

## Ranta-Kartanon tuulisuus- ja pienilmastonselvitys

Päiväys  
Tekijä  
Projektinumero

13/08/2019  
Eero Puurunen  
YKK64815

## Sisällys

1	Tiivistelmä .....	1
2	Johdanto.....	1
3	Tuuliviihtyisyys ja tuuliturvallisuus.....	2
3.1	Tuulisimulaatioiden kuvaus .....	2
3.2	Tuulisuuden lähtötiedot.....	2
3.3	3D-malli .....	2
3.4	Metodologian rajoitukset .....	3
3.5	Tuulioloihin liittyvät määräykset ja ohjeet .....	4
3.6	Tarkastelupisteet ja simuloitujen tuulen nopeuksien muuntaminen vuotuisiksi arvoiksi .....	4
3.7	Tarkastelukriteerit.....	4
3.8	Tuuliviihtyvyys.....	4
3.9	Tuuliturvallisuus.....	8
3.10	Tulosten tulkinta .....	9
3.11	Tuuliolosuhteisiin liittyviä suosituksia .....	17
	3.11.1 Tornien julkisivuihin suorassa kulmassa osuvat virtaukset.....	18
	3.11.2 Suppiloeffekti .....	19
4	Pienilmasto.....	20
4.1	Pienilmastoon vaikuttavat tekijät .....	20
4.2	UTCI.....	21
4.3	Pienilmastosimulaatio.....	21
	4.3.1 Keskisäteilylämpötilan simulointi.....	21
4.4	Pienilmastosimulaation tulokset.....	23
4.5	Suosituksia alueen pergoloiden suunnitteluun .....	26
	4.5.1 Pergolat ja tuuli .....	26
	4.5.2 Pergolat ja auringon säteily.....	27

Liite 1: Numerolan raportti, Kaupunkikohteen tuulisimulointi





Raportin osassa 4 käsitellään alueen pienilmasto-oloja. Tämän analyysin kautta saadaan kuva piholla oleskelijoiden lämpökokemuksesta ottaen huomioon auringon säteilyn ja tuulen viilentävän vaikutuksen.

Tuuliolosuhdemallinnuksen lähtötietona toimivat numeeriset virtausmallinnukset ("virtuaalinen tuulitunneli") suoritti Numerola Oy. Muut analyysin osat (mm. tuulidatan prosessointi, tilastollisen analyysi, sekä pienilmastoanalyysiin liittyvät simulaatiot) tuotti Sitowise Oy.

### 3 Tuuliviihtyisyys ja tuuliturvallisuus

Alueen tuuliviihtyisyyttä ja tuuliturvallisuutta analysoitiin tietokonesimulaatioiden avulla. Simulaatioiden pohjalta tarkasteltiin tilastollisesti alueen eri osien tuulioloja. Analyysin päämääränä oli tarkastella kaavoitettujen rakennusten ympärille katutasoon muodostuvia tuulioloja. Ennen kaikkea päämääränä oli tarkastella epämiellyttävien tai suorastaan vaarallisten olosuhteiden muodostumisen todennäköisyyttä.

#### 3.1 Tuulisimulaatioiden kuvaus

Tarkastelu perustuu tilastolliseen analyysiin, joka suoritettiin numeeristen virtausdynamiikka (NVD) (computational fluid dynamics, CFD) -simulaatioiden pohjalta. NVD-simulaatio luo virtuaalisen tuulitunnelin ja simuloi sen avulla alueen tuulioloja. Vuotuinen analyysi perustuu kahdeksan ilmansuunnan NVD-simulaatioihin. Simulaatioiden lähtötuulennopeudet määriteltiin tuulen nopeuden keskiarvona kullekin tuulen suunnalle. Liite 1 kuvaa NVD-simulaatioissa käytetyn metodologian.

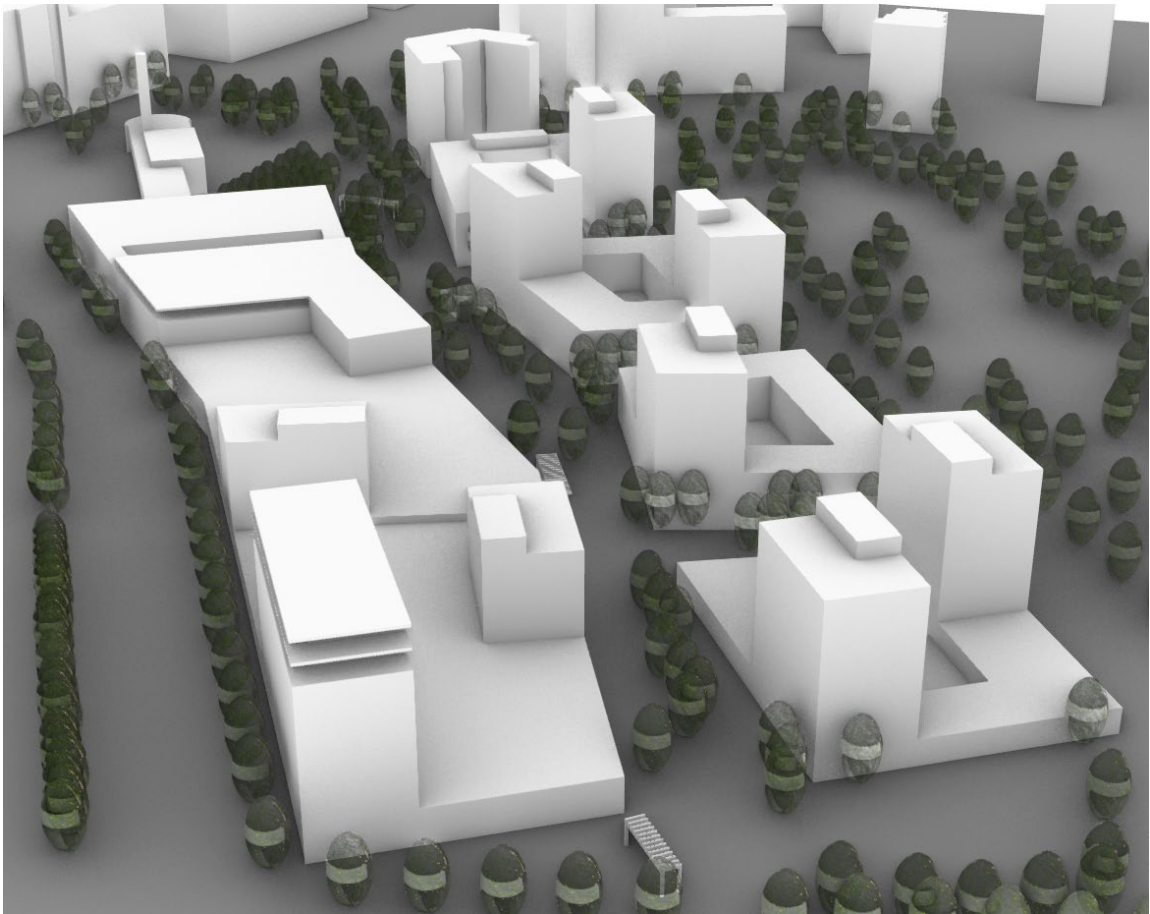
#### 3.2 Tuulisuuden lähtötiedot

Tuulianalyysi luotiin pitkän ajanjakson (10 v) keskiarvoa kuvaavan ilmastotiedon pohjalta. Pohjana on tiedosto, jossa on arvo vuoden jokaiselle tunnille tuulen nopeudesta ja suunnasta. Tämän "tyyppivuoden" lähtötiedot kuvataan tarkemmin liitteessä 1.

#### 3.3 3D-malli

3D-mallin lähtötietona toimi suunnittelualueesta ja sen lähiympäristöstä saatu SketchUp-malli, sekä PDF-muodossa toimitettu Ranta-Kartanon puistosuunnitelma. 3D-mallia "siivottiin" ja yksinkertaistettiin simulaatioita varten. Rakennukset kuvattiin palikkamaisina. 3D-malli sisältää myös pergoloita, jotka huomioitiin tuulisimulaation versiossa 2. Versio 2 sisälsi myös puut, jotka mallinnettiin puistosuunnitelman osoittamille paikoille. Kaikkien puiden oletettiin olevan lehtipuita. Puugeometria toimii ellipsoidi, jonka alapää on 2 m korkeudella ja jonka leveys on 6 m ja korkeus 11 m.

Maanpinta oletettiin mallissa tasaiseksi (korko +88,5 m) ja rakennusten korkeudet korjattiin suhteessa tähän tasaiseen maanpintaan. Verraten vähäisellä korkeusvaihtelulla ei oleteta olevan merkittävää vaikutusta tuulisimulaation tuloksiin. Sikäli kun vaikutusta on, tasainen maa todennäköisesti hieman liioittelee tuulisuutta.



Näkymä 3D-mallin sisällöstä pohjoisesta. Samaa 3D-mallia käytettiin myös pienilmastomallinnuksessa.

### 3.4 Metodologian rajoitukset

Käytetyllä analyysitekniikalla syntyy jonkin asteista vääristymää siitä, että simulaatio suoritettiin valittujen tuulensuuntien keskimääräisillä nopeuksilla, "vakaa tila" (steady state) simulaationa. Tarkastelu ei mallinna suoraan puuskittaisen tuulen vaikutusta, eikä poikkeuksellisia myrskytuulia. Puuskatuulien ja myrskyjen tarkempi huomiointi vaatisi useampia tuulisimulaatioita samasta ilmansuunnasta, mikä lisäisi laskenta-aikaa, sekä simuloitun datan jälkiprosessointiaikaa merkittävästi. Käytetty tilastollinen arviointimenetelmä ottaa huomioon tyyppilistä voimakkaammat tuulet epäsuorasti, jatkossa kuvattavien viihtyvyys- ja turvallisuuskategorioiden määrittelyn kautta.

Suoritettavien simulaatioiden määrällä on suora vaikutus analyysin luotettavuuteen ja simulaatioita olisi mahdollista tehdä suuremmaltakin määrältä tuulensuuntia. Kansainvälisten vertailukohtien perusteella voidaan kahdeksan tuulensuunnan simulaatioiden kuitenkin olettaa antavan varsin luotettavan kuvan olosuhteista.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Mm. Mackey et. al.: Wind, Sun, Surface Temperature, and Heat Island: Critical Variables for High-Resolution Outdoor Thermal Comfort, Building Simulation, 2017

### 3.5 Tuulioloihin liittyvät määräykset ja ohjeet

Tiedossa ei ole mitään Suomessa käytössä olevia jalankulkijoiden ja kevyen liikenteen tuulioloihin liittyviä yleisesti hyväksytyjä ohjeita tai määräyksiä. Arviointi suoritettiin niin kutsuttujen Lawsonin kriteerien pohjalta.<sup>2</sup> Nämä kriteerit ovat yksi kansainvälisesti käytetyimmistä katutaso tuuliolosuhteiden arviointimenetelmistä.

### 3.6 Tarkastelupisteet ja simuloitujen tuulen nopeuksien muuntaminen vuotuisiksi arvoiksi

Katutaso tuuliviihtyvyyttä tarkastellaan 1.5 m maantason yläpuolella. Käytetty metodologia ennustaa kuinka usein tuulennopeuden raja-arvot ylittyvät tarkastelupisteessä. Simulaatioiden tulokset muunnettiin paikallisiksi tuulennopeuksiksi tuulisuuskertoimien avulla.<sup>3</sup> Tämän pohjalta saatiin 8760 (tuntien määrä vuodessa) arvoa tuulennopeudelle kussakin tarkasteltavassa pisteessä. Tarkastelualueelle luotiin 5 m x 5 m ruudukko, jossa on 3 462 tarkastelupistettä, joille vuotuinen tarkastelu suoritettiin. Tilastollinen analyysi pohjautuu siis 30 327 120 tuulen nopeuden arvoon (3 462 x 8760).

### 3.7 Tarkastelukriteerit

Tuuliolosuhteiden arvioinnin pohjalla olevia Lawsonin kriteerejä on kahta tyyppiä: *tuuliviihtyvyydelle* ja *tuuliturvallisuudelle*. Ensimmäisen avulla pyritään kuvaamaan eri alueiden soveltuvuutta tietyille tyyppillisille toiminnoille ja jälkimmäisen avulla etsitään alueita, joilla olosuhteet voivat olla suorastaan vaaralliset (englanniksi käytetään sanaa "distress"). Tuuliturvallisuuskriteerit perustuvat arvioon siitä, että jos tietyt raja-arvot ylittyvät keskimääräisillä tuulilla, on hyvin todennäköistä, että olosuhteet kyseisillä alueilla muodostuvat vaarallisiksi tuulen ollessa voimakasta tai puuskittaista. Voimakas, puuskittainen tuuli voi jopa kaataa pyöräilijän tai heikkokuntoisen ihmisen.

### 3.8 Tuuliviihtyvyyys

On syytä korostaa vielä, että raportin tässä osassa käytetty tuuliviihtyvyysskriteeri ei arvioi tuulen vaikutusta lämpöviihtyvyyteen, vaan tuulen vaikutusta itsenäisesti. Tuuliolosuhteiden vaikutusta lämpöolosuhteisiin kuvataan seuraavassa osassa (pienilmasto).

Katutasossa tuulista aiheutuva epäviihtyvyyys riippuu paljon siitä, mitä ihminen tekee. Tätä heijastellen Lawsonin kriteerit antavat tuulennopeuden raja-arvot eri aktiviteettityypille. Käytetyt tuuliviihtyvyyden kriteerit on esitetty alla olevassa kuvassa.

<sup>2</sup> Lawson, Tom: Building Aerodynamics. Imperial College Press, 2001

<sup>3</sup>  $v_p = (v_s/v_k) * v_t$ , jossa:

$v_p$ =tuulen vauhti tarkastelupisteessä tietynä vuoden tuntina

$v_s$ =simuloitu tuulen vauhti tietyissä pisteessä (näitä tuloksia on kahdeksan jokaiselle pisteelle (yksi jokaiselle simuloitulle ilmansuunnalle). Oikea arvo valitaan sen mukaan mistä tuuli puhaltaa tyyppivuotena kunakin tuntina).

$v_k$ =Tietyn ilmansuunnan tuulen keskivauhti tyyppivuonna

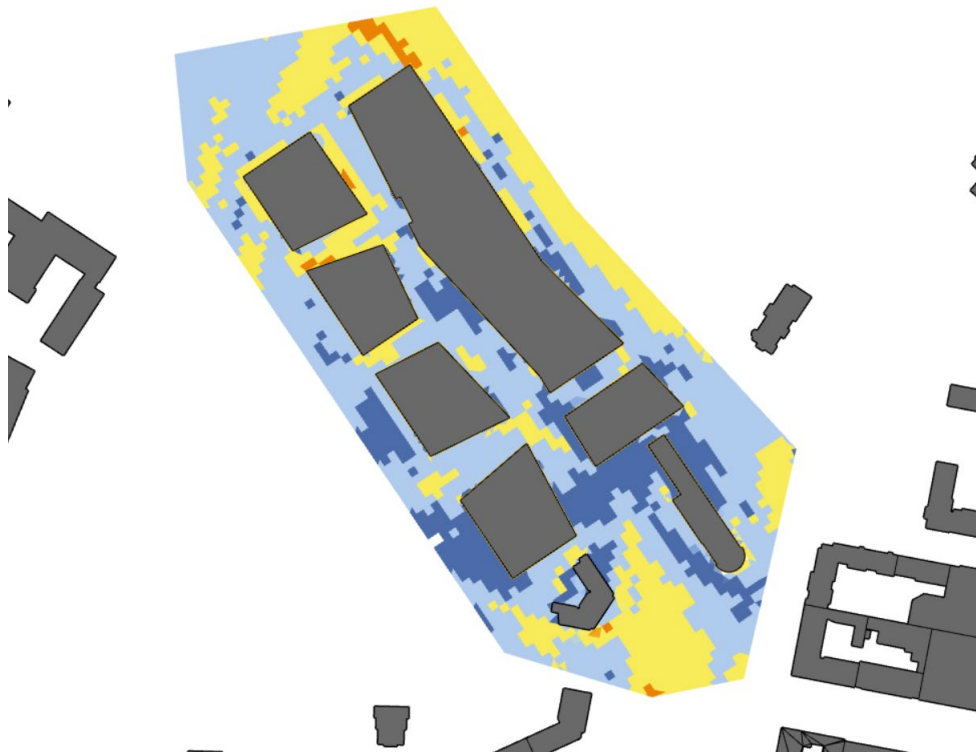
$v_t$ =Tuulen vauhti tyyppivuoden tietynä tuntina

Alueen soveltuvuus eri aktiviteetteihin Lawsonin tuuliolosuhdekriteerien pohjalta			
Kategorian koodi	Aktiviteettikategoria	Tuulen nopeuden raja-arvo	Maximi % ajasta jolloin nopeuden raja-arvo ylittyy
A	Pitkäkestoinen istuskelu	4 m/s	5 % *
B	Seisokelu ja lyhytkestoinen istuskelu	6 m/s	5 % *
C	Verkkainen kävely	8 m/s	5 % *
D	Rivakka kävely	10 m/s	5 % *
E	Ei sovellu tyypillisiin aktiviteetteihin	15 m/s	0.022 % **

\*Raja-arvo ylittyy keskimäärin harvemmin kuin 1.2 h / päivä

\*\*Raja-arvo ylittyy harvemmin kuin 2 h / vuosi

Tuuliviihtyvyyttä tarkasteltiin kahden eri 3D-mallin pohjalta. Ensimmäisessä mallissa ovat mukana pelkästään rakennukset ja maanpinta. Toisessa mallissa huomioitiin myös puusto ja pergolat (asiaa kuvataan tarkemmin liitteessä 1). Seuraavien sivujen kuvista näemme, että näiden kahden mallin tulokset ovat saman suuntaiset. Kuten odottaa saattaa, tapauksessa 2 (jossa on mukana puut ja pergolat) tuulen nopeudet ovat keskimäärin pienemmät ja tarkastelualueelle muodostuu vähemmän keltaisia ja oransseja alueita, jotka eivät sovellu istuskeluun. Käytännössä tulokset sijoittuvat jonnekin näiden kahden tapauksen välimaastoon, koska lehtipuiden vaikutus tuuleen on talviaikaan vähäinen, mutta kesäaikaan merkittävä.



Alueen soveltuvuus eri aktiviteetteihin Lawsonin tuulilosuhdekriteerien pohjalta			
Kategorian koodi	Aktiviteettikategoria	Tuulen nopeuden raja-arvo	Maximi % ajasta jolloin nopeuden raja-arvo ylittyy
A	Pitkäkestoinen istuskelu	4 m/s	5 % *
B	Seisokelu ja lyhytkestoinen istuskelu	6 m/s	5 % *
C	Verkkainen kävely	8 m/s	5 % *
D	Rivakka kävely	10 m/s	5 % *
E	Ei sovellu tyypillisiin aktiviteetteihin	15 m/s	0.022 % **

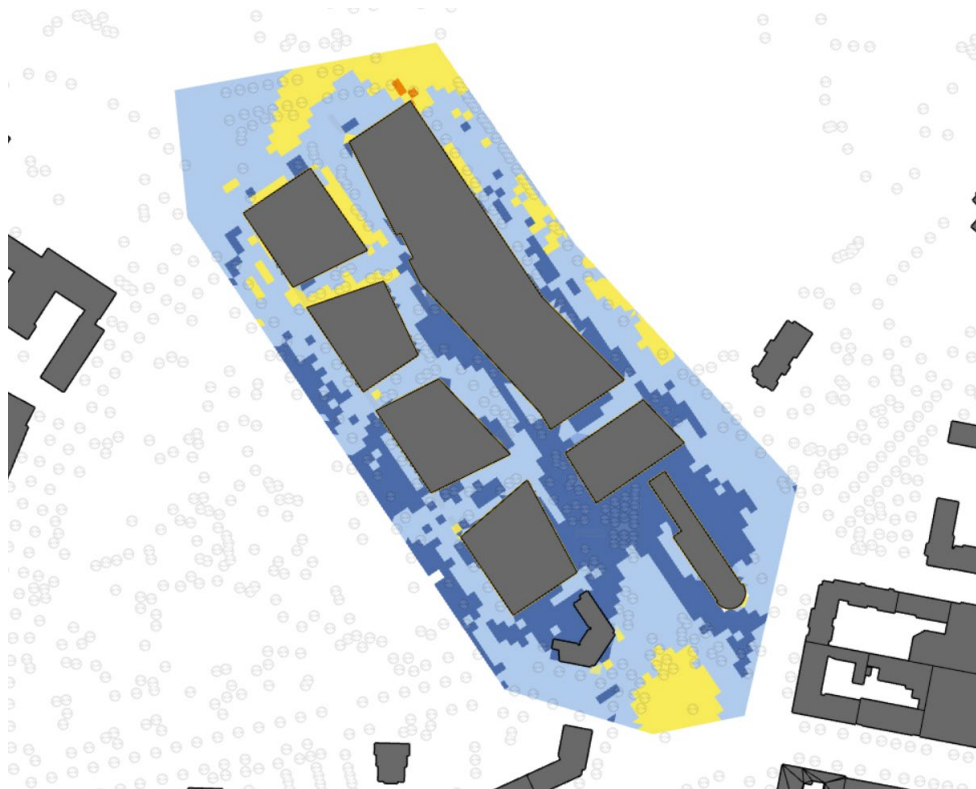
\*Raja-arvo ylittyy keskimäärin harvemmin kuin 1.2 h / päivä

\*\*Raja-arvo ylittyy harvemmin kuin 2 h / vuosi

Kuva 1: Tuuliviihtyvyys – tapaus 1 (ilman puita ja pergoloita)

Epämiellyttävimmät olosuhteet (oranssit alueet) muodostuvat alueen koillisnurkalle. Kokonaisuutena rakennusten keskelle jäävä puisto on varsin suojaisa. Erityisen hyvin pitkäaikaiseen oleiluun soveltuvia paikkoja (tumman siniset alueet) on eri puolilla. Kokonaisuutena alueen pohjoispää, jolla ei ole yhtä paljon ympäröivän kaupunkirakenteen antamaa suojaa, on eteläpäättä tuulisempi.





Alueen soveltuvuus eri aktiviteetteihin Lawsonin tuuliolosuhdekriteerien pohjalta			
Kategorian koodi	Aktiviteettikategoria	Tuulen nopeuden raja-arvo	Maximi % ajasta jolloin nopeuden raja-arvo ylittyy
A	Pitkäkestoinen istuskelu	4 m/s	5 % *
B	Seisokelu ja lyhytkestoinen istuskelu	6 m/s	5 % *
C	Verkkainen kävely	8 m/s	5 % *
D	Rivakka kävely	10 m/s	5 % *
E	Ei sovellu tyypillisiin aktiviteetteihin	15 m/s	0.022 % **

\*Raja-arvo ylittyy keskimäärin harvemmin kuin 1.2 h / päivä

\*\*Raja-arvo ylittyy harvemmin kuin 2 h / vuosi

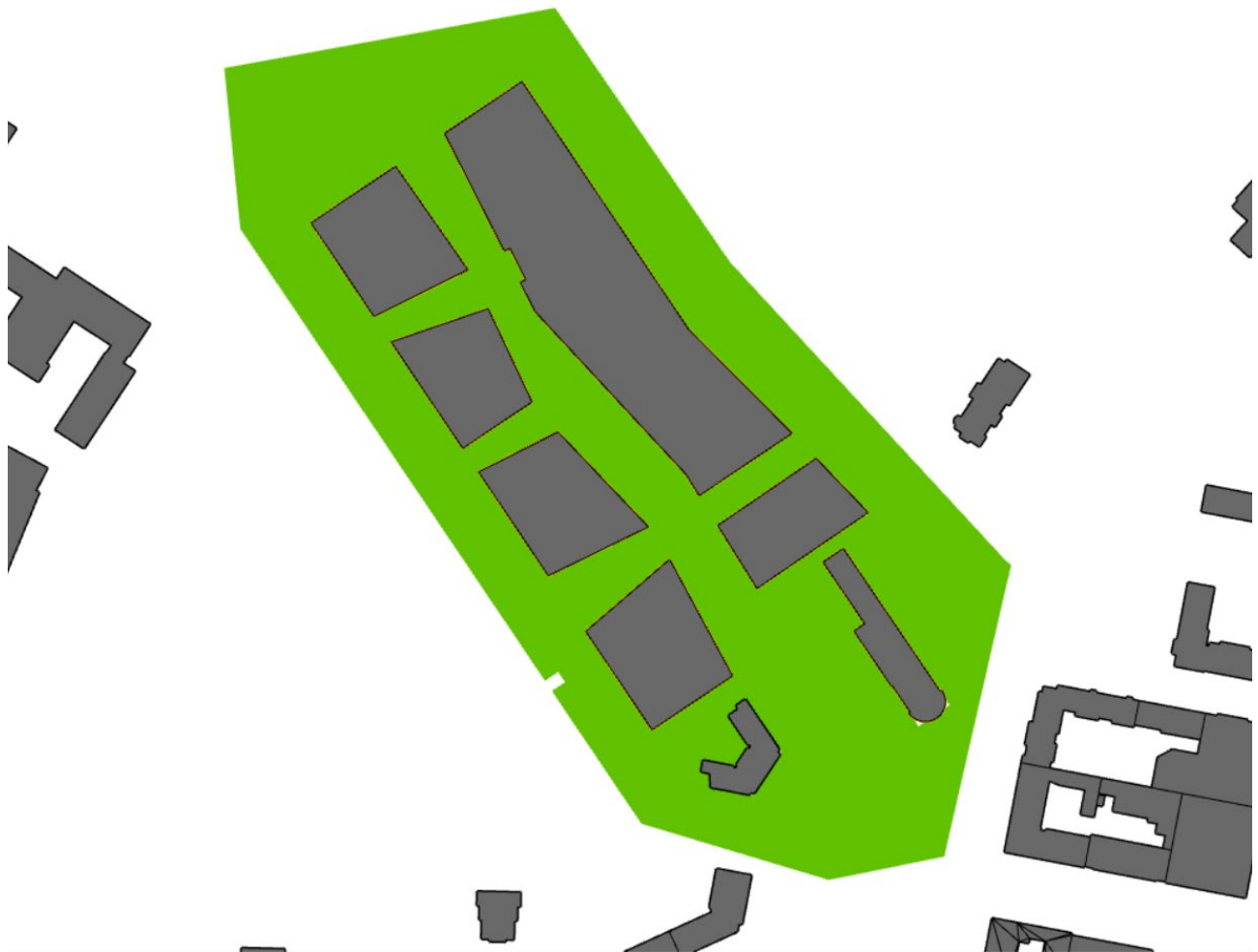
Kuva 2: Tuuliviihtyvyyys – tapaus 2 (mukana puut ja pergolat)

Kesäaikaan, puiden ollessa täydessä lehdessä, tuuliolojen voidaan olettaa olevan tämän analyysin mukaiset. Puut ja pergolat tekevät alueen sisäosista pääosin varsin suojaisat.

### 3.9 Tuuliturvallisuus

Lawsonin tuuliturvallisuusstandardin mukaisesti vuotuiset olosuhteet ovat vaaralliset, jos tietyllä alueella ylitetään tuulen nopeuden raja-arvot 0,01 % vuotuisista tunneista. Raja-arvo on tyypilliselle väestölle (general public) 20 m/s. Huonokuntoisille ihmisille (frail person) ja pyöräilijöille raja-arvo on 15 m/s.

Kuten alla olevasta kuvasta voi todeta, alueella ei ole yhtään huonokuntoisille ihmisille vaarallista paikkaa – ei edes siinä tapauksessa, että alue oletetaan puuttomaksi. Tarkastelu tyypilliselle väestölle tuottaisi luonnollisesti saman tuloksen.



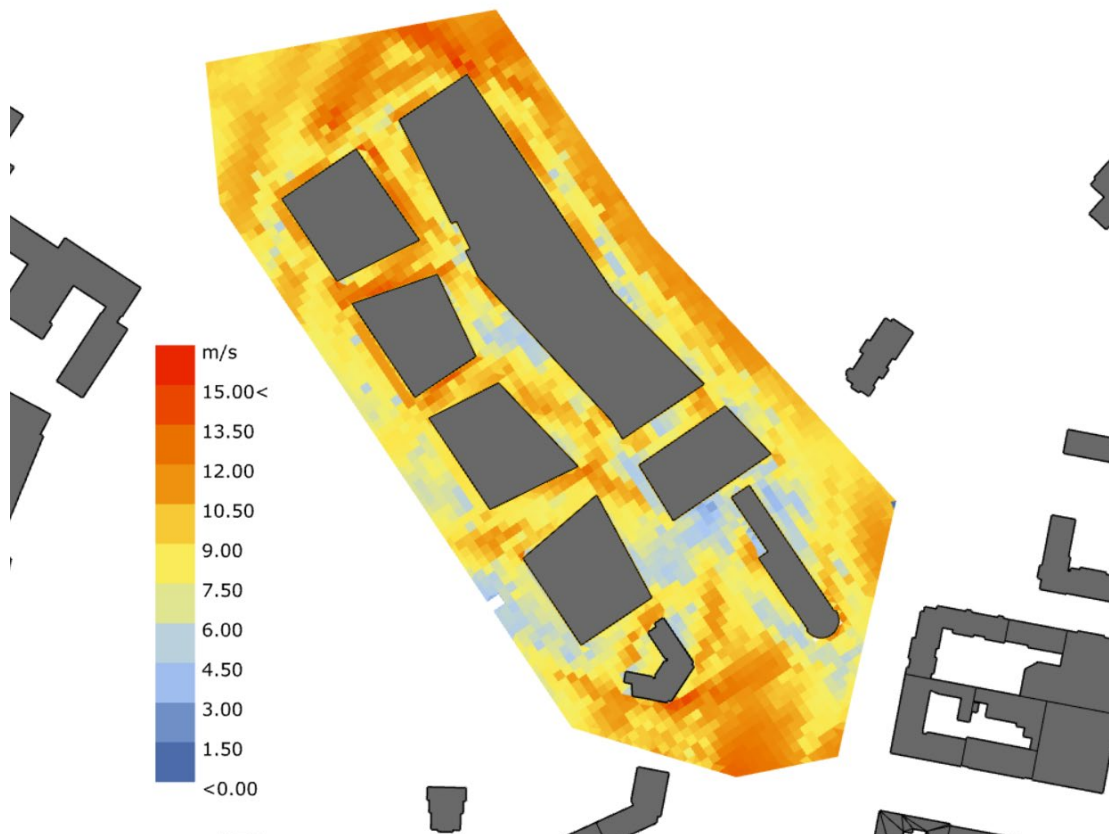
Tuuliturvallisuus – Huonokuntoinen väestö ja pyöräilijät			
Kategorian koodi	Aktiviteettikategoria	Tuulen nopeuden raja-arvo	Max. % ajasta jolloin raja-arvo ylittyy
G	Turvalliset vuotuiset olosuhteet		
R	Vaaralliset vuotuiset olosuhteet	15 m/s	0.01 % ajasta

Kuva 3: Tuuliturvallisuus – tapaus 1 (ilman puita ja pergoloita)

### 3.10 Tulosten tulkinta

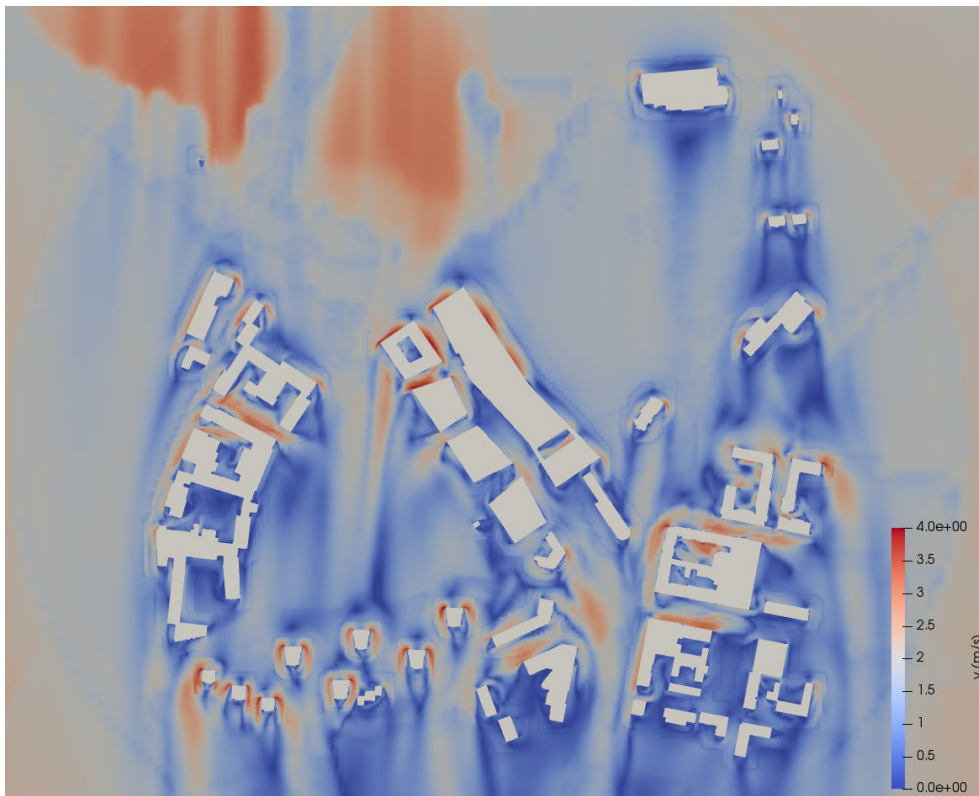
Kokonaisuutena voidaan todeta, että alueen tuuliolosuhteet ovat hyvät. Kaavan mukainen kaupunkirakenne ei aiheuta erityisiä "tuulisuppiloita" tai muita vastaavia epäedullisia muodostelmia.

Alla oleva kuva esittää vuotuisen tuulen huippunopeuden kussakin tarkastelupisteessä. Tästä kartasta voidaan vetää päätelmiä siitä missä kaikkein ongelmallisimmat paikat ovat (punaiset alueet). Erona edellä esitettyihin karttoihin, tämä analyysi ei kerro mitään siitä kuinka suurella todennäköisyydellä esitetyt tuulen nopeudet saavutetaan. Kuvassa näkyvillä sinisillä alueille voimakkaat tuulet ovat erityisen epätodennäköisiä.

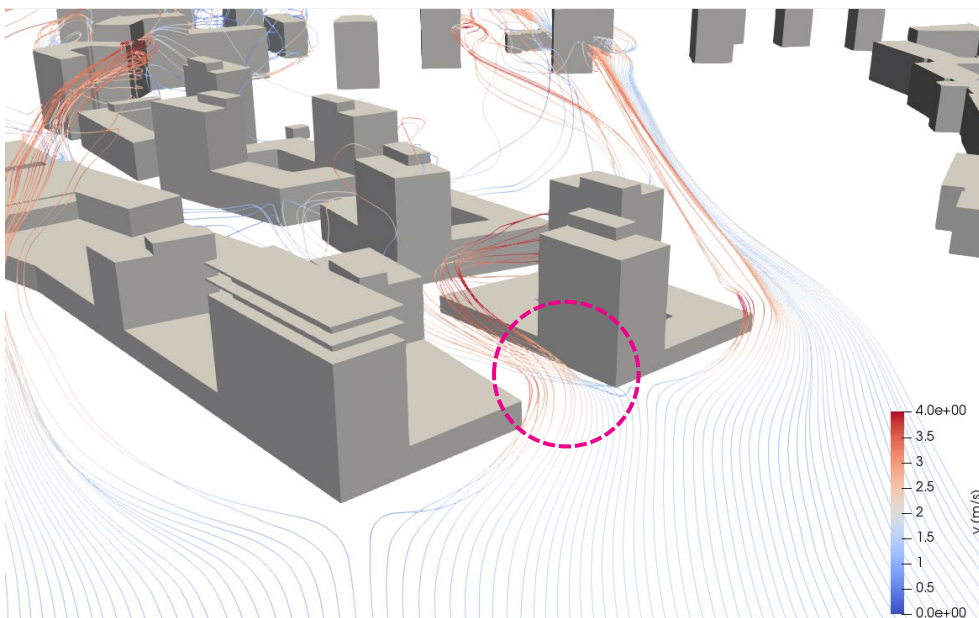


*Tuulen huippunopeudet tyyppivuonna*

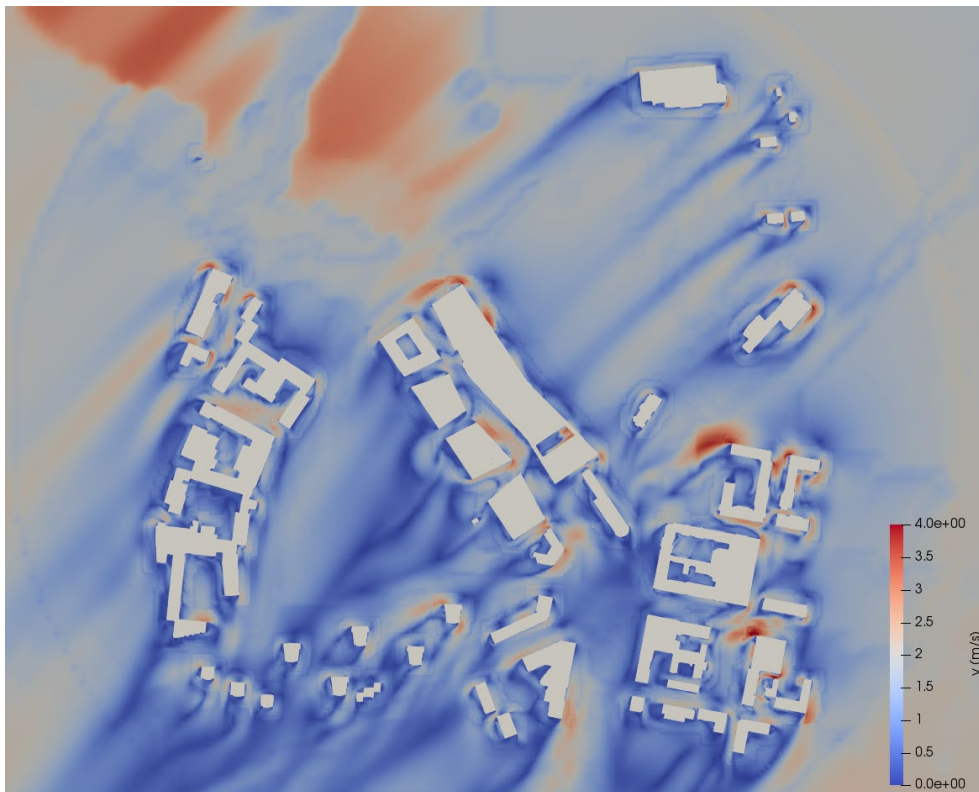
Seuraavilla sivuilla on karttakuvia tuulen nopeuksista 1,5 m maan pinnan yläpuolella kunkin ilmansuunnan simulaatiossa (jotka suoritettiin käyttäen lähtönopeutena kunkin ilmansuunnan tuulien keskinopeutta). Kuvaus ei huomioi kyseisen ilmansuunnan tuulien yleisyyttä tai tuulen nopeuksien jakaumaa, mutta tästä huolimatta kuvat tarkentavat käsitystä eri suuntaisten tuulien vaikutuksesta. Kuvien yhteydessä on myös näytteitä simulaatioiden virtausviivoista, jotka kuvaavat tietyllä kohtaa laskentahilaa kulkevan tuulen reittiä ja nopeutta. Virtausviivat antavat tarkempaa kuvaa tuulen käyttäytymisestä.



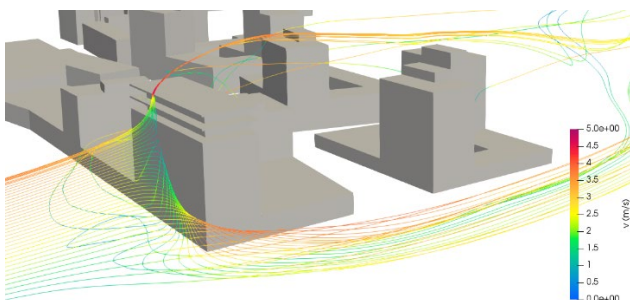
Pohjoinen: simuloidut tuulen nopeudet 1,5 m maan pinnan yläpuolella



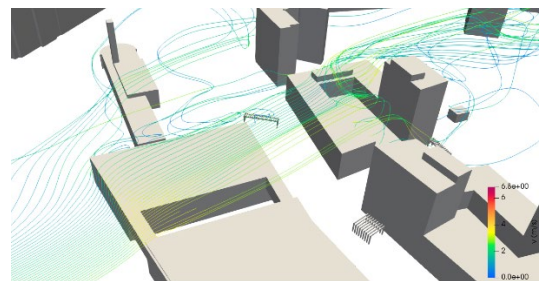
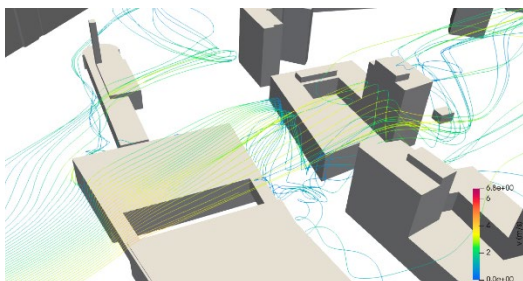
Näkymä virtausviivoista alueen pohjoispuolella. Ympyrä osoittaa paikkaa, jossa tuulen nopeus kasvaa suppiloefektin vaikutuksesta



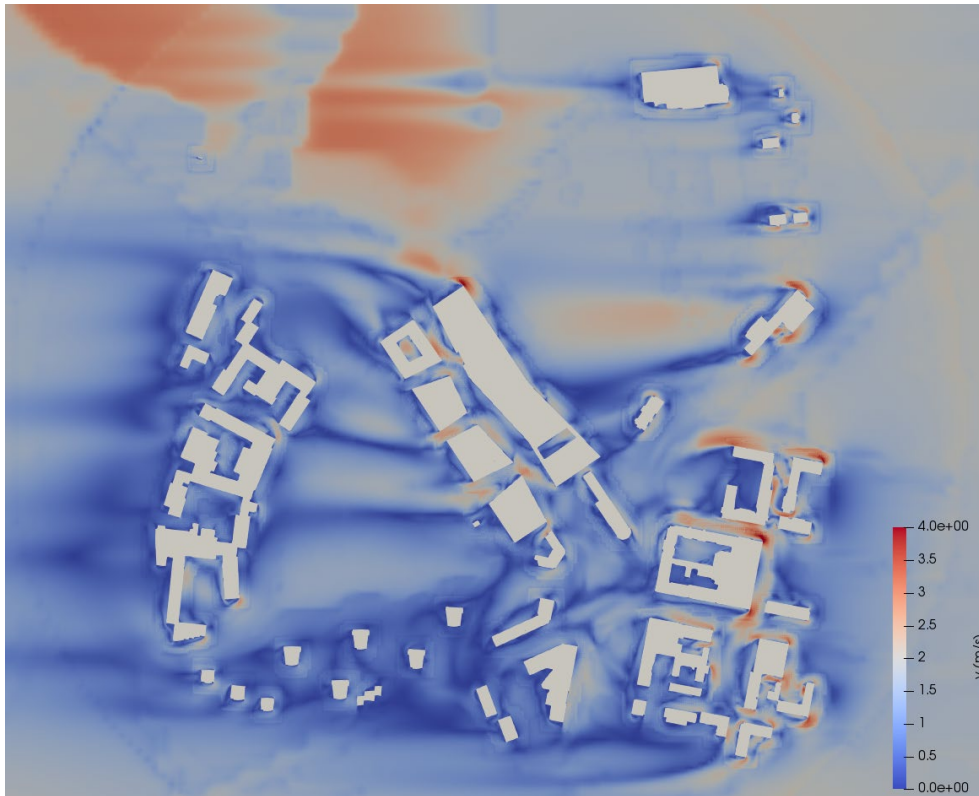
*Koillinen: simuloidut tuulen nopeudet 1,5 m maan pinnan yläpuolella*



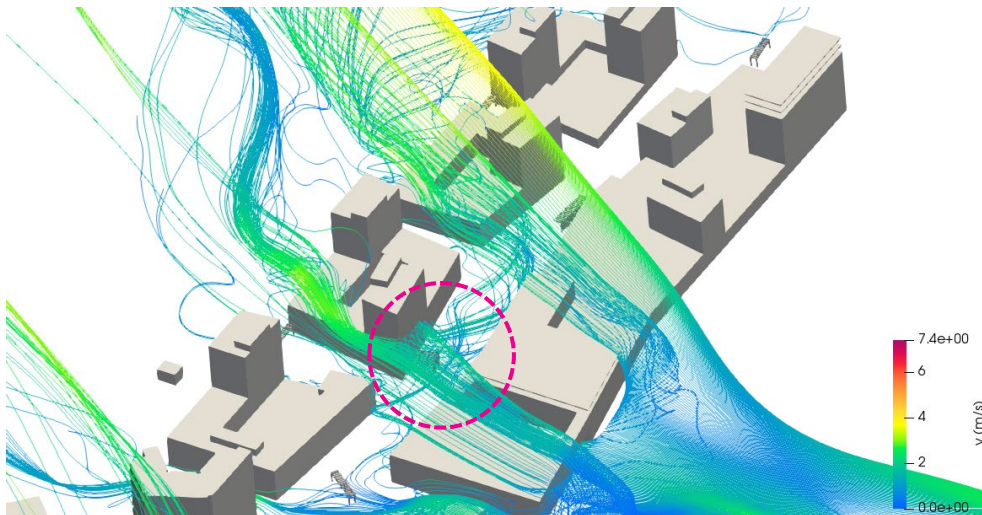
*Alueen koilliskulmassa tuuli osuu hotellin julkisivuun kohtisuorasti ja aiheuttaa alaspäin suuntautuvia voimistuvia virtauksia*



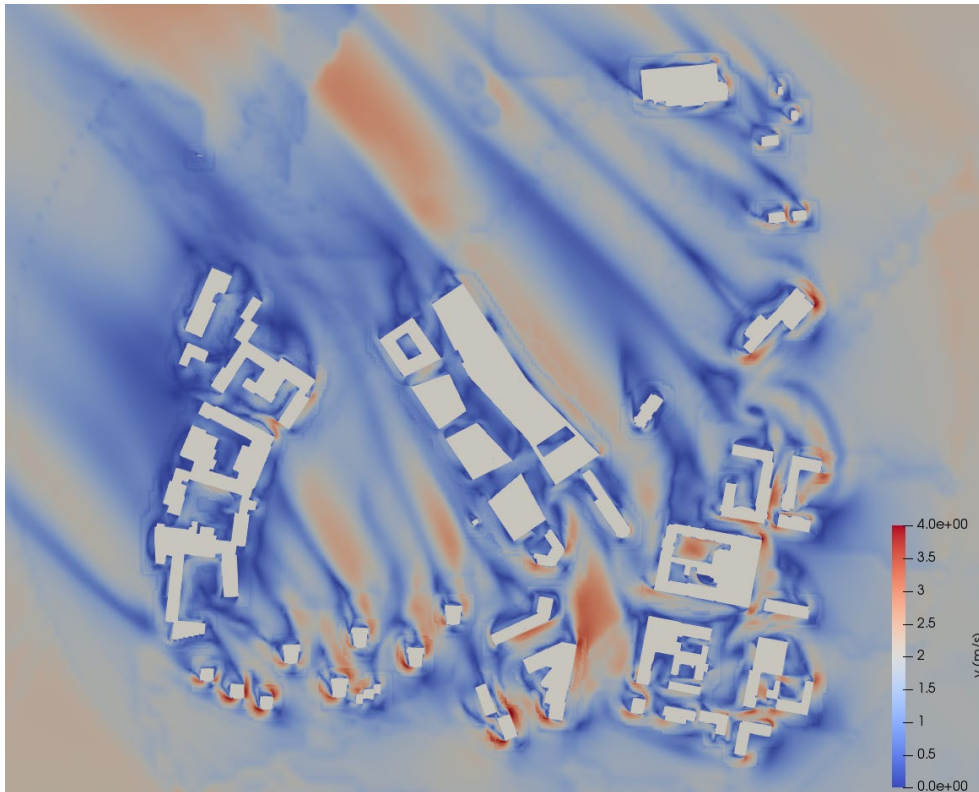
Kuva vasemmalla on versiosta 1. Kuva oikealla on versiosta 2, jossa on pergolat ja puut mukana (puut eivät näy mallissa, koska ne on kuvattu simulaatiossa permeabiilisena väliaineena). Kuvat osoittavat kuinka alueen keskellä olevan puiston puut estävät kesäaikaan virtausten kääntymisen pihan tasolle.



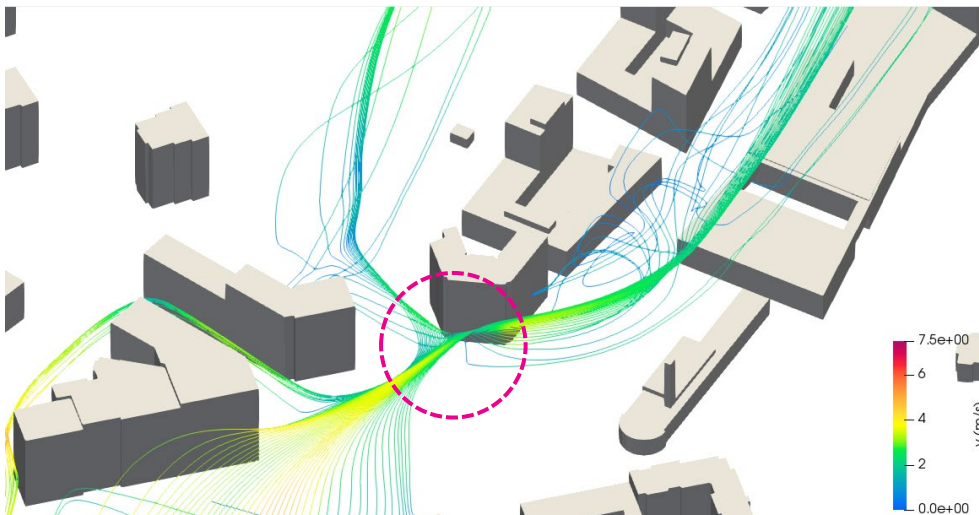
Itä: simuloitut tuulen nopeudet 1,5 m maan pinnan yläpuolella



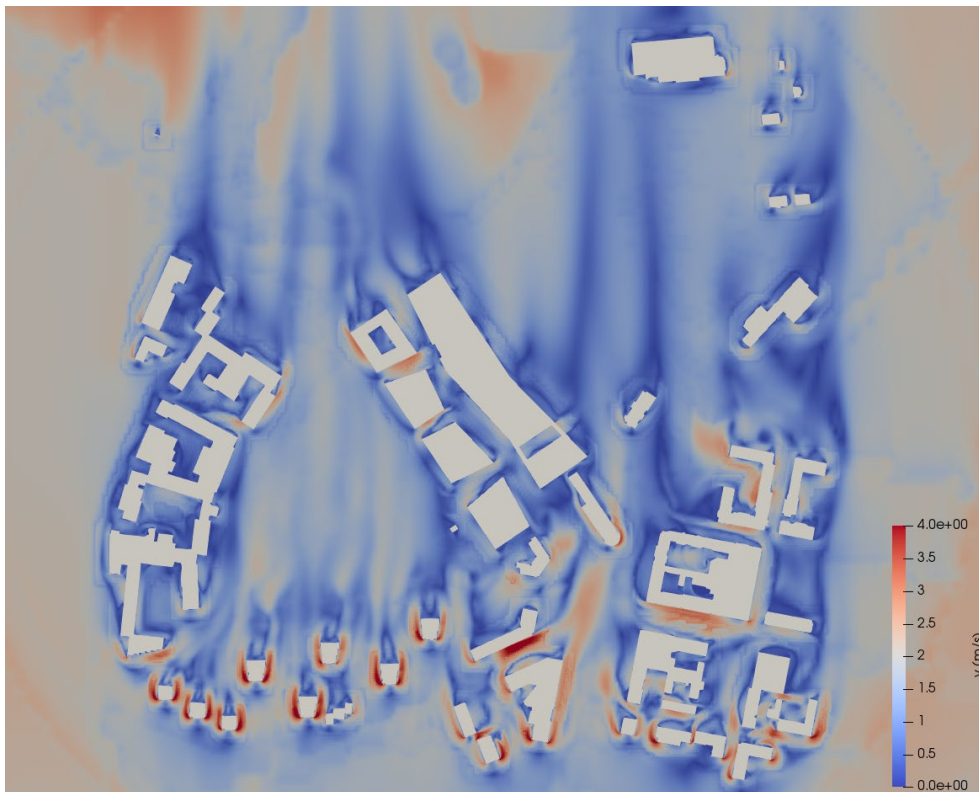
Idästä tuleva tuuli aiheuttaa alueen keskelle pyörteisiä tuulia. Puuston vaikutuksesta tuulen nopeudet ovat kuitenkin maltillisia.



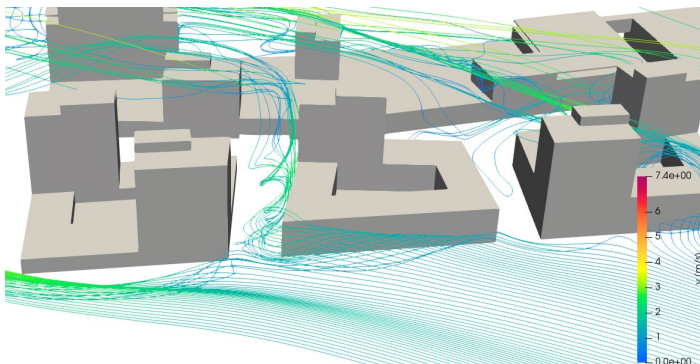
*Kaakko: simuloitut tuulen nopeudet 1,5 m maan pinnan yläpuolella*



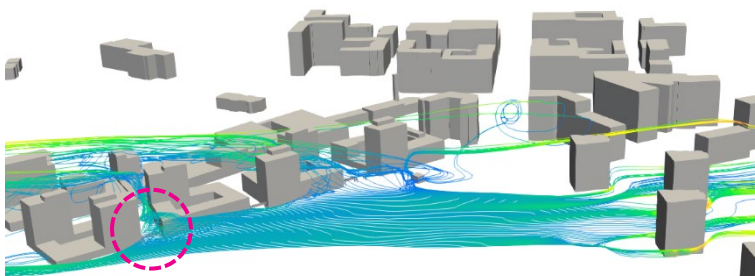
*Ympyrän osoittaman olemassa olevan rakennuksen eteläpään syntyy katutasoon kääntyviä virtauksia tuulen puhaltaessa koillisesta. Virtaukset eivät kuitenkaan voimistu merkittävästi nopeudeltaan.*



*Etelä: simuloitut tuulen nopeudet 1,5 m maan pinnan yläpuolella*

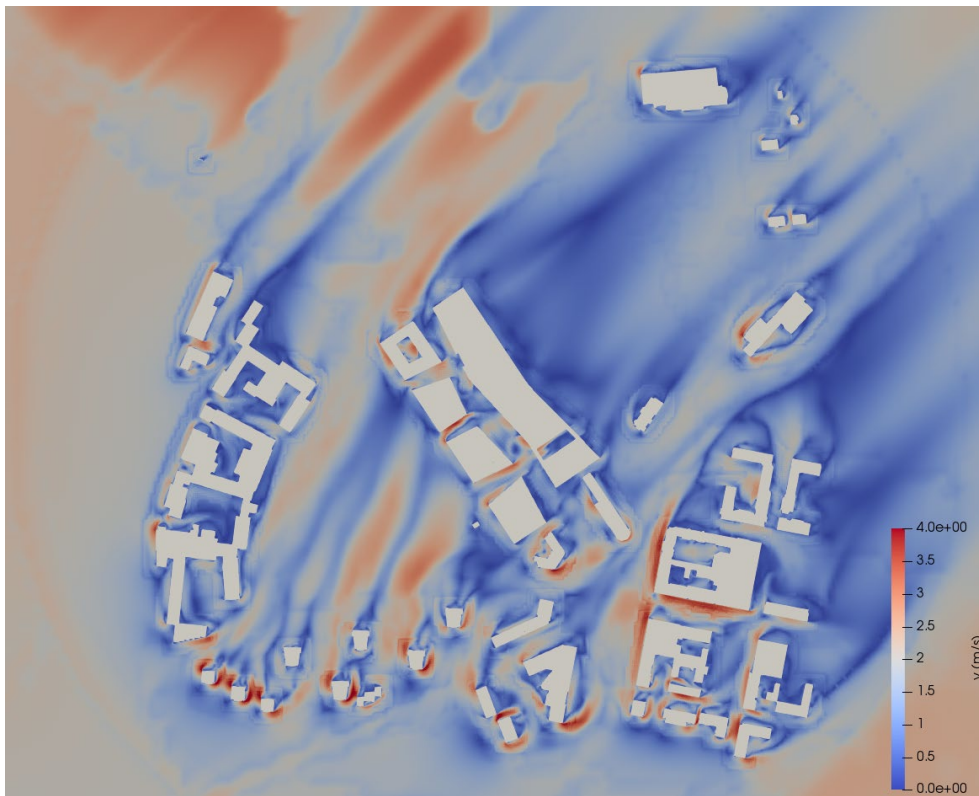


*Virtausviivoja versiosta 1 (ei puita ja pergoloita) tarkastelualueen länsireunalla.*

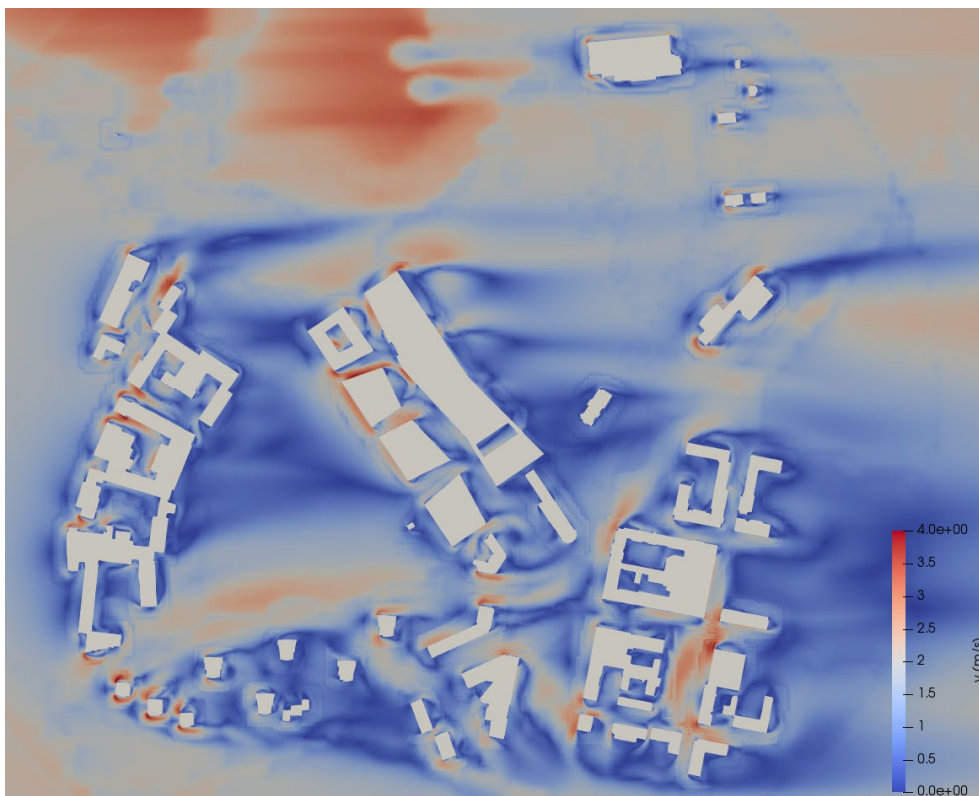


*Virtausviivoja versiosta 2 tarkastelualueen länsireunalla. Ympyröidyssä kohdassa tuuli törmää kuvassa vasemmalla olevaan torniosaan ja kääntyy pyörteisenä kujanteeseen. Puut ja pergola eivät estä tuulen kanavoitumista rakennusten väliin.*

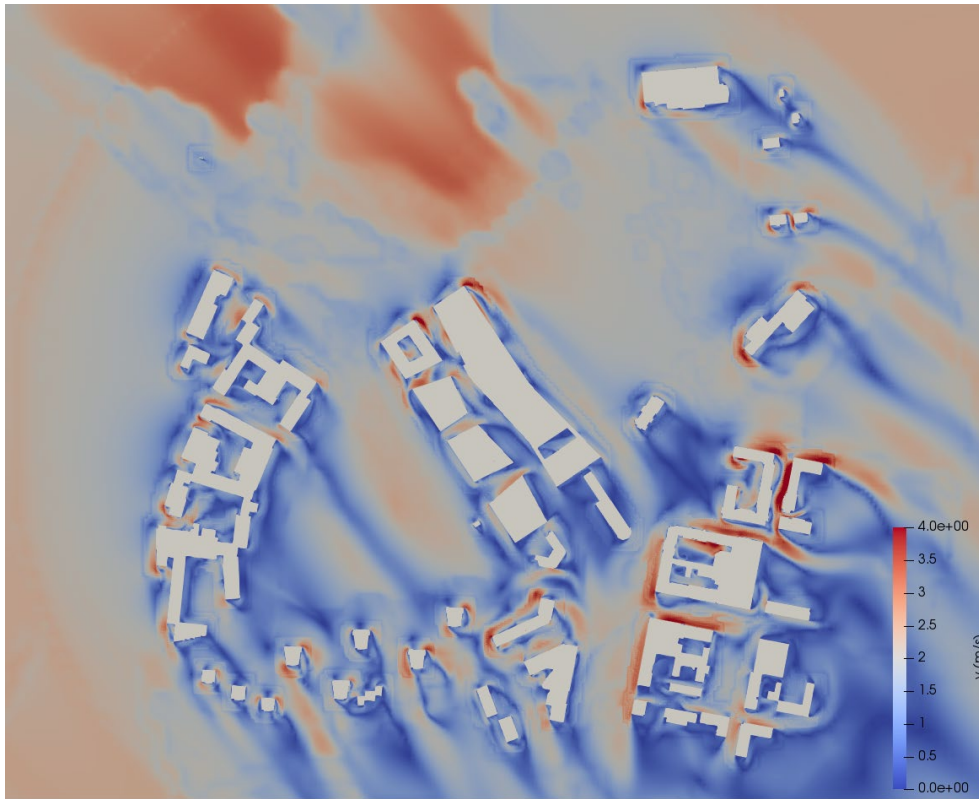




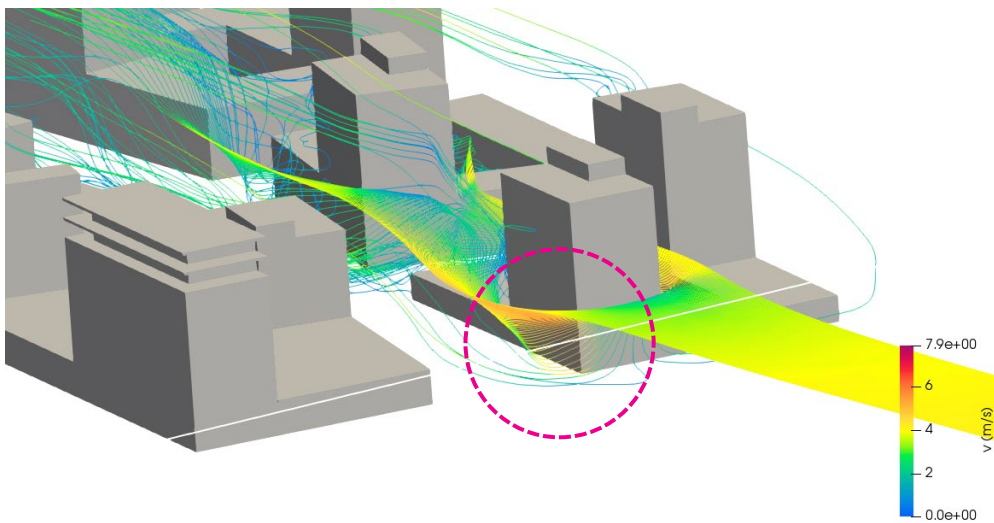
Lounas: simuloidut tuulen nopeudet 1,5 m maan pinnan yläpuolella



Länsi: simuloidut tuulen nopeudet 1,5 m maan pinnan yläpuolella



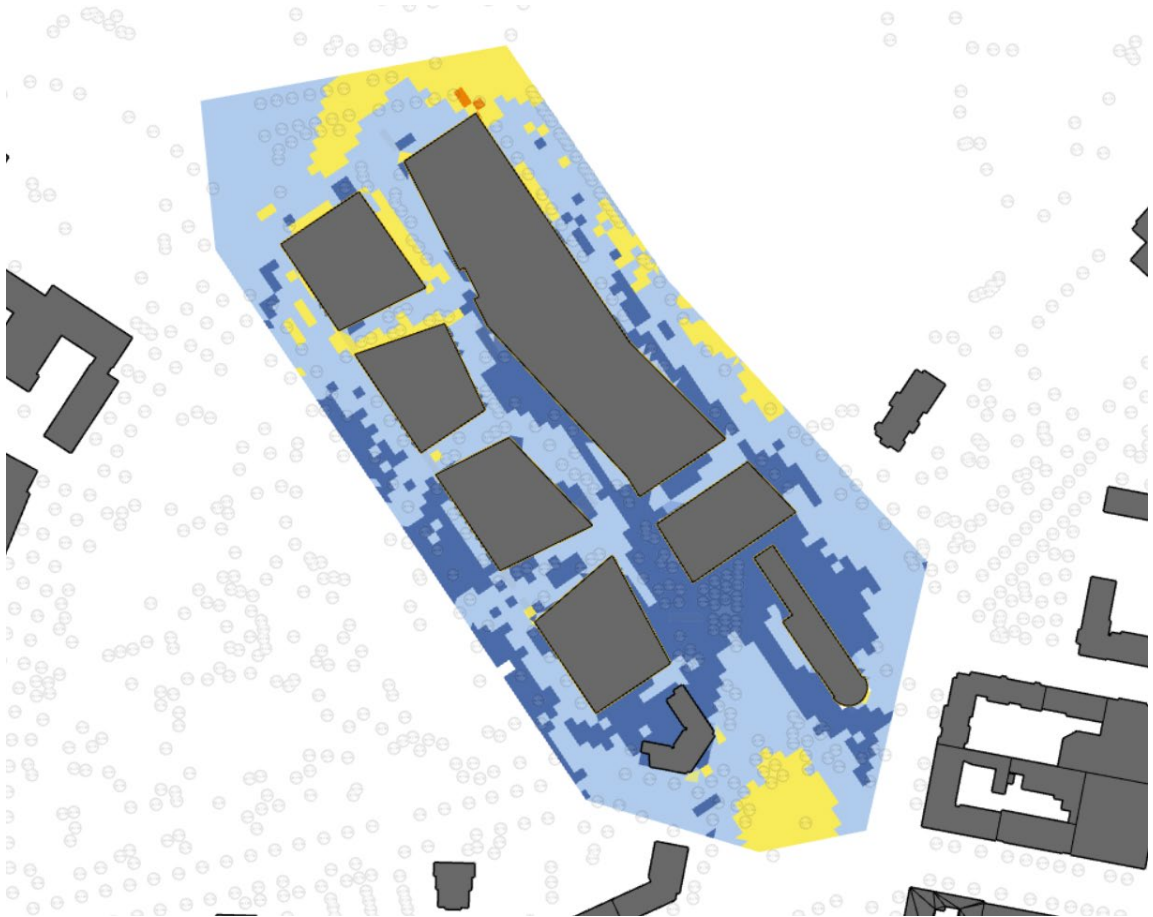
*Luode: simuloitut tuulen nopeudet 1,5 m maan pinnan yläpuolella*



*Luoteistuuli aiheuttaa julkisivuihin osuessaan alaspäin suuntautuvia, voimistuvia tuulia katutasoon tornin kulmalla*

### 3.11 Tuuliolosuhteisiin liittyviä suosituksia

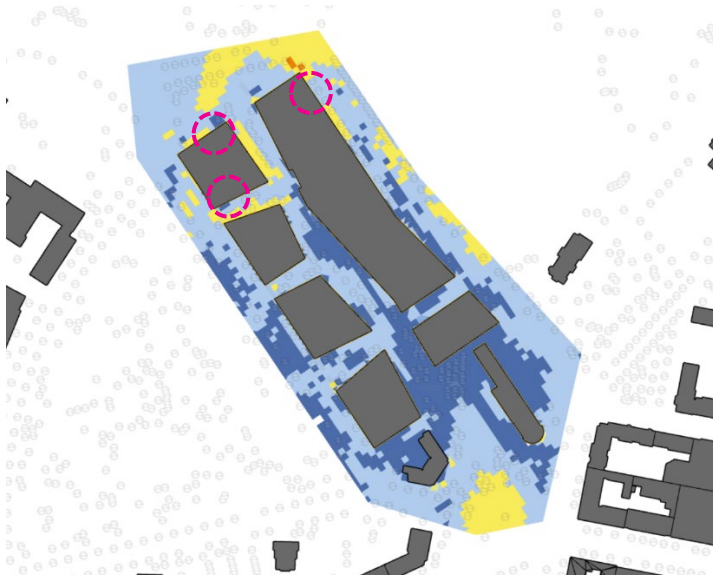
Kuten edellä todettiin, alueen tuuliolot ovat kokonaisuutena hyvät. Mikäli istuskelu- tai leik-  
kialueita ollaan sijoittamassa alla olevassa kuvassa tumman sinisellä väritettyjen alueiden  
ulkopuolelle, voidaan tuulioloja parantaa paikallisesti erityisen tehokkaasti pensaiden avulla.  
Tuulisimulaatioiden tuloksia tulkitessa on hyvä pitää mielessä, että puistosuunnitelman mu-  
kaisia pensaita ei huomioitu kummassakaan simuloidussa mallissa.



*Tuuliviihtyvyys – tapaus 2 (mukana puut ja pergolat)*

Seuraavassa on joitain suosituksia toimenpiteistä, joilla tuulioloja voitaisiin edelleen parantaa  
alla olevissa kuvissa keltaisella tai oranssilla värjättyillä alueilla.

### 3.11.1 Tornien julkisivuihin suorassa kulmassa osuvat virtaukset

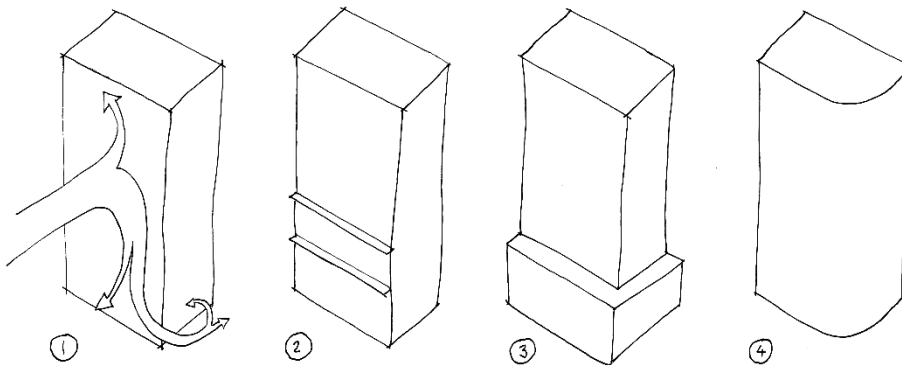


Alueen soveltuvuus eri aktiviteetteihin Lawsonin tuuliolosuhteiden pohjalta			
Kategorian koodi	Aktiviteettikategoria	Tuulen nopeuden raja-arvo	Maximi % ajasta jolloin nopeuden raja-arvo ylittyy
A	Pitkäkestoinen istuskelu	4 m/s	5 % *
B	Seisokelu ja lyhytkestoinen istuskelu	6 m/s	5 % *
C	Verkkainen kävely	8 m/s	5 % *
D	Rivakka kävely	10 m/s	5 % *
E	Ei soveltu tyypillisiin aktiviteetteihin	15 m/s	0.022 % **

\*Raja-arvo ylittyy keskimäärin harvemmin kuin 1.2 h / päivä

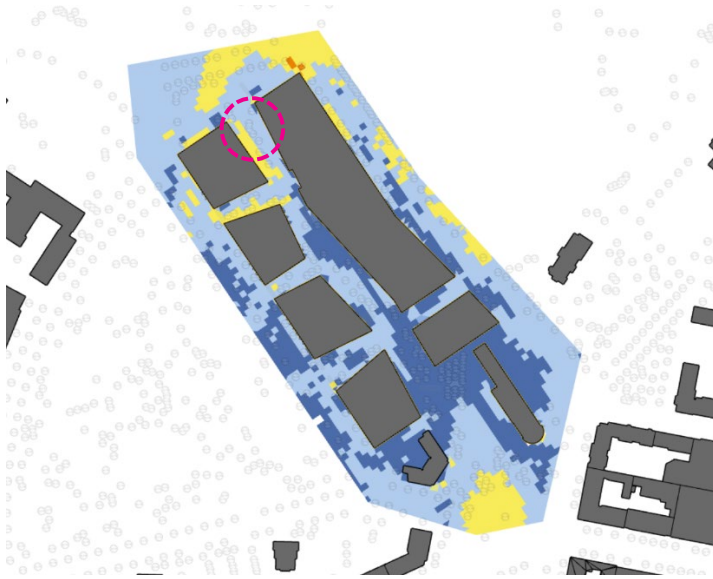
\*\*Raja-arvo ylittyy harvemmin kuin 2 h / vuosi

*Rakennusten julkisivut, joissa alas suuntautuvien virtausten torjuminen voisi olla hyödyllistä*



1. Kun tuuli osuu tornitalon julkisivuun kohtisuorasti, syntyy alas suuntautuvia virtauksia, jotka yhtyvät rakennuksen kulmalla maan tasossa kulkeviin virtauksiin synnyttäen voimistuvia ja mahdollisesti pyörteisiä virtauksia. Tämä voi olla ongelmallista erityisesti, jos voimistuvien tuulien kohdalla on rakennuksen sisäänkäynti.
2. Vaakasuuntaiset ulokkeet julkisivussa voivat irrottaa tuulen julkisivusta katutasoa ylempänä
3. Rakennuksen alaosan ulottamisella tornia ulommas on samankaltainen vaikutus
4. Myös kulmien pyöristys tai viistäminen vähentää vaikutusta

### 3.11.2 Suppiloefekti

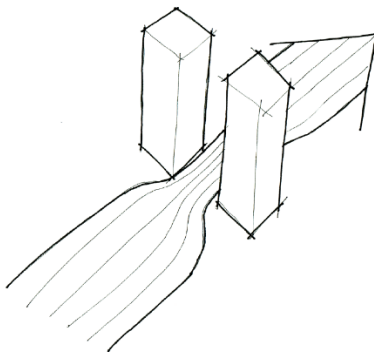


Alueen soveltuvuus eri aktiviteetteihin Lawsonin tuuliosuhdekkriteerien pohjalta			
Kategorian koodi	Aktiviteettikategoria	Tuulen nopeuden raja-arvo	Maximi % ajasta jolloin nopeuden raja-arvo ylittyy
A	Pitkäkestoinen istuskelu	4 m/s	5 % *
B	Seisokelu ja lyhytkestoinen istuskelu	6 m/s	5 % *
C	Verkkainen kävely	8 m/s	5 % *
D	Rivakka kävely	10 m/s	5 % *
E	Ei soveltu tyypillisiin aktiviteetteihin	15 m/s	0.022 % **

\*Raja-arvo ylittyy keskimäärin harvemmin kuin 1.2 h / päivä

\*\*Raja-arvo ylittyy harvemmin kuin 2 h / vuosi

*Alueen pohjoispäässä syntyy pienimuotoista tuulten voimistumista suppiloefekti vaikutuksesta.*

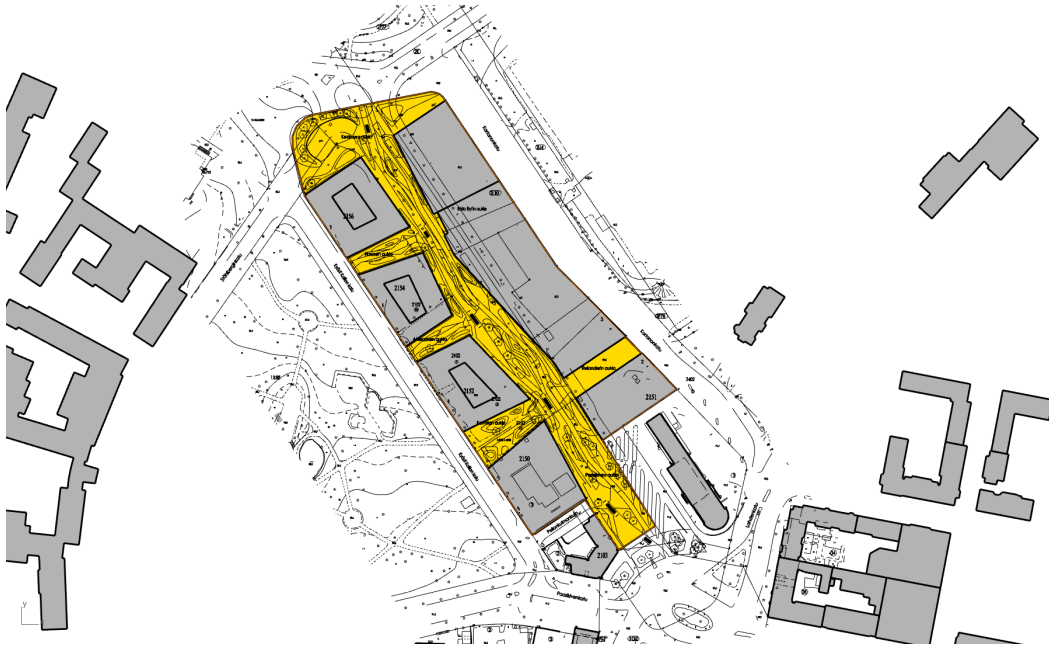


Suppiloefekti voimistaa virtauksia rakennusten välissä

Suppiloefektin vaikutusta voidaan vähentää tehokkaasti kasvillisuudella. Talvella vihreät puut ja pensaas antavat suojaa kaikkina vuodenaikoina.

## 4 Pienilmasto

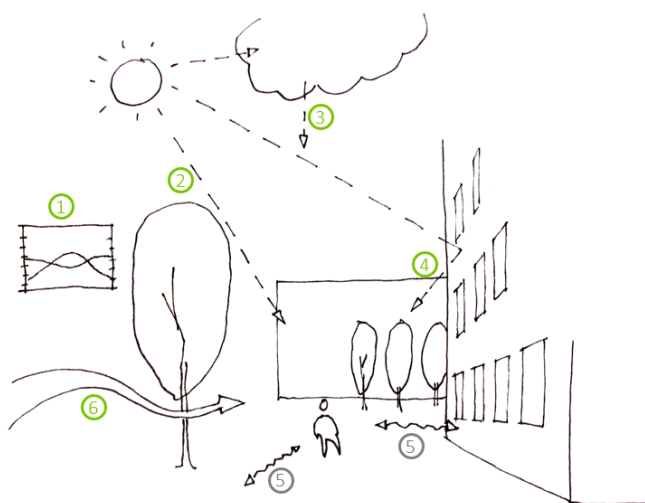
Pienilmastoanalyysi suoritettiin alla olevan kuvan osoittamalla alueella.



*Pienilmastoanalyysin tarkastelualue*

### 4.1 Pienilmastoon vaikuttavat tekijät

Tässä yhteydessä pienilmastolla tarkoitetaan niitä ihmisten lämpöiihtyvyyteen vaikuttavia olosuhteita, jotka syntyvät kaupunkitilassa erilaisten ärsykkeiden johdosta. Tarkastelu on puhtaasti ihmiskeskeinen ja tarkastelusta ei synny yksityiskohtaista kuvaa esimerkiksi kasvien kasvuolojen suotuisuudesta (tarkastelu antaa toki viitteitä myös siitä). Alla olevassa kuvassa on esitetty lämpöiihtyvyyteen kaupunkitilassa vaikuttavia ulkoisia tekijöitä.



#### Lämpöärsykkeet ja niihin vaikuttavia tekijöitä

##### ① Ilman lämpötila ja ilman kosteus

- Ilmasto
- Ilmastonmuutos
- Lämpösaarekeilmiö

##### Keskisäteilylämpötila

(kehomme ja ympäröivien pintojen välinen säteily)

- ② • Auringon suora säteily
- ③ • Hajasäteily
- ④ • Heijastunut säteily
- ⑤ • Pintojen lämpösäteily

##### ⑥ Ilman nopeus (tuuli)

- Ilmasto
- Ympäröivät rakenteet ja kasvillisuus

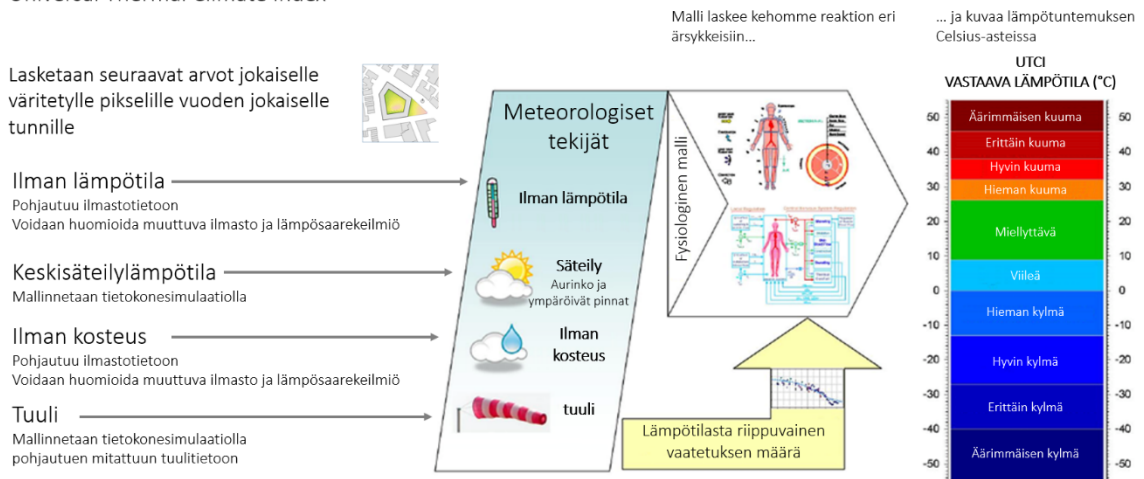
*Kaupunkisuunnitteluun liittyvät tekijät, joihin kokemuksemme lämpöiihtyvyydestä perustuvat. Harmaalla merkityjä asioita ei sisällytetty tähän tarkasteluun tarkastelualueen laajuudesta johtuen.*

## 4.2 UTCI

Tarkastelu suoritettiin UTCI (Universal Thermal Climate Index) -menetelmän pohjalta. UTCI kuvaa ihmisen lämpötuntemusta Celsius-asteikolla. Ajatus on sama kuin säätiedoissa, joissa todetaan esimerkiksi, että pakkasta on viisi astetta, mutta tuulen vaikutuksesta ilma tuntuu viisi astetta tätä kylmemmältä. Kuten alla olevan kuvan oikean reunan väripalkista voidaan havaita UTCI määrittelee miellyttäväksi lämpötuntemuksen, joka sijoittuu välille 9 °C – 27 °C.

Arvio UTCI-lämpötilasta perustuu seuraaviin ärsykkeisiin: ilman lämpötila, ilman kosteus, keskisäteilylämpötila ja ilman nopeus. Näiden ärsykkeiden pohjalta lasketaan lämpötuntemusta kuvaava asteluku ihmiskehon toimintoja kuvaavan fysiologisen mallin pohjalta. Ärsykkeiden yhteisvaikutus vaihtelee tilanteesta toiseen. Esimerkiksi ilmankosteus voimistaa sekä kuumaa, että kylmää tunnetta. UTCI-laskelmaan sisältyy oletus siitä, että ihmisellä on enemmän vaatetta päällä ilman lämpötuntemuksen jäähtyessä (ja päinvastoin).<sup>4</sup>

### Universal Thermal Climate Index



Kuvaus UTCI-prosessista (muokattu [www.utci.org](http://www.utci.org) -sivun materiaalista)

## 4.3 Pienilmastosimulaatio

Tarkastelualue jaettiin simulaatiota varten 5m x 5m ruudukkoon. Ruutujen kokonaismäärä on 1150. Jokaisen ruudun keskipisteelle määritettiin seuraavat arvot vuoden jokaiselle tunnille: ilman lämpötila (°C), suhteellinen ilmankosteus (%), keskisäteilylämpötila (°C) ja ilman nopeus (m/s).

Ilman nopeuden (tuuli) määrittely on kuvattu edellä, tuulisuusanalyysin kuvauksen ohessa. Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus määritettiin IDA ICE 4.8 -simulaatio-ohjelman ilmastotiedoston pohjalta (FIN\_LAHTI\_029650\_iw2)

### 4.3.1 Keskisäteilylämpötilan simulointi

Keskisäteilylämpötila on suure, jolla määritetään kehon kokonaissäteilyvaihto ympäröivien pintojen kanssa. Keskisäteilylämpötilalla ilmoitetaan kaikkiin suuntiin kohdistuvan säteilyvaihtojen keskiarvo. Tähän vaikuttavat ympäröivien pintojen ”näkyvyys” (koko ja sijainti) ja

<sup>4</sup> Menetelmän tarkempi kuvaus sivustolla [www.utci.org](http://www.utci.org)

näiden lämpötila. Ulkotilassa selkeästi merkittävin keskisäteilylämpötilaan vaikuttava asia on auringon suora säteily. Myös hajasäteilyllä muista osista taivasta on varteenotettava vaikutus. Seuraavat auringosta ja taivaalta vuoden eri tunteina tulevan säteilyn arvot otettiin IDA ICE -simulaatio-ohjelman ilmastotiedostosta FIN\_LAHTI\_029650\_iw2:

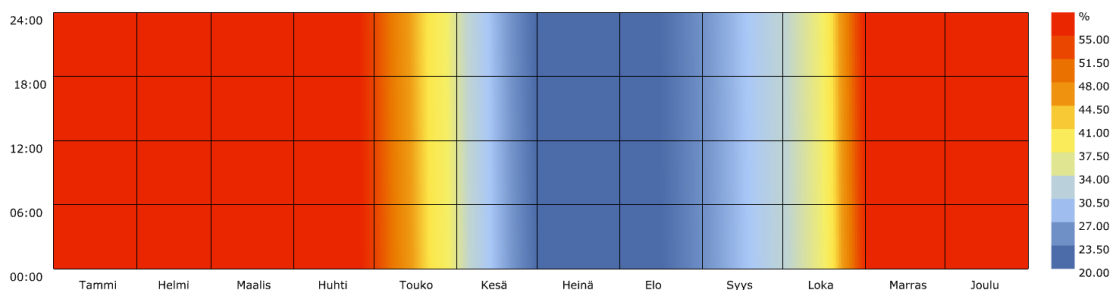
- Auringon suora säteily suorassa kulmassa suhteessa auringon säteeseen (direct normal irradiation)
- Auringon epäsuora säteily horisontaalilla pinnalla (diffuse horizontal irradiance)

Simulaatio suoritettiin Rhinoceros-Grasshopper -ohjelman Ladybug ja Honeybee (versiot 0.0.64 ja 0.0.67) -lisäkkeillä<sup>5</sup>, jotka hyödyntävät mallinnuksessa Radiance-simulaattoria (versio 5.2). Ohjelma laskee kussakin tarkastelupisteessä vuoden jokaiselle tunnille seuraavat asiat:

- Onko tarkastelupisteiden ja auringon välillä peittäviä pintoja (huomioiden puiden ”läpinäkyvyys”)
- Kuinka suuri osa taivaasta peittyy varjostavien rakenteiden ja puiden ansiosta (huomioiden puiden ”läpinäkyvyys”)
- Arvio maan pinnasta heijastuvasta auringon säteilystä

Simulaatiossa käytetty 3D-malli on sama kuin tuulimallinnuksessa käytetty malli. Simulaatio sisälsi seuraavat oletukset:

- Maan pinnan heijastavuus lyhytaaltoiselle säteilylle (näkyvä valo) on 0.25 (vastaa ruohopinnan heijastavuutta)
- Seisovan ihmisen kehoon osuvan säteilyn vaikutusta arvioitiin kolmella päällekkäisellä tarkastelupisteellä, jotka ovat korkeuksilla 0,3 m; 0,9 m ja 1,5 m maan pinnan yläpuolella. Tämän tarkastelutavan ansiosta mallinnus huomioi sen, että vaikka keskipäivällä säteilyä onkin tyyppillisesti enemmän, on säteilyn vastaanottavaa kehon pintaa vähemmän ”näkyvissä” auringon ollessa korkealla.
- Puiden lehvästöjen oletetut läpinäkyvydet:
  - Lehdettömät puut 55%
  - Lehdelliset puut 20%
  - Näiden arvojen välillä puiden lehdet lisääntyvät tai vähenevät lineaarisesti



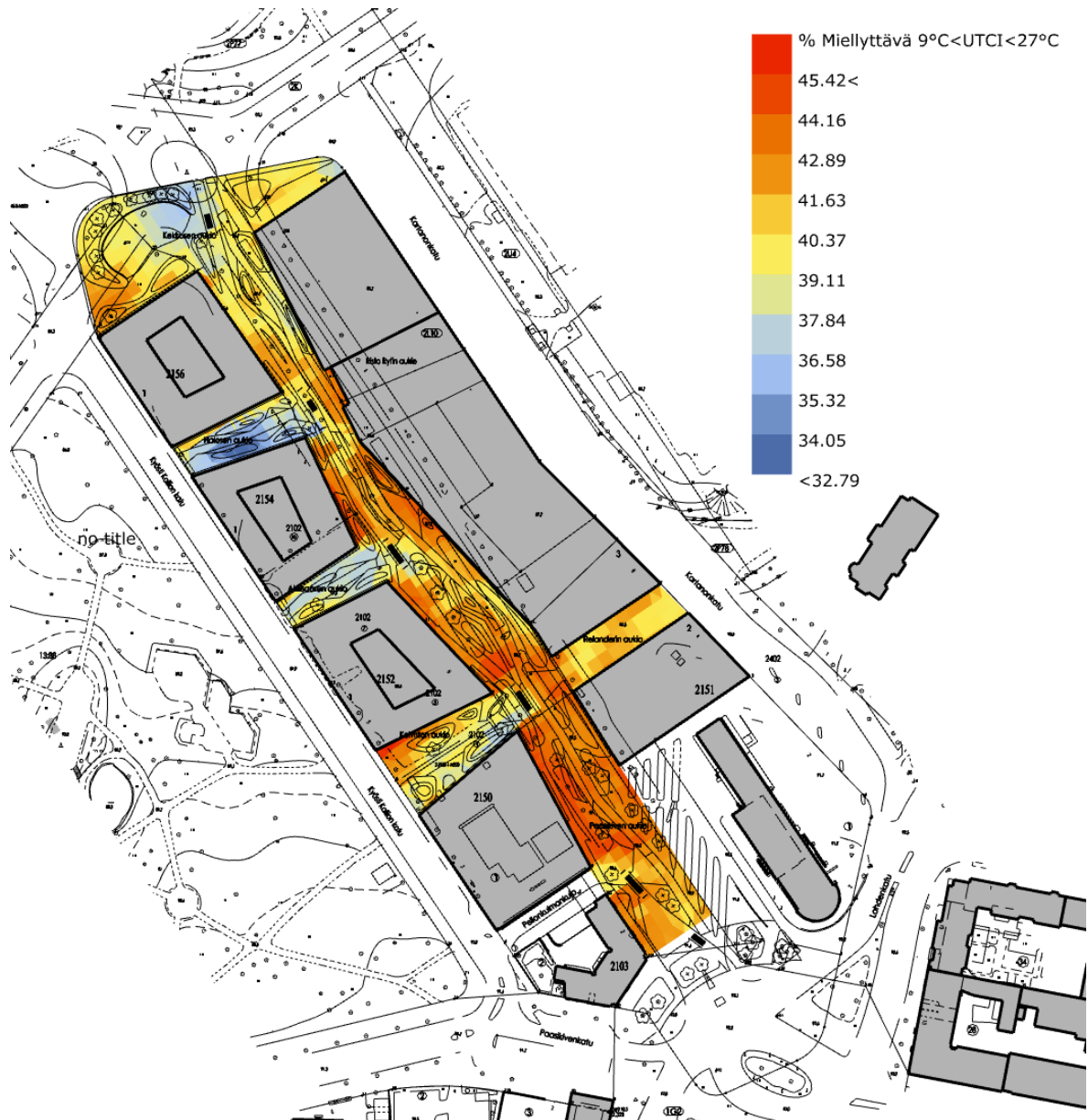
*Puiden lehvästöjen läpinäkyvyys. Vaaka-akselilla vuoden päivät. Pystyakselilla vuorokauden tunnit.*

<sup>5</sup> Näitä avoimen lähdekoodin ohjelmia kehittää Ladybug Tools. Lisätietoja osoitteessa [www.ladybug.tools](http://www.ladybug.tools)



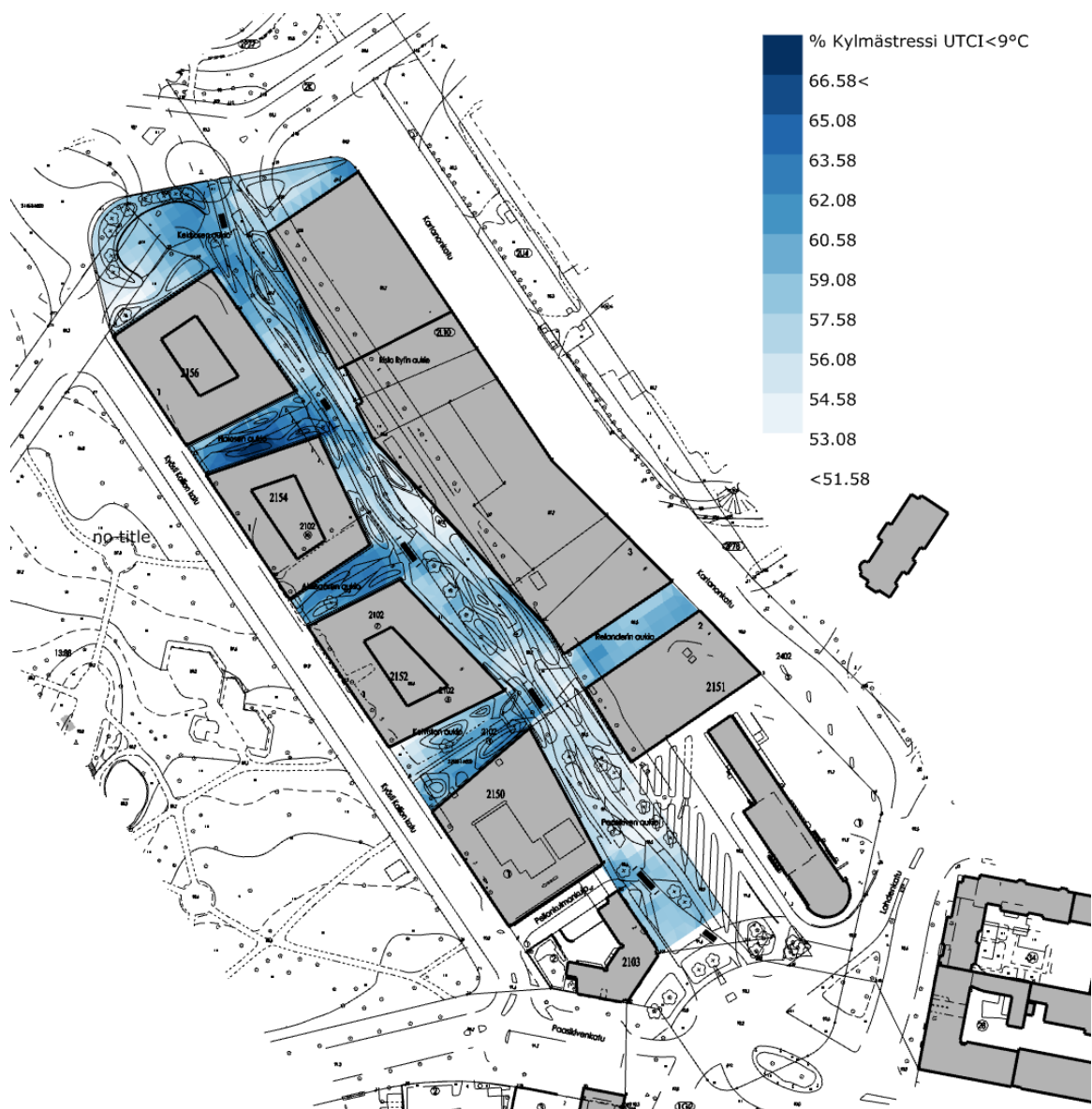
#### 4.4 Pienilmastosimulaation tulokset

Alla olevat UTCI-pienilmastosimulaation tulokset kuvaavat ihmisen lämpötuntemuksia tarkastelualueen eri puolilla. Analyysi esitetään päivittäisille tunneille 7:00 – 22:00 sillä oletuksella, että tyypillinen ulkona oleilu keskittyy tähän ajanjaksoon.



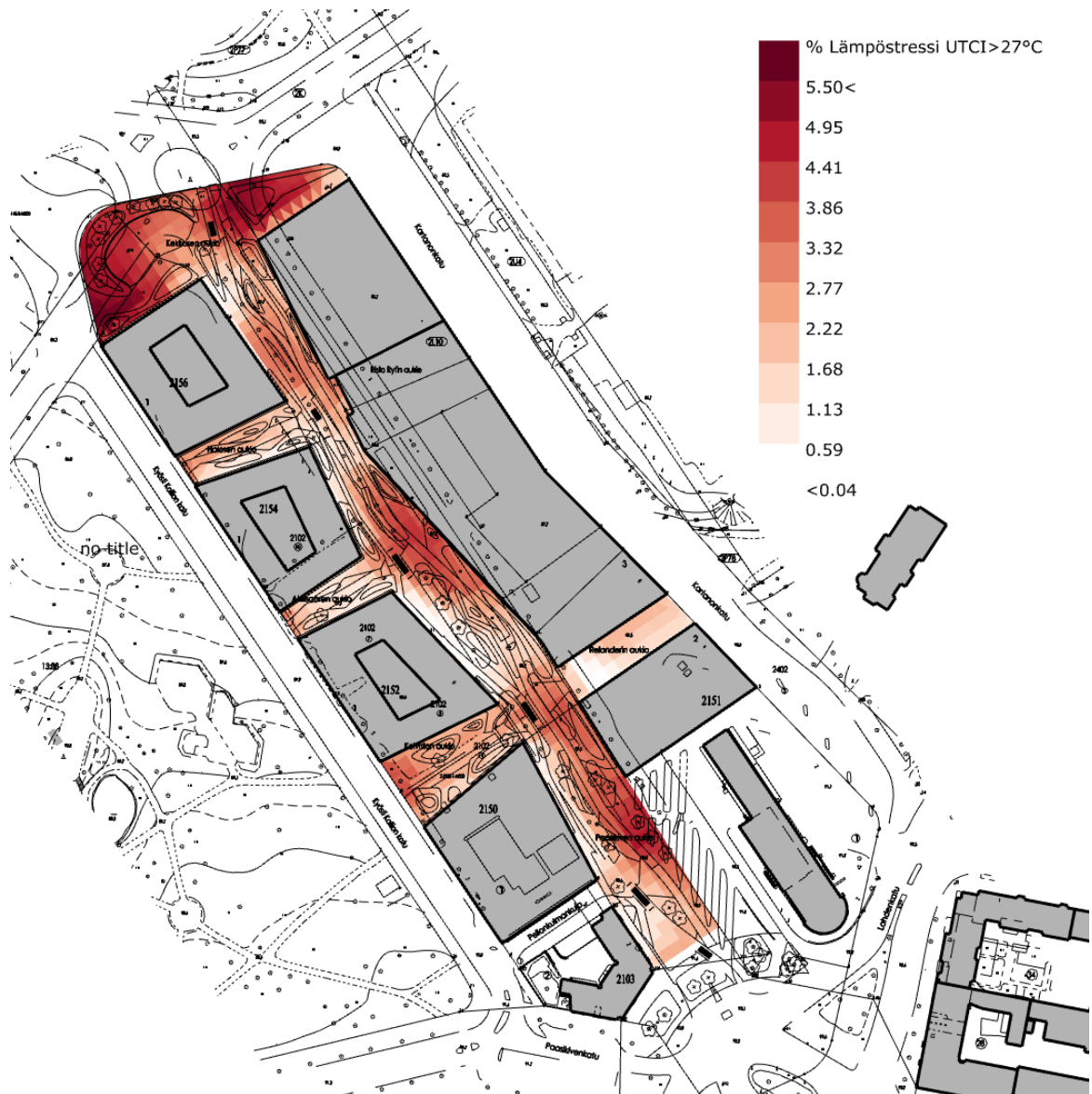
Prosentti vuotuisista tunneista (klo 7:00 – 22:00), jolloin olosuhteet ovat miellyttävät, eli UTCI on välillä 9 – 27°C

Yllä olevassa kuvassa punaisella merkityt alueet ovat koko vuoden aikana suotuisimpia pitkäaikaiseen oleiluun. Suotuisimmat alueet vaihtelevat vuodenajan mukaan. Seuraavilla sivuilla esitetyt kuvat esittävät alueet, jotka soveltuvat parhaiten oleiluun kesällä ja talvella.



Prosentti vuotuisista tunneista, jolloin koetaan "kylmästressiä" (tunnit jolloin UTCI on pienempi kuin 9 °C)

Kylminä vuodenaikoina olosuhteet ovat parhaat pitkäaikaiseen oleiluun valkoisella merkityillä alueilla (tarkastelualueen sisällä). Tumman siniset (kylmät) alueet sijoittuvat rakennusten varjoon. Tämän lisäksi näemme tuuliolojen epäsuotuisan, viilentävän vaikutuksen monilla rakennusten nurkista.



*Prosentti vuotuisista tunteista, jolloin koetaan "lämpöstressiä" (tunnit jolloin UTCI on suurempi kuin 27 °C)*

Kesäaikaan on mukavinta oleilla yllä olevan kuvan vaaleimmilla alueilla (tarkastelualueen sisällä). Suomessa on totuttu suosimaan aurinkoisia paikkoja kesäajan oleiluun. Ilmaston lämpeneminen on jo muuttanut tätä kuvaa ja on oletettavaa, että tulevana vuosikymmeninä ylikuumeneminen tulee nousemaan entistä suuremmaksi ongelmaksi.

Yksi mainitsemisen arvoinen seikka on, että simulaatio ei huomioi veden haihtumisen aiheuttamaa paikallista ilman lämpötilan viilenemistä. Tästä on eittämättä merkittävää etua alueen pohjoisosaan suunnitellun lammen ympärillä. Muilta osin alueen pohjoisreunan lämpöstressi selittyy lännestä tulevan auringon kuumentavalla vaikutuksella lämpötilan ollessa muutenkin iltapäivisin aamua korkeampi.

## 4.5 Suosituksia alueen pergoloiden suunnitteluun

Ranta-Kartanoon on puistosuunnitelmassa esitetty viitteellisesti muutama pergola. Alle on koottu näkemyksiä ja suosituksia alueen pergoloiden suunnittelusta tuulisuuden ja pienilmaston näkökulmasta. Pergoloiden suunnitteluun liittyy luonnollisesti myös muita näkökulmia (kuten rakenne, näkymät ja tilan luominen), joihin ei tässä oteta kantaa.

Oletuksena alla olevissa huomioissa on, että sekä pergoloiden paikat että muodot ovat muokattavissa.

### 4.5.1 Pergolat ja tuuli

Olettaen, että puusto säilytetään puistosuunnitelman mukaisena, pergoloilla ei ole merkitystä alla olevassa kuvassa vaalean sinisellä merkityillä alueilla. Muun värisillä alueilla pergola voi toimia kasvillisuuden tapaan tuulia hidastavana rakenteena.

Tuulen osuessa tuulen suojaksi tarkoitettuun pintaan, on tuulta hidastava vaikutus parhaimmillaan, kun pinta on jossain määrin tuulta läpäisevä. Verrattuna täysin umpinaiseen pintaan läpäisevä pinta ei aiheuta yhtä paljon voimistuvia virtauksia ja pyörteisiä virtauksia ympärilleen. Läpäisevyyden määrä riippuu niin monista tekijöistä (mm. ilmavirran suunta suhteessa pintaan ja pinnan struktuuri) että siitä on vaikea sanoa mitään yleispätevää. Tuuliaitojen (esimerkiksi merten rannoilla) kohdalla on optimiksi todettu n. 30 – 40 % läpäisevyys, kun tavoitteena on vähentää tuulen vaikutusta eroosioon.<sup>6</sup> Pergolan kohdalla voidaan olettaa suuntaantavasti, että tuulta tynnyttävä vaikutus on sitä tehokkaampi, mitä pienempiä pinnan aukot ovat (monta pientä on parempi kuin yksi iso). Klassisesta pergolassa, jonka kattorakenteessa kulkee poikkipuita suhteessa jänneväliin, on parempi, jos poikkipuut ovat ohuempia, mutta niitä on enemmän.

Jos pergolaa ajatellaan rakenteena, jolla ei ole seiniä, on pergolasta hyötyä lähinnä paikoissa, joissa on alas suuntautuvia virtauksia tai voimakasta pystysuuntaista pyörteisyyttä. Tällaiset paikat on merkitty alla olevaan kuvaan.

---

<sup>6</sup> Dong et al: Threshold velocity for wind erosion: the effects of porous fences, Environmental Geology, 2006



*Paikat, joissa syntyy alaspäin suuntautuneita virtauksia (punaiset ympyrät) ja pyörteisiä pystysuuntaisia virtauksia (vihreä ympyrä). Taustakuva: Tuuliviihtyvyyks – tapaus 2 (mukana puut ja pergolat)*

Muilla alueilla, joilla tuulioloissa on kohentamisen varaa, olisi eniten apua pergolan yhteydessä toteutettavista seinistä. Kuten edellä todettiin, ilmaa läpäisevä pinta toimii tällaisessa roolissa lähtökohtaisesti umpinaista paremmin. Ilmaa läpäisevän seinän vaikutus on saman tyyppinen kuin kasvillisuuden, joten oleskelupaikkoja suunniteltaessa on luontevaa tutkia myös kasvillisuuden käyttöä.

#### 4.5.2 Pergolat ja auringon säteily

Lämpenevässä ilmastossa pergoloiden varjostava vaikutus tulee tulevana vuosikymmeninä mitä todennäköisimmin nousemaan merkittäväksi eduksi. Taitavasti suunniteltuina pergolat voivat tarjota oleskelupaikkoja, jotka ovat varjossa kesän kuumimpina viikkoina, tarjoten kuitenkin aurinkoisia istuskelupaikkoja muina vuodenaikoina. Sivun 25 lämpöstressiä havainnollistavasta kuvasta näkee selkeästi alueet, joilla varjostuksesta on etua kesäaikaan (tummimman ruskeat alueet).