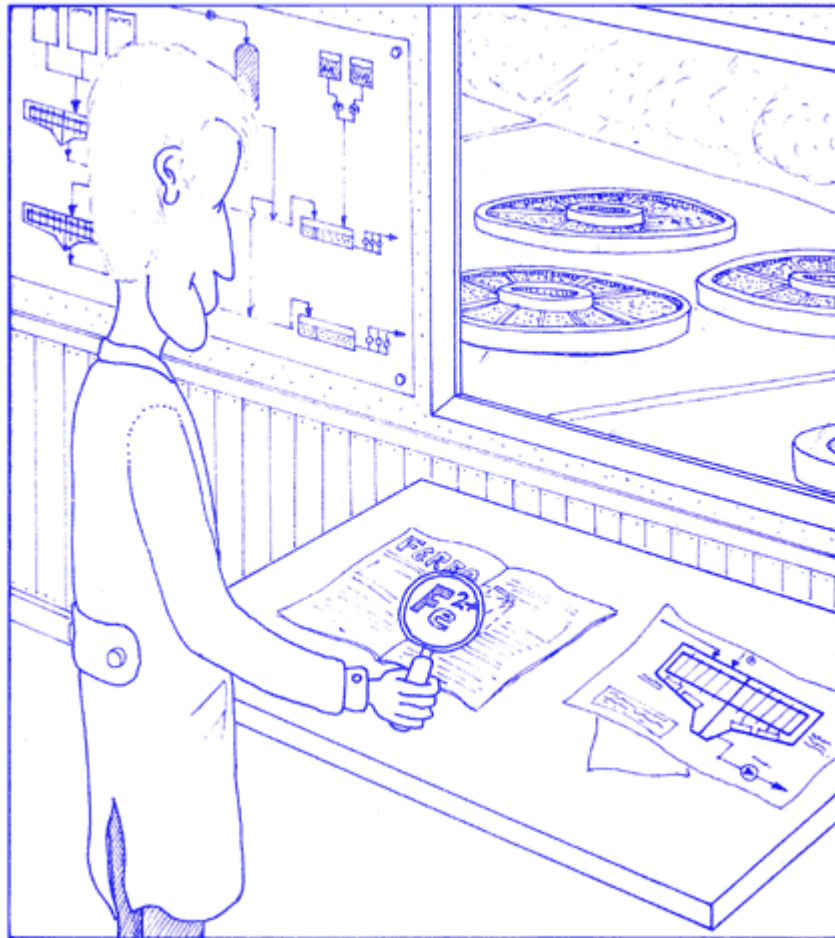


# Ferrosulfaatin käyttöopas



## ESIPUHE

### 1 JOHDANTO

### 2 FERROSULFAATIN OMINAISUUDET

#### 2.1 Ferrosulfaatin alkuperä

#### 2.2 Kemialliset ominaisuudet

#### 2.3 Fysikaaliset ominaisuudet

### 3 FERROSULFAATTI SAOSTUSKEMIKAALINA

#### 3.1 Jätevedenpuhdistuksessa käytettävät sovellutukset

#### 3.2 Jäteveden koostumus

#### 3.3 Fosforin poiston vaatimukset ja puhdistustulokset

#### 3.4 Raudan reaktiot jätevedessä

#### 3.5 Ferrosulfaatin vaikutus muodostuvaan lietteeseen

### 4 FERROSULFAATIN KULJETUS JA VASTAANOTTO

#### 4.1 Toimitusmuodot

#### 4.2 Kuljetuskalusto

#### 4.3 Vastaanotto ja varastointi

#### 4.4 Liuoksen valmistus

#### 4.5 Materiaalikäsymykset

#### 4.6 Ferrosulfaattiliuoksen sekoitus

#### 4.7 Liuotuslaitaiden puhdistus

### 5 FERROSULFAATIN ANNOSTELU

#### 5.1 Annosteluperusteet

#### 5.2 Annostelu

#### 5.3 Annostelupumput

#### 5.4 Putkisto

## ESIPUHE

Tämän ferrosulfaatin käyttöoppaan on koonnut Kemira Oy:n toimeksiannosta Suunnittelukeskus Oy. Oppaan laadintaa on ohjannut työryhmä, johon ovat kuuluneet

dipl.ins. Risto Saarinen	Kemira Oy
tekn. Anatol Korelin	Helsingin kaupungin vesi- ja viemärlaitos
ins. Pentti Laakso	Maa ja Vesi Oy
tutkija Timo Myry	Vesi-Hydro Oy
TkL Markku Makela	Vesihallitus
dipl.ins. Unto Tanttu	Suunnittelukeskus Oy

Oppaan ovat laatineet dipl.ins. Matti Alavakeri, ins. Hannu Latvanen ja dipl.ins. Jorma Pääkkönen.

Opas on päivitetty Kemwaterissa tammikuussa 2002

## 1 JOHDANTO

Ferrosulfaattia käytetään biologisen jätevedenpuhdistuksen yhteydessä saostuskemikaalina. Fosforin kemiallisen saostumisen lisäksi sille voidaan tehostaa eloperäisen kiintoaineksen ja kiintoaineseen sitoutuneiden yhdisteiden poistamista.

Nykyisen käsityksen mukaan jätevesille on useimmiten tarpeen biologiskemiallinen käsittely. Yleisin puhdistusmenetelmä on Suomessa kehitetty rinnakkaissaostus, josta ensimmäiset käyttökokeemukset saatiin 1960-luvun puolivälissä. Tällä hetkellä Suomessa suurin osa yhdyskuntien jätevesistä käsitellään rinnakkaissaostusmenetelmällä, laitospäätteen mukaan laskien noin 75 %.

Tämän oppaan tarkoituksena on olla ensisijaisesti apuna ferrosulfaatin käyttökemian tuntemisessa. Opas pohjautuu laitoksilta saatuihin käyttökokemuksiin ja kirjallisuustietoihin.

## 2 FERROSULFAATIN OMINAISUUDET

### 2.1 Ferrosulfaatin alkuperä

Ferrosulfaattia valmistetaan Kemira Pigments Oy:n Porin tehtailla titaanidioksidin sivutuotteena.

### 2.2 Kemialliset ominaisuudet

Ferrosulfaatti ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) on kiteistä ja väriltään vaalean vihreää, mutta ilman kanssa kosketuksiin joutuessaan se voi muuttua pinnaltaan ruskehtavaksi. Tämä johtuu siitä, että ferrosulfaatin +2-arvoinen ferrorautea on tällöin osittain hapettunut +3-arvoiseksi ferriraudaksi. Tämänkaltaisella hapettumisella ei ole todettu olevan haittavaikutuksia käytettäessä ferrosulfaattia jätevedenpuhdistukseen.

Ferrosulfaatti on kiinteää nuoskalumen kaltaista ainetta. Kasan pinnalle saattaa seisotettaessa muodostua vaalea tai ruskea kerros. Vaalea kerros on tetrahydraattia,  $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , jota muodostuu ferrosulfaatin kuivuuksessa, ja ruskea väri aiheutuu hapettumisesta.

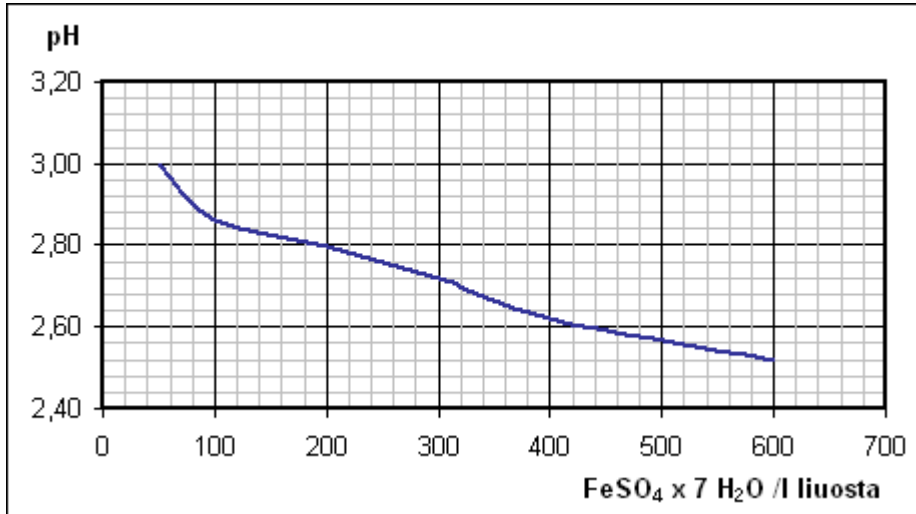
Teknisen ferrosulfaatin koostumus on esitetty taulukossa 1. Pitoisuudet ovat keskimääräisiä ja jonkin verran voi esiintyä vaihteluja.

### Taulukko 1. Ferrosulfaatin pääkomponenttien koostumus

Rauta, Fe	18,0
Magnesium, Mg	0,5
Titaani, Ti	0,15
Mangaani, Mn	0,08
Kosteus	4,0
Liukenematon osuus alle	0,2

Rinnakkaissaostuksessa puhdistamolietteen rautapitoisuuden lisäksi kohoaa ferrosulfaatin vuoksi mangaanipitoisuus keskimäärin noin 500 mg/kg kuiva-ainetta.

Ferrosulfaattiliuoksen pH on hyvin alhainen. Pitoisuudessa 50 g/l se on jo alle 3 ja pitoisuudessa 500 g/l 2,5. Liuoksen kanssa jatkuvaan kosketukseen tulevien materiaalien on syytä olla haponkestäviä. Kuvassa 1 on esitetty ferrosulfaattiliuoksen pH eri pitoisuuksissa.

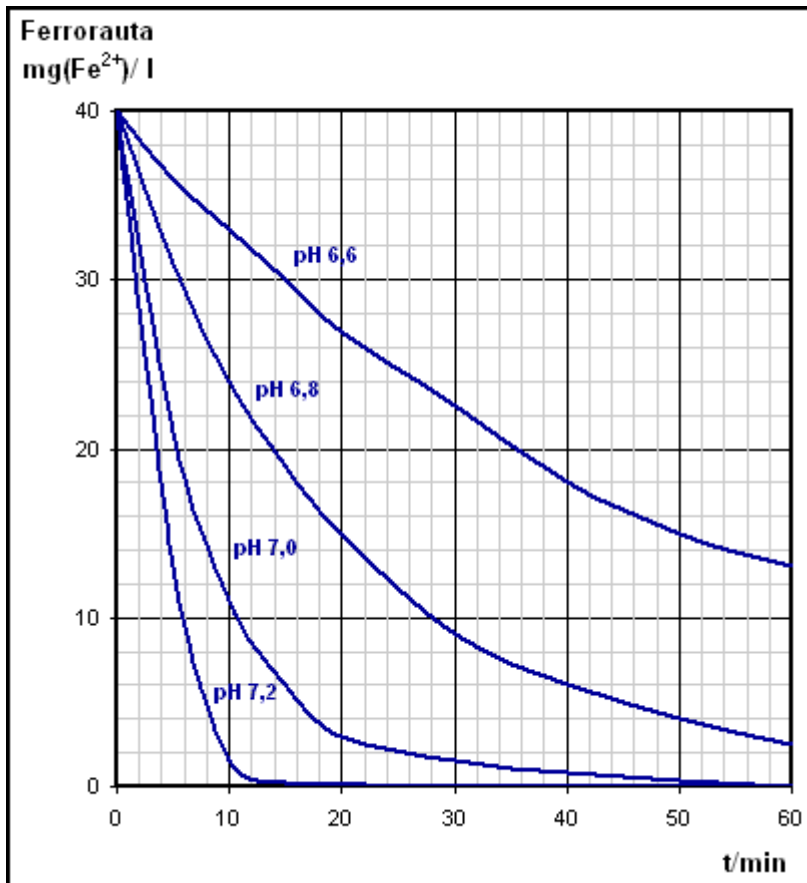


Kuva 1. Ferrosulfaattiliuoksen pH eri pitoisuuksissa 25 °C:ssa

Rauta poikkeaa muista saostuskemikaaleista siinä, että se voi esiintyä kahdella eri hapetusasteella, joko Fe(II) eli ferrorautana tai Fe(III) eli ferrirautana. Ferrosulfaatin 2-arvoisen raudan muuttumista 3-arvoiseksi kutsutaan hapettumiseksi. Teoreettinen hapentarve on 25 g O<sub>2</sub>/kg ferrosulfaattia.

Toimiakseen tehokkaasti fosforin sitomisessa rauta hapetetaan ferrimuotoon ennen saostusta. Hapettaminen voidaan suorittaa vedessä ilman hapella ilmastusaltaassa, esi-ilmastuksessa tai nostamalla jäteveden pH yli 8,5. Ferrirauta reagoi jäteveden fosfaattien kanssa muodostaen ferrifosfaattisaostuman, joka laskeutetaan selkeytysaltaassa. Syntyvä flokki sitoo itseensä myös orgaanisia aineksia.

Mahdollisimman hyvän puhdistustuloksen saavuttaminen edellyttää, että raudan hapettuminen hallitaan. On tärkeää, ettei rauta hapetu jo varasto tai annostelusäiliössä. Raudan tulee reagoida fosfaatin kanssa välittömästi hapettumisen tapahduttua. Hapettumisnopeus riippuu ferroraudan määrästä sekä jäteveden pH:sta ja happipitoisuudesta. Reaktionopeus kasvaa voimakkaasti pH:n noustessa. Kuvassa 2 on havainnollistettu pH:n vaikutusta hapettumisnopeuteen puhtaassa vedessä. Käyrien on todettu pitävän paikkansa ainakin laimeahkoissa jätevesissä.



Kuva 2. Raudan hapettumisnopeus ajan ja pH:n funktiona

Jos rauta hapettuu jo annostelusäiliössä, se alkaa reagoida veden sisältämien hydroksyyli-ionien kanssa muodostaen rautahydroksidisakkaa. Tämäkin voi toimia epäpuhtauksien sitojana, muttei poista fosforia yhtä tehokkaasti kuin raudan reagoiessa suoraan fosfaattien kanssa.

Rautahydroksidisaostumat voidaan liuottaa rikki- tai suolahapolla. Happojen käsittelyssä on otettava huomioon työturvallisuuskohdat.

Happea tehokkaampia hapettimia käytetään, mikäli raudan hapetus halutaan suorittaa liuoksessa. Tämä voidaan tehdä esim. kloorilla, jonka tarve on 111 g klooria/1 kg ferrosulfaattia. Klooriylijäämän pitäisi olla vähintään 10 % ja kontaktiajan vähintään 5 minuuttia.

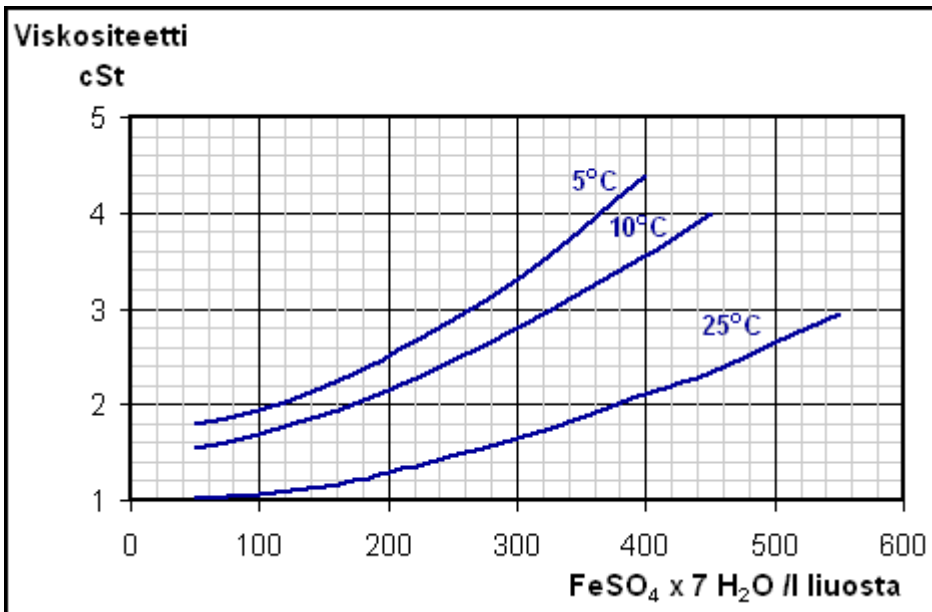
### 2.3 Fysikaaliset ominaisuudet

Ferrosulfaattiliuoksen tiheys, viskositeetti ja jäätymispiste eri pitoisuuksissa on esitetty oheisissa kuvissa.

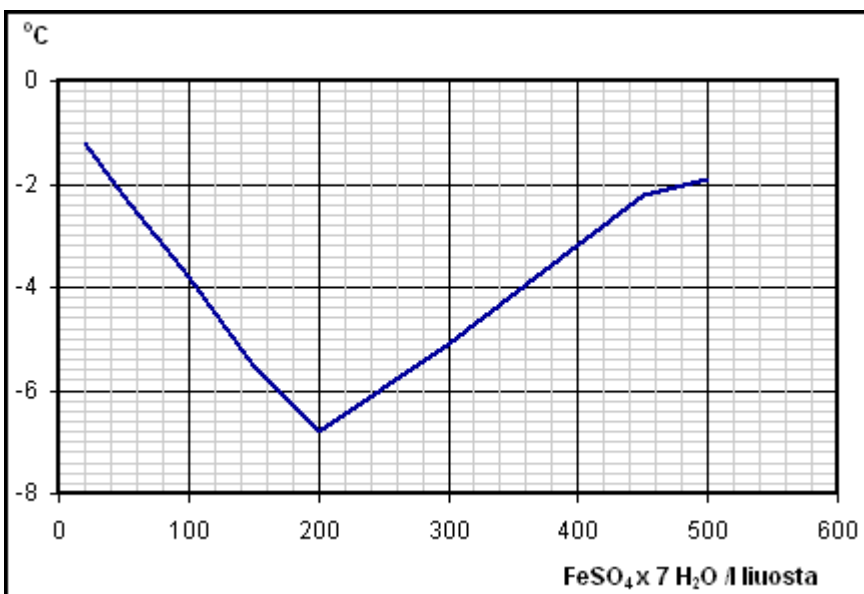
Tiheydellä tarkoitetaan sitä, kuinka suuri paino on tietyllä tilavuudella liuosta. Kun yksikkönä on kg/d m<sup>3</sup>, niin tarkoitetaan yhden liuoslitran painoa kilogrammoina.

Viskositeetti on liuoksen sisäisen kitkan mitta. Se ilmaisee, miten notkeaa tai jähmeää liuos on, eli liuoksen virtauskykyä putkessa.

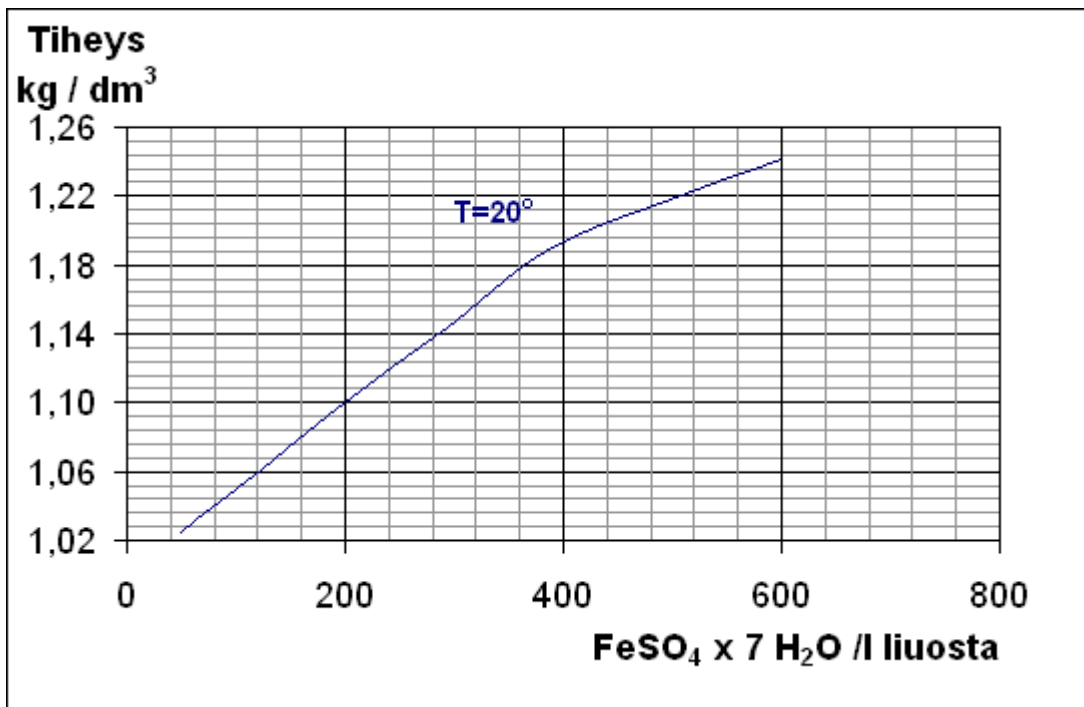
Jäätymispiste kertoo sen lämpötilan, jossa liuos jäätyy.



Kuva 3. Ferrosulfaattiliuoksen viskositeetti eri pitoisuuksissa ja lämpötiloissa



Kuva 4. Ferrosulfaattiliuoksen jäätymispiste eri pitoisuuksissa

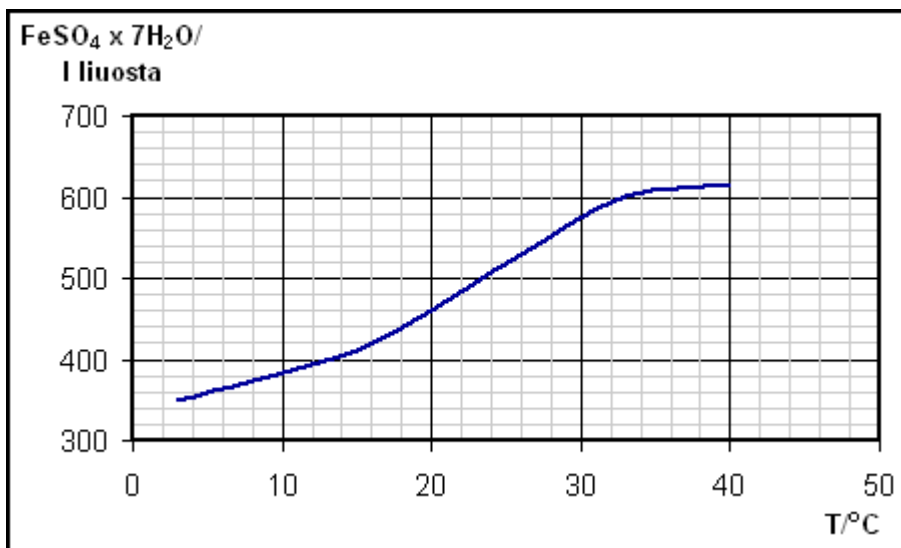


Kuva 5. Ferrosulfaattiliuoksen tiheys eri pitoisuuksissa

Ferrosulfaatin liukoisuus veteen riippuu lämpötilasta. Kylläisen ferrosulfaattiliuoksen pitoisuus (ferrosulfaatin liukoisuus) eri lämpötiloissa on esitetty kuvassa 6. Jos käytetään kylläistä liuosta, osa ferrosulfaatista kiteytyy lämpötilan laskiessa eli liuoksen ferrosulfaattipitoisuus alenee. Liuoksen siirto annostelusäiliöstä syöttöpisteeseen tulee järjestää siten, ettei liuoksen lämpötila putkistossa laske. Kiteytymistä voi tapahtua esimerkiksi silloin, kun syöttöputki kulkee ulkotiloissa. Jos liuoksen siirron aikana on mahdollista, että liuoksen lämpötila laskee, olisi suotavaa käyttää alikylläistä liuosta tai lämpöeristää syöttöputki ja varustaa se lämpökaapelilla.

Alikylläisen liuoksen ferrosulfaattipitoisuus pysyy samana, vaikka liuoksen lämpötila putkistossa jonkin verran alenisikin. Liuoksen siirto valmistussäiliöstä syöttökohtaan tulee järjestää kuitenkin siten, ettei liuos jäädy putkistossa. Alikylläinen liuos voidaan tehdä myös syöttöputkistossa saatevedellä.

Ferrosulfaatti sitoo lämpöä liuetessaan veteen. Sen liukenemislämpö on 65,3 kJ/kg. Esim. liuotettaessa 500 kg ferrosulfaattia yhteen kuutiometriin vettä, alenee liuoksen lämpötila noin 8 °C.



Kuva 6. Ferrosulfaatin liukoisuus eri lämpötiloissa

Taulukossa 2 on esitetty, miten paljon ferrosulfaattia on liuotettava yhteen litraan vettä, jotta saataisiin määrätty ferrosulfaattipitoisuus tai rautapitoisuus valmiissa liuoksessa.

Valmis liuos	Liuoksen valmistus	Valmis liuos	
Ferrosulfaatti-pitoisuus	Ferro-sulfaattia liuotettava 1 litraan vettä	Muodostuva liuostilavuus	Rautapitoisuus
g/l	g	l	gFe/l
20	20	1,000	3,6
40	41	1,025	7,2
60	62	1,033	10,8
80	83	1,038	14,4
100	105	1,050	18,0
120	127	1,058	21,6
140	151	1,079	25,2
160	174	1,088	28,8
180	198	1,100	32,4
200	222	1,110	36,0
220	247	1,123	39,6
240	273	1,138	43,2
260	299	1,150	46,8
280	326	1,164	50,4
300	353	1,177	54,0
350	425	1,214	63,0
400	501	1,253	72,0
450	584	1,298	81,0
500	672	1,344	90,0
550	777	1,413	99,0

### 3 FERROSULFAATTI SAOSTUSKEMIKAALINA

#### 3.1 Jätevedenpuhdistuksessa käytettävät sovellutukset

Kemiallisessa puhdistuksessa jätevedestä voidaan poistaa sekä epäorgaanisia fosfaatteja että sellaisia orgaanisia aineita, jotka lisätyn ferrosulfaatin kanssa muodostavat laskeutuksen avulla poistettavia saostumia. Biologiset menetelmät soveltuvat sellaisten jätevesien käsittelyyn, joissa on erilaisia liukoisia orgaanisia yhdisteitä, jotka ovat sopivaa bakteeriravintoa, mutta jotka eivät saostu kemikaalin avulla.

Jätevedenpuhdistamoiden toiminnalle asetettujen vaatimusten kasvaessa ovat viime aikoina yleistyneet biologis-kemialliset prosessit, jotka mahdollistavat sekä hyvän orgaanisen aineen, kasviraavinteiden että kiintoaineen poistuman. Pelkkä biologinen tai kemiallinen puhdistus voi tulla kustannussyistä kysymykseen kokonaisratkaisun ensimmäisenä vaiheena, jota myöhemmin täydennetään biologiskemialliseksi.

Ferrosulfaatilla tapahtuvan fosforinpoiston optimoimiseksi ja parantamiseksi on välttämätöntä tuntee jätevedenpuhdistusprosessin toiminta eri oloissa.

#### Biologinen käsittely

Biologinen käsittely tarkoittaa useimmiten aktiivilieteprosessia. Suomessa käytetyt aktiivilietelaitokset voidaan jaotella suorituskyvyn perusteella seuraaviin ryhmiin:

- normaalikuormitteinen laitos
- osittain nitrifioiva laitos
- pitkäilmastuslaitos

Orgaaninen kuormitus laskee ja suorituskyky kasvaa samassa järjestyksessä.

Mahdollisimman hyvän puhdistustuloksen saavuttaminen edellyttää, että tunnetaan prosessin käyttäytyminen sekä prosessiin tuleva kuormitus ja sen vaihtelut. On tunnettava se lietekuormitus ja lieteika, jolla saavutetaan parhaat tulokset.

**Lietereikä** on laitoksen ajoparametri erityisesti, kun prosessinsäädössä tähdätään nitrifikaatioon eli ammoniumtyypen poistoon. Lietteen iällä ymmärretään yleisesti sitä aikaa, jonka aktiiviliete keskimäärin viipty prosessissa. Lieteiän alarajana voidaan pitää kolmea vuorokautta, normaalikuormitteisessa laitoksessa lieteika on 5-10 vuorokautta ja pitkäilmastuslaitoksessa 15-30 vuorokautta. Lieteiän ollessa liian korkea lietteen flokkautuvuus saattaa heiketä.

**Lietekuormituksella** ymmärretään laitokselle tulevan vuorokautisen BHK-määrän suhdetta ilmastusaltaan lietemäärään. Normaalikuormitteisessa laitoksessa lietekuormitus on 0,2-0,5 kg BHK,/kg MLSS X d, osittain nitrifioivissa laitoksissa 0,1-0,2 ja pitkäilmastuslaitoksissa alle 0,1. MLSS tarkoittaa kiintoainepitoisuutta ilmastusaltaassa.

Aktiivilieteprosessin pitäminen tasapainossa edellyttää, että prosessista poistetaan haluttu määrä ylijäämälietettä. Tämä tapahtuu siten, että lieteika pysyy halutun suuruisena.

Saostus voidaan yhdistää prosessiin usealla eri tavalla. Mekaanisen puhdistuksen yhteyteen liitetyt menetelmät ovat kemiallinen selkeytys (primäärisaostus), jossa kemikaali lisätään esikäsitellyn jälkeen jäteveteen, ja suora saostus (sekundäärisaostus), jossa kemikaali lisätään esiselkeytettyyn jäteveteen. Molemmissa tapauksissa ferrosulfaattia voidaan käyttää yhdessä kalkin kanssa. Rautakalkkisaostuksessa pH:n tulee olla yli 8,5.

Biologisen puhdistuksen yhteyteen liitetyjä vaihtoehtoja ovat esisaostus, rinnakkaissaostus ja jälkisaostus. Suurin osa Suomen yhdyskuntien jätevesistä käsitellään rinnakkaissaostusmenetelmällä (taulukko 3).

Taulukko 3.

JÄTEVESIEN KÄSITTELYN JAKAUTUMINEN PUHDISTUSMENETELMITTÄIN 31.12.1996

	PUHDISTAMOIDEN LUKUMÄÄRÄ	ASUKASMÄÄRÄ 1000 LIITTYJÄÄ	%
RINNAKKAISSAOSTUS	384	3 141	78,53
JÄLKISAOSTUS	70	447	11,18
KEMIALLINEN	58	377	9,42
MAAPERÄ	7	2	0,05
MUUT	28	32	0,79
EI PUHDISTUSTA		1	0,03
YHTEENSÄ	547	4 000	100,00

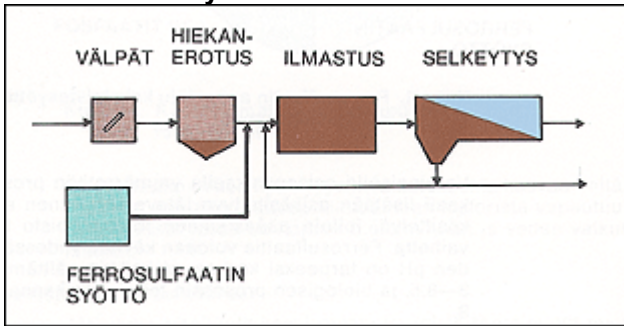
lähde: YVV-rekisteri

### Rinnakkaissaostus

#### 1-pistesyöttö

Rinnakkaissaostus (simultaanisaostus) tarkoittaa menetelmää, jossa biologinen ja kemiallinen puhdistus tapahtuu yhtä aikaa. Alunperin ferrosulfaatti on annosteltu ilmastusaltaaseen, jossa rauta hapettuu ferrimuotoon ja reagoi fosfaatin kanssa (kuva 7).

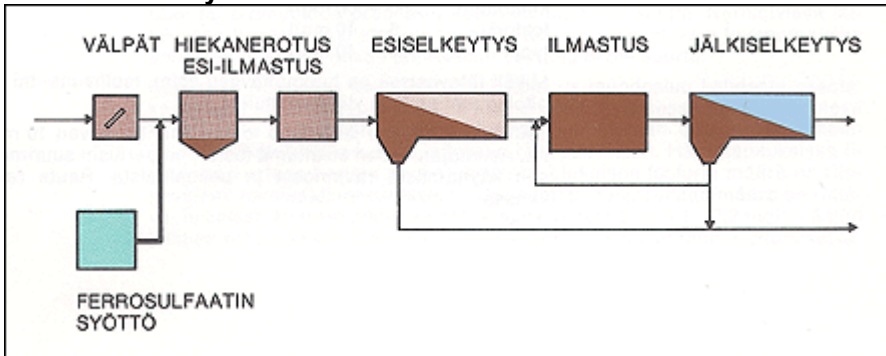
## Ferrosulfaatin syöttö



Kuva 7. Ferrosulfaatin syöttö ilmastusaltaaseen rinnakkaissaostuksella.

Ilmastimien tukkeutumisen ja muiden haittavaikutusten vuoksi on kokeiltu muitakin syöttökohtia. Kokeilun tuloksena useimmilla laitoksilla syöttö tapahtuu nykyään prosessin alkupäähän. Esi-ilmastuksessa osa ferroraudasta hapettuu ferrimuotoon. Mikäli laitoksella on tässä tapauksessa esiselkeytys, kemiallinen käsittely toimii lähes esisaostuksen tapaan (kuva 8). Huolimatta siitä, onko laitoksella esiselkeytystä tai ei, käytetään yleisesti termiä rinnakkaissaostus kuvaamaan ferrosulfaatin avulla toteutettua biologiskemiallista käsittelyä.

## Ferrosulfaatin syöttö

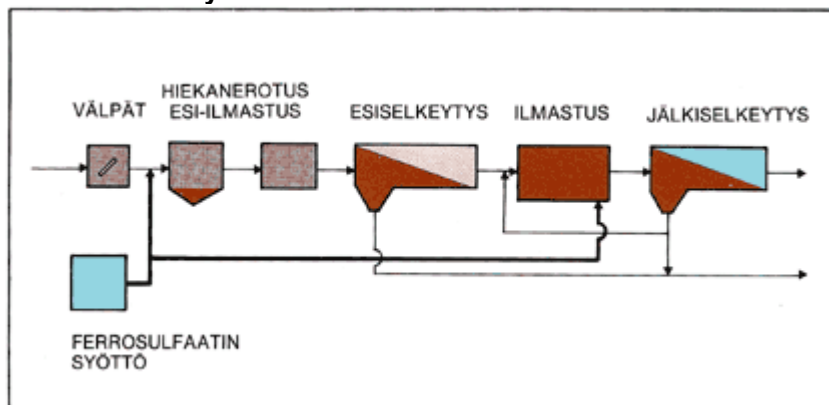


Kuva 8. Ferrosulfaatin syöttö prosessin alkuun rinnakkaissaostuksella.

## 2-pistesyöttö

Ferrosulfaatin syöttö voidaan toteuttaa rinnakkaissaostuslaitoksella myös oheisen kuvan 9 mukaan ns. kaksipistesyöttönä. Hyviä tuloksia on saatu syöttämällä suurempi annos (80 %) laitoksen tulopäähän ja loput ilmastusaltaan loppupäähän ennen jälkiselkeytystä.

## Ferrosulfaatin syöttö



Kuva 9. Ferrosulfaatin annostelu kaksipistesyöttönä rinnakkaissaostuslaitoksella.

## Esisaostus

Varsinaisella esisaostuksella ymmärretään prosessia, jossa saostuskemikaali lisätään esikäsiteltyyn jäteveeseen ennen esiselkeytystä ja biologista käsittelyä, jolloin pääasiainen fosforinpoisto tapahtuu ennen

biologista vaihetta. Ferrosulfaattia voidaan käyttää yhdessä kalkin kanssa. Jos jäteveden pH on tarpeeksi korkea, ei kalkkia välttämättä tarvita. Tavoite-pH on 8-8,5, ja biologisen prosessin toiminnan kannalta se ei saisi ylittää arvoa 9.

### Jälkisaostus

Kun saostaminen tapahtuu biologisen käsittelyn jälkeen, on kysymyksessä jälkisaostuslaitos. Ferrosulfaattia voidaan käyttää yhdessä kalkin kanssa, jolloin pH:n tulisi olla 8-8,5. Tämän tyyppinen saostus lisää laitoksen käyttövarmuutta, koska fosforin saostumisen lisäksi poistuu myös eloperäistä kiintoainesta.

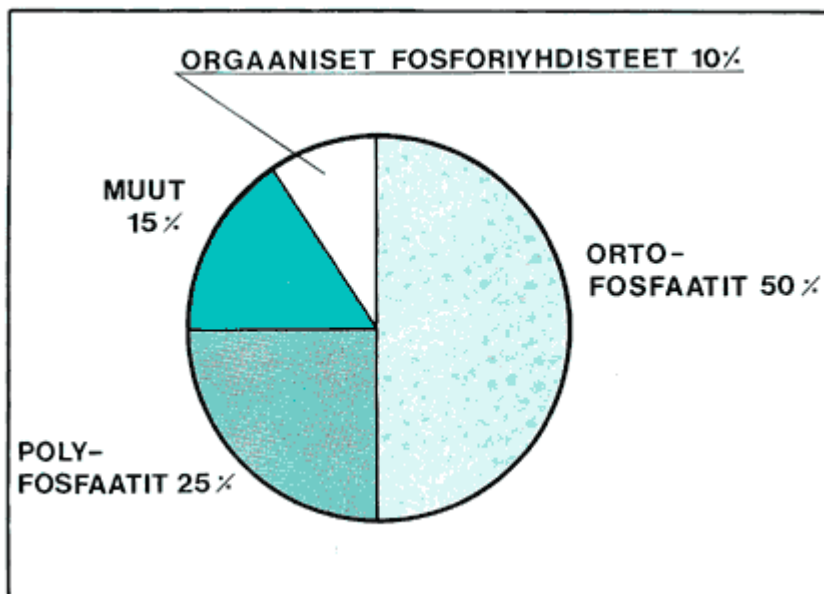
### 3.2 Jäteveden koostumus

Kunnallisten jätevesien tavanomainen koostumus on:

BHK <sub>7</sub>	200-250 mg/l
kiintoaine	250-300 mg/l
fosfori	6- 10 mg/l
typpi	30- 40 mg/l

Mikäli jätevesissä on huomattavasti esim. teollisuus- tai vuotovesiä, voivat pitoisuudet poiketa yllä mainituista.

Laitokselle tulevan jäteveden fosfori esiintyy kuvan 10 mukaisina yhdisteinä. Asumajäteveden sisältämä fosfori on peräisin suurimmaksi osaksi ihmisen käyttämästä ravinnosta ja pesuaineista. Rauta reagoi ortofosfaatin kanssa.



Kuva 10. Käsittelemättömän jäteveden fosforiyhdisteet

Ortofosfaatin osuus hydrolyysin vaikutuksesta kasvaa, mitä pitemmälle prosessissa edetään. Pääosa kiintoaineen fosforista vapautuu prosessin aerobivaiheessa, jossa se hajoaa biotoiminnan ja veden vaikutuksesta ortofosfaatiksi.

### 3.3 Fosforin poiston vaatimukset ja pudistustulokset

Jätevedet sisältävät kasviravinteita, joista tärkeimmät ovat fosfori ja typpi. Pääpaino asetetaan niille aineille, jotka vaikuttavat vesistön rehevöitymiseen (ns. minimitekijä). Suomen oloissa on minimitekijä yleensä fosfori. Jossain tapauksessa on tarpeen poistaa fosforin lisäksi myös typpeä tai ammoniumia vesistön tilan parantamiseksi.

Tavanomaisia fosforinpoistovaatimuksia ovat:

fosforipitoisuus enintään 0,3-1,0 mg P/l  
reduktio 90-95 %

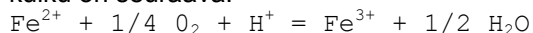
Vaatimusarvot ovat tietyn ajanjakson keskiarvoja (3, 6 tai 12 kk).

Typenpoistoa ei yleensä ole vaadittu. Eräissä tapauksissa on asetettu vaatimuksia nitrifikaation toteutumiseksi, ts. orgaanisten typpiyhdisteiden ja ammoniumtyypin hapettamiselle nitraattitypeksi. Ferrosulfaattilla ei voida saostaa typpiyhdisteitä, mutta sillä voidaan vaikuttaa epäsuorasti typen määrään tai olomuotoon prosessin kuormitustilanteen kautta. Nitrifioivissa laitoksissa ferrosulfaattilla ei ole todettu haitallisia vaikutuksia tavanomaisilla annostelumäärillä, mikäli annostelun vaihtelu ei ole suurta.

Käsitellyn jäteveden kokonaisfosforipitoisuus muodostuu kahdesta osasta: karkaavan kiintoaineen sisältämä fosfori sekä liukoisessa muodossa oleva fosfori. Jos kiintoainetta karkaa, huomio kiinnitetään biologisen vaiheen säätöön ja ohjaukseen sekä laitoksen hydrauliiikkaan. Häiriötapauksissa tilannetta voidaan korjata apukemikaalein. Liukoisen fosforin määrä on riippuvainen kemikaaliannostuksesta. Jos syötetty ferrosulfaattimäärä on riittävä, liukoisen fosforin pitoisuus lähtevässä vedessä on 0,1-0,2 mg/l. Tämän jälkeen kokonaisfosforipitoisuus riippuu lähinnä kiintoaineen erottumisesta.

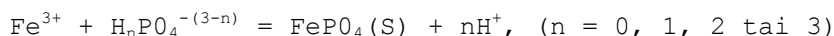
### 3.4 Raudan reaktiot jätevedessä

Ferrorauta hapettuu ferriraudaksi suhteellisen nopeasti, mikäli olosuhteet ilmastuksessa ovat suotuisat: happea 1-3 mg/l, redox-potentiaali yli 300 mV ja pH 6-8. Muutosreaktio alkaa todennäköisesti pH:n nopeasta noususta, kun ferrosulfaattiliuosta, jonka pH on alle 3, syötetään likimain neutraaliin jäteveteen. Reaktion kulku on seuraava:



Kaavan mukaan 7 g ferrorautaa vaatisi teoreettisesti yhden gramman happea. Käytännön havaintojen perusteella voidaan kuitenkin sanoa, ettei ferrosulfaatin annostelulla ole juurikaan merkitystä hapen tarpeeseen.

Ferri-ionit ( $\text{Fe}^{3+}$ ) reagoivat jätevedessä nopeasti hydroksyyli- ja fosfaatti-ionien kanssa muodostaen saostumia, joiden kokoa pyritään kasvattamaan laskeutumiskykyisiksi hiutaleiksi. Ortofosfaatti-ionit muodostavat niukkaliukoisia yhdisteitä rautakationien kanssa seuraavasti:



Ferrifosfaatin lisäksi saostuu erilaisia hydroksyylifosfaatteja.

Kun pH on yli 6, kolmiarvoinen rauta osallistuu nopeasti hydroksyylireaktioihin ja muodostaa liukenematonta ferrihydroksidia seuraavasti:



Tärkeätä on, että rauta hapettuessaan kolmenarvoiseksi mahdollisimman pian reagoisi fosfaatin kanssa, ettei liiallista ferrihydroksidin muodostumista tapahdu. Tämä ferrihydroksidisakka toimii myös jäteveden epäpuhtauksien sitojana, muttei poista fosforia yhtä tehokkaasti kuin raudan reagoidessa suoraan fosfaattien kanssa.

Fosfaatti- ja hydroksyyli tuotteiden lisäksi jätevedessä olevia haitallisia aineita saostuu erilaisina suoloina. Liukoisuustasapainosta riippuvien saostumisreaktioiden ohella tapahtuu myös muita reaktioita. Kolloidikokoiset epäpuhtaudet vähenevät jätevedessä sitoutumalla höytymäiseen flokkiin.

Tulevan jäteveden alkaliteetti vaihtelee vuorokauden tai vuoden ajan mukaan. **Alkaliteetti** ilmoittaa, kuinka paljon happoa täytyy lisätä veteen, jotta sen pH-arvo laskee arvoon noin 4,5. Alkaliteetti on siis puskurikapasiteetin mitta, joka ilmoittaa veden kyvyn vastustaa pH-arvon muutoksia. Jäteveden alkaliteetti on tavallisesti 2-3,5 mmol/l. Ferrosulfaatin lisäys samoin kuin nitrifikaatio kuluttavat jäteveden alkaliteettia. Mikäli laitosta ajetaan nitrifioivana, saattaa joissakin tapauksissa olla seurauksena pH-arvon liiallinen lasku. Nitrifikaatiossa alkaalisuus alenee 0,14 mmol/l mg N ja rauta- tai alumiinisaostuksessa 0,5-1,2 mmol/l siten, että ferrosulfaatin lisäys alentaa jäteveden alkaliteettia vähemmän kuin alumiini- tai ferrisuolojen lisäys.

Lietteen pitkä viipymäaika jälkiselkeytyksessä saattaa aiheuttaa fosforin liukenemistä jäteveteen, mikä voi johtaa saostuskemikaalin yliannostukseen.

### Ferrosulfaatin vaikutus muodostettavaan lietteeseen

Biologisen aktiivilietteen laskeutuvuutta kuvataan lieteindeksillä (SVI). Mitä pienempi indeksi on, sitä paremmin liete laskeutuu selkeytyksessä. Yleensä pyritään siihen, että indeksi on alle 150. Se voi olla tapauskohtaisesti suurempikin.

Ferrosulfaatti vaikuttaa lieteindeksiä pienentävästi. Näin päästään tehokkaampaan lietteen kierrätykseen. Ferrosulfaatin käytön ansiosta ei paisuntaliete ole juuri koskaan ongelma. Lieteiän kasvaessa lieteindeksi

yleensä myös pienenee.

Kun ferrosulfaatin syöttöä lisätään, aktiivilietteeseen sitoutuu yhä enemmän rautaa. Lietteestä rautaa vapautuu sitä mukaa, kuin uutta fosforia tulee laitokselle. Ylijäämäraudan sitoutuminen lietekierto on edistää suurten fosforikuormien tasaantumista. Lietteiden Fe-pitoisuuden maksimiarvona voidaan pitää noin 20 %. Lietteiden korkea rautapitoisuus merkitsee lietteiden hehkuhäviön pienenemistä eli orgaanisen osuuden suhteellista vähenemistä.

Ferrosulfaatti parantaa veden erottumista lietteestä.

Sekalietteessä oleva rauta sitoo hapettomissa olosuhteissa vapautuvaa rikkivetyä. Mikäli lietteenkäsittely on mädätys, muodostuva biokaasu sisältää vain vähän rikkivetyä, jolloin laitekorrosio ja ympäristöhaitat vähenevät.

Rinnakkaissaostuslaitoksessa noin 25 % lietteiden kuiva-ainemäärästä johtuu ferrosulfaatin käytöstä.

## **4 FERROSULFAATIN KULJETUS JA VASTAANOTTO**

### **4.1 Toimitusmuodot**

Ferrosulfaattia toimitetaan irtotavarana tai 35 kg:n muovisäkeissä. Mikäli kemikaalierä halutaan säkeissä, on varauduttava noin viikon toimitusaikaan.

Jos ferrosulfaatin tarve on suurempi kuin 50-100 tonnia vuodessa, tulee irtotavara käytössä selvästi edullisemmaksi. Toimitusmuotoon vaikuttavat mm. varastointimahdollisuudet. Tämän lisäksi on otettava huomioon, että säkkien käsittely on laitoksella työläämpää kuin irtotavaran käsittely.

### **4.2 Kuljetuskalusto**

Irtotavara voidaan kuljettaa laitokselle joko erikoisvalmisteisissa autoissa tai avolavoilla jätevedenpuhdistamon vastaanottojärjestelmän mukaan.

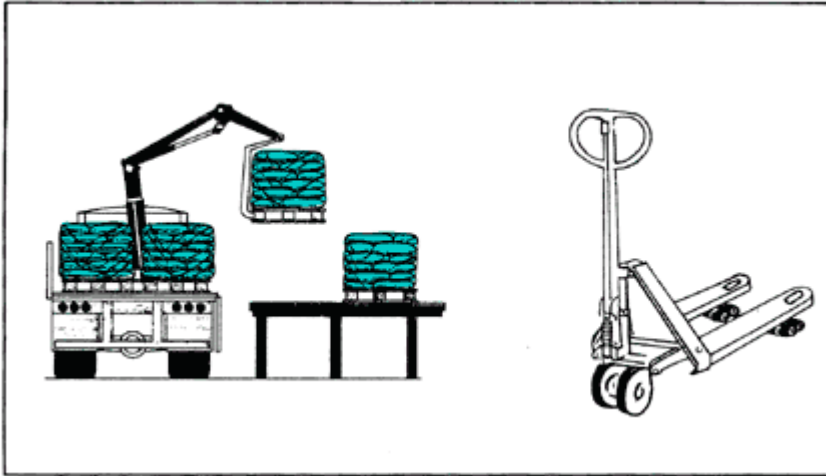
Junakuljetuksia pyritään välttämään, koska ne vaativat monia siirtoja ja ovat kalliita.

### **4.3 Vastaanotto ja varastointi**

Säkkitarava

Toimitettaessa ferrosulfaatti säkkitaravana on laitoksen vastaanotossa ja varastoinnissa otettava huomioon mm. seuraavaa:

- Säkkivaraston lämpötila ei saisi olla alle 0 °C, koska ferrosulfaatti tällöin kovettuu ja liukeneminen on selvästi normaalia hitaampaa.
- Säkkivaraston koon tulisi olla riittävä, vähintään 2 kuukauden tarvetta vastaava.
- Säkit siirretään helpoimmin kuormalavoilla, joita liikutellaan pienipyöräisellä nostosiirtovaunulla (pintojen tasaisuus ja tilojen väljyys).
- Kuormalava siirretään ajoneuvosta maahan tai purkauslaiturille joko ajoneuvon nostolaitteita käyttämällä tai mahdollisesti laitoksen purkausnostimilla (kuva 11).
- Ferrosulfaatti värjää ympäristön esim. säkkien rikkoontuessa ruosteen väriseksi, joten purkauksessa ja varastoinnissa on pyrittävä huolellisuuteen ja siisteyteen (puhtaanapitämis mahdollisuudet).
- Korkeita pinoja on vältettävä, koska ferrosulfaattisäkit elävät ja pinot voivat kaatua.

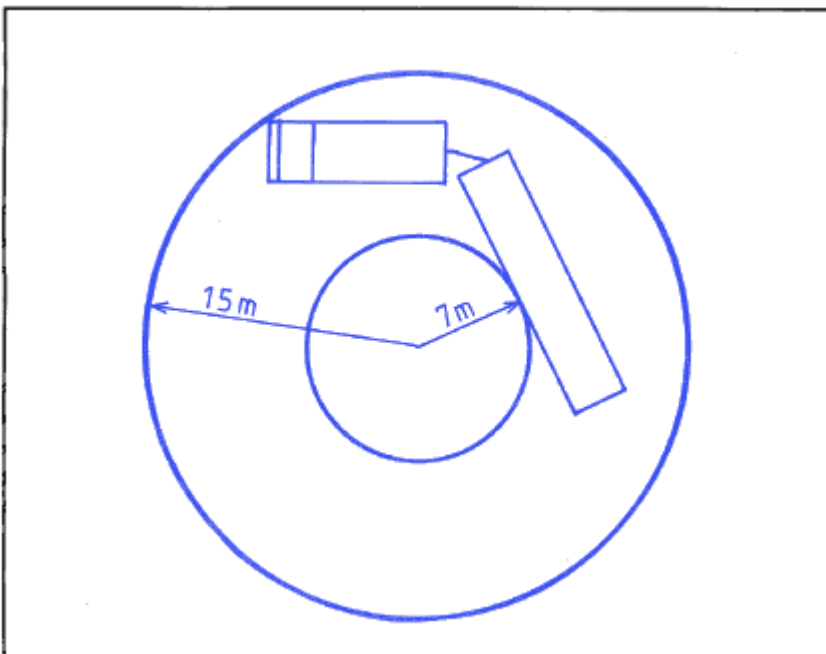


**Kuva 11. Ferrosulfaattisäkkien siirtokalustoa.**

#### Säiliökuljetus

Ferrosulfaatin purkaus säiliöautosta vastaanottoaltaaseen tapahtuu siten, että ajoneuvossa olevalla pumpulla imetään vettä vastaanottoaltaasta ja suihkutetaan putkiston välityksellä ferrosulfaatin päälle. Tavara osittain liukenee ja osittain lietty valuen omalla painollaan vastaanottoaltaaseen. Allastilavuuden on oltava vähintään  $75 \text{ m}^3$ , jotta täysi ferrokuorma voitaisiin varmuudella sinne purkaa. Ajoneuvoyhdistelmän täysi kuorma on max 42 tonnia. Ferrosulfaattia voidaan toimittaa myös nupissa (16 ton) tai perävaunussa (26 ton).

Ferrokuorman purkamiselle on varattava kylliksi tilaa, jotta ajoneuvo pystyisi kunnolla kääntymään. Ajoneuvoyhdistelmälle suositeltavat kääntymissäteet ovat 15 m ulkosäteelle ja 7 m sisäsäteelle (kuva 12). Purkupaikan tulisi olla viemäröity, jolloin sen puhtaana pitäminen on helpompaa, esim. asfaltoitu ja suojavaillilla varustettu. Purkupaikan olisi oltava mielellään liuottamoon päin kalteva, jolloin purkaus onnistuu paremmin.



**Kuva 12. Ajoneuvoyhdistelmän vaatima tila.**

Ferrosulfaattiliuottamon tulisi sijaita mahdollisimman lähellä syöttöpaikkaa. Jos tämä ei ole mahdollista, on suositeltavaa käyttää erillistä ferrosulfaattiliuoksen siirtopumppua, jolla kemikaali siirretään liuottamosta annostelusäiliöön lähelle syöttökohtaa.

Purkausletku tulisi varustaa epäpuhtauksien varalta sihdillä, esim. ns. korisihdilla, jossa reikäkoko on 4-6 mm. Purkausletkun koko on NS 125 (5 tuumaa) ja sen pituus on 5 metriä. Suositeltavaa olisi järjestää Kamlok-yhteet sekä purkaus- että imuletkulle

Purkupaikalla tulisi olla mahdollisuus ajoneuvon säiliön ja purkausletkun huuhteluun. Paikalla on oltava hyvä valaistus ja sähköistys auton imupumpun varten.

Tiedot sähköliitännästä:

- moottorin teho 7,5 kW
- kosketin Strömberg 40 A
- kaapelin pituus 12 metriä

Lava-autokuljetus

Toinen tapa ottaa vastaan irtoferroa on kippaus avolavalta vastaanottoaltaaseen, jolloin liuoksen valmistusmenetelmä on vastaavasti erilainen. Tässä tapauksessa purkuaukko on hyvä varustaa säleiköllä, jonka säleväli on esim. 20 cm. Täten estetään isojen paakkujen pääsy säiliöön ja turvataan liikkuminen suuaukon läheisyydessä. Vastaanotossa on olemassa roiskumisvaara. Kaatoaukon leveyden on oltava riittävä, noin 4 m.

Liikkuva lava -systeemi

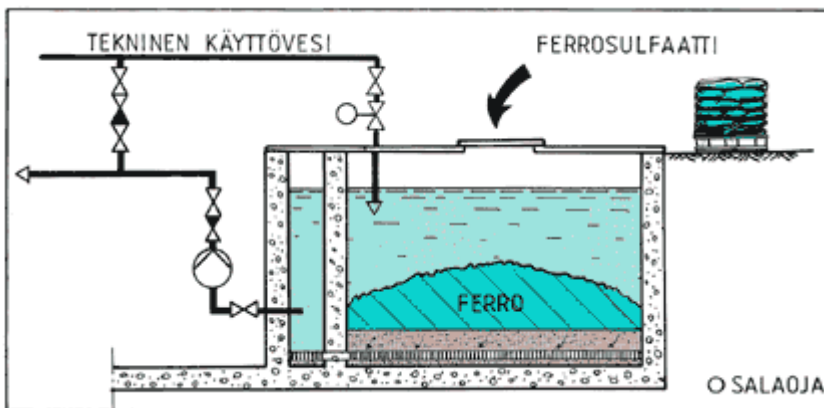
Lava-autolla, jossa on ns. liikkuva lava -systeemi, on mahdollisuus jakaa kuorma useampaan pieneen erään jakoseinien avulla. Auton lavan korkeus, jonka yli se purkaa, on max. 70 cm. Lastin purkaus tapahtuu pohjalavaa liikuttamalla. Purkaustekniikasta johtuen ferrosulfaatin purkauksessa ei aiheudu roiskeita. Liikkuvalle lavasysteemille varustettuun autoon mahtuu max. 32 ton ferrosulfaattia.

#### 4.4 Liuoksen valmistus

Annostelua varten ferrosulfaatti liuotetaan veteen. Syötettävän ferrosulfaattiliuoksen väkevyys vaihtelee 160 g:sta ferrosulfaattia/l kylläiseen liuokseen laitoksen mukaan. Esimerkiksi lämpötilassa 15 °C kylläisen liuoksen väkevyys on noin 470 g ferrosulfaattia/l.

Pienillä pitkäilmastuslaitoksilla ferrosulfaattia syötetään usein myös **käsin kuivasyöttönä**. Kemikaali lisätään ilmastusaltaaseen panoksittain yleensä 1-3 kertaa vuorokaudessa. Tapa ei kuitenkaan ole suositeltava.

Kuvassa 13 on esitetty liuoksen valmistus **imeytymenettelällä**.



**Kuva 13. Ferrosulfaattiliuoksen valmistus imeyttämällä.**

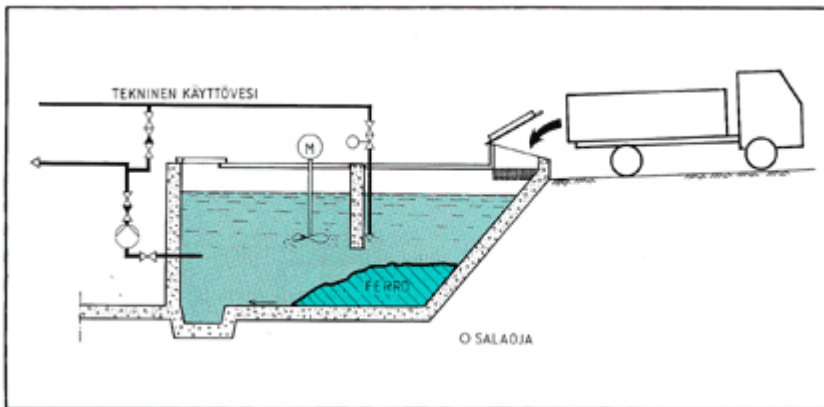
Ferrosulfaattisäkit tai -kuorma tyhjenetään altaaseen, joka toimii sekä varasto- että annostelusäiliönä. Tämän jälkeen lisätään vettä määräk korkeuteen asti. Altaan pohjalla on suodatinhiekalla peitetty imeytysputkisto. Vesi kulkee kemikaalikerroksen läpi imeytysputkistoon, jolloin muodostuva liuos on lähes kylläistä, ja mikäli liuotusveden lämpötila ei vaihtele, sen pitoisuuskin pysyy jokseenkin tasaisena. Suodatinhiekkan ansiosta kiinteiden partikkeleiden pääsy pumppuun estyy.

Automaattinen veden lisäys toimii niin, että painevesiverkostoon sijoitettu magneettiventtiili laskee vettä pintakytkimen ohjaamana. Tällöin hoitajan huolehdittavaksi jää vain ferrosulfaatin lisäys tarpeen mukaan. Altaassa on oltava aina kemikaalia, sillä muussa tapauksessa pH nousee rautapitoisuuden laskun seurauksena ja rautahydroksidia saostuu suodatinkerrokseen. Pinnalle muodostunut kerros on poistettava,

mutta koko suodatinkerrosta ei välttämättä tarvitse vaihtaa.

Imeytysmenetelmä sopii erityisesti pienille laitoksille, joille ferrosulfaatti toimitetaan säkeissä tai kipattavana irtotavarana. Allasrakenne on joko teräsbetonia, muovia tai lasikuitua. Suodatinkerroksen paksuus putken yläpuolella tulee olla vähintään 150 mm ja rakeisuusalue 4-8 mm. Hienompijakeinen hiekka voi tukkia salaojan reiät.

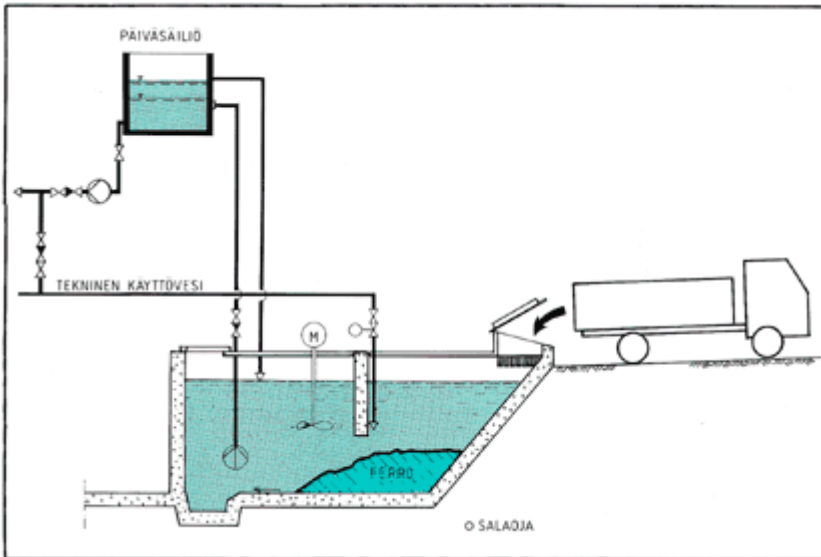
Oheisessa kuvassa 14 on esitetty **kylläisen ferrosulfaattiliuoksen valmistus** kipattavaa irtotavaraa käyttäen. Ferrosulfaattikuorma tyhjenetään liuotussäiliöön, joka on varustettu mekaanisella sekoittajalla. Kun nestepinta laskee tiettyyn rajaan säiliössä, avautuu magneettiventtiili ja nestepinnan noustessa määräkorkeuteen venttiili sulkeutuu. Kuvan 14 mukaisessa systeemissä annostelupumput on sijoitettu säiliön viereiseen tilaan, joka voi olla pumppusyvennys tai laitehuone. Kummassakin tapauksessa pumpuilla on positiivinen imukorkeus ja annostelutarkkuus riippuu paljolti nestepinnan tasaisuudesta säiliössä. Annostelupumppujen sijoittaminen altaiden päälle ei ole suositeltavaa muualla kuin pienillä laitoksilla. Tavallisesti tehdään kaksi allasta, joista toinen on käytössä ja toinen puhdistettavana ja huollettavana.



**Kuva 14. Kylläisen ferrosulfaattiliuoksen valmistus**

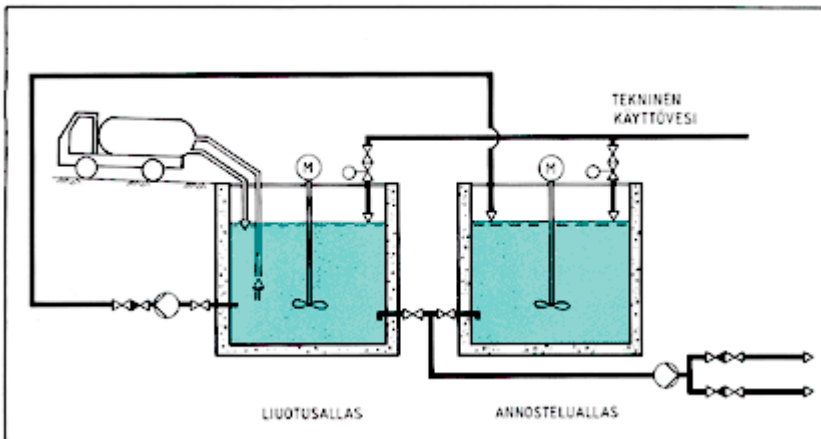
Kuvan 15 mukaisella menettelyllä tullaan toimeen tarvittaessa yhdelläkin valmistussäiliöllä. Liuos pumpataan säiliöstä joko yhdellä tai kahdella siirtopumpulla ns. **päiväsäiliöön**, josta annostelupumput syöttävät liuosta prosessiin. Siirtopumppujen käynti on ohjattu päivä säiliön pinnan mukaan siten, että yksi pumppu käy jatkuvasti. Toinen pumppu käynnistyy, kun pinta päivä säiliössä laskee määrätylle tasolle. Liika kemikaali palautuu ylivuodon kautta takaisin valmistusaltaaseen. Annostelupumpuilla on tässäkin tapauksessa positiivinen imukorkeus ja mikäli päivä säiliö on muotoiltu siten, että liuoksen pinnankorkeusvaihtelut pysyvät suhteellisen pieninä on syöttö tarkkaa. Mikäli siirtopumput ovat liian tehokkaat tai olosuhteet muuten suotuisat rautahydroksidin muodostumiselle, voi tämä hienojakoinen sakka muodostaa ongelmia.

Päiväsäiliötä voidaan käyttää myös panosperiaatteella. Liuos pumpataan valmistussäiliöstä siirtopumpulla päivä säiliöön, josta se valuu gravitaationa yhden vuorokauden aikana prosessiin.



**Kuva 15. Ferrosulfaattiliuoksen syöttö päiväsäiliöperiaatteella.**

Kuvassa 16 on esitetty **kahden säiliön liuotussysteemi**. Ferrosulfaattikuorma tyhjenetään liuotussäiliöön, joka on varustettu mekaanisella sekoittajalla tai kierrätyspumppulla. Kahden säiliön liuotussysteemi perustuu ajatukseen, että toinen säiliö toimii liuotussäiliönä ja toinen annostelusäiliönä, jonne valmistetaan määräväkevyinen liuos. Ferrosulfaattipitoisuus on silloin alle kylläisen liuoksen pitoisuuden. Näin vältetään ferrosulfaatin uudelleen kiteytyminen liuoksesta.



**Kuva 16. Kahden säiliön liuotussysteemi.**

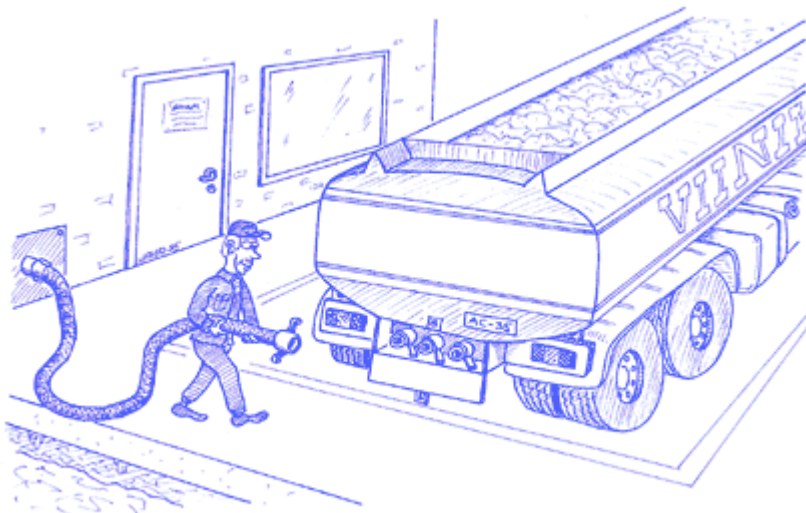
Liuotussäiliöstä väkevä liuos johdetaan annostelusäiliöön, josta tämän jälkeen mitataan ferrosulfaattipitoisuus. Kun nyt tiedetään annostelusäiliössä olevan liuoksen tilavuus ja pitoisuus, voidaan laskea, kuinka paljon vettä täytyy lisätä halutun väkevyisen liuoksen saamiseksi.

Liuotus voi tapahtua myös täyttämällä valmistussäiliö ennen ferrosulfaattikuorman purkamista tiettyyn rajaan asti liuotusvedellä niin, että säiliöön jää kuorman vaatima tila. Liuotusvettä ei tule lämmittää ennen laimennusta. Jäähtyessään lämpimään veteen liutettu ferrosulfaatti voi uudelleen saostua.

Vesitäytön jälkeen aloitetaan kuorman purku kierrättämällä vettä autosäiliössä. Kuorma tyhjenee valmistussäiliöön, jossa oleva sekoitin käy purkauksen ajan ja jatkaa käyntiään koko liuotusajan.

Kun liuotus on tapahtunut, tarkistetaan liuoksen väkevyys ja lämpötila tarpeen mukaan ja tehdään mahdollisesti tarvittava laimennus. Mikäli nestepinta nousee purku- tai laimennusvaiheen aikana liian korkealle, uimurikytkin käynnistää hälytyksen ja sulkee täyttöventtiilin.

Kun liuos on annosteluvalmista ja liuoksella on haluttu väkevyys, se siirretään annostelusäiliöön. Siirto voidaan suorittaa joko automaattisesti tai käsiohjauksella.



#### 4.5 Materiaalikysymykset

Ferrosulfaattiliuoksen pH on pitoisuudesta riippuen 2-3, joten sen kanssa jatkuvaan kosketukseen tulevien aineiden on syytä olla haponkestäviä. Myös purkupaikan viemäriin tulee olla haponkestävä. Soveltuvia materiaaleja ovat

- muovit: PVC, PE, PEH, PP
- lasikuitu
- haponkestävä teräs
- pinnoitettu teräsbetoni
- kumi

Tavallisimmin säiliö tehdään teräsbetonista, jolloin sekä betonin että terästen on täytettävä vesitiiviille rakenteelle asetetut vaatimukset. Altaan ulkopintaan tehdään kaksinkertainen kosteudeneristys. Lisäksi ferroallas voidaan ympäröidä salaojituksella.

Salaojituksella varustetuissa säiliöissä on esiintynyt salaojapohjan tukkeutumiso ongelmia johtuen liuoksen lämpötilanvaihteluista. Kun säiliöön tehdään kylmä liuos lämpimissä olosuhteissa, lämpötilan laskiessa liuos osittain saostuu. Tätä sakkaa on erittäin vaikea saada uudelleen liukenemaan. Seurauksena voi olla salaojapohjan tukkeutuminen, jolloin se joudutaan vaihtamaan. Saostumisen ehkäisemiseksi tulee säiliöt varustaa riittävällä sekoituksella.

Yksinkertainen kosteudeneristys tarkoittaa sitä, että betonialustalle sivellään ensin bitumiliuos paremman tartunnan aikaansaamiseksi. Liuoksen määrä on noin 0,3-0,5 kg /m<sup>2</sup>. Tämän pinnan päälle sivellään kuuma bitumikerros noin 1,5 kg /m<sup>2</sup>. Kaksinkertaisessa eristyksessä sivellään kaksi kuuma bitumikerrosta tai vaihtoehtoisesti kaksi bitumiemulsiosivelyä.

Betonialtaan sisäpuolinen korroosiosuojaus käsittää esipuhdistuksen, tasoituksen ja maalauksen tai pinnoituksen. Betonialustan tulee olla kiinteä, riittävän kuiva ja maalattavan kohteen ympäristön lämpötilan on oltava vähintään + 10 °C.

Esipuhdistuksessa poistetaan pinnasta harjaamalla irtonainen sementti ja hiekka. Tiivis ja kiiltävä sementtiliima poistetaan suolahappokäsittelyllä tai kevyellä hiekkapuhalluksella. Betonipinnassa esiintyvät suuret kolot paikataan sementtilaastilla ja pienemmät reiät tai tarvittaessa koko pinta tasoitetaan liuotevapaalla epoksitasoiteella. Maalaukseen käytetään liuotevapaata epoksinpinnoitetta siten, että kuivakalvon paksuus tulee olemaan yhteensä 500 μ(myytä).

Pinnoitus voidaan tehdä myös lasikuidusta ja se on mahdollista kiinnittää betoniin mekaanisin tartunnoin. Kiinnitys on tarpeen siinä tapauksessa, jos betoni laskee lävitseen kosteutta.

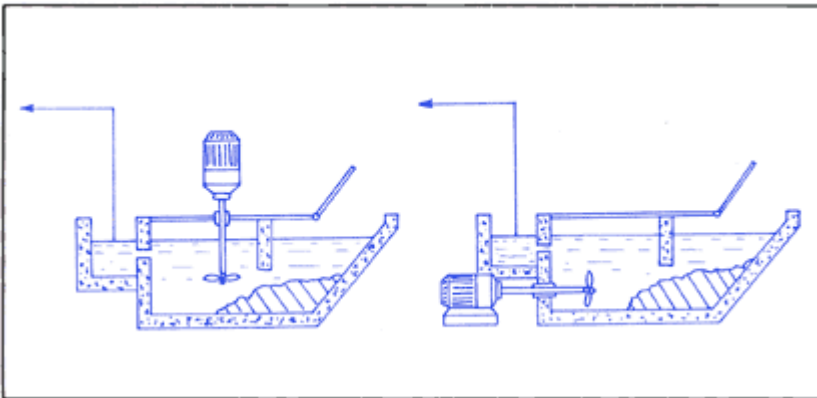
Säiliöiden kunnostus voidaan tehdä hitsattavalla polyeteenimuovilla (PE) "säiliö-säiliössä" -periaatteella. Polyeteenillä päällystetyt säiliöt kestävät hyvin myös happamia sulfaatti- ja kloridipohjaisia tuotteita, esim. PIX- ja PAX-tuotteita. Säiliö tulee olla kokonaan muovitettu mukaanlukien katto ja kattoluukku. PE-kerroksen tulee olla vähintään 8 mm paksu. Käytettäessä muovipinnoitusta ei kosteuseristystä välttämättä tarvita.

Sekoittimien akselien ja potkurien materiaalien tulee olla standardin SIS 2343 mukaisia.

### **Ferrosulfaattiliuoksen sekoitus**

Liutuksen tavoitteena on valmistaa kiinteästä ferrosulfaatista mahdollisimman tasalaatuinen liuos. Kun liuos valmistetaan suodattavaa välipohjaa käyttäen, sekoitusta ei tarvita. Muussa tapauksessa liuos valmistetaan sekoittamalla potkurilla vettä ja ferrosulfaattia samassa altaassa, mikä onkin yleisin tapa. Ferrosulfaattiliuoksen sekoittamista ilmalla ei suositella.

Potkurisekoittajat voivat olla joko vaaka- tai pystyasenteisia (kuva 17). Tärkeätä on, että potkurin pyörimissuuntaa voidaan haluttaessa muuttaa ja että sekoitusteho on riittävä. Pystyasenteinen potkuri pyörii yleensä niin, että muodostuvan virtauksen suunta on alaspäin.



**Kuva 17. Ferrsulfaattiliuoksen sekoitus.**

Molemmilla asennustavoilla on hyviä ja huonoja puolia. Vaaka-asenteisen sekoittajan ongelmana oli ainakin aikaisemmin tiivisteet ja vuodot. Lisäksi potkurikorjausten ja huoltojen ajaksi allas on tyhjennettävä. Hyvänä puolenä on pieni tilantarve ja hyvä sekoitusteho.

Pystyasenteisen sekoittajan korjaus ja huolto on tehtävä siten, että allas on joko tyhjennettävä tai potkuri nostetaan altaasta ylös, jolloin tilantarve on suuri.

Potkurisekoitusta varten altaat suunnitellaan siten, että niihin syntyy sekoittava virtaus. Esimerkiksi poikkileikkaukseltaan pyöreän altaan sekoitustehoa nostetaan virtauksenestoseinämällä.

Potkureita ei kannata pitää käynnissä jatkuvasti. Riittää, kun sekoitetaan pari kolme kertaa päivässä muutama kymmenen minuuttia kerrallaan. Täytön jälkeen on syytä sekoittaa kauemmin. Automaattinen sekoitus käynnistyy silloin, kun täyttöveden yläraja saavutetaan. Käyntiaika on 15-60 s allaskoon mukaan.

### **Liutusaltaiden puhdistus**

Ajan mittaan liutusaltaan pohjalle kertyy liukenematonta ainesta ym. roskaa, minkä vuoksi allas on tyhjennettävä ja puhdistettava.

Mikäli säiliöitä on kaksi, on liuos siirrettävissä helposti säiliöstä toiseen kiinteillä siirtopumpuilla. Säiliön pohjalla oleva sakka huuhdellaan sakkapoteroon, josta se poistetaan siirrettävällä uppopumpulla ja

kuljetetaan kaatopaikalle.

## **FERROSULFAATIN ANNOSTELU**

### **5.1 Annosteluperusteet**

Ferrosulfaatin aktiivisen aineosan ja jäteveden sisältämän fosforin välinen moolisuhde on käyttökelpoinen suure annostusta arvioitaessa. Teoreettinen moolisuhde raudan ja fosforin välillä on yksi ( $Fe/P = 1$ ), mikä tarkoittaa sitä, että ferrosulfaattiannostus on tulevan jäteveden fosforipitoisuus kerrottuna yhdeksällä. Puhdistamolle tulevan jäteveden fosforipitoisuus on tavallisesti 6-10 mg/l, jolloin teoreettinen ferrosulfaattiannostus on 5490 g/m<sup>3</sup>, rauta-annostuksena laskettuna 9,5-15,8 g Fe/ m<sup>3</sup>.

Käytännössä teoreettinen määrä ei riitä, vaan moolisuhde on yleensä vähintään 1,5-2. Jotta fosfaatti saostuisi mahdollisimman täydellisesti, on ferrosulfaattinsyöttö alueella 80-180 g/m<sup>3</sup> eli rauta-annostuksena laskettuna 14-32 g Fe/ m<sup>3</sup>.

Puhdistusprosessista poistuvan veden kokonaisfosforipitoisuus muodostuu kahdesta osasta seuraavasti:

- karkaavan kiintoaineen sisältämä fosfori
- liukoisessa muodossa oleva fosfori

Kiintoaineeseen sitoutunut fosforimäärä on suoraan verrannollinen kiintoainepitoisuuteen ja on 2-4 % kiintoaineen määrästä. Jos poistuvan veden kiintoainepitoisuus on esimerkiksi 10 mg/l, on kiintoaineeseen sitoutunut fosforimäärä 0,2-0,4 mg/l. Tähän fosforiosuuteen vaikutetaan biologiseen prosessiin kohdistuvien säädöin, kuten ylijäämälietteen poistolla, lietteen palautuksella ja ilmastuksella sekä selkeytyksen säädöillä (hydraulinen kuormitus, lietepintakuormitus).

Liukoisen fosforin määrä on riippuvainen kemikaaliannostuksesta. Annostuksen karkea säätö suoritetaan moolisuhteen perusteella, minkä jälkeen seurataan liukoisen fosforin pitoisuutta lähtevässä vedessä. Kemikaaliannostusta (kg/d) lisätään, kunnes saavutetaan riittävän alhainen liukoisen fosforin pitoisuus. Ohjeannostuksena pienillä laitoksilla voidaan pitää 54 g ferrosulfaattia vuorokaudessa/asukas.

Liukoisen fosforin pitoisuutta voidaan mitata esim. laitospöytäkäyttöön tarkoitettulla komparaattorilla, joka on visuaaliseen tarkasteluun perustuva laite. Siinä vertaillaan vertailulevyn ja näytteeseen reagenssilla saadun värin välistä yhtäläisyyttä. Kun näytteen ja vertailulevyn väritäsmäys on tehty, niin asteikolta luetaan näytteen fosfaattipitoisuus. Todellisuudessa komparaattorin antama tulos on hieman suurempi kuin laboratorioissa määritetty liukoinen fosfori.

### **5.2 Annostelu**

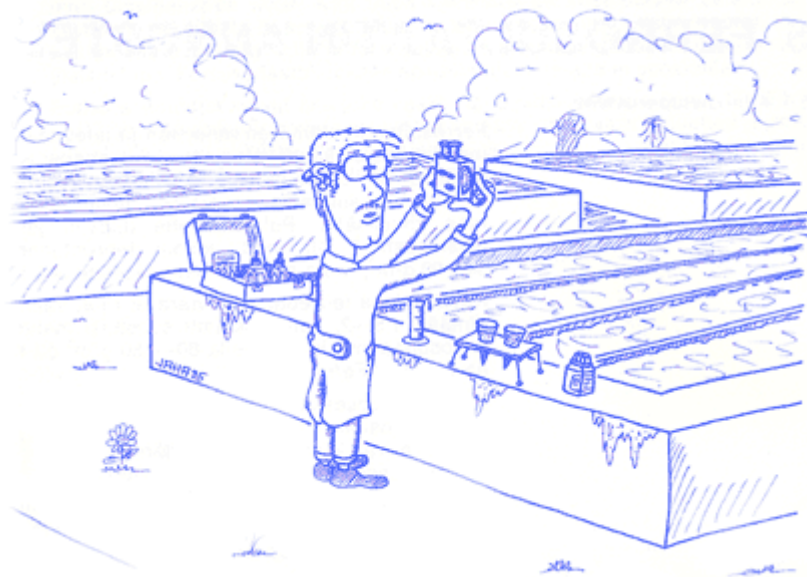
Puhdistamolle tuleva fosforikuormitus noudattaa tiettyä ajallista vaihtelua, joka muodostuu vuorokausi-, viikko- ja vuodenaikavaihteluista. Syötön tulisi seurata fosforikuormitusta tarkasti silloin, kun halutaan esisaostusvaikutusta. Syötön tasaisuustarve riippuu lisäksi ilmastusaltaan lieteiästä; mitä pienempi se on, sitä suurempi on lietteen raudan varastointikyky.

Yleisimmin käytössä olevat annostelutavat ovat seuraavat:

- jatkuva tasainen annostelu
- päivä-, yö- ja viikonloppuannostelu
- virtaamaan kytketty annostelu

Jatkuva tasainen annostelu on yksinkertainen ja sillä on saatu yleensä hyviä tuloksia. Annostelu saadetaan tiettyyn tasoon, jolla liuosta syötetään prosessiin seuraavaan säätöön saakka. Tapa on sopiva, kun kemikaali syötetään ilmastusaltaaseen.

Päivä-, yö- ja viikonloppuannostelu toimii siten, että kello-ohjauksella aikaansaadaan kaksi annostelutasoa. Kolmas annostelutaso asetetaan käsisäätöisesti viikonlopun ajaksi, jolloin annostelu on tasaista ja jatkuvaa. Kyseiset annostelutasot saadetaan käsin.



Virtaamaohjattu annostus perustuu ajatukseen, että puhdistamolle tuleva fosforikuormitus seuraa tulovirtaamaa. Näin yleensä onkin kuivaan aikaan, mutta sulamisvesien ja sadevesien aikana tulevan jäteveden fosforipitoisuus on alhainen, jolloin virtaamaohjattu syöttö johtaa yliannostukseen. Tästä syystä annostelun tulisi seurata automaattisesti tulovirtaamaa tiettyyn ylärajaan asti. Virtaamaohjattu annostus sopii tapauksiin, joissa kemikaali syötetään prosessin alkuun tai kaksipistesyöttönä.

Fosforikuorman mukainen annostelu tapahtuu siten, että mitataan vuorokauden ajalta fosforiprofiili ja annostelu ohjelmoidaan tämän mukaan.

Veden fosforipitoisuutta voidaan arvioida jäteveden laadun mukaan mm. seuraavia suureita mittaavilla laitteilla:

- sähkönjohtavuus - COD
- ortofosfaatti (lähtevä vesi) - UV-fluoresenssi

Tarkin ferrosulfaatin ohjaustapa on virtaamaohjattu syöttö, jossa ominaisannostusta muutetaan veden fosforipitoisuuden perusteella.

Ferrosulfaattisyötön onnistuminen edellyttää, että liuoksen väkevyys hallitaan. Paras tapa on valmistaa määräväkevyinen liuos, jonka tulee olla selvästi kylläistä liuosta laimeampaa. Määräväkevyisen liuoksen valmistus ja annostelu on kuitenkin mahdollista vain, jos laitoksella on kahden säiliön järjestelmä.

Toinen tapa on mitata liuoksen pitoisuus ja säätää annostelua tämän perusteella. Nykyään liuoksen pitoisuus mitataan useimmiten areometrillä (tiheysmittarilla). Jatkuvanäyttöisiä mittauslaitteita ei ole juuri käytetty, vaikka saatavilla on ainakin seuraaviin periaatteisiin perustuvia mittalaitteita:

- uimurin varren asennosta liuoksen tiheyden tulostava - liuoksen sähkönjohtokyvyn mittaus
- radioaktiivisen aineen lähettämän säteilyn absorptioon liuksesta perustuva mittari

Kolmas tapa on syöttää kuvan 13 mukaisella järjestelmällä kylläistä liuosta.

### 5.3 Annostelupumput

Ferrosulfaattiliuos annostellaan prosessiin pumpuilla. Annostelun säädössä on keskeistä, että haluttu kemikaalimäärä todella syötetään, jolloin pumpun on oltava tarkka ja helposti säädettävä.

Yleisin ferrosulfaattiliuoksen annostelupumppu on kalvopumppu, joka täyttää parhaiten edellä mainitut vaatimukset. Muita mahdollisia syöttöpumppuja ovat epäkeskoruuvipumppu ja letkupumppu.

Kalvopumpun tuottoa voidaan säätää kahdella toisistaan riippumattomalla tavalla esimerkiksi siten, että sähkömoottorin kierrosluku seuraa virtaamaa ja iskunpituus ferrosulfaattiliuoksen pitoisuutta tai jäteveden

fosforipitoisuutta.

Kalvopumpun tuottoalue on 0-1 000 l/h. Jos annostelumäärä on tätä suurempi, käytetään useampia pumppuja. Huolto- ja korjaustilanteita varten on syytä olla varapumppu.

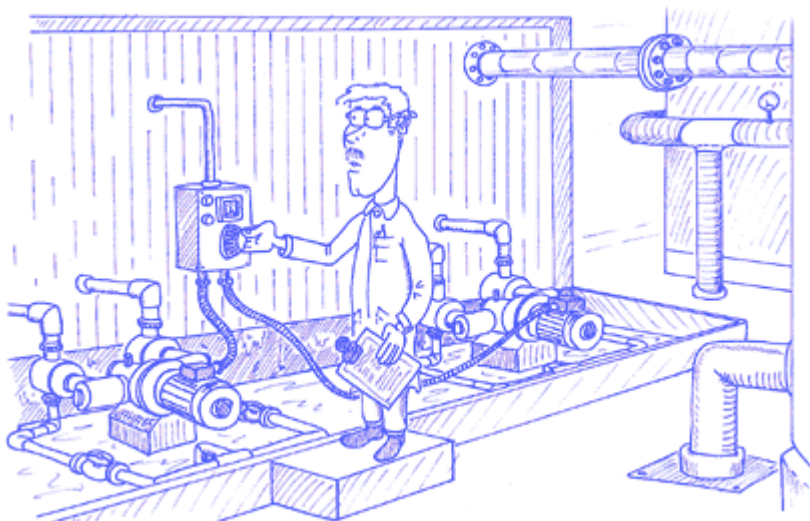
Kalvopumpuille on luonteenomaista, että virtauksen estyessä paine nousee periaatteessa rajattomasti, käytännössä niin pitkään, että jokin kohta särkyi. Tästä syystä painepuolella tulisi olla varoventtiili. Putkiston tukkeutuminen voi aiheutua mm. lämpötilan laskusta, jolloin kylläinen ferrosulfaattiliuos kiteytyy.

Annostelusäiliö, josta pumppu ottaa, on tarkoituksenmukaista sijoittaa pumppua ylemmäksi, jotta pumppu ei joutuisi imemään. Mikäli tämä ei ole mahdollista, on imukorkeus pyrittävä pitämään alle 1 mvp. Periaatteessa annostelusäiliön pinnankorkeuden vaihtelut eivät vaikuta kalvopumpun tuottoon yhtä herkästi kuin esim. epäkeskoruuvipumpun tuottoon.

Ongelmana kalvopumpulla on kalvon väljyyden muuttuminen, jolloin tarkkuus huononee. Ferrokidemassan pääsy kalvoon tulisi estää.

Epäkeskoruuvipumpun tuottoa säädetään muuttamalla sähkömoottorin kierroslukua. Pumpulle sopiva tuottoalue on 2-5 m<sup>3</sup>/h, mutta tarkkuus ei ole yhtä hyvä kuin kalvopumpulla, koska staattori kuluu voimakkaasti ferrosulfaattiliuosta pumpattaessa. Pumppu on pakkosyöttöinen eli painepuolen tukkeutuessa paine kasvaa, kunnes heikoin kohta voimansiirrossa särkyi. Epäkeskoruuvipumpun ongelmana ovat myös poksivuodot.

Letkupumpun tuottoa säädetään roottorin kierrosnopeutta muuttamalla. Myöskään tällä pumpulla ei päästä samaan tarkkuuteen kuin kalvopumpulla.



#### 5.4 Putkisto

Annostelupumpun toiminnan varmistamiseksi on hyvä järjestää liuoksen valmistussäiliössä alue, josta liuoksen sisältämä kiintoaine voi laskeutua. Tämän lisäksi voi käyttää imuputkessa myös siivilää, joka estää roskien pääsyn pumppuun. Imusiivilä vaatii säännöllistä puhdistusta.

Jo liuennut ferrosulfaatti saattaa osittain kiteytyä lämpötilan laskiessa. Näin käy, jos liuos on kylläistä, sillä lämpötilan lasku alentaa ferrosulfaatin liukoisuutta. Tämä on otettava huomioon silloin kun ferrosulfaattiliuoksen syöttöputki kulkee ulkotiloissa (ks. kiteytyminen/jäätyminen sivut 6 ja 7). Ellei putkistoa voida sijoittaa sisätiloihin, olisi suotavaa käyttää alikylläistä liuosta tai lämpöeristää syöttöputki ja varustaa se lampökaapelilla. Syöttöputkia tulisi olla vähintään kaksi ja lisäksi asennettuna niin, että niihin pääsisi helposti käsiksi.

Paineputken suunnittelussa on kiinnitettävä huomiota pumpun suojelemiseen liian suurelta vastapaineelta

sekä siihen, ettei liuosta pääse syöttökohtaan omalla painollaan lappona. Varoventtiilin tarkoituksena on suojella pumppua liian suurelta vastapaineelta ja se asennetaan tarvittaessa painejohdon sivuhaaraan. Painejohtoon voidaan asentaa myös painemittari.

Tukkeutumisien vuoksi putkistossa tulisi olla kuumavesi- ja happohuuhtelumahdollisuus. Virtaamaohjatussa annostelussa voi syöttöjohto tukkeutua vähäisen virtaaman aikana, jolloin olisi varattava mahdollisuus saateveden käyttöönnotolle.

Ferrosulfaattiliuoksesta tehdään päivittäin tiheyden mittauksia. Näyte pitäisi voida ottaa helposta paikasta, yksinkertaista venttiiliä käyttäen. Syöttömäärän tulee olla helposti mitattavissa. Hyviä ratkaisuja ovat astiamittaus syöttöletkun päästä ja liuosaltaan pinnan aleneman mittaus.

Ferrosulfaattiliuos sekoitetaan jäteveteen parhaiten turbulentissa kohdassa, joka löydetään käytännössä kokemuseräisesti.

## **6 TURVALLISUUSTOIMENPITEET**

Ferrosulfaatti on voimakkaasti ihoa, silmiä ja limakalvoja ärsyttävä aine sekä kiteisenä että liuoksena ja sen pöly on vaarallista keuhkoille. Nieltynä se voi aiheuttaa syöpymisvaurioita vatsalle ja suolistolle sekä aiheuttaa ripulia. Kylläisen liuoksen pH on noin 2.

Ferrosulfaattia liuotettaessa on olemassa roiskumisvaara erityisesti, kun käsitellään kipattavaa irtotavaraa tai säkkejä. Liuotettaessa on syytä käyttää kasvonsuojainta, kumikäsineitä, esiliinaa ja kumisaappaita sekä päähinettä. Kippausaukko tulee varustaa säleiköllä turvaamaan liikkuminen suuaukon läheisyydessä.

Varastoitaessa ferrosulfaattia säkeissä on vältettävä korkeiden pinojen pystyttämistä, sillä varsinkin talvella ferrosulfaattisäkit elävät ja pinot voivat kaatua.

Aineen jouduttua iholle tai silmiin on niitä välittömästi huuhdeltava runsaalla vedellä.

Putkistohuuhteluissa mahdollisesti käytettävien rikki- tai suolahapon käsittelyssä tulee noudattaa huolellisuutta ja käyttää suojavarusteita.