

Sekoitus ja flokkaus

Sekoitus- ja flokkaustekniikan käyttö kemiallisessa saostuksessa

Sekoitus ja flokkaus

Kemiallista vedenpuhdistusta käytetään kiintoaineen ja kolloidi- partikkelien destabilointiin, flokkaukseen sekä liukoisen fosforin saostukseen.

Jotta saavutettaisiin hyviä puhdistustuloksia ja hyvä puhdistustalous, on tärkeää löytää oikea saostusaine ja oikea annostus. Hyvä ja stabiili prosessi edellyttää myös käytännön olosuhteiden ja rakenteiden optimointia.

Otetaan tarkasteluun seuraavat vaiheet:

- saostuskemikaalin sekoitus
- annostelun ohjaus
- flokkaus
- flokkien erottaminen
- lietteen poistopumppaus

Kemira Kemwaterilla on useiden vuosien käytännön kokemus ja teoreettinen pohja jäte- ja juomaveden kemiallisesta saostuksesta. Tärkeä osa työtämme on kemiallisen saostuksen optimointi asiakkaittemme luona. Tämän esitteen avulla haluamme saattaa kokemuksemme laajempaan käyttöön.

Esittelemme ja kommentoimme erilaisia saostusaineiden sekoitus- ja flokkausmenetelmiä - erityisesti olemassa olevien vesi- ja jätevesilaitosten parannustöiden kannalta.

Esitteen ensisijainen tarkoitus on tehdä vesi- ja jätevesilaitosten prosessi ja muut vastuuhenkilöt tietoisiksi sekoitukseen ja flokkaukseen liittyvistä ongelmista sekä antaa ideoita sopivien parannustoimien löytämiseksi.

Lyhyt katsaus kemiallisen saostuksen ja flokkauksen teoriaan

Lisäämällä veteen saostuskemikaalia voidaan tehokkaasti alentaa veden fosfaatti- ja humuspitoisuutta sekä muiden liuenneiden aineiden pitoisuuksia. Lisäksi veden sisältämät hiukkaset voidaan saada koaguloitumaan ja flokkautumaan. Flokit voidaan poistaa flotaatio- tai laskutuselkeytyksen avulla. Tämä on tärkeä prosessi, sillä juuri hiukkaset muodostavat 60 - 75 % veden epäpuhtauksista.

Veden hiukkasille on yhteistä negatiivinen pintavarauus. Hiukkasten negatiivinen pintavarauus on usein niin voimakas, että normaalioloissa hiukkaset hylkivät toisiaan. Hiukkasten negatiivinen pintavarauus voidaan neutraloida lisäämällä veteen metallisuoloja, joilla on positiivinen varaus. Tällöin hiukkaset kerääntyvät flokeiksi, jotka voidaan poistaa vedestä.

Saostusaineena käytetään useimmiten kolmiarvoisia rauta- tai alumiinisuoloja tai polyalumiinisuoloja. Polyalumiinisuolat sisältävät ioneja, joiden positiivinen varaus voi olla 3-, 4- tai 5-arvoinen. Kun saostusainetta lisätään veteen, positiiviset ionit alkavat vetää puoleensa sekä negatiivisia hiukkasia että vesimolekyylejä. Jos veden pH on alle 7,5, alumiinisuolat tuottavat veteen

positiivisesti varautuneita hydroksideja. Rautasuolojen osalta positiivisia hydroksideja muodostuu, vaikka pH olisi hieman korkeampikin. Myös tällaiset positiiviset hydroksidit voivat neutraloida hiukkasten pintoja.

Jotta saostusaineen käyttö olisi mahdollisimman taloudellista, aine on sekoitettava käsiteltävään veteen mahdollisimman nopeasti ja tehokkaasti. Ihannesekoitusaika on 0,1 s. Käytännössä sekoitusajat ovat kuitenkin parin sekunnin luokkaa.

Kun hiukkasten pinnat ovat neutraloituneet, vettä on sekoitettava, jotta hiukkaset tarttuvat toisiinsa muodostaen flokkeja (ei kuitenkaan niin voimakkaasti, että flokit hajoavat). Tätä vaihetta kutsutaan flokkaukseksi.

Flokkien ominaisuuksiin vaikuttaa erityisesti hydroksidiflokkien voimakkuus. Eri saostusaineilla muodostettujen flokkien välillä on kestävyseroja. Laboratorio-olosuhteissa tehdyillä flokkaukskokeilla voidaan saada hyvä kuva prosessin tehostusmahdollisuuksista.

SAOSTUSKEMIKAALIEN SEKOITUS VETEEN

Kemikaalien hyvän sekoituksen varmistamiseksi on:

- luotava voimakas turbulenssi sekoituskohdassa
- jaettava saostusaine tasaisesti vesivirtaan
- pyrittävä tulppavirtaustilanteeseen (tilanteeseen, jossa nesteen kaikki osat sekoittuvat samanaikaisesti)

Ellei sekoitusalueen turbulenssi ole riittävä, suuri määrä metalli-ioneja reagoi veden kanssa muodostaen hydroksidia sen sijaan, että reagoisi fosfaatin tai likahiukkasten kanssa.

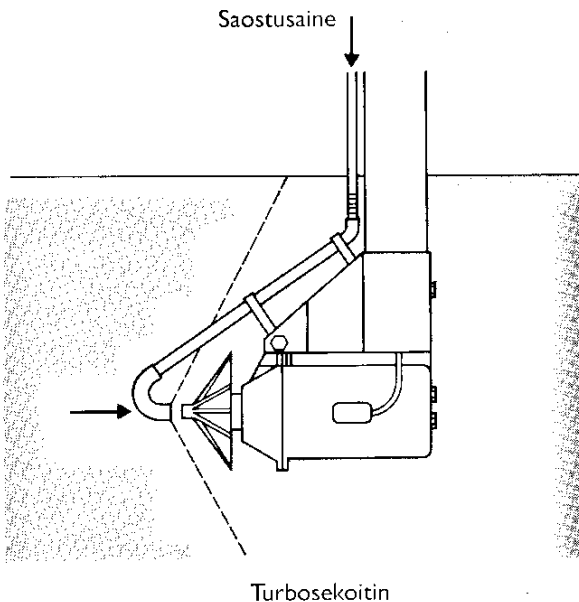
Pikasekoitus voidaan toteuttaa monin tavoin. Se voidaan tehdä dynaamisesti (turbulenssi saadaan aikaan sekoittimen tai ilmastuksen avulla) tai staattisesti (hyödyntämällä pelkästään veden liike-energiaa turbulenssia aiheuttamalla).

Sekoitusmenetelmä tulee valita kunkin vesi- ja jätevesilaitoksen teknisten edellytysten mukaan.

Dynaaminen sekoitus

Turbosekoitin

Monissa puhdistuslaitoksissa on käytössä Kemira Kemwaterin kehittämä turbosekoitin.



Turbosekoitin koostuu kartiomaisella jakoroottorilla varustetusta uppomoottorista. Sekoitin upotetaan

flokkaus- tai saostusaltaan tulokanavaan tai väliputkeen siten, että jakoroottori on suunnattuna vastavirtaan. Saostusaine annostellaan turbolaattorin eteen rakenteeseen liittyvällä annostusputkella.

Edut:

- tasainen ja nopea sekoitus
- ei palautuskierto-ongelmaa

Haitat:

- roskat ja kuidut tarttuvat helposti roottoriin minkä vuoksi laite voidaan joutua tarkastamaan ja puhdistamaan usein
- liikkuvat osat voivat rikkoutua
- edellyttää energialähdettä

Suosittelomme turbosekoitinta jälkisaostukseen ja juomaveden puhdistukseen.

Ilmastukseen perustuva sekoitus

Melko tavallinen ja yksinkertainen menetelmä on saostusaineen lisääminen kanavaan kohdassa, jossa kanavaan puhalletaan ilmaa, tai aineen lisääminen ilmastetun hiekanerotin alku- tai loppupäähän asennettavilla levityspotkilla. Menetelmässä hyödynnetään ilmakuplien turbulenssia.

Haitat:

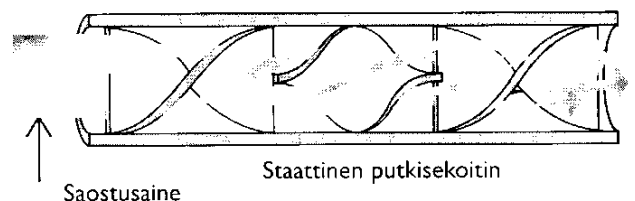
- sekoittuminen tapahtuu epätasaisesti ja sen hallinta on vaikeaa
- palautuskiertoa ei voi välttää

Menetelmä ei aina takaa riittävää sekoittumista.

Staattinen sekoitus

Staattinen putkisekoitin

Jos vesi kulkee kemialliseen vaiheeseen putken kautta, voidaan käyttää putkisekoitinta, jossa on taivutetut ohjaimet. Saostusaineen lisäyskohta on aivan sekoittimen edessä.



Edut:

- sekoitus tulppavirtaukseen
- tasainen sekoitustulos
- ei edellytä erillistä energialähdettä

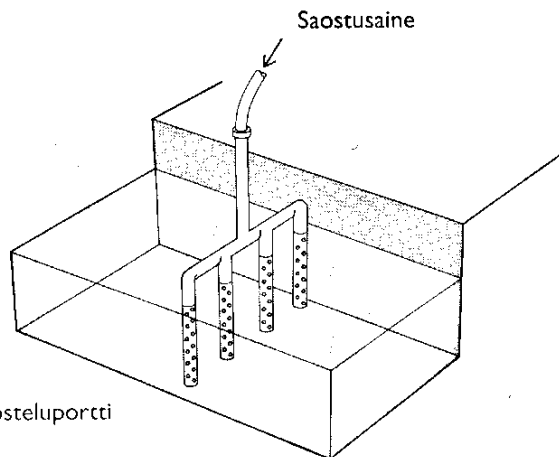
Haitat:

- sekoittimen ohjaimiin tarttuu helposti roskaa
- sekoitusvoimakkuus vaihtelee virtauksen mukaan

Menetelmä sopii parhaiten juomaveden käsittelyyn.

Ruiskutus veteen laskettavan annosteluportin avulla

Yksinkertainen tapa levittää saostusainetta virtaan on ruiskuttaa se kanavaan tai flokkauskammion tuloaukolle veteen laskettavien annosteluporttien tai välihaarukoiden avulla. Annosteluportti koostuu putkista, joissa on tasaisin välein pieniä reikiä. Saostusaine pumpataan mieluiten myötavirtaan nopeudella, joka ylittää virtausnopeuden. **Vastapaine ei saa ylittää annostelupumpun kapasiteettia.**



Annosteluportti

Edut:

- sekoitus tulppavirtaukseen
- ei edellytä energialähdettä

Haitat:

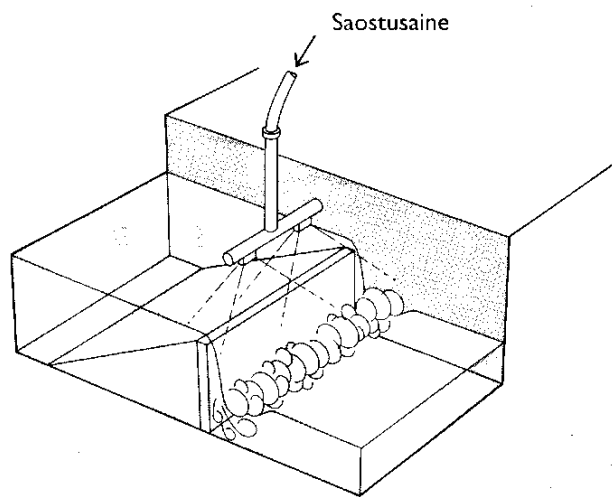
- roskat ja kuidut voivat tukkia annostelureiät
- sekoittuminen ei ole täysin tasaista ja nopeaa (turbulenssilähde on sopivinta järjestää välittömästi sekoittimen jälkeen)

Annosteluportti ei sovi kiinteitä hiukkasia sisältäville saostusaineille tai lietteelle.

Sekoitus ylivuotoreunan avulla

Jos kemialliseen vaiheeseen johtavassa kanavassa on (tai jos kanavaan voidaan järjestää) ylivuoto, tämä on ihanteellinen kohta saostusaineen lisäämiseen. Ylivuotoreunan jälkeen oleva nestekerros ei saa olla kovin syvä (enintään 10 - 20 cm). Ylivuodon aikaansaama turbulenssi voi antaa riittävän sekoitustehon, jos ylivuotoreunan korkeus ja veden virtausnopeus ovat sopivat.

Monissa puhdistuslaitoksissa on Venturi-pato. Myös sitä voidaan käyttää saostusaineen lisäyskohtana.



Suutinlevitys ylivuotokohdassa

Kemikaali on levitettävä tasaisesti ylivuotopinnalle. Tämä voidaan tehdä sijoittamalla monireikäinen putki ylivuotokohdan ylle. Paras tulos saadaan käyttämällä suuttimia, jotka levittävät saostusaineen pinnalle tasaisesti.

Edut:

- yksinkertainen menetelmä
- sekoittuminen on tasaista ja nopeaa
- ei vaadi paljon huoltoa
- ei edellytä lisäenergiälähdettä

Haitat:

- sekoitustulos voi vaihdella virtauksen mukaan
- kanavaan lisättävä ylivuoto voi vaatia pintatason nostamista

Saostusaineen laimennus ennen sekoitusta

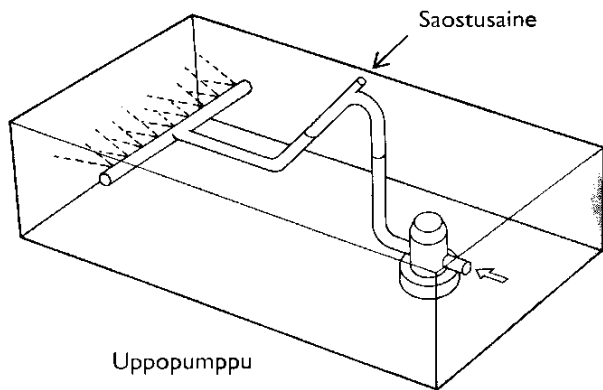
Kun sekoitusta edeltää saostusaineen laimennus, sekoittuminen on tasaisempaa ja nopeampaa. Laimennus ei saa olla niin voimakasta, että se johtaa hydroksidien syntymiseen. Tämän vuoksi on varmistettava, että laimennetun liuoksen pH < 3.

Laimennus voidaan tehdä raakavedellä tai hyvin puhdistetulla jätevedellä.

Erittäin voimakasta (esimerkiksi 1000-kertaista) laimennusta voidaan käyttää, jos laimennuksen ja sekoituksen välinen aika on hyvin lyhyt. Tällöin hydroksideja ei ehdi muodostua.

Laimennus osavirtauksessa uppopumpun avulla

Tämä voidaan käytännössä järjestää niin, että siirtokanavaan upotetaan pumppu, jonka avulla saadaan erotettua osa virtauksesta. Painepuolen letku muodostaa "joutsenenkaulan", johon saostusaine lisätään. Osavirtaus voidaan sen jälkeen levittää takaisin päävirtaukseen levityspotken avulla.



Flokkausmenetelmiä

Flokkauksella pyritään tilanteeseen, jossa:

- mahdollisimman monet tasapainoon pyrkivät hiukkaset kerääntyvät flokeiksi
- flokit muodostuvat sellaisiksi, että ne on helppo erottaa liuoksesta flokkauksen jälkeisessä erotusvaiheessa

Jotta hiukkaset saataisiin törmäämään toisiinsa, liuokseen on muodostettava turbulenssi. Tämä voi perustua ulkoisen energian käyttöön (dynaaminen/mekaaninen sekoitus) tai veden liike-energian hyödyntämiseen (staattinen/hydraulinen sekoitus).

Ihanteellisen flokkulaation osatekijät ovat seuraavat:

- veden turbulenssi on tasainen ja riittävän voimakas, jotta hiukkaset voisivat tarttua toisiinsa - ei kuitenkaan niin voimakas, että muodostuneet flokit hajoavat
- kaikissa prosessinosissa sama hyvä flokkaussuhde, ei oikovirtauksia
- mahdollisuus mukauttaa sekoitus virtauksen vaihteluihin

Edellä esitetty tilanne on käytännössä vaikea saavuttaa, mutta optimointikokeilla voidaan usein parantaa puhdistustulosta.

Useista puhdistusprosesseista puuttuu perinteinen flokkauksosa (sekoittimella varustettu flokkaukammio). Tämä on tavallista etenkin laitoksissa, joissa siirrytään jälkisaostuksesta esisaostukseen.

Tällaisissa tapauksissa haluttu flokkauks voidaan järjestää tulokanavaan ilmastettuun hiekanerotukseen tai yksinkertaisten läppälaitteiden avulla.

Laskeutusselkeytyksessä on etua suurista, tiheistä flokeista. Tällöin selkeytys nopeutuu ja lietteen ominaisuudet paranevat. Kun käytetään flotaatiota, flokkien rakenteelle ei tarvitse asettaa yhtä suuria vaatimuksia, mutta pienet ja tiheät flokit erottuvat parhaiten.

Flokkien on oltava vahvoja, jotta ne eivät hajoaisi siirtyessään selkeytykseen. Flokkien kokoa ja kestävyyttä voidaan parantaa lisäämällä prosessiin polymeereja.

Mekaaninen sekoitus

Tavallisin ja helppoiten hallittava vaihtoehto on sekoittimella varustettu flokkaukammio. Tulppavirtaus saavutetaan sijoittamalla sarjaan useita kammioita. Kussakin kammiossa tavoitteena on ns. ihannesekoitus. Liuoksen käsittelyaika kammiossa on jäteveden osalta 15 - 20 minuuttia ja juomaveden osalta pitempi veden lämpötilan ja käytettävän kemikaalin mukaan.

Jotta saataisiin hyviä flokkeja ennen selkeytystä, sekoitusvoimakkuuden on heikettävä kammio kammioilta. Jos käytetään flotaatiota, on edullista pitää sekoitusvoimakkuus suurempana ja tasaisena kautta koko kammiosarjan. Näin saadaan pienempiä ja tiheämpiä flokkeja. Flotaatiossa voidaan käyttää lyhyempiä flokkauksaikoja ja vähemmän kammioita.

Sekoittimina voidaan käyttää

- portteja
- turpiineja
- potkureita

Edellä mainitut sekoittimet sopivat yhtä hyvin jäteveden kuin juomavedenkin puhdistusprosessiin. Sekoitintyyppiin valintaan vaikuttaa mm. virtauksen suuruus ja vaatimus pyörteisyyden hyvästä jakautumisesta vesimäärässä.

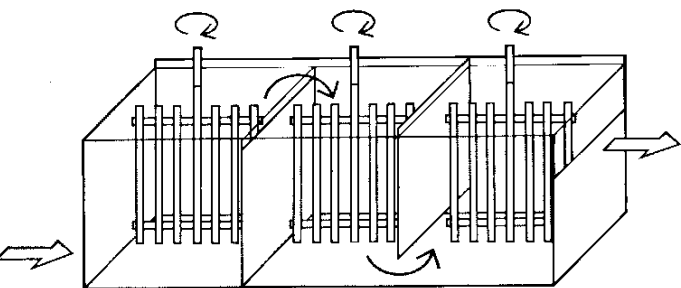
Porttisekoitin

Monissa kunnallisissa puhdistamoissa käytetään porttisekoittimia. Ne ovat pinta-alaltaan suuria ja pyörimisnopeudeltaan hitaita. Ne voidaan sijoittaa pysty- tai vaakatasoon. Pystyakseli on tavallisin ratkaisu. Porteissa ei saa olla teräviä reunoja, sillä ne synnyttävät voimakkaita paikallispyörteitä.

On varmistettava, että vesi ei työnny eteenpäin porttien mukana. Käyttämällä ohjaussiniä ja 80 % portti-aukkoja neliömäisessä virtaukammiossa saavutetaan useimmiten hyvä sekoitus. Portin halkaisijan ja kammion leveyden ihannesuhde on 0,8.

Laskeutuksen yhteydessä suositeltavat kehänopeudet ovat seuraavat:

- ensimmäisessä flokkaukammiossa: 0,5 m/s
- toisessa flokkaukammiossa: 0,3 m/s
- kolmannessa flokkaukammiossa: 0,1 m/s



Porttisekoittimella varustettu flokkauskammi

Porttisekoittimen edut:

- säädettävä sekoitusnopeus
- tasainen pyörteisyys
- selviytyy suurista virtauksen vaihteluista
- menetelmästä paljon käytännön kokemuksia

Haitat:

- flokkauskammiin voi muodostua pohjasakkaa
- portteihin voi tarttua roskia ja lietettä
- energiankulutus

Turpiini- ja potkurisekoittimet

Turpiini- ja potkurisekoittimien pyörimisnopeus on suurempi kuin porttisekoittimien. Ne sijoitetaan pystysuoraan flokkauskammiin keskipisteen alapuolelle. Turpiineilla saadaan säteen suuntainen ja potkureilla pystysuora virtaus.

Turpiini- ja potkurisekoituksen edut porttisekoitukseen nähden ovat seuraavat:

- pienempi energiankulutus
- helpompi pohjan puhtaanapito

Haitta:

- voimakkaiden paikallispyörteiden välttäminen on vaikeaa

Turpiinisekoittimen etuna on veden suuri nostokorkeus. Sitä vastoin sen hydraulikapasiteetti on pieni.

Potkurilla varustettu kammi sietää suurempaa hydraulista rasitusta, mutta sen nostokorkeus on vaatimaton.

Virtaus flokkauskammioiden

Flokkausvaiheen veden sisään- ja ulosvirtauksen sekä kammioiden välisen virtauksen jakauma on tärkeä. Oikovirtauksia on vältettävä. Kuvasta näkyy, miten ohjauseinät voidaan asettaa hyvän virtausjakauman varmistamiseksi.

Samalla on pyrittävä ehkäisemään valmiiden flokkien rikkoutuminen esimerkiksi flokkaus- ja erotusvaiheen välillä. Peukalosääntö on, että flokkeja ei saa altistaa virtausnopeuksille, jotka ylittävät arvon 0,1 m/s. Virtausnopeus ei saa enää kasvaa pikasekoituksen jälkeen, vaan sen on koko ajan hidastuttava selkeytystä kohden. Teräviä reunoja ja taitteita on vältettävä.

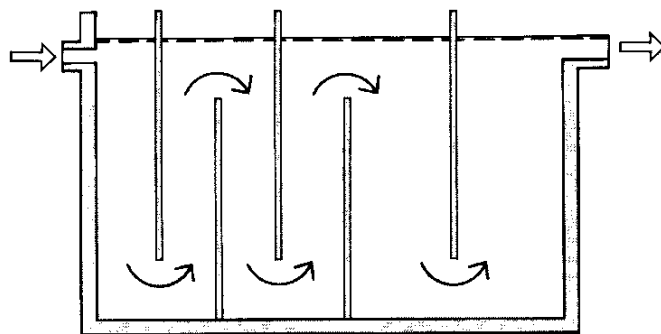
Hydraulinen sekoitus

Hydrauliset ja staattiset menetelmät muodostavat vaihtoehdon perinteisille flokkauskammioiden. Ne ovat käyttökelpoisia etenkin laitoksissa, joihin ei ole rakennettu flokkausvaihetta, mutta joihin voidaan asentaa mekaanisia esteitä tai laitteita, jotka saavat aikaan hydraulista sekoitusta.

Flokkauksen toteuttaminen tällä tavoin on edullista, koska se ei vaadi lisäenergiälähdettä. Haittapuolena on yleensä pyörteilyn voimakkuuden muuttuminen virtauksen vaihdellessa, mikä vaikeuttaa flokkien muodostumisen hallintaa.

Ohjauseinillä varustettu reaktori

Vanhin flokkausmenetelmä on kammi, jossa on joukko ohjauseinää.



Ohjauseinillä varustettu reaktori

Etu:

- ei edellytä energialähdettä

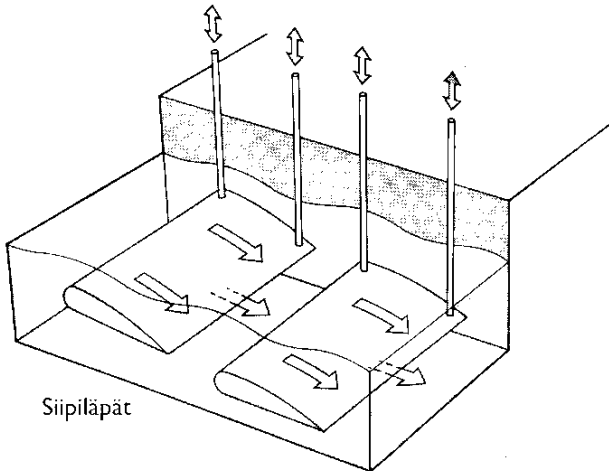
Haitat:

- sekoitus ei ole tasaista
- virtauksessa esiintyy paikallisia nopeushuippuja - flokit hajoavat helposti
- reaktori vaatii paljon tilaa

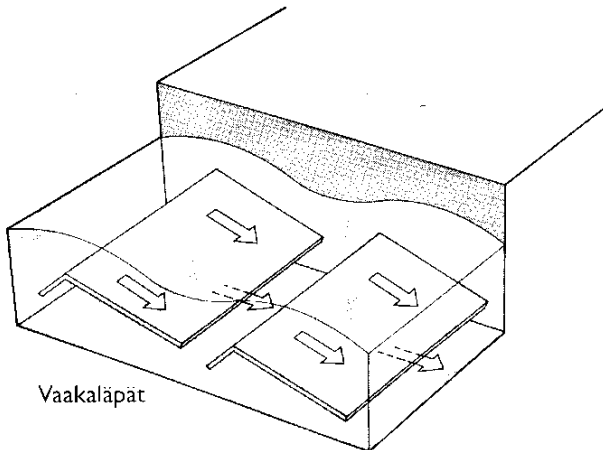
Läpät siirtokanavassa

Laitoksissa, joissa on pitkiä siirtokanavia, flokkausta voidaan edistää yksinkertaisten läppälaitteiden avulla. Läpät sijoitetaan kanavaan pystyasentoon, jolloin muodostuu pienoispotous, tai vaaka-asentoon puoliupoksiin. Läppien sijoittelua ja kulmia voidaan säätää. Asettamalla useita läppiä peräkkäin kanavan virtaukseen voidaan muodostaa pyörteitä.

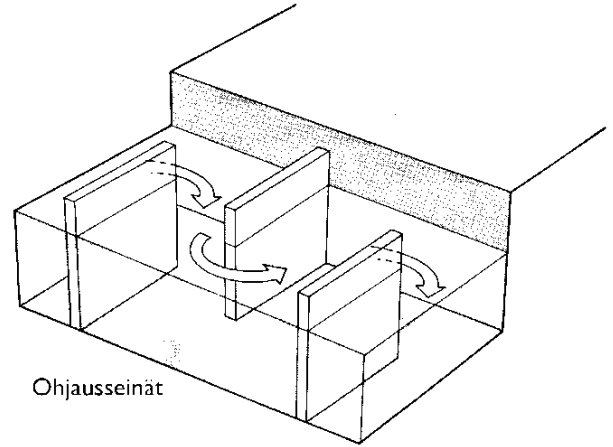
Esimerkkejä läppien käytöstä:



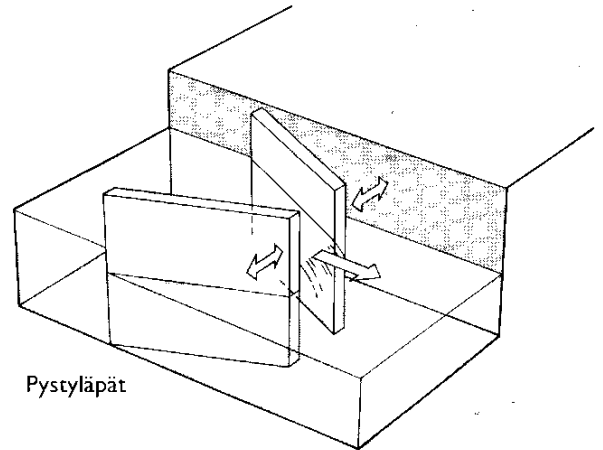
Sipiläpät



Vaakaläpät



Ohjauseinät



Pystyläpät

Edut:

- testaus on yksinkertaista ja helppoa
- mahdollistaa pyörteilyn voimakkuuden säädön
- mahdollistaa tulppavirtauksen

Haitat:

- liuos ohittaa nopeasti pyörteisen vyöhykkeen
- tasaista turbulenssia ei voi saavuttaa
- kanavassa voi syntyä tukoksia

Käytettävien läppien (tai muiden kanavaan asennettävien esteiden) muoto vaihtelee kanavan muodon ja viettävyysden sekä virtauksen suuruuden mukaan.

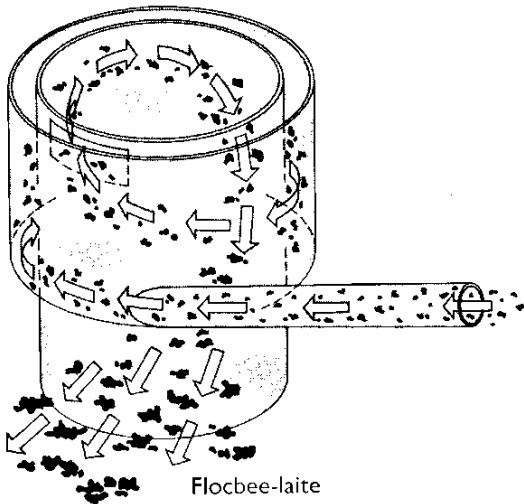
Flocbee-laite

Ruostumattomasta teräksestä tai muovista valmistettu Flocbee-laite on mukautettu asennettavaksi laskeutusaltaan tulopuolelle, tavallisesti lietesyvennyksen yläpuolelle. Laite koostuu kahdesta sisäkkäisestä sylinteristä. Vesi johdetaan ensin sylinterienväliseen tilaan, josta se joutuu sisempään sylinteriin ja poistuu sitten sen pohjan kautta. Vesi joutuu tasaiseen kiertoiliikkeseen.

Käytettävän Flocbee-laitteen koko vaihtelee virtauksen mukaan. Veden ohjeviipymäaika (flokkaus aika) on tavallisesti noin 3 minuuttia.

Edut:

- hellävarainen ja lähes homogeeninen pyörteily
- ei oikovirtauksia
- muodostaa energianvaimentimen, joka mahdollistaa selkeytysaltaan virtaussuhteiden optimoinnin
- vähentää lietteen karkaamista



Haitat:

- vie tilaa laskeutusaltaassa
- pyörre vaihtelee virtauksen mukaan
- vaatii tarkkaa mitoitus
- voi aiheuttaa pyörteitä lietesyvennykseen

Putkiflokkaus

Kun saostusainetta sisältävää vettä kuljetetaan pitkissä putkikavavissa, hyvä flokkaus voidaan saada aikaan käyttämällä hyväksi putken pyörteisyyttä. Edellytyksenä on laitoksen oikea mitoitus.

Putken pituus määräytyy flokkausajan mukaan. Virtauksen tulee pienentyä loppua kohti, mikä edellyttää putken halkaisijan suurenemista.

Edut:

- lähes homogeeninen pyörteily saavutettavissa oikealla mitoituksella
- ei oikovirtauksia

Haitat:

- viive vaihtelee voimakkaasti virtauksen voimakkuuden mukaan
- suurissa laitoksissa tarvitaan pitkiä putkistoja, mikä merkitsee kalliita investointeja

Suomessa putkiflokkauksesta on saatu hyviä kokemuksia pienissä jätevedenpuhdistamoissa. Tasaussallas ja rinnakkaisputkistot auttavat pitämään virtauksen mahdollisimman muuttumattomana.

Menetelmä sopii hyvin juomavedenpuhdistamoihin, joissa virtauksen voimakkuus pysyy tasaisena vakiosyöttöpumppauksen ansiosta.

Flokkaus ilmasekoituksen avulla

Monissa jätevedenpuhdistamoissa, joissa on siirretty esitai suorasaostukseen, flokkaus toteutetaan ilmastetussa hiekanerottimessa. Tällöin pyörteisyys synnytetään paineilman avulla.

Jotta saavutettaisiin tyydyttävä flokkaus, ilmakuplien tulee olla mahdollisimman pieniä ja hienojakoisia, mikä edellyttää tasaista ilmanjakamista. Tasaisen jakauman saavuttaminen on kuitenkin vaikeaa.

Edut:

- yksinkertainen ratkaisu, ei tarvetta rakennemuutoksiin
- sekoitusta voidaan ohjata säätämällä paineilman voimakkuutta

Haitat:

- ei takaa tasaista pyörteisyyttä
- flokit rikkoutuvat helposti
- säätäminen vaikeata
- voi johtaa hiekanerottimen lietemäärän kasvuun
- liete voi nousta pintaan selkeytyksessä