

Paula Pitkonen

SELVITYS
RIKKIVETYPITOISUUKSISTA
VIETTOVIEMÄRISSÄ MIKKELISSÄ
Kemikaalin syötön vaikutus rikkivety-
pitoisuuksiin

Opinnäytetyö
Ympäristötekniikan koulutusohjelma


Toukokuu 2013




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Opinnäytetyön päivämäärä 24.5.2013
Tekijä(t) Paula Pitkonen		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Ympäristötekniikan koulutusohjelma
Nimeke Selvitys rikkivetypitoisuuksista viettoviemärissä Mikkeliissä – Kemikaalin syötön vaikutus rikkivetypitoisuuksiin		
Tiivistelmä Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia rikkivetypitoisuuksia paineellisen siirtoviemärin jälkeisessä viettoviemärissä. Tavoitteena oli selvittää mitattujen rikkivetypitoisuuksien ja asukkaalle tehdyn hajukyselyn avulla hajuhaittojen ilmenemistä asuinalueella, kun jätevettä kemiallisesti hapettavan kemikaalin syöttö keskeytetään. Rikkivetyä muodostuu paineviemärissä anaerobisissa olosuhteissa. Rikkivety aiheuttaa betonin korroosiota, hajuhaittoja sekä on terveydelle haitallista. Vietto-osuudella sijaitsevista tarkastuskaivoista mitattiin rikkivetypitoisuus ilmasta jatkuvatoimisella rikkivetymittarilla. Mittauspisteitä oli kuusi. Kussakin mittauspisteessä suoritettiin ensin 48 tunnin mittaiset mittausjaksot. Kemikaalin syötön lopetuskokeen aikana rikkivetyä mitattiin 24 tunnin jaksot neljässä mittauspisteessä. Lopetuskokeen jälkeen mitattiin uudestaan 48 tunnin mittausjaksot kaikissa mittauspisteissä. Hajukyselyt tehtiin pyytämällä asukkaita pitämään hajupäiväkirjaa kolmen viikon ajan mittausjakson puolivälissä. Saatujen tulosten perusteella rikkivety aiheuttaa hajuhaittaa erityisesti keskellä asuinalueita sijaitsevan kaivon ympäristössä, mikäli kemikaalia ei annostella. Tulosten perusteella kemikaali alentaa merkittävästi rikkivetypitoisuuksia ja estää hajuhaittojen syntymisen. Ilman kemikaalin annostelua mitatut rikkivetypitoisuudet aiheuttavat hajuhaittojen lisäksi korroosiota sekä ovat riski työturvallisuudelle. Rikkivetypitoisuuksien selvittämistä paineellisten siirtoviemäreiden purkupaikkojen jälkeisillä viettoviemäriosoituksilla on perusteltua jatkaa. Vanhojen betonisten vietto-osuuksien kunto on suositeltavaa tarkastaa.		
Asiasanat (avainsanat) Rikkivety, viemäri, hajuhaitat, kemikaali		
Sivumäärä 48 s., liitteet 2 s.	Kieli Suomi	URN
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Arto Sormunen		Opinnäytetyön toimeksiantaja Mikkelin Vesilaitos ja Mikkelin Seudun Ympäristöpalvelut

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 24.5.2013	
Author(s) Paula Pitkonen		Degree programme and option Environmental Engineering	
Name of the bachelor's thesis Survey of hydrogen sulfide concentrations in gravity sewer in Mikkeli – Effect of chemical addition to hydrogen sulfide formation			
Abstract <p>The purpose of this thesis was to investigate hydrogen sulfide concentrations in gravity sewer located downstream of a force main. The gravity sewer passes through a residential area which had suffered from odour problems. The objective was to indicate the location of odour problems in the residential area when oxidizing chemical addition is discontinued and how hydrogen sulfide concentrations vary during the measurement periods. Hydrogen sulfide formation is a microbial process taking place under anaerobic conditions. Hydrogen sulfide causes concrete corrosion, odour problems and is hazardous to health in large concentrations.</p> <p>Hydrogen sulfide concentrations were measured in six manholes using continuous measurement device. Concentration was measured in 48 hour periods in each manhole before and after when chemical addition was discontinued. Chemical addition was discontinued for four days and the measurement period was 24 hours in four manholes. Enquiry for residents was held for three weeks.</p> <p>According to the results hydrogen sulfide causes odour problems especially around the manhole located middle of the residential area. Addition of an oxidizing chemical lowers hydrogen sulfide concentrations considerably. More measurements of hydrogen sulfide concentrations are needed from gravity sewers located downstream of force mains. The usage of chemical techniques to prevent hydrogen sulfide formation in sewer is recommended.</p>			
Subject headings, (keywords) Hydrogen sulfide, sewer, odour problems, chemical			
Pages 48 p., appendices 2 p.		Language Finnish	
URN			
Remarks, notes on appendices			
Tutor Arto Sormunen		Bachelor's thesis assigned by Mikkelin Vesilaitos and Mikkelin Seudun Ympäristöpalvelut	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	RIKKIVETY JÄTEVESIVIEMÄREISSÄ.....	2
2.1	Rikkivedyn muodostuminen viemärissä.....	2
2.1.1	Biofilmin toiminta.....	3
2.1.2	Rikkivedyn vapautuminen viemärin ilmatilaan	5
2.2	Rikkivedyn muodostumiseen vaikuttavat tekijät.....	6
2.2.1	Happipitoisuus	7
2.2.2	Redox -potentiaali.....	7
2.2.3	Lämpötila	8
2.2.4	pH.....	8
2.2.5	Orgaaninen kuorma.....	8
2.2.6	Sulfaatin määrä	9
2.2.7	Metalli-ionien määrä.....	9
2.2.8	Viemäriverkoston ominaisuudet	9
3	RIKKIVEDYN AIHEUTTAMAT HAITAT.....	10
3.1	Terveyshaitat.....	10
3.1.1	Rikkivedylle altistumisesta seuraavat oireet.....	10
3.1.2	Työturvallisuus	11
3.2	Korroosio	13
3.2.1	Syntymekanismi.....	13
3.2.2	Muodostumiseen vaikuttavat tekijät	15
3.2.3	Korroosion vaikutukset.....	16
3.2.4	Korroosion muodostumisen estäminen.....	16
3.3	Hajuhaitat.....	17
3.3.1	Viemärihajujen muodostuminen ja koostumus.....	18
3.3.2	Hajuhaittojen tutkiminen	19
4	PACS-HAJUNPOISTOYKSIKKÖ	20
5	MITTAUKSET JA MENETELMÄT	21
5.1	Mittausmenetelmät	21
5.2	Hajukysely	23
6	TULOKSET JA TULOSTEN TULKINTA.....	24

6.1	Rikkivetypitoisuusmittaukset	24
6.2	Hajukysely	34
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	36
	LÄHTEET	37

LIITTEET

- 1 Hajukysely saatekirje
- 2 Hajupäiväkirja –lomake

1 JOHDANTO

Jätevesiviemärit ovat olennainen osa jätevedenkäsittelyjärjestelmää. Tyypillisesti jätevesiviemäreitä on kuitenkin pidetty vain jäteveden kuljetuksen jätevedenpuhdistamolle mahdollistavana osana ja on jätetty huomiotta se, että jätevesiviemäri on käytännössä biologinen reaktori, missä tapahtuu paljon erilaisia biokemiallisia reaktioita. Näillä viemäriissä tapahtuvilla reaktioilla on suuri merkitys jäteveden fysikaalis-kemialliseen koostumukseen. (Qteishat ym. 2011.) Jätevesiviemäreissä muodostuvista yhdisteistä rikkivety (H_2S) on kaikista hankalin sen aiheuttamien korroosion, haju- ja terveyshaittojen takia. Rikkivetyyn liittyvät haitat ovatkin viime vuosina enenevässä määrin nousseet huolen aiheeksi niin vesihuollon toimijoiden kuin kansalaisten keskuudessa. Jätevedenkäsittelyn keskittyessä yhä suurempiin yksiköihin siirtoviemäreiden pituudet ovat kasvaneet jopa kymmeneen kilometriin, mikä puolestaan aiheuttaa jäteveden viipymän pitenemistä niissä. Siirtoviemäreiden purkupaikat sijaitsevat usein asutuksen lähetyvillä ja rikkivedystä aiheutuvat hajuhaitat ovat paikoin merkittäväkin ongelma.

Rikkivedyn muodostumisen kannalta viemäriinjojen pitkät paineviemäriosuudet ovat ongelmallisimpia, sillä niissä syntyy herkästi hapettomat olosuhteet. Hapettomat olosuhteet syntyvät jäteveden liian hitaan virtaaman ja liian vähäisen uudelleen hapettumisen takia. Jätevedessä oleva eloperäinen aines kuluttaa nopeasti loppuu kaiken liuenneen hapen sekä muut hapenlähteet kuten nitraatit. Jäteveden ollessa anaerobisessa tilassa, sulfaatin pelkistäjäbakteerit alkavat muodostaa biofilmissä sulfidia, joka päädyttyään jäteveteen reagoi rikkivedyksi. Jäteveden purkautuessa paineviemäristä, pääsee jäteveteen liennut rikkivety vapautumaan viettoviemäriin ilmatilaan. Vapautunut rikkivety aiheuttaa siihen liitetyt korroosio-ongelmat sekä haju- ja terveyshaitat. Rikkivedystä aiheutuvien ongelmien ehkäisemiseksi on vuosien varrella kehitetty erilaisia tekniikoita.

Tämä opinnäytetyö on jatkoa Hiltusen (2012) tekemälle selvitykselle rikkivetypitoisuuksista Mikkelin viemäriverkostossa Porrassalmentien haarassa. Hiltusen (2012) tekemän selvityksen perusteella oli aiheellista tehdä jatkotutkimuksia rikkivetypitoisuuksiin liittyen Mikkeliissä. Tämä opinnäytetyö on tehty yhdessä Mikkelin Vesilaitoksen ja Mikkelin Seudun Ympäristöpalveluiden kanssa. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia hajuhaitoista kärsivässä kohteessa esiintyviä rikkivetypitoisuuksia sekä viemäriinjoilla sijaitsevan hajunpoistoyksikön jätevettä kemiallisesti hapetta-

van kemikaalin vaikutusta esiintyviin rikkivetytitoisuuksiin. Tavoitteena on selvittää, kuinka suurina titoisuuksina rikkivetyä esiintyy asuinalueen halki kulkevassa viettoviemärissä sekä selvittää asukkaille tehdyn hajukyselyn avulla hajuhaittojen ilmene- mistä asuinalueella, kun kemikaalin syöttö keskeytyy. Kemikaalin syöttö voi keskey- tyä esimerkiksi laitevian vuoksi.

2 RIKKIVETY JÄTEVESIVIEMÄREISSÄ

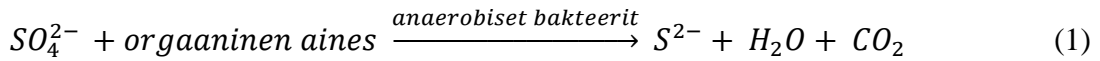
Rikkivety (H_2S) on myrkyllinen, väritön ja helposti syttyvä kaasu. Rikkivedyn haju on hyvin epämiellyttävä ja muistuttaa mädäntynyttä kananmunaa. Rikkivedyn hajukyn- nys on hyvin matala, vain 0,008 ppm (0,011 mg/m³). (Työterveyslaitos 2011a.) Jäte- vedenkäsittelylaitoksissa ja jätevesiviemäreissä rikkivetyä muodostuu bakteeritoimin- nan seurauksena. Rikkivetyä esiintyy myös luonnossa sekä muodostuu teollisissa pro- sesseissa. Luonnossa rikkivetyä esiintyy esimerkiksi kuumissa lähteissä ja suokaasuis- sa. Teollisuuden prosesseissa, kuten selluteollisuudessa tai nahkateollisuudessa, rikki- vetyä voi vapautua natriumsulfidia sisältävien liuosten sekoittuessa happojen kanssa. (U.S. Department of Health & Human Services 1997.)

2.1 Rikkivedyn muodostuminen viemärissä

Rikkivedyn muodostuminen jätevesiviemäristössä on mikrobiologinen prosessi, joka tapahtuu anaerobisessa eli hapettomassa tilassa viemärin seinämän biofilmmissä ja poh- jan sedimentissä (Vincke ym. 2000). Tällaiset olosuhteet esiintyvät etenkin pitkillä paineviemäriosojuksilla liian hitaan virtaaman ja jäteveden puutteellisen uudelleen hapettumisen seurauksena. Sekaviemäröinnissä voi runsas hulevesi aiheuttaa paino- voimaisesti toimivan viettoviemärin virtaamisen täytenä ja viettoviemäriin voi muo- dostua hapettomat olosuhteet. (Tanskanen 2013.)

Rikkivedyn muodostumiseen johtava prosessi alkaa, kun jätevedessä oleva eloperäi- nen aines kuluttaa jätevedestä loppuun kaiken liunneen hapen ja nitraatit (Hvitved- Jacobsen & Nielsen 2000). Kun muita yhdisteitä ei ole enää saatavilla, alkavat anae- robiset sulfaatin pelkistäjäbakteerit (etenkin *Desulfibrio* ja *Desulfotaculum*) käyttää jätevedessä olevaa epäorgaanista sulfaattia hapenlähteenä (vetyatomien vastaanottaja- na) energiakerrossaan ja orgaanista ainesta, kuten aminohappoja, hiilivetyjä ja or-

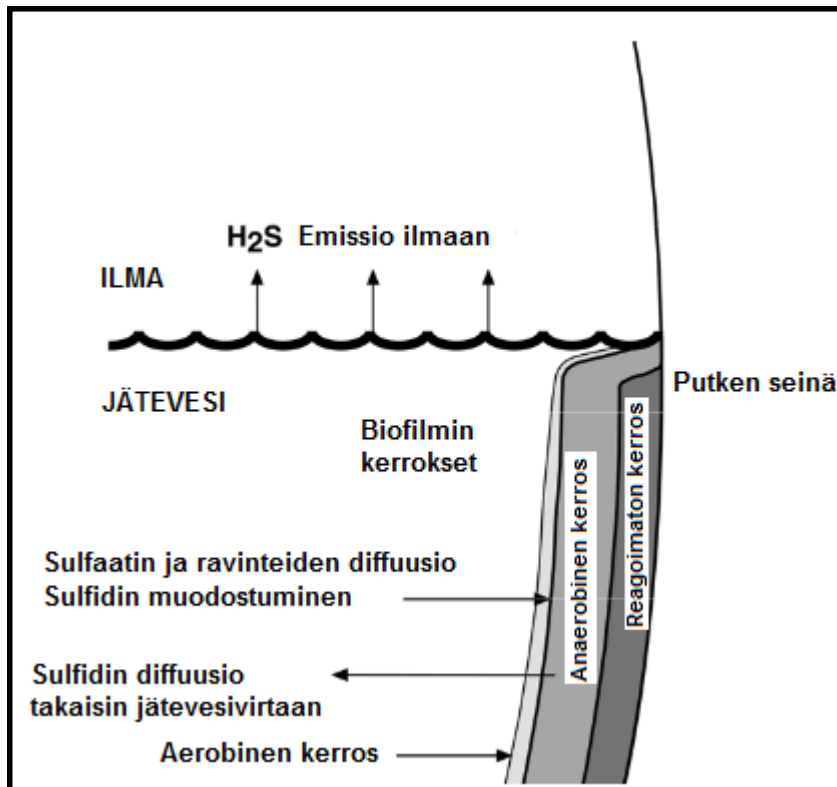
gaanisia happoja ravinnonlähteenään (vetyatomien luovuttajana). (U.S. EPA 1985.) Sulfaatin pelkistysreaktiossa (reaktioyhtälö 1) muodostuu ensin sulfidia, joka diffusoituu biofilmistä jätevedeen ja reagoi siellä heti edelleen vetyatomien kanssa rikkivedyksi reaktioyhtälön 2 mukaisesti:



2.1.1 Biofilmin toiminta

Biofilmi on viemärin seinien vedenalaisiin osiin muodostuva, mikro-organismien muodostama monimutkainen kompleksi. Biofilmi koostuu monista erilaisista mikro-organismeista, kuten bakteereista, sienistä, alkueläimistä ja levistä. Mikro-organismit kiinnittyvät viemäriputken seiniin ja erittävät ympärilleen limamaisen kerroksen, mikä suojaa niitä poishuuhtoutumiselta, myrkyiltä ja saalistajilta. (Cohn ym. 2010.) Viemärin pohjalle muodostuva sedimentti on viemärin pohjalle painunutta ainesta, joka yleensä on huonosti biohajoavaa orgaanista ainesta ja epäorgaanista kiintoainesta. Sedimentin päälle voi muodostua biofilmiä. (Pyykkönen 2010.) Biofilmin merkitys rikkivedyn muodostumiselle on mahdollistaa anaerobiset olosuhteet sulfaatin pelkistäjäbakteereille, vaikka jätevedessä olisikin liuennutta happea (Boon 1992).

Biofilmin rakenne (kuva 1) voidaan jakaa kolmeen kerrokseen: aerobiseen kerrokseen, anaerobiseen kerrokseen ja reagoimattomaan kerrokseen (Boon 1992). Biofilmissä on päälimmäisenä jätevesivirtaa kohden oleva aerobinen kerros, johon jätevedessä oleva liuennut happi diffusoituu. Siellä aerobiset bakteerit käyttävät hapen nopeasti loppuun, eikä happi pääse alempana biofilmissä olevaan anaerobiseen kerrokseen asti. Anaerobisessa kerroksessa ovat sulfaatin pelkistäjäbakteerit ja sulfidin muodostus pystyy siellä vielä tapahtumaan. Anaerobisen kerroksen alla, lähimpänä viemärin seinämää oleva reagoimaton kerros on käytännössä inertti, koska sinne asti ravinteet eikä happi diffusoitu. (U.S. EPA 1985.)



KUVA 1. Biofilmin rakenne, muokattu (WERF 2007).

Muodostuneen sulfidin diffuusio biofilmistä jäteveteen riippuu jätevedessä olevan liuennneen hapen määrästä, sillä jos jätevedessä on liuennutta happea yli 1 mg/l, happi diffusoituu päällimmäisenä olevaan aerobiseen kerrokseen. Niin kauan, kuin jätevedessä on liuennutta happea, anaerobisesta kerroksesta kohti jätevesivirtaa diffusoituva sulfidi hapettuu aerobisessa kerroksessa kemiallisesti tai biologisesti, eikä se pääse diffusoitumaan jäteveteen asti. (U.S. EPA 1985.) Aerobisessa kerroksessa elävät bakteerit käyttävät anaerobisesta kerroksesta nousevaa sulfidia ja muita aineita ravinnonlähteenään ja hapettavat sulfidin nopeasti takaisin sulfaatiksi ja mm. tiosulfaatiksi (WERF 2007). Mikäli jätevesi on hapettomassa tilassa eli liuennutta happea on hyvin vähän (alle 0,1 mg/l), pääsee sulfidia karkaamaan biofilmistä jäteveteen. Jätevedessä sulfidi joko reagoi vetyatomien kanssa rikkivedyksi, hapettuu alkuainerikiksi tai reagoi metallien kanssa muodostaen liukenemattomia metallisulfideja. (Nielsen ym. 2006.)

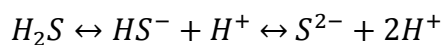
Biofilmin paksuuteen vaikuttavat mm. jäteveden virtausnopeus ja siitä aiheutuva eroosio, liuennneen hapen määrä, pH, lämpötila ja ravinteiden määrä (Pyykkönen 2010). Biofilmin aerobisen kerroksen paksuus riippuu läsnä olevan liuennneen hapen määrästä. Jos liuennutta happea on läsnä, aerobinen kerros on tyypillisesti paksuudeltaan vain

0,1 mm. Mutta mikäli liuennutta happea on useita mg/l, voi aerobinen kerros olla paksupikin. Jos taas liuennutta happea ei ole läsnä, voi koko aerobinen kerros hävitä. Anaerobinen kerros puolestaan on usein vain muutamien millimetrin kymmenyksien paksuinen, mutta se on silti riittävä sulfidin muodostumiselle. Tyypillisesti koko biofilmi on paksuudeltaan 0,3- 3 mm. (Boon 1992.)

2.1.2 Rikkivedyn vapautuminen viemärin ilmatilaan

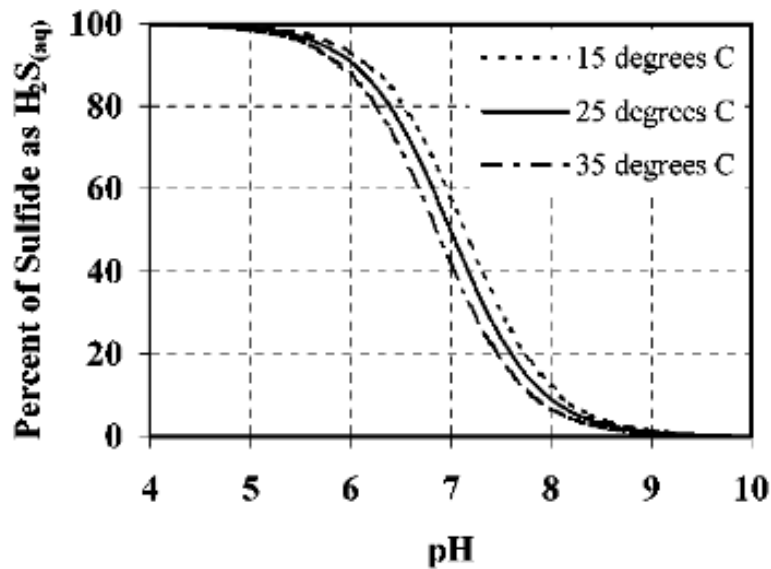
Rikkivedyn vapautuminen jätevedestä viemärin ilmatilaan on tärkeä prosessi rikkivedyn aiheuttamien haittojen ymmärtämiseksi. Vain kaasufaasissa oleva rikkivety aiheuttaa siihen yhdistetyt haitat eli korroosion, haju- ja terveysthaitat. (Jensen 2009, 14.) Rikkivedyn nouseminen vesifaasista kaasufaasiin kuvaillaan usein Henryn lain avulla. Henryn laki kuvaa yhdisteen taipumusta haihtua nestefaasista laimeissa liuoksissa. Helposti haihtuvilla yhdisteillä on suuri Henryn vakio. Tällaisia yhdisteitä ovat rikkivedyn lisäksi esimerkiksi happi, etyylimerkaptani ja metyylimerkaptani. (Vollertsen ym. 2006.)

Rikkivedyn määrä viemärin ilmatilassa vaihtelee rikkivedyn dissosioitumattoman (H_2S) muodon määrästä riippuen Henryn lain mukaisesti (U.S. EPA 1985). On muistettava, että vain H_2S - muodossa oleva rikkivety voi siirtyä vesifaasista kaasufaasiin. Rikkivety liukenee veteen ja dissosioituu vedessä kolmeen eri muotoon: rikkivedyksi (H_2S), bisulfidiksi (HS^-) ja sulfidiksi (S^{2-}) (Firer ym. 2007). Rikkivety dissosioituu vedessä seuraavan reaktioyhtälön mukaan:



Rikkivedyn nousemiseen viemärin ilmatilaan vaikuttavat pH, lämpötila, virtausnopeus, turbulenssi ja ilmatilassa olevan hapen määrä (Lahav ym. 2004). Dissosioituneiden muotojen määrä riippuu pH:sta. Viemäriolosuhteissa vain ionisoitumattoman H_2S - ja ionisoituneen HS^- -muotojen tasapainolla on väliä, sillä sulfidi-ioni S^{2-} esiintyy suurina määrinä vain pH:n ollessa yli 12. (Boon 1992.) Jäteveden pH:n noustessa rikkivedyn prosentuaalinen osuus sulfidien määrästä laskee (kuva 2) (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2003). Lämpötila vaikuttaa rikkivedyn dissosioitumiseen (Yongsiri ym.2004). Kun lämpötila on + 25 °C ja pH 7,0, silloin rikkivety dissosioituu jatkuvasti ja H_2S - ja HS^- -muotoja on yhtä paljon (Boon 1992). Lämpötila voi lisätä rik-

rikivedyn vapautumista ilmaan ja vastaavasti myös hapen liukenemista jäteveeseen. Jäteveeseen liennut happi inhiboi sulfidin muodostusta (U.S. EPA 1985).



KUVA 2. Rikkivedyn osuus sulfidien määrästä (Yongsiri ym. 2004).

Virtausnopeus vaikuttaa rikkivedyn vapautumiseen, mikäli virtausnopeus on voimakas, koska silloin turbulenssi lisääntyy. Turbulenssi pirs-kottaa jätevetä ja lisää vapaa-nestepinta-alaa, josta rikkivedyn emissio ilmaan pystyy tapahtumaan. Turbulenssi esimerkiksi kaivoissa ja pumppaamoissa lisää rikkivedyn kertymistä niihin. Voimakas turbulenssi voi toisaalta vaikuttaa myös inhiboivasti. Turbulenssissa vastaavasti myös happea liukenee jäteveeseen enemmän eli tapahtuu ns. uudelleen hapettumista (reaeration). Viemäriputkessa virtaavan jäteveden määrällä on myös vaikutusta nestepinta-alaan. Mikäli viemäri virtaa täynnä, rikkivetyä ei pääse nousemaan jätevedestä. (U.S. EPA 1985.)

2.2 Rikkivedyn muodostumiseen vaikuttavat tekijät

Rikkivedyn muodostumisen kannalta tärkeimmät tekijät ovat jäteveden happipitoisuus, sulfaatin määrä, lämpötila, pH sekä orgaanisen aineksen määrä ja laatu. Rikkivedyn muodostumiseen vaikuttavat edellä mainittujen lisäksi myös viemärin tekniset ominaisuudet, kuten putken koko, virtaaman syvyys, jäteveden virtausnopeus sekä viipymä viemärissä. (Hvitved-Jacobsen & Nielsen 2002.) Jäteveden redox -potentiaalilla voidaan arvioida jäteveden potentiaalia suorittaa erilaisia biologisia (hapetus-pelkistys) reaktioita. (YSI Environmental 2008).

2.2.1 Happipitoisuus

Jäteveden liuenneen hapen määrä vaikuttaa sulfidin diffuusioon biofilmistä jäteveeteen. Liuenneen hapen läsnäolo kiihdyttää aerobisten bakteerien toimintaa ja lisää biofilmin aerobisen kerroksen paksuutta. Se lisää matkaa, jonka ravinteiden ja sulfaatin täytyy kulkea anaerobiseen kerrokseen, jotta sulfidin muodostuminen voisi tapahtua. Vastaavasti se lisää todennäköisyyttä, että kaikki jäteveden pyrkivä sulfidi hapetuu aerobisessa kerroksessa biologisesti tai kemiallisesti, eikä sulfidi pääse diffuusoitumaan jäteveeteen. (U.S. EPA 1985.) Tarvittava liuenneen hapen määrä, jotta sulfidin muodostuminen estyy, vaihtelee laajasti. Tyypillisesti määrä voi olla 0,5 mg/l, mutta joissain tapauksissa tarvitaan jopa 1,0 mg/l tai enemmän. (Boon 1992.)

2.2.2 Redox -potentiaali

Jäteveden redox -potentiaalin avulla voidaan arvioida jäteveden kykyä suorittaa erilaisia biologisia hapetus-pelkistysreaktioita. Redox -potentiaalin avulla voidaan tunnistaa millaisia biologisia reaktioita jätevedessä tapahtuu, sillä reaktiot tapahtuvat niille ominaisilla redox -potentiaaleilla (taulukko 1). Redox -potentiaali on positiivinen, kun jätevedessä on läsnä hapettavaa ainetta, kuten happea. Pelkistävien aineiden, kuten sulfaatin läsnä ollessa, redox -potentiaali on negatiivinen. Sulfaatin pelkistymistä tapahtuu, kun redox -potentiaali on selvästi negatiivinen (-50– -250 mV). Redox -potentiaalin ollessa alle -100 mV, muodostuu haisevia yhdisteitä fermentaatio prosessissa rikkivedyn muodostumisen lisäksi. (YSI Environmental 2008.)

TAULUKKO 1. Biokemiallisia reaktioita vastaavat redox -potentiaalit (YSI Environmental, muokattu 2008).

Biokemiallinen reaktio	Vastaavat redox -potentiaalit, mV
Nitrifikaatio	+100– +350
cBOD poisto vapaan hapen kanssa	+50– +250
Biologinen fosforinpoisto	+25– +250
Denitrifikaatio	+50– -50
Sulfidin (H ₂ S) muodostuminen	-50– -250
Biologinen fosforin vapautuminen	-100– -250
Fermentaatio	-100– -225

Metaanin muodostuminen	-175– -400
------------------------	------------

2.2.3 Lämpötila

Lämpötila vaikuttaa jäteveden mikrobiologiseen aktiivisuuteen. Noin + 20 °C on bakteeritoiminnalle suotuisin lämpötila. Lämpötilan nousu kiihdyttää sulfidin tuotantoa. (Vesilaitosyhdistys 2011.) Lämpötilan nouseminen asteella lisää sulfaatin pelkistäjäbakteerien biologista aktiivisuutta 7 % astetta kohden (+ 30 °C asti) (WERF 2007). Lämpötilan lasku puolestaan vaikuttaa sulfaatin pelkistäjäbakteerien aktiivisuuteen alentavasti (Vestola & Mroueh 2008). Viimeaikaisissa tutkimuksissa on kuitenkin havaittu, että paineviemäreissä pystyy muodostumaan rikkivetyä merkittävässä määrin alhaisissakin lämpötiloissa (+ 6-8 °C) (Hvitved-Jacobsen & Nielsen 2000). Liian korkeissa lämpötiloissa (teollisuuden jätevedet) tapahtuu myös muutoksia aktiivisuudessa sekä bakteerit voivat tuhoutua (Vestola & Mroueh 2008).

2.2.4 pH

Jäteveden pH vaikuttaa lämpötilan ohella bakteerien aktiivisuuteen. Eniten vaikutusta pH:lla on kuitenkin rikkivedyn nousemiseen viemäriin ilmatilaan (ks. luku 2.1.2), koska pH:sta riippuu rikkivedyn dissosioituneiden muotojen määrä jätevedessä. (WERF 2007.) Jäteveden yleisin pH alue on 6-8, ja silloin bakteeritoiminta on aktiivisinta (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2003). Optimi pH sulfaatin pelkistäjäbakteereille on 7.0–7.8 (Vestola & Mroueh 2008). Sulfaatin pelkistäjäbakteerien toiminnan kannalta pH ei kuitenkaan ole erityisen merkityksellinen tekijä, koska sulfaatin pelkistäjäbakteerit esiintyvät pH- arvoilla 5.5-9, eikä pH ole rajoittava tekijä, kun se on alle 10. (WERF 2007).

2.2.5 Orgaaninen kuorma

Jäteveden orgaaninen kuorma eli orgaanisen aineksen määrä vaikuttaa sulfidin muodostukseen. Sulfaatin pelkistäjäbakteerit käyttävät ravinnonlähteenään orgaanista ainesta, kuten aminohappoja, hiilivetyjä ja orgaanisia happoja. Mikäli näitä ravintoaineita ei ole tarpeeksi, se voi inhiboida sulfidin muodostumista. (U.S. EPA 1985.) Toisaalta jäteveden runsas orgaanisen aineksen määrä kiihdyttää sulfidin tuotantoa. Asumajätevesistä paljon poikkeavissa teollisuuden jätevesissä voi olla suuriakin määriä sulfaa-

tin pelkistäjäbakteereille sopivaa orgaanista ainesta sekä sulfaattia. Esimerkiksi elintarviketeollisuudesta tuleville jätevesille on tyypillistä korkea orgaanisen aineksen määrä. (Vesilaitosyhdistys 2011.)

2.2.6 Sulfaatin määrä

Sulfaatin pelkistäjäbakteerien käyttämän sulfaatin ja orgaanisen aineksen suhteesta (2:1) riippuu, paljonko sulfidia muodostuu. Mikäli sulfaattia on riittävästi, sulfidin syntyä rajoittaa orgaanisen aineksen määrä ja vastaavasti, jos sulfaattia on rajoitetusti, riippuu muodostuvan sulfidin määrä sulfaatin pitoisuudesta. (U.S. EPA 1985.) Sulfaatti ei ole rajoittava tekijä, kun pitoisuus on yli 5-15 mgS/l. Tyypillisesti kyseinen pitoisuus ylittyy kaikentyyppisissä jätevesissä. (Hvitved-Jacobsen & Nielsen 2000.)

2.2.7 Metallionien määrä

Jätevedessä olevat metalli-ionit muodostavat sulfidin kanssa reagoidessaan liukenemattomia metallisulfideja. Näitä ovat mm. rauta, sinkki, kupari, lyijy ja kadmium. Asumajätevesissä muodostuneiden liukenemattomien metallisulfidien pitoisuus on arviolta 0,2-0,3 mg/l. Teollisuuden jätevesissä voi olla enemmän vapaita metallioneja, mikä voi vaikuttaa rikkivedyn muodostumiseen alentavasti sitomalla sulfidia liukenemattomaan muotoon. (U.S. EPA 1985.)

2.2.8 Viemäriverkoston ominaisuudet

Viemäriverkoston tekniset ominaisuudet, kuten viemäriputken tyyppi, koko, virtaama sekä viipymä vaikuttavat osaltaan rikkivedyn muodostumiseen. Rikkivedyn muodostuminen tapahtuu pääosin paineviemärissä, koska siellä syntyvät sulfidin muodostumiselle sopivat anaerobiset olosuhteet nopeasti. Painovoimaisissa viettoviemäreissä rikkivedyn muodostuminen riippuu viemärin ilmatilassa olevan hapen määrästä ja sen liukenemisesta jäteveten eli jäteveden uudelleen hapettumisasteesta. Viettoviemärisä voi siis muodostua rikkivetyä, jopa merkittävässä määrin, jos happea ei ole läsnä ja viemäri virtaa melko täynnä. Pääasiassa vietto-osuuksilla tapahtuu rikkivedyn vapautuminen jätevedestä viemärin ilmatilaan. (Hvitved-Jacobsen & Nielsen 2000.)

Viemäri putken koko ja virtaaman syvyys vaikuttavat sulfaatin määrään jätevedessä, vaikuttamalla putken pinta-ala/tilavuussuhteeseen. Mitä enemmän on viemärissä virtaavan veden syvyys, sitä enemmän on tarjolla vedenalaista pinta-alaa, mihin biofilmiä pystyy muodostumaan. Siksi halkaisijaltaan suurissa putkissa jäteveden sulfidi pitoisuus on pienempi kuin halkaisijaltaan pienissä putkissa. (U.S. EPA 1985.)

Jäteveden virtausnopeus vaikuttaa biofilmin paksuuteen. Virtausnopeuden ollessa 0,8-1 m/s, biofilmi kuluu ja on ohuempaa (0,1-0,3 mm). Virtausnopeus vaikuttaa myös jäteveden viipymään, mikä on oleellisin sulfidin muodostumisen kannalta. (Hvitved-Jacobsen & Nielsen 2000.) Suomessa paineelliset siirtoviemärit pyritään mitoittamaan niin, että viipymä olisi alle 2 tuntia. Yleensä tätä tavoitetta on vaikea saavuttaa ja viipymä muodostuu liian pitkäksi. Kiinteistökohtaiset paineviemärit mitoitetaan niin, että viipymä on enintään 8 tuntia. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2010.)

3 RIKKIVEDYN AIHEUTTAMAT HAITAT

3.1 Terveyshaitat

Rikkivety on hyvin ärsyttävä kaasu ja se läpäisee helposti hengitysepiteelin ja siirtyy verenkiertoon, missä se aiheuttaa veren hemoglobiinin muuttumisen sulfhemoglobiiniksi, mikä voi aiheuttaa hengityskeskukseen lamaanumisen ja johtaa sydänvaurioon. (Karjala 2012.) Siksi rikkivety voi suurina pitoisuuksina johtaa kuolemaan. Rikkivedyn vaarallisuutta lisää se, että suurissa pitoisuuksissa (100 ppm) ihmisen hajuais-ti lamaanuu ja vakavan myrkytyksen riski lisääntyy. (Kaluschue 2004.)

3.1.1 Rikkivedylle altistumisesta seuraavat oireet

Rikkivedylle lievästi altistumisesta merkinä on silmien ja hengitysteiden ärsytys. Vakavissa myrkytystapauksissa oireina ovat olleet huimaus, heikotus, pahoinvointi, päänsärky, tajuttomuus, sekavuus ja uneliaisuus. Taulukossa 2 on esitetty eri rikkivety-pitoisuudet ja niissä ilmenevät oireet. Vakavista myrkytyksistä selvinneillä on todettu joissakin tapauksissa jääneen jälkioireina hermostollisia häiriöitä, kuten muistin, keskittymiskyvyn ja näön heikkenemistä. Jälkioireista kärsineet ovat lopulta kuitenkin parantuneet täydellisesti. (Työsuojeluhallinto 2010.) Toistuva altistuminen rikkivedyl-

le esimerkiksi työn aikana voi aiheuttaa kaasusilmäksi kutsutun tilan, jossa rikkivedylle altistuneelle henkilölle on muodostunut krooninen silmän sidekalvontulehdus, joka saa oireita jo alle 1 ppm:n rikkivetypitoisuuksista. Rikkivedylle altistumisen pitkäaikaisista vaikutuksista ei tutkijoilla ole vielä yksimielisyyttä. Joissakin tapauksissa on kuvailtu selittämättömiä oireita, kuten väsymystä, huimausta ja ärtyneisyyttä. (Työterveyslaitos 2011a.)

TAULUKKO 2. Rikkivetypitoisuudet ja niissä ilmenevät oireet (Työterveyslaitos 2011a).

Oireet	Pitoisuus (ppm)
Hajukynnys	0,008
Silmien ja hengitystien ärsytys	10–20
Polttavaa kipua, kyynelvuotoa, näön sumenemista	50–100
Hajuaisti lamaantuu	100–150
Keuhkopöhön mahdollisuus	300
Voimakasta ärsytystä, päänsärkyä, huimausta, pahoinvointia, heikkoutta ja sekavuutta	100–500
Viidessä minuutissa vakavia hermostollisia oireita, tajuttomuutta, hengityksen lamaantumista ja kuolema puolessa tunnissa	500
Välitön tajunnan menetys ja kuolema hengityksen lamaannuttua	> 1000

3.1.2 Työturvallisuus

Rikkivety on hieman ilmaa raskaampi yhdiste ja sillä on taipumus kerääntyä suljettuihin tiloihin ja painaumiin (Kaluschue 2004). Tämä tulee ottaa huomioon tehtäessä töitä pumppaamoilla ja kaivoilla. Rikkivedyn korroosiovaikutus aiheuttaa omat riskinsä työturvallisuudelle. Rikkivety edistää metallien korroosiota ja on erityisen hankala sähkölaitteille. Pumppaamotiloissa olevien rakenteiden, kuten tikkaiden ja sähkölaitteiden kunto voivat heikentyä korroosion vaikutuksesta. (Arvonen 2013.) Pumppaamoilla työskenneltäessä tulisi noudattaa varovaisuutta ja huolehtia turvallisesta työs-

kentelystä ennakkotoimenpiteillä. Ennen töiden aloitusta tulisi pumppaamotila tuulettaa hyvin. Yksin työskentelyä tulee välttää ja työskennellä parin kanssa. Työskentelyä ei pitäisi suorittaa ilman rikkivetypitoisuuksien mittaamista tai ilman suojaamia. (Maveplan Oy 2012.) Rikkivedyn mittaamiseen on kehitetty erilaisia helppokäyttöisiä, henkilökohtaiseen käyttöön tarkoitettuja mittalaitteita (kuva 3).



KUVA 3. Dräger Pac 3500 –rikkivetymittari, muokattu (Dräger 2013).

Työntekijöiden tulisi osata tunnistaa rikkivedylle altistumisesta seuraavat oireet sekä osata antaa ensiapua onnettomuuden sattuessa. Mikäli henkilö on altistunut rikkivedylle, hänet tulee välittömästi siirtää raittiiseen ilmaan. Jos henkilöllä on hengitysvaikeuksia, annetaan tekohengitystä tai puhdasta happea, mikäli se on mahdollista. Jos potilaan sydän on pysähtynyt, tulee aloittaa painantaelvytys. Kaikissa tilanteissa tulee hälyttää apua ja saattaa potilas lääkärin tutkittavaksi. (Työterveyslaitos 2011a.) Työsuojelulain (738/2002) mukaan työnantaja on velvollinen varaamaan työntekijöille tarvittavat suojaruusteet ja välineet työn turvalliseen suorittamiseen sekä on velvollinen huolehtimaan työntekijöiden perehdyttämisestä turvallisiin työtapoihin. Työn ja työolosuhteiden mukaisesti työntekijöille on annettava ohjeet toimenpiteistä, joihin tapaturman tai sairastumisen sattuessa on ryhdyttävä ensiavun saamiseksi.

Sosiaali- ja terveysministeriö on antanut asetuksellaan (1213/2011) arviot työntekijöiden hengitysilman epäpuhtauksien pienimmistä haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista (HTP -arvot), jotka voivat aiheuttaa haittaa tai vaaraa työntekijöiden turvallisuudelle tai terveydelle taikka lisääntymisterveydelle. Taulukossa 3 on esitetty rikkivedylle asetetut HTP -arvot.

TAULUKKO 3. Rikkivedyn HTP -arvot (Sosiaali- ja terveysministeriö).

8 h		15 min	
ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
5	7	10	14

3.2 Korroosio

Rikkivedyn aiheuttama korroosio betonisissa jätevesiviemäreissä on globaalisti merkittävä ongelma. Betoni on vesihuoltotekniikassa keskeinen materiaali. Betonista rakennetaan tyypillisesti osa viemäriverkkojen putkistoista sekä osa muista verkoston rakenteista, kuten kaivoista ja pumppaamoista. Betonista tehdään myös erilaisia altaita veden- ja jäteveden käsittelylaitoksiin. Betoni on osoittautunut kestäväksi rakennusmateriaaliksi, mutta myös betonirakenteet kokevat kemiallisia ja fysikaalisia muutoksia ajan mittaan. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2003.)

Ensimmäiset havainnot rikkivedyn aiheuttamasta korroosiosta tehtiin jo 1900-luvun lopulla. Tuolloin ei tosin vielä ymmärretty, että rikkivedyn aiheuttama korroosio on biologinen reaktio. Vasta 1940-luvulla ymmärrettiin ilmiön biologinen puoli. Nykypäivänä rikkivedyn aiheuttamat korroosio-ongelmat ja syntymekanismi ovat tiedossa. Rikkivetykorroosio aiheuttaa vuosittain ympäri maailmaa miljoonien dollarien kustannukset. (Wells ym. 2009.)

Betonisten viemäriputkien käyttöikä on suunniteltu olevan noin 100 vuotta nykyisillä betonin valmistustekniikoilla ja laatuvaatimuksilla. Todellisuudessa viemärien tekninen käyttöikä on noin 50 vuotta. Rikkivedyn aiheuttama korroosio voi alentaa teknistä käyttöikää merkittävästi, jopa kymmeniä vuosia. Käyttöikä riippuu materiaalin korroosion kestävyuden lisäksi kaivu- ja asennustyön laadusta, maaperän olosuhteista sekä viemäriin johdettavan jäteveden laadusta. (Suomen Betonitieto Oy 2003, 14.)

3.2.1 Syntymekanismi

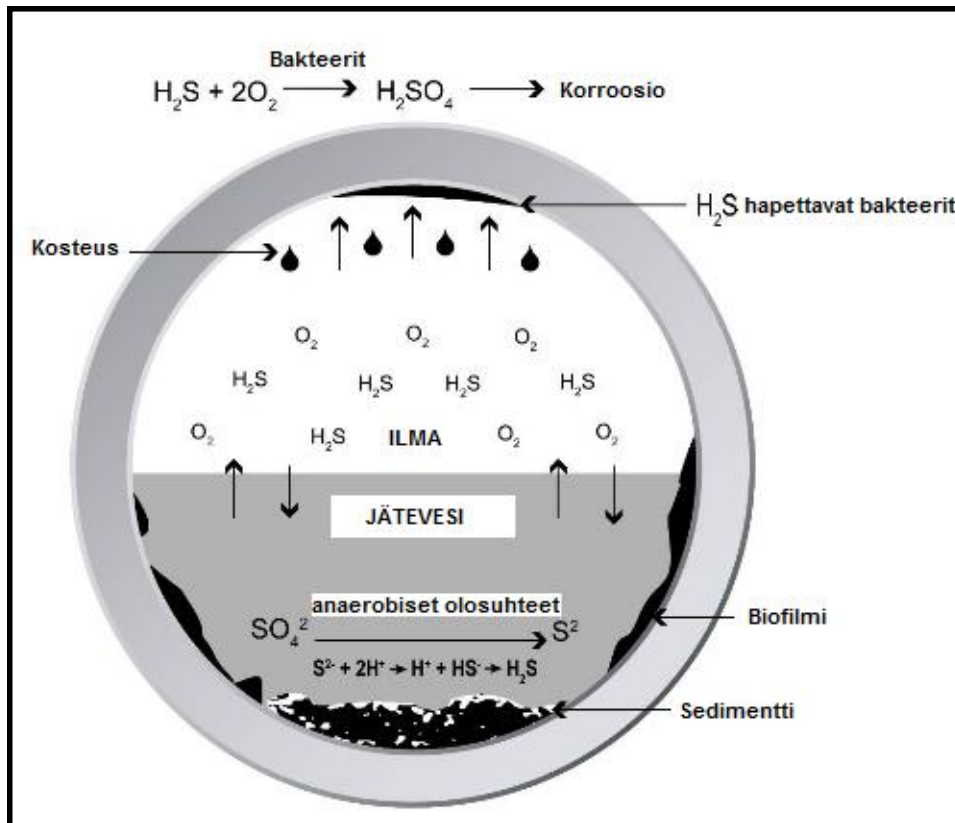
Korroosion muodostuminen (kuva 4) alkaa rikkivedyn vapautumisesta jätevedestä viemäriin ilmatilaan. Vapautunut rikkivety liukenee putken yläosaan, johon on tiivistynyt kosteutta tai imeytyy suoraan betonin huokosilmaan. (Parande ym. 2006.) Siksi

on tyypillistä, että korroosiota on vain putken yläosassa ja veden täyttämä osa on virheetön. (Karttunen 1999, 157.) Rikkivety hapettuu alkuainerikiksi hapen läsnä ollessa ja sitten edelleen rikkihapoksi (H_2SO_4) *Thiobacillus* -sukuun kuuluvien aerobisten bakteerien vaikutuksesta, jotka elävät viemärin kosteilla pinnoilla. (Parande ym. 2006.)

Rikkivetyä hapettavat bakteerit eivät siedä emäksiä. Vastavaletun betonin pH on noin 12,5. Ennen kuin bakteerit voivat kasvaa betonin pinnalla, pitää pH:n laskea. Kalsiumhydroksidin muuttuessa aikaa myöten kalsiumkarbonaatiksi (reaktioyhtälö 1), alenee pH-arvo noin 10,2:een. Kostealla betonipinnalla karbonaatti muuttuu osittain bikarbonaatiksi ja tasapaino muodostuu näiden ja ympäröivän ilman hiilidioksidin välille ja pH laskee edelleen (reaktioyhtälö 2). (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2003.) Kun betonin pH on laskenut tarpeeksi, voivat rikkivetyä hapettavat bakteerit kasvaa sen pinnalla. Esimerkiksi *Thiobacillus thiooxidans* on dominoiva laji, kun pH on hyvin alhainen (pH 1-5). (Vincke ym. 2000.) Betonin pH:n laskuun bakteereille suotuiselle tasolle kuluu aikaa arviolta muutamista kuukaudesta useisiin vuosiin (Wells ym. 2009).



Kun rikkihapon muodostumista on pystynyt tapahtumaan, rikkihappo alkaa reagoida sementissä olevien ainesosien, kuten silikaatti- ja karbonaattiyhdisteiden kanssa. Reaktiotuotteena syntyy lähinnä kipsiä. (Wells ym. 2009.) Muina reaktiotuotteina muodostuu vähemmissä määrin mm. kvartssia, jarosiittia ja ettringiittiä. Nämä reaktiotuotteena syntyvät ainesosat tarvitsevat enemmän tilaa kuin betonin ainesosana ovat kalsiumyhdisteet, jonka seurauksena betoni murentuu. (Jensen 2009, 23.) Etenkin ettringiitin muodostuminen lisää betonin sisäistä halkeilua, mikä lisää pinta-alaa, jonne kosteus, bakteerit ja muodostunut rikkihappo pääsevät. Korroosioprosessin tuotteena syntyneet yhdisteet muodostavat betonin pinnalle valkoisen saostuman, mikä sisältää pääasiassa kipsiä. Muodostuneen korroosiokerroksen paksuus lisääntyy ajan kuluessa. Kerroksen merkityksestä korroosion etenemiselle ei kuitenkaan ole vielä selvyyttä. Esimerkiksi hillitseekö se korroosioreaktiota vai jopa kiihdyttää. (Wells ym. 2009).



KUVA 4. Periaatekuva korroosion muodostumisesta, muokattu (WERF 2007).

3.2.2 Muodostumiseen vaikuttavat tekijät

Korroosion muodostumiseen vaikuttavat lähinnä, kuinka paljon rikkivetyä on viemäriin ilmatilassa ja kuinka paljon rikkivetyä hapettavia *Thiobacillus* –suvun bakteereita esiintyy viemäriin kosteassa lakiosassa. Rikkivedyn vapautumiseen vesifaasista vaikuttavat tekijät vaikuttavat siis välillisesti myös korroosioon (ks. luku 2.2). Turbulenssi pumppaamoissa ja kaivoissa lisää erityisesti rikkivedyn vapautumista ilmaan. Viemärien huono ilmanvaihto edistää rikkivedyn kerääntymistä ilmatilaan ja kosteuden tiivistymistä putken yläosaan. (Vincke ym. 2000.) Rikkivetypitoisuuden ollessa alle 5 ppm, korroosion etenemisnopeus alenee merkittävästi (Smith 2006).

Rikkivetyä hapettavien bakteerien määrästä riippuu, kuinka paljon rikkihappoa pystyy muodostumaan (Vincke ym. 2000). Bakteerien aktiivisuuteen vaikuttaa lämpötila, joten lämpötilan kohoaminen kiihdyttää myös korroosiota. Vaikuttavia tekijöitä ovat myös rikkihapon muodostumisnopeus sekä putkessa virtaavan jäteveden määrä. Sekaviemäröinnissä voi rankkojen sateiden aikana tapahtua viettoviemäreiden virtaamista täytenä, mikä huuhtoo mennessään rikkivetyä hapettavia bakteereita sekä muodostunutta rikkihappoa. Yleensä vaikutus on hetkellinen ja korroosiolle suotuisat olosuhteet

palautuvat muutamassa viikossa. (Wells ym. 2009.) Mikäli rikkihapon muodostuminen on nopeaa, voi osa muodostuneesta rikkihaposta tippua kondenssiveden mukana jäteveeten ja huuhtoutua virran mukana pois (Vollertsen ym. 2011).

3.2.3 Korroosion vaikutukset

Pitkään jatkunut korroosio voi aiheuttaa suuriakin ongelmia jätevesiviemäreissä ja muissa rakenteissa, kuten pumppaamoissa ja kaivoissa. Pahimmassa tapauksessa pahasti vaurioitunut viemäriputki voi jopa romahtaa. Jätevesiviemärin vuotaminen aiheuttaa ympäristön pilaantumista, mikä erityisesti pohjavesialueilla ja vesistöjen läheisyydessä on haitallista. (Arvonen 2013.) Korroosio aiheuttaa riskejä myös työturvallisuudelle, koska se voi heikentää pumppaamoissa olevia tikkaita, työskentelytasoja sekä aiheuttaa vaurioita sähkölaitteille. Metallin pinnalle päästessä rikkihappo kiihdyttää pistekorroosiota, mikä heikentää betonin raudoitusta (Parande ym. 2006). Korroosiosta johtuvat vauriot aiheuttavat vuosittain suuria kustannuksia vesihuollon toimijoille.

3.2.4 Korroosion muodostumisen estäminen

Rikkivedyn aiheuttamaan korroosioon ja sen vaikutuksiin voidaan vaikuttaa mm. materiaalivalinnoilla, hyvällä suunnittelulla sekä erilaisilla tekniikoilla, jotka estävät rikkivedyn muodostumisen viemäriässä. Betoniputkien korroosion kestävyyyteen vaikuttavat betonin valmistuksessa käytetyn sementin määrä ja tyyppi sekä kovettuneen betonin ominaisuudet. Sideaineena käytetyn sementtikiven huokoisuus ja betonin tiiveys vaikuttavat, kuinka helposti haitalliset yhdisteet pääsevät tunkeutumaan betoniin. Huokoisuus ja huokosten koko riippuu betonimassan vesisementtisuhteesta. Hyvin kemiallista rasitusta kestävä ja tiiviin betonin edellytys on alhainen vesisementtisuhte. (Hanski 2013.)

Hyvällä viemäriverkon suunnittelulla pystytään ehkäisemään korroosion vaikutuksia. Esimerkiksi viemärin hyvä tuuletus, turbulenssin vähentäminen ja viemäriin oikea mitoitus ovat asioita, mihin voidaan vaikuttaa suunnittelulla. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2010.) Rikkivedyn aiheuttamaa korroosiota voidaan estää erilaisilla kemiallisilla tekniikoilla, mitkä vähentävät rikkivedyn muodostumista. Tällaisia

ratkaisuja ovat esimerkiksi pH:n säätäminen lipeän avulla, sulfidien saostaminen metallisulfideiksi ja jäteveden hapettaminen kemiallisesti.

3.3 Hajuhaitat

Viemärissä syntyvistä hajuyhdisteistä aiheutuu toisinaan hajuhaittoja. Viemäristä pääsee karkaamaan ympäristöön hajuyhdisteitä viemärien tuuletusputkia pitkin, pumpaamoista tai kaivojen kansien raoista. Usein hajuhaittoja havaitaan pitkien hitaasti virtaavien siirtoviemäreiden tai niiden purkupaikkojen läheisyydessä. Lähteestä riippuen, jätevesi ei tuoreena kuitenkaan haise erityisen pahasti. Esimerkiksi asumisjätevedet ovat paljo miedomman hajuisia kuin teollisuudesta tulevat jätevedet. Viemärissä hajun muodostumiseen vaikuttavat suuresti jätevedessä tapahtuvat muutokset. (Voltertsen ym. 2006.)

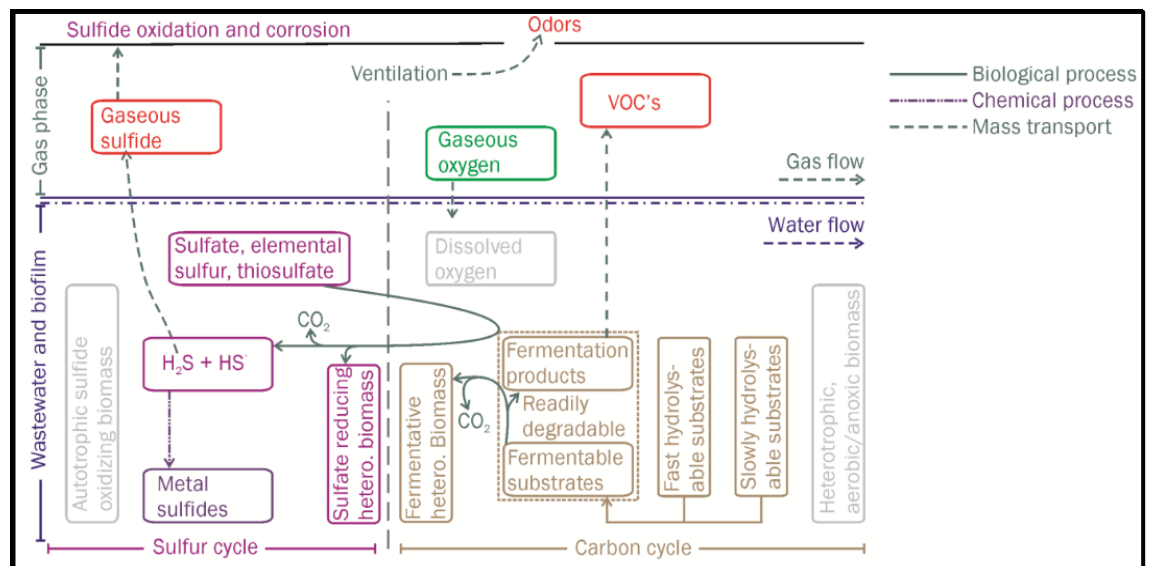
Hajuhaitta syntyy vasta, kun hajukaasussa olevat yhdisteet kulkeutuvat ihmisen hajureseptoriin ja haju koetaan epämiellyttävänä. Hajun kokeminen haittana on hyvin yksilöllistä ja reagoiminen hajuun vaihtelee yksilön herkkyyden mukaan. (Ecobio Oy 2007, 6.) Hajuaistin herkkyyteen vaikuttavat elintavat sekä vireystila. Tupakointi esimerkiksi heikentää hajuaistia. Hajuaistin herkkyys voi vaihdella myös vuodenaikojen mukaan. Talvella haju saatetaan kokea vähemmän häiritseväksi kuin kesällä, koska kesällä vietetään enemmän aikaa ulkona, jolloin havaitaan ulkoilman muutoksia herkemmin. Hajun kokemiseen haittana vaikuttavat mm. tottumus hajuun, hajumielymykset, sosiaaliset tekijät sekä suhtautuminen hajuun. Hajun leviämiseen ympäristössä vaikuttavat tuuli, ilmanpaine, maastonmuodot sekä hajukaasuun ja lähteeseen vaikuttavat muuttajat. (Makkonen 2008.)

Rikkivedyn haju koetaan yleensä erittäin epämiellyttävänä, koska se on voimakas ja haju on mätää kananmunaa muistuttava. Lisäksi hajukokemuksen yhteydessä voi ilmetä epämiellyttäviä tuntemuksia, kuten ärsytysoireita silmissä ja hengitysteissä. (Ecobio Oy 2007, 6.) Rikkivedyn aiheuttama hajuhaitta vähentää pumppaamojen lähellä olevan asutuksen asumisviihtyvyyttä. Lisäksi pumppaamojen ympäristössä rikkivetypitoisuudet voivat olla korkeitakin, joten terveyshaittojen muodostuminen hajuhaitan lisäksi voi olla mahdollista. Se voi aiheuttaa jopa pelkotiloja joillain asukkailla. Lisäksi pelko mahdollisesta kiinteistön arvon laskemisesta voi aiheuttaa stressiä.

Rikkivedyn hajukynnys on 0,008 ppm (Työterveyslaitos 2011a). Rikkivedyn haju on hento, mutta erottuva 0,77 ppm pitoisuudessa ja 4,6 ppm pitoisuudessa rikkivedyn haju on jo selvästi tunnistettavissa. Rikkivetypitoisuuden ollessa noin 30 ppm, haju on erittäin voimakas, mutta vielä siedettävissä. (Kaluschue 2004.) WHO:n suositusten mukaan ulkoilman rikkivetypitoisuuden tulisi olla alle $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,005 ppm) 30 minuutin keskipitoisuutena, jotta välttyttäisiin hajuhaitoilta (Työterveyslaitos 2011a).

3.3.1 Viemärihajujen muodostuminen ja koostumus


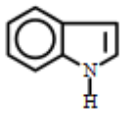
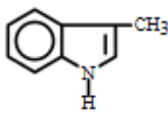
Rikkivety on yleisin viemärissä tavattavista hajuyhdisteistä fermentaation tuotteina muodostuvien haihtuvien yhdisteiden (VOC) lisäksi. Viemärihajujen muodostumisen pääreaktioiksi on mielletty sulfaatin pelkistysreaktio ja fermentaatio prosessi, jotka tapahtuvat rinnakkain anaerobisissa olosuhteissa (kuva 5) (Riva & Sacco 2005). Rikkivetyä pidetään yleensä ns. indikaattorihajuna tutkittaessa viemärihajuja, koska sitä muodostuu samoissa olosuhteissa kuin muita hajuyhdisteitä ja se on helpoin mitata. Rikkivedyn käyttäminen indikaattorina on kuitenkin hieman ongelmallista, vaikka sen muodostumista tapahtuu samanlaisissa olosuhteissa kuin fermentaatiota, koska kaikki fermentaatiossa muodostuneet hajuyhdisteet eivät välttämättä haise. Siksi huomioon pitäisikin ottaa rikkivety sekä tietyt fermentaatiossa muodostuvat yhdisteet (Vollertsen ym. 2006.)



KUVA 5. Periaatekuva anaerobisissa olosuhteissa tapahtuvista prosesseista (HV-Consult Aps 2013).

Fermentaatioissa suuren molekyläärisen painon omaavat yhdisteet, kuten proteiinit, pilkkoutuvat pienemmiksi. Fermentaation tuotteena on helposti haihtuvia yhdisteitä, joilla on pieni molekyläärinen paino (taulukko 4). Niitä ovat esimerkiksi merkaptaanit, skatolit, indolit, epäorgaaniset hapot, aldehydit, ketonit sekä nitraatti- ja rikkiatomeja sisältävät orgaaniset yhdisteet. Fermentaatiota tapahtuu biofilmissä, sedimentissä ja jätevedessä. (Riva & Sacco 2005.)

TAULUKKO 4. Fermentaatioissa muodostuvia yhdisteitä (Hvitved-Jacobsen & Nielsen 2002).

Substance	Compound	Formula	Threshold odor (ppb)
Volatile sulfur compounds (VSCs)	Methyl mercaptan	CH_3SH	1
	Ethyl mercaptan	$\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$	0.2
	Allyl mercaptan	$\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{SH}$	0.05
	Benzyl mercaptan	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{SH}$	0.2
	Dimethyl sulfide	$(\text{CH}_3)_2\text{S}$	1
	Dimethyl disulfide	CH_3SSCH_3	0.3-10
	Thiocresol	$\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SH}$	0.1
Nitrogenous compounds	Methylamine	CH_3NH_2	1-50
	Ethylamine	$\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$	2,400
	Dimethylamine	$(\text{CH}_3)_2\text{NH}$	20-80
	Pyridine		4
	Indole		1.5
	Scatole		0.002-1
Acids (VFAs)	Acetic	CH_3COOH	15
	Butyric	$\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$	0.1-20
	Valeric	$\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$	2-2,600
Aldehydes and ketones	Formaldehyde	HCHO	370
	Acetaldehyde	CH_3CHO	0.005-2
	Butyraldehyde	$\text{C}_2\text{H}_5\text{CHO}$	5
	Acetone	CH_3COCH_3	4,600
	Butanone	$\text{C}_2\text{H}_5\text{COCH}_3$	270

3.3.2 Hajuhaittojen tutkiminen

Hajun esiintymistä ympäristössä voidaan tutkia erilaisilla hajumittauksilla ja selvityksillä. Selvitysmenetelmiä ovat mm. kenttähavainnointi, asukaspaneelitutkimus ja väestökysely. Kenttähavainnoinnissa koulutettu ryhmä havainnoi ympäristössä esiintyvää hajua. Siinä määritetään hajun leviäminen, hajun esiintyminen (% kokonaisajasta) ja

tarvittaessa hajun miellyttävyys ja häiritsevyys. Asukaspaneeli puolestaan on viihtyvyyshaitan suora määrittäminen, missä alueen asukkaat toimivat havainnoitsijoina. Asukaspaneelin avulla määritetään hajun esiintymistiheyttä, hajun leviämistä alueella ja hajun aiheuttamaa viihtyvyyshaittaa. Väestökysely on Gallup-tyyppinen menetelmä mikä tehdään postitse, puhelimitse tai sähköisesti. Menetelmällä saadaan tietoa viihtyvyyshaitasta, hajun leviämisestä ja esiintymistiheydestä. (VTT 2010.)

4 PACS-HAJUNPOISTOYKSIKKÖ

Tässä selvityksessä kuvattu kemikaalin syöttölaitteisto on PACS- hajunpoistoyksikkö (kuva 6), joka on PAC-Solution Oy:n kehittämä suomalainen cleantech- ratkaisu, joka on kehitetty poistamaan kunnallisten jätevesien rikkivety- ja ammoniakkikaasut hapettamalla jätevetä kemiallisesti. PACS- hajunpoistoyksikkö toimitetaan asiakkaalle kokonaisleasingratkaisuna. Hapettavalla kemikaalilla estetään hajukaasujen syntymisen, mutta sen avulla estetään myös viemärien korroosiota sekä parannetaan työturvallisuutta. Kemikaalin vaikutus ulottuu annostelupisteestä jopa 8 km etäisyydelle. (PAC-Solution Oy 2010.)



KUVA 6. PACS -hajunpoistoyksikkö (Pitkonen 2013).

Jäteveteen syötettävä kemikaali on peretikkahapon ja vetyperoksidin kombinaatio. Kemikaali hajoaa vedessä ja hajoamisreaktiossa muodostuu paljon happea, mikä estää anaerobisten bakteerien toiminnan. Kemikaalin hajoamisreaktio on aluksi voimakas, jolloin rikkivedyn aiheuttama haju saadaan poistettua jätevedestä välittömästi. Kemi-

kaali kuitenkin vapauttaa happea jäteveeseen vielä useiden tuntien ajan, jolloin saavutetaan riittävän pitkä vaikutus. (Hentunen 2013a.) Peretikkahappo hydrolysoituu vedessä etikkahapoksi ja vetyperoksidiksi. Peretikkahapon hajoamiseen vaikuttavat pH, lämpötila sekä orgaanisen aineksen määrä. Hydrolyysi nopeutuu lämpötilan kasvaessa. Hajoaminen kiihtyy, kun pH muuttuu emäksiseksi. Myös orgaaninen aines nopeuttaa hajoamista. (Työterveyslaitos 2011b.)

Kemikaalin syöttöyksikön annostelu tapahtuu automaattisella kalvopumpulla (kuva 7) hajunpoistoyksikön vieressä olevaan pumppukaivoon. Annostelu perustuu tässä yksikössä redox -potentiaaliin, paineviemäriinjan pienen virtaaman vuoksi. Ennen kemikaalin syötön aloitusta paineviemäriinjan jäteveden laatua tutkitaan. Annostelutavan ja -paikan valintaan vaikuttavat mm. pumppamoiden sijainti linjalla, viipymä pumppamokaivolla sekä kokonaisvirtaama. (Hentunen 2013a.)

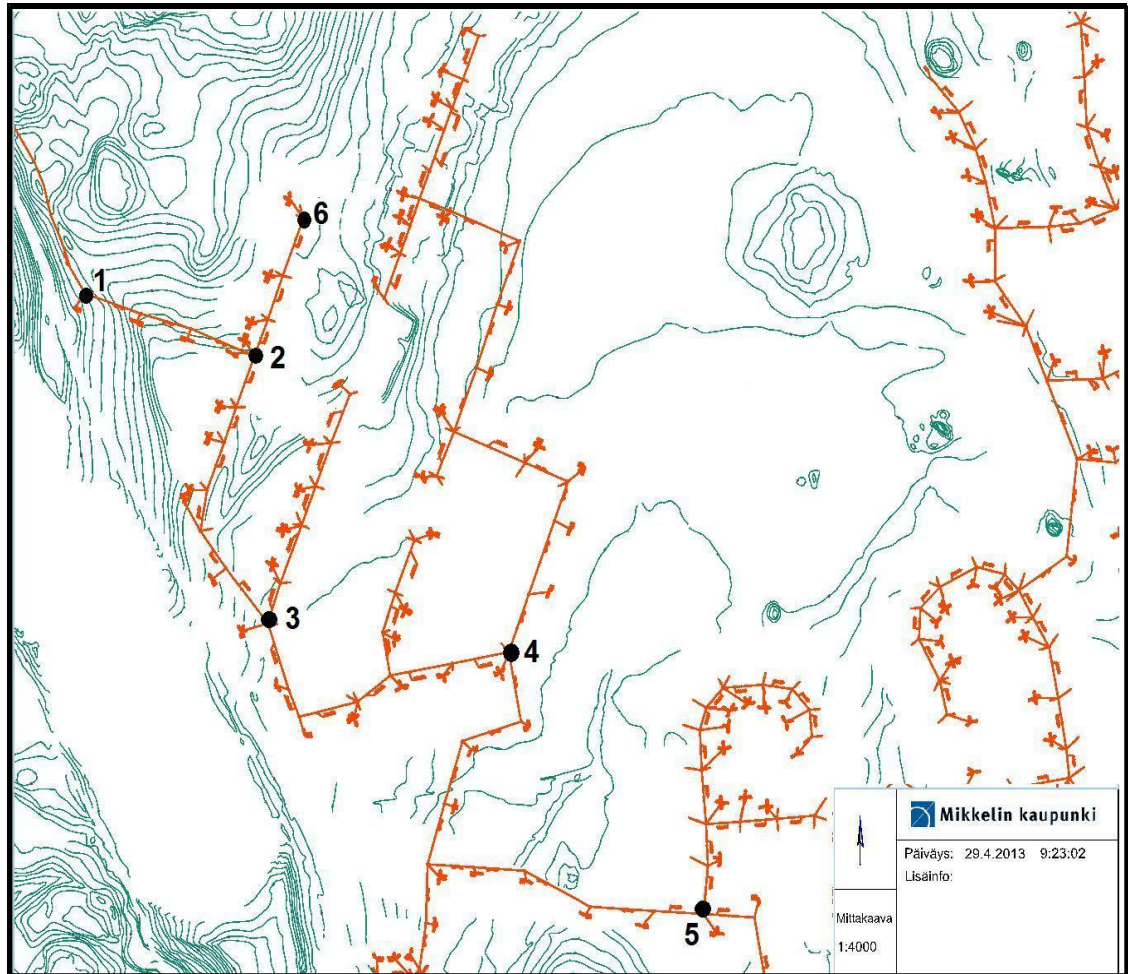


KUVA 7. Kemikaalin syöttölaite (Hentunen 2013b).

5 MITTAUKSET JA MENETELMÄT

5.1 Mittausmenetelmät

Rikkivetypitoisuudet mitattiin Kemiran H₂S-Guard rikkivetymittarilla. Laite mittasi rikkivetypitoisuuden ja lämpötilan ilmasta kerran minuutissa. Laite lähetti tulokset online datana palvelimelle, josta mittaustulokset voitiin noutaa. Mittaukset tehtiin yhteensä kuudessa eri mittauspisteessä (kuva 8). Mittauspisteinä olivat vietto-viemärin tarkastuskaivot. Mittauspisteet valittiin paineviemärin purkupaikalta sopivin välimatkoin ja järjestyksessä vietto-viemäriä pitkin seuraavaa pumpaamo kohden.



KUVA 8. Mittauspisteet ja alueen korkeuskäyrät (StellaWeb 2013).

Kadun päästä valittiin ylimääräinen mittauspiste (kaivo 6) suunnitelmasta poikkeavasti kaivon 5 tilalle, koska ensimmäisen mittauskerran jälkeen todettiin, että rikkivetypitoisuudet olivat kaivossa 5 niin pienet koko mittausjakson ajan, ettei uusintamittausta kannattanut siellä tehdä. Kaivo 6 valittiin kadun päästä siksi, että haluttiin selvittää nouseeko rikkivetyä kadun päässä olevaan kaivoon. Kaivo 6 sijaitsee ylämäessä kaivon 2 nähden. Rikkivetymittari asennettiin tarkastuskaivojen rautaisiin kansiin ketjulla ja voimakkailla magneeteilla. Kaivossa 1 rikkivetymittari kiinnitettiin poikkeuk-

sellisesti vanhan muovisen tuuletusputken päähän, koska kaivon kaulus oli sisäpuolelta muovia ja kaivon kansi liian pieni suurille magneeteille (kuva 9).



KUVA 9. Rikkivetymittari kaivossa 1 (Pitkonen 2013).

Rikkivetymittaukset suoritettiin viikkojen 12–16 aikana. Ensimmäisellä mittauskerralla mittausjaksot olivat viikoilla 12–13 48 tunnin mittaiset kaivoissa 1-4. Kaivossa 5 mittarin annettiin mitata pääsiäisviikonlopun ylitse ja mittausjakso kaivossa 5 oli siten poikkeuksellisesti 7 vuorokautta. Viikolla 14 järjestettiin kemikaalin syötön lopetusko. Kemikaalin syöttö keskeytettiin 2.4.–5.4. väliseksi ajaksi. Kemikaalia syöttävä pumpu käytiin pysäyttämässä manuaalisesti hajunpoistoyksikön kontilla. Viikolla 14 mittausjaksot olivat vain 24 tunnin mittaiset neljässä mittauspisteessä (kaivot 1-3 ja 6). Mittausjakso pidettiin lyhyempänä ennakoitujen hajuhaittojen vuoksi, jotta kokeesta aiheutuva haitta asukkaille olisi mahdollisimman vähäinen. Viikoilla 15–16 tehtiin uusintamittaus, sen jälkeen kun kemikaalin syöttö oli laitettu jälleen päälle. Mittausjaksot olivat jälleen 48 tunnin mittaiset. Rikkivetyä mitattiin tällöin kaivoista 1-4 ja 6. Kaikista mittaustuloksista tehtiin Excel –ohjelmistolla kuvaajat ja laskettiin maksimi-, minimi- ja keskiarvot.

5.2 Hajukysely

Hajukysely suoritettiin läheisen asuinalueen asukkaille hajupäiväkirjan muodossa. Asuinalue valittiin hajukyselyn kohteeksi sen aikaisemman hajuhaittahuuhtelun vuoksi. Alueen asukkaat ovat valittaneet viemärihajun aiheuttamasta hajuhaitasta ennen jäteveden hapettavan kemikaalin syötön aloittamista paineviemäriinjalla. Asukkaiden tekemien hajuhavaintojen perusteella pystyttiin mallintamaan missä hajuhaittoja ilmenee asuinalueella, kun kemikaalin syöttö keskeytetään. Kemikaalin syötön keskeyttämisellä pyrittiin mallintamaan tilannetta, missä kemikaalin syöttölaitteistoon on tullut jokin vika ja kemikaalin syöttöä ei tapahdu. Tällaisia vikatiljoja voivat olla mm. ilmakuplien pääseminen kalvopumppuun, kemikaalin loppuminen sekä sähkölaitteiden vauriot esimerkiksi ukkosen seurauksena.

Jokaiselle asukkaalle lähetettiin saatekirje (liite 1), hajupäiväkirja –lomake (liite 2) sekä palautuskuori. Hajupäiväkirja pyrittiin pitämään mahdollisimman yksinkertaisena ja vähän vaivaa vaativana aikaisemmin tehtyjen hajukyselyiden huonon menestyksen takia. Saatekirjeessä pyrittiin kertomaan selkeästi miksi hajupäiväkirjaa pyydettiin pitämään ja miksi vastaaminen oli tärkeää. Saatekirjeessä kerrottiin myös tarkemmin kokeesta eli mitä tullaan tekemään, kuka tekee ja miksi tekee. Lisäksi pahoiteltiin etukäteen kemikaalin syötön keskeyttämisestä asukkaille mahdollisesti aiheutuvia haittoja. Saaduista tuloksista tehtiin Excelillä kuvaaja sekä taulukoitiin käyttökelpoiset tulokset.

6 TULOKSET JA TULOSTEN TULKINTA

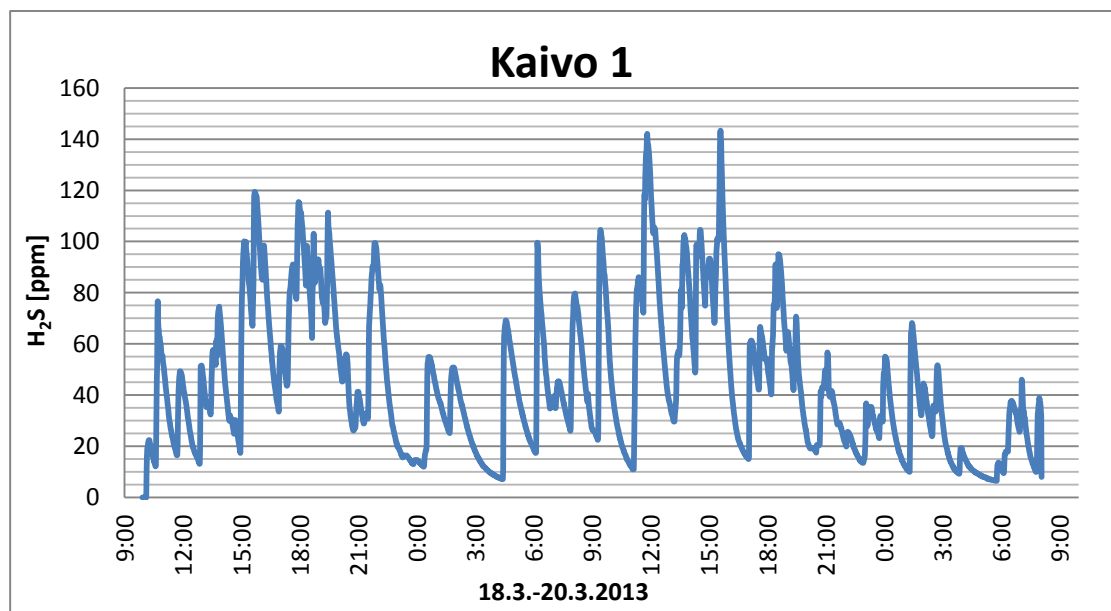
6.1 Rikkivetypitoisuusmittaukset

Mitatut rikkivetypitoisuudet olivat kaivoissa 1-2 ensimmäisen mittauskerran aikana epätavallisen korkeita (kuvat 10-11). Silloin, kun kemikaalin syöttö on päällä ja toimii normaalisti, ei rikkivetyä pitäisi päästä muodostumaan. Syy korkeisiin pitoisuuksiin selvisi, kun huomattiin, että kemikaalin syöttölaitteeseen oli tullut mekaaninen vika. Vika korjattiin välittömästi. Mekaanisesta viasta johtunut kemikaalin syötön estyminen vääristää ensimmäisen mittauskerran mittaustuloksia. Maksimipitoisuus kaivossa 1 oli jopa 143 ppm ja keskiarvo yli 40 ppm ensimmäisellä mittauskerralla. Korkeat pitoisuudet ajoittuvat kaivoissa 1-2 iltapäivälle päivittäin, mikä johtuu todennäköisesti vähäisestä vedenkulutuksesta paineviemäriinjalla päivän aikana. Päivän aikana kerty-

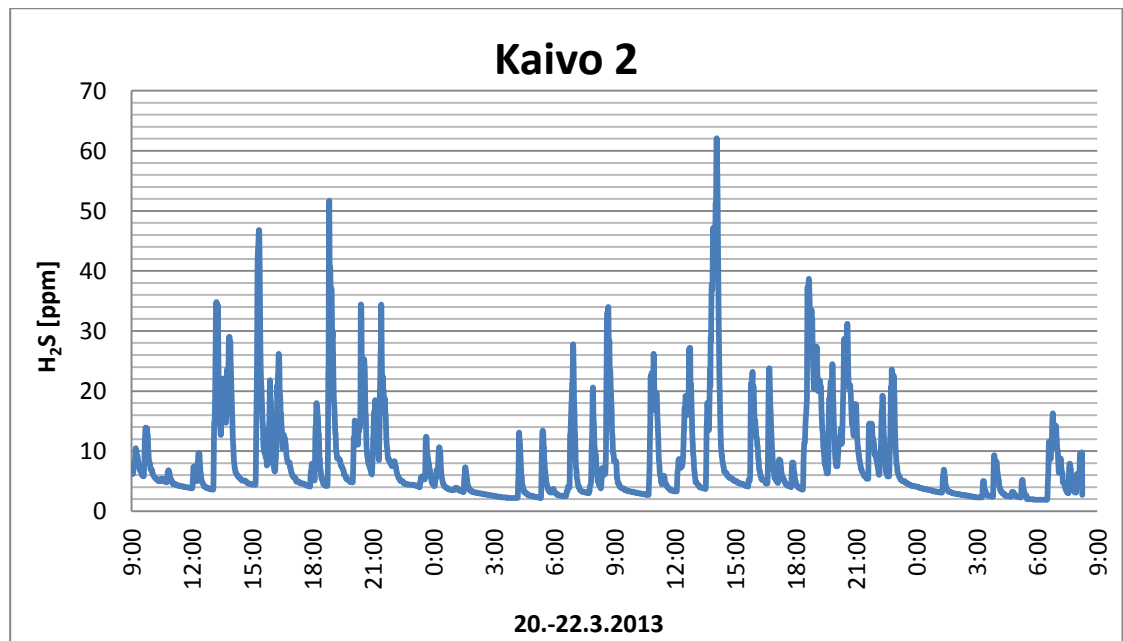
nyt jätevesi on joutunut viipymään paineviemäriin. Viipyneen jäteveden purkautuminen vietto-osuudelle näkyy siten hetkellisinä pitoisuuksien kohoamisina.

Kaivo 2 oli paineviemärin purkupaikalta seuraava mittauspiste. Purkupaikan läheisyys oli havaittavissa selvästi kohonneina pitoisuuksina vielä kaivossa 2 (kuva 11). Mikäli pitoisuudet olisivat näin korkeita jatkuvasti kaivoissa 1-2, ne voisivat aiheuttaa korroosiota, mikäli kyseessä olisi betoninen viettoviemäri. Tässä selvityksessä tutkittu viettoviemäri oli muovia. Muoviputki ei ole altis korroosiolle. Tarkastuskaivot olivat kuitenkin betonisia. Kaivossa 2 oli havaittavissa lievää betonin korroosiota. Myös kaivojen rautaisissa kansissa oli havaittavissa korroosiota.

Näin suuret pitoisuudet ovat vaaraksi työturvallisuudelle. Rikkivetypitoisuuksien ollessa yli 50 ppm, ilmenee polttavaa kipua ja kyynelvuotoa silmissä. Yli 100 ppm pitoisuuksissa ilmenee mm. päänsärkyä, huimasta, pahoinvointia ja sekavuutta. Lisäksi ihmisen hajuhaisti turtuu yli 100 ppm pitoisuuksissa, mikä lisää vakavan myrkytyksen riskiä. Rikkivedyn HTP -arvo 15 minuutin ajalle on 10 ppm. Rikkivety aiheuttaa epämiellyttävää hajua, kun pitoisuudet ovat yli 30 ppm.

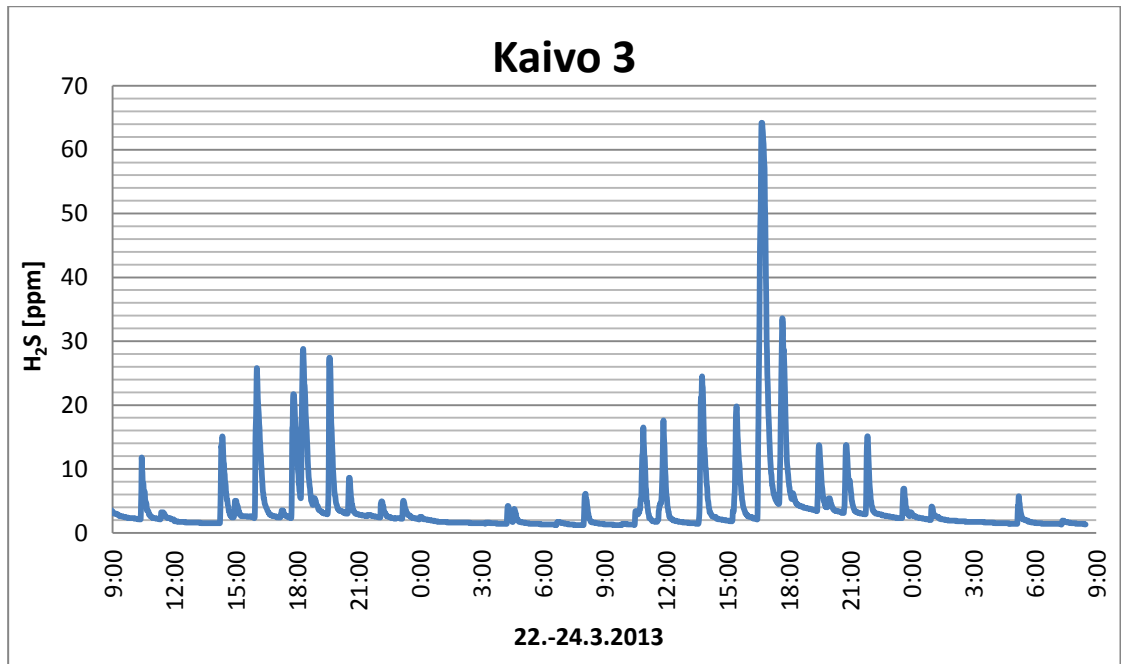


KUVA 10. Rikkivetypitoisuudet kaivossa 1 ensimmäisellä mittauskerralla.

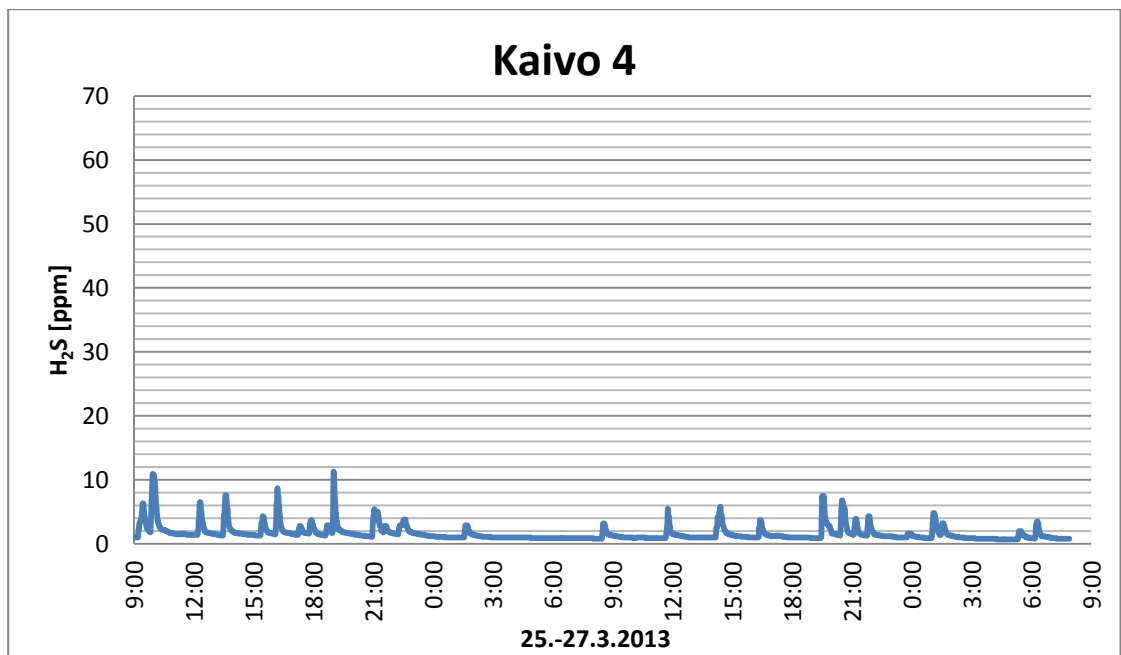


KUVA 11. Rikkivetypitoisuudet kaivossa 2 ensimmäisen mittauskerran aikana.

Kaivossa 3 pitoisuudet (kuva 12) olivat selvästi pienemmät ensimmäisellä mittauskerralla, kuin kaivoissa 1 ja 2. Keskiarvo oli 3,9 ppm ja maksimipitoisuus oli 64,2 ppm. Korkeaan maksimipitoisuuteen voi vaikuttaa toisesta lyhyestä viettoviemärin haarasta tuleva jätevesi. Rikkivetyä pystyy muodostumaan myös viettoviemärissä, mikäli jäteveden virtaus on hidasta ja viemäri on päässyt limoittumaan sekä ilmanvaihto on huono. Mitatut pitoisuudet voivat aiheuttaa lievää hajua. Kaivossa 4 (kuva 13) olivat rikkivetypitoisuudet ensimmäisellä mittauskerralla jo selvästi pienemmät verrattuna kaivoihin 1-3. Kaivoon 4 tulee isommalta alueelta jätevettä ja virtaama kasvaa. Hetkellisesti pitoisuudet olivat kuitenkin niin korkeat, että hajua voisi olla ilmetä. Alueelta ei kuitenkaan ole koskaan raportoitu hajuhaittoja. Hetkelliset pitoisuuksien kohoamiset eivät aiheuta ongelmia, kun viemärin tuuletus toimii oikein. Keskimäärin rikkivetyä oli alle 2 ppm koko ensimmäisen mittauskerran ajan. Alle 2 ppm pitoisuuksista ei ole haittaa.



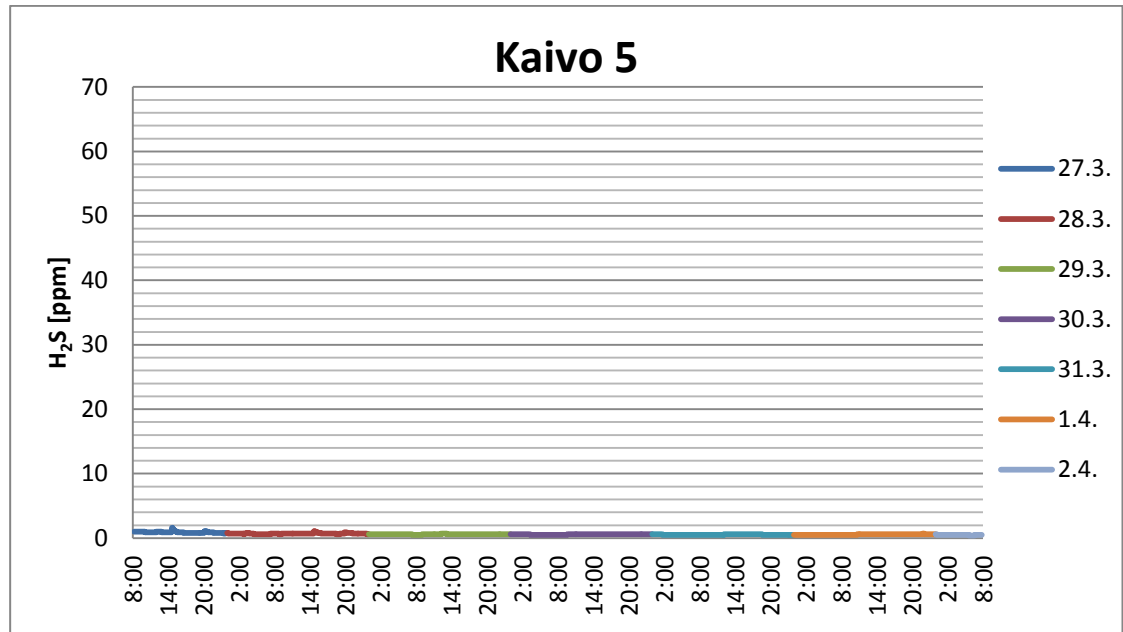
KUVA 12. Rikkivetytitoisuudet kaivossa 3 ensimmäisen mittauskerran aikana.



KUVA 13. Rikkivetytitoisuudet kaivossa 4 ensimmäisen mittauskerran aikana.

Viettoviemäri-osuudelta viimeiseksi valitussa mittauspisteessä eli kaivossa 5 rikkivetytitoisuudet olivat koko mittausjakson ajan alle 2 ppm (kuva 14). Mittausjakso oli paljon pidempi kuin muissa kaivoissa, koska mittarin annettiin mitata kaivossa rikkivetyä poikkeuksellisesti 7 vuorokautta. Kaivo 5 sijaitsee n. 1 kilometrin päässä paineviemärin purkupaikasta eli kaivosta 1. Mittaustulos oli odotetunlainen, sillä kaivoon 5 virtaa paljon enemmän tuoretta, hapekasta jätevettä tiheään rakennetulta omakotitalo

alueelta. Virtaama on paljon suurempi kuin vietto-osuuden alkupäässä. Kaivo 5 on viimeinen suurempi kokoomapiste ennen seuraavaa pumppaamo.



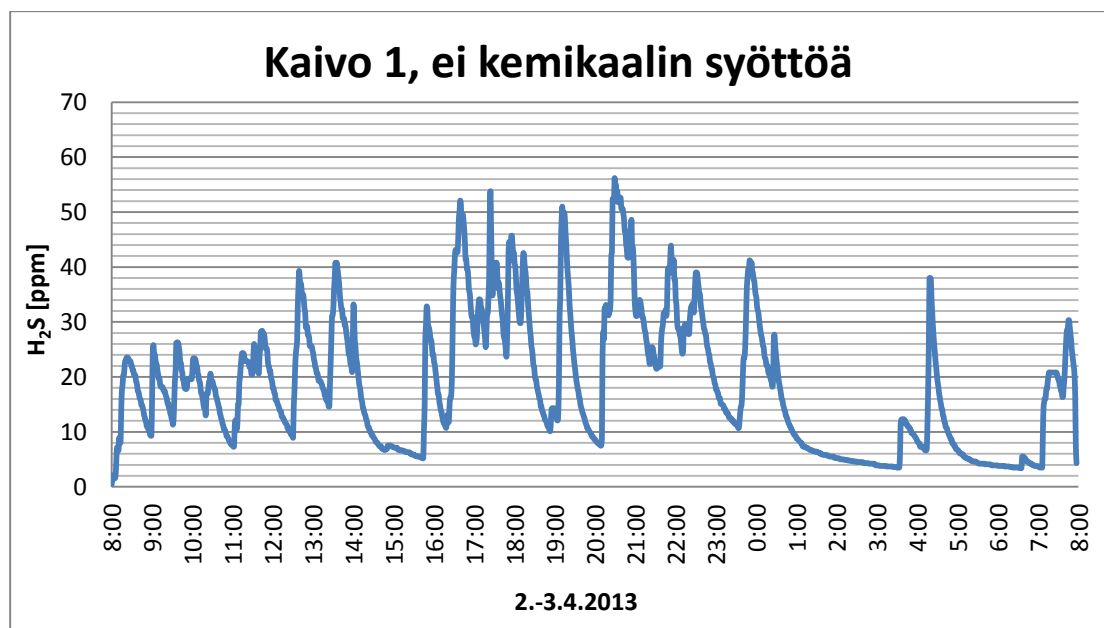
KUVA 14. Rikkivetypitoisuudet kaivossa 5 ensimmäisellä mittausjaksolla.

Pitkän mittausjakson sekä matalien mitattujen pitoisuuksien perusteella ei nähty tarpeelliseksi tehdä uusintamittauksia kaivosta 5. Tulosten perusteella voidaan todeta, ettei paineviemärijalalta purkautuva rikkivetytointinen jätevesi vaikuta enää n. 1 km päässä purkupaikasta. Rikkivedystä ei aiheudu korroosio-, haju- tai terveyshaittoja mitatuissa pitoisuuksissa. Alla olevaan taulukkoon 5 on koottuna ensimmäisen mittausjakson aikana mitattujen rikkivetypitoisuuksien mittausajat sekä maksimi-, minimi- ja keskiarvot mittauspisteittäin.

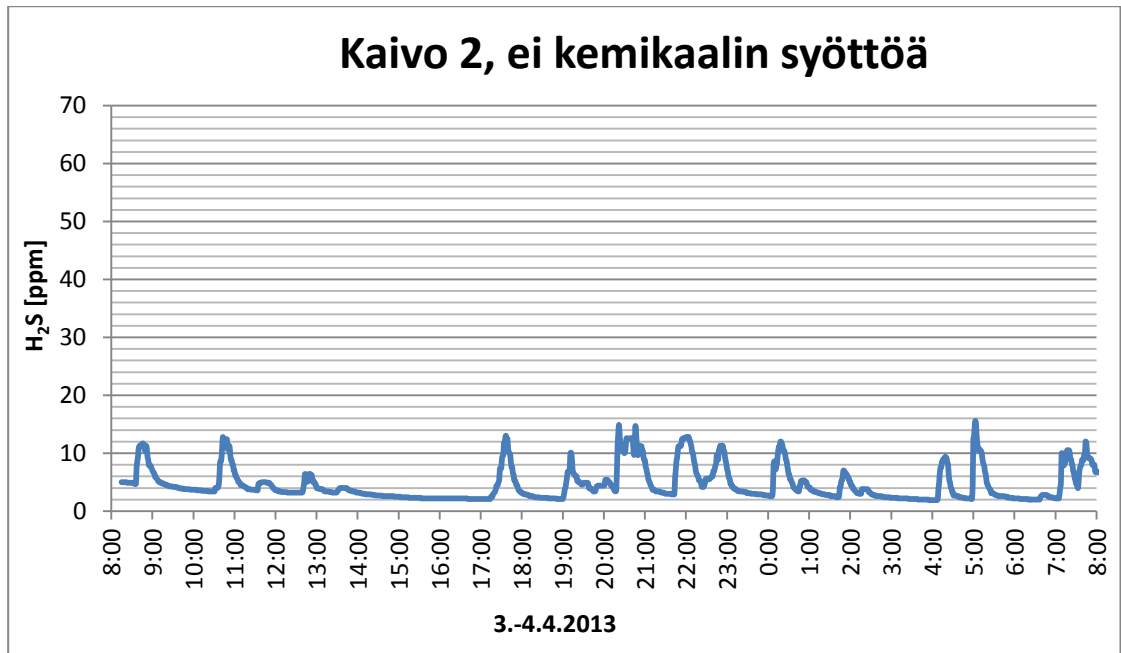
TAULUKKO 5. Rikkivetypitoisuuksien maksimi-, minimi- ja keskiarvot ensimmäisen mittausjakson aikana.

Koe	Kaivo	Mittausaika	Max [ppm]	Min [ppm]	Keskiarvo [ppm]
Kemikaalin syöttö päällä	1	18.3.–20.3.	143,3	5,8	43,5
	2	20.3.–22.3.	62,1	1,9	8,2
	3	22.3.–25.3.	64,2	1,2	3,9
	4	25.3.–27.3.	11,3	0,7	1,6
	5	27.3.–2.4.	1,6	0,4	0,6

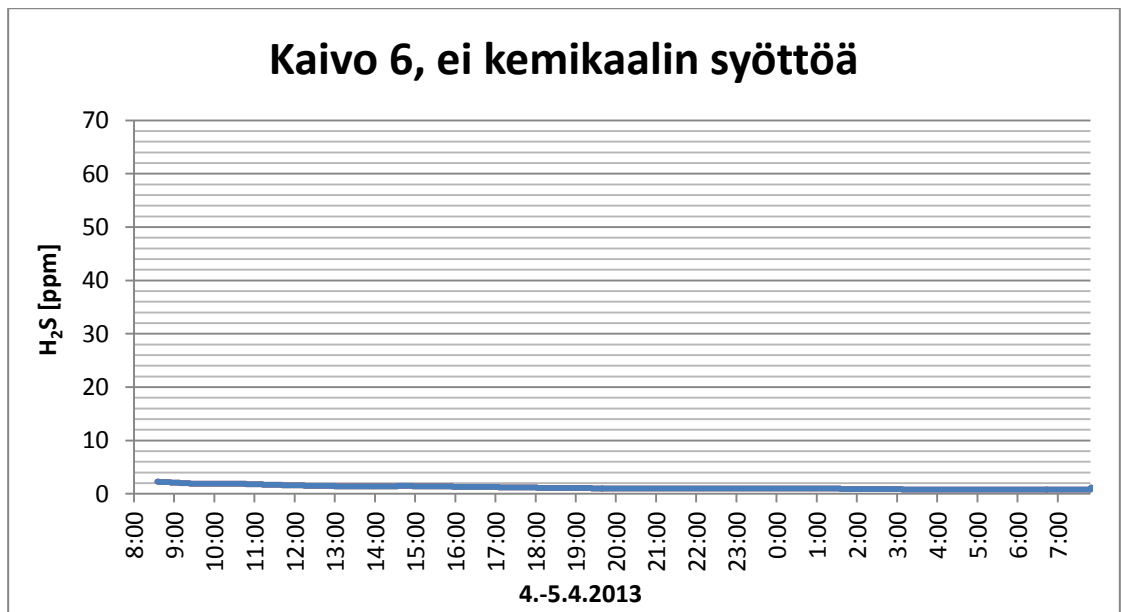
Kemikaalin syöttö keskeytettiin viikolla 14 ja rikkivetytitoisuudet mitattiin kaivoista 1-3 ja 6 (kuvat 15-18). Ensimmäisen mittauskerran perusteella mittaukset suoritettiin vain kaivoissa 1-3, koska kaivoissa 4 ja 5 ei mitattu merkittäviä rikkivetytitoisuuksia. Kaivojen 1-3 lisäksi valittiin mittauspiste 6 kadun päästä, koska haluttiin tutkia nouseeko rikkivetyä kadun päässä olevaan kaivoon. Kaivossa 1 oli odotetusti korkeimmat titoisuudet, maksimi oli 56,2 ppm ja keskiarvo 18,5 ppm. Mitatut titoisuudet olivat kaikissa mittauspisteissä (1-3 ja 6) paljon pienemmät kuin ensimmäisellä mittauskerralla. Syöttölaitteiston mekaaninen vika todennäköisesti vaikutti edelleen myös tähän mittauskertaan. Vika korjattiin heti ja kemikaalia ehdittiin annostella muutama päivä ennen kuin kemikaalin syöttölaitteisto käytiin sulkemassa manuaalisesti. Hitaan virtaaman takia ei voida varmuudella sanoa, onko mittaushetkellä purkautunut jätevesi ollut kuinka hapettunutta. Todennäköisesti kemikaalia on ehditty annostelemaan sen verran, että se vaikuttaa tuloksiin.



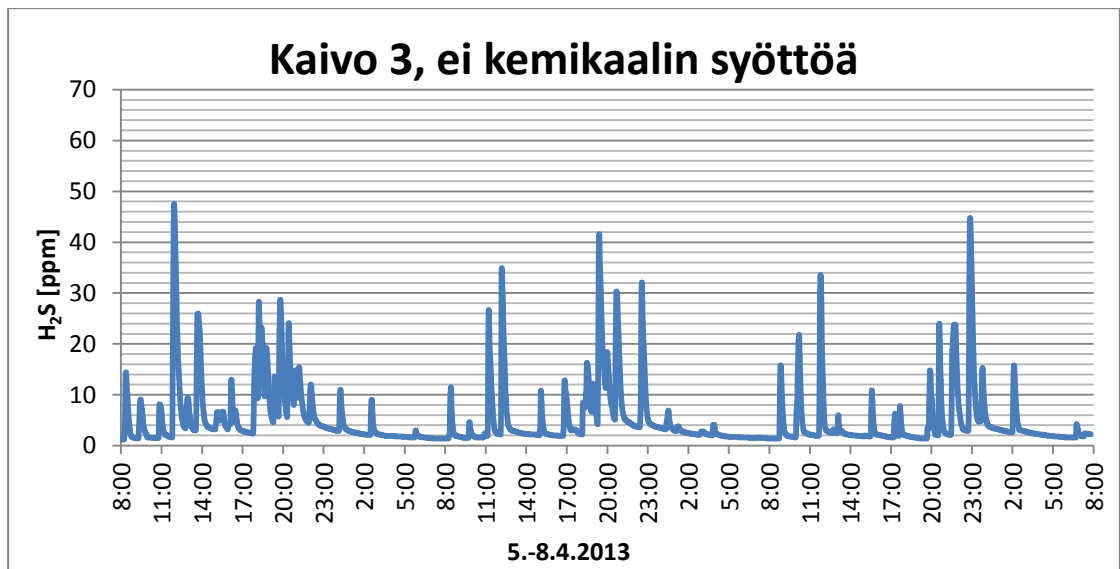
KUVA 15. Rikkivetytitoisuudet kaivossa 1, kemikaalin syöttö pois päältä.



KUVA 16. Rikkivetytitoisuudet kaivossa 2, kemikaalin syöttö pois päältä.



KUVA 17. Rikkivetytitoisuudet kaivossa 6, kemikaalin syöttö pois päältä.



KUVA 18. Rikkivetypitoisuudet kaivossa 3, kemikaalin syöttö pois päältä.

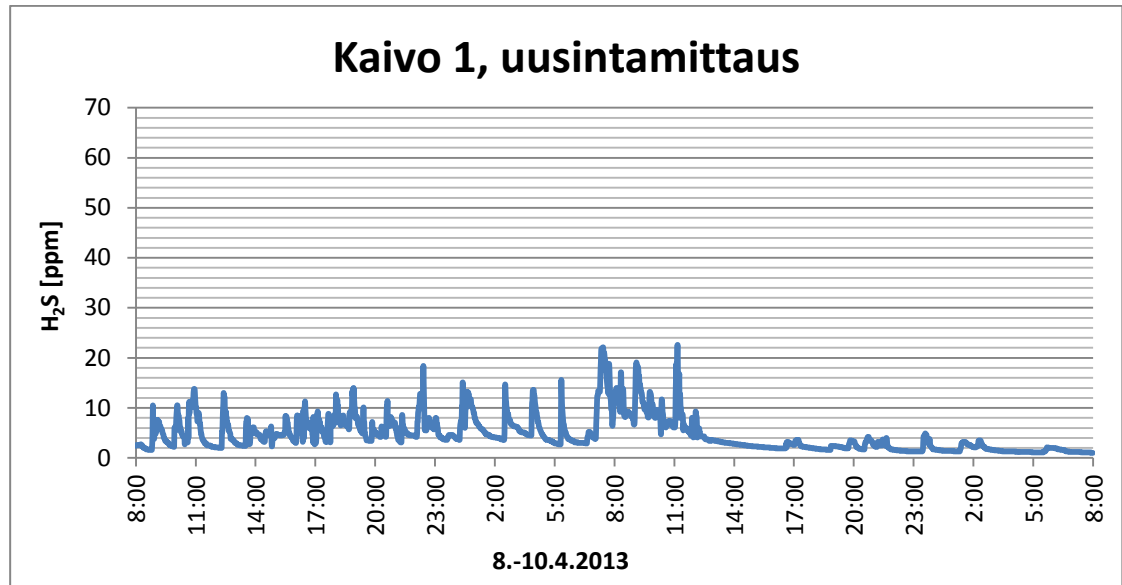
Mitatut pitoisuudet kaivossa 1 voivat aiheuttaa hajuhaittaa. Kaivossa 2 rikkivetypitoisuus oli alle 16 ppm koko mittausjakson, mikä voi aiheuttaa lievää hajua. Kaivossa 3 puolestaan rikkivetypitoisuus oli yli 30 ppm seitsemän kertaa mikä voisi aiheuttaa hajua. Taulukossa 6 on koottuna viikolla 14 tehtyjen mittausten maksimi-, minimi- ja keskiarvot.

TAULUKKO 6. Rikkivetypitoisuuksien maksimi-, minimi- ja keskiarvot kemikaalin syötön lopetuskokeen aikana.

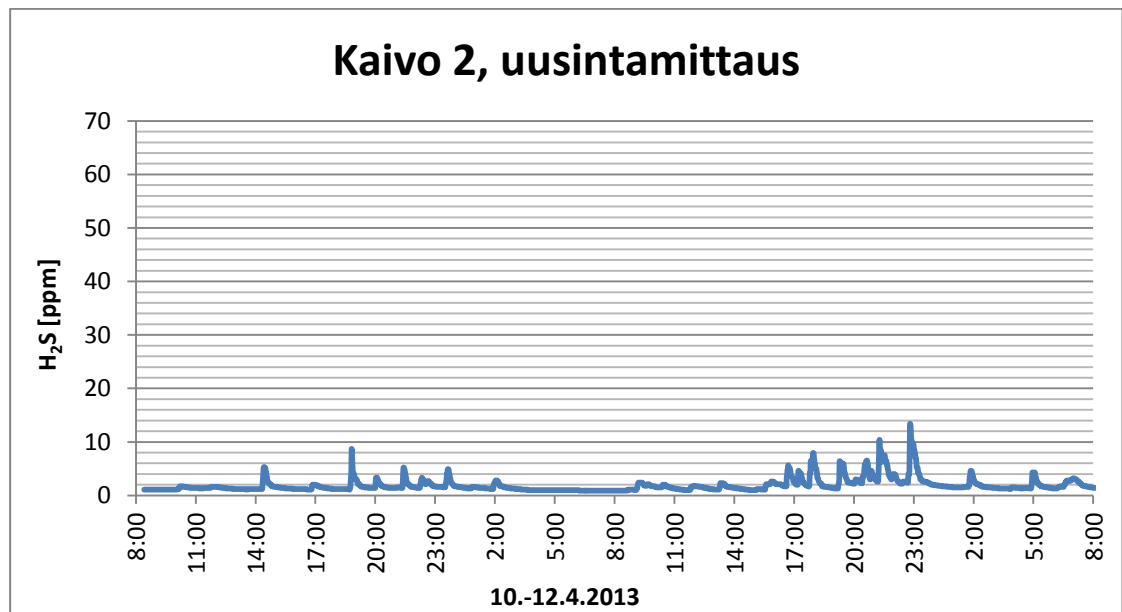
Koe	Kaivo	Mittausaika	Max [ppm]	Min [ppm]	Keskiarvo [ppm]
Kemikaalin syöttö pois päältä	1	2.-3.4.	56,2	0,5	18,5
	2	3.-4.4.	15,6	1,9	4,6
	6	4.-5.4.	2,3	0,8	1,2
	3	5.-6.4.	47,6	1,2	5,1

Uusintamittauksen aikana rikkivetypitoisuudet kaikissa kaivoissa (1-4 ja 6) pienenevät edelleen verrattuna aikaisempiin mittauskertoihin (kuvat 19-23). Kemikaalin syöttö alentaa rikkivetypitoisuuksia selvästi. Erityisesti kaivon 2 pitoisuudet alenivat niin, etteivät pitoisuudet aiheuta enää kuin mahdollisesti lievää hajua. Kaivossa 1 oli edelleen suurimmat pitoisuudet, mutta maksimipitoisuus oli selvästi alempi, nyt vain 22,6 ppm. Pitoisuuksien keskiarvot olivat kaikissa mittauspisteissä alle 5 ppm. Rikkivety-

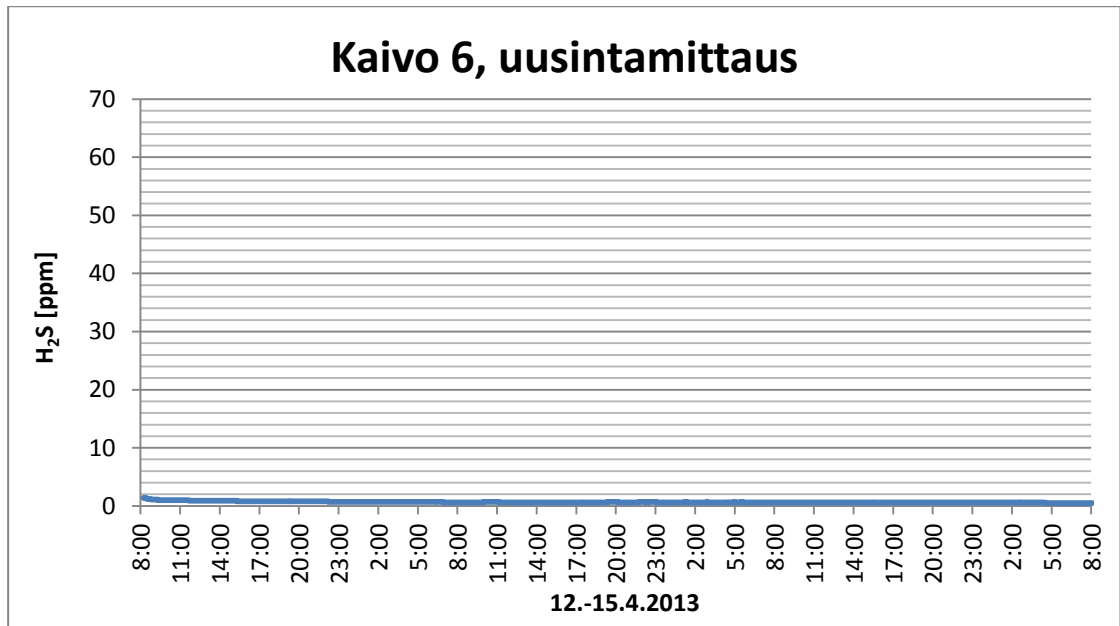
toisuuksien ollessa alle 5 ppm korroosiota ei tapahdu enää merkittävässä määrin. Taulukkoon 7 on kerätty uusintamittauksen ajalta maksimi-, minimi- ja keskiarvot.



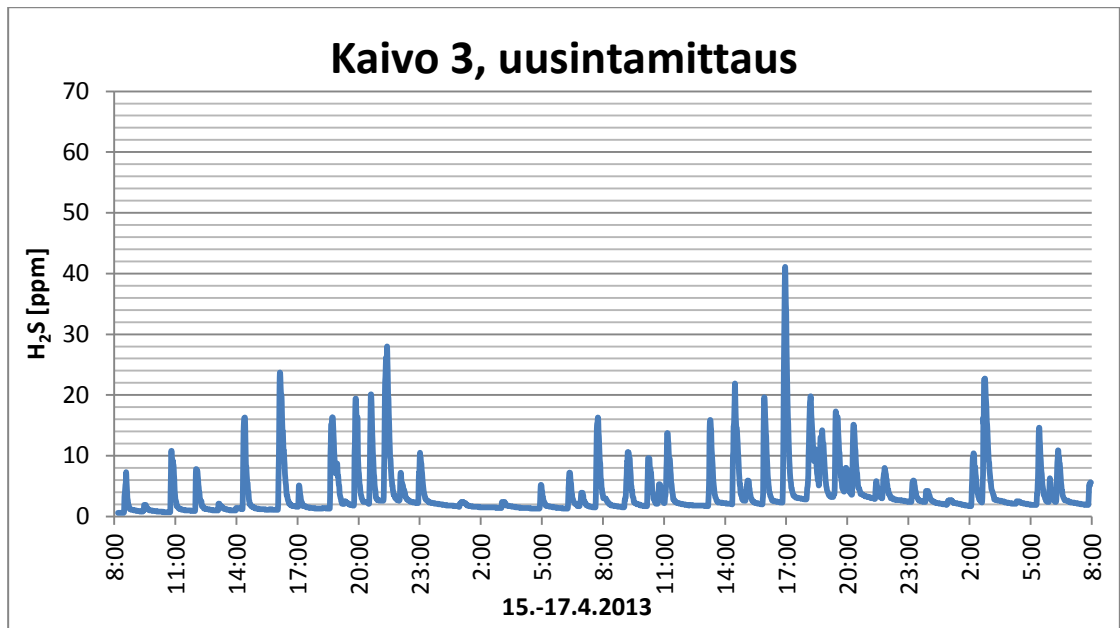
KUVA 19. Rikkivetytitoisuudet kaivossa 1 uusintamittauksen aikana.



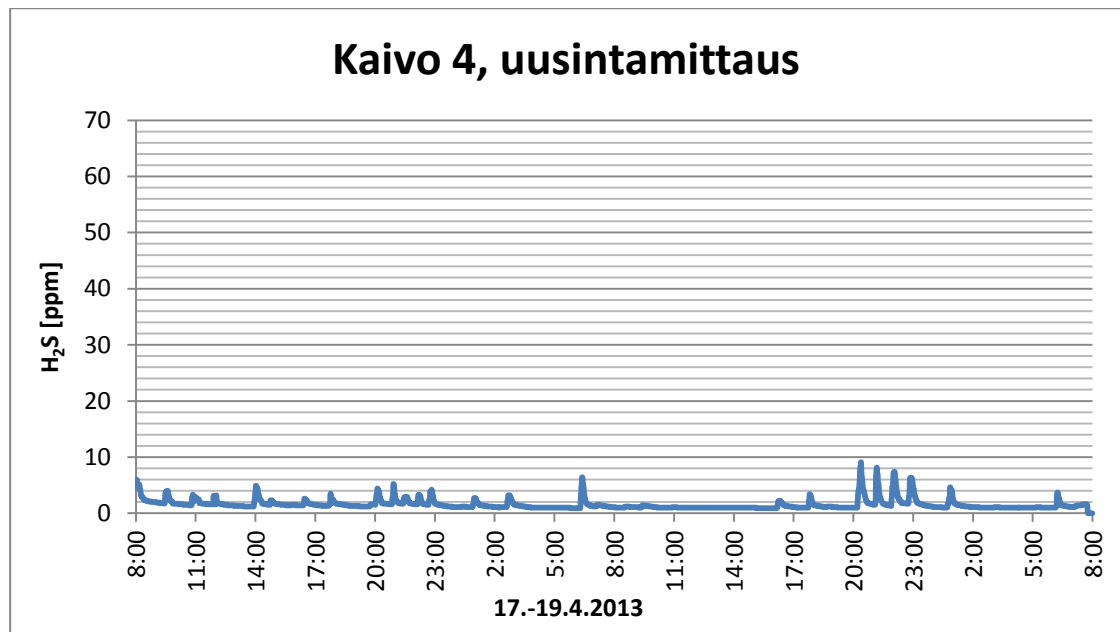
KUVA 20. Rikkivetytitoisuudet kaivossa 2 uusintamittauksen aikana.



KUVA 21. Rikkivetypitoisuudet kaivossa 6 uusintamittauksen aikana.



KUVA 22. Rikkivetypitoisuudet kaivossa 3 uusintamittauksen aikana.



KUVA 23. Rikkivetypitoisuudet kaivossa 4 uusintamittauksen aikana.

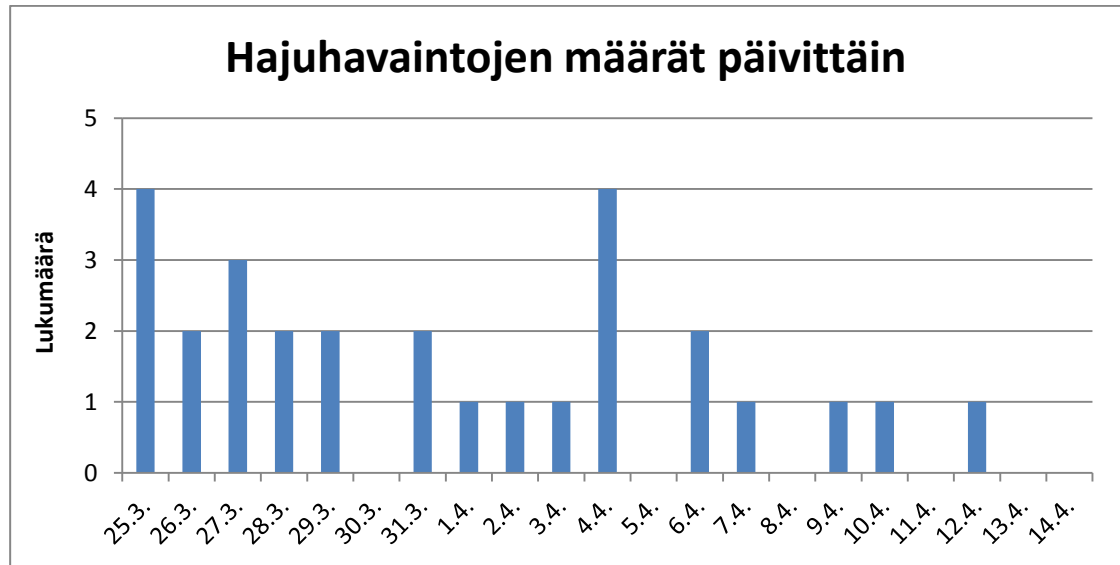
TAULUKKO 7. Rikkivetypitoisuuksien maksimi-, minimi- ja keskiarvot, uusintamittauksen aikana.

Koe	Kaivo	Mittausaika	Max [ppm]	Min [ppm]	Keskiarvo [ppm]
Uusintamittaus (kemikaalin syöttö päällä)	1	8.-10.4.	22,6	1,0	4,6
	2	10.-12.4.	13,4	0,9	1,8
	6	12.-15.4.	1,4	0,5	0,7
	3	15.-17.4.	41,1	0,6	3,7
	4	17.-19.4.	9,1	0	1,5

6.2 Hajukysely

Hajupäiväkirjoja lähetettiin asukkaille yhteensä 11 kappaletta. Palautuneita hajupäiväkirjoja oli 6 kappaletta. Aikaisempien hajukyselyiden huonon menestyksen perusteella ei odotettu näin hyvää hajupäiväkirjojen palautumista. Hajuhavainnointia tehtiin yhteensä 28 kappaletta hajupäiväkirjan pidon aikana viikoilla 13–15 (kuva 23). Yksi palautuneista hajupäiväkirjoista ei sisältänyt mitään havainnointia. Hajupäiväkirjan tulosten perusteella kaikki tehdyt hajuhavainnot sijoituivat kaivon 2 ympäristöön ja kaivolta 1 laskeutuvan rinteiden alapuolella sijaitsevien asuinrakennusten kohdalle. Kaivossa 2 mitatut pitoisuudet vaikuttavat suoraan asuinalueella havaittavaan hajuun. Kaivoon 2 tulee kolmen talon tonttijohdot ja sitä kautta viemäri pääsee tuulettumaan taloputkia

pitkin katoille. Sopivissa sääolosuhteissa, kuten matalapaineella, haju painuu maanpinnalle eikä sekoitu ulkoilmaan ylempänä katutasosta.



KUVA 24. Hajuhavaintojen määrät päivittäin kyselyn aikana.

Kaikkien havaintojen kestoajalta ei ole mitattuja rikkivetypitoisuuksia asuinalueelta. Esimerkiksi 25.3. tehtiin 4 hajuhavaintoa, mutta rikkivetymittari oli silloin kaivossa 4. Rikkivetypitoisuusmittausten perusteella kaivoissa 1 ja 2 ilmeni suurimmat pitoisuudet. Kaivot 3-5 olivat liian kaukana asuinalueesta, jonne hajukysely suoritettiin, joten kaivoista 3-5 mitatuista rikkivetypitoisuuksista ei voida johtaa yhteyttä hajuhavaintoihin. Myös kaivossa 6 tehdyt mittaukset osoittivat, ettei rikkivetyä nouse kadun päässä olevaan kaivoon merkittäviä määriä. Hajukyselyn aikana olisi pitänyt mitata rikkivetyä vain kaivoista 1 ja 2. Kaikkien tehtyjen havaintojen aikana ilmenneitä rikkivetypitoisuuksia ei saatu selvitettyä tällä tutkimuksella. Alla olevassa taulukossa 8 on esitetty hajuhavaintojen aikana mitatut rikkivetypitoisuudet kaivoissa 1,2 ja 6.

TAULUKKO 8. Rikkivetypitoisuudet kaivoissa 1,2 ja 6 hajuhavaintojen aikana.

Päivämäärä	Havaintojen määrä	Mittauspiste	Aika	H ₂ S [ppm]
2.4.	1	1	16:30	39,1
3.4.	1	2	20:30	10
4.4.	4	6	19:10–20:00	1,1
9.4.	1	1	19:30	2
10.4.	1	2	19:30	1,5

12.4.	1	6	10:00	1
-------	---	---	-------	---

Kaivoissa 1,2 ja 6 mitatut pitoisuudet olivat hyvin yllättäviä, kun hajuhavaintoja oli tehty, sillä pitoisuudet olivat hyvin pieniä. Asukkaista vain yksi oli tehnyt hajuhavainnon 2.4., jolloin rikkivetypitoisuus kaivossa 1 oli keskimäärin 23 ppm päivän aikana. Havaintohetkellä pitoisuus oli jopa 39,1 ppm, mikä on pitoisuus, jossa rikkivety aiheuttaa epämiellyttävää hajua. Tutkimusten mukaan rikkivedyn haju on selvästi tunnistettavissa, kun pitoisuus on noin 5 ppm.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kohteeseen purkautuva paineviemäri on n. 11 km pitkä vesiosuuskunnan siirtoviemäri. Viemäriinjalla virtaama on hidask, noin 30 m³/d, joka johtuu matalasta liittyjämäärästä viemäriinjan kapasiteettiin nähden. Jäteveden viipymä pääsee muodostumaan liian pitkäksi. Paineviemäriin on liittynyt myös majoituspalveluilta tarjoava yritys, mikä voi lisätä kuormitusta hetkittäin. Tulosten perusteella kemikaalin syöttö alentaa rikkivetypitoisuuksia merkittävästi viettoviemäriissä. Ilman kemikaalin syöttöä mitatut rikkivetypitoisuudet aiheuttavat hajuhaittoja, betonin korroosiota sekä ovat riski työturvallisuudelle kaivoissa 1-2. Mikäli kemikaalin syöttöä ei tapahdu, läheiselle asuinalueelle aiheutuu hajuhaittaa. Erityisesti kaivon 2 ympäristössä ilmenee hajuhaittoja, kun kemikaalin syöttö keskeytyy. Kadun päästä mitattujen rikkivetypitoisuuksien perusteella voidaan todeta, ettei kaivolta 2 nouse rikkivetyä kadun päässä olevaan kaivoon merkittäviä määriä. Kaivo 2 tuulettuu siihen liitettyjen taloputkien kautta. Paineviemäriiltä purkautuvasta jätevedestä ei nouse rikkivetyä enää n. 300 metrin etäisyydellä purkupaikasta eli kaivolla 3. Tulosten perusteella on aiheellista jatkaa rikkivetypitoisuuksien mittaamista paineellisten siirtoviemärien purkupaikoilla. Pitkien paineviemärien jälkeisten betonisten viettoviemärien määrä ja kunto on suositeltavaa tutkia rikkivedyn aiheuttaman korroosion vuoksi. Jäteveden ominaisuuksien tutkiminen vesianalyysillä sekä virtaaman kehittymisen tutkiminen viemäriinjoilla on ongelma-kohtien paikantamisen kannalta tärkeää. Kemiallisten tekniikoiden avulla pystytään tehokkaasti vähentämään rikkivedyn muodostumista ja siitä aiheutuvia korroosio- ja hajuhaittoja sekä parantamaan työturvallisuutta.

LÄHTEET

Aatola, Laura 2007. Viemärihajujen synty ja hallintamenetelmät. Tampereen teknillinen yliopisto. Ympäristö- ja energiatekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. PDF -dokumentti. http://www.vvy.fi/files/217/Dtyo_Aatola_291207.pdf. Päivitetty 6.11.2008. Luettu 6.3.2013.

Arvonen, Vesa 2013. Vesi- ja viemäriverkostojen kunnossapidon haasteet ja yhteistyön mahdollisuudet ylläpidossa. Vesiosuuskunnat yhteistyöllä eteenpäin. Esitys 21.-22.3.2013. http://putkeenmenee.maveplan.fi/index.php?s=file_download&id=156. Päivitetty 17.3.2013. Luettu 18.4.2013.

Boon, A.G. 1992. Problem of Hydrogen Sulphide in Sewers 2nd edition. PDF -dokumentti. http://www.mullalyengineering.com.au/details.php?p_id=19. Ei päivitystietoja. Luettu 23.3.2013.

Cohn, Sebastian, Hayes, Alysia & Renault, Kristin 2010. The Effect of Substrate Variation on Biofilm Growth for Use in Wastewater Treatment. Worcester Polytechnic Institute. Degree of Bachelor of Science. PDF -dokumentti. <http://www.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-040810-131800/>. Päivitetty 8.4.2010. Luettu 17.4.2013.

Dräger 2013. Kaasunmittauslaitteet. Dräger Pac 3500 -mittari. PDF -dokumentti. http://www.draeger.fi/media/10/03/22/10032298/pac_3500_pi_9046550_en.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 20.4.2013.

Ecobio Oy 2007. Hajuselvitys Naantalissa, Raisiossa ja Turussa 2006-2007. PDF -dokumentti. http://www.raisio.fi/palvelut-a-o/ymparisto-ja-luonto/ilman_laatu/fi_FI/ilman-laatu/. Päivitetty 23.10.2010. Luettu 20.2.2013.

Firer, Dan, Friendler, Eran & Lahav, Ori 2007. Control of sulfide in sewer systems by dosage of iron salts: Comparison between theoretical and experimental results, and practical implications. PDF -dokumentti. http://gwri.ic.technion.ac.il/pdf/gwri_abstracts/2008/35.pdf. Päivitetty 6.2.2013. Luettu 9.4.2013.

Hanski, Jyrki 2013. Vesihuoltoverkon kunnan ja arvon määrittäminen. VTT:n raportteja VTT-R-08119-12. PDF -dokumentti. <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2012/VTT-R-08119-12.pdf>. Päivitetty 23.1.2013. Luettu 26.4.2013.

Hentunen, Johanna 2013 a. Henkilökohtainen tiedonanto 16.4.2013. Operatiivinen johtaja (COO). PAC-Solution Oy.

Hentunen, Johanna 2013 b. Sähköpostikeskustelu 5.3.2013. Operatiivinen johtaja (COO). PAC-Solution Oy.

Hiltunen, Tatu 2012. Rikkivetypitoisuuksien selvitys Mikkelin viemäriverkostossa Porrassalmentien haarassa. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

- HV-Consult Aps 2013. The WATS -model. PDF -dokumentti.
<http://hvcon.com/home/sewer-process-engineering.html>. Päivitetty 5.2.2013. Luettu 29.4.2013.
- Hvitved-Jacobsen, Thorkild & Nielsen, Per Haljaekr 2000. Sulfur transformations during sewage transport. Teoksessa P.N.L Lens & L. Hulshoff Pol (toim.) Environmental technologies to treat sulfur pollution- principles and engineering. London: IWA Publishing.
- Hvitved-Jacobsen, T., Vollertsen, J., Yongsiri, C. Nielsen, A.H. & Abdul-Talib, S. 2002. Sewer microbial processes, emissions and impacts. Sewer processes and Networks. PDF-dokumentti.
<http://ptarpp2.uitm.edu.my/suhaimiabdultalib/fulltext/sewer%20microbial.pdf>. Päivitetty 5.7.2002. Luettu 20.2.2013.
- Jensen, Henriette Stokbro 2009. Hydrogen sulfide induced concrete corrosion of sewer networks. PDF -dokumentti. http://vbn.aau.dk/files/19097739/Henriette_Stokbro-Ph.d.pdf. Päivitetty 13.1.2010. Luettu 19.2.2013.
- Kaluschue, Hilton 2004. Hydrogen Sulfide - Health Effects, Detection and Exposure Prevention. PDF -dokumentti. <http://el.erdc.usace.army.mil/workshops/04jun-wots/kaluschue.pdf>. Päivitetty 31.10.2004. Luettu 11.2.1013.
- Karjala, Rauni 2012. Korroosion esto ja hajujen hallinta putkistoissa ja pumppaamoissa. Esitys. VVY Verkostomestaripäivät 15.2.2012.
- Lahav, Ori, Lu, Yue, Shavit, Uri & Loewenthal, Richard 2004. Modeling Hydrogen Sulfide Emission Rates in Gravity Sewage Collection Systems. Journal of Environmental Engineering. Vol. 130. No.1. PDF -dokumentti. http://gwri-ic.technion.ac.il/pdf/Professors/Ori_Lahav/2.pdf. Päivitetty 6.2.1013. Luettu 17.4.2013.
- Makkonen, Teemu 2008. Biovakka Oy:n biokaasulaitoksen hajujen leviämiselvitys hajupaneelin avulla. Turun Yliopiston Merenkulkualan koulutus- ja Tutkimuskeskuksen julkaisuja B 156. PDF -dokumentti. <http://mkkdok.utu.fi/pub/B156-biovakka.pdf>. Päivitetty 1.7.2008. Luettu 29.4.2013.
- Maveplan Oy 2012. Viemäriverkostojen hajuongelmat. Pilottikohteen esiselvitys. Putkeen menee! –hanke. PDF -dokumentti.
http://putkeenmenee.maveplan.fi/index.php?s=file_download&id=122. Päivitetty 28.9.2012. Luettu 18.4.2013.
- Nielsen, Asbjorn 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. PDF -dokumentti.
<http://www.environmental-expert.com/Files/5306/articles/11723/289.pdf>. Päivitetty 2.10.2206. Luettu 23.3.2013.
- PAC-Solution Oy 2010. PACS- hajunpoistoyksikkö. WWW-dokumentti.
http://www.pacs.fi/?page_id=1281&lang=fi. Ei päivitystietoja. Luettu 20.2.2013.

Parande, A.K., Ramsamy, P.L., Ethirajan, S., Rao, C.R.K. & Palanisamy, N. 2006. Ceterioration of reinforced concrete in sewer environments. Municipal Engineerin. PDF-dokumentti. <http://www.epimax.com.au/files/files/muen.2006.159.1.11.pdf>. Päivitetty 30.1.2009. Luettu 16.4.2013.

Pitkonen, Paula 2013. Kuvamateriaalia. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Ympäristö-tekniikan koulutusohjelma.

Pyykkönen, Olli 2010. Jäteveden orgaanisen kuorman muuttuminen pitkissä viemäri-linjoissa. Oulun yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Vesi- ja geoympäristötekniikka. Diplomityö. PDF -dokumentti. <http://www.oulu.fi/poves/pages/publ/dipl/ollipyykkonen.pdf>. Päivitetty 4.5.2010. Lu-
ettu 17.4.2013.

Qteishat, Omar, Myszograj, Sylwia & Suchowska-Kisielewicz, Monika 2011. Chang-
es of wastewater characteristic during transport in sewer. World Scientific and Engi-
neering Academy Society. Transactions on environment and development Journal.
Issue 11. Volume 7. PDF -dokumentti. [http://www.wseas.us/e-
library/transactions/environment/2011/54-608.pdf](http://www.wseas.us/e-
library/transactions/environment/2011/54-608.pdf). Päivitetty 6.3.2012. Luettu
15.4.2013.

Riva, Giancarlo & Sacco, Anthony 2005. Sewage and Wastewater Odor Control.
PDF-dokumentti. <http://www.spartanwatertreatment.com/odor-control-articles.html>.
Päivitetty 21.10.2009. Luettu 16.4.2013.

Smith, Jordan, Chesler, Gail & Schafer, Perry 2006. Extending pipeline life through
corrosion control optimization with atmospheric hydrogen sulfide monitoring and
caustic slug dosing. PDF -dokumentti. http://www.brownandcaldwell.com/Tech_Papers/1019.pdf. Päivitetty 9.2.2006. Luettu
29.4.2013.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus (1213/2011). WWW-dokumentti.
<http://www.edilex.fi/virallistieto/saaduskokoelma/20111213.pdf>. Luettu 18.4.2013.

StellaWeb 2013. Mikkelin kaupungin paikkatietojärjestelmä. Viemäriverkosto.

Suomen Betonitieto Oy 2003. Betoniviemärit 2003- käsikirja. PDF -dokumentti.
<http://www.betoni.com/Haku?term=betoni+2003>. Päivitetty 3.2.2005. Luettu
14.2.2013.

Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2010. RIL 237-2-2010 Vesihuoltoverkkojen
suunnittelu - Mitoitus ja suunnittelu. Saarijärvi: Saarijärven Offset Oy.

Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2003. RIL 124-1 Vesihuolto I. Helsinki:
Vammalan Kirjapaino Oy.

Tanskanen, Heikki 2013. Henkilökohtainen tiedonanto 11.1.2013. Ympäristösuunnit-
telija. Mikkelin Seudun Ympäristöpalvelut.

Työsuojeluhallinto 2009. HTP -arvojen perustelumuiustioita. PDF -dokumentti.
<http://www.tyosuojelu.fi/upload/perustelumuiustiot.pdf>. Päivitetty 3.9.2009. Luettu
11.2.2013.

- Työsuojelulaki (738/2002). WWW-dokumentti.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738>. Luettu 17.3.2013.
- Työterveyslaitos 2011a. Rikkivedyn OVA- ohje. WWW-dokumentti.
<http://www.ttl.fi/ova/rikkivet.html>. Päivitetty 13.1.2011. Luettu 11.2.2013.
- Työterveyslaitos 2011b. Peretikkahapon OVA- ohje. WWW-dokumentti.
<http://www.ttl.fi/ova/peretikkah.html>. Päivitetty 13.1.2011. Luettu 28.4.2013.
- U.S. Department of Health & Human Services 1997. Toxicological profile for hydrogen sulfide. Public Health Statement. PDF-dokumentti.
<http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp114-c1-b.pdf>. Päivitetty 25.7.2006. Luettu 30.1.2013.
- U.S. EPA = United States Environmental Protection Agency 1985. Desing Manual: Odor and corrosion control in sanitary sewage systems and treatment plants. WWW-dokumentti. <http://www.epa.gov/nscep/index.html>. Ei päivitystietoja. Luettu 24.3.2013.
- Wells, Tony, Melchers, Robert & Bond, Phil 2009. Factors involved in the long term corrosion of concrete sewers. PDF -dokumentti. <https://score.org.au/knowledge-base/publications/theme-1-corrosion>. Päivitetty 15.9.2010. Luettu 27.3.2013.
- WERF = Water Environment Research Foundation 2007. Minimization of odors and corrosion in collection systems. WWW-dokumentti. <http://tools.werf.org/Phase1.aspx>. Ei päivitystietoja. Luettu 10.4.2013.
- Vesilaitosyhdistys 2011. Teollisuusjätevesiöpias: Asumajätevesistä poikkeavien jätevesien johtaminen viemäriin. Suomen Vesilaitosyhdistyksen julkaisusarja nro 50. Helsinki: Copy-Set Oy.
- Vestola, Elina & Mroueh, Ulla-Maija 2008. Sulfaatinpelkistyksen hyödyntäminen happamien kaivosvesien käsittelyssä – Opas louhoskäsittelyn hallintaan. VTT-tiedotteita 2422. PDF -dokumentti.
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2008/T2422.pdf>. Päivitetty 12.2.2008. Luettu 11.4.2013.
- Vincke, Elke, Monteny, Joke, Beeldens, Anne, De Belie, Nele, Taerwe, Luc, Van Gemert, Dionys & Verstraete, Willy 2000. Recent developments in research on biogenic sulfuric acid attack of concrete. Teoksessa P.N.L Lens & L. Hulshoff Pol (toim.) Environmental technologies to treat sulfur pollution- principles and engineering. London: IWA Publishing.
- Vollertsen, Jes, Nielsen, Asbjorn Haaning, Jensen, Henriette Stokbro & Hvitved-Jacobsen, Thorkild 2006. Modelling the formation and fate of odorous substances in collection sewer. Water Environment Foundation. PDF -dokumentti.
<http://www.environmental-expert.com/Files/5306/articles/8737/085.pdf>. Ei päivitystietoja. Luettu 16.4.2013.
- Vollertsen, J., Nielsen, A.H., Jensen, H.S., Rudelle, E.A. & Hvitved-Jacobsen, T. 2011. Modeling the corrosion of concrete sewers. PDF -dokumentti.

<http://web.sbe.hw.ac.uk/staffprofiles/bdgsa/temp/12th%20ICUD/PDF/PAP005127.pdf>
. Päivitetty 30.3.2011. Luettu 28.4.2013.

Yongsiri, Chaturong, S.M.ASCE. Vollertsen, Jes, Hvitved-Jacobsen, Thorkild 2004. Effect of Temperature on Air-Water Transfer of Hydrogen Sulfide. Journal of Environmental Engineering. Vol. 130. No.1. PDF -dokumentti.
<http://www.thaiscience.info>. Päivitetty 16.9.2009. Luettu 17.4.2013.

YSI Environmental 2008. ORP Management in Wastewater as an Indicator of Process Efficiency. PDF -dokumentti. <http://www.yisi.com/media/pdfs/A567-ORP-Management-in-Wastewater-as-an-Indicator-of-Process-Efficiency.pdf>. Päivitetty 1.2.2010. Luettu 10.4.2013.

VTT 2010. Hajuselvitykset. VTT Expert Services Oy. WWW-dokumentti.
http://www.vttexpertservices.fi/service/analytics/odour_survey.jsp. Ei päivitystietoja.
Luettu 29.4.2013.

HAJUHAITAKYSELY ■■■■■ ASUINALUEELLA

Hyvä asukas!

■■■■■ asuinalueella tullaan tekemään viikkojen 12–16 aikana jätevesiviemäreissä esiintyvään rikkivetyyn liittyvää tutkimusta. Tutkimuksen aikana joudutaan katkaistamaan kemikaalin syöttö viikolla 14, pahoittelemme tästä aiheutuvaa haittaa. Tutkimus tehdään Mikkelin Vesilaitoksen ja Mikkelin Seudun Ympäristöpalveluiden teettämänä opinnäytetyönä, jonka suorittaa ympäristötekniikan insinööriopiskelija Paula Pitkonen Mikkelin ammattikorkeakoulusta.

Hajukysely on viihtyisyyshaitan suora määrittäminen, jossa ympäristön asukkaat toimivat havainnoitsijoina. Menetelmän avulla pyritään kartoittamaan viemäriä esiintyvän rikkivedyn aiheuttaman hajuhaitan esiintyvyyttä asuinalueella. Vastaukset ovat tärkeitä niin asukkaiden, opinnäytetyöni sekä Mikkelin Vesilaitoksen että Mikkelin Seudun Ympäristöpalveluiden kannalta hajuongelman seuraamiseksi.

Pyydämme Teitä pitämään hajupäiväkirjaa, johon kirjataan havainnot hajuista viikkojen 13–15 (25.3.- 14.4.2013) aikana. Hajuhavainnot voi kirjata tämän saatekirjeen liitteenä olevaan hajupäiväkirjaan ja palauttaa oheisella valmiiksi maksetulla palautuskuorella **19.4.2013 mennessä** tai ilmoittaa hajuhavainnot suoraan Paula Pitkoselle sähköpostitse osoitteeseen paula.pitkonen@edu.mamk.fi.

Kiitos avustanne!

Paula Pitkonen
Ympäristötekniikan insinööriopiskelija
paula.pitkonen@edu.mamk.fi

Lisätietoja: Ympäristötarkastaja Marita Savo / marita.savo@mikkeli.fi

HAJUPÄIVÄKIRJA

Osoite: _____

Päivämäärä	Hajua havaittu (kellonaika)	Muita huomioita
25.3.		
26.3.		
27.3.		
28.3.		
29.3.		
30.3.		
31.3.		
1.4.		
2.4.		
3.4.		
4.4.		
5.4.		
6.4.		
7.4.		
8.4.		
9.4.		
10.4.		
11.4.		
12.4.		
13.4.		
14.4.		