

Enwin

- Vision Keeper -

Tampereen kaupunki
Kaupunkiympäristön kehittäminen
PL 487
33101 Tampere

XVI 273-12,-13 ja-14, ITSENÄISYYDENKATU 1-3, MURTOKATU 1-3,
NS. RASTIN KORTTELIN KEHITTÄMINEN. KAAVA NRO 8429

ID 371930

**Rastin kortteli, Tampere
Ilmanlaatuselvitys
v. 2030 liikenne-ennusteessa**

16.3.2012

Enwin Oy

**Tarja Tamminen
Ari Tamminen**

ENWIN OY
Kivipöytälänkuja 2
33920 Pirkkala
Puh/Fax: 03-2664396
www.enwin.fi
ari.tamminen@enwin.fi
puh: 040-5127006
tarja.tamminen@enwin.fi
puh: 040-8409570

ALV -rek
Y- tunnus
1721084-8

SANASTOA

Ohjearvo

Ohjearvot ilmaisevat ilmansuojelutyön päämääriä ja ilmanlaadun tavoitteita ja ne on tarkoitettu ensi sijassa ohjeeksi viranomaisille. Ohjearvot eivät ole luonteeltaan sitovia, vaan niitä sovelletaan mm. alueidenkäytön, kaavoituksen, rakentamisen ja liikenteen suunnittelussa ja ne tulee ottaa huomioon ympäristölupaa koskevassa lupaharkinnassa. Kansalliset ilmanlaadun ohjearvot on esitetty **Valtioneuvoston päätöksessä ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista 480/1996.**

Raja-arvo

Raja-arvot määrittelevät suurimmat hyväksyttävät ilman epäpuhtauksien pitoisuudet, joita ei saa ylittää. Raja-arvoja on annettu sekä terveyshaittojen ehkäisemiseksi alueilla, joissa asuu tai oleskelee ihmisiä, että erikseen kasvillisuuden ja ekosysteemin suojelemiseksi laajoilla maa- ja metsätalousalueilla ja luonnonsuojelualueilla. **Valtioneuvoston asetuksessa ilmanlaadusta 38/2011** on esitetty Suomessa ja EU:ssa voimassa olevat ilmanlaadun raja-arvot ihmisen terveyden suojelemiseksi.

PM10 (Particulate matter diam.<10 µm)

PM10 tarkoittaa läpimitaltaan alle 10 µm (0.010 mm) hiukkasia. Tämän kokoluokan hiukkasia kutsutaan myös ns. hengitettäväksi hiukkasiksi, koska ne voivat päästä hengitysilman kautta ihmisen keuhkoihin asti.

PM2.5 (Particulate matter diam.<2.5 µm)

Pienhiukkasiksi kutsutaan läpimitaltaan alle 2.5 µm (**PM2.5**) hiukkasfraktiota. PM2.5 katsotaan olevan terveysvaikutuksiltaan haitallisempia, koska ne voivat tunkeutua syväälle hengityselimiin ja aina verenkiertoon asti. Osa pienhiukkasista on peräisin kaukokulkeutumasta.

YHTEYSTIEDOT

Tampereen kaupunki
Kaupunkiympäristön kehittäminen
Ympäristöasiantuntija
Antonia Sucksdorff-Selkämaa
antonia.sucksdorff@tampere.fi
PL 487
33101Tampere

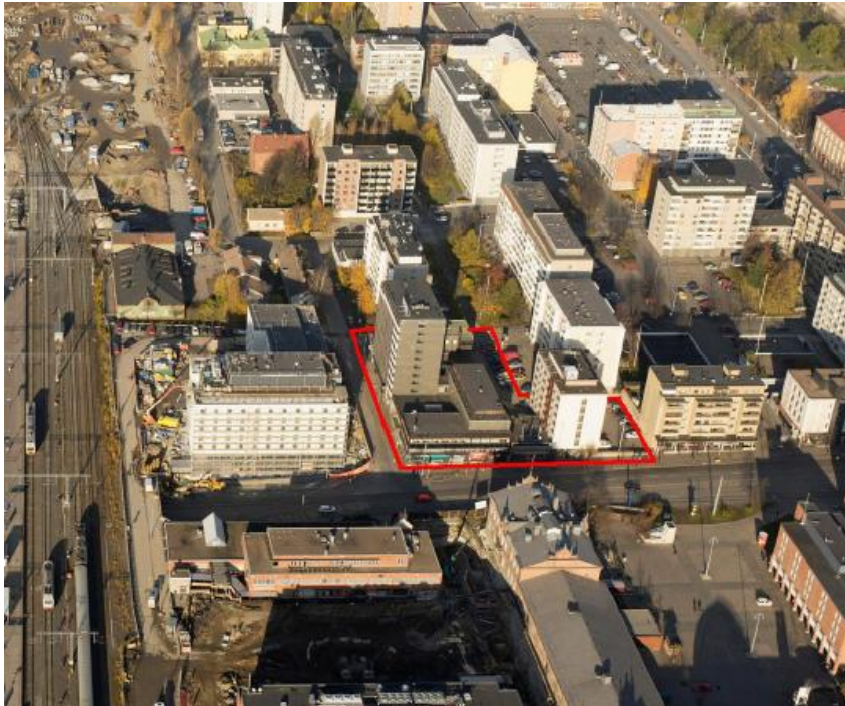
Enwin Oy, puh. 03-2664396
Kivipöytälänkuja 2, 33920 Pirkkala
Ari Tamminen, ari.tamminen@enwin.fi
Tarja Tamminen, tarja.tamminen@enwin.fi
www.enwin.fi

SISÄLLYSLUETTELO

1.	Johdanto	4
2.	Ilmanlaatu.....	5
2.1	Ilmanlaadun raja- ja ohjearvot.....	5
2.2	Taustapitoisuus ja kaukokulkeutuminen	7
3.	Leviämismalli ja sen lähtötiedot	8
3.1	Leviämismalli	8
3.2	Havaintopisteverkosto	9
3.3	Sääaineisto	9
4.	Liikenne ja päästöt Rastin korttelin ympäristössä.....	10
5.	Päästöjen leviäminen aluejakauksena.....	11
6.	Tulokset ja niiden tarkastelu	11
6.1	Typpidioksidin (NO ₂) pitoisuudet v.2030	12
6.2	PM _{2,5} -pitoisuudet v. 2030	13
6.3	PM ₁₀ -pitoisuudet v. 2030.....	14
7.	Yhteenveto ja suositukset.....	15
7.1	Ilmanlaatu Tampereella Rastin korttelissa v. 2030	15
7.2	Ilmanlaatumallinnuksen suositukset Rastin korttelin asemakaavasuunnitelmiin	16
8.	Mallin epävarmuuden arviointi	17
LIITE 1. Typpidioksidin leviäminen		I
LIITE 2. PM _{2,5} hiukkaspäästöjen leviäminen.....		II
LIITE 3. PM ₁₀ hiukkaspäästöjen leviäminen		IV

1. Johdanto

Työssä selvitetiin AERMOD-leviämismallin avulla tieliikenteestä peräisin olevien ilman epäpuhtauksien (NO_x, PM_{2,5} ja PM₁₀ hiukkaset) leviämistä ja ilmanlaatua Tampereella **Rastin korttelin alueella, liittyy asemakaavaan nro 8429 (XVI 273-12,-13 ja-14, Itsenäisyydenkatu 1-3, Murtokatu 1-3), (ID 371930)**, kuva 1. Mallinnustyö tehtiin vuoden 2030 arvioiduilla tieliikennemäärillä. Liikennemäärät ovat samat kuin 22.12.2011 valmistuneessa alueen meluselvityksessä.



Kuva 1. Ilmakuva kaava-alueesta. (Lähde: 8429_OAS_120123.pdf)

Rastin korttelin ilmanlaatuselvitys liittyy vuonna 2011 valmistuneeseen Tampereen Ratapihankadun ilmanlaatuselvitykseen:

Tamminen T ja Tamminen A., Ratapihankatu, Tampere, Asemakaavamuutos nro 8330, A ja B luonnosvaihtoehtojen ilmanlaatuselvitys ennustetilanteessa, 1.8.2011 p. 35

Ratapihankadun mallinnukseen on lisätty Rastin korttelin rakennusluonnokset, jolloin huomioidaan maaston lisäksi myös rakennusten vaikutukset päästöjen leviämiseen. Lisäksi lähialueen teiden liikenne-ennusteet on päivitetty.

Tilaaajan, Tampereen kaupungin yhteyshenkilönä selvityksessä on ympäristöasiantuntija Antonia Sucksdorff-Selkämaa. Enwin Oy:ssä mallinnustyön on tehnyt tekn. lis. Tarja Tamminen.

2. Ilmanlaatu

2.1 Ilmanlaadun raja- ja ohjearvot

Ulkoilman laadun arvioinnissa on käytössä ns. ilmanlaadun raja- ja ohjearvoja.

- **Raja-arvot** määrittelevät suurimmat hyväksyttävät ilman epäpuhtauksien pitoisuudet, joita **ei saa ylittää**. Raja-arvoja on annettu sekä terveyshaittojen ehkäisemiseksi alueilla, joissa asuu tai oleskelee ihmisiä, että erikseen kasvillisuuden ja ekosysteemin suojelemiseksi laajoilla maa- ja metsätalousalueilla ja luonnonsuojelualueilla.
- **Ohjearvot** ilmaisevat ilmansuojelutyön päämääriä ja ilmanlaadun tavoitteita ja ne on tarkoitettu ensi sijassa ohjeeksi viranomaisille. Ohjearvot eivät ole luonteeltaan sitovia, vaan **niitä sovelletaan mm. alueidenkäytön, kaavoituksen, rakentamisen ja liikenteen suunnittelussa** ja ne tulee ottaa huomioon ympäristölupaa koskevassa lupaharkinnassa.

Ilmanlaadun raja-arvot

Euroopan Unionin *Ilmanlaatudirektiivi (2008/50/EY)* määrittelee Euroopan unionin laajuisen järjestelmän sitovien ilmanlaatuvoimien määräämiseksi nimetyille ilmansaasteille. EU:n ilmanlaatuasetus on implementoitu Suomen lainsäädäntöön **Valtioneuvoston asetuksella ilmanlaadusta 38/2011** (20.1.2011). Asetuksessa on sitovat **ilmanlaadun raja-arvot** mm. tässä mallinnettaville komponenteille, typpidioksidille (NO₂) ja hiukkasille (PM₁₀, PM_{2,5}).

Taulukossa 1 on asetuksen mukaiset ilmanlaadun raja-arvot terveyshaittojen ehkäisemiseksi mallinnettaville epäpuhtauksille, typpidioksidille, NO₂ ja hengitettävillä hiukkasilla, PM₁₀ sekä pienhiukkasilla PM_{2,5}. Lisäksi taulukossa 1 on esitetty typen oksidien (NO+NO₂=NO_x) kriittinen taso kasvillisuuden suojelemiseksi.

Taulukko 1. Hengittävien hiukkasten, pienhiukkasten ja typpidioksidin (PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂) ilmanlaadun raja-arvot terveyshaittojen ehkäisemiseksi. NO_x:n kriittinen vuositaso on annettu kasvillisuuden suojelemiseksi.				
Lähde: VNA 38/2011				
Aine	Keskiarvon laskenta-aika	Raja-arvo, µg/m ³ *	Sallittujen ylitysten määrä kalenterivuodessa	Ajankohta, josta lähtien raja-arvot ovat olleet voimassa
Hengitettävät hiukkaset (PM ₁₀)	24 tuntia kalenterivuosi	50 µg/m ³ * 40 µg/m ³	35 -	1.1.2005 1.1.2005
Pienhiukkaset (PM _{2,5})	kalenterivuosi	25 µg/m ³	-	1.1.2010
Typpidioksidi (NO ₂)	1 tunti kalenterivuosi	200 µg/m ³ 40 µg/m ³	18 -	1.1.2010 1.1.2010
Typen oksidit (NO _x) kasvillisuus	kalenterivuosi	30 µg/m ³	-	1.1.2010
*Kaasumaisilla yhdisteillä tulokset ilmaistaan 293 K lämpötilassa ja 101,3 kPa paineessa. Hiukkasten tulokset ilmaistaan ulkoilman lämpötilassa ja paineessa				

Pienhiukkaset (PM_{2,5}) voivat aiheuttaa merkittäviä haitallisia vaikutuksia ihmisten terveydelle. PM_{2,5}-hiukkasille ei tähän mennessä ole voitu määrittää kynnysarvoa, jonka alittuessa ne eivät aiheuttaisi terveysriskiä. Tämän takia EU:n ilmanlaatudirektiivissä on asetettu tavoitteeksi kaupunkien taustapitoisuuksien yleinen alentaminen, jotta voidaan varmistaa, että suuri osa väestöstä hyötyy paremmasta ilmanlaadusta. Suomessa on Valtioneuvoston asetuksessa 38/2011 määritelty pienhiukkasten kansallinen altistumisen pitoisuuskatto ja altistumisen vähennystavoitteet.

Kansallinen altistumisen pitoisuuskatto pienhiukkasille on **20 µg/m³ 31.12.2015**. Lisäksi kansallinen altistumisen vähennystavoite pienhiukkasille vuosina 2010–2020 on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Pienhiukkasten altistuksen vähentämistavoitteet 31.12. 2020 mennessä (perustuvat kaupunkitaustan mittauksiin).	
Keskimääräinen altistumisindikaattori (x µgPM _{2,5} /m ³) vuonna 2010	Vähennystavoite (%)
<8.5 µg/m ³	0 %
8.5-13 µg/m ³	10 %
13-18 µg/m ³	15 %
18-22 µg/m ³	20 %
>22 µg/m ³	kaikki tarvittavat toimet pitoisuuden 18 µg/m ³ alittamiseksi

Jos vuosina 2009—2011 laskettu keskimääräinen altistumisindikaattori on enintään 8.5 µg/m³, altistumisen vähennystavoite on nolla prosenttia. Vähennystavoite on nolla prosenttia myös, jos indikaattori saavuttaa pitoisuuden 8.5 µg/m³ vuosien 2010—2020 aikana ja pysyy kyseisessä pitoisuudessa tai sen alapuolella.

Kansalliset ilmanlaadun ohjearvot

Ilmanlaadulle on annettu Suomessa myös **kansallisia ohjearvoja** -Valtioneuvoston päätös ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista, VNp 480/1996. Ohjearvojen tarkoituksena on ehkäistä ilman epäpuhtauksista aiheutuvat terveydelliset haitat ja luonnon vaurioituminen sekä vähentää viihtyisyyshaittoja. Lyhytaikaispitoisuuksien ohjearvot on annettu ensisijaisesti terveydellisiin perustein. Niiden asettamisessa on pyritty ottamaan huomioon muun muassa ilman epäpuhtauksien vaikutukset herkkiin väestöryhmiin, kuten lapsiin, vanhuksiin ja hengityselinsairaisiin. Pitkäaikaispitoisuuksien ja laskeuman ohjearvojen tavoitteena on ensisijaisesti kasvillisuuteen ja muuhun luontoon kohdistuvien haittojen ehkäiseminen. Typpidioksidin ja hengitettävien hiukkasten ilmanlaadun ohjearvot on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Ilmanlaadun ohjearvot hengitettävälle hiukkasille (PM₁₀) ja typpidioksidille (NO₂). Lähde: VNp 480/1996		
Aine	Ohjearvo, (20 °C, 1atm)	Tilastollinen määrittely
Hengitettävät hiukkaset (PM ₁₀)	70 µg/m ³	kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo
Typpidioksidi (NO ₂)	150 µg/m ³	kuukauden tuntiarvojen 99. prosenttipiste
	70 µg/m ³	kuukauden toiseksi suurin vuorokausiarvo

Myös Maailman terveysjärjestö WHO¹ on antanut PM_{2.5}-ohjearvot pienhiukkasten vuosi- ja vuorokausipitoisuudelle (Taulukko 4).

Taulukko 4. Pienhiukkasten (PM_{2.5}) WHO:n ohjearvot.	
	Pitoisuus
WHO / PM _{2.5} vuorokausiohjearvo	25 µg/m ³
WHO PM _{2.5} vuosiohjearvo	10 µg/m ³

2.2 Taustapitoisuus ja kaukokulkeutuminen

Tamperetta lähinnä oleva ilmanlaadun taustapitoisuuden mittausasema on Ähtärissä. Siellä mitataan mallinnettavista epäpuhtauksista vain typpidioksidia (NO₂). Lähin tausta-asema, jossa on mitattu sekä hengitettäviä hiukkasia (PM₁₀) että pienhiukkasia (PM_{2.5}) sijaitsee Espoon Luukissa. Vuonna 2003 Luukissa mitattiin vielä PM₁₀-pitoisuuksia, minkä jälkeen siellä on siirrytty PM_{2.5} hiukkasten mittaukseen.

Taulukossa 5 on esitetty Ähtärin, Virolahden ja Luukin tausta-asemilla mitattuja typpidioksidin, hiukkasten ja otsonin vuosipitoisuuksia. Lisäksi vertailussa ovat Helsingin Kallion kaupunkitausta-aseman pitoisuudet ja Tampereen kaupungin mittaustuloksia. Kallio on nk. kaupunkitausta-asema, joka kuvaa kaupunkikeskustan yleistä ilmanlaatua ja siellä mitatut pitoisuudet vastaavat tasoa, jolle ihmiset keskimäärin altistuvat Helsingin keskustan asuinalueilla.

Erityisesti pienhiukkasissa (PM_{2.5}) kaukokulkeuman osuus voi olla ajoittain merkittävää. Uusimpien tutkimusten mukaan myös puun pienpoltto vaikuttaa PM_{2.5}-pitoisuuksiin Suomessa erityisesti talvisin n. 20-30 %, pientaloalueilla paikallisesti jopa 30-60 %.

¹ WHO 2006. Air Quality Guidelines: Global Update 2005. World Health Organization.

Taulukko 5. Tausta-asemien, Helsingin Kallion kaupunkitausta-aseman ja Tampereen mittausasemien NO₂-, PM₁₀, PM_{2.5} ja O₃-pitoisuuksia. Vertailuna myös NO₂- ja PM₁₀/PM_{2.5}-pitoisuudet. (Lähteet: YTV 2004², 2007³ ja Treen kaupunki 2007⁴ ja 2008⁵ 2009⁶ ja AirView⁷)				
	NO ₂ vuosikeskiarvo (RA 40 µg/m ³)	PM ₁₀ vuosikeskiarvo (RA 40 µg/m ³)	PM _{2.5} vuosikeskiarvo (EU:n RA 25 µg/m ³)	O ₃ vuosikeskiarvo (µg/m ³)
Ähtäri 2006	3	-	-	65
Virolahti 2006	6	11	8	60
Luukki 2003-05-06-07-08-09	8-6-8-6-6-6	12-----	-- 8.2 -7.3- 7.0	52- 54 -58- 50- 52-49
Helsinki, Kallio 2003- 05-06-07-08-09	25-23-24-22-19	16-15-17-17-14- 15	8.8- 8.3- 9.8- 9.0- 8.6-8.2	45- 48 -51- 45- 48-46
Tampere, Pirkankatu 2006-07-08-09	26-20-17-19	17-17-17-17		
Tampere, Linja-autoas 2009.	19		8	-
Tampere, Kaleva 2009	10		7	33
Tampere Santalahti 2006-07-08-09		15-21-17-18		
Tampere Lielähti 2001-02-03-04	12-14-13-12			

3. Leviämismalli ja sen lähtötiedot

3.1 Leviämismalli

Liikennepäästöjen leviämisen mallinnus tehtiin uusimmalla USEPAn matemaattis-fysikaalisella AERMOD-mallilla. Malli olettaa, että epäpuhtauksien leviäminen tuulen suunnassa noudattaa normaalijakaumaa sekä vaakatasossa että pystytasossa. Malli soveltuu sekä hiukkasmaisten että kaasumaisten epäpuhtauskomponenttien leviämisen tarkasteluun ja sillä voidaan tarkastella yhtä aikaa useamman päästölähteen yhteisvaikutusta alueen ulkoilmapitoisuuksiin. Malli huomioi myös maaston muodon todellisten maastokoordinaattien mukaisesti.

Ilmanlaatumallissa huomioitiin myös kerrostalot ko. korttelissa. Uusimpien US EPA:n tekemien mittausten mukaan rakennuksilla ja suurimmilla melusteilla on vaikutusta tien lähialueiden epäpuhtauspitoisuuksiin, mm. hiukkasten pitoisuuksiin verrattuna avoimna olevaan maastoon.

² Myllynen M. et al., Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2003, B2004:5, YTV, Hki 2004, p. 93

³ Myllynen M. et al., Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2006, YTV, Hki 2007, p. 109

⁴ Tampereen ilmanlaatu 2006- Päästöt ja ilmanlaadun mittaustulokset, Tampereen kaupunki Ympäristöpalvelujen julkaisuja 2/2007

⁵ Tampereen ilmanlaatu 2007- Päästöt ja ilmanlaadun mittaustulokset, Tampereen kaupunki Ympäristöpalvelujen julkaisuja 1/2008

⁶ Tampereen ilmanlaatu 2009, Päästöt ja ilmanlaadun mittaustulokset, Tampereen kaupunki Ympäristönsuojelun julkaisuja 1/2010

⁷ <http://dataservice.eea.europa.eu/dataservice>

Liikenteen suorat hiukkaspäästöt on käsitelty mallissa PM_{2,5}-hiukkasina, lisäksi PILTTI-projektin mukaisesti katupölyn PM_{2,5}-osuus lisättiin pienhiukkaspäästöihin. Hengitettävien hiukkasten PM₁₀ (katu- ja asfalttipöly) päästökertoimissa käytettiin uusinta tutkimustietoa mm. PILTTI-projektista. Typenoksidien muutunta on huomioitu AERMOD-mallissa. Otsoni huomioitiin tuntipitoisuuksina Luukin tausta-asejalta. Ajoneuvopäästöjen NO₂/NO_x -suhde oli mallissa 19 %.

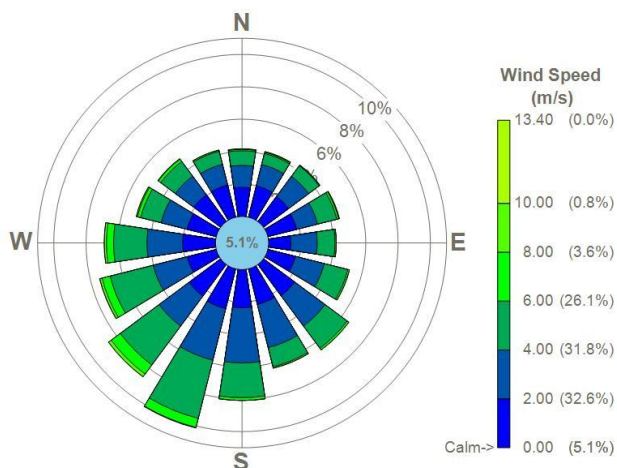
Osa ajoneuvojen typenoksidipäästöistä on typpimonoksidia (NO) ja osa typpidioksidia (NO₂). Nykytietämyksen mukaan NO₂-osuus päästössä on pienempi heti päästöhetkellä, mutta sen suhteellinen osuus on tulevaisuudessa kasvamassa moottori- ja katalysaattoritekniikan kehityksen takia. Typenoksidien ilmakemiallinen muutunta liittyy typpimonoksidin muuntumiseen otsonin tai hiilivetyradikaalien vaikutuksesta haitallisemmaksi typpidioksidiksi. Jos otsonipitoisuus on alle typpimonoksidipitoisuuden, voi otsoni olla rajoittava tekijä NO₂:n muodostumisessa. Typenoksidien ilmakemia on monimutkaista, koska otsonin lisäksi mm. pakokaasuissa olevat hiilivetyradikaalit osallistuvat myös typenoksidien ilmakemiaan. Aikaa myöten lähes kaikki typpimonoksidi hapettuu typpidioksidiksi. Typenoksidien ilmakemian merkitys on suurin tien lähialueilla, erityisesti n. 0--> 50-->100 metrin matkalla.

3.2 Havaintopisteverkosto

Liikennepäästöjen leviämistä ja ulkoilmapitoisuuksien muodostumista tarkasteltiin havaintopistejoukossa (x,y,z), jotka sijoitettiin 5-10 metrin välein alueelle (©Maanmittauslaitos). Havaintopisteissä huomioitiin maaston muoto todellisten korkeusasemien mukaisesti. Rakennusten osalta noudatettiin asemakaavan luonnosta (BST Arkkitehdit).

3.3 Sääaineisto

Mallilaskelmien meteorologisena sääaineistona käytettiin tunnin välein kerättyä vuoden 2006-2008 Tampereen lentosääaineistoa. Vertikaaliset mittaustiedot tuulen nopeudesta ja lämpötilasta saatiin Jokioisten observatorion luotauksista vuodelta 2006-2008. AERMOD mallin säätietojen esiprosessointiohjelmalla laskettiin konvektiiviset ja mekaaniset rajakerrokset huomioiden mm. maanpinnan rosoisuus (roughness). Kuvassa 2 on kolmen vuoden tuntisääaineiston (v. 2006-2008) tuuliruusu Tampereen säätietojen mukaan.

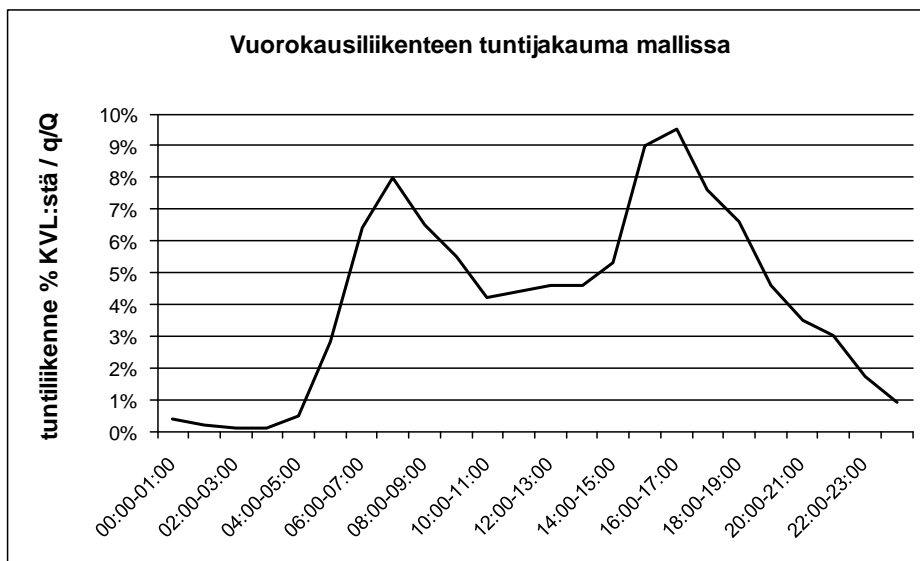


Kuva 2. Tuuliruusu (mistä tuulee=blowing from) v. 2006-2008.

4. Liikenne ja päästöt Rastin korttelin ympäristössä

Taulukossa 6 on tiekohtaiset liikennemäärät vuorokaudessa (KVL) ja arvioidut raskaan liikenteen osuudet v. 2030. Mallinnuksessa käytetyt tieliikenteen v. 2030 liikennemäärät ovat samat kuin alueen meluselvityksessä käytetyt liikennemäärät. (Meluselvitys 22.12.2012, Ramboll). Ilmanlaatumallinnuksessa huomioitiin myös liikenteen vuorokautinen vaihtelu, kuten aamu- ja iltahuipputunnit (Kuva 3).

Taulukko 6. Mallissa käytetyt liikennemäärät ja raskaan liikenteen osuudet v. 2030.			
Tie/Katu	2030 Ajon./vrk	Raskas-%	Raskas Ajon./vrk
Itsenäisyydenkatu	8600	2.0%	172
Murtokatu	2600	1.0%	27
Ratapihankatu (Itsenäisyydenkatu- Vellamonkatu)	16800	3.0%	508
Vellamonkatu (Murtokatu-Tammelan puistokatu)	2000	1.0%	40
Vellamonkatu (Ratapihankatu- Murtokatu)	3100	1.0%	62



Kuva 3. Tuntiliikenne vuorokauden aikana prosentteina keskimääräisestä vuorokausiliikenteestä (q/Q).

Taulukossa 7 on liikennemääristä lasketut ja mallissa käytetyt tiekohtaiset typenoksidi- ja hiukkaspäästöt (kg/m/a). Ajoneuvojen päästöt laskevat nykyisestä vuoteen 2030 mennessä uusien tiukempien EURO-päästönormien voimaantulon myötä ja autokannan uusiutuessa (VTT LIPASTO-tietokanta). Vähennemä riippuu mm. ajoneuvojakaumasta, kuten diesel- ja bensiiniautojen suhteesta ja erilaisten raskaiden ajoneuvojen määristä kullakin tieosuudella sekä ajoneupeuksista.

Myös ajoneuvojen pienhiukkaspäästöjen EURO-normit kiristyvät, mutta katupölyn pienhiukkasfraktio toisaalta kasvattaa epäsuoria pienhiukkaspäästöjä katujen varsilla autoliikenteen lisääntyessä, joten vähennemä ei kokonaisuudessaan ole yhtä merkittävä kuin typenoksidipäästöissä. Hengitettävien hiukkasten määrän teiden varsilla arvioidaan kasvavan ajoneuvoliikenteen kasvaessa. Tähän voidaan vaikuttaa

tiemateriaaleilla ja tien pesun ajoituksella etenkin runsaimpina katupölykuukausina keväisin.

Taulukko 7. Tiekohittaiset typenoksidi- ja hiukkaspäästöt (kg/m/a) vuonna 2030.			
	NO_x	PM_{2,5}	PM₁₀
Tie/katu	kg/m/a	kg/m/a	kg/m/a
Itsenäisyydenkatu	0.9	0.09	1.1
Murtokatu	0.2	0.03	0.3
Ratapihankatu (Itsenäisyydenkatu- Vellamonkatu)	2.1	0.17	2.2
Vellamonkatu (Murtokatu-Tammelan puistokatu)	0.2	0.02	0.3
Vellamonkatu (Ratapihankatu- Murtokatu)	0.3	0.03	0.4

5. Päästöjen leviäminen aluejakaumakuvina

Leviämismallinnuksessa aluejakaumakuvat osoittavat pitoisuuden, joka voi käyrän sisäpuolisilla alueilla ajoittain ylittyä. Huomioitavaa on, että aluejakaumakuvat eivät aina kuitenkaan esitä ajallisesti yhtenäistä tilannetta, vaan pitoisuuksien suurimmat arvot voivat esiintyä eri laskentapisteissä eri ajankohtina vuoden aikana (mm. tuulen suunnasta ja sekoitusolosuhteista riippuen). Mallinnuskuvissa on mukana nykytiedon mukainen alueellinen tausta (vuosika. NO₂ 6 µg/m³, PM_{2,5} 7 µg/m³ ja PM₁₀ 12 µg/m³).

Lyhytaikaisten pitoisuuksien aluejakaumia tulkittaessa on huomattava, että suurimman osan ajasta tuntipitoisuudet ovat laskentapisteissä esitettyjä vertailuarvoja pienempiä. Mallinnetut tuntipitoisuudet edustavat ruuhkatuntien (aamu- tai iltapäiväruuhka) korkeimpia tuntipitoisuustasoja, jolloin autoliikenne on korkeimmillaan vuorokaudessa. Öisin liikennemäärät vastaavasti ovat hyvin matalat.

Liitteessä 1 on esitetty typpidioksidin (NO₂) ulkoilmapitoisuuksien aluejakaumakuvat v. 2030 liikenteellä Rastin korttelissa. Liikenteen typenoksidipäästöjen leviäminen laskettiin typpidioksidin ilmanlaadun raja-arvoihin ja kansallisiin ohje-arvoihin.

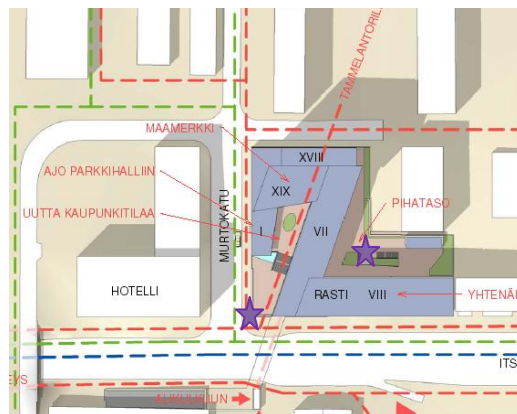
Liitteessä 2 on esitetty ajoneuvojen suorista hiukkaspäästöistä ja katupölyn PM_{2,5} -jakeesta aiheutuvat PM_{2,5} ulkoilmapitoisuudet aluejakaumakuvina v. 2030 liikenteellä Rastin korttelissa. Pienhiukkasten (PM_{2,5}) pitoisuusvertailu tehtiin WHO:n PM_{2,5} ohje-arvoihin (vrk ja vuosi) sekä PM_{2,5} ilmanlaadun vuosiraja-arvoon.

Liitteessä 3 on esitetty ajoneuvojen suorista hiukkaspäästöistä ja arvioidusta autojen nostattamasta asfalttipölystä aiheutuvat PM₁₀ ulkoilmapitoisuudet aluejakaumakuvina v. 2030 liikenteellä Rastin korttelissa. Hengitettävien hiukkaspäästöjen (PM₁₀) leviäminen laskettiin PM₁₀:n ilmanlaadun raja-arvoihin ja kansallisiin ohje-arvoihin.

6. Tulokset ja niiden tarkastelu

Tulosten taulukkotarkastelussa Rastin korttelin korkeimmat mallinnetut epäpuhtauspitoisuudet on esitetty Murtokadun ja Itsenäisyydenkadun risteyksestä Rastin tontin katutason pitoisuuksista ja rakennusten sisäpihan pitoisuuksista (tähdet kuvassa 4).

Mallinnuksissa on huomioitu Rastin korttelin alustavat rakennusmassat kilpailuaineiston perusteella. Kortteliin on suunniteltu tornitaloja (17-19 kerrosta) ja lisäksi Itsenäisyydenkadun puoleinen talo (8 kerrosta) muodostaa yhtenäisen korkeuden Itsenäisyydenkadun varressa Pinninkadusta itään sijaitsevien rakennusten kanssa. Rakennuksilla voi olla vaikutusta epäpuhtauksien leviämiseen mm. talojen sisäpihoille, koska tieltä leviävän ilman on kierrettävä ne maastoesteiden tavoin.



Kuva 4. Rastin korttelin havainnekuvat (Lähde:BST Arkkitehdit). Tähdet osoittavat tulosvertailupisteiden sijainnin.

6.1 Typpidioksidin (NO₂) pitoisuudet v.2030

Taulukossa 8 on esitetty typpidioksidin ohje- ja raja-arvoihin verrannolliset korkeimmat mallinnetut NO₂-pitoisuudet Rastin korttelissa (vrt. Liite 1 NO₂:n aluejakaumakuvat). Tuloksissa on huomioitu taustapitoisuus (Luukki 6 µgNO₂/m³).

Taulukko 8. Korkeimmat mallinnetut ohje- ja raja-arvoihin verrannolliset NO ₂ -pitoisuudet v. 2030 Rastin korttelissa (Liite 1). Taustapitoisuus (6 µgNO ₂ /m ³). huomioitu tuloksissa.		
Korkein NO ₂ -pitoisuusalue v. 2030 Rastin korttelissa		
Vertailu NO ₂ ohje- ja raja-arvoihin:	Katutaso Itsenäisyydenkatu	Sisäpiha
Tuntiohjarvo (150 µg/m ³ , 99 p.)	25 µg/m ³ (17%)	18 µg/m ³ (12%)
Vuorokausiohjarvo (70 µg/m ³ , kk:n 2.korkein vrk)	16 µg/m ³ (23%)	12 µg/m ³ (17%)
Tuntiraja-arvo (200 µg/m ³) (19.tunti)	30 µg/m ³ (15%)	20 µg/m ³ (10%)
Vuosiraja-arvo (40 µg/m ³)	8 µg/m ³ (20%)	7 µg/m ³ (18%)

(suluissa pitoisuus prosentteina ohje- tai raja-arvosta)

- Rastin korttelissa typpidioksidipitoisuudet eivät ylitä nykyisiä ilmanlaadun typpidioksidin terveysperusteisia ohje- ja raja-arvoja v. 2030 liikenteen päästöillä.
- Typpidioksidipitoisuudet ovat korkeimmillaan Itsenäisyydenkadun puolella katutasossa, 17-23 % ohje- tai raja-arvoista. Pitoisuuksiin vaikuttaa eniten vaikuttaa

Itsenäisyydenkadun liikenne, jossa v. 2030 on arvioitu liikkuvan n. 8600 ajoneuvoa/vrk. Lisäksi myös rautatietunnelista ja läheiseltä vilkasliikenteisemmältä Ratapihankadulta ilmapäästöjä voi levitä korttelin suuntaan.

- Korttelin rakennusten sisäpihalla pitoisuudet ovat katutasoa pienemmät, koska ilma joutuu kiertämään rakennukset samalla laimentuen. Jonkin verran turbulentitset ilmapölyt voivat kuljettaa epäpuhtauksia myös sisäpihalle mm. Pinninkadun kohdalta talojen välisistä aukoista (vrt Liite 1).

6.2 PM_{2.5}-pitoisuudet v. 2030

Taulukossa 9 on esitetty korkeimmat mallinnetut PM_{2.5}-pitoisuudet Rastin korttelissa (vrt. Liite 2). Tulokset ovat verrattavissa pienhiukkasten vuosiraja-arvoon ja WHO:n pienhiukkasten ilmanlaadun ohje-arvoihin. Tuloksissa on mukana nykytiedon mukainen taustapitoisuus (7.0 µg/m³). Tässä mallinnuksessa on mukana ajoneuvojen suorat hiukkaspäästöt sekä asfalttipöly/katupölyn pienhiukkasfraktio *Piltti*-projektin tulosten mukaan.

Taulukko 9. Korkeimmat mallinnetut PM_{2.5}-pitoisuudet v. 2030 Rastin korttelissa (Liite 2). Taustapitoisuus (7.0 µg/m³) huomioitu tuloksissa.		
Korkein PM_{2.5}-pitoisuusalue v. 2030 Rastin korttelissa		
Vertailu PM_{2.5} ohje- ja raja-arvoihin:	Katutaso Itsenäisyydenkatu	Sisäpiha
WHO:n pienhiukkasten (PM _{2.5}) vuorokausiohje-arvo (25 µg/m ³)	8.5 µg/m ³ (34%)	8 µg/m ³ (32%)
WHO:n pienhiukkasten (PM _{2.5}) vuosiohje-arvo (10 µg/m ³)	7.3 µg/m ³ (73%)	7.1 µg/m ³ (71%)
Pienhiukkasten (PM _{2.5}) vuosiraja-arvo (25 µg/m ³)	7.3 µg/m ³ (29%)	7.1 µg/m ³ (28%)
EU:n pienhiukkasten (PM _{2.5}) kansallinen pitoisuuskatto (20 µg/m ³) v. 2015	7.3 µg/m ³ (36.5%)	7.1 µg/m ³ (35.5%)

(suluissa pitoisuus prosentteina ohje- tai raja-arvosta).

- Rastin korttelissa pienhiukkasten PM_{2.5}-pitoisuudet eivät ylitä WHO:n PM_{2.5}:n ilmanlaadun ohje-arvoja tai pienhiukkasten vuosiraja-arvoa v.2030 liikennepäästöillä.
- Korkeimmatkin pitoisuudet jäävät alle 8.5 µg/m³ vuosipitoisuuden, mikä on rajana ilmanlaatuasetuksessa (VNA 38/2011) esitetyissä altistuksenvähennystavoitteissa.
- Taustapitoisuus (7.0 µg/m³) aiheuttaa suurimman osan alueen pienhiukkaspitoisuudesta. EU:n ilmanlaatudirektiivin pienhiukkaspitoisuuksien yleinen alentamistavoite Euroopassa voi vaikuttaa myös taustapitoisuuteen vuoteen 2030 mennessä. Pienhiukkasista suurin osa tulee Suomeen kaukokulkeumana ja mm. metsäpalot Venäjällä tai Keski-Euroopassa voivat ajoittain nostaa pienhiukkaspitoisuuksia. Nykytiedon mukaan myös puun pienpoltto vaikuttaa PM_{2.5}-pitoisuuksiin Suomessa erityisesti talvisin n. 20-30 %, pientaloalueilla paikallisesti jopa 30-60 %. Rastin korttelin läheisyydessä ei ole pientalo-alueita.
- Autojen päästöistä aiheutuvat PM_{2.5}-pitoisuudet ovat taustapitoisuuteen nähden alhaiset vuoteen 2030 mennessä EURO-päästönormien ja autokannan uusiutuessa. Tässä

mallinnuksessa on huomioitu myös katupölyn pienhiukkasfraktio, joka kasvaa liikenteen lisääntyessä.

6.3 PM₁₀-pitoisuudet v. 2030

Taulukossa 10 on esitetty ohje- ja raja-arvoihin verrannolliset korkeimmat mallinnetut PM₁₀-pitoisuudet Rastin korttelissa (vrt. Liite 3). Tuloksissa on mukana arvioitu taustapitoisuus (12 µgPM₁₀/m³ Luukki). Mallinnuksessa on mukana sekä ajoneuvojen suorat hiukaspäästöt että arvioitu asfalttipöly, katupöly eli resuspensio (=autojen nostattama rengas- ja asfalttipöly, Piltti-projekti).

Taulukko 10. Korkeimmat mallinnetut ohje- ja raja-arvoihin verrannolliset PM₁₀-pitoisuudet v. 2030 Rastin korttelissa (Liite 3). Taustapitoisuus (12 µg/m ³) huomioitu tuloksissa.		
Korkein PM₁₀-pitoisuusalue v. 2030 Rastin korttelissa		
Vertailu PM₁₀ ohje- ja raja-arvoihin:	Katutaso Itsenäisydenkatu	Sisäpiha
Vuorokausiohje-arvo (70 µg/m ³) (kk:n 2.korkein vrk)	30 µg/m ³ (43%)	20 µg/m ³ (29%)
Vuorokausiraja-arvo (50 µg/m ³), (36.vrk)	25 µg/m ³ (50%)	18 µg/m ³ (36%)
Vuosiraja-arvo (40 µg/m ³)	16 µg/m ³ (40%)	14 µg/m ³ (35%)

(suluissa pitoisuus prosentteina ohje- tai raja-arvosta)

- Rastin korttelissa PM₁₀-pitoisuudet eivät ylitä PM₁₀:n ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoja v.2030 liikenneperäisillä päästöillä.
- Eniten hengitettävälle hiukkasille altistuvat kohteet ovat Rastin korttelin Itsenäisydenkadun puolen kerrostalojen katutaso kerrokset, joihin on tulossa liiketiloja. Pitoisuudet ovat korkeimmillaan n. puolet vuorokauden ohje- ja raja-arvosta. Liikenteen Itsenäisydenkadulla ei ennusteta kasvavan voimakkaasti v. 2030 mennessä.
- Katupölyn määrään on mahdollista vaikuttaa mm. renkaiden tuotekehityksellä, liukkaudentorjuntamenetelmillä ja keväisin tien pesun ajoittamisella.
- Katupölyn päästökertoimissa on käytetty uusinta tutkimustietoa PILTTI-projektista⁸.

⁸ Ahtoniemi P. et al., Health Risks from Nearby Sources of Fine Particulate Matter: Domestic Wood Combustion and Road Traffic (PILTTI), 3/2010, National Institute for Health and Welfare, Hki, 2010

7. Yhteenveto ja suositukset

7.1 Ilmanlaatu Tampereella Rastin korttelissa v. 2030

- Terveysperusteiset ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot (NO_2 , PM_{10} ja $\text{PM}_{2.5}$) eivät ylity katutasossa eivätkä myöskään ylemmissä kerroksissa vuoden 2030 liikenteen päästöillä Rastin korttelin alueella. Ilmanlaatu paranee yläkerroksia kohti, mikä näkyy rakennusten kohdalla aluejakaumakuvissa. Ilmanlaatu on myös sisäpihalla parempi kuin Itsenäisyydenkadun varressa katutasossa.
- US EPA:n tekemien uusimpien mittaustulosten mukaan rakennuksilla ja suuremmilla maastoesteillä on epäpuhtauspitoisuuksia laimentava vaikutus verrattuna avoimena olevaan maastoon. Ilmavirtojen pyörteisyys voi kuitenkin kuljettaa epäpuhtauksia myös sisäpihoille mm. talojen välissä olevien aukkojen tai katujen kautta.
- Korkeimmat NO_2 -tuntipitoisuudet edustavat aamu- ja iltapäiväruuhkien lyhytaikaisia ilmanlaatuvaikutuksia. NO_2 -pitoisuudet ovat v. 2030 liikenteellä n. 17-23 % typpidioksidin nykyisistä ohje- tai raja-arvoista.
- Ajoneuvoliikenteen pienhiukkaspäästöistä (pakokaasupäästöt ja katupölyn $\text{PM}_{2.5}$ osuus) aiheutuvat $\text{PM}_{2.5}$ -pitoisuudet jäävät myös Rastin korttelissa lähelle taustapitoisuuden tasoa. $\text{PM}_{2.5}$ -pitoisuudet ovat korkeimmillaan 29-73 % pienhiukkasten ilmanlaadun ohje- ja raja-arvoista. Taustapitoisuus on mallissa arvioitu nykytilanteen mukaiseksi (n. $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Pitoisuustasot eivät edellytä ilmanlaatuasetuksen mukaisia altistuksenvähentämistoimenpiteitä, vaikkakin altistusta tulee aina pyrkiä vähentämään.
- PM_{10} :n ilmanlaadun ohje- ja raja-arvot eivät ylity Itsenäisyydenkadun arvioiduilla liikennemäärillä, PM_{10} -pitoisuudet ovat korkeimmillaan 40-50 % hengitettävien hiukkasten ohje- ja raja-arvoista. Ajosuoritteiden ei ennusteta kasvavan voimakkaasti Itsenäisyydenkadulla vuoteen 2030 mennessä (n. 8300 → 8600 ajon/vrk).
- Epävarmuutta v. 2030 tilanteeseen tuo mm. liikennemäärien todellinen kehittyminen, ajoneuvojen polttoainekehitys, esim. biopolttoaineet ja toisaalta mm. polttokennoautojen ja sähköautojen kehittyminen ja mahdollinen yleistymisen kaupunkiliikenteessä. Myös sääolosuhteiden muuttuminen, mm. ilmastonmuutos voi vaikuttaa meteorologisiin olosuhteisiin, mm. tuulisuuteen ja sekoittumiseen ja siten päästöjen leviämiseen ja laimenemiseen tulevaisuudessa. Ajoneuvojen EURO-päästönormien myötä autojen yksikköpäästökehitys on kuitenkin VTT:n Lipasto ja Liisa ennusteiden (NO_x , $\text{PM}_{2.5}$) mukaan selvästi laskeva verrattuna nykytilanteeseen. Liikenteen nostattaman resuspension/ katupölyn aiheuttamat pienhiukkasten ($\text{PM}_{2.5}$) ja hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) pitoisuuksien arvioidaan kuitenkin kasvavan liikenteen kasvun myötä. Itsenäisyydenkadun liikenteen kasvuennuste oli kuitenkin maltillinen (KVL 8600 ajoneuvoa/vrk v. 2030, nykyisin alle 8300).

7.2 Ilmanlaatumallinnuksen suositukset Rastin korttelin asemakaavasuunnitelmiin

- Ilmanlaatuselvityksen mukaan Rastin kortteliin voidaan rakentaa alustavan suunnitelman mukaiset kerros- ja tornitalot. Itsenäisyydenkadun katutasan kerrokseen on hyvä sijoittaa esim. varastotiloja tai toimi- ja liiketiloja, koska katu kulkee välittömässä läheisyydessä.
- Suunnitelmassa autopaikat on sijoitettu ensimmäiseen kerrokseen tai maan alle halliin. Suunnitelmassa tulee huolehtia siitä, että autohallien ilmanvaihto ei purkautu korttelin tornitalojen sisäpihalle esim. lasten leikkipaikkojen läheisyyteen eikä suunnitellun kattotasanteen ns. terassipihalle. Parkkihallin poistoilma tulee siis johtaa siten, etteivät pakokaasut joudu ihmisten hengitysvyöhykkeelle laimenemattomina.
- Kerrostalojen raitisilmanotto voidaan sijoittaa esim. ylös tai rakennusten sisäpihan puolelle, jossa mallin mukaan ilma on puhtaampaa kuin Itsenäisyydenkadun puolella. Hiukkassuodatus tulisi suositella rakentamistapaohjeissa, vaikkakaan ilmanlaadun nykyiset pienhiukkasten ohjearvot eivät ylittyneet. WHO:n vuosiohjarvo on kuitenkin alhainen $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Poistoilman johtamisessa tulisi huomioida suunniteltu terassipiha katolla ja sen ilmanlaatu.
 - Vaikka pienhiukkaspitoisuudet eivät ylittäneet WHO:n ohjearvoja tai EU:n raja-arvoja voidaan suositella pienhiukkassuodatusta perustuen EU:n Ilmanlaatudirektiiviin (2008/50/EY): ”Pienhiukkaset ($\text{PM}_{2,5}$) aiheuttavat merkittäviä haitallisia vaikutuksia ihmisten terveydelle. $\text{PM}_{2,5}$ -hiukkasille ei tähän mennessä ole voitu määrittää kynnyisarvoa, jonka alittuessa ne eivät aiheuttaisi riskiä. ”
 - Ilmanlaadullisesti tavoitteena on pienhiukkasten taustapitoisuuksien yleinen alentaminen erityisesti kaupunkitaajamissa ja siten annetut raja-arvot ovat vähimmäistaso terveydensuojelun kannalta ilmanlaadultaan huonoimmille alueille.
- Lasten leikkipaikkojen ja piha-alueiden oleskelualueiden sijoituksessa ilmanlaatumallinnus tulee huomioida ja sijoittaa leikkipaikat sisäpihalle ja oleskelutiloja esim. suunnitelman ylätasanteelle. Kasvit (havu- ja lehtikasvit) sitovat isompia katupölyhiukkasia ja ovat sen tähden suositeltavia pihasuunnitelmissa.
 - Suosituksen mukaan lasten ja vanhusten leikki- ja oleskelualueet tulee sijoittaa ilmanlaatumallinnuksen eri epäpuhtauksien (NO_2 , PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$) aluejakaumakuvien mukaan kaikkein puhtaimmille alueille ko. kortteleissa, koska tällöin vältetään herkkien väestöryhmien turhaa altistumista.

8. Mallin epävarmuuden arviointi

Leviämismallinnuksen epävarmuusarviointia tehdään vertaamalla saman ajankohdan ulkoilmapitoisuuksien mittausdataa ja mittauspisteeseen mallilla laskettuja pitoisuuksien aikasarjoja keskenään silloin, kun kaikki suurimmat ulkoilmapitoisuuksiin vaikuttavat päästölähteet ovat mallissa mukana. Tehtäessä mallinnuksia tulevaisuuden päästötiedoilla ei vastaavaa vertailua voida tehdä.

AERMOD-mallin ja mitattujen pitoisuuksien verifiointia on tehty useissa kohteissa pääkaupunkiseudulla kaavoitustarkastelujen yhteydessä nykyliikenteellä. Näitä ovat esimerkiksi Espoossa Tiistinniitty, Miilukorpi, Marinkallio ja Helsingissä Vartiokylä. Vertailu on luotettavinta silloin, kun mittauspisteet ja mallinnuskohde sijaitsevat lähellä toisiaan ja ovat maastollisesti samankaltaisissa paikoissa ja lisäksi liikenne tieosuuksilla on samankaltainen. Vertailutulosten perusteella uuden sukupolven AERMOD-mallia voidaan pitää luotettavana ilmanlaadun kuvaajana suomalaisissa olosuhteissa.

Valtioneuvoston asetuksessa ilmanlaadusta (VNA 38/2011, Liite 8) on esitetty laatutavoitteet eri ilmanlaadun seurantamenetelmille. Typpidioksidin ja typen oksidien mallintamisen sallittu epävarmuus on tuntiarvoille 50-60 %, 24 tunnin arvoille 50 % ja vuosiarvoille 30 %. Hiukkasten mallintamisen vuosiarvojen sallittu epävarmuus on 50 %.

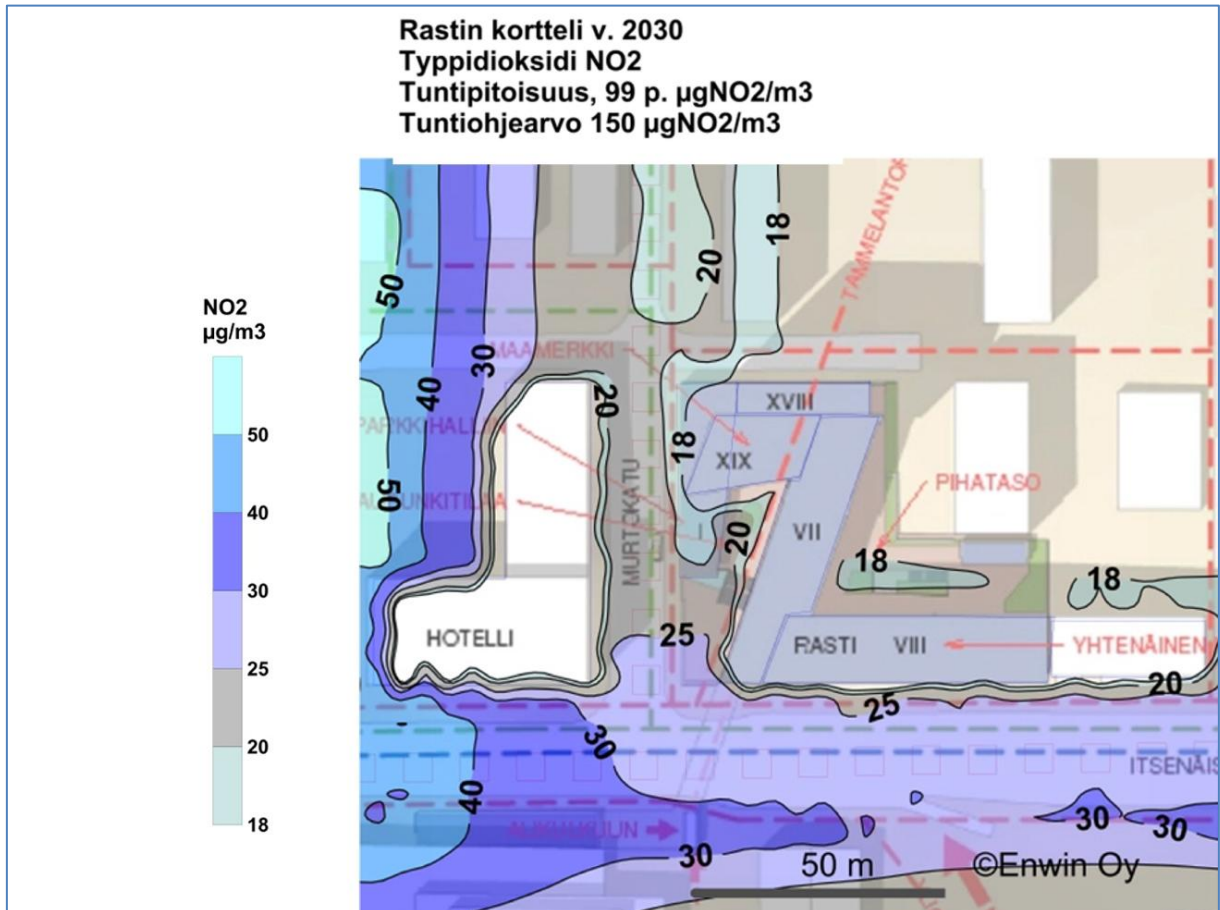
Tässä selvityksessä tehtyjen mallinnusten suurimmat epävarmuustekijät liittyvät mallin liikenteen ennustettujen lähtötietojen epävarmuuteen:

- tulevaisuuden liikennemääriin ja henkilö- ja raskaan liikenteen osuuksiin
- sekä toisaalta autojen yksikköpäästötietoihin, suoritejakaumiin ja ikärakenteeseen
- katupölyn määrään suhteessa liikennetiheyteen ja eri ajoneuvoluokkiin
- tulevaisuuden taustapitoisuuksien kehitykseen
- sääolosuhteiden muutoksiin, mm. ilmastonmuutoksen vaikutuksiin

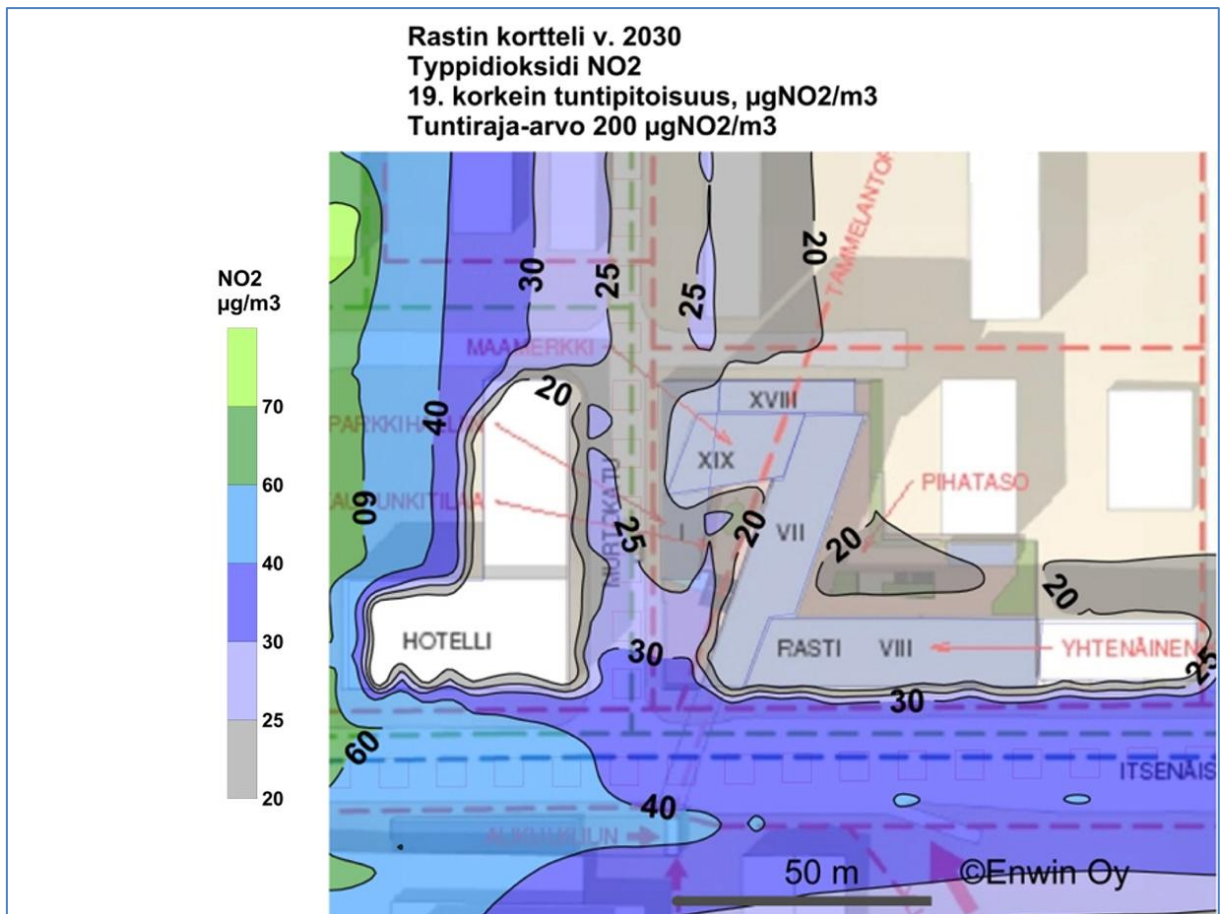
Liikennemalleissa lähtötietoihin liittyvät epävarmuudet ovat yleensä suuremmat kuin piippulähdemalleissa, koska pistelähteiden päästöjä mitataan joko jatkuvatoimisesti tai ainakin vuosittain tehtävissä päästömittauksissa. Liikennepäästötiedot sen sijaan perustuvat liikennelaskentaan, päästökertoimiin ja keskimääräisiin ajoneuvojen suoritejakaumiin ko. tieosuuksilla.

Tulevaisuuden ennustemalleissa myös alueellisen taustan arviointi perustuu ennusteeseen. Taustapitoisuudet on tässä arvioitu nykyisten ilmanlaadun mittaustietojen pohjalta. Luukki valittiin tausta-asemaksiksi, koska Tampereella on suhteellisen paljon teollista toimintaa pääkaupunkiseudun tavoin, jolloin taustapitoisuudetkin voivat olla liikenteen ja teollisuuden vaikutuksesta korkeammat kuin maaseutumaisilla paikkakunnilla.

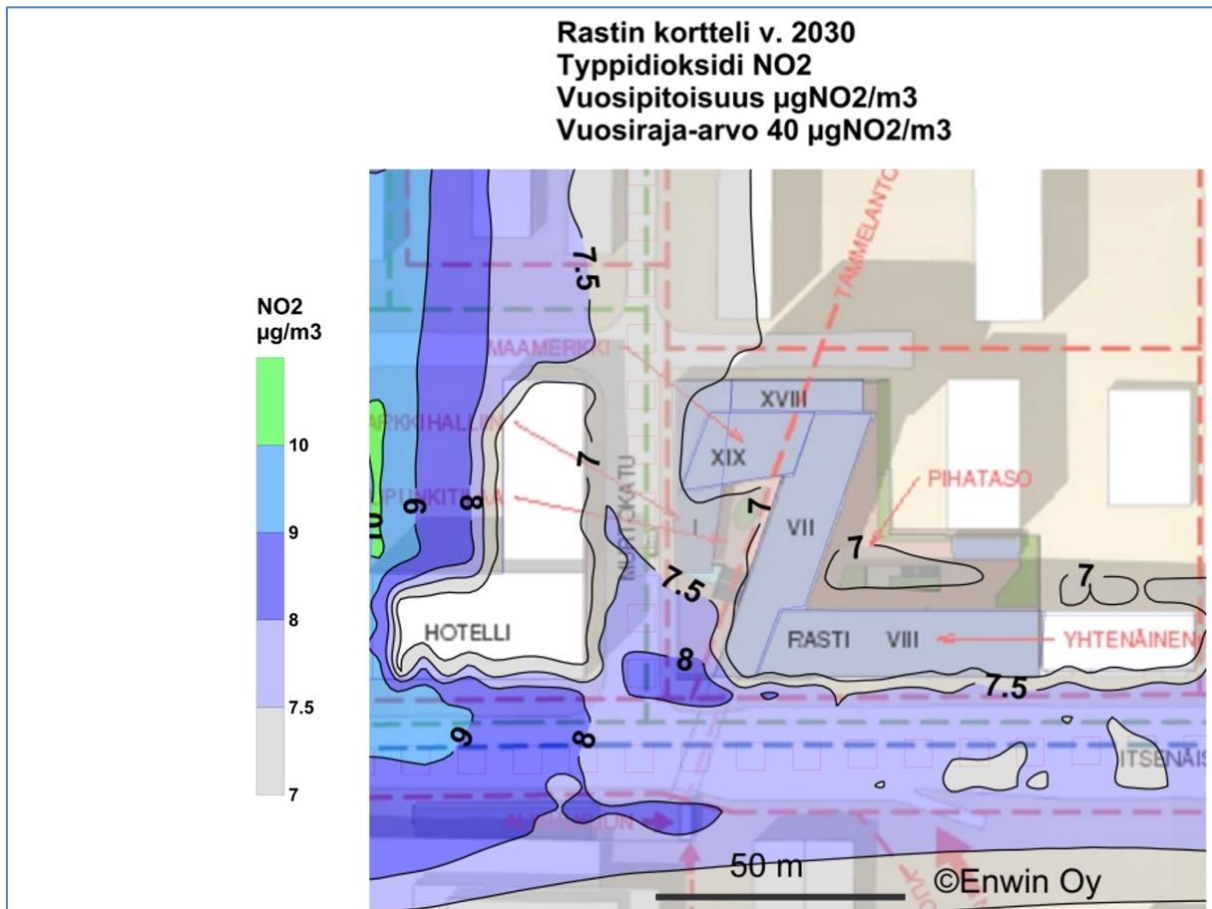
LIITE 1. Typpidioksidin leviäminen



Kuva 1. Ilmanlaadun NO₂:n tuntiohजारvoon (150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 99. prosenttipiste) verrannolliset typpidioksidi-pitoisuudet $\mu\text{gNO}_2/\text{m}^3$ (v. 2030 liikenne+tausta).

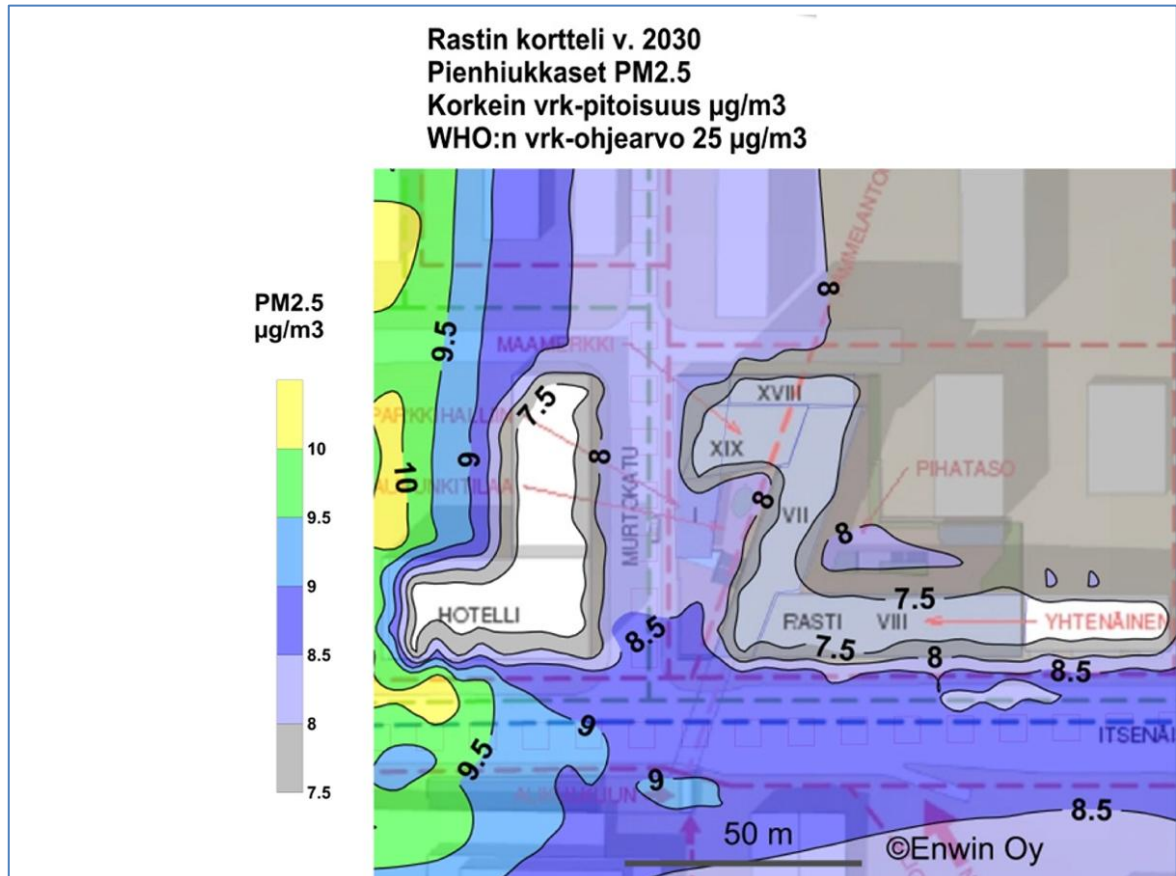


Kuva 3. Ilmanlaadun NO₂:n tuntiraja-arvoon (200 µg/m³, vuoden 19. korkein tunti) verrannolliset typpidioksidipitoisuudet (v. 2030 liikenne + tausta).

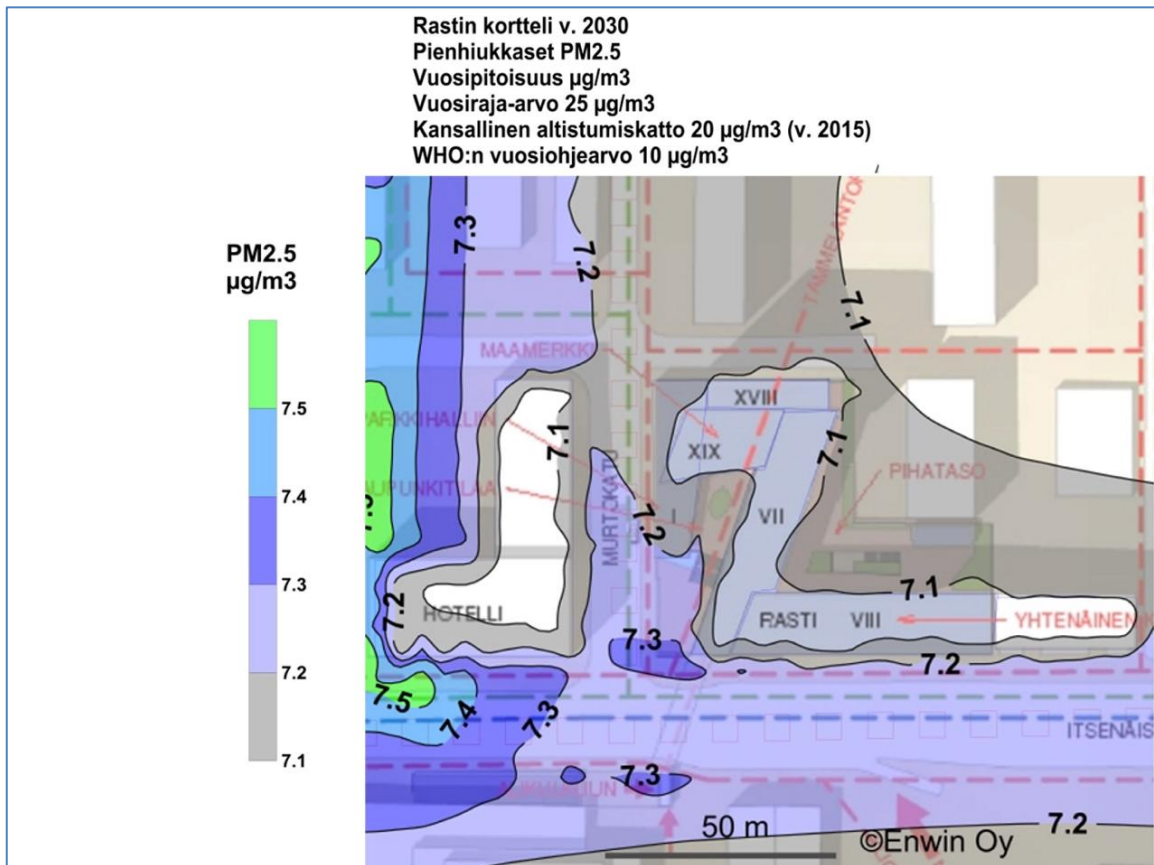


Kuva 4. Ilmanlaadun NO₂:n vuosiraja-arvoon (40 µg/m³) verrannolliset typpidioksidin vuosipitoisuudet (v. 2030 liikenne+ tausta).

LIITE 2. PM_{2.5} hiukkaspäästöjen leviäminen

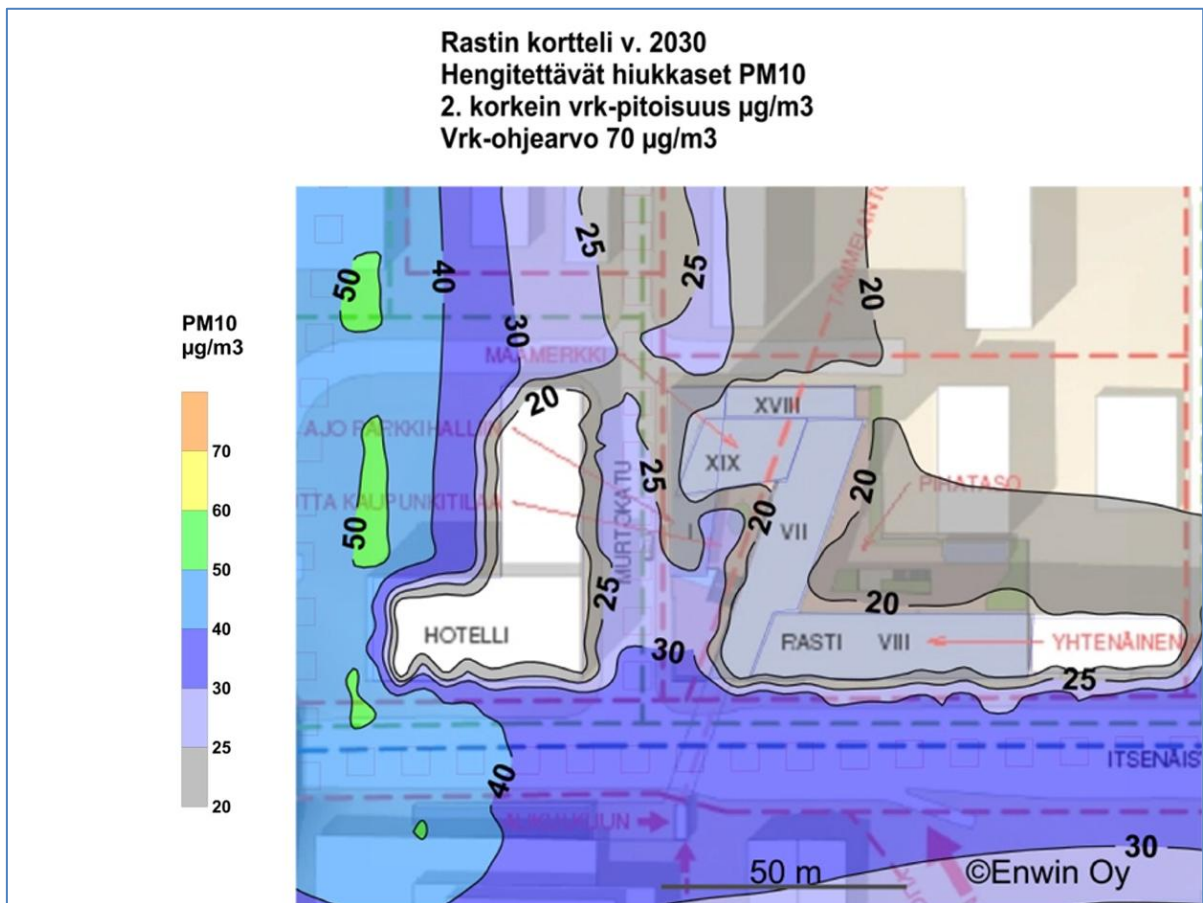


Kuva 5. WHO:n ilmanlaadun PM_{2.5} vuorokauden ohjearvoon ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset PM_{2.5}-pitoisuudet (v. 2030 liikenne+tausta).

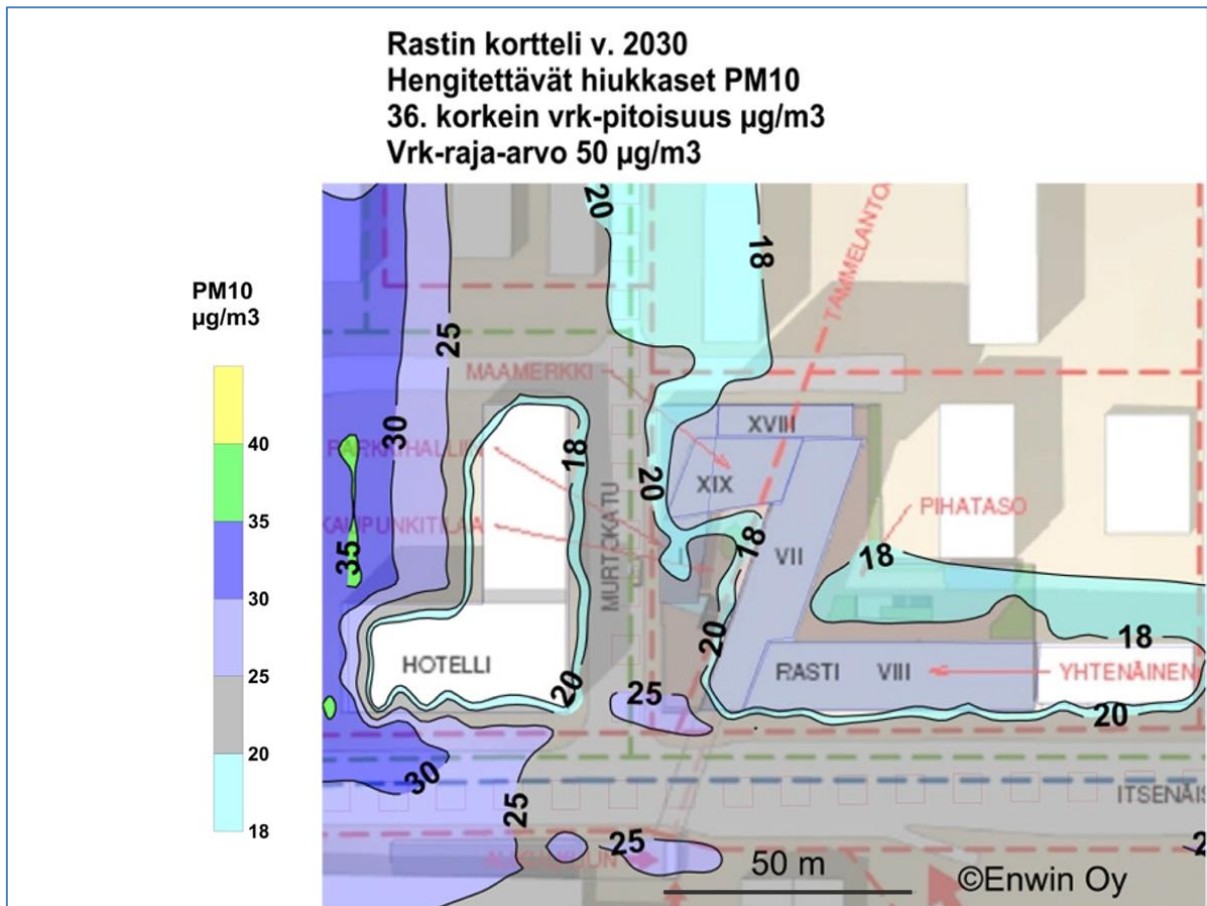


Kuva 6. PM_{2.5}-vuosituloisuus – verrannollinen ilmanlaadun PM_{2.5} vuosiraja-arvoon ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja WHO:n vuosiohjearvoon ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (v. 2030 liikenne+tausta).
Jos $< 8.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ei asetuksella määriteltyjä altistuksen vähennystavoitteita.

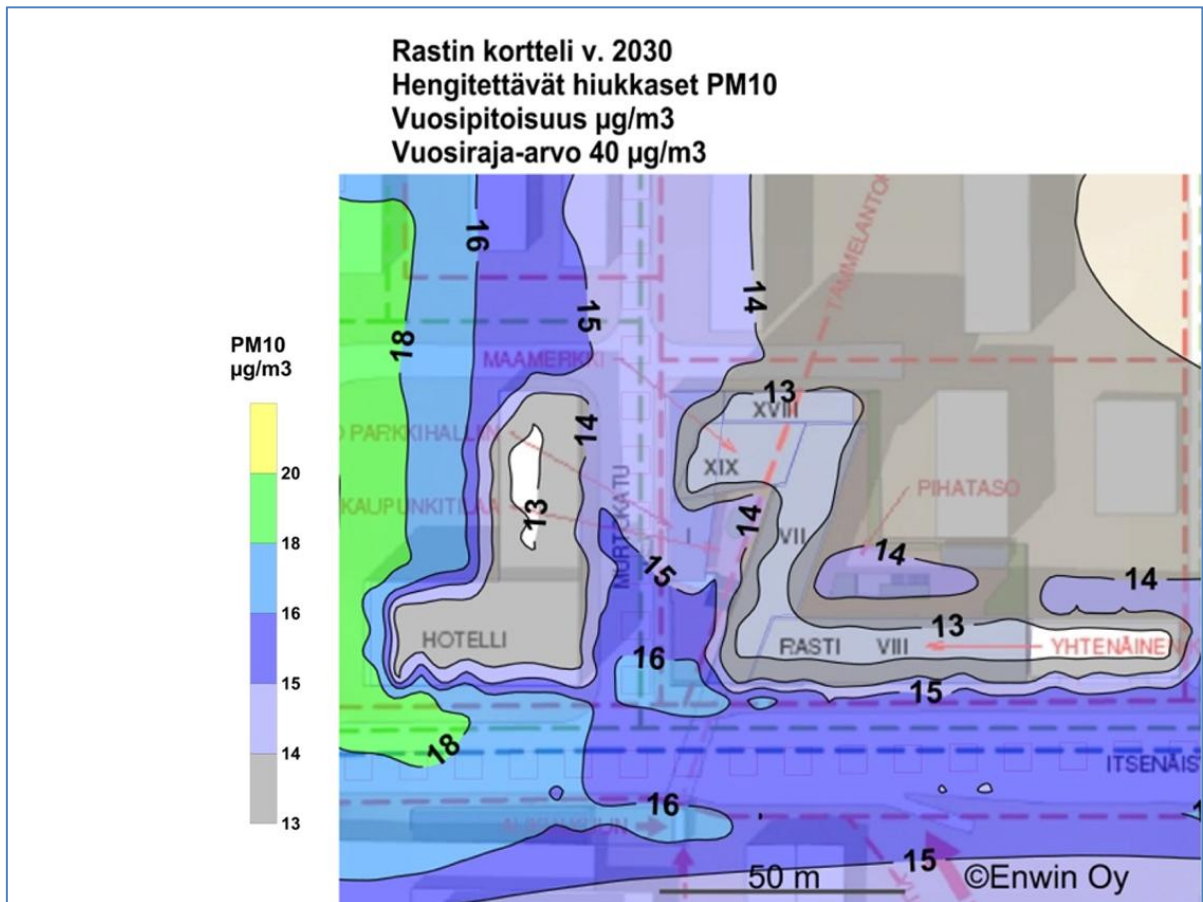
LIITE 3. PM₁₀ hiukkaspäästöjen leviäminen



Kuva 7. Ilmanlaadun PM₁₀ vuorokauden ohjearvoon ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2. korkein vrk) verrannolliset PM₁₀-pitoisuudet (v. 2030 liikenne+tausta).



Kuva 8. Ilmanlaadun PM₁₀ vuorokauden raja-arvoon ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 36.korkein vrk) verrannolliset PM₁₀-pitoisuudet (v. 2030 liikenne+tausta).



Kuva 9. Ilmanlaadun PM₁₀ vuosisiraja-arvoon ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) verrannolliset PM₁₀-pitoisuudet (v. 2030 liikenne+tausta).