näyte kuitenkin vielä suuremmalla virtaamalla, sillä haluttiin nähdä laitteiston kiintoaineenpoistokyky, mikäli virtaamaa kiintoaineenpoistojärjestelmässä nostetaan pumpun teholliseen maksimiin. Näytteiden kiintoaineanalyysitulokset on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Näytteiden analyysitulokset. Taulukossa näytteenottopäivämäärä, näytteen numero, polymeeriliuksen vahvuus, virtaama, kiintoainepitoisuus ja rakennetun kiintoaineenpoistolaitteiston reduktiokyky.

Kiintoaine reduktio- taulukko	Näyte	Polymeeri- liuos (16 l/h)	Virtaama	kiintoainepi- toisuus	reduktio
Näytteen- otto pvm.	nro.	vahvuus m-%	m ³ /h	mg/l	%
3.2.2023	Näyte 1 käsittelemätön	0,5	0,6	60900	99,97
	Näyte 1 käsitelty	0,5	0,6	18	
6.2.2023	Näyte 2 käsittelemätön	0,5	3,5	8740	99,85
	Näyte 2 käsitelty	0,5	3,5	13,2	
7.2.2023	Näyte 3 käsittelemätön	0,5	5	79200	99,93
	Näyte 3 käsitelty	0,5	5	56,4	
9.2.2023	Näyte 4 käsittelemätön	0,5	10	746	89,68
	Näyte 4 käsitelty	0,5	10	77	
20.2.2023	Näyte 8 käsittelemätön	0,75	0,6	175	46,74
	Näyte 8 käsitelty	0,75	0,6	93,2	
17.2.2023	Näyte 6 käsittelemätön	0,75	3,5	470	44,26
	Näyte 6 käsitelty	0,75	3,5	262	
10.2.2023	Näyte 5 käsittelemätön	0,75	5	1770	94,76
	Näyte 5 käsitelty	0,75	5	92,8	
17.2.2023	Näyte 7 käsittelemätön	0,75	10	430	40,47
	Näyte 7 käsitelty	0,75	10	256	
20.2.2023	Näyte 9 käsittelemätön	0,75	>20	373	73,51
	Näyte 9 käsitelty	0,75	>20	98,8	

Käsittelylaitoksella on teollisuusjätevesisopimus Helsingin seudun ympäristöpalveluiden kanssa. Sopimuksessa tiloista poisjohdettavat jätevedet menevät jätevesiverkostoon ja jatkavat sitä kautta Espoon Blominmäen jätevedenpuhdistamolle. Jätevedenpuhdistamolle menevän kiintoaineen raja-arvo on 500 mg/l.

[Liite 1.]

Kiintoaineen reduktionäytteet 1,2 ja 3 on esitetty kuvassa 32. Kuvasta nähdään silmällä havaittavia eroja käsitellyn ja käsittelemättömän veden laadussa.



Kuva 32. Reduktionäytteitä 1, 2 ja 3. Oikealla käsittelemätön ja vasemmalla käsitelty näyte.

9 Johtopäätökset

Suunniteltu kiintoaineenpoistojärjestelmä toimi odotetulla tavalla. Haittapuolena testiympäristössä oli kuitenkin veden laadun vaihtelevuus, jolloin sopivan polymeerin määrittäminen oli osittain hankalaa. Kiintoaineenpoistojärjestelmän vieminen kaivantovesialueelle, jossa veden laatu pysyy vakiona, on kokeen perusteella kannattavaa. Testiympäristössä päästiin vain osittain ihanteelliseen lopputulokseen kiintoaineen reduktiossa.

Testikohteen viemäriverkostoon johdettavan veden kiintoainepitoisuuden raja-arvo on 500 mg/l. Testitulokset osoittavat, että jokaisella virtaamalla ja käytetyillä polymeeriannoksilla päästiin alle määrätyn raja-arvon. Testituloksissa on kuitenkin havaittavissa kiintoaineenpoistotehokkuuden reduktiota eri ajopäivinä. Tämä johtuu osittain hiekanerotuskaivon veden laadusta ja sen vaihtelevuudesta, jolloin kyseinen polymeeri ei välttämättä ollut kyseiselle vedelle optimaalinen. Toiseksi kiintoaineen reduktiotehokkuus saattoi olla laskeva kiintoaineenpoistojärjestelmään ajon aikana kertyneen lian takia. Likaisuutta edesauttoi ei-optimaalisen polymeerin käyttö, sillä polymeeri ei aina kyennyt tekemään optimaalisia flokkeja. Tällöin kiintoainepartikkelit sekoittuivat helpommin käsiteltyyn veteen ja kulkeutuivat kohti puhtaan veden pumppua.

Hiekanerotusaltaassa havaittiin lisäksi styroksin palasia, jotka kerryttivät kiintoainetta itseensä. Styroksin tiedetään kelluvan veden pinnalla, jolloin osa lamellilla olevista kiintoainehiukkasista ajautui styroksin mukana kohti puhtaan veden pumppua. Lamellilla styrokseen kiinnittyneet kiintoainehiukkaset eivät laskeudu lamellin pohjalle sakanpoistotilaan, vaan kulkeutuvat v-pato-seinän läpi kohti käsiteltyyn veden pumppua. Styroksin palaset eivät itsessään päässeet käsiteltyyn veden pumpulle asti, johtuen elementeistä B ja C, mutta siitä irtoavat kiintoainepartikkelit saattoivat ajautua käsiteltyyn veteen.

Kiintoaineenpoistossa on tärkeää, että puhdistettavan veden pH pysyy tietyissä rajoissa. Mikäli pH pääsee nousemaan liian korkealle, flokki ei enää pysy kassassa ja hajoaa käsiteltävään veteen. Mikäli pH on liian alhainen,

kiintoainepartikkelien flokkauskyky heikkenee, sillä polymeeri ei kykene sitomaan hiukkasia. Hiekanerotusaltaan pH oli aluksi kyseisen polymeerin flokkauskykyyn nähden optimaalinen, mutta veden laadun vaihtelevuus saattoi muuttaa pH:ta valikoidun polymeerin flokkauskyvyn ulkopuolelle.

Kehityssuunnitelmia insinööriyölle voisi olla jatkuva pH:n mittaus. Linjastoon olisi helppo asentaa pH-mittari. pH-mittari ilmoittaisi pH:n vaihtelut, jolloin tiedettäisiin esimerkiksi, milloin veden laatu on polymeerin kriittisen flokkauskyvyn rajoilla. Tällöin tilanteeseen voitaisiin reagoida ennaltaehkäisevästi. Toiseksi linjastoon voisi asentaa sameusmittarin. Tämä antaisi laitteiston operoijalle informaatiota veden laadusta ja siitä, millaista vettä tulee jatkuvalla syötöllä puhtaan veden pumpulle tai sieltä ulos. Kolmanneksi linjastoon voisi asentaa veden johdotkyvyn mittari, sillä liiallinen ionipitoisuus voi haitata vedenkäsittelyprosessia. Neljänneksi laitteistoon asennettuja mittareita voitaisiin tarkkailla etämonitoroinilla. On kuitenkin tärkeää, että paikan päällä on osaavaa henkilökuntaa vikatilanteiden sattuessa.

Lähteet

- 1 Seppälä, Antti. 2022. Asiantuntija, Engwater Oy, Riihimäki. Keskustelu 20.6.2022
- 2 Hakala, Anu. 2018. Moreenit. Verkkoaineisto. Geologia.fi. <<https://www.geologia.fi/2018/05/28/moreenit/>>. 28.5.2018. Luettu 24.5.2022
- 3 Jääskeläinen, Raimo; Rantamäki, Martti; Tamminne Markku. 2008. Geotekniikka. 21. muuttumaton painos. Helsinki: Hakapaino Oy
- 4 Sanakirja. Sora. Verkkoaineisto. Geologia.fi. <<https://www.geologia.fi/glossary/sora/>>. Luettu 24.6.2022
- 5 Sanakirja. Hiekka. Verkkoaineisto. Geologia.fi. <<https://www.geologia.fi/glossary/hiekka/>>. Luettu 24.5.2022
- 6 Hietamaat. Verkkoaineisto. Geologian tutkimuskeskus GTK. <<http://weppi.gtk.fi/aineistot/mp-opas/hietamaat.htm>>. Luettu 10.6.2022
- 7 Hiesumaat. Verkkoaineisto. Geologian tutkimuskeskus GTK. <<http://weppi.gtk.fi/aineistot/mp-opas/hiesumaat.htm>>. Luettu 10.6.2022
- 8 Savimaat. Verkkoaineisto. Geologian tutkimuskeskus GTK. <<http://weppi.gtk.fi/aineistot/mp-opas/savimaat.htm>>. Luettu 19.4.2023
- 9 Ronkainen, Nanna. 2012. Suomen maalajien ominaisuuksia. Verkkoaineisto. Suomen Ympäristökeskus SYKE. 2. 2012. Helsinki. <<https://core.ac.uk/download/pdf/14927376.pdf>>. Luettu 24.8.2022.
- 10 Jääskeläinen, Raimo. 2011. Geotekniikan perusteet. Jyväskylä. Tammer-tekniikka / Amk-Kustannus Oy. 3. painos, 2011. Jyväskylä: Bookwell Oy.
- 11 Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 2006. Automaatio-järjestelmien hydrauliiikka ja pneumatiikka. Helsinki: WSOY
- 12 Dr.Boyun, Guo; Dr.Ali, Ghalambor. 2005. Natural Gas Engineering Handbook. 2nd ed. Gulf Publishing Company. E-kirja.
- 13 Beach, W.A. 1972. Fundamentals of Tube Settler Design. Teoksessa Proceedings of the 27th Industrial Waste Conference. 2009. Permut Research Center: Princeton, New Jersey.

- 14 Pontius, Frederick W. 1990. Water Quality and Treatment: A handbook of Community Water Supplies. Sedimentation and Flotation. 4th ed. New York: McGraw-Hill.
- 15 Karttunen, Erkki. 2004. RIL 124-2 Vesihuolto II. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Helsinki: Vammalan Kirjapaino Oy.
- 16 Laskeutusallas. Verkkoaineisto. Vesi.fi. <<https://www.vesi.fi/sanasto/laskeutusallas/>>. Luettu 24.8.2022
- 17 Crittenden, John; Trussell, R. Rhodes; Hand, David; Howe, Kerry; Tchobanoglous, George. 2012. MWH's Water Treatment: Principles and Design. 3. painos. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- 18 Huttunen, Janne. 2015. [Digitaaliset kuvat]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat.
- 19 Kawamura, Susumu. 2000. Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities. New York: John Wiley and Sons Ltd.
- 20 De Clercq, B; Kinnear, D.J; Vanrolleghem, P.A. 2002. Hydraulic characterization of a wastewater treatment clarifier by an acoustic doppler current profiler. Verkkoaineisto. Ghent University. Biomath. <<http://cite-seerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.15.2195&rep=rep1&type=pd.>>. Luettu 20.3.2023
- 21 Huttunen, Janne. 2015. Putkiselkeyttimen suunnittelu, rakentaminen ja testaus, Seeway- ja MineWaCon-hanke. Opinnäytetyö. Savonia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 22 Forsell, Bo; Hedström, Bengt. 1975. Lamella sedimentation: A compact separation technique. Verkkoaineisto. JSTOR. <Lamella Sedimentation: A Compact Separation Technique on JSTOR>. Luettu 21.6.2022
- 23 Tarpagkou, Roza. 2014. The influence of lamellar settler in sedimentation tanks for potable water treatment – A computational fluid dynamic study. Powder Technology. Vol. 268, s. 139–149.
- 24 Coleman, Patrick; Esler, John; Halladey, Lesley; Jeyanayagam, Samuel; McCorquodale, J. Alex; Pettit, Mark; Reardon, Roderick Jr.; Richardson, John; Tekippe, Rudy; Voutchov, Nikolay; Wahlberg, Eric; Wilson, Thomas; Zhou, Siping. 2005. Clarifier Design. 2. painos. Water Environment Federation (WEF). Manual Practice, nro. FD-8. E-kirja.
- 25 Lamellar sedimentation. SUEZ degremont® water handbook. Verkkoaineisto. <<https://www.suezwaterhandbook.com/water-and->

- generalities/fundamental-physical-chemical-engineering-processes-applicable-to-water-treatment/sedimentation/lamellar-sedimentation>. Luettu 4.7.2022
- 26 Ecotec. 2022. International Product Manager. Environmental Engineering. Keskustelu. 7.7.2022.
- 27 Jia-Qian, Jiang. 2015. Current Opinion in Chemical Engineering. The role of coagulation in water treatment. Vol. 8, s. 36-44.
- 28 Välppäys ja hiekanerotus. Verkkoaineisto. Turun Seudun Puhdistamo. <<https://www.turunseudunpuhdistamo.fi/valppays-ja-hiekanerotus>>. Luettu 23.6.2022
- 29 Isomäki, Eija; Kivimäki, Anna-Liisa; Lahti, Kirsti; Valve, Matti. 2006. Pienten pohjavesilaitosten ylläpito ja valvonta. Verkkoaineisto. Ympäristöopas. Helsinki: Suomen Ympäristökeskus SYKE. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38828/YO_PIPOT_2006.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Luettu 23.6.2022
- 30 Retsja Liis. 2012. Kalvojen käyttö erittäin happamissa olosuhteissa. Kandiinaatintyö. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. Theseus-tietokanta.
- 31 Zhang, Zhong-guo; Chen, Zhao-yang; Li, Yan-zhong; Fan, Jing-hua; Fan, Bin; Luan, Zhao-kun; Lu, Dao-qiang. 2006. Journal of Environmental Sciences. Performance of a novel vertical-flow settler: a comparative study. Vol. 18, Issue 5, s. 858-863. Elsevier.
- 32 Ränkman, Esa. 2010. Tekopohjavesiprosessin tarkastelu ja kehittäminen Nokian vesilaitoksella. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Ympäristö- ja energiatekniikan koulutusohjelma. Trepo-tietokanta.
- 33 Ympäristönsuojelulaki. 2014. 27.6.2014/527.
- 34 Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä. 2006. 888/2006.



12.12.2022

VIIKINMÄEN JA BLOMINMÄEN JÄTEVEDENPUHDISTAMOILLE JOHDETTAVIEN JÄTEVESIEN RAJA-ARVOT

METALLIEN RAJA-ARVOT

Metalli		Enimmäispitoisuus mg/l
Arseeni	(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
	PAH-yhdisteet	0,05	mg/l
Fluoridi		20	mg/l
Kiintoaine			
elintarviketeollisuus	500 mg/l	työmaat 300 mg/l	Rasva
		elintarviketeollisuus 150	mg/l

TAPAUSSKOHTAISET RAJA-ARVOT

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

pH-luku

Metallit

BHK₇ (biologinen hapenkulutus)

Typenpoistoa häiritsevät aineet

Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä HSY
PL 100, 00066 HSY, Ilmalantori 1, 00240 Helsinki
Puh. 09 156 11, Fax 09 1561 2011, Y-2274241-9, www.hsy.fi

Samkommunen Helsingforsregionens miljöjänster HRM
PB 100, 00066 HSY, Ilmalatorget 1, 00240 Helsingfors
Tfn. 09 156 11, Fax 09 1561 2011, FO-2274241-9, www.hsy.fi



12.12.2022

VOC-YHDISTEITÄ (LIUOTINAINEITA) KOSKEVAT OHJEET

1. Erittäin helposti syttyvät, helposti syttyvät ja veteen liukenemattomat VOC-yhdisteet (esim. dietyylieetteri, petrolieetteri, sykloheksaani)
 - Ei saa johtaa viemäriin.
2. Klooratut VOC-yhdisteet (esim. trikloorietyleeni, tetrakloorietyleeni, kloroformi ja hiilitetrakloridi).
 - Ei saa johtaa viemäriin.
3. Kloorivapaat VOC-yhdisteet (esim. tolueeni ja ksyleeni).
 - Viemäriverkkoon johdettava jätevesi saa sisältää ko. yhdisteitä yhteensä enintään 3 mg/l.
4. Viemäriverkkoon johdettavan jäteveden kokonaishiilivetytitoisuus (C₁₀-C₄₀) saa olla enintään 100 mg/l (Valtioneuvoston asetus 444/2010 nestemäisten polttoaineiden jakeluasemien ympäristönsuojeluvaatimuksista).

LISÄKSI ON HUOMIOITAVA

- 1 Mikäli muodostunut jätevesi ei sellaisenaan täytä edellä mainittuja vaatimuksia, sitä ei saa laimentaa raja-arvon saavuttamiseksi. Raja-arvot koskevat myös viemäriin johdettavia yksittäisiä jätevesieriä. Em. raja-arvojen soveltamiskohta määritetään tehtävissä sopimuksissa.
- 2 Normaalista asumajätevedestä poikkeavien jätevesien johtamisessa viemäriin on otettava huomioon myös valtioneuvoston asetukset:
 - Valtioneuvoston asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista 1022/2006 muutoksineen
 - Ympäristönsuojeluasetus 713/2014 (41§), liite 1

