

Tatu Hiltunen

RIKKIVETYYPITOISUUKSIEN  
SELVITYS MIKKELIN  
VIEMÄRIVERKOSTOSSA  
PORRASSALMENTIEN HAARASSA

Opinnäytetyö  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma


Joulukuu 2012




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences		<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  12.12.2012
<b>Tekijä(t)</b> Tatu Hiltunen	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Ympäristötekniikan koulutusohjelma	
<b>Nimeke</b> Rikkivetypitoisuuksien selvitys Mikkelin viemäriverkostossa Porrassalmentien haarassa		
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Rikkivety on haitallinen yhdiste, jota muodostuu viemäriverkoston jätevedessä anaerobisen mikrobitoiminnan vaikutuksesta. Ilmaan vapautuessaan rikkivety aiheuttaa hajuhaittoja, terveydellisiä haittoja sekä viemärirakenteiden korroosiota. Rikkivety päästöjen aiheuttamien ongelmien ratkaisemiseksi on teknisiä ratkaisuja, joita suunnitellaan ja mitoitetaan viemärien ilmatilan rikkivetypitoisuusmittausten avulla.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää mittausten avulla, esiintyykö Mikkelin vesilaitoksen viemäriverkoston alueella rikkivetyä ja mikä on pitoisuuksien suuruusluokka. Selvityksen kohteina olivat Porrassalmen alueella sijaitsevan viemäriverkoston haaran kymmenen jätevesipumppaamo. Näillä pumppaamoilla mitattiin rikkivetypitoisuuksia jätevesisäiliön ilmatilassa jatkuvatoimisella mittarilla kullakin viikon ajan. Mittaustuloksista nähtiin jokaisella pumppaamolla viikon aikana tapahtunut vaihtelu rikkivetypitoisuudessa ja lämpötilassa.</p> <p>Tuloksista huomattiin joillakin pumppaamoilla esiintyvän huomattavan suuria rikkivetypitoisuuksia. Kolmella pumppaamolla rikkivetypitoisuusmaksimit nousivat noin 300 ppm asti ja kolmella pumppaamolla pitoisuudet pysyivät koko mittausviikon ajan nollassa tuntumassa. Rikkivetyä oli pumppaamon ilmatilassa erityisesti kohteissa, mihin jätevettä purkautui suoraan paineviemäriosuudelta.</p> <p>Selvityksen tulosten perusteella jatkotoimenpiteet rikkivedyn esiintymisen kartoittamiseksi koko Mikkelin viemäriverkoston alueella ja tekniset ratkaisut rikkivety päästöjen pienentämiseksi ovat perusteltuja. Mitattuina pitoisuuksina rikkivety voi aiheuttaa vakavia terveys- ja hajuhaittoja sekä voi johtaa nopeaan viemärirakenteiden koroosioon.</p>		
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> Rikkivety, paineviemäri, sulfidi, jätevesi, pumppaamo, viemäriverkosto		
<b>Sivumäärä</b> 35 s., liitteet 3 s	<b>Kieli</b> Suomi	<b>URN</b>
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>		
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Arto Sormunen	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Mikkelin Vesilaitos	

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  12.12.2012
<b>Author(s)</b>		<b>Degree programme and option</b> Environmental Engineering
<b>Name of the bachelor's thesis</b> Investigation of hydrogen sulfide concentrations in Mikkeli sewer network at the area of Porrassalmi		
<b>Abstract</b>  Hydrogen sulfide is a harmful compound which is formed in the waste water of the sewer networks due to anaerobic microbial activity. When released into the air hydrogen sulfide causes health hazards, odor problems and corrosion of the sewer structures. There are technical systems for solving the problems caused by hydrogen sulfide emissions, which are designed with the information from measurements of hydrogen sulfide concentrations in the sewer headspace.  The objective of this thesis was to investigate whether hydrogen sulfide is present in the sewer systems of Mikkeli waterworks and what the magnitude of the concentrations is. The subjects of this investigation were ten waste water pumping stations in the Porrassalmi area sewer network. Hydrogen sulfide concentrations were measured in the headspaces of the waste water tanks with a continuous online measurement device during one week for each pumping station. The results showed the fluctuation in hydrogen sulfide concentration and temperature at the station during the week.  According to the results high hydrogen sulfide concentrations occurred in some of the pumping stations. The concentration maximums at three stations rose up to 300 ppm and on three of the stations the concentrations stayed close to zero for the whole week. Hydrogen sulfide concentrations were especially high at the stations where sewage water was released straight from a pressure main.  The results of this investigation show that ongoing measures to pin point the hydrogen sulfide emissions inside the Mikkeli sewer networks and technical systems to decrease the emissions are appropriate. In the measured concentrations hydrogen sulfide can cause severe health hazards and odor problems and can lead to rapid corrosion of the sewer structures.		
<b>Subject headings, (keywords)</b> Hydrogen sulfide, pressure main, sewage, pumping station, sewer network		
<b>Pages</b> 35 p., appendices 3 p.	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b>
<b>Remarks, notes on appendices</b>		
<b>Tutor</b> Arto Sormunen		<b>Bachelor's thesis assigned by</b> Mikkelin vesilaitos (Mikkeli waterworks)

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	MIKKELIN VESILAITOS .....	2
3	RIKKIVETY VIEMÄREISSÄ .....	3
3.1	Sulfaatin pelkistyminen .....	4
3.2	Rikkivedyn muodostumiseen ja vapautumiseen vaikuttavat tekijät .....	4
3.2.1	Viemäriputken seinämän biofilmi .....	5
3.2.2	Lämpötila .....	6
3.2.3	Liunneen hapen pitoisuus jätevedessä .....	6
3.2.4	Jäteveden pH-arvo .....	8
3.2.5	Jäteveden redox-potentiaali .....	9
3.2.6	Viemäriputken rakenne .....	10
3.2.7	Paineviemärien purkukaivot ja turbulenssi .....	10
3.2.8	Jäteveden metalli-ionien pitoisuus .....	11
3.3	Mallinnus .....	11
3.4	Rikkivedyn aiheuttamat haitat .....	11
3.4.1	Hajuhaitat .....	11
3.4.2	Korroosio .....	12
3.4.3	Terveyshaitat .....	13
3.5	Rikkivety päästöjen hallintamenetelmät lyhyesti .....	14
4	MITTAUKSET .....	16
4.1	Mittausmenetelmät .....	17
4.2	Mittauskohteet .....	18
5	TULOKSET JA TULOSTEN ANALYSOINTI .....	24
6	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	32
	LÄHTEET .....	34

### LIITTEET

- 1 H<sub>2</sub>S Guard -esite
- 2 Mikkelin vesilaitoksen tulokuormitus ja puhdistustulos 2011
- 3 Mittaustulokset pumppaamoilla 2 ja 3

## 1 JOHDANTO

Viemärit ovat osa yhdyskuntien infrastruktuuria ja toimivat osana jätevedenpuhdistusprosessia. Viemärissä tapahtuviin reaktioihin vaikuttavat vallitsevat fysikaaliset, kemialliset ja biologiset olosuhteet. Viemärin anaerobisissa olosuhteissa muodostuu mikrobitoiminnan biokemiallisissa prosesseissa monia haitallisia yhdisteitä, joista ongelmallisimpia on rikkivety. Rikkivetyä muodostuu viemäreissä pääasiassa sulfaatin pelkistyessä sulfidiksi. Rikkivety aiheuttaa ilmaan vapautuessaan hajuhaittoja, terveydellisiä riskejä sekä hapettuessaan rikkihapoksi viemäriakenteiden korroosiota. Pitkään jatkuneesta korroosiosta voi seurata viemäriputkien vuotoja ja romahtimisia johtuen ympäristöonnettomuuksiin. Aiheutuneiden vaurioiden ja haittojen korjaamisesta seuraa suuria kustannuksia, joita voidaan vähentää ennaltaehkäisevillä keinoilla. Erityisesti viemäriverkoston pitkät paineviemäriosuudet ovat ongelmallisia syntyvien hapettomien olosuhteiden takia. Jätevedessä muodostunut rikkivety pääsee vapautumaan ilmaan paineviemärien purkukaivoissa aiheuttaen paikallisia haittoja. Rikkivedyn aiheuttamat haitat viemäriverkostoissa ovat yleisiä ja niihin kohdistuvaa tutkimustyötä on tehty runsaasti tehokkaimpien ratkaisukeinojen selvittämiseksi. Haittojen ehkäisemiseksi on olemassa monenlaisia keinoja, joiden valinta ja mitoittaminen tulee tehdä kuhunkin ongelmakohtaan sopivaksi. Viemäriverkoston ongelmakohtia kartoitetaan rikkivetypitoisuusmittauksilla arvioiduissa riskipisteissä. Oikein mitoitetuilla ratkaisuilla pystytään tehokkaasti välttämään rikkivedystä johtuvat haitat vähentäen viemäriverkoston huollosta aiheutuvia kustannuksia.

Tämä opinnäytetyö on toteutettu yhteistyössä Mikkelin vesilaitoksen kanssa. Työllä selvitetään rikkivetypitoisuuksia ja rikkivedyn aiheuttamien haittojen riskiä Mikkelin viemäriverkoston pumppaamoilla. Selvityksen alueeksi on rajattu yksi viemärihaara viemäriverkoston alueelta. Työn päätavoitteina on selvittää mittausten avulla, esiintyykö rikkivetyä selvityksen alueen jätevesipumppaamoilla ja mikä on pitoisuuksien suuruusluokka. Rikkivetypitoisuuksia ei ole mitattu aiemmin Mikkelin Vesilaitoksen viemäriverkoston alueella. Selvityksellä toivotaan saatavan tarvittavaa tietoa rikkivedyn aiheuttamien riskien pienentämiseksi. Tuloksien perusteella Mikkelin vesilaitos voi suunnitella jatkoselvityksiä ja mahdollisia teknisiä ratkaisuja riskikohteisiin, joiden rikkivetypitoisuudet ovat haitallisella tasolla.

Jatkotoimenpiteisiin liittyvistä selvityksistä ja ongelmien torjunnasta päättää Mikkelin vesilaitos.

Mikkelin vesilaitos on kokenut rikkivetyyn yhdistettyjä haittoja muutamissa viemäriverkoston kohteissa Porrassalmen alueella. Haja-asutusalueen läheisyydessä on havaittu hajuhaittoja, joita on aiemmin pyritty ratkaisemaan aktiivihiihli-suodatinjärjestelmillä. Myös betoniviemärien korroosiosta on ollut merkkejä. Tällä alueella suoritetaan mittauksia pumppaamoiden jätevesisäiliöistä rikkivedyn esiintymisen selvittämiseksi. Mittauskohteiksi valittiin alueen viemäriverkostosta peräkkäisiä pumppaamoita rikkivedyn muodostumisosuuksien ja vapautumispisteiden selvittämiseksi. Selvityksen alaisella Porrassalmen alueella sijaitsee tärkeä pohjavesialue, minkä johdosta putkivuotojen estäminen on hyvin tärkeää. Korroosion pilaamien viemäriosuuksien uusiminen aiheuttaa korkeita kustannuksia ja jatkuvat rikkivety-päästöt tekevät huoltotöistä ja kustannuksista jatkuvia. Ennaltaehkäisevät keinot vähentävät huomattavasti huoltokustannuksia. Erityisesti olosuhteet, joissa rikkivety hapettuu rikkihapoksi halutaan torjua ongelmien ehkäisemiseksi.

## **2 MIKKELIN VESILAITOS**

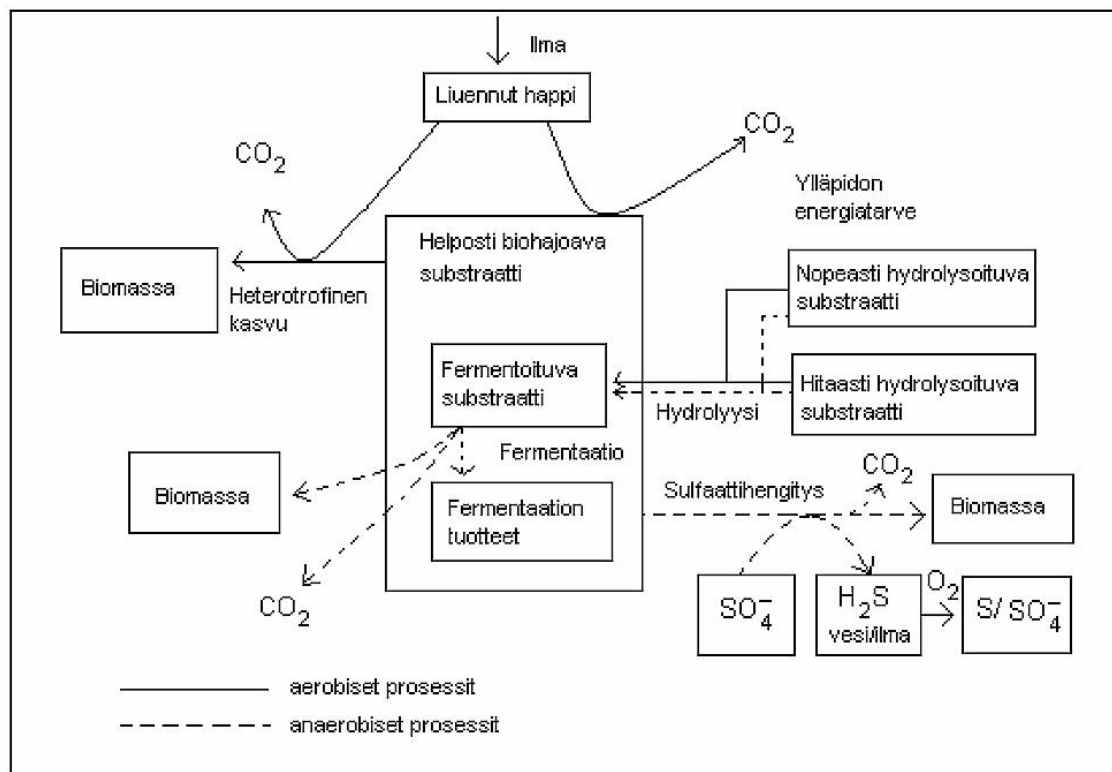
Mikkelin vesilaitoksen toiminta-alueen verkostoon kuuluu kantakaupungin lisäksi Tuukkalan, Rantakylän, Otavan, Anttolan, Ristiinan ja Haukivuoren taajamat sekä alueen vesiosuuskunnat ja vuoden 2013 alusta Suomenniemi. Keskimääräinen verkostovedenkulutus vuonna 2011 oli 8897 kuutiometriä vuorokaudessa (Liite 2). Raakavettä talousvedentuotantoon hankitaan pohjavedestä sekä Saimaan vedestä suodatettavasta tekopohjavedestä. (Mikkelin Vesilaitos 2010.)

Vesijohtoverkoston pituus on noin 430 kilometriä ja viemäriverkoston kokonaispituus noin 450 kilometriä. Verkostoon liittyneitä vesiosuuskuntia on 19 kappaletta. Jäte -ja perusvesipumppaamoita verkostossa oli noin 100 kappaletta. Jätevedet käsitellään mekaanisin, kemiallisin ja biologisin prosessein pääasiassa Kenkäveronniemen jätevedenpuhdistamolla, josta puhdistettu vesi johdetaan Saimaaseen Savilahteen. (Mikkelin vesilaitos 2010.) Vuotuinen käsitelty jätevesimäärä oli 4613371 m<sup>3</sup> vuonna 2011. Mikkelin vesilaitoksen jäteveden puhdistustulos täyttää vedenpuhdistuksen

viranomaisvaatimukset kaikilta osin. (Liite 2.) Kenkäveronniemen jätevedenpuhdistamo korvataan tulevaisuudessa uudella laitoksella, jonka pitäisi aikataulun mukaan olla käytössä vuonna 2015 (Länsi-Savo 2012).

### 3 RIKKIVETY VIEMÄREISSÄ

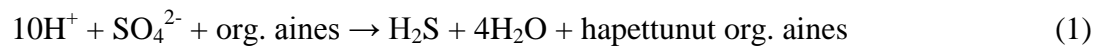
Rikkivety  $H_2S$ -muodossa on väritön hieman ilmaa raskaampi kaasu. Se on yleisin viemäreissä esiintyvä hajuyhdiste, joka muistuttaa hajultaan mädäntynyttä kananmunaa. Rikkivety kaasufaasissa on terveydelle haitallista, aiheuttaa rikkihapoksi hapettuessaan korroosiota ja on herkästi syttyvää aiheuttaen räjähdysvaaran viemäreissä. Rikkivedyn eli vetysulfidin muodostumiseen viemäriverkostossa vaikuttaa jäteveden mikrobiologiset, fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet sekä viemärien rakenne ja vietto-ominaisuudet. Viemäriin tulevan jäteveden lähteet vaikuttavat oleellisesti viemäriin oleviin jäteveden komponentteihin. Orgaanisiin ja epäorgaanisiin yhdisteisiin sitoutunutta rikkiä on runsaasti sekä asumis- että teollisuusjätevesissä. (Aatola 2007, 5-6.) Rikkiyhdisteiden reaktiot ja muutokset viemäreissä ovat yhteydessä orgaanisten aineiden muutosprosesseihin ja jäteveden happiolosuhteisiin (Kuva 1).



## **KUVA 1. Orgaanisten aineiden ja rikkiyhdisteiden muutosprosessit viemärissä. (Aatola 2007, 5)**

### **3.1 Sulfaatin pelkistyminen**

Sulfidia muodostuu pääasiassa sulfaatin  $\text{SO}_4^{2-}$  pelkistyessä (reaktioyhtälö 1) anaerobisen mikrobitoiminnan ja erityisesti *Desulfovibrio* bakteerin vaikutuksesta (Böhm ym. 1998, 255).

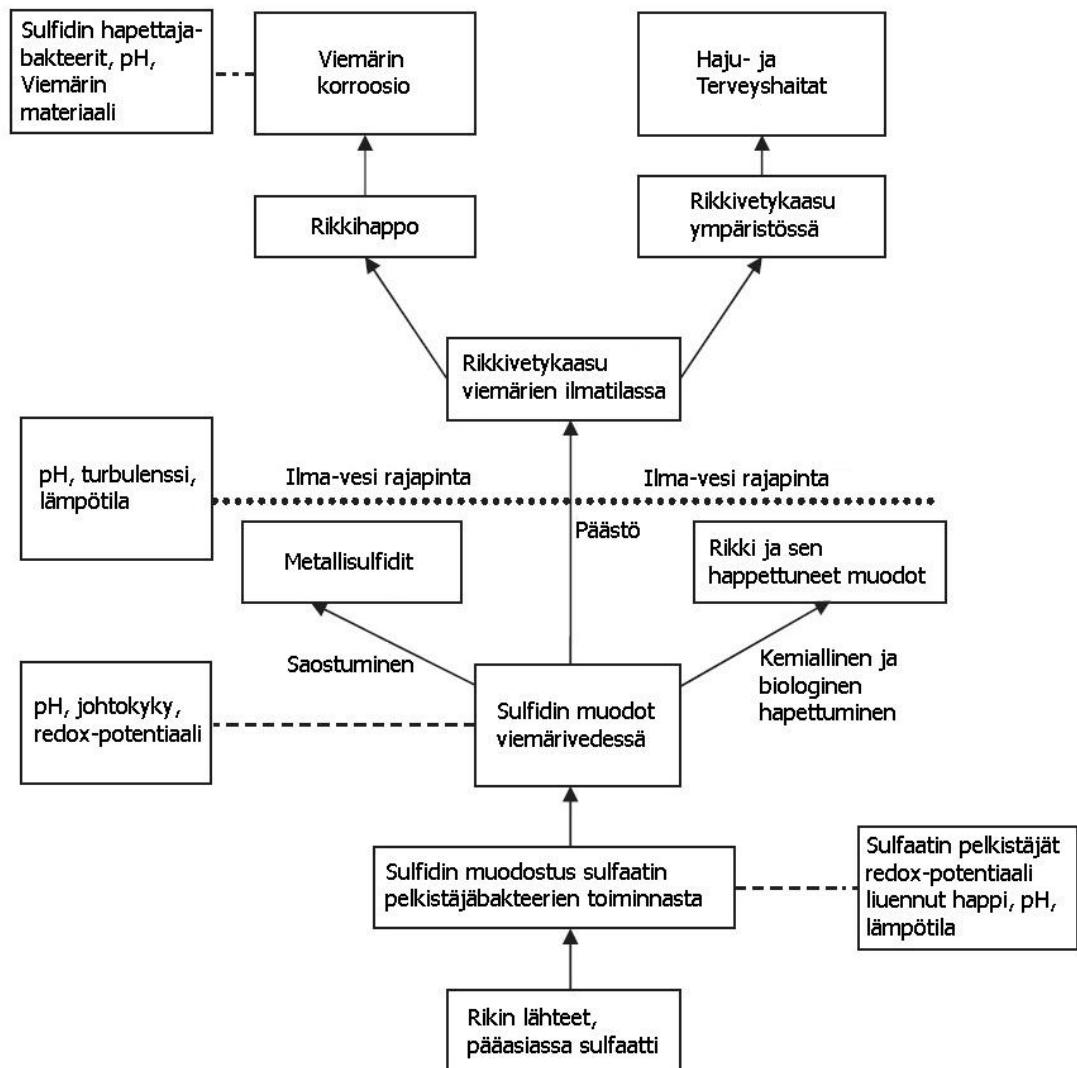


Sulfaatin pelkistymiseen vaikuttaa erityisesti viemäriputken sisäpinnan biofilmin mikrobitoiminta. Mikrobitoiminnan luonne riippuu suuresti jätevedessä olevien elektroniakseptorien muodosta. Happi on pääasiallinen elektronien vastaanottaja, mutta anaerobisiin olosuhteisiin siirryttäessä nitraattiin, sulfaattiin, hiilidioksidiin ja orgaanisiin yhdisteisiin sitoutunut happi voi toimia vastaanottajana. Tällöin kyseinen yhdiste pelkistyy reaktiossa ja toimii vetyatomien vastaanottajana. (Aatola 2007, 4.)

### **3.2 Rikkivedyn muodostumiseen ja vapautumiseen vaikuttavat tekijät**

Anaerobinen bakteeritoiminta on pääasiallinen syy rikkivedyn muodostumiseen jätevedessä. Sulfaatinpelkistäjäbakteerit käyttävät sulfaattia elektroniakseptorina ja hapenlähteenä sekä orgaanisia aineita ravinnonlähteinä muodostaen sulfidia, vettä ja hiilidioksidia. Sulfidin muodostus rajoittuu, jos sulfaattia on jätevedessä alle 5 – 15 mg/l. (Aatola 2007, 11; 17.) Rikkivedyn vapautuminen ilmaan on viemäriverkoston ilma- ja vesifaasien välinen fysikaaliskemiallinen ilmiö, joka on riippuvainen lämpötilasta, pH-arvosta, jäteveden hydraulisista olosuhteista ja ilmatilan ilmanvaihdosta. (Zhang ym. 2007, 4.) Sulfidin muutosprosessit, ympäristön olosuhteet sekä kemialliset reaktiot jätevedessä ja ilmatilassa vaikuttavat rikkivedyn pitoisuuteen ilmatilassa (Kuva 2). Rikkivety on melko hyvin veteen liukenevaa. Normaaliolosuhteissa liukenevuus on noin 3,6 mg/l ja korkeammilla pH-arvoilla enemmän (Al-Shammiri 2002, 5).





**KUVA 2. Rikkivedyn muodostuminen ja vapautuminen viemärissä ja niihin vaikuttavat ympäristötekijät. (Zhang ym. 2007, 3, muokattu)**

### 3.2.1 Viemäriputken seinämän biofilmi

Sulfaatin pelkistyminen tapahtuu pääasiassa jäteveden pinnan alapuolella viemäriputken seinämille muodostuvassa biofilmissä ja osaksi jäteveden sedimenteissä. Jäteveden virtaama, koostumus ja muut olosuhteet vaikuttavat biofilmin paksuuteen, joka vaihtelee yleensä välillä 0,3 – 1,0 mm. Biofilmi muodostuu eri olosuhteissa olevista bakteerikerroksista. Lähinnä viemäriin seinämää olevaan kerrokseen eivät ravinteet ja hapen lähteet diffusoidu ja se on reagoimaton. Tämän kerroksen päällä voi olla anaerobinen kerros, jossa sulfaatin pelkistyminen tapahtuu. Aerobisten olosuhteiden vallitessa viemärissä päällimmäisenä on aerobinen bakteerikerros. Näiden kerroksien paksuuksien suhde riippuu hapen määrästä

ympäristössä sekä myös lämpötilasta ja orgaanisen aineen määrästä. (Aatola 2007, 11.)

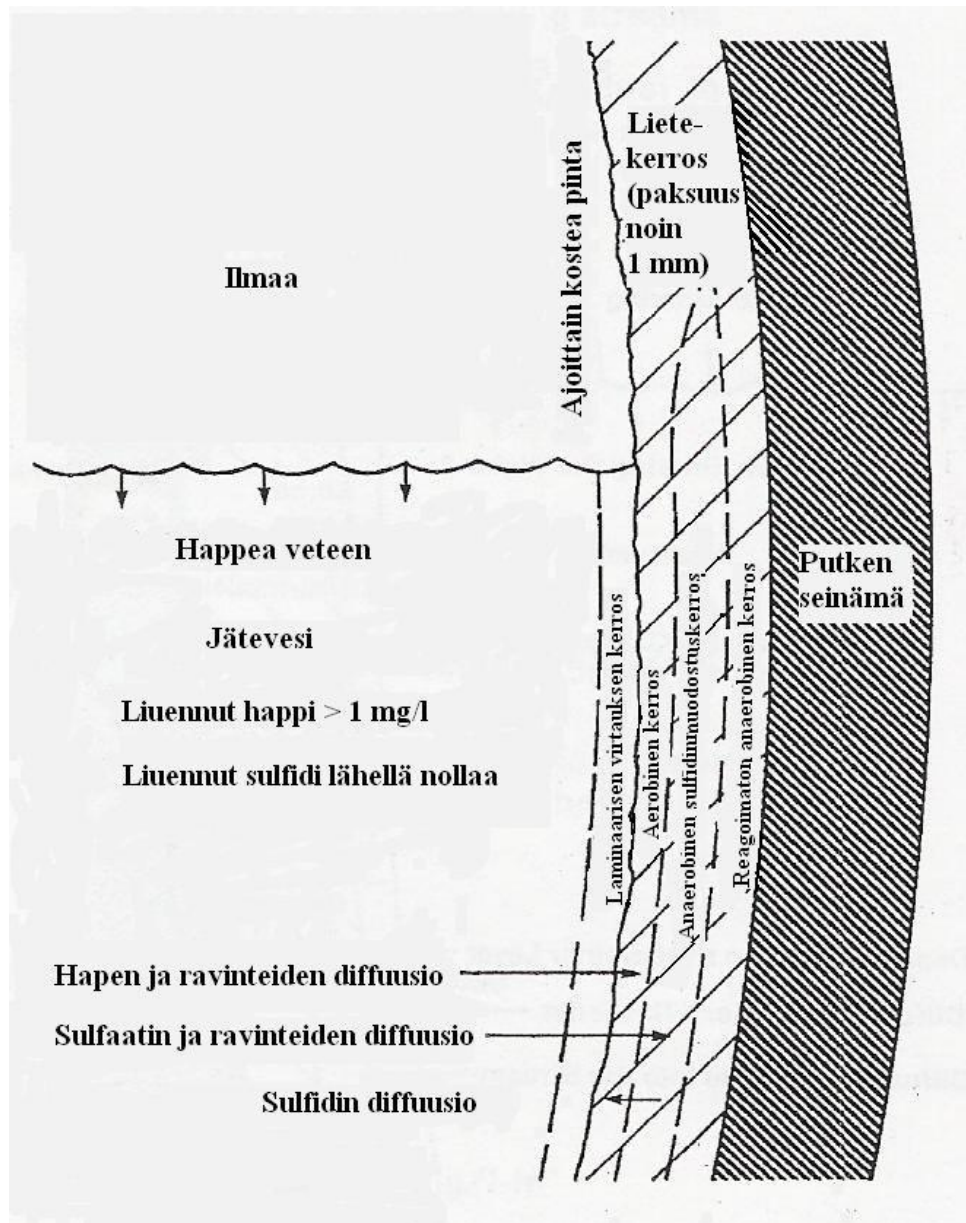
### **3.2.2 Lämpötila**

Lämpötila vaikuttaa oleellisesti jäteveden biologiseen aktiivisuuteen ja näin myös sulfaatin biologiseen pelkistymiseen sulfidiksi. Korkeammassa lämpötiloissa sulfidin muodostus lisääntyy mikrobitoiminnan lisääntyessä ja biologisen hapen kulutuksen kasvaessa. Jäteveden lämpötilan pysyessä yli 15°C sulfidia muodostuu yleensä myös viettoviemäreissä. (Jensen 2009, 13.) Lämpötila vaikuttaa rikkivedyn ilmaan vapautumiseen siten, että korkeammassa lämpötilassa vapautuu enemmän yhdistettä (Al-Shammiri 2002, 5).

### **3.2.3 Liuenneen hapen pitoisuus jätevedessä**

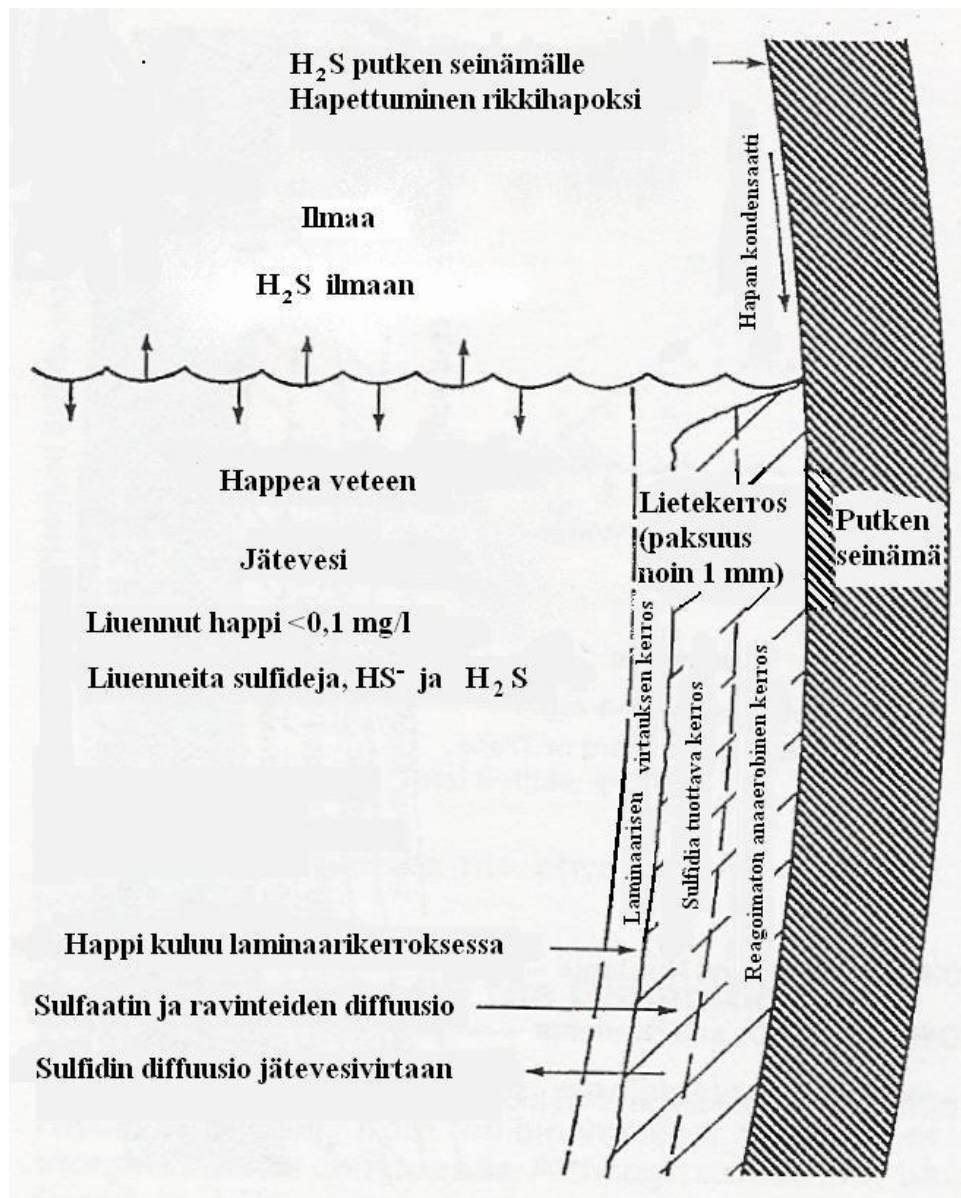
Happipitoisuus on tärkein sulfidin muodostusta säätelevä tekijä. Sulfaattia pelkistävät bakteerit muodostavat sulfidia vain hapettomissa oloissa. Anaerobinen tilanne voi syntyä paineviemäriin tai täytenä virtaavaan viettoviemäriin. Aerobiset olosuhteet vallitsevat ilmastetussa paineviemäriissä ja vajaatäyttöisessä viettoviemäriissä. Hapellisissa olosuhteissa biomassa kasvaa ja orgaaninen aines hajoaa vedeksi ja hiilidioksidiksi, mikä on myönteistä jätevedenkäsittelyprosessin kannalta. (Aatola 2007, 4-5.) Jäteveden liuenneen hapen pitoisuus riippuu biologisen hapen kulutuksen ja ilmasta liukenevan hapen lisäyksen tasapainosta (Aatola 2007, 16).

Biofilmiin jätevedestä diffusoituva happi kulutetaan aerobisessa kerroksessa, jolloin syvemmällä sijaitseva anaerobinen kerros käyttää sulfaattia hapen lähteenään. Hapen konsentraation ollessa riittävä, yli 1 mg/l, syvemmällä biofilmissä muodostuva sulfidi hapettuu aerobisessa kerroksessa takaisin sulfaatiksi diffusoituessaan jätevettä kohti eikä pääse vapautumaan veteen sulfidina (Kuva 3). (Aatola 2007, 11.)



**KUVA 3. Viemärin seinämän biofilmin toiminta liuenneen hapen läsnäollessa. (Aatola 2007, 12)**

Hapen pitoisuuden ollessa alle 0,1 mg/l biofilmin pinnalla aerobinen kerros ei pysty hapettamaan alemmissä kerroksissa muodostuvaa sulfidia. Tällöin sulfidi diffusoituu kohti pienempää konsentraatiota jätevesivirtaan. Hapettomissa olosuhteissa biofilmin aerobinen mikrobikerros voi kadota lähes täysin, jolloin kaikki muodostunut sulfidi vapautuu suoraan jäteveeteen (Kuva 4). (Aatola 2007, 12.) Jätevedessä liennut sulfidi voi joko hapettua, reagoida metallien kanssa muodostaen liukenemattomia metallisulfideja tai vapautua ilmaan rikkivetynä (Nielsen ym. 2006, 3655).

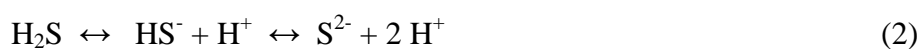


**KUVA 4.** Viemärin seinämän biofilmin toiminta vähähappisissa olosuhteissa. (Aatola 2007, 13)

### 3.2.4 Jäteveden pH-arvo

Rikkivety on vedessä kolmessa hapetusluvun mukaisessa muodossa, joko  $HS^-$  tai  $S^{2-}$ -ioneina tai molekyylärisessä  $H_2S$ -muodossa. Liuenneen sulfidin hapetusmuotojen jakauma riippuu veden pH-arvosta.

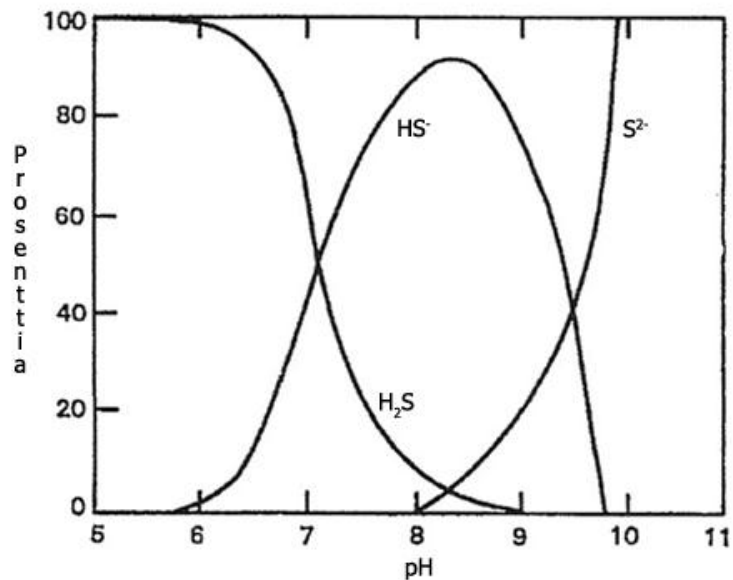
Sulfidi-ioni muuttuu muotoaan pH-arvosta riippuen tasapainoyhtälön 2 mukaisesti:



Sulfidiin liittyvät ongelmat yhdistetään pääasiassa ilmaan vapautuneeseen kaasumaiseen rikkivetyyn. Sulfidi pystyy vapautumaan ilmaan vain molekyylärisessä

muodossaan  $\text{H}_2\text{S}$ , joten rikkivetypäästöjä ja siitä aiheutuvia ongelmia voidaan ehkäistä myös veden pH-arvoa säätämällä. (Zhang ym. 2007, 4.) Sulfaatinpelkistäjäbakteerit pystyvät toimimaan pH:n ollessa välillä 5,5 – 9,0, joten pH-arvon säätely vaikuttaa suoraan myös sulfidin syntymiseen. (Aatola 2007, 11.)

Matalilla pH-arvoilla sulfidi on suurimmaksi osaksi ilmaan vapautuvassa  $\text{H}_2\text{S}$  muodossa (Aatola 2007, 14). Korkeammilla pH-arvoilla sulfidin hapetusluvultaan pienemmät muodot lisääntyvät (Kuva 5). PH-Arvon ollessa yli 9 sulfidin ilmaan vapautuvaa muotoa ei ole teoriassa läsnä ollenkaan, joten tekemällä jätevesi emäksisemmäksi voidaan estää sulfidin vapautumista ilmaan.



**KUVA 5. pH-arvon vaikutus liuoksen sulfidin esiintymismuotoon. (Aatola 2007, 15)**

### 3.2.5 Jäteveden redox-potentiaali

Redox-potentiaali kuvaa liuoksen kemiallista kykyä hapettaa tai pelkistää yhdisteitä. Redox-arvoon vaikuttaa liuoksen elektroniakseptorien konsentraatio eli se kuvaa hapettavien yhdisteiden määrää vedessä. Suuremmilla arvoilla tapahtuu enemmän hapettumista ja arvon pienetessä pelkistyminen lisääntyy. Liuoksen hapen ollessa läsnä redox-potentiaali on yli +300 mV ja tällöin ei tapahdu sulfaatin pelkistymistä. Arvon ollessa alle +50 mV sulfidin muodostusta tapahtuu sulfaatin pelkistyessä tämän biokemiallisen reaktion optimin ollessa välillä -200 – -300 mV pH-arvoilla 6,5 – 8. (Aatola 2007, 16.)

### 3.2.6 Viemäriputken rakenne

Biofilmissä tapahtuvan pelkistymisen ollessa sulfidin pääasiallinen lähde putken sisäpinnan pinta-ala vaikuttaa sulfidin muodostumiseen. Sulfidin muodostumisen nopeus riippuu pääasiassa biofilmin pinta-alan ja jäteveden tilavuuden suhteesta. Suurissa putkissa on pienempi pinta-ala/tilavuus-suhte, joten sulfidia muodostuu suhteessa vähemmän. (Nielsen ym. 2006, 3662.)

Rakenteellisilla seikoilla vaikutetaan myös jäteveden liikkeeseen. Jäteveden virtaamisnopeus vaikuttaa biofilmin muodostumiseen viemäriputkien seinämille eroosion vaikutuksesta. Virtauksen ollessa hidaskin biofilmi pääsee muodostumaan paksummaksi. Virtaama vaikuttaa myös anaerobiseen viipymään, joten sulfidin muodostus paineputkiosuuksilla riippuu jäteveden virtaaman vaihtelusta. Mitä kauemmin hapettomat olosuhteet jätevedessä kestävät, sitä enemmän sulfidia ehtii muodostua. (Aatola 2007, 17.)

### 3.2.7 Paineviemärien purkukaivot ja turbulenssi

Molekyläärisessä muodossaan oleva rikkivety vapautuu herkästi ilmaan jäteveden ilma-vesirajapinnalla, joten rikkivedyn vapautuminen on voimakkainta rajapinta-alan ollessa suuri. Veden sekoittuessa ja ilmastuessa vapautuminen on voimakkaampaa ja korkeissa putouksissa vaikutus on suurin. Ilmaan vapautuminen tapahtuu voimakkaimmin paineviemärien purkukaivoissa, missä turbulenssi sekoittaa ja ilmastaa hapettomista oloista purkautuvaa runsaasti sulfidia sisältävää jätevettä. Jäteveden virtauksen aiheuttama turbulenssi aikaansaa rikkivedyn vapautumista, mutta myös lisää jäteveden happipitoisuutta lisäten sulfidin hapettumista sulfaatiksi. Sulfidin hapettumista voi tapahtua kemiallisesti tai biologisesti, joko jätevedessä, ilmassa tai ilmatilan seinämällä. (Zhang ym. 2007, 4.)

Paineviemäriolosuuden jälkeen ilmaan vapautuvan rikkivedyn on todettu adsorpoituvan nopeasti viemäriputkenteisiin vähentäen purkukaivon ilmassa havaittavaa pitoisuutta. Tästä syystä viemäriin ilmassa havaittava rikkivety pitoisuus ei aina vastaa teoreettista tasapainokonsentraatiota veden sulfidipitoisuuteen verrattuna vaan voi olla alle 10% siitä. (Nielsen ym. 2006, 3661.)

### **3.2.8 Jäteveden metalli-ionien pitoisuus**

Jäteveden metalli-ionit vaikuttavat rikkivedyn vapautumiseen muodostamalla tämän kanssa metallisulfideja ja näin sitomalla estävät rikkivedyn vapautumisen ilmaan. (Aatola 2007, 19-20.) Jätevesi sisältää tyypillisesti 1,0 - 2,0 mg/l rautaa, 0,2 - 0,5 mg/l sinkkiä ja pienempiä pitoisuuksia muita metalleja kuten lyijyä ja kuparia, minkä seurauksena pieni pitoisuus (0,1 - 0,25 mg/l) sulfideja saostuu liukenemattomiksi yhdisteiksi (Al-Shammiri 2002, 5).

### **3.3 Mallinnus**

Rikkivedyn syntymisestä ja käyttäytymisestä viemäriympäristössä on johdettu useita empiirisiä mallinnuskaavoja. Malleja tarvitaan jätevesijärjestelmien suunnittelussa ja ylläpidossa rikkivedyn syntymisen ja aiheutuvien haittojen ennakoimiseksi ja hallitsemiseksi. Näillä malleilla on kuitenkin suuria rajoituksia vaikuttavien olosuhteiden monimutkaisuuden takia. Olosuhteiden tarkkaan mallinnukseen ei päästä ja kohteeseen parhaiten sopivan mallin käyttäminen ei ole itsestään selvää. Suuntaa antavat mallinnukset voivat joka tapauksessa edesauttaa suunnittelua jätevesijärjestelmien haittojen ehkäisemiseksi. (Nielsen ym. 2006, 3655.)

### **3.4 Rikkivedyn aiheuttamat haitat**

Vapautuessaan ilmaan rikkivety aiheuttaa terveydellisiä riskejä, hajuhaittoja ja korroosiota. Suomen laissa Ammattitautiasetuksen (29.12.1988/1347) 3§ määrittää rikkivedyn ammattitautia aiheuttavaksi tekijäksi.

#### **3.4.1 Hajuhaitat**

Hajuhaittoja aiheuttavat useat jäteveden sisältämät pienimolekyyliset ja haihtuvat orgaaniset yhdisteet. Rikkivety on usein kuitenkin suurin hajun aiheuttaja ja toimii hyvin indikaattoriyhdisteenä hajuhaitan ilmenemisestä. Purkukaivoista rikkivety kulkeutuu tuuletuksen kautta ulkoilmaan aiheuttaen hajuhaittoja. (Aatola 2007, 6.) Hajuhaittoja havaitaan jo pienistä pitoisuuksista, jotka voivat levitä laajalle alueelle

viemäriverkoston läheisyydessä. Yli 100 ppm pitoisuuksina rikkivety lamaannuttaa hajuaistin.

### 3.4.2 Korroosio

Viemärin ilmasta rikkivetyä diffusoituu rakenteiden huokosilmaan ja adsorpoituu kosteisiin pintoihin. Se voi aiheuttaa korroosiota hapettuessaan ilman rajapinnassa bakteeritoiminnan vaikutuksesta rikkihapoksi (reaktioyhtälö 3).

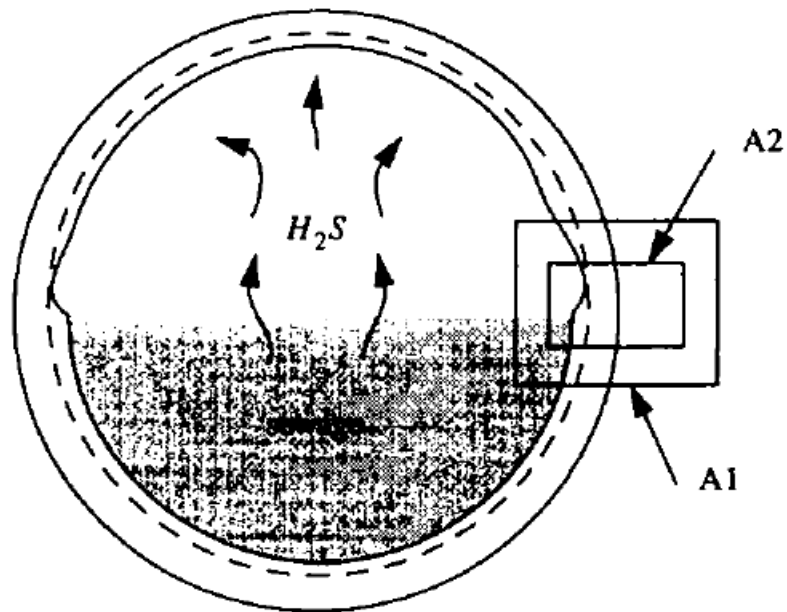


Kosteilla pinnoilla viemärirakenteissa kasvavat mikro-organismit kuten aerobinen ja kemoautotrofinen *Thiobacillus sp.* bakteeri hapettavat rikkivetyä rikkihapoksi. (Zhang ym. 2007, 4.) Muodostunut rikkihapo reagoi nopeasti viemärirakenteiden betonin ja metallien kanssa. (Nielsen ym. 2006, 3654.) Rikkihapon reagoidessa (reaktioyhtälö 4) betonin sisältämän kalsiumin kanssa muodostuu kipsiä ( $\text{CaSO}_4$ ), joka muodostaa betonirakenteiden pinnalle korrodoituvan kerroksen kosteuden kanssa.



Korrodoituva kerros laajenee hiljalleen muodostuvan rikkihapon vaikutuksesta syvemmälle betoniin tuhoten viemärirakenteita. Samalla reaktioissa muodostuu ettringiittiä ( $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$ ), joka on laajentuvaa ja aiheuttaa rakenteiden sisäistä halkeilua antaen lisää tilaa rikkihapporeaktioille. (Zhang ym. 2007, 4.) Korroosiota tapahtuu erityisesti betoniputkissa jäteveden pinnan tason yläpuolella olevassa kohdassa (Kuva 6). Viemäriverkoston betoniputkille rikkivedyn esiintymisestä seuraavan korroosion on todettu olevan jopa kymmenen millimetriä vuodessa (Zhang ym. 2007, 4.). Lopulta korroosion vaikutuksesta voi aiheutua viemärin romahtaminen rakenteiden kantavuuden vähentyessä. Kokeellisissa laboratorio-olosuhteissa suoritettussa kokeessa koelaitoksen betonisen jätevesiputken ilmatilan  $\text{H}_2\text{S}$  pitoisuuksien vaihdella välillä 25 - 300 ppm putken korroosionopeudeksi on havaittu 3,8 - 7,6 mm vuodessa (Gutierrez-Padilla ym. 2010, 299).





**KUVA 6. Rikkivedyn aiheuttaman korroosion todennäköinen esiintymiskohta betoniviemäriputkessa. (Böhm ym. 1998, 248)**

### 3.4.3 Terveyshaitat

Terveyshaittoja aiheutuu voimakkaasti myrkyllisen rikkivetykaasun kerääntyessä suurina pitoisuuksina viemärin ilmastoon lisäten riskiä altistukselle (Marttila 1995). Rikkivedyn matala hajukynnys (0,5 ppb) on hyvä indikaattori terveyshaitoista, mutta yli 100 ppm pitoisuudet lamauttavat hajuaistin ja estää aistimasta pitoisuuden muutoksia (Aatola 2007). Jo pienien rikkivetypitoisuuksien hengittäminen voi aiheuttaa päänsärkyä, huimausta, pahoinvointia, oksentelua, ripulia, aivastelua, kuivaa yskää, lihaskrampeja ja -heikkoutta, heikotusta sekä väsyneisyyttä. Pidentynyt altistus 50 ppm pitoisuudelle voi aiheuttaa keuhkoputkentulehdusta, nielutulehdusta ja keuhkokuumetta. Pidentynyt altistus yli 250 ppm pitoisuudessa johtaa keuhkopöhöön, raajojen puutumiseen, vapinaan, kouristuksiin, tajuttomuuteen ja hengityselinten halvauksesta johtuvaan kuolemaan. Silmät ovat hyvin herkäät rikkivedyn aiheuttamalle sidekalvontulehdukselle, joka voi aiheuttaa näkökyvyn huonontumista. Toistuva altistuminen aiheuttaa uupumusta, päänsärkyä, silmäluomien tulehtumista, huimausta ja ärtyneisyyttä. Pääasialliset altistumiskanavat ovat hengittäminen sekä silmä- ja ihokontakti. (Al-Shammiri 2002, 4-5.) Työterveyslaitos on määrittänyt rikkivedyn ihmiselle aiheuttamat terveyshaitat hengitysilman eri pitoisuuksilla (Taulukko 1) ja rikkivetypitoisuuden työhygieniset raja-arvot (Taulukko 2).

**TAULUKKO 1. Rikkivedyn aiheuttamat terveyshaitat eri pitoisuuksilla. (Työterveyslaitos 2012)**

Vähimmäispitoisuus [ppm]	[mg/m <sup>3</sup> ]	Oireet
10	15	Limakalvojen ja hengitysteiden ärsytys
10-20	15 - 30	Silmien ärsytys
50-100	70 - 140	Polttava kipu silmissä, kyynelvuoto, näön sumeneminen, nenän ja kurkun kuivuminen, yskää, hengenahdistuksen tunne
100-150	140 - 210	Hajuaistin lamaantuminen, päänsärkyä, huimausta, pahoinvointia, heikkoutta ja sekavuutta
300	400	Keuhkopöhön mahdollisuus
500	750	Vakavia hermostollisia oireita ja tajuttomuutta viidessä minuutissa, hengityskeskuksen lamaantuminen ja kuolema jopa puolessa tunnissa
1000	1 400	Välitön tajuttomuus ja kuolema hengityksen lamaantumisesta

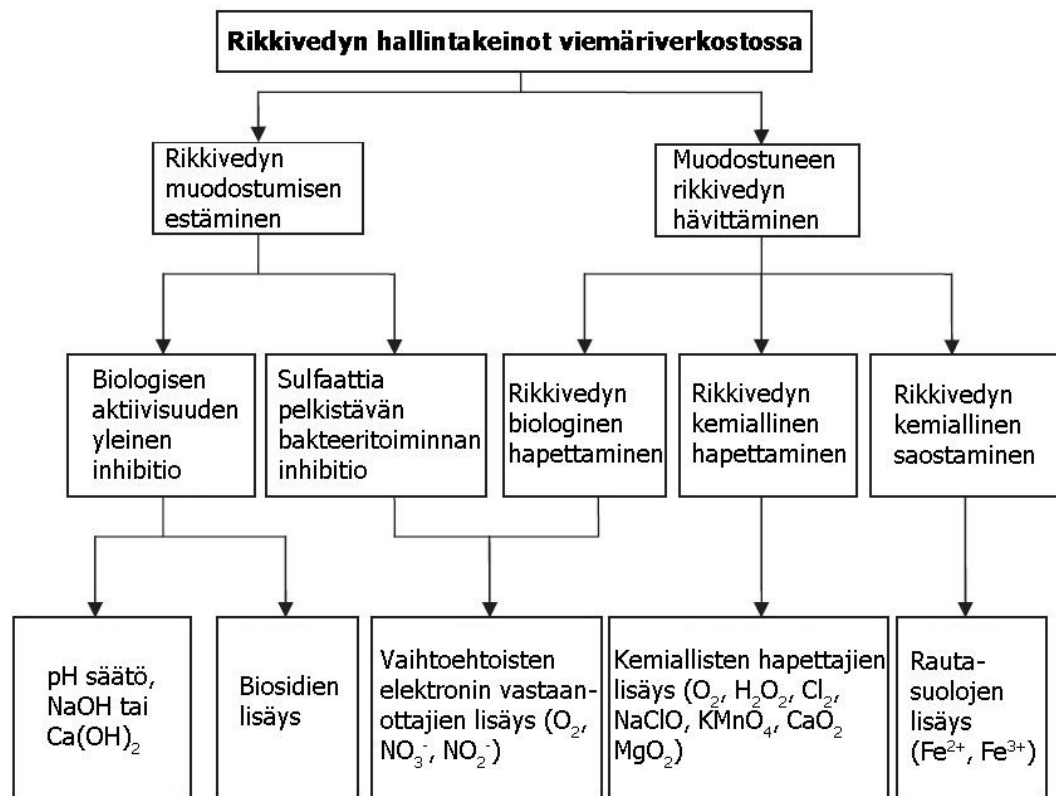
**TAULUKKO 2. Rikkivedyn työhygieniset raja-arvot (HTP). (Työterveyslaitos 2011)**

Altistusaika	Pitoisuus [ppm]	[mg/m <sup>3</sup> ]
8 h	5	7
15 min	10	14

### 3.5 Rikkivety päästöjen hallintamenetelmät lyhyesti

Rikkivedyn syntymiseen ja vapautumiseen johtaviin tekijöihin pyritään vaikuttamaan jo viemärien rakentamisvaiheessa haittojen minimoimiseksi. Aina näin ei pystytä tekemään, joten haittojen poistamiseksi joudutaan toteuttamaan huoltotöitä ja rakentamaan järjestelmiä jälkikäteen. Kemikaalien avulla jälkikäisemiseen on useita menetelmiä, joita hyödynnetään ongelmakohtaan sopivalla tavalla paikallisesti. Jotta haittojen ehkäisemisestä saadaan kustannustehokasta ongelmien laajuus tulee kartoittaa etukäteen ja ehkäisymenetelmää tulee ohjata jatkuvien rikkivetypitoisuusmitausten avulla. (Aatola 2007, 1.)

Rikkivetyäpäästöjä voidaan hallita viemäreissä joko ennalta ehkäisemällä rikkivedyn muodostumista tai jälkikäteen hävittämällä muodostunutta rikkivetyä. Ennalta ehkäisy tapahtuu yleensä kemiallisesti tai fysikaalisesti jäteveden mikrobitoimintaa inhibioiden ja rikkivedyn hävittäminen kemiallisin tai fysikaalisin keinoin saostamalla ja hapettamalla sulfideja jätevedessä tai poistoilmaa käsittelemällä. (Aatola 2007, 24.) Rikkivetyäpäästöjen kemialliset ehkäisy menetelmät on jaoteltu rikkivedyn muodostumista estäviin ja muodostunutta rikkivetyä hävittäviin keinoihin (Kuva 7).



**KUVA 7. Rikkivedyn kemialliset hallintakeinot viemäriverkoston jätevedessä. (Zhang ym. 2007, 3, muokattu)**

Jäteveden happipitoisuutta kohottamalla estetään sulfaatin pelkistymistä sulfidiksi ja hapetetaan jo muodostunutta sulfidia. Paineviemäriin voidaan injektoida ilmaa tai puhdasta happea aerobisten olosuhteiden aikaansaamiseksi. Yli 0,5 mg/l liuennan hapen pitoisuudet estävät sulfidin esiintymistä jätevedessä. Ilman lisäyksen etu on edullisuus ja ilman haittomuus, mutta ilmasta liukenevan hapen määrä on rajallinen. Puhdasta happea injektoimalla saavutetaan korkeampia liuennan hapen pitoisuuksia. Hapen lisäyksellä on mahdollista saavuttaa 5 - 7 mg/l ja ilman lisäyksellä 3 - 5 mg/l liuennan hapen pitoisuus. Hapen sijaan tai lisäksi voidaan syöttää muita hapettajia

kuten nitraattia, vetyperoksidia, klooria tai kaliumpermanganaattia redox-potentiaalin nostamiseksi. (Zhang ym. 2007, 4-6.)

Sulfaattia pelkistävien bakteerien toimintaa inhibioimalla voidaan estää sulfidin muodostumista. Nostamalla pH-arvoa natriumhydroksidilla riittävästi estetään näiden bakteerien toiminta. Tämä vähentää myös rikkivedyn vapautumista pitäen sulfidin ilmaan vapautumattomassa ionimuodossa. Natriumhydroksidin jatkuva syöttö on kuitenkin kallista ja voi haitata myöhempiä jäteveden käsittelyprosesseja. Usein käytetään shokkikäsittelyä nostamalla kerralla pH arvoon 12,5 - 13 noin puoleksi tunniksi. Näin estetään sulfaattia pelkistävien bakteerien toiminta muutamasta päivästä pariin viikkoon. Muita keinoja sulfaattia pelkistävän bakteeritoiminnan inhibioimiseksi ovat biosidien, formaldehydin, magnesiumperoksidin, kalsiumperoksidin ja molybdaatin syöttö. (Zhang ym. 2007, 5-7.)

Jätevedessä olevaa liuennutta sulfidia voidaan poistaa kemiallisesti metallisuoloilla saostamalla metallisulfideiksi. Yleisimmin käytetään raudan suoloja edullisuuden ja tehokkuuden takia. Raudan ionit reagoivat yleisesti nopeasti sulfidin kanssa jätevedessä. (Zhang ym. 2007, 5.)

Paineviemärien purkukaivoissa vapautuvia rikkivety päästöjä voidaan vähentää tuuletusilmasta kemiallisesti tai fysikaalisesti. Näin ei vaikuteta jäteveden koostumukseen kuten sulfidin muodostumiseen vaikuttavilla keinoilla. Poistoilmaa voidaan puhdistaa mm. aktiivihiilisuodattimilla, termisellä hapetuksella tai lisäämällä ilmaan hapettavia kaasuja kuten otsonia. (Aatola 2007, 27.)

Muita vähemmän tutkittuja mahdollisia keinoja rikkivety päästöjen ehkäisemiseksi ovat viemärijärjestelmään tulevan jäteveden esikäsittely sulfaatin poistamiseksi, mikrobialiset polttokennot sulfidin hapettamiseksi tuottaen samalla sähköenergiaa ja määrättyihin bakteereihin kohdistuvat bakteerifaagit. (Zhang ym. 2007, 9.)

#### **4 MITTAUKSET**

Mikkelin vesilaitoksen viemäriverkostossa rikkivety pitoisuuksia mitattiin kymmenen viikon ajan jatkuvatoimisella rikkivety pitoisuusmittarilla. Mittauksissa käytettiin

Kemiran H<sub>2</sub>S-Guard mittaria, joka mittaa jatkuvatoimisesti ilman rikkivetypitoisuutta ja lämpötilaa. Mittari mittasi arvon ilman rikkivetypitoisuudesta (ppm) ja lämpötilasta minuutin välein ja lähetti datasiinaalin palvelimelle, joka tallensi tulokset luettavaksi online-sovellukseen (Liite 1). Data siirtyi automaattisesti reaaliajassa nettiin tarkkailtavaksi ja tallennettavaksi.

#### **4.1 Mittausmenetelmät**

Porrassalmen alueen viemäriverkoston haarassa tehtiin mittauksia kymmeneltä jätevesipumppaamolta jätevesisäiliön ilmatilassa ja jokaisesta mittauskohteesta kerättiin dataa viikon ajan, jonka jälkeen mittari siirrettiin seuraavalle pumppaamolle. Mittari kiinnitettiin pumppaamoiden rakenteisiin ketjusta roikkumaan hieman purkuvesiputken yläpuolelle ja jätettiin mittaamaan häiriöttä pumppaamosäiliön kansi lukittuna viikon ajaksi (Kuva 8). Mittaukset selvitystä varten aloitettiin viikolla 38 ja jatkettiin viikolle 48 asti. Kunkin pumppaamon jäteveden pumppausmääristä oli käytettävissä tuntikohtaiset laskennalliset tulokset pumppaamoja 2 lukuunottamatta, joista voitiin nähdä pumppaamoiden kautta virtaavan jätevesimäärän suuruusluokka ja vuorokauden sisäiset vaihtelut. Nämä pumppausmäärät olivat vain suuntaa antavia eivätkä kuvaa luotettavasti tunnin aikana pumpattua tilavuutta. Laskennallinen pumppausmäärä laskettiin pumppujen käyntikerroista tunnin aikana sekä kerralla pumpattavasta määrästä. Kerralla pumpun pumppaama jätevesimäärä on pumppauksen käynnistykseen määritetyn jäteveden pinnan tason ja pumppauksen sammuttavan pinnan tason välinen tilavuus. Tämä laskentamalli ei ota huomioon pumppauksen aikana tulevaa jäteveden lisäystä. Käytössä ei ollut mitään muuta mittausaineistoa esimerkiksi jäteveden koostumuksesta ja ominaisuuksista.



**KUVA 8. H<sub>2</sub>S-Guard rikkivetymittari Laajatien pumppaamolla. (Bergman 2012)**

Kymmenen viikon aikana tehdyistä mittauksista kerätystä datasta saatiin jokaiselle pumppamolalle viikon aikana minuutin välein tapahtunut vaihtelu rikkivetypitoisuudessa sekä lämpötilassa. Kultakin pumppaamolta kerättyjen mittaustulosten määrä vaihteli välillä 9631 – 10080. Mittarin keräämä data taulukoitiin ja saadusta aineistosta muodostettiin kuvaajat. Kuvaajiin lisättiin myös laskennalliset pumppausmäärät antamaan suuntaa rikkivedyn pitoisuuden riippuvuudesta jäteveden virtausmäärään.

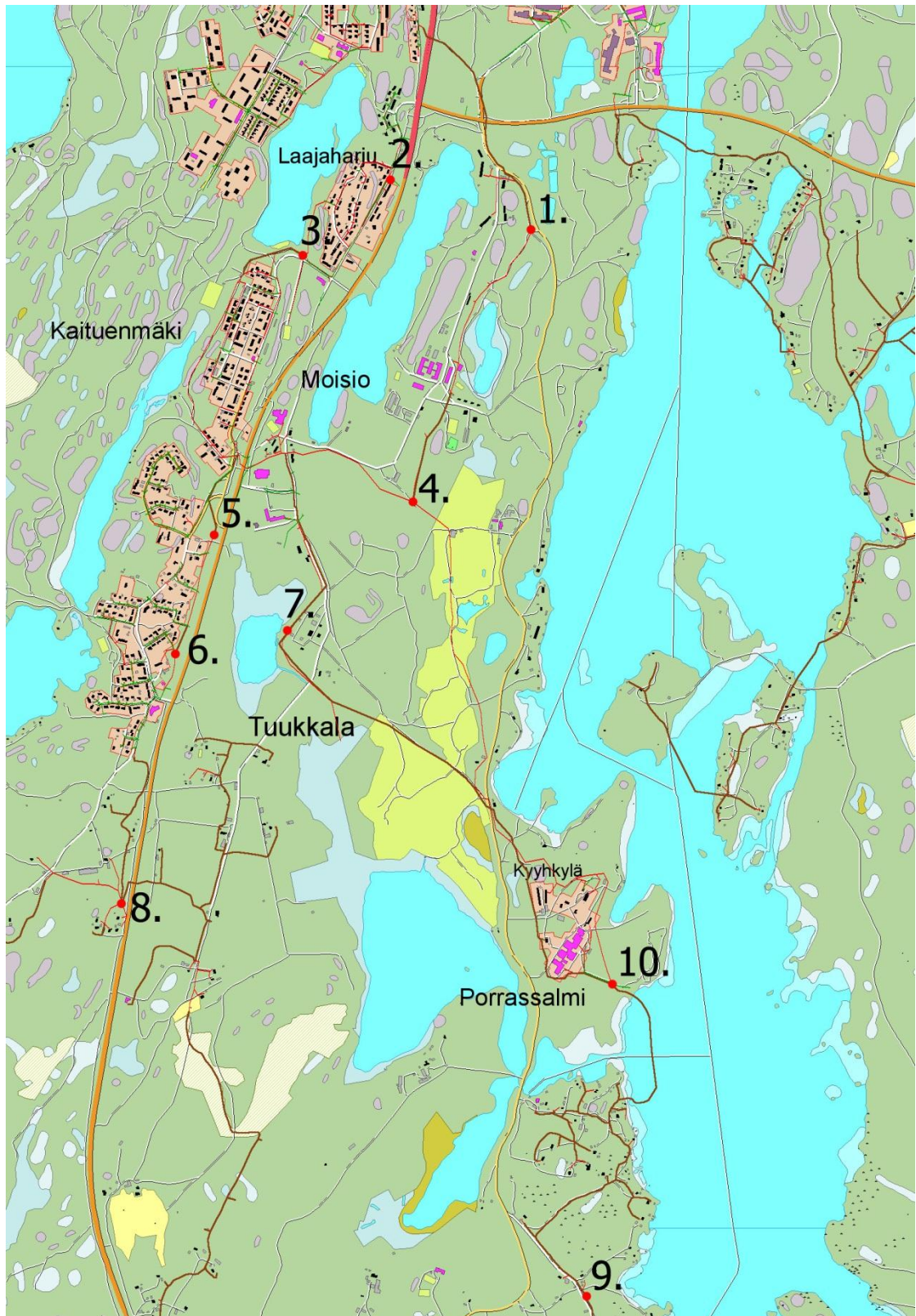
#### **4.2 Mittauskohteet**

Mittaukset suoritettiin Mikkelin Vesilaitoksen viemäriverkostossa Porrassalmentieltä lähtevässä haarassa. Haaran jokaisella kymmenellä pumppaamolla kerättiin mittausdataa viikon ajan. Alueen karttaan on merkitty pumppaamoiden sijainnit sekä

viettoviemärit punaisella ja paineviemäriolosuudet ruskealla viivalla (Kuva 9). Selvityksen kymmenestä pumppaamosta 6 oli turva- ja 4 säiliöpumppaamo (Taulukko 3). Porrassalmentien pumppaamo on tämän selvityksen viemäriverkostohaaran kokoomapiste, jonka kautta kulkevat kaikki selvityksen alaiset jätevedet. Vertaamalla pumppaamokohtaisia mittaustuloksia voidaan havaita rikkivedyn vapautumisessa tapahtuvia muutoksia koko selvityksen alaisen viemäriverkostohaaran alueella.

**TAULUKKO 3. Selvityksen alaiset pumppaamot, niiden sijainti, tyyppi ja mittausaika.**

Numerointi	Sijainti	Tyyppi	Mittausaika	Lisätietoja
Pumppaamo 1	Porrassalmentie	Turvapumppaamo	17.9.-23.9.	Aktiivihiihliuodatus poistoilmalle paineosuuden päässä
Pumppaamo 2	Tuukkalantie	Säiliöpumppaamo	24.9.-1.10.	Tulo- ja ohituskaivo ennen pumppaamo
Pumppaamo 3	Laajatie	Säiliöpumppaamo	1.10.-8.10.	
Pumppaamo 4	Moisionpelto	Turvapumppaamo	8.10.-15.10	Tulokaivo ennen pumppaamo
Pumppaamo 5	Haahkalantie	Säiliöpumppaamo	16.10.-23.10.	
Pumppaamo 6	Silvasti	Säiliöpumppaamo	23.10.-30.10	
Pumppaamo 7	Kapalampi	Turvapumppaamo	30.10.-6.11	Aktiivihiihliuodatus poistoilmalle
Pumppaamo 8	Vatila	Turvapumppaamo	6.11.-13.11.	
Pumppaamo 9	Siikasalmi	Turvapumppaamo	13.11.-20.11.	
Pumppaamo 10	Kyyhkylä	Turvapumppaamo	20.11.-27.11.	



**KUVA 9. Kartta selvityksen viemärihaarasta ja pumppaamoiden sijainnista. (Mikkelin vesilaitos 2012, muokattu)**

Mittuaskohteina olleisiin pumppaamoihin johdettu jätevesi tulee lähialueen haja-asutusalueelta. Jäteveden lähteissä ei ole mukana mitään erityishuomiota vaativia



kohteita kuten teollisuutta tai puutarhataloutta. Yhden pumppaamon alueella Kyyhkylässä sijaitsevat sairaala ja hotelli, jotka voivat aiheuttaa paikallisia suuria jätevesimääriä. Kaksi pumppaamo toimii myös vesiosuuskunnista tulevien paineviemäriosoituksen purkupisteinä. Vatilan ja Siikasalmen pumppamot yhdistävät molemmat yhden vesiosuuskunnan viemäroinnin yleiseen viemäriverkostoon. Vesiosuuskunnan alueella on myös kiinteistökohtaisia pumppaamoita, joilla jätevesi voi seistä pitkään edistään rikkivedyn muodostumista.

Kapalammen pumppaamolla on poistoilman aktiivihiilisuodatin-järjestelmä aiemmin havaittujen rikkivetyyn yhdistettyjen hajuhaittojen takia. Muilla pumppaamoilla oli vain painovoimainen ilmanvaihto korvausilmaputken kautta. Myös Porrassalmentien pumppaamolta lähtevän paineviemäriin purkupäässä on aktiivihiilisuodatinjärjestelmä havaittujen hajuhaittojen takia. Aktiivihiilisuodatinjärjestelmät eivät vähennä viemärien ilmatilan rikkivetypitoisuuksia vaan suodattavat vain poistoilmaa hajuhaittojen vähentämiseksi. Samalla voi kuitenkin tapahtua pientä pitoisuuksien laimenemista koneellisen järjestelmän tehostaessa ilmanvaihtoa.

Tuukkalantien pumppaamo ennen on tulo- ja ohituskaivo, johon jätevesi laskee ennen pumppaamolle saapumista. Moisionpellon pumppaamo ennen on tulokaivo, johon kahdelta suunnalta tulevat jätevedet laskevat ennen pumppaamolle tuleamista. Nämä tulo- ja ohituskaivot voivat vähentää mittauksissa havaittavaa rikkivetypitoisuutta ilmassa, koska mahdollinen rikkivety pääsee purkautumaan jäteveden ilmastuessa jo ennen pumppaamolle saapumista. Myös viettoviemäriosoitukset ennen pumppaamo aiheuttavat jäteveden ilmastumista ja rikkivedyn hapettumista vähentäen pumppaamolla havaittavia rikkivetypitoisuuksia. Pumppaamoille 7-10 purkautuu jätevesiä suoraan paineviemäriosoituksilta listäten rikkivedyn esiintymisen todennäköisyyttä. Muille pumppaamoille purkavat jätevedet kulkevat viettoviemäriosoituksen kautta ennen pumppaamo.

Selvityksen pumppamot ovat turvapumppaamoita ja säiliöpumppaamoita. Säiliöpumppamot koostuvat uppopumput sekä jätevesitilan sisältävästä säiliöstä ja kannen päällä olevasta sähkökeskuksesta (Kuva 10), kun taas turvapumppamoissa on jätevesisäiliö ja erillinen tila pumppu- ja ohjaustekniikalle (Kuva 11). Turvapumppaamoilla pumppujen huollon ja ohjaustoimet voi suorittaa turvallisesti jätevesisäiliöön puuttumatta. Kaikissa pumppamoissa on kaksi pumppua kuormituksen

jakamiseksi, joista toinen käynnistyy vesisäiliön vesipinnan yltäessä määrätyle käynnistystasolle ja pysähtyy veden tason laskiessa pumppauksen johdosta pysäytystasolle. Pumppaamoiden säiliöissä on kohteesta riippuen jonkin verran ylimääräistä tilaa pumppauksen vikatilanteiden varalle. Säiliön täytyessä jätevesi purkautuu ylijouksuna ympäristöön estäen takaisinpurkautumisen kotitalouksissa. Pumppamoiden säiliöissä käytetyt materiaalit ovat kestäviä muoveja, joille ei aiheudu korroosion riskiä rikkivedyn hapettuessa rikkihapoksi.



**KUVA 10. Laajatien säiliöpumppaamo (Hiltunen 2012).**



**KUVA 11. Porrassalmentien turvapumppaamo (Hiltunen 2012).**

Joissakin pumppaamoissa oli havaittavissa epäluonnollisen voimakkaan korroosion merkkejä esimerkiksi kannen munalukoissa (Kuva 12). Tämä viittaa rikkivedyn läsnäoloon ilmatilassa ja siitä muodostuvan rikkihapon metalleja korrodoivaan vaikutukseen.



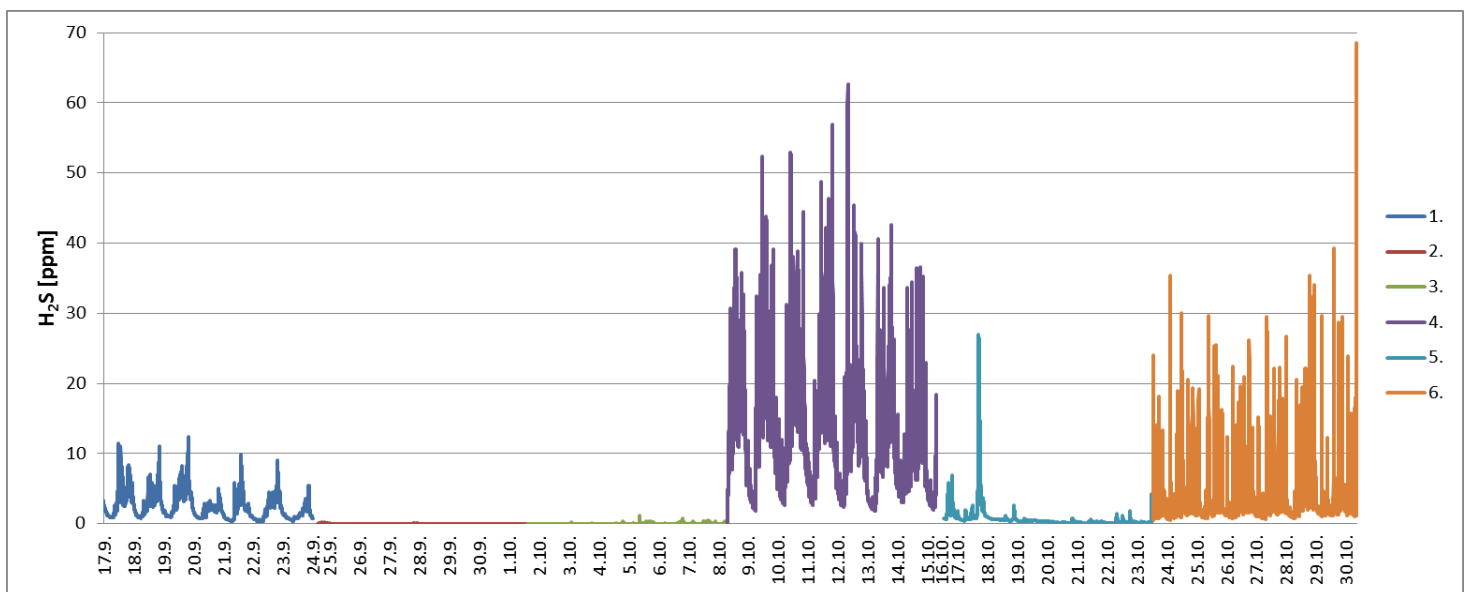
**KUVA 12. Korroosiota Moisionpellon pumppaamon munalukossa (Hiltunen 2012).**

## 5 TULOKSET JA TULOSTEN ANALYSOINTI

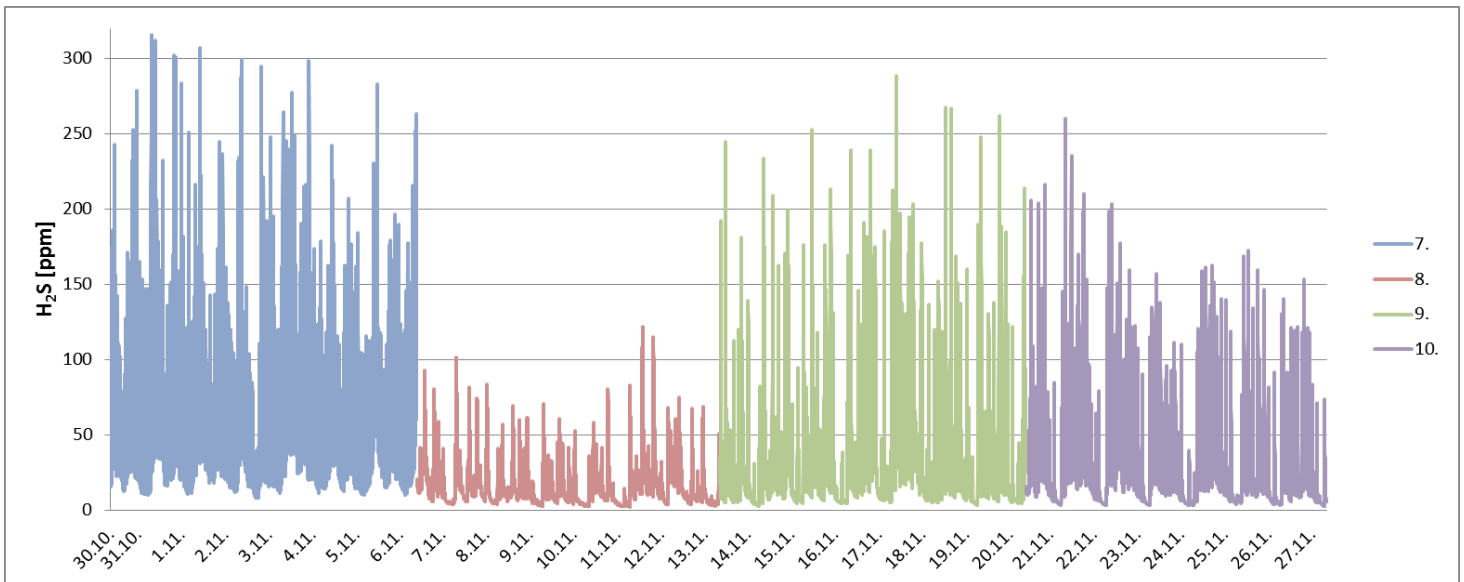
**TAULUKKO 4. Mittausjaksojen minimi-, maksimi- ja keskiarvot rikkivetypitoisuudelle pumppaamoilla 1-10.**

Pumppaamo	Sijainti	Min H <sub>2</sub> S [ppm]	Max H <sub>2</sub> S [ppm]	Keskiarvo H <sub>2</sub> S [ppm]
1	Porrassalmentie	0,3	12	2,5
2	Tuukkalantie	0,0	0,2	0,01
3	Laajatie	0,0	1,1	0,02
4	Moisionpelto	0,0	63	14
5	Haahkalantie	0,0	27	0,7
6	Silvasti	0,5	69	3,7
7	Kapalampi	8,3	316	57
8	Vatila	2,5	122	17
9	Siikasalmi	3,0	289	32
10	Kyyhkylä	3,2	260	27

Rikkivetyypitoisuuksien keskiarvot olivat selvästi korkeimmat pumppaamoilla 7, 9 ja 10 (Taulukko 4). Pumppaamoilla 2, 3 ja 5 (Tuukkalantie, Laajatie ja Haahkalantie) rikkivetyypitoisuudet pysyivät lähellä nollaa lähes koko mittausviikon ajan (Kuva 13). Pumppaamoiden 2 ja 3 rikkivetyypitoisuudet eivät nousseet kertaakaan yli 2 ppm (Liite 3). Näille kahdelle pumppaamolle jätevedet tulevat pieneltä välimatkalta omakotitaloalueen painovoimaisista kokoomaviemäreistä, joten pumppausmäärät ovat hyvin pieniä eikä anaerobisia olosuhteita ole ehtinyt olemaan pitkiä aikoja siirron aikana. Pumppaamoiden 7, 8, 9 ja 10 (Kapalampi, Vatila, Siikasalmi ja Kyyhkylä) rikkivetyypitoisuuden huiput erottuivat tuloksissa eniten kohonneina nousten pumppaamoilla 7, 9 ja 10 enimmillään noin 300 ppm asti ja pumppaamolla 8 noin 120 ppm asti (Kuva 14). Näitä pumppaamoita ennen on paineviemäriosoudet, joissa jäteveden seisoessa pääsee muodostumaan runsaasti sulfidia. Suuri määrä syntynyttä sulfidia vapautui rikkivetyinä mittauspisteissä paineviemärin purkaessa pumppaamolle. Pumppaamoiden 8 ja 9 viemäriverkostoon liittämien osuuskuntien omat viemäröintijärjestelmät ja kiinteistöpumppaamot saattavat aiheuttaa lisääntyntä rikkivedyn muodostumista ja mittauspisteissä vapautumista.



**KUVA 13. Rikkivetyypitoisuudet pumppaamoilla 1-6 mittausjakson aikajärjestyksessä.**



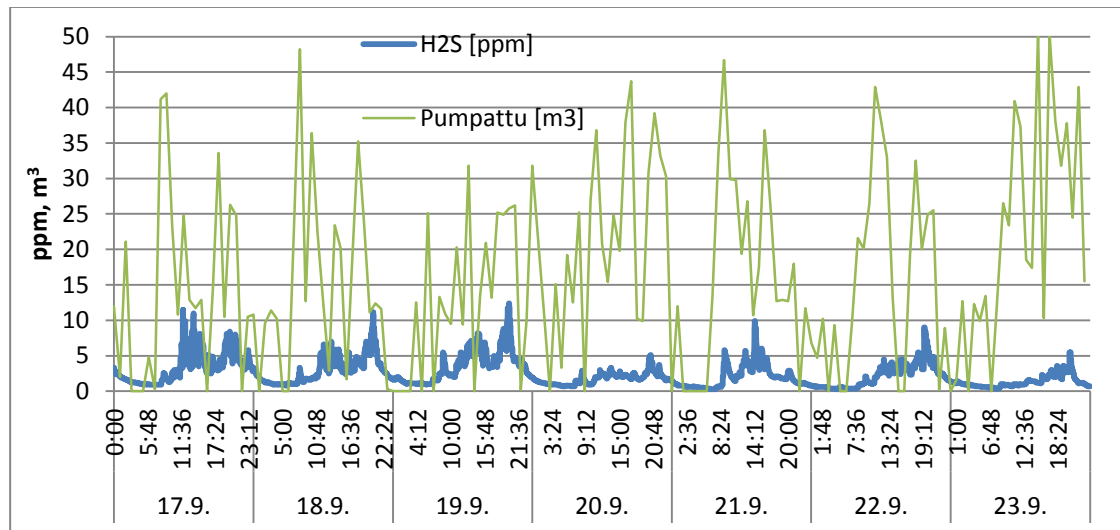
**KUVA 14. Rikkivetypitoisuudet pumppaamoilla 7-10 mittausjakson aikajärjestyksessä.**

Yön aikana pumppaamoiden rikkivetypitoisuudet laskivat minimipitoisuuksiin joitakin piikkejä lukuunottamatta ja useilla pumppaamoilla lähelle nolaa päivän maksimipitoisuuksista riippumatta (Kuvat 15-22). Aamun aikana rikkivetypitoisuudet nousivat taas päivän korkeammalle tasolle. Myös keskipäivän jälkeen on nähtävissä lasku pitoisuustasossa (Kuvat 15, 16, 19, 20 ja 21), joka johtuu oletettavasti päivän aikana tapahtuvista viemärin kuormituksen ja jäteveden virtausmäärän muutoksista. Laskennallisen pumpatun jätevesitilavuuden arvo ei korreloi selvästi rikkivetypitoisuuden kanssa pienillä aikaväleillä (Kuvat 15-18). Selvä yhteys pumpatun määrän ja rikkivetypitoisuuden välillä kuitenkin on jäteveden virratessa eniten päivällä ja virtauksen vähetessä yöksi. Öiden aikana liikkuvan jäteveden määrä vähentyi huomattavasti, jolloin myös jäteveden mukanaan tuoma rikkivety vähentyi. Pumppaamoiden jätevesisäiliön rikkivedyn vapautumista edistävä turbulenssi vähenee myös virtaaman vähetessä. Yön aikana virtaaman ollessa vähäistä viettoviemäreissä niihin ei pääse myöskään muodostumaan rikkivedyn muodostumista edistäviä anaerobisia olosuhteita. Pumppaamolta 2 (Tuukkalantie) ei ollut saatavilla laskennallisia pumppaustietoja.

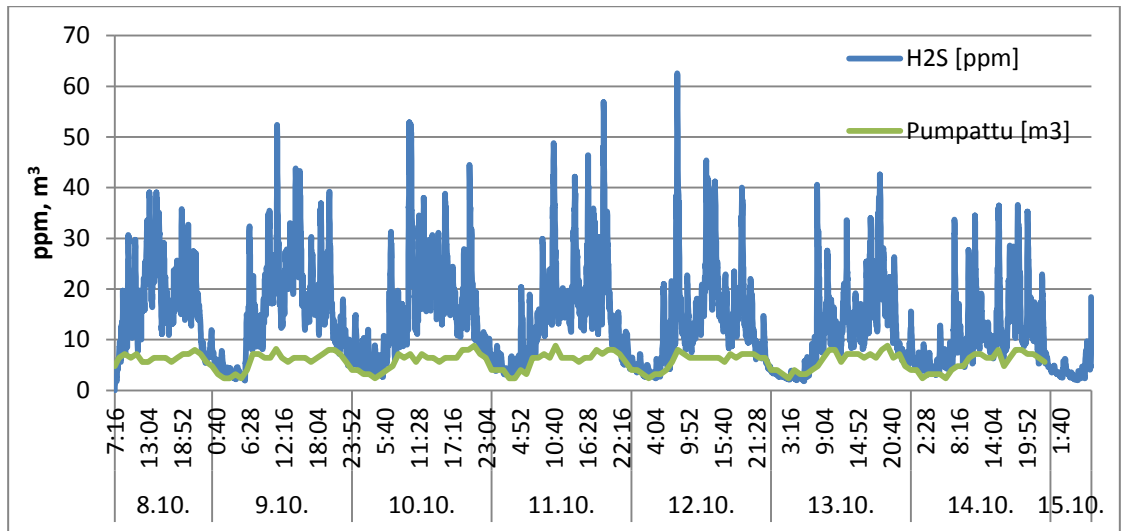
Pumppaamolla 1 rikkivetypitoisuudet pysyivät alle 15 ppm, koko mittausviikon ajan (Kuva 15). Tällä pumppaamolla oli selvityksen suurimmat virtausmäärät sen ollessa kokoomapiste selvityksen viemäriverkostohaaran kaikille jätevesille. Pumppaamo

ennen on pitkä viettoviemäriosoitus, minkä aikana jätevesi ehtii hapettumaan vähentäen sen sulfidipitoisuutta ja suurin osa rikkivedystä vapautuu jätevedestä jo viettoviemäriosoituksen alussa ennen pumppaamoa.

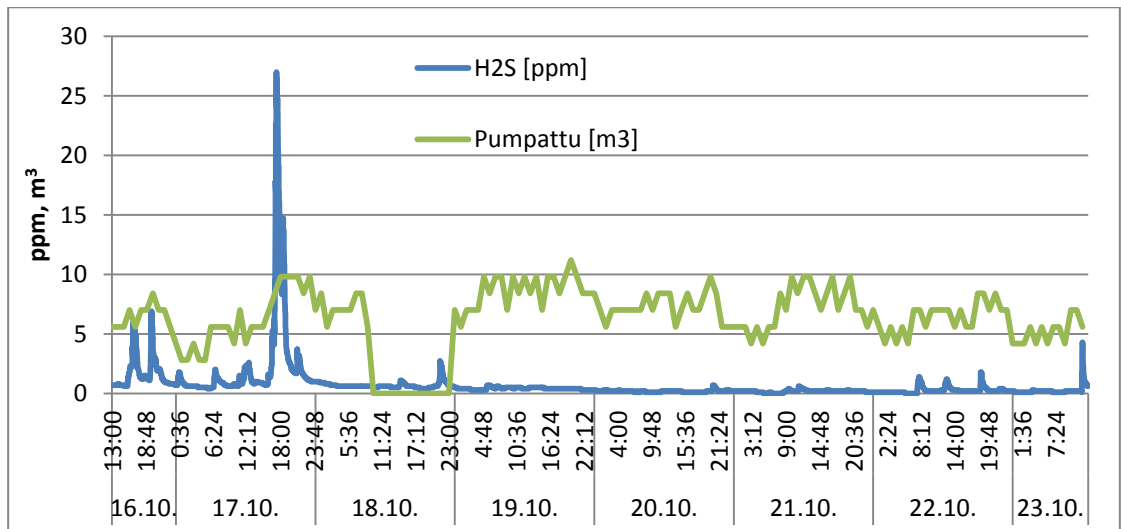
Pumppaamon viisi rikkivetypitoisuudessa on huomattava piikki 17.10. kello 17 jälkeen (Kuva 17). Tämä voi johtua yllättävästä tilanteesta pumppaamolla kuten pumpun toimimattomuudesta tai huoltotöistä. Jätevesi on ehkä päässyt seisomaan säiliössä ja sulfidia on alkanut muodostumaan jäteveden liuenneen hapen kuluttua loppuun. Laskennalliset pumppausmäärät laskevat 18.10. päivän lopussa nolliin. Tällöin pumppauksen ohjauksen tietojärjestelmäohjelmia vaihdettiin ja näennäinen pumppauksen seisahtuminen tuloksissa on luultavasti vain pumppauskertojen tiedonsiirrossa tapahtunut virhe.



**KUVA 15. Mitattu rikkivetypitoisuus ja laskennallinen pumpattu jätevesimäärä pumppaamolla 1 (Porrassalmentie).**

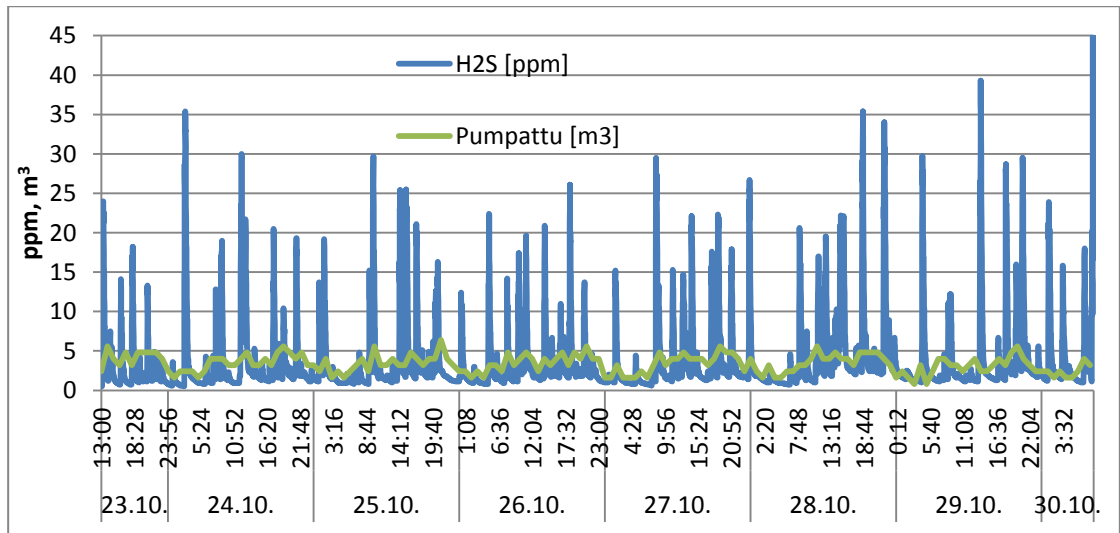


**KUVA 16. Mitattu rikkivetypitoisuus ja laskennallinen pumpattu jätevesimäärä pumppaamolla 4 (Moisionpelto).**

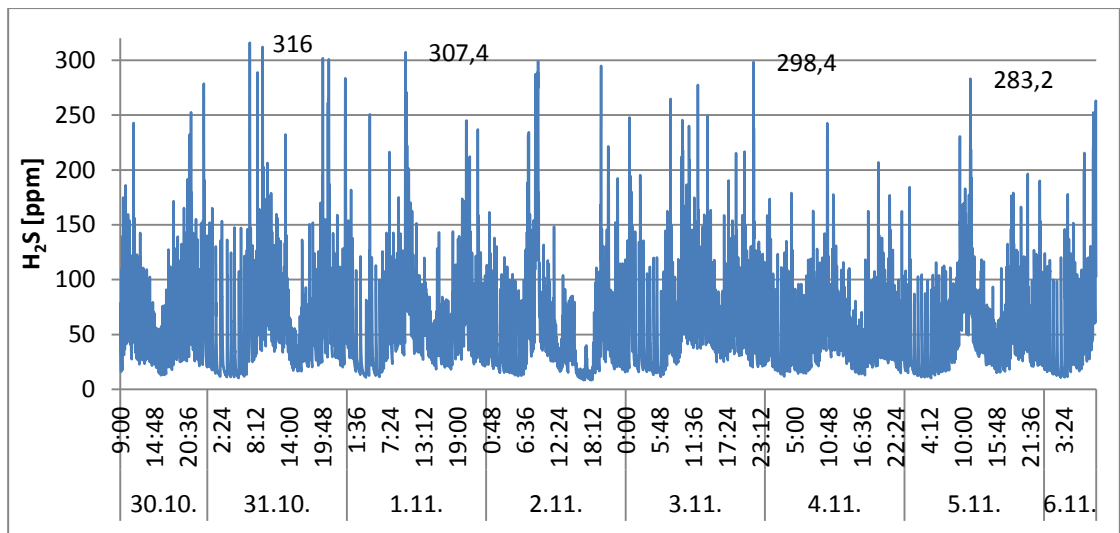


**KUVA 17. Mitattu rikkivetypitoisuus ja laskennallinen pumpattu jätevesimäärä pumppaamolla 5 (Haahkalantie).**

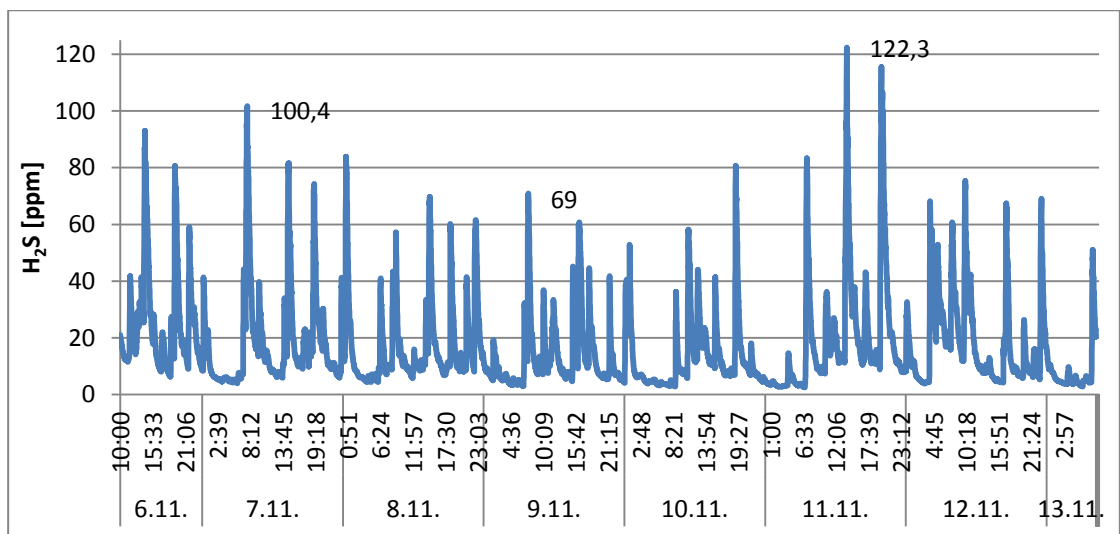




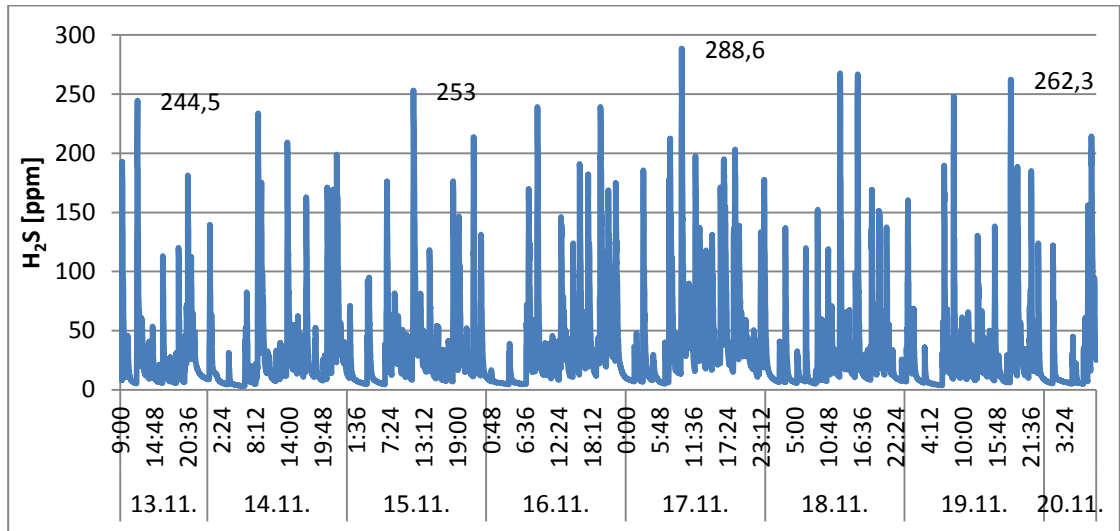
**KUVA 18. Mitattu rikkivetytitoisuus ja laskennallinen pumpattu jätevesimäärä pumppaamolla 6 (Silvasti).**



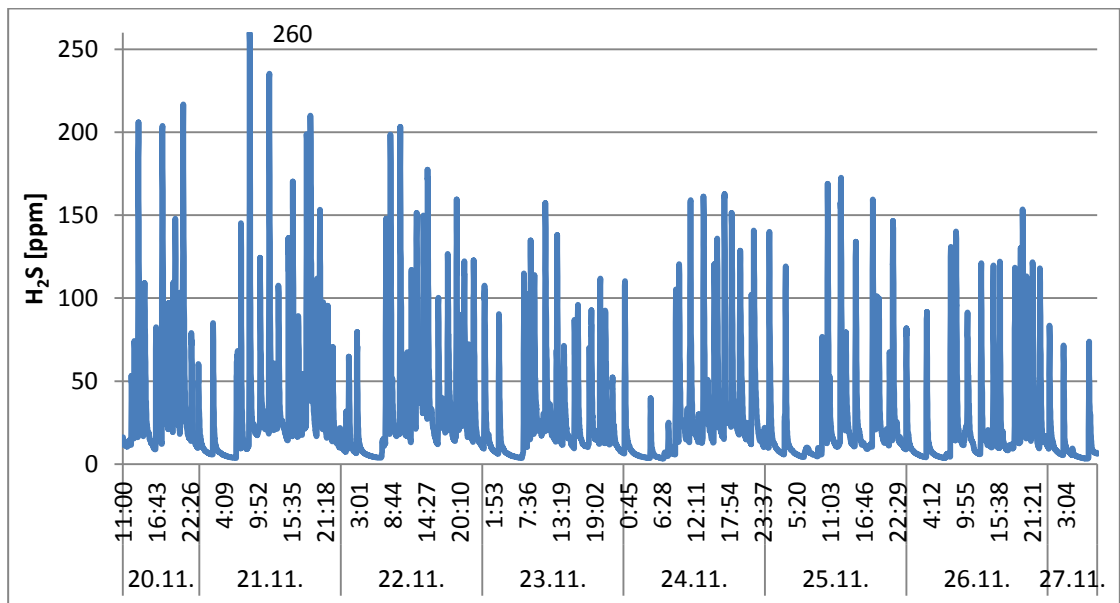
**KUVA 19. Mitattu rikkivetytitoisuus pumppaamolla 7 (Kapalampi).**



**KUVA 20. Mitattu rikkivetytitoisuus pumppaamolla 8 (Vatila).**



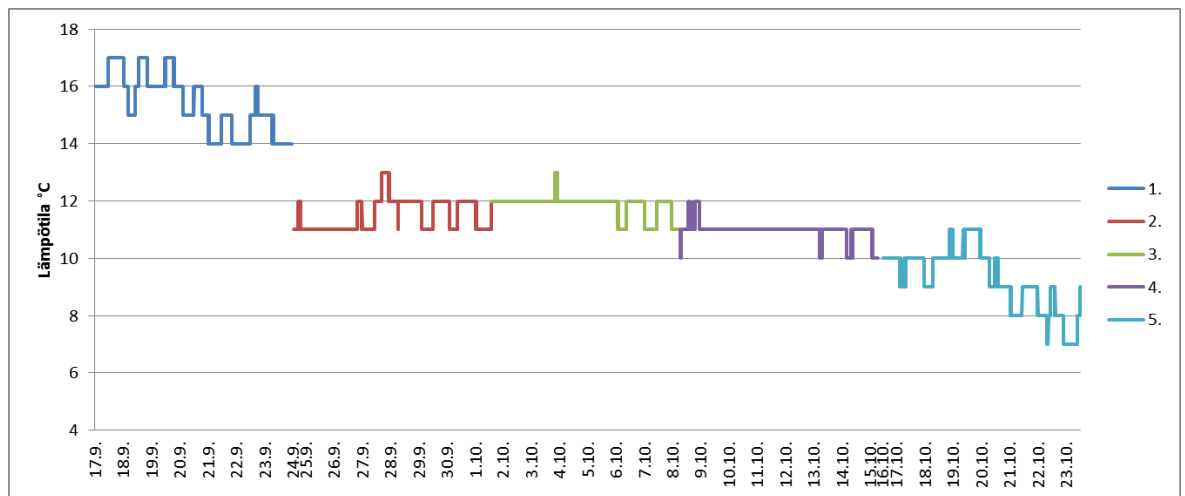
**KUVA 21. Mitattu rikkivetytitoisuus pumppaamolla 9 (Siikasalmi).**



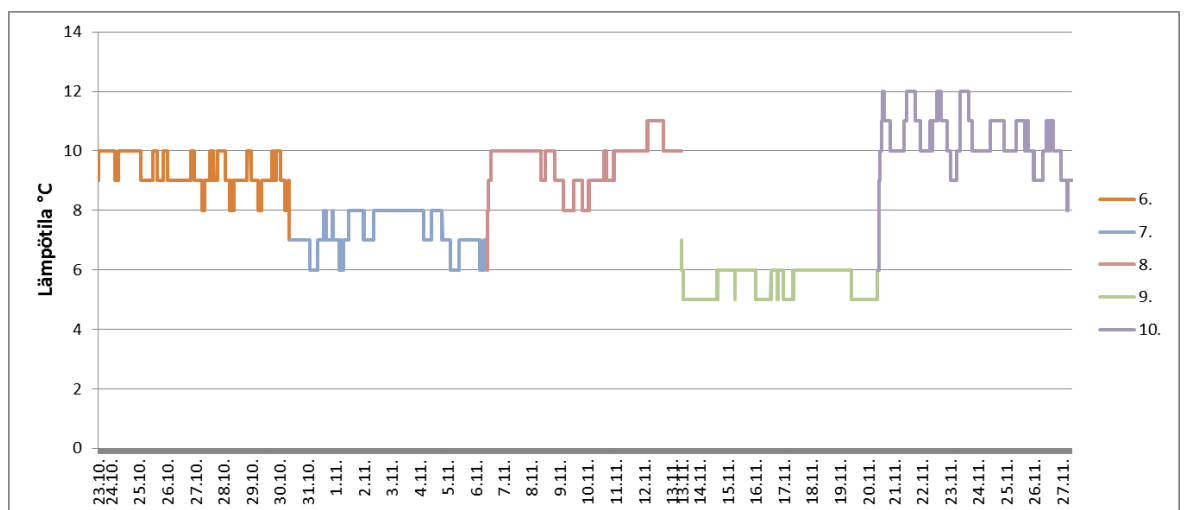
**KUVA 22. Mitattu rikkivetytitoisuus pumppaamolla 10 (Kyyhkylä).**

Mittausjakson aikana kullakin pumppaamolla mitatun viikon aikana lämpötilat pysyivät neljän asteen vaihtelun sisällä. Pumppaamoiden lämpötilakeskiarvojen välillä oli vaihtelua ajankohdan lähestyessä talvea. Pääsääntöisesti lämpötilat laskivat siirryttäessä seuraavaan mittausviikkoon ja pumppaamoon. Lämpötilat pysyivät kaikilla pumppaamoilla mittausajanjakson aikana yli neljässä asteessa (Kuvat 23 ja 24). Ensimmäiseksi mitatulla Porraslmentien pumppaamolla syyskuun lopussa lämpötilat olivat vielä 14-17°C, kun taas toiseksi viimeiselle pumppaamolle marraskuun puoliväliin päästäessä lämpötilat olivat laskeneet 4-6°C. Viimeisellä pumppaamolla lämpötilat olivat taas hieman korkeammat. Jäteveden lämpötilan voi

olettaa pysyneen koko mittausjakson ajan yhtä korkeana tai korkeampana kuin ilmatilan lämpötilan. Ilmatilan alhaisemmalla lämpötilalla on vaikutusta rikkivedyn ilmaan vapautumista vähentävästi (Al-Shammiri 2002, 5), mutta tämän selvityksen kannalta lämpötilaeroilla ei ole ollut oletettavasti suurta merkitystä. Rikkivetytitoisuudet pumppaamalla 6 mittausjakson kylmimmissä olosuhteissa olivat niin isot, että lämpötilalla ei ole ollut merkittävää vaikutusta rikkivetytitoisuuksien suuruusluokan kannalta. Myöskään lämpötilamittaustuloksista todettu vähäinen pumppaamokohtainen lämpötilan vaihtelu ei aiheuttanut rikkivetytitoisuuksien suuruusluokkaan havaittavia muutoksia.



**KUVA 23. Mittaustulokset lämpötilasta pumppaamoiden 1-5 jätevesisäiliöiden ilmatilassa.**



**KUVA 24. Mittaustulokset lämpötilasta pumppaamoiden 6-10 jätevesisäiliöiden ilmatilassa.**

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Osassa pumppaamoista rikkivetypitoisuudet olivat merkittävän korkeat aiheuttaen vakavia terveydellisiä riskejä pumppaamoilla työskenneltäessä. Erityisesti Kapalammen, Vatilan, Siikasalmen ja Kyyhkylän pumppaamoilla rikkivetypitoisuudet ilmatilassa olivat huolestuttavalla tasolla. Näille neljälle pumppaamolle purkautui jätevesiä paineviemäriosoituksilta, joissa rikkivety pääasiallisesti muodostuu. Näillä pumppaamoilla mitatut yli 150 ppm pitoisuudet aiheuttavat hajuaistin lamaantumista, päänsärkyä, huimausta, pahoinvointia, heikkoutta ja sekavuutta sekä 300 ppm asti noustessa keuhkopöhön riskiä. Työhygieninen haitalliseksi tunnettu pitoisuus 15 minuutille, 10 ppm (Taulukko 3), ylittyy päivittäin jokaisella selvityksen pumppaamolla Porrassalmentietä, Tuukkalantietä, Laajatietä ja Haahkalantietä lukuunottamatta. Korkeista rikkivetypitoisuuksista johtuen pumppaamoilla työskenneltäessä pitää noudattaa varovaisuutta. Pumppaamolla ei saa oleskella pidempää aikaa ja yksin käyntiä pumppaamolla tulee välttää. Turvapumppaamot parantavat turvallisuutta huoltotilan ollessa erillään rikkivedyn sisältävästä jätevesisäiliöstä. Korkeimmat mitatut pitoisuudet aiheuttavat myös merkittävää korroosion riskiä rikkihapolle herkille rakenteille. Korkeista rikkivetypitoisuuksista johtuen rikkivedyn hapettuminen rikkihapoksi ja laajat korroosioauriot ovat todennäköisiä selvityksen viemäriverkoston alueella. Pumppaamoille ei ole korroosiosta juurikaan haittaa näissä käytettyjen materiaalien kestävyyspuolesta, mutta verkoston betoniviemäriosoituksille ja metallisille rakenteille on suuri korroosion riski. Putkivuotojen ja ympäristövahinkojen riski kasvaa vanhojen betoniviemäriputkien osuuksilla.

Pumppaamokohtaiset rikkivetypitoisuusmaksimit vaihtelivat toisiinsa verrattuina huomattavasti. Joillakin pumppaamoilla rikkivetypitoisuudet pysyivät koko viikon ajan suunnilleen nollassa, kun taas joillakin pumppaamoilla pitoisuudet nousivat jopa 300 ppm saakka. Tämä selittyy pumppaamoja edeltävillä viemäriosoituksilla. Jos pumppaamolle tuli jätevesiä vain viettoviemäriosoituksien kautta, jäteveden sisältämä rikkivety oli ehtinyt suurimmaksi osaksi vapautua ilmaan, hapettua ja sitoutua rakenteisiin jo ennen pumppaamoja. Rikkivetypitoisuudet erottuvat tuloksissa selvästi hetkellisinä piikkeinä sen sijaan, että olisivat jatkuvasti kohonneina pitoisuuksina. Tämä johtuu vapautuneen rikkivedyn nopeasta adsorptiosta rakenteisiin ja hapettumisesta ilmatilassa, mikä vähentää ilmassa mitattavia pitoisuuksia.

Selvityksessä saadut tulokset vastaavat rikkivetypitoisuuksien vuorokauden aikana tapahtuvien muutosten osalta Aatolan (2007) tuloksia. Aatolan mittaustuloksissa suurimmat rikkivetypitoisuudet lähenivät 100 ppm tasoa, mikä ylittyi tämän selvityksen mittauksissa neljällä pumppaamalla (Kapalampi, Vatila, Siikasalmi ja Kyyhkylä).

Tämän työn mittaukset koskivat vain pientä osaa Mikkelin viemäriverkostosta ja pumppaamokohtaiset mittausajanjaksot olivat suppeita. Rikkivetypitoisuuksiin vaikuttavia tekijöitä ei pysty tällä selvityksellä analysoimaan niihin merkittävästi vaikuttavien jäteveden ominaisuuksien mittaustulosten ja anaerobisen viipymän puuttuessa. Suurimmassa osassa pumppaamoista tulovesi tuli viettoviemäriä pitkin, joten viipymää hapettomissa olosuhteissa ei ollut mahdollista laskea johdonmukaisesti. Useilla pumppaamoilla ilman rikkivetypitoisuudet olivat niin korkeita, että jäteveden sisältämän liuennon sulfidin pitoisuuden voi olettaa laskeneen voimakkaasti haihtumisen takia pumppaamon kaivon kohdalla ennen jäteveden lähtemistä pumppamolta seuraavalle paineviemäriolosuudelle. Tämä ei kuitenkaan estä jatkossa sulfidin muodostumista sulfaatista hapettomissa olosuhteissa seuraavan paineviemäriolosuuden aikana. Paineviemäriolosuudet ovat kriittinen osio viemäriverkostossa rikkivedyn muodostumisen kannalta, joten paineviemäriolosuuksien jälkeisten purkukaivojen rikkivetypitoisuuksia olisi hyvä myös selvittää. Betonisten viemäriputkien korroosioriskin arvioimiseksi olisi tarpeellista mitata rikkivetypitoisuuksia paineviemärien purkukohdissa. Näissä pisteissä vapautuu suurimmat määrät rikkivetyä ilmaan jäteveden tullessa hapettomista olosuhteista. Tämän opinnäytetyön tulosten perusteella toimenpiteet rikkivedyn vähentämiseksi ja rikkivetypitoisuuksien jatkuva tarkkailu Mikkelin vesilaitoksen viemäriverkostossa ovat suositeltavia. Mahdollisten jatkoselvitysten perusteella tulee arvioida tarve rikkivedystä aiheutuvien ongelmien ratkaisumenetelmille.

## LÄHTEET

Aatola, Laura 2007. Viemärihajujen synty ja hallintamenetelmät. Tampereen teknillinen yliopisto.

Al-Shammiri, M 2002. Hydrogen sulfide emission from the ardiyah sewage treatment plant in kuwait. Elsevier.

Ammattitautiasetus 29.12.1988/1347. WWW-dokumentti. <http://www.finlex.fi>. Ei päivitystietoja. Luettu 15.11.2012. Oikeusministeriö.

Anttila, Elina 2007. Paineviemärissä muodostuvan rikkivedyn vähentäminen kemikaloimalla. Helsingin Vesi.

Bergman, Anne 2012. Kuvamateriaalia. Syksy 2012. Mikkelin vesilaitos.

Böhm, Michael, Devinny, Joseph, Jahani, Fereidoun, Rosen, Gary 1998. On a moving-boundary system modeling corrosion in sewer pipes. Elsevier.

Gutierrez-Padilla, Guadalupe, Bielefeldt, Angela, Ovtchinnikov, Serguei, Hernandez, Mark, Silverstein, Joann 2010. Biogenic sulfuric acid attack on different types of commercially produced concrete sewer pipes. Cement and Concrete Research 40, 293-301. Elsevier.

Hiltunen, Tatu 2012. Kuvamateriaalia. Syksy 2012. Ympäristötekniikan (amk) opiskelija. Mikkelin ammattikorkeakoulu.

Jensen, Henriette Stokbro 2009. Hydrogen sulfide induced concrete corrosion of sewer networks. Aalborg University.

Länsi-Savo 2012. WWW-dokumentti. <http://www.lansi-savo.fi/Uutiset/12027893.html>. Luettu 15.10.2012. Päivitetty 14.2.2012.

Mikkelin vesilaitos 2010. WWW-dokumentti. [http://www.vvy.fi/files/860/02\\_Turkki\\_Reijo.pdf](http://www.vvy.fi/files/860/02_Turkki_Reijo.pdf). Luettu 15.10.2012. Päivitetty 25.3.2010.

Mikkelin vesilaitos 2012. Karttatieto-ohjelma. Sisältää Maanmittauslaitoksen Maastotietokannan 5/2012 aineistoa.

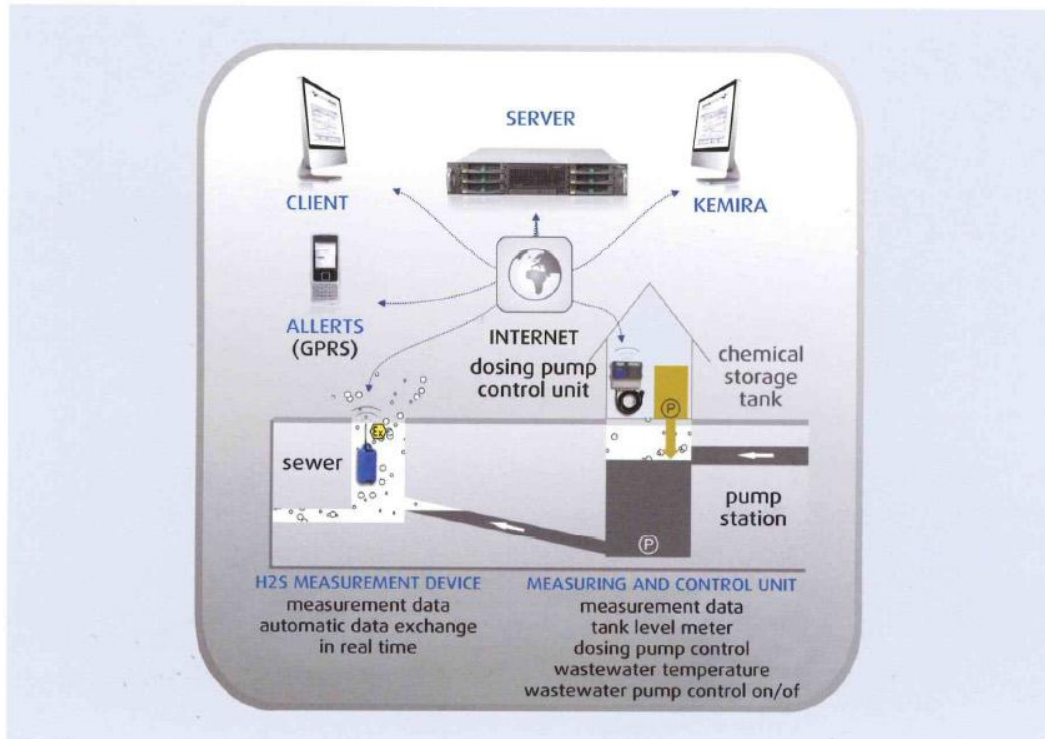
Nielsen, Asbjørn Haaning, Vollertsen, Jes, Jensen, Henriette Stokbro, Madsen, Heidi Ina, Hvitved-Jacobsen, Thorkild 2006. Aerobic and anaerobic transformations of sulfide in a sewer system – field study and model simulations. WEFTEC 06, 3654-3670. Water Environment Foundation.

Työterveyslaitos 2011. Rikkivedyn kemikaalikortti. Verkkodokumentti. <http://kappa.ttl.fi/kemikaalikortit/>. International Chemical Safety Cards.

Työterveyslaitos 2012. Rikkivedyn OVA-ohje. <http://www.ttl.fi/ova/trikkvet.html>. Luettu 21.10.2012. Päivitetty 28.2.2003.

Zhang, Lehua, De Schryver, Peter, De Gusseme, Bart, De Muynck, Willem, Boon, Nico, Verstraete, Willy 2007. Chemical and biological technologies for hydrogen sulfide emission control in sewer systems: A review. Elsevier.

## H<sub>2</sub>S-Guard automates hydrogen sulfide control



Kemira H<sub>2</sub>S-Guard is a complete system package that allows you to efficiently fight the harmful effects of hydrogen sulfide buildup.

It includes all the components needed:

- equipment
- chemicals
- installation
- wireless alerts
- web access to real-time measurement data
- service and maintenance
- personnel training and education

All communication takes place fully automatically via the internet. Node data is delivered over GPRS modems at every sensor unit. You can view the status of your entire network - down to each individual sensor point - on your computer screen and on your cell phone.

Kemira H<sub>2</sub>S-Guard optimizes the entire wastewater treatment process, and automatically takes corrective action based on what it sees happening in the network. The entire data volume is saved at a central server for a minimum of twenty years to allow long-term analysis and fact-based development decisions.



Mikkelin vesilaitoksen tulokuormitus ja puhdistustulos 2011

3. TULO KUORMITUS

Vuotuinen käsitelty vesimäärä oli 4613371 m<sup>3</sup> ja ohjjuoksutusta oli 1320 m<sup>3</sup>.

Vesi- ja ainemäärien kehitys vuosittain ja mitoitus

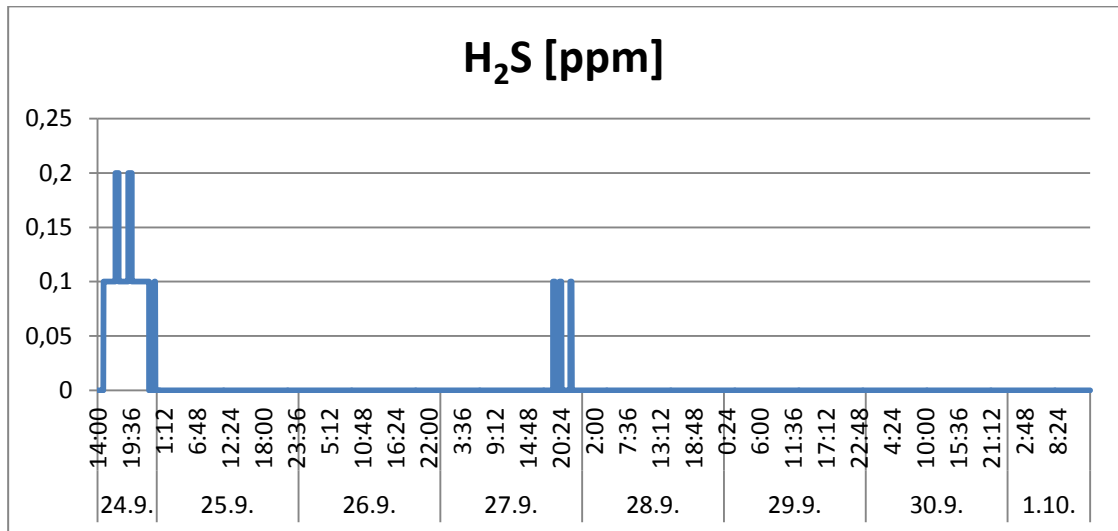
	käsitelty jätevesi m <sup>3</sup> /d	käsitelty jätevesi max.m <sup>3</sup> /d	ohitus m <sup>3</sup> /d	BOD kg/d	kok.P kg/d	kok.N kg/d	CODCR kg/d	Kiintoaine kg/d	verkostove- den kulutus m <sup>3</sup> /d
2007	12822	22325	1,9	3245	131	754	6762	3813	7914
2008	13678	29972	0,11	3106	132	748	6696	3995	8028
2009	11673	18328	0,90	3150	129	743	6751	4039	8154
2010	11682	22864	0	3196	130	758	7085	4180	8564
2011	12639	26325	3,6	3319	126	783	7184	4401	8897
MITOITUS maks		22000		4020	158	868			

Puhdistustulos saavutettiin vuoden kaikilla jaksoilla.

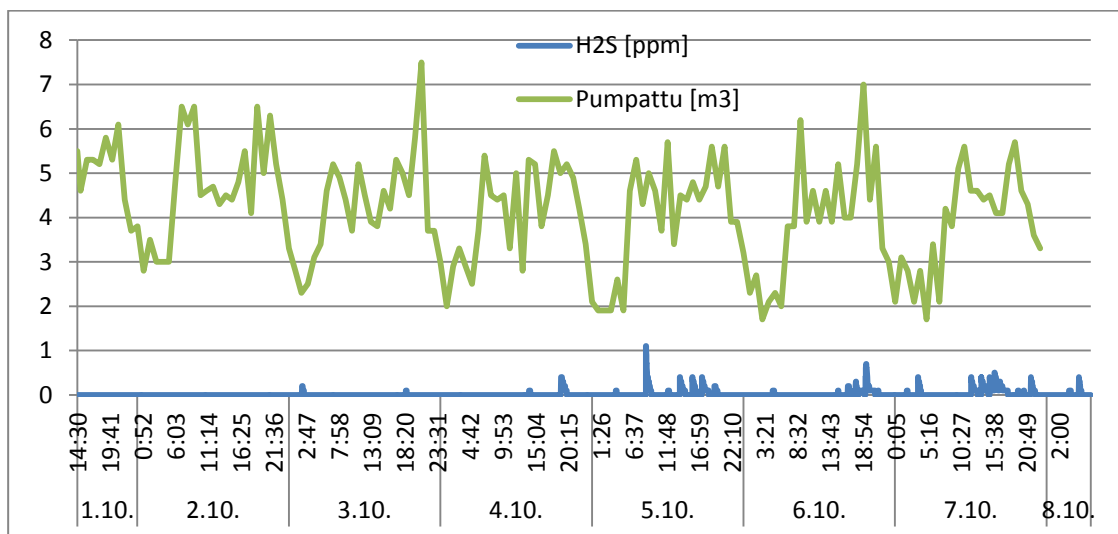
Puhdistustulosten 4 jakson keskiarvot ja voimassa olevan ympäristölupapäätöksen lupaehdot.

	2011	Lupaehto
BOD <sub>7</sub> ATU mg/l	5	≤ 10
puhdistusteho %	98	≥ 96
Kok. P mg/l	0,27	≤ 0,5
puhdistusteho %	97	≥ 96
NH <sub>4</sub> -N mg/l	0,14	≤ 4
puhdistusteho %	100	≥ 90
kiintoaine mg/l	8	≤ 35
puhdistusteho	98	≥ 90
COD <sub>c</sub> mg/l	34	≤ 125
puhdistusteho %	94	≥ 75

Mittaustulokset pumppaamoilla 2 ja 3



Mitattu rikkivetypitoisuus pumppaamolla 2 (Tuukkalantie).



Mitattu rikkivetypitoisuus ja laskennallinen pumpattu jätevesimäärä pumppaamolla 3 (Laajatie).