



ILMANLAATUSELVITYS

Vihdintien bulevardikaupungin ilmanlaatuselvitys



ILMANLAATUSELVITYS

Vihdintien bulevardikaupungin ilmanlaatuselvitys

Salla Pykäri

Jenni Latikka

Katja Lovén

Ilmatieteen laitos

Asiantuntijapalvelut – Ilmanlaatu ja energia

Helsinki 13.1.2023

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	5
OSA I	7
1 TUTKIMUSKOHDE JA TARKASTELLUT TARKASTELUVAIHTOEHDOT	7
1.1 Tutkimuskohde.....	7
1.2 Mallinnetut tarkasteluvaihtoehdot	8
2 MALLILASKELMISSA KÄYTETYT LÄHTÖTIEDOT JA AINEISTOT.....	10
2.1 Liikenteen päästöjen leviämismalli (CAR-FMI).....	10
2.2 Katukuilumalli (OSPM).....	10
2.3 Liikenteen suspensiopäästömalli katupölyn mallintamiseen (FORE).....	11
2.4 Autoliikenteen päästöt	11
2.5 Mallilaskelmissa käytetty meteorologia	16
2.6 Taustapitoisuudet.....	17
2.7 Laskentapisteikkö	17
2.8 Katukuilumallinnuksen tarkastelupisteet.....	17
3 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	19
3.1 Typpidioksidipitoisuudet (NO ₂)	19
3.1.1 Vuosiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet	19
3.1.2 Vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet.....	24
3.1.3 Johtopäätökset	26
3.2 Pienhiukkaspitoisuudet (PM _{2,5}).....	26
3.2.1 Vuosiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet	26
3.2.2 WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet	28
3.2.3 Johtopäätökset	30
3.3 Hengitettävät hiukkaspitoisuudet (PM ₁₀)	31
3.3.1 Vuosiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet	31
3.3.2 Vuorokausiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet	33
3.3.3 Johtopäätökset	34
4 SUOSITUKSET MAANKÄYTÖN OSALTA	35
OSA II	37
5 TAUSTATIETOA ILMANLAADUSTA.....	37
5.1 Ilmansaasteet.....	37
5.1.1 Typpidioksidi (NO ₂).....	37
5.1.2 Hiukkaset (PM _{2,5} ja PM ₁₀).....	37
5.2 Ilman epäpuhtauksien terveysvaikutukset.....	39
5.3 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät.....	39
5.4 Ulkoilmanlaadun vertailuarvot.....	41
5.5 Ilmanlaatu maankäytön suunnittelussa.....	43
6 LEVIÄMISMALLILASKELMISSA KÄYTETYT MENETELMÄT	44

6.1	Pitoisuuslaskenta päästöjen leviämismalleilla	44
6.2	Meteorologisten tietojen käsittelymalli (MPP-FMI)	45

VIITELUETTELO	47
----------------------------	-----------

TIIVISTELMÄ

Tässä ilmanlaatuselvityksessä arvioitiin asiantuntija-arvioin ja leviämismallilaskelmin autoliikenteen päästöjen vaikutusta ilmanlaatuun Helsingin läntisen bulevardikaupungin Vihdintien alueella. Haagan liikenneympyrästä Kaupintielle ulottuvalle alueelle suunnitellaan uusia liikennejärjestelyjä liikenneympyrän alueelle sekä uusia korttelialueita niiden ympärille. Uuden sosiaali- ja terveystalvelujen yksikön sijoittamista alueelle tutkitaan myös. Selvityksessä tarkasteltiin ulkoilman typpidioksidin (NO₂), pienhiukkasten (PM_{2,5}) ja hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) pitoisuuksia hengityskorkeudella alueen lähiympäristössä. Leviämismallinnuksella saatuja ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia verrattiin ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoihin. Ilmanlaatuselvitys toteutettiin kaavoituksen tueksi.

Asiantuntija-arvioiden tukena käytettiin mm. Helsingin seudun ympäristöpalvelujen (HSY:n) ilmanlaatumittauksia pääkaupunkiseudulla, HSY:n julkaisemia "Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla" raportteja (Malkki ym., 2018; Ohtonen ym., 2019; Korhonen ym., 2020), sekä HSY:n tuottamaa pääkaupunkiseudun ilmanlaatu karttaa, Helsingin kaupunkiympäristön toimialan julkaisua Ilmanlaatu vilkasliikenteisessä katukuilussa ja sen lähiympäristössä (Kaski ym., 2020), VTT:n tuottamaa tietoa liikenteen päästöjen kehityksestä tulevaisuudessa sekä ELY-keskuksen vuonna 2015 julkaisemaa Ilmanlaatu maankäytön suunnittelussa opasta (Airola ja Myllynen, 2015).

Päästöjen leviämismallilaskelmissa käytettiin Ilmatieteen laitoksella kehitettyjä liikennepäästöjen viivalähdemallia (CAR-FMI) ja katupölyn leviämisen mallinnukseen ns. suspensiopäästömallia (FORE). Lisäksi tutkimuksessa käytettiin tanskalaisen NERI:n (National Environmental Research Institute) kehittämää OSPM-mallia (The Operational Street Pollution Model) liikenneperäisten epäpuhtauksien leviämisen kuvaamiseen katukuilussa.

Mallinnukset tehtiin kolmelle eri tarkasteluvaihtoehdolle; nykytilanteelle, tulevalle tilanteelle nykyisillä ja tulevaisuutta edustavilla liikenteen päästötiedoilla. Nykyinen tilanne mallinnettiin nykyisillä (vuoden 2020) autokannan päästöloukkien suoriteosuuksilla, nykyisellä maankäytöllä ja nykyisillä taustapitoisuuksilla. Tuleva tilanne mallinnettiin tulevalla maankäytöllä sekä nykyisillä (vuoden 2020) että tulevilla (vuoden 2030) autokannan päästöloukkien suoriteosuuksilla, sillä päästöjen kehitykseen autokannan muutoksen ja tekniikan kehityksen myötä liittyy epävarmuuksia.

Epäpuhtauksien pitoisuuksia ulkoilmassa säädellään ilmanlaatuasetuksen ja valtioneuvoston päätöksen mukaisilla ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoilla. Ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot tulisi ottaa huomioon esimerkiksi liikennesuunnittelussa, kaavoituksessa, rakennusten sijoittelussa ja teknisissä ratkaisuisissa, 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. Näiden lisäksi Maailman terveysjärjestö, WHO, on julkaissut terveysvaikutusperusteiset suositushje- ja raja-arvot ilmassa oleville epäpuhtauksille.

Typpidioksidin vuorokausiohje- ja raja-arvo voi ylittyä nykyisillä päästöillä tulevassa tilanteessa katukuilumaisissa ympäristöissä. Kun otetaan huomioon päästöjen kehitys, typpidioksidipitoisuudet alittavat selvästi vuorokausiohje- ja raja-arvon myös katukuilumaisissa ympäristöissä.

Pienhiukkasten WHO:n asettama suositusvuorokausiohje- ja raja-arvo voi tulevaisuudessakin ylittyä katukuilumaisissa ympäristöissä päästöjen pienenemisestä huolimatta. WHO:n terveysvaikutusperusteiset ohje- ja raja-arvot eivät ole sitovia, mutta niitä voidaan käyttää suunnittelun tukena.

Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet pysyvät tulevaisuudessa nykyisellä tasolla, sillä ajoneuvotekniikan kehitys ei vaikuta hengitettävien hiukkasten päästöihin. Hengitettävien hiukkasten lyhytaikaispitoisuuksien luotettava mallintaminen on haastavaa, mutta pitoisuudet voivat katukuilumaisessa ympäristössä nousta korkeiksi ilman pölyntorjuntaa. Jotta Vihdintien bulevardikaupungin alueella hengitettävien hiukkasten lyhytaikaiset pitoisuudet jatkossakin pysyisivät alle raja- ja ohjearvojen, on tärkeää jatkaa oikea-aikaisia ja tehokkaita katujen puhdistustoimenpiteitä erityisesti keväisin katupölyaikaan. Pölyämistä voidaan hillitä tehokkaasti katujen kevätsiivouksella ja kastelemalla katuja laimealla suolaliuoksella.

Koko suunnittelualueen ja sen lähiympäristön ilmanlaatu tulee tulevaisuudessa paranemaan pienhiukkasten ja typpidioksidin osalta etenkin autoliikenteen päästöjen pienenemisen, sekä ilmanlaadun kannalta puhtaampien joukkoliikenneryhteyksien, kuten pikaraitiotielinjan ja Raide-Jokerin, käyttöönoton myötä. Maankäytön muutokset ja suunniteltu rakentaminen tulevat kuitenkin lisäämään katukuilumaisia ympäristöjä alueella, mikä voi osaltaan heikentää ilmanlaatua näissä ympäristöissä.

Liikenteen ja maankäytön muutokset suunnittelualueella eivät merkittävästi vaikuta ilmanlaatuun olemassa olevien asuinrakennusten kohdalla tai virkistysalueilla. Paikoin uusi maankäyttö estää epäpuhtauksien leviämistä laajemmalle ja voi jopa parantaa ilmanlaatua ympäristössä. Ilmanlaadun raja- ja ohjearvot eivät ylity olemassa olevilla asuinalueilla nykyisin tai tulevassa tilanteessa, vaikka päästöt pysyisivät ennallaan.

Haagan ympyrän alueen kortteleiden pysäköintiä ja huoltoa palvelevan maanalaisen pysäköintilaitoksen ja sen ajoyhteyksien päästöjen ilmanlaatuvaikutukset ovat pieniä liikenteen päästöihin verrattuna etenkin, kun poistoilmahormit johdetaan rakennuksen korkeimman kohdan yläpuolelle.

Hengitettävien hiukkasten mahdollisesti lyhytaikaisesti korkeiksi nousevat pitoisuudet ja pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvon ylitys tulisi huomioida suunnittelussa siten, että altistumista ohjearvot ylittävälle pitoisuuksille pyrittäisiin ehkäisemään suunnittelun avulla ja näin minimoimaan ilman epäpuhtauksien haitallisia terveysvaikutuksia. Korkeimmat ilman epäpuhtauspitoisuudet muodostuvat Haagan liikenneympyrän kapeille katukuilumaisille alueille. Alueen suunnittelussa ja kaavoituksessa tulisi erityistä huomiota kiinnittää näihin alueisiin ilmanlaadun osalta.

Läntisen bulevardikaupungin Vihdintien alueella arvioidaan typpidioksidin, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien jäävän alle raja-arvojen. Ajoneuvojen suorien pakokaasupäästöjen arvioidaan alenevan selvästi tulevaisuudessa. Ja myös suunnittelua ohjaavien ohjearvojen arvioidaan alittuvan vuoden 2030 tilanteessa. Suunnittelukohteessa etenkin hiukkasten lyhytaikaispitoisuudet ja nykypäästöillä myös typpidioksidipitoisuudet voivat olla melko korkeita ja siten katukuilumaisiksi muodostuvilla alueilla on päästöjen ja ilman epäpuhtauksille altistumisen vähennystarve.

Ilmanlaatuselvityksen tilasi Helsingin kaupungin toimialan maankäytön yleissuunnittelu. Suunnittelualueen lähiliikenteen päästöjen leviämislaskelmat perustuivat Helsingin kaupungilta saatuihin tietoihin nykytilanteen ja tulevan tilanteen liikennemääristä. Päästöjen leviämismallilaskelmat tehtiin Ilmatieteen laitoksen Asiantuntijapalvelut -yksikkö.

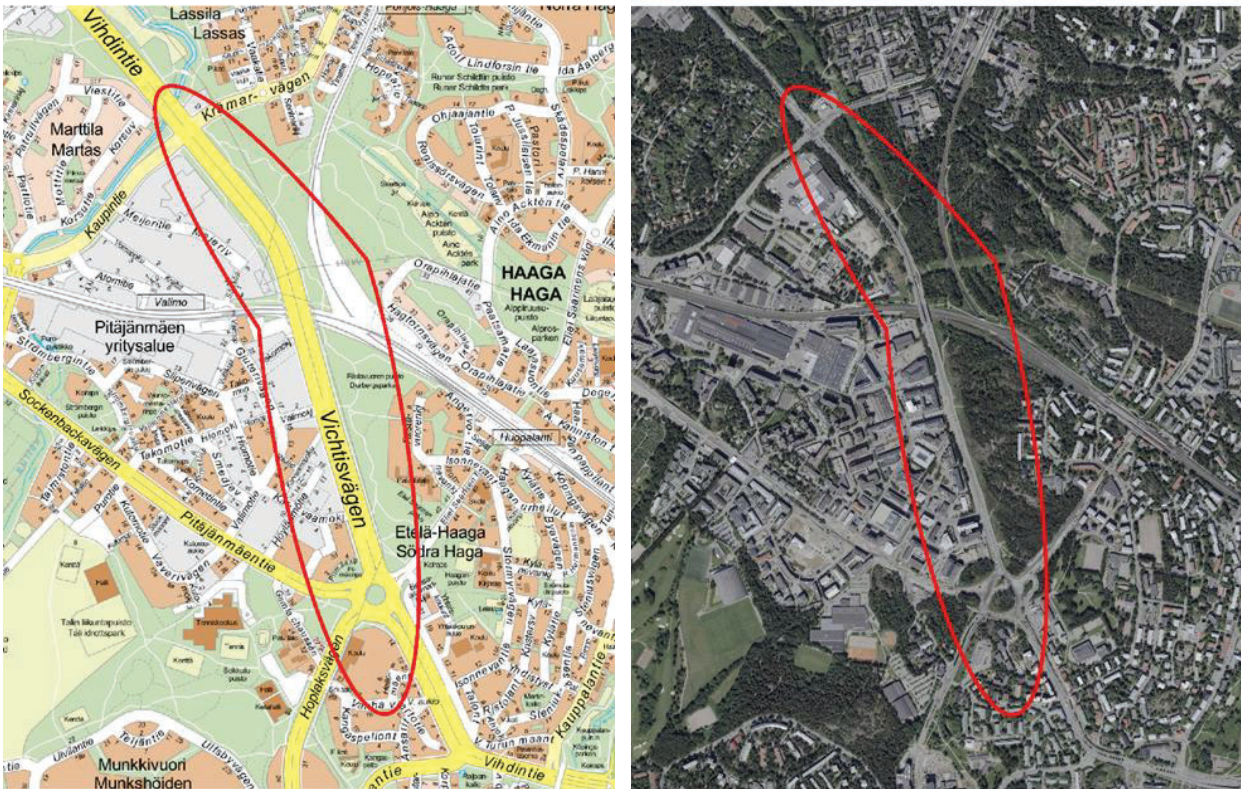
OSA I

1 TUTKIMUSKOHDE JA TARKASTELLUT TARKASTELUVAIHTOEHDOT

1.1 Tutkimuskohde

Ilmanlaatuselvityksessä arvioitiin asiantuntija-arvioiden ja päästöjen leviämismallilaskelmien avulla autoliikenteen päästöjen ilmanlaatuvaikutuksia läntisen bulevardikaupungin Vihdintien suunnittelualueella.

Vihdintiellä bulevardikaupunki yhdistää ympäröivää kaupunkirakennetta osana nykyisiä kaupungin-osia Haagaa ja Pitäjänmäkeä. Vihdintien bulevardikaupunki alkaa Haagan liikenneympyrän ympäristöstä ja päättyy Kaupintiehen (Kuva 1).



Kuva 1. Lääntisen bulevardikaupungin Vihdintien suunnittelu alue rajattuna punaisella viivalla.

Ensimmäisessä vaiheessa osalle Vihdintietä ja Huopalahdentietä laaditaan pääosin katualuetta koskeva asemakaava, jossa suunnitellaan Haagan liikenneympyrän korvaavat liikennejärjestelyt sekä uusia korttelialueita niiden ympärillä, ja jossa Vihdintien pikaraitiotie ja Raide-Jokeri kulkevat Haagan liikenneympyrän läpi.

Tämän rinnalla laaditaan Länsi-Haagan asemakaavaa, jossa Riistavuorenpuistoon suunnitellaan uusia asuntokortteleita ja palveluja sekä tarvittavat kadut, puistot ja virkistysyhteydet. Myös Pitäjänmäentien ja Huopalahdentien väliselle alueelle sekä Vihdintien ja Länsiympyrän eteläosan väliselle alueelle tutkitaan asumista. Nämä alueet kaavoitetaan myöhemmin.

Tässä selvityksessä on keskitytty rantaradan ja Huopalahdentien väliselle alueelle suunniteltavaan uuteen maankäyttöön kohdistuviin ilmanlaatuvaikutuksiin. Rantaradan pohjoispuolelle asemakaavoitettavien alueiden ilmanlaatuvaikutuksia arvioidaan myöhemmin erikseen.

Vaikka asemakaavoitus suunnittelualueella etenee lähivuosina osa-alueittain, ilmanlaadun arviointi on tehty alueelle kokonaisuutena lopputilanteen eli ns. pahimman mahdollisen tilanteen arvioimiseksi.

1.2 Mallinnetut tarkasteluvaihtoehdot

Leviämismallilaskelmilla tarkasteltiin autokannan, liikennemäärien, maankäytön ja taustapitoisuuksien kehitykselle kolmea eri tarkasteluvaihtoa, jotka on esitetty taulukossa 1. Mallinnoissa haluttiin verrata pitoisuustasojen muutosta nykyisen ja tulevan tilanteen välillä.

Taulukko 1. Autoliikenteen päästöjen leviämismallinnuksen eri tarkasteluvaihtoehdot.

Tarkasteluvaihtoehto	Liikennemäärät	Maankäyttö	Ajoneuvokannan suoriteosuuksien jakautuminen eri päästöluokkiin	Taustapitoisuus
1. Nykytilanne	Nykyiset liikennemäärät	Nykyinen	Nykyiset (vuodelta 2020)	Nykyinen
2. Tulevaisuuden tilanne nykyisillä päästöillä	Tulevat liikennemäärät	Tuleva	Nykyiset (vuodelta 2020)	Nykyinen
3. Tulevaisuuden tilanne tulevilla päästöillä	Tulevat liikennemäärät	Tuleva	Tulevat (vuodelta 2030)	Arvio tulevasta typidioksidille, pienhiukkasille nykyinen taustapitoisuus

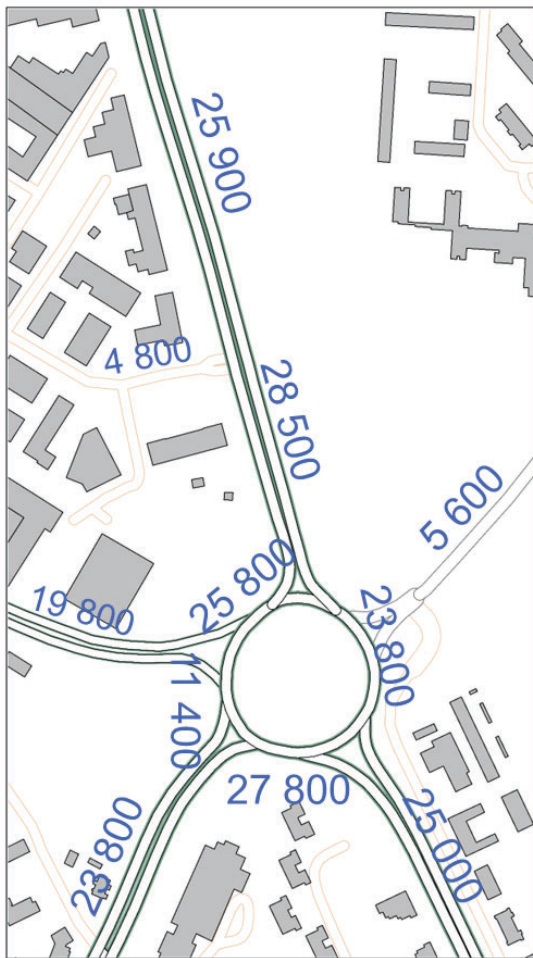
Nykytilanteessa Haagan liikenneympyrän keskellä ja ympärillä on metsää luukuunottamatta etelä- ja kaakkoispuolta. Eteläpuolella on Haagan peruskoulu ja kerrostaloja. Kaakkoispuolella on huoltoasema ja kerrostalo. Vihdintien itäpuolella on metsää, joka jatkuu Haagan liikenneympyrästä Vihdintie ja Kaupintien risteykseen asti.

Nykyiset ja tulevat liikennemäärät ja liikennejärjestelyt on kuvattu kuvassa 2. Tulevaisuudessa suunnitellun maankäytön myötä Haagan liikenneympyrän ja Vihdintien alueelle muodostuu katukuilumaisia ympäristöjä. Molemmilla puolilla tietä olevien rakennusten korkeuden ja katujen leveyden suhde on lähellä yhtä, joka täyttää katukuilumaisen ympäristön kriteerit. Päästöt leviävät ja laimenevat

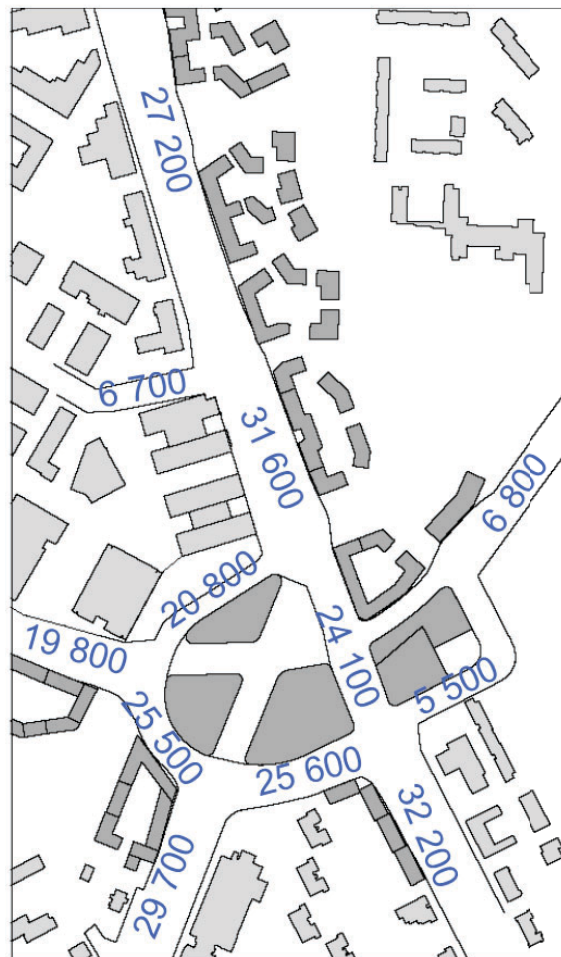
heikommin alueelle suunniteltujen uusien korkeiden rakennusten reunustamissa katukuiluissa, joissa tuulettavuus on heikkoa verrattuna avoimiin ympäristöihin.

Tulevassa tilanteessa maankäytön ja liikennejärjestelyjen muututtua Läntisen bulevardikaupungin Vihdintien alueella, myös ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät muuttuvat. Liikennemäärät ja liikennejärjestelyt alueella muuttuvat, samoin esimerkiksi raskaan liikenteen osuus sekä liikenteennopeusrajoitukset. Osa kaava-alueen bussiliikenteestä tulee korvautumaan pikaraitioliikenteellä ja raskaan liikenteen osuuden arvioidaan pienenenevän Haagan liikenneympyrässä nykyisestä 12 %:sta 5 %:iin, mikä laskee autoliikenteen päästöjä. Nopeusrajoitus Haagan liikenneympyrän pohjoispuolella Vihdintiellä laskee 60:stä 50:een kilometriin tunnissa. Nopeusrajoituksen laskeminen ei vaikuta merkittävästi päästöihin Vihdintiellä. Hengitettävien hiukkasten kohdalla ajonopeuden laskeminen pääasiassa parantaa ilmanlaatua, mikäli liikenne ei ruuhkaudu.

Nykyinen liikennejärjestely



Tuleva liikennejärjestely



Kuva 2. Liikennejärjestelyt ja keskimääräiset arkivuorokausi liikennemäärät nykytilanteessa ja tulevassa.

Nykyinen tilanne mallinnettiin nykyisillä (vuoden 2020) autokannan päästöluokkien suoriteosuuksilla. Tuleva tilanne mallinnettiin sekä nykyisillä (vuoden 2020) että tulevilla (vuoden 2030) autokannan päästöluokkien suoriteosuuksilla.

Autokannan uusiutumisen, tekniikan kehityksen ja sähköistymisen myötä liikenteen päästöjen oletetaan pienenevän tulevaisuudessa, mutta päästökehitykseen liittyy epävarmuuksia. Liikenteen päästökehityksen nopeuteen vaikuttavat monet eri tekijät, kuten erilaiset taloudelliset ohjauskeinot, muut poliittiset päätökset sekä yleinen taloustilanne. Näiden epävarmuustekijöiden vuoksi, mallilaskelmin on tarkasteltu myös sellaista tulevaa tilannetta, jossa autoliikenteen päästöjen oletetaan pysyvän nykyisellä tasolla. Alueen liikennejärjestelyjen, maankäytön, liikennemäärien ja raskaan liikenteen osuuksien oletetaan muuttuvan ennustetusti.

Tulevaisuuden tilanne tulevilla päästöillä -tarkasteluvaihtoehto on muuten sama kuin tulevaisuuden tilanne nykyisillä päästöillä, mutta vaihtoehdossa on huomioitu ennustettu liikenteen päästöjen väheneminen sekä typpidioksidin taustapitoisuuden pieneminen tulevaisuudessa. Pienhiukkasten taustapitoisuuden oletettiin tulevaisuudessakin olevan vuosien 2017–2019 tasolla. Taustapitoisuuksista on annettu tarkempaa tietoa Kappaleessa 2.6.

Tuleva tilanne, jossa on huomioitu päästöjen ja taustapitoisuuksien kehittyminen, on typpidioksidin ja pienhiukkaspitoisuuksien osalta ilmanlaadun kannalta suotuisin tarkasteluvaihtoehto. Typpidioksidipäästöt laskevat noin 60 % ja pienhiukkaspäästöt noin 70 % nykyhetken tarkasteluvaihtoehtoon verrattuna. Katupölypäästöt voivat sen sijaan nousta nykyisestä tilanteesta, kun osalla kaava-alueen teistä liikennemäärät nousevat.

2 MALLILASKELMISSA KÄYTETYT LÄHTÖTIEDOT JA AINEISTOT

2.1 Liikenteen päästöjen leviämismalli (CAR-FMI)

Ilmanlaatumallinnukset tässä ilmanlaatuselvityksessä on tehty Ilmatieteen laitoksella kehitetyllä liikenteen päästöjen viivalähdemallilla CAR-FMI (Contaminants in the Air from a Road; *Karppinen, 2001; Härkönen ym., 2001*), joka perustuu leviämisen osalta analyyttiseen ratkaisuun ja päästöjen kemiallisen muutunnan osalta ns. 'discrete parcel' -menetelmään. Viivalähdemallin leviämislaskenta perustuu avoimen väylän oletukseen eli malli ei pysty tarkasti huomioimaan tutkimusalueella sijaitsevia rakennuksia tai esimerkiksi muuta ympärillä olevaa kasvustoa. Nämä kuvataan malliin tarkastelualueella edustavana rosoisuusparametrinä. Todellisuudessa teiden läheisyydessä olevat rakennukset vaikuttavat päästöjen leviämiseen. Katua reunustava pitkä kerrostalo vähentää ilman epäpuhtauksien leviämistä rakennusten taakse ja sisäpihoille, mutta aiheuttaa korkeammat pitoisuudet rakennusten tienpuolisille seinustoille/julkisivuille (Kaski ym., 2020). Tästä johtuen CAR-FMI malli voi aliarvioida pitoisuuksia katukuilumaisissa ympäristöissä, kuten tulevassa tarkasteluvaihtoehdossa Vihdintien liikenneympyrässä. Näitä alueita tarkasteltiin erikseen niiden mallintamiseen tarkoitettulla katukuilumaisiin ympäristöihin kehitetyllä OSPM-mallilla (The Operational Street Pollution Model).

2.2 Katukuilumalli (OSPM)

Tässä tutkimuksessa käytettiin tanskalaisen NERI:n (National Environmental Research Institute) kehittämää OSPM-mallia (The Operational Street Pollution Model) liikenneperäisten epäpuhtauksien leviämisen kuvaamiseen katukuilussa.

Katukuilumaisessa ympäristössä rakennukset estävät liikenteen päästöjen leviämistä ja heikon laimenemisen vuoksi ilman epäpuhtauksien pitoisuudet voivat kohota korkeiksi. Katukuilumallilla voidaan arvioida liikennemäärän ja ajonopeuden vaikutusta ilmanlaatuun yksittäisen kadun molemmilla puolilla ja eri korkeuksilla kadusta. Mallilla voidaan tarkastella katukuilun rakenteen, kuten rakennusten korkeuden, kadun leveyden ja rakennusmassan yhtenäisyyden ilmanlaatuvaikutuksia. Katukuilumallilla ei voida arvioida rakennusten sisäpihoille muodostuvia

pitoisuuksia. Parhaiten malli soveltuu katukuiluille, joissa katua reunustavien rakennusten korkeus on yhtä suuri kuin rakennusten välisen katutilan leveys eli katukuilun korkeus-leveysuhde on 1.

2.3 Liikenteen suspensiopäästömalli katupölyn mallintamiseen (FORE)

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 suspensiopäästömalleja, 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, liikennemäärien ja sääolosuhteiden avulla. Katupölypäästömalli FORE voi yliarvioida hetkellisiä pitoisuuksia. Mallissa ei ole huomioitu katujen kunnossapitoon liittyviä toimenpiteitä, kuten katujen pesemistä tai pölynsidontaa, joilla on merkittävä vaikutus pölypäästöön.

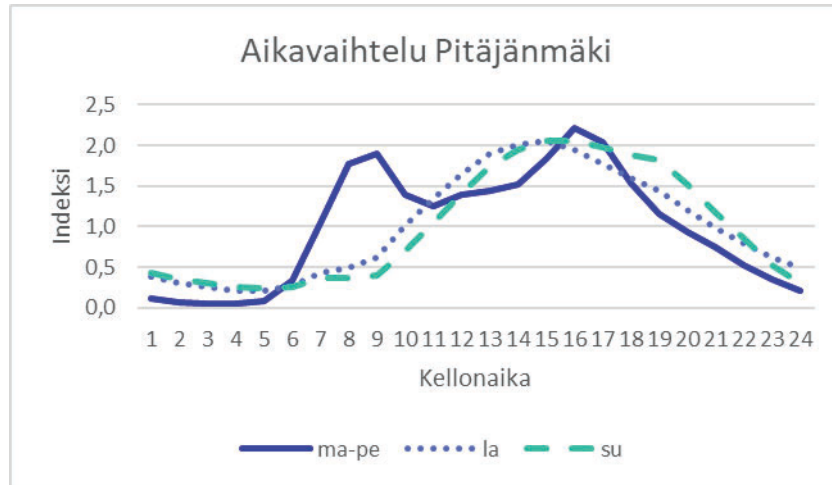
2.4 Autoliikenteen päästöt

Suunnittelualan lähiliikenteen päästöt perustuivat Helsingin kaupungin kaupunkiympäristötoimialan toimittamiin liikennemääräennustetietoihin noin 3 km × 3 km alueelta tarkastelukohteen ympäristöstä. Ilmanlaadun arviointia mitoittavan ennustetilanteen liikennemäärien pohjana on liikenne-ennustemallilla tehty vuoden 2050 ennustetilanne kuitenkin siten, että liikennemääränä on kaikilla kaduilla vähintään nykyliikenne. Ennusteliikennemäärät edustavat siis liikenteen haittavaikutusten kannalta ns. pahinta mahdollista tilannetta, johon selvityksessä on katsottu tarpeelliseksi varautua. Liikenteen päästöt mallinnettiin tiekohtaisina viivalhteina. Liikenneväylää kuvattiin laskelmissa peräkkäisinä lyhyinä viivoina, joista jokaisesta vapautuu ympäristöönsä erikseen laskettavan suuruinen päästö. Tieverkon liikenteen päästöt laskettiin liikennemäärien, ajonopeuksien, raskaan liikenteen sekä eri euroluokkien ajosuoriteosuuksien ja liikenteen tuntikohtaisen vaihtelun perusteella.

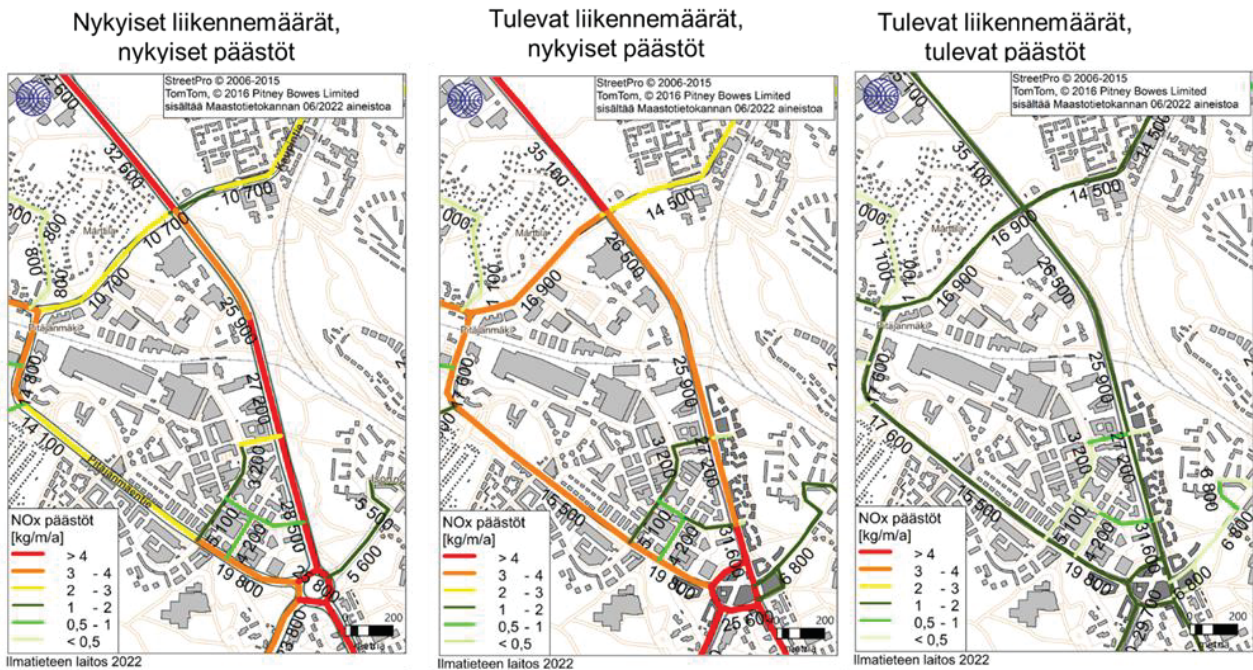
Lähiympäristön autoliikenteen päästöjen tunneittaisena ja viikottaisena aikavaihteluna käytettiin Väyläviraston ylläpitämän automaattisen mittausjärjestelmän (LAM-pisteet) Helsingin Pitäjänmäen mittauspisteestä saatuja tietoja (kuva 3). Aikavaihtelu oletettiin samaksi nykytilannetta ja tulevaisuutta arvioitaessa.

Kuvissa 4, 5 ja 6 on esitetty laskelmissa käytetyt ennustetut vuoden keskimääräiset arkivuorokausiliikennemäärät (KAVL) ja liikenneväyläkohtaisesti lasketut pakokaasuperäiset typenoksidien (NO_x), pienhiukkasten (PM_{2,5}) pakokaasu- ja katupölypäästöt ja hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) katupölypäästöt (kg/m/vuosi) tutkimusalueella. Liikennemäärät pysyvät samassa suuruusluokassa nykyisessä ja tulevassa tilanteessa. Nykyisessä tilanteessa raskaan liikenteen osuus Haagan

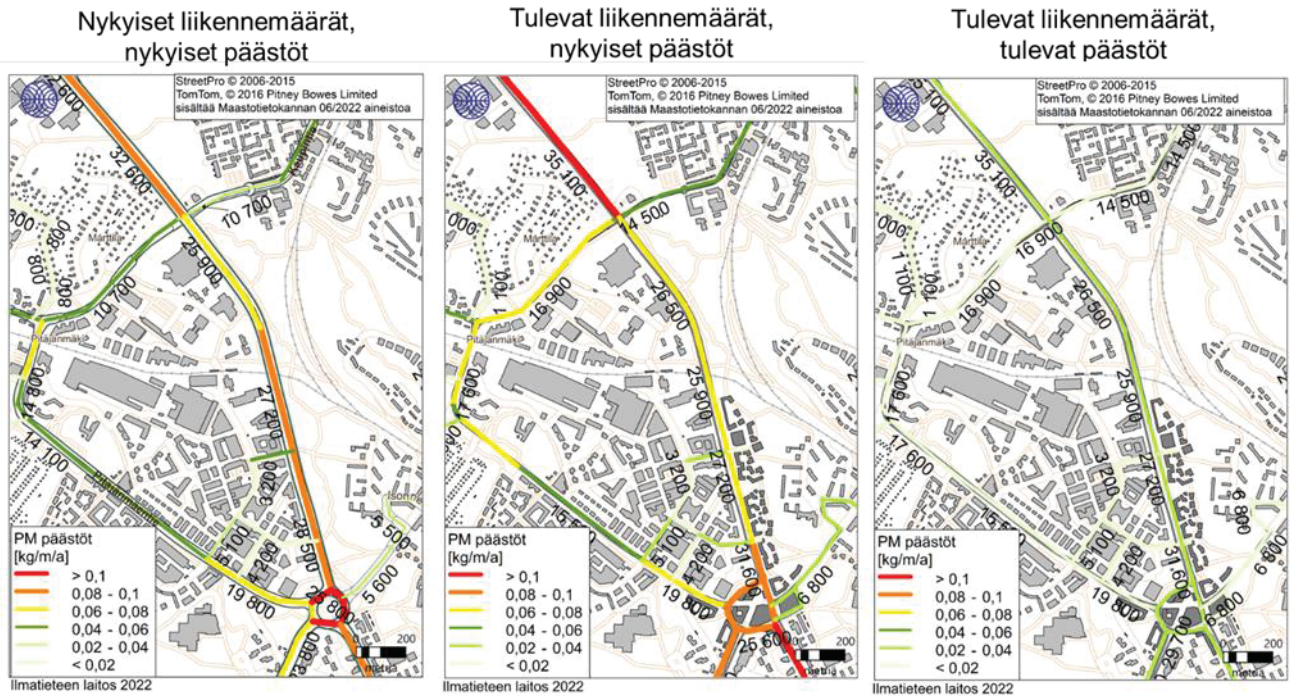
liikenneympyrän kohdalla on 12 %, kun tulevaisuudessa sen odotetaan laskevan 5 %:iin. Suunnitelukohteen lähialueen liikennemääristä Vihdintiellä liikkuvan raskaan liikenteen (linja-autot, kuorma-autot ja rekat) osuudet olivat nykyisillä liikennemäärillä noin 3–12 % ja tulevilla liikennemäärillä 4–6 % liikennevirran kokonaismäärästä.



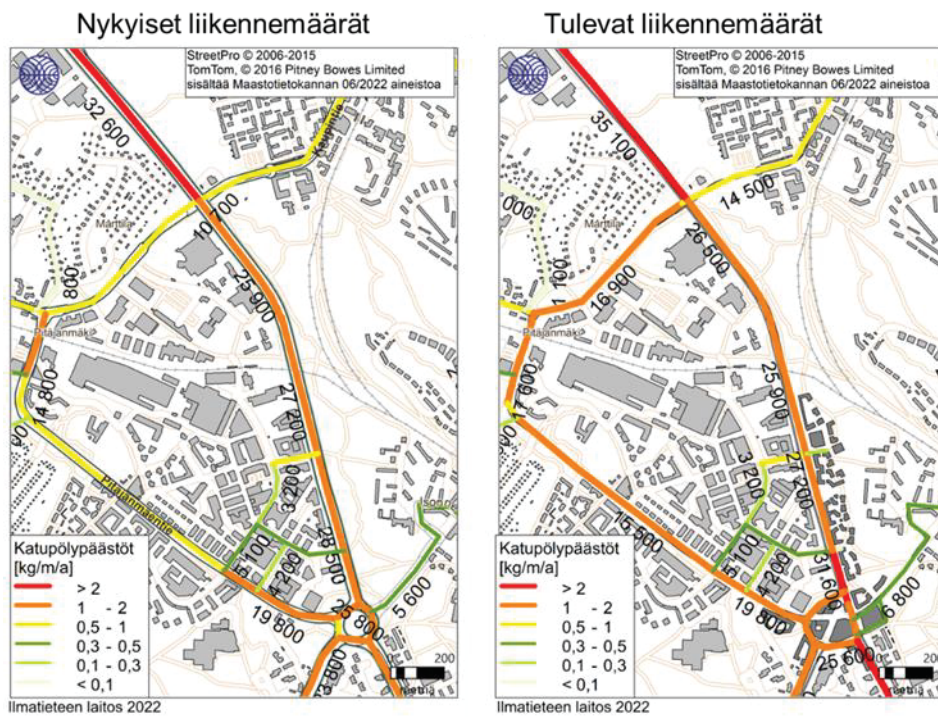
Kuva 3. Autoliikenteen tunneittaista ja viikottaista vaihtelua kuvaavat aikavaihteluindeksit tutkimusalueella, joka perustuu Helsingin Pitäjänmäen LAM-mittauspisteiden aineistoihin. Samaa aikavaihtelua käytettiin sekä nykyisillä ja tulevilla liikennemäärillä.



Kuva 4. Laskelmissa mukana olleiden katujen ja teiden autoliikenteen typenoksidipäästöt (kg/m/vuosi) ja vuoden keskimääräinen arkivuorokauden liikennemäärä (KAVL, ajoneuvoa vuorokaudessa) tutkimusalueella.



Kuva 5. Laskelmissa mukana olleiden katujen ja teiden autoliikenteen pienhiukkaspäästöt (kg/m/vuosi) ja vuoden keskimääräinen arkivuorokauden liikennemäärä (KAVL, ajoneuvoa vuorokaudessa) tutkimusalueella



Kuva 6. Laskelmissa mukana olleiden katujen ja teiden autoliikenteen katupölypäästö (kg/m/vuosi) ja vuoden keskimääräinen arkivuorokauden liikennemäärä (KAVL, ajoneuvoa vuorokaudessa) tutkimusalueella

Lähiympäristön autoliikenteen pakokaasupäästöt laskettiin käyttäen Euroopan ympäristöviraston (*European Environmental Agency, EEA*) määrittämiä nopeudesta ja ajoneuvojen päästöluokista (EURO-luokitus) riippuvia ajoneuvotyyppikohtaisia päästökertoimia (*EEA, 2019*). Nykytilanteen mallinnuksessa päästökertoimissa huomioitiin Suomessa vuonna 2020 käytössä olevien ajoneuvojen EURO-luokittaiset ajosuoriteosuudet VTT:n julkaiseman liikenteen päästöjen laskentajärjestelmän mukaisesti (*VTT, 2022*). Tulevan tilanteen osalta käytettiin vuoden 2030 ennustetta ajoneuvojen EURO-luokkaisista ajosuoriteosuuksista. EURO-luokittelussa eritellään päästöluokittain ajoneuvoilla vuodessa ajatun matkan määrä (ns. suorite). Autoliikenteen pienhiukkasten leviämismallilaskelmat sisältävät autojen suorista pakokaasuista ja 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 ja tulevaa tilannetta 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. Tällä hetkellä autokannan uusiutuminen Helsingissä on ollut ennustettua nopeampaa ja muuta Suomea nopeampaa. On kuitenkin mahdollista, etteivät VTT:n ja Liikenneviraston tuottamat ennusteet toteudu täysimääräisenä ja autokannan uudistuminen on ennustettua hitaampaa tulevaisuudessa.

Taulukossa 2 on esitetty koko mallinnusalueen kokonaispäästöt eri tarkasteluvaihtoehdoille. Typenoksidien ja pienhiukkasten osalta päästöt koko alueella nousevat noin 10 % nykytilanteesta, kun käytetään nykyisiä päästöjä ja tulevia liikennemääriä. Tulevilla ajoneuvokannan suoriteosuuksilla päästöt laskevat merkittävästi, jopa 60 % typenoksidien osalta ja 70 % pienhiukkasten osalta. Katupölypäästöjen osalta päästöt kasvavat tulevassa tilanteessa noin 10 % nykytilanteesta.

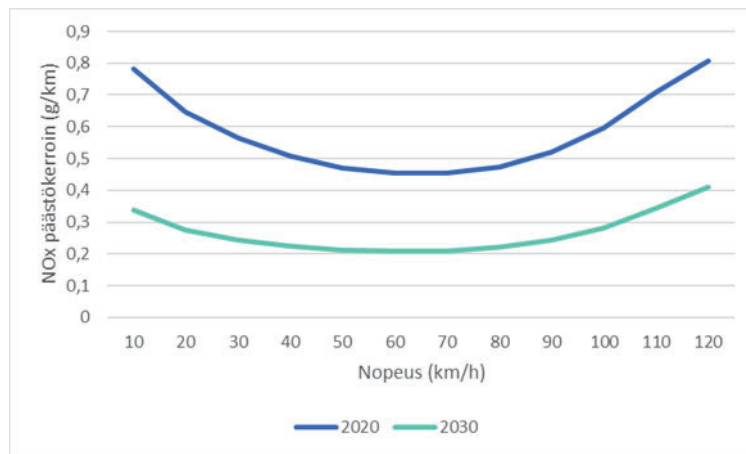
Taulukko 2. Koko mallinnusalueen päästöt eri tarkasteluvaihtoehdoissa. Tulevan tilanteen tarkasteluvaihtoehdoille on suluissa esitetty päästöjen prosentuaalinen muutos verrattuna nykytilanteeseen.

	NO_x	PM_{2,5}	PM₁₀
Nykytilanne	1 058 t/a	21,1 t/a	418 t/a
Tuleva tilanne nykyisillä päästöillä	1 180 t/a (n. + 10 %)	23,6 t/a (n. + 10 %)	461 t/a (n. + 10 %)
Tuleva tilanne tulevilla päästöillä	416 t/a (n. -60 %)	6,8 t/a (n. -70 %)	461 t/a (n. + 10 %)

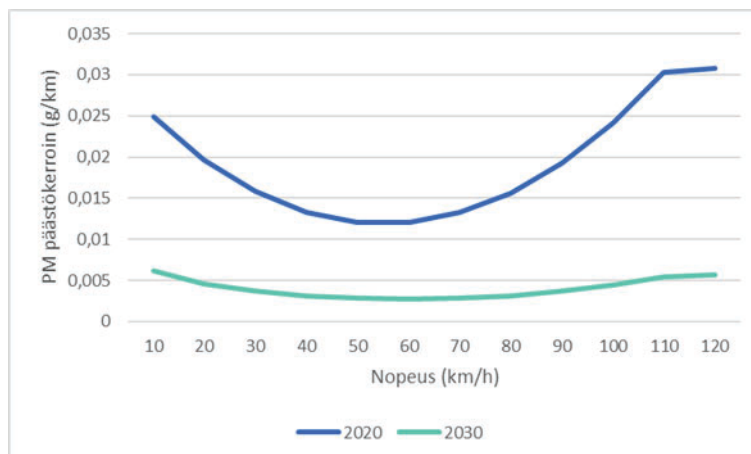
Kuvissa 7 ja 8 on esitetty Suomen koko ajoneuvokannan keskimääräiset päästökertoimet ja niiden riippuvuudet ajonopeuksista vuosille 2020 ja 2030. Alla olevat kertoimet ottavat huomioon ajoneuvotyyppien keskimääräiset suhteelliset osuudet Suomessa. Kertoimet kohdennetaan kunnittain

ajoneuvotyyppien suhteellisilla suoriteosuuksilla katu- tai tieosuuksien mukaan VTT:n LIISA-laskentajärjestelmän mukaisesti. Typenoksidipäästökertoimien nopeusriippuvuus on kaaren muotoinen. Päästökertoimet ovat pienimmillään ajonopeuden ollessa välillä 40–80 km/h. Tätä matalammilla ja korkeammilla ajonopeuksilla päästökertoimet ovat korkeampia. Vuoden 2030 päästökertoimet laskevat noin 0,24–0,44 vuoden 2020 päästökertoimista.

Pienhiukkasten osalta päästökertoimet ovat pienimmillään nopeuksien ollessa välillä 40–70 km/h vuoden 2020 päästökertoimilla. Tätä matalammilla ja korkeammilla ajonopeuksilla päästökertoimet ovat korkeampia. Vuoden 2030 päästökertoimilla erot ajonopeuden suhteen ovat huomattavasti pienempiä. Päästökertoimet ovat hieman pienempiä ajonopeuden ollessa 40–80 km tunnissa kuin tätä pienemmillä tai korkeammilla ajonopeuksilla. Vuoden 2030 päästökertoimet laskevat noin 0,009–0,025 vuoden 2020 päästökertoimista.



Kuva 7. Mallilaskelmissa käytettävät ajoneuvojen keskimääräiset nopeusriippuvat typenoksidien päästökertoimet. Kertoimien pohjana ovat EEA:n päästökertoimet (EEA, 2019) painotettuna suoritteiden euroluokkajakaumilla ja koko Suomen keskimääräisillä ajosuoriteosuuksilla vuosille 2020 ja 2030 (VTT, 2019).



Kuva 8. Mallilaskelmissa käytettävät ajoneuvojen keskimääräiset nopeusriippuvat pienhiukkasten päästökertoimet. Kertoimien pohjana ovat EEA:n päästökertoimet (EEA, 2019) painotettuna suoritteiden euroluokkajakaumilla ja koko Suomen keskimääräisillä ajosuoriteosuuksilla vuosille 2020 ja 2030 (VTT, 2019).

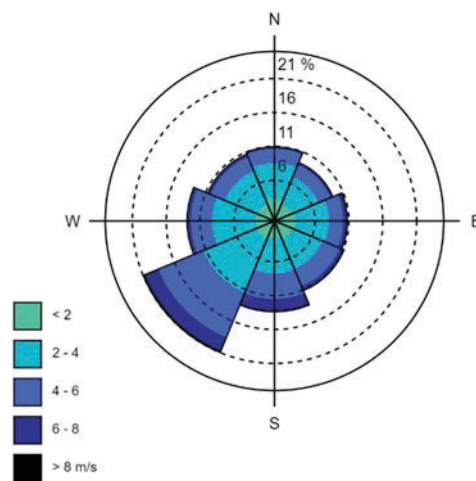
Hengitettävien hiukkasten osalta päästökertoimien nopeusriippuvaisuus ei ole niin suoraviivainen kuin typenoksidi- ja pienhiukkaspäästöjen osalta, sillä ajonopeus vaikuttaa katupölyyn usean eri prosessin kautta. Ajonopeudella on merkitystä mm. tienpinnan kosteuteen, tienpinnan, renkaiden ja jarrujen kulumiseen sekä ilmaan nousevan pölyn määrään. Ajonopeuden laskeminen pääasiassa parantaa ilmanlaatua, mikäli liikenne ei ruuhkaudu. Ajonopeuden kasvaessa pölyä muodostuu ja nousee ilmaan enemmän, koska tien pinnan ja renkaiden kulumisen lisääntyy ja tien pinta kuivuu nopeammin. Nastarenkailla nopeuden vaikutus katupölyn muodostumiseen on suurempi kuin kitkarenkailla.

2.5 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. Aineiston tuottamiseksi käytettiin tutkimusaluetta edustavimpia sääasemia, joilla mitataan kaikkia mallin tarvitsemia sääsuureita. Säähavainto- ja luotausaineistot täyttävät WMO:n ja ICAO:n laatuvaatimukset. Lopputuloksena saatiin leviämismalleissa tarvittavien meteorologisten tietojen tunnitaiset aikasarjat.

Tutkimusalueen ilmastollisia olosuhteita edustava meteorologinen aikasarja muodostettiin Helsingin Kumpulan, Helsingin Harmajan ja Helsinki-Vantaan lentoaseman sääasemien havaintotiedoista vuosilta 2017–2019. Sekoituskorkeuden määrittämiseen käytettiin Jokioisten luotaushavaintoja. Tuulen suunta- ja nopeusjakauma tutkimusalueella on esitetty kuvassa 9. Tutkimusalueella lounaistuulet ovat vallitsevia, kun luoteen ja kaakon välisiä tuulia esiintyy alueella vähemmän.



Kuva 9. Keskimääräinen tuulen suunta- ja nopeusjakauma tutkimusalueella vuosina 2017–2019. Tuulitiedot kuvaavat olosuhteita 10 metrin korkeudella maan pinnasta.

2.6 Taustapitoisuudet

Autoliikenteen päästöjen lisäksi mallilaskelmissa huomioitiin alueelliset typpidioksidin, otsonin ja pienhiukkasten taustapitoisuus. Hengittävien hiukkasten mallinnuksessa otettiin myös huomioon pienhiukkasten taustapitoisuus. Autoliikenteen päästöjen leviämismallinnuksessa käytettiin HSY:n Luukissa sijaitsevan ilmanlaadun mittausaseman tuloksia. Luukin taustapitoisuuksien vuosikeskiarvot olivat mittauksissa tarkastelujakson 2017–2019 aikana typpidioksidille $5,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja pienhiukkasille $5,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mallilaskelmissa käytettiin Luukin ilmanlaadun mittausaseman otsonihavaintoja typenoksidipäästöjen muutunnan osuuden arviointiin typpidioksidipitoisuuksissa.

Katukuilumallinnuksessa taustapitoisuuden määrittämisessä käytettiin HSY:n Helsingin Kallion kaupunkitausta-aseman mittauksia. Kallion taustapitoisuuksien vuosikeskiarvot olivat mittauksissa tarkastelujakson 2017–2019 aikana typpidioksidille $15,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja pienhiukkasille $5,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tulevaa tilannetta mallintaessa tulevilla päästöillä typpimonoksidin ja typpidioksidin oletettiin laskevan 50 % vuosien 2017–2019 tasosta. Luukin taustapitoisuuden typpidioksidin vuosikeskiarvo vuodelle 2030 olisi tällöin $2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Kallion osalta $7,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pienhiukkasten osalta kaukokulkeumalla maan rajojen ulkopuolelta on suuri vaikutus pitoisuuksiin, mikä tekee tulevaisuuden pienhiukkaspitoisuuksien arvioinnista hankalaa. Pienhiukkasten osalta taustan oletettiin pysyvän vuoden 2017–2019 tasolla tulevaisuuden tilanteita mallintaessa.

Leviämismallilaskelmissa autoliikenteen aiheuttamista typenoksidipäästöistä (NO_x) oletettiin typpidioksidin (NO_2) osuudeksi 20 % ennen ulkoilmassa tapahtuvaa muutunutta (*Anttila, ym., 2011*). Taustapitoisuuksina käytettiin pitoisuuksien kuukausittain laskettuja tunneittaisia keskiarvoja, joilla pyrittiin kuvaamaan taustapitoisuuden vuodenaikaista ja vuorokauden sisäistä vaihtelua (*Ilmatieteen laitos, 2021*).

2.7 Laskentapisteikkö

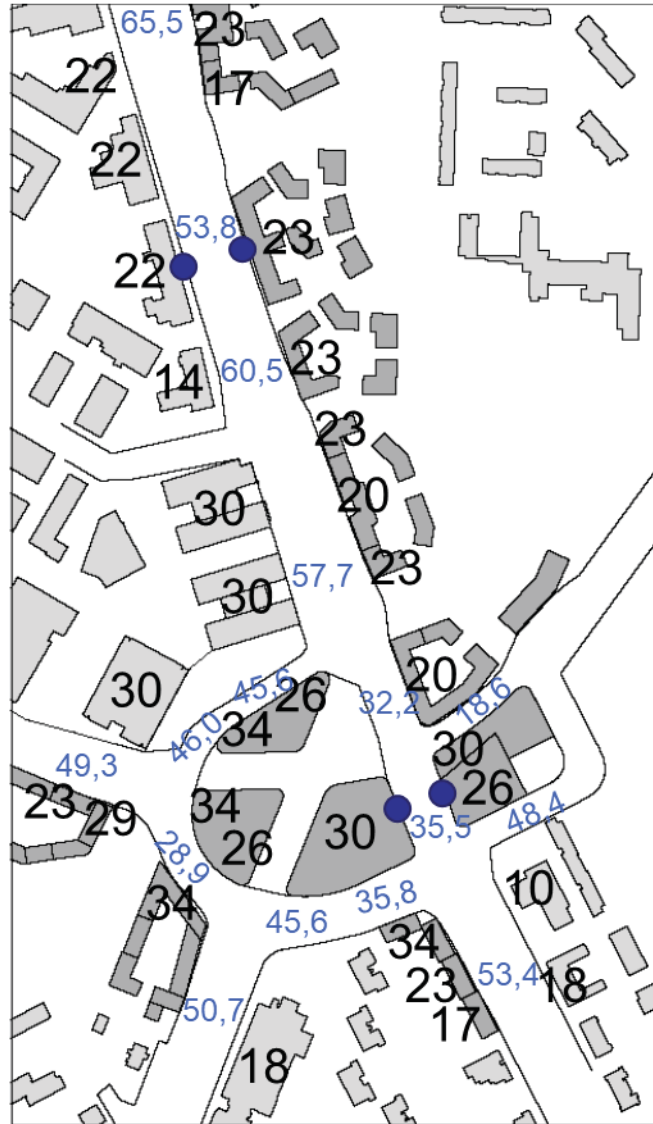
Pitoisuudet laskettiin läntisen bulevardikaupungin Vihdintien alueen kattavalle 3×3 km kokoiselle alueelle. Tälle alueelle muodostettiin laskentapisteikkö, jossa oli yhteensä 94 027 laskentapistettä. Laskentapisteen etäisyys toisistaan vaihteli 20–100 metrin välillä riippuen alueesta. Liikenneväylien varsilla käytettiin tihennettyä laskentapisteikköä. Laskentapisteen sijoitettiin liikenneväylälle 50 m välein siten, että yksi piste sijaitsee väylällä ja väylän molemmin puolin sijaitsevat laskentapisteen 50 metrin etäisyydellä väylästä. Pitoisuudet esitettiin $1,5 \times 2,3$ km kokoiselta alueelta.

Päästöjen aiheuttamat pitoisuudet laskettiin jokaisessa laskentapisteessä 2 metrin korkeudelle maanpinnasta eli ihmisten hengityskorkeudelle. Yksittäisiin laskentapisteisiin lasketuista pitoisuusarvoista ja niistä edelleen lasketuista tilastollisista arvoista muodostetaan pitoisuuksien aluejakaumia. Pitoisuuksien aluejakaumissa esitetään leviämismallilaskelmien tuloksina samanarvonkäyrillä ne alueet, joilla tietyn pitoisuuden ylittyminen on pitkän havaintojakson aikana todennäköistä.

2.8 Katukuilumallinnuksen tarkastelupisteet

Kerrostalojen reunustamilla katuosuuksilla käytetään katukuilumallia, joka huomioi rakennusten vaikutuksen liikenteen päästöjen leviämiseen. Katua reunustava pitkä kerrostalo vähentää ilman

epäpuhtauksien leviämistä rakennusten taakse ja sisäpihoille, mutta aiheuttaa korkeammat pitoisuudet rakennusten tienpuolisille seinustoille/julkisivuille (Kaski ym., 2020). Mallissa katukuiluun muodostuu tuulipyörre, joka kierrättää liikenteen ja kadun ulkopuolelta tulevia päästöjä katukuilussa. Parhaiten malli soveltuu katukuiluille, joissa katua reunustavien rakennusten korkeus on yhtä suuri kuin rakennusten välisen katutilan leveys eli katukuilun korkeus-leveysuhde on 1. Katujen leveydet ja nykyisten sekä tulevien rakennusten korkeudet on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Katujen leveydet metreinä (sinisellä tekstillä) ja nykyisten sekä tulevien rakennusten korkeudet metreinä (mustalla tekstillä) Läntisen bulevardikaupungin Vihdintien suunnittelualueella. Siniset ympyrät osoittavat katukuilumallinnuksen tarkastelupisteitä.

Katukuilumallinnuksessa käytettyjen tarkastelupisteiden sijainnit on esitetty sinisillä ympyröillä kuvassa 10. Katukuilupisteiden sijainnit valittiin rakennusten korkeus-kadun leveys-suhteen perusteella. Pisteiksi valittiin kohteet, joissa korkeus-leveys-suhte on korkein mahdollinen, jotta pisteeseen mallinnetut pitoisuudet kuvaisivat alueelle muodostuvia korkeimpia pitoisuuksia eli huonointa tilannetta ilmanlaadun kannalta. Kaksi vastaikkailla puolilla tietä olevaa pistettä valittiin Haagan liikenneympyrän alueelta ja kaksi pohjoisemmasta Vihdintien varrelta.

Haagan liikenneympyrän tarkastelupisteiden kohdalla rakennusten korkeuden ja kadun leveyden suhde tulee olemaan noin 0,8 ja Vihdintien tarkastelupisteiden kohdalla noin 0,4 (Taulukko 3). Vihdintien katukuilu luokitellaan leveäksi katukuiluksi, sillä rakennusten ja kadun korkeus-leveys-suhde on pienempi kuin 0,7. Leveän katukuilun tuulettavuus on keskimäärin kapeaa katukuilua parempi. Haagan liikenneympyrässä rakennusten korkeudet vaihtelevat paljon (10–30 metriä), mikä lisää katukuilun tuulettavuutta. Vihdintien nykyiset ja suunniteltujen rakennusten korkeudet vaihtelevat 14–23 metrin välillä. Matalamman korkeus-leveys-suhteen seurauksena Vihdintien katukuilussa ilmansaasteet pääsevät leviämään paremmin eivätkä ilmansaastepitoisuudet nouse niin korkeiksi kuin Haagan liikenneympyrässä.

Taulukko 3. Läntisen bulevardikaupungin Vihdintien suunnittelualueelle suunniteltujen katujen leveydet, niitä ympäröivien rakennusten keskimääräiset korkeudet ja liikennemäärät.

	Kadun leveys (m)	Rakennusten keskimääräinen korkeus (m)	Korkeus-leveys- suhde	Liikennemäärä (KAVL)
Haagan liikenneym- pyrä	36	29	0,8	24 100
Vihdintie	54	23	0,4	27 200

3 LEVIÄMISMALLILASKELMIEN TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Mallilaskelmien tuloksina saadut typpidioksidi-, pienhiukkas- ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet on esitetty taulukoina ja leviämismallikuvina, joissa ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia verrataan ilmanlaatulainsäädännössä annettuihin raja- ja ohjearvoihin 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.

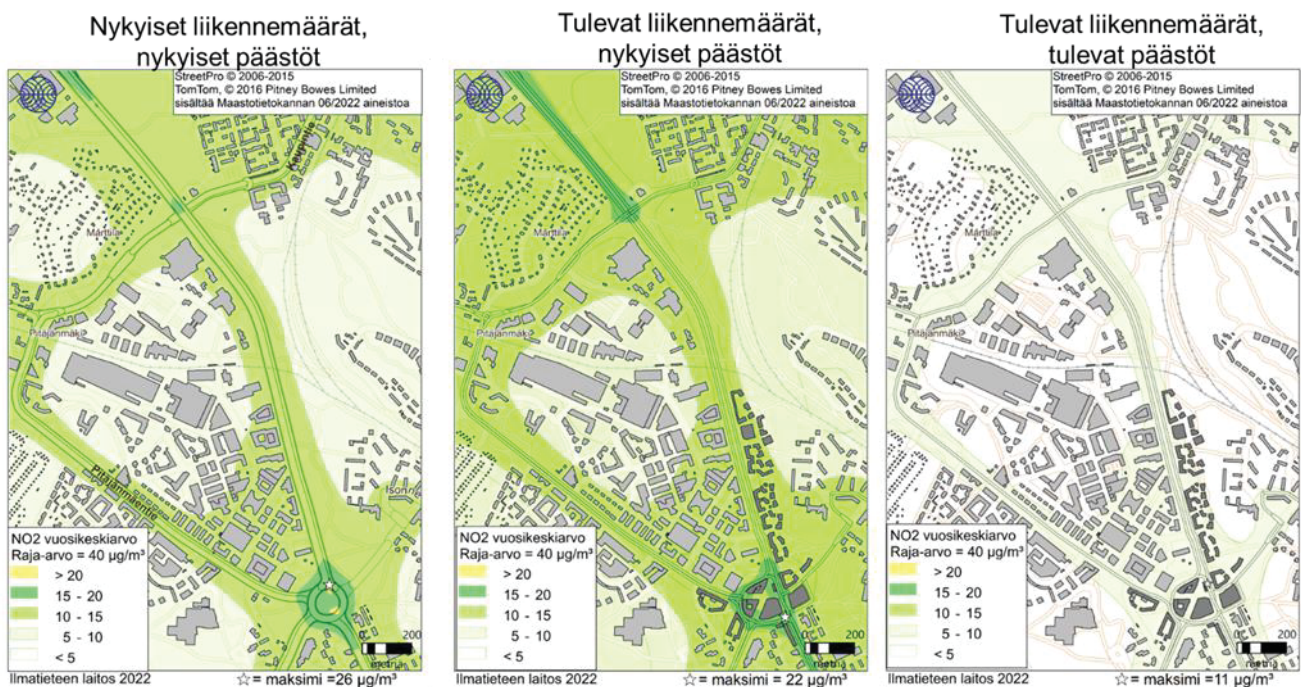
3.1 Typpidioksidipitoisuudet (NO₂)

3.1.1 Vuosiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet

Kuvassa 11 on esitetty liikenteen päästöjen leviämismallilla mallinnettu autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama typpidioksidin vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuuksien aluejakauma hengityskorkeudella. Leviämismallilla lasketut liikenteen päästöjen aiheuttamat typpidioksidin pitoisuudet alittavat vuosiraja-arvon (40 µg/m³) kaikissa kolmessa tutkitussa tarkasteluvaihtoehdossa. Pitoisuustasot nykyisillä päästöillä, sekä nykyisillä että tulevilla liikennemäärillä, ovat 15–26 µg/m³ Haagan liikenneympyrässä ja sen lähialueilla, liikenneympyrän

pohjoispuolella Vihdintien läheisyydessä $10\text{--}15\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja etäisyyden kasvaessa Vihdintiestä $5\text{--}10\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ (kuva 11 vasen ja keskimmäinen kuva). Typpidioksidipitoisuudet laskevat huomattavasti tulevilla päästöillä (kuva 11 oikeanpuolimmainen kuva). Haagan liikenneympyrän ja Vihdintien läheisyydessä pitoisuudet ovat tulevaisuudessa $5\text{--}10\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja etäisyyden kasvaessa teistä pitoisuudet laskevat alle $5\ \mu\text{g}/\text{m}^3$.

HSY:n jatkuvatoimisten typpidioksidimittausten vuosikeskiarvo Helsingin alueella vaihteli vuosien 2017–2019 välillä $11\text{--}33\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Malkki ym., 2018; Ohtonen ym., 2019; Korhonen ym., 2020). Pitoisuustasot ovat samaa suuruusluokkaa kuin nykyisillä päästöillä mallinnetut typpidioksidin vuosiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet (Kuva 11 vasen ja keskimmäinen kuva). Matalin vuosikeskiarvo mitattiin Vartiokylän pientaloalueella ja korkein Mäkelänkadun vilkasliikenteisessä katukuilussa.

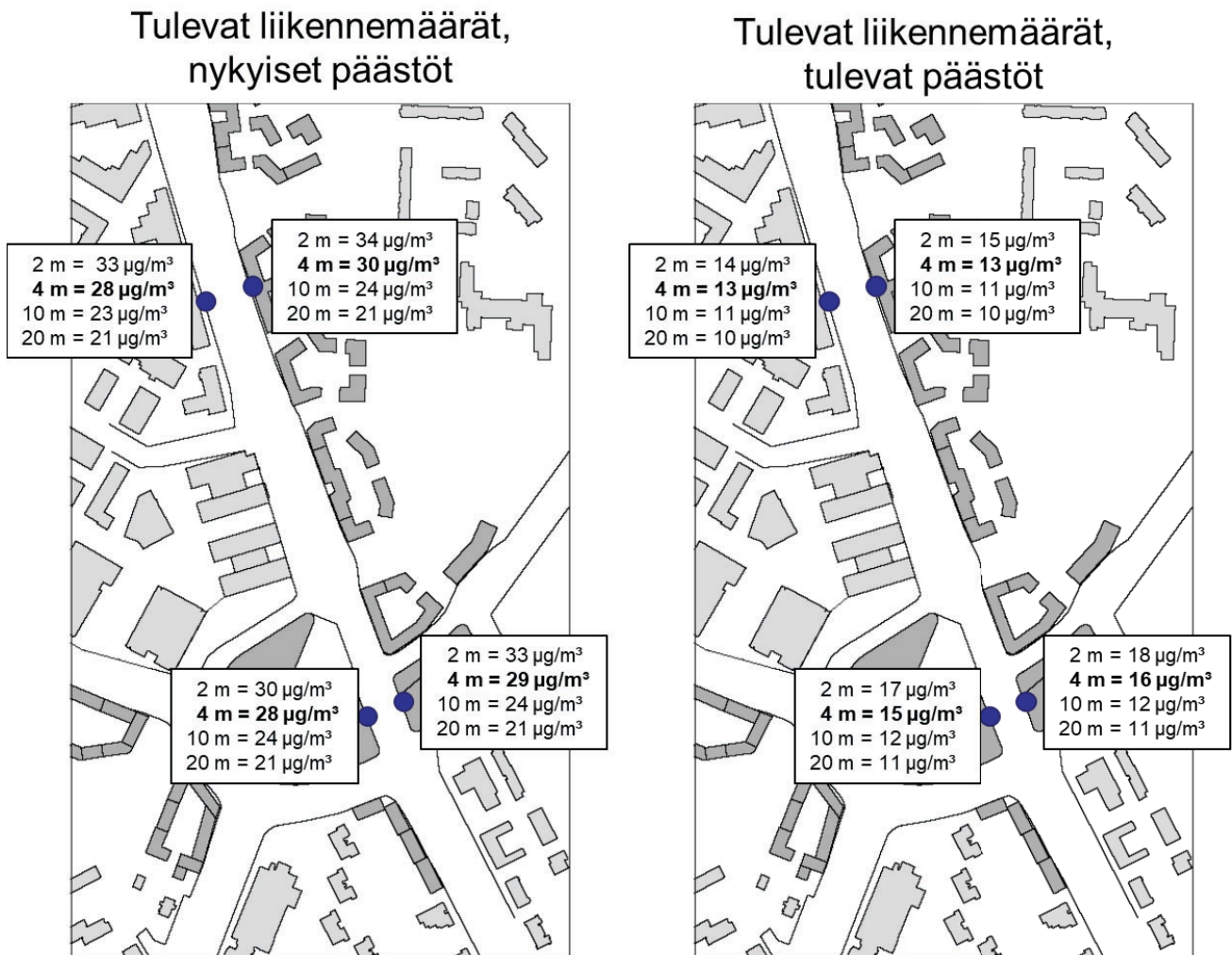


Kuva 11. Leviämislaskelmin saatu autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama typpidioksidin (NO_2) vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus kolmelle eri tarkasteluvaihtoehdolle.

Kuvassa 12 on esitetty katukuilumallilla mallinnettu autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama typpidioksidin vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus neljässä pisteessä neljällä eri korkeudella. Katukuilumallinnuksella ei ole mallinnettu nykytilannetta, sillä alueella ei ole nykyisellä maankäytöllä katukuilun määritelmän täyttävää aluetta. Myös katukuilumallinnuksella mallinnetut typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat vuosiraja-arvon ($40\ \mu\text{g}/\text{m}^3$) sekä nykyisillä että tulevilla päästöillä. Pitoisuudet ovat korkeimmillaan kahden metrin korkeudella ja laskevat korkeuden noustessa. Typpidioksidipitoisuudet ovat korkeimmillaan nykyisillä päästöillä ja vaihtelevat neljän metrin korkeudella välillä $28\text{--}30\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja tulevilla päästöillä pitoisuudet vaihtelevat välillä $13\text{--}16\ \mu\text{g}/\text{m}^3$.

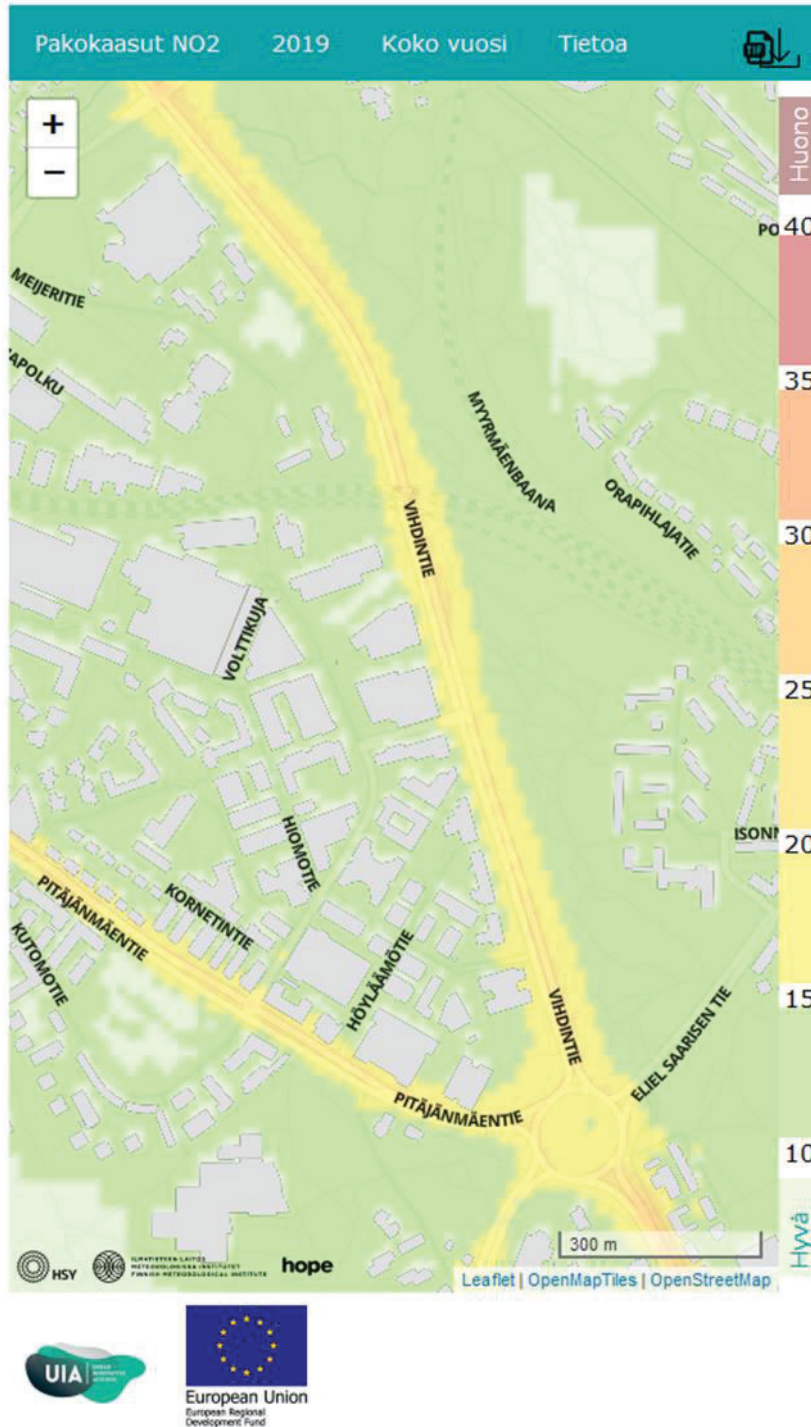
HSY on mitannut typpidioksidipitoisuutta jatkuvatoimisesti Helsingissä Mäkelänkadulla ja Mannerheimintiellä katukuilumaisissa ympäristöissä. Vuosien 2017–2019 välillä typpidioksidin vuosipitoisuudet vaihtelivat näissä kahdessa mittauspisteessä välillä $25\text{--}33\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Malkki ym., 2018; Ohtonen ym., 2019; Korhonen ym., 2020). Nämä neljän metrin korkeudella suoritettavat mittaukset vastaavat

pitoisuustasoiltaan melko hyvin nykyisillä päästöillä mallinnettuja pitoisuuksia Haagan liikenneympyrän ja Vihdintien mallinnuspisteiden kohdalla (28–30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Kuva 12. Typpidioksidin (NO_2) vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus. Neljän metrin korkeudella oleva mallinnus on tummennettu, sillä se vastaa tyypillistä mittauskorkeutta.

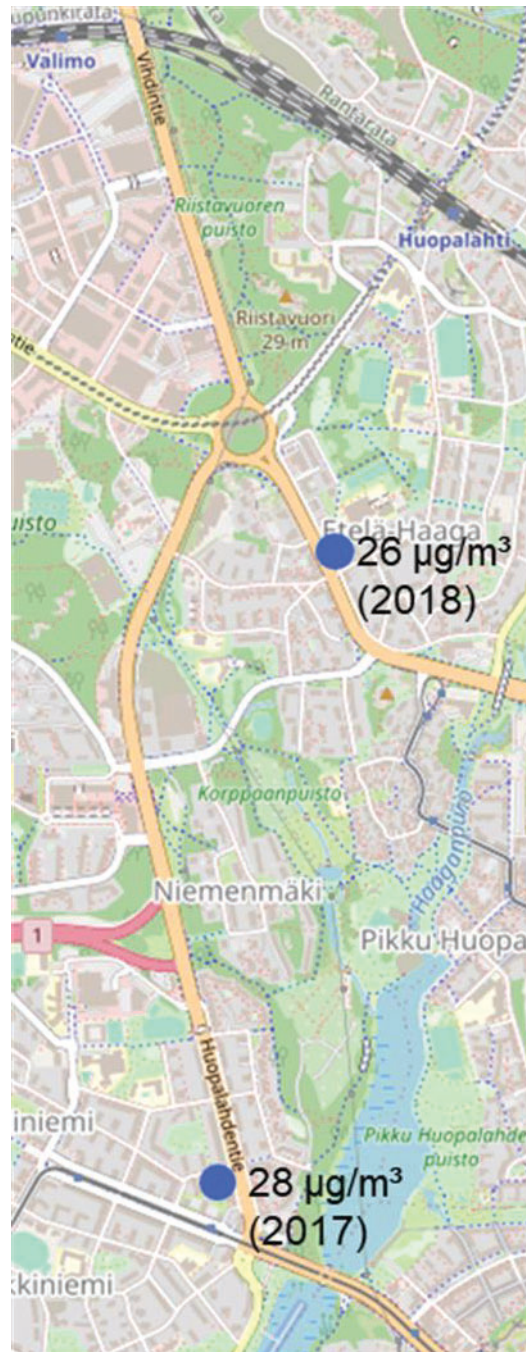
Kuvassa 13 on esitetty HSY:n ilmanlaadun vuosikartta (HSY, 2022) autoliikenteen aiheuttamalle typpidioksidipitoisuudelle (NO_2) vuodelle 2019. HSY:n verkkosivuilta löytyy ilmanlaadun vuosikartat vuosille 2019–2021, joista on valittu luotettavin vuosi ennen koronapandemiaa. Typpidioksidin vuosiraja-arvo (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) alittuu selkeästi Vihdintien bulevardikaupungin alueella. Haagan liikenneympyrässä ja liikenneympyrän pohjoispuolella Vihdintien läheisyydessä typpidioksidipitoisuudet ovat 17–23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja etäisyyden kasvaessa Vihdintiestä pitoisuudet laskevat 9–13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pitoisuustasot vastaavat melko hyvin kuvassa 11 (oikeanpuoleinen kuva) typpidioksidin vuosikeskiarvon nykytilannetta. Vuosina 2020 ja 2021 typpidioksidin vuosikeskiarvopitoisuus vaihteli kaava-alueella 8 ja 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ välillä.



Kuva 13. Autoliikenteen pakokaasujen aiheuttama typpidioksidin (NO₂) vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus Ilmanlaadun vuosikartan mukaan vuonna 2019 (HSY, 2022).

Kuvassa 14 on esitetty HSY:n vuosien 2017 ja 2018 ilmanlaaturaporteista kaava-alueen lähellä sijainneet passiivikeräinmenetelmällä mitatut vuosikeskiarvopitoisuudet (Malkki ym., 2018; Ohtonen ym., 2019). Vuosikeskiarvot olivat Huopalahdentiellä 28 µg/m³ (vuonna 2017) ja Vihdintiellä 26 µg/m³ (vuonna 2018). Molemmat mittauskohteet ovat katukuilumaisia ympäristöjä ja

pitoisuustasot vastaavat melko hyvin kuvassa 12 esitettyjä katukuilumallinnuksella nykytilanteelle laskettuja pitoisuuksia neljän metrin korkeudella Haagan liikenneympyrän ja Vihdintien mallinnuspisteiden kohdalla ($28\text{--}30\ \mu\text{g}/\text{m}^3$). Neljän metrin korkeus vastaa mittauskorkeutta.



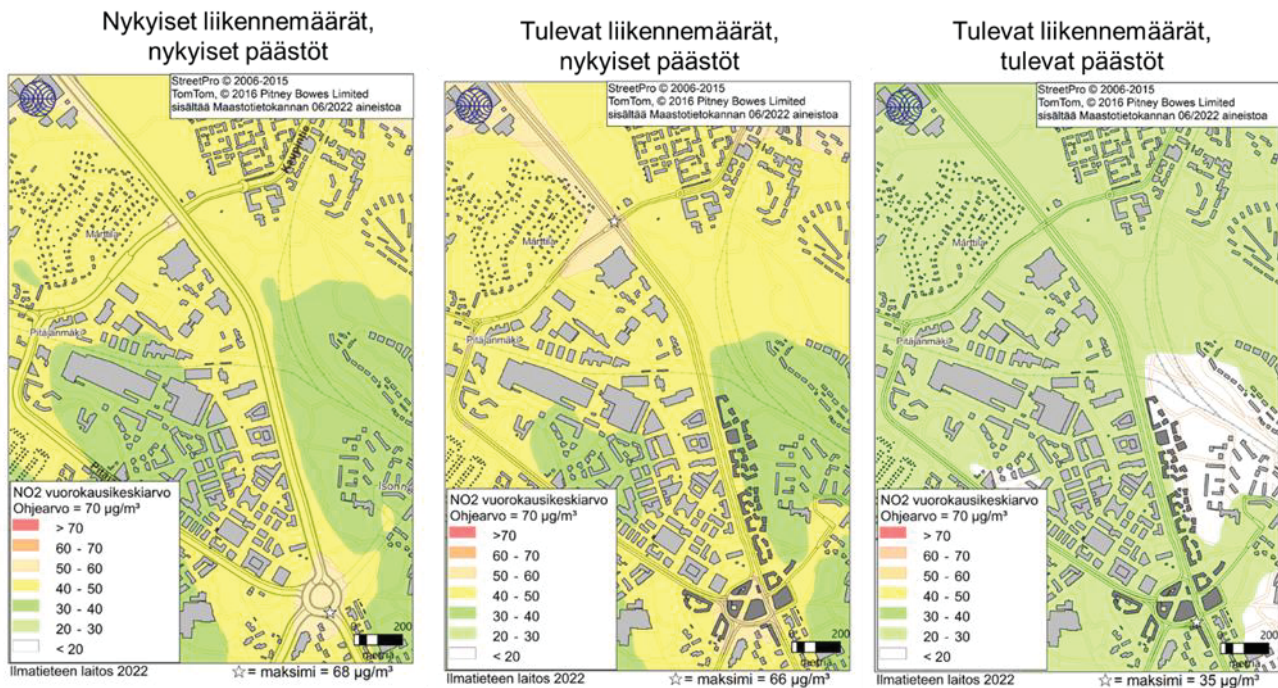
Kuva 14. HSY:n Huopalahdentien ja Vihdintien typpidioksidikeräinten vuosikeskiarvot ja sijainnit kartalla. Huopalahdentiellä mitattiin vuonna 2017 ja Vihdintiellä vuonna 2018.

3.1.2 Vuorokausiohjeeseen verrannolliset pitoisuudet

Kuvassa 15 on esitetty liikenteen päästöjen leviämismallilla mallinnettu autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat typpidioksidin vuorokausiohjeeseen verrannollinen pitoisuuksien aluejakauma hengityskorkeudella. Leviämismallilla lasketut liikenteen päästöjen aiheuttamat typpidioksidin pitoisuudet alittavat vuorokausiohjeen ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) kaikissa kolmessa eri tutkitussa tarkasteluvaihtoehdossa. Pitoisuustasot nykyisillä päästöillä, sekä nykyisillä että tulevilla liikennemäärillä, ovat $50\text{--}68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Haagan liikenneympyrässä sekä Vihdintien ja Kaupintien risteyksessä. Liikenneympyrän ja Vihdintien läheisyydessä pitoisuudet ovat $40\text{--}50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja etäisyyden kasvaessa Vihdintiestä $30\text{--}40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (kuva 15 vasen ja keskimmäinen kuva).

Typpidioksidipitoisuudet laskevat huomattavasti tulevilla päästöillä. Läntisen bulevardikaupungin Vihdintien alueella pitoisuudet ovat tulevaisuudessa pääasiassa $20\text{--}30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Vihdintien itäpuolella paikoitellen jopa alle $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

HSY:n jatkuvatoimisten mittausten mukaan typpidioksidin vuorokausiohjeeseen verrannolliset pitoisuuksien maksimit vaihtelivat Helsingin mittausasemien välillä $36\text{--}83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Malkki ym., 2018; Oh-tonen ym., 2019; Korhonen ym., 2020). Pitoisuustasot vastaavat melko hyvin kuvassa 15 nykyisillä päästöillä laskettuja pitoisuuksia ($30\text{--}68 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Matalin vuorokausiohjeeseen verrannollinen pitoisuuden maksimi mitattiin pientaloalueella Vartiokylässä ja korkein vilkkaassa liikenneympäristössä Mannerheimintiellä.



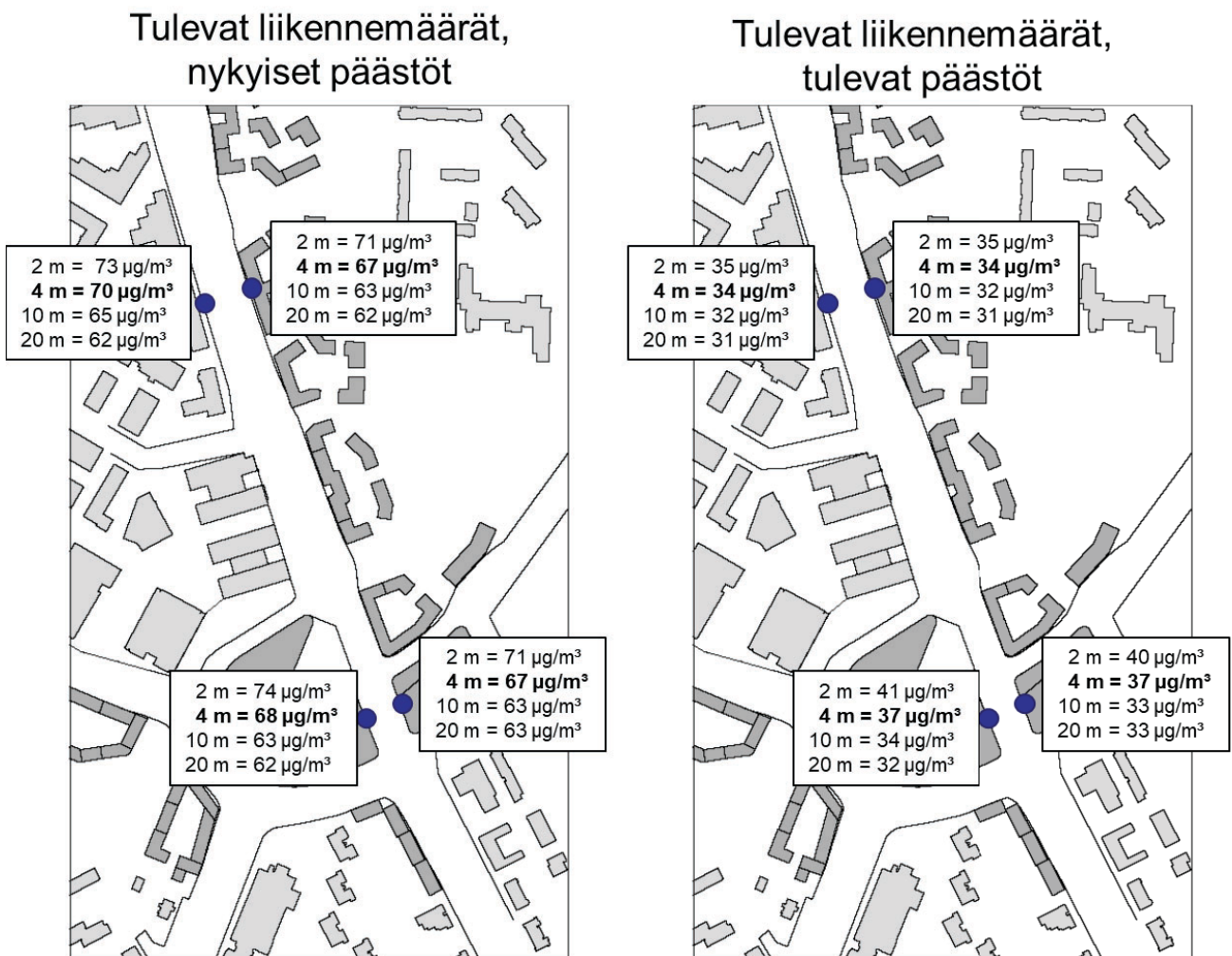
Kuva 15. Leviämislaskelmin saatu autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama typpidioksidin (NO₂) vuorokausiohjeeseen verrannollinen pitoisuus.

Kuvassa 16 on esitetty katukuilumallilla mallinnettu autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama typpidioksidin vuorokausiohjeeseen verrannollinen pitoisuus neljässä pisteessä eri korkeuksilla. Katukuilumallinnuksella ei ole mallinnettu nykytilannetta, sillä alueella ei ole nykyisellä maankäytöllä katukuilun määritelmän täyttävää aluetta. Katukuilumallinnuksella

mallinnetut typpidioksidin vuorokausikeskiarvot voivat nykytilanteessa ylittää vuorokausiohjearvon ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) neljän metrin korkeudella sekä Haagan liikenneympyrän että Vihdintien mallin­nuspisteiden kohdalla. Pitoisuudet laskevat korkeuden noustessa eivätkä korkeammalla enää ylitä vuorokausiohjearvoa.

Tulevilla liikennemäärillä ja päästöillä mallinnetut vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet alittuvat selkeästi kaikilla korkeuksilla. Tulevassa tarkasteluvaihtoehdossa maksimipitoisuudet neljän metrin korkeudella Haagan liikenneympyrän kohdalla vastaavat noin 53 % ja Vihdintien mallin­nuspisteissä noin 49 % vuorokausiohjearvosta.

HSY:n jatkuvatoimisten mittausten mukaan typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuuksien maksimit vaihtelivat katukuilumaisissa ympäristöissä Mannerheimintällä välillä $56\text{--}83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Mäkelänkadulla välillä $63\text{--}76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vuosina 2017–2019 (Malkki ym., 2018; Ohtonen ym., 2019; Korhonen ym., 2020). Pitoisuustasot ovat samaa tasoa kuin tulevilla liikennemäärillä ja nykyisillä päästöillä mallinnetut pitoisuudet Haagan liikenneympyrän ja Vihdintien katukuiluissa ($67\text{--}70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) neljän metrin korkeudella (Kuva 16 vasenpuoli).



Kuva 16. Typpidioksidin (NO_2) vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus. Neljän metrin korkeudella oleva mallinnus on tummennettu, sillä se vastaa tyypillistä mittauskorkeutta.

3.1.3 Johtopäätökset

Typpidioksidin pitoisuudet alittavat vuosiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet sekä liikenteen leviämismallin ja katukuilumallinnuksen tulosten perusteella. Ilmanlaadun kannalta huonoimmassa tarkasteluvaihtoehdossa (tulevat liikennemäärät ja nykypäästöt) pitoisuudet ovat korkeimmillaan $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (55 % vuosiraja-arvosta) ja ilmanlaadun kannalta parhaassa tilanteessa (tulevat liikennemäärät ja tulevat päästöt) $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (28 % vuosiraja-arvosta). Katukuilumallinnusmallinnuksen tulosten mukaan nykypäästöillä typpidioksidipitoisuudet ovat korkeimmillaan $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (75 % vuosiraja-arvosta) neljän metrin korkeudella ja tulevilla päästöillä $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (40 % vuosiraja-arvosta) liikenneympyrässä neljän metrin korkeudella. Pitoisuudet laskevat korkeuden kasvaessa. Ilmanlaatu maankäytön suunnittelussa -oppaassa asuntojen minimietäisyys liikenneväylästä on määritetty niin, että asuntojen kohdalla typpidioksidin vuosikeskiarvo on maksimissaan $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (60 % vuosiraja-arvosta). Katukuilumallinnuksen tulosten perusteella tulevilla päästöillä pitoisuudet jäävät alle $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$, joten asutusta voidaan sijoittaa liikenneympyrän kohdalle.

Typpidioksidin vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet voivat ylittyä kahden metrin korkeudella ohjearvon ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nykyisillä päästöillä Haagan liikenneympyrän ja Vihdintien katukuiluissa. Vihdintien länsipuolella sijaitsevassa mallinnuspisteessä ohjearvo voi ylittyä myös neljän metrin korkeudella. Korkeammalle noustessa pitoisuudet eivät ylitä. Tulevilla päästöillä mallintaessa vuorokausiohjearvo ei ylity. Pitoisuudet ovat korkeimmillaan tulevilla päästöillä mallintaessa 53 % vuorokausiohjearvosta neljän metrin korkeudella. Ilmansaastepitoisuudet laskevat kerrostalon takana esimerkiksi sisäpihoilla, sillä kerrostalo estää kadulta pääsevien päästöjen leviämistä, mutta toisaalta kerrostalot aiheuttavat korkeammat pitoisuudet kadun puolelle (Kaski ym., 2020).

Vihdintien itäpuolella sijaitsee Haagaan kuuluva asuinalue, joka kattaa Isonnevantien, Isonnevankujan, Riistavuorenkujan, Angervotien ja Seljatien. Vihdintien länsipuolella sijaitsee Pitäjänmäkeen kuuluva alue, missä sijaitsee asuintaloja sekä yrityksiä. Molemmilla alueilla typpidioksidin vuosipitoisuudet laskevat nykytilanteen ($5\text{--}15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja tulevilla päästöillä mallinnetun tilanteen (alle $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) välillä. Myös vuorokausiohjearvoon verrannolliset pitoisuudet laskevat nykytilanteesta ($30\text{--}50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) tulevilla päästöillä mallinnettuun tilanteeseen (alle $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

3.2 Pienhiukkaspitoisuudet (PM_{2,5})

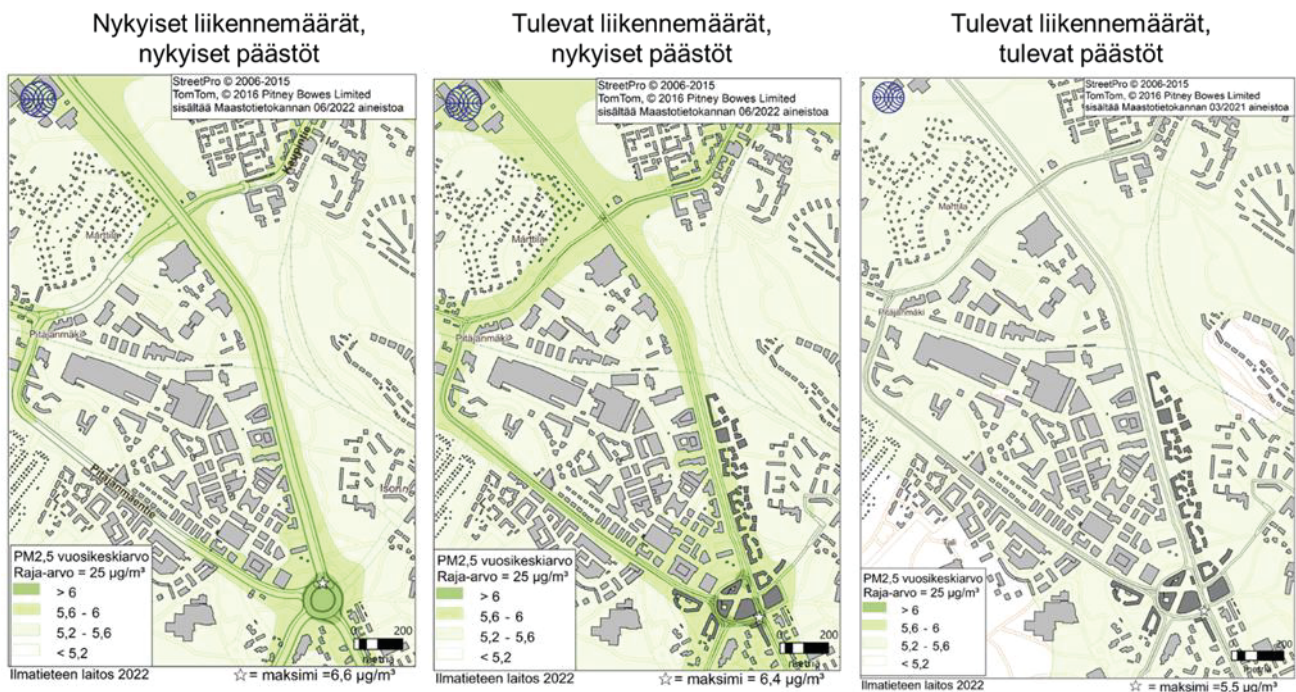
3.2.1 Vuosiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet

Kuvassa 17 on esitetty liikenteen päästöjen leviämismallilla mallinnettu autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama pienhiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollisten pitoisuuksien aluejakauma hengityskorkeudella. Leviämismallilla lasketut liikenteen päästöjen aiheuttamat pienhiukkasten pitoisuudet alittavat selkeästi vuosiraja-arvon ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) kaikissa kolmessa tarkasteluvaihtoehdossa. Pitoisuustasot nykyisillä päästöillä, sekä nykyisillä että tulevilla liikennemäärillä, ovat noin $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Haagan liikenneympyrässä, liikenneympyrän ja Vihdintien läheisyydessä $5,6\text{--}6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja etäisyyden kasvaessa Vihdintiestä $5,2\text{--}5,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (kuva 17 vasen ja keskimäinen kuva). Tulevilla päästöillä pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus laskee ollen $5,2\text{--}5,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tarkastelualueella.

HSY:n jatkuvatoimisten pienhiukkasmittausten vuosikeskiarvo Helsingin alueella vaihtelivat vuosien 2017–2019 välillä $5\text{--}8,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Malkki ym., 2018; Ohtonen ym., 2019; Korhonen ym., 2020). Pitoisuustasot osuvat samaan suuruusluokkaan kuin nykyisillä päästöillä mallinnetut pienhiukkasten vuosiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet (Kuva 17 vasen ja keskimäinen kuva). Matalin

vuosikeskiarvo mitattiin Kallion kaupunkitausta-aseamalla ja korkein Mannerheimintien vilkasliikenteisessä katuympäristössä.

Kaukokulkeumalla eli alueelle muualta kulkeutuneilla hiukkasilla on merkittävä vaikutus pienhiukkasten pitoisuustasoihin Suomessa ja korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet havaitaan yleensä kaukokulkeumaepisodien aikana. Myös pääkaupunkiseudulla suurin vaikutus pienhiukkaspitoisuustasoihin on alueellisella taustapitoisuudella, joka oli tarkasteluvuosina keskimäärin $5,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Samaa taustapitoisuutta on käytetty myös tulevaisuuden mallinnoissa. Muita pienhiukkaspitoisuuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat liikenteen pakokaasujen lisäksi, pientalojen tulisijojen käyttö ja hetkellisesti ilotulitukset.

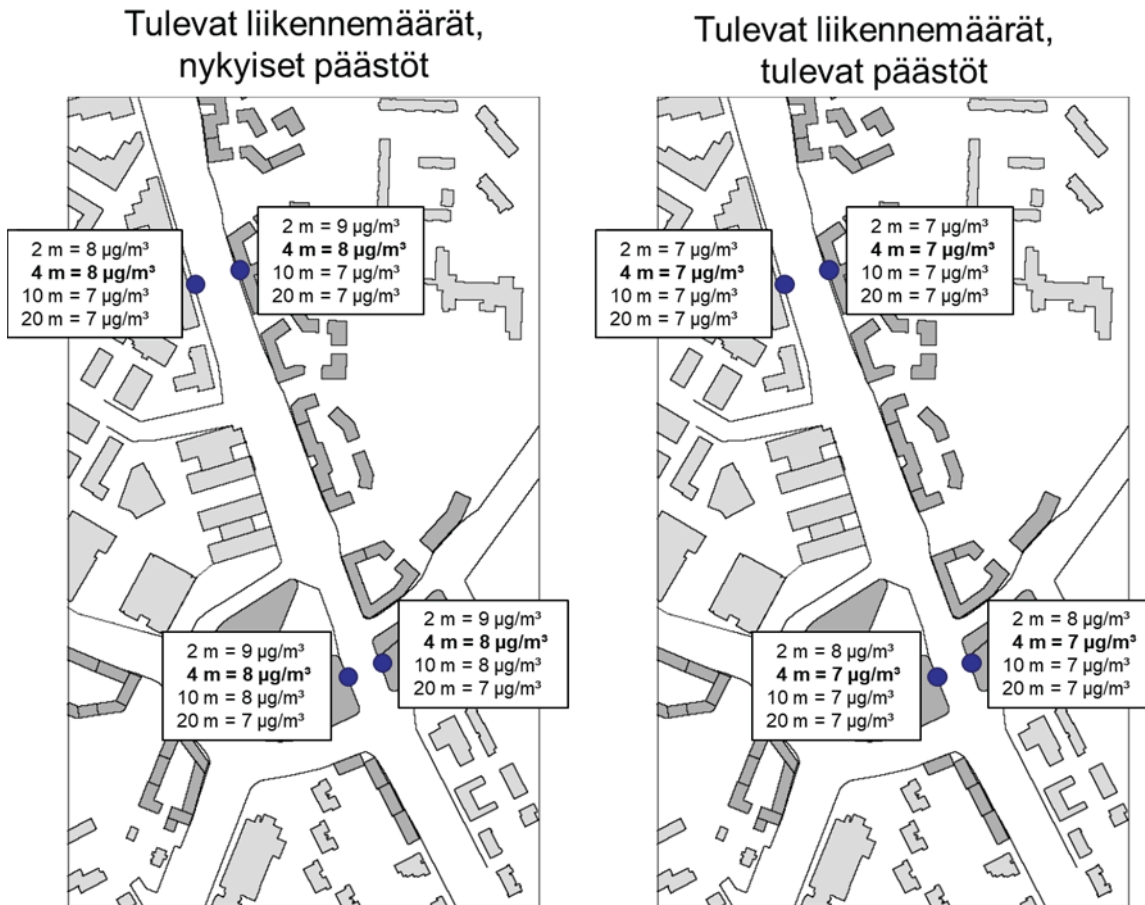


Kuva 17. Leviämislaskelmin saatu lähiliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama pienhiukkasten ($\text{PM}_{2,5}$) vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus.

Kuvassa 18 on esitetty katukuilumallilla mallinnettu autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama pienhiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus neljässä pisteessä eri korkeuksilla. Katukuilumallinnuksella ei ole mallinnettu nykytilannetta, sillä alueella ei ole nykyisellä maankäytöllä katukuilun määritelmän täyttävää aluetta. Myös katukuilumallinnuksella mallinnetut pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat selkeästi vuosiraja-arvon ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sekä nykyisillä että tulevilla päästöillä. Pitoisuudet vastaavat nykytilanteessa neljän metrin korkeudella 32–34 % vuosiraja-arvosta. Tulevassa tilanteessa pitoisuudet laskevat ja vastaavat 28–29 % vuosiraja-arvosta. Nykytilanteen ja tulevan tilanteen mallinnustuloksissa välinen ero jää melko pieneksi ($0,8\text{--}1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) neljän metrin korkeudella, sillä nykytilanteen ja tulevan tilanteen mallinnuksessa on käytetty samaa nykyistä taustapitoisuutta pienhiukkasille, joka vaikuttaa pitoisuustasoihin eniten.

HSY on jatkuvatoimisesti mitannut pienhiukkaspitoisuutta Helsingissä Mäkelänkadulla ja Mannerheimintiellä katukuilumaisissa ympäristöissä. Vuosien 2017–2019 välillä pienhiukkasten vuosipitoisuudet vaihtelivat näissä kahdessa mittauspisteessä välillä $6,1\text{--}8,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Malkki ym., 2018; Ohtonen ym., 2019; Korhonen ym., 2020). Nämä neljän metrin korkeudella suoritettavat mittaukset vastaavat

pitoisuustasoiltaan melko hyvin nykyisillä päästöillä mallinnettuja pitoisuuksia Haagan liikenneympyrän kohdalla ($8 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



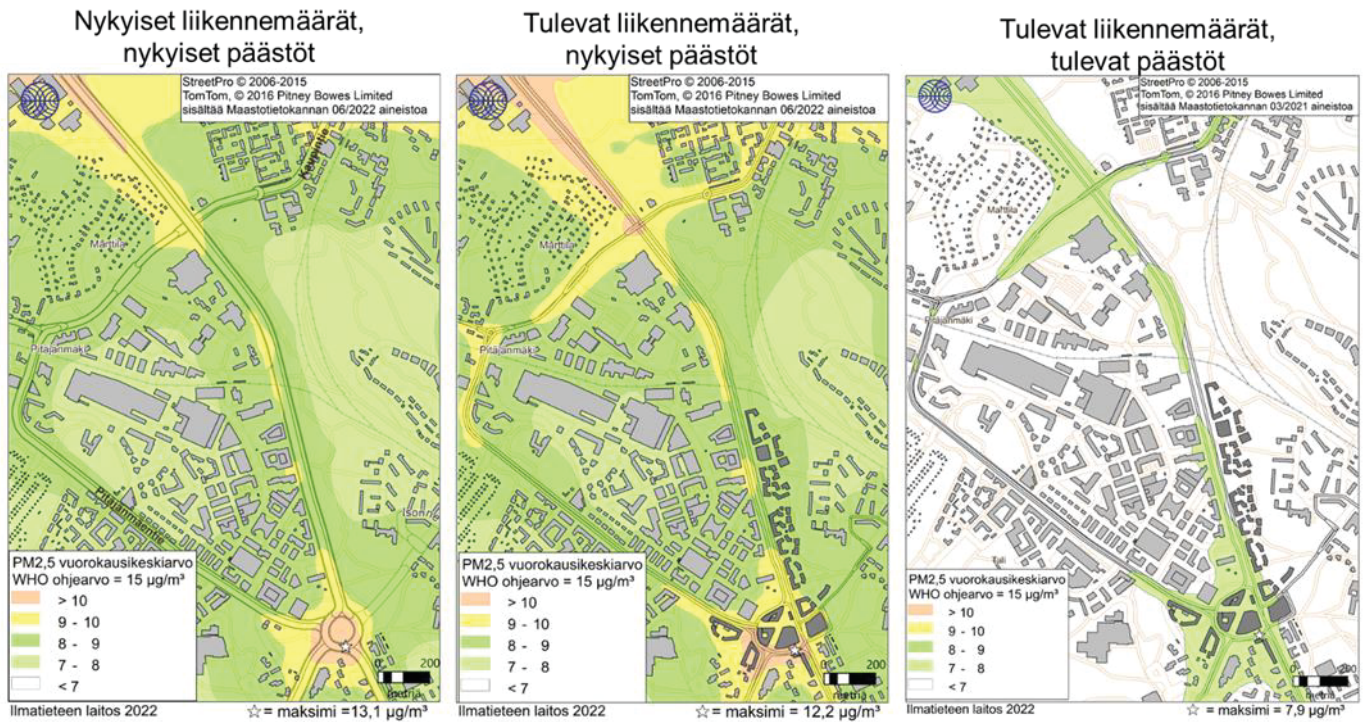
Kuva 18. Pienhiukkasten ($\text{PM}_{2.5}$) vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus. Neljän metrin korkeudella oleva mallinnus on tummennettu, sillä se vastaa tyypillistä mittauskorkeutta.

3.2.2 WHO:n vuorokausiohjeeseen verrannolliset pitoisuudet

WHO:n ohjeet ovat terveysperusteisia suosituksia, joita voidaan käyttää suunnittelun tukena. Pitoisuuksia verrataan WHO:n vuorokausiohjeeseen, koska pienhiukkasten lyhytaikaispitoisuuksille ei Suomessa ole voimassa olevaa raja- tai ohjearvoa.

Kuvassa 19 on esitetty liikenteen päästöjen leviämismallilla mallinnettu autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama pienhiukkasten vuorokausiohjeeseen verrannollinen pitoisuuksien aluejakauma hengityskorkeudella. Leviämismalli ei huomioi kaukokulkeumaa, joten mitatut pitoisuudet voivat olla korkeampia kuin tässä mallinnetut. Leviämismallilla lasketut liikenteen päästöjen aiheuttamat pienhiukkasten pitoisuudet alittavat WHO:n vuorokausiohjeen ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) kaikissa kolmessa eri tutkitussa tarkasteluvaihtoehdossa. Pitoisuustasot nykyisillä päästöillä, sekä nykyisillä että tulevilla liikennemäärillä, ovat $9\text{--}13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Haagan liikenneympyrän läheisyydessä sekä Vihdintien ja Kaupintien risteyksessä. Vihdintiellä pitoisuudet vaihtelevat $8\text{--}10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ välillä ja etäisyyden kasvaessa Vihdintiestä $7\text{--}8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (kuva 19 vasen ja keskimmäinen kuva). Pienhiukkaspitoisuudet laskevat tulevilla päästöillä. Kaava-alueella pitoisuudet ovat tulevaisuudessa pääasiassa $7\text{--}8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Haagan liikenneympyrän ja Vihdintien läheisyydessä. Etäisyyden kasvaessa vilkasliikenteisistä teistä pitoisuudet voivat jäädä alle $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

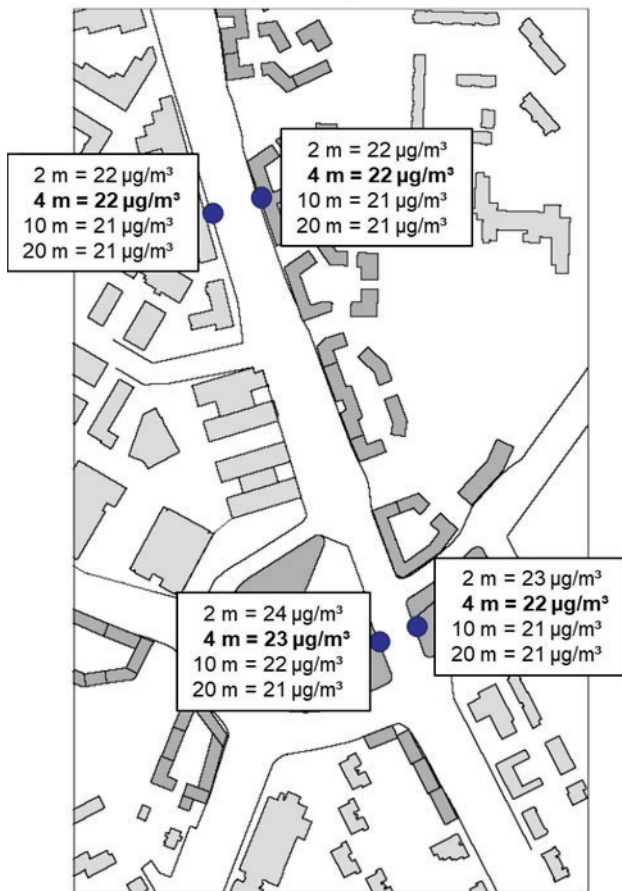
Autoliikenteen päästöjen vähenemisen vaikutus tulee paremmin esiin vuorokausikeskiarvoja tarkastellessa kuin vuosikeskiarvoista. Liikenteen päästöt voivat aiheuttaa lyhytkestoisempia episoditilanteita, kun meteorologinen tilanne on paikallisesti päästöjen laimenemisen ja sekoittumisen kannalta epäedullinen. Vuosikeskiarvo kuvastaa pitoisuustilannetta pitkällä aikajaksolla.



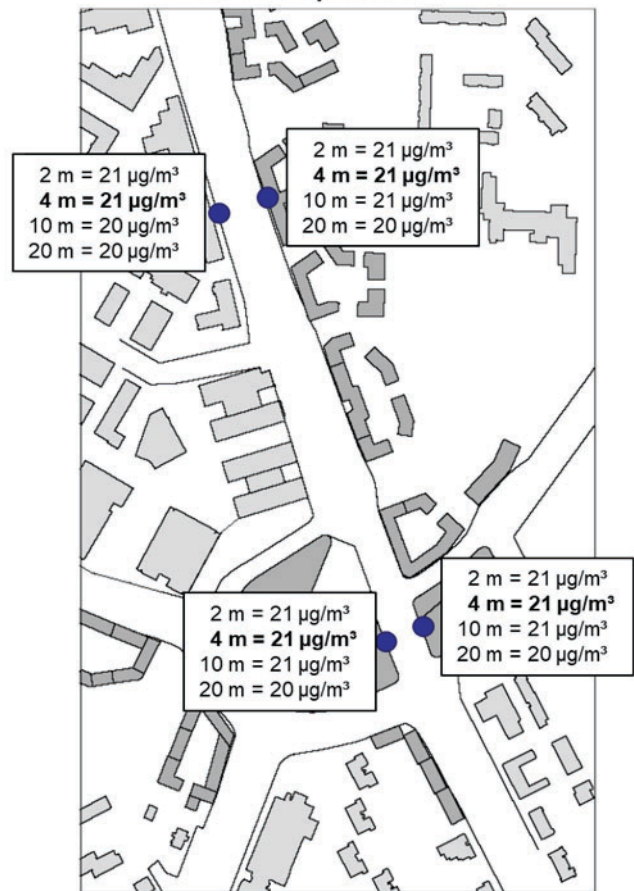
Kuva 19. Leviämislaskelmin saatu lähiliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama pienhiukkasten (PM_{2,5}) WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus.

Kuvassa 20 on esitetty katukuilumallilla mallinnettu autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus neljässä pisteessä eri korkeuksilla. Katukuilumallinnuksella ei ole mallinnettu nykytilannetta, sillä alueella ei ole nykyisellä maankäytöllä katukuilun määritelmän täyttävää aluetta. Katukuilumallinnuksella mallinnetut pienhiukkasten vuorokausikeskiarvot voivat molemmissa tilanteissa ylittää WHO:n vuorokausiohjearvon (15 µg/m³) kaikilla mallinnuskorkeuksilla. Pienhiukkasten vuorokausipitoisuudet vaihtelevat neljän metrin korkeudella välillä 22–23 µg/m³. Pitoisuudet laskevat hieman korkeammalle noudettaessa. Tulevassa tilanteessa vuorokausikeskiarvo on korkeimmillaan noin 21 µg/m³ neljän metrin korkeudella. Hetkelliset pienhiukkaspitoisuudet voivat nousta vuosikeskiarvopitoisuuksia huomattavasti korkeammiksi epäedullisissa sääolosuhteissa.

Tulevat liikennemäärät, nykyiset päästöt



Tulevat liikennemäärät, tulevat päästöt



Kuva 20. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) WHO:n vuorokausiohjearvoon verrannollinen pitoisuus. Neljän metrin korkeudella oleva mallinnus on tummennettu, sillä se vastaa tyypillistä mittauskorkeutta.

3.2.3 Johtopäätökset

Pienhiukkasten pitoisuudet alittavat vuosiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet sekä liikenteen leviämismallin ja katukuilumallinnuksen tulosten perusteella koko tarkastelualueella. Liikenteen leviämismallin huonoimmassa tarkasteluvaihtoehdossa (nykyiset liikennemäärät ja nykypäästöt) pitoisuudet ovat korkeimmillaan 6,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (26 % vuosiraja-arvosta) ja parhaassa tilanteessa (tulevat liikennemäärät ja tulevat päästöt) 5,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (22 % vuosiraja-arvosta). Katukuilumallinnusmallinnuksen tulosten mukaan nykytilanteessa pienhiukkaspitoisuudet ovat korkeimmillaan 8,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (34 % vuosiraja-arvosta) ja tulevassa tilanteessa 7,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (29 % vuosiraja-arvosta) neljän metrin korkeudella. Pitoisuudet laskevat hieman korkeuden noustessa. Ilmanlaatu maankäytön suunnittelussa -oppaassa asuntojen minimietäisyys liikenneväylästä on määritetty niin, että asuntojen kohdalla pienhiukkasten vuosikeskiarvo on maksimissaan 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO:n aiempi ohjearvo pienhiukkasten vuosipitoisuudelle). Sekä liikenteen päästöjen leviämismallin ja katukuilumallinnuksen perusteella ELY-oppaan suositus pienhiukkasten vuosikeskiarvolle alittuu kaikkialla läntisen bulevardikaupungin Vihdintien alueella.

Liikenteen päästöjen leviämismallinnuksen perusteella pienhiukkasten vuorokausikeskiarvopitoisuudet alittavat WHO:n ohjearvon (15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) kaikissa kolmessa eri tarkasteluvaihtoehdossa. Leviämismallinnuksella saadut pitoisuudet laskevat merkittävästi tulevilla päästöillä mallinnettaessa.

Katukuilumallinnuksen tulosten perusteella taas pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjeeseen verrannolliset pitoisuudet ylittyvät Haagan liikenne ympyrän ja Vihdintien katukuilumaisissa ympäristöissä sekä nykyisillä että tulevilla päästöillä mallinnettuna kaikilla mallinnuskorkeuksilla. WHO:n ohjeet ovat terveysperusteisia suosituksia, joita voidaan käyttää suunnittelun tukena.

Liikenteen päästöjen leviämismallin ja katukuilumallin tulosten välillä voi tulla suuriakin eroja. Erot johtuvat siitä, että kaupunkisuunnittelun ilmanlaatuarvioiden tukena käytetään laajasti Gaussilaisia malleja, jotka kuvaavat liikenteen päästöjen leviämistä viivamaisista lähteistä avoimilla alueilla. Malli huomio rajallisesti yksittäisen rakennuksen tai maastonmuotojen vaikutusta päästöjen leviämiseen. Kerrostalojen reunustamalla katuosuuksilla käytetään katukuilumallia, jotka huomioivat rakennusten vaikutuksen liikenteen päästöjen leviämiseen. Katua reunustava pitkä kerrostalo vähentää ilman epäpuhtauksien leviämistä rakennusten taakse ja sisäpihoille, mutta aiheuttavat korkeammat pitoisuudet rakennusten tienpuolisille reunoille (Kaski ym., 2020). Katukuilumallin antamat tulokset kuvaavat nimenomaan katukuilumaisten alueiden epäpuhtauspitoisuuksia rakennusten kadun puoleisilla julkisivuilla.

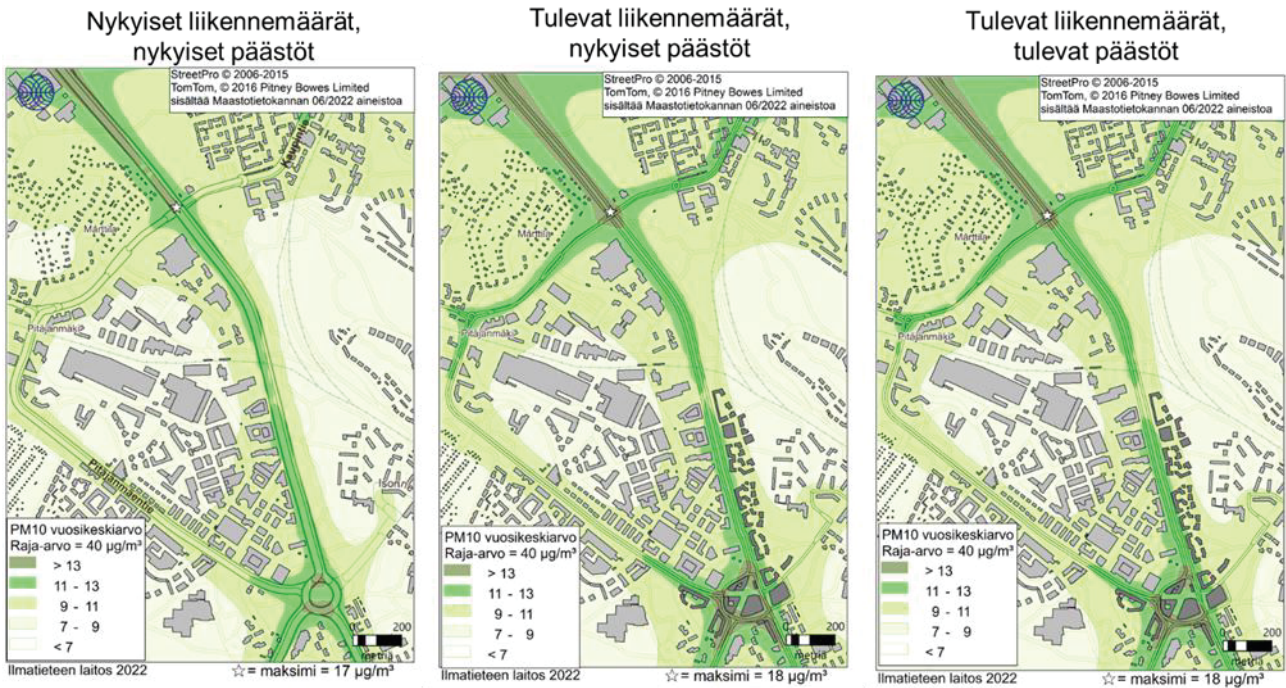
Vihdintien itäpuolella sijaitsee Haagaan kuuluva asuinalue, joka kattaa Isonnevantien, Isonnevankujan, Riistavuorenkujan, Angervotien ja Seljätien. Vihdintien länsipuolella sijaitsee Pitäjänmäkeen kuuluva alue, missä sijaitsee asuintaloja sekä yrityksiä. Molemmilla alueilla pienhiukkasten vuosipitoisuudet pysyvät samalla tasolla liikenteen päästöjen leviämismallinnuksen tulosten perusteella nykyisillä ja tulevilla päästöillä mallinnetun tilanteen välillä (5,2–5,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Vuorokausiohjeeseen verrannolliset pitoisuudet sen sijaan laskevat nykytilanteesta (7–9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) tulevilla päästöillä mallinnettuun tilanteeseen (alle 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

3.3 Hengitettävät hiukkaspitoisuudet (PM_{10})

3.3.1 Vuosiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet

Kuvassa 21 on esitetty liikenteen päästöjen leviämismallilla mallinnettu autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuuksien aluejakauma hengityskorkeudella. Leviämismallilla lasketut liikenteen päästöjen aiheuttamat hengitettävien hiukkasten pitoisuudet alittavat selkeästi vuosiraja-arvon (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) kaikissa kolmessa eri tutkitussa tarkasteluvaihtoehdossa. Korkeimmat pitoisuudet muodostuvat kaikissa tarkasteluvaihtoehdoissa Haagan liikenneympyrän läheisyyteen sekä Vihdintien ja Kaupintien risteykseen ja sen pohjoispuolelle ja osuvat välille 13–18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Vihdintien läheisyydessä pitoisuudet ovat 11–13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Etäisyyden kasvaessa Vihdintieltä pitoisuudet laskee alle 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet eivät mallinnustulosten mukaan laske typpidioksidin ja pienhiukkasten tapaan tulevilla päästöillä, koska puhtaammilla moottoritekniikoilla ei ole vaikutusta katupölypäästön muodostumiseen.

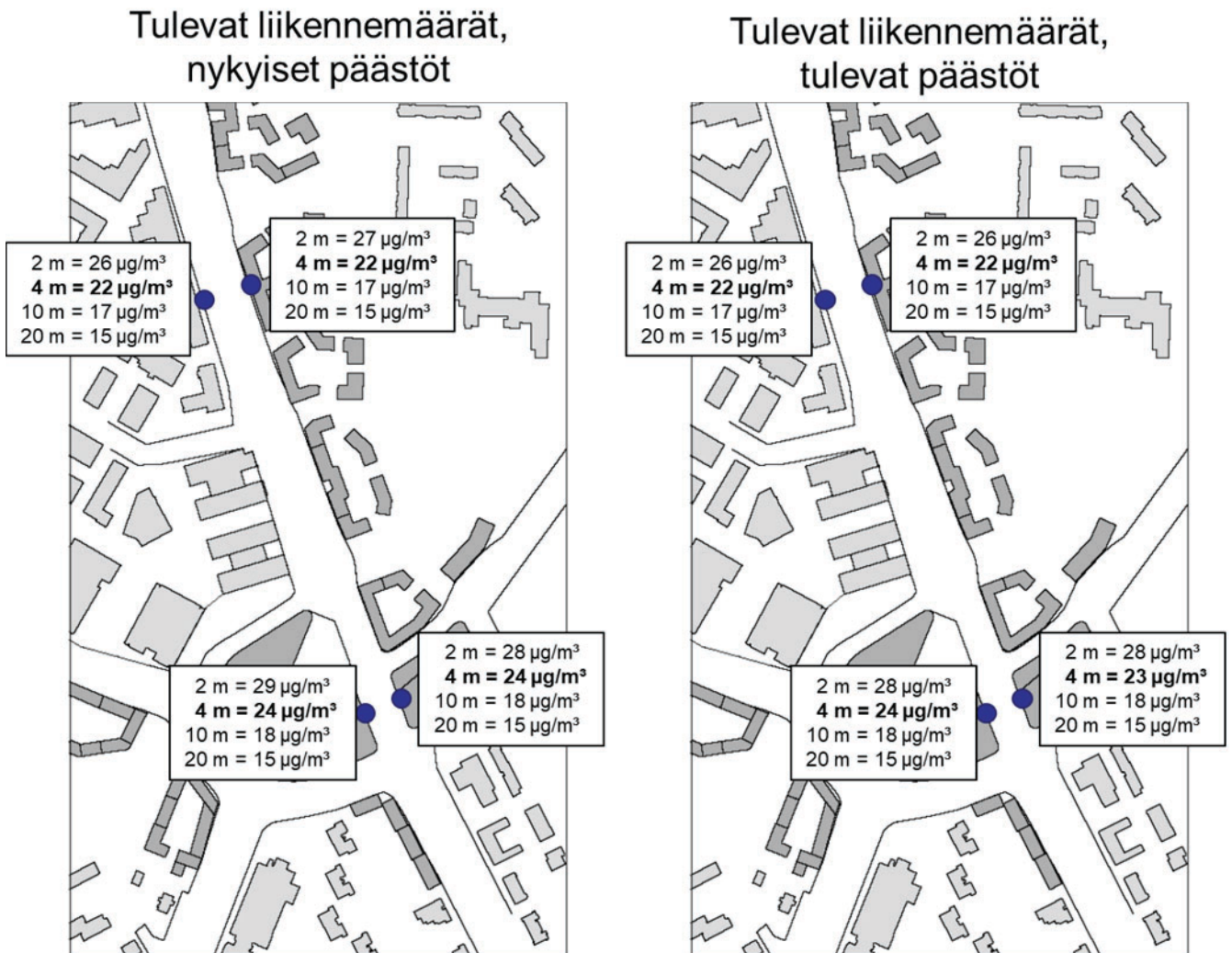
HSY:n jatkuvatoimisten hengitettävien hiukkasten mittausten vuosikeskiarvo Helsingin alueella vaihtelivat vuosien 2017–2019 välillä 11–24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Malkki ym., 2018; Ohtonen ym., 2019; Korhonen ym., 2020). Pitoisuustasot osuvat samaan suuruusluokkaan kuin nykyisillä ja tulevilla päästöillä mallinnetut hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet. Matalin vuosikeskiarvo mitattiin Kallion kaupunkitausta-asemalla ja korkein Mannerheimintien liikenneasemalla.



Kuva 21. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus.

Kuvassa 22 on esitetty katukuilumallilla mallinnettu autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttama hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus neljässä pisteessä eri korkeuksilla. Katukuilumallinnuksella ei ole mallinnettu nykytilannetta, sillä alueella ei ole nykyisellä maankäytöllä katukuilun määritelmän täyttävää aluetta. Myös katukuilumallinnuksella mallinnetut hengitettävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudet alittavat selkeästi vuosiraja-arvon (40 µg/m³) sekä nykyisillä että tulevilla päästöillä. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat lähes samansuuruisia nykyisessä ja tulevassa tilanteessa. Pitoisuudet vastaavat nykytilanteessa neljän metrin korkeudella 55–61 % vuosiraja-arvosta. Tulevassa tilanteessa pitoisuudet vastaavat 54–59 % vuosiraja-arvosta.

HSY:n jatkuvatoimisten mittausten mukaan hengitettävien hiukkasten vuosiraja-arvoon verrannolliset pitoisuuksien maksimit vaihtelivat katukuilumaisissa ympäristössä Mannerheimintielle välillä 19–24 µg/m³ vuosina 2017–2019 (Malkki ym., 2018; Ohtonen ym., 2019; Korhonen ym., 2020).



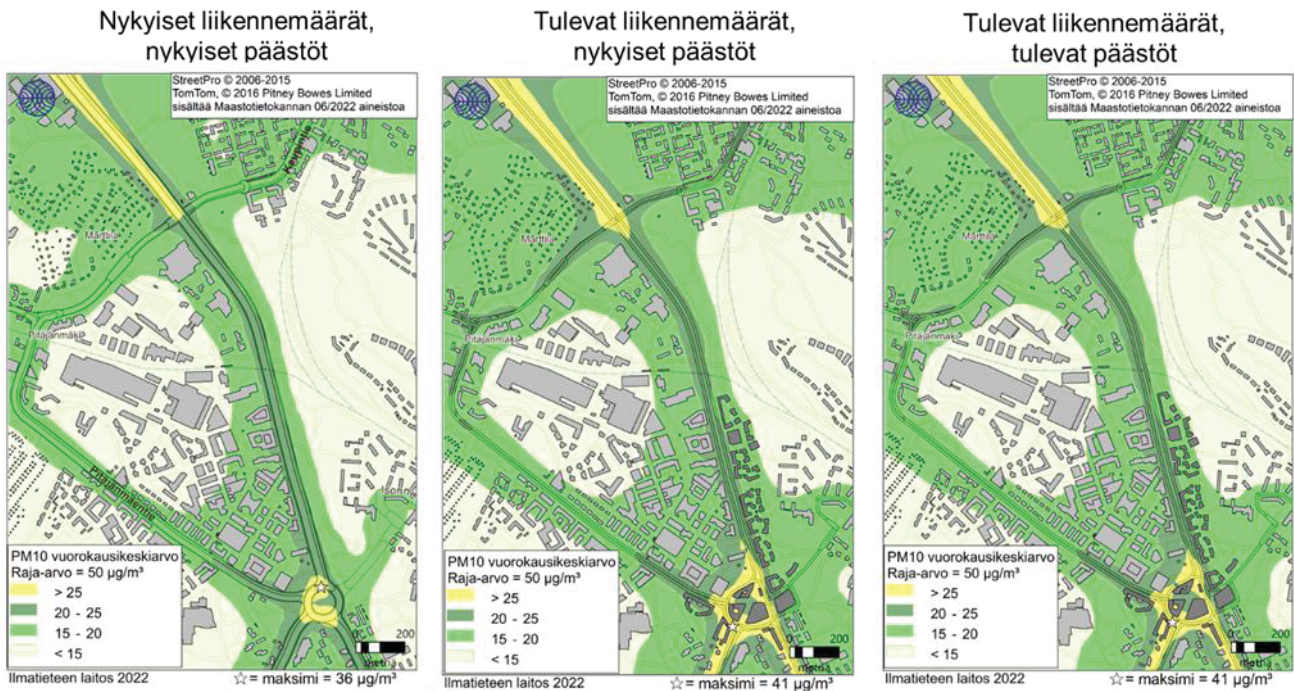
Kuva 22. Hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) vuosiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus. Neljän metrin korkeudella oleva mallinnus on tummennettu, sillä se vastaa tyypillistä mittauskorkeutta.

3.3.2 Vuorokausiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet

Kuvassa 23 on esitetty liikenteen päästöjen leviämismallilla mallinnettu autoliikenteen päästöjen ja taustapitoisuuden yhteisvaikutuksen aiheuttamat hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannollisten pitoisuuksien aluejakauma hengityskorkeudella. Leviämismallilla lasketut liikenteen päästöjen aiheuttamat hengitettävien hiukkasten pitoisuudet alittavat selvästi vuorokausiraja-arvon (50 µg/m³) kaikissa kolmessa eri tutkitussa tarkasteluvaihtoehdossa. Pitoisuustasot Haagan liikenneympyrän läheisyydessä sekä Kaupintien ja Vihdintien risteyksen pohjoispuolelle ovat 25–41 µg/m³ kaikissa tarkasteluvaihtoehdoissa. Vihdintiellä pitoisuudet vaihtelevat 20–25 µg/m³ välillä ja etäisyyden kasvaessa Vihdintiestä pitoisuudet laskevat alle 20 µg/m³.

HSY:n jatkuvatoimisten mittausten mukaan hengitettävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannolliset pitoisuuksien maksimit vaihtelivat Helsingin mittausasemilla välillä 17–45 µg/m³ vuosina 2017–2019 (Malkki ym., 2018; Ohtonen ym., 2019; Korhonen ym., 2020). Pitoisuustasot osuvat hyvin yhteen nykyisillä päästöillä mallinnettujen tulosten kanssa (Kuva 21 vasen ja keskimäinen

kuva). Matalin vuorokausikeskiarvo mitattiin Kallion kaupunkitausta-aseamalla ja korkein Mannerheimintien liikenneasemalla.



Kuva 23. Hengittävien hiukkasten (PM₁₀) vuorokausiraja-arvoon verrannollinen pitoisuus.

3.3.3 Johtopäätökset

Hengittävien hiukkasten pitoisuudet alittavat vuosiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet sekä liikenteen leviämismallin ja katukuilumallinnuksen tulosten perusteella koko tarkastelualueella. Nykyisillä liikennemäärillä mallinnettaessa pitoisuudet ovat korkeimmillaan 17 µg/m³ (43 % vuosiraja-arvosta) ja tulevilla liikennemäärillä 18 µg/m³ (45 % vuosiraja-arvosta). Katukuilumallinnusmallinnuksen tulosten mukaan nykytilanteessa hengittävien hiukkasten pitoisuudet ovat korkeimmillaan 24,2 µg/m³ (61 % vuosiraja-arvosta) ja tulevassa tilanteessa 23,7 µg/m³ (59 % vuosiraja-arvosta) liikenneympyrässä neljän metrin korkeudella. Pitoisuudet laskevat korkeuden ja etäisyyden kasvaessa väylästä.

Hengittävien hiukkasten vuorokausiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet alittavat selvästi vuorokausiraja-arvon (50 µg/m³) kaikissa kolmessa eri tutkitussa tarkasteluvaihtoehdossa. Pitoisuudet ovat korkeimmillaan 41 µg/m³ (82 % vuosiraja-arvosta) tulevilla liikennemäärillä mallintaessa ja 36 µg/m³ (72 % vuosiraja-arvosta) nykyisillä liikennemäärillä mallintaessa.

Hengittävien hiukkasten osalta ei ole esitetty muita lyhytaikaisten pitoisuuksien leviämisen- ja katukuilumallinnuksen tuloskuvia, sillä katupölypäästömalli FORE voi yliarvioida hetkellisiä pitoisuuksia kuten vuorokausikeskiarvoja. Mallissa ei ole huomioitu katujen kunnossapitoon liittyviä toimenpiteitä, kuten katujen pesemistä tai pölynsidontaa, joilla on merkittävä vaikutus pölypäästöön.

Hengitettävät hiukkaspitoisuudet voivat nousta korkeiksi erityisesti keväisin, kun talvella syntynyttä katupölyä pääsee ilmaan katujen kuivuessa. Tällöin pitoisuudet voivat nousta jopa kymmenkertaisiksi keskimääräiseen tasoon verrattuna.

Suuri osa hengitettävistä hiukkasista on peräisin autojen renkaiden jauhamasta asfaltista ja hiekoitussepeleistä. Nastarenkaat kuluttavat enemmän asfaltin pintaa kuin kitkarenkaat. Katupölymallissa nastarenkaiden osuuden on oletettu kasvavan lineaarisesti nolasta maksimiin loka-marraskuun aikana ja vastaavasti vähenevän lineaarisesti kohti nollaa huhtikuun aikana. Suomen nastarenkaiden osuudeksi on arvoitu 80 % marras-huhtikuussa.

Jotta tulevaisuudessakin Läntisen bulevardikaupungin Vihdintien alueella hengittävien hiukkasten lyhytaikaispitoisuudet pysyisivät alle vuorokausiraja- ja ohjearvon, on tärkeää jatkaa oikea-aikaisia ja tehokkaita kadun puhdistustoimenpiteitä erityisesti keväisin katupölyaikaan. Pölyämistä voidaan hillitä tehokkaasti katujen kevätsiivouksella ja kastelemalla katuja laimealla suolaliuoksella.

Vihdintien itäpuolella sijaitsee Haagaan kuuluva asuinalue, joka kattaa Isonnevantien, Isonnevankujan, Riistavuorenkujan, Angervotien ja Seljatien. Vihdintien länsipuolella sijaitsee Pitäjänmäkeen kuuluva alue, missä sijaitsee asuintaloja sekä yrityksiä. Molemmilla alueilla hengitettävien hiukkasten vuosipitoisuudet pysyvät samalla tasolla liikenteen päästöjen leviämismallinnuksen tulosten perusteella nykyisillä ja tulevilla päästöillä mallinnetun tilanteen välillä (7–11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Myös vuorokausiraja-arvoon verrannolliset pitoisuudet pysyvät samalla tasolla (alle 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) nykyisillä ja tulevilla päästöillä mallintaessa.

4 SUOSITUKSET MAANKÄYTÖN OSALTA

Läntisen bulevardikaupungin Vihdintien alueella arvioidaan typpidioksidin, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien jäävän alle raja-arvojen. Suunnittelua ohjaavien ohjearvojen arvioidaan alittuvan vuoden 2030 tilanteessa ajoneuvojen suorien pakokaasupäästöjen vähentyessä.

Liikenteen ja maankäytön muutokset suunnittelualueella eivät merkittävästi vaikuta ilmanlaatuun nykyisillä asuinalueilla. Paikoin uusi maankäyttö estää epäpuhtauksien leviämistä laajemmalle ja voi jopa parantaa ilmanlaatua ympäristössä olemassa olevilla asuinalueilla. Joidenkin asuinrakennusten kohdalla pitoisuudet voivat hieman kasvaa tulevassa tilanteessa nykypäästöillä niiden katujen varsilla, joilla liikennemäärien arvioidaan hieman lisääntyvän. Ilmanlaadun raja- tai ohjearvot eivät kuitenkaan ylity suunnittelualueen ulkopuolelle sijoittuvien olemassa olevien asuinrakennusten kohdalla tulevassa tilanteessa, vaikka päästöt pysyisivät ennallaan.

Hengitettävien hiukkasten mahdollisesti lyhytaikaisesti korkeiksi nousevat pitoisuudet ja pienhiukkasten WHO:n vuorokausiohjearvon ylitys olisi hyvä huomioida suunnittelussa siten, että altistumista pyrittäisiin ehkäisemään haitallisten terveysvaikutusten minimoimiseksi, vaikka voimassa olevat raja- ja ohjearvot eivät ylittyisikään. Korkeimmat ilman epäpuhtauspitoisuudet muodostuvat Haagan liikenneympyrän alueelle kapeille katukuilumaisille alueille Vihdintiellä ja Länsiympyrässä. Katuja reunustavien asuinrakennusten tuloilma on suositeltavaa ottaa kattotasolta tai sisäpihan puolelta sekä varustaa tehokkaalla suodatuksella, jotta liikenteen epäpuhtauksien aiheuttamat pitoisuudet sisäilmassa olisivat mahdollisimman pieniä. Oleskelupihat ja leikkipaikat on myös hyvä sijoittaa rakennusten suojaan kauemmas vilkasliikenteisten katujen aukkopaikoista.

Suunnittelualueelle sijoittuvat mahdolliset herkät kohteet kuten päiväkodit tulee sijoittaa mahdollisimman etäälle vilkkaasta kadusta eikä niitä tule sijoittaa katukuilujen puolelle. Ilmanlaatuopas antaa maankäytön suunnittelun tueksi minimietäisyydet erikseen myös herkille kohteille (päiväkodit, koulut, leikkipihat ja vanhusten palvelut) (OSA II Kappale 5.5). Haagan liikenneympyrän kohdalla herkät kohteet tulisi sijoittaa vähintään 40 metrin etäisyydelle kadusta, Eliel Saarisen tiellä etäisyyden tulisi olla vähintään 10 metriä, Vihdintiellä Haagan liikenneympyrän ja Karvaamokujan välissä 60 metriä ja Karvaamokujan pohjoispuolella 40 metriä. Mikäli minimietäisyyksiä ei ole mahdollista toteuttaa, tulisi suunniteltuihin kohteisiin järjestää raittiin ilman sisäänotto korkeammalta ja etäämmältä väylästä sekä tehokas tuloilman suodatus. Esimerkiksi päiväkodeissa ja alakouluissa vietetään paljon aikaa ulkona myös ruuhka-aikoina, minkä vuoksi pihalueet tulisi sijoittaa mahdollisimman etäälle tiestä.

Jotta tulevaisuudessakin Läntisen bulevardikaupungin Vihdintien alueella hengitettävien hiukkasten lyhytaikaiset pitoisuudet pysyisivät alle raja- ja ohjearvojen, on tärkeä jatkaa oikea-aikaisia ja tehokkaita katujen puhdistustoimenpiteitä erityisesti keväisin katupölyaikaan. Pölyämistä voidaan hillitä tehokkaasti katujen kevät siivouksella ja kastelemalla katuja laimealla suolaliuoksella.

5 TAUSTATIETOA ILMANLAADUSTA

5.1 Ilmansaasteet

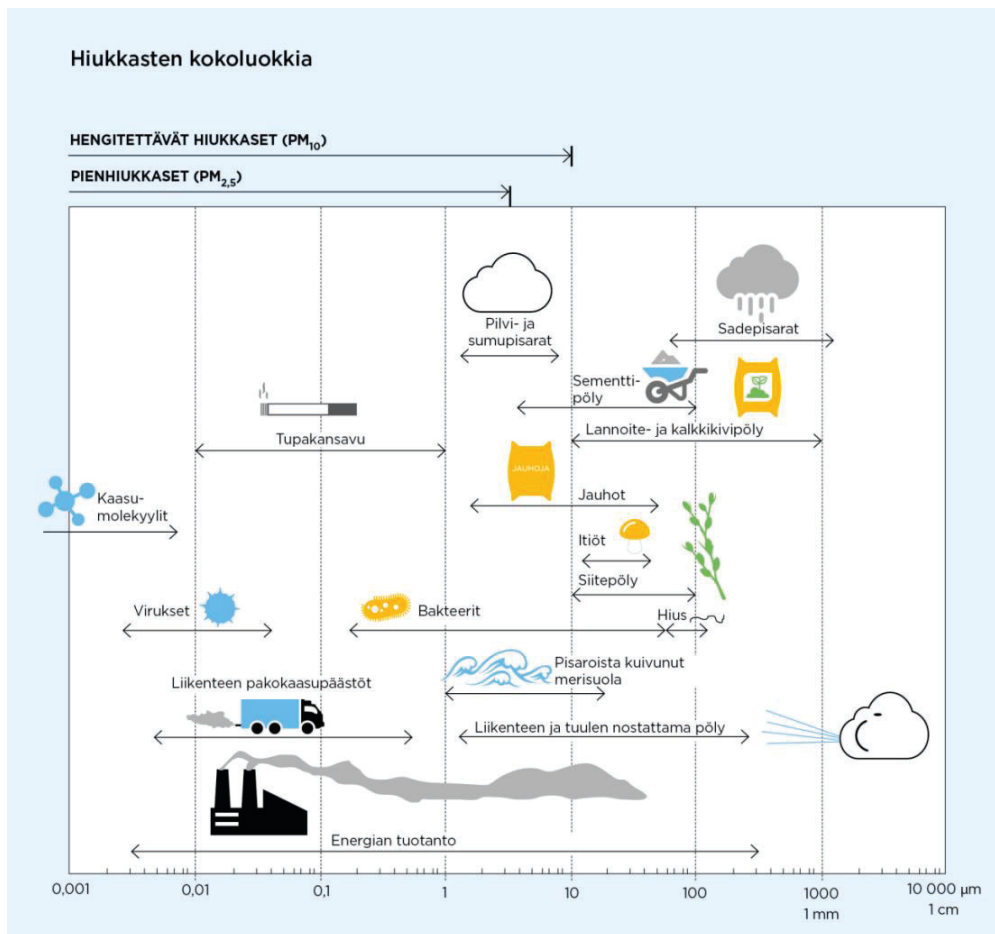
5.1.1 Typpidioksidi (NO₂)

Typpidioksidia pääsee ilmaan kaikessa palamisessa. Suomessa typenoksidien suurimmat päästölähteet ovat energiantuotanto, teollisuus ja liikenne. Kaupunkien ilmanlaatuun liikenteellä on päästöosuuttaan suurempi vaikutus, koska liikenteen päästö tapahtuu maanpinnan tasolle suoraan hengitysilmaan. Typpidioksidi on ongelmallisin suurien kaupunkien keskustoissa. Niissä typpidioksidipitoisuudet tyypillisesti kohoavat ruuhkahuippujen myötä. Korkeimmat pitoisuudet kertyvät katukuiluihin, joissa saasteiden laimeneminen on heikkoa. Pahimmat tilanteet syntyvät usein tyyninä talvipäivinä, jolloin myös energiantuotannon päästöt ovat suurimmillaan. Typpidioksidipäästöt ovat hiljalleen laskeneet erityisesti katalysaattorilla varustettujen autojen syrjäyttäessä vanhat mallit. Myös kaupunki-ilman typpidioksidipitoisuudet ovat laskeneet. Suurin osa autoliikenteen typenoksidipäästöistä vapautuu ilmaan typpimonoksidina, joka muuntuu ilmassa auringonvalon sekä otsonin vaikutuksesta ihmisten terveydelle haitallisemmaksi typpidioksidiksi, jolle on asetetty myös raja- ja ohejarvot. Tämä kemiallinen muutuntaprosessi onkin huomioitava liikenteen päästöjen leviämistä ja ilmanlaatuvaikutuksia mallinnettaessa.

5.1.2 Hiukkaset (PM_{2,5} ja PM₁₀)

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 puunpoltosta. 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 syväälle ihmisten hengitysteihin. Hengitettävien hiukkasten halkaisija on alle 10 mikrometriä (PM₁₀) ja pienhiukkasten halkaisija on alle 2,5 mikrometriä (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. Pienhiukkaset voivat kulkeutua ilmapvirtausten mukana jopa tuhansia kilometrejä. Hiukkasten kokoluokkia on havainnollistettu kuvassa 24.



Kuva 24. Hiukkasten kokoluokkia. Hiukkasten koko ilmaistaan halkaisijana mikrometreissä (µm). Mikro (µ) etuliite tarkoittaa miljoonasosaa. 1 µm on siten metrin miljoonasosa eli millimetrin tuhannesosa.

Suurimmat hiukkaspitoisuudet esiintyvät vilkkaasti liikennöidyissä kaupunkikeskustoissa. Suomessa hiukkaspitoisuudet kohoavat yleensä voimakkaasti keväällä maaliskuussa, kun maanpinnan kuivuessa tuuli ja liikenne nostattavat talven aikana kertynyttä katupölyä ilmaan. Hengittävien hiukkasten vuorokausipitoisuuksille asetettu raja-arvotaso (50 µg/m³) ylittyi mittausasemilla noin 0–25 kertaa vuoden aikana. Vuorokausiraja-arvotason ylityksiä saa olla mittausasemalla 35 kappaletta vuodessa, ennen kuin raja-arvo katsotaan ylittyneeksi. Hengittävien hiukkasten vuorokausipitoisuudelle annettu raja-arvo on ylittynyt vain Helsingin keskustassa, viimeksi vuonna 2006. Katupölyn muodostumiseen voidaan merkittävästi vaikuttaa oikea-aikaisella katujen siivouksella ja kunnossapidolla, pölynsidonnalla ja kitkarenkaiden käytön edistämällä.

Hengittävien hiukkasten vuosikeskiarvopitoisuudelle annettu raja-arvo 40 µg/m³ alittuu Suomessa. Hengittävien hiukkasten pitoisuuden vuosikeskiarvot ovat olleet viime vuosina Suomen kaupungeissa noin 5–20 µg/m³. Vilkkaimmilla teillä ja katukuiluosoilla vuosipitoisuudet voivat olla yli 20 µg/m³. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin 9–14 µg/m³ ja Pohjois-Suomessa noin 3–5 µg/m³ (Ilmatieteen laitos, 2021).

Pienhiukkaspitoisuuden vuosikeskiarvolle määritetty raja-arvo 25 µg/m³ alittuu selvästi kaikkialla pääkaupunkiseudulla. Viime vuosina pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus on ollut

pääkaupunkiseudun kaupunkialueilla noin 5–9 µg/m³. Pitoisuuserot erityyppisten mittausympäristöjen välillä ovat muutamia mikrogrammoja. Puhtailla tausta-alueilla vuosikeskiarvopitoisuudet ovat olleet Etelä-Suomessa noin 4–6 µg/m³ (*Ilmatieteen laitos, 2021*). Pienhiukkasten taustapitoisuudesta valtaosa on kaukokulkeutunutta hiukkasainesta. Kaukokulkeuma muodostaa huomattavan osan myös kaupunki-ilman pienhiukkaspitoisuuksista.

5.2 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. Terveystutkimusten tulosten perusteella WHO tiukensi vuonna 2021 ohjearvojaan, sillä etenkin pienhiukkasille ei löydetty pitoisuutta, jonka alapuolella terveyshaittoja ei esiintyisi. Muiden ilmansaasteiden vaikutukset ovat myös vakavia mutta niiden kansanterveydelliset haitat ovat pienhiukkasiin verrattuna vähäisempiä.

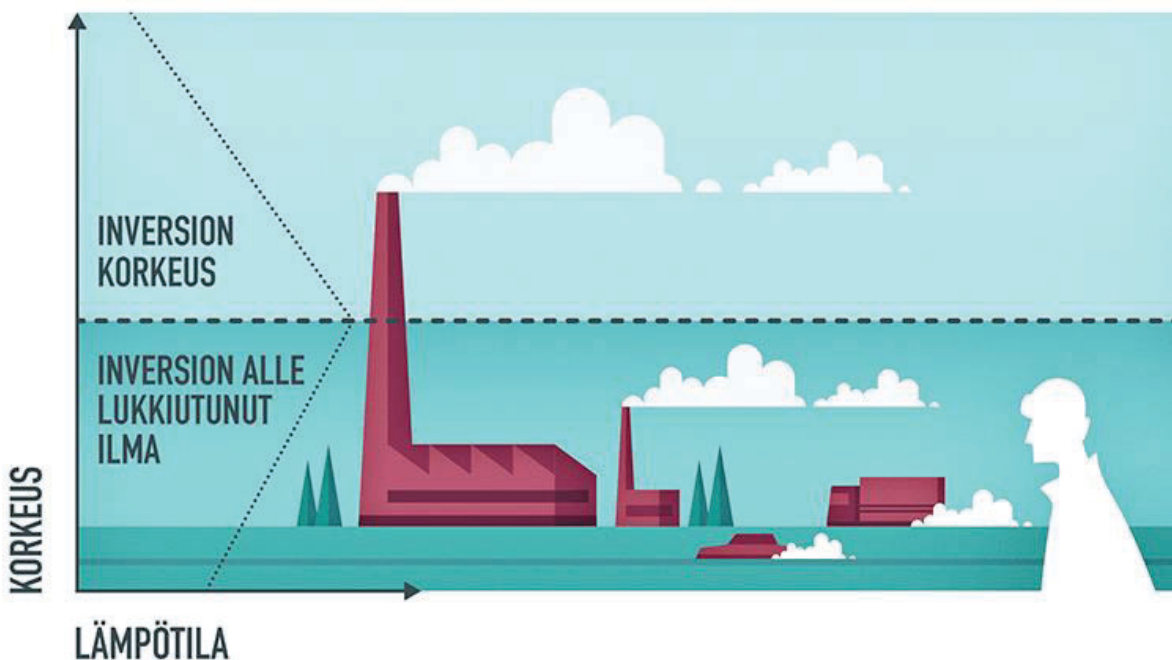
5.3 Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät

Ilmanlaatua heikentävien ilman epäpuhtauksien suurimpia päästölähteitä pääkaupunkiseudulla ovat liikenne, energiantuotanto ja asuinrakennusten puunpoltto. Ilmansaasteita kulkeutuu myös kaukokulkeumana maamme rajojen ulkopuolelta. Ilman epäpuhtauksien päästöistä suurin osa vapautuu ilmakehän alimpaan kerrokseen, jota kutsutaan ilmakehän rajakerrokseksi. Rajakerroksessa päästöt sekoittuvat ympäröivään ilmaan ja ilmansaasteiden pitoisuudet laimenevat. Päästöt voivat levitä liikkuvien ilmassojen 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), kuivalaskeumana erilaisille pinnoille tai kemiallisen muutunnan kautta.

Säätilanteet voivat vaikuttaa ilmanlaatuun joko heikentävästi tai puhdistavasti. Heikkotuulisissa, stabiileissa tilanteissa (esim. talvipäivisin), jolloin ilman sekoittuminen on vähäistä, ilmansaasteet kerääntyvät päästölähteen lähelle, eivätkä laimene tehokkaasti jolloin pitoisuudet nousevat ja ilmanalaatu heikkenee. Kun taas voimakkaisten ilmavirtausten seurauksena päästöt voivat kulkeutua satojen kilometrien päähän päästölähteestä. Sade ja sumupilvet puhdistavat ilmaa tehokkaasti.

Ilmansaasteiden leviäminen tapahtuu pääosin ilmakehän alimmassa osassa, rajakerroksessa. Sen korkeus on Suomessa tyypillisesti alle kilometri, mutta etenkin kesäisin 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 ilmapirtausten 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 herkkyyttä 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 liikenneuuhkien aikana, koska ilmansaasteet kerääntyvät matalaan ilmakerrokseen päästölähteiden lähelle. Inversiotilanteita on kuvattu kuvassa 25.



Kuva 25. Inversiotilanteissa ilmanlaatu tyypillisesti heikkenee. Kuva: Ilmatieteen laitos.

Rakennetulla ympäristöllä ja maisemanmuodoilla voi olla merkittävä vaikutus ilmanlaatuun. Tasaiset pinnanmuodot parantavat ilman tuulettumista. Puhtainta ilma on tyypillisesti merenrannassa, puistoissa ja ulkoilualueilla, jotka sijaitsevat kaukana vilkasliikenteisistä teistä ja päästölähteistä.

Kaupungeissa ilmanlaatu on heikointa vilkasliikenteisissä ja huonosti tuulettuvissa kerrostalojen ympäröimissä katukuiluissa. Yläkerrosten korkeudella ja etenkin rakennusten pihanpuolella ilmanlaatu on usein huomattavasti parempi.

Rakennustyömaat voivat olla ajoittain merkittäviä pölylähteitä. Myös työkoneiden päästöillä voi olla merkitystä paikallisessa ilmanlaadussa. Työmaat voivat kestää vuosia ja vaikuttaa merkittävästi paikallisen alueen ilmanlaatuun.

5.4 Ulkoilmanlaadun vertailuarvot

Leviämismallilaskelmilla tai ilmanlaadun mittauksilla saatuja ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia voidaan arvioida vertaamalla niitä ilmanlaadun raja-arvoihin, tavoitearvoihin ja WHO:n ohjearvoihin.

EU-maissa voimassa olevat *raja-arvot* (Vna 79/2017) 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. 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, pienhiukkasten ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet eivät saisi ylittää taulukon 4 raja-arvoja alueilla, joilla ihmiset saattavat altistua ilmansaasteille. Kansalliset ohjearvot on esitetty taulukossa 5. Niiden tarkoituksena on on toimia suunnittelun ja päätöksenteon apuvälineenä. Taulukossa 6 esitetään Maailman terveysjärjestön (WHO) suosituksenomaiset ohjearvot typpidioksidille, pienhiukkasille ja hengitettäville hiukkasille (WHO, 2021). WHO päivitti ilmanlaadun ohjearvot syksyllä 2021.

Taulukko 4. Terveyshaittojen ehkäisemiseksi annetut raja-arvot (Vna 79/2017).

Ilman epäpuhtaus	Keskiarvon las- kenta-aika	Raja-arvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Sallittujen ylitysten määrä kalenteri- vuodessa
Typpidioksidi (NO_2)	kalenterivuosi	40	–
Pienhiukkaset ($\text{PM}_{2,5}$)	kalenterivuosi	25	–
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	vuorokausi	50	35
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	kalenterivuosi	40	–

Taulukko 5. Kansalliset ohjearvot ohjaavat suunnittelua ja päätöksentekoa (Vnp 480/2017).

Ilman epäpuhtaus	Keskiarvon las- kenta-aika	Raja-arvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tilastollinen mää- rittely
Typpidioksidi (NO_2)	vuorokausi	70	Kuukauden toiseksi suurin vrk- arvo
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	vuorokausi	70	Kuukauden toiseksi suurin vrk- arvo

Taulukko 6. Ulkoilman pitoisuuksia koskevat ilmanlaadun ohjearvot (WHO, 2021).

Ilman epäpuhtaus	Keskiarvon las- kenta-aika	Ohjearvo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tilastollinen määrittely
Typpidioksidi (NO_2)	vuorokausi	25	Vuoden vuorokausiarvojen 99. prosenttipiste (sallii 3 ylitystä vuodessa)
Typpidioksidi (NO_2)	kalenterivuosi	10	Vuoden keskiarvo
Pienhiukkaset ($\text{PM}_{2,5}$)	vuorokausi	15	Vuoden vuorokausiarvojen 99. prosenttipiste (sallii 3 ylitystä vuodessa)
Pienhiukkaset ($\text{PM}_{2,5}$)	kalenterivuosi	5	Vuoden keskiarvo
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	vuorokausi	45	Vuoden vuorokausiarvojen 99. prosenttipiste (sallii 3 ylitystä vuodessa)
Hengitettävät hiukkaset (PM_{10})	kalenterivuosi	15	Vuoden keskiarvo

5.5 Ilmanlaatu maankäytön suunnittelussa

ELY-keskuksen Ilmanlaatu maankäytön suunnittelussa oppaassa (Airola ja Myllynen, 2015) on annettu suositus- ja minimietäisyydet, jotka tulisi huomioida kaavoituksen yhteydessä (Taulukko 7). Ilmanlaatuviyöhykkeen suositusetäisyys määrittelee viyöhykkeen, jota lähemmäksi ei tulisi kaavoittaa asutusta tai herkkiä kohteita uusilla alueilla. Minimietäisyyttä on tarkoitettu sovellettavaksi kaavoja muuttaessa jo rakennetuilla alueilla ja täydennysrakentamisessa. Ilmanlaatuviyöhykkeet ovat yksinkertaistuksia altistumisesta, eivätkä siksi toimi kaikkiin tilanteisiin. Ne kuvaavat altistumista ilmansaasteille väylän lähellä avoimessa ympäristössä, jossa ei ole merkittäviä esteitä ilman sekoittumiselle (HSY, 2014).

Ilmanlaatuviyöhykkeiden ja pitoisuuksien välinen yhteys asuinrakennuksille on laskettu niin, että asuntojen suositusetäisyydellä typpidioksidin vuosikeskiarvo on noin $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (50 % vuosiraja-arvosta) ja pienhiukkasten noin $8,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Asuntojen minimietäisyydellä asuntojen typpidioksidin vuosikeskiarvo on noin $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (60 % vuosiraja-arvosta) ja pienhiukkasten noin $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO:n vanha suositus vuosiohjearvolle).

Taulukko 7. Minimi- ja suositusetäisyydet asuinrakennuksille ja herkille kohteille ja keskimääräisen arkivuoro-kausiliikenteen suhde (Taulukko alun perin HSY, 2014).

Ajoneuvoa/ arkivrk	Herkkä kohde		Asuinrakennukset	
	Minimietäisyys (m)	Suositus- etäisyys (m)	Minimietäisyys (m)	Suositus-etäi- syys (m)
5 000	10	20	-	10
10 000	20	40	7	20
20 000	40	80	14	40
30 000	60	120	21	60
40 000	80	160	28	80

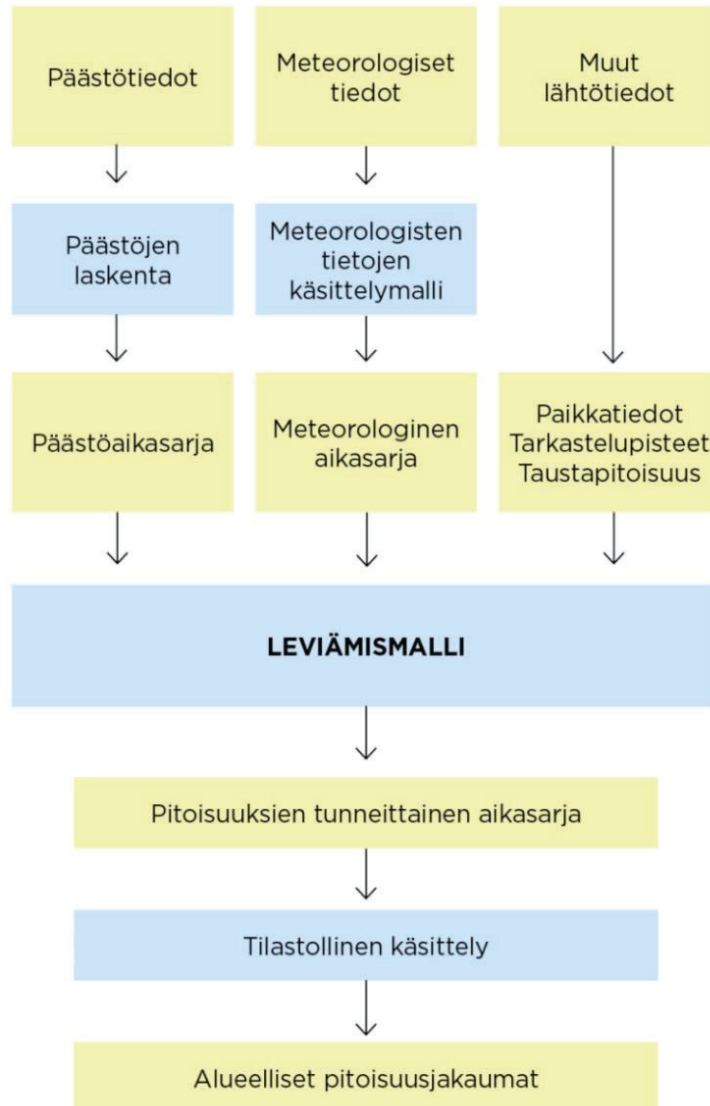
6 LEVIÄMISMALLILASKELMISSA KÄYTETYT MENETELMÄT

6.1 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 laskeumana. 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 päästmäärä 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 tavoitearvoihin, sekä WHO:n ohjearvoihin. Kaaviokuvassa 26 on esitetty Ilmatieteen laitoksen leviämismallien toimintaa. Eri leviämismalleja kuvataan tarkemmin seuraavissa kappaleissa.



Kuva 26. Kaaviokuva Ilmatieteen laitoksella kehitettyjen leviämismallien, piste- ja pintapäästölähteiden leviämismallin viivalähdemallin CAR-FMI toiminnasta.

6.2 Meteorologisten tietojen käsittelymalli (MPP-FMI)

Ilmatieteen laitoksen leviämismalleissa tarvittavan sääaineiston tuottamisessa käytetään Ilmatieteen laitoksella kehitettyä meteorologisten tietojen käsittelymallia MPP-FMI (Meteorological preprocessor). Malli perustuu ilmakehän rajakerroksen (noin 0–2 000 m maanpinnasta) parametrisointimenetelmään (*Rantakrans, 1990; Karppinen, 2001*). Menetelmän avulla voidaan meteorologisten rutiinihavaintojen ja fysiikan perusyhtälöiden avulla arvioida rajakerroksen tilaan vaikuttavat muuttujat, joita tarvitaan päästöjen leviämismallilaskelmissa. Tarvittavat mittaustiedot

saadaan Ilmatieteen laitoksen havaintotietokantaan tallennetuista sää-, auringonpaiste- ja radioluotaushavainnoista.

Rajakerroksen parametrisonnin avulla on mahdollista ilmaista leviämismalleissa käytetyt muuttujat jatkuvina rajakerroksen tilan funktioina, joissa voidaan ottaa huomioon myös päästölähteisiin liittyvä fysiikka paremmin kuin jos käytettäisiin vain ilmakehän tilaa karkeasti kuvaavia Pasquill-Turner -stabiiliusluokkia. Menetelmässä huomioidaan tutkimusalueen paikallisia tekijöitä, kuten leviämisalustan rosoisuus ja vuodenaikaiset albedoarvot (auringon säteilyn heijastuskyky maanpinnasta) eri maanpinnan laaduille. Ilman epäpuhtauksien leviämisen kannalta keskeisiä meteorologisia muuttujia ovat tuulen suunta ja nopeus, ilmakehän stabiiliutta kuvaava suure ja sekoituskorkeus.

Laskelmissa käytetään yleensä kolmen vuoden pituista tutkimusalueen sääolosuhteita edustavaa meteorologista aineistoa. Säähavaintoaineisto hankitaan Ilmatieteen laitoksen omilta säähavaintoasemilta, joilla mitataan kaikkia mallin tarvitsemia sääsuureita. Säähavainto- ja luotausaineistot täyttävät WMO:n ja ICAO:n laatuvaatimukset. Tuulen suunta- ja nopeustiedot muodostetaan kahden tai useamman sääaseman havaintojen tilastollisena yhdistelmänä. Näin varmistetaan, etteivät tietyt sääasemien lähiympäristöstä johtuvat tuuliaineiston erityispiirteet vääristä kuvaa leviämismallilaskelmin saatavista pitoisuuksien aluejakaumista ja esimerkiksi maksimiarvon sijainnista mallin tulostusalueella. Lopputuloksena saadaan leviämismalleissa tarvittavien meteorologisten parametrien tunneittaiset aikasarjat. Meteorologisen aikasarjan laatii meteorologi.

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>

BERKOWICZ, R., 1999. OSPM – A Parameterised Street Pollution Model, Environmental Monitoring and Assessment Vol. 65.

BERKOWICZ, R., OLESEN H. R., JENSEN, S. S., 2002. User's Guide to OSPM – Operational Street Pollution Model, Draft - May 2002, NERI Technical Report.

EEA, 2019. Air quality in Europe – 2019 report. EEA Report, No 10/2019. ISSN 1977-8449. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2019>

Haq, G. & Schwela, D., 2008. Air Quality Modelling. Foundation course on Air quality Management in Asia. Stockholm Environment Institute

HERTEL, O. AND BERKOWICZ, R., 1989. Modelling Pollution from Traffic in a Street Canyon. Evaluation of Data and Model Development, National Environmental Research Institute (NERI), DMU LUFT-A129, Roskilde, Denmark, ISBN 87-7440-141-6, 77 p.

HSY, 2014. Malli ilmanlaadun huomioonottamiseksi suunnittelussa. HSY Moniste 2014. <https://docplayer.fi/10962710-Malli-ilmanlaadun-huomioonottamiseksi-suunnittelussa-hsy-n-hallitus-20-12-2013-paivitetty-3-6-2014.html>

HSY, 2022. "Ilmanlaadun vuosikartta". <https://www.hsy.fi/ilmanlaatu-ja-ilmasto/ilmanlaatu-nyt/ilmanlaatuvuosikartta/>

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, lisäksi sivustolla teematietoa ilmansaasteista: <https://ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatu>

Karppinen, A., Kukkonen, J., Nordlund, G., Rantakrans, E. ja Valkama, I., 1998. A dispersion modelling system for urban air pollution. Ilmansuojelun julkaisuja no. 28. Ilmatieteen laitos, Helsinki.

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.

Kaski, N., Mäkelä, T. ja Niemi, J., 2020. Ilmanlaatu vilkasliikenteisessä katukuilussa ja sen lähiympäristössä. Helsingin kaupunki/ Kaupunkiympäristön toimiala.

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.

Korhonen, S., Loukkola, K. ja Portin, H., 2020. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2019 – Vuosiraportti. Helsingin seudun ympäristöpalvelut – kuntayhtymä.

Korhonen, S., Loukkola, K., Portin, H. ja Niemi, J, 2022. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2021 – Vuosiraportti. Helsingin seudun ympäristöpalvelut – kuntayhtymä.

Malkki, M., Loukkola, K. ja Portin, H, 2018. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2017– Vuosiraportti. Helsingin seudun ympäristöpalvelut – kuntayhtymä.

Ohtonen, K., Loukkola, K., Aarnio P. ja Portin, H., 2019. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2018. – Vuosiraportti. Helsingin seudun ympäristöpalvelut – kuntayhtymä.

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.

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

¹VTT, 2022. Suomen tieliikenteen typpidioksidipäästöt (NO_x). LIPASTO liikenteen päästöt <http://lipasto.vtt.fi/liisa/img/noxs.png>

²VTT, 2022. Suomen tieliikenteen hiukkaspäästöt (PM). LIPASTO liikenteen päästöt <http://lipasto.vtt.fi/liisa/img/pms.png>

Vnp 480/1996. Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvosta. Voimaantulo 1.9.1996

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

WHO, 2021. WHO Air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulphur dioxide and carbon monoxide. Geneva, World Health Organization.



ILMATIETEEN LAITOS

ILMATIETEEN LAITOS

puh. 029 539 1000

Ilmanlaatu ja energia

ilmanlaatupalvelut@fmi.fi

www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatupalvelut

WWW.ILMATIETEENLAITOS.FI

