

TERRAFAME, kaivoksen laajennuksen pöly-
päästöjen mallinnus, 2017

Terrafame Oy

DI Hannu Lauri
DI Titta Anttila

Pöyry Finland Oy, Ympäristötutkimus, Oulu
Elektroniikkatie 13
90590 Oulu

Copyright © Pöyry Finland Oy

Kaikki oikeudet pidätetään Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman Pöyry Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

Sisältö

1	JOHDANTO	2
2	LASKENTAMALLI JA LÄHTÖTIEDOT	3
2.1	Laskentamalli	3
2.2	Ilmanlaadun raja- ja ohjearvot	3
2.3	Maastotiedot	4
2.4	Tuulitiedot	4
2.5	Sadepäivät	5
2.6	Pölykuormitusten laskentaperusteet	5
3	LASKENNAN VERTAILU MITTAUKSIIN	7
3.1	Kuormitukset	7
3.2	Laskettujen ja mitattujen pitoisuuksien vertailu ja kuormitusten tarkennus	8
4	NYKYTILANNE VE0	12
5	LAAJENNUSVAIHTOEHTO VE0+	15
5.1	Laskenta ilman teiden kastelua (VE0+)	15
5.2	Laskenta kun tiet kasteltu (VE0+TK)	19
6	YHTEENVETO	22
6.1	Mallin lähtötiedot	22
6.2	Tulokset	22
6.3	Epävarmuuksien arviointi ja pölypäästöjen hallinta	23
7	LÄHDELUETTELO	24

Keskeiset lyhenteet:

PM ₁₀	Pienhiukkasten määrä (particulate matter), hiukkasten läpimitta alle 10 µm
TSP	Leijuvien hiukkasten kokonaismäärä eli kokonaisleijuma (total suspended particulates)

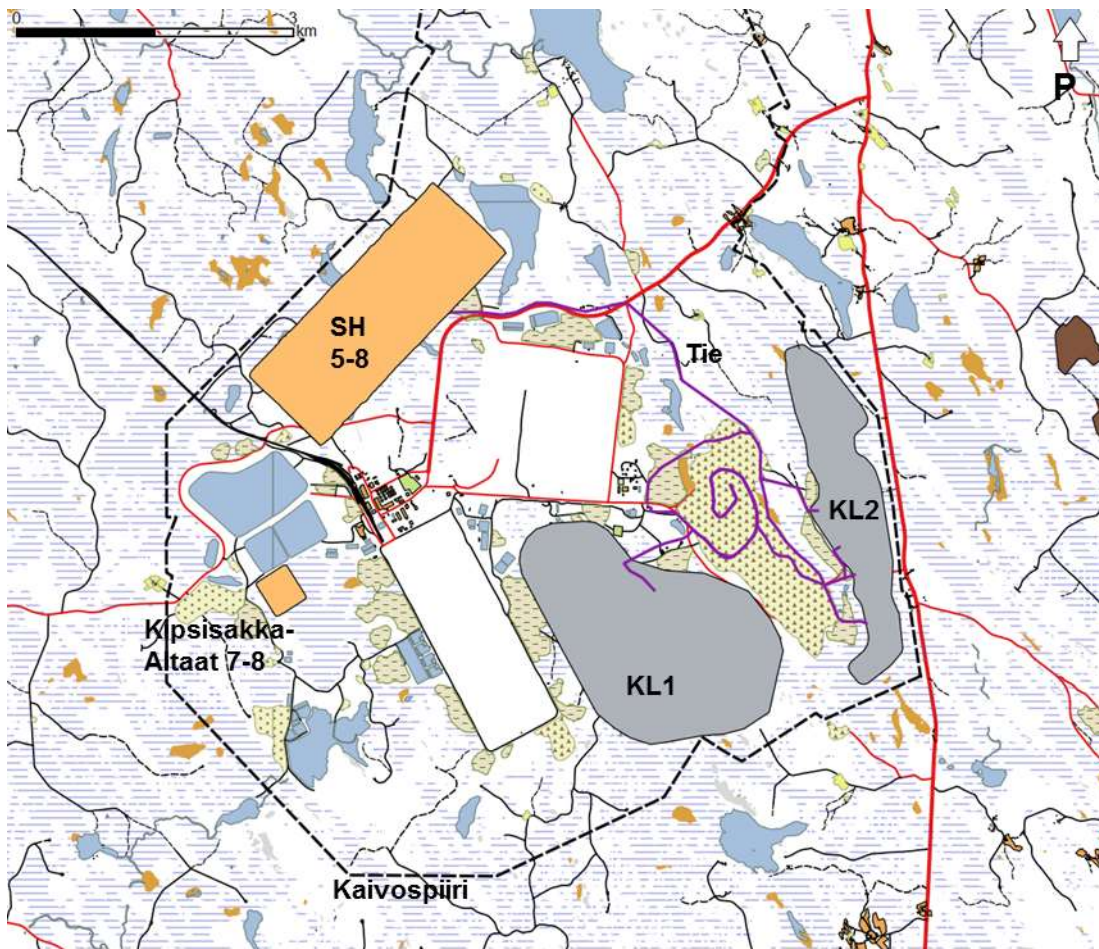
1 JOHDANTO

Tässä raportissa on arvioitu laskentamallin avulla Terrafamen kaivoksen pölypäästöjä vuoden 2016 tilanteessa (VE0) ja erillisellä kaivoksen jatkovaihtoehdolla (VE0+), joka sisältää kaivostoiminnan laajennuksia.

Laskentamallina on käytetty EPAn (U.S. Environmental Protection Agency) hyväksymää ja ylläpitämää AERMOD-mallia, jonka laskenta perustuu ns. Gaussin leviämisyhtälöihin. Menetelmässä ilmapäästön oletetaan leviävän päästölähteestä myötätuuleen Gaussin jakauman mukaisesti. Jakauman hajontaparametrit arvioidaan erikseen jokaiselle tunnille tuulen nopeuden ja ilmakehän alakerroksen stabiilisuusluokan perusteella.

Nykytilanteessa Terrafamen kaivoksen toiminnot aiheuttavat pölypäästöjä lähinnä kaivosalueen sisäpuolelle. Myllyniemessä 2015-2016 tehtyjen ilmalaatumittausten perusteella pölypäästö ei ylitä ohjearvoja hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) osalta (Saari et al. 2017). Tässä arvioitavissa kaivoksen laajennusvaihtoehdossa kaivoksen toimintoja aloitetaan uusilla alueilla ja tuotantomääriä nostetaan, jolloin pölypäästöt siirtyvät osin uusille alueille ja osin myös kasvavat.

Pölymallinnuksessa käytetyt laskentavaihtoehdot on esitetty taulukossa 1. Kaivosalueen nykyisten ja uusien toimintojen sijoitus on esitetty karttapohjalla kuvassa 1.



Kuva 1. Kaivosalueelle suunnitellut toiminnot, ks. taulukko 1.

Taulukko 1: Laskentavaihtoehdot

Vaihtoehto	Kuvaus
VE0	<ul style="list-style-type: none"> • Kaivostoiminta jatkuu nykyisellään. • Malmin louhinta on 15 M t/a, sivukiven louhinta noin 15-20 Mt/a • Uusia alueita ei oteta käyttöön
VE0+	<ul style="list-style-type: none"> • Rakennetaan erilliset sivukivialueet KL1 ja KL2, sekundääriliuotuslohkot (SH) 5-8, kipsisakka-altaan lohkot 7-8, sekä teitä • Malmin louhintamäärää kasvatetaan tasolle 18 M t/a sivukiven louhintamäärien ollessa tasolla 18–30 Mt/a riippuen louhintatilanteesta.

2 LASKENTAMALLI JA LÄHTÖTIEDOT

2.1 Laskentamalli

Päästöjen leviäminen arvioitiin kaasumaisten epäpuhtauksien ja leijailevan pölyn leviämisen mallintamiseen kehitetyllä AERMOD-ohjelmistolla. Ohjelmiston on kehittänyt ja sitä ylläpitää Yhdysvalloissa U.S. EPA, liittovaltion ympäristönsuojeluviranomainen. Malli soveltuu yksi- ja monipiippu- sekä viiva- ja pintalähteiden päästöjen mallintamiseen ja se ottaa huomioon sää- ja maasto-olosuhteet. Leviämismallin perustana on analyyttinen Gaussin jakaumaan perustuva leviämisyhtälö, joka olettaa päästön laimenevan pysty- ja vaakasuunnassa Gaussin jakauman mukaisesti. Ohjelmisto ja sen ominaisuudet on esitelty yksityiskohtaisemmin verkkosivustolla <http://www.epa.gov/scram>.

Malliin liittyviä epävarmuustekijöitä

Leviämismallilaskelmilla saatavien tulosten luotettavuuteen vaikuttavat malliin syötettävät lähtötiedot sekä itse mallin toiminta. Mallilaskelmilla kuvataan ilmiöiden taanomaista kehittymistä pitkällä aikavälillä yksinkertaistaen jossain määrin todellisuutta. Malliin sisältyy olettamuksia ja yksinkertaistuksia, jotka ovat välttämättömiä mallin toiminnan ja lähtötietojen puutteellisen saatavuuden vuoksi. Laskennan tuloksen saadut keskiarvopitoisuudet edustavat vallitsevaa pitoisuustilannetta pidemmillä ajanjaksoilla. Enimmäispitoisuudet edustavat puolestaan lyhytkestoisempia episoditilanteita, jolloin meteorologinen tilanne on paikallisesti päästöjen laimenevien ja sekoittumisen kannalta epäedullinen. Huomionarvoista on, että suurimman osan ajasta epäpuhtauspitoisuudet ovat pienempiä kuin korkeimmat hetkelliset pitoisuudet.

Yleensä leviämismallilaskelmien tuloksiin liittyy epävarmuutta sitä enemmän, mitä lyhyemmän jakson pitoisuusarvoista on kyse. Näin ollen ilmanlaatuvaikutuksia arvioitaessa on suositeltavaa tarkastella vuosiraja-arvoon ja vuorokausiohjeeseen verrannollisia pitoisuustasoja.

2.2 Ilmanlaadun raja- ja ohjearvot

Pölypäästöjen aiheuttamalle ilman pölypitoisuudelle on Suomessa määritetty raja-arvot ilmanlaatuasetuksessa. Ilman pölypitoisuutta on tässä arvioitu kahden suuren osalta: PM₁₀ pitoisuus mittaa hengitysteihin kulkeutuvien alle 10 µm läpimittaisten hiukkasten pitoisuutta ilmassa, yksikkönä on yleensä µg/m³. TSP-pitoisuus mittaa

kaikkien leijuvien hiukkasten pitoisuutta, yksikkönä myös $\mu\text{g}/\text{m}^3$. TSP pitoisuutta sanotaan myös kokonaisleijumaksi.

Hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) osalta keskimääräiselle vuosipitoisuudelle on määritetty yläraja $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ja keskimääräiselle vuorokausipitoisuudelle yläraja $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vuoden aikana vuorokausipitoisuuden ylityksiä sallitaan kuitenkin enintään 35 kappaletta (~ 10% vuorokausipitoisuuksista), mikäli siis ylityksiä on 36 kappaletta, on raja ylittynyt. Kokonaisleijumalle (TSP) pitoisuudelle ei ole määritelty raja-arvoa.

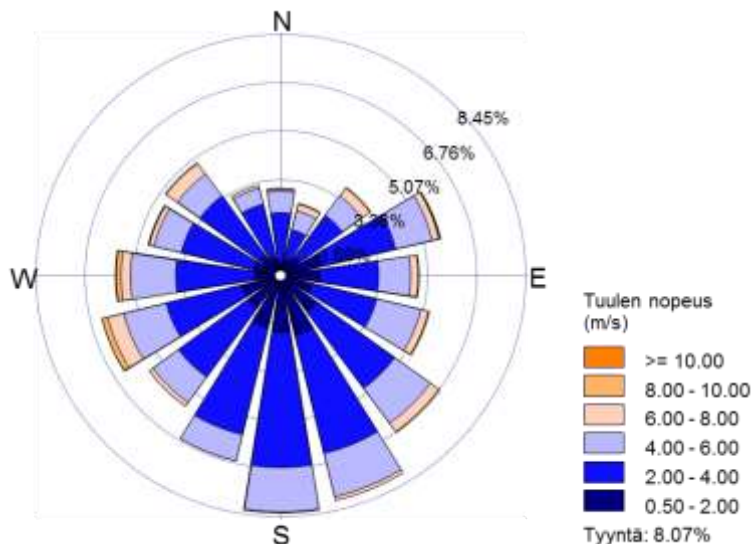
Raja-arvojen lisäksi ilman haitta-aineiden pitoisuuksille on määritelty ohjearvoja, joiden ylittyminen olisi pyrittävä estämään ennakoita. PM_{10} pitoisuuksille ei ole määritelty ohjearvoa. TSP pitoisuuden vuosikeskiarvon ylärajaksi on ohjeistettu $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ja vuoden aikana vuorokausipitoisuuden $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ylittävien päivien lukumäärän ylärajan ohjearvo on 7 d.

2.3 Maastotiedot

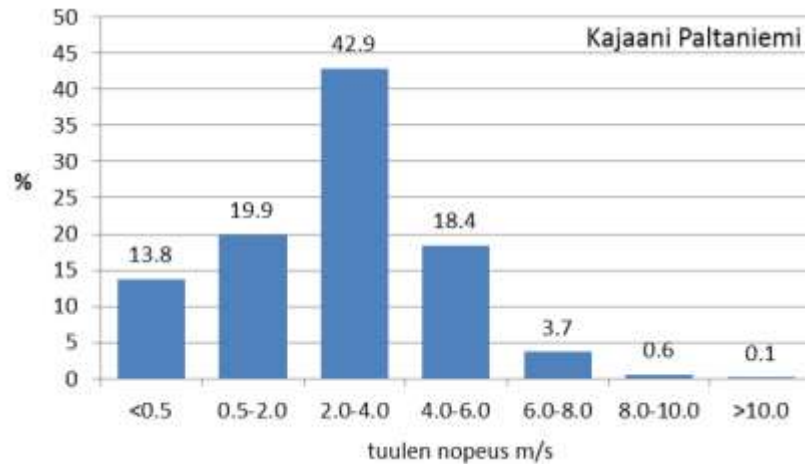
Maastotiedot saatiin maastotietokannasta, korkeusmallista (Maamittauslaitos 2017), ja Corine-2012 maankäyttödatasta (Suomen ympäristökeskus, 2017). Maanpinnan kitka-arvot (z_0) arvioitiin maankäyttötietojen ja puuston korkeustietojen perusteella. Puuston korkeustiedot saatiin Luonnonvarakeskuksen latauspalvelusta (Luke 2017).

2.4 Tuulitiedot

Laskennan säätietona käytettiin Kajaanin lentoasemalla mitattuja arvoja. Mittaukset suorittaa Ilmatieteenlaitos, mutta ne haettiin NOAA:n ftp-palvelusta (NOAA 2017). Mittausasema sijaitsee kohdealueelta noin 38 km länsiluoteeseen. Havaintoasema on lähellä Oulujärveä, joka voi vaikuttaa jonkin verran mittauksiin. Tuulijakauma vuodelle 2016 on esitetty kuvassa 2, ja vastaava tuulen nopeusjakauma kuvassa 3. Yleisin tuulen suunta on etelä ja tyypillisin tuulen nopeusluokka 2 - 4 m/s. Pohjoistuulia on vähän ja länsituulia hieman idänpuoleisia tuulia useammin.



Kuva 2. Tuulen suuntajakauma jaksolta 1.1.2016 – 31.12.2016.



Kuva 3. Tuulen nopeusjakuma jaksolta 1.1.2016 – 31.12.2016.

Mallin tuuliprofiilitiedot konstruointiin ECMWF:n ERA-interim reanalysis-säätiöiden pohjalta (Berrisford et al. 2011). Suomessa tuuliprofiileja mitataan Jokioisissa ja Soudankylässä, jotka molemmat sijaitsevat varsin kaukana kohdealueelta.

2.5 Sadepäivät

Tehdasalueella on sadantamittari, josta oli saatavilla sadantatietoja 15.6.2013 alkaen. Vuodelle 2016 mitattujen sadepäivien (sadanta suurempi kuin 0,25 mm) määrä oli 189. Kolmen vuoden 2014-2016 jaksolta keskimääräinen sadepäivien määrä oli 196.

2.6 Pölykuormitusten laskentaperusteet

Kaivosalueella pölykuormituslähteitä on useita. Kuormituslähteet ja tässä käytetyt kuormituskohtaiset arviointimenetelmät Terrafamen alueelle kuormitustyyppin mukaan on esitetty taulukossa

Taulukko 2. Kuormitusarviointi perustuu pääosin MINERA-hankkeen eri lähteistä keräämiin kuormitusarviointimenetelmiin (Kauppila et al. 2013) ellei taulukossa ole tosin mainittu. Osalle kuormituksia ei ole olemassa sopivia kuormitusarvoja (esim. liuotuskasat, kalkkitehdas). Tällaisten kohteiden pölykuormitus on jouduttu arviomaan lähinnä vastaavien kuormitusten ja/tai ilmanlaatumittausten perusteella.

Suurimmat pölykuormitukset alueella aiheutuvat pääasiassa kuljetuksista. MINERA-loppuraportissa (Kauppila et al. 2013) ei ole kovin selvästi huomioitu sateen vaikutusta kuljetusten pölypäästöihin; sadepäivien vaikutus on tässä otettu huomioon erikseen EPA:n ohjeistuksen mukaisesti (EPA 2006) käyttämällä kuljetukselle korjauskerrointa. Sadantapäivät otetaan kuljetusten osalta huomioon siten, että kuljetuksen aiheuttama pölykuormitus kerrotaan sadantavähennyksellä $(365-r)/365$, missä r on niiden päivien lukumäärä, joina sadanta ylittää 0,25 mm/d. 2016 vuodelle sadepäivien lukumäärä oli 189, mistä saadaan sadantavähennykselle arvo 0.482.

Taulukko 2: Kuormitusten laskentaperusteet eri toiminnoille, laskentakaavat Kauppila et.al (2013) mukaan, ellei muuta mainittu.

Louhinta	
Poraus	PM ₁₀ : 0.31 kg/räjätysreikä TSP: 1.92 x PM ₁₀
Räjätys	PM ₁₀ : $0.52 * 344 * A^{0.8} / (M^{1.9} * D^{1.8})$ kg/räjätys, A=ala(m ²), M=kosteus %, D=räjätysreikien syvyys (m) TSP: 1.92 x PM ₁₀
Rikottaminen	ei päästöjä
Malmin ja sivukiven käsittely	
Kuormaus ja kippaus	PM ₁₀ : K * 0.44 * 0.025 kg/tn, missä K lastausmäärä (tn) TSP: K * 0.025 kg/tn
Kuljetus kiviautolla	PM ₁₀ : $281,9 * 1,5 (s/12)^{0.9} * (W * 0,368)^{0.45}$ g/km, missä W on ajoneuvon paino (tn), ja s tien hienoinenpitoisuus (%). Kastelu vähentää kuormitusta noin 75%. TSP: $281,9 * 4,9 (s/12)^{0.7} * (W * 0,368)^{0.45}$ g/km
Kippaus esimurskaimeen	PM ₁₀ : K * 0.44 * 0.025 kg/tn, missä K lastausmäärä (tn), kippauksessa pölynhallinta, vähennys 70% TSP: 1.25 * PM ₁₀
Esimurskaus	ei päästöjä (pölynpoisto, päästö oletettu pieneksi)
Malmin karkea- ja hienomurskaus, seulonta, agglomerointi	Katetuissa tiloissa pölynpoistolla, kuormitus arvioitu poistoilman pitoisuusmittausten perusteella (Tammisto, 2016)
Kuljettimet	
Hihnakuljettimet	ei päästöjä (katettu kuljetin)
Liotuskasat	
Primääriliuotuskasa, kasaus ja purku	PM ₁₀ : 0.000001 g/s koko kasan alueelle (arvio) TSP: 2 x PM ₁₀
Sekundääriliuotuskasa, kasaus	kuten primääriliuotuskasa
Tehdasalue	
Tehdasalueen työmaaliikenne	PM ₁₀ : 0.000003 g/m ² /s (arvio) TSP: 2 x PM ₁₀
Kalkkitehdas, purku ja lastaus	PM ₁₀ : 0.000005 g/m ² /s (arvio) TSP: 2 x PM ₁₀
Altaat	
Kipsisakka-altaat	ei päästöjä, pidetään vedellä peitettynä

3 LASKENNAN VERTAILU MITTAUKSIIN

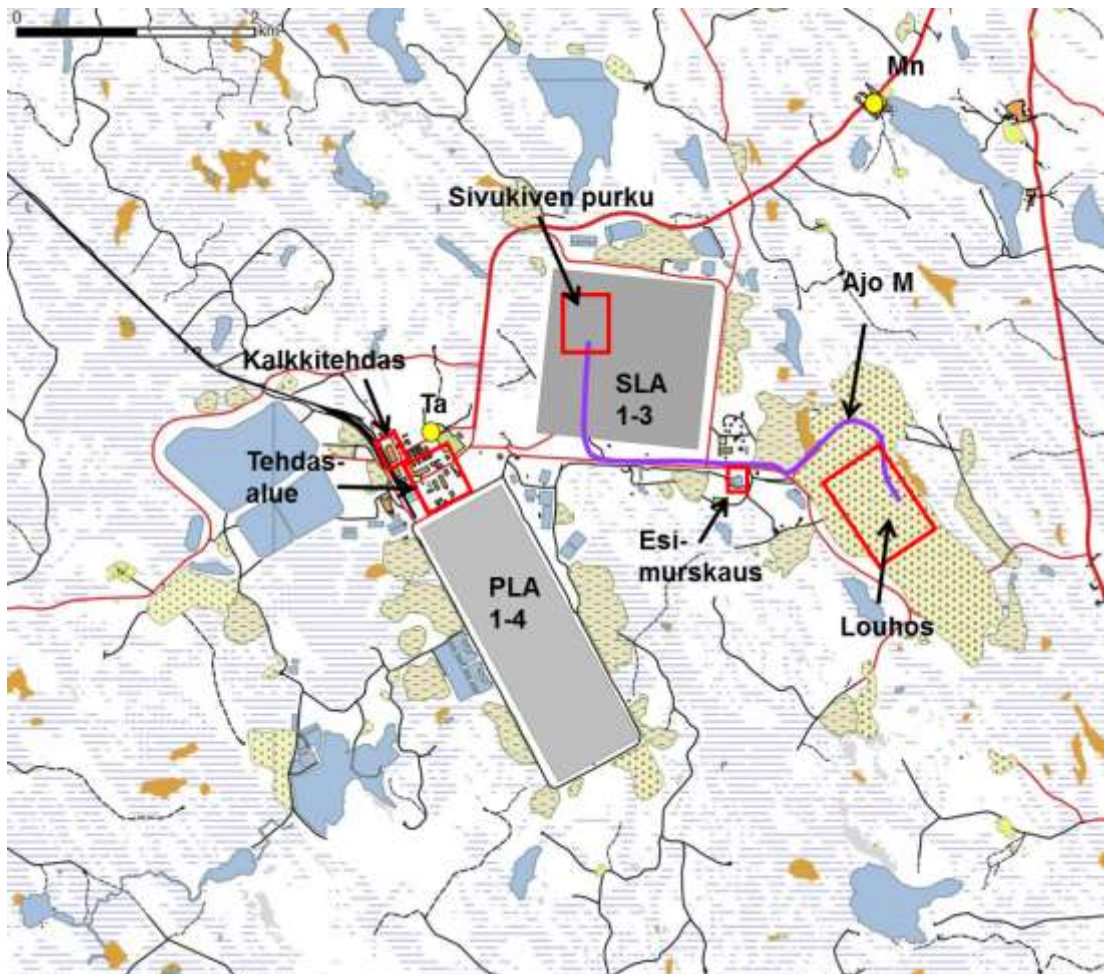
Kaivosalueen pölypäästöjen kuormitusarvioinnissa käytetyt laskentakaavat perustuvat pitkälti muualla kuin Suomessa mitattuihin pölypäästöihin. Kaivoksen pölypäästöihin vaikuttavia tekijöitä ovat mm. kaivoksessa käsiteltävä kivimateriaali, ilmasto (pääasiassa ilman kosteus ja sadannan määrä), sekä tiepintojen jäätyminen, routa ja lumipeite. Koska pölypäästöjen laskentamenetelmät perustuvat muualla tehtyihin mittauksiin, eivät ne välttämättä suoraan kuvaa Terrafamen kaivosalueella tapahtuvaa kuormitusta. Tässä saatuja laskentatuloksia vertailtiin mittausarvioihin, minkä jälkeen kuormitusmääriä korjattiin siten, että laskennan tulokset vastasivat mittauksia. Mittaustietoina käytettiin vuonna Ilmatieteenlaitoksen vuosina 2015 ja 2016 mitattamia PM₁₀ pitoisuuksia (Saari et al. 2017).

3.1 Kuormitukset

Taulukossa

Taulukko 3 on esitetty taulukon

Taulukko 2 arviointimenetelmiä käyttämällä lasketut Terrafamen kaivosalueen pölykuormitukset vuoden 2016 tilanteelle. Kuormitusten sijainti on esitetty kartalla kuvassa 4. Kaikkia yksittäisiä kuormituksia ajallisesti lyhytaikaisesta liikenteestä tai maansiirto- ja kaivutoista ei ole pystytty laskennassa huomioimaan.



Kuva 4. Kaivosalueen pölykuormituslähteet vuonna 2016 taulukon 3 mukaisesti . Kartalla myös ilmanlaadun mittauspisteet tehdasalue (● Ta) ja Myllyniemi (● Mn).

Taulukko 3: PM₁₀ kuormitukset taulukon 2 perusteiden mukaan

Louhos	PM₁₀ kuormitus, korjaamaton
Poraus	18,4 kg/d (poraus 1926 m/d, reiän syvyys 16,1 m = 120 reikää/d, porauskalustossa pölynkerääjät, oletus pölynpoisto 50%)
Räjäytys	69 kg/d (ala 2834 m ² /d, kosteus 3%, reikien syvyys 16,1m, oletus pölynpoisto 20% (reikien lopputäyttö sepelillä), joka kolmas päivä 1h ajalle)
Malmin käsittely	
Malmin ja sivukiven kuormaus louhoksella	1055 kg/d. (kuormausmäärä 95900 tn/d)
Malmin autokuljetus esimurskaimelle (Ajo M)	1879 kg/d (20 kuormaa/d, 1400m ei kasteltua, 560m kasteltua)
Malmin purku esimurskaimelle	247 kg/d
Tehdasalue, murskaus ja agglomerointi	168 kg/d
Primääriliuotusalue 1-4 (PLA1-4)	168 kg/d
Sekundääriliuotusalue (SLA1-3)	168 kg/d
Sivukivet	
Sivukiven autokuljetus (Ajo SLA1-3)	4266 kg/d (20 kuormaa/d, 2635m ei kasteltua, 1827m kasteltua)
Sivukiven purku	603 kg/d
Muut	
Kalkkitehdas	65 kg/d
Tehdasalue, liikenne ym.	43 kg/d

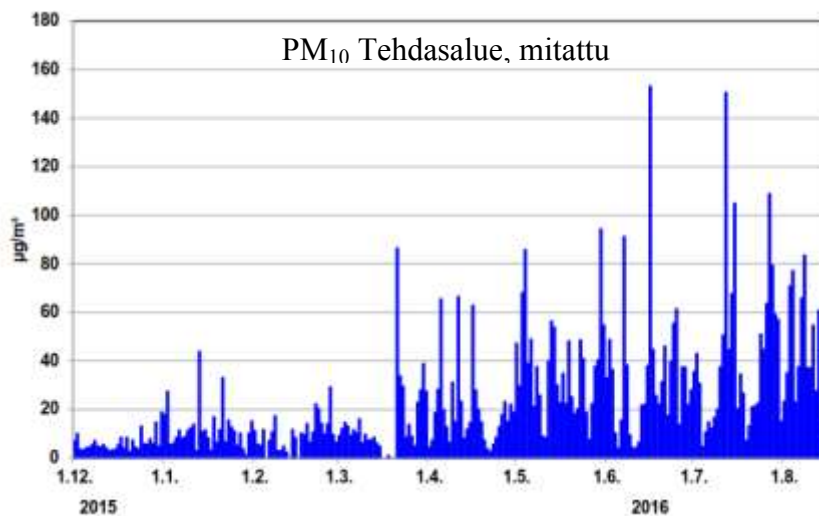
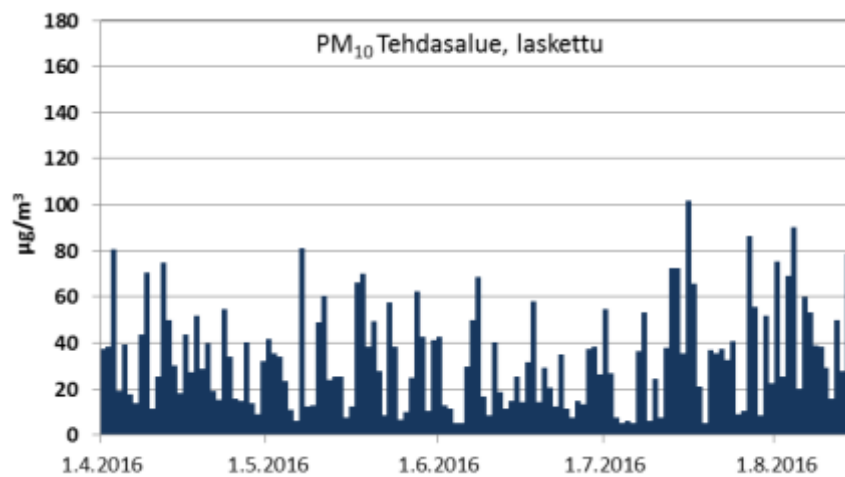
3.2 Laskettujen ja mitattujen pitoisuuksien vertailu ja kuormitusten tarkennus

Ilmatieteen laitos suoritti kaivosalueella ja sen ulkopuolelta koillisreunalta vuosien 2015 ja 2016 aikana ilmalaatumittauksia, jolla mitattiin mm. PM₁₀ pitoisuuksia jatkuvatoimisella mittarilla. Mallinnettaessa pölypäästöjä AERMOD mallilla taulukon 3 kuormituksia, olivat keskimääräiset lasketut pitoisuudet selvästi suurempia kuin mitatut pitoisuudet. Tästä johtuen kuormituksia korjattiin alaspäin, jotta lasketut pitoisuudet saatiin vastaamaan paremmin mitattuja arvoja. Käytetyt kuormitusten korjauskertoimet ja mallinnuksessa käytetyt kuormitukset on esitetty taulukossa 4.

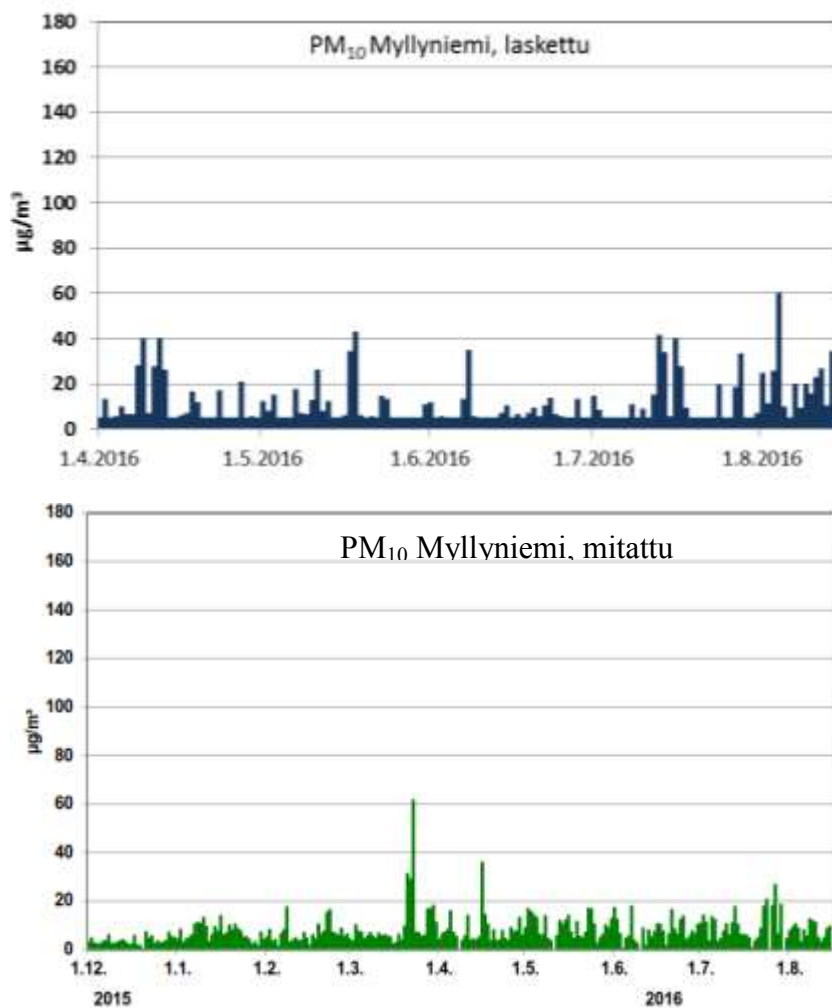
Mittausten ja tarkennetuilla kuormituksilla mallinnettujen pölypitoisuuksien päivittäisten keskipitoisuuksien vertailu on esitetty kuvissa 5 ja 6. Kuormitusten tarkennuksella mitausten ja laskentatulosten keskiarvot on saatu vastaamaan likimain toisiaan, joskin Myllyniemen laskettu keskipitoisuus on jonkin verran liian suuri ja tehdasalueen laskettu keskipitoisuus hieman liian pieni mittauksiin verrattuna. Lasketuihin arvoihin on vertailussa lisätty taustapitoisuusarvo 5 ug/l, joka vastaa vuoden keskimääräistä taustapitoisuutta. Kesällä taustapitoisuus on tyypillisesti em. keskiarvoa suurempi, talvella puolestaan pienempi.

Taulukko 4: Vaihtoehdon VE0 tarkennetut pölykuormitukset

Louhinta	Korjauskerroin	PM₁₀ kg/d	TSP kg/d
Poraus	1	18	35
Räjäytys	1	69	133
Malmin käsittely			
Malmin ja sivukiven kuormaus louhoksella	0.2	211	479
Malmin autokuljetus esimurskaimelle	0.4	564	2431
Malmin purku	0.2	49	95
Hienomurskaus, seulonta, agglomerointi	1	168	336
Primäärिकासan kasaus	1	168	336
Sivukivet			
Sivukiven autokuljetus sivukiven sijoituspaikalle	0.4	1280	5517
Sivukiven purku	0.2	121	274
Sekundäärिकासan kasaus	1	168	336
Muut			
Kalkkitehdas	1	65	130
Tehdasalue, sis. liikenne ja tuulieroosio	1	211	422



Kuva 5: PM₁₀ lasketut ja mitatut vuorokausipitoisuudet tehdasalueen mittauspisteessä. Laskettu pitoisuus jaksolle 1.4.2016-15.8.2016, mitattu pitoisuus jaksolle 1.12.2015 - 15.8.2016 (Saari et al. 2017). Laskettuun pitoisuuteen lisätty tausta 5 µg/m³.



Kuva 6: PM₁₀ lasketut ja mitatut vuorokausipitoisuudet Myllyniemen mittauspisteessä, Laskettu pitoisuus jaksolle 1.4.2016-15.8.2016, mitattu pitoisuus jaksolle 1.12.2015 - 15.8.2016 (Saari et al. 2017). Laskettuun pitoisuuteen lisätty tausta 5 µg/m³.

Taulukko 5: Myllyniemen ja tehdasalueen mitattujen ja laskettujen pitoisuuksien keskiarvot (µg/m³) jaksolta 1.4.2016 – 31.7.2016. Mittaustietojen arvot Saari et al. (2017).

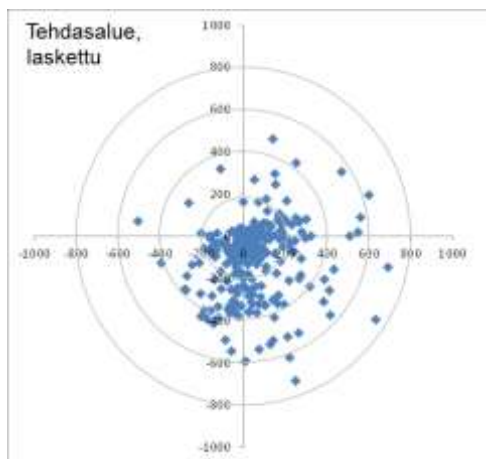
Paikka	k.a µg/m ³	max µg/m ³
Myllyniemi mitattu	9	27
Myllyniemi laskettu	11.7	60.4
Tehdasalue mitattu	33.3	153
Tehdasalue laskettu	33.0	101

Tehdasalueella yli 50 µg/m³ pitoisuuksien ylitysten jakauma vastaa kohtalaisen hyvin mittauksia, joskin on jonkin verran mittauksia pienempi. Myllyniemessä laskentatuloissa 20 µg/m³ pitoisuuksien ylitysmäärä selvästi mittauksia suurempi, eli Myllyniemessä malli arvioi rajapitoisuuksien ylityspäivien määrän liian suureksi.

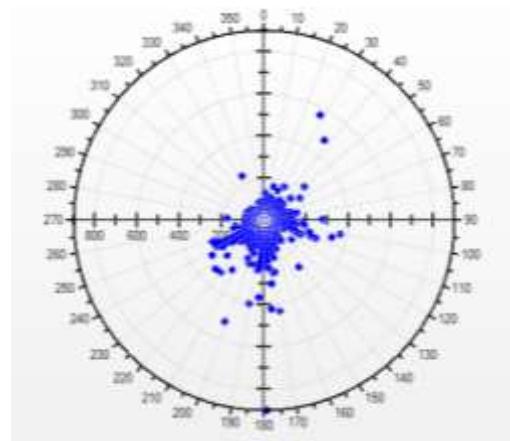
Laskettujen ja mitattujen tuntipitoisuuksien suuntajakaumat Myllyniemelle ja Tehdasalueelle on esitetty kuvassa 7. Tuntipitoisuuksien osalta laskentatuloksien suunta- ja pitoisuushajonta on mittauksia suurempi, eikä suunnissa ole yhtä selvää jakaumaa eri suuntiin kuin mittauksissa.

Tehdasalueen mittauksissa pölyä tulee itä-kaakon, etelän ja länsilounaan suunnista. Vastaavat pölylähteet ovat kivi kuljetus/louhos, tehdasalue/primäärikasa ja kalkkitehdas/kipsisakka-allas. Laskentatuloksissa pitoisuuksia saapuu pääosin samoista suunnista, joskin mukana on myös itä-koillinen, jossa mallissa pölylähteenä on sivukivien kippaus/sekundäärikasa.

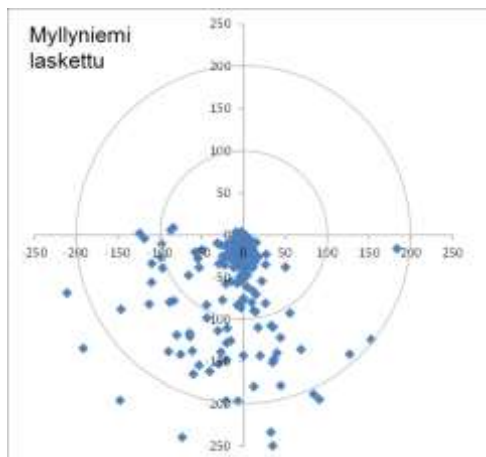
Myllyniemen mittauksissa pölyä tulee pääasiassa etelästä ja etelä-lounaasta ja lännestä. Vastaavat pölylähteet ovat louhos (räjäytys, lastaus, kuljetus), esimurskain/kuljetus ja sekundäärikasa (kipkaus/kuljetus/kasa). Suurimman pitoisuudet tulevat etelän suunnalta. Mallituloksissa pitoisuudet kertyvät samoista suunnista, joskin länsi- ja lounaissuunnista pitoisuudet ovat mittauksia suurempia.



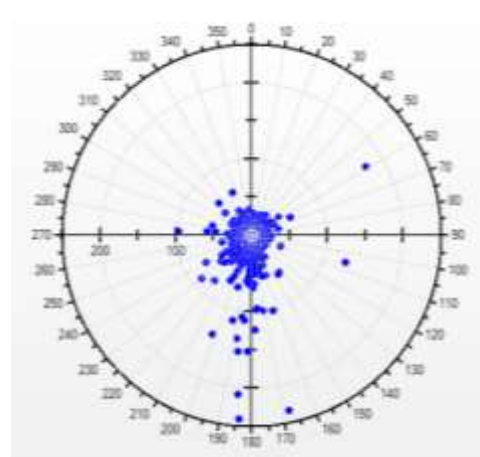
Tehdasalue laskettu



Tehdasalue mitattu



Myllyniemi laskettu



Myllyniemi mitattu

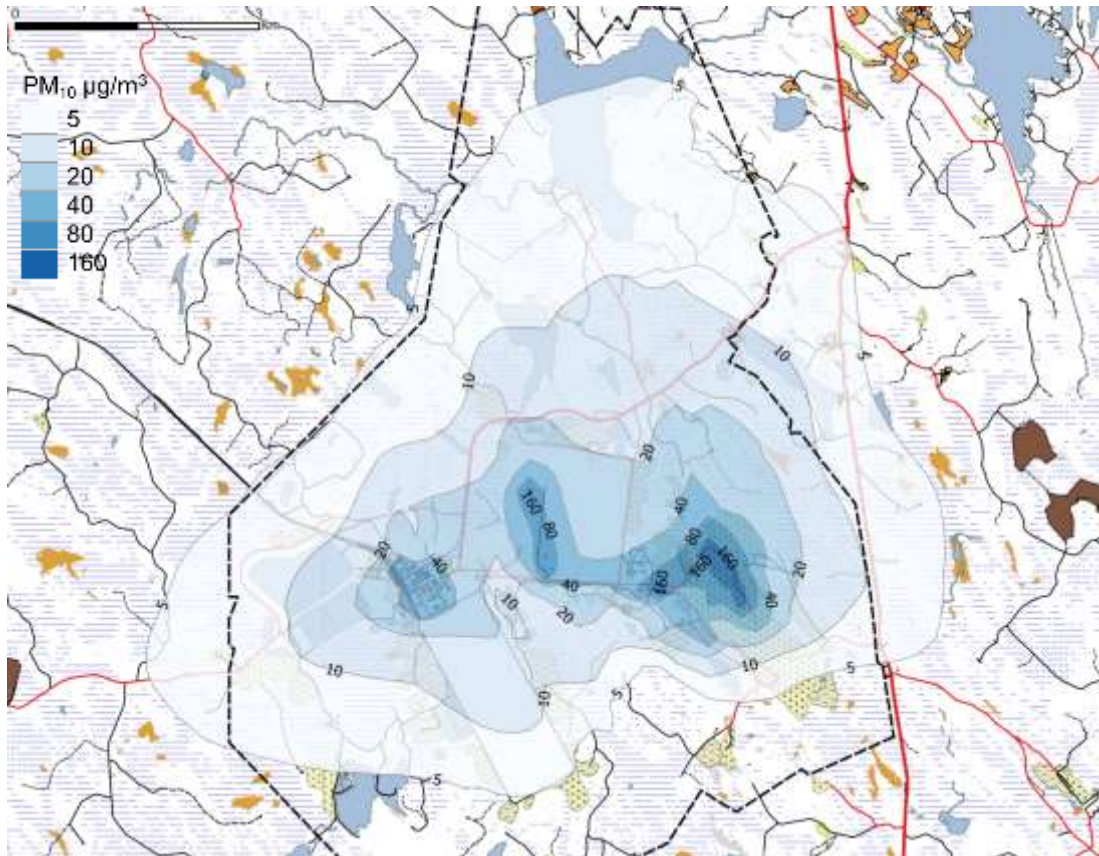
Kuva 7: Hengitettävien hiukkasten lasketut ja mitatut pitoisuus-suunta jakaumat tehdasalueen ja Myllyniemen mittauspisteissä. Laskettu pitoisuus jaksolla 1.4.2016-15.8.2016, mitattu pitoisuus jaksolla 1.12.2015 - 15.8.2016 (Saari et al. 2017). Laskettuun pitoisuuteen lisätty taustapitoisuus 5 µg/m³.

4 NYKYTILANNE VE0

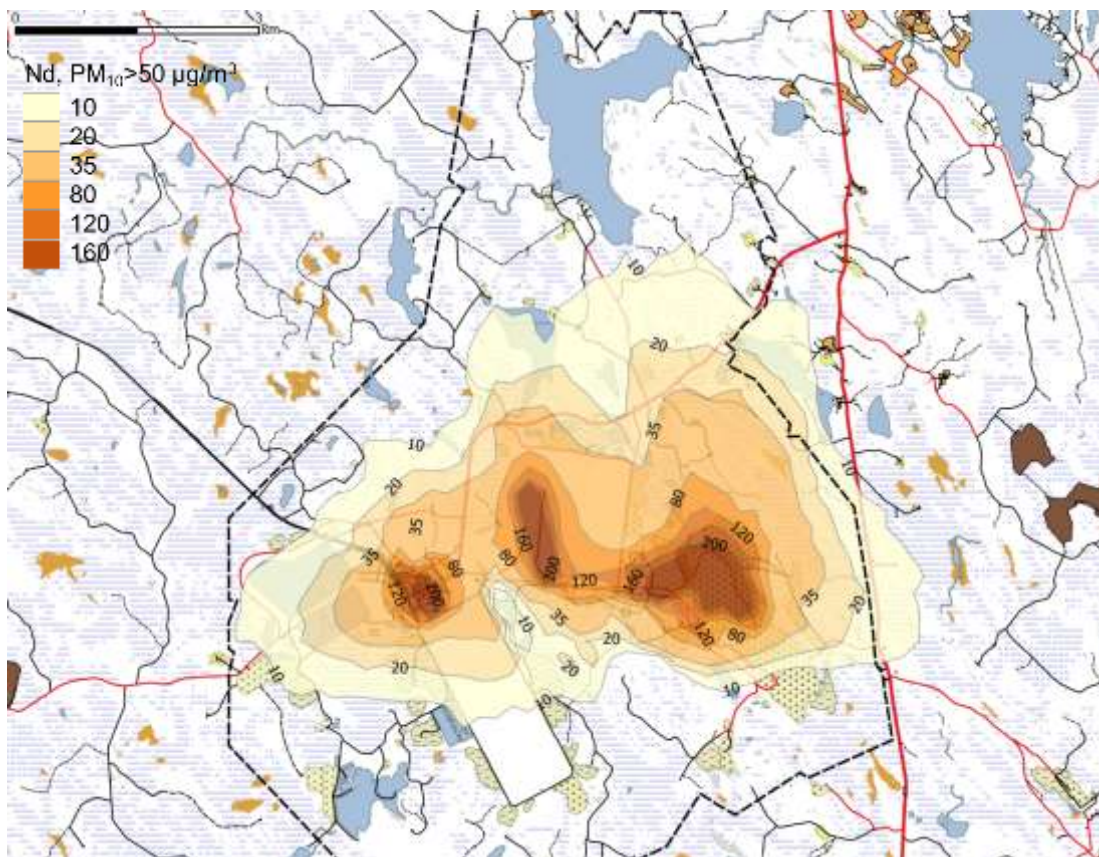
Pölyn leviäminen laskettiin nykytilanteelle käyttämällä edellä esitettyjä tarkennettuja vuoden 2016 kuormitustietoja. Laskenta tehtiin koko vuodelle (1.1 – 31.12.) käyttämällä vakiosuuruisia kuormitusarvoja. Lumipeitteisenä aikana pölykuormitus on tyyppillisesti selvästi sulan maan tilannetta pienempi, joten laskennan tulokset ylitysmäärien ja keskipitoisuuksien osalta vastaavat paremmin kesäaikaa kuin talvea. Kuormitusmäärät on esitetty taulukossa 4 ja lähteet kuvassa 4.

Laskettu PM₁₀ keskipitoisuus vuodelle 2016 on esitetty kuvassa 8, ja kuvassa 9 niiden päivien lukumäärä, joina PM₁₀ keskipitoisuus ylittää vuorokausikeskiarvona rajan 50 µg/m³. Keskiarvon vuosiraja 40 µg/m³ ei ylity kaivosalueen ulkopuolella. Ylityspäivien lukumäärän raja-arvo on 35 d/a ylittyy vuosikeskiarvorajaa suuremmalla alueella, mutta ei ulotu kaivospiirin ulkopuolelle.

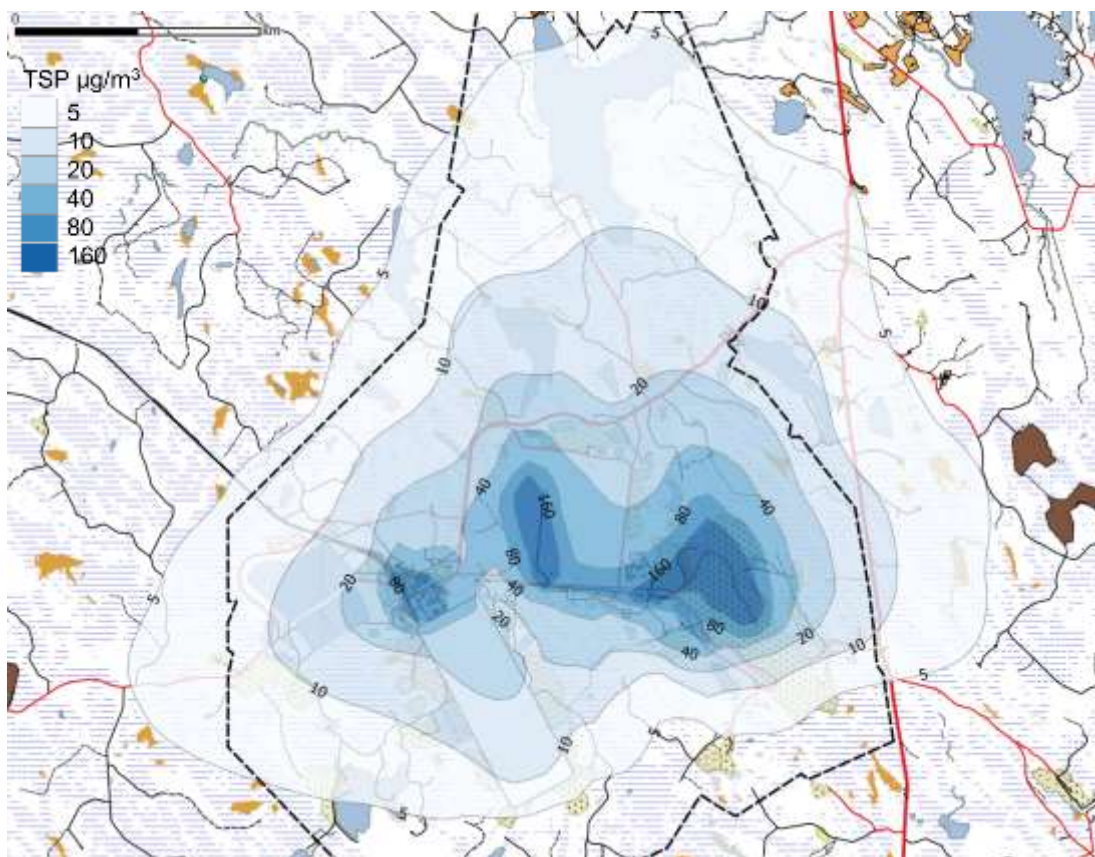
Laskettu TSP keskipitoisuus vuodelle 2016 on esitetty kuvassa 10, ja kuvassa 11 niiden päivien lukumäärä, joina TSP keskipitoisuus ylittää vuorokausikeskiarvona rajan 120 µg/m³.



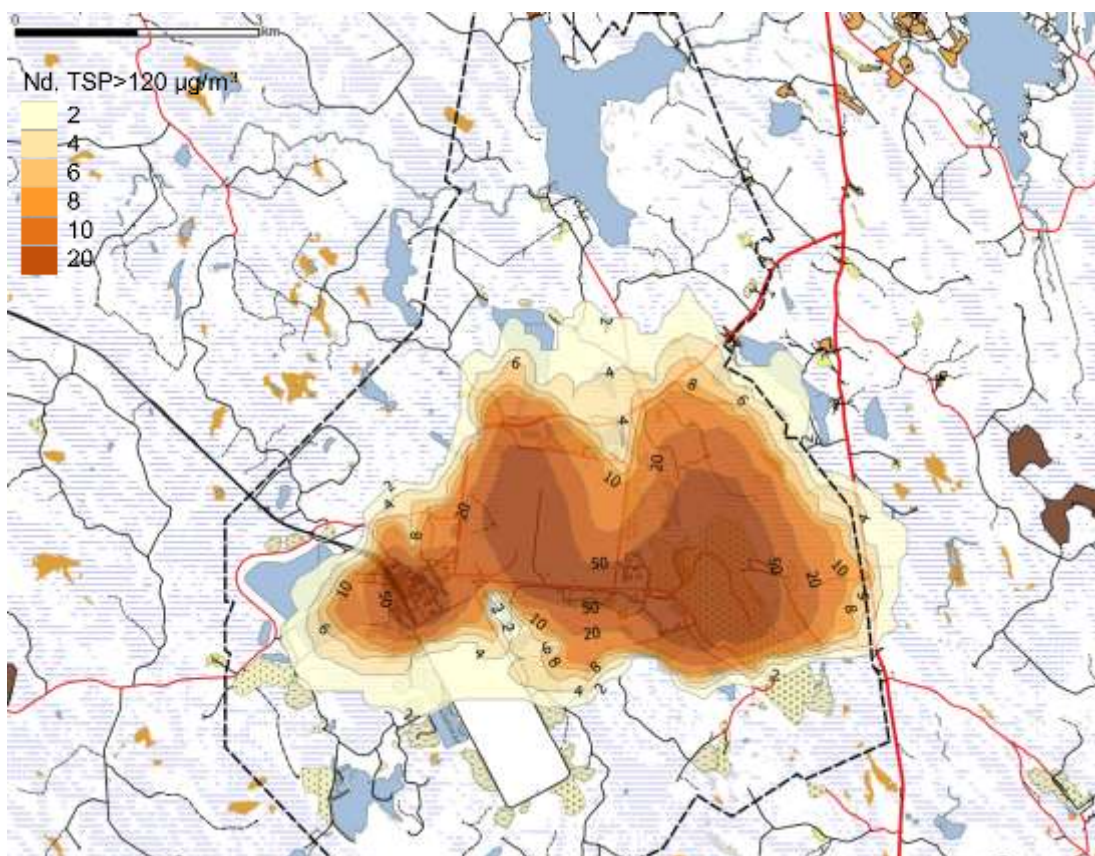
Kuva 8: VE0, PM₁₀ keskipitoisuus vuoden 2016 ajalta. Raja-arvo on 40 µg/m³.



Kuva 9: VE0, vuoden aikana PM₁₀ vuorokauden keskipitoisuuden 50 µg/m³ ylittävien päivien lukumäärä. Raja-arvo on 35 d/a.



Kuva 10: VE0, TSP keskipitoisuus vuoden 2016 ajalta (ohjearvo $< 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



Kuva 11: VE0, vuoden aikana TSP vuorokauden keskipitoisuuden $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ylittävien päivien lukumäärä (ohjearvo < 8 d).

5 LAAJENNUSVAIHTOEHTO VE0+

Pölyn leviäminen laajennusvaihtoehdolla VE0+ laskettiin käyttämällä vuodelle 2016 arvioituja toimintokohtaisia kuormituksia sovellettuna laajennuksen toimintoihin. Pölykuormitukset laskettiin teiden osalta kahdella tavalla, ilman kastelua ja kastelun kanssa. Tiet ovat tässä vaihtoehdossa suurin pölypäästölähde. Kastelulla hiekkatien pölykuormitusta voidaan vähentää noin neljäsosaan kuivan tien pölykuormitukseen verrattuna.

Tässä oletetaan, että laajennuksen aikaiset kuormitukset esim. kivien kuljetuksesta vastaavat nykyisiä kuljetuspäästöjä, eli esimerkiksi teiden pintamateriaalin oletetaan vastaavan nykyistä materiaalia, ja kasattavan kiviaineksen vastaavan pölyämisminuisuudeltaan nykyistä kiviainesta. Louhinnan osalta ja kuljetusten louhoksessa tapahtuvalta osalta on odotettavissa, että pölypäästöt vähenevät louhoksen syventyessä, tätä vähentymistä ei ole otettu laskennassa huomioon.

Laskennat tehtiin koko vuodelle käyttämällä vakiosuuruisia kuormitusarvoja. Kuten tilanteessa VE0 myös tällä vaihtoehdolla lumipeitteisenä aikana pölykuormitus on tyypillisesti sulan maan tilannetta pienempi, joten laskennan tulokset ylitysmäärien ja keskipitoisuuksien osalta vastaavat paremmin kesäaikaa kuin talvea.

5.1 Laskenta ilman teiden kastelua (VE0+)

Pölykuormitusmäärät on esitetty taulukossa 7 ja kuormitusten paikat kuvassa **Error! Reference source not found.**

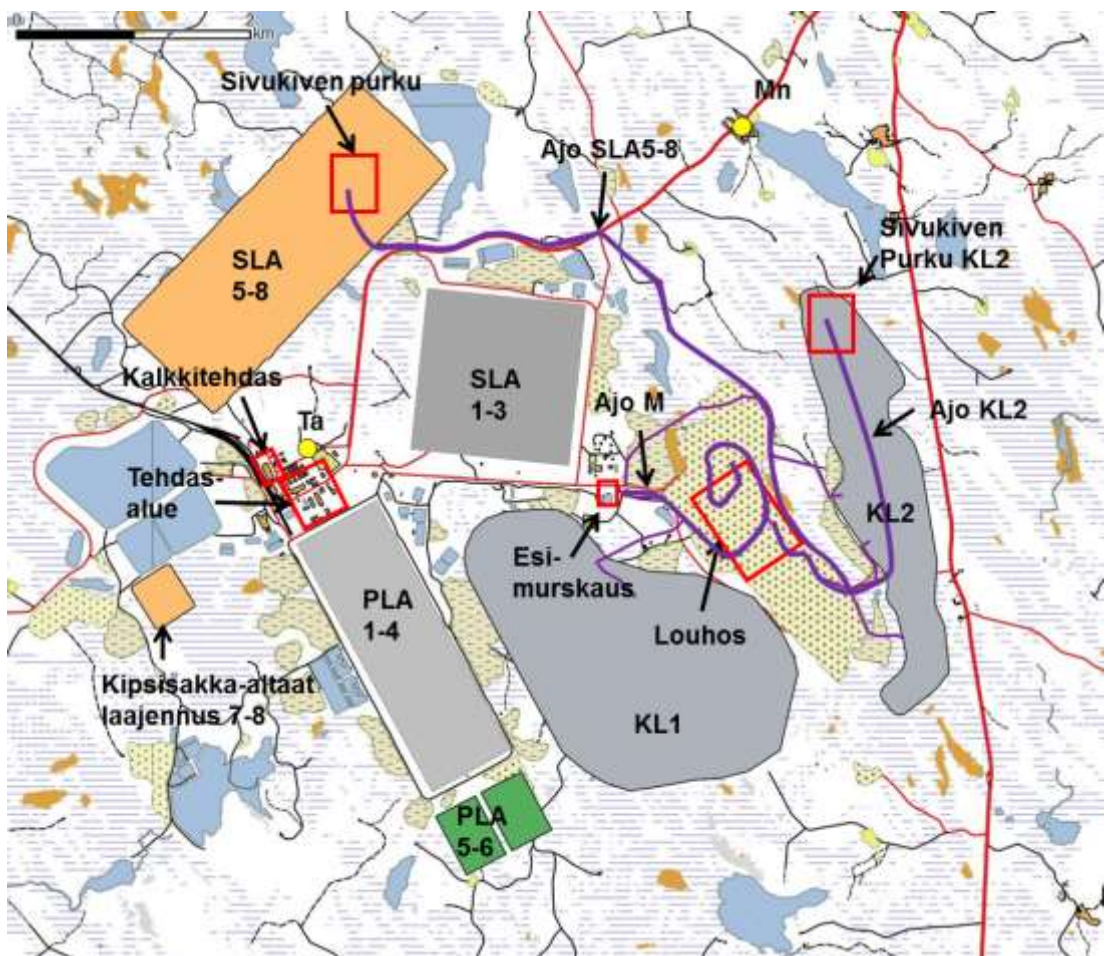
Tulokset PM₁₀ pitoisuuksien osalta on esitetty kuvissa 17 ja 18. Kuvassa 17 on pölyn keskipitoisuus vuoden 2016 tiedoilla laskettuna, ja kuvassa 18 on esitetty niiden päivien lukumäärä, joina PM₁₀ keskipitoisuus ylittää vuorokausikeskiarvona rajan 50 µg/m³. Vuosiraja-arvo 40 µg/m³ ylittyy pienellä alueella kaivospiirin itäpuolella. Ylityspäivien lukumäärän raja-arvo 35 d/a ylittyy vuosikeskiarvoa suuremmalla alueella kaivospiirin itäpuolella. Tälle alueelle sijoittuu asutusta ja tie.

TSP keskipitoisuus vuodelle 2016 on esitetty kuvassa 19 ja kuvassa 20 niiden päivien lukumäärä, joina vuorokauden TSP keskipitoisuus ylittää 120 µg/m³.

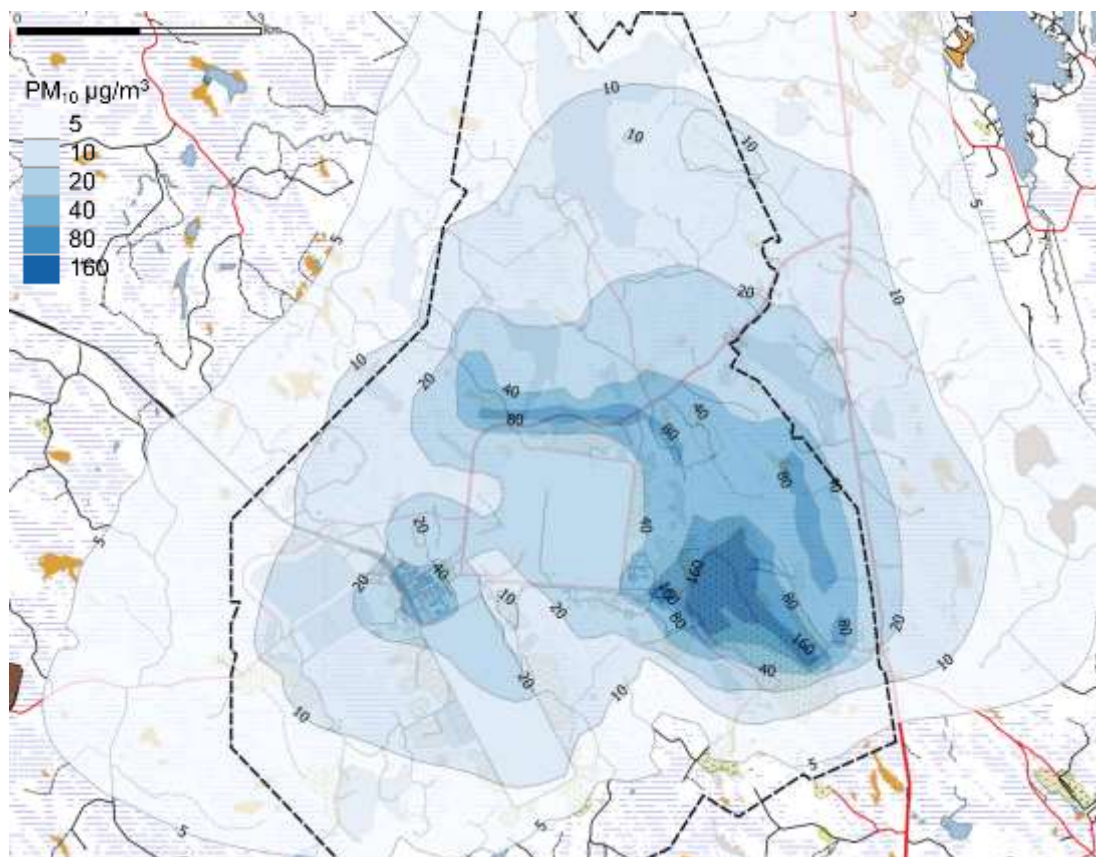
Mallitulosta voi pitää Myllyniemen osalta yliarviona. Luvun kaksi perusteella vuoden 2016 toteutuneelle tilanteelle Myllyniemen pitoisuusarvot ovat yläarvio, joten pölypitoisuudet jäävät siellä todennäköisesti myös laajennusvaihtoehdolla laskettuja arvoja pienemmiksi. Pölynhallintamenetelmillä, kuten teiden kastelulla, voidaan pölypäästöjä vähentää merkittävästi. Mittausten perusteella talvella pölypäästöt ovat selvästi kesää pienempiä, joten myös pölyn leviämisen kannalta kriittisillä ajoreiteillä tapahtuvien töiden ajoitus lumipeitteiseen aikaa vähentää pölypäästöjä.

Taulukko 6: Vaihtoehdon VE0+ pölykuormitukset

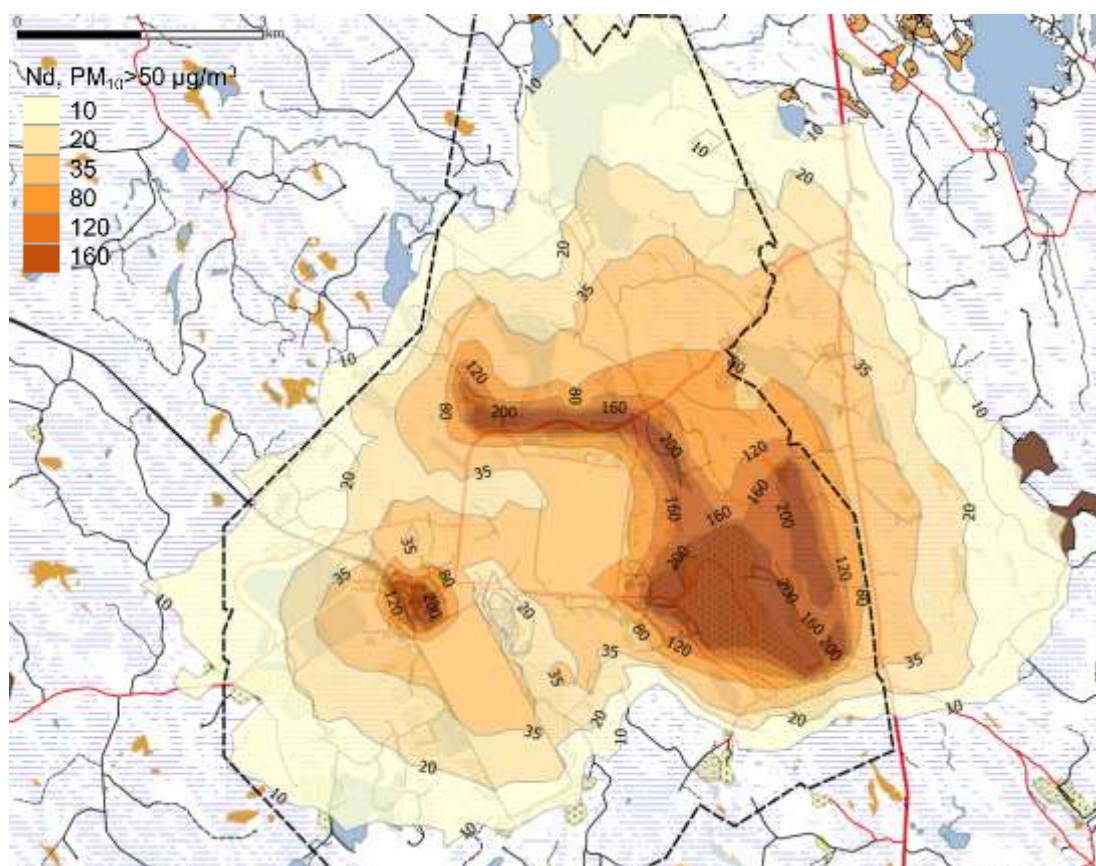
	Korjauskerroin	PM ₁₀ kg/d	TSP kg/d
Louhinta			
Poraus	1	25	49
Räjäytys	1	89	172
Malmin käsittely			
Malmin ja sivukiven kuormaus louhoksella	0.2	289	656
Malmin autokuljetus esimurskaimelle	0.4	1068	4603
Malmin purku	0.2	59	114
Hienomurskaus, seulonta, agglomerointi	1	168	336
Primääriliuotuskasa (PLA1-4)	1	168	336
Sivukivet			
Sivukiven autokuljetus KL2	0.4	1211	5220
Sivukiven autokuljetus SLA5-8	0.4	2059	8875
Sivukiven purku KL2	0.2	90	180
Sivukiven purku SLA5-8	0.2	90	180
Sekundääriliuotuskasa (SLA1-3)	1	168	336
Muut			
Kalkkitehdas	1	65	130
Tehdasalue, sis. liikenne	1	211	422



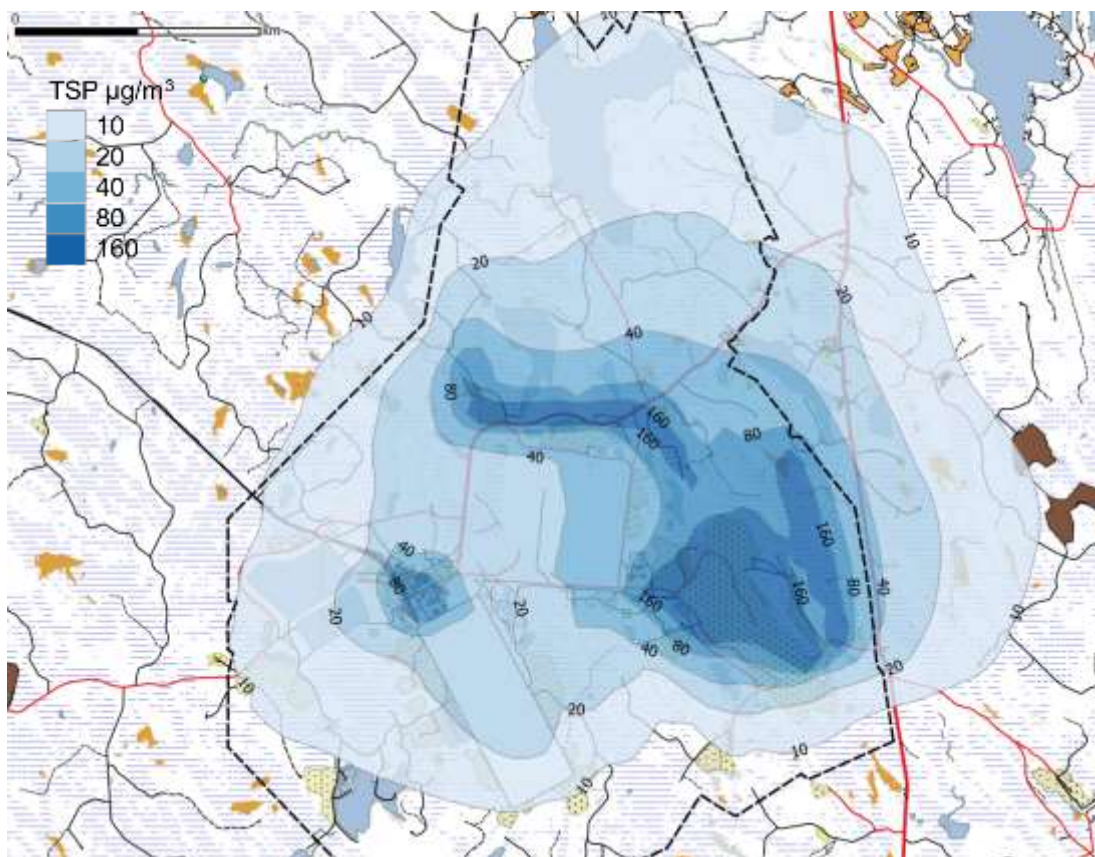
Kuva 12: Kaivosalueen pölykuormituslähteet laajennusvaihtoehdolle VE0+ taulukon mukaisesti.



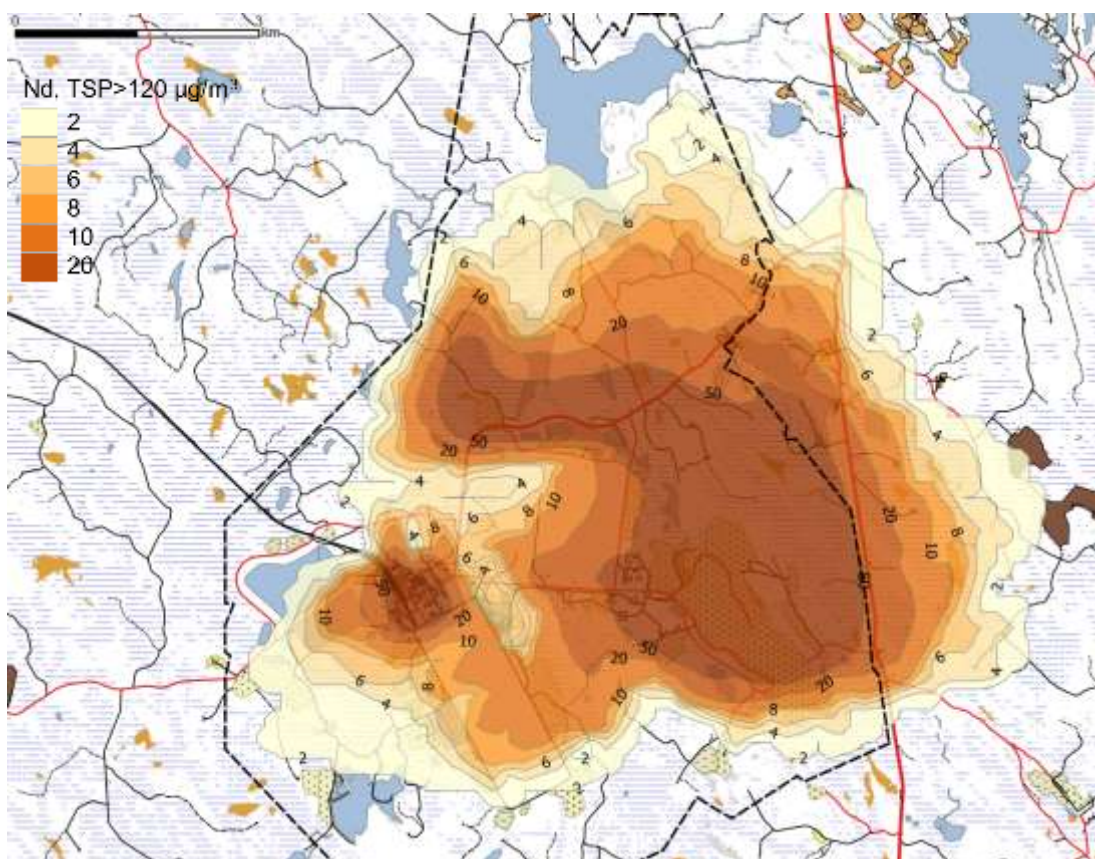
Kuva 13: VE0+, PM₁₀ keskipitoisuus vuoden 2016 ajalta. Raja-arvo on 40 µg/m³.



Kuva 14: VE0+, vuoden aikana PM₁₀ keskipitoisuuden 50 µg/m³ ylittävien päivien lukumäärä. Raja-arvo on 35 d/a.



Kuva 15: VE0+, TSP keskipitoisuus vuoden 2016 ajalta (ohjearvo $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



Kuva 16: VE0+, vuoden aikana TSP keskipitoisuuden $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ylittävien päivien lukumäärä (ohjearvo 8 d).

5.2 Laskenta kun tiet kasteltu (VE0+TK)

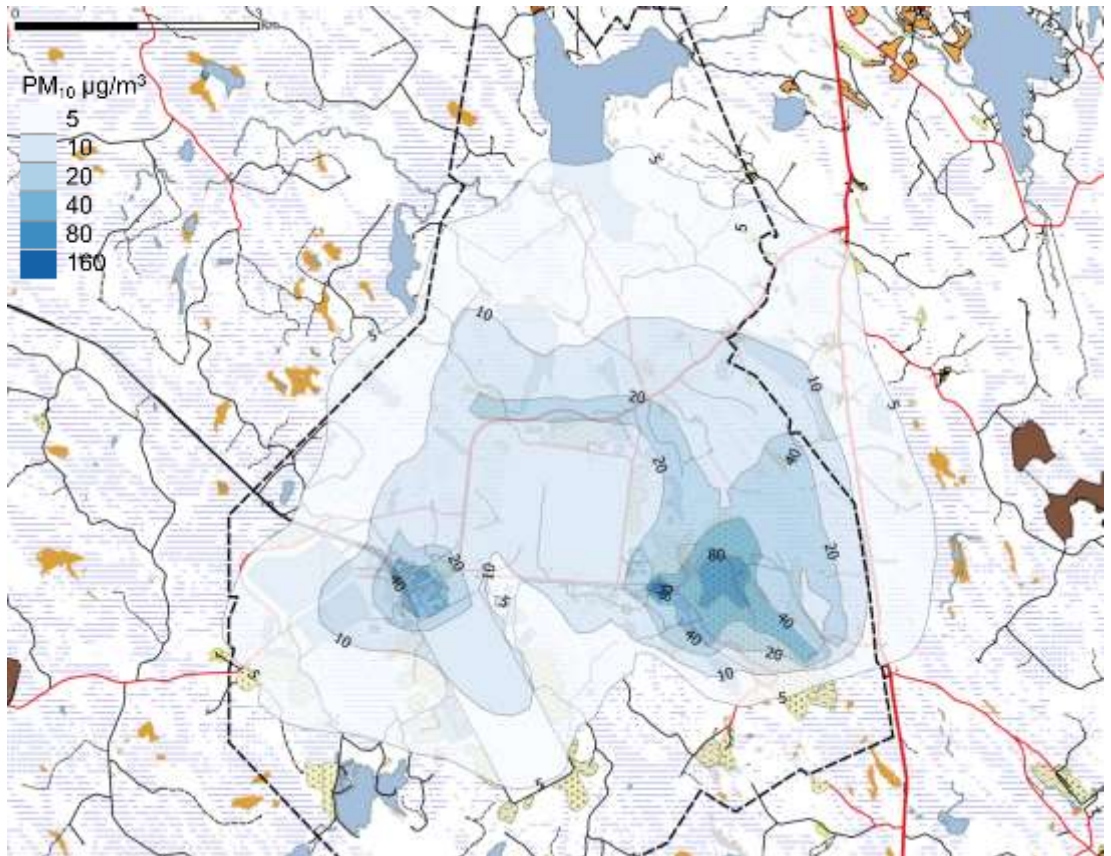
Laajennusvaihtoehdolle VE0+ laskettiin pölyn leviäminen myös tapauksessa, jossa kaikki tiet pidettiin kasteltuna (VE0+TK). Teiden osalta pölykuormituksen arvioitiin kastelun seurauksena laskevan neljäsosaan kuivaan tiehen verrattuna. Kuormitukset on esitetty taulukossa 7.

Tulokset PM₁₀ pitoisuuksien osalta on esitetty kuvissa 17 ja 18. Kuvassa 17 on pölyn keskipitoisuus vuoden 2016 tiedoilla laskettuna, ja kuvassa 18 on esitetty niiden päivien lukumäärä, joina PM₁₀ keskipitoisuus ylittää vuorokausikeskiarvona rajan 50 µg/m³. Vuosiraja-arvo 40 µg/m³ ei ylity kaivospiirin ulkopuolella. Ylityspäivien lukumäärän raja-arvo 35 d/a ylittyy kaivospiiriin itäpuolella rajalla pienellä alueella (~2000 m²), jolla ei ole asutusta tai yleisiä teitä.

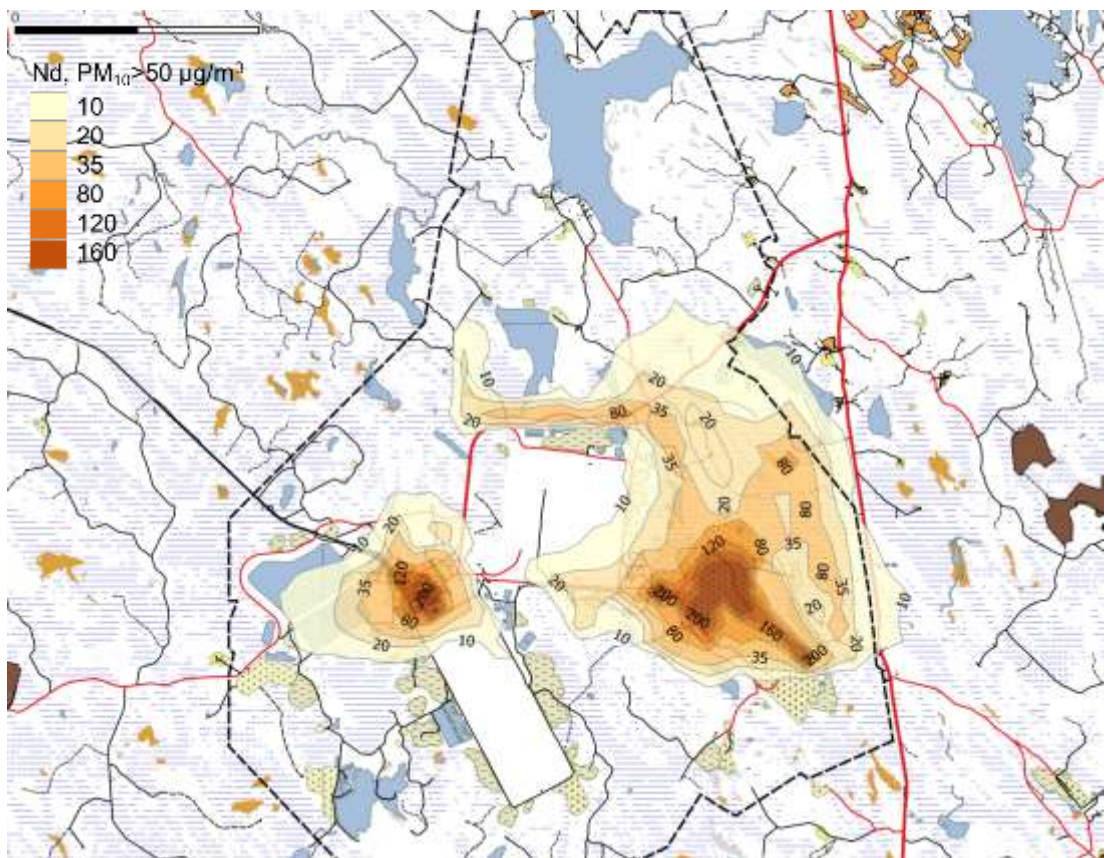
TSP keskipitoisuus vuodelle 2016 on esitetty kuvassa 19 ja kuvassa 20 niiden päivien lukumäärä, joina vuorokauden TSP keskipitoisuus ylittää 120 µg/m³.

Taulukko 7: Vaihtoehdon VE0+TK pölykuormitukset

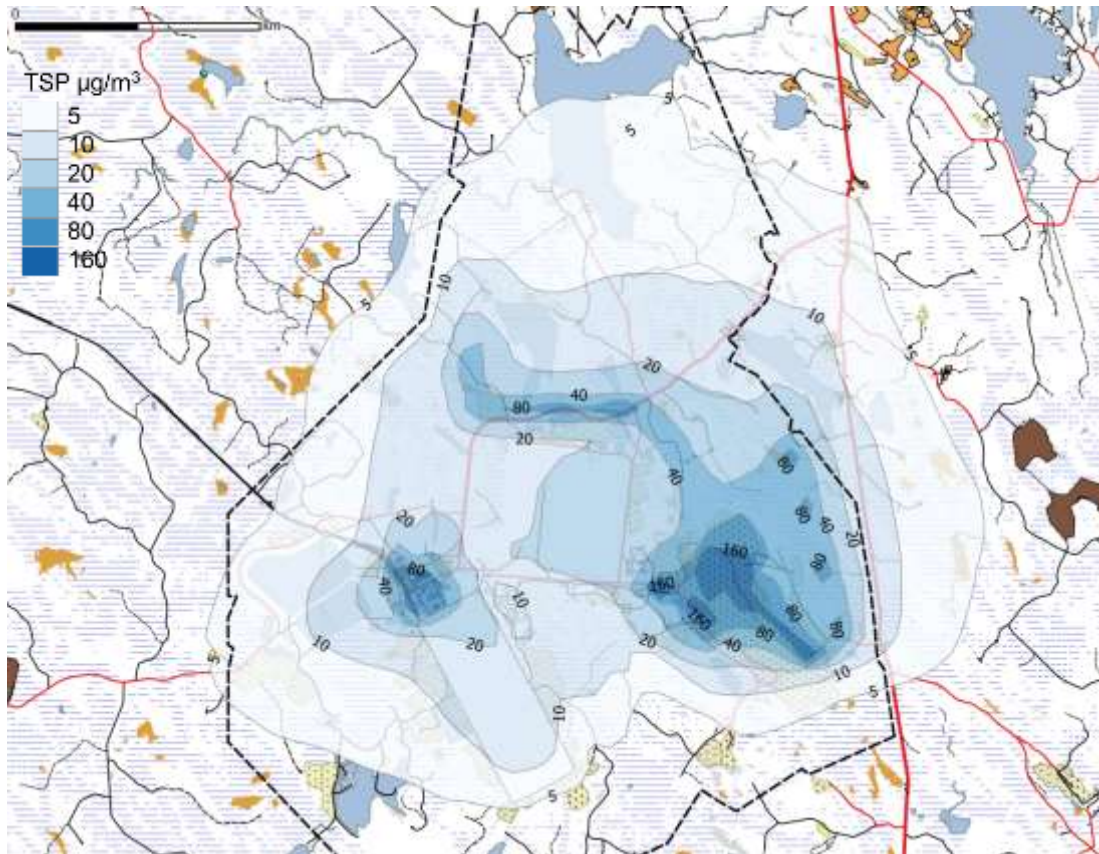
Louhinta	Korjauskerroin	PM ₁₀ kg/d	TSP kg/d
Poraus	1	25	49
Räjäytys	1	89	172
Malmin käsittely			
Malmin ja sivukiven kuormaus louhoksella	0.2	289	656
Malmin autokuljetus esimurskaimelle	0.1	267	1151
Malmin purku	0.2	59	114
Hienomurskaus, seulonta, agglomerointi	1	168	336
Primääriliuotuskasa (PLA1-4)	1	168	336
Sivukivet			
Sivukiven autokuljetus KL2	0.1	303	1305
Sivukiven autokuljetus SLA5-8	0.1	515	2219
Sivukiven purku KL2	0.2	90	180
Sivukiven purku SLA5-8	0.2	90	180
Sekundääriliuotuskasa (SLA1-3)	1	168	336
Muut			
Kalkkitechdas	1	65	130
Tehdasalue, sis. liikenne	1	211	422



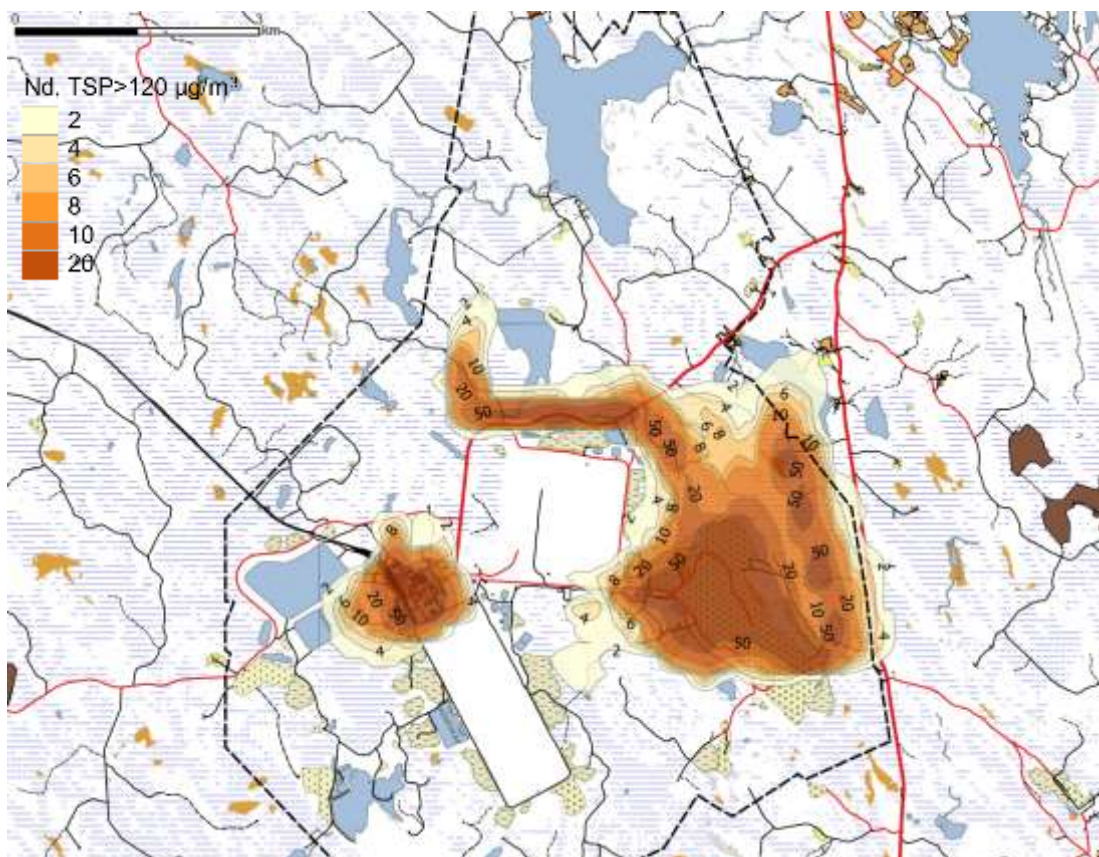
Kuva 17: VE0+TK, PM₁₀ keskipitoisuus vuoden 2016 ajalta. Raja-arvo on 40 µg/m³.



Kuva 18: VE0+TK, vuoden aikana PM₁₀ keskipitoisuuden 50 µg/m³ ylittävien päivien lukumäärä. Raja-arvo on 35 d/a.



Kuva 19: VE0+TK, TSP keskipitoisuus vuoden 2016 ajalta (ohjearvo < 50 µg/m³).



Kuva 20: VE0+TK, vuoden aikana TSP keskipitoisuuden 120 µg/m³ ylittävien päivien lukumäärä (ohjearvo < 8 d)

6 YHTEENVETO

6.1 Mallin lähtötiedot

Terrafamen kaivosalueelle tehtiin pölymalli, jonka avulla arvioitiin kaivoksen pölypäästöjä ja niiden leviämistä kaivosalueella ja sen lähistöllä. Pölyn leviäminen laskettiin vuoden 2016 tilanteelle ja suunnitellulle kaivoksen laajenukselle vuoden 2016 säätiä tietoja käyttäen.

Mallin epävarmuuksia pyrittiin arvioimaan ja vähentämään korjaamalla mallin kuormituksia mitattujen ilmalaatutietojen perustella. Korjaus tehtiin siten, että Myllyniemen osalta laskentatulokset pysyivät kuitenkin mitattuja tietoja suurempina, eli mallitulos Myllyniemen alueella on todennäköisesti varovaisuusperiaatteen mukaisesti edelleen suurempi kuin mitä laajenuksen aiheuttamat pölypäästöt todellisuuksissa olisivat.

6.2 Tulokset

Nykytilanteessa (VE0) haitallisen tason pölypitoisuudet rajoittuvat kaivospiirin sisäpuolelle. Hengittävien PM₁₀-hiukkasten osalta lakisääteiset rajapitoisuudet eivät ylitä kaivospiirin ulkopuolella.

Laajenuksen (VE0+) osalta ilman teiden kastelua PM₁₀ hiukkasten vuosittaisen keskipitoisuuden raja 40 µg/m³ ylittyy kaivospiirin ulkopuolella pienellä alueella (~ 8 ha) KL2-sivukivikasan itäpuolella. Ylityspäivien lukumäärän raja (10% ajasta yli 50 µg/m³) ylittyy laskelmien mukaan suuremmalla alueella (4,6 km²) kaivospiirin itäpuolella. Ylitysalueen sisäpuolelle jää myös asutusta.

Käytettäessä kastelua teiden pölyämisen hallintaan PM₁₀ hiukkasten vuosittaisen keskipitoisuuden raja 40 µg/m³ ei ylitä kaivospiirin ulkopuolella. Ylityspäivien lukumäärän raja-arvo (enintään 10% ajasta yli 50 µg/m³) ylittyy laskennan mukaan hyvin pienellä alueella (2000 m²) kaivospiirin itäpuolella.

TSP-pitoisuuksien osalta nykytilanteessa ohjearvopitoisuudet eivät laskennan mukaan ylitä kaivospiirin ulkopuolella, lukuun ottamatta hyvin pientä (1 ha) aluetta kaivospiirin itäreunalla. Laajennusvaihtoehdolla VE0+ ilman teiden kastelua ylityspäivien lukumäärän ohjearvo (enintään 2% ajasta yli 120 µg/m³) ylittyy kaivospiirin itäpuolella laajahkolla alueella (5,7 km²). Käytettäessä kastelua (VE0+TK) TSP-pitoisuus pysyy kaivospiirin ulkopuolella alle ohjerajan, lukuun ottamatta pientä aluetta (~13 ha) kaivospiirin itärajalla. Alueella ei ole asutusta.

Pienellä alueella kaivospiirin itäreunalla tapahtuva PM₁₀- että TSP-pitoisuuksien raja- ja ohjearvojen ylityksen aiheuttava kuormitus on sivukiven kasaus. On todennäköistä, että talvella lumipeite vähentää sivukiven kasauksen aiheuttamaa pölykuormitusta. Laskennassa talviaikaista kuormituksen vähenemistä ei ole laskennassa otettu erikseen huomioon johtuen siitä, että mittauksia tai kirjallisuustietoja aiheesta ei ollut käytettävissä. Mikäli talviaikainen kuormituksen vähentyminen huomioitaisiin, on todennäköistä, että ylityksiä ei tapahdu. Lisäksi mallissa on käytetty laskennassa pölyn leviämisen kannalta hankalaa tilannetta, jossa sivukiveä kasataan KL2-alueen pohjoispäähän samalle alueelle yhden vuoden ajan. Käytännössä alue kuitenkin täyttyy ja siirtyy samalla eri paikkaan, jolloin kasauksen aiheuttama kuormitus pohjoispäässä vähenee, ja kuormitusylitys on epätodennäköisempi.

6.3 Epävarmuuksien arviointi ja pölypäästöjen hallinta

Mallituloksiin sisältyy säätilanteen, mallilaskennan ja kuormitusten epätarkkuuksista aiheutuvaa epävarmuutta. Epävarmuuksia pyrittiin arvioimaan ja myös vähentämään vertaamalla laskentatuloksia mittauksiin ja korjaamalla kuormitusmääriä tulosten perusteella. Nykytilanteen arviointi toimii mallissa kohtalaisen hyvin, mallin lopputuloksen virhe PM_{10} mittauksen keskiarvon osalta oli mittauspisteissä alle 30%. Ylityspitoisuuksien virhe oli suunnilleen samaan luokkaa keskiarvon virheen kanssa tai sitä suurempi. Mittauspisteitä oli kaksi, joista kummastakin vertailuun käytettiin 4,5 kuukauden mittainen jakso. Laajennusvaihtoehdon osalta laskennan virheen voi olettaa olevan samansuuntainen.

Suurimmat pölypäästöt aiheutuvat kuormitusarvion mukaan kivien kuljetuksesta. Pölypäästöjä voi vähentää oikein ajoitetuilla käytännön toimilla, kuten ajoteiden kastelulla, töiden ajoituksella vähemmän pölyävään vuodenaikaan (talveen) ja kuljetusreittien järjestelyillä. Teiden kastelun on arvioitu vähentävän pölyämistä jopa yli 75%, eli kyseessä on varsin tehokas keino kuljetusten pölypäästöjen hallintaan. Mittausten mukaan lumipeitteiseen aikaan pölypäästöt kaivosalueelta olivat noin kolmasosa lumettomaan aikaan verrattuna, joten myös töiden ajoituksella vuodenajan perusteella on merkittävä vaikutus kuljetuksen päästöihin. Laskennan mukaan haitallinen pölypäästö rajoittuu noin kilometrin etäisyydelle kuljetusreitistä, joten kuljetusreittien sijoituksella voidaan myös rajata aluetta, jolle pölypäästö kulkeutuu.

LÄHDELUETTELO

Berrisford P, Dee D, Poli P, Brugge R, Fielding K, Fuentes M, Kallberg P, Kobayashi S, Uppala S and Simmons A, 2011, The ERA-Interim archive Version 2.0, ERA report series no 1, November 2011, ECMWF

EPA 2006, AP-42, Compilation of Air Emission Factors, Vol I chapter 13.2.2 Unpaved roads.

Kauppila T., Komulainen H., Makkonen S., Tuomisto J., (ed.), 2013, Metallikaivosalueiden ympäristöriskinarviointiosaamisen kehittäminen, MINERA-hankkeen lopputaportti, GTK tutkimusraportti no 199.

Luonnonvarakeskus, 2017, Latauspalvelu <http://kartta.luke.fi/opendata/valinta.html>, teema 'Puuston keskipituus 2013', tiedot haettu 05/2017.

Maanmittauslaitos, 2017, Avoimien aineistojen tiedostopalvelu, tiedot haettu 05/2017, lisenssi ja tietojen haku sivulta <http://www.maanmittauslaitos.fi/asioi-verkossa/avoimien-aineistojen-tiedostopalvelu>

NOAA, 2017, Integrated Surface Data, <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/noaa>

Saari H., Komppula B., Salmi J., 2017, Ilmanlaatumittaukset Terrafamen Kaivoksen Ympäristössä, Hengitettävien hiukkasten, arseenin ja metallien pitoisuudet jaksolla joulukuu 2015 – elokuu 2015, Ilmatieteen laitos – ilmanlaadun asiantuntijapalvelut, Terrafame Oy.

Suomen Ympäristökeskus, 2017, Corine 2012 - data Lapio-paikkatietojärjestelmästä, <http://www.syke.fi/AVOINTIETO>, haettu 05/2017.

Tammisto S., 2016, Terrafame Oy, hiukkaspitoisuusmittaus 9-10.12.2015. Ramboll Finland Oy