



20. KESÄKUUTA 2017

Terrafame Oy

Talvivaarantie 66

88120 TUHKAKYLÄ

TERRAFAME OY
RIKKIVEDYN JA RIKKIDIOKSIDIN
LEVIÄMISLASKELMAT
RIKKIHAPPOTEHTAAN PIIPUN PITUUDEN OPTIMOINTI



ENWIN OY, 2017

Kivipöytälan kuja 2

33920 Pirkkala

www.enwin.fi

TIIVISTELMÄ

Terrafame Oy:llä on meneillään ympäristövaikutusten arviointimenettely **Terrafame Oy:n Kaivostoiminnan jatkaminen ja kehittäminen tai vaihtoehtoinen sulkeminen, Sotkamo** (ns. tuotantoYVA ja sen täydennys) Kainuun ELY-keskuksessa.

Tässä työssä mallinnettiin Terrafame Oy:n laitosalueen piippupäästölähteiden (11 kpl) rikkivetypäästöjen (H_2S) leviäminen ja arvioitiin niistä aiheutuvan viihtyvyshaitan suuruutta hajutuntifrekvenssien avulla ($VE0$, $VE0+$, $VE1a$). Rikkivetypäästöt mallinnettiin luparaja-arvopitoisuuksissa $30 \text{ mgH}_2\text{S}/\text{Nm}^3$ sekä vaihtoehtoisesti tilanteessa, jossa päästöt olivat $5 \text{ mgH}_2\text{S}/\text{Nm}^3$ (n. 17% päästöraja-arvoista).

YVA-hankkeen vaihtoehtoissa $VE1b$ ja $VE1c$ on laitosalueelle suunniteltu rikkihappotehdas tuottamaan rikkihappoa bioliuotuksen tarpeisiin. Tässä työssä optimoitiin leviämismallinnuksen avulla uuden rikkihappotehtaan piipun pituus sekä mallinnettiin rikkihappotehtaan ja laitosalueen energiantuotannon rikkidioksidipäästöjen (SO_2) leviäminen. Ilmaan johdettava rikkihappolaitoksen SO_2 -päästön pitoisuus on suunnitelmassa $145 \text{ mgSO}_2/\text{Nm}^3$ ja rikkitrioksidin ja haposumun päästö SO_3 :na $<30 \text{ mg}/\text{Nm}^3$. Mallinuksissa laitosalueen öljykattiloiden rikkidioksidipäästöt ovat ympäristölupapäätöksen mukaisesti 1.1.2018 lähtien maksimissaan $350 \text{ mgSO}_2/\text{Nm}^3$ (3 % O_2).

Tulosyhteenvedot

Kun piippulähteiden rikkivetypäästöt ovat luparaja-arvoissa ($30 \text{ mgH}_2\text{S}/\text{Nm}^3$):

- TRS-yhdisteiden vuorokausiohjearvopitoisuus $10 \text{ } \mu\text{gS}/\text{m}^3$ ylittyisi n. 300-450 m:n säteellä päästölähteiden ympäristössä, tämä pitoisuustaso rajoittuu laitosalueelle.
- Hajutuntifrekvensseinä laskettua $\geq 3 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ hajupitoisuutta esiintyisi yli 2 % vuoden tunnista 1-1.3 km:n etäisyydellä päästölähteistä.
- Voimakkaamman hajun ($\geq 7 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$) hajutuntifrekvenssi ylittää 2 % vuoden tunneista n. 500-800 m:n säteellä päästölähteiden ympärillä.
- Yksittäiset tuntipitoisuudet voivat ylittää ns. hajun viihtyvyshaittana pidetyn hajutuntipitoisuuden $3 \text{ } \mu\text{gH}_2\text{S}/\text{m}^3$ 7-14 kilometrin etäisyydellä laitosalueesta vallitsevan tuulen alapuolella.
- Voimakkaamman hajun ($\geq 7 \text{ } \mu\text{gH}_2\text{S}/\text{m}^3$) yksittäisiä tuntipitoisuuksia voi esiintyä 5-6 km:n säteellä laitosalueen ympäristössä vallitsevan tuulen alapuolella.
- Laitosalueella tuntipitoisuudet voivat maksimipäästöillä olla $40-60 \text{ } \mu\text{gH}_2\text{S}/\text{m}^3$

Kun H_2S -piippulähteiden päästötaso on $5 \text{ mgH}_2\text{S}/\text{m}^3$ (17 % rikkivedyn päästöluparaja-arvoista):

- Rikkivedyn vuorokausipitoisuus olisi $1-2 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ laitosalueen välittömässä läheisyydessä 700-900 m säteellä päästölähteistä (10-20 % vuorokausiohjearvosta).
- Hajutunnit ($\geq 3 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$) keskittyvät laitosalueelle. Yksittäisiä hajutunteja voi esiintyä 1.5-2.7 km:n etäisyydellä päästölähteistä vallitsevan tuulen alapuolella
- Voimakkaamman hajun ($\geq 7 \text{ } \mu\text{gH}_2\text{S}/\text{m}^3$) tuntipitoisuuksia voi esiintyä 300-800 metrin säteellä päästölähteistä.
- Korkeimmat laitosalueen tuntipitoisuudet olisivat $7-10 \text{ } \mu\text{gH}_2\text{S}/\text{m}^3$.

Rikkihappotehtaan piipun pituudeksi suositellaan 60 metrin pituutta. Suositus perustuu H_2SO_4 -tehtaan nykytiedon mukaisiin savukaasun tilan suunnittelutietoihin ja normaalitilan SO_2/SO_3 -päästöihin sekä rikkihappotehtaan pesurin arvioituun lyhytaikaiseen häiriötilannepäästöön. Laitoksen suunnittelun edetessä tulee tarkistaa, että laitoksen takuuarvot ja lupaehdot sekä savukaasun tilan tiedot täyttävät tämän mallinnuksen mukaiset lähtöarvot. Tarvittaessa piipun pituus tulee päivittää, jos päästötietoihin tulee muutoksia.

Rikkidioksidin piippupäästöjen leviämisen aluejakaumakuvat tehtiin rikkihappotehtaan 60 m piipun normaalipäästöillä ja energiantuotannon öljykattiloiden 1.1.2018 voimaan tulevilla SO_2 -päästörajoilla.

- Rikkidioksidin yksittäiset korkeimmat tuntipitoisuudet olivat n. 22 -25 $\mu g/m^3$ ja sijoituivat laitosalueesta lounaaseen ja toisaalta kaakkoon Talvivaaran rinteelle.
- Rikkidioksidin tuntiohjearvoon (250 $\mu g/m^3$) verrannolliset pitoisuudet (99.prosenttipiste) olivat korkeimmillaan n. 14 $\mu g/m^3$ sijoittuen laitosalueelle. Tämä on 5.6 % tuntiohjearvosta.
- Rikkidioksidin vuorokausiohjearvoon (80 $\mu g/m^3$) verrannolliset pitoisuudet olivat korkeimmillaan 10 $\mu g/m^3$ sijoittuen laitosalueelle. Tämä on 12.5 % vrk-ohjearvosta.
- Terrafame Oy:n laitosalueella, kun öljykattilat siirtyvät pois raskaasta polttoöljystä ja polttavat kevytöljyä vuoden 2018 alusta, tulee ulkoilman rikkidioksidin vuosipitoisuus olemaan korkeimmillaan n. 1.3 $\mu g/m^3$. Tämä on 6.5 % kasvillisuuden suojelemiseksi annetusta rikkidioksidin vuosiraja-arvosta tai talviajan kriittisestä tasosta (20 $\mu g/m^3$).

Liitteessä 1 on mallinnuksen lähtötietoina olevat päästötiedot

Liitteessä 2. Rikkivedyn mallinnustulokset aluejakaumakuvina

Liitteessä 3 Rikkidioksidin mallinnustulokset aluejakaumakuvina

Copyright2017©ENWIN OY

Kirjallisuusviitteenä: Tamminen T, Tamminen A. Terrafame Oy:n rikkivedyn ja rikkidioksidin leviämlaskelmat, rikkihappotehtaan piipun pituuden optimointi, Enwin Oy 20.6.2017

Sisältö

TIIVISTELMÄ.....	1
1. Johdanto.....	4
2. Terrafame Oy:n päästölähteet mallinuksissa.....	4
2.1 H ₂ S-päästölähteet (VE0, VE0+, VE1a).....	4
2.2 Rikkihappotehtaan SO ₂ -päästöt (VE1b, VE1c) ja muut SO ₂ -päästölähteet.....	6
3. Leviämismallin lähtötiedot.....	8
4. Vertailuarvoja H ₂ S ja SO ₂ pitoisuuksille ilmassa	9
4.1 Ilmanlaadun raja- ja ohjearvot Suomessa	9
4.2 Hajurikkiyhdisteet viihtyvyyshaitana ja viihtyvyyshaitan arvioiminen	10
4.2.1 Haju- ja viihtyvyyshaitan arviointi Suomessa	10
4.2.2 Epäpuhtauksien hajukynnyksiä	11
4.2.3 Työpaikan haitalliseksi tunnetut pitoisuudet	12
5. Mallinnustulokset.....	13
5.1 Rikkivedyn tunti- ja vuorokausipitoisuudet ja hajutuntifrekvenssit (VE0, VE0+, VE1a)	13
5.2 Rikkivedyn leviäminen ja viihtyvyyshaitta - tulostarkastelu	13
5.3 Rikkihappolaitoksen piipun pituuden optimointi.....	14
5.4 Rikkidioksidin tunti-, vuorokausi- ja vuosipitoisuudet (VE1b, VE1c).....	16
5.5 Rikkidioksidin leviäminen - Tulostarkastelu	17
6. Yhteenveto	17
7. Mallin kokonaisepävarmuuteen vaikuttavia tekijöitä	19
LIITE 1 H ₂ S ja SO ₂ päästötiedot mallissa	20
LIITE 2 ja LIITE 3. Enwin_Terrafame_Leviämislaskelmat_LIITTEET 2-3_14062017.pdf	24

1. Johdanto

Terrafame Oy:llä on meneillään ympäristövaikutusten arviointimenettely **Terrafame Oy:n Kaivostoiminnan jatkaminen ja kehittäminen tai vaihtoehtoinen sulkeminen, Sotkamo** (ns. tuotantoYVA ja sen täydennys) Kainuun ELY-keskuksessa.¹

Tässä työssä mallinnetaan Terrafame Oy:n laitosalueen piippupäästölähteiden rikkivety päästöjen (H_2S) leviäminen ja arvioidaan niistä aiheutuvan viihtyvyshaitan suuruutta (VE0, VE0+, VE1a). Rikkivety päästöt mallinnetaan luparaja-arvopitoisuuksissa $30 \text{ mgH}_2\text{S}/\text{Nm}^3$ sekä vaihtoehtoisesti tilanteessa, jossa päästöt ovat päästökohteissa $5 \text{ mgH}_2\text{S}/\text{Nm}^3$ eli n. 17% päästöraja-arvoista. Rikkivety päästöjen aiheuttamaa viihtyvyshaittaa arvioidaan hajupitoisuuksien levinneisyyden ja hajutuntifrekvenssien perusteella.

Lisäksi työssä optimoidaan leviämismallinnuksen avulla tuotantoYVA:n kohteena olevan uuden rikkihappotehtaan piipun pituus (VE1b ja VE1c) sekä mallinnetaan rikkihappotehtaan ja laitosalueen energiantuotannon rikkidioksidipäästöjen (SO_2) leviäminen.

Päästötiedot on saatu Terrafame Oy:stä, yhteyshenkilönä projektikoordinaattori Jaana Koivumaa. Mallinnukset on Enwin Oy:ssä tehnyt TkL Tarja Tamminen ja FM Ari Tamminen.

2. Terrafame Oy:n päästölähteet mallinuksissa

Nykyisestä metallien talteenotto prosessista vapautuu rikkivetyä (H_2S). Kaasut käsitellään ja puhdistetaan natriumhydroksidin ($NaOH$) avulla ennen niiden johtamista ulkoilmaan (VE0, VE0+, VE1a).

Jatkossa myös metallien talteenottolaitoksen rikkipitoiset kaasut voidaan johtaa pasuttoon poltettavaksi. Kuuma pasuton prosessikaasu johdetaan jätelämpökattilan ja sähkösuutimen jälkeen rikin talteenottoon rikkihappona rikkihappotehtaassa (VE1b, VE1c). Rikkihappotehtaan kaasupesureissa käytetään mm. vetyperoksidia (H_2O_2), jonka avulla rikkidioksidin ilmapäästöjä vähennetään. Rikkihappotehtaan pesureista saadaan laimeaa rikkihappoliuosta, joka voidaan hyödyntää ja kierrättää prosesseissa. / Lähde: YVA-ohjelma/

2.1 H_2S -päästölähteet (VE0, VE0+, VE1a)

Rikkivety päästöjen leviämismallinnuksessa on mukana 11 päästölähdettä kaivosalueelta. Vuonna 2016 mitatut rikkivety päästöt ovat olleet välillä $12\text{--}27 \text{ mgH}_2\text{S}/\text{Nm}^3$. Mallinnukset tehtiin laitoksen ympäristölupapäätöksen päästöluparaja-arvoissa ($30 \text{ mgH}_2\text{S}/\text{Nm}^3$) ja erikseen tilanteessa, jossa rikkivety päästöt olisivat $5 \text{ mgH}_2\text{S}/\text{Nm}^3$ (n. 17 % päästöluparaja-arvosta).

¹ <http://www.ymparisto.fi/fi-fi>

FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi/YVAhankkeet/Terrafame_Oyn_Kaivostoiminnan_jatkaminen_ja_kehittäminen_tai_vaihtoehtoinen_sulkeminen_Sotkamo

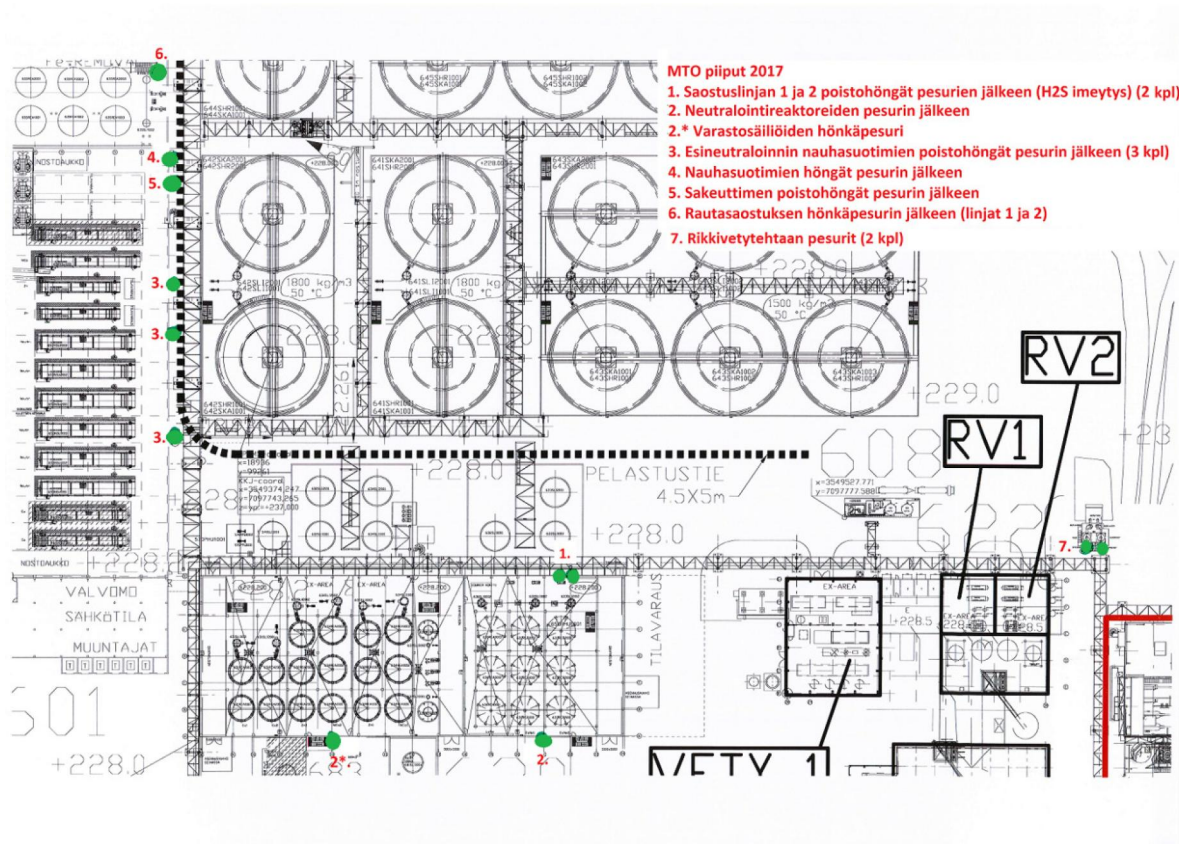
Päästökohteet on esitetty taulukossa 1 ja niiden sijainti laitosalueella on kuvassa 1.

Kohteiden kaasun tilatiedot, piipputiedot ja tarkemmat päästötiedot on esitetty

- **Liitteen 1 Taulukossa 1/L1.**

Rikkivetypäästöt olivat mallinnuksissa 30mg/Nm³ päästötasolla yhteensä 2023 gH₂S/h ja 5 mg/Nm³ päästötasolla 337 g H₂S/h.

Taulukko 1. H₂S Päästölähteet, Terrafame Oy.				
Päästömittaus-numero	Päästömittaus-nimi	Päästölähteen nimi tarkkailu-ohjelmassa	Piippukoodi	Piippujen lukumäärä
1	Saostuslinjat 1 ja 2 (H ₂ S imeytys)	Saostuslinjan poistöhöngät pesurien jälkeen	4003-IPO-150; 4006-IPO-150	2
2	Neutralointireaktori	Neutralointireaktoreiden höngät pesurin jälkeen	4015-KPO-560	1
2*	Varastosäiliöt	Varastosäiliöiden hönkäpesuri	5030-IPO-600	1
3 pohjoisin	Esineutraloinnin nauhasuodin	Esineutraloinnin nauhasuotimien poistöhöngät pesurin jälkeen	1166-IPO-800	1
3 keskim.	Esineutraloinnin nauhasuodin	Esineutraloinnin nauhasuotimien poistöhöngät pesurin jälkeen	1770-IPO-600 (mitattu)	1
3 eteläisin	Esineutraloinnin nauhasuodin	Esineutraloinnin nauhasuotimien poistöhöngät pesurin jälkeen	1166-IPO-800	1
4	Nauhasuodin uuden pesurin jälkeen	Nauhasuodattimien höngät pesurin jälkeen	4952-IPO-600	1
5	Sakeuttimet	Sakeuttimien poistöhöngät pesurin jälkeen	4927-KPO-700	1
6	Rautasaostuslinjat 1 ja 2	Rautasaostuksen hönkäpesurin jälkeen	4030-IPO-400	1
7	Rikkivetytehtaan pesurit	Rikkivetytehtaan pesurit	4038-IPO-400; 4039-IPO-400	2



Kuva 1. Rikkivetypäästölähteet laitosalueella.

2.2. Rikkihappotehtaan SO₂-päästöt (VE1b, VE1c) ja muut SO₂-päästölähteet

YVA-hankkeen vaihtoehtoissa VE1b ja VE1c on laitosalueelle suunniteltu rikkihappotehdas tuottamaan rikkihappoa bioliuotuksen tarpeisiin. Rikkihappotehdas on sijoitettu laitosalueen länsiosaan pasuton kanssa. Pasutto mahdollistaa myös rikkivetypitoisten hönkien polton. Myös täydennys-YVAn mukainen sulatto sijoittuu samalle alueelle. Kuvassa 2 on pasutto, rikkihappotehdas ja sulatto laitosalueella.

Rikkihappotehtaan poistokaasut johdetaan kaksivaiheisen pesurin kautta ilmaan. Ensimmäisessä vaiheessa pesuliuoksena on happotehtaassa syntyvä laimea rikkihappo, joka pesuvaiheen jälkeen palautetaan adsorptiorneihin. Toisessa vaiheessa kaasu käytetään vetyperoksidinliuosta. Ilmaan johdettava kaasumäärä on n. 24500 Nm³/h ja arvioitu SO₂-päästö 145 mgSO₂/Nm³, rikkitrioksidin ja happosumun päästö SO₃:na olisi <30 mg/Nm³.

Mahdollisissa happotehtaan häiriötilanteissa ja prosessin ylös- ja alasajojen aikana pesutornista lähtevän kaasun SO₂ ja SO₃ pitoisuudet saattavat lyhytaikaisesti olla ilmoitettuja suurempia. / Lähde: YVA-ohjelma/

Rikkihappotehtaan arvioidut SO₂-päästöt pesurin jälkeen ja kaasun tilan tiedot ovat

- Liitteen 1 Taulukossa 2/L1.

Piipun pituuden optimoinnin jälkeen mallinnetaan kaikkien laitosalueen rikkidioksidipäästölähteiden ilmanlaatuvaikutukset ympäristössä. Tähän kuuluu laitosalueen energiantuotannon rikkidioksidipäästöt 1.1.2018 tilanteessa, jossa öljykattilat siirtyvät pois raskaan polttoöljyn poltosta ympäristölupapäätöksen mukaisesti. Tällöin öljykattiloiden SO₂-päästöraja-arvo tulee olemaan 350 mgSO₂/Nm³. (ks. PIPO-asetus, VNA 750/2013, alle 50 MW:n energiantuotantoyksiköt Muutos asetukseen 383/2016, olemassa olevien öljykattiloiden päästöraja-arvot, EU-PIPO 2015/2093 (1-50 MW polttolaitokset).

Öljykattiloiden (10 MW:n höyry- ja lämminvesikattilat ja 5 MW:n Adven-öljykattila) SO₂-päästöt ja kaasun tilan tiedot ovat

- Liitteen 1 Taulukossa 3/L1.



Kuva 2. Pasuton, rikkihappolaitoksen ja sulaton sijainti laitosalueella.



Kuva 3. Höyry- ja lämminvesikattiloiden ja Adven- öljykattilan sijoittuminen laitosalueella.

3. Leviämismallin lähtötiedot

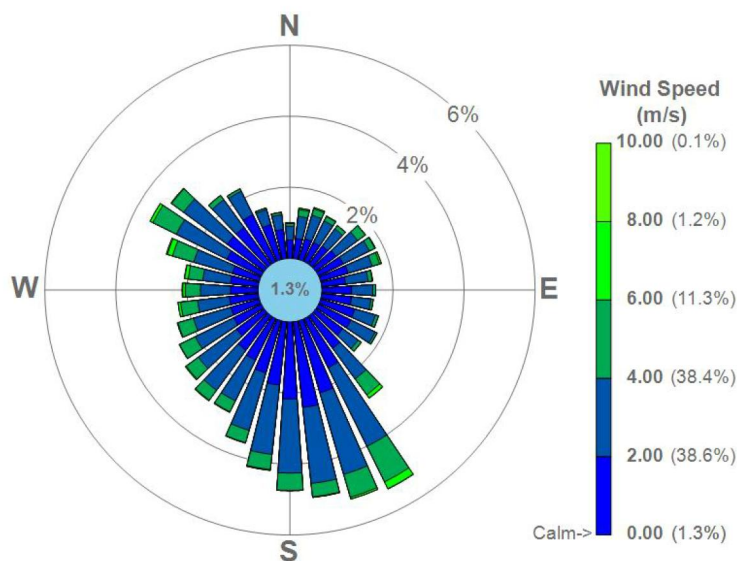
Mallinnukset tehtiin matemaattis-fysikaalisella **AERMOD** -leviämismallinnusohjelmistolla. Malli sopii sekä kaasumaisten että hiukkasmaisten epäpuhtauskomponenttien leviämisen tarkasteluun ja sillä voidaan tarkastella päästölähteiden yhteisvaikutusta alueen ulkoilmapitoisuuksiin.

AERMOD -mallia käytetään laajasti ilmanlaadun selvityksissä ympäri maailmaa. Mallinnustyökalu on Yhdysvaltojen Ympäristönsuojeluviraston (US EPA) hyväksymä ja US EPA tukee jatkuvaa mallin kehitystyötä. AERMOD -malli on myös hyväksytty Euroopan ympäristöviraston EEA:n FAIRMODE-yhteisön mallinnustyökalujen listalle.

AERMOD -mallissa otetaan huomioon mm. maaston muoto todellisten maastokoordinaattien mukaisesti. Myös päästölähteiden lähimmät tehdasrakennukset huomioidaan mallinnuksessa ns. rakennuspainuma (building downwash) sekä tuulen ja savukaasun nopeuseroista johtuva ns. savukaasupainuma (stack tip downwash). AERMOD -malli on avoin dokumentoitu mallinnustyökalu, josta on saatavana ajantasaista lisätietoa US EPA:n sivuilla (www.epa.gov).

Päästöjen leviämistä ja ulkoilmapitoisuuksien muodostumista tarkasteltiin havaintopistejoukossa (x,y,z), jotka sijoitettiin 25-500 metrin välein mallinnettavalle alueelle. Kokonaisuutena laskentapistet ulottuivat n. 20 km:n päähän laitosalueelta. Korkeusmalli oli Maanmittauslaitoksen avointa korkeusmalliaineistoa, jonka pohjalta laskentaverkostot luotiin. Korkeusmallin ja pohjakartan käyttöoikeus ©Maanmittauslaitos.

Mallinnuksessa on käytetty Sotkamon v. 2014-2016 kolmen vuoden tuntisääaineistoa ja vertikaalisia ilmakehän luotautietoja Jyväskylästä. Kuvassa 4 on tuuliruusu Sotkamon sääaineistossa. Pylväs osoittaa mistä tuulee.



Kuva 4. Sotkamon tuuliruusu 2014-2016 sääaineistossa (=pylväs osoittaa mistä tuulee=blowing from), tuulen nopeus (m/s).

4. Vertailuarvoja H₂S ja SO₂ pitoisuuksille ilmassa

4.1 Ilmanlaadun raja- ja ohjearvot Suomessa

Euroopan Unionin *Ilmanlaatudirektiivi (2008/50/EY)* määrittelee Euroopan unionin laajuisen järjestelmän sitovien ilmanlaatu toimien määräämiseksi nimetyille ilmansaasteille. EU:n ilmanlaatuasetus on implementoitu Suomen lainsäädäntöön (**Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta 79/2017**). Asetuksessa on sitovat ilmanlaadun raja-arvot tietyille epäpuhtauskomponenteille, kuten rikkidioksidille (SO₂) (ks. Taulukko 2). **Hajuyhdisteille ei ole asetettu ilmanlaadun raja-arvoja Suomessa tai EU:ssa.**

Taulukko 2. Ilmanlaadun raja-arvot rikkidioksidille (SO₂) sekä kasvillisuuden suojelemiseksi annetut kriittiset tasot (SO₂) (VNA 79/2017)				
Epäpuhtaus	Keskiarvotusaika	Raja-arvo µg/m³ *	Sallittujen ylitysten määrä kalenterivuodessa	Voimaantulo
Rikkidioksidi (SO₂)	tunti	350 µg/m ³	24	1.1.2005
	24 h	125 µg/m ³	3	1.1.2005
Rikkidioksidi (SO₂) kasvillisuus	kalenterivuosi talvikausi (1.10—31.3)	Kriittinen taso 20 µg/m ³	-	15.8.2001

Ilmanlaadulle on annettu Suomessa myös kansallisia ohjearvoja -**Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista, VNp 480/1996**. Ohjearvojen tarkoituksena on ehkäistä ilman epäpuhtauksista aiheutuvat terveydelliset haitat ja luonnon vaurioituminen sekä vähentää viihtyisyyshaittoja.

Suomessa on voimassa ilmanlaadun ohjearvo mm. rikkidioksidille (SO₂) ja pelkistyneille hajurikkiihdisteille (TRS), (VNp 480/1996), (ks. Taulukko 3). TRS-yhdisteet ovat perinteisesti tyypillinen hajukomponenttiryhmä mm. sellutehtaiden ympäristössä. TRS-yhdisteisiin kuuluu myös rikkivety (H₂S). TRS-yhdisteiden terveysperusteinen ilmanlaadun ohjearvo perustuu vuorokausipitoisuuteen, mitä ei kuitenkaan nykyisin pidetä erityisen hyvänä viihtyvyshaitan indikaattorina. Hajurikkiihdisteille on EKI-tutkimusprojektissa vuonna 1991 (*Etelä-Karjalan ilman hajurikkiihdisteet ja terveys, Ympäristöministeriö 1991*².) ehdotettu mm. viitteelliseksi tuntiohjearvoksi tuntikeskiarvoa 10 µg(S)/m³.

Taulukko 3. Ilmanlaadun ohjearvot rikkidioksidille ja TRS-yhdisteille (TRS=pelkistyneet rikkiyhdisteet, total reduced sulfur), Lähde: VNp 480/1996		
Aine	Ohjearvo (20 °C, 1atm)	Tilastollinen määrittely
Pelkistyneet rikkiyhdisteet (TRS, Rikkinä)	10 µg/m ³	kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Rikkidioksidi (SO ₂)	250 µg/m ³ 80 µg/m ³	kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo

² Ympäristöministeriö 1991: Etelä-Karjalan ilman hajurikkiihdisteet ja terveys. Selvitys 94. ympäristöministeriö, ympäristönsuojelunosasto, 64 s.

4.2 Hajurikkiyhdisteet viihtyvyyshaittana ja viihtyvyshaitan arvioiminen

Hajuyhdisteistä aiheutuva haitta on ennen kaikkea viihtyvyyshaitta, jonka ihmisen nenä aistii hyvinkin pieninä pitoisuuksina. Hajuhaitan kokemiseen vaikuttavat hajun laatu, intensiteetti, hajun ajankohta ja kesto sekä mm. yleinen sensitiivisyys, esim. onko asukkaat työn puolesta tekemisissä hajujen kanssa vai eivät. Toisaalta hajun esiintyminen viikonloppuisin tai iltaisin aiheuttaa enemmän hajuvalituksia, koska elämänlaadun vaatimukset ovat korkeammalla vapaa-ajalla.

Ilmanlaadun rikkivedyn tunti- ja vuorokausipitoisuuden ohella rikkivedyn hajun esiintymistä ja mahdollisen viihtyvyshaitan suuruutta voidaan arvioida myös ns. hajutuntien lukumäärän perusteella, **ns. hajun esiintyvyyshäiriönsiinä eli hajutuntien prosenttiosuutena vuoden tunneista.**

Maailman terveysjärjestö (WHO) on antanut suosituksia ulkoilman rikkivetypitoisuudesta perustuen **viihtyvyyshaittaan**. WHO:n suositusten mukaan ulkoilman rikkivetypitoisuuden tulisi alittaa 5 ppb eli $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 30 minuutin keskipitoisuutena, jotta välttyttäisiin hajuhaitoilta.³ WHO:n suositusta mukaillen hajutuntina voitaisiin siten pitää sellaista tuntia, jonka

- **rikkivedyn tuntikeskiarvo on $\geq 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tai**
- **rikkivedyn tuntikeskiarvo $\geq 7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.**
- Vertaamalla näiden kahden hajutuntipitoisuuden esiintyvyyshäiriönsiä saadaan arvio hajun intensiteetistä ja viihtyvyshaitan yleisyydestä kaivosalueen ympäristössä laitoksen päästötasolla.

4.2.1 Haju- ja viihtyvyshaitan arviointi Suomessa

Hajuhaittoja on Suomessa yleisesti arvioitu päästötietojen perusteella asiantuntija-arvioina tai hajun kenttähavainnointiin perustuen asukas- tai asiantuntijapaneelin avulla. Kenttähavainnointit tai asukaspaneelitutkimus soveltuvat olemassa olevien hajuhaittojen nykyhetken arviointiin tiheästi asutuilla alueilla. Uusien toimintojen mahdollisten hajuhaittojen arvioinnissa hajupäästöjen leviämisen mallintaminen on ainoa keino selvittää mahdollisen hajuhaitan laajuutta tai suuruutta.

Suomen lainsäädännössä ei ole TRS:n vuorokausipitoisuuden ohjearvoa lukuun ottamatta ulkoilman hajupitoisuuksia koskevia raja- tai ohjearvoja, eikä viihtyisyshaitalle ole olemassa selvää kriteeriä. Viihtyvyshaittoja käsitellään lainsäädännössä mm. seuraavasti:

- Ympäristönsuojelulain (527/2014) 141 §:n mukaan kaikessa toiminnassa on tavoiteltava sellaista ilmanlaatua, jossa vaarallisia tai haitallisia aineita tai yhdisteitä ei esiinny terveyshaittaa tai merkittäviä muita 5 §:n tarkoitettuja seurauksia aiheuttavina määrinä ilmassa tai laskeumassa.
- Maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999, 54 §) mukaan asemakaava on laadittava siten, että viihtyisyyden ja terveydellisuuden edellytykset täyttyvät.
- Naapurussuhdelain (Laki eräistä naapurussuhteista, 26/1920, 3 §) mukaan kiinteistöstä tai rakennuksesta ei saa aiheutua lähistöllä asuvalle kohtuutonta räsitystä hajusta.

³ Report on the Health Effects of Aldehydes in Ambient Air, Prepared for COMEAP – the Department of Health Committee on the Medical Effects of Air Pollutants

Suomessa VTT on 1990-luvulla tehnyt selvitystä muuttujista, jotka sopisivat hajuohjearvojen perusteiksi (Arnold 1995)⁴. **Tutkimuksessa on esitetty, että ohjearvona voitaisiin käyttää hajun esiintyvyydelle hajufrekvenssiarvoja 3-9 % kokonaisajasta.** Alaraja koski hyvin epämiellyttäviä hajuja ja yläraja koski hajuja, joiden miellyttävyysaste on vaihtelevampi. Esimerkiksi alarajan mukaan 263 tuntina vuodessa "saisi haista", kun taas yläraja merkitsi sitä, että hajua saisi esiintyä enintään 788 tuntina vuodessa. Hajutunnin pitoisuusrajoista erilaisille hajuille ei kuitenkaan ole selkeää yksimielisyyttä.

Hajupäästöissä on useimmiten kysymys useamman hajuyhdisteen seoksesta. Hajujen tutkimusta monimutkaistaa myös se, että usein hajua aiheuttavien komponenttien suhteet vaihtelevat hajupäästöjen yhteydessä ja muuttavat siten edelleen hajun häiritsevyyden subjektiivista kokemista. Myös eri ihmiset mm. paikkakuntalaiset tai vieraspaikkakuntalaiset voivat aistia hajun häiritsevyyden eri tavoin. Viihtyvyyshaitan suuruutta arvioitaessa voidaan huomioda myös hajuväitusten määrä ja esiintyvyys alueella.

4.2.2 Epäpuhtauksien hajukynnyksiä

Yleisimmille TRS-yhdisteille ja rikkidioksidille on kirjallisuudessa esitetty erilaisia hajukynnyksipitoisuuksia. Hajukynnyksipitoisuudet on yleensä määritetty ns. hajupaneelin avulla, joissa tietty määrä koehenkilöitä haistelee tiettyä hajukonsentraatiota. Kun 50 % koehenkilöistä havaitsee hajun, on ko. pitoisuus aineen hajukynnys.

Eri tutkimuksissa on saatu hieman erilaisia hajukynnyksiarvoja samoillekin aineille. Yhteistä TRS-yhdisteiden hajukynnyksille on kuitenkin se, että haju on aistittavissa alhaisissa pitoisuuksissa (ppb, µg/m³). Esimerkiksi rikkivedyn haju varoittaa hyvin terveysvaarasta, mutta hajuaisti kuitenkin turtuu altistumisen jatkuessa ja lamaantuu yli 100 ppm:n (150 mgH₂S/m³) pitoisuuksissa. Rikkidioksidin hajukynnys sen sijaan on korkea eikä se ole hyvä varoitusmerkki terveysvaarasta.

Hajukynnykset (Taulukko 4) on määritetty yleensä puhtaille aineille, kaasuseoksena hajun havaitsemiskynnykset voivat vaihdella riippuen seoksen ainesosien suhteista.

Taulukko 4. Hajukynnyksiä rikkivedylle ja rikkidioksidille (ppb tai ppm ja µg/m³ tai mg/m³)		
<u>Hajukynnyksiä</u>	Rikkivety (H₂S)	Rikkidioksidi (SO₂)
OVA-ohje	8 ppb	1-3 ppm
	11 µg/m ³	3-8 mg/m ³
EPA (H ₂ S) / kirjall.(SO ₂)	0.3 ppb	0.1-4.7 ppm
	0.43 µg/m ³	0.3-12.5 mg/m ³
Pylväläinen M.DI-työ 2005	0.9-8.5 ppb	
	1.3-12 µg/m ³	
PA Odor Threshold limits, EPA LCIA supporting tables, Appendix K (2006), OVA-ohje, Rikkivety,H ₂ S (TTL, 2015) SO ₂ -OVA-ohje (TTL, 2016), Kleinbeck et al 2011,SO ₂ Odor thresholds)		

⁴ Arnold M., 1995 Hajuohjearvojen perusteet, VTT Tiedotteita 1711, Espoo 83 p.

4.2.3 Työpaikan haitalliseksi tunnetut pitoisuudet

Työsuojelumielessä kaasuille on olemassa ns. **haitalliseksi tunnetut pitoisuudet eli HTP-arvot** (15 min ja 8 h, TTL), jotka rajoittavat ilman epäpuhtauspitoisuuksia työpaikoilla. Taulukossa 5 on esitetty TRS-yhdisteiden (rikkivety ja metyylimerkaptani) ja rikkidioksidin työhygieeniset haitalliseksi tunnetut pitoisuudet (HTP-arvot, ppm ja mg/m³). HTP-arvot ovat voimassa työpaikoilla ja työpaikkojen ulkotiloissa. Työpaikkojen HTP-pitoisuudet ovat tyypillisesti 1000-kertaisia verrattuna ilmanlaadun ohje/raja-arvoihin tai viihtyvyyshaitan arvoihin.

Rikkivety (H₂S, CAS no: 7783-06-4) on väritön kaasu, jolla on voimakas mädäntyneen kananmunan haju. Periaatteessa alkuvaiheessa haju varoittaa hyvin terveysvaarasta, mutta altistuksen jatkuessa hajuaisti turtuu hajulle. Korkeissa pitoisuuksissa (n. 100 ppm) hajuaisti lamaantuu täysin eikä haju siten varoita terveysvaarasta.

Rikkidioksidi (SO₂, CAS no:7446-09-5) on väritön, suurina pitoisuuksina pistävänhajuinen ärsyttävä tai syövyttävä kaasu. Rikkidioksidikaasu on ilmaa raskaampaa. Rikkidioksidikaasu ärsyttää silmiä, kosteita ihoalueita ja hengitysteitä aiheuttaen kirvelyä silmissä, kyynelvuotoa, yskää ja suurissa pitoisuuksissa hengitysvaikeuksia. Rikkidioksidin hajukynnys on korkea eikä se varoita terveysvaarasta (vrt Taulukko 4).

Taulukko 5. Työhygieenisiä raja-arvoja (H₂S ja SO₂). Työpaikan ilman haitalliseksi tunnetut pitoisuudet (ppm ja mg/m³). (HTP-arvot; TTL, OVA-ohjeet, 2015 ja 2016)		
Työhygieniä	Rikkivety (H₂S)	Rikkidioksidi (SO₂)
HTP 8h	5 ppm	1 ppm
	7 mg/m ³	2.7 mg/m ³
HTP 15min	10 ppm	4 ppm
	14 mg/m ³	11 mg/m ³

5. Mallinnustulokset

5.1 Rikkivedyn tunti- ja vuorokausipitoisuudet ja hajutuntifrekvenssit (VE0, VE0+, VE1a)

Liitteessä 2 on aluejakaumakuvat rikkivedyn tunti- ja vrk-pitoisuuksista Terrafame Oy:n ympäristössä. Liitteessä on myös 30 mgH₂S/Nm³ raja-arvopäästöillä lasketut hajutuntifrekvenssit.

Tuntikeskiarvot:

Kuva 1/L2. H₂S- tuntipitoisuus (µg/m³), kun rikkivety päästöt luparajoissa (30 mg/Nm³)

Kuva 2/L2. H₂S- tuntipitoisuus (µg/m³), kun rikkivety päästöt n. 17 % luparajoista (=5 mg/Nm³)

Vuorokausikeskiarvot:

Kuva 3/L2. TRS-yhdisteiden vuorokauden ohjearvopitoisuuteen (10 µgS/m³) verrannolliset vuorokausipitoisuudet, kun rikkivety päästöt ovat luparajoissa (30 mg/Nm³)

- TRS:n vuorokausipitoisuuden ohjearvo on 10 µgS/m³ (VNp 480/1996)

Hajun esiintyvyys eli Hajutuntifrekvenssit (% vuoden tunneista)

Kuva 4/L2. Hajutunnit ympäristössä % vuoden tunneista, kun rikkivety päästöt ovat luparajoissa (30 mg/Nm³) ja hajutunniksi on laskettu kaikki tunnit, joiden tuntikeskiarvo on ≥ 3 µg/m³.

Kuva 5/L2. Hajutunnit ympäristössä % vuoden tunneista, kun rikkivety päästöt on luparajoissa (30 mg/Nm³) ja hajutunniksi on laskettu kaikki tunnit, joiden tuntikeskiarvo on ≥ 7 µg/m³.

5.2 Rikkivedyn leviäminen ja viihtyvyyshaitta - tulostarkastelu

Kuvassa 1/L2 päästöluparaja-arvoissa olevien rikkivety päästöjen (päästöt 30 mg/Nm³) leviäminen ympäristöön ja niistä aiheutuvat korkeimmat tuntipitoisuudet. Korkeimmat yksittäiset tuntipitoisuudet voivat ylittää ns. hajun viihtyvyyshaittana pidetyn hajupitoisuuden 3 µgH₂S/m³ 7-14 kilometrin etäisyydellä laitosalueesta vallitsevan tuulen alapuolella. Yksittäisiä voimakkaamman hajun (≥7 µgH₂S/m³) tuntipitoisuuksia voi esiintyä 5-6 km:n säteellä laitosalueen ympäristössä vallitsevan tuulen alapuolella. Laitosalueella tuntipitoisuudet voivat maksimipäästöillä olla 40-60 µgH₂S/m³

Kuvassa 2/L2 on rikkivedyn korkeimmat tuntipitoisuudet ympäristössä, kun laitosalueen piippulähteiden päästötaso on 17 % rikkivedyn päästöluparaja-arvoista eli 5 mgH₂S/m³. Tällöin hajutuntipitoisuutta 3 µg/m³ voi esiintyä 1.5-2.7 km:n etäisyydellä päästölähteistä

vallitsevan tuulen alapuolella. Voimakkaamman hajun ($\geq 7 \mu\text{gH}_2\text{S}/\text{m}^3$) tuntipitoisuuksia voi esiintyä 300-800 metrin säteellä päästölähteistä. Korkeimmat laitosalueen tuntipitoisuudet olisivat 7-10 $\mu\text{gH}_2\text{S}/\text{m}^3$.

Ilmanlaadun TRS-yhdisteiden ohjearvopitoisuus 10 $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ vuorokausipitoisuutena (rikkivetynä ilmaistuna 10.6 $\mu\text{gH}_2\text{S}/\text{m}^3$) ylittyisi raja-arvopäästöillä n. 300-450 m:n säteellä päästölähteiden ympäristössä (Kuva 3/L2). Tämä pitoisuustaso rajoittuisi tehdasalueelle.

Päästötasolla 5 $\text{mgH}_2\text{S}/\text{Nm}^3$ rikkivedyn vuorokausipitoisuus olisi 1-2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ laitosalueen välittömässä läheisyydessä 700-900 m säteellä päästölähteistä (10-20 % vuorokausiohjearvosta).

Hajun aiheuttamaa viihtyvyyshaitan suuruutta arvioitiin ns. **hajutuntifrekvenssien** avulla eli laskettiin sääaineisto ja tuulen suunta huomioiden kuinka monta tuntia vuoden tunneista esiintyisi yli 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hajupitoisuutta ympäristössä tai vastaavasti voimakkaamman hajun, yli 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, hajutunteja. Hajufrekvenssit ilmoitetaan prosentteina vuoden tunneista.

Hajutuntifrekvensseinä laskettuna päästöjen ollessa luparajassa (30 mg/Nm^3) $\geq 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hajupitoisuutta esiintyisi yli 2 % vuoden tunnista 1-1.3 km:n etäisyydellä päästölähteistä. Vastaavasti n. 10 km:n etäisyydellä laitosalueesta hajutuntifrekvenssi olisi n. 0.01 % vuoden tunneista, mikä tarkoittaa, että 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hajupitoisuutta esiintyisi tällä etäisyydellä keskimäärin yhtenä tuntina vuodessa. (Kuva 4/L2)

Päästöluparaja-arvon mukaisilla maksimipäästöillä voimakkaamman hajun ($\geq 7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) hajutuntifrekvenssi ylittää 2 % vuoden tunneista n. 500-800 m:n säteellä päästölähteiden ympärillä sijoittuen tehdasalueelle. (Kuva 5/L2)

Kun rikkivetypäästöt ovat 17 % luparaja-arvoista, hajutunnit ($\geq 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) keskittyvät laitosalueelle. Yksittäisiä hajutunteja voi esiintyä 1.5-2.7 km:n etäisyydellä päästölähteistä vallitsevan tuulen alapuolella (vrt. kuva 2/L2).

5.3 Rikkihappolaitoksen piipun pituuden optimointi

Tässä selvityksessä määritetään päästöjen leviämismallinnuksen avulla uuden rikkihappolaitoksen piipun riittävä pituus huomioiden SO_2 -päästöjen ilmanlaatuvaikutukset ympäristössä. Savukaasun tilan tiedot ja SO_2 -päästötiedot huomioidaan mallissa toiminnanharjoittajan lähtötietojen perusteella. Laitoksen SO_2 -päästöiksi on ilmoitettu 145 $\text{mgSO}_2/\text{Nm}^3$ ja rikkitrioksidi/happosumu ($< 30 \text{ mgSO}_3/\text{Nm}^3$) huomioituna yhteensä n. 170 $\text{mgSO}_2/\text{Nm}^3$. Piipun pituutta optimoitaessa on huomioitu myös rikkihappolaitoksen pesurin häiriötilanne.

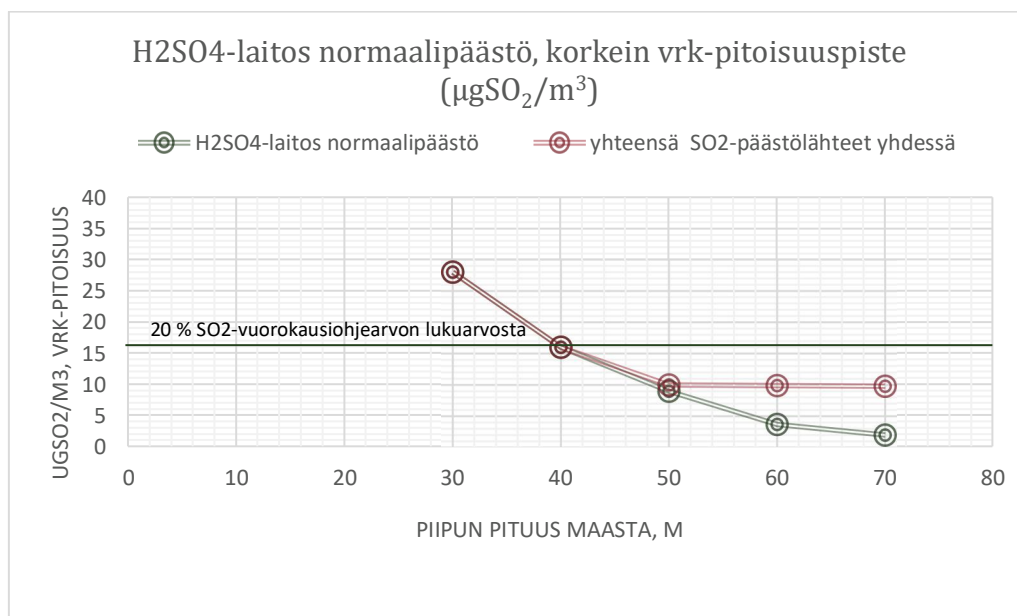
Laitoksen piipun pituuden optimointi tehdään soveltaen PIPO-asetuksen (VNA 750/2013, alle 50 MW:n energiantuotantoyksiköt) reunaehtoja piipun pituuden määrittämiselle leviämismallinnuksen avulla. Savupiippu on PIPO-asetuksen mukaan mitoitettava siten, että yksikkö ei aiheuta yli 20 prosenttia ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista annetussa valtioneuvoston päätöksessä (480/1996) määritellystä ilmanlaadun vuorokausittaisesta ohjearvosta. Lisäksi savupiipun korkeuden ja savukaasun virtausnopeuden savuhormissa tai -hormeissa on oltava sellaiset, että savupainumaa ei synny

normaaleissa käyttöolosuhteissa. Piipun pituuden määrittämisestä esim. suurten yli 50 MW:n polttolaitosten asetuksessa (SUPO-asetus 96/2013) mainitaan ainoastaan, että laitoksen savukaasut on poistettava hallitulla tavalla piipun kautta ulkoilmaan. Piipun korkeus on määritettävä siten, *ettei toiminnasta aiheudu terveyshaittaa taikka merkittävää muuta ympäristön pilaantumista tai sen vaaraa*.

Rikkihappolaitoksia koskevassa BREF-asiakirjassa (IPPC, Reference Document on Best Available Techniques for the Manufacture of Large Volume of Inorganic Chemicals, - Ammonia, Acids and Fertilizers, 2007) ei ole erikseen ohjeistusta piipun pituudelle.

Rikkihappotehtaan rikkidioksidipäästöjen pitoisuudet ulkoilmassa määritettiin erilaisilla piipun korkeuksilla laitoksen normaalitilanteen päästöillä. Kuvassa 5 on normaalipäästöistä aiheutuvat ulkoilman korkeimmat vuorokausipitoisuudet. Kuvassa on rikkihappotehdas yksin ja yhdessä muiden päästölähteiden (energiantuotanto) kanssa.

Kuvasta 5 nähdään, että piipun pituudella alle 50 m korkein vrk-pitoisuus ympäristössä aiheutuu rikkihappotehtaan päästöstä (= korkein pistepitoisuus on sama sekä yksin että yhdessä muiden SO₂-päästölähteiden kanssa). Kun piipun korkeus ylittää 50 m alkaa myös muiden energiantuotannon päästöjen vaikutus näkyä korkeimmissa pistepitoisuuksissa. Korkeimmat pistepitoisuudet sijoittuvat laitosalueelle, kun piipun korkeus on 30-50 m, mikä johtune rikkihappotehtaan suhteellisen matalasta savukaasun lämpötilasta (+40 °C) ja nopeudesta (7.5 m/s) verrattuna esim. energiantuotannon päästöihin. Tällöin päästöjen leviämiseen vaikuttava ns. piippulisä on pienempi. 60 ja 70 metrin piipuilla rikkihappotehtaan korkeimmat vrk-pitoisuudet laskevat selvästi alle 20 % vuorokausiohjearvosta ja sijoittuvat jo kauemmas tehdasalueesta.

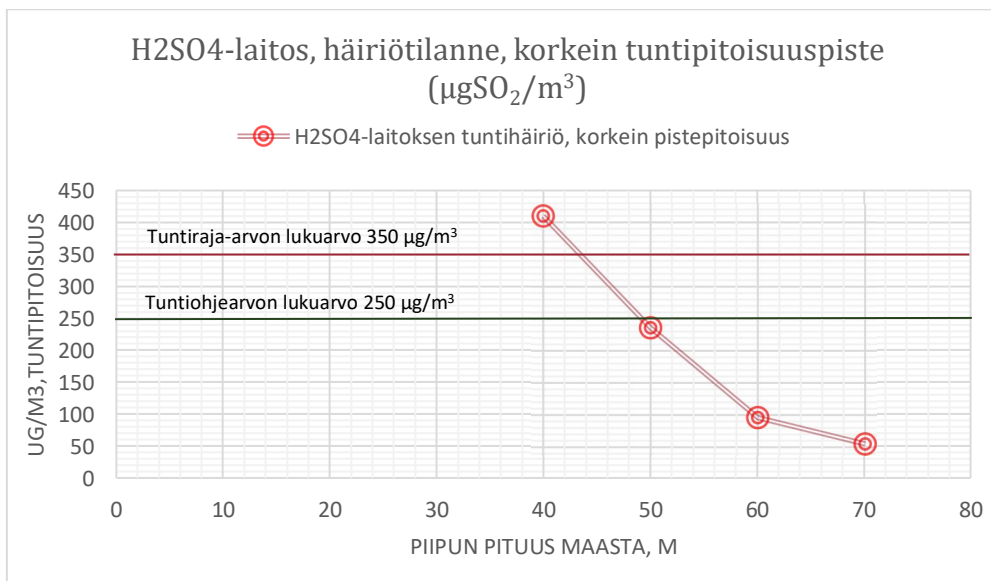


Kuva 5. Rikkihappotehtaan normaalipäästö, ulkoilman korkein vuorokausipitoisuus (µgSO₂/m³).

Kuvassa 6 on rikkihappotehtaan pesurin häiriötilanteesta tehty mallinnus. Häiriössä pesurin reduktioasteen on arvioitu laskevan ja päästön pitoisuutena on mallinnettu häiriöpäästö 1130 µgSO₂/Nm³ eli n. 6.65 -kertainen päästö normaalitilanteeseen verrattuna. Häiriötilanteen

korkeinta ympäristön SO₂:n tuntipitoisuutta on verrattu rikkidioksidin tuntiohjearvon lukuarvoon 250 µgSO₂/m³.

50 metrin piipun pituudella pesurin häiriötilanteessa korkein tuntipitoisuus on ohjearvotasoa 250 µg/m³, mutta jo 60 metrin piipulla korkein tuntipitoisuus ympäristössä putoaa merkittävästi, ollen n. 100 µg/m³. 70 metrin piipulla kuvan 6 käyrä alkaa kaartua, mikä merkitsee sitä, että piipun pituuden lisääminen ei enää merkittävästi laske pitoisuuksia.



Kuva 6. Korkeimmat rikkidioksidin tuntipitoisuudet ympäristössä eri piipun pituuksilla rikkihappotehtaan pesurin arvioidussa häiriötilanteessa.

Rikkihappotehtaan normaalipäästötilanteen ja laitoksen pesurin häiriötilanteen mallinnusten perusteella suositellaan 60 metrin piipun pituutta uudelle rikkihappotehtaalte. Suositus perustuu annettuihin uuden laitoksen päästötietoihin rikkidioksidi- ja rikkitriksidipitoisuuksista, savukaasun tilan tietoihin (Taulukko 2/L1 Liitteessä 1) sekä arvioituun lyhytaikaiseen pesurin häiriötilanteeseen. 60 metrin piipulla ei myöskään lyhytaikaisessa häiriötilanteessa laitosalueen tuntipitoisuus ylittäisi ilmanlaadun ohjearvopitoisuuden lukuarvoa.

Laitoksen suunnittelun edetessä tulee tarkistaa, että laitoksen takuuarvot ja lupaehdot sekä savukaasun tilan tiedot täyttävät tämän mallinnuksen mukaiset lähtöarvot. Tarvittaessa piipun pituus tulee päivittää, jos päästötietoihin tulee muutoksia.

5.4 Rikkidioksidin tunti-, vuorokausi- ja vuosipitoisuudet (VE1b, VE1c)

Liitteessä 3 on rikkidioksidin leviämisen aluejakaumakuvat rikkihappotehtaan ja energiantuotannon päästöillä, kun rikkihappotehtaan piipun pituus on edellä mainittu 60 m. Öljykattiloiden SO₂-päästöt ovat mallissa maksimissaan 350 mgSO₂/Nm³ eli 1.1.2018 luparaja-arvojen mukaiset ja niiden piiput ovat 50 metriä. Mallinnus on tehty toiminnan normaalitilanteessa.

- Kuva 1/L3. Rikkidioksidin korkeimmat tuntipitoisuudet
- Kuva 2/L3. Rikkidioksidin tuntiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet
- Kuva 3/L3. Rikkidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet
- Kuva 4/L3. Rikkidioksidin vuosipitoisuus

5.5 Rikkidioksidin leviäminen - Tulostarkastelu

Terrafame Oy:n rikkidioksidipäästöjen mallinnus tehtiin tilanteessa, jossa laitosalueella olisi pasutto ja uusi rikkihappotehdas (H_2SO_4 -laitos, VE1b, VE1c). Edellä rikkihappotehtaan piipun pituudeksi saatiin 60 m. Kokonaismallissa aluejakamakuviin on mukana myös muut rikkidioksidipäästöjä aiheuttavat laitosalueen energiantuotantoyksiköt (höyrykattila, lämminvesikattila ja höyrykontti). Näiden päästöt olivat mallissa maksimissaan $350 \text{ mgSO}_2/\text{Nm}^3$ eli päästöt öljykattiloiden luparaja-arvoissa 1.1. 2018 lähtien. Rikkihappotehtaan SO_2/SO_3 -päästöt olivat aluejakamamalleissa yhteensä $170 \text{ mgSO}_2/\text{Nm}^3$.

Rikkidioksidin yksittäiset korkeimmat tuntipitoisuudet olivat $n.22 -25 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja sijoituivat laitosalueesta lounaaseen ja toisaalta kaakkoon Talvivaaran rinteelle (Kuva1/L, liite 3).

Rikkidioksidin tuntiohjearvoon ($250 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet (99.prosenttipiste tuntipitoisuuksista) olivat korkeimmillaan $n. 14 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ sijoittuen laitosalueelle. Tämä on $n. 5.6 \%$ tuntiohjearvosta. (Kuva 2/L3, liite 3)

Rikkidioksidin vuorokausiohjearvoon ($80 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset pitoisuudet (2 korkein vrk) olivat korkeimmillaan $10 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ sijoittuen laitosalueelle. Tämä on 12.5% vrk-ohjearvosta. (Kuva 3/L3, liite 3)

Terrafame Oy:n laitosalueella, kun mm. öljykattilat siirtyvät pois raskaasta polttoöljystä kevytöljyyn vuoden 2018 alusta, tulee ulkoilman rikkidioksidin vuosipitoisuus olemaan korkeimmillaan $n. 1.3 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tämä on 6.5% kasvillisuuden suojelemiseksi annetusta rikkidioksidin vuosiraja-arvosta tai talviajan kriittisestä tasosta ($20 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$). (Kuva 4/L3, liite 3)

6. Yhteenveto

Terrafame Oy:llä on meneillään ympäristövaikutusten arvioitimenettely **Terrafame Oy:n Kaivostoiminnan jatkaminen ja kehittäminen tai vaihtoehtoinen sulkeminen, Sotkamo** (ns. tuotantoYVA ja sen täydennys mm. sulaton osalta) Kainuun ELY-keskuksessa.

Tässä työssä mallinnettiin Terrafame Oy:n laitosalueen piippupäästölähteiden (11 kpl) rikkivetyypäästöjen (H_2S) leviäminen ja arvioitiin niistä aiheutuvan viihtyvyshaitan suuruutta hajutuntifrekvenssien avulla (VE0, VE0+, VE1a). Rikkivetyypäästöt mallinnettiin luparaja-arvopitoisuuksissa $30 \text{ mgH}_2\text{S}/\text{Nm}^3$ sekä vaihtoehtoisesti tilanteessa, jossa päästöt olivat $5 \text{ mgH}_2\text{S}/\text{Nm}^3$ ($n. 17\%$ päästöraja-arvoista).

Maailman Terveysjärjestön WHO:n mukaan rikkivetypitoisuus $7 \mu\text{gH}_2\text{S}/\text{m}^3$ puolen tunnin keskiarvona voisi aiheuttaa hajuna viihtyvyyshaittaa ympäristössä. WHO:n määritelmään perustuen hajutunniksi on laskettu $\geq 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tuntipitoisuudet. Lisäksi voimakkaamman hajun hajutuntifrekvenssit on laskettu $\geq 7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pitoisuustasosta. Hajun aistiminen on aina subjektiivinen kokemus ja hajujen aistimisherkyys ja viihtyvyyshaitan kokeminen ihmisillä vaihtelee.

Suomessa voimassa oleva Ilmanlaadun TRS-yhdisteiden ohjearvopitoisuus $10 \mu\text{gS}/\text{m}^3$ ilmaistaan vuorokausipitoisuutena.

Kun rikkivetypäästöt ovat luparaja-arvoissa ($30 \text{ mgH}_2\text{S}/\text{Nm}^3$):

- TRS-yhdisteiden vuorokausiohjearvopitoisuus $10 \mu\text{gS}/\text{m}^3$ ylittyisi n. 300-450 m:n säteellä päästölähteiden ympäristössä, pitoisuustaso rajoittuu laitosalueelle.
- Hajutuntifrekvensseinä laskettua $\geq 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hajupitoisuutta esiintyisi yli 2 % vuoden tunnista 1-1.3 km:n etäisyydellä päästölähteistä.
- Voimakkaamman hajun ($\geq 7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) hajutuntifrekvenssi ylittää 2 % vuoden tunneista n. 500-800 m:n säteellä päästölähteiden ympärillä.
- Yksittäiset tuntipitoisuudet voivat ylittää ns. hajun viihtyvyyshaitana pidetyn hajutuntipitoisuuden $3 \mu\text{gH}_2\text{S}/\text{m}^3$ 7-14 kilometrin etäisyydellä laitosalueesta vallitsevan tuulen alapuolella.
- Voimakkaamman hajun ($\geq 7 \mu\text{gH}_2\text{S}/\text{m}^3$) yksittäisiä tuntipitoisuuksia voi esiintyä 5-6 km:n säteellä laitosalueen ympäristössä vallitsevan tuulen alapuolella.
- Laitosalueella tuntipitoisuudet voivat maksimipäästöillä olla $40-60 \mu\text{gH}_2\text{S}/\text{m}^3$

Kun H_2S -piippulähteiden päästötaso on $5 \text{ mgH}_2\text{S}/\text{m}^3$ (17 % rikkivedyn päästöluparaja-arvoista):

- Rikkivedyn vuorokausipitoisuus olisi $1-2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ laitosalueen välittömässä läheisyydessä 700-900 m säteellä päästölähteistä (10-20 % vuorokausiohjearvosta).
- Hajutunnit ($\geq 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) keskittyvät laitosalueelle. Yksittäisiä hajutunteja voi esiintyä 1.5-2.7 km:n etäisyydellä päästölähteistä vallitsevan tuulen alapuolella
- Voimakkaamman hajun ($\geq 7 \mu\text{gH}_2\text{S}/\text{m}^3$) tuntipitoisuuksia voi esiintyä 300-800 metrin säteellä päästölähteistä laitosalueella.
- Korkeimmat laitosalueen tuntipitoisuudet olisivat $7-10 \mu\text{gH}_2\text{S}/\text{m}^3$.

YVA-hankkeen vaihtoehtoissa VE1b ja VE1c on laitosalueelle suunniteltu rikkihappotehdas tuottamaan rikkihappoa bioliuotuksen tarpeisiin. Tässä työssä optimoitiin leviämismallinnuksen avulla uuden rikkihappotehtaan piipun pituus sekä mallinnettiin rikkihappotehtaan ja laitosalueen energiantuotannon rikkidioksidipäästöjen (SO_2) leviäminen. Ilmaan johdettava rikkihappolaitoksen SO_2 -päästön pitoisuus on $145 \text{ mgSO}_2/\text{Nm}^3$ ja rikkitrioksidin ja haposumun päästö SO_3 :na $<30 \text{ mg}/\text{Nm}^3$. Laitosalueen öljykattiloiden rikkidioksidipäästöt ovat ympäristölupapäätöksen mukaan 1.1.2018 lähtien maksimissaan $350 \text{ mgSO}_2/\text{Nm}^3$ (3 % O_2).

Rikkihappotehtaan piipun pituudeksi suositellaan 60 metrin pituutta. Suositus perustuu H_2SO_4 -tehtaan nykytiedon mukaisiin savukaasun tilan suunnittelutietoihin ja normaalitilan SO_2/SO_3 -päästöihin sekä rikkihappotehtaan pesurin arvioituun lyhytaikaiseen häiriötilanepäästöön. Laitoksen suunnittelun edetessä tulee tarkistaa, että laitoksen takuuarvot ja lupaehdot sekä savukaasun tilan tiedot täyttävät tämän mallinnuksen mukaiset lähtöarvot. Tarvittaessa piipun pituus tulee päivittää, jos päästötietoihin tulee muutoksia.

Rikkidioksidin piippupäästöjen leviämisen aluejakaumakuvat tehtiin rikkihappotehtaan 60 m piipun normaalipäästöillä ja energiantuotannon öljykattiloiden 1.1.2018 voimaan tulevilla SO₂-päästörajoilla.

- Rikkidioksidin yksittäiset korkeimmat tuntipitoisuudet olivat n.22 -25 µg/m³ ja sijoituivat laitosalueesta lounaaseen ja toisaalta kaakkoon Talvivaaran rinteelle.
- Rikkidioksidin tuntiohjearvoon (250 µg/m³) verrannolliset pitoisuudet (99.prosenttipiste) olivat korkeimmillaan n. 14 µg/m³ sijoittuen laitosalueelle. Tämä on 5.6 % tuntiohjearvosta.
- Rikkidioksidin vuorokausiohjearvoon (80 µg/m³) verrannolliset pitoisuudet olivat korkeimmillaan 10 µg/m³ sijoittuen laitosalueelle. Tämä on 12.5 % vrk-ohjearvosta.
- Terrafame Oy:n laitosalueella, kun öljykattilat siirtyvät pois raskaasta polttoöljystä kevytöljyyn vuoden 2018 alusta, tulee ulkoilman rikkidioksidin vuosipitoisuus olemaan korkeimmillaan n. 1.3 µg/m³. Tämä on 6.5 % kasvillisuuden suojelemiseksi annetusta rikkidioksidin vuosiraja-arvosta tai talviajan kriittisestä tasosta (20 µg/m³).

7. Mallin kokonaisepävarmuuteen vaikuttavia tekijöitä

Leviämismallinnuksen kokonaisepävarmuuteen vaikuttaa eniten päästömittausten epävarmuus ja muun päästötiedon mm. savukaasun tilan vaihtelut. Hajun leviämismallinnuksessa päästötietojen epävarmuus on usein suurempi kuin muiden esimerkiksi jatkuvatoimisesti online-mittauksilla määritettävien epäpuhtauskomponenttien epävarmuus. Hajun määrä ja intensiteetti sekä hajuaistimus voi vaihdella huomattavastikin, jos kyseessä on esim. useamman hajukomponentin seos, jossa seossuhteet vaihtelevat.

Lisäksi tuulen suunnan mittausepävarmuus ja aineiston ajallinen edustavuus, mm. päästövaihtelut vuoden aikana vaikuttavat mallinnuksen epävarmuuteen. Kolmen vuoden meteorologinen aineisto mallinuksissa sisältää yli 26000 erilaista säätuntia, joten erilaiset sääolosuhteet tulevat kattavasti ja monipuolisesti huomioitua nykyaikaisissa leviämismallinuksissa. Myös maaston muodon ja rakennuskannan huomioiminen päästölähteiden ympärillä parantaa mallinnuksen luotettavuutta.

Valtioneuvoston asetuksessa ilmanlaadusta (VNA 711/2001, asetuksen Liite 4) on esitetty minimilaatutavoitteet eri ilmanlaadun seurantamenetelmille. Yleisimpien ilman epäpuhtauksien, kuten rikkidioksidin, mallintamisen sallittu epävarmuus on tunti-arvoille 50-60 %, 24 tunnin arvoille 50 % ja vuosiarvoille 30 %.

LIITE 1 H₂S ja SO₂ päästötiedot mallissa

Taulukko 1/L1. Rikkipetypäästölähteet Terrafame Oy.										
Päästömittaust numero	1	2	2*	3 pohjoisin	3 keskim.	3 eteläisin	4	5	6	7
Päästömittaust nimi	Saostus- linjat 1 ja 2 (H ₂ S imeytys)	Neutralointi- reaktori	Varasto- säiliöt	Esineutra- loinnin nauhasuodin	Esineutra- loinnin nauhasuodin	Esineutra- loinnin nauhasuodin	Nauhasuo- din uuden pesurin jälkeen	Sakeutti- met	Rautasaostus- linjat 1 ja 2	Rikkipety- tehtaan pesurit*
Päästölähteen nimi tarkkailu- ohjelmassa	Saostuslinjan poistohöngät pesurin jälkeen	Neutralointi- reaktoreiden höngät pesurin jälkeen	Varasto- säiliöiden höngkäpesuri	Esineutraloinnin nauhasuotimien poistohöngät pesurin jälkeen	Esineutraloinnin nauhasuotimien poistohöngät pesurin jälkeen	Esineutraloinnin nauhasuotimien poistohöngät pesurin jälkeen	Nauhasuoda ttimien höngät pesurin jälkeen	Sakeuttimien poistohöngät pesurin jälkeen	Rauta- saostuksen höngkäpesurin jälkeen	Rikkipety- tehtaan pesuri
Päästö- lähteiden lukumäärä	2 kpl	1 kpl	1 kpl	1/3 pohjoisin	2/3 keskimäinen	3/3 eteläisin	1 kpl	1 kpl	1 kpl	2 kpl; 1 kerrallaan käytössä, toinen varalla
Piippukoodi	4003-IPO- 150; 4006- IPO-150	4015-KPO-560	5030-IPO- 600	1166-IPO-800	1770-IPO-600 (mitattu)	1166-IPO-800	4952-IPO- 600	4927-KPO- 700	4030-IPO-400	4038-IPO-400, 4039-IPO-400
Virtausnopeus	m/s	8.0	4.9	5.8	9.9	5.8	8.8	9.7	9.4	8.0
Putken/ piipun halkaisija	mm	560	600	800	600	800	600	700	500	2x400
Päästölähteen /piipun pituus maasta	m	34	38.7	20.5	21.5	22.5	26	24	23.1	12.3

6/2017

LIITE 1

Päästömittaus numero	1	2	2*	3 pohjoisin	3 keskim.	3 eteläisin	4	5	6	7
Päästömittaus nimi	Saostus- linjat 1 ja 2 (H ₂ S imeytys)	Neutralointi- reaktori	Varasto- säiliöt	Esineutra- loinnin nauhasuodin	Esineutra- loinnin nauhasuodin	Esineutra- loinnin nauhasuodin	Nauhasuo- din uuden pesurin jälkeen	Sakeutti- met	Rautasaostus- linjat 1 ja 2	Rikkipöly- tehtaan pesurit*
Lämpötila	°C	45	45	35	20	35	35	40	40	40
Mitattu virtaus	Nm ³ /s	2	1.2	2.6	2.6	2.6	2.2	3.3	1.6	0.88
Mitattu virtaus	Nm ³ /h	6120	4320	9360	9360	9360	7920	11700	5760	3950
Tilavuus- virtaus tostitila	m ³ /s	1.981	1.398	2.935	2.792	2.935	2.483	3.728	1.835	1.01
Mitattu päästön H ₂ S- pitoisuus v. 2016	mg/Nm ³	<12-19	<17	<16-19	<16-19	<16-19	<18	<17-27	<13-16	
Mitattu päästö v. 2016	g/h	<114	<103	<161-165	<161-165	<161-165	<87-193	<166-370	<63-96	
H ₂ S-pitoisuus- mallinnettavat päästöt	mg/Nm ³	5 ja 30	5 ja 30	5 ja 30	5 ja 30	5 ja 30	5 ja 30	5 ja 30	5 ja 30	5 ja 30
H ₂ SPäästö, 5 mg/Nm ³	g/s	0.0005	0.0085	0.006	0.013	0.013	0.011	0.016	0.008	0.004
H ₂ SPäästö, 30 mg/Nm ³	g/s	0.003	0.051	0.036	0.078	0.078	0.066	0.098	0.048	0.026
H ₂ SPäästö, 5 mg/Nm ³	g/h	1.8	30.6	21.6	46.8	46.8	39.6	58.5	28.8	15.8
H ₂ SPäästö, 30 mg/Nm ³	g/h	10.8	183.6	129.6	280.8	280.8	237.6	351	172.8	94.8

* vuoden 2013 kaasun tilan tiedot mallissa, mitataan vko 25/2017

Taulukko 2/L1. Rikkihappotehtaan SO ₂ -päästöt ja savukaasun tilan tiedot.			
Päästölähteiden lukumäärä			1
Virtausnopeus, suunniteltu	m/s		5-10
Virtausnopeus mallissa	m/s		7.5
Piipun pään halkaisija	mm / laskettu kaasuvirtauksen ja nopeustavotteiden mukaan		1150
Päästölähteen korkeus maanpinnasta	m		optimoidaan mallinnuksella
Päästötyyppi			jatkuva
Lämpötila	°C		40
Mitoitusvirtausmäärä	Nm ³ /h		24500
Mitoistusvirtausmäärä	Nm ³ /s		6.8
Tositilan virtaus	m ³ /s		7.8
H ₂ S-pitoisuus	mg/Nm ³		-
SO ₂ -pitoisuus, norm.	mg/Nm ³		145
SO ₃ -pitoisuus, norm.	mg/Nm ³		30
SO ₂ -päästö	g/s		0.99
SO ₂ ja SO ₃ päästöt yhteensä SO ₂ :na	mg/Nm ³		169
SO ₂ -päästönä yhteensä	g/s		1.15
SO ₂ -päästönä yhteensä	kg/h		4.1

Taulukko 3/L1. Öljykattiloiden SO ₂ -päästöt 1.1.2018 lähtien				
Teho		10 MW	10 MW	
Öljykattiloiden SO ₂ - päästöt. 1.1.2018 lähtien päästöraja-arvo 350 mgSO ₂ /Nm ³				
Päästölähteiden lukumäärä		1	1	1
Virtausnopeus	m/s	22.4	22.4	22.0
Virtausnopeus (suunniteltu min)	m/s	4.84	4.84	3.2
Piipun/hormin pään halkaisija	mm	650	650	450
Päästölähteen korkeus maanpinnasta	m	50	50	50
Lähirakennuksen korkeus	m	5.9	5.9	
Lämpötila	°C	230	230	176
Mitoitusvirtausmäärä (vaihtelu)	Nm ³ /h	5800 -14500	5800 -14500	7645
Virtausmäärä mallissa	Nm ³ /h	14500	14500	7645
Normeerattu virtaus	Nm ³ /s	4.03	4.03	2.12
Tositilan virtaus, m ³ /s	m ³ /s	7.42	7.42	3.49
SO ₂ -pitoisuus, päästöraja-arvo 1.1.2018 lähtien	mg/Nm ³	350	350	350
SO ₂ -päästö, keskim.	g/s	1.41	1.41	0.74
SO ₂ -päästö	kg/h	5.1	5.1	2.7

LIITE 2 ja LIITE 3.
Enwin_Terrafame_Leviämislaskelmat_LIITTEET 2-
3_14062017.pdf

ks. erillinen Liitetiedosto

LIITTEET 2-3

H₂S JA SO₂-PÄÄSTÖJEN LEVIÄMINEN