



**Autoliikenteen päästöjen vaikutus
Kaleva-Hakametsä-paikkakeskuksen
ydinalueen asemakaavan no. 8826 ilmanlaatuun
ID 5 658 620**



ILMANLAATUSELVITYS

**Autoliikenteen päästöjen vaikutus Kaleva-Hakametsä-paikalliskeskuksen
ydinalueen asemakaavan no. 8826 ilmanlaatuun**

ID 5 658 620

**Jenni Latikka
Timo Rasila
Salla Sillanpää
Katja Lovén**

Ilmatieteen laitos – Asiantuntijapalvelut

Ilmanlaatu ja energia

Helsinki 11.5.2021

SISÄLLYSLUETTELO

OSA I	4
1 JOHDANTO	4
2 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN LÄHTÖTIEDOT	5
2.1 Tarkastelukohteen sijainti	5
2.2 Liikennemäärät ja päästölaskenta	7
2.3 Mallilaskelmissa käytetty meteorologia	10
3 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN TULOKSET	11
3.1 Typpidioksidipitoisuudet (NO ₂)	12
3.2 Pienhiukkaspitoisuudet (PM _{2,5}).....	16
3.3 Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (PM ₁₀)	20
4 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	27
OSA II	30
5 TAUSTATIETOA ILMANLAADUSTA.....	30
5.1 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät	30
5.2 Typpidioksidi	30
5.3 Hiukkaset	31
5.4 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset.....	33
6 ULKOILMANLAADUN RAJA- JA OHJEARVOT	33
7 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN YLEISKUVAUS	35
7.1 Pitoisuuslaskenta päästöjen leviämismalleilla	35
7.2 Piste- ja pintapäästölähteiden leviämismalli (UDM-FMI).....	37
7.3 Liikenteen päästöjen leviämismalli (CAR-FMI).....	37
7.4 Liikenteen suspensiopäästömalli katupölyn mallintamiseen	38
7.5 Liikenteen päästölaskenta	38
VIITELUETTELO	41

OSA I

1 JOHDANTO

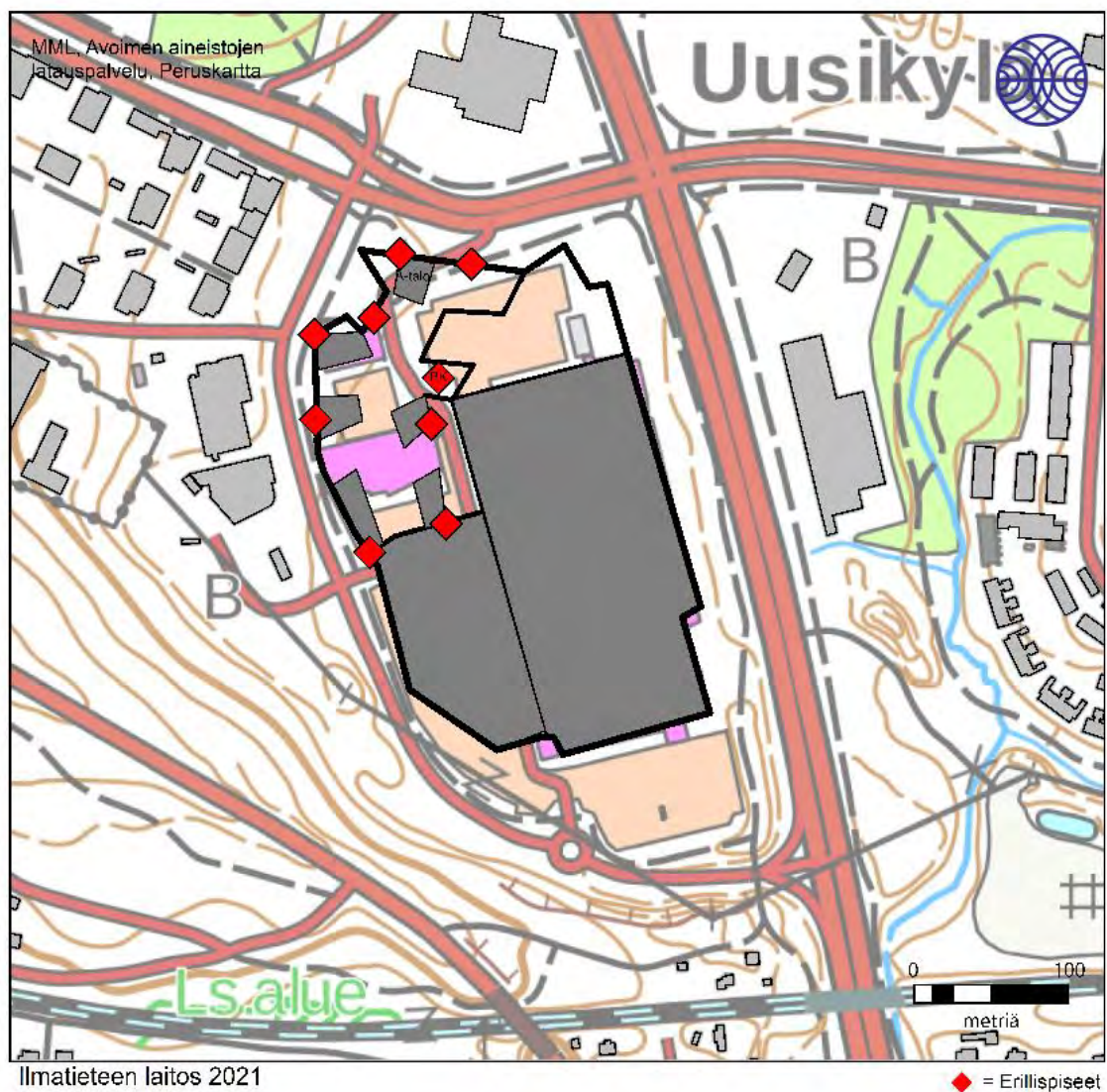
Ilmanlaatuselvityksessä arvioitiin leviämismallilaskelmin autoliikenteen ja katupölypäästöjen vaikutusta ilmanlaatuun Kaleva-Hakametsän uuden paikalliskeskuksen ydinalueella. Alueelle on suunniteltu liike- ja palvelukeskusta, jossa sijaitsee mm. päiväkotia sekä 4–16-kerroksisia asuintaloja. Piha- ja oleskelualueet ovat osittain maanpintatasoa korkeammalla sijaitsevia kattopihoja.

Leviämismallilaskelmin arvioitiin täyttävätkö alueen uudet suunnitelmat ilmanlaadulle asetetut ohje- ja raja-arvot. Tutkimuksessa arvioitiin kaavamuutosalueen ympäröivän liikenteen ja paikalliskeskuksen ydinalueen pysäköintihallien päästöjen aiheuttamia ilmanlaatuvaikutuksia hengityskorkeudella ja yhdeksässä erillistarkastelupisteessä. Erillistarkastelupisteet sijaitsivat +95–135 mmpy (korkeus merenpinnasta), kuten esimerkiksi kattopiholla. Erillispisteissä on tarkasteltu mallinnettuja epäpuhtauspitoisuuksia eri korkeustasoilla maanpintatasosta ylöspäin erillispisteen korkeustasoon saakka. Ilmanlaatuselvitys tehtiin alueen kaavamuutosuunnitelman tueksi.

Tutkimuksessa tarkasteltiin liikenteen päästöjen aiheuttamia ulkoilman typpidioksidin (NO_2) ja pienhiukkasten ($\text{PM}_{2,5}$) sekä katupölystä aiheutuvien hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) pitoisuuksia nykytilannetta edustavassa tarkasteluvaihtoehdossa (vuoden 2018 liikennemäärät ja vuotta 2020 edustavat päästötiedot) ja tulevaa tilannetta edustavassassa tarkasteluvaihtoehdossa (vuoden 2040 liikenne-ennuste ja vuoden 2030 päästöennuste). Liikenteen leviämismallilaskelmissa käytettiin lähtötietoina autoliikenteen eri tilanteita edustavia nopeusriippuvaisia ajoneuvotyyppi- ja EURO-luokkakohtaisia päästökertoimia sekä liikennemäärätietoja. Päästöjen aiheuttamat typpidioksidin, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet arvioitiin leviämislaskelmin Ilmatieteen laitoksella liikenteen ja pistemäisten päästöjen leviämisen mallintamiseen kehitetyillä leviämismalleilla (CAR-FMI, ns. suspensiopäästömalli ja UDM-FMI).

Ilmanlaatuselvityksen tilasi WSP Finland Oy ja loppuasiakkaana oli Tampereen kaupunki. Kaleva-Hakametsä ydinalueen kaavamuunnosalueen lähiliikenteen päästöjen laskelmat perustuivat alueen asemakaavan 8826 meluselvityksen liikennemäärätietoihin. WSP Finland Oy:ltä saadut lähialueen liikennemäärät perustuivat Tampereen kaupungin Oskari -tietopalveluun ja ovat WSP Finland Oy:n toimesta hyväksytty kaupungilla. Kaavamuutosaluetta ympäröivältä laajemmalla alueelta käytettiin liikenteen päästölaskelmiin Tampereen kaupunkialueella tehtyjen muiden ilmanlaatuselvityksien tietoja autoliikenteestä. Päästöjen leviämismallilaskelmat tehtiin Ilmatieteen laitoksen Asiantuntijapalvelut -yksikössä.

Mallilaskelmin tarkasteltiin liikenteen päästöjen aiheuttamia typpioksidin, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia tutkimusalueella hengityskorkeudella (2 metriä maanpinnasta) ja yhdeksässä erillistarkastelupisteessä. Tulevassa tilanteessa myös paikalliskeskuksen pysäköintihallien pienhiukkas- ja typenoksidipäästöt huomioitiin mallinnuksessa. Erillistarkastelupisteet sijaitsivat päiväkodin pihalla, kattopihoilla ja asuintalojen seinustoilla. Erillistarkastelupisteiden sijainti on esitetty kuvassa Kuva 2. Alueelle rakennettavaksi suunnitellut 4–16-kerroksiset kerrostalot kohoaisivat korkeimmillaan noin +135 mmpy korkeustasolle merenpinnasta (45 m maan pinnasta). Pitoisuudet laskettiin erillistarkastelupisteisiin korkeussuunnassa 5 metrin välein +95–135 mmpy välille merenpintatasosta. Maanpintakorkeus talojen lähikaduilla on noin +90 mmpy.



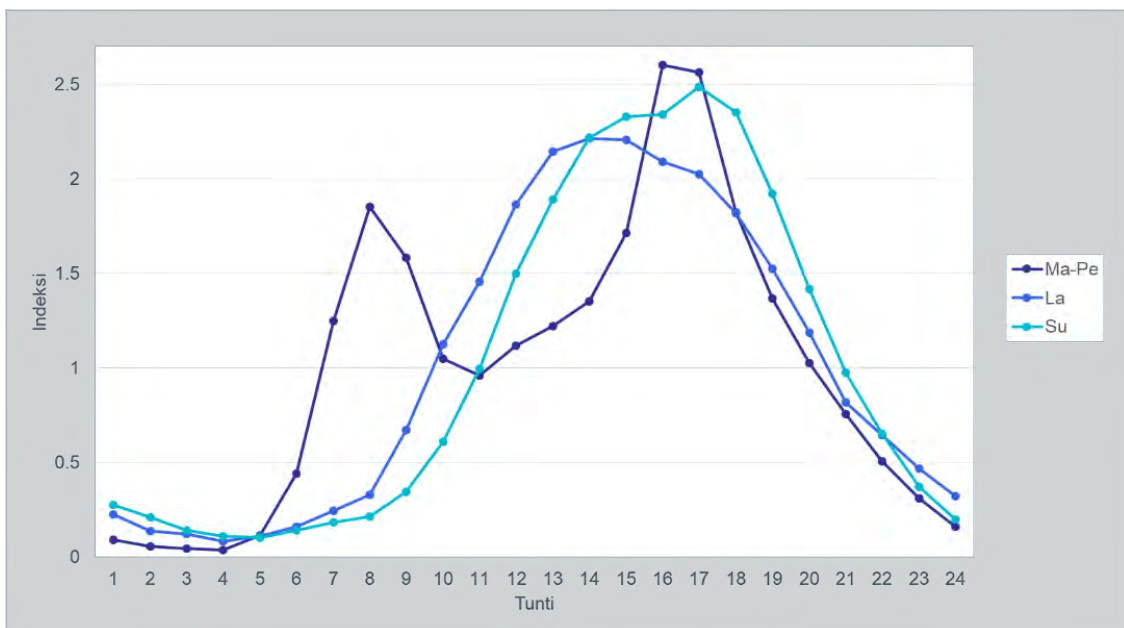
Kuva 2. Kaleva-Hakametsä-paikalliskeskuksen ydinalueen sijaintikohdat.

2.2 Liikennemäärät ja päästölaskenta

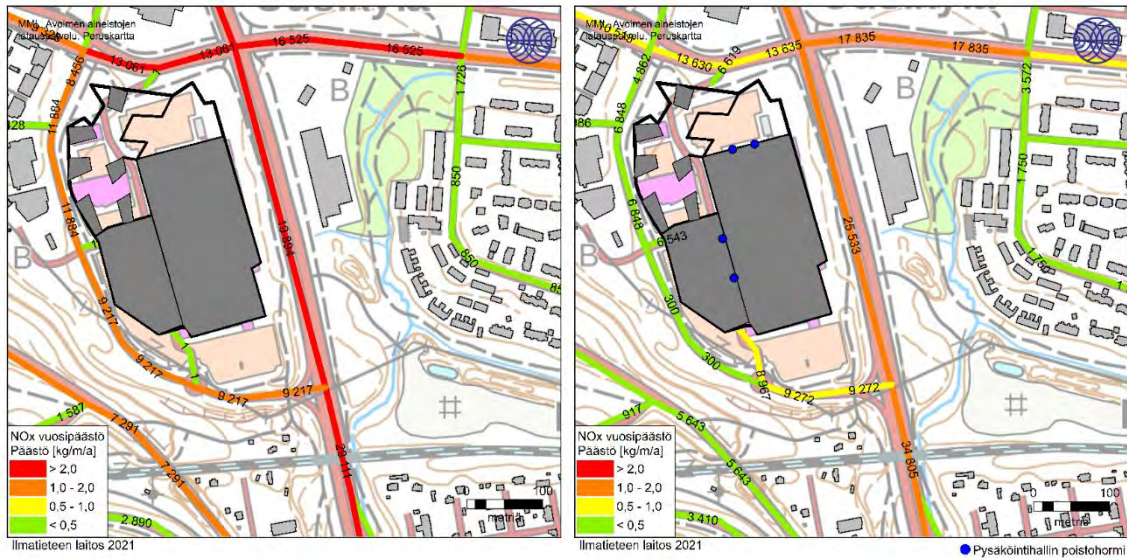
Mallilaskelmin tarkasteltiin autoliikenteen nykytilanteen (2020) ja tulevaa (2040) päästötilannetta. Kaleva-Hakametsä -paikalliskeskuksen ydinalueen kaavamuutosalueen lähiliikenteen päästöjen laskelmat perustuivat asemakaavan 8826 meluselvityksen liikennemäärätietoihin. WSP:n toimittamat lähialueen (noin 2 km × 2 km) nykytilanteen liikennemäärät perustuivat Tampereen kaupungin Oskari -tietopalvelun tietoihin. Vuoden 2040 liikennemäärät ovat WSP:n tuottaman liikennemallinnuksen ennusteita. Molemmat liikennemääräaineistot ovat WSP:n toimesta hyväksytetty kaupungilla. Kaavamuutosaluetta ympäröivältä laajemmalta alueelta (noin 15 km × 15 km) käytettiin liikenteen päästölaskelmiin Tampereen kaupunkialueella tehtyjen muiden ilmanlaatuselvityksien 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.

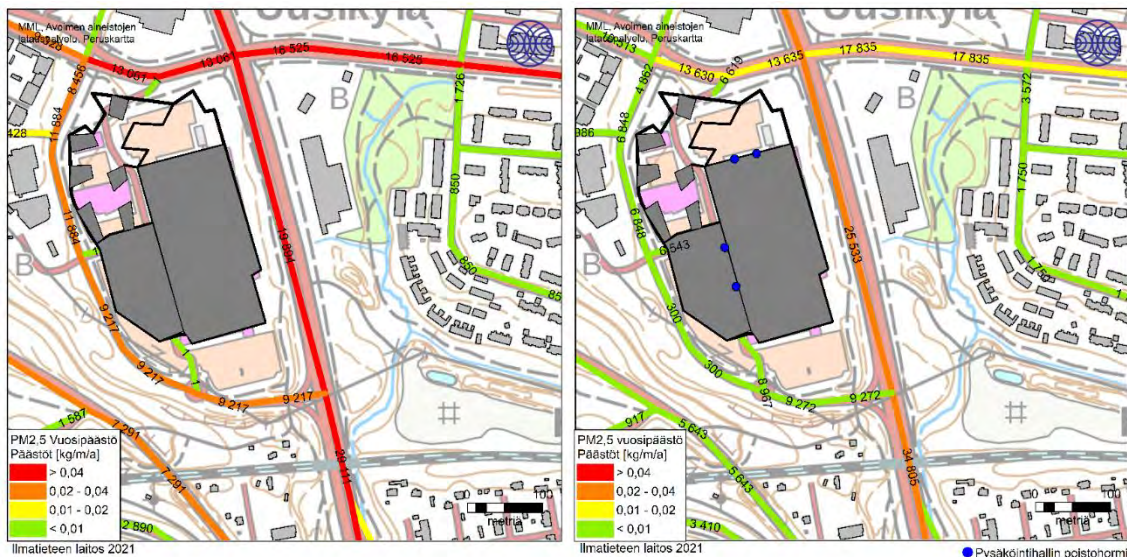
Lähiympäristön autoliikenteen päästöjen tunneittaisena ja viikoittaisena aikavaihteluna käytettiin Väyläviraston ylläpitämän automaattisen mittausjärjestelmän (LAM-pisteet) Tampereen Sarankulman mittauspisteen tietoja (Kuva 3). Kuvissa Kuva 4, Kuva 5 ja Kuva 6 on esitetty laskelmissa käytetyt nyky- ja tulevan tilanteen arkivuorokausiliikennemäärät ja liikenneväyläkohtaisesti lasketut pakokaasuperäiset typenoksidien (NO_x), pienhiukkasten ($\text{PM}_{2,5}$) ja hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) päästöt (kg/a/m) tutkimusalueella. Kaavamuutosalueen lähiympäristön liikennemäärästä Hervannan valtavyhlän ja Sammon valtatieen raskaan liikenteen osuudet olivat 2–4 % liikennevirran kokonaismäärästä.



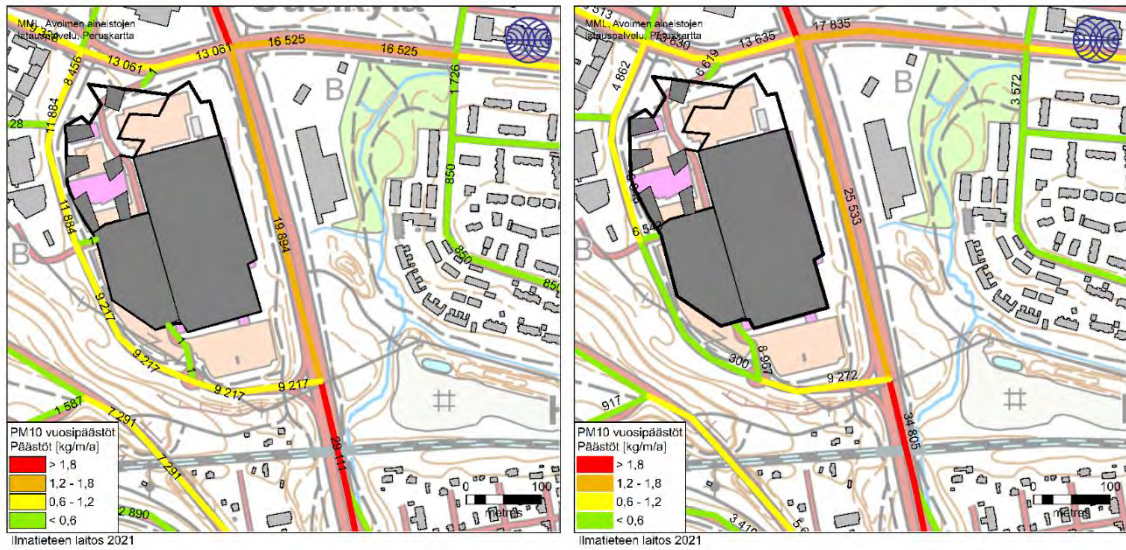
Kuva 3. Lähiliikenteen tunneittaista ja viikoittaista vaihtelua kuvaavat aikavaihteluindeksit tarkastelualueella.



Kuva 4. Kaavamuutosalue ja laskemissa mukana olleiden katujen ja teiden autoliikenteen typenoksidipäästöt (kg/a/m), arkivuorokausien liikennemäärät (KAVL, ajoneuvoa vuorokaudessa) tutkimusalueella nykytilanteessa (vasemmalla) ja tulevassa tilanteessa (oikealla). Tulevassa tilanteessa laskemissa mukana oli lisäksi pysäköintihallien poistohormit.



Kuva 5. Kaavamuutosalue ja laskemissa mukana olleiden katujen ja teiden autoliikenteen pienhiukkaspäästöt (kg/a/m) ja arkivuorokausien liikennemäärät (KAVL, ajoneuvoa vuorokaudessa) tutkimusalueella nykytilanteessa (vasemmalla) ja tulevassa tilanteessa (oikealla). Tulevassa tilanteessa laskemissa mukana oli lisäksi pysäköintihallien poistohormit.



Kuva 6. Kaavamuutosalueen sijainti sekä laskelmissa mukana olleiden katujen ja teiden autoliikenteen hengitettävien hiukkasten päästöt (kg/a/m) ja arkivuorokausien liikennemäärät (KAVL, ajoneuvoa vuorokaudessa) tutkimusalueella nykytilanteessa (vasemmalla) ja tulevassa tilanteessa (oikealla).

Autoliikenteen pakokaasupäästöjen leviämislaskelmat tehtiin käyttäen Euroopan ympäristöviraston (*European Environmental Agency, EEA*) määrittämiä nopeudesta ja ajoneuvojen päästöluokista (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 päästöluokittain 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. Vuodelle 2030 tehtyä ennustetta käytettiin tulevaa tilannetta edustavan tarkasteluvaihtoehdon "vuosi 2040" päästölaskennan lähtötietona, jossa käytettiin vuoden 2040 liikenne-ennustemääriä. Tulevaisuuden autoliikenteen päästöjen ennustamiseen sisältyy useita epävarmuustekijöitä. Todennäköistä on, että liikenteen suorat pakokaasupäästöt ja niiden aiheuttamat vaikutukset pienenevät tulevaisuudessa nykytilanteeseen verrattuna, kun ajoneuvojen moottoritekniikka kehittyy ja päästörajoitukset tiukkenevat. Katupölypäästöt sen sijaan voivat nousta liikennemäärien kasvaessa, mutta niihin voidaan vaikuttaa tehokkaasti esimerkiksi katujen kunnossapidolla (mm. siivous, pölynsidonta). On kuitenkin mahdollista, ettei VTT:n ja Liikenneviraston tuottamat ennusteet toteudu täysimääräisenä ja autokannan uudistuminen on ennustettua hitaampaa. Eri ennustevuosien EURO-luokkajakaumaa ja vaikutusta mallinnuksessa käytettäviin päästökertoimiin on kuvattu luvussa 7.5.

Ns. suspensiopäästömallissa (katupölypäästömalli) liikenteestä aiheutuvan PM₁₀-päästön määrä perustuu todellisiin havaittuihin sääolosuhteisiin ja sääolosuhteiden perusteella mallin arvioimiin hiekoitusajankohtiin. Katupölypäästön määrässä ei ole otettu huomioon todellisia hiekoitusten ajankohtia, hiekoitusmääriä ja katujen puhdistamisen ja mahdollisen pölynsidonnän vaikutusta pölypäästöön. Katupölyn määrä

vaihtelee siten vuosittain sääolosuhteiden mukaan. Mallilaskelmissa vuosien 2017, 2018 ja 2019 hengitettävien hiukkasten kokonaispäästöksi saatiin tutkimusalueella 131 t/a, 165 t/a ja 141 t/a vuodessa. Katupölyn osalta pahimmaksi vuodeksi osoittautui vuosi 2018.

Lähiliikenteen päästöjen lisäksi tulevan (2040) tilanteen laskelmissa huomioitiin paikalliskeskuksen ydinalueen parkkihallien liikenteen ilmanvaihtohormien kautta vapautuvat päästöt. Ilmanvaihtohormeja on yhteensä neljä ja ne sijaitsevat kattotasolla. Parkkihallien liikennemääränä käytettiin WSP:n 2040 liikenne-ennustetta. Parkkihallien lämpötilan oletettiin olevan vakio (15 °C) vuoden ympäri ja ilmanvaihtohormien virtausnopeuden olevan 10 m/s. Laitoksen typenoksidien ja pienhiukkasten päästöiksi saatiin 1,145 t/a (NO_x) ja 0,325 t/a (PM_{2,5}).

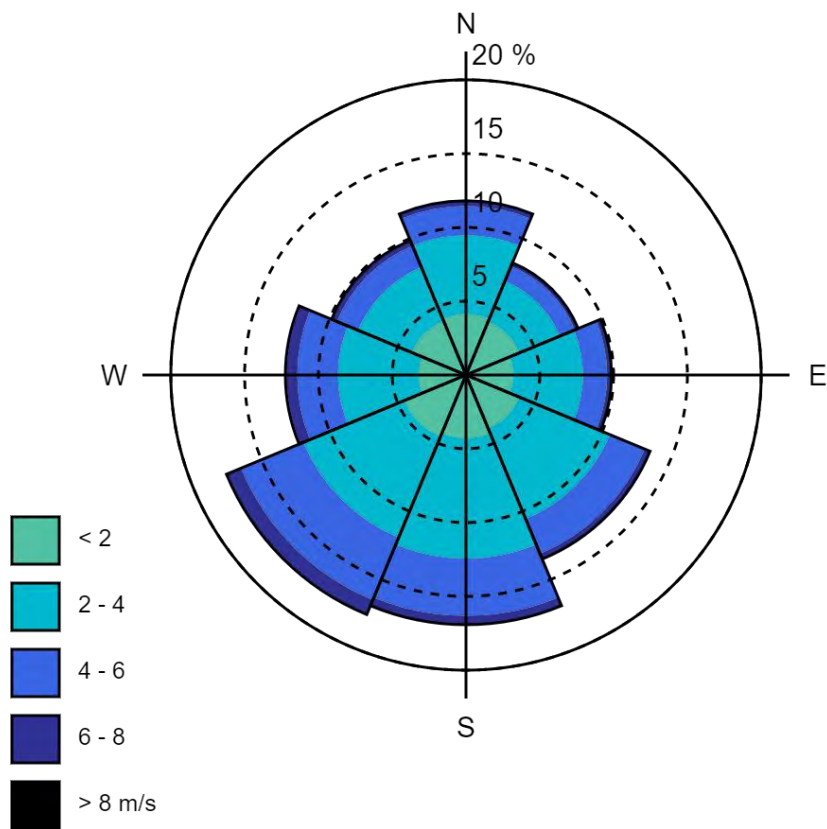
Lähiliikenteen ja parkkihallien päästöjen lisäksi mallilaskelmissa huomioitiin alueellinen typpidioksidin, otsonin ja pienhiukkasten taustapitoisuus. Typpidioksidin ja otsonin taustapitoisuutena käytettiin Ilmatieteen laitoksen Hyytiälässä sijaitsevan ilmanlaadun mittaustaseman mittaustuloksia. Pienhiukkasten taustapitoisuutena käytettiin Vaasan kaupungin ylläpitämän Vaasan vesitornin ilmanlaadun mittaustasemalta saatuja tuloksia. Hyytiälän typenoksidien ja Vaasan vesitornin pienhiukkasten taustapitoisuuksien vuosikeskiarvot olivat tarkastelujakson 2017–2019 mittauksissa 2,1 µg/m³ (NO₂) ja 3,8 µg/m³ (PM_{2,5}). Mallilaskelmissa käytettiin Hyytiälän ilmanlaadun mittaustaseman otsonihavainnot 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_x) oletettiin typpidioksidin (NO₂) 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 parametrisointimenetelmään (*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 etäisyyspainotetuna 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 luotaushavainnot. Tuulen suunta- ja nopeusjakauma tutkimusalueella on esitetty kuvassa Kuva 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-, pienhiukkas- ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet on esitetty taulukoina ja kaaviokuvina, joissa ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia verrataan ilmanlaatulainsäädännössä annettuihin ohje- ja raja-arvoihin sekä WHO:n ohjearvoihin. Vuosikeskiarvopitoisuus kuvaa alueen keskimääräistä ja vallitsevaa ilman epäpuhtauspitoisuustasoa 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.

Laskelmissa ei saatu merkittäviä pitoisuuseroja saman korkeustason yhdeksän eri erillistarkastelupisteen välille. Samalla korkeustasolla pitoisuuden keskihajonta oli enimmillään 4 % suhteessa raja- tai ohjearvoon. Tulostaulukoiden selkeyden vuoksi erillistarkastelupisteistä on esitetty vain pisteen 2 (A talon seinusta) tulokset, jotka ovat pääsääntöisesti korkeimmat ja ulottuvat vertikaalisesti korkeimmalle. Raja- ja ohjearvoon

verrannollisissa pitoisuuksien kuvaajissa saadut pitoisuudet on esitetty suhteellisin kaikkii erillistarkastelupisteisiin.

3.1 Typpidioksidipitoisuudet (NO₂)

Taulukossa Taulukko 1 on esitetty leviämismallilaskelmin saadut lähiliikenteen ja pysäköintihallien päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat ulkoilman suurimmat typpidioksidin (NO₂) raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet erillistarkastelupisteessä 2 **tulevassa tilanteessa** ja taulukossa Taulukko 2 **nykytilanteessa** eri korkeuksilla merenpinnasta. Kuvassa Kuva 8 on esitetty suurimmat typpidioksidipitoisuudet suhteessa raja-arvoon ja kuvassa Kuva 9 suhteessa ohjearvoon kaikissa erillistarkastelupisteissä. Suurimmillaan typpidioksidipitoisuus on **tulevassa tilanteessa** 12 % vuosiraja-arvosta ja 24 % vuorokausiohjearvosta. **Nykytilannetta edustavassa tarkasteluvaihtoehdossa** vastaavat typpidioksidipitoisuudet ovat suurimmillaan 22 % vuosiraja-arvosta ja 45 % vuorokausiohjearvosta.

Uudenmaan ELY-keskuksen oppaassa, *Ilmanlaatu maankäytön suunnittelussa (Airola, Myllynen, 2015)* herkille kohteille, kuten päiväkodeille, suositellaan enintään 50 % pitoisuutta typpidioksidin vuosiraja-arvosta. Suunnitellulla päiväkodin pihan tasolla, +100 mmpy, typpidioksidipitoisuudet ovat tulevassa tilanteessa 10 % vuosiraja-arvosta ja nykytilanteessa 17 % raja-arvosta, eli suositeltu pitoisuustaso alittuu.

Taulukko 1. Leviämismallilaskelmilla saadut liikenteen ja pysäköintihallien päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat suurimmat raja- ja ohjearvoihin verrannolliset ulkoilman typpidioksidipitoisuudet erillistarkastelupisteissä 2 **vuonna 2040**.

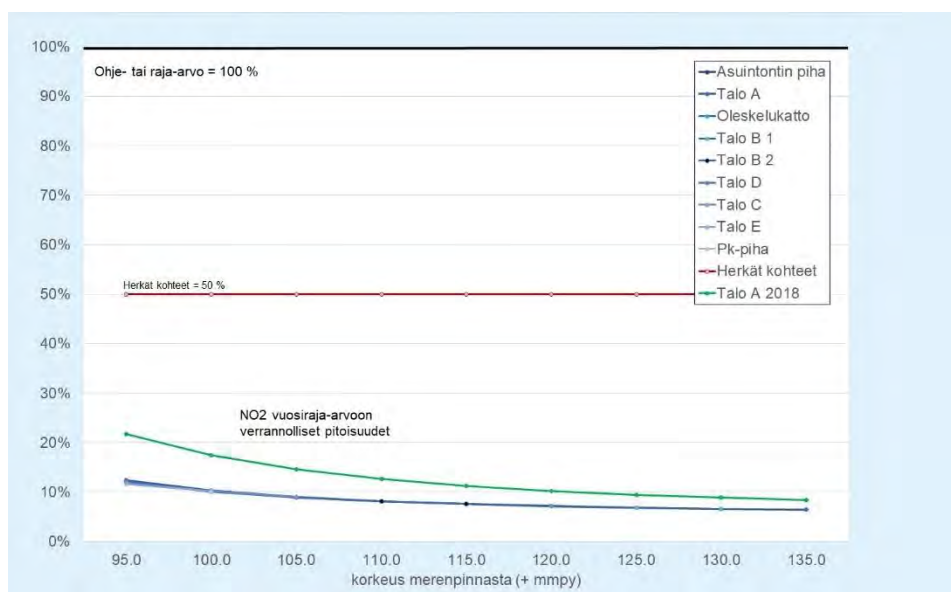
Korkeustaso merenpinnasta (mmpy)	Typpidioksidipitoisuus NO ₂ (µg/m ³)			
	Vuosiraja-arvo (40 µg/m ³) ⁽¹⁾	Vrk-ohjearvo (70 µg/m ³) ⁽²⁾	Tuntiraja-arvo (200 µg/m ³) ⁽¹⁾	Tuntiohjearvo (150 µg/m ³) ⁽²⁾
	Piste 2	Piste 2	Piste 2	Piste 2
+95	5,0	16,7	44,3	47,7
+100	4,1	12,2	30,0	30,6
+105	3,6	9,5	22,6	22,0
+110	3,3	7,9	17,3	17,1
+115	3,0	6,9	14,0	14,8
+120	2,8	6,4	11,7	12,4
+125	2,7	6,0	10,4	10,8
+130	2,6	5,6	9,3	10,1
+135	2,6	5,6	8,5	9,2

⁽¹⁾ raja-arvo ⁽²⁾ ohjearvo

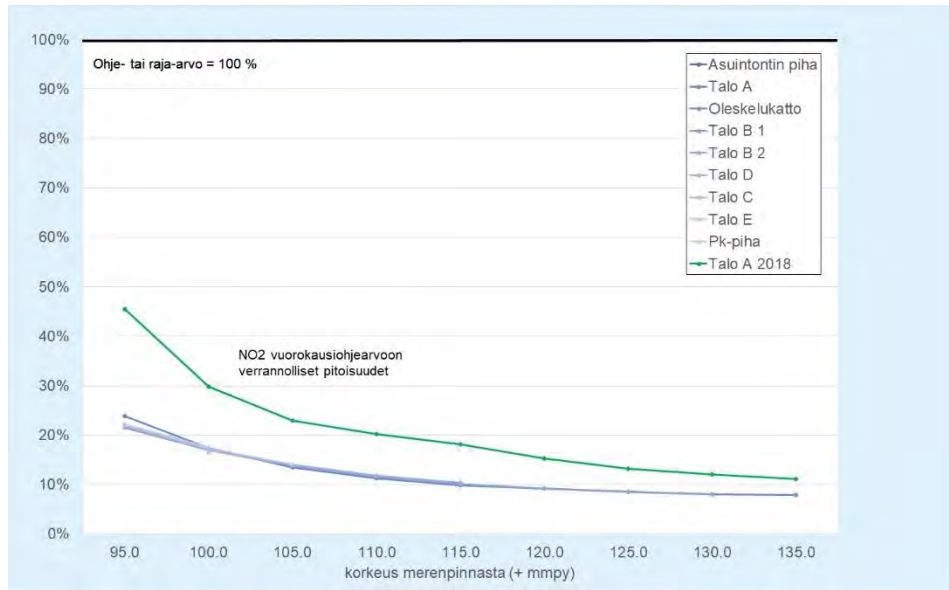
Taulukko 2. Leviämismallilaskelmilla saadut liikenteen päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat suurimmat raja- ja ohjearvoihin verrannolliset ulkoilman typpidioksidipitoisuudet erillistarkastelupisteissä 2 **nykytilanteessa**.

Korkeustaso merenpinnasta (mmpy)	Typpidioksidipitoisuus NO ₂ (µg/m ³)			
	Vuosiraja-arvo (40 µg/m ³) ⁽¹⁾	Vrk-ohjearvo (70 µg/m ³) ⁽²⁾	Tuntiraja-arvo (200 µg/m ³) ⁽¹⁾	Tuntiohjearvo (150 µg/m ³) ⁽²⁾
	Piste 2	Piste 2	Piste 2	Piste 2
+95	8,7	31,8	75,8	78,6
+100	7,0	20,9	57,0	55,4
+105	5,8	16,0	43,1	41,6
+110	5,0	14,2	25,7	34,2
+115	4,5	12,7	28,9	28,7
+120	4,0	10,7	24,5	25,5
+125	3,8	9,3	20,6	20,9
+130	3,5	8,5	18,2	17,8
+135	3,4	7,8	15,7	14,9

⁽¹⁾ raja-arvo ⁽²⁾ ohjearvo



Kuva 8. Leviämismallilaskelmilla saadut liikenteen ja pysäköintihallien päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat suurimmat typpidioksidipitoisuudet (NO₂) suhteessa raja-arvoon kaikissa erillistarkastelupisteissä **vuonna 2040** ja **nykytilanteessa**.



Kuva 9. Leviämismallilaskelmilla saadut liikenteen ja pysäköintihallien päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat suurimmat typpidioksidipitoisuudet (NO_2) suhteessa raja-arvoon kaikissa erillistarkastelupisteissä **vuonna 2040 ja nykytilanteessa**.

Kuvassa Kuva 10 on esitetty lähiliikenteen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat typpidioksidin vuosiraja-arvoon verrannollisten pitoisuuksien aluejakaumat kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella nyky- ja tulevassa tilanteessa, vuonna 2040. Tulevassa tilanteessa laskennassa on mukana lisäksi pysäköintihallien päästöt. Taulukossa Taulukko 3 on esitetty alueellisten pitoisuusjakaumien suurimmat raja- ja ohjearvoon verrannolliset pitoisuudet.

Kaavamuutosalueella typpidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvo **nykytilanteessa** on $8\text{--}11\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ vuosiraja-arvon ollessa $40\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. **Tulevassa tilanteessa** vuosikeskiarvo kaavamuutosalueella on enintään $6\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Typpidioksidin taustapitoisuus on Hyytiälän mittauksissa ollut vuosina 2017–2019 vuosikeskiarvona $2,1\ \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Kuvassa Kuva 11 on esitetty typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannollisten pitoisuuksien aluejakauma nyky- ja tulevassa tilanteessa. Kaavamuutosalueen pohjoisosassa asuintalojen ympäristössä typpidioksidipitoisuuden vuorokausikeskiarvo **nykytilanteessa** on enintään $40\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ vuorokausiohjearvon ollessa $70\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Eteläosassa vuorokausikeskiarvo on hieman yli $40\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. **Tulevassa tilanteessa** vuorokausikeskiarvo koko kaavamuutosalueella on enintään $30\ \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Laskelmien mukaan typpidioksidipitoisuuden raja- ja ohjearvot alittuvat hengityskorkeudella kaikkialla tutkimusalueella. Liikenteen vaikutus ulkoilman typpidioksidipitoisuuksiin on suurimmillaan lähellä maanpintaa. Päästöjen sekoittumisen ja laimenemisen vuoksi pitoisuudet pienenevät maanpintatasolta ylöspäin mentäessä ja kuljettaessa etäämmälle teistä. Typpidioksidipitoisuuden ohje- ja raja-arvot alittuvat kaikissa tutki- tuissa tarkastelukohteissa.



Kuva 10. Leviämislaskelmin saatu liikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama typpiidioksidin (NO_2) vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella nykytilanteessa (vasemmalla) ja tulevassa tilanteessa (oikealla). Vuoden 2040 tuloksissa mukana on parkkihallien päästöt.



Kuva 11. Leviämislaskelmin saatu liikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama typpiidioksidin (NO_2) vuorokausiohjaarvoon verrannollinen pitoisuus kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella nykytilanteessa (vasemmalla) ja tulevassa tilanteessa (oikealla). Vuoden 2040 tilanteessa mukana on myös pysäköintihallien päästöt.

Taulukko 3. Leviämismallilaskelmilla saadut liikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat suurimmat raja- ja ohjearvoihin verrannolliset ulkoilman typpi-dioksidipitoisuudet kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella. Tulevassa tilanteessa mukana on myös pysäköintihallien päästöt.

NO ₂ -pitoisuus (µg/m ³)	Raja- tai ohjearvo	Nykytilanne, 2018 (Hengityskorkeus)	Tuleva tilanne, 2040 (Hengityskorkeus)
Vuosikeskiarvo	40 ⁽¹⁾	16,4	9,0
Korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus	70 ⁽²⁾	52,3	34,2
Korkein tuntiohjearvoon verrannollinen pitoisuus	150 ⁽²⁾	95,8	69,5
Korkein tuntiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus	200 ⁽¹⁾	104,9	76,2

⁽¹⁾ raja-arvo

⁽²⁾ ohjearvo

3.2 Pienhiukkaspitoisuudet (PM_{2,5})

Taulukossa Taulukko 4 on esitetty leviämismallilaskelmin saadut lähiliikenteen ja pysäköintihallien päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat ulkoilman suurimmat pienhiukkasten (PM_{2,5}) vuosiraja-arvoon ja WHO:n ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet erillistarkastelupisteessä 2 **tulevassa tilanteessa** ja taulukossa Taulukko 5 **nykytilanteessa** eri korkeuksilla merenpinnasta. Kuvassa Kuva 12 on esitetty suurimmat pienhiukkaspitoisuudet suhteessa raja-arvoon ja kuvassa Kuva 13 suhteessa WHO ohjearvoon kaikissa erillistarkastelupisteissä. Pitoisuuksia verrataan WHO:n vuorokausiohjearvoon, koska pienhiukkasten lyhytaikaispitoisuuksille ei Suomessa ole voimassa olevaa raja- tai ohjearvoa.

Suurimmillaan pienhiukkaspitoisuus **tulevassa tilanteessa** on 16 % vuosiraja-arvosta ja 23 % vuorokausiohjearvosta. Päiväkodin piha-alueen tasolla, +100 mmpy, pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo on 3,9 µg/m³, joka alittaa Uudenmaan ELY-keskuksen herkille kohteille suositellun pienhiukkasten vuosikeskiarvon (enintään 8,5 µg/m³). **Nykytilanteessa** pienhiukkaspitoisuuden suurin vuosikeskiarvo on 17 % vuosiraja-arvosta ja 29 % vuorokausiohjearvosta.

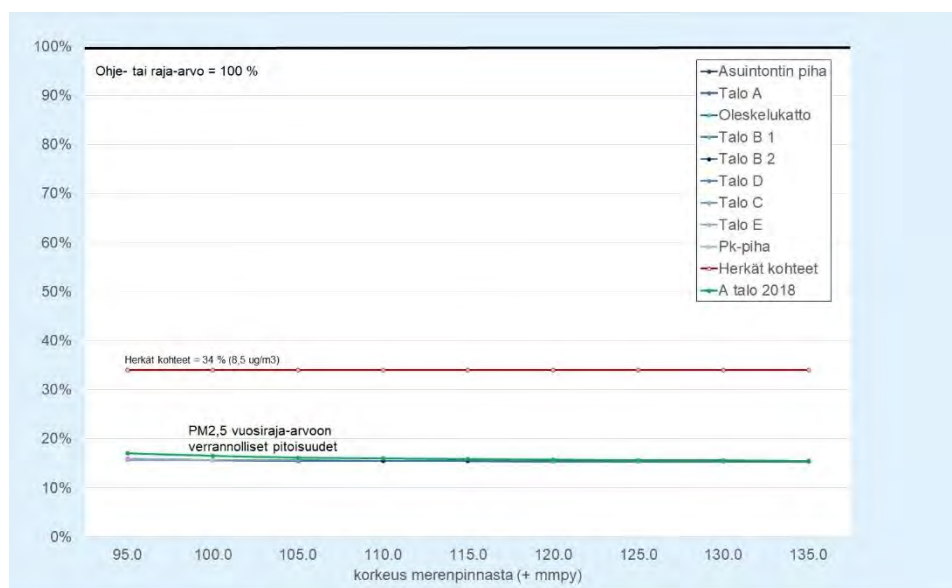
Lähiliikenteen vaikutus ulkoilman pienhiukkaspitoisuuksiin on suurimmillaan lähellä päästölähdettä maanpintatasolla. Päästöjen sekoittumisen ja laimenemisen vuoksi pitoisuudet pienenevät sekä korkeammalle noustessa että kuljettaessa etäämmälle tiestä. Merkittävä osa pienhiukkaspitoisuuksissa on alueellista taustapitoisuutta. Vaasan vesitornin mittauksissa pienhiukkasten vuosikeskiarvo on vuosina 2017–2019 ollut 3,8 µg/m³. Taulukosta Taulukko 5 voidaan nähdä, että erillispisteiden pitoisuuksien vuosikeskiarvot vastaavat taustapitoisuustasoa **nykytilanteessa**.

Taulukko 4. Leviämismallilaskelmilla saadut liikenteen ja pysäköintilaitosten päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat suurimmat vuosiraja-arvoon ja WHO:n ohjearvoihin verrannolliset ulkoilman pienhiukkaspitoisuudet erillistarkastelupisteessä 2 vuonna 2040.

Korkeustaso merenpinnasta (mmpy)	Pienhiukkaspitoisuus PM _{2,5} (µg/m ³)		
	Vuosiraja-arvo (25 µg/m ³) ⁽¹⁾	Vuosiohjearvo, WHO (10 µg/m ³) ⁽²⁾	Vuorokausiohjearvo, WHO (25 µg/m ³) ⁽²⁾
	Piste 2	Piste 2	Piste 2
+95	3,9	3,9	5,8
+100	3,9	3,9	5,6
+105	3,9	3,9	5,6
+110	3,9	3,9	5,5
+115	3,9	3,9	5,5
+120	3,9	3,9	5,5
+125	3,8	3,8	5,5
+130	3,8	3,8	5,5
+135	3,8	3,8	5,5

⁽¹⁾ raja-arvo

⁽²⁾ WHO:n asettama ohjearvo



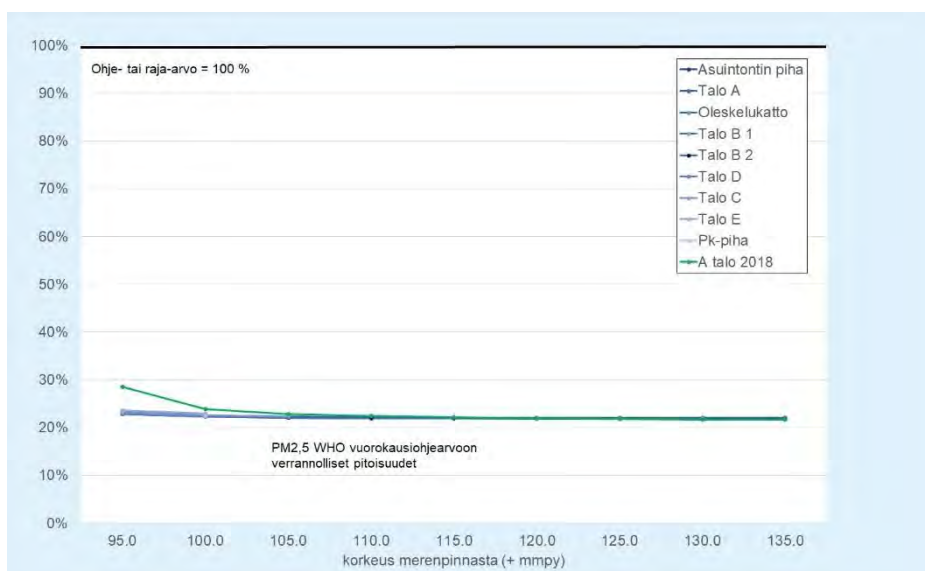
Kuva 12. Leviämismallilaskelmilla saadut liikenteen ja parkkihallien päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat suurimmat pienhiukkasten (PM_{2,5}) pitoisuudet suhteessa vuosiraja-arvoon vuonna 2040 ja nykytilanteessa.

Taulukko 5. Leviämismallilaskelmilla saadut liikenteen ja pysäköintilaitosten päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat suurimmat vuosiraja-arvoon ja WHO:n ohjearvoihin verrannolliset ulkoilman pienhiukkaspitoisuudet erillistarkastelupisteessä 2 **nykytilanteessa**.

Korkeustaso merenpinnasta (mmpy)	Pienhiukkaspitoisuus PM _{2,5} (µg/m ³)		
	Vuosiraja-arvo (25 µg/m ³) ⁽¹⁾	Vuosiohjearvo, WHO (10 µg/m ³) ⁽²⁾	Vuorokausiohjearvo, WHO (25 µg/m ³) ⁽²⁾
	Piste 2	Piste 2	Piste 2
+95	4,2	4,2	7,1
+100	4,1	4,1	6,0
+105	4,0	4,0	5,7
+110	4,0	4,0	5,6
+115	3,9	3,9	5,5
+120	3,9	3,9	5,5
+125	3,9	3,9	5,4
+130	3,9	3,9	5,4
+135	3,9	3,9	5,4

⁽¹⁾ raja-arvo

⁽²⁾ WHO:n asettama ohjearvo



Kuva 13. Leviämismallilaskelmilla saadut liikenteen ja pysäköintihallien päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat suurimmat pienhiukkasten (PM_{2,5}) pitoisuudet suhteessa WHO:n vuorokausiohjearvoon erillispisteissä **vuonna 2040**.

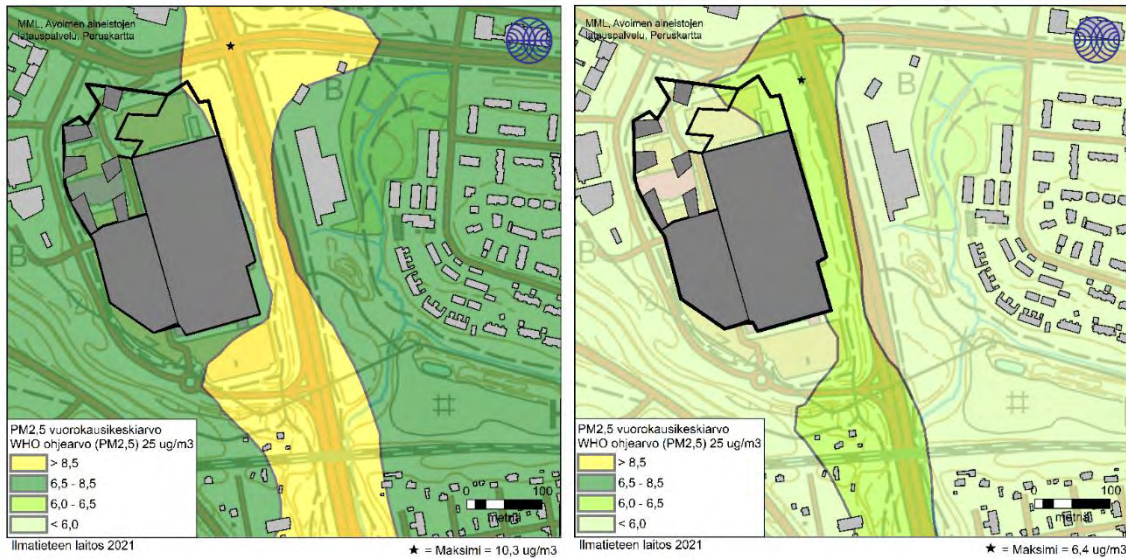
Kuvissa Kuva 14 ja Kuva 15 on esitetty liikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat pienhiukkaspitoisuuden (PM_{2,5}) vuosiraja-arvoon ja WHO:n vuorokausiohjeeseen verrannollisen pienhiukkaspitoisuuden aluejakaumat kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella. **Tulevan, vuoden 2040 tilanteen** tuloksissa on mukana myös pysäköintilaitosten päästöt. Alueellisten pitoisuusjakaumien suurimmat raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet on esitetty taulukossa Taulukko 6.

Kaavamuutosalueella pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvo **nykytilanteessa** on 4,2–4,4 µg/m³ vuosiraja-arvon ollessa 25 µg/m³. **Tulevassa, vuoden 2040 tilanteessa** vuosikeskiarvo koko kaavamuutosalueella on alle 4 µg/m³. WHO:n vuorokausiohjeeseen verrannollinen pienhiukkaspitoisuus kaavamuutosalueella on **nykytilanteessa** alle 8,5 µg/m³ ja **tulevassa tilanteessa** alle 6,4 µg/m³ ohjearvon ollessa 25 µg/m³. Laskelmien mukaan pienhiukkaspitoisuuden vuosiraja-arvo ja WHO:n ohjearvot alittuvat hengityskorkeudella kaikkialla tutkimusalueella.

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 ilmavirtaukset ovat etelän tai idän suuntaisia (mm. Venäjän ja Itä-Euroopan metsäpalojen aiheuttamat kohonneet pienhiukkaspitoisuudet).



Kuva 14. Leviämislaskelmin saatu liikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama pienhiukkasten (PM_{2,5}) vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella nykytilanteessa (vasen kuva) ja tulevassa tilanteessa (oikea kuva). Vuoden 2040 tilanteessa mukana on myös pysäköintihallien päästöt



Kuva 15. Leviämislaskelmin saatu liikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama pienhiukkasten (PM_{2,5}) WHO vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella nykytilanteessa (vasen kuva) ja tulevassa tilanteessa (oikea kuva). Vuoden 2040 tilanteessa mukana on myös pysäköintihallien päästöt.

Taulukko 6. Leviämismallilaskelmilla saadut liikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat suurimmat vuosiraja-arvoon ja WHO:n ohjearvoihin verrannolliset ulkoilman pienhiukkaspitoisuudet (PM_{2,5}) kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella.

PM _{2,5} -pitoisuus (µg/m ³)	Raja- tai ohjearvo	Nykytilanne, 2018 (hengityskorkeus)	Tuleva tilanne, 2040 (hengityskorkeus)
Vuosikeskiarvo	25 ⁽¹⁾ / 10 ⁽²⁾	4,9	4,2
Korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus	25 ⁽²⁾	10,3	6,4

⁽¹⁾ raja-arvo

⁽²⁾ WHO:n asettama ohjearvo

3.3 Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet (PM₁₀)

Taulukossa Taulukko 7 on esitetty leviämismallilaskelmin saadut lähiliikenteen ja pysäköintihallien päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat ulkoilman suurimmat hengitettävien hiukkasten raja- ja ohjearvoihin verrannolliset pitoisuudet erillistarkastelupisteessä 2 **tulevassa tilanteessa** ja taulukossa Taulukko 8 **nykytilanteessa**. Suurimmat hengitettävien hiukkasten pitoisuudet suhteessa vuosiraja-arvoon ja vuorokausiohjearvoon erillistarkastelupisteessä on esitetty kuvissa Kuva 16, Kuva 17 ja Kuva 18.

Suurin hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus **tulevassa tilanteessa** erillistarkastelupisteessä 2 +95 mmpy on $8,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vastaten 22 % vuosiraja-arvosta ja suurin vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus $17,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vastaten 36 % raja-arvosta. Suurin vuorokausiohjeeseen verrannollinen pitoisuus hengityskorkeudella (+92 mmpy) on $63,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (91 %) ja alimmalla erillistarkastelupisteessä $48,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (69 %). Lähiliikenteen vaikutus ulkoilman pienhiukkaspitoisuuksiin on suurimmillaan lähellä maanpintaa. Päästöjen sekoittumisen ja laimenemisen vuoksi pitoisuudet pienenevät sekä korkeammalle noustessa että kuljettaessa etäämmälle tiestä. **Nykytilanteessa** hengitettävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvo on 21 % raja-arvosta, 32 % vuorokausiraja-arvosta ja 87 % vuorokausiohjeeseen. Tulosten perusteella hengitettävien hiukkasten pitoisuudet alittavat erillistarkastelupisteissä kaikki raja- ja ohjeearvot, joka on myös Uudenmaan ELY keskuksen suositus herkkien kohteiden hengitettävien hiukkasten pitoisuuksille.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuuksissa on huomioitu alueellinen pienhiukkasten tausta, joka on Vaasan vesitornin mittauksissa ollut vuosina 2017–2019 vuosikeskiarvona $3,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Taulukosta Taulukko 7 ja Taulukko 8 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.

Taulukko 7. Leviämismallilaskelmilla saadut liikenteen ja pysäköintilaitosten päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat suurimmat raja- ja ohjeearvoihin verrannolliset ulkoilman hengitettävien hiukkasten pitoisuudet erillistarkastelupisteessä 2 **vuonna 2040**.

Korkeustaso merenpinnasta (mmpy)	Hiukkaspitoisuus PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	Vuosiraja-arvo ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁽¹⁾	Vuorokausiraja-arvo ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁽¹⁾	Vuorokausiohjeearvo ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁽²⁾
	Piste 2	Piste 2	Piste 2
+95	8,7	17,8	48,4
+100	7,1	12,7	26,7
+105	6,3	10,5	17,8
+110	5,7	9,1	14,5
+115	5,4	8,1	12,7
+120	5,1	7,4	11,7
+125	4,9	6,9	11,0
+130	4,8	6,6	10,5
+135	4,7	6,4	10,1

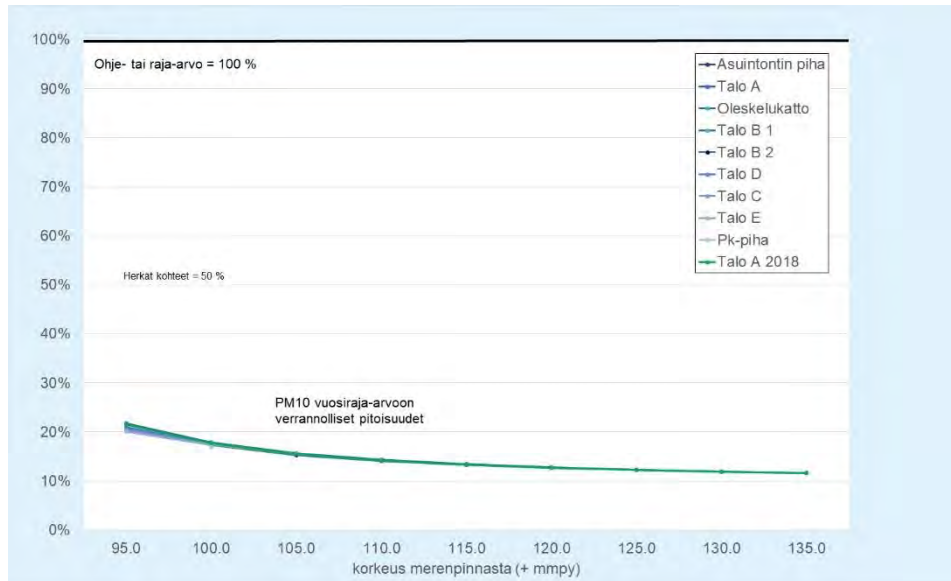
⁽¹⁾ raja-arvo

⁽²⁾ ohjearvo

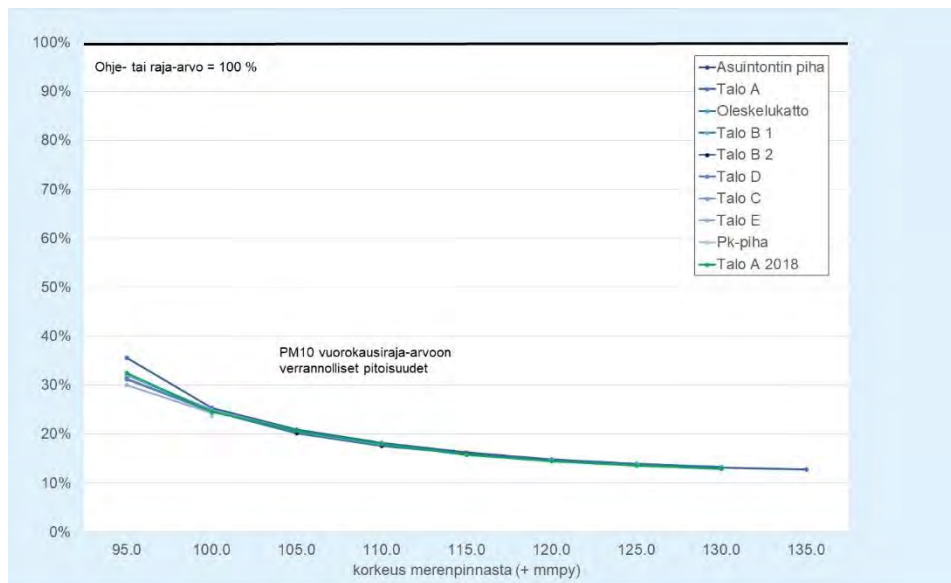
Taulukko 8. Leviämismallilaskelmilla saadut liikenteen ja pysäköintilaitosten päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat suurimmat raja- ja ohjearvoihin verrannolliset ulkoilman hengitettävien hiukkasten pitoisuudet erillistarkastelupisteessä 2 **nykytilanteessa**.

Korkeustaso merenpinnasta (mmpy)	Hiukkaspitoisuus PM ₁₀ (µg/m ³)		
	Vuosiraja-arvo (40 µg/m ³) ⁽¹⁾	Vuorokausiraja-arvo (50 µg/m ³) ⁽¹⁾	Vuorokausiohjearvo (70 µg/m ³) ⁽²⁾
	Piste 2	Piste 2	Piste 2
+95	8,6	16,2	46,5
+100	7,1	12,3	25,2
+105	6,2	10,3	16,3
+110	5,7	9,0	13,9
+115	5,4	7,9	12,3
+120	5,1	7,2	11,1
+125	4,9	6,8	10,4
+130	4,8	6,5	10,0
+135	4,7	6,2	9,7

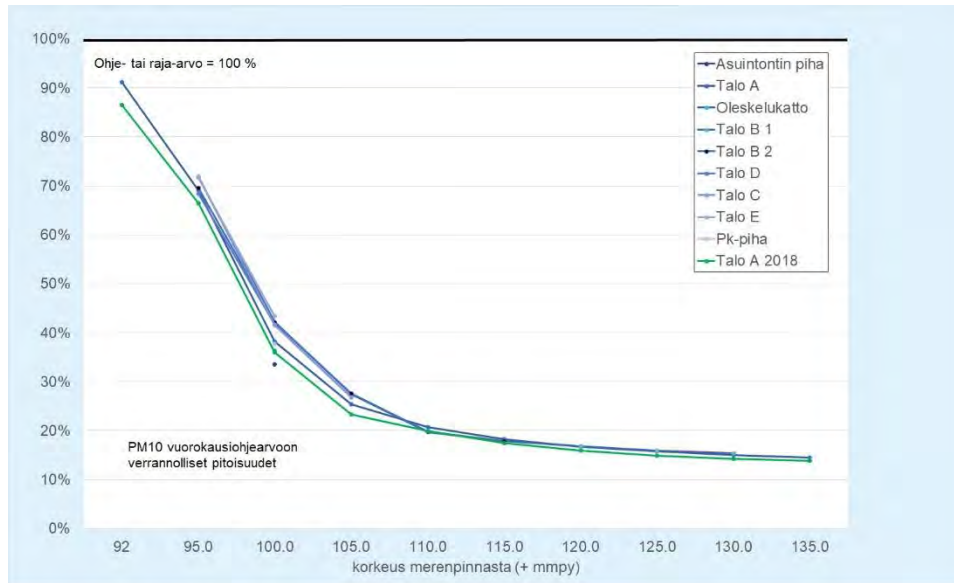
⁽¹⁾ raja-arvo⁽²⁾ ohjearvo



Kuva 16. Leviämismallilaskelmilla saadut lähiliikenteen ja pysäköintilaitosten päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat suurimmat pienhiukkasten (PM₁₀) pitoisuudet suhteessa vuosiraja-arvoon erillistarkastelupisteissä **vuonna 2040**.



Kuva 17. Leviämismallilaskelmilla saadut lähiliikenteen ja pysäköintilaitosten päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat suurimmat pienhiukkasten (PM₁₀) pitoisuudet suhteessa vuorokausiraja-arvoon erillistarkastelupisteissä **vuonna 2040**.



Kuva 18. Leviämismallilaskelmilla saadut lähiliikenteen ja pysäköintilaitosten päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat suurimmat pienhiukkasten (PM₁₀) pitoisuudet suhteessa vuorokausiohjarvoon erillistarkastelupisteissä **vuonna 2040**.

Kuvissa Kuva 19, Kuva 20 ja Kuva 21 on esitetty liikenteen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) raja-arvoihin ja vuorokausiohjarvoon verrannollisten pitoisuuksien aluejakaumat kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella. Taulukossa Taulukko 9 on esitetty aluejakaumien suurimmat pitoisuudet.



Kuva 19. Leviämislaskelmin saatu liikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuosisaira-arvoon verrannollinen pitoisuus kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella nykytilanteessa (vasen kuva) ja tulevassa tilanteessa 2040 (oikea kuva).

Taulukko 9. Leviämismallilaskelmilla saadut liikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat suurimmat raja-arvoihin ja ohjearvoon verrannolliset ulkoilman hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) pitoisuudet kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella.

PM_{10} -pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Raja- tai ohjearvo	Nykytilanne, 2018 (hengityskorkeus)	Tuleva tilanne, 2040 (hengityskorkeus)
Vuosikeskiarvo	40 ⁽¹⁾	16,3	17,4
Korkein vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus	50 ⁽¹⁾	36,5	40,2
Korkein vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus	70 ⁽²⁾	78,3	93,4

⁽¹⁾ raja-arvo

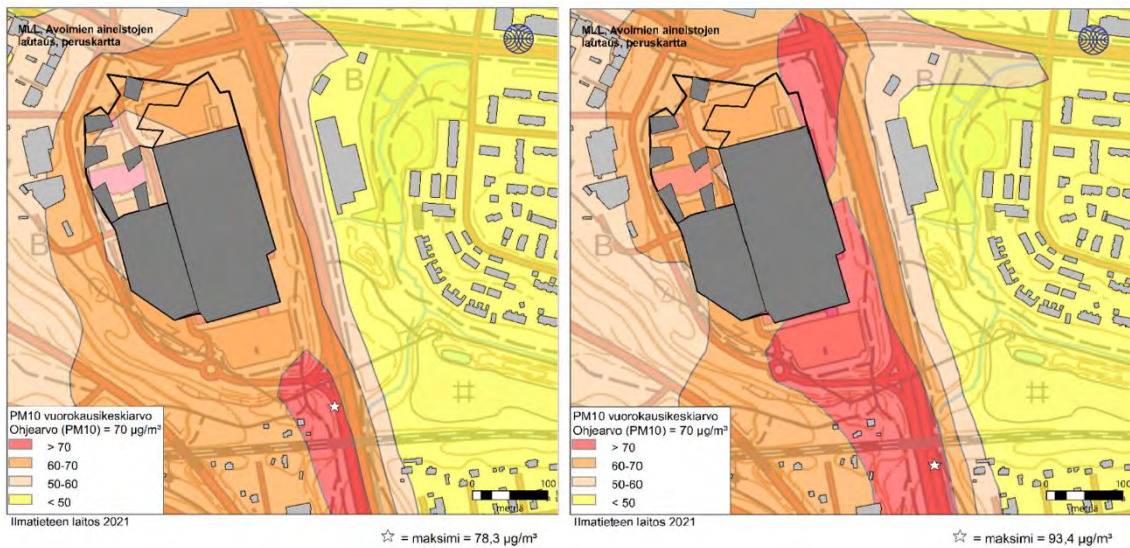
⁽²⁾ ohjearvo



Kuva 20. Leviämislaskelmin saatu liikenteen päästöjen sekä taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella nykytilanteessa (vasen kuva) ja tulevassa tilanteessa (oikea kuva).

Kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvo on hengityskorkeudella nyky- ja tulevassa tilanteessa 7–11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vuosiraja-arvon ollessa 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus kaavamuutosalueella on molemmissa tilanteissa 15–25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vuorokausiohjearvon ollessa 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet kaavamuutosalueella ovat nykytilanteessa hyvin lähellä ohjearvoon verrannollista pitoisuutta. Hengitettävien hiukkasten vuorokausikeskiarvo kaavamuutosalueen eri osissa on 50–70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ohjearvon ollessa 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Liikennemäärän oletetun lisäyksen vaikutuksesta tulevassa, vuoden 2040 tilanteessa hengitettävien hiukkasten vuorokausikeskiarvo on suurimmassa osassa kaavamuutosaluetta 60–70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ylittäen ohjearvon (70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) Hervannan valtaväylän läheisyydessä.



Kuva 21. Leviämislaskelmin saatu liikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella nykytilanteessa (vasemmalla) ja tulevassa tilanteessa (oikealla).

Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) 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 (PM₁₀) vuorokausiohjearvo on ylittynyt 1–2 kertaa kevätpölyaikaan (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 8 km ja Pirkankatu 4 km päässä kaavamuutosalueelta länteen.

Etenkin liike- ja palvelukeskuksen raittiin ilman sisäänottojen sijoittelussa on hyvä huomioida, että ilmanlaatu on huonompaa Hervannan valtaväylän puolella ja sen risteysalueiden läheisyydessä. Siten ne tulisi pyrkiä sijoittamaan mahdollisuuksien mukaan mahdollisimman etäälle valtatiestä ja sinne missä ilma on puhtainta.

Myös asuntojen parvekkeiden, pihojen ja muiden oleskelualueiden sijoittelussa on hyvä huomioida, että hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat suurimmat lähellä maanpinnan tasoa ja katualueita. Suunnitellun rakennuskokonaisuuden sisäpihan pitoisuuksia maanpintatasolla tai hengityskorkeudella ei nyt tehdyillä mallilaskelmilla pystytä arvioimaan tarkasti. Pitoisuudet ovat tyyppillisesti pienempiä suojaisan sisäpihan puolella kuin vastaavalla etäisyydellä väylästä avoimessa ympäristössä.

Katupölyn (PM_{10}) 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. 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 Kaleva-Hakametsä paikalliskeskuksen ydinalueen kaavamuutosalueella ja sen lähiympäristössä. Leviämislaskelmat toteutettiin tieliikenteen nykytilannetta ja tulevaa tilannetta edustavilla liikenne- ja päästötiedoilla sekä -ennusteilla. Tulevaa tilannetta edustavissa, vuoden 2040 leviämislaskelmissa huomioitiin myös paikalliskeskuksen ydinalueen pysäköintihallien ilmanvaihtohermeistä vapautuvat päästöt. Selvityksessä tarkasteltiin ulkoilman typpidioksidin, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten (katupöly) pitoisuuksia erillistarkastelupisteissä kaavamuutosalueen lähiympäristössä hengityskorkeudella ja yhdeksässä erillistarkastelupisteessä. Erillistarkastelupisteet sijaitsivat mm. päiväkodin pihalla, muilla kattopihoilla ja asuintalojen seinustoilla. Erillispisteissä tarkasteltiin pitoisuuksien laimenemista maanpintatasosta ylöspäin mentäessä. Leviämismallinnuksella saatuja ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia verrattiin ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin. Ilmanlaatuselvitys toteutettiin alueen kaavamuutossuunnitelmien 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 sekä vuoden 2040 liikennemäärä ja päästöennuste.

Tieliikenteen päästöt laskettiin ajoneuvotyyppikohtaisilla nopeusriippuvaisilla päästökertoimilla. 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 ilmaansaasteiden pitoisuuksille. Terveysvaikutusperusteiset ilmanlaadun raja-arvot ovat

ohjearvoja 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 ohjearvot alittuivat kaikissa erillistarkastelupisteissä ja lähiympäristössä tutkimusalueella hengityskorkeudella kummassakin tarkasteluvaihtoehdossa. Alimmalla erillistarkastelupisteiden korkeustasolla (+95 mmpy) typpidioksidipitoisuudet olivat **tulevassa, vuoden 2040 tilanteessa** suurimmillaan noin 12 % vuosiraja-arvosta ja 24 % vuorokausiohjearvosta. **Nykytilanteessa** typpidioksidipitoisuudet olivat 22 % raja-arvosta ja 45 % ohjearvosta.

Leviämislaskelmien tulosten mukaan pienhiukkaspitoisuuden raja-arvo ja WHO:n ohjearvot alittuivat kaikissa tarkastelluissa erillispisteissä ja tutkimusalueella hengityskorkeudella kummassakin tarkastelutilanteessa. Erillistarkastelupisteissä pienhiukkaspitoisuudet olivat korkeimmillaan **tulevassa, vuoden 2040 tilanteessa** 16 % vuosiraja-arvosta ja 23 % WHO:n vuorokausiohjearvosta. **Nykytilanteessa** pienhiukkaspitoisuudet olivat 17 % vuosiraja-arvosta ja 29 % WHO:n ohjearvosta. Pienhiukkaspitoisuuksissa merkittävä osa on taustapitoisuutta.

Hengitettävien hiukkasten raja-arvot alittuvat kaikkialla tarkastelluissa erillispisteissä ja tutkimusalueella hengityskorkeudella, mutta vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus ylittyy **tulevassa tilanteessa** kaavamuutosalueella Hervannan valtaväylän läheisyydessä hengityskorkeudella liikennemäärän kasvun vuoksi. Siten rakennuksen ilmastoinnin korvausilma tulisi ottaa sieltä, missä ilma on puhtainta. **Tulevassa tilanteessa** erillistarkastelupisteissä suurin vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus hengityskorkeudella on 91 % ohjearvosta, mutta pitoisuudet laskevat nopeasti ylöspäin mentäessä ja etäisyyden kasvaessa väylästä. Kattopihalla sijaitsevan päiväkodin pihalla (+100 mmpy) hengitettävien hiukkasten pitoisuus on 38 % vuorokausiohjearvosta.

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. On kuitenkin mahdollista, ettei päästökahtymisen toteutu täysimääräisenä ja autokannan uudistuminen on ennustettua hitaampaa. 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). Etenkin katujen oikea-aikaiseen kunnossapitoon ja pölyn sidontaan tulisi kiinnittää erityistä huomiota, koska sillä on mahdollisuus hallita katujen pölyämistä tehokkaasti.

Nyt tehtyjen laskelmien mukaan lähiliikenteen ja pysäköintihallien 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 vuorokausiohjearvotason yli Hervannan valtaväylällä ja sen

risteysalueiden läheisyydessä hengityskorkeudella ja siksi läheisten liike- tai palvelutilojen riittävän hyvän sisäilmanlaadun kannalta kaikkina aikoina on ilmastoinnin korvausilma suositeltavinta ottaa mahdollisimman korkealta ja etäältä maanpintaa ja kaavamuutosaluetta ympäröivään tieliikenteeseen nähden. Erillistarkastelupisteiden kohdalla hengitettävien hiukkasten vuorokausiohjearvo ei ylity, mutta on lähellä ohjearvopitoisuutta hengityskorkeudella.

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 ilmamassojen 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 muutunnan 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 raskaampana 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 liikenneneruuhkien aikana, koska ilmansaasteet kerääntyvät matalaan ilmakerrokseen päästölähteiden lähelle.

5.2 Typpidioksidi

Typen yhdisteitä vapautuu päästölähteistä ilmaan typen oksideina eli typpimonoksidina (NO) ja typpidioksidina (NO₂). 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.

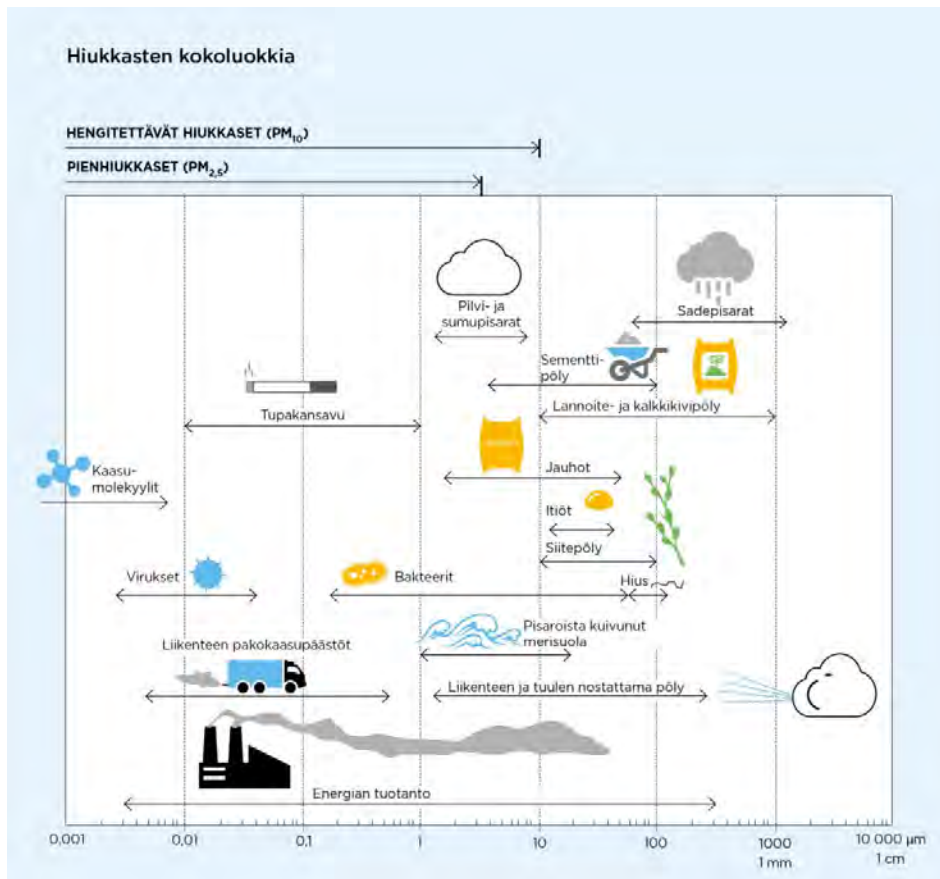
Ulkoilman typpidioksidipitoisuuksille altistuminen on suurinta kaupunkien keskustojen ja taajamien liikenneympäristöissä. Typpidioksidipitoisuudet kohoavat tyypillisesti ruuhka-aikoina. Korkeimmillaan typpidioksidipitoisuudet ovat erityisesti tyyninä ja kylminä talvipäivinä, jolloin myös energiantuotannon 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 $15\text{--}25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Viikkaimmilla teillä ja katukuiluosuuksilla vuosipitoisuudet voivat olla yli $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pienissä ja keskisuurissa kaupungeissa typpidioksidin vuosikeskiarvot ovat yleensä noin $5\text{--}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mittaussympäristöstä 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 likaantumista. Terveysvaikutuksiltaan haitallisempia ovat ns. hengitettävät hiukkaset ja pienhiukkaset, jotka kykenevät tunkeutumaan syvälle ihmisten hengitysteihin. Hengitettävien hiukkasten halkaisija on alle 10 mikrometriä (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 Kuva 22.



Kuva 22. Hiukkasten kokoluokkia. Hiukkasten koko ilmaistaan halkaisijana mikrometreissä (μm). Mikro (μ) etuliite tarkoittaa miljoonasosaa. $1 \mu\text{m}$ on siten metrin miljoonasosa eli millimetrin tuhannesosa.

Suurimmat hiukkaspitoisuudet esiintyvät vilkkaasti liikennöidyissä kaupunkikeskustoissa. Suomessa hiukkaspitoisuudet kohoavat yleensä voimakkaasti keväällä maaliskuusta huhtikuuhun, 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 katukuiluosuusilla 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/m³ ja muilla kaupunkialueilla noin 3–7 µg/m³. Pitoisuuserot erityyppisten mittausympäristöjen välillä ovat muutamia mikrogrammoja. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin 4–6 µg/m³ ja Pohjois-Suomessa noin 2–3 µg/m³ (*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 Taulukko 10 raja-arvoja alueilla, joilla ihmiset saattavat altistua ilmansaasteille.

Taulukko 10. 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 (NO_2)	1 tunti	200 ¹⁾	18
	kalenterivuosi	40 ¹⁾	–
Pienhiukkaset ($\text{PM}_{2,5}$)	kalenterivuosi	25 ²⁾	–
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	24 tuntia	50 ²⁾	35
	kalenterivuosi	40 ²⁾	–

¹⁾ Tulokset ilmaistaan lämpötilassa 293 K ja paineessa 101,3 kPa.

²⁾ 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

Taulukko 11. Lisäksi taulukossa esitetään WHO:n suosituksenomaiset ohjearvot pienhiukkasten vuorokausipitoisuudelle ja vuosipitoisuudelle (*WHO, 2006*).

Taulukko 11. 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 (NO_2)	150 ¹⁾	Kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	70 ¹⁾	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Pienhiukkaset ($\text{PM}_{2,5}$)	25 ²⁾	Suurin vuorokausikeskiarvo
	10 ²⁾	Vuosikeskiarvo
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	70 ¹⁾	Kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo

¹⁾ Tulokset ilmaistaan lämpötilassa 293 K ja paineessa 101,3 kPa.

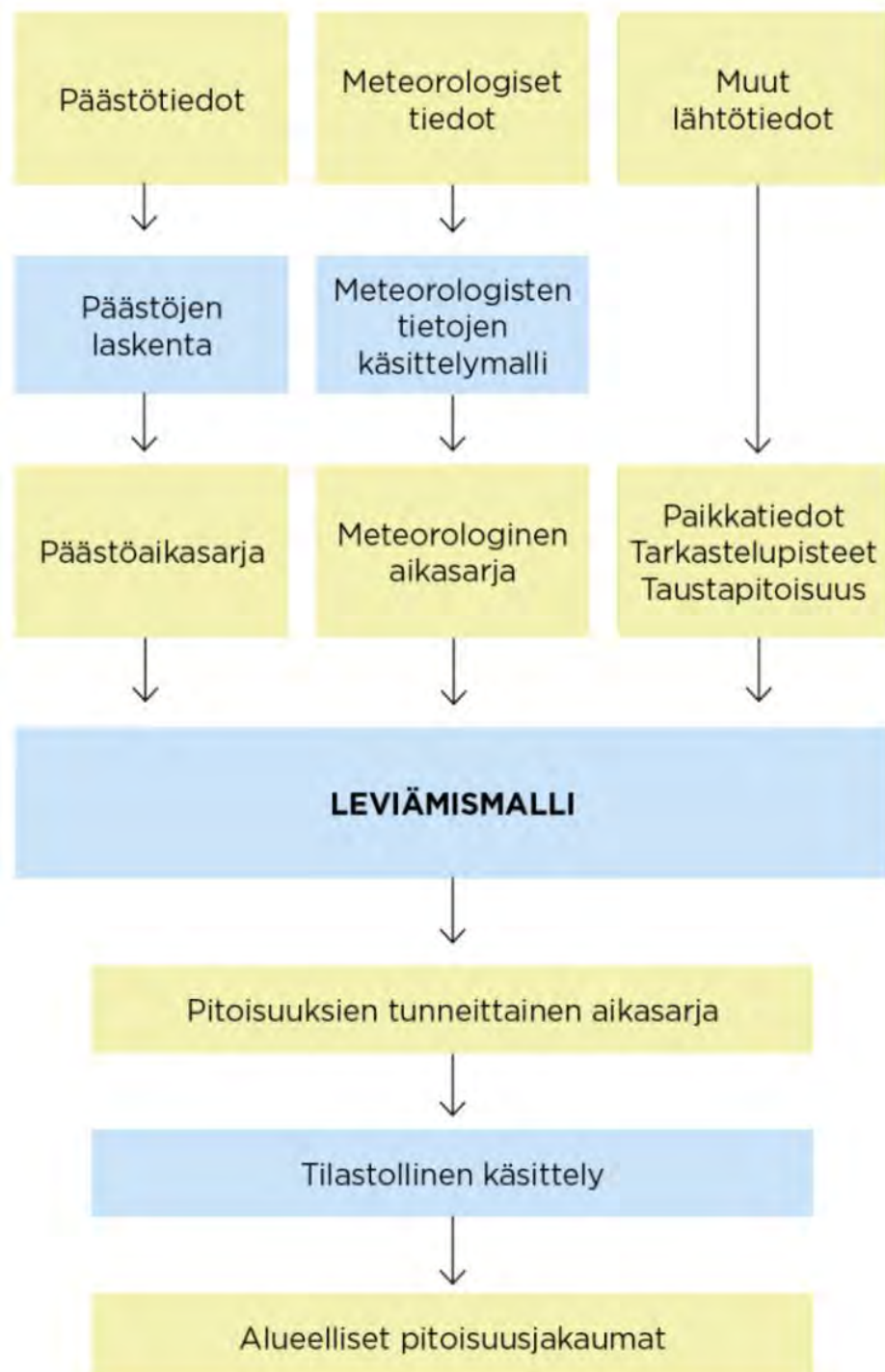
²⁾ WHO

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 päästömäärä 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 Taulukko 10 ja Taulukko 11). Kaaviokuvassa Kuva 23 on esitetty Ilmatieteen laitoksen leviämismallien toimintaa. Eri leviämismalleja kuvataan tarkemmin seuraavissa kappaleissa.



Kuva 23. 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 leviämismalliparametrien 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 päästökohdasta nousevat liikemäärästään ja lämpösisällöstään johtuen päästölähteen huippua korkeammalle. Päästöjen nousulisällä on huomattava vaikutus keskimääräiseen leviämiskorkeuteen ja muodostuviin epäpuhtauspitoisuuksiin. Päästöjen leviämiseen saattavat vaikuttaa ilmapirtauksia 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, typpidioksidin ja typen oksidien (kokonais-NO_x) 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 suspensio päästömalli 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 suspensio päästömallia, jolla kuvataan katujen pölyämisen vaikutusta hiukkaspäästöön (*Kauhaniemi ym., 2011*). Suspensio päästömalli perustuu Ruotsin Ilmatieteen laitoksen (SMHI) kehittämään hiukkaspäästömalliin (*Omstedt ym., 2005*).

Tienpinnan kosteus säätelee hiukkasten nousemista tienpinnalta ilmaan. Suspensio päästömalli 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 suspensio päästökertoimien, liikennemäärien ja sääolosuhteiden avulla.

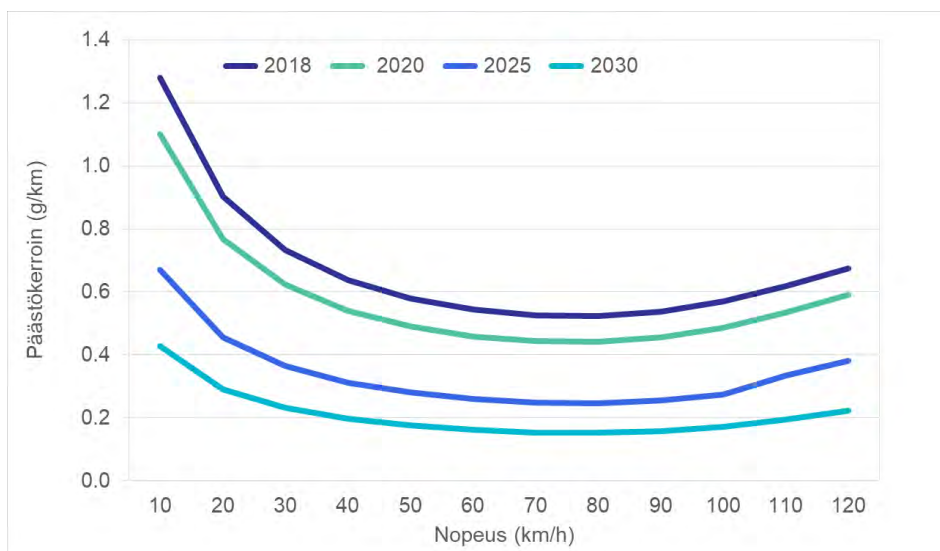
7.5 Liikenteen päästölaskenta

Liikenteen päästölaskennan pohjatietona sovelletaan Euroopan ympäristöviraston määrittämiä tieliikenteen päästökertoimia (*EEA, 2017*). Nämä päästökertoimet riippuvat ajoneuvojen moottoriteknologiasta, 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.

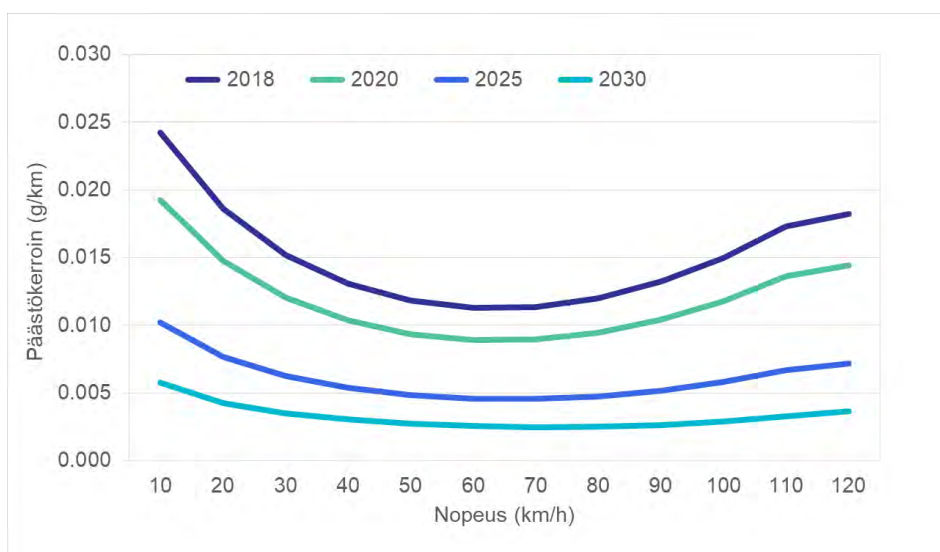
Suomen autokantaa edustavat EURO-päästöluokkaiset ajosuoriteosuudet on esitetty VTT:n julkaiseman liikenteen laskentajärjestelmä LIPASTO:n ALIISA-autokantamallissa. Tämä malli tarjoaa vuosittain päivittyvät nykytilannetta edustavat arvot (nyt käytössä vuosi 2018) ja ennusteet vuosille 2020, 2025 ja 2030 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 Kuva 24 ja Kuva 25 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 24. 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 25. 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 NO₂ emissions and their role in the development of NO₂ 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

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 mittaustiedot 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 PM₁₀ in street canyon in Helsinki. *Atmospheric Environment*, 45, 3646-3654.

LIPASTO, 2012. LIPASTO – Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen 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 mittaustulokset. Ympäristönsuojelun julkaisuja 2/2018.

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

Tampereen kaupunki, 2020. Tampereen ilmanlaatu 2019. Päästöt ja ilmanlaadun mittaustulokset. 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

www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatupalvelut

WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI

