



# ILMANLAATUSELVITYS

**Autoliikenteen päästöjen vaikutus ilmanlaatuun  
YIT Suomi Oy Voimakadun  
kaavamuutosalueella Tampereen Ratinassa**



## **ILMANLAATUSELVITYS**

**Autoliikenteen päästöjen vaikutus alueen ilmanlaatuun  
YIT Suomi Oy Voimakadun kaavamuutosalueella  
Tampereen Ratinassa**

**Timo Rasila  
Katja Lovén**

**Ilmatieteen laitos – Asiantuntijapalvelut  
Ilmanlaatu ja energia  
Helsinki 17.2.2021**

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>OSA I</b> .....	<b>4</b>
1 JOHDANTO .....	4
2 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN LÄHTÖTIEDOT .....	5
2.1 Tarkastelukohteen sijainti .....	5
2.2 Liikennemäärät ja päästölaskenta .....	6
2.3 Mallilaskelmissa käytetty meteorologia .....	11
3 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN TULOKSET .....	12
3.1 Typpidioksidipitoisuudet (NO <sub>2</sub> ) .....	13
3.2 Pienhiukkaspitoisuudet (PM <sub>2,5</sub> ).....	17
3.3 Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (PM <sub>10</sub> ) .....	22
4 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	29
<b>OSA II</b> .....	<b>31</b>
5 TAUSTATIE TOA ILMANLAADUSTA.....	31
5.1 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät .....	31
5.2 Typpidioksidi.....	31
5.3 Hiukkaset.....	32
5.4 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset.....	34
6 ULKOILMANLAADUN RAJA- JA OHJEARVOT .....	34
7 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN YLEISKUVAUS .....	36
7.1 Pitoisuuslaskenta päästöjen leviämismalleilla .....	36
7.2 Piste- ja pintapäästölähteiden leviämismalli (UDM-FMI).....	37
7.3 Liikenteen päästöjen leviämismalli (CAR-FMI).....	38
7.4 Liikenteen suspensiopäästömalli katupölyn mallintamiseen .....	39
7.5 Liikenteen päästölaskenta .....	39
<b>VIITELUETTELO</b> .....	<b>41</b>

## OSA I

### 1 JOHDANTO

Ilmanlaatuselvityksessä arvioitiin leviämismallilaskelmin autoliikenteen päästöjen vaikutusta ilmanlaatuun YIT Suomi Oy, Asuminen Tampere (jäljempänä YIT) Voimakadun kaavamuutosalueella Tampereen Ratinassa, jonne on suunniteltu rakennettavaksi kerroskorkeudeltaan 5–9 krs. asuintaloja. Tutkimuksessa arvioitiin kaavamuutosalueen lähiliikenteen ja läheisen Ratinan lämpökeskuksen (40 MW) päästöjen aiheuttamaa ilmanlaatuvaikutusta hengityskorkeudelle lähiympäristöön ja viiteen erillistarkastelupisteeseen kaavamuutosalueelle korkeustasoille +85 – +112 mmpy (korkeus merenpinnasta). Leviämismallilaskelmin arvioitiin täyttävätkö alueen uudet suunnitelmat ilmanlaadulle asetetut ohje- ja raja-arvot. Ilmanlaatuselvitys tehtiin alueen kaavamuutosuunnitelman tueksi.

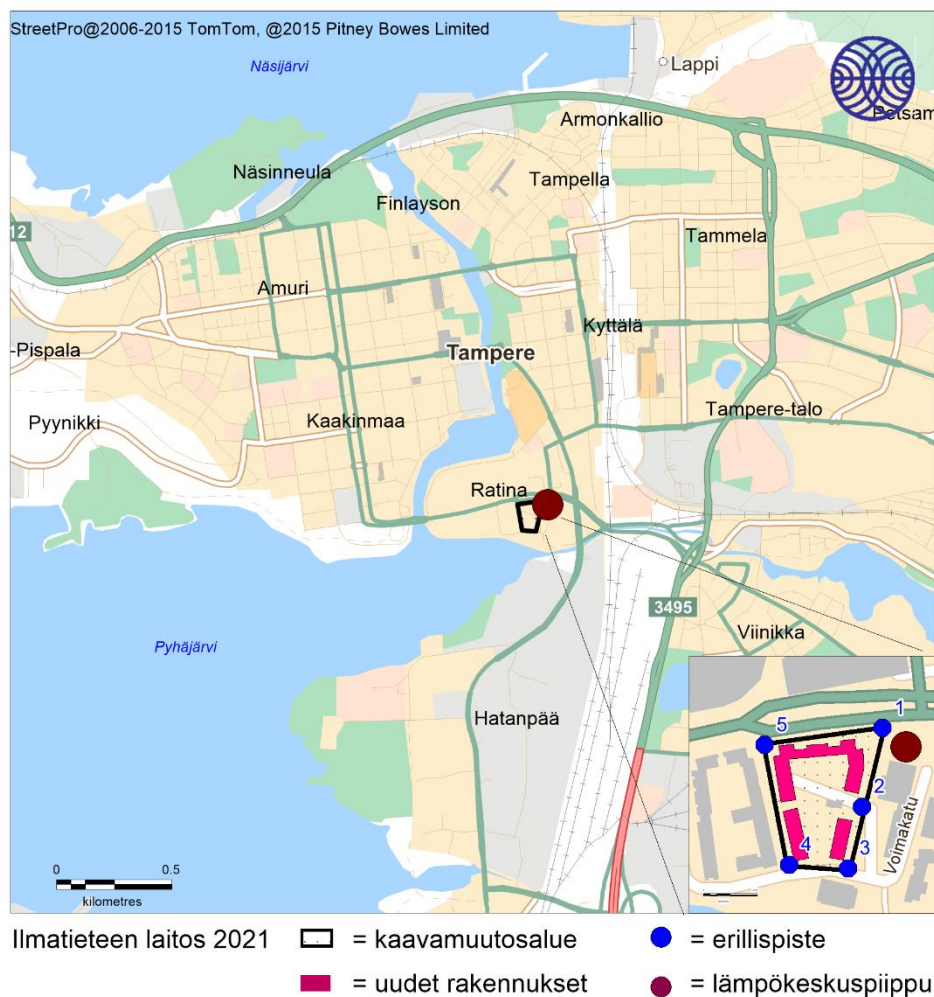
Tutkimuksessa tarkasteltiin liikenteen päästöjen aiheuttamia ulkoilman typpidioksidin ( $\text{NO}_2$ ) ja pienhiukkasten ( $\text{PM}_{2,5}$ ) sekä katupölystä aiheutuvien hengitettävien hiukkasten ( $\text{PM}_{10}$ ) pitoisuuksia. Laskelmissa huomioitiin myös läheisen Ratinan lämpökeskuksen aiheuttamat päästöt. Liikenteen leviämismallilaskelmissa käytettiin lähtötietoina autoliikenteen nykytilannetta edustavia nopeusriippuvaisia ajoneuvotyyppi- ja EURO-luokkakohtaisia päästökertoimia ja nykytilannetta edustavia liikennemäärätietoja. Nykytilanne valittiin tarkasteluvaihtoehdoksi, koska tulevaisuudessa liikennemäärien on enustettu laskevan tarkastelualueen ympäristössä. Päästöjen aiheuttamat typpidioksidin ja pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet arvioitiin leviämislaskelmin Ilmatieteen laitoksella liikenteen ja pistemäisten (Ratinan lämpökeskuksen savukaasupiippu) päästöjen leviämisen mallintamiseen kehitetyillä leviämismalleilla (CAR-FMI, ns. suspensiopäästömalli ja UDM-FMI).

Ilmanlaatuselvityksen tilasi YIT. Voimakadun kaavamuunnosalueen lähiliikenteen päästöjen laskelmat perustuivat Voimakadun asemakaavan 8615 meluselvityksen liikennemäärätietoihin. A-insinööreiltä saadut lähialueen liikennemäärät perustuivat Tampereen kaupungin Oskari -tietopalveluun ja ovat A-insinöörien toimesta hyväksytetty kaupungilla. Kaavamuutosaluetta ympäröivältä laajemmalta alueelta käytettiin liikenteen päästölaskelmiin Tampereen kaupunkialueella tehtyjen muiden meluselvityksien tietoja autoliikenteestä. Päästöjen leviämismallilaskelmat tehtiin Ilmatieteen laitoksen Asiantuntijapalvelut -yksikössä.

## 2 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN LÄHTÖTIEDOT

### 2.1 Tarkastelukohteen sijainti

Ilmanlaatuselvityksessä tarkasteltiin Voimakatu 11 -kaavamuutosalueen lähiympäristön autoliikenteen pakokaasu- ja katupölypäästöjen ilmanlaatuvaikutuksia. Selvityksessä huomioitiin kaavamuutosalueen lähiliikenteen lisäksi läheisen Ratinan lämpökeskuksen päästöt. Lämpökeskus sijaistee kaavamuutosalueen välittömässä läheisyydessä. Kuvassa 1 on esitetty Voimakadun kaavamuutosalueen, Ratinan lämpökeskuksen savupiipun ja erillistarkastelupisteiden sijainti karttapohjalla.

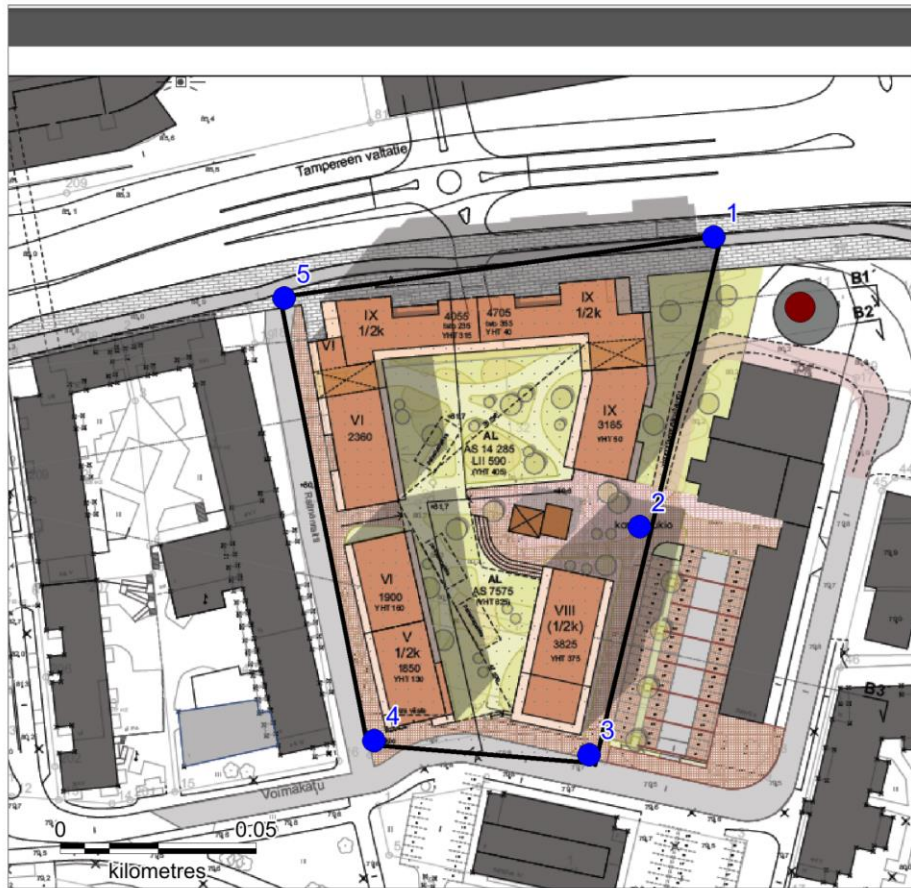


Kuva 1. YIT:n Voimakadun kaavamuutosalueen, Ratinan lämpökeskuksen ja erillistarkastelupisteiden sijainti Tampereen Ratinassa.

Kaavamuutosalue sijaitsee Ratinassa Voimakadun korttelissa. Vilkkaimmin liikennöidyt (KAVL > 20 000) lähialueen tiet ja kadut (Tampereen valtatie pohjoisessa ja Hatankään valtatie idässä) sijaitsevat alueen lähituntumassa.



Mallilaskelmin tarkasteltiin liikenteen ja läheisen lämpökeskuksen päästöjen aiheuttamia typpidioksidin, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia tutkimusalueella hengityskorkeudella (2 metriä maanpinnasta) ja viidessä erillistarkastelupisteessä, jotka sijaitsivat kaavamuutosalueen laidoilla. Alueelle rakennettavaksi suunnitellut 5–9 krs. kerrostalot kohoaisivat korkeimmillaan noin +110 mmpy korkeustasolle merenpinnasta. Pitoisuudet laskettiin erillistarkastelupisteisiin korkeussuunnassa 3 metrin välein +85 – +112 mmpy välille merenpintatasosta. Maanpintakorkeus kerrostalojen kohdalla on noin +80 mmpy. Kuvassa 2 on esitetty laskelmissa tarkasteltujen viiden erillistarkastelupisteen sijaintikohdat.



Ilmatieteen laitos 2021 □ = kaavamuutosalue ● = erillispiste  
● = lämpökeskuspiippu

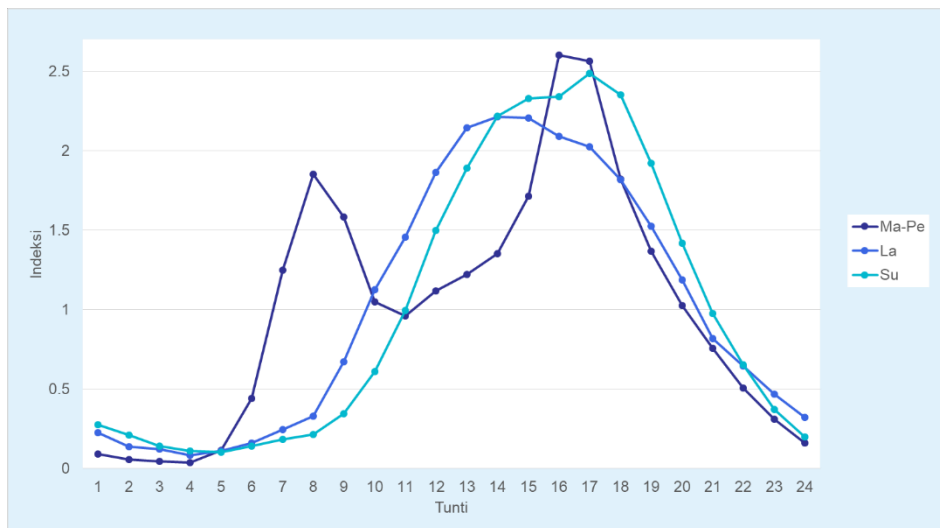
Kuva 2. YIT:n Voimakadun kaavamuutosalueen erillistarkastelupisteiden ja Ratinan lämpökeskuksen savukaasupiipun sijaintikohdat.

## 2.2 Liikennemäärät ja päästölaskenta

Mallilaskelmin tarkasteltiin autoliikenteen nykytilanteen päästötilannetta. Voimakadun kaavamuutosalueen lähiliikenteen päästöjen laskelmat perustuivat Voimakadun asema-kaavan 8615 meluselvityksen liikennemäärätietoihin. A-insinööreiltä saadut lähialueen

(noin 2 km × 2 km) nykytilanteen liikennemäärät perustuivat Tampereen kaupungin Os-kari -tietopalvelun tietoihin ja ovat A-insinöorien toimesta hyväksytty kaupungilla. Kaavamuutosaluetta ympäröivältä laajemmalla alueella (noin 10 km × 10 km) käytettiin liikenteen päästölaskelmiin Tampereen kaupunkialueella tehtyjen muiden meluselvityksien tietoja autoliikenteestä. Liikenteen päästöt mallinnettiin tiekohtaisina viivalähteinä. Liikenneväylää kuvattiin laskelmissa peräkkäisinä lyhyinä viivoina, joista jokaisesta vapautuu ympäristöönsä erikseen laskettavan suuruisen päästö. Tieverkon liikenteen päästöt laskettiin Ilmatieteen laitoksella keskimääräisten ennustettujen arkivuorokausiliikennemäärien (KAVL), ajonopeuksien, raskaan liikenteen sekä eri euroluokkien ajosuoriteosuuksien ja liikenteen tuntikohtaisen vaihtelun perusteella.

Lähiympäristön autoliikenteen päästöjen tunneittaisena ja viikoittaisena aikavaihteluna käytettiin Väyläviraston ylläpitämän automaattisen mittausjärjestelmän (LAM-pisteet) Tampereen Sarankulman mittauspisteen tietoja (kuva 3). Kuvissa 4, 5 ja 6 on esitetty laskelmissa käytetyt nykytilanteen arkivuorokausiliikennemäärät ja liikenneväyläkohtaisesti lasketut pakokaasuperäiset typenoksidien ( $\text{NO}_x$ ), pienhiukkasten ( $\text{PM}_{2,5}$ ) ja hengitettävien hiukkasten ( $\text{PM}_{10}$ ) päästöt (kg/a/m) tutkimusalueella. Kaavamuutosalueen lähiympäristön liikennemääristä Tampereen valtatie ja Hatanpään valtatie raskaan liikenteen osuudet olivat noin 3–4 % liikennevirran kokonaismäärästä.



Kuva 3. Lähiliikenteen tunneittaista ja viikoittaista vaihtelua kuvaavat aikavaihteluindeksit tarkastelualueella.

Lähiympäristön autoliikenteen pakokaasupäästöjen leviämislaskelmat tehtiin käyttäen Euroopan ympäristöviraston (*European Environmental Agency, EEA*) määrittämiä nopeudesta ja ajoneuvojen päästoluokista (EURO-luokitus) riippuvia ajoneuvotyyppikohtaisia päästökertoimia (*EEA, 2017*). Päästökertoimissa huomioitiin Suomessa vuonna 2018 käytössä olevien ajoneuvojen EURO-luokittaiset ajosuoriteosuudet VTT:n julkaiseman liikenteen päästöjen laskentajärjestelmän mukaisesti (*VTT, 2019*). EURO-luokittelussa eritellään päästoluokittain ajoneuvoilla vuodessa ajatun matkan määrä (ns. suorite). Autoliikenteen pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten päästöt sisältävät autojen pakokaasuista peräisin olevat sekä katupölystä peräisin olevat hiukkaset.

VTT ja Liikennevirasto ovat laatineet vuoteen 2030 asti ulottuvan ennusteen Suomen ajoneuvokannan suoriteosuuksien kehittymisestä. Tulevaisuuden autoliikenteen päästöjen ennustamiseen sisältyy useita epävarmuustekijöitä. Tässä ilmanlaatuselvityksessä nykytilannetta edustava ajoneuvojen EURO-luokkajakauma on ns. konservatiivinen arvio tulevaisuuden päästötilanteesta. Todennäköistä on, että päästöt ja niiden aiheuttamat vaikutukset pienenevät tulevaisuudessa nykytilanteeseen verrattuna, kun ajoneuvojen moottoritekniikka kehittyy ja päästörajoitukset tiukkenevat. On kuitenkin mahdollista, ettei VTT:n ja Liikenneviraston tuottamat ennusteet toteudu täysimääräisenä ja autokannan uudistuminen on ennustettua hitaampaa. Eri ennustevuosien EURO-luokkajakauma ja vaikutusta mallinnuksessa käytettäviin päästökertoimiin on kuvattu luvussa 7.5.



Ilmatieteen laitos 2021

□ = kaavamuutosalue  
● = lämpökeskuspiippu

Kuva 4. Lämpökeskuspiipun ja kaavamuutosalueen sijaintikohdat sekä laskelmissa mukana olleiden katujen ja teiden autoliikenteen typenoksidipäästöt (kg/a/m) ja arki vuorokausien liikennemäärät (KAVL, ajoneuvoa vuorokaudessa) tutkimusalueella nykytilanteessa.





Kuva 5. Lämpökeskuspiipun ja kaavamuutosalueen sijaintikohdat sekä laskelmissa mukana olleiden katujen ja teiden autoliikenteen pienhiukkaspäästöt (kg/a/m) ja arkivuorokausien liikennemäärät (KAVL, ajoneuvoa vuorokaudessa) tutkimusalueella nykytilanteessa.



Kuva 6. Lämpökeskuspiipun ja kaavamuutosalueen sijaintikohdat sekä laskelmissa mukana olleiden katujen ja teiden autoliikenteen hengitettävien hiukkasten päästöt vuonna 2018 (kg/a/m) ja arki vuorokausien liikennemäärät (KAVL, ajoneuvoa vuorokaudessa) tutkimusalueella nykytilanteessa. Vuoden 2018 päästötilanne.

Ns. suspensiopäästömallissa (katupölypäästömalli) liikenteestä aiheutuvan  $PM_{10}$ -päästön määrä perustuu todellisiin havaittuihin sääolosuhteisiin ja sääolosuhteiden perusteella arvioituihin hiekoitusajankohtiin. Katupölypäästön määrässä ei ole otettu huomioon todellisia hiekoitusten ajankohtia, hiekoitusmääriä ja katujen puhdistamisen ja mahdollisen pölynsidonnan vaikutusta pölypäästöön. Katupölyn määrä vaihtelee siten vuosittain sääolosuhteiden mukaan. Mallilaskelmissa vuosien 2017, 2018 ja 2019 hengitettävien hiukkasten kokonaispäästökseksi saatiin tutkimusalueella 130 t/a, 163 t/a ja 140 t/a vuodessa. Katupölyn osalta pahimmaksi vuodeksi osoittautui vuosi 2018 (ks. kuva 6).

Lähiliikenteen päästöjen lisäksi laskelmissa huomioitiin myös läheisen Ratinan lämpökeskuksen päästöt. Laitoksen savukaasupiippu sijaitsee noin 30 m etäisyydellä erillistarkastelupisteestä 1 kaakkoon. Lämpökeskus (40 MW) käyttää polttoaineenaan lähinnä maakaasua, mutta lämmöntuotantoon voidaan käyttää myös kevyttä polttoöljyä. Laskelmia varten laitoksen aiheuttamista päästöistä oli käytettävissä päästömittaustietoja (AX-suunnittelu) vuodelta 2019. Koska lämpökeskuksessa on mahdollista käyttää polttoaineena myös suurempia päästöjä aiheuttavaa kevyttä polttoöljyä, laskettiin laitoksen

päästöt kevyen polttoöljykäytön perusteella. Laitoksella on yksi 25 m korkea ja sisähalkaisijaltaan 1,1 m piippu, jonka virtausmäärä ja savukaasun lämpötila ovat keskimäärin noin 6,3 m<sup>3</sup>/s ja 128 °C. Laitoksen typenoksidien ja pienhiukkasten päästöiksi saatiin 5,9 t/a (NO<sub>x</sub>) ja 0,3 t/a (PM<sub>2,5</sub>).

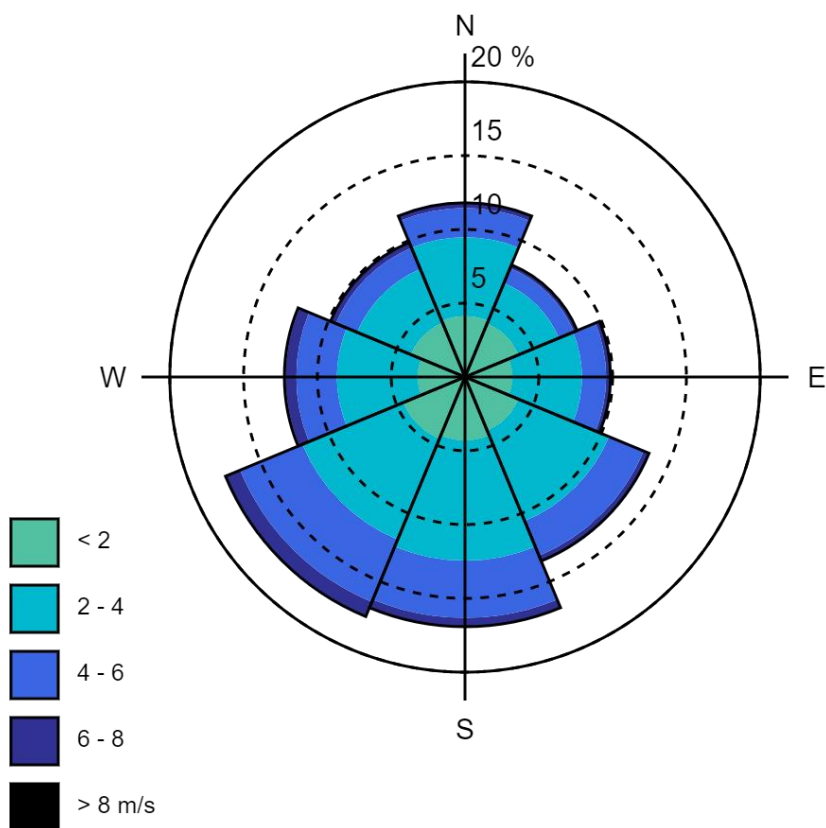
Lähiliikenteen ja läheisen lämpökeskuksen päästöjen lisäksi mallilaskelmissa huomioitiin alueellinen typpidioksidin, otsonin ja pienhiukkasten taustapitoisuus. Typpidioksidin ja otsonin taustapitoisuutena käytettiin Ilmatieteen laitoksen Hyytiälässä sijaitsevan ilmanlaadun mittausaseman mittaustuloksia. Pienhiukkasten taustapitoisuutena käytettiin Vaasan kaupungin ylläpitämän Vaasan vesitornin ilmanlaadun mittausasemalta saatuja tuloksia. Hyytiälän typenoksidien ja Vaasan vesitornin pienhiukkasten taustapitoisuuksien vuosikeskiarvot olivat tarkastelujakson 2017–2019 mittauksissa 2,1 µg/m<sup>3</sup> (NO<sub>2</sub>) ja 3,8 µg/m<sup>3</sup> (PM<sub>2,5</sub>). Mallilaskelmissa käytettiin Hyytiälän ilmanlaadun mittausaseman otsonihavaintoja typenoksidipäästöjen muutunnan osuuden arviointiin typpidioksidipitoisuuksissa. Otsonin taustapitoisuuksina käytettiin pitoisuuksien kuukausittain laskettuja tunneittaisia keskiarvoja, joilla pyrittiin kuvaamaan taustapitoisuuden vuorokauden sisäistä vaihtelua (*Ilmatieteen laitos, 2021*). Leviämismallilaskelmissa autoliikenteen aiheuttamista typenoksidipäästöistä (NO<sub>x</sub>) oletettiin typpidioksidin (NO<sub>2</sub>) osuudeksi 20 % ennen ulkoilmassa tapahtuvaa muutunutta (*Anttila, ym., 2011*).

### 2.3 Mallilaskelmissa käytetty meteorologia

Leviämismallin tarvitseman meteorologisen aikasarjan muodostuksessa käytettiin Ilmatieteen laitoksella kehitettyä meteorologisten tietojen käsittelymallia, joka perustuu ilmakehän rajakerroksen parametrusointimenetelmään (*Karppinen, 2001*). Menetelmän avulla voidaan meteorologisten rutiinihavaintojen ja fysiikan perusyhtälöiden avulla arvioida rajakerroksen tilaan vaikuttavat muuttujat, joita tarvitaan päästöjen leviämismallilaskelmissa. Menetelmässä huomioidaan tutkimusalueen paikalliset tekijät, kuten leviämisalustan rosoisuus ja vuodenaikaiset albedoarvot (maanpinnan kyky heijastaa auringon säteilyä) eri maanpinnan laaduille.

Laskelmissa käytettiin kolmen vuoden pituista tutkimusalueen sääolosuhteita edustavaa meteorologista aineistoa. Laskelmissa käytettäväksi sääasemiksi valittiin tutkimusaluetta edustavimmat sääasemat, joilla mitataan kaikkia mallin tarvitsemia sääsuureita. Säähavainto- ja luotausaineistot täyttävät WMO:n ja ICAO:n laatuvaatimukset. Tuulen suunta- ja nopeustiedot muodostettiin kahden sääaseman havaintojen etäisyyspainotettuna tilastollisena yhdistelmänä. Lopputuloksena saatiin leviämismalleissa tarvittavien meteorologisten tietojen tunneittaiset aikasarjat.

Tutkimusalueen ilmastollisia olosuhteita edustava meteorologinen aikasarja muodostettiin Tampereen Härmälän, Siilinkarin ja Pirkkalan lentoaseman sääasemien havaintotiedoista vuosilta 2017–2019. Sekoituskorkeuden määrittämiseen käytettiin Jokioisten luotauhavaintoja. Tuulen suunta- ja nopeusjakauma tutkimusalueella on esitetty kuvassa 7. Tutkimusalueella lounaistuulet ovat vallitsevia, kun koillistuulia esiintyy alueella vähemmän.



Kuva 7. Keskimääräinen tuulen suunta- ja nopeusjakauma tutkimusalueella vuosina 2017–2019. Tuulitiedot kuvaavat olosuhteita 10 metrin korkeudella maan pinnasta.

### 3 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN TULOKSET

Mallilaskelmien tuloksina saadut typpidioksidi- ja pienhiukkaspitoisuudet on esitetty taulukoina ja kaaviokuvina, joissa ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia verrataan ilmanlaatu-lainsäädännössä annettuihin ohje- ja raja-arvoihin sekä WHO:n ohjearvoihin. Vuosikeskiarvopitoisuus kuvaa alueen keskimääräistä ja vallitsevaa ilman epäpuhtaus-pitoisuustasoa parhaiten. Vuorokausiohjearvoja käytetään tyypillisesti suunnittelun tukena. Hetkelliset pitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi. Mallinnettuihin lyhytaikaispitoisuuksiin sisältyy enemmän epävarmuutta kuin vuosikeskiarvopitoisuuksiin ja lyhytaikaispitoisuuksiin vaikuttavat voimakkaammin yksittäiset meteorologiset tilanteet.

Jäljempänä tulevissa erillistarkastelupisteisiin saatujen pitoisuuksien tulostaulukoissa on selkeyden vuoksi esitetty laskelmin vain korkeimpia pitoisuuksia saavuttaneita erillistarkastelupisteiden tuloksia. Lämpökeskuksen päästöjen osalta pisteisiin 1 ja 2 saadut pitoisuudet olivat korkeimpia ja lähiliikenteen, lämpökeskuksen päästöjen ja taustan yhteisvaikutuksesta saadut korkeimmat pitoisuudet olivat pisteissä 1 ja 5. Raja- ja ohjearvoon verrannollisissa pitoisuuksien kuvaajissa saadut pitoisuudet on esitetty suhteellisinä kaikkiin erillistarkastelupisteisiin.

### 3.1 Typpidioksidipitoisuudet (NO<sub>2</sub>)

Taulukossa 1 on esitetty leviämismallilaskelmin saadut Ratinan lämpökeskuksen päästöjen aiheuttamat ulkoilman suurimmat typpidioksidin raja- ja ohjearvoihin verrannolliset suurimmat pitoisuudet erillistarkastelupisteissä 1 ja 2. Lämpökeskuksen päästöjen aiheuttama pitoisuus alittaa typpidioksidin ohje- ja raja-arvot selvästi kaikissa tutkituissa erillistarkastelupisteissä. Päästöjen aiheuttama pitoisuus on alemmilla korkeustasoilla kaikissa tarkastelupisteissä suurimmillaankin alle 3 % typpidioksidin ohje- ja raja-arvosta. Rakennusten kattotasoa edustavalla korkeustasolla +112 mmpy pitoisuus on suurimmillaan noin 10 % ohjearvoista päästölähdettä lähimmässä erillispisteessä 1 ja muissa erillispisteissä alle 3 % ohjearvoista. Korkeustasolla +112 mmpy typpidioksidipitoisuus on suurimmillaan noin 7 % raja-arvoista. Ratinan lämpökeskuksen 25 m korkean savukaasupiipun kautta vapautuvat päästöt vaikuttavat enemmän korkeammalla sijaitsevien tarkastelutasojen pitoisuuksiin.

Taulukko 1. Leviämismallilaskelmilla saadut **Ratinan lämpökeskuksen** päästöjen aiheuttamat suurimmat raja- ja ohjearvoihin verrannolliset ulkoilman typpidioksidipitoisuudet erillistarkastelupisteissä 1 ja 2 (lämpökeskusta lähimpinä sijaitsevat erillistarkastelupisteet).

Korkeustaso merenpinnasta (mmpy)	Typpidioksidipitoisuus NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )							
	Vuosisiraja-arvo (40 µg/m <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>		Vrk-ohjearvo (70 µg/m <sup>3</sup> ) <sup>(2)</sup>		Tuntiohjearvo (150 µg/m <sup>3</sup> ) <sup>(2)</sup>		Tuntiraja-arvo (200 µg/m <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>	
	Piste 1	Piste 2	Piste 1	Piste 2	Piste 1	Piste 2	Piste 1	Piste 2
+85	< 0,1	< 0,1	0,8	0,4	4,5	2,5	5,0	2,1
+88	< 0,1	< 0,1	0,9	0,4	4,9	2,5	5,1	2,1
+91	0,1	< 0,1	1,1	0,4	5,6	2,5	5,8	2,2
+94	0,1	< 0,1	1,4	0,5	7,3	2,5	6,8	2,2
+100	0,2	< 0,1	2,2	0,5	11	2,6	10	2,4
+106	0,2	< 0,1	2,7	0,5	14	2,9	14	2,7
+112	0,3	< 0,1	3,2	0,6	15	3,6	14	3,3

<sup>(1)</sup> raja-arvo

<sup>(2)</sup> ohjearvo

Taulukossa 2 on esitetty leviämismallilaskelmin saadut lähiliikenteen ja Ratinan lämpökeskuksen päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat ulkoilman suurimmat typpidioksidin raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet erillistarkastelupisteissä (pisteet 1 ja 5) eri korkeuksilla merenpinnasta. Kuvassa 8 on esitetty leviämismallilaskelmin saadut lähiliikenteen ja lämpökeskuksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat suurimmat typpidioksidipitoisuudet (NO<sub>2</sub>) suhteessa raja- ja ohjearvoihin kaikissa erillistarkastelupisteissä. Suurimmillaan typpidioksidipitoisuus on alimmalla korkeustasolla maanpintaa lähempänä noin 30 % vuosisiraja-arvosta ja noin 80 % vuorokausiohjearvosta. Korkeustasolla +112 mmpy merenpinnasta



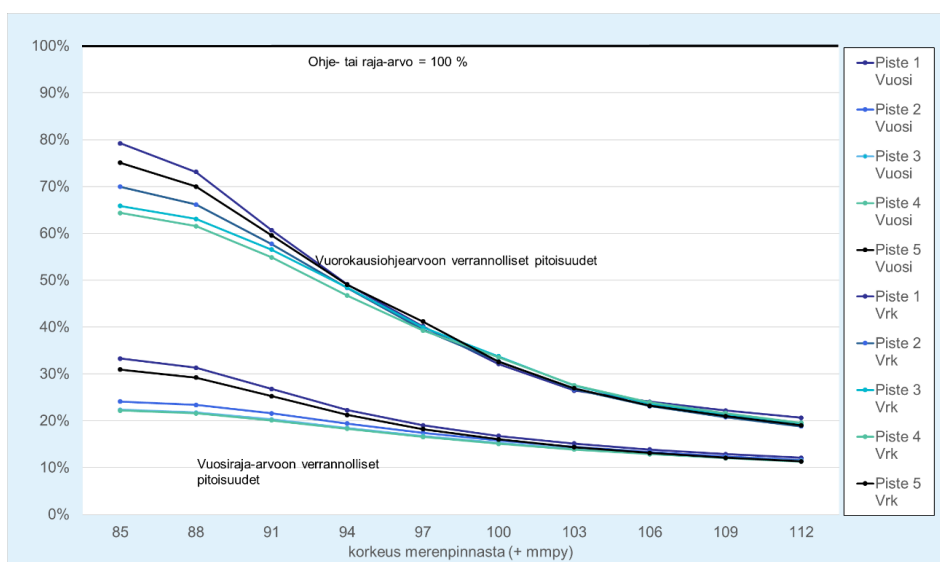
typpidioksidipitoisuus on noin 10 % vuosiraja-arvosta ja noin 20 % vuorokausiohje-arvosta.

Taulukko 2. Leviämismallilaskelmilla saadut lähiliikenteen ja Ratinan lämpökeskuksen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat suurimmat raja- ja ohjearvoihin verrannolliset ulkoilman typpidioksidipitoisuudet erillistarkastelupisteissä 1 ja 5 (Tampereen valtatieä lähimpänä sijaitsevat erillistarkastelupisteet).

Korkeustaso merenpinnasta (mmpy)	Typpidioksidipitoisuus NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )							
	Vuosiraja-arvo (40 µg/m <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>		Vrk-ohjearvo (70 µg/m <sup>3</sup> ) <sup>(2)</sup>		Tuntiohjearvo (150 µg/m <sup>3</sup> ) <sup>(2)</sup>		Tuntiraja-arvo (200 µg/m <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>	
	Piste 1	Piste 5	Piste 1	Piste 5	Piste 1	Piste 5	Piste 1	Piste 5
+85	13	10	55	49	130	120	113	100
+88	13	9,4	51	46	118	113	104	96
+91	11	8,6	42	40	98	98	87	86
+94	8,9	7,8	34	34	83	84	74	76
+100	6,7	6,3	22	23	62	64	52	56
+106	5,5	5,3	17	16	40	41	39	41
+112	4,8	4,7	14	13	31	29	30	31

<sup>(1)</sup> raja-arvo

<sup>(2)</sup> ohjearvo



Kuva 8. Leviämismallilaskelmilla saadut lähiliikenteen ja Ratinan lämpökeskuksen päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat suurimmat typpidioksidipitoisuudet (NO<sub>2</sub>) suhteessa raja- ja ohjearvoihin erillistarkastelupisteissä.

Taulukossa 3 on esitetty alueellisten pitoisuusjakaumien suurimmat typpidioksidin raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet kaavamuutosalueen lähiympäristössä. Kaavamuutosalueella typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvo on noin 8–12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  vuosiraja-arvon ollessa 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Typpidioksidin ( $\text{NO}_2$ ) taustapitoisuus on Hyytiälän mittauksissa ollut vuosina 2017–2019 vuosikeskiarvona 2,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Laskelmien mukaan typpidioksidipitoisuuden raja- ja ohjearvot alittuvat hengityskorkeudella kaikkialla tutkimusalueella.

Taulukko 3. Leviämismallilaskelmilla saadut lähiliikenteen ja Ratinan lämpökeskuksen päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat suurimmat raja- ja ohjearvoihin verrannolliset ulkoilman typpidioksidipitoisuudet kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella.

$\text{NO}_2$ -pitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Raja- tai ohjearvo	Hengityskorkeus
Vuosikeskiarvo	40 <sup>(1)</sup>	20
Korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus	70 <sup>(2)</sup>	60
Korkein tuntiohjearvoon verrannollinen pitoisuus	150 <sup>(2)</sup>	138
Korkein tuntiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus	200 <sup>(1)</sup>	106

<sup>(1)</sup> raja-arvo

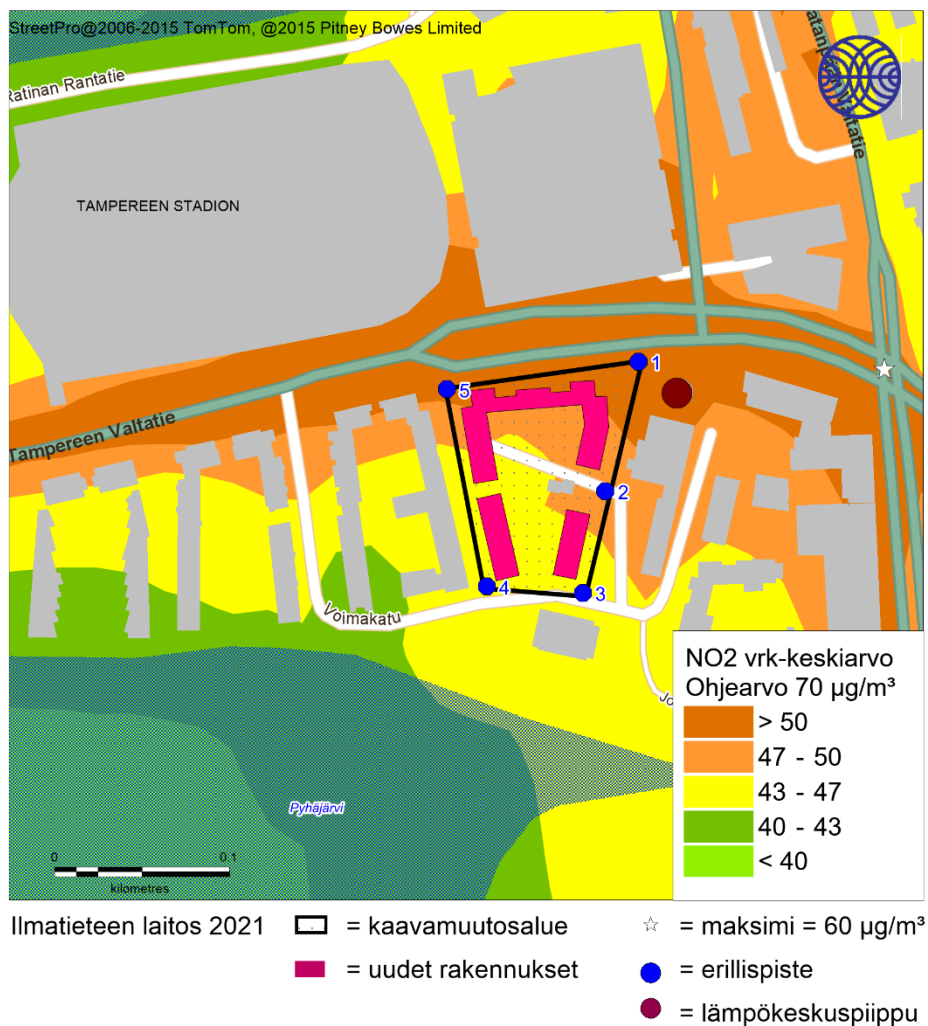
<sup>(2)</sup> ohjearvo

Lähiliikenteen vaikutus ulkoilman typpidioksidipitoisuuksiin on suurimmillaan lähellä maanpintaa. Päästöjen sekoittumisen ja laimenemisen vuoksi pitoisuudet pienenevät maanpintatasolta ylöspäin mentäessä ja kuljettaessa etäämmälle tiestä. Typpidioksidipitoisuuden ohje- ja raja-arvot alittuvat kaikissa tutkituissa tarkastelukohteissa.

Kuvissa 9 ja 10 on esitetty lähiliikenteen ja Ratinan lämpökeskuksen päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat typpidioksidin vuosiraja-arvoon ja vuorokausiohjearvoon verrannollisten pitoisuuksien aluejakaumat kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella.



Kuva 9. Leviämislaskelmin saatu **lähiliikenteen ja Ratinan lämpökeskuksen** päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama typpidioksidin (NO<sub>2</sub>) vuosi-  
raja-arvoon verrannollinen pitoisuus kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella.



Kuva 10. Leviämislaskelmin saatu lähiliikenteen ja Ratinan lämpökeskuksen päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama typpiidioksidin (NO<sub>2</sub>) vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella.

### 3.2 Pienhiukkaspitoisuudet (PM<sub>2,5</sub>)

Taulukossa 4 on esitetty leviämismallilaskelmin saadut Ratinan lämpökeskuksen päästöjen aiheuttamat ulkoilman pienhiukkasten vuosiraja-arvoon ja WHO:n ohjearvoihin verrannolliset suurimmat pitoisuudet Voimakadun kaavamuutosalueella eri korkeustasoilla merenpinnasta.

Pienhiukkaspitoisuuden raja- ja ohjearvot alittuvat erittäin selvästi kaikissa tutkituissa tarkastelukohteissa. Lämpökeskuksen päästöjen aiheuttamat pitoisuudet ovat kaikissa erillistarkastelupisteissä suurimmillaankin noin 2 % pienhiukkasten vuosiraja-arvosta ja WHO:n vuosiohjearvosta sekä noin 10 % WHO:n vuorokausiohjearvosta korkeustasolla +112 mmpy. Ratinan lämpökeskuksen 25 m korkean savukaasupiipun kautta vapautuvat päästöt vaikuttavat enemmän korkeammalla sijaitsevien tarkastelutasojen pitoisuuksiin.

Taulukko 4. Leviämismallilaskelmilla saadut **Ratinan lämpökeskuksen** päästöjen aiheuttamat suurimmat raja-arvoihin ja WHO:n ohjearvoihin verrannolliset ulkoilman verrannolliset ulkoilman pienhiukkaspitoisuudet erillistarkastelupisteissä 1 ja 2 (lämpökeskusta lähimpinä sijaitsevat erillistarkastelupisteet).

Korkeustaso merenpinnasta (mmpy)	Hiukkaspitoisuus PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )					
	Vuosiraja-arvo (25 µg/m <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>		Vuosiohjarvo (WHO) (10 µg/m <sup>3</sup> ) <sup>(2)</sup>		Vuorokausiohjarvo (WHO) (25 µg/m <sup>3</sup> ) <sup>(2)</sup>	
	Piste 1	Piste 2	Piste 1	Piste 2	Piste 1	Piste 2
+85	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,4	0,7
+88	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,5	0,7
+91	0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	1,7	0,7
+94	0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	2,1	0,7
+100	0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	2,7	0,7
+106	0,2	< 0,1	0,2	< 0,1	3,2	0,8
+112	0,2	< 0,1	0,2	< 0,1	2,9	1,0

<sup>(1)</sup> raja-arvo

<sup>(2)</sup> WHO:n asettama ohjarvo

Taulukossa 5 on esitetty leviämismallilaskelmin saadut lähiliikenteen ja Ratinan lämpökeskuksen päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat ulkoilman suurimmat pienhiukkasten vuosiraja-arvoon sekä WHO:n ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet Voimakadun kaavamuutosalueen erillistarkastelupisteissä 1 ja 5. Pienhiukkaspitoisuus alittaa laskelmien mukaan vuosiraja-arvon ja WHO:n antamat vuosi- ja vuorokausiohjarvon kaikissa tutkituissa erillistarkastelupisteissä.

Kuvassa 11 on esitetty leviämismallilaskelmin saadut lähiliikenteen ja pysäköintilaitoksen päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksesta aiheutuneet suurimmat pienhiukkaspitoisuudet suhteessa vuosiraja-arvoon ja WHO:n vuorokausiohjarvoon Voimakadun kaavamuutosalueen erillistarkastelupisteissä. Korkeimmillaan pitoisuus on erillistarkastelupisteissä lähimpänä maanpintaa (+85 mmpy), jossa pienhiukkaspitoisuus on noin 20 % vuosiraja-arvosta ja lähes 55 % WHO:n vuorokausiohjarvosta.

Lähiliikenteen vaikutus ulkoilman pienhiukkaspitoisuuksiin on suurimmillaan lähellä maanpintaa. Päästöjen sekoittumisen ja laimenemisen vuoksi pitoisuudet pienenevät sekä korkeammalle noustessa että kuljettaessa etäämmälle tiestä. Pitoisuuksia verrataan WHO:n vuorokausiohjarvoon, koska pienhiukkasten lyhytaikaispitoisuuksille ei Suomessa ole voimassaolevaa raja- tai ohjarvoa. Suurin osa pienhiukkaspitoisuuksissa on alueellista taustaa, joka Vaasan vesitornin mittauksissa on vuosina 2017–2019 ollut vuosikeskiarvona 3,8 µg/m<sup>3</sup>. Taulukosta 5 voidaan nähdä tarkastelukorkeuden kasvaessa pitoisuuksien vuosikeskiarvojen lähenevän kohden taustapitoisuuden vuosikeskiarvoa, kun autoliikenteen päästöjen vaikutus pitoisuuksissa vähenee suuremmilla korkeusasoilla.

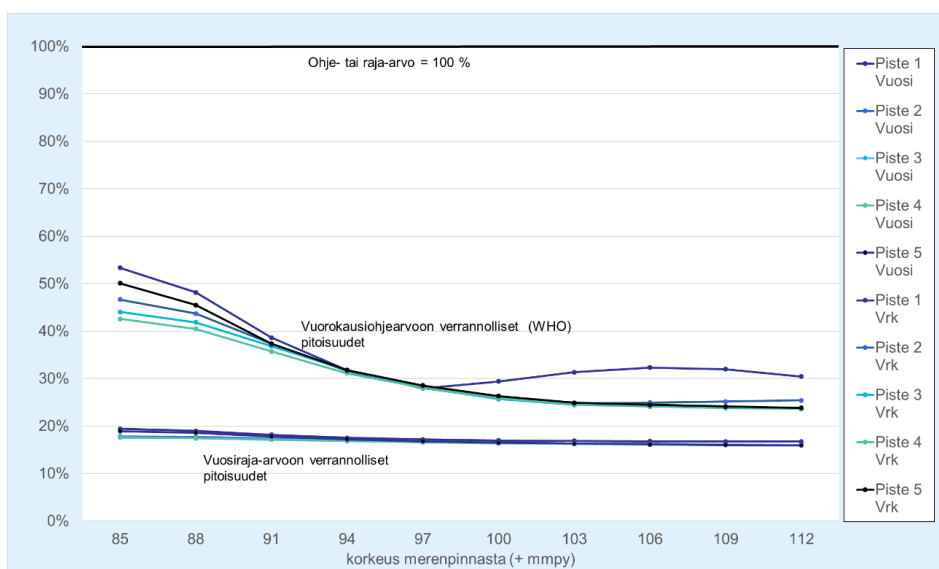


Taulukko 5. Leviämismallilaskelmilla saadut lähiliikenteen ja Ratinan lämpökeskuksen päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat suurimmat vuosiraja-arvoon ja WHO:n ohjearvoihin verrannolliset ulkoilman pienhiukkaspitoisuudet erillistarkastelupisteissä 1 ja 5 (Tampereen valtatie lähimpänä sijaitsevat pisteet).

Korkeustaso merenpinnasta (mmpy)	Hiukkaspitoisuus PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )					
	Vuosiraja-arvo (25 µg/m <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>		Vuosiohjearvo (WHO) (10 µg/m <sup>3</sup> ) <sup>(2)</sup>		Vuorokausiohjearvo (WHO) (25 µg/m <sup>3</sup> ) <sup>(2)</sup>	
	Piste 1	Piste 5	Piste 1	Piste 5	Piste 1	Piste 5
+85	13	10	55	49	130	120
+88	13	9,4	51	46	118	113
+91	11	8,6	42	40	98	98
+94	8,9	7,8	34	34	83	84
+100	6,7	6,3	22	23	62	64
+106	5,5	5,3	17	16	40	41
+112	4,8	4,7	14	13	31	29

<sup>(1)</sup> raja-arvo

<sup>(2)</sup> WHO:n asettama ohjearvo



Kuva 11. Leviämismallilaskelmilla saadut lähiliikenteen ja Ratinan lämpökeskuksen päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat suurimmat pienhiukkasten (PM<sub>2,5</sub>) pitoisuudet suhteessa vuosiraja-arvoon ja WHO:n vuorokausiohjearvoon erillistarkastelupisteissä.

Taulukossa 6 on esitetty alueellisten pitoisuusjakaumien suurimmat pienhiukkasten raja-arvoihin ja WHO:n ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet kaavamuutosalueen lähiympäristössä. Kaavamuutosalueella pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo on noin 4,3–4,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  vuosisiraja-arvon ollessa 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Laskelmien mukaan pienhiukkaspitoisuuden vuosisiraja-arvo ja WHO:n ohjearvot alittuvat hengityskorkeudella kaikkialla tutkimusalueella.

Taulukko 6. Leviämismallilaskelmilla saadut lähiliikenteen ja Ratinan lämpökeskuksen päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat suurimmat vuosisiraja-arvoon ja WHO:n ohjearvoihin verrannolliset ulkoilman pienhiukkaspitoisuudet ( $\text{PM}_{2,5}$ ) kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella.

$\text{PM}_{2,5}$ -pitoisuus ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Raja- tai ohjearvo	Hengityskorkeus
Vuosikeskiarvo	25 <sup>(1)</sup> / 10 <sup>(2)</sup>	5,3
Korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus	25 <sup>(2)</sup>	13

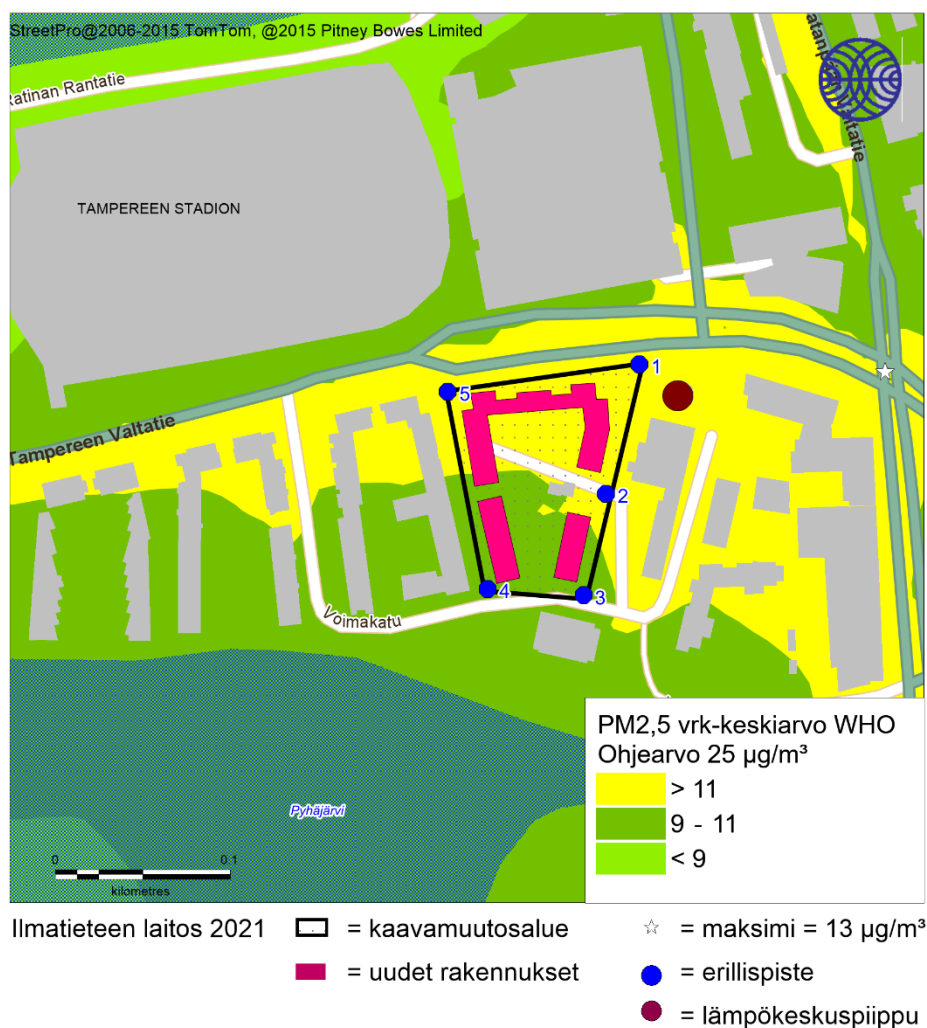
<sup>(1)</sup> raja-arvo

<sup>(2)</sup> WHO:n asettama ohjearvo

Kuvissa 12 ja 13 on esitetty lähiliikenteen ja Ratinan lämpökeskuksen päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat pienhiukkaspitoisuuden ( $\text{PM}_{2,5}$ ) vuosisiraja-arvoon ja WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollisen pienhiukkaspitoisuuden aluejakaumat kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella.



Kuva 12. Leviämislaskelmin saatu lähiliikenteen ja Ratinan lämpökeskuksen päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama pienhiukkasten (PM<sub>2,5</sub>) vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella.



Kuva 13. Leviämislaskelmin saatu lähiliikenteen ja Ratinan lämpökeskuksen päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama pienhiukkasten (PM<sub>2,5</sub>) WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella.

Kaukokulkeumalla on merkittävä vaikutus pienhiukkasten pitoisuuksiin Suomessa ja korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet havaitaan yleensä kaukokulkeumaepisodien aikana. Näissä tilanteissa pienhiukkaspitoisuuden WHO:n vuorokausiohjearvo ylittyy helposti koko Suomessa tausta-alueillakin. Suurimmat pitoisuudet havaitaan, kun ilmapvirtaukset ovat etelän tai idän suuntaisia (mm. Venäjän ja Itä-Euroopan metsäpalojen aiheuttamat kohonneet pienhiukkaspitoisuudet).

### 3.3 Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (PM<sub>10</sub>)

Taulukossa 7 on esitetty leviämismallilaskelmin saadut lähiliikenteen ja Ratinan lämpökeskuksen päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat ulkoilman suurimmat hengitettävien hiukkasten raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet Voimakadun kaavamuutosalueen erillistarkastelupisteissä 1 ja 5. Hengitettävien hiukkasten

pitoisuus alittaa laskelmien mukaan vuosi- ja vuorokausiraja-arvon, mutta ylittäisi erillistarkastelupisteissä korkeimmillaan ohjearvon noin 1,3–1,8 -kertaisesti +85 mmpy korkeustasolla merenpinnasta. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvo alittuu kaikissa erillispisteissä +91 mmpy korkeustasolla ja alkaa sen jälkeen laskea nopeasti korkeuden kasvaessa.

Kuvassa 14 on esitetty leviämismallilaskelmin saadut lähiliikenteen ja Ratinan lämpökeskuksen päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksesta aiheutuneet suurimmat hengitettävien hiukkasten pitoisuudet suhteessa vuosiraja-arvoon ja vuorokausiohjearvoon Voimakadun kaavamuutosalueen erillistarkastelupisteissä. Korkeimmillaan pitoisuus on erillistarkastelupisteissä lähimpänä maanpintaa, jossa hiukkaspitoisuus on noin 30–40 % vuosiraja-arvosta.

Taulukko 7. Leviämismallilaskelmilla saadut lähiliikenteen ja Ratinan lämpökeskuksen päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat suurimmat raja- ja ohjearvoihin verrannolliset ulkoilman pienhiukkaspitoisuudet erillistarkastelupisteissä 1 ja 5 (Tampereen valtatie lähimpänä sijaitsevat pisteet).

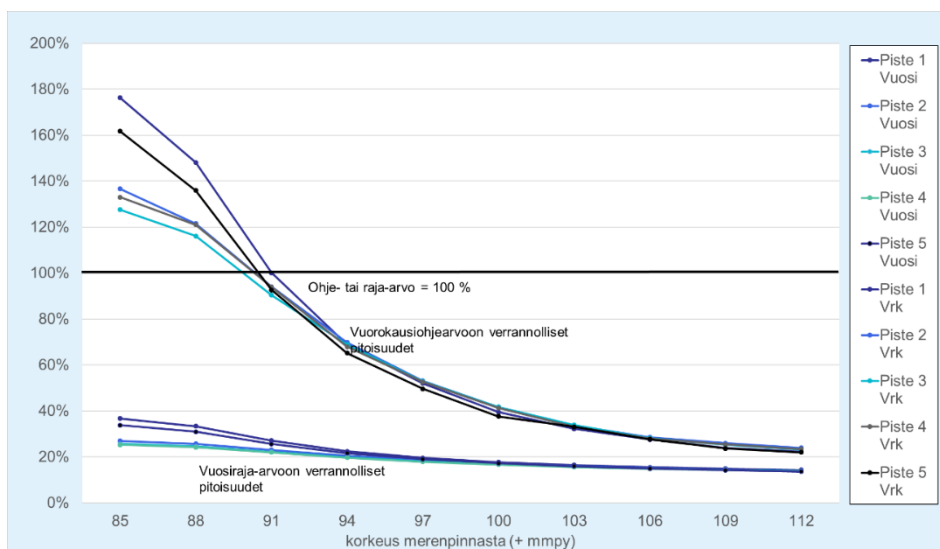
Korkeustaso merenpinnasta (mmpy)	Hiukkaspitoisuus PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )					
	Vuosiraja-arvo (40 µg/m <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>		Vuorokausiraja-arvo (50 µg/m <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>		Vuorokausiohjearvo (70 µg/m <sup>3</sup> ) <sup>(2)</sup>	
	Piste 1	Piste 5	Piste 1	Piste 5	Piste 1	Piste 5
+85	15	14	35	24	123	113
+88	13	12	30	22	104	95
+91	11	10	22	19	70	65
+94	9,0	8,6	17	16	48	46
+100	7,1	6,9	12	11	28	26
+106	6,2	6,0	9,2	9,4	19	19
+112	5,7	5,5	8,3	8,4	16	15

<sup>(1)</sup> raja-arvo, vuorokausiraja-arvo sallii 35 raja-arvotason ylitystä vuodessa.

<sup>(2)</sup> ohjearvo

Lähiliikenteen vaikutus ulkoilman hengitettäviin hiukkasten pitoisuuksiin on suurimmillaan lähellä maanpintaa. Päästöjen sekoittumisen ja laimenemisen vuoksi pitoisuudet pienenevät sekä korkeammalle noustessa että kuljettaessa etäämmälle tiestä. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksissa on huomioitu alueellinen pienhiukkasten tausta, joka on Vaasan vesitornin mittauksissa ollut vuosina 2017–2019 vuosikeskiarvona 3,8 µg/m<sup>3</sup>. Taulukosta 5 voidaan nähdä tarkastelukorkeuden kasvaessa pitoisuuksien vuosikeskiarvojen lähenevän kohden pienhiukkasten taustapitoisuuden vuosikeskiarvoa, kun autoliikenteen päästöjen ja mm. autojen maasta nostattaman pölyn vaikutus pitoisuuksissa vähenee suuremmilla korkeustasoilla.





Kuva 14. Leviämismallilaskelmilla saadut lähiliikenteen ja Ratinan lämpökeskuksen päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat suurimmat pienhiukkasten (PM<sub>10</sub>) pitoisuudet suhteessa vuosiraja-arvoon ja vuorokausiohjearvoon erillis-tarkastelupisteissä.

Taulukossa 8 on esitetty aluejakaumien suurimmat pienhiukkasten raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet kaavamuuotosalueen lähiympäristössä. Kaavamuuotosalueen lähiympäristössä hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvo on hengityskorkeudella noin 10–13 µg/m<sup>3</sup> vuosiraja-arvon ollessa 40 µg/m<sup>3</sup>. Laskelmien mukaan hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosiraja-arvot alittuvat hengityskorkeudella kaikkialla tutkimusalueella, mutta vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus voi ylittyä laajoilla alueilla Tampereen ja Hatanpään valtateiden risteuksen lähialueilla ja teiden välittömässä läheisyydessä.

Taulukko 8. Leviämismallilaskelmilla saadut lähiliikenteen ja Ratinan lämpökeskuksen päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat suurimmat raja-arvoihin ja ohjearvoon verrannolliset ulkoilman hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) pitoisuudet kaavamuuotosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella.

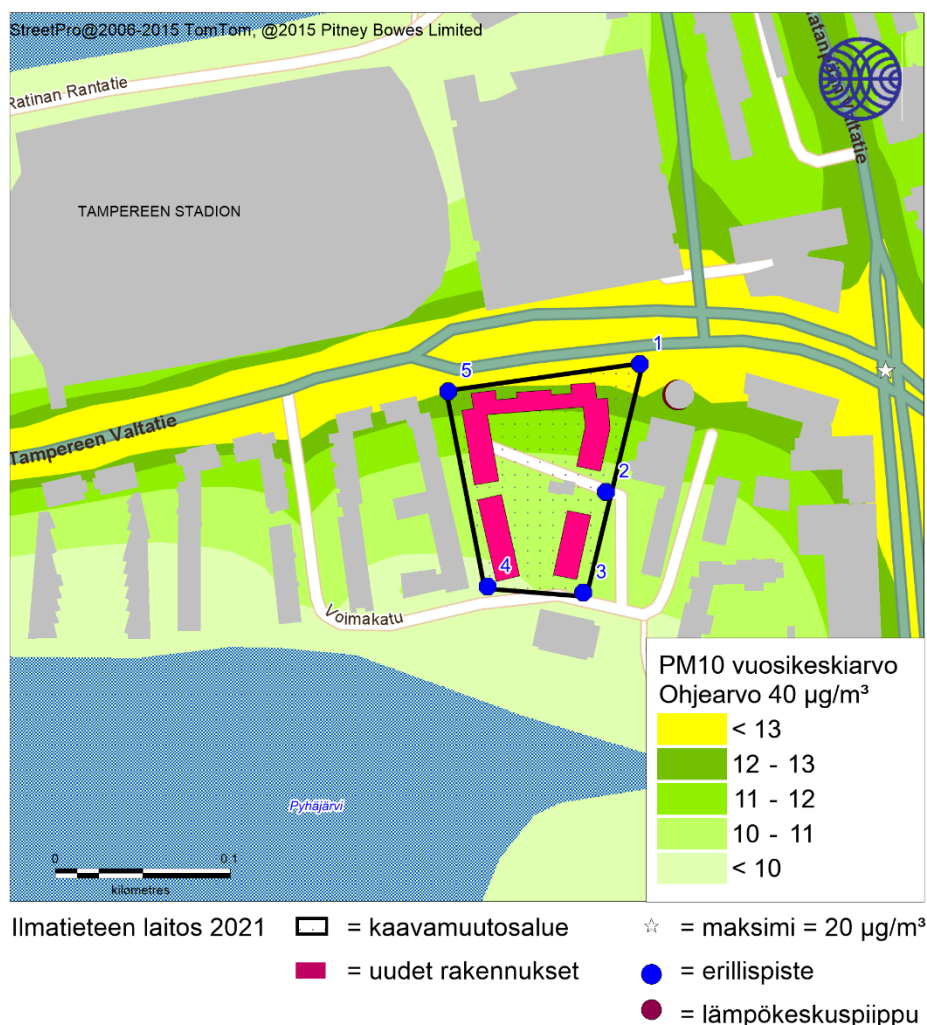
PM <sub>10</sub> -pitoisuus (µg/m <sup>3</sup> )	Raja- tai ohjearvo	Hengityskorkeus
Vuosikeskiarvo	40 <sup>(1)</sup>	20
Korkein tuntiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus	50 <sup>(1)</sup>	45
Korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus	70 <sup>(2)</sup>	130

<sup>(1)</sup> raja-arvo

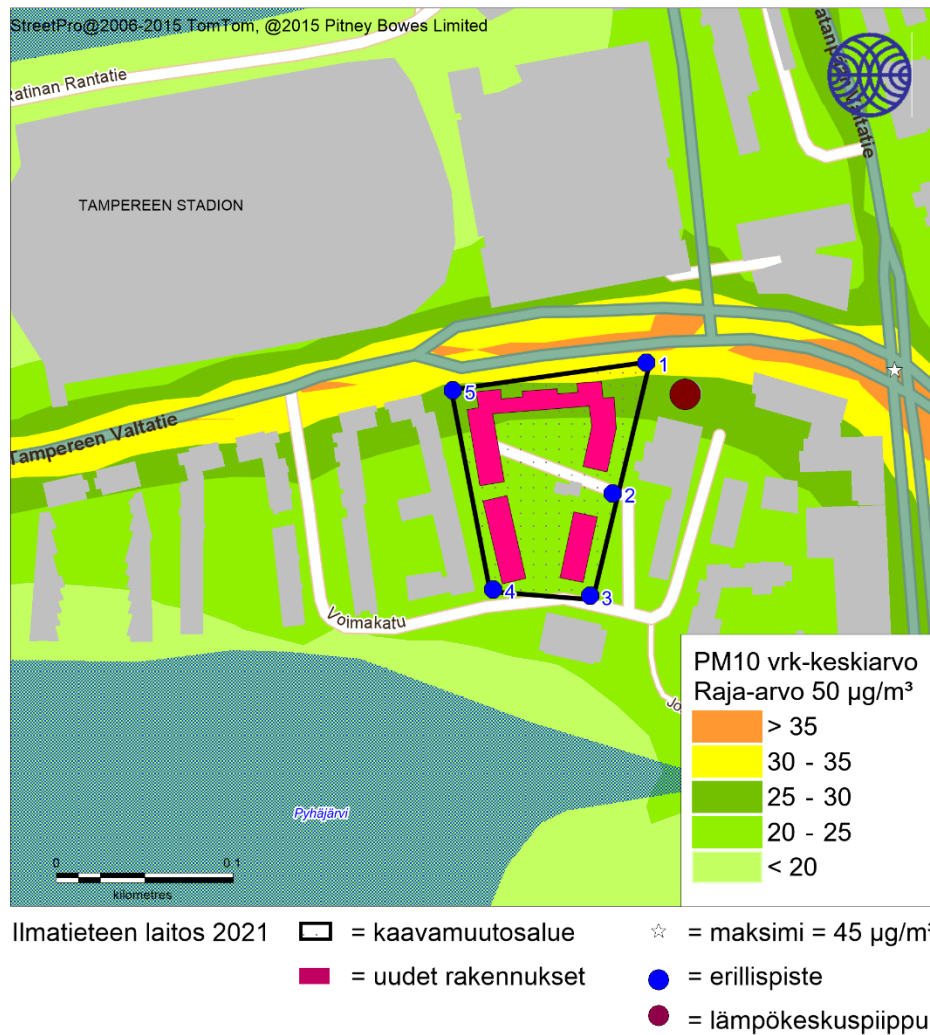
<sup>(2)</sup> ohjearvo

Kuvissa 15–17 on esitetty lähiliikenteen ja Ratinan lämpökeskuksen päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) raja-arvoihin ja vuorokausiohjarvoon verrannollisten pitoisuuksien aluejakaumat kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella.

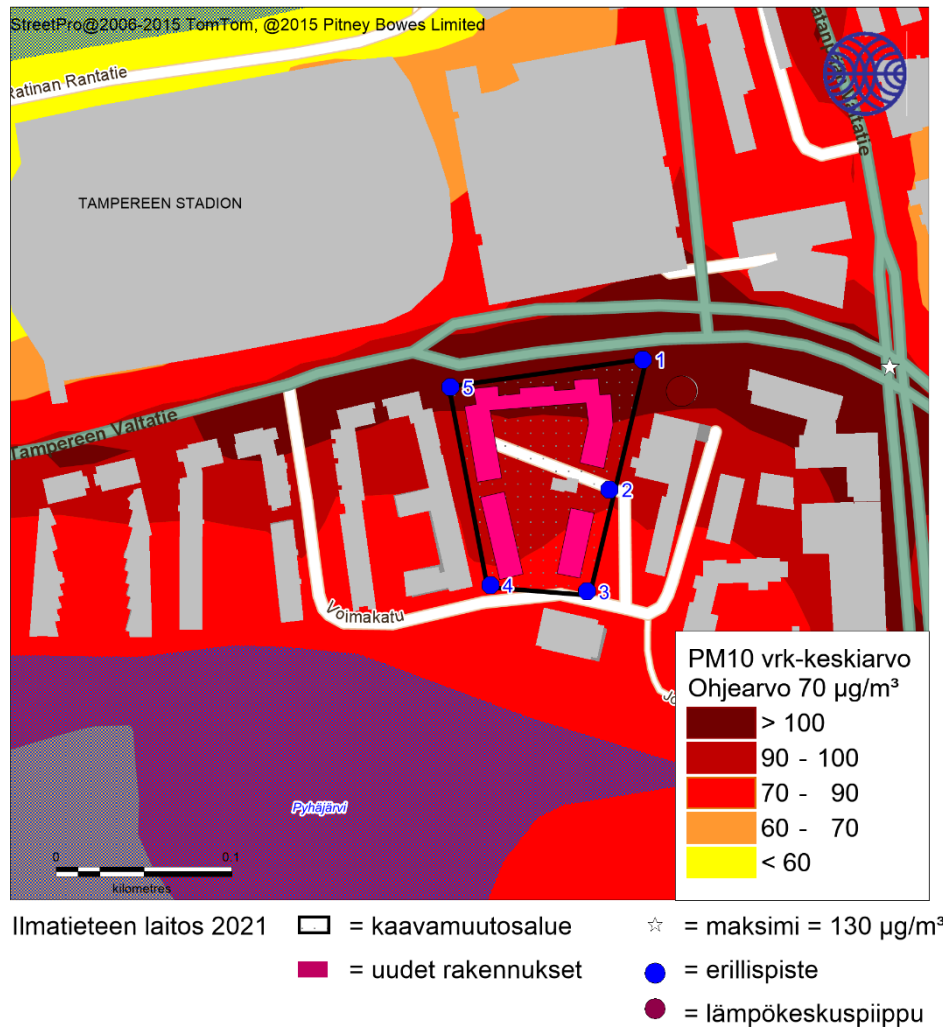
Hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) pitoisuudet muodostuvat pääosin kadun pinnalta nousevista hiukkasista, joita kutsutaan myös resuspensiopäästöksi. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat etenkin katupölykaudella vilkkaasti liikennöityjen väylien läheisyydessä. Katupölyä esiintyy tyypillisesti keväällä maaliskuussa sekä loppusyksystä talvirengaskauden alettua. Tampereen kaupungin ilmanlaadun mittausten mukaan hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) vuorokausiohjarvo on ylittynyt 1–2 kertaa kevätpöly-aikaan (maaliskuussa) Pirkankadun ja Epilän ilmanlaadun mittausasemalla vuosina 2017–2019 (*Tampereen kaupunki, 2018, 2019 ja 2020*). Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia mitataan Tampereella vain Pirkankadun ja Epilän mittausasemilla. Näistä Epilä sijaitsee noin 5 km ja Pirkankatu 2 km päässä luoteeseen kaavamuutosalueelta.



Kuva 15. Leviämislaskelmin saatu lähiliikenteen ja Ratinan lämpökeskuksen päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella.



Kuva 16. Leviämislaskelmin saatu lähiliikenteen ja Ratinan lämpökeskuksen päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella.



Kuva 17. Leviämislaskelmin saatu lähiliikenteen ja Ratinan lämpökeskuksen päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama hengitettävien hiukkasten (PM<sub>10</sub>) vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella.

Uudenmaan ELY-keskuksen oppaassa (Ilmanlaatu maankäytön suunnittelussa) on annettu suositus- ja minimietäisyyksiä (ilmanlaatuvyöhykkeet), joita lähemmäs ajoteitä ei asutusta tai herkkiä kohteita tulisi sijoittaa (Airola, Myllynen, 2015). Oppaassa mainittuja ilmanlaatuvyöhykkeitä suositellaan käytettäväksi, kun uusia asuinalueita tai täydennysrakentamista suunnitellaan avointen katujen ja väylien läheisyyteen. Ilman epäpuhtauspitoisuudet laskevat kun etäisyys liikenneväylästä kasvaa (myös korkeussuunnassa). Hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvon mahdollisesta ylittymisestä johtuen ei kaavamuutosalueelle suositella sijoitettavaksi herkkiä kohteita kuten päiväkodit, leikki- puistot, alakoulut, iäkkäiden asuin- ja hoitolaitokset sekä sairaalat.

Asuntojen parvekkeiden, pihojen ja muiden oleskelualueiden sekä raittiinilman sisäänottojen sijoittelussa on hyvä huomioida, että ilmanlaatu on huonompaa Tampereen valtatie puolella, joten ne tulisi pyrkiä sijoittamaan mahdollisuuksien mukaan mahdollisimman etäälle valtatiestä ja sinne missä ilma on puhtainta. Laskelmista saatujen tulosten mukaan esim. ilmanvaihdon korvausilman ottaminen rakennusten kattotasolta, jossa ilma on puhtainta, olisi laskelmien mukaan asuntojen sisäilman laadun kannalta paras

vaihtoehto. Tulosten mukaan korvausilman ottaminen rakennuksen Tampereen valtatie puoleiselta julkisivulta korkeustason +91 mmpy yläpuolelta (noin 6 m valtatie katutasosta 2 kerroskorkeutta ylöspäin) on myös ilmanlaadullisesti riittävä vaihtoehto rakennuksen sisäilman laadun kannalta (ks. kuva 14).

Suunnitellun asuinrakennuksen sisäpihan pitoisuuksia maanpintatasolla tai hengityskorkeudella ei nyt tehdyillä mallilaskelmilla pystytäkään arvioimaan tarkasti. Pitoisuudet ovat tyypillisesti pienempiä suojaisan sisäpihan puolella kuin vastaavalla etäisyydellä väylästä avoimessa ympäristössä. Tampereen valtatie puoleinen rakennusblokki estää (6 krs ja 9 krs rakennukset) päästöjen suoraa leviämistä läheisiltä valtateiltä rakennuksen sisäpihalle, joka siten alentaa sisäpihalle päästöistä syntyviä pitoisuuksia. Hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjeeseen verrannollinen pitoisuus on tehtyjen laskelmien mukaan rakennuksen ulkoisella julkisivulla, ulkopuolella ja koko kaavamuutosalueella hengityskorkeudella (+87 mmpy merenpinnasta vastaa korkeutta katutaso + 2 m) mukaan noin 80–90 µg/m<sup>3</sup>, joka ylittää selvästi vuorokausiohjeeseen 70 µg/m<sup>3</sup>. Etäisyyden kasvaessa päästölähteestä voidaan pitoisuuksien kuitenkin olettaa pienenevän. Pitoisuus kaavamuutosalueen maanpintatasolla (+80 mmpy) tai alueen hengityskorkeudella voisi siten olla hieman matalampi verrattuna nyt laskelmin saatuihin Tampereen valtatie kohdan hengityskorkeustason pitoisuuksiin.

Katupölyn (PM<sub>10</sub>) mallinnuksessa eri vuosien päästöt ovat riippuvia alueellisista sääolosuhteista ja vuosittaiset päästömäärät voivat vaihdella. Tässä tutkimuksessa hengitettävien hiukkasten vuosittaiset kokonaispäästöt vaihtelivat välillä 130–160 t/a. Katupölyn leviämislaskelmien pitoisuustuloksissa voi olla vaihtelua eri vuosien välillä. Katujen talvikunnossapidolla, oikea aikaisella siivouksella ja pölynsidonnalla voidaan kuitenkin vaikuttaa katupölyn määrään alueella ilmanlaatua parantavasti.

#### 4 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä ilmanlaatuselvityksessä arvioitiin leviämismallilaskelmin autoliikenteen päästöjen vaikutusta ilmanlaatuun Tampereella YIT:n Voimakadun kaavamuutosalueella. Leviämislaskelmissa huomioitiin lähiliikenteen lisäksi läheisen Ratinan lämpökeskuksen aiheuttamat päästöt. Selvityksessä tarkasteltiin ulkoilman typpidioksidin, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten (katupöly) pitoisuuksia erillistarkastelupisteissä kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella ja viidessä erillistarkastelupisteessä kaavamuutosalueen reunoilla. Leviämismallinnuksella saatuja ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia verrattiin ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin. Ilmanlaatuselvitys toteutettiin alueen kaavamuutosuunnitelmien tueksi.

Leviämismallilaskelmat tehtiin Ilmatieteen laitoksella liikenteen ja pistemäisten päästöjen leviämisen mallintamiseen kehitetyillä leviämismalleilla (CAR-FMI, ns. suspensio päästömalli ja UDM-FMI). Lähiliikenteen leviämismallinnusten lähtökohtana olivat nykytilanteen mukaiset liikennemäärät ja ajoneuvokanta. Nykytilannetta edustavat liikennemäärät lähikaduilla ovat suurempia kuin ennusteliikennemäärät, joten mallinnuksessa on näin ollen tarkastelu ilmanlaadun kannalta epäedullisinta tilannetta.

Tieliikenteen päästöt laskettiin ajoneuvotyypikohtaisilla nopeusriippuvaisilla päästökerroimilla. Raskaan liikenteen osuukien ja tieosuuksien nopeusrajoitusten oletettiin olevan nykytilanteen mukaiset. Mallilaskelmissa otettiin huomioon autoliikenteen päästöjen aiheuttamien pitoisuuksien lisäksi alueelliset taustapitoisuudet. Mallinnuksessa käytettiin taustapitoisuuksina Ilmatieteen laitoksen Hyytiälän ja Vaasan kaupungin vesitornin ilmanlaadun mittausasemien vuosien 2017–2019 havaintoja. Alueelle ominainen meteorologinen aineisto koostettiin vastaamaan mallinnuksessa käytetyn ajanjakson 2017–2019 taustapitoisuusmittaushavaintoja.

Epäpuhtauksien pitoisuuksia ulkoilmassa säädellään ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoilla. Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot tulisi ottaa huomioon esimerkiksi liikennesuunnittelussa, kaavoituksessa, rakennusten sijoittelussa ja teknisissä ratkaisuissa, joilla pyritään etukäteen välttämään ihmisten altistuminen terveydelle haitallisen korkeille ilmansaasteiden pitoisuuksille. Terveysvaikutusperusteiset ilmanlaadun raja-arvot ovat ohje- ja raja-arvoja sitovampia, eivätkä ne saa ylittyä alueella, joilla asuu tai oleskelee ihmisiä. Autoliikenteelle varatuilla väylillä raja-arvot eivät kuitenkaan ole voimassa.

Leviämislaskelmien tulosten mukaan typpidioksidipitoisuuden raja- ja ohje- ja raja-arvot alittuivat kaikissa erillistarkastelupisteissä ja lähiympäristössä tutkimusalueella hengityskorkeudella. Alimmalla erillistarkastelupisteiden korkeustasolla (+85 mmpy) typpidioksidipitoisuudet olivat suurimmillaan noin 80 % vuorokausiohje- ja raja-arvosta. Korkeustasolla +112 mmpy merenpintatasosta (rakennusten kattotasoa) typpidioksidipitoisuudet olivat suurimmillaan noin 20 % vuorokausiohje- ja raja-arvosta.

Leviämislaskelmien tulosten mukaan pienhiukkaspitoisuuden raja- ja ohje- ja raja-arvot alittuivat kaikissa tarkastelluissa erillispisteissä ja tutkimusalueella hengityskorkeudella. Erillistarkastelupisteissä pienhiukkaspitoisuudet olivat korkeimmillaan noin 50 % WHO:n vuorokausiohje- ja raja-arvosta. Pienhiukkaspitoisuuksissa merkittävä osa on taustapitoisuutta. Hengitettävien hiukkasten raja-arvot alittuvat kaikkialla tarkastelluissa erillispisteissä ja tutkimusalueella hengityskorkeudella, mutta vuorokausiohje- ja raja-arvoon verrannollinen pitoisuus ylittyisi korkeimmillaan noin 1,8 -kertaisesti katutasolla +85 mmpy korkeudella merenpinnasta (läheisen Tampereen valtatie korkeustaso). Laskelmien mukaan korkeustasolla +91 mmpy pitoisuus alittaisi vuorokausiohje- ja raja-arvon kaikissa erillistarkastelupisteissä. Uudenmaan ELY-keskuksen oppaassa (Ilmanlaatu maankäytön suun-



nittelussa) ei suositella sijoitettavaksi herkkiä kohteita (päiväkodit, leikkipuistot, alakoulu, iäkkäiden asuin- ja hoitolaitokset sekä sairaalat) alueille, jossa hengitettävien hiukkasten pitoisuus ylittää vuorokausiohjearvon. Rakennuksen ensimmäisiin kerroksiin on suositeltavinta sijoittaa liike- tai muita vastaavia tiloja ja rakennuksen ilmastoinnin korvausilma tulisi ottaa sieltä, missä ilma on puhtainta.

Korkeimmat typpidioksidin ja hiukkasten pitoisuudet havaitaan tyypillisesti vilkkaasti liikennöidyillä väylillä ja niiden lähiympäristössä sekä risteysalueilla. Päästöjen sekoittumisen ja laimenemisen vuoksi pitoisuudet pienenevät, kun etäisyys liikenneväylistä kasvaa sekä maanpinnan tasossa että ylöspäin mentäessä. Kaavamuutosalueella pitoisuudet ovat korkeimmillaan lähempänä maanpintatasoa ja pienenevät kerroskorkeuden kasvaessa sitä enemmän mitä korkeammalla sijaitsevasta erillispisteestä on kyse.

Tulevaisuuden autoliikenteen päästöjen ennustamiseen sisältyy useita epävarmuustekijöitä. Todennäköistä on, että päästöt ja niiden aiheuttamat vaikutukset pienenevät tulevaisuudessa, kun ajoneuvojen moottoritekniikka kehittyy ja päästörajoitukset tiukkenevat. Katupölytilanne ei kuitenkaan parane ajoneuvojen moottoritekniikan kehittymisen myötä. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin voidaan vaikuttaa liikennemääriä vähentämällä, rengasvalinnoilla (nastat vs. kitkat) sekä katujen kunnossapidolla (hiekoitus, suolaus, pölynsidonta ja putsaus).

Tässä ilmanlaatuselvityksessä on käytetty konservatiivista lähestymistapaa, kun mallinuksen pohjana on käytetty nykytilanteen ajoneuvojakaumaa, päästökertoimia ja liikennemääriä. Nyt tehtyjen laskelmien mukaan lähiliikenteen ja Ratinan lämpökeskuksen päästöjen sekä alueellisen taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama pitoisuus ei ylitä tutkituissa erillistarkastelupisteissä ilmanlaadun raja-arvoja eikä typpidioksidin ja pienhiukkasten pitoisuudelle annettuja ohjearvoja. Laskelmien mukaan hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat kuitenkin selvästi yli vuorokausiohjearvotason alemmilla korkeustasoilla ja siksi läheisten asuintalojen tai liiketilojen riittävän hyvän sisäilmanlaadun kannalta kaikkina aikoina on ilmastoinnin korvausilma suositeltavinta ottaa mahdollisimman korkealta ja etäältä maanpintaa ja kaavamuutosaluetta ympäröivään tieliikenteeseen nähden. Laskelmien mukaan hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvo ylittyy keväisin katupölyaikaan Voimakadun kaavamuutosalueella korkeustason +91 mmpy alapuolella.

## OSA II

### 5 TAUSTATIETOA ILMANLAADUSTA

#### 5.1 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät

Ilmanlaatua heikentävien ilmansaasteiden suurimpia päästölähteitä Suomessa ovat liikenne, energiantuotanto, teollisuus ja puun pienpoltto. Ilmansaasteita kulkeutuu Suomeen myös kaukokulkeutena maamme rajojen ulkopuolelta. Ilmansaasteiden päästöistä suurin osa vapautuu ilmakehän alimpaan kerrokseen, jota kutsutaan ilmakehän rajakerrokseksi. Rajakerroksessa päästöt sekoittuvat ympäröivään ilmaan ja ilmansaasteiden pitoisuudet laimenevat. Päästöt voivat levitä liikkuvien ilmassaerien mukana laajoille alueille. Tämän kulkeutumisen aikana ilmansaasteet voivat reagoida keskenään sekä muiden ilmassa olevien yhdisteiden kanssa muodostaen uusia yhdisteitä. Ilmansaasteet poistuvat ilmasta sateen huuhtomina (märkälaskeuma), kuivalaskeutena erilaisille pinnoille tai kemiallisen muutoksen kautta.

Ilmansaasteiden leviäminen tapahtuu pääosin ilmakehän alimmassa osassa, rajakerroksessa. Sen korkeus on Suomessa tyypillisesti alle kilometri, mutta varsinkin kesällä se voi nousta yli kahteen kilometriin. Matalimmat rajakerroksen korkeudet havaitaan yleensä talvella kovilla pakkasilla. Rajakerroksen korkeus määrää ilmatilavuuden, johon päästöt voivat välittömästi sekoittua. Rajakerroksen tuuliolosuhteet määräävät karkeasti ilmansaasteiden kulkeutumissuunnan, mutta rajakerroksen ilmavirtausten pyörteisyys ja kerroksen korkeus vaikuttavat merkittävästi ilmansaasteiden sekoittumiseen ja pitoisuuksien laimenemiseen kulkeutumisen aikana. Leviämisen kannalta keskeisiä meteorologisia tekijöitä ovat tuulen suunta ja nopeus, ilmakehän stabiilisuus ja sekoituskorkeus. Ilmakehän stabiilisuudella tarkoitetaan ilmakehän herkkyttä pystysuuntaiseen sekoittumiseen. Stabiilisuuden määrää ilmakehän pystysuuntainen lämpötilarakenne sekä mekaaninen turbulenssi eli alustan kitkan synnyttämä ilman pyörteisyys.

Inversiolla tarkoitetaan tilannetta, jossa ilmakehän lämpötila nousee ylöspäin mentäessä. Erityisesti maanpintainversion aikana ilmanlaatu voi paikallisesti huonontua nopeasti. Maanpintainversiossa maanpinta ja sen lähellä oleva ilmakerros jäähtyy niin, että kylmempi ilma jää ylempänä olevan lämpimämmän ilman alle. Kylmä pintailma ei raskeampana pääse kohoamaan yläpuolellaan olevan lämpimän kerroksen läpi, ja ilmakehän pystysuuntainen liike estyy. Inversiokerroksessa tuuli on hyvin heikkoa ja ilmaa sekoittava pyörteisyys on vähäistä, minkä vuoksi ilmansaasteet laimenevat huonosti. Inversiotilanteissa pitoisuudet kohoavat taajamissa etenkin liikenneuuhkien aikana, koska ilmansaasteet kerääntyvät matalaan ilmakerrokseen päästölähteiden lähelle.

#### 5.2 Typpidioksidi

Typhen yhdisteitä vapautuu päästölähteistä ilmaan typhen oksideina eli typpimonoksidina (NO) ja typpidioksidina (NO<sub>2</sub>). Näistä yhdisteistä terveysvaikutuksiltaan haitallisempaa on typpidioksidi, jonka pitoisuuksia ulkoilmassa säädellään ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoilla. Typpidioksidin määrään ilmassa vaikuttavat myös kemialliset muutuntareaktiot, joissa typpimonoksidi hapettuu typpidioksidiksi.

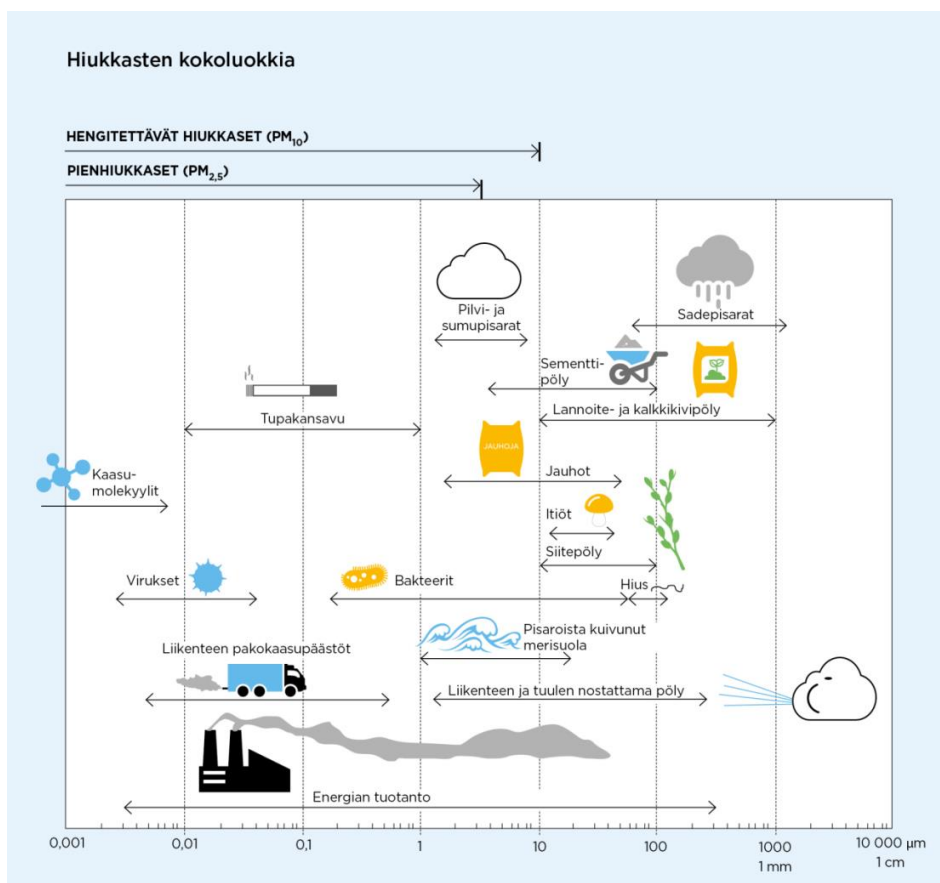
Ulkoilman typpidioksidipitoisuuksille altistuminen on suurinta kaupunkien keskustojen ja taajamien liikenneympäristöissä. Typpidioksidipitoisuudet kohoavat tyypillisesti ruuhka-aikoina. Korkeimmillaan typpidioksidipitoisuudet ovat erityisesti tyytinä ja kylminä talvipäivinä, jolloin myös energiantuotannon päästöt ovat suurimmillaan. Taajamien ja kaupunkien korkeimmat typpidioksidipitoisuudet aiheuttaa pääasiassa ajoneuvoliikenne, vaikka energiantuotannon ja teollisuuden aiheuttamat päästöt (pistemäiset päästölähteet) olisivat määrällisesti jopa suurempia autoliikenteeseen verrattuna. Ihmiset altistuvat helposti liikenteen päästöille, sillä autojen pakokaasupäästöt vapautuvat hengityskorkeudelle.

Typpidioksidin vuosiraja-arvo  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  alittuu nykyisin Suomessa. Typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet viime vuosina suurimmissa kaupungeissa keskimäärin  $15\text{--}25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Viikkaimilla teillä ja katukuiluosuuksilla vuosipitoisuudet voivat olla yli  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat yleensä noin  $5\text{--}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mittausympäristöstä riippuen. Typpidioksidin tuntipitoisuudet voivat kohota yli raja-arvotason ( $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) yksittäisillä mittausasemilla muutamina tunteina vuodessa. Ylitystunteja saa olla vuodessa 18 kpl, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Puhtailla tausta-alueilla typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat olleet Etelä-Suomessa noin  $1,5\text{--}4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja Pohjois-Suomessa noin  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (*Ilmatieteen laitos, 2019*).

### 5.3 Hiukkaset

Ulkoilman hiukkaset ovat nykyisin merkittävimpiä ilmanlaatuun vaikuttavia tekijöitä Suomen kaupungeissa. Pienhiukkasia pidetään haitallisimpana ilmaperäisenä ympäristötekijänä ihmisten terveydelle. Ulkoilman hiukkaset ovat taajamissa peräisin autojen pakokaasuista, energiantuotannon ja teollisuuden prosesseista ja puun pienpoltosta. Nämä hiukkaspäästöt ovat pääasiassa pieniä hiukkasia. Keväisin ja syksyisin hiukkaspitoisuuksia kohottaa katupöly eli epäsuorat hiukkaspäästöt (ns. resuspensio). Hiukkasiin on sitoutunut myös erilaisia haitallisia yhdisteitä kuten hiilivetyjä ja raskasmetalleja. Liikenteen vaikutukset korostuvat matalan päästökorkeuden vuoksi.

Ulkoilman hiukkasten koko on yhteydessä niiden aiheuttamiin erilaisiin vaikutuksiin. Suurempien hiukkasten korkeat pitoisuudet vaikuttavat merkittävimmin viihtyvyyteen ja aiheuttavat liikaantumista. Terveysvaikutuksiltaan haitallisempia ovat ns. hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset, jotka kykenevät tunkeutumaan syväälle ihmisten hengitysteihin. Hengitettävien hiukkasten halkaisija on alle 10 mikrometriä ( $\text{PM}_{10}$ ) ja pienhiukkasten halkaisija on alle 2,5 mikrometriä ( $\text{PM}_{2,5}$ ). Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat erityisesti keväällä, jolloin jauhautunut hiekoitushiekka ja asfalttipöly nousevat ilmaan kuivilta kaduilta liikenteen nostattamana. Katupölyä esiintyy myös syksyllä talvirengaskauden alussa, kun tiet ovat vielä lumettomia sekä rakennustyömaiden läheisyydessä. Pienhiukkaset ovat pääasiassa peräisin suorista autoliikenteen ja teollisuuden päästöistä ja kaukokulkeumasta, jonka lähde voi olla esimerkiksi metsä- ja maastopalot. Hiukkasten kokoluokkia on havainnollistettu kuvassa 18.



Kuva 18. Hiukkasten kokoluokkia. Hiukkasten koko ilmaistaan halkaisijana mikrometreissä ( $\mu\text{m}$ ). Mikro ( $\mu$ ) etuliite tarkoittaa miljoonasosaa. 1  $\mu\text{m}$  on siten metrin miljoonasosa eli millimetrin tuhannesosa.

Suurimmat hiukkaspitoisuudet esiintyvät vilkkaasti liikennöidyissä kaupunkikeskus- toissa. Suomessa hiukkaspitoisuudet kohoavat yleensä voimakkaasti keväällä maaliskuuhuhtikuussa, kun maanpinnan kuivuessa tuuli ja liikenne nostattavat talven aikana kertynyttä katupölyä ilmaan. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuuksille asetettu raja-arvotaso ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ylittyy mittausasemilla noin 0–25 kertaa vuoden aikana. Vuorokausiraja-arvotason ylityksiä saa olla mittausasemalla 35 kappaletta vuodessa, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Hengitettävien hiukkasten vuorokausipitoisuudelle annettu raja-arvo on ylittynyt vain Helsingin keskustassa, viimeksi vuonna 2006. Katupölyn muodostumiseen voidaan merkittävästi vaikuttaa oikea-aikaisella katujen siivouksella ja kunnossapidolla sekä pölynsidonnalla.

Hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudelle annettu raja-arvo  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  alittuu Suomessa. Hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot ovat olleet viime vuosina suurimmissa kaupungeissa noin  $10\text{--}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vilkkaimmilla teillä ja katukuilu- osuuksilla vuosipitoisuudet voivat olla yli  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa vuosikeskiarvot ovat noin  $6\text{--}15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mittausympäristöstä riippuen. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin  $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja Pohjois-Suomessa noin  $3\text{--}5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Ilmatieteen laitos, 2019).

Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvolle määritetty raja-arvo  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  alittuu selvästi kaikkialla Suomessa. Viime vuosina pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on ollut

pääkaupunkiseudun kaupunkialueilla noin 5–8 µg/m<sup>3</sup> ja muilla kaupunkialueilla noin 3–7 µg/m<sup>3</sup>. Pitoisuuserot erityyppisten mittausympäristöjen välillä ovat muutamia mikrogrammoja. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin 4–6 µg/m<sup>3</sup> ja Pohjois-Suomessa noin 2–3 µg/m<sup>3</sup> (*Ilmatieteen laitos, 2019*). Pienhiukkasten taustapitoisuudesta valtaosa on kaukokulkeutunutta hiukkasainesta. Kaukokulkeuma muodostaa huomattavan osan myös kaupunki-ilman pienhiukkaspitoisuuksista.

#### 5.4 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset

Ilmansaasteiden terveyshaitat ovat seurausta altistumisesta ulkoilmassa oleville haitallisille aineille. Altistuminen on sitä suurempaa mitä korkeampia hengitysilman pitoisuudet ovat ja mitä kauemmin ihminen hengittää saastunutta ilmaa. Pitkäaikainen altistuminen ilmansaasteille on terveysvaikutusten kannalta haitallisempaa kuin lyhytaikainen altistuminen.

Ilmansaasteiden arvioidaan aiheuttavan Suomessa noin 1 600 ennen aikaista kuolemantapausta vuodessa (*Hänninen ym. 2016*). Lisäksi ilmansaasteet aiheuttavat haittoja lisääntyneen sairastamisen takia. Haitalliset vaikutukset ilmenevät siitä huolimatta, että ilmanlaadun raja- tai ohjearvot eivät Suomessa ylity laajassa mitassa. Terveyshaitat aiheutuvat suurelta osin pienhiukkasista ja pienemmältä osin hengitettävistä hiukkasista sekä typpidioksidista. Yksilöiden herkkyys ilmansaasteille vaihtelee. Herkkiä väestöryhmiä ovat kaikenikäiset astmaatit, ikääntyneet sepelvaltimotautia ja keuhkohtaumatautia sairastavat sekä lapset. Talvisin pakkasen voi pahentaa ilmansaasteista aiheutuvia oireita.

Tieteellinen näyttö pienhiukkasten haitallisista terveysvaikutuksista on erittäin laaja. Hiukkaset kulkeutuvat ilman mukana kaikkiin osiin hengitysteitä, jolloin ne aiheuttavat sekä suoria vaikutuksia keuhkoissa että siirtyvät osin verenkiertoon ja edelleen kehon muihin osiin kuten sydänlihakseen ja aivoihin. Hiukkaset lisäävät sydän- ja verenkiertoelimistön sairauksia ja lisäävät kuolleisuutta. Muiden ilmansaasteiden vaikutukset ovat myös vakavia mutta niiden kansanterveydelliset haitat ovat pienhiukkasiin verrattuna vähäisempiä.

## 6 ULKOILMANLAADUN RAJA- JA OHJEARVOT

Leviämismallilaskelmilla tai ilmanlaadun mittauksilla saatuja ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia voidaan arvioida vertaamalla niitä ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin. EU-maissa voimassa olevat raja-arvot ovat sitovia ja ne eivät saa ylittyä alueilla, joissa asuu tai oleskelee ihmisiä. Raja-arvot eivät ole voimassa esimerkiksi teollisuusalueilla tai liikenneväylillä, lukuun ottamatta kevyen liikenteen väyliä. Kansalliset ilmanlaadun ohjearvot eivät ole yhtä sitovia kuin raja-arvot, mutta niitä käytetään esimerkiksi kaupunkisuunnittelun tukena ja ilman pilaantumisen vaaraa aiheuttavien toimintojen sijoittamisessa. Tavoitteena on ennalta ehkäistä ohjearvojen ylittyminen sekä taata hyvän ilmanlaadun säilyminen.

Raja-arvot määrittelevät ilmansaasteille sallitut korkeimmat pitoisuudet. Raja-arvoilla pyritään vähentämään tai ehkäisemään terveydelle ja ympäristölle haitallisia vaikutuksia. Raja-arvon ylittyessä kunnan on tiedotettava väestöä ja tehtävä ohjelmia ja suunnitelmia ilmanlaadun parantamiseksi ja raja-arvon ylitysten estämiseksi. Tällaisia toimia voivat

olla esimerkiksi määräykset liikenteen tai päästöjen rajoittamisesta. Ilman epäpuhtauksien aiheuttamien terveyshaittojen ehkäisemiseksi ulkoilman typpidioksidin ja pienhiukkasten pitoisuudet eivät saisi ylittää taulukon 9 raja-arvoja alueilla, joilla ihmiset saattavat altistua ilmansaasteille.

Taulukko 9. Terveyshaittojen ehkäisemiseksi annetut ulkoilman typpidioksidin, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia koskevat raja-arvot (Vna 79/2017).

Ilman epäpuhtaus	Keskiarvon laskenta-aika	Raja-arvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Sallittujen ylitysten määrä kalenterivuodessa
Typpidioksidi ( $\text{NO}_2$ )	1 tunti	200 <sup>1)</sup>	18
	kalenterivuosi	40 <sup>1)</sup>	–
Pienhiukkaset ( $\text{PM}_{2,5}$ )	kalenterivuosi	25 <sup>2)</sup>	–
Hengitettävät hiukkaset ( $\text{PM}_{10}$ )	24 tuntia	50 <sup>2)</sup>	35
	kalenterivuosi	40 <sup>2)</sup>	–

<sup>1)</sup> Tulokset ilmaistaan lämpötilassa 293 K ja paineessa 101,3 kPa.

<sup>2)</sup> Tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa.

Ilmanlaadun ohjearvot on otettava huomioon suunnittelussa ja niitä sovelletaan mm. alueiden käytön, kaavoituksen, rakentamisen ja liikenteen suunnittelussa ja ympäristölupaharkinnassa. Ohjearvojen soveltamisen avulla pyritään ehkäisemään ilmansaasteiden aiheuttamia terveysvaikutuksia. Suomessa voimassa olevat ulkoilman typpidioksidin pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot on esitetty taulukossa 10. Lisäksi taulukossa esitetään WHO:n suosituksenomaiset ohjearvot pienhiukkasten vuorokausipitoisuudelle ja vuosipitoisuudelle (WHO, 2006).

Taulukko 10. Ulkoilman typpidioksidin ja pienhiukkasten pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot (Vnp 480/1996, WHO, 2006).

Ilman epäpuhtaus	Ohjearvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tilastollinen määrittely
Typpidioksidi ( $\text{NO}_2$ )	150 <sup>1)</sup>	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	70 <sup>1)</sup>	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Pienhiukkaset ( $\text{PM}_{2,5}$ )	25 <sup>2)</sup>	Suurin vuorokausikeskiarvo
	10 <sup>2)</sup>	Vuosikeskiarvo
Hengitettävät hiukkaset ( $\text{PM}_{10}$ )	70 <sup>1)</sup>	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo

<sup>1)</sup> Tulokset ilmaistaan lämpötilassa 293 K ja paineessa 101,3 kPa.

<sup>2)</sup> WHO

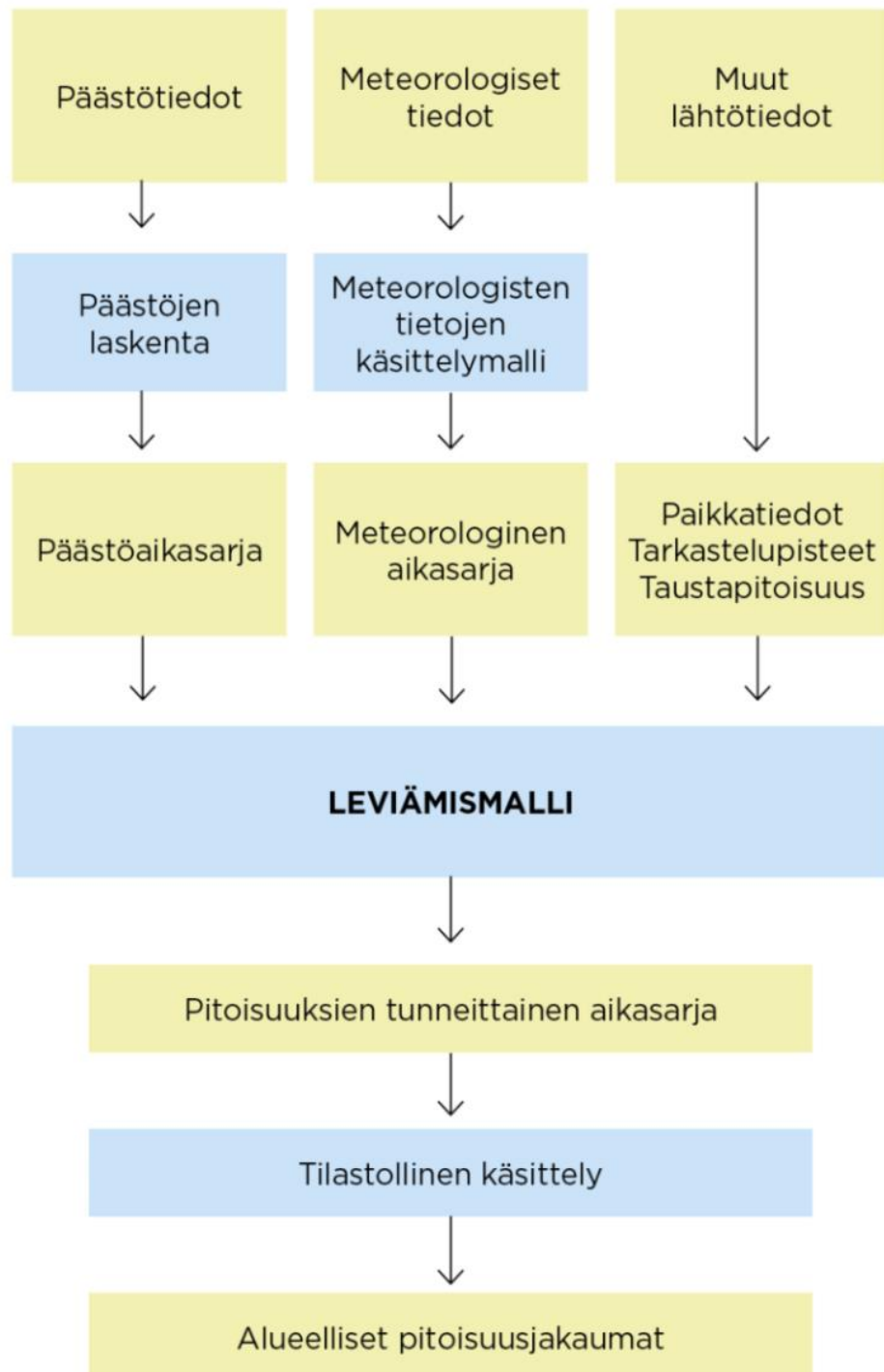


## 7 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN YLEISKUVAUS

### 7.1 Pitoisuuslaskenta päästöjen leviämismalleilla

Leviämismalleilla tutkitaan päästöjen kulkeutumista ilmakehässä ja niiden aiheuttamia ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia maanpinnan tasolla. Leviämismallit ovat tietokoneohjelmistoja, joiden avulla pyritään jäljittelemään ilmakehässä tapahtuvia fysikaalisia ja kemiallisia ilmiöitä mahdollisimman todenmukaisesti. Malleihin sisältyy usein laskentamenetelmiä, joiden avulla voidaan tarkastella epäpuhtauksien muuntumista, kemiallisia reaktioita ja poistumista ilmakehästä laskeutumaan. Leviämismallien lähtötiedoiksi tarvitaan tietoja päästöistä ja niiden lähteistä, mittaamalla ja mallittamalla saatuja tietoja ilmakehän tilasta sekä tietoja ilmansaasteiden taustapitoisuudesta tutkimusalueella. Lisäksi lähtötiedoiksi tarvitaan erilaisia paikkatietoja, kuten tietoja maanpinnan muodoista ja maanpinnan laadusta sekä tietoa päästölähteiden sijainnista.

Leviämislaskelmia varten muodostetaan kaikille eri päästölähteille päästöaikasarjat, joissa on jokaiselle tarkastelujakson tunnille (3 vuotta, 26 304 tuntia) laskettu päästö määrä erikseen kaikille tarkasteltaville ilman epäpuhtauksille. Leviämismalleilla lasketaan ilman epäpuhtauspitoisuuden tuntikeskiarvoja sillä oletuksella, että meteorologinen tilanne ja eri lähteiden päästöt pysyvät vakioina tunnin ajan. Laskenta etenee tunnin aika-askeleella kunnes koko meteorologisten tietojen kolmen vuoden tuntiaikasarja ja kunkin päästölähteen tunneittaiset päästöaikasarjat on käyty läpi. Leviämismallit tuottavat jokaisen tunnin meteorologista tilannetta vastaavat, kunkin lähteen päästöjen aiheuttamat pitoisuudet jokaiseen laskentapisteeseen. Näin kuhunkin laskentapisteeseen muodostetaan tilastollisesti edustava määrä pitoisuuden tuntiarvoja, joista ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin verrannolliset tunnusluvut edelleen lasketaan. Mallilaskelmasta saatuja pitoisuusarvoja voidaan verrata ilmanlaadun raja- ja ohje-arvoihin (taulukot 9 ja 10). Kaa- viokuvassa 18 on esitetty Ilmatieteen laitoksen leviämismallien toimintaa. Eri leviämismalleja kuvataan tarkemmin seuraavissa kappaleissa.



Kuva 19. Kaaviokuva Ilmatieteen laitoksella kehitettyjen leviämismallien CAR-FMI, UDM-FMI ja ns. suspensiopäästömallin toiminnoista.

## 7.2 Piste- ja pintapäästölähteiden leviämismalli (UDM-FMI)

Ilman epäpuhtauksien leviämistä kuvaava Ilmatieteen laitoksen leviämismalli UDM-FMI (Urban Dispersion Modelling System) on muokattu Gaussin jakaumaa noudattavasta pistemäisen lähteen viuhkamallista (Karppinen, ym., 1998). Leviämismallia on kehitetty

Ilmatieteen laitoksella Suomen olosuhteisiin sopivaksi ja sitä on sovellettu sadoissa erilaisissa ilmanlaatuselvityksissä ja -tutkimuksissa Suomessa ja ulkomailla. Tällä leviämismallilla voidaan laskea eri tyyppisten piste- ja pintalähteiden päästöjen aiheuttamia epäpuhtauksien pitoisuuksia päästölähteen ympäristössä. Mallissa kuvataan tarkasti päästökohdassa tapahtuvaa mekaanista ja lämpötilaeroista johtuvaa nousulisää, lähimpien esteiden aiheuttamaa savupainumaa, ilmassa tapahtuvia epäpuhtauksien kemiallisia prosesseja sekä ilmansaasteiden poistumamekanismeja ilmakehästä.

UDM-FMI-mallin merkittävien ero useisiin muihin leviämismalleihin verrattuna on päästölähteestä tulevan poistokaasuvanan pitoisuusjakauman muotoon vaikuttavien leviämispärametrien määrittäminen. Näiden parametrien arvot ovat yleensä olleet sidoksissa ilmakehän tilaa karkeasti kuvaaviin Pasquill-Turner-stabiilisuusluokkiin. UDM-FMI-mallissa käytetään kuitenkin Ilmatieteen laitoksella kehitettyä meteorologisen aineiston käsittelymenetelmää MPP-FMI, eli niin sanottua ilmakehän rajakerroksen parametrisointimenetelmää, jolla voidaan merkittävästi parantaa todellisten ilmakehän olosuhteiden kuvaamista mallissa.

Leviämismallissa on laskentamenetelmä nousulisälle, joka muodostuu, kun poistokaasut vapautuessaan päästökohteesta nousevat liikemäärästään ja lämpösisällöstään johtuen päästölähteen huippua korkeammalle. Päästöjen nousulisällä on huomattava vaikutus keskimääräiseen leviämiskorkeuteen ja muodostuviin epäpuhtauspitoisuuksiin. Päästöjen leviämiseen saattavat vaikuttaa ilmavirtauksia häiritsevät kohteet, kuten päästölähdettä ympäröivät rakennukset tai itse lähteen ominaisuudet. Tällöin leviämisessä voi esiintyä systemaattisesti alaspäin suuntautuvaa liikettä, josta käytetään nimitystä savupainuma. Näiden leviämiseen vaikuttavien tekijöiden käsittelymenetelmät pitoisuuksia laskettaessa sisältyvät leviämismalliin. Mallin sovellutuksissa huomioidaan paikalliset päästöjen kulkeutumiseen ja sekoittumiseen vaikuttavat tekijät, joita ovat muun muassa topografia sekä maaston, vesistöjen ja asutuksen aiheuttamat leviämisalustan rosoisuuserot.

### 7.3 Liikenteen päästöjen leviämismalli (CAR-FMI)

Ilmatieteen laitoksella kehitetty liikenteen päästöjen viivalähdemalli CAR-FMI (Contaminants in the Air from a Road; *Karppinen, 2001; Härkönen ym., 2001*) perustuu leviämisen osalta analyttiseen ratkaisuun ja päästöjen kemiallisen muutoksen osalta ns. 'discrete parcel' -menetelmään. Viivalähdemallin leviämislaskenta perustuu avoimen väylän oletukseen. Viivalähdemallilla voidaan laskea esimerkiksi typpimonoksidin, typpi-diksidin ja typen oksidien (kokonais-NO<sub>x</sub>) ja hiukkasten pitoisuuksia haluttuihin pisteisiin eri etäisyyksille liikenneväylästä. Viivalähdemalli on kehitetty alun perin autoliikenteen päästövaikutusten arviointiin, mutta siihen on muokattu menetelmät, joka soveltuvat myös juna-, laiva- ja lentoliikenteen päästöjen leviämislaskelmiin. Viivalähdemallin laskentatuloksista voidaan arvioida yksittäisen liikenneväylän vaikutus lähialueen pitoisuuksiin tai laajan tutkimusalueen liikenneverkon päästöjen kokonaisvaikutus epäpuhtauskomponentteittain. Viivalähdemallin eri sovellutuksilla saadut mallinnustulokset voidaan yhdistää UDM-FMI-mallilla tehtyihin tuloksiin.

## 7.4 Liikenteen suspensiopäästömalli katupölyn mallintamiseen

Tieliikenne aiheuttaa pakokaasujen suorien pienhiukkaspäästöjen lisäksi myös epäsuoria hiukkaspäästöjä ajoneuvojen nostattaman katupölyn muodossa, mistä suurin osa on hengitettäviä hiukkasia. Ilmatieteen laitoksen leviämismalleilla voidaan laskea liikenteen pakokaasupäästöjen lisäksi myös liikenteen epäsuora vaikutus hengitettävien hiukkasten pitoisuuksiin. Tieliikenteen hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien laskelmissa hyödynnetään suspensiopäästömallia, jolla kuvataan katujen pölyämisen vaikutusta hiukkaspäästöön (*Kauhaniemi ym., 2011*). Suspensiopäästömalli perustuu Ruotsin Ilmatieteen laitoksen (SMHI) kehittämään hiukkaspäästömalliin (*Omstedt ym., 2005*).

Tienpinnan kosteus säätelee hiukkasten nousemista tienpinnalta ilmaan. Suspensiopäästömalli arvioi tien pinnan kosteutta sademäärän, haihdunnan ja valunnan avulla. Mallissa kuvitteellinen tien pölykerros kasvaa kosteissa olosuhteissa nastarenkaiden aiheuttaman tien kulumisen ja hiekoituksen vuoksi, sillä pöly ei pääse vapautumaan ilmaan sateisina aikoina. Kuivana kautena liikenteen ja tuulen aiheuttama turbulenssi nostaa hiukkaset ilmaan pienentäen näin pölykerrosta. Tien pölykerros pienenee myös sateen aiheuttaman huuhtoutumisen seurauksena. Tien kulumisesta aiheutuvan pölykerroksen paksuus riippuu nastarenkaiden käytön määrästä. Tien hiekoituksesta aiheutuva pölykerros määräytyy mallissa meteorologisten muuttujien mukaan tai kaupungin katujen kunnossapidosta saatujen hiekoitustietojen mukaan. Katujen pölyämisestä ilmaan vapautuvan päästön määrää arvioidaan tiepölyhiukkasten suspensiopäästökertoimien, liikenemäärien ja sääolosuhteiden avulla.

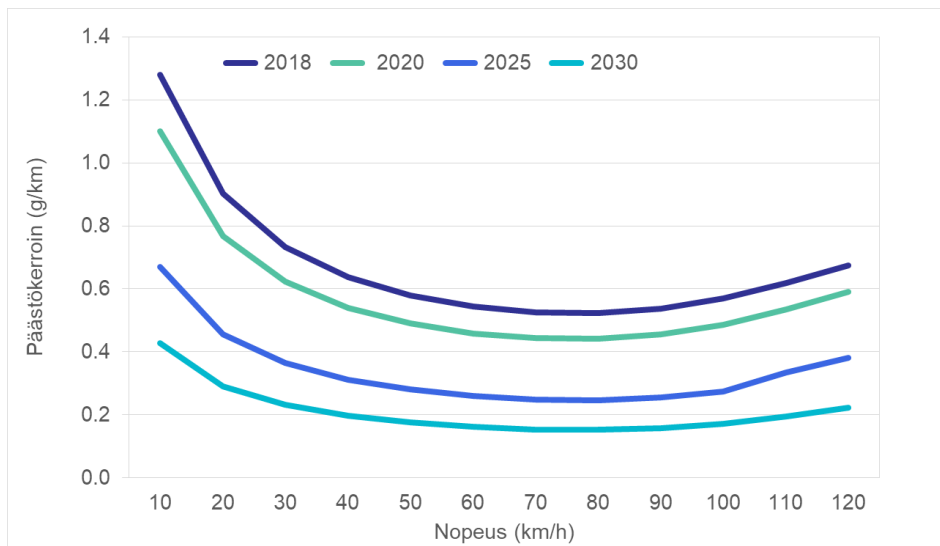
## 7.5 Liikenteen päästölaskenta

Liikenteen päästölaskennan pohjatietona sovelletaan Euroopan ympäristöviraston määrittämiä tieliikenteen päästökertoimia (*EEA, 2017*). Nämä päästökertoimet riippuvat ajoneuvojen moottoritekniikasta, EURO-päästöluokista sekä ajonopeudesta. Kertoimet on määritetty yksityiskohtaisesti eri ajoneuvotyypeille, niiden katu- ja maantieajolle tasaisella nopeudella ja ruuhka-aikaan suoritettavalle ajolle. Näistä kertoimista on tätä työtä varten keskiarvoistettu Suomen ajoneuvokantaa edustavat kertoimet.

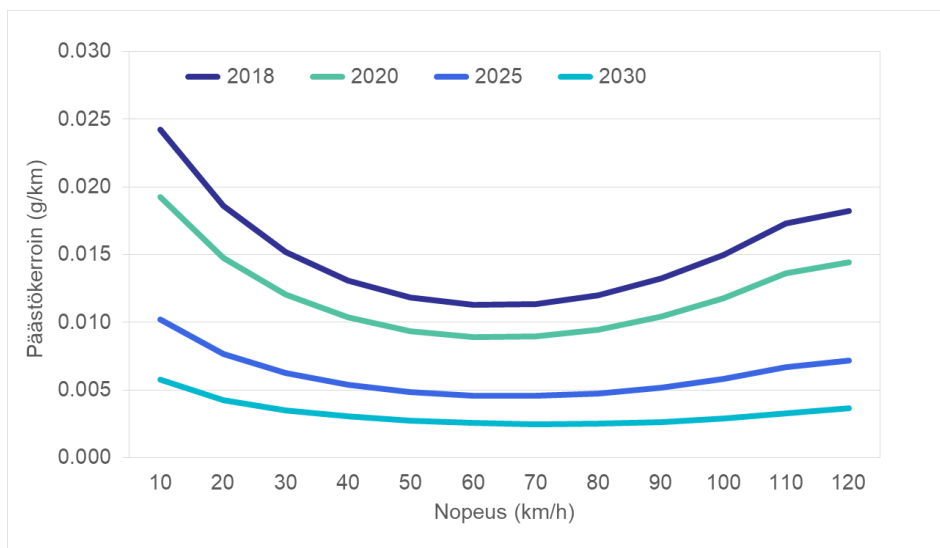
Suomen autokantaa edustavat EURO-päästöluokkaiset ajosuoriteosuudet on esitetty VTT:n julkaiseman liikenteen laskentajärjestelmä LIPASTO:n ALIISA-autokantamallissa. Tämä malli tarjoaa vuosittain päivittyvät nykytilannetta edustavat arvot (nyt käytössä vuosi 2018) ja ennusteet vuosille 2020, 2025 ja 2030 koko Suomen autokannan EURO-päästöluokkaisille ajosuoriteosuuksille. Ennusteet pohjautuvat Liikenneviraston ja VTT:n ennusteisiin suoritejakaumista ja autokannan kehityksestä. Ne edustavat perustilannetta, jossa otetaan huomioon vain jo päätetyt autokannan kehitykseen vaikuttavat valtakunnantason toimenpiteet (esim. muutokset verotuksessa).

Kuvissa 20 ja 21 on esitetty Helsingin keskimääräiset päästökertoimet eri vuosille 2018, 2020, 2025 ja 2030. Alla olevat kertoimet ottavat huomioon ajoneuvotyyppien keskimääräiset suhteelliset osuudet Suomessa. Kertoimet kohdennetaan kunnittain ajoneuvotyyppien suhteellisilla suoriteosuuksilla katu- tai tieosuuksien mukaan VTT:n LIISA-laskentajärjestelmän mukaisesti. Ajoneuvotyyppien suhteellisten suoriteosuuksien ei oleteta muuttuvan eri vuosien päästöskenaarioissa. Päästökertoimen pieneneminen vuodesta 2018 vuoteen 2030 selittyy autokannan uusiutumisella ja sillä, että uusilla vähäpäästöisemmällä ajoneuvoilla ajetaan tulevaisuudessa suhteessa suurempi osa ajosuoritteesta. Tulevaisuuden ennusteisiin kuitenkin liittyy runsaasti epävarmuustekijöitä.

Tekemällä päästöjen leviämislaskennat useilla eri vuosien päästötasoilla, saadaan aikaiseksi vaihteluväli, jolla autoliikenteen päästöjen aiheuttamat pitoisuudet tulevaisuudessa todennäköisesti esiintyvät.



Kuva 20. Mallilaskelmissa käytettävät ajoneuvojen keskimääräiset nopeusriippuvat typenoksidien päästökertoimet. Kertoimien pohjana ovat EEA:n päästökertoimet (EEA, 2017) painotettuna suoritteiden euroluokkajakaumilla ja Suomen keskimääräisillä ajosuoriteosuuksilla vuonna 2018 ja ennustettuna vuosille 2020, 2025 ja 2030 (VTT, 2019).



Kuva 21. Mallilaskelmissa käytettävät ajoneuvojen keskimääräiset nopeusriippuvat pienhiukasten päästökertoimet. Kertoimien pohjana ovat EEA:n päästökertoimet (EEA, 2017) painotettuna suoritteiden euroluokkajakaumilla ja Suomen keskimääräisillä ajosuoriteosuuksilla vuonna 2018 ja ennustettuna vuosille 2020, 2025 ja 2030 (VTT, 2019).

## VIITELUETTELO

*AIROLA, H., MYLLYNEN, M., 2015.* Ilmanlaatu maankäytön suunnittelussa. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Opas 2. ISBN 978-952-314-244-2 (PDF), Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-314-244-2>

*ANTTILA, P., TUOVINEN, J-P. JA NIEMI, J., 2011.* Primary NO<sub>2</sub> emissions and their role in the development of NO<sub>2</sub> concentration in a traffic environment. *Atmospheric Environment* 45 (2011) 986-992.

*EEA, 2017.* Exhaust emissions from road transport. Kappale teoksessa: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guide book 2016, last update June 2017. EEA Report No 21/2016. European Environment Agency, Denmark. ISBN 978-92-9213-806-6

*HÄNNINEN, O., KORHONEN, A., LEHTOMÄKI, H., ASIKAINEN, A., RUMRICH, I., 2016.* Ilmansaasteiden terveysvaikutukset. Ympäristöministeriön raportteja 16/2016. [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/74861/YMra\\_16\\_2016.pdf](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/74861/YMra_16_2016.pdf)

*HÄRKÖNEN, J., NIKMO, J., KARPPINEN, A., AND KUKKONEN, J., 2001.* A refined modelling system for estimating the emissions, dispersion, chemical transformation and dry deposition of traffic-originated pollution from a road. In: Cuvelier, C. et al., *Seventh International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*, Joint Research Centre, European Commission, Ispra, Italy, pp. 311-313.

*ILMATIETEEN LAITOS, 2021.* Ilmatieteen laitoksen ylläpitämä Ilmanlaatu Suomessa -sivusto, josta on saatavilla mittatiedot ja historiatietoja pitoisuuksista lähes kaikilta Suomen ilmanlaadun seuranta-asemilta: <https://ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatu>

*KARPPINEN, A., 2001.* Meteorological pre-processing and atmospheric dispersion modeling of urban air quality and applications in the Helsinki metropolitan area. Academic dissertation. Finnish Meteorological Institute, Contributions No. 33, Helsinki.

*KAUHANIEMI, M., KUKKONEN, J., HÄRKÖNEN, J., NIKMO, J., KANGAS, L., OMSTEDT, G., KETZEL, M., KOUSA, A., HAAKANA, M. and KARPPINEN, A., 2011.* Evaluation of a road dust suspension model for predicting the concentrations of PM<sub>10</sub> in street canyon in Helsinki. *Atmospheric Environment*, 45, 3646-3654.

*LIPASTO, 2012.* LIPASTO – Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energian-kulutuksen laskentajärjestelmä, VTT.

*OMSTEDT, G., BRINGELT, B., JOHANSSON, C., 2005.* A model for vehicle-induced non-tailpipe emissions of particles along Swedish roads. *Atmospheric Environment*, Vol. 39, issue 33, 6088–6097.

*RANTAKRANS, E., 1990.* Uusi menetelmä meteorologisten tietojen soveltamiseksi ilman epäpuhtauksien leviämismalleissa. *Ilmansuojelu-uutiset* 1/90, s. 18–20.

*Tampereen kaupunki, 2018.* Tampereen ilmanlaatu 2017. Päästöt ja ilmanlaadun mitaustulokset. Ympäristönsuojelun julkaisuja 2/2018.

*Tampereen kaupunki, 2019.* Tampereen ilmanlaatu 2018. Päästöt ja ilmanlaadun mitaustulokset. Ympäristönsuojelun julkaisuja 2/2018



*Tampereen kaupunki, 2020.* Tampereen ilmanlaatu 2019. Päästöt ja ilmanlaadun mitaustulokset. Ympäristönsuojelun julkaisuja 1/2020.

*VTT, 2019.* Teknologian tutkimuskeskus VTT. LIPASTO liikenteen päästöt <http://lipasto.vtt.fi/>

*Vna 79/2017.* Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta. Julkaistu 1.2.2017.

*Vnp 480/1996.* Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista. Annettu 19.6.1996.

*WHO, 2006.* WHO Air quality guidelines. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide. Global update 2005. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe.



ILMATIETEEN LAITOS

**ILMATIETEEN LAITOS**

puh. 029 539 1000

Ilmanlaatu ja energia

[ilmanlaatupalvelut@fmi.fi](mailto:ilmanlaatupalvelut@fmi.fi)

[www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatupalvelut](http://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatupalvelut)

**WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI**

