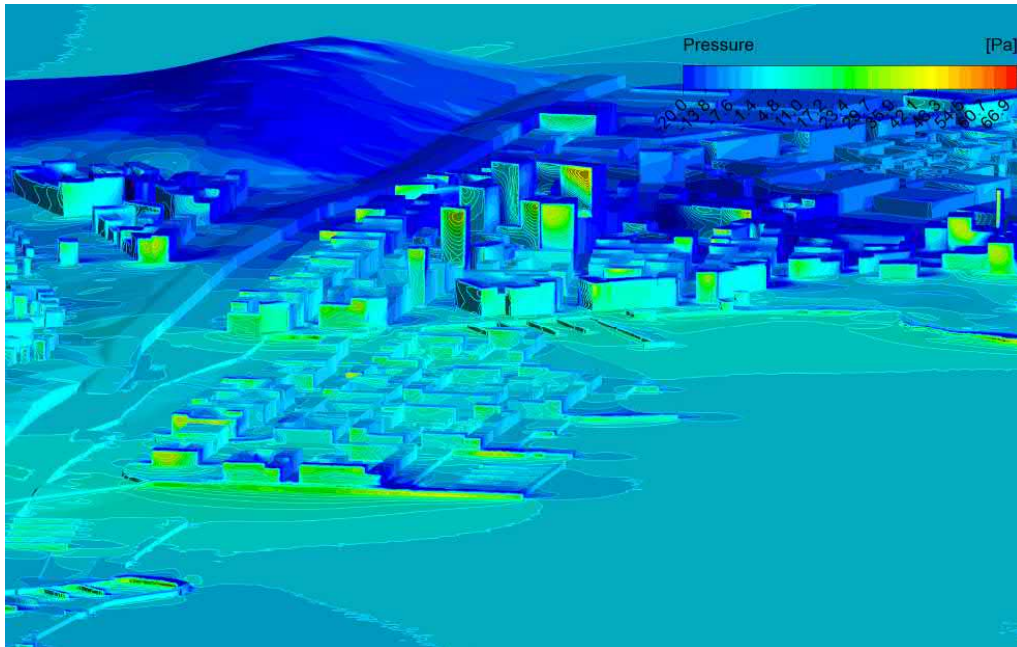


Vastaanottaja  
Tampereen Kaupunki, Kaupunkiympäristön palvelualue

Asiakirjatyyppe  
Raportti

Päivämäärä  
17.09.2019

# HIEDANRANNAN YLEISSUUNNITELMAN TUULISUUSTARKASTELU JA -LAUSUNTO, PÄIVITYS 2019



Projekti Hiedanrannan yleissuunnitelman tuulisuustarkastelu ja -lausunto,  
päivitys 2019  
Vastaanottaja Tampereen Kaupunki, Kaupunkiympäristön palvelualue  
ID -numero ID 2682854  
Asiakirjatyyppe Raportti  
Päivämäärä 17.09.2019  
Laatija Niklas Söderholm, Mats Böök  
Tarkastaja Kirsikka Siik  
Kuvaus Raportti

Ramboll  
Itsehallintokuja 3  
02601 Espoo

P +358 44 357 4375  
[www.ramboll.fi](http://www.ramboll.fi)

## SISÄLTÖ

1.	Päivitetty tuulisuussimulointi vuoden 2019 yleissuunnitelman pohjalta	2
1.1	Yleiset tuulisuustarkastelun tavoitteet	2
2.	Tuulisuustiedot	3
3.	Simulointimallin kuvaus	5
3.1	Hiedanrannan aluemalli	5
3.2	Liikenneperäiset päästöt leviämistarkasteluja varten	7
4.	Simuloinnin suoritus	8
4.1	Simulointiohjelma	8
4.2	Simuloinnin keskeisimmät lähtötiedot	8
4.3	Tarkasteluihin valitut tuulen suunnat	10
4.4	Simulointitulosten tulkinnessa käytetyt arviointikriteerit	11
5.	Tuulisuuskartoituksen tulokset	12
5.1	Virtauskenttä, staattisen paineen jakauma ja liikenteestä peräisin olevien päästöjen leviäminen	12
5.1.1	Tuuli lounaan suunnalta: normaali tuuli	13
5.1.2	Tuuli lounaan suunnalta: puuskainen tuuli	15
5.1.3	Tuuli pohjoisen suunnalta	15
5.1.4	Tuuli koillisen suunnalta	17
5.1.5	Tuuli kaakon suunnalta	19
5.2	Aluetason lämpöviihtyvyyden arviointi	21
5.2.1	Tuuli lounaan suunnalta: normaali tuuli	22
5.2.2	Tuuli pohjoisen suunnalta	23
5.2.3	Tuuli koillisen suunnalta	25
5.3	Tuuli lounaan suunnalta meluaidalla: normaali tuuli	27
6.	Johtopäätökset tuulisuuskartoituksesta	30

# 1. PÄIVITETTY TUULISUUSMULOINTI VUODEN 2019 YLEISSUUNNITELMAN POHJALTA

Tässä raportissa on esitetty Tampereen Hiedanrannan yleissuunnitelmaan liittyvän tuulisuuskartoituksen tulokset vuoden 2019 heinäkuussa päivitetyn aluemallin perusteella. Raportissa on esitetty vastaavat simulointitapaukset (esim. paikallinen lämpöihtiivyyden- ja liikenteen pakokaasujen leviäminen) kuin alkuperäisessä 06.11.2018 päivättyssä raportissa. Päivityksessä raportissa on alkuperäiseen raporttiin nähden huomioitu lisäksi karkeasti maaston muodot, erityisesti Hiedanrannan reuna-alueilla. Tarkennetut maaston muodot parantavat tuulisuussimuloinnin tarkkuutta etenkin lounais- ja kaakkoistuulilla.

Alkuperäiseen vuoden 2018 yleissuunnitelmaan nähden merkittävin muutos uudessa aluemallissa on järven rannalla olevan keinosaaren kasvaminen leveys suunnassa mantereelta ulospäin (järvikaupunki, vaihe 2). Aluemalliin on tehty muutoksia myös järven poukamassa sekä rantaviivalla olevien rakennusten massoitteeluun.

Päivitettyjä simulointeja on tämän raportin viimeisessä luvussa vertailtu valittujen tuulen suuntien osalta vuonna 2018 tehtyihin simulointeihin. Korkeuserot huomioivasta simulointimallista johtuen simulointitulokset (esim. ilman liikenoisuus ja lämpötila) on tässä päivityksessä raportissa esitetty hieman eri korkeuksilla maan pinnasta kuin alkuperäisessä raportissa. Päivityksessä raportissa referenssikorkeus maan pintaan nähden on valittu Hiedanrannan keskustan mukaan. Simulointitulokset esimerkiksi keinosaaren kohdalla on siis esitetty korkeammalla tasolla paikalliseen maan pinnan tasoon nähden. Toisin sanoen Hiedanrannan keskusta sijaitsee simulointimallissa korkeammalla tasolla kuin keinosaaren alue.

## 1.1 Yleiset tuulisuustarkastelun tavoitteet

Tässä raportissa esitetyn Tampereen Hiedanrannan yleissuunnitelman laatimiseen liittyen tehdyn tuulisuuskartoituksen tavoite oli paikallistaa erityisen tuuliset ja mahdollisesti epävihtyisät kohdat alueella, jotta tehdyt havainnot osataan ottaa huomioon alueen jatkosuunnittelussa. Jatkosuunnittelussa on suositeltava täsmentää tässä raportissa esitettyjen havaintojen pohjalta rakennusten sijoittelua ja suuntausta ja hyödyntää paikoitellen tuulta sekoittavia esteitä olosuhteiden parantamiseksi.

Tuulisuushavaintojen lisäksi simuloinnin tavoitteena oli havainnollistaa liikenneperäisten tyyppien oksidien NO<sub>x</sub> leviämistä ympäristössä liikenne-ennusteeseen perustuen. Leviämistarkastelu täydentää alueelle tehtyä ilmanlaatuselvitystä havainnollistamalla liikenteestä peräisin olevien epäpuhtauksien leviämistä tarkastelluissa tuuliolosuhteissa (tuulen suunta ja nopeus). Leviämistarkastelujen avulla paikallisestetaan mahdollisesti heikosti tuulettuvat katuosuudet tarkastelluilla tuulen suunnilla. Tuloksia vertailtiin tyyneessä tilanteessa tehtyyn simulointiin, jotta suhteelliset eroavaisuudet paljastuvat tuulettuvuuden osalta: mille katuosuuksille päästöt kertyvät ja miltä osuuksilta päästöt leviävät tasaisesti ympäristöön. Leviämistarkastelun tuloksia tulkittaessa on hyvä tiedostaa, että suoraa vertailua ilmanlaatuselvitykseen ei tulisi tehdä, koska käytetyt menetelmät poikkeavat merkittävästi toisistaan.

Tuulisuustarkastelua hyödynnettiin myös paikallisen lämpöihtiivyyden havainnollistamiseksi Hiedanrannan alueella tarkastelluilla tuulen suunnilla. Tarkasteluiden painopiste oli ihmisten aistima lämpöihtiivyyden, joka muodostuu paikallisista lämpöolosuhteista: ympäristön pintalämpötilojen ja ilman liikkeen paikallinen vaihtelu alueella. Lämpöihtiivyydestarkastelu korostaa maaston, vesistön ja rakennusten pintalämpötilojen paikallisia eroja erikseen valittuna ajankohtana. Järven läheisyyden ansiosta lämpöihtiivyyden arvioinnissa korostuvat tuulen suunnat, jotka puhaltavat pohjoisen suunnalta (järven yli). Tuloksia tulkittaessa huomio on erityisesti alueen sisäisissä lämpötilaeroissa, ei lämpötilan absoluuttisessa tasossa, koska tarkastelut on tehty hyvin tarkasti rajatussa laskentatilanteessa. Valittu tilanne kuvaa aurinkoista ja pilvistä päivää huhtikuun alussa.

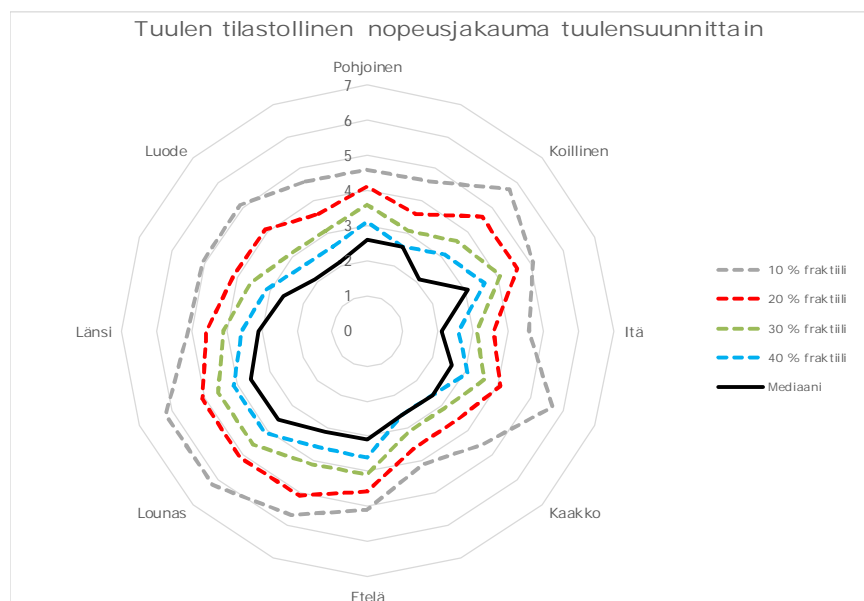
## 2. TUULISUUSTIEDOT

Tuulisuuskartoituksen lähtötietona on käytetty julkaisun *Tilastoja Suomen ilmastosta 1981-2010* (Ilmatieteen laitos, 2012) tuulisuustietoja. Tässä raportissa käytetyt tuulisuustiedot on esitetty kuvassa 1 pohjautuen Tampereen Pirkkalan lentoasemalla mitattuun tuulen keskinopeuden ja suhteellisen jakaumaan. Tuuli puhaltaa havaittajaa kohti ilmansuunnalta, joka on ilmoitettu kuvassa.

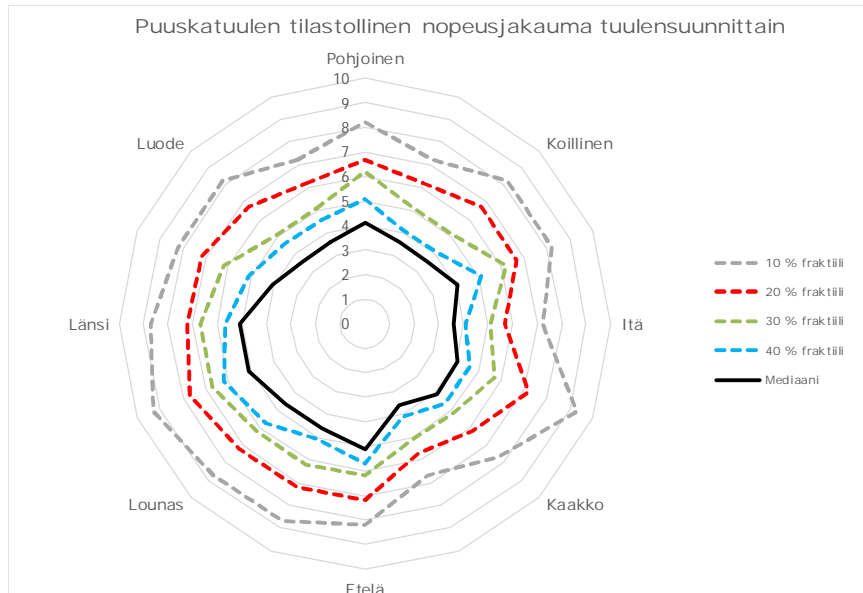
Tuulien jakautuminen – Wind distribution																		
Kk	N		NE		E		SE		S		SW		W		NW		Tyynti	Ka
Month	m/s	%	m/s	%	m/s	%	m/s	%	m/s	%	m/s	%	m/s	%	m/s	%	%	m/s
1215	PIRKKALA TAMPERE-PIRKKALAN LENTOASEMA																	
1	2,7	10	2,9	7	3,3	8	3,5	13	3,4	16	4,4	19	3,8	11	3,1	7	8	3,2
2	2,6	10	3,1	8	3,1	10	3,3	13	3,4	17	3,8	18	3,6	9	3,0	7	8	3,0
3	2,9	9	3,0	6	3,4	9	3,3	15	3,6	20	3,8	15	3,7	9	3,0	7	9	3,1
4	3,3	12	3,7	9	3,3	9	3,2	12	3,3	16	3,5	13	3,7	10	3,2	8	10	3,1
5	3,1	11	3,3	9	3,3	9	2,9	9	3,3	14	3,7	14	3,8	15	3,2	9	10	3,0
6	3,1	12	3,1	9	3,2	8	3,0	9	3,2	15	3,6	13	3,5	13	3,1	11	9	2,9
7	3,0	10	2,9	7	2,9	6	2,7	10	3,1	17	3,5	16	3,4	13	2,8	10	10	2,8
8	2,9	10	2,8	8	3,1	9	2,8	12	3,0	16	3,4	14	3,3	11	2,8	10	11	2,7
9	3,1	7	3,3	9	3,3	8	3,0	12	3,2	17	3,6	17	3,5	12	3,1	9	10	3,0
10	3,3	6	3,1	7	3,3	8	3,2	14	3,3	20	4,0	20	3,7	12	3,2	9	6	3,3
11	3,5	6	3,5	9	3,3	10	3,2	17	3,3	18	4,1	17	3,6	9	3,1	8	5	3,3
12	3,0	7	3,5	9	3,3	9	3,3	13	3,5	18	4,1	18	3,6	11	3,0	8	7	3,3
Vuosi/ Year	3,0	9	3,2	8	3,2	9	3,2	12	3,3	17	3,8	16	3,6	11	3,0	9	9	3,1

Kuva 1. Tuulisuustiedot Tampereen Pirkkalan lentoasemalle.

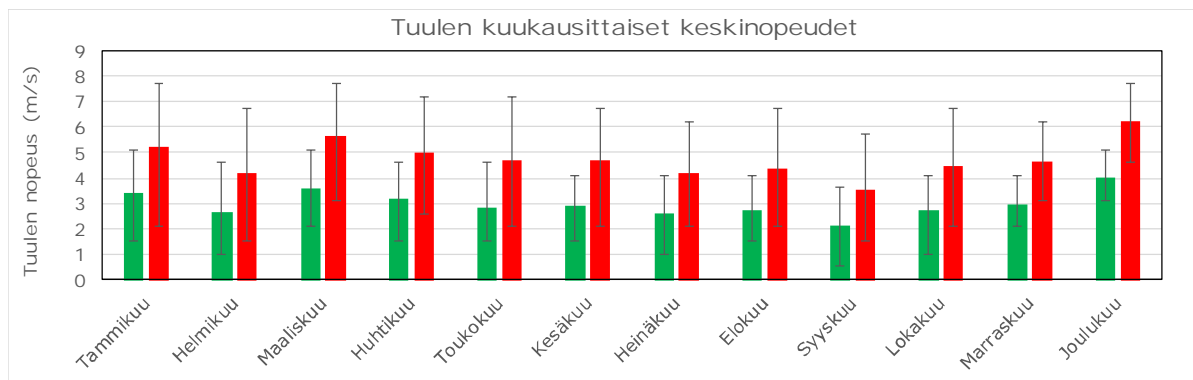
Yksityiskohtaisia tuulisuustietoja Tampereen Pirkkalan lentoaseman mittauspisteestä kartoitettiin vuoden 2017 osalta hyödyntämällä Ilmatieteen laitoksen avointa datapankkia. Yhteenvedot tuulisuustiedoista on esitetty kuvissa 2, 3 ja 4. Kuvissa 2 ja 3 on esitetty tuulen ja puuskatuulen keskimääräiset nopeudet ilmansuunnittain ja kuvassa 4 tuulen ja puuskatuulen keskimääräiset nopeudet kuukausikeskiarvojen muodossa.



Kuva 2. Tuulen tilastollinen nopeusjakauma tuulensuunnittain. Mustalla viivalla on kuvattu tuulen mediaaninopeus, jonka lisäksi on esitetty suurimpien nopeuksien fraktiilit 10 % - 40 %. Fraktiili 10 % kuvaa esimerkiksi, että 10 % ajasta tuulen nopeus ylittää fraktiilissa esitetyn nopeuden.



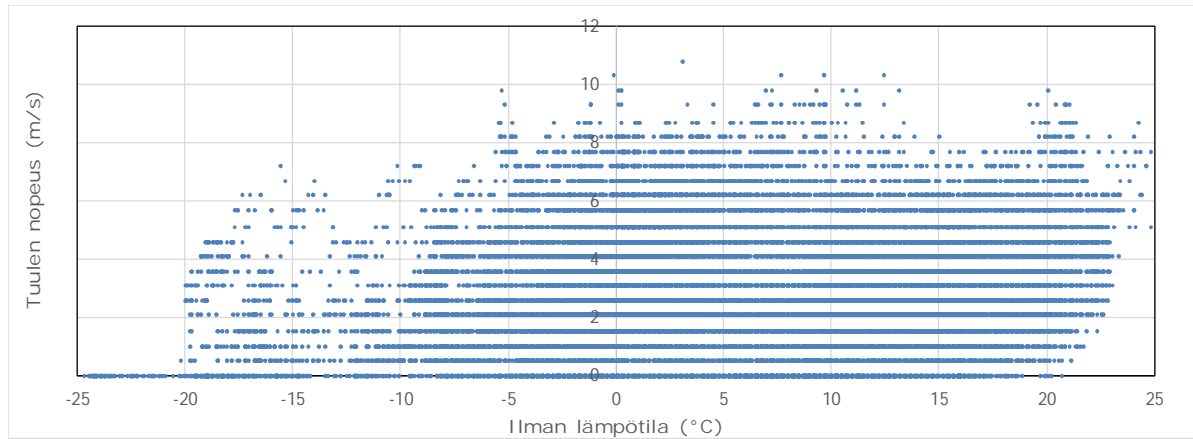
Kuva 3. Puuskatuulen tilastollinen nopeusjakauma tuulensuunnittain. Mustalla viivalla on kuvattu puuskatuulen mediaaninopeus, jonka lisäksi on esitetty suurimpien nopeuksien fraktiilit 10 % - 40 %. Fraktiili 10 % kuvaa esimerkiksi, että 10 % ajasta puuskatuulen nopeus ylittää fraktiilissa esitetyn nopeuden.



Kuva 4. Tuulen (vihreä pilari) ja puuskatuulen (punainen pilari) kuukausittaiset keskinopeudet. Tulosten hajontaa on kuvattu mustien virhepalkkien avulla, joissa pienintä tulosta edustaa 20 % fraktiili ja isointa tulosta 80 % fraktiili.

Kuvan 1 mukaisesti vuoden keskimääräinen tuulen nopeus Tampereen alueella on tilastollisesti 3,1 m/s. Vuoden 2017 tuulitietojen pohjalta (kuva 2) korkeimmat keskimääräiset tuulen nopeudet puhaltavat lounaan suunnalta ja matalimmat keskimääräiset tuulen nopeudet kaakon ja luoteen suunnalta. Puuskatuulia, nopeus luokkaa 8 m/s, esiintyy puolestaan melko tasaisesti kaikilla mahdollisilla tuulen suunnilla. Tilastollisesti puuskatuulet lännen ja etelän väliltä ovat kuitenkin yleisimpiä. Vuoden aikojen mukaan tarkasteltuna korkeimmat tuulen nopeudet painottuvat talvisaikaan ja matalimmat nopeudet loppukesän tienoille.

Tuulen nopeuden ja ilman lämpötilan välistä yhteyttä Tampereen seudulla on havainnollistettu vuoden ajalta kuvassa 5 pistepilvellä 10 minuutin välein mitattuna. Data on mitattu Tampereen Pirkkalan lentoasemalla vuoden 2017 aikana.



Kuva 5. Tuulen nopeus ilman lämpötilan funktiona vuoden aikana.

Tilastollisesti kuvan 5 säädatasta nähdään, että esimerkiksi 8 m/s ylittäviä tuulen nopeuksia esiintyy eniten lämpötilavälillä 0 – 10 °C: korkeimmat tuulen nopeudet luokkaa 10 m/s ja keskinopeus noin 3,5 m/s. Kylmällä pakkassäällä,  $T < -15$  °C, tuulen nopeus on suurimman osaa ajasta alle 5 m/s, keskiarvon ollessa noin 2,5 m/s.

### 3. SIMULOINTIMALLIN KUVAUS

#### 3.1 Hiedanrannan aluemalli

Tuulisuussimuloinnin päivityksessä käytettyä Hiedanrannan yleissuunnitelman (Schauman & Nordgren Architects, päiväys 02.07.2019) 3D -aluemallia on havainnollistettu kuvassa 6.

Maaston korkeuserot sisällytettiin päivitettyyn simulointimalliin soveltuvin osin. Hiedanrannan keskustan ulkopuolella maasto vastaa karkealla tasolla yleissuunnitelman 3D -mallissa esitettyä muotoa. Keskustan alueella maasto on puolestaan suoraviivaista. Olemassa oleva rakennuskanta Hiedanrannan eteläpuolella otettiin simulointimallissa huomioon lähinnä tuulta satunnaisesti sekoittavina esteinä. Toisin sanoen olemassa olevia rakennuksia ei mallinnettu tarkasti niiden todellisen geometrian perusteella. Maastossa todellisuudessa kasvavia puita ei otettu huomioon simuloinnissa.

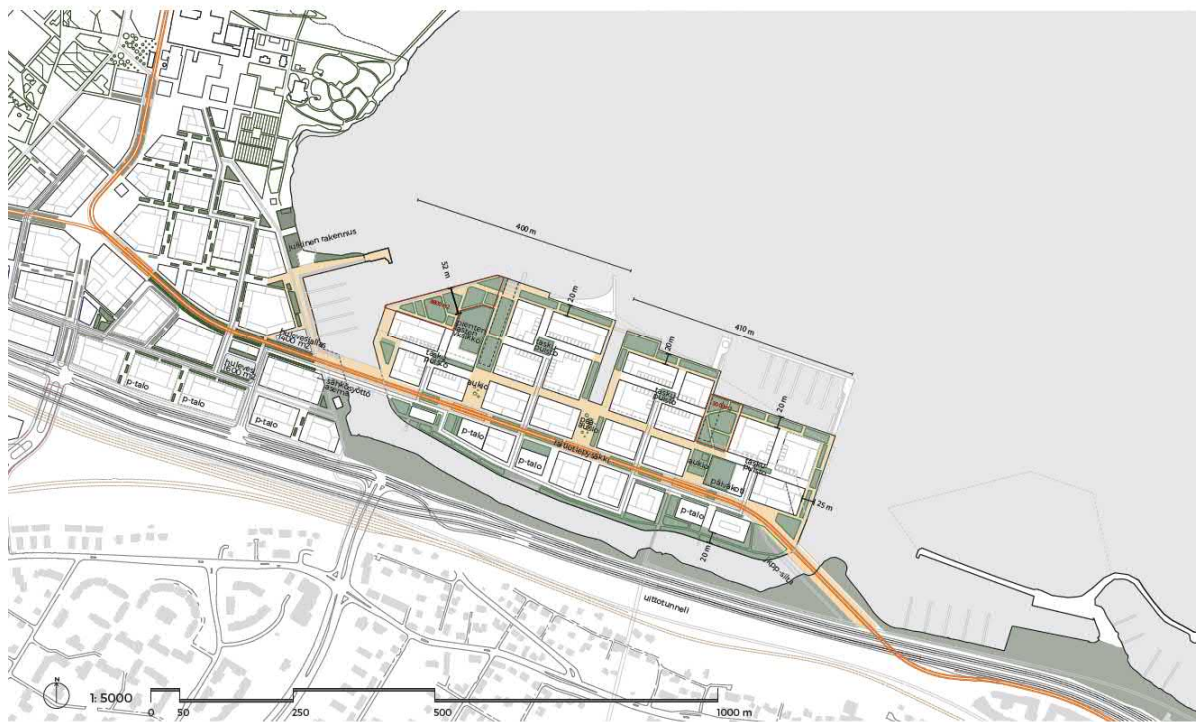
Alueen pohjoispuolella sijaitseva Niemenrannan asuinalue otettiin simulointimallin laajuuden puitteissa osittain huomioon tuulta sekoittavana esteenä. Hiedanrannan alueen välittömässä läheisyydessä sijaitsevat järvet, Lielähti ja Hyhkynlahti, sisällytettiin laajuuden puitteissa simulointimalliin. Simulointia varten aluemalli rajattiin ympyrämuotoiseksi halkaisijan ollessa noin 3,5 km. Ympyrämuotoisen alueen ulkopuolelle lisättiin simuloinnin suorittamista varten riittävästi tyhjää aluetta kuvassa 9 esitetyn mallin mukaisesti.

Kuvassa 7 on esitetty Hiedanrannan alustava yleissuunnitelma, päivätty 02.07.2019.



Kuva 6. Täydellinen Hiedanrannan aluemalli sisältäen olemassa olevat rakennukset ja maaston korkeuserot. Simulointia varten aluemallia rajattiin ja yksinkertaistettiin soveltuvin osin.

JÄRVIKAUPUNKI - VAIHE 2 - 1:5000



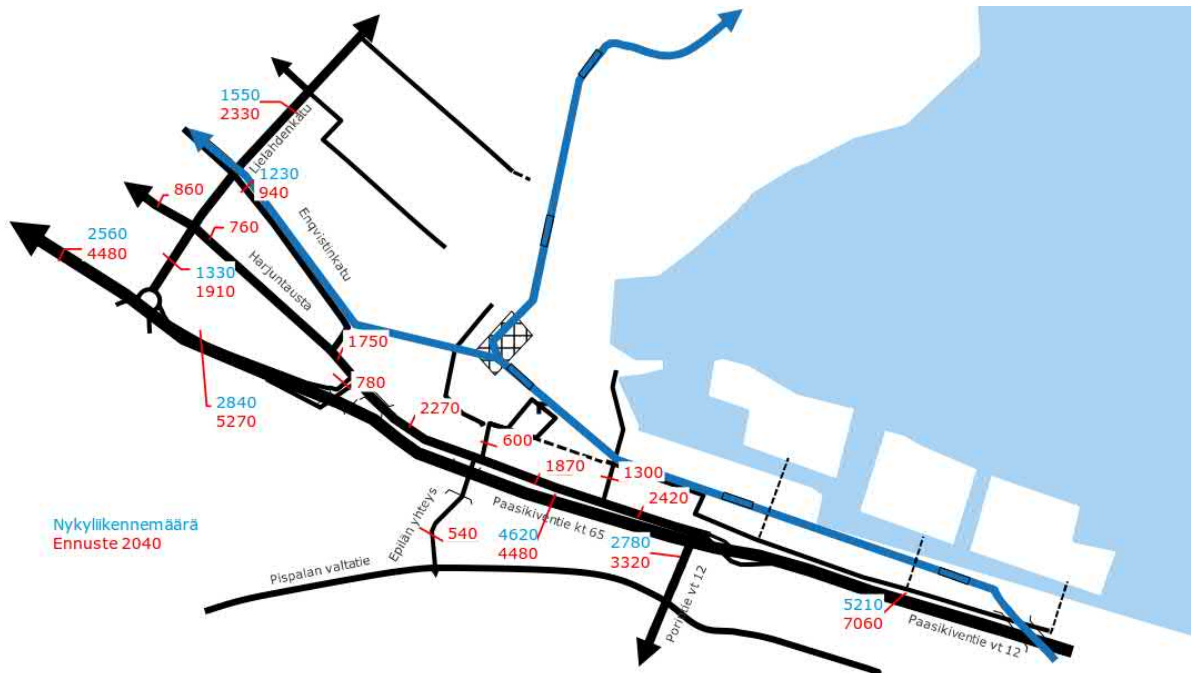
Kuva 7. Hiedanrannan yleissuunnitelma (heinäkuu 2019), josta käy ilmi rakennusten massoittelu ja liikenneyhteydet järven poukaman läheisyydessä



### 3.2 Liikenneperäiset päästöt leviämistarkasteluja varten

Liikenneperäisten päästöjen leviämistä Hiedanrannan alueelle selvitetiin leviämismallinnuksen avulla, jossa tarkasteltu merkkiaine on liikenteestä peräisin oleva NO<sub>x</sub> (typen oksidit). Leviämistarkastelulla havainnollistetaan typen oksidien leviämistä kaupunkialueella tuulen suunnasta riippuen. Tarkastelun lähtökohta on ruuhkatunti, jolloin liikenteen päästöt ovat suurimmillaan.

Simuloinnissa käytetyt liikennemäärät pohjautuvat vuoden 2040 ennustettuihin liikennemääriin, ajoja / h. Nykytilanteen sekä vuoden 2040 ennustetut liikennemäärät on esitetty kuvassa 8. Kuvassa 8 esitettyjen liikennemäärätietojen lisäksi (tiedot vuodelta 2018) simuloinnissa hyödynnettiin erityisesti keinosaaressa osalta uudempiä vuoden 2019 liikennemääräarvioita: Ajoneuvoliikenteen vuorokausiliikennemäärät ajosuunnittain, liikenne-ennuste v. 2040, Tampereen Kaupunki 19.6.2019.



Kuva 8. Liikennemäärät (ajoneuvoa / h) nykytilanteessa ja vuoden 2040 ennustetuilla liikennemäärillä. Liikennemääräennuste vuodelta 2018.

Leviämistarkastelun lähtötietoina käytettiin VTT:n Lipasto -mallin NO<sub>x</sub> -päästöjä vuoden 2016 keskimääräiseen autokantaan perustuen. Lipaston mukaisesti kuvan 8 suurilla valtateilla käytettiin maantieajon päästöjä ja muilla tieosuuksilla taajama-alueen päästöjä. Maantieajossa keskimääräinen NO<sub>x</sub> -päästö henkilöautoille on 0,28 g/km ja taajama-ajossa 0,44 g/km.

Simulointia varten liikenteen NO<sub>x</sub> -päästöt jaettiin kuvassa 8 esitetyille liikenneväylille liikennemäärän (ajoneuvoa/h), väylöosan pituuden (km) ja autojen ominaispäästön (g/km) mukaisesti. Simulointimallissa NO<sub>x</sub> -päästöjen oletetaan muodostuvan tasaisesti tietyllä tieosuudella (tien pinnassa) tarkastellulla ajanhetkellä.

Liikenteestä peräisin olevat NO<sub>x</sub> -päästöt tietylle tieosuudelle määritettiin seuraavasti:

1. Lasketaan tieosuudelle hetkellisten autojen keskimääräinen lukumäärä: Esimerkiksi pääväylällä 7060 ajoa/h, jolloin hetkellisiä autoja tieosuudella on 1,96 kpl.
2. Lasketaan yhden auton luovuttama NO<sub>x</sub> -päästö: Esimerkiksi pääväylällä NO<sub>x</sub> -päästö on 0,28 g/km, tieosan pituus 1,75 km, jolloin yhden auton NO<sub>x</sub> -päästö on 0,49 g/auto.
3. Lasketaan NO<sub>x</sub> massavirta tieosuudella: Esimerkiksi pääväylällä NO<sub>x</sub> -päästön massavirta on yhteensä 0,96 g/s.
4. Lasketaan simulointia varten NO<sub>x</sub> -päästön tilavuusvirta tieosuudella: NO<sub>x</sub> tiheydellä 1,28 kg/m<sup>3</sup> päästön tilavuusvirta on  $\dot{V}_{NO_x} = 7,5e-4$  m<sup>3</sup>/s.
5. Lasketaan autoista peräisin olevan pakokaasun yhteenlaskettu tilavuusvirta tieosuudella: Esimerkiksi pääväylällä arvioidaan, että maantieajossa yhden auton pakokaasun

tilavuusvirta on  $0,035 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Yhteenlaskettu pakokaasun tilavuusvirta tieosuudelle on  $\dot{V}_{\text{pakokaasu}} = 0,069 \text{ m}^3/\text{s}$ .

6. Lasketaan  $\text{NO}_x$  -päästön keskimääräinen pitoisuus tien pinnassa: Esimerkiksi pääväylällä keskimääräinen  $\text{NO}_x$  -pitoisuus tien pinnassa on  $\frac{\dot{V}_{\text{NO}_x}}{\dot{V}_{\text{pakokaasu}}} = 0,01$  käytettyihin oletuksiin perustuen.

$\text{NO}_x$  -päästö määritys simuloinnissa pohjautuu  $\text{NO}_x$  -pitoisuuteen sekä pakokaasun yhteenlaskettuun tilavuusvirtaan tieosuudella. Pakokaasun tilavuusvirran arviointi pohjautuu lähteeseen *Natalia Fonseca González et al., 2016, Methodology for instantaneous average exhaust gas mass flow rate measurement*, jossa on vertailtu pakokaasujen määrää (l/min) auton ajonopeudesta riippuen. Lähteessä esitetyt mittaustulokset on tehty dieselmoottorille.

Käytetystä laskentamenetelmästä johtuen leviämismallinnuksen tuloksia tietyssä tuuliolosuhteessa tulisi verrata referenssitilanteeseen, joka kuvaa tyyntä ilmaa. Tyyntä ilmaa kuvaa tilannetta, jolloin päästöt eivät merkittävästi leviä tiealueilta, vaan kasautuvat teiden välittömään läheisyyteen. Vertailun avulla nähdään kasaantuuko tietylle alueelle tuulisessa tilanteessa enemmän tai vähemmän päästöjä referenssitilanteeseen nähden.

## 4. SIMULOINNIN SUORITUS

### 4.1 Simulointiohjelma

Tuulisuuskartoitus tehtiin arkkitehtimallien pohjalta virtauslaskentaohjelmalla Ansys Fluent 2019 R1. Ohjelma soveltuu erityisen hyvin vaativien virtaus- ja lämpötekniikan ongelmien ratkaisemiseen ja on yleisesti käytetty maailmalla. Simulointien ratkaisussa käytettiin stationääritilan turbulenssimallia, *k-ε Realizable (RANS)* ja painepohjaista ratkaisijaa. Lämpötasapainon laskennassa hyödynnettiin säteilylämmönsiirron simulointimallia *Discrete ordinates* normaalin konvektiivisen lämmönsiirron lisäksi. Liikenteen typpioksidipäästöjen mallinnus suoritettiin *Ansys Fluentin Species transport* -laskennan avulla.

### 4.2 Simuloinnin keskeisimmät lähtötiedot

Simuloinnin lähtötiedot tuulisuuden osalta määritettiin SFS EN 1991-1-4 mukaisella tuuliprofiililla, joka ottaa huomioon maaston karheuden vaikutuksen tuulen vertikaaliseen nopeusjakaumaan. Eurokoodin mukaisesti järven suunnalta puhaltavalle tuulelle käytettiin maastoluokan I mukaan laskettua tuuliprofiilia ja maa-alueiden yli puhaltavalle tuulelle maastoluokan II mukaan laskettua tuuliprofiilia.

Tuulen vertikaalista nopeusjakaumaa kuvaa yhtälö:

$$v_m(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) * v_0 \quad (1)$$

missä

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,x}}\right)^{0,07} \quad (2)$$

Maastoluokalle I tuulen vertikaalinen nopeusjakauma noudattaa yhtälöä:

$$v_{m,I}(z) = 0,18 * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) * v_0 \quad (3)$$

Maastoluokalle II tuulen vertikaalinen nopeusjakauma on vastaavasti:

$$v_{m,II}(z) = 0,18 * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) * v_0 \quad (4)$$

Virtaussimuloinnissa vapaan tuulen turbulenssin kineettinen energia mallinnetaan profiililla

$$k(z) = (u^*)^2 * \sqrt{C_\mu}^{-1} \quad (5)$$

jossa tuulen kitkanopeutta kuvataan yhtälöllä

$$u^* = v_m(z) * K * \left( \ln \left( \frac{h_{ref}}{z_0} \right) \right)^{-1} \quad (6)$$

Turbulenssin dissipaation profiili mallinnetaan vastaavasti profiililla

$$\varepsilon(z) = \frac{(u^*)^3}{K * z * z_0} \quad (7)$$

Yhtälöissä 1 – 7 käytetyt symbolit, selitteet sekä näiden lukuarvot on listattu taulukossa 1. Taulukon lähtöarvoja sovelletaan laskenta-alueen reuna-alueella vapaalle ja täysin kehittyneelle tuulelle, joka toimii simuloinnin reunaehtona.

*Taulukko 1. Virtauslaskennan lähtötietoja.*

Selite	Lyhenne	Arvo	Yksikkö
Maastoluokka	$z_0$	0,003	m
Maastoluokka II	$z_{0,II}$	0,05	m
Tuulenoisuuden perusarvo	$v_0$	Esimerkiksi 3 m/s	m/s
von Kármánin vakio	$K$	0,41	-
Tuulenoisuuden referenssikorkeus	$h_{ref}$	10,0	m

Lämpötilaerojen mallinnus tarkastelun kohteena olevalla alueella toteutettiin simuloinnin reunaehtojen avulla. Merkittävimmät lämpötilaan vaikuttavat reunaehdot ovat maaston ja vesistöjen pintalämpötilat. Lämpötasapainossa huomioitiin lisäksi auringon lämmittävä vaikutus maaston ja rakennusten pinnoilla erikseen valittuna ajankohtana.

Alueen sisäistä lämpötasapainoa on havainnollistettu aurinkoisena ja pilvisenä kevätpäivänä huhtikuussa, jolloin maaston ja vesistön välillä vallitsee kohtalaisen suuri lämpötilaero. Lämpötasapainoa on simuloitu kolmella tuulen suunnalla: Tuuli lounaan, pohjoisen ja koillisen suunnalta.

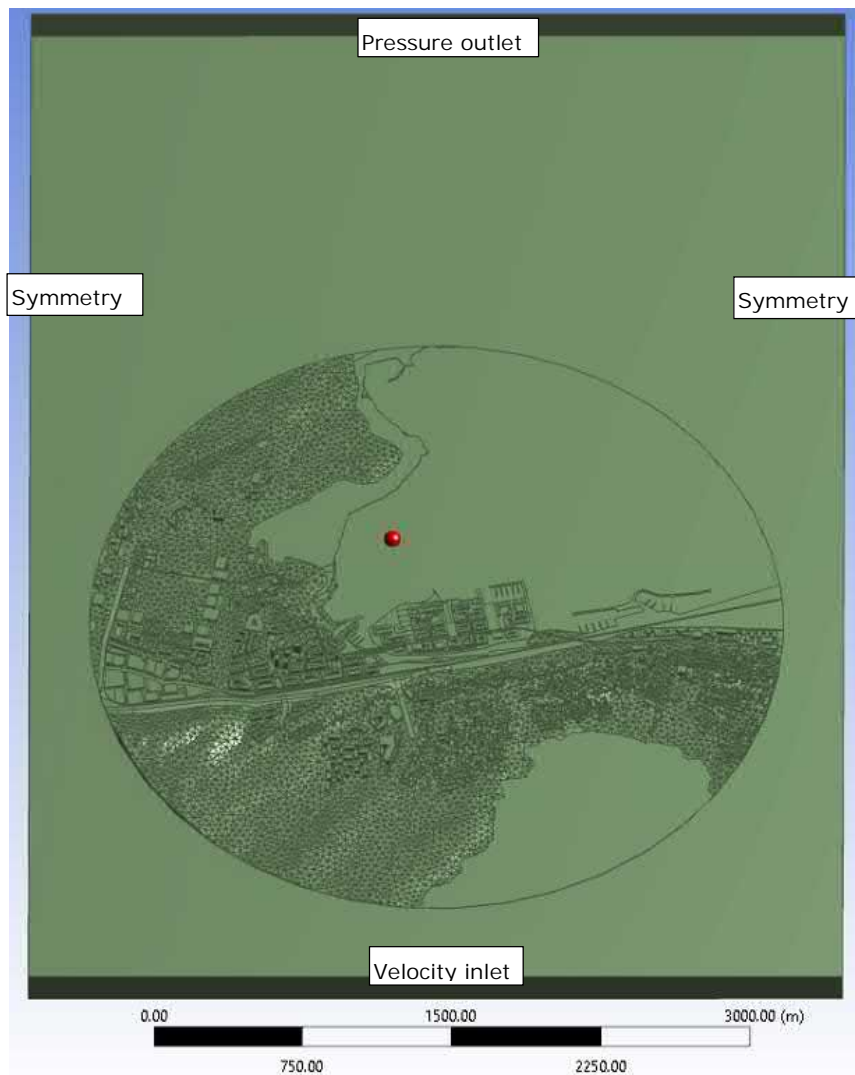
Lämpötilasimuloinnin lähtötiedot on listattu taulukossa 2.

*Taulukko 2. Alueen lämpöolosuhdelaskennan lähtötiedot.*

Muuttuja	Lukema
Simuloinnin ajanhetki	huhtikuun 15. päivä kello 14.00
Ilman lämpötila vapaassa tuulessa	10 °C
Vesistön pintalämpötila	5 °C
Maaston lämpötila 3 m syvyydessä	1 °C
Suora säteily auringosta	1. Aurinkoinen päivä: 800 W/m <sup>2</sup> 2. Pilvinen päivä: 0 W/m <sup>2</sup>
Hajasäteily auringosta	1. Aurinkoinen päivä: 60 W/m <sup>2</sup> 2. Pilvinen päivä: 100 W/m <sup>2</sup>
Maaston ja rakennusten pintojen emissiviteetti	$\varepsilon = 0,9$

Aluetason säteilylämmönsiirron laskentaa varten aurinkoon kohdistuvien rakennusten pintalämpötilat kalibroitiin IDA ICE simuloinnin avulla. Kalibroinnin tarkoituksena oli mallintaa todenmukainen lämpötilajakauma kaupunkialueella valittuna ajankohtana, huomioiden maaston ja rakennusten pintalämpötilat aurinkokuormituksesta riippuen. Huhtikuun alun laskentatilanteessa aurinkoon suunnattujen pintojen tavoitelämpötilana käytettiin 20 – 25 °C.

Simulointimallia ja sen reunaehtoja on havainnollistettu kuvassa 9 yhden tuulen suunnan osalta (tuuli koillisen suunnalta).



Kuva 9. Simulointimalli ja virtausteknisten reunaehtojen asettelu. Simulointimalli rajattiin 150 metrin korkeudessa reunaehdolla "Moving wall", jolle annettiin lisäreunaehdoksi auringon säteilytiedot lämpöolosuhdetarkasteluissa. Tuulen suuntaa vaihdettiin simuloinneissa pyörittämällä kuvassa näkyvää tarkasti mallinnettua pyöreätä aluetta keskipisteensä ympäri.

#### 4.3 Tarkasteluihin valitut tuulen suunnat

Tuulisuussimuloinnit tehtiin neljälle tuulensuunnalle seuraavasti:

1. Tuuli lounaan suunnalta
  - a. Normaali tuulen nopeus
  - b. Puuskainen tuulen nopeus
2. Tuuli pohjoisen suunnalta
3. Tuuli koillisen suunnalta
4. Tuuli idän suunnalta

Tuulen nopeutena käytettiin luvussa 4.2 kuvattua yhtälön 1 mukaista nopeusjakaumaa, jossa tuulen nopeuden referenssipiste sijaitsee 10 m maanpinnan yläpuolella. Normaalilla tuulen nopeudella, nopeus 10 m korkeudessa on 4 m/s ja puuskaisella tuulella, nopeus 10 m korkeudessa on 8 m/s.

Tuulen suunnat pohjoisen ja koillisen suunnalta valittiin siten, että järvi ja ympäröivä maasto kohdistuvat tuulen reitille mielekkäällä tavalla. Idänsuuntainen tuulen kulma valittiin mahdollisimman hyvin valtatie suuntaisesti. Lounaistuuli kohdistuu alueelle puhtaasti lounaan suunnalta.

#### 4.4 Simulointitulosten tulkinnassa käytetyt arviointikriteerit

Simuloinnin tuloksia on arvioitu virtauskenttää esittävien kuvien perusteella. Kuvat esittävät ilman liikenopeuden paikallista vaihtelua, liikenteestä peräisin olevien typen oksidien jakaumaa sekä paikallisia lämpötilaeroja kaupunkialueella. Lisäksi valituista tilanteista on esitetty tuulen staattisen paineen jakaumat rakennusten julkisivuilla.

Ilman liikenopeuden osalta huomio kiinnittyy alueella kohtiin, joissa ilman liikenopeus kasvaa merkittävästi ja toiseksi tuulen päävirtausreitteihin. Päävirtausreitteinä voivat toimia esimerkiksi tietyt katuosuudet tai avoimet puistot kaupunkiympäristön keskellä.

Aluetason lämpöviihtyvyyttä on tarkasteltu operatiivisen lämpötilan avulla, joka kuvaa ihmisten kokemaa lämpöaistimusta. Operatiivista lämpötilaa käytetään ensisijaisesti rakennusten sisäilman arvioinnissa, mutta ottamalla huomioon ilman virtausnopeuden vaihtelu, määritelmää voidaan soveltaa myös aluetasolla. Aluetasolla sovellettava operatiivisen lämpötilan määritelmä:

$$T_{op} = \frac{M.R.T + T_a \sqrt{10 \cdot v}}{1 + \sqrt{10 \cdot v}} \quad (8)$$

$M.R.T$  = Keskimääräinen säteilylämpötila (Mean Radiant Temperature), °K

$T_a$  = Ilman lämpötila, °K

$v$  = Ilman virtausnopeus, m/s

Määritelmän mukaisesti operatiivinen lämpötila korostaa lämpöaistimusta esimerkiksi lämpimien pintojen läheisyydessä, jos ilman liike on hyvin vähäistä. Tästä johtuen paikalliset lämpötilaerot kasvavat operatiivista lämpötilaa käytettäessä melko suuriksi. Todellisuudessa tuulen suunta ja nopeus kuitenkin poukkoilevat jatkuvasti, jolloin simuloinnissa esiintyviä paikallisesti hyvin korkeita operatiivisia lämpötiloja ei käytännössä esiinny: Esimerkiksi operatiivinen lämpötila 25 °C ilman lämpötilalla 10 °C.

Alueen viihtyisyyttä tuuliolosuhteiden kannalta on tarkasteltu lisäksi tyypillisellä pakkassäällä pakkasen purevuuden avulla (tuulen hyytävyys). Ilmatieteen laitoksen käyttämän määritelmän mukaan pakkasen purevuutta (WCT: Windchill) arvioidaan ilman lämpötilan ( $T_a$ ) ja tuulen nopeuden ( $T_a$ ) perusteella seuraavasti:

$$WCT = 13,12 + 0,6215 \cdot T_a - 13,956 \cdot v^{0,16} + 0,4867 \cdot T_a \cdot v^{0,16} \quad (9)$$

Kaavan yksikkö on °C ja se kuvaa miltä ilman lämpötila tuntuu ihmisen iholla. Tässä raportissa ilman lämpötilana on käytetty -20 °C, jolloin tilanne kuvaa tyypillistä kylmää pakkaspäivää.

Tuulisuuskartoituksen tulosten merkittävyyden tulkinnassa on painotettu erityisesti lounaistuulta tuulen suunnan yleisyydestä johtuen. Alueen paikallisten lämpöolosuhteiden ja viihtyvyyden kannalta merkittävä tuulen suunta on myös tuuli koillisen suunnalta, sillä Lielahdelta tuuli pääsee vapaasti puhaltamaan Hiedanrannan alueelle.

## 5. TUULISUUSKARTOITUKSEN TULOKSET

Luvuissa 5.1 ja 5.2 on esitetty tuulisuussimuloinnin tulokset neljällä eri tuulen suunnalla: tuuli lounaan, pohjoisen, koillisen ja kaakon suunnalta.

Luvussa 5.1 on havainnollistettu aluetason virtauskenttää (tuulen suunta ja nopeus), tuulen aiheuttamaa staattista painetta maaston ja rakennusten pinnoilla sekä liikenteestä peräisin olevien typen oksidien leviämistä ympäristössä. Simulointien tulokset on esitetty kuvissa 10 – 22.

Luvussa 5.2 on esitetty aluetason lämpöviihtyvyyden arviointi tehtyjen simulointien pohjalta. Simulointien tulokset on esitetty kuvissa 23 – 32.

Luvussa 5.3 on vertailtu meluidan vaikutuksia lounaistuulella: Simulointi meluaidalla vs. simulointi ilman meluaitaa. Tuloksissa on esitetty samat tulokset kuin luvussa 5.1, ilman virtausnopeuden vektorit, liikenteen päästöjen leviäminen ja tuulen aiheuttama staattisen paineen jakauma rakennusten ja ympäristön pinnoilla. Vertailut on esitetty kuvissa 33, 34 ja 35.

Maaston muodoista johtuen simulointitulokset on valittu esitettäväksi vaakatasolla, jonka korkeus-asema on Hiedanrannan keskustan maan pinnan läheisyydessä. Valitusta korkeusasemasta johtuen tietyt maaston kohdat sijaitsevat tarkastelutason yläpuolella, jolloin simulointitulokset eivät näiltä osin ole näkyvissä tarkastellulla vaakapinnalla. Tästä johtuen kaikki simulointitulokset on esitetty maaston korkeuseroista johtuen kahdella vaakapinnalla. Pintojen väliset liitoskohdat näkyvät tuloskuvissa punaisilla rajaviivoilla.

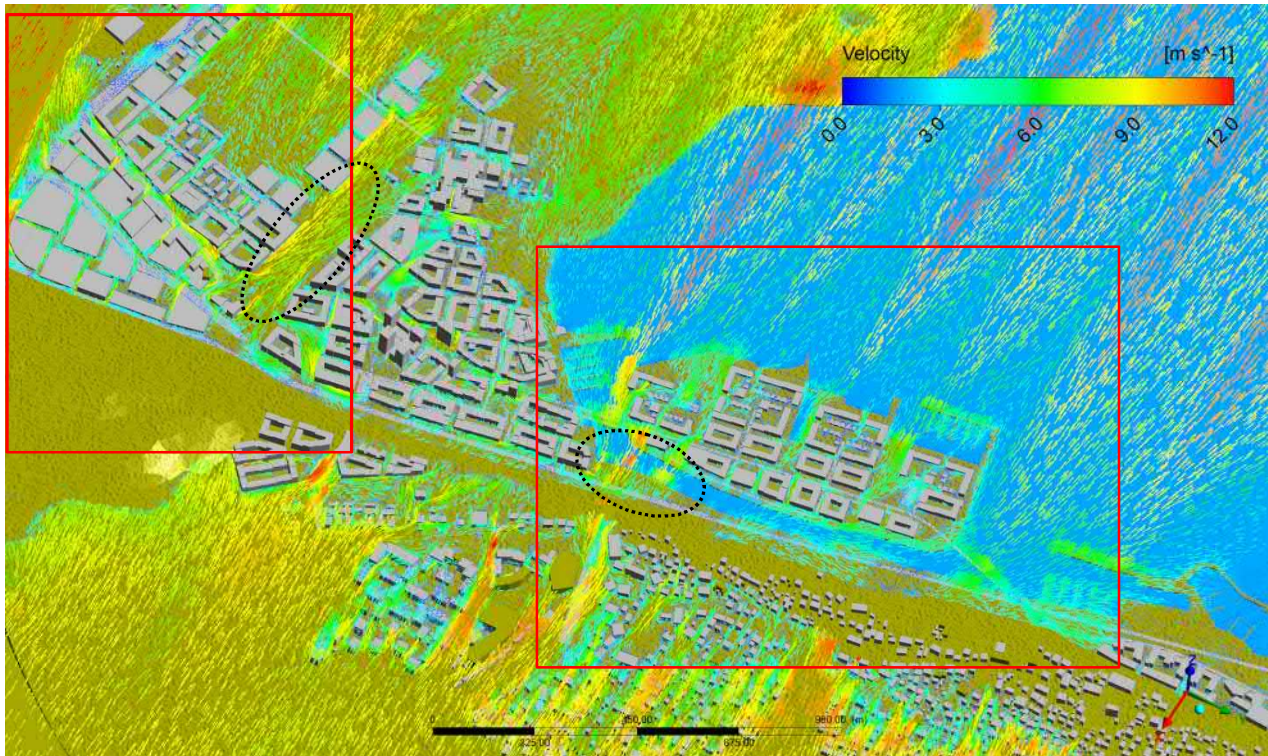
Simulointituloksia esittävän vaakapinnan ja maaston leikkauskohdissa on erityisesti lämpöolosuhteita havainnollistavissa kuvissa nähtävissä epätodellisia tuloksia, esimerkiksi hyvin korkeita lämpötiloja.

### 5.1 Virtauskenttä, staattisen paineen jakauma ja liikenteestä peräisin olevien päästöjen leviäminen

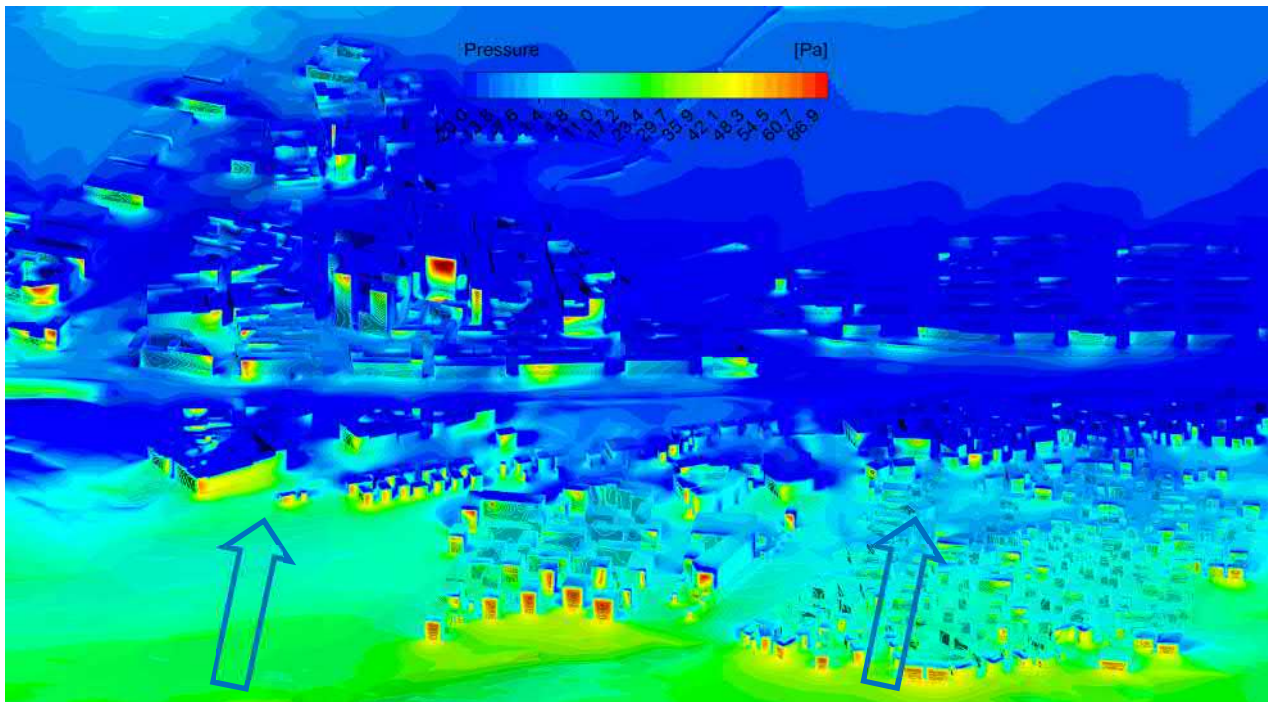
Simulointitulokset on esitetty luvuissa 5.1.1 – 5.1.5. Puuskaisella lounaistuulella, luku 5.1.2, tuloksissa on esitetty vain ilman virtausnopeutta ja suuntaa esittävä vektorikuva. Muissa luvuissa on lisäksi esitetty kuva liikenteen päästöjen leviämisestä sekä kuva tuulen staattisen paineen jakaumasta rakennusten ja ympäristön pinnoilla.

Virtaussimuloinnin tuloksia havainnollistaviin kuviin on merkitty punaisella rajatut alueet, jotka on esitetty maaston muodoista johtuen 5 m matalammalla vaakatasolla muuhun alueeseen nähdä. Rajauksen tarkoituksena on, että simulointitulokset kuvaavat olosuhteita rakennusten välillä, ei kattojen yläpuolella.

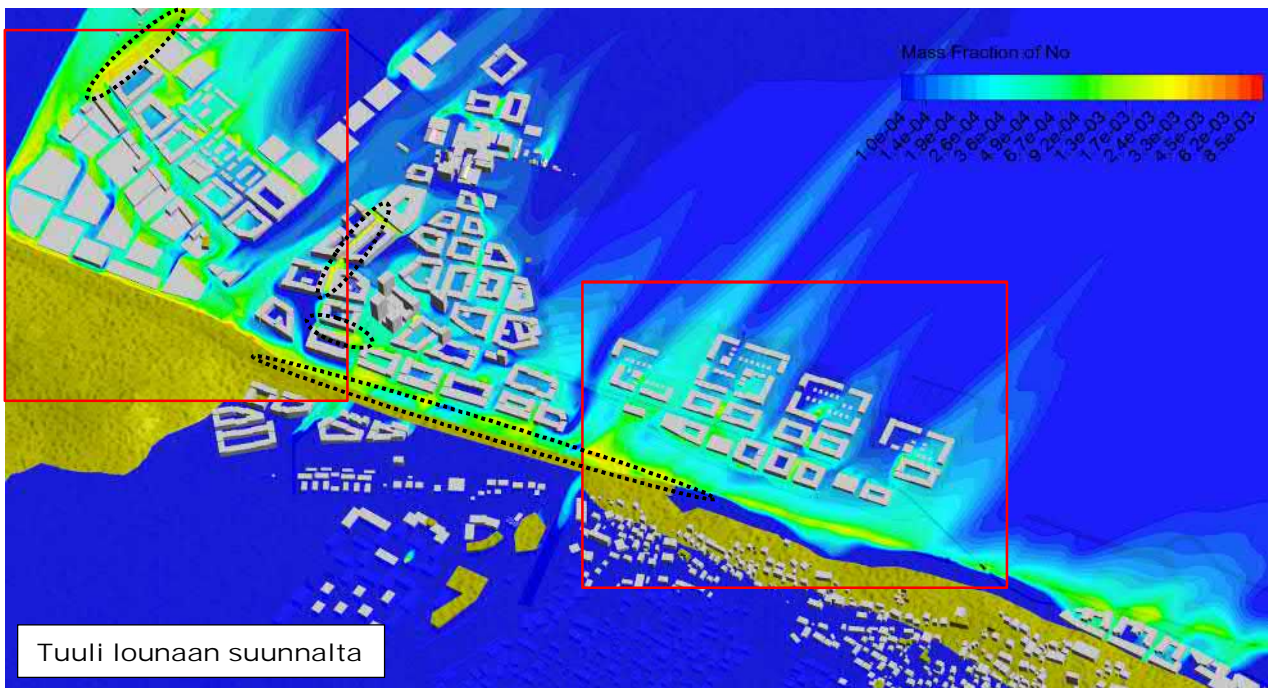
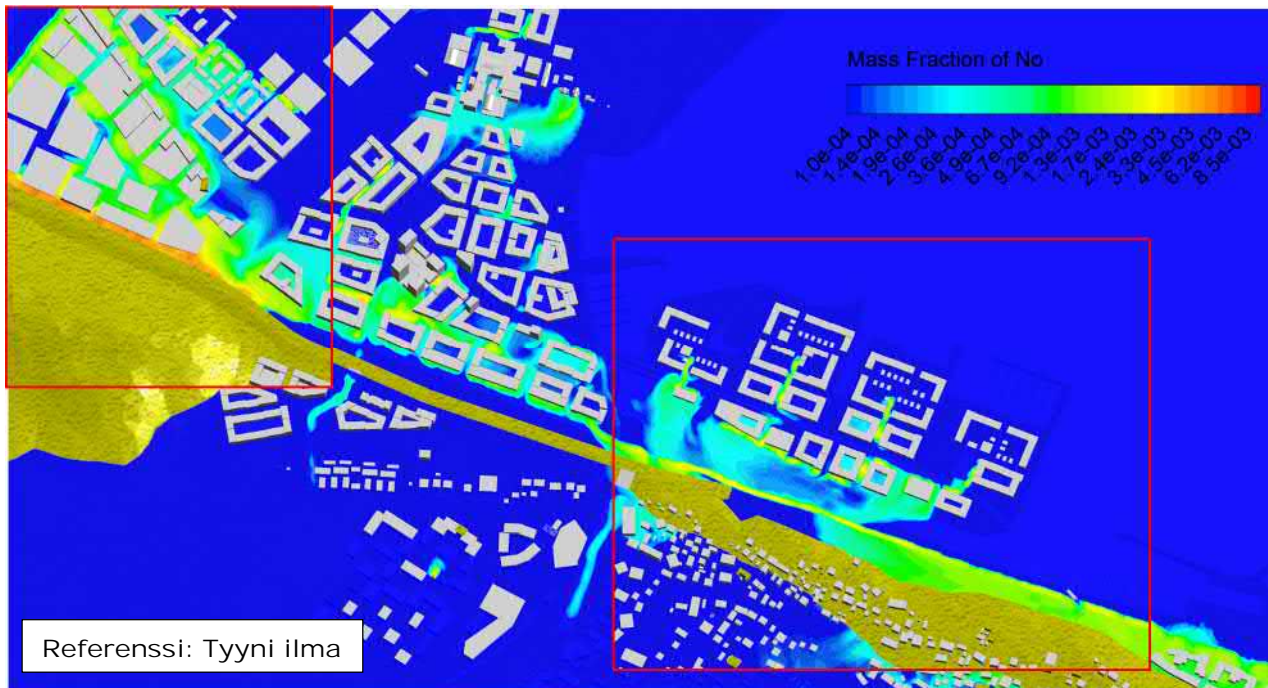
5.1.1 Tuuli lounaan suunnalta: normaali tuuli



Kuva 10. Ilman virtausnopeuden vektorit vaakapinnalla lähellä Hiedanrannan keskustan maan korkeutta. Asteikko on rajattu 0 – 12 m/s (sininen – punainen väri). Tuuli puhaltaa lounaan suunnalta ja vapaan tuulen nopeus 10 m korkeudessa on 4 m/s.



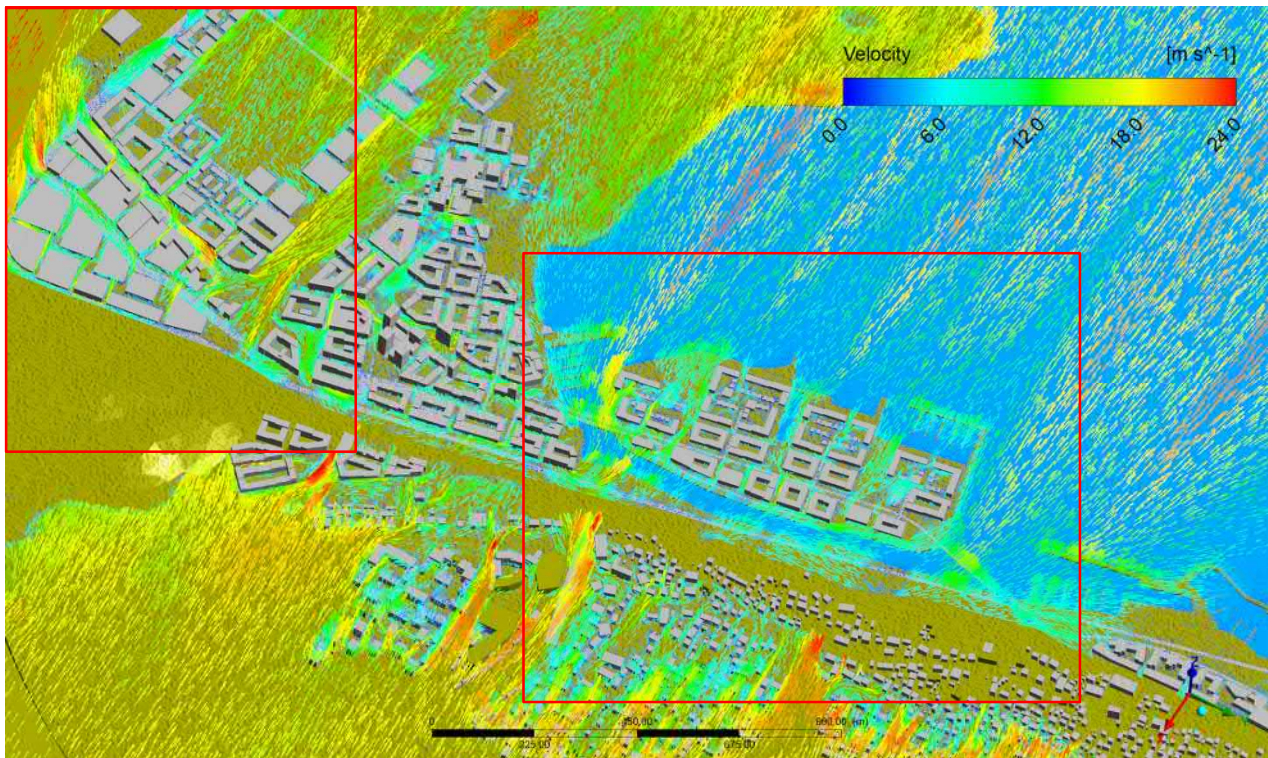
Kuva 11. Tuulen aiheuttama staattinen paine rakennusten ja maaston pinnoilla. Tuulen suunta on merkitty kuvaan kahdella isolla nuolella. Lounaistuulella tuulen paine kohdistuu pääosin jo moottoritien toisella puolella oleviin rakennuksiin. Korkeita tuulen paineita rakennusten julkisivuilla havaitaan etenkin keskustan korkeiden rakennusten kohdalla.



Kuva 12. Liikenteestä peräin olevien typen oksidien leviäminen ympäristössä tarkastellulla tuulen suunnalla: Tuuli lounaasta. Logaritminen rajattu asteikko, 0,01 – 0,0001, kuvaa typen oksidien laimentumista ilmassa. Punainen väri kuvaa typen oksidien pitoisuutta 1 % tiealueilla, keltainen väri laimentumista noin 0,1 %:iin ja vihreä väri laimentumista 0,01 %:iin typen oksidien lähtöpitoisuudesta. Liikenteestä aiheutuvia päästöjä saattaa kertyä muutamille katuosuuksille, jotka on merkitty katkoviivalla kuvaan.

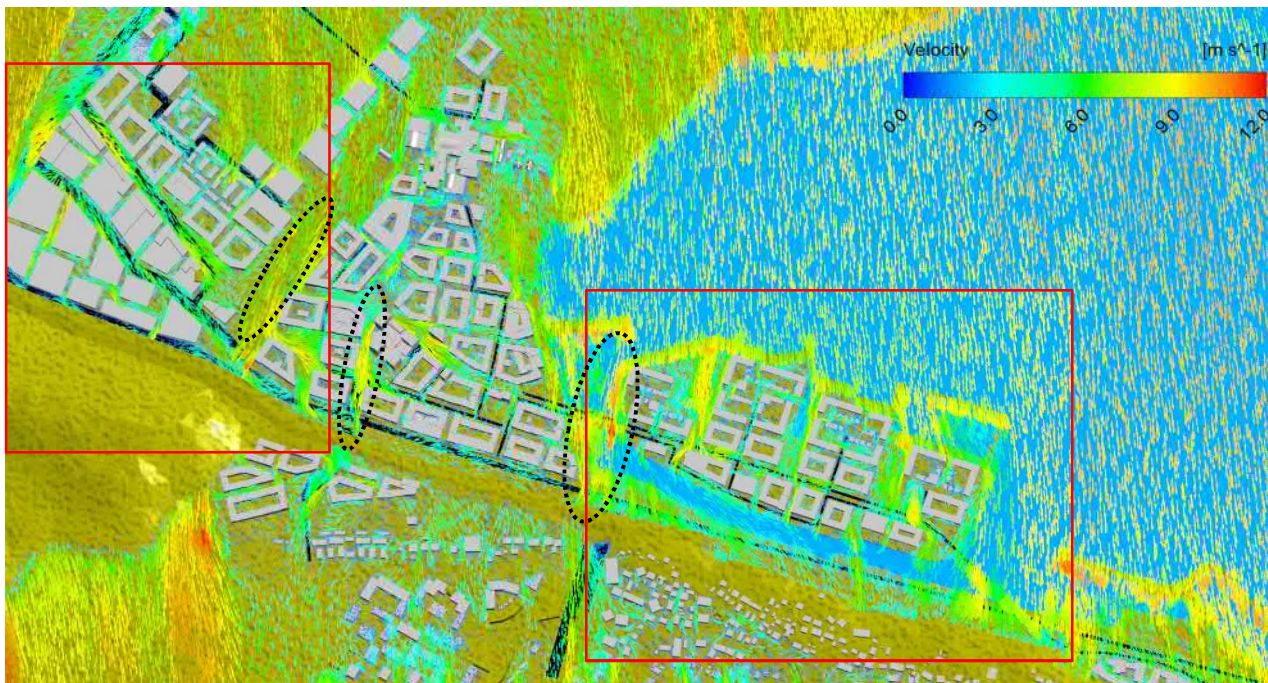


### 5.1.2 Tuuli lounaan suunnalta: puuskainen tuuli

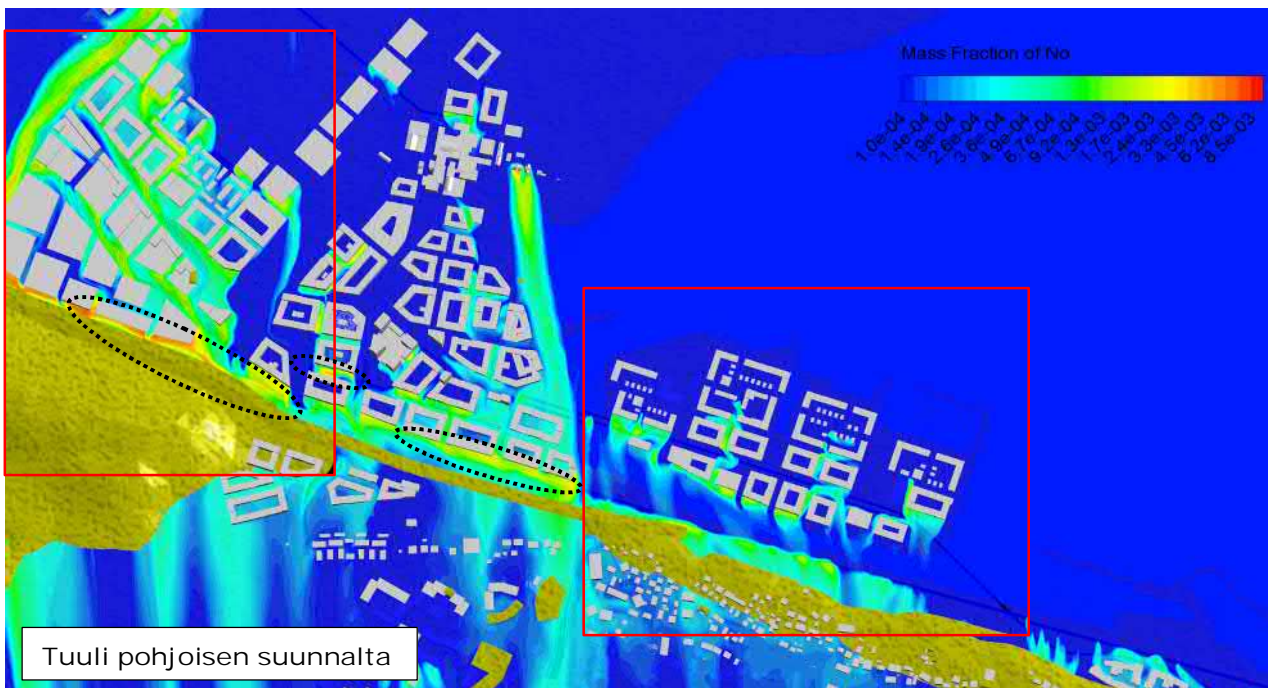
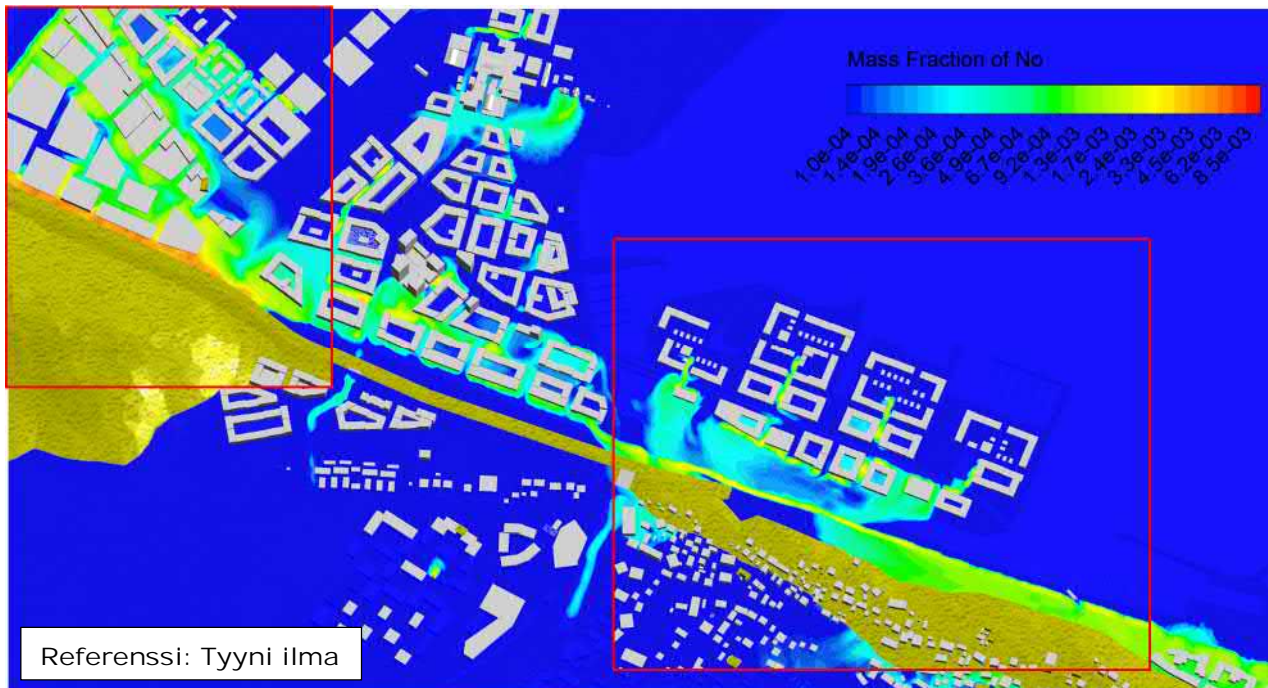


Kuva 13. Ilman virtausnopeuden vektorit vaakapinnalla lähellä Hiedanrannan keskustan maan korkeutta. Asteikko on rajattu 0 – 24 m/s (sininen – punainen väri). Tuuli puhaltaa lounaan suunnalta ja vapaan tuulen nopeus 10 m korkeudessa on 8 m/s.

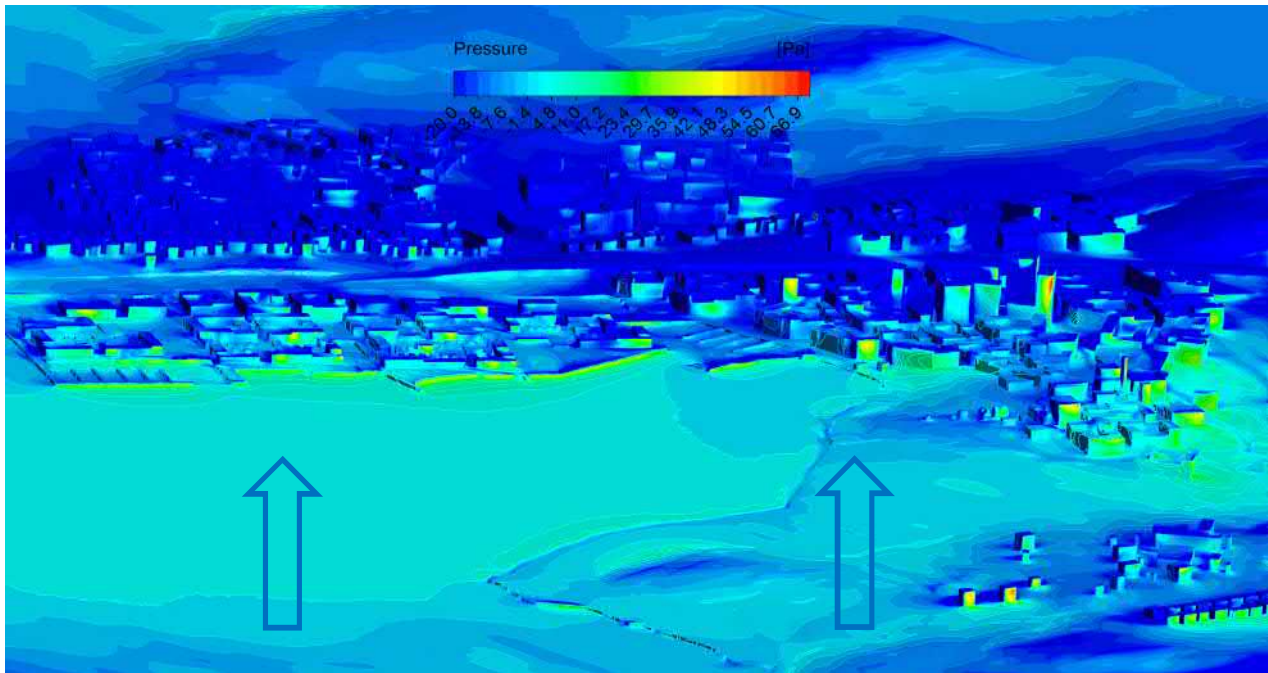
### 5.1.3 Tuuli pohjoisen suunnalta



Kuva 14. Ilman virtausnopeuden vektorit vaakapinnalla lähellä Hiedanrannan keskustan maan korkeutta. Asteikko on rajattu 0 – 12 m/s (sininen – punainen väri). Tuuli puhaltaa pohjoisen suunnalta ja vapaan tuulen nopeus 10 m korkeudessa on 4 m/s. Tuulisimmat kohdat on ympyröity katkoviivalla kuvaan.

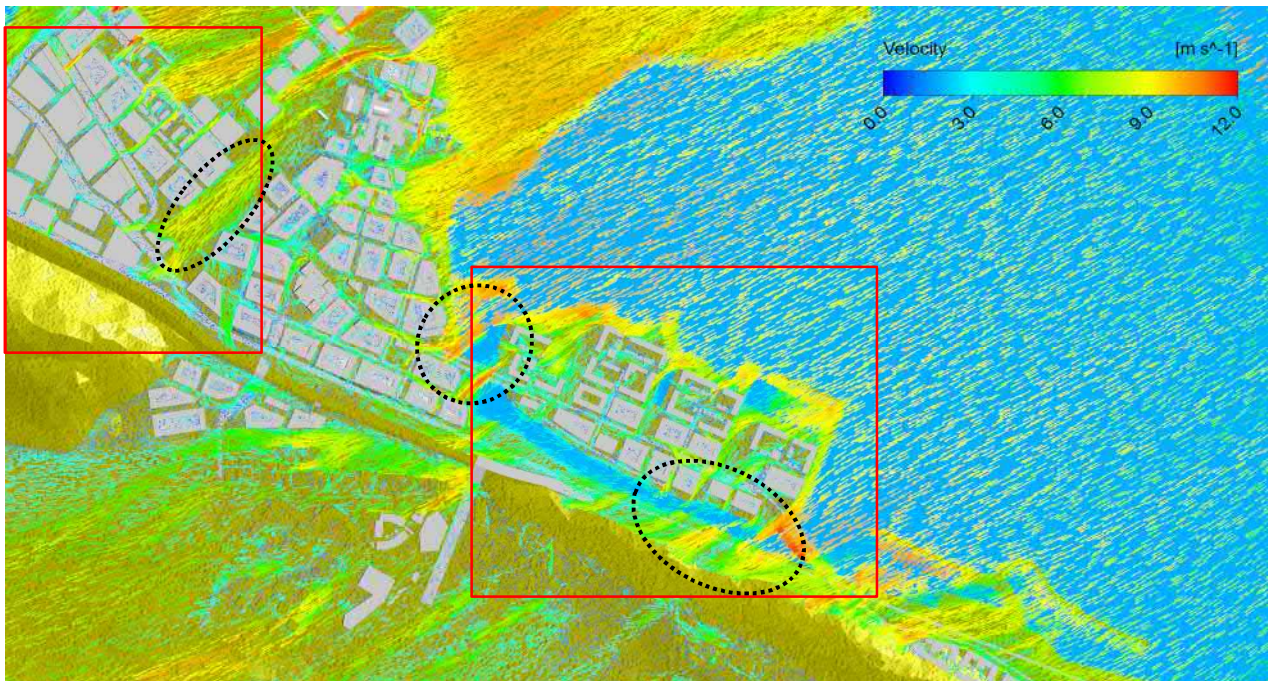


Kuva 15. Liikenteestä peräin olevien typen oksidien leviäminen ympäristössä tarkastellulla tuulen suunnalla: Tuuli pohjoisesta. Logaritminen rajattu asteikko, 0,01 – 0,0001, kuvaa typen oksidien laimentumista ilmassa. Punainen väri kuvaa typen oksidien pitoisuutta 1 % tealueilla, keltainen väri laimentumista noin 0,1 %:iin ja vihreä väri laimentumista 0,01 %:iin typen oksidien lähtöpitoisuudesta. Liikenteestä aiheutuvia päästöjä saattaa kertyä muutamille katuosuuksille, jotka on merkitty katkoviivalla kuvan.

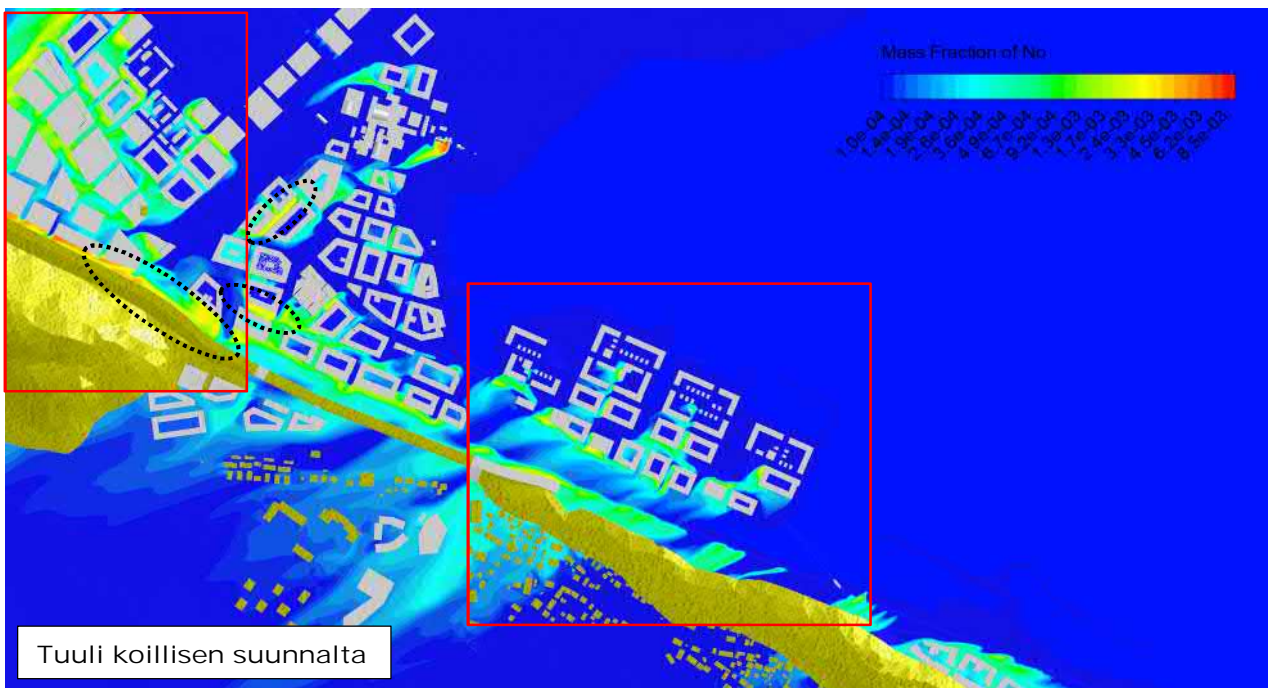
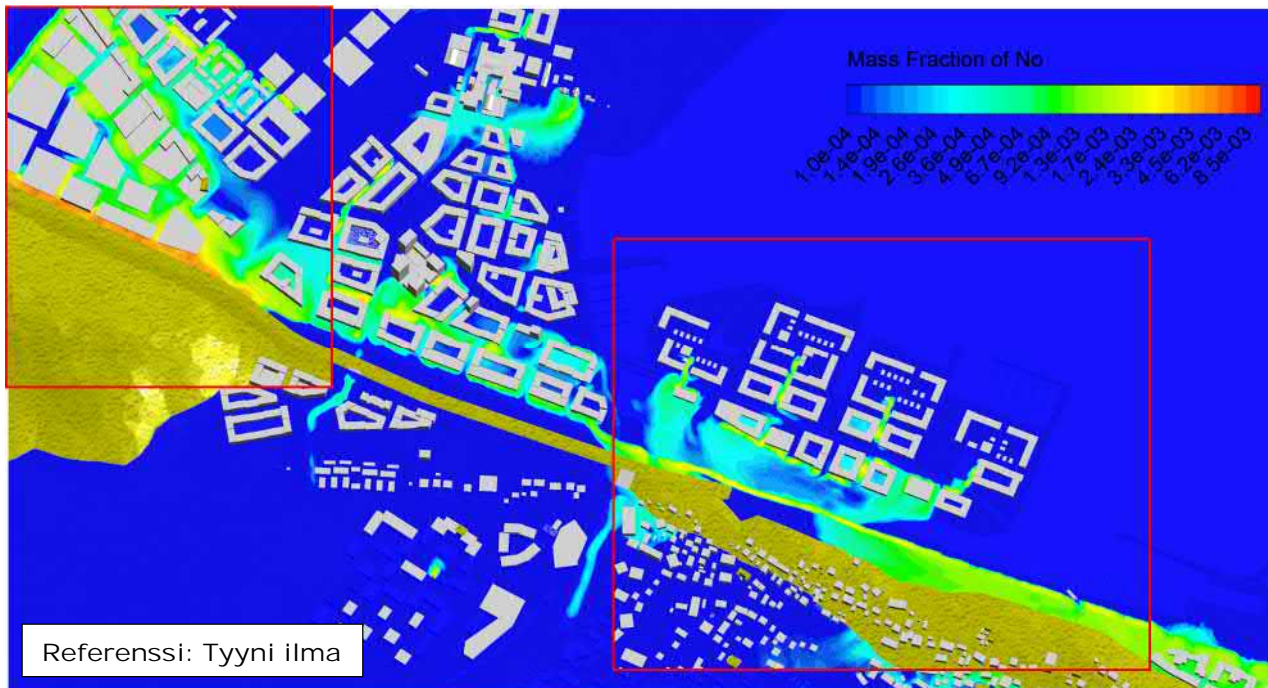


Kuva 16. Tuulen aiheuttama staattinen paine rakennusten ja maaston pinnoilla. Tuulen suunta on merkitty kuvaan kahdella isolla nuolella. Tuulen paine kohdistuu melko tasaisesti rakennusten tuulen suuntaisille julkisivuille. Keskustan korkeiden rakennusten julkisivuille kohdistuu korkeahkoja tuulen aiheuttamia paineita.

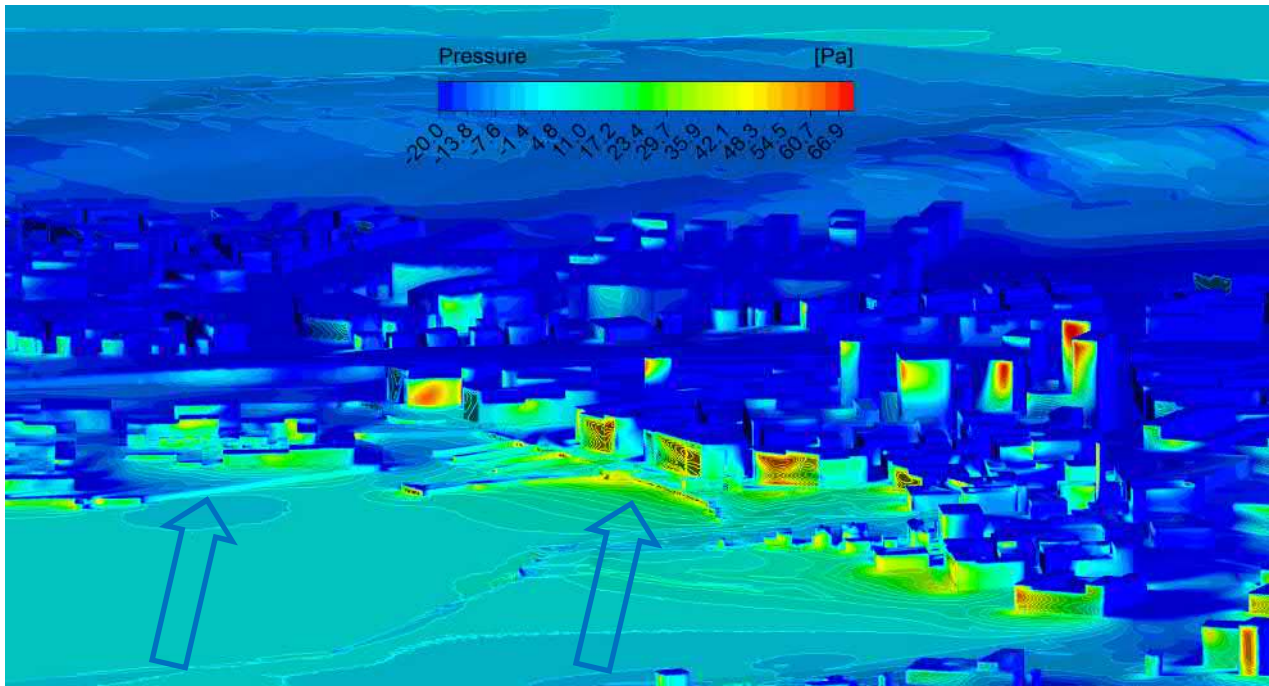
#### 5.1.4 Tuuli koillisen suunnalta



Kuva 17. Ilman virtausnopeuden vektorit vaakapinnalla lähellä Hiedanrannan keskustan maan korkeutta. Asteikko on rajattu 0 – 12 m/s (sininen – punainen väri). Tuuli puhaltaa koillisen suunnalta ja vapaan tuulen nopeus 10 m korkeudessa on 4 m/s. Tuulisimmat kohdat on ympyröity katkoviivalla kuvaan.

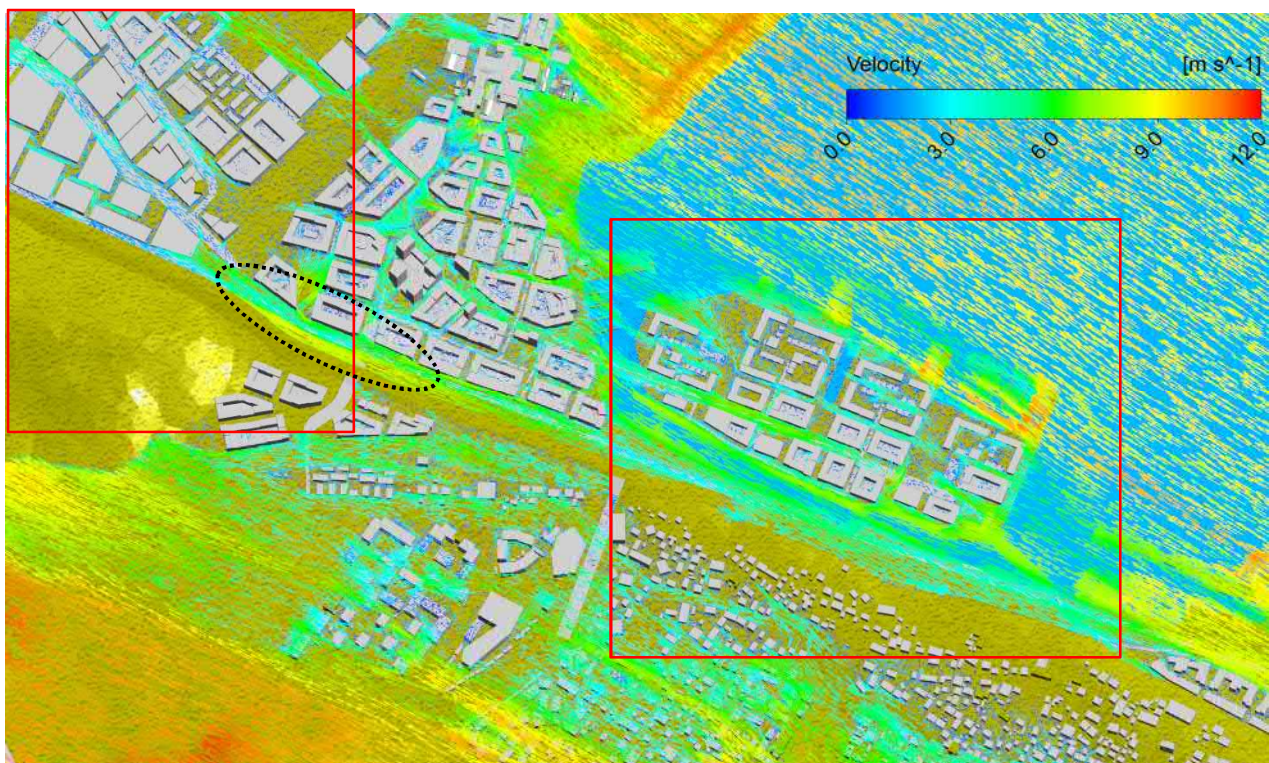


Kuva 18. Liikenteestä perään olevien typen oksidien leviäminen ympäristössä tarkastellulla tuulen suunnalla: Tuuli koillisesta. Logaritminen rajattu asteikko, 0,01 – 0,0001, kuvaa typen oksidien laimentumista ilmassa. Punainen väri kuvaa typen oksidien pitoisuutta 1 % tiealueilla, keltainen väri laimentumista noin 0,1 %:iin ja vihreä väri laimentumista 0,01 %:iin typen oksidien lähtöpitoisuudesta. Liikenteestä aiheutuvia päästöjä saattaa kertyä muutamille katuosuuksille, jotka on merkitty katkoviivalla kuvaan.

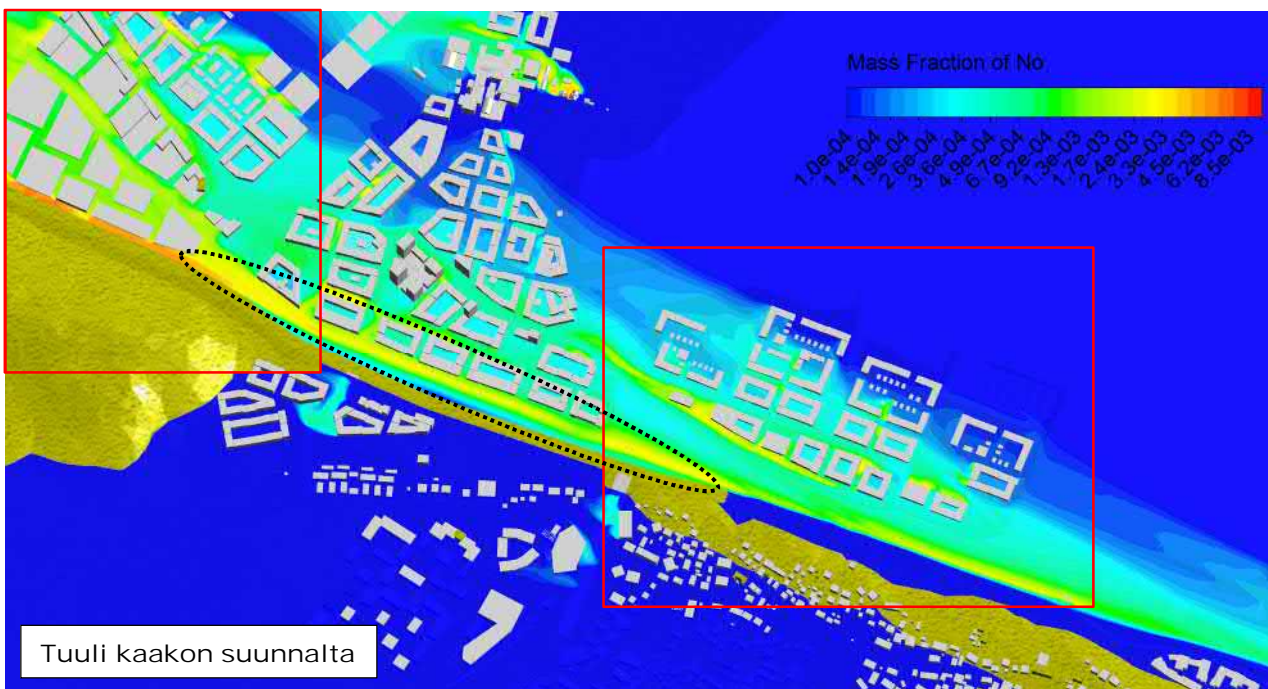
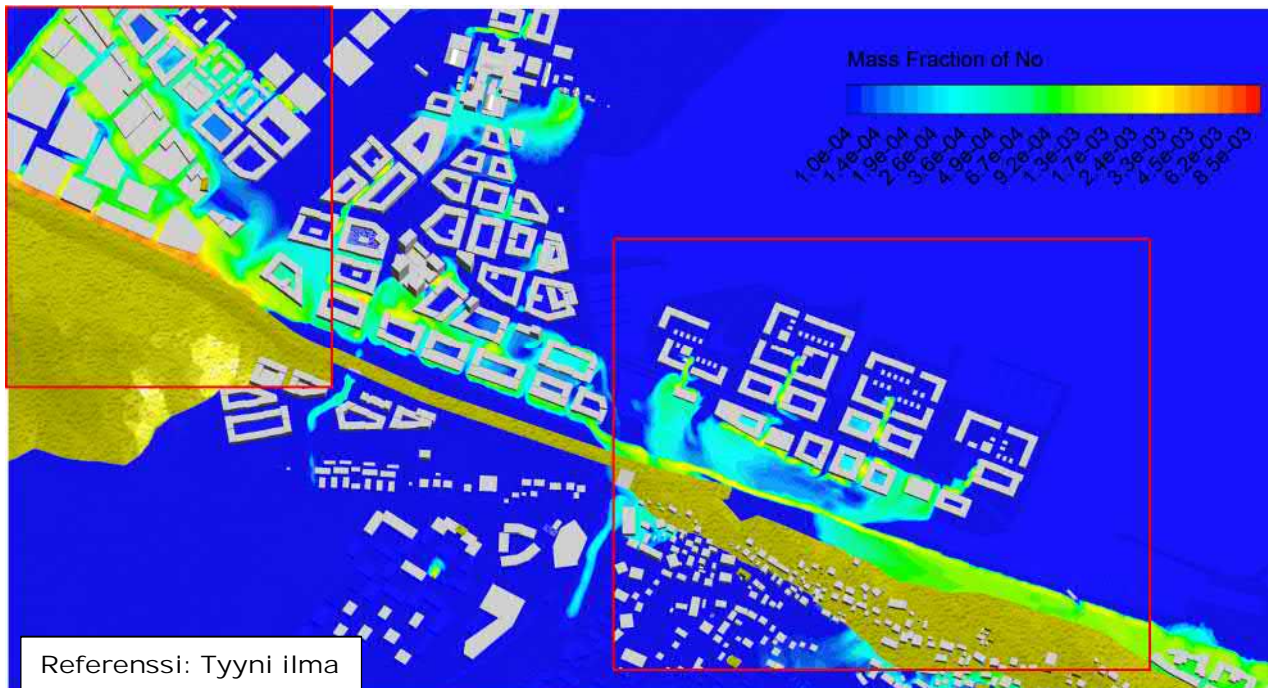


Kuva 19. Tuulen aiheuttama staattinen paine rakennusten ja maaston pinnoilla. Tuulen suunta on merkitty kuvaan kahdella isolla nuolella. Tuulen paine kohdistuu erityisesti järven rannalla olevien korkeahkojen rakennusten julkisivuille ja keskustan korkeiden rakennusten yläosien kohdalle.

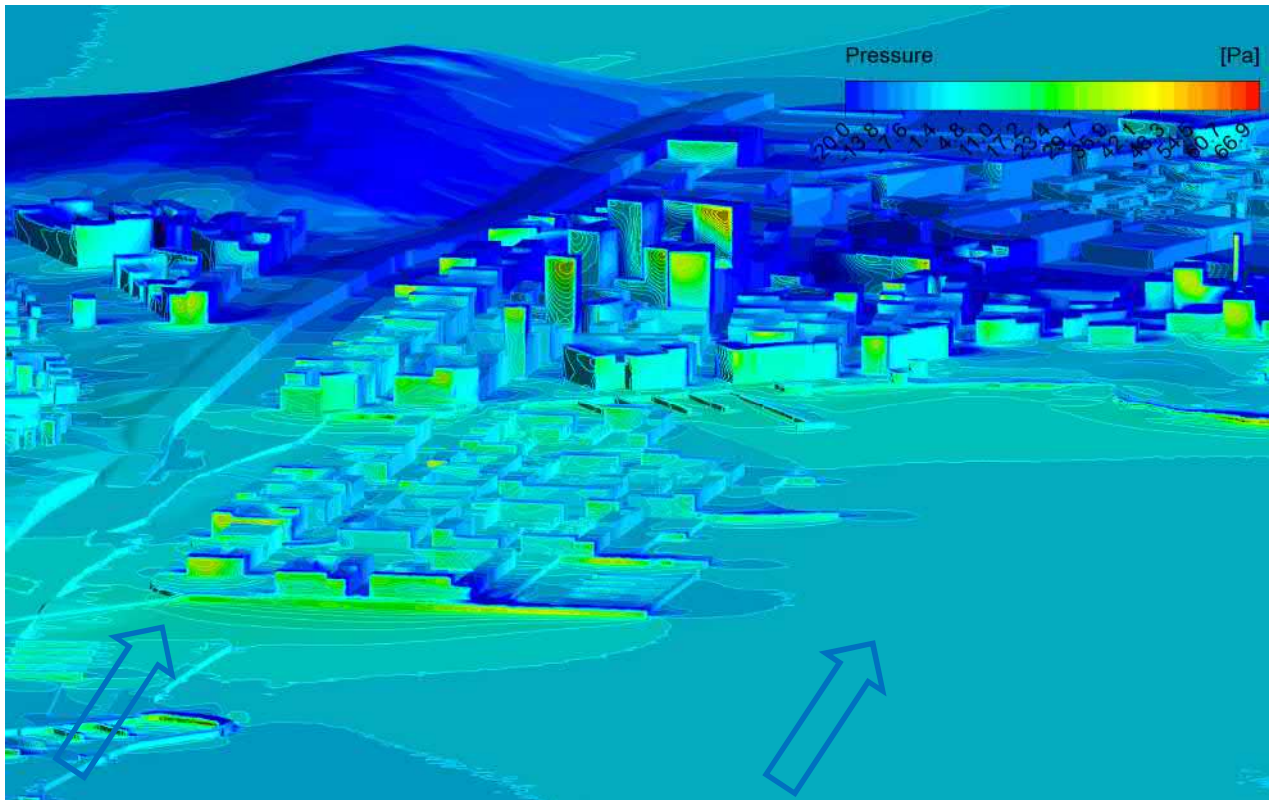
#### 5.1.5 Tuuli kaakon suunnalta



Kuva 20. Ilman virtausnopeuden vektorit vaakapinnalla lähellä Hiedanrannan keskustan maan korkeutta. Asteikko on rajattu 0 – 12 m/s (sininen – punainen väri). Tuuli puhaltaa kaakon suunnalta ja vapaan tuulen nopeus 10 m korkeudessa on 4 m/s. Tuulisimmat kohdat on ympyröity katkoviivalla kuvaan. Kaakkoistuulella erityisesti järven ranta-alueet ja moottoritien varsi ovat hyvin tuulia, mutta Hiedanrannan keskustan alueella tuulen nopeus heikkenee.



Kuva 21. Liikenteestä peräin olevien typen oksidien leviäminen ympäristössä tarkastellulla tuulen suunnalla: Tuuli kaakosta. Logaritminen rajattu asteikko, 0,01 – 0,0001, kuvaa typen oksidien laimentumista ilmassa. Punainen väri kuvaa typen oksidien pitoisuutta 1 % tiealueilla, keltainen väri laimentumista noin 0,1 %:iin ja vihreä väri laimentumista 0,01 %:iin typen oksidien lähtöpitoisuudesta. Liikenteestä aiheutuvia päästöjä saattaa kertyä muutamille katuosuuksille, jotka on merkitty katkoviivalla kuvaan.



Kuva 22. Tuulen aiheuttama staattinen paine rakennusten ja maaston pinnoilla. Kaakon suunnalta puhaltavalla tuulella, tuulen paine jakaantuu melko tasaisesti tuuleen suunnatuille rakennusten julkisivuille. Tuulen suunta on merkitty kuvaan kahdella isolla nuolella.

## 5.2 Aluetason lämpöviihtyvyyden arviointi

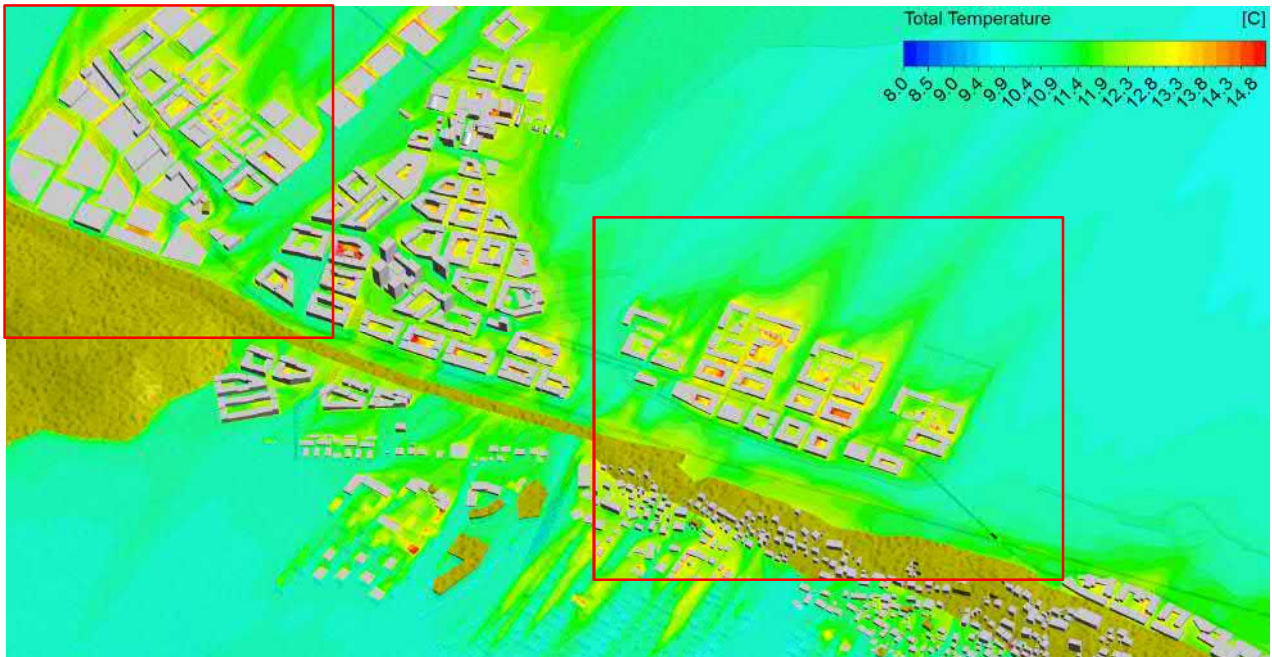
Ihmisten aistimaa lämpöviihtyvyyttä ja paikallisia lämpöolosuhteita Hiedanrannan alueella on havainnollistettu tuulen suunnittain luvuissa 5.2.1 – 5.2.3. Tarkastelun kohteeksi valittiin tuulet lounaan, pohjoisen ja koillisen suunnalta. Lounaan ja pohjoisen suunnalta puhaltavia tuulia esiintyy tilastollisesti alueella ja lämpöolosuhteiden kannalta maaston ja järvien lämpötilojen eroavaisuudet korostuvat näillä tuulen suunnilla.

Simuloinnin tuloksina on esitetty tasokuvat, ilman lämpötilan, operatiivisen lämpötilan sekä tuulen hyttävyyssindeksin (WCT) paikallisesta vaihtelusta Hiedanrannan alueella. Ilman lämpötilat ja operatiiviset lämpötilat on simuloitu taulukossa 2 listattujen lähtötietojen perusteella. Tarkasteluun on valittu huhtikuun kevätpäivä, jolloin ilman lämpötila vapaassa tuulessa on 10 °C ja järvien pintalämpötila 5 °C. Lämpötilasimuloinnit tehtiin sekä tyypillisenä aurinkoisena kevätpäivänä että pilvisenä päivänä. Pilvisen sään simulointitulosta on havainnollistettu vain pohjoistuulella.

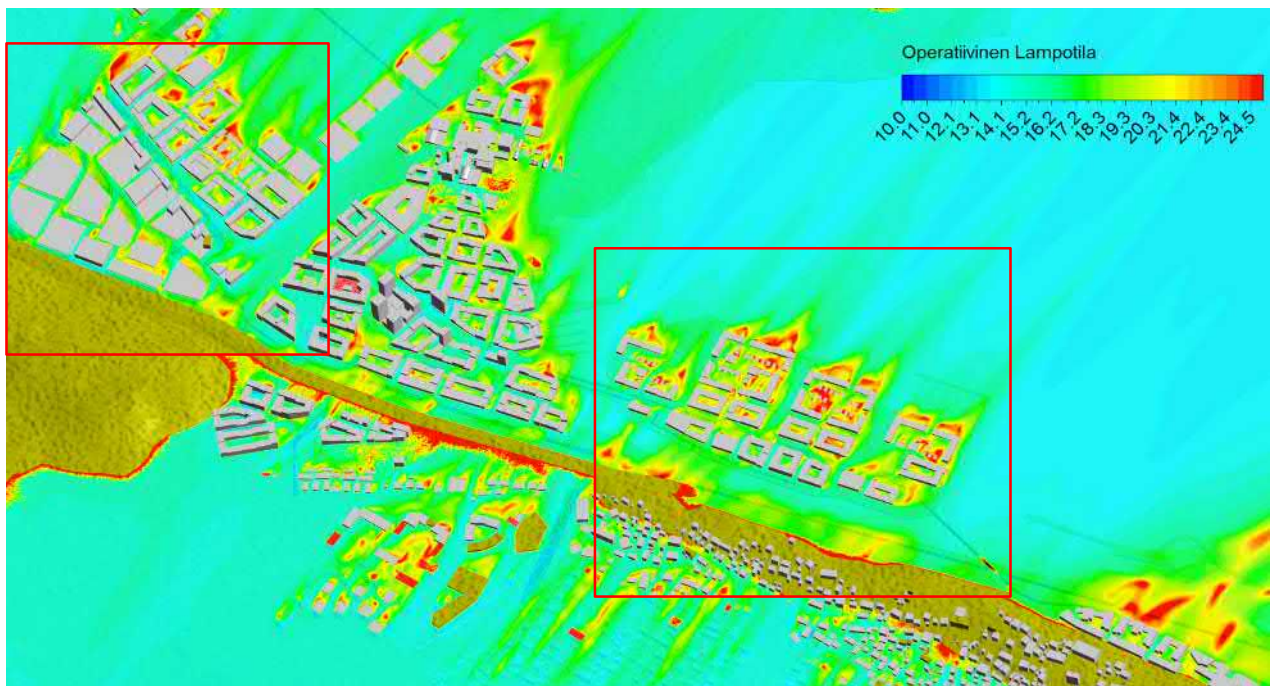
WCT -indeksin tulokset (tuulen hyttävyys) on esitetty vain ulkoilman lämpötilalla -20 °C, tarkoituksena kuvata olosuhteita kylmänä pakkaspäivänä. Tuulen hyttävyyden asteikko on tuloksissa rajattu välille -15 °C – -35 °C (ihmisen iholla tuntuva lämpötila).

Operatiivisen lämpötilan kuvaajia tulkittaessa on hyvä muistaa, että operatiivinen lämpötila korostaa esimerkiksi lämpimien rakennuspintojen lämpötiloja (operatiivinen lämpötila > 20 °C), jos ilman liikenopeus on tietyssä kohdassa hyvin pieni. Todellisuudessa tuulen suunta ja nopeus poukkoilevat jatkuvasti, jolloin simulointituloksissa esiintyviä korkeahkoja operatiivisia lämpötila tuulen jättöpuolella ei käytännössä esiinny.

## 5.2.1 Tuuli lounaan suunnalta: normaali tuuli

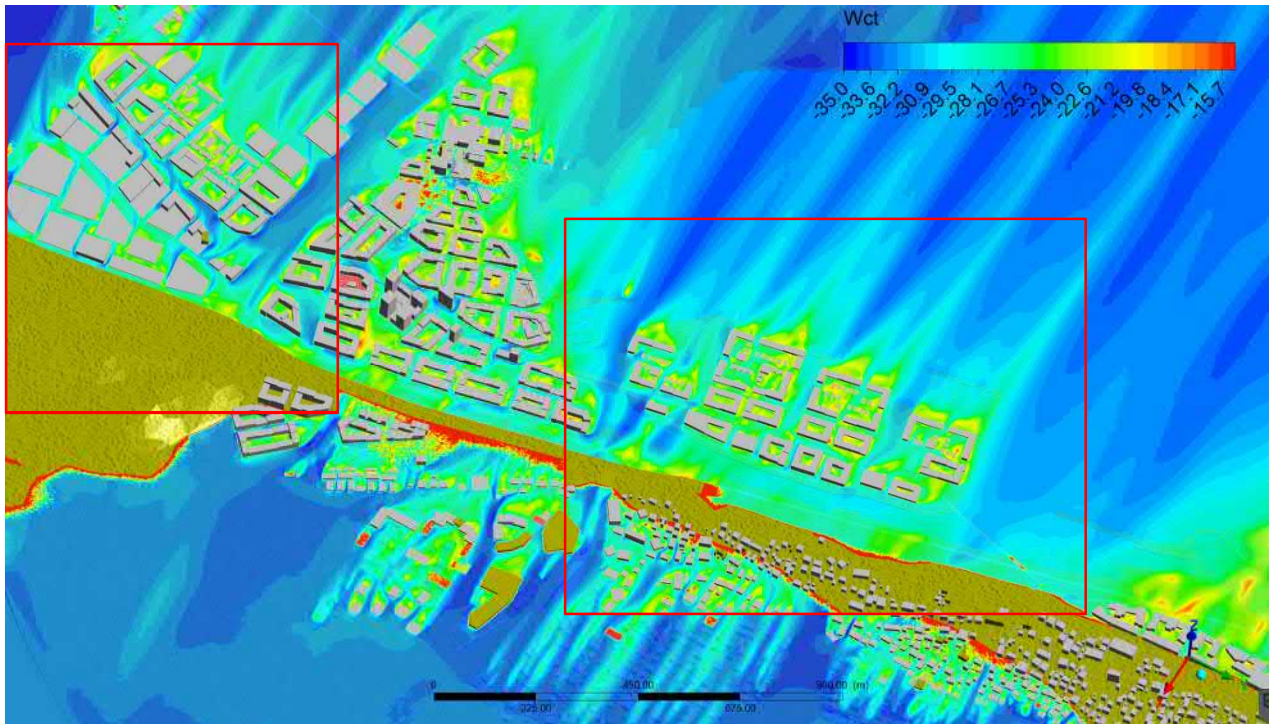


Kuva 23. Ilman lämpötilan paikallinen vaihtelu Hiedanrannan alueella aurinkoisena päivänä huhtikuussa. Ilman lämpötila vapaassa tuulessa on 10 °C. Ilman lämpötila kohoaa paikallisesti 1 – 2 °C tuulelta suojaisissa kohdissa tuulen jättöpuolella (Hiedanrannan pohjoispuoli) ja rakennusten sisäpihoilla.



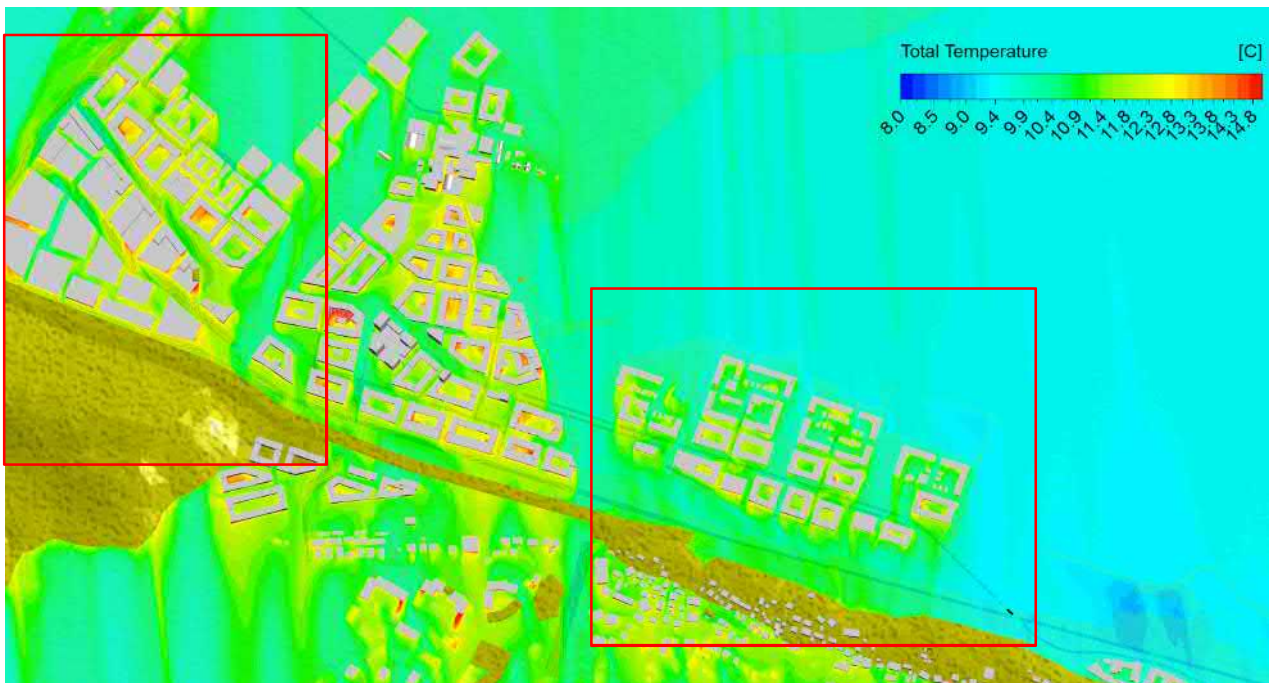
Kuva 24. Ihmisten aistima lämpötila (operatiivinen lämpötila) Hiedanrannan alueella aurinkoisena päivänä huhtikuussa. Lämpötila-asteikko on rajattu 10 – 25 °C. Kuvassa näkyvän leikkauspinnan ja maaston reuna-alueilla simulointituloksissa ylikorostuu maaston lämpötila, jolloin operatiivinen lämpötila näennäisesti nousee näillä alueilla. Tästä johtuen reuna-alueen laskentatuloksille ei tule antaa painoarvoa.



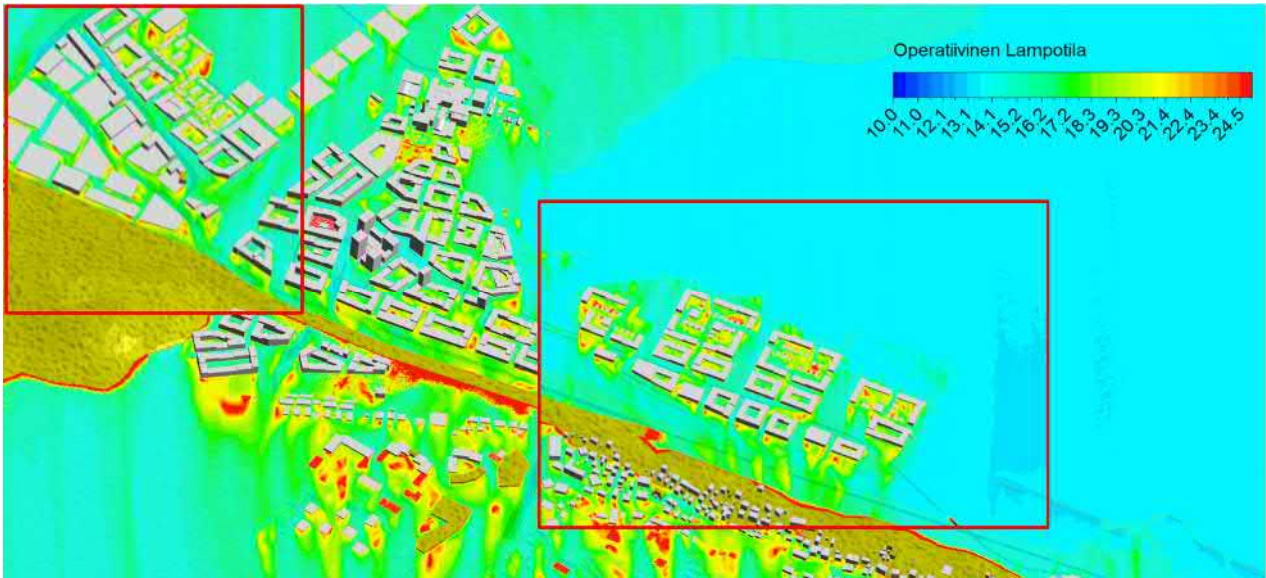


Kuva 25. Tuulen hyytävyys WCT -indeksin (Wind Chill Index) mukaisesti ulkoilman lämpötilalla  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kuvaan on ympyröity WCT -indeksin ja operatiivisen lämpötilan (kuva 24) perusteella havaitut erityisen viileältä tuntuvat kohdat alueella tarkastellulla tuulen suunnalla. Kuvassa näkyvän leikkauspinnan ja maaston reuna-alueilla simulointituloksissa ylikorostuu maaston lämpötila, jolloin aistittu lämpötila näennäisesti nousee näillä alueilla. Tästä johtuen reuna-alueen laskentatuloksille ei tule antaa painoarvoa.

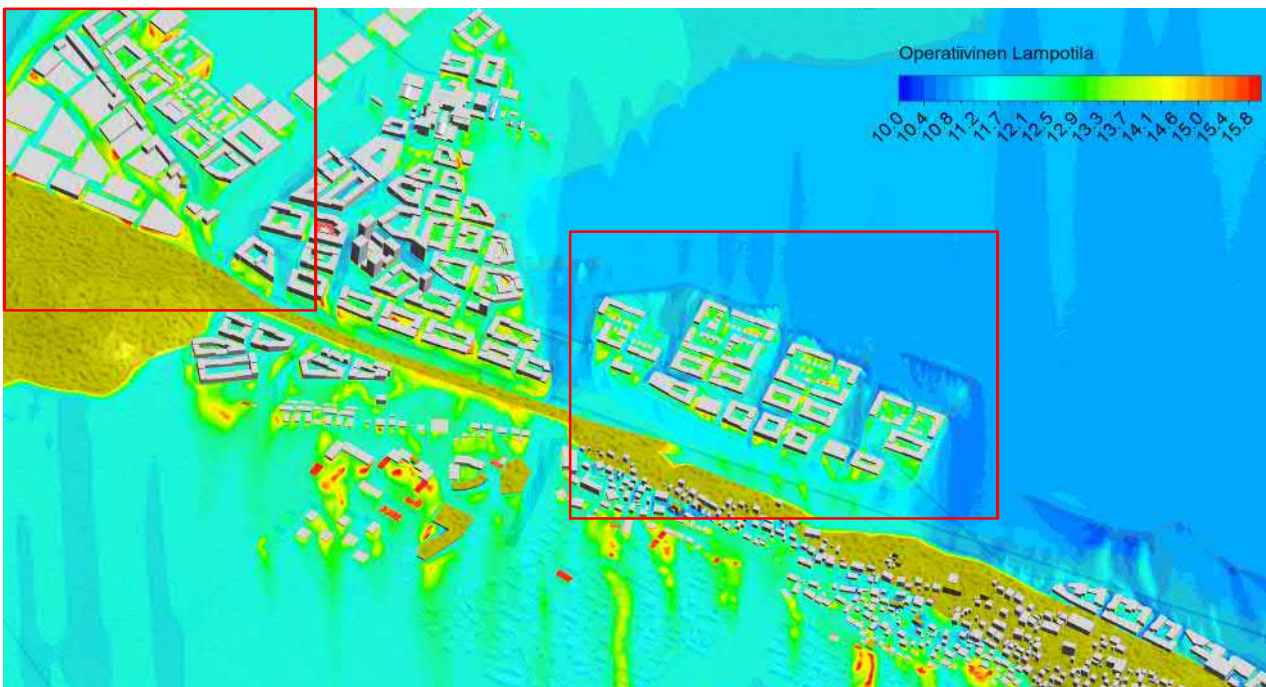
### 5.2.2 Tuuli pohjoisen suunnalta



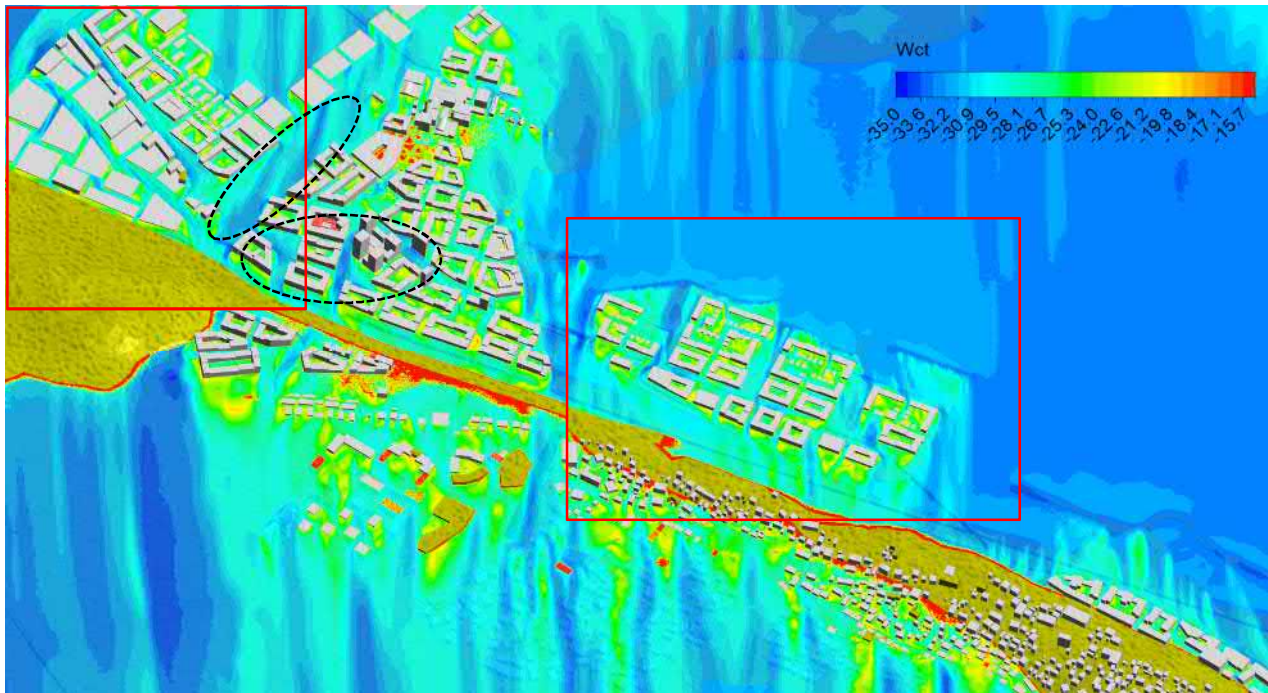
Kuva 26. Ilman lämpötilan paikallinen vaihtelu Hiedanrannan alueella aurinkoisena päivänä huhtikuussa. Ilman lämpötila vapaassa tulessa on  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ilman lämpötila on korkeimmillaan Hiedanrannan keski-osaan ja viileimmillään ranta-alueilla.



Kuva 27. Ihmisten aistima lämpötilä (operatiivinen lämpötilä) Hiedanrannan alueella aurinkoisena päivänä huhtikuussa. Lämpötila-asteikko on rajattu 10 – 25 °C.

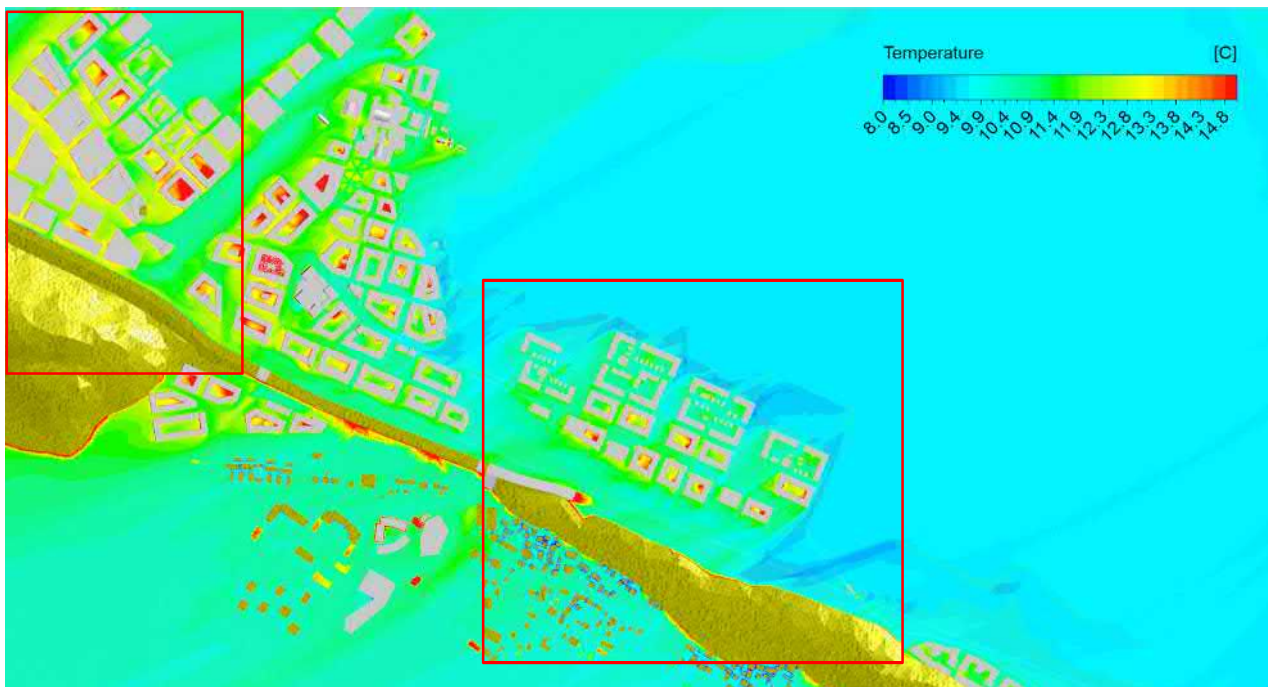


Kuva 28. Ihmisten aistima lämpötilä (operatiivinen lämpötilä) Hiedanrannan alueella pilvisenä päivänä huhtikuussa. Lämpötila-asteikko on rajattu 10 – 16 °C.

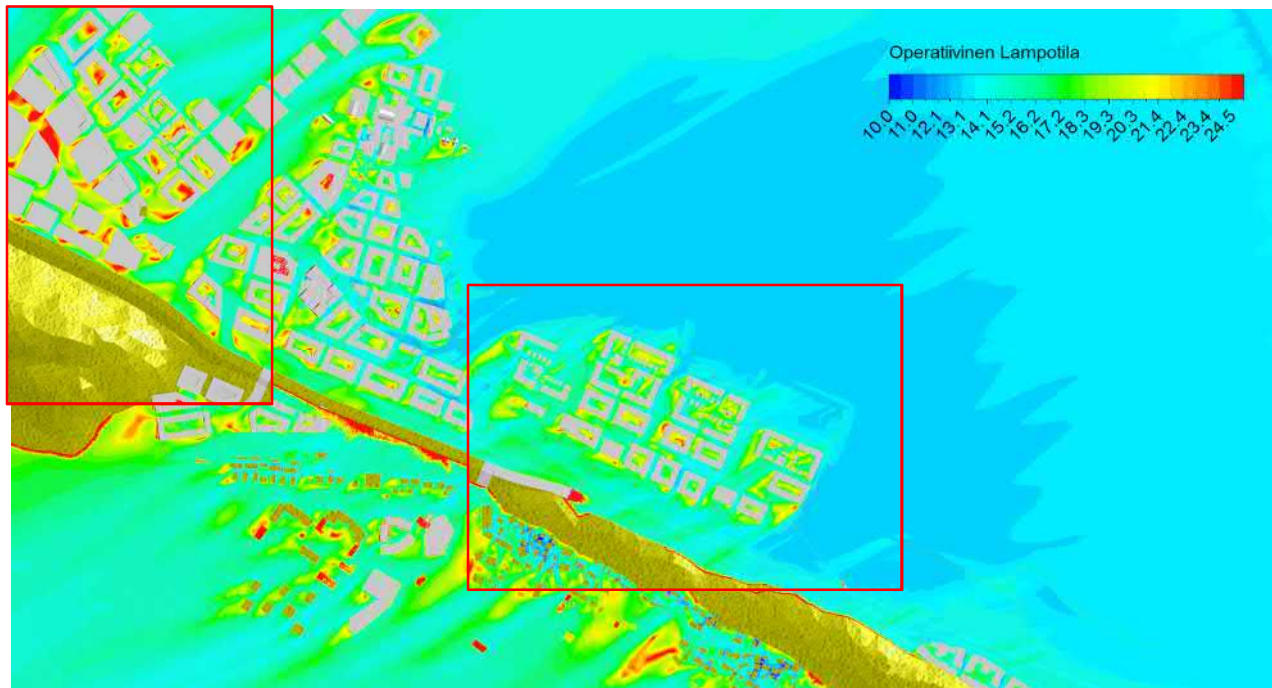


Kuva 29. Tuulen hyytävyys WCT -indeksin (Wind Chill Index) mukaisesti ulkoilman lämpötilalla  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kuvaan on ympyröity WCT -indeksin ja operatiivisen lämpötilan (kuvat 27 ja 28) perusteella havaitut erityisen viileältä tuntuvat kohdat alueella tarkastellulla tuulen suunnalla. Kuvassa näkyvän leikkauspinnan ja maaston reuna-alueilla simulointituloksissa ylikorostuu maaston lämpötila, jolloin aistittu lämpötila näennäisesti nousee näillä alueilla. Tästä johtuen reuna-alueen laskentatuloksille ei tule antaa painoarvoa.

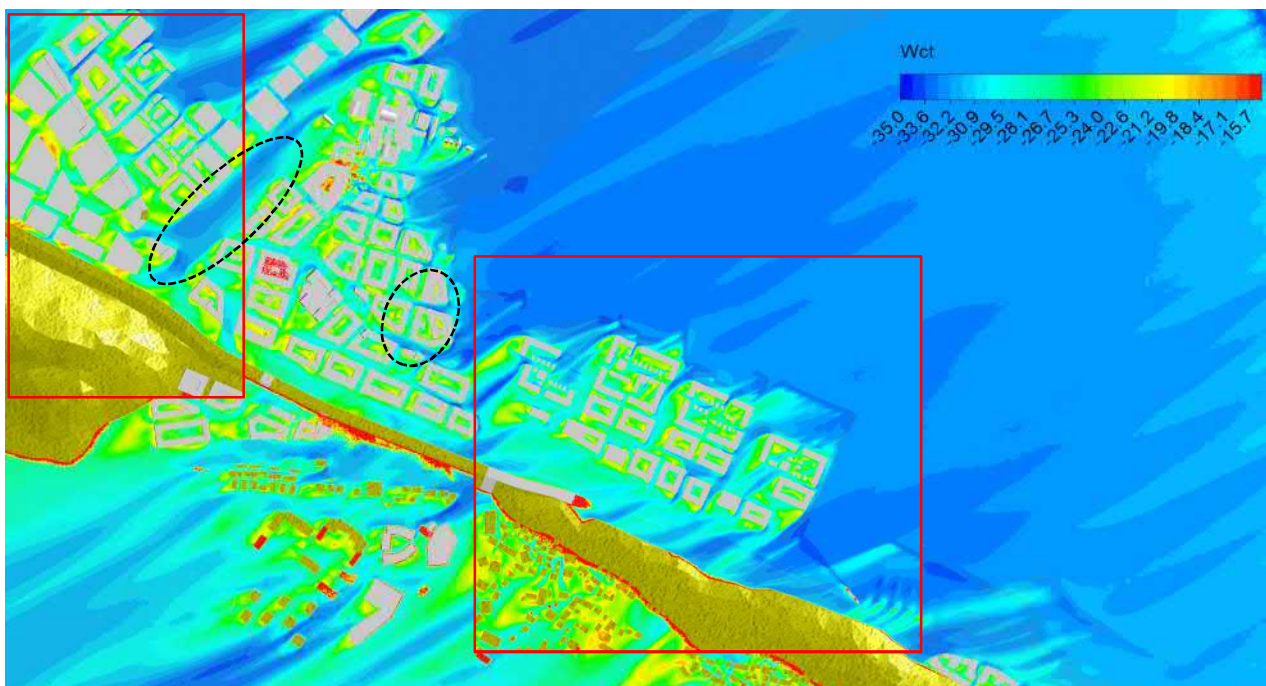
### 5.2.3 Tuuli koillisen suunnalta



Kuva 30. Ilman lämpötilan paikallinen vaihtelu Hiedanrannan alueella aurinkoisena päivänä huhtikuussa. Ilman lämpötila vapaassa tuulessa on  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

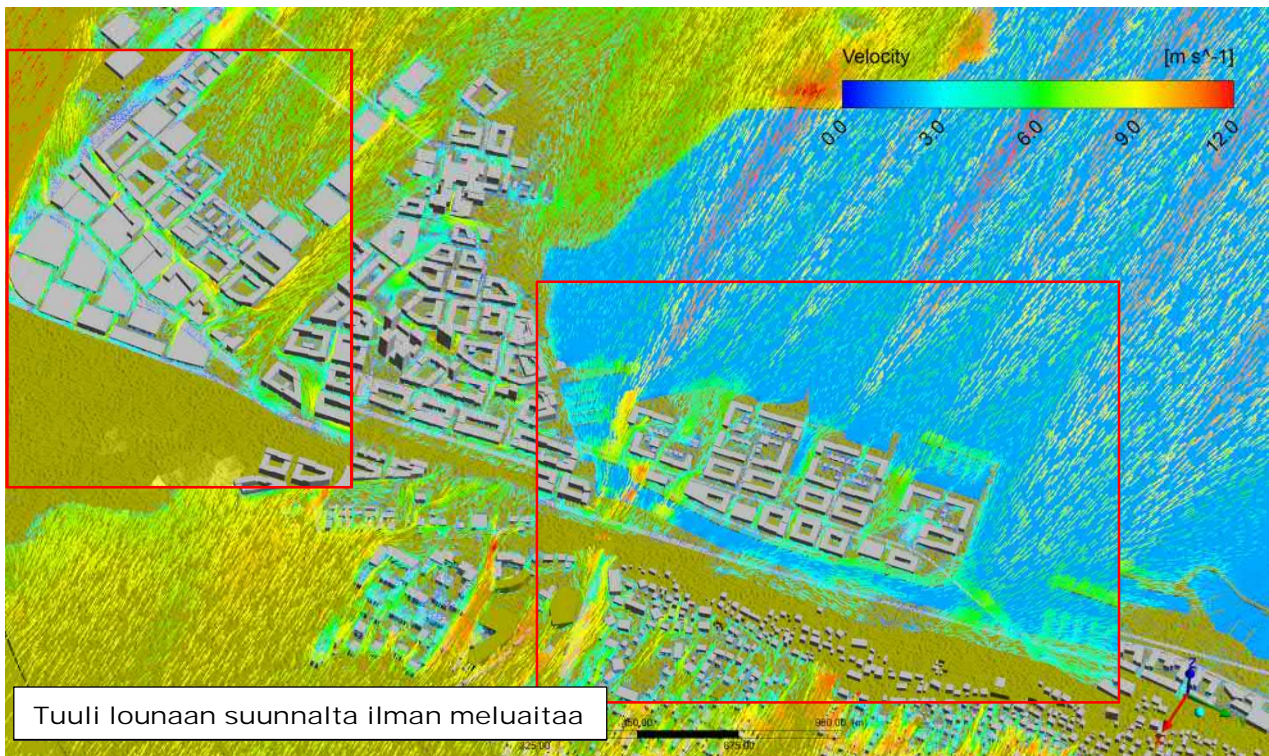
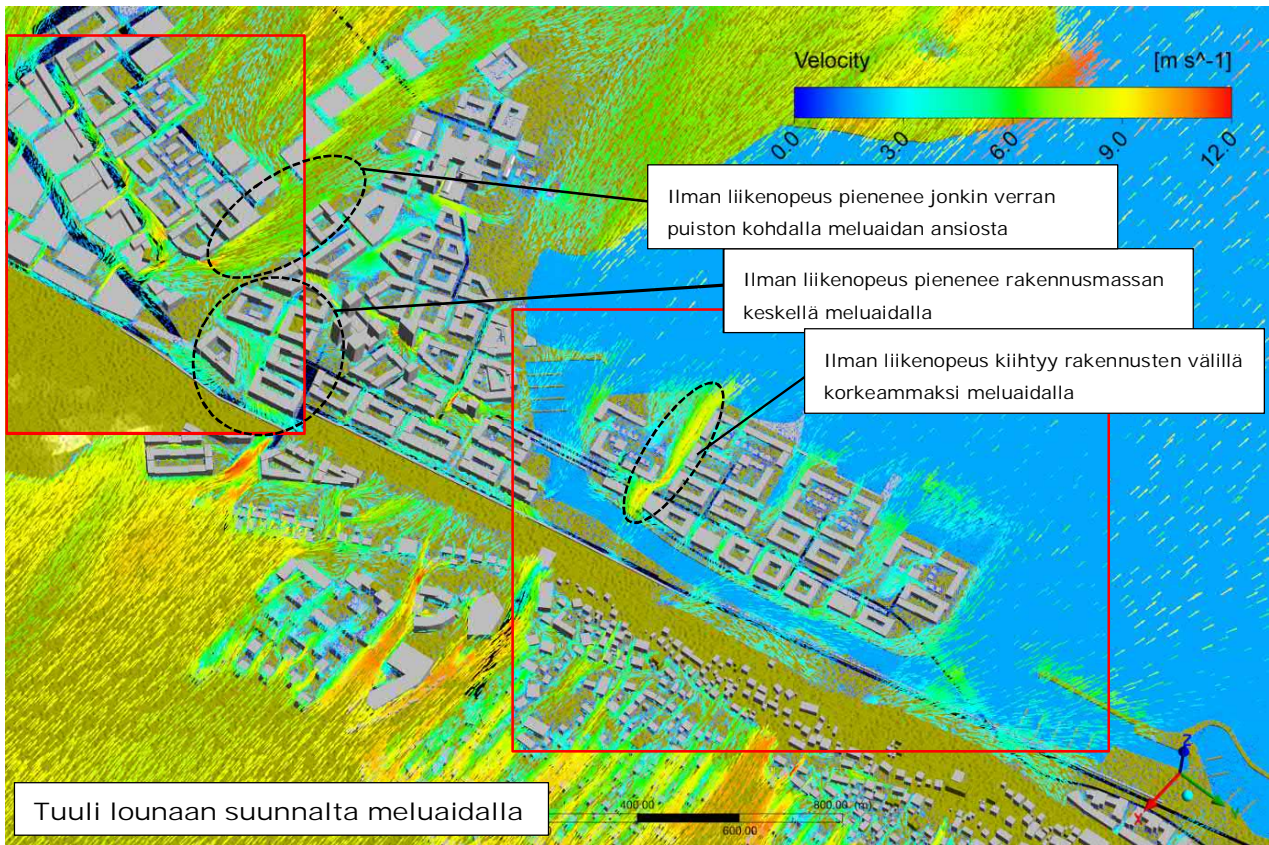


Kuva 31. Ihmisten aistima lämpötila (operatiivinen lämpötila) Hiedanrannan alueella aurinkoisena päivänä huhtikuussa. Lämpötila-asteikko on rajattu 10 – 25 °C. Kuvassa näkyvän leikkauspinnan ja maaston reuna-alueilla simulointituloksissa ylikorostuu maaston lämpötila, jolloin operatiivinen lämpötila näennäisesti nousee näillä alueilla. Tästä johtuen reuna-alueen laskentatuloksille ei tule antaa painoarvoa.

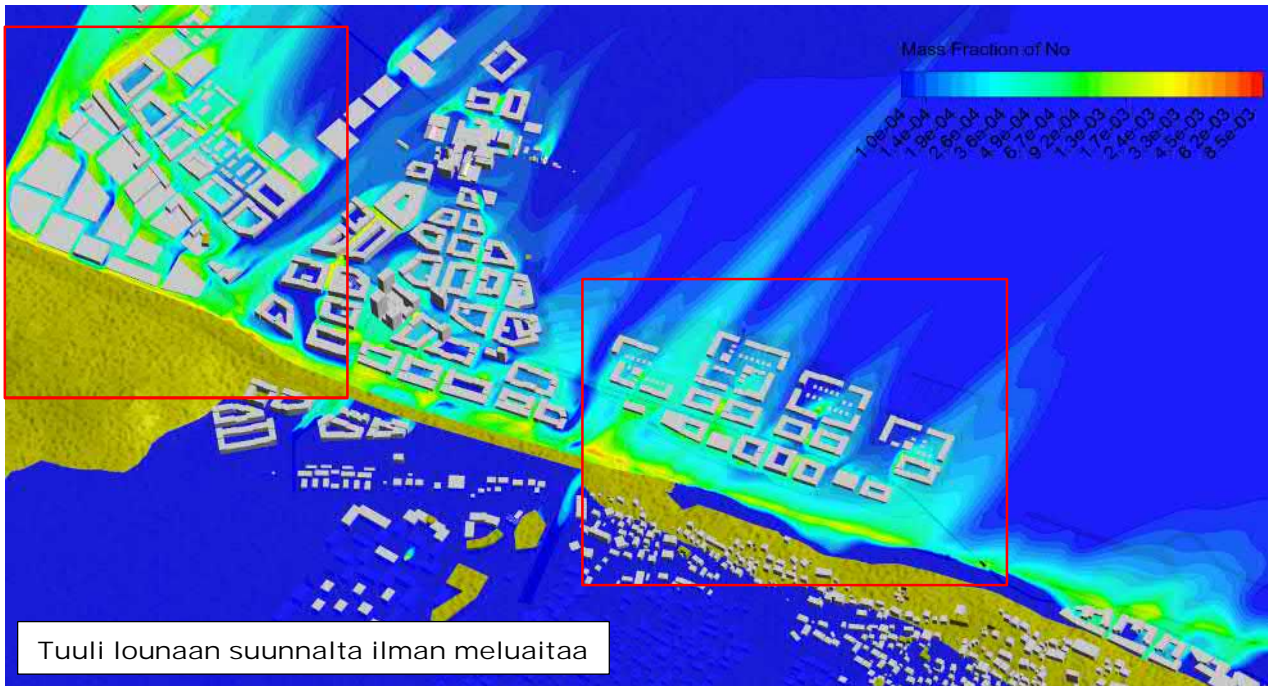
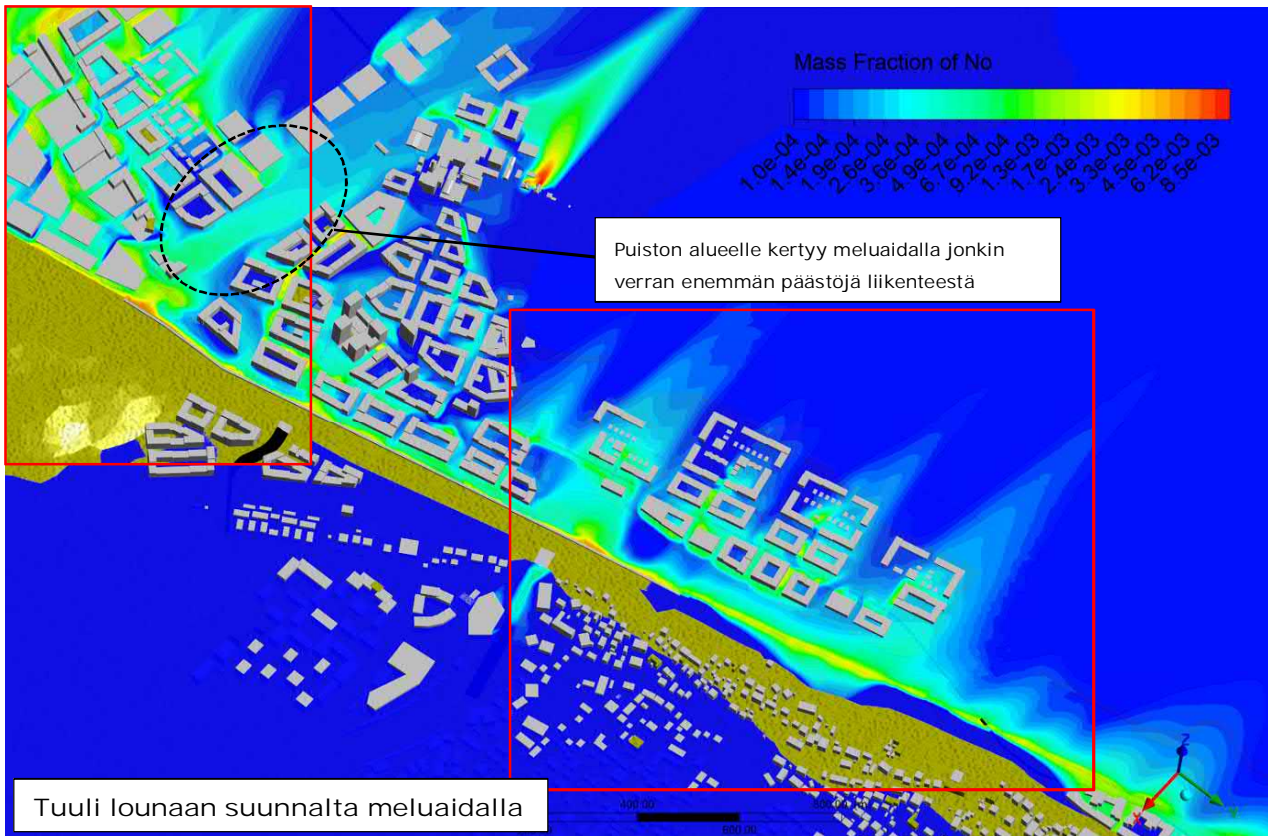


Kuva 32. Tuulen hyytävyys WCI -indeksin (Wind Chill Index) mukaisesti ulkoilman lämpötilalla -20 °C. Kuvaan on ympyröity WCI -indeksin ja operatiivisen lämpötilan (kuva 31) perusteella havaitut erityisen viileältä tuntuvat kohdat alueella tarkastellulla tuulen suunnalla. Kuvassa näkyvän leikkauspinnan ja maaston reuna-alueilla simulointituloksissa ylikorostuu maaston lämpötila, jolloin aistittu lämpötila näennäisesti nousee näillä alueilla. Tästä johtuen reuna-alueen laskentatuloksille ei tule antaa painoarvoa.

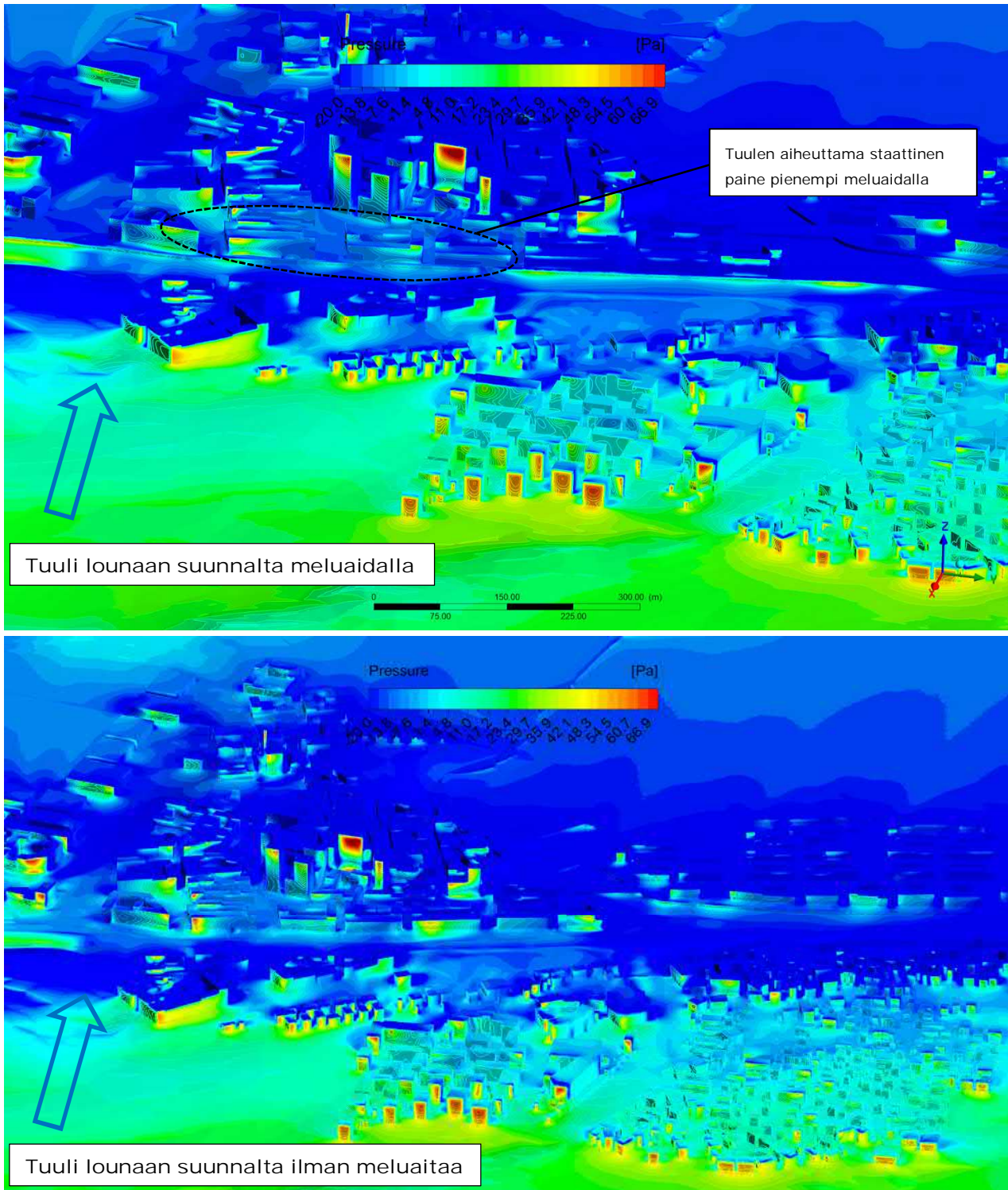
## 5.3 Tuuli lounaan suunnalta meluaidalla: normaali tuuli



Kuva 33. Ilman virtausnopeuden vektorit vaakapinnalla lähellä Hiedanrannan keskustan maan korkeutta meluaidalla (ylhäällä) ja ilman meluaitaa (alhaalla). Asteikko on rajattu 0 – 12 m/s (sininen – punainen väri). Tuuli puhaltaa lounaan suunnalta ja vapaan tuulen nopeus 10 m korkeudessa on 4 m/s. Yläpuolella olevaan kuvaan meluaidalla on merkitty poikkeavat alueet, joilla tuulen nopeus poikkeaa selvästi laskentatilanteesta ilman meluaitaa. Meluaidallisen simuloinnin tuloksista (ylempi kuva) nähdään, että järven kohdalla on esitetty huomattavasti vähemmän vektoreita kuin simuloinnissa ilman meluaitaa (alempi kuva). Eroavaisuus johtuu siitä, että meluaidallisessa simuloinnissa järven kohdalla oli käytössä harvempi laskentahila, jolloin järven kohdalla näkyy vähemmän vektoreita.



Kuva 34. Liikenteestä peräin olevien typen oksidien leviäminen ympäristössä tarkastellulla tuulen suunnalla: Tuuli lounaasta. Logaritminen rajattu asteikko, 0,01 – 0,0001, kuvaa typen oksidien laimentumista ilmassa. Punainen väri kuvaa typen oksidien pitoisuutta 1 % tiealueilla, keltainen väri laimentumista noin 0,1 %:iin ja vihreä väri laimentumista 0,01 %:iin typen oksidien lähtöpitoisuudesta. Yläpuolella olevaan kuvaan meluaidalla on merkitty poikkeavat alueet, joilla tuulen nopeus poikkeaa selvästi laskentatilanteesta ilman meluaitaa.



Kuva 35. Tuulen aiheuttama staattinen paine rakennusten ja maaston pinnoilla, meluidalla (ylhällä) ja ilman meluitaa (alhaalla). Staattinen paine kohdistuu jonkin verran enemmän meluitaan, mutta rakennusten julkisivuilla tuulen aiheuttamat staattiset paineet ovat lähellä toisiaan meluidasta riippumatta. Suurin vaikutus meluidasta nähdään meluidan välittömässä läheisyydessä: Meluidalla tuuli kohdistuu vähemmän lähellä oleviin rakennuksiin.

## 6. JOHTOPÄÄTÖKSET TUULISUUSKARTOITUKSESTA

Merkittävimmät tuulisuuskartoitukset perusteella tehdyt havainnot (kohdat 1 – 9) on koottu kuvaan 36. Sinisellä merkityt alueet on nostettu esiin tuulisuuden perusteella ja punaisella merkityt alueet liikenteestä aiheutuvien päästöjen perusteella.

Kuvaan merkityt kohta 1 (puistoalue) on tuulinen kohta hyvin todennäköisillä lounais- ja pohjoistuulilla. Kohdan 1 puistoalueen tuulelle alttiutta on suositeltava vähentää puiden ja tuulta sekoittavien esteiden avulla, tavoitteena vähentää ilman liikettä maan läheisyydessä. Leviämistarkastelejen perusteella kohdan 1 puistoalueelle kohdistuu jonkin verran liikenneperäisiä päästöjä lounais- ja kaakkoistuulilla. Meluaidan käyttäminen moottoritien varressa heikentää simulointien perusteella puiston alueen tuulettuvuutta, jolloin liikenteen päästöjä kohdistuu puiston alueelle enemmän. Meluaita toisaalta parantaa alueen viihtyisyyttä etenkin lounaistuulilla.

Kohdassa 2 tuulisuuteen ja paikalliseen viileyteen vaikuttavat pohjois-eteläsuunnassa kulkevat katuosuudet, jotka ovat rakennusten läheisyyden vuoksi osittain varjossa. Edellä mainitut katuosuudet ovat tuulisia erityisesti pohjoistuulilla. Kohdan tuulisuuteen voidaan todennäköisesti vaikuttaa rikkomalla melko yhtenäistä katuosuutta, esimerkiksi suuntaamalla katuja pois päin pohjois-eteläsuuntaisesta päävirtauksesta. Liikenteen päästöjä kertyy tietyille tieosuuksille erityisesti lounais- ja koillistuulilla.

Kohdassa 3 tuuli kiihtyy kaakkoistuulilla moottoritien varressa rakennusten välisellä alueella. Tuulen kiihtymistä voidaan vähentää esimerkiksi siirtämällä moottoritien eteläpuolella olevia rakennuksia kauemmaksi Hiedanrannan keskustasta. Liikenteen päästöjä kertyy läheiselle alueelle (kohta 9) moottoritien eteläpuolelle erityisesti pohjois- ja kaakkoistuulilla. Pohjoistuulilla Hiedanrannan keskusta tukkii osittain moottoritien varren tuulettuvuuden, jolloin liikenteen päästöjä voi kertyä moottoritien pohjoispuolisille katuosuuksilla.

Keinosaaren läheisyydestä on nostettu esiin tuulisuuden kannalta kohdat 4, 5 ja 6. Kohdassa 4 tuulen nopeus kasvaa sillan kohdalla pohjois- ja koillistuulilla. Keinosaaren sisäosassa havaittiin, että kohta 5 muuttuu erityisen tuuliseksi moottoritien varressa olevan meluaidan yhteydessä. Kohdan tuulisuutta voidaan vähentää esimerkiksi sijoittamalla keinosaaren rakennuksia osittain tuulelle avoimelle alueelle. Kohdassa 6 tuuli kiihtyy rakennusten välisillä alueilla etenkin pohjoisen suuntaisilla tuulilla. Keinosaaren sisäistä tuulisuutta on suositeltavaa vähentää esimerkiksi tuulta rikkovien esteiden ja puiden avulla.

Lielahden alueella erityisesti yhtenäiset katuosuudet (kuvassa 36 vasen ylänurkka) ovat tuulisia ja lämpöolosuhteiltaan melko epäviihtyisiä etenkin lounais- ja pohjoistuulilla.

Tuulen painevaikutus rakennusten julkisivuilla korostuu etenkin järven yli puhaltavilla tuulilla, esimerkiksi tuuli koillisesta. Kovimmat tuulen paineet kohdistuvat tällöin järven poukamassa olevien rakennusten julkisivuille. Vallitsevalla tuulen suunnalla, tuuli lounaasta, tuulen paine kohdistuu ainoastaan tiettyjen maantien varressa olevien rakennusten julkisivuille ja keskusta-alueen korkeimpien rakennusten yläosiin. Vuoden 2019 päivitetyn aluemallin perusteella havaittiin, että keskusta-alueen korkeimmat rakennukset ja näiden yläosat ovat erityisen tuulelle alttiita. Yleisesti ottaen tuulen painevaikutus olisi tärkeää ottaa huomioon kaikkien rantaviivassa olevien rakennusten ja Hiedanrannan keskustan korkeiden rakennusten suunnittelussa, rakenteiden kestävyys ja rakennusvaipan tiiveyden osalta.

Meluaidan vaikutuksia tuuliolosuhteisiin tarkasteltiin raportin luvussa 5.3 ainoastaan lounaistuulilla. Meluaita pienentää simulointien perusteella tuulen voimakkuutta meluaidan takana (tuulen jättöpuolella) katutasossa. Vaikutukset kohdistuvat voimakkaimmin moottoritien pohjoispuoliselle kaupunkialueelle, mutta myös kuvaan 36 merkitylle puistoalueelle (kohta 1). Meluaitaan kohdistuva tuuli kasvattaa toisaalta simuloidulla lounaistuulella tuulen nopeutta keinosaaren kohdalla rakennusten välisellä avoimella alueella. Simuloidun lounaistuulen perusteella on todennäköistä, että meluaita ei kasvata tuulen nopeutta hiedanrannan keskustan alueella pohjoistuulilla. Pohjoistuulilla meluaidan positiivinen vaikutus kohdistunee todennäköisesti esimerkiksi kuvassa 14 näkyvälle pohjois-eteläsuuntaiselle katuosuudelle, jossa tuulen nopeus kasvaa merkittävästi ilman meluaitaa.





Kuva 36. Erityisen tuulelle alttiit kohdat Hiedanrannan alueen sisällä tarkasteltujen tuulitilanteiden pohjalta. Kuvassa ei ole erikseen korostettu alueen pohjoispuolista rantaviivaa, joka on kaikilla järven suunnalta puhaltavilla tuulilla hyvin tuulinen. Tuuliset alueet on ympyröity kuvaan sinisellä ja liikennepäästöjen kertymät punaisella värillä. Alueet on numeroitu 1 – 9 ja jokaisen alueen kohdalla havainto, esimerkiksi tuulisuus, voi toistua useammalla kuin yhdellä tarkastellulla tuulen suunnalla.