

Tuuliviihtyisyysselvitys

25013955 Ravander-kortteli
Rakennusliike Lapti Oy

Raportti

09.04.2024

Kimmo Hentinen, vanhempi CFD-insinööri

Eero Kokkonen, osastopäällikkö, johtava CFD-insinööri

Johdanto ja työn tavoite

Tuulisuus on yksi rakennetun ympäristön käyttäjien viihtyisyyteen ja turvallisuuteen vaikuttavista tekijöistä. Viihtyisyys yleisesti ottaen perustuu ihmisten kokemuksiin, ja tuuliviihtyisyydelle onkin tyypillistä, että hyvää tuuliviihtyisyyttä ei tiedosteta, mutta huono tuuliviihtyisyys huomataan, vastaavasti kuin esimerkiksi meluisuus. Tuulisuudella voi olla negatiivinen vaikutus rakennetun ympäristön viihtyisyyden ja turvallisuuden lisäksi myös alueen elinkeinoelämälle. Tuuliviihtyisyys on tärkeää huomioida jo suunnitteluvaiheessa, jotta mahdolliset ongelmat pystytään tunnistamaan ja ennaltaehkäisemään.

Tässä työssä arvioitiin Oulun keskustassa sijaitsevan Ravander-korttelin uudistuksen vaikutuksia tuuliviihtyisyyden ja tuuliturvallisuuden kannalta. Selvityksen analyysi suoritettiin virtauslaskenta-menetelmällä (computational fluid dynamics, CFD) käyttäen hyväksi Ilmatieteen laitoksen ylläpitämän Oulun Vihreäsaaren sataman mittausaseman tuulidataa vuosien 2006–2024 tuulihavainnoista. Työhön valittiin kirjallisuudessa yleisesti esiintyvä Lawson LDDC –kriteerin muokattu versio, joka on laajalti käytössä esimerkiksi Englannissa Lontoon ja Leedsin kaupunkien alueella suoritettavissa tuuliviihtyisyys selvityksissä.

Virtauslaskenta suoritettiin noudattaen alalla yleisesti hyväksyttyjä ja vertaisarvioituja 'best practice guideline' –suosituksia [1]. Virtauslaskentamalli koostui Oulun kaupungilta saadusta 3D-muotoisesta rakennus- ja maastomallista noin 500 m etäisyydellä kohdealueen keskipisteestä. Analyysi suoritettiin 12 tuulensuunnalla. Hyödyntämällä virtauslaskentatuloksia sekä tuulen suunta- ja nopeusjakamaa määritettiin tuulimukavuuskriteerien mukaiset luokitukset kohdealueella ja sen ympäristössä.

Puusto ja kasvillisuus jätettiin pois simulointimallista 'best practice guideline' –ohjeiden mukaisesti. Puustosta ja kasvillisuudesta on harvoin luotettavaa tietoa saatavilla, ja toisaalta tuuliviihtyisyys ja –turvallisuus on vakaammalla pohjalla ilman puustoa, sillä näissä tapahtuu muutoksia vähemmän hallitusti verrattuna rakennuskantaan. Puustolla ja kasvillisuudella on tyypillisesti virtausnopeuksia pienentävä vaikutus maanpinnan läheisyydessä, joten simulointitulokset tältä osin esittävät "pahinta skenaariota" ja ovat ns. varmallalla puolella.

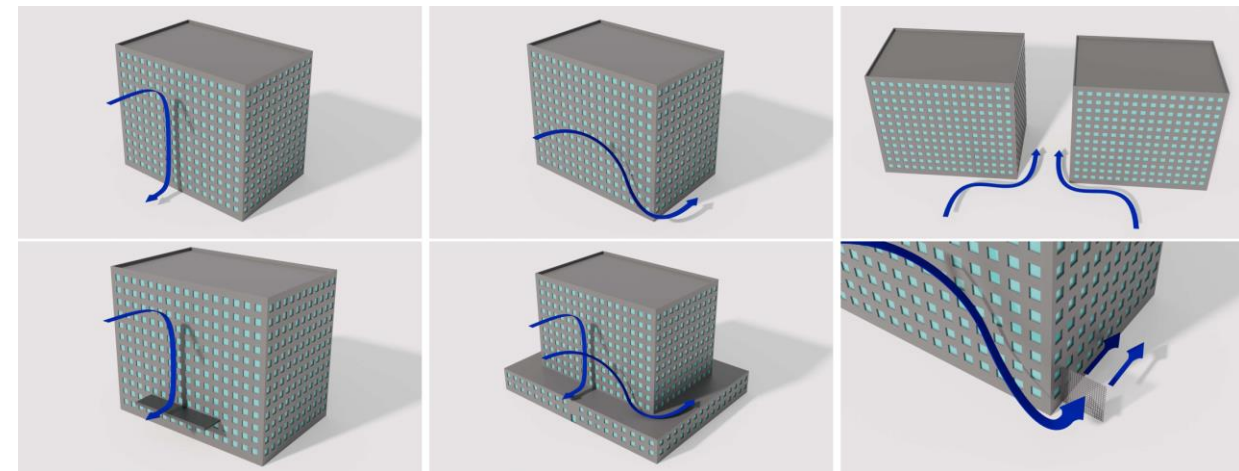
Tuuliviihtyisyys-tuloksia ja näiden perusteella tehtäviä johtopäätöksiä painotettiin kesäkauden osalta enemmän, koska ihmiset viettävät enemmän aikaa ulkona kesäkaudella. Talvikaudella viihtyisyyteen vaikuttaa tuulen osalta merkittävästi myös muut olosuhteet, kuten ilman lämpötila ja sade, jotka eivät ole tuuliviihtyisyyden parametreja.

[1] J. Franke, C. Hirsch, A.G. Jensen, H.W. Krüs, M. Schatzmann, P.S. Westbury, S.D. Miles, J.A. Wisse, and N.G. Wright: Recommendation on the use of cfd in wind engineering. In COST C14 International Conference on Urban Wind Engineering and Buildings Aerodynamics. von Karman Institute, Toukokuu 2004.

Kaupunkiympäristössä rakennusten muodot ja sijoittelu sekä maaston muodot vaikuttavat ilman virtauksiin. Yleisesti ottaen tuulet kiihtyvät katutasolla johtuen ympäristön topologiasta.

Ympäristöään selkeästi korkeampi rakentaminen mahdollistaa korkeammalla esiintyvien (keskimäärin suurempia virtausnopeuksia sisältävien) ilmavirtausten ohjautumisen korkeiden rakennusten vaikutuksesta katutasolle (ns. downwash-ilmiö), ja täten kasvattaa riskiä epäviihtyisän tai ei-turvallisen ympäristön muodostumiselle. Rakennettu ympäristö voi muodostaa myös muita tuulen nopeutta kasvattavia rakenteita, joista mainittakoon esimerkiksi ns. 'tuulitunneli-ilmiö' (funneling), jossa rakennukset muodostavat tunnelimaisen rakenteen voimistaen paikallisesti tuulen nopeuksia. Myös mahdollinen meren läheisyys vaikuttaa tuulisuuteen.

Kuvassa 1 on havainnollistettu downwash-ilmiötä, virtausnopeuden kiihtymistä kulmien läheisyydessä ja funneling-ilmiötä. Lisäksi samassa kuvassa on havainnollistettu tyypillisiä tuulisuutta hillitseviä rakenteita.



Kuva 1. Downwash-ilmiö, virtausnopeuden kiihtyminen kulmien läheisyydessä ja funneling-ilmiö sekä tyypillisiä tuulisuutta hillitseviä rakenteita.

Simulointimenetelmä

Tässä työssä suoritettu analyysi perustui virtausyhtälöiden (Navier—Stokes -yhtälöiden) numeeriseen ratkaisuun. Tällaista analyysia kutsutaan virtauslaskennaksi (CFD-simulointi).

Yleisessä tapauksessa virtauslaskennan tuloksena saatava virtauskenttä voi olla joko ajasta riippuva tai ajan suhteen keskiarvotettu, niin sanottu steady-state -virtauskenttä. Steady-state -tulokseen saavuttamiseksi on kaksi vaihtoehtoa:

1. ajasta riippumaton (steady-state) laskenta, jonka tuloksena saadaan ainoastaan keskiarvoistettu virtauskenttä, tai
2. ajasta riippuva (transient) laskenta, joka voidaan keskiarvoistaa tarkasteluhetkestä riippumattomaksi (steady-state) virtauskentäksi.

Virtauslaskennassa on useita ajasta riippuvia menetelmiä, jotka eroavat toisistaan merkittävästi niin laskennan resurssivaatimusten suhteen kuin tarkkuuden suhteen. Käytännön kannalta mainittavia menetelmiä ovat esimerkiksi LES (large-eddy simulation), DES (detached eddy simulation), SAS (scale-adaptive simulation) ja URANS (unsteady RANS). Näistä LES on laskennan kannalta raskain ja URANS puolestaan kevyin.

Yleisin virtauslaskennassa käytetty formulointi on kontrollitilavuusmenetelmä, jossa simuloitava alue jaetaan pieniin kontrollitilavuuksiin (laskentakoppi), joissa virtausta kuvaavat yhtälöt ratkaistaan numeerisesti iteratiivisilla menetelmillä. Kontrollitilavuusmenetelmän näkökulmasta ajasta riippumaton tarkastelu on vaaditun laskenta-ajan kannalta selvästi edullisempi menetelmä, ja ajasta riippuva puolestaan selvästi raskaampi.

Kontrollitilavuusmenetelmän huono puoli on menetelmän laskentavaatimukset, jotka tietyissä tapauksissa pakottavat käyttämään ajasta riippumatonta (steady-state) formulointia, joka yleisesti ottaen altistaa suuremmille virheille. Ajasta riippumattomalla menetelmällä ei esimerkiksi aina ole mahdollista saada luotettavaa tulosta. Esimerkiksi tilanteessa, jossa tarkasteltavan systeemin virtauskenttä on luonteeltaan tietyllä tavalla ajasta riippuva, on laskennan konvergoituminen epätäydellistä tai laskenta ei konvergoi ollenkaan. Konvergenssiongelmista on mahdollista päästä eroon ratkaisemalla virtausta kuvaavat yhtälöt ajasta riippuvalla menetelmällä, mutta se on usein merkittävästi raskaampaa laskennallisesti.

Tämän työn analyysissä käytettiin ajasta riippuvaa hila-Boltzmann menetelmää (Lattice Boltzmann method) yhdistettynä DDES-turbulenssimalliin. Hila-Boltzmann menetelmässä Navier—Stokes -yhtälöitä ei ratkaista suoraan, vaan ratkaistavat yhtälöt muodostetaan kaasumolekyylien tilastollisten jakaumien perusteella. Menetelmän keskeinen lähtökohta on, että yksittäisten atomien ja molekyylien sijaan tarkastellaan näiden muodostamia tilastollisia jakaumafunktioita (distribution function). Näin voidaan pienentää tarkasteltavien partikkelien lukumäärä valtavan suuresta mielekkääksi. Hila-Boltzmann -menetelmän yhtälöistä on mahdollista johtaa Navier—Stokes -yhtälöt.

Hila-Boltzmann -menetelmässä tarkasteltava alue jaetaan pieniin paloihin, hilaan, ja laskenta suoritetaan tarkastelemalla hilapisteiden keskenäisiä vuorovaikutuksia. Laskennan tarkkuus paranee hilan tihentyessä (hilapisteiden lukumäärän kasvaessa). Vastaavasti kuin kontrollitilavuus- ja muissa numeerisissa menetelmissä, hilan tihentäminen tekee laskennan raskaammaksi. Jotta laskenta olisi mahdollista nykyisillä tietokoneilla, virtauksen kaikista pienimpiä rakenteita ei simuloida suoraan, vaan niiden ratkaisuun käytetään turbulenssimallia, vastaavasti kuin esimerkiksi kontrollitilavuusmenetelmässä. Hila-Boltzmann -menetelmän yksi merkittäviä etuja on laskentakapasiteetin vaatimukset etenkin näytönohjainlaskennassa (GPU-laskenta), joka mahdollistaa Hila-Boltzmann -menetelmän suorittamisen ajasta riippuvana jopa tuulivihiytyysselvityksen kaltaisille suurille laskentatapauksille.

Tässä työssä laskenta suoritettiin ajasta riippuvana käyttäen DDES-turbulenssimallia, jossa yhdistetään RANS- ja LES-turbulenssimallien ominaisuuksia siten, että virtauksen rajakerroksessa käytetään RANS-formulointia ja muualla LES-formulointia. Laskennassa käytetty hila oli tyypiltään D3Q19.

Esikäsittely geometrian osalta suoritettiin käyttäen avoimeen lähdekoodiin perustuvaa Blender-ohjelmaa [2] Verkottajana ja numeerisena ratkaisijana käytettiin Numeric Systemsin Paceyfish työkalua [3]. Numeerisen datan jälkikäsittely suoritettiin niin ikään avoimen lähdekoodin työkaluilla käyttäen ParaView-ohjelmaa [4, 5] ja Python-ohjelmointikieltä [6].

[2] Blender Online Community: Blender—a 3D modelling and rendering package. Blender Foundation, Blender Institute, Amsterdam. <http://www.blender.org>. Viitattu 08.04.2024.

[3] pacyfish | Numeric Systems. <https://www.numeric.systems/pacyfish>. Viitattu 08.04.2024

[4] J. Ahrens, B. Geveci ja C. Law: ParaView: An End-User Tool for Large Data Visualization. Visualization Handbook, Elsevier, ISBN-13: 978-0123875822, 2005.

[5] U. Ayachit: The ParaView Guide: A Parallel Visualization Application. Kitware, ISBN 978-1930934306, 2015.

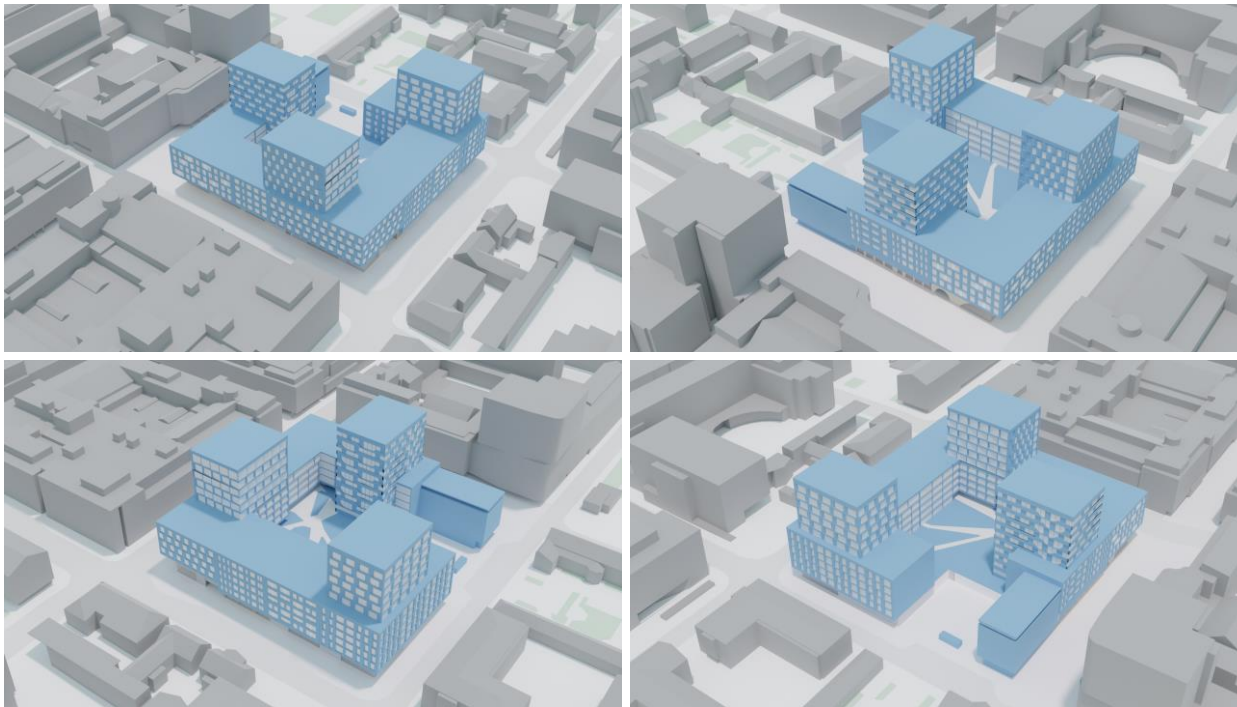
[6] Python Software Foundation. Python Language Reference. www.python.org. Viitattu 08.04.2024.

Simulointigeometria

Kohdealueen 3D-malli perustui Rhino-arkkitehtimalliin (18.3.2024).

Sisäpihan suunnitelmasta nähdään alueita, jotka on suunniteltu pidempiaikaiseen oleskeluun. Lisäksi talojen katoille voi tulla kattoterasseja, joita tässä vaiheessa suunnitelmat eivät vielä sisältäneet.

Kuva 2. Ravander-kortteli havainnollistettuna pohjoisesta, idästä, etelästä ja lännestä ylhäältä vasemmalta myötäpäivään lukien.



Kuva 3. Sisäpihan maisema-suunnitelma.



Simulointimalli

Maastomalli ja ympäröivät rakennukset otettiin huomioon noin 500 m säteellä kohdealueen keskipisteestä. Puusto ja kasvillisuus jätettiin pois simulointimallista tuulivihiytysselvityksille tyypilliseen tapaan [7].

Tuulisuutta arvioitiin virtuaalisessa tuulitunnelissa, jonka mitat olivat 2500 m (leveys) x 5000 m (pituus) x 1000 m (korkeus). Kirjallisuudessa esitettyjen suositusten mukaisesti simulointigeometrian 'blockage ratio' oli <3% [1]. Simulointigeometriaa on havainnollistettu Kuvassa 4. Tuulivihiytyssuuden arvioimiseksi tuulen virtauskenttä simuloitiin 12 eri suunnasta 30° välein. Suunta 0° vastasi pohjoistuulta ja suunta n° viittaa suuntaan, joka on pyöritetty n-astetta myötäpäivään suunnasta 0°.

Sisäänvirtausreunaehtona käytettiin kullekin ilmansuunnalle pinnankarheuden mukaista täysin kehittyntä logaritmista nopeusprofiilia. Sisäänvirtauksen nopeusprofiilin arvo korkeudella $z_{ref} = 10$ m oli $U_{ref} = 10$ m/s. Sisäänvirtausreunan ja maastomallin ulkopuolisen (säde yli 500 m keskipisteestä) alueen arvioidut pinnankarheudet on esitetty Taulukossa 1. Maastomallin alueella (säde alle 500 m keskipisteestä) käytettiin pinnankarheutta $z_0 = 0$ m.

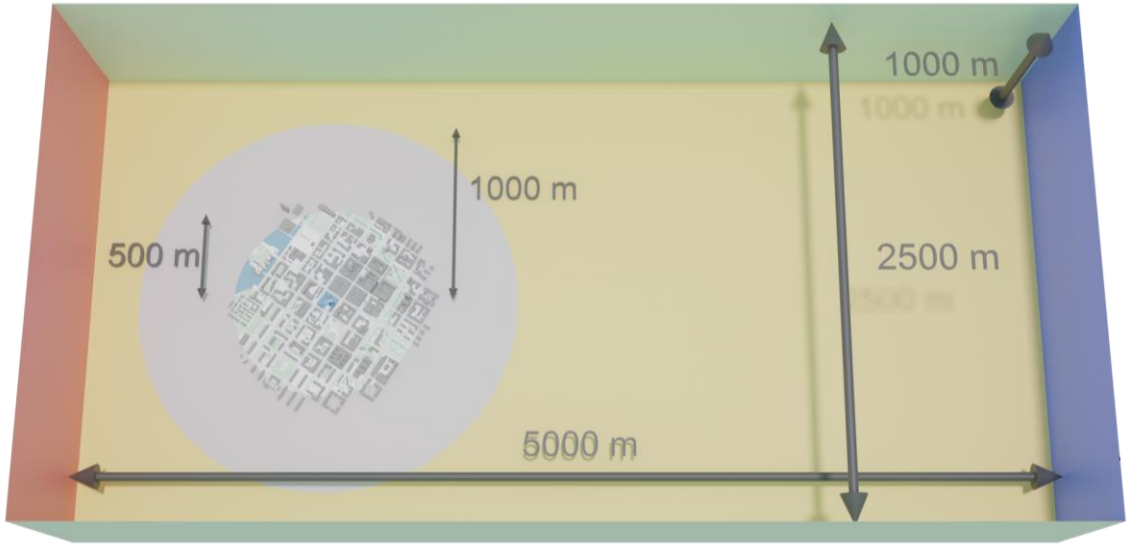
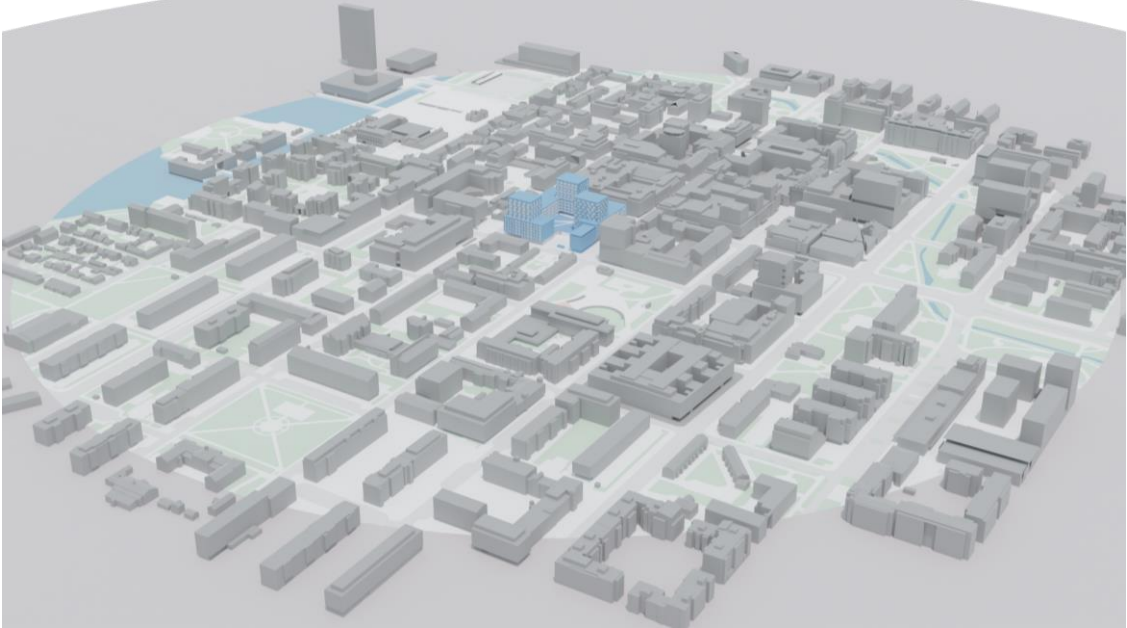
Laskentaverkko (hila) koostui noin 59 miljoonasta hilapisteestä. Pienin hilakoko katoksen läheisyydessä oli noin 0,4 m.

Taulukko 1. Pinnankarheudet (z_0) tuulensuunnittain kohdealueen ympäristössä.

Suunta	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
z_0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,2	0,2	0,1	0,05	0,05	0,1

[7] B. Blocken, W.D. Jansen, and T. Hooff: Cfd simulation for pedestrian wind comfort and wind safety in urban areas: General decision framework and case study for the eindhoven university campus. Environmental Modelling & Software, 30:15–36, 2012.

Kuva 4. Ylempi kuva: Ravander-kortteli (turkoosi keskellä), ympäröivät rakennukset (harmaa) ja maastomalli (vihreä, sininen ja valkoinen). Alempi kuva: Simulointimalli ja sen dimensiot.



Tuulitilastot (1/2)

Kohdealueen ympäristön tuulisuuden arvioinnin lähtötietona käytettiin Ilmatieteenlaitoksen ylläpitämän Vihreäsaaren sataman havaintoaseman tuulidataa vuosilta 2006–2024. Tuulidata muunnettiin numeerisesti edustamaan paremmin Ravander-korttelin tuuliolosuhteita.

Havaintoaseman 10 minuutin tuulen keskiarvonopeus ja -suunta 17 m korkeudella muunnettiin yhden tunnin tuulen keksinopeudeksi 120 m korkeudella Ravander-korttelin lähiympäristöön ottaen huomioon erot havaintoaseman ja Ravander-korttelin ympäristöissä. Vihreäsaaren sataman havaintoasema sijaitsee noin 3,5 km etäisyydellä kohdealueesta. Havaintoaseman ja kohdealueen ympäristöön oletettiin korkeussuunnassa täysin kehittynyt logaritminen tuulennopeusprofiili

$$u_z = \frac{u^*}{\kappa} \left(\ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \right), \quad (1)$$

jossa u_z on tuulen nopeus korkeudella z , u^* on kitkanopeus, κ on the Von Kármán -vakio (noin 0,41) ja z_0 on pinnankarheus. Kitkanopeus voidaan kirjoittaa muodossa

$$u^* = \frac{\kappa u_{\text{ref}}}{\ln \left(\frac{z_{\text{ref}}}{z_0} \right)}, \quad (2)$$

jossa u_{ref} on referenssinopeus referenssikorkeudella z_{ref} .

Pinnankarheuden muuttuessa myös kitkanopeus muuttuu ja sitä voidaan arvioida yhtälöllä [8]

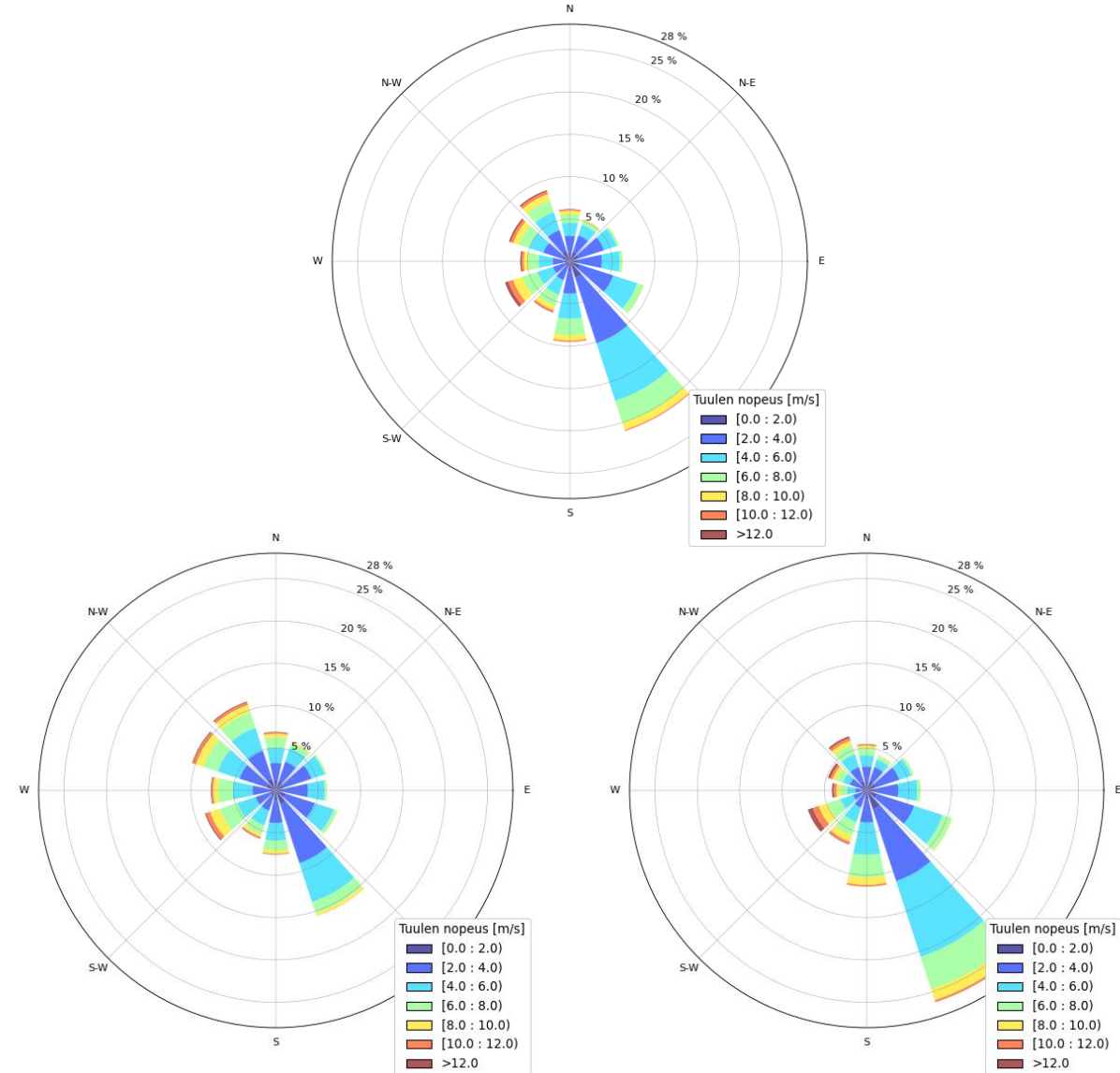
$$\frac{u_2^*}{u_1^*} = \left(\frac{z_{0_2}}{z_{0_1}} \right)^{0.0706}. \quad (3)$$

Uudet tuulen nopeudet muunnetulla kitkanopeudella voidaan arvioida käyttäen yhtälöä (1).

Muunnettu tuulidata analysoitiin kaikille 12 tuulen suunnalle ja kolmelle eri kaudelle: vuosi, kesä (huhtikuu–syyskuu) ja talvi (lokakuu–maaliskuu). Havaintoaseman tuulen nopeus- ja suuntajakaumia muunnettuna 10 m korkeudelle on havainnollistettu tuuliruusuilla Kuvassa 5. Todennäköisin tuulensuunta on 150° . Lisäksi talvikaudella esiintyy suurempia tuulen nopeuksia kuin kesällä.

[8] E Simiu and R.H. Scanlan: Wind Effects on structures, Fundamentals and Applications to Design. John Wiley & Sons, Inc, 3rd edition, 1996.

Kuva 5. Vuosittainen (ylempi kuva) ja kausittaiset (vasen ala: kesä, oikea ala: talvi) 10 minuutin keskituulen tuuliruusu Vihreäsaaren sataman havaintoasemalla muunnettuna 10 m korkeuteen.



Tuulitilastot (2/2)

Tuulen keskinopeudet skaalattiin vielä lopuksi 120 m korkeuteen käyttäen yhtälöä (oletus logaritmisesta nopeusprofiilista)

$$u_{z_2} = u_{z_1} \left(\frac{\ln(z_2/z_0)}{\ln(z_1/z_0)} \right), \quad (4)$$

jossa z_0 on Taulukossa 1 esitetty pinnankarheus.

Tuuliviihtyisyyden arvioimiseksi virtauslaskennan tulokset käsiteltiin käyttäen tuulen nopeusjakaumia. Tuulen nopeusjakaumat noudattavat yleisesti Weibull-jakaumaa ja tämän jakauman sovitus tehtiin erikseen 12 eri tuulen suunnalle ja kolmelle eri kaudelle (vuosi, kesä ja talvi). Weibull-jakauman tiheysfunktio voidaan esittää muodossa

$$f(u) = \frac{k}{\alpha} \left(\frac{u}{\alpha} \right)^{k-1} e^{-(u/\alpha)^k}, \quad (5)$$

jossa u on tuulen nopeus, k on ns. 'shape'-parametri ja α puolestaan ns. 'scale'-parametri. Weibull-jakauman kertymäfunktio on muotoa

$$P(u) = 1 - e^{-(u/\alpha)^k}, \quad (6)$$

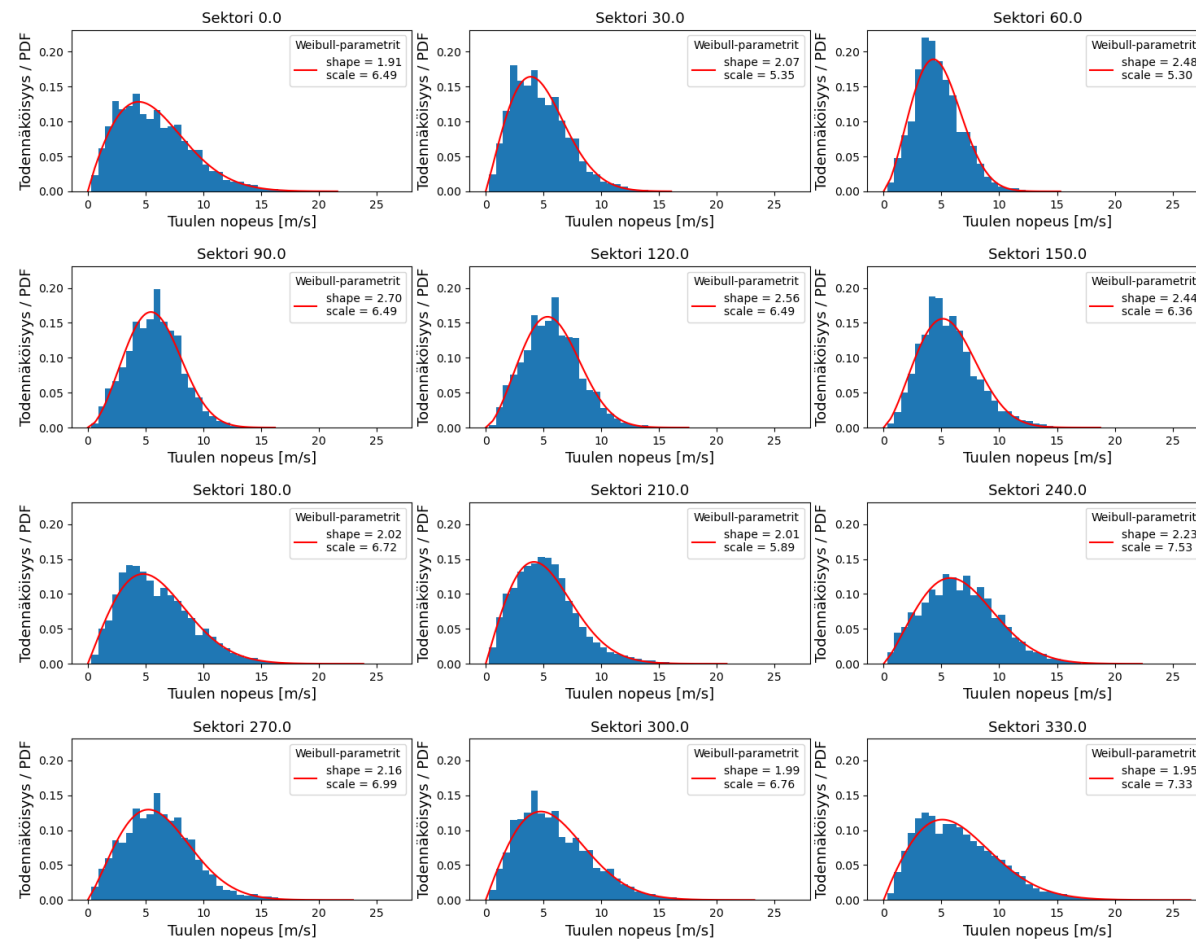
joka antaa todennäköisyyden sille, että tuulen nopeus on pienempi kuin u . Tuulen nopeuden kokonaisuylitodennäköisyyttä voidaan arvioida funktiolla

$$P_{\text{tot}}(u) = \sum_{d=0}^n P_d e^{-(u/\alpha_d)^{k_d}}, \quad (7)$$

jossa d viittaa tuulen suuntasektoriin ja P_d on suuntasektorin todennäköisyys.

Kuvassa 6 on esitetty Ravander-korttelin ympäristöön muunnettujen tuulen nopeuksien histogrammit ja nopeusjakaumaan sovitetut Weibull-jakaumat suuntasektoreittain koko kesän osalta. Koko vuoden ja talvikauden jakaumat on esitetty erikseen Liitteessä 1.

Kuva 6. Histogrammit ja Weibull-sovitukset tunnin keskituulennopeuden osalta kesäkaudella 120 m korkeudella 12 eri tuulen suunnalle Ravander-korttelin ympäristössä.



Tuuliviihtyisyyskriteeri

Tuuliviihtyisyyskriteeri luokittelee alueet erilaisiin kategorioihin perustuen sekä virtauslaskennasta saaduilla tuulen nopeuksilla, jotka evaluoidaan 1,5 m että tuulitilastoista määritettyjen esiintymistodennäköisyyden avulla. Tuuliviihtyisyyskriteerin kategoriat kuvaavat viihtyisyyttä toimintojen perusteella, joihin kuhunkin kategoriaan luokiteltu alue sopii.

On olemassa useita erilaisia tuuliviihtyisyyskriteerejä, jotka perustuvat ihmisten tuntemuksiin. Esimerkiksi sopeutuminen vallitsevaan ilmastoon vaikuttaa tuntemuksiin, joten yhtä oikeaa kriteeriä ei ole olemassa. Tähän työhön valittiin kirjallisuudessa yleisesti esiintyvä alkuperäiseen Lawson LDDC -kriteeriin [9] perustuva muokattu kriteeri (tässä työssä käytetään nimeä 'muokattu Lawson LDDC -kriteeri'). Muokattu Lawson LDDC -kriteeri on laajalti käytössä Iso-Britanniassa (esimerkiksi Leedsissä [10] ja Lontoossa [11]).

Muokattu Lawson-kriteeri perustuu tunnin keskituulennopeuteen ja määrittää erilliset mukavuus- ja turvallisuuskategoriat. Muokattu Lawson-kriteeri on määritelty Taulukoissa 2 ja 3.

- [9] T.V. Lawson: The determination of the wind environment of a building complex before construction. Technical report, University of Bristol, Department of Aeronautical Engineering, 1990.
- [10] Leeds City Council and RWDI: Draft wind & micro-climate toolkit for Leeds. <https://www.leeds.gov.uk/docs/Draft%20wind%20and%20microclimate%20toolkit.pdf>, Heinäkuu 2021. Viitattu 08.04.2024.
- [11] City of London Corporation: Wind microclimate guidelines for developments in the City of London. <https://www.cityoflondon.gov.uk/assets/Services-Environment/wind-microclimate-guidelines.pdf>, 2019. Viitattu 08.04.2024.

Taulukko 2. Tuuliviihtyisyyden arvioinnissa käytetty muokattu Lawson LDDC –kriteeri.

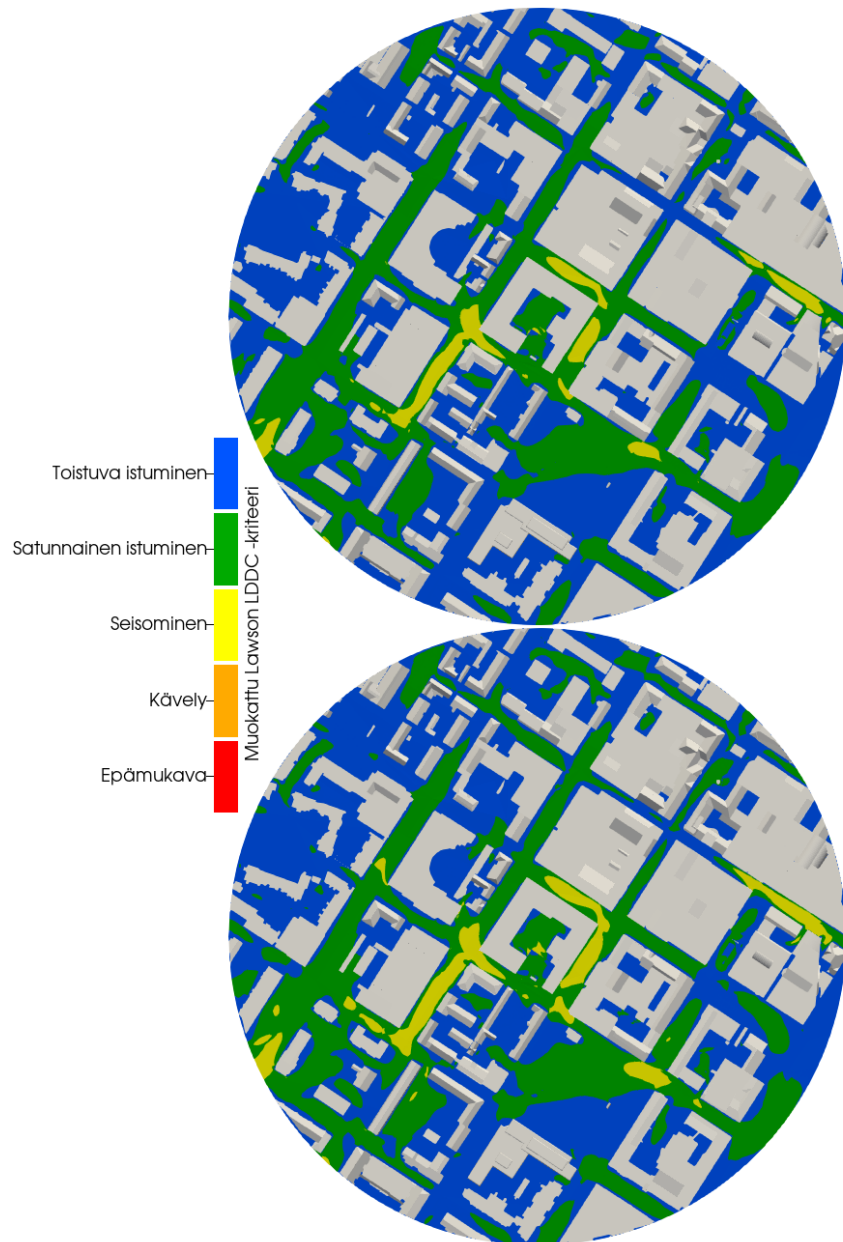
Kategoria	Tuulen keskinopeus (5% ylitystodennäköisyys)	Kuvaus
Toistuva istuminen	2.5 m/s	Ulkona istuminen, esim. ravintolat, kahvilat, jne.
Satunnainen istuminen	4 m/s	Satunnainen istuminen, esim. yleiset ulkotilat, satunnaiseen käyttöön tarkoitetut parvekkeet ja terassit, jne.
Seisominen	6 m/s	Sisäänkäynnit, linja-autopysäkit, katetut jalkakäytävät tai läpikulkukäytävät
Kävely	8 m/s	Ulkotilojen jalkakäytävät tai kävelytiet
Epämukava	> 8 m/s	Epämukava tavanomaiselle jalankulkijalle

Taulukko 3. Tuulen turvallisuuden arvioinnissa käytetty muokattu Lawson LDDC –kriteeri.

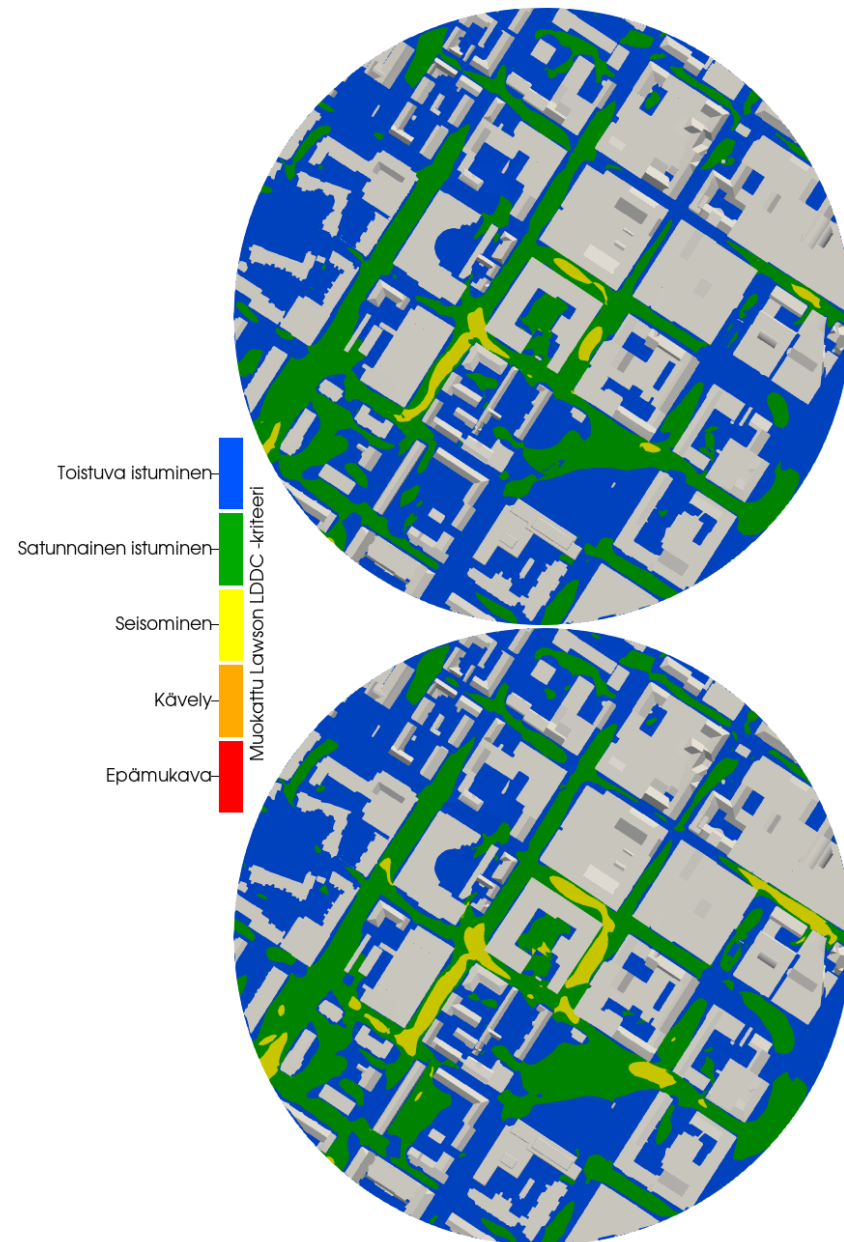
Kategoria	Tuulen keskinopeus (0.022% ylitystodennäköisyys)	Kuvaus
Vaarallinen	15 m/s	Turvallisuusriski erityisesti haavoittuvassa asemassa oleville jalankulkijoille ja pyöräilijöille

Tulokset – Tuuliviihtyisyys, yleiskuva

Kuva 7. Tuuliviihtyisyys koko vuoden (ylempi kuva) ja 'huonoimman kauden' (alempi kuva) osalta. 'Huonoin kausi' esittää huonomman tuloksen kesä- tai talvikauden osalta pisteittäin.

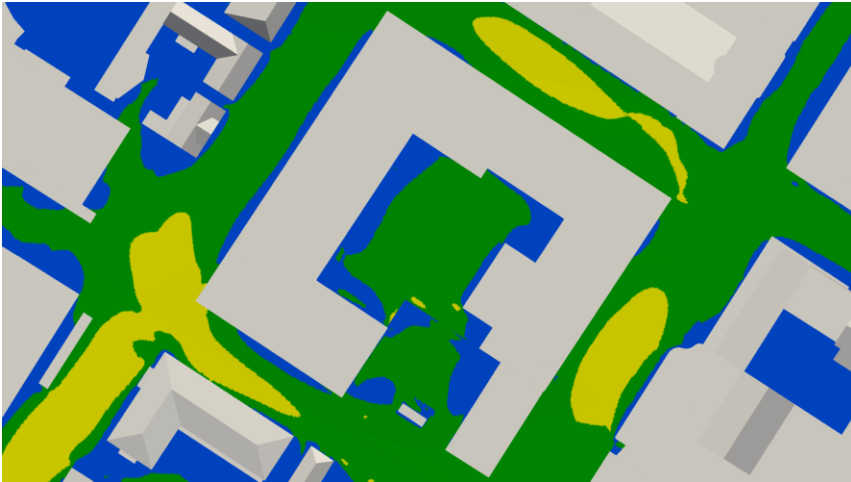


Kuva 8. Tuuliviihtyisyys kesäkauden (ylempi kuva) ja talvikauden (alempi kuva) osalta.

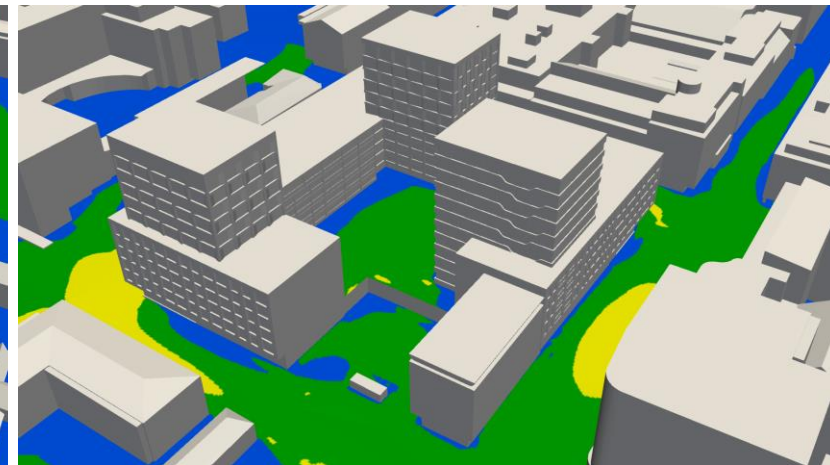
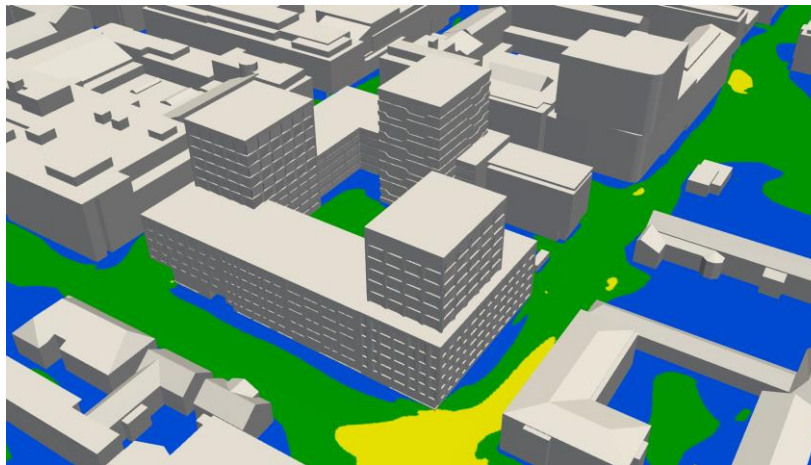
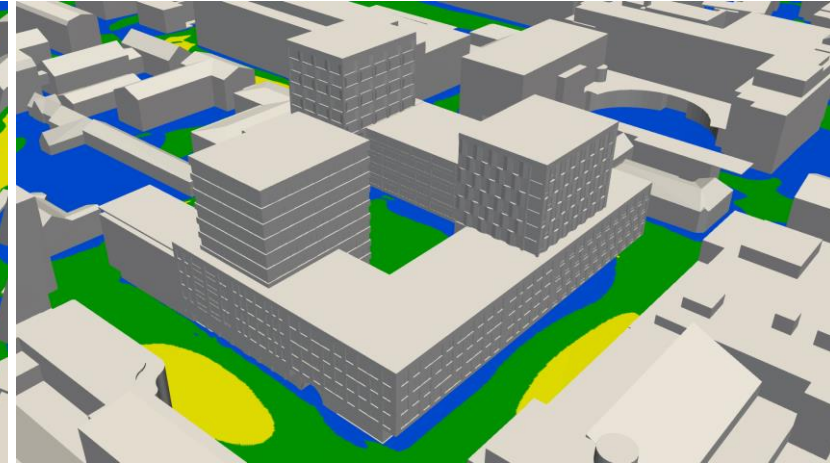
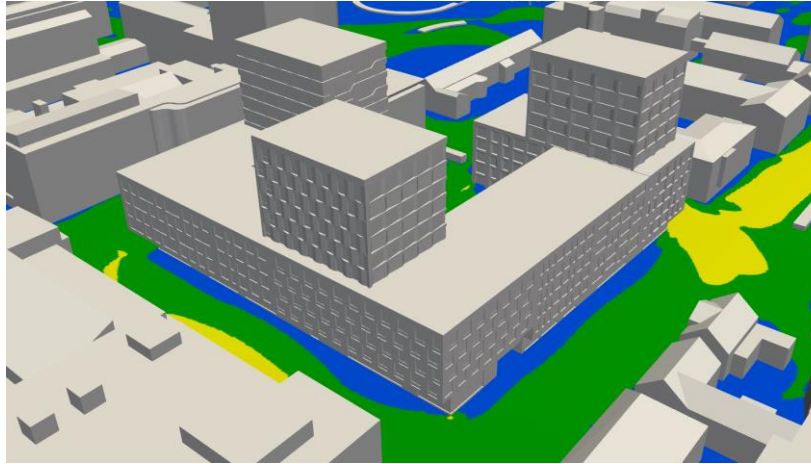


Tulokset – Tuuliviihtyisyys, yksityiskohdat

Kuva 9. Tuuliviihtyisyys kesäkauden osalta Ravander-korttelille ylhäältä katsottuna.

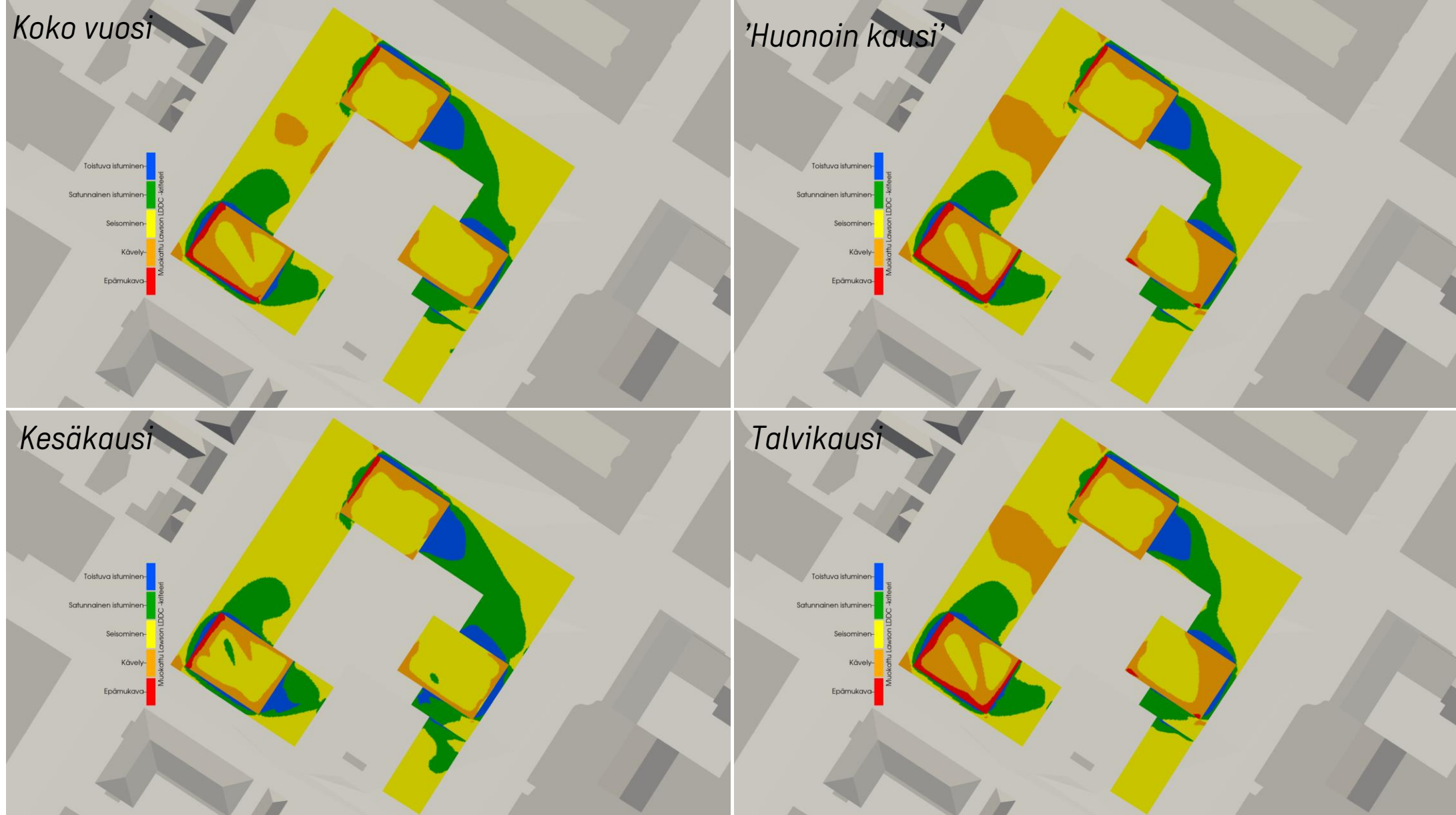


Kuva 10. Tuuliviihtyisyys kesäkauden osalta Ravander-korttelille pohjoisesta, idästä, etelästä ja lännestä ylhäältä vasemmalla myötäpäivään lukien.



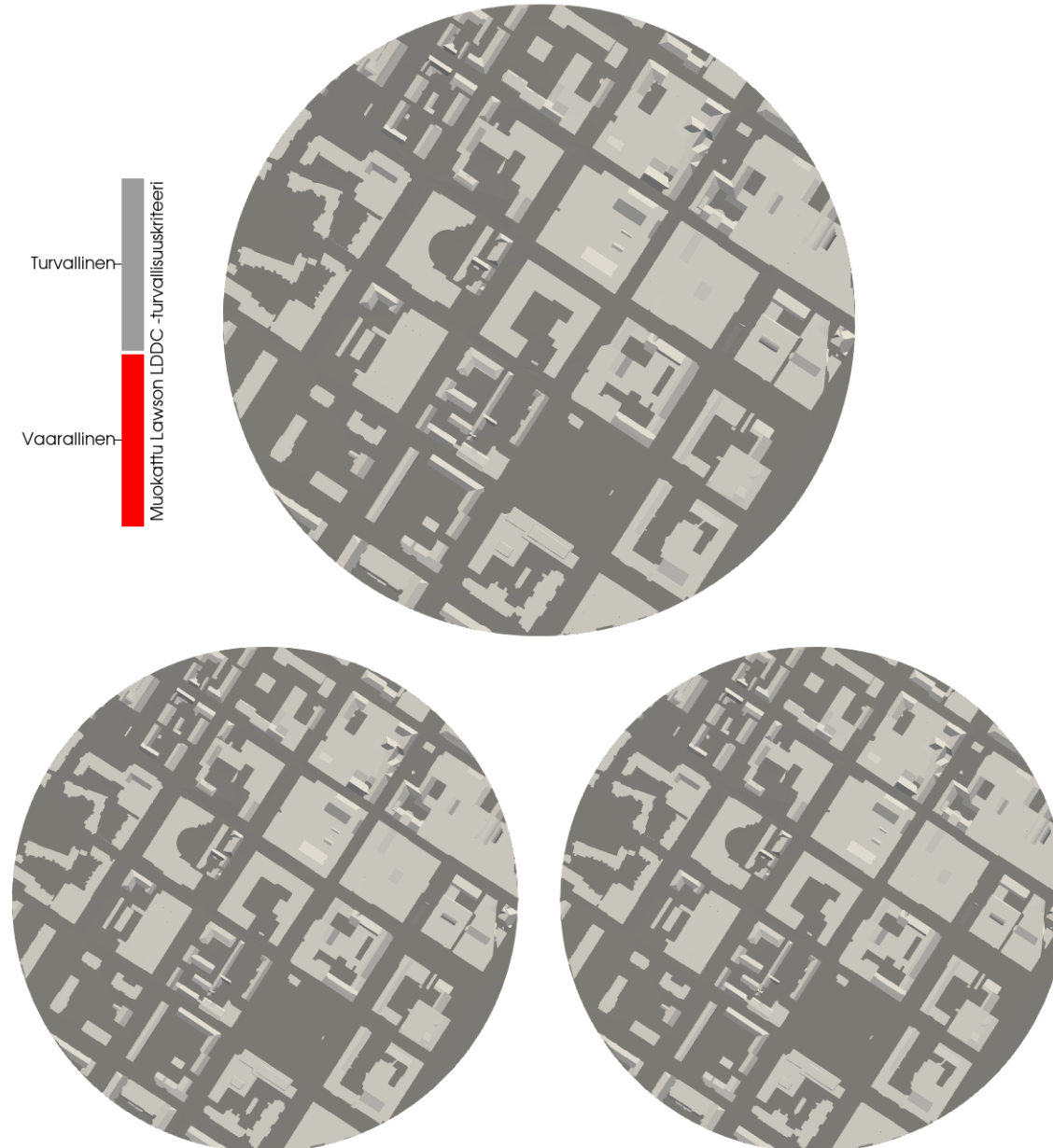
Tulokset – Tuuliviihtyisyys, rakennusten katot

Kuva 11. Tuuliviihtyisyys rakennusten katoilla mahdollisia kattoterassa silmällä pitäen koko vuoden, 'huonoimman kauden', talvikauden ja kesäkauden osalta ylhäältä vasemmalta myötöpäivään lukien.



Tulokset – Tuuliturvallisuus

Kuva 12. Tuuliturvallisuus koko vuoden (ylempi kuva), kesäkauden (alhaalla vasen) ja talvikauden (alhaalla oikea) osalta.



Johtopäätökset

Oulun Vihreäsaaren sataman havaintoaseman mukaan todennäköisin tuulensuunta on kaakon ja etelän välinen suunta (150°). Talvikaudella esiintyy suurempia tuulen nopeuksia kuin kesällä.

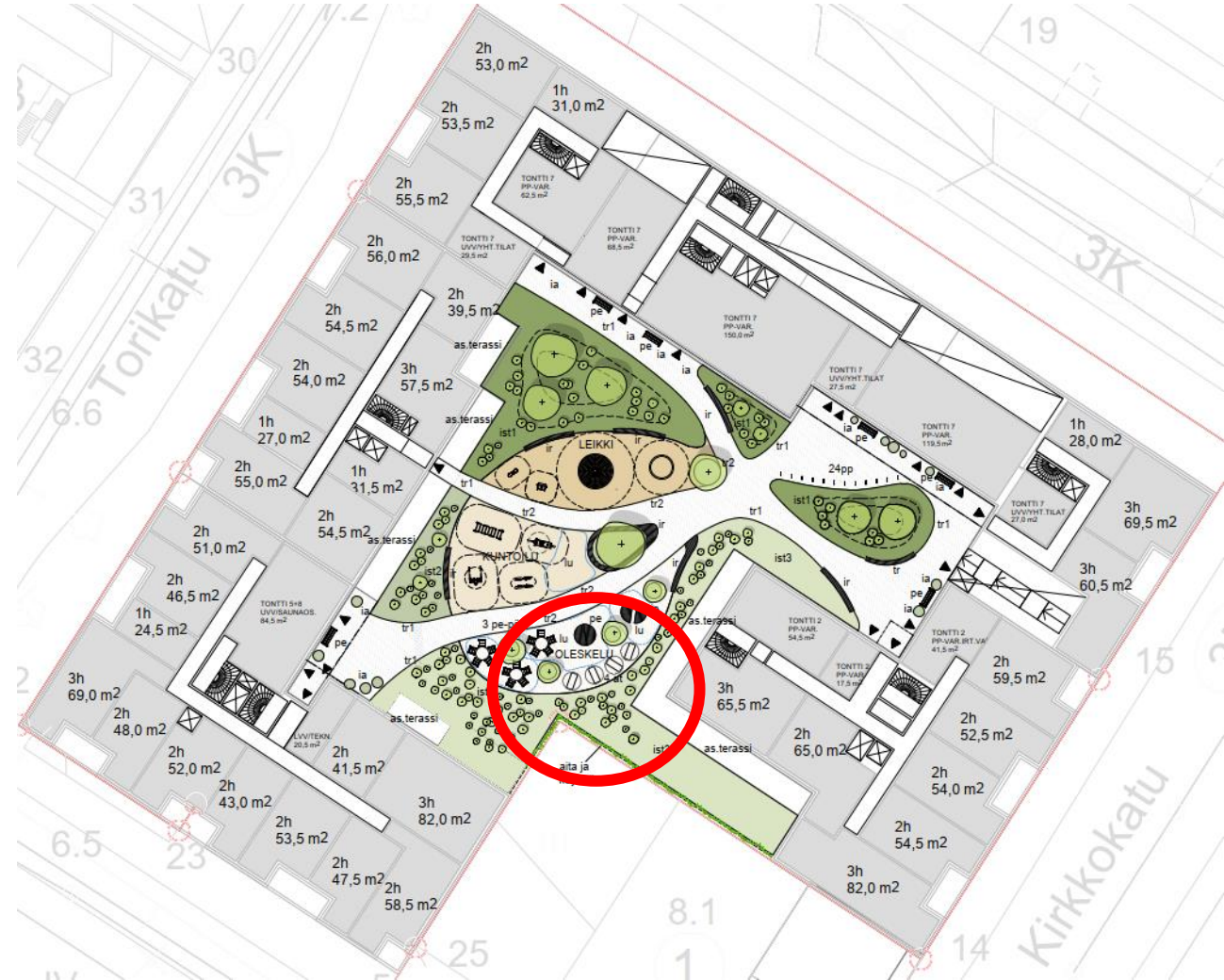
Puusto ja kasvillisuus jätettiin pois simulointimallista 'Best Practise Guideline' –ohjeiden mukaisesti. Puustolla ja kasvillisuudella on tyypillisesti virtausnopeuksia pienentävä vaikutus maanpinnan läheisyydessä, joten simulointitulokset tältä osin esittävät "pahinta skenaariota" ja ovat ns. varmalla puolella.

Tuulivihiytyisyystuloksia ja näiden perusteella tehtäviä johtopäätöksiä painotettiin kesäkauden osalta enemmän, koska ihmiset tyypillisesti viettävät enemmän aikaa ulkona kesäkaudella.

Tuuliturvallisuuden osalta tuloksissa ei havaittu 'Vaarallinen'-luokituksen alueita (kuva 12). **Korjaaville toimenpiteille ei tarvetta.**

Tuulivihiytyisyyden johtopäätökset painottaen kesäkauden tuloksia (kuvat 8, 9 ja 10) olivat:

- Sisäpihan oleskelualue (punaisella ympyröity viereisessä kuvassa)
 - Kesäkauden tuloksissa vain pieniä, lähes pistemäisiä 'Seisominen' –kategorian alueita
 - Talvikauden tuloksissa suurempi 'Seisominen' –kategorian alue
 - Analyysi ei sisältänyt maisema-suunnitelmaan merkattua aitaa ja köynnöstä oleskelualueen läheisyydessä.
 - Huomio: Aidalla ja sen läheisyyden kasvillisuudella arvioitiin positiivinen vaikutus sisäpihan tuulivihiytyisyydelle, ja näiden tuulelta suojaaviin ominaisuuksiin olisi hyvä kiinnittää huomiota.
 - Korjaaville toimenpiteille ei yllä mainittu huomio pois lukien tarvetta tuulivihiytyisyyden kannalta, sillä kesäkaudella pahimmassakin tapauksessa ilman aitaa ja kasvillisuutta tuulivihiytyisyys oli pääasiassa 'Toistuva istuminen' ja 'Satunnainen istuminen' –luokitusten mukainen.**
- Saaristonkadun, Kirkkokadun, Albertinkadun ja Torikadun osalta 'Huonoimman kauden' (kuva 7) tuloksien perusteella tuulivihiytyisyys sisälsi korkeimmillaan 'Seisominen'-luokituksen alueita, jotka soveltuvat sisäänkäynneille ja kulkuväylille.
 - Korjaavia toimenpiteitä ei tarvita.**
- Ravander-korttelin muussa lähiympäristössä ei havaittu 'Huonoimman kauden' (kuva 7) tuloksien perusteella kuin korkeintaan 'Seisominen'-luokituksen alueita, jotka sijaitsivat kävelykaduilla tai autoteillä.
 - Korjaavia toimenpiteitä ei tarvita.**
- Ravander-korttelin rakennusten katoilla evaluoitu tuulivihiytyisyys (kuva 11) asettui pääasiassa 'Seisominen' –kategoriaan.
 - Korjaavia toimenpiteitä tarvitaan, mikäli rakennusten katoille suunnitellaan kattoterasseja.** Tämän hetkinen suunnitelma ei sisältänyt kaiteita tai muita tuulelta suojaavia rakenteita.



Virheet ja epätarkkuudet

Virhe voidaan määritellä simulointityön minkä tahansa aktiviteetin tai vaiheen vajaavaisuutena, joka ei johdu tietämyksen puutteesta. Epätarkkuus puolestaan voidaan määritellä simulointityön minkä tahansa vaiheen tai aktiviteetin potentiaalisena vajaavaisuutena, joka puolestaan johtuu tietämyksen puutteesta. [12].

Virheen määritelmä tarkoittaa, että vajavaisuus voidaan identifioida tarkasteltaessa systeemiä. Esimerkiksi mahdollisten parvekkeiden tai parvekekaiteiden poisjättäminen simulointigeometriasta luokitellaan virheeksi. Virhe voidaan myös jakaa tunnistettuihin ja ei-tunnistettuihin virheisiin. [13].

Epätarkkuus puolestaan tarkoittaa, että vajaavaisuuksia voi joko olla tai olla olematta. Tietämyksen puute tarkoittaa pääasiassa tietämystä fysikaalisesta systeemistä, jota käytetään rakentaessa simulointimallia. Esimerkiksi kasvillisuuden ja puuston yksityiskohtaisen tietämyksen puute voidaan luokitella epätarkkuudeksi rakennettaessa maastomallia tämän työn kaltaiselle systeemille.

Tunnistettuihin virheisiin luetaan esimerkiksi:

- fysikaalinen approksimaatiovirhe
 - fysikaalinen mallinnusvirhe (esimerkiksi fysikaaliset olosuhteet)
 - geometrian mallinnusvirhe
- tietokoneen pyöristysvirhe
- iteratiivisen laskennan konvergoituvirhe
- diskretointivirhe
 - spatiaalinen (paikka)
 - temporaalinen (aika).

Ei-tunnistettuihin virheisiin luetaan esimerkiksi:

- ohjelmointivirhe
- käyttövirhe.

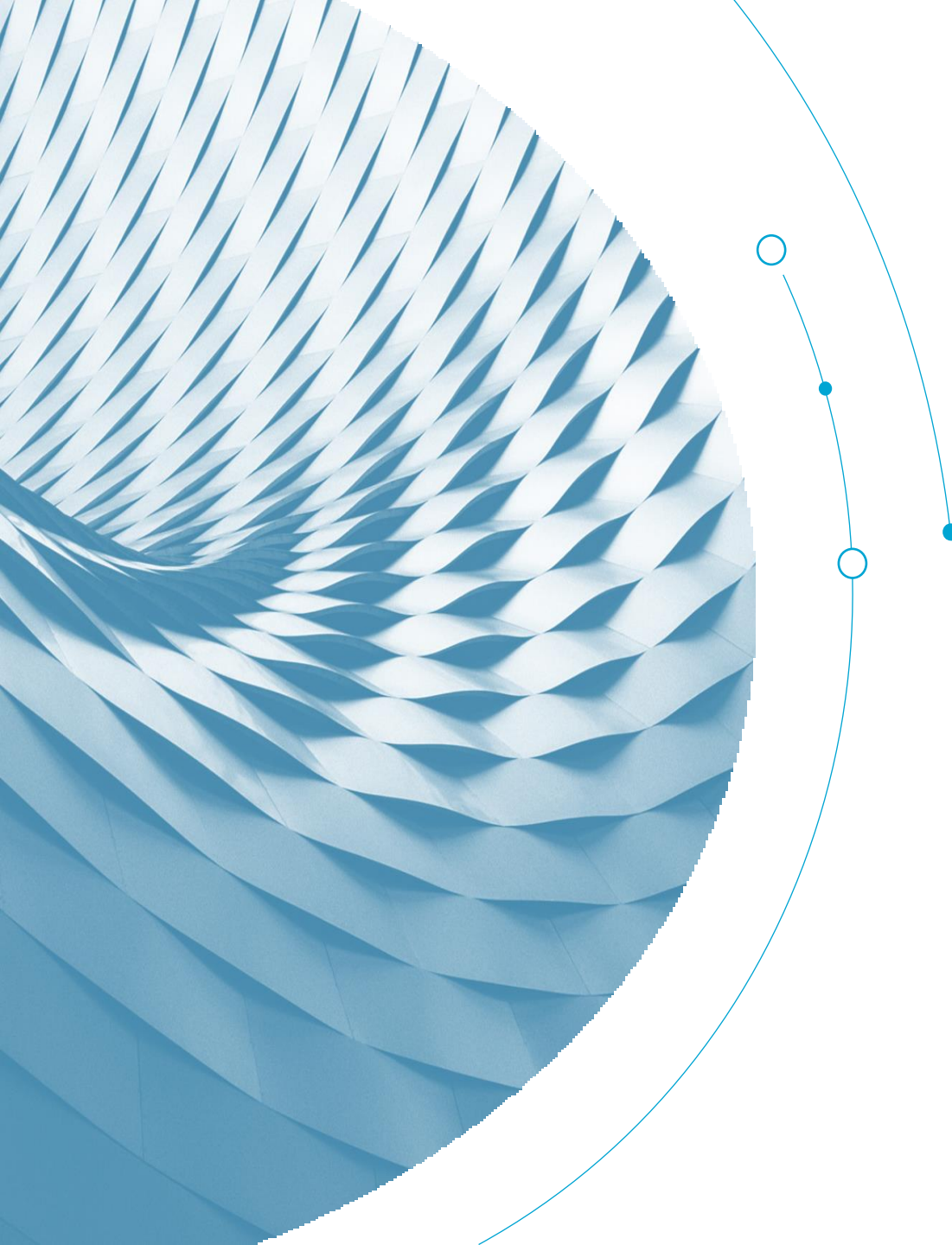
Laskennallisessa tarkastelussa (kuten kokeellisessa mittaustyössäkin) on aina useita mahdollisia virhe- ja epätarkkuuslähdettä. Ymmärrys ja kokemus näiden vaikutuksista ovat ensisijaisen tärkeitä, jotta minkä tahansa analyysin tulosten luotettavuus pysyy korkealla tasolla. Ihanteellinen taso saavutetaan silloin, kun arvioitu virhe ja epätarkkuus ovat tarpeeksi pieniä ja laskennan vaatimat resurssit ovat mielekkäällä tasolla. On tärkeää ymmärtää eri virheiden suuruusluokat ja vaikutukset, jotta kokonaisvirheen hallinnassa keskitytään oikeisiin asioihin.

On huomioitava, että yleisesti ottaen on aina kolme eri systeemiä; todellinen tapaus, simuloitu tapaus ja mitattu tapaus. Usein mitattu ja todellinen systeemi sekoitetaan keskenään. Numeerinen laskenta sisältää aina virhettä luonteensa vuoksi. On myös huomioitavaa, että simuloinnit antavat luotettavia tuloksia vain kohdealueella ja vain sen lähiympäristössä. Koska maastomalli ja rakennukset on huomioitu vain tietyllä etäisyydelle keskipisteestä, tulokset ovat luotettavimpia alueen keskipisteessä ja mitä kauempana siitä ollaan, sitä enemmän epävarmuutta tulokset sisältävät.

Tämän työn osalta suurimpina virhe- ja epätarkkuuslähteinä arvioitiin olevan fysikaaliset approksimaatiovirheet, joista suurimmiksi arvioitiin maastomallin ja rakennusmallien epätarkkuudet. Lisäksi maastomalli ei sisältänyt kasvillisuutta eikä puustoa, minkä johdosta tehty analyysi yleisesti ottaen yliarvioi tuulen nopeuden suuruuksia etenkin jalankulkijoiden tasolla, ja saadut tulokset tuulivihiytyisyyden osalta edustivat täten ”pahinta tilannetta” ollen turvallisella puolella. Lisäksi maaston pinnankarheuden valinnat simulointien reunaehdoissa ja tuulidatan käsittelyssä sisältävät epävarmuuksia. Myös alkuperäisessä tuulitilastojen mittausdatassa ja tämän käsittelyssä hyödynnettävään muotoon esiintyy aina epätarkkuuksia ja virheitä.

[12] Guide for the Verification and Validation of Computational Fluid Dynamics Simulations. AIAA G-077-1998, 1998.

[13] NPARC Alliance CFD Verification and Validation. Uncertainty and Error in CFD Simulations. <https://www.grc.nasa.gov/www/wind/valid/tutorial/errors.html>. Viitattu 08.04.2024.



Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä työssä arvioitiin Oulussa sijaitsevan Ravander-korttelin suunniteltujen muutosten vaikutuksia tuuliviihtyisyyden ja tuuliturvallisuuden kannalta. Selvityksen analyysi suoritettiin virtauslaskenta-menetelmällä (computational fluid dynamics, CFD) käyttäen hyväksi Ilmatieteen laitoksen ylläpitämän Vihreäsaaren sataman mittausaseman tuulidataa vuosien 2006–2024 tuulihavainnoista. Työhön valittiin kirjallisuudessa yleisesti esiintyvä Lawson LDDC –kriteerin muokattu versio, joka on laajalti käytössä esimerkiksi Englannissa Lontoon ja Leedsin kaupunkien alueella suoritettavissa tuuliviihtyisyys selvityksissä.

Virtauslaskenta suoritettiin noudattaen alalla yleisesti hyväksyttyjä ja vertaisarvioituja ‘best practice guideline’ –suosituksia. Virtauslaskentamalli koostui rakennuksista ja 3D-maastomallista noin 500 m etäisyydellä Ravander-korttelin keskipisteestä. Analyysi suoritettiin 12 tuulensuunnalla.

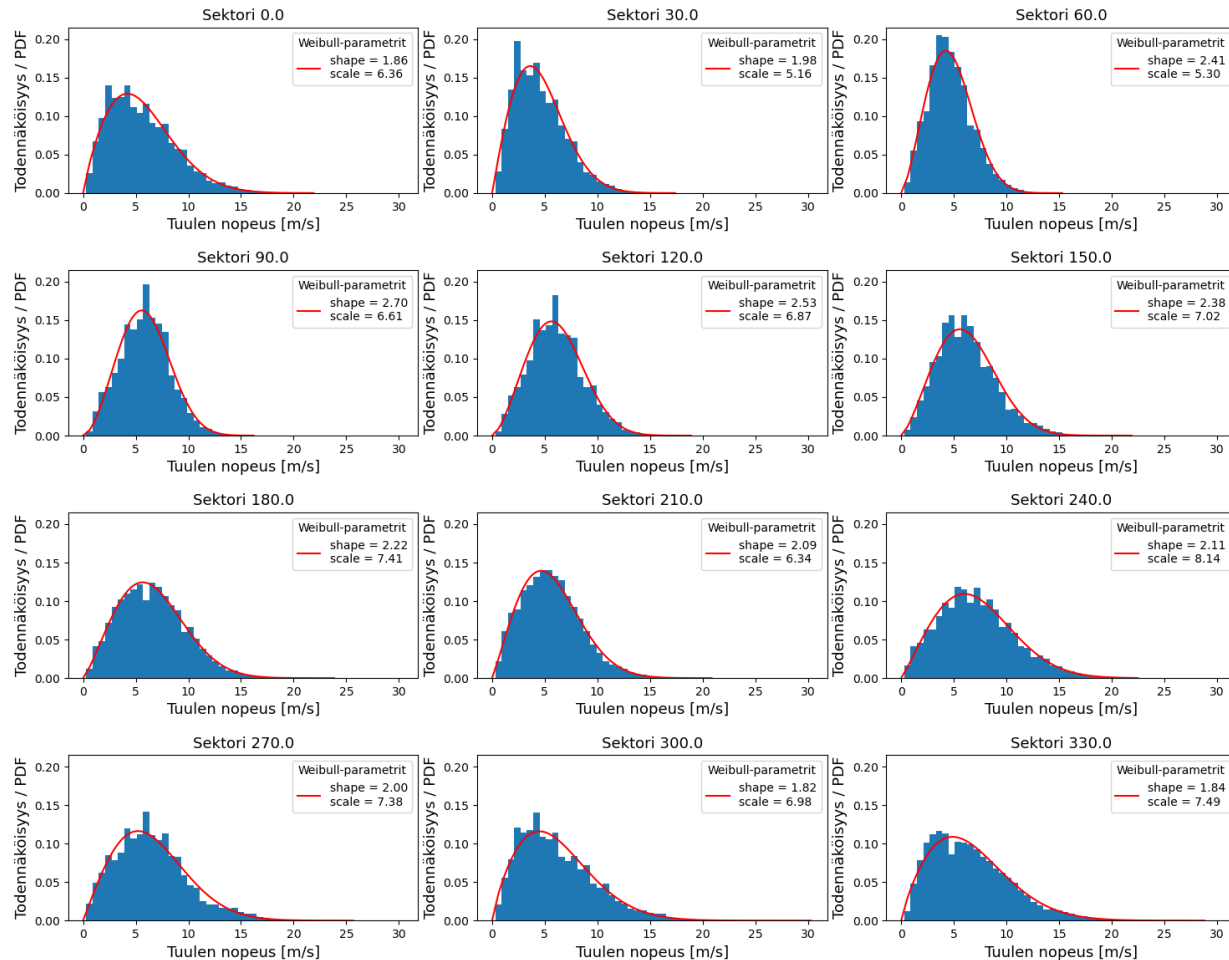
Ravander-korttelin muutoksien suunnitelmassa ei havaittu tuuliturvallisuusriskejä ja suunnitelma luokiteltiin turvalliseksi. Ravander-korttelin tai sen lähiympäristön tuuliviihtyisyyden osalta korjaavia toimenpiteitä ei arvioitu tarpeelliseksi.

Ravander-korttelin sisäpihan osalta tehtiin seuraava huomio: maisemasuunnitelmaan merkityllä aidalla ja sen läheisyydessä sijaitsevalla kasvillisuudella arvioitiin olevan positiivinen vaikutus sisäpihan tuuliviihtyisyydelle, ja näiden tuulelta suojaaviin ominaisuuksiin olisi hyvä kiinnittää huomiota.

Korjaavia toimenpiteitä tarvitaan, mikäli rakennusten katoille toteutetaan kattoterasseja. Tämän hetkinen suunnitelma ei sisältänyt kaiteita tai muita tuulelta suojaavia rakenteita.

Liite 1 – Weibull-jakaumat koko vuodelle ja talvikaudelle

Histogrammit ja Weibull-sovitukset tunnin keskituulennopeuden osalta koko vuodelta 120 m korkeudella 12 eri tuulen suunnalle Ravander-korttelin ympäristössä.



Histogrammit ja Weibull-sovitukset tunnin keskituulennopeuden osalta talvikaudella 120 m korkeudella 12 eri tuulen suunnalle Ravander-korttelin ympäristössä.

