



KEILANIEMEN VALOKEILANAUKIO

Tuulisuusselvitys

16.3.2022

Laadunhallinta

Versio/muutokset	Versio 1	Muutos 1	Muutos 2	Muutos 3
Huomautukset		muutettu kommenttien pohjalta (luku 1 ja kuva 15)	saavutettava versio	Päivitetyyn suunnitelman mukaan, saavutettava versio
Päiväys	8.11.2021	11.11.2021	13.12.2021	16.3.2022
Laatija	Risto Kiviluoma	Risto Kiviluoma	Risto Kiviluoma	Risto Kiviluoma
Allekirjoitus				
Tarkastanut				
Allekirjoitus				
Hyväksynyt				
Allekirjoitus				
Raportin numero				
Tiedostotunnus				

Keilaniemen Valokeilanaukio

Tuulisuusselvitys

16.3.2022

Tilaaja

Regenero Oy
Helsinki

c/o YIT Suomi Oy
PL 36 (Panuntie 11)
FI-00621 Helsinki

Yhdyshenkilö: Paula Pollock

Konsultti

WSP
Pasilan asema-aukio 1
00520 Helsinki

Puh. 0207 864 11
www.wsp.com/FI-fi

Rekisteröity osoite

WSP Finland Oy
FI08754165
Pasilan asema-aukio 1
00520 Helsinki

Konsultin yhdyshenkilö

Risto Kiviluoma

Sisällys

1 Johdanto	5
2 Tuulisuusselvitys	8
2.1 Tarkasteltava suunnitelma	8
2.2 Analyysimenetelmä ja määrittelyt	12
2.2.1 Numeerinen virtauslaskenta	18
2.3 Tulokset	23
2.3.1 Kohdealueen perustuulisuus	23
2.3.2 Numeerinen virtauslaskenta etelätuulelle	24
2.3.3 Tuulisuus tarkastelupisteissä: nykytila	28
2.3.4 Tuulisuus tarkastelupisteissä: lopputilanne	35
3 Tuulisuustulosten ohjeellinen tulkinta	43
Lähdeluettelo	45
Liite 1: Tuulisuuden määrittämisen yleisperiaate	46
Liite 2: Tuulitunnelikokeet ja numeerinen virtauslaskenta	53
Liite 3: Maaston rosoisuuden huomioon ottaminen	56
Liite 4: Maaston rosoisuuden muutosten analyysi	60
Liite 5: Tuulisuuden numeroarvot, tilanne a)	62

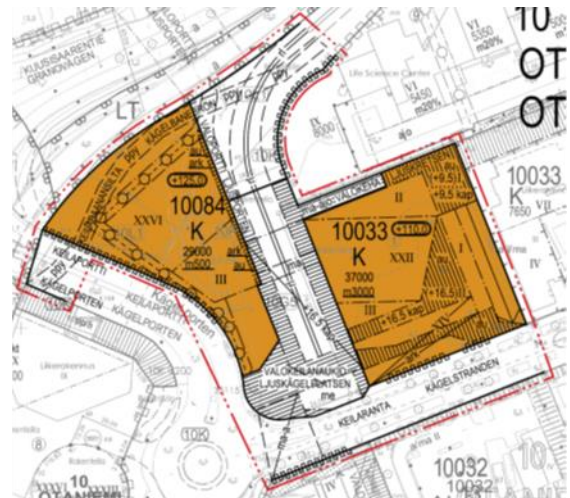
1 Johdanto

Tässä raportissa esitetään tuulisuusselvitys Espoo Keilaniemissä sijaitsevaan Valokeilanaukioon (kuva 1). Valokeilanaukio sijaitsee rakenteilla olevan Raide-Jokerin päätepysäkin kohdalla, ja siihen suunnitellaan urbaania toimistorakentamista osaksi Keilaniemen korkean rakentamisen kokonaisuutta. Kohde koostuu kahdesta korkeasta toimistorakennuksesta; korkeudet n. 110 m ja 95 m; ja hotellirakennuksesta, jonka korkeus on n. 55 m. Rakennusten väliin jää kansiterassi, jonka alle sijoituu Raide-Jokerin päätepysäkki. Kansiterassi on 8...10 m korkeudella tarkastelusuunasta riippuen.

Tuulisuus on mainittu Espoon korkean rakentamisen periaatteissa [1]. Sen mukaan yli 12-kerroksisen rakennuksen rakennuslupahakemuksen yhteydessä tulisi Espoossa esittää tuulitarkastelu, jonka perusteella voidaan arvioida vaikutukset lähialueen mikroilmastoon. Tämä raportti on tarkoitettu toimimaan asemakaava muutoksen käsittelyn ja suunnittelun tueksi, sekä esiselvitykseksi rakennuslupa-vaiheessa mahdollisesti tehtäviä tarkempia tuulisuusselvityksiä varten.

Tuulisuuden yleinen määrittäysperiaate ja tuulisuuteen liittyviä kriteerejä on käsitelty tarkemmin liitteissä 1 ja 2.

Konsultti on tutkinut Keilaniemen alueen tuulisuutta aikaisemmin kohteesta noin 300 m etäisyydelle suunnitellun hotellitornin kaavakäsittelyjen yhteydessä [2]. Tästä hotellitornista on myös tehty rakennesuunnittelun yhteydessä tuulitunnelikoepohjainen tuulisuusselvitys eri toimijan toimesta, käyttäen ei tuulisuuskriteerejä ja eri tuulilastoja. Molempien selvitysten mukaa tornien vierustan tuulisuussuunnitteluun on kiinnitettävä huomiota.



Kuva 1: Raportin kohde – Valokeilanaukion asemakaava muutos (kuva muokattu SARC Arkkitehti-toimiston aineistosta).

Kohdealueen ympäristö on kauttaaltaan toimisto- ja liiketiläkäytössä. Ympäristön toimistorakennusten alimmat kerrokset ja pihakannet ovat pääasiassa parkkipaikkoina, ja alueella ei ole tuulisuudelta suojaavaa puustoa. Kohdealueen lähistölle on suunniteltu korkeita asuinrakennuksia. Keilaniemen alue on laajalti suunnittelun ja rakentamisen kohteena, jonka johdosta tuulisuusselvitys on tehty kolmelle tilanteelle:

- a) nykytilanne ilman kohdetta, kohteen vieressä rakenteilla oleva toimistorakennus valmiina (kuva 2)
- b) nykytilanne kohde rakennuttuna
- c) lopputilanne Keilaniemi rakennettuna suunnitelmien mukaisena (kuva 3).

Koska kohteen ympäristössä ei ole tuulisuden suhteen erityisen herkkiä toimintoja, tuulisuusselvityksen kannalta keskeisiä kysymyksiä ovat

- kohteen omien alueiden viihtyisyys, esteettömyys ja turvallisuus
- viereisten kevyen liikenteen väylien ja kulkureittien viihtyisyys ja turvallisuus
- Raide-Jokerin päätepysäkin viihtyisyys
- vaikutukset viereisin uudisrakennuksen (Life Science Center) pääsisäänkäynnin tuulisuuteen.



Kuva 2: Kohdealue lounaan suunnasta valokuvattuna helmikuussa 2022 (kuva WSP).

Nykyisessä kansainvälisessä käytännössä tuulisuusselvityksiä tehdään pääosin neljällä eri tarkkuustasolla:

1. ”työpöytä tutkimuksella” (Desk Study) kokeneen tuulitekniikka-asiantuntija toimesta
2. työpöytä tutkimuksella täydennettynä numeerisella virtauslaskennalla (CFD)
3. tuulitunnelikokeilla
4. tuulitunnelikokeilla ja numeerisella virtauslaskennalla rinnakkain.

Tarkkuustasot eroavat toisistaan siinä, millä menetelmillä ja missä laajuudessa tarkastelupisteiden paikallinen tuulennopeus määritetään kohdealueen reunan korkeammalla vaikuttavasta referenssi-tuulennopeudesta (kertoimet k_m ja k_g , vrt. liite 1). Samoin eroja on siinä, miten tarkastelupisteen tuu-

lennopeuden hetkelliset huippuarvot, eli tuulen puuskanopeudet (kerroin k_g), pystytään määrittämään. Tällä hetkellä näiden määrittämien konsulttitasoisissa selvityksissä CFDn avulla ei ole laskenta-ajaltaan realistista.

Kertoimia k_m ja k_g voidaan myös käydä mittaamassa paikan päällä ja vastaavista kohteista.

Tuulitunnelikokeita ja CFD analyysyjä koskevat omat laatuksiteerinsä, joiden ymmärtämien ja huomiointiin ottaminen vaatii tekijältään riittävää tuulitekniikka-asiantuntemusta.

Tuulitilastojen käsittely on kaikkien tarkkuustasojen analyyseissä periaatteeltaan sama. Samoin kohdealueen referenssituulennopeuksien laskenta tuulen suunnan sektoreittain tehdään maaston rosioisuuden muutoksen analyysiin vakiintuneilla menetelmillä, joita on käsitelty tarkemmin liitteessä 3.

Tämän raportin tuulisuuselvityksessä käytetty tarkkuustaso on 2, ja se perustuu ensisijaisesti referenssikohteiden tuulitunnelikokeiden tulosten laskennalliseen käyttöön muunnoskerroimilla. Konsultti on kehittänyt menetelmän alun perin [3] yhteydessä, ja soveltanut sitä n. 30 pääkaupunkiseudun kohteissa. Nämä toimivat viiteaineistona esitetystä tulosten ohjeellisesta tulkinnessa.



Kuva 3: Alueen rakentamisen suunniteltu lopputilanne (kuva muokattu SARC Arkkitehtitoimiston aineistosta).

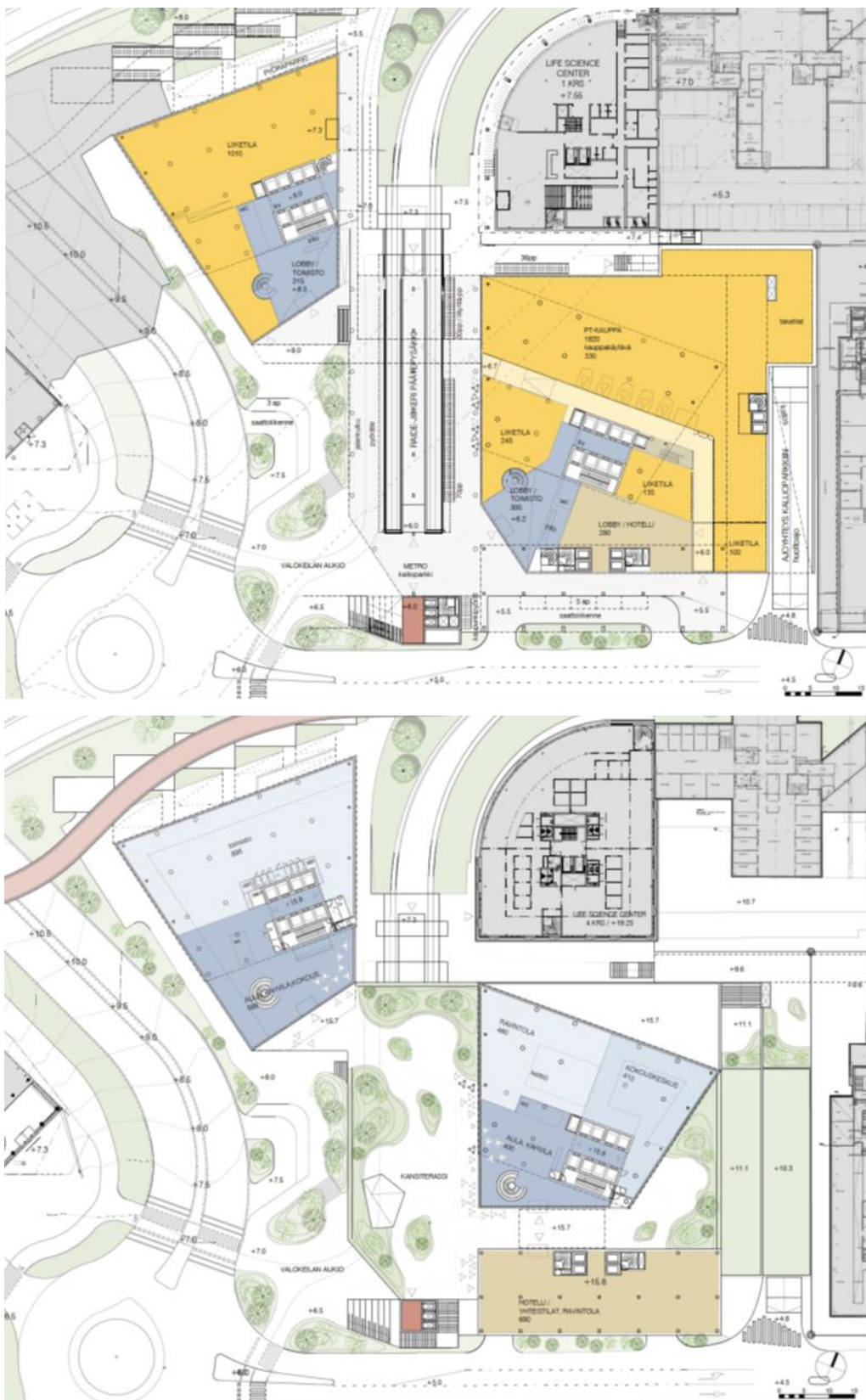
2 Tuulisuusselvitys

2.1 Tarkasteltava suunnitelma

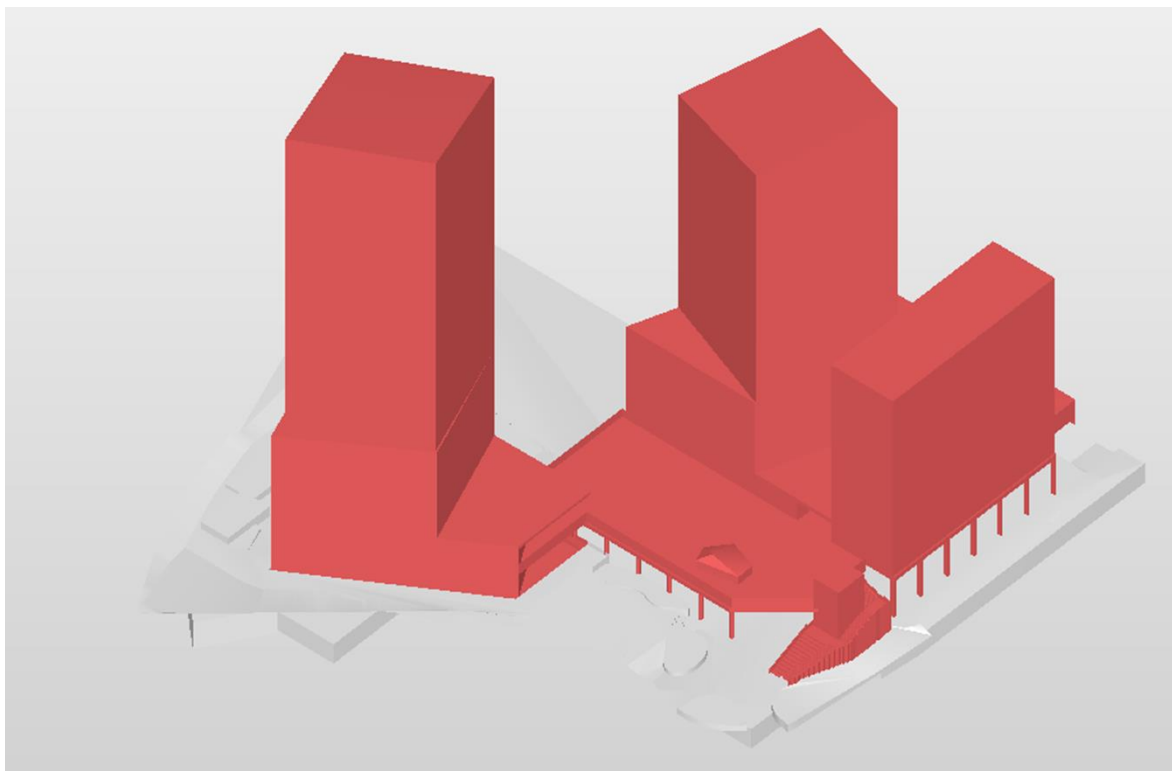
Kohteen viitesuunnitelmaa on havainnollistettu kuvissa 4...8. Tornien pohjan leveämpi sivumitta on n. 31 m. Lähteen [3] mukaisesti arvioituna kohteen korkeasta rakentamisesta johtuvia tuulisuusvaikutuksia esiintyy enimmillään n. 125 m etäisyydellä torneista. Vastaavalla alueella ei sijoitu nykyistä tai suunniteltua asuinrakentamista.



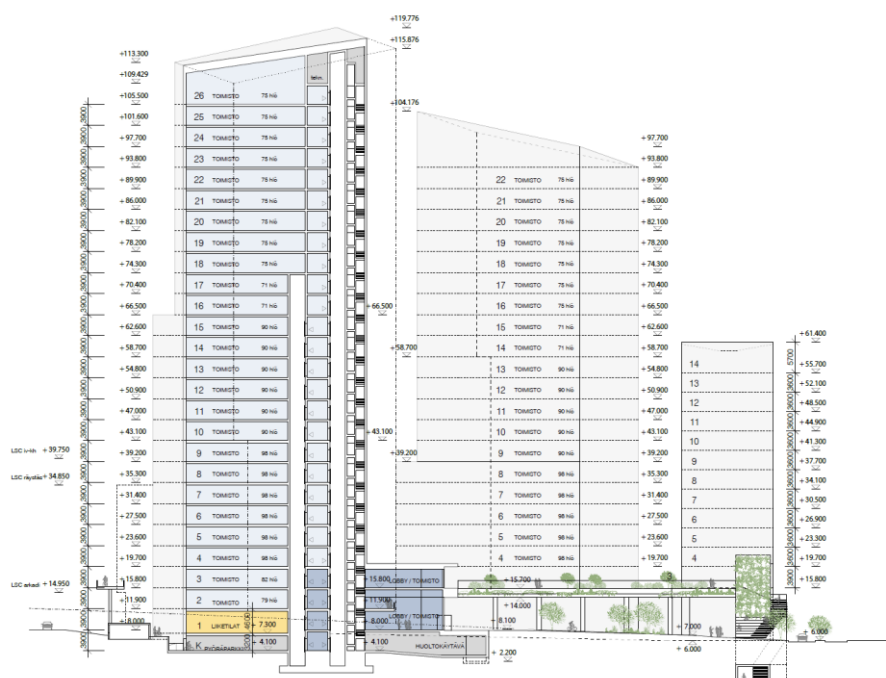
Kuva 4: Havainnekuvia kohteesta (kuvat Arkkitehtitoimisto SARC).



Kuva 5: 1. ja 3. kerrosten pohjapiirustukset (kuvat Arkkitehtitoimisto SARC).



Kuva 6: Rakennusten massoittelu (tulostettu Arkkitehtitoimisto Sarc tietomalliaineistosta).



Kuva 7: Leikkaus (kuva Arkkitehtitoimisto Sarc).

2.2 Analyysimenetelmä ja määrittelyt

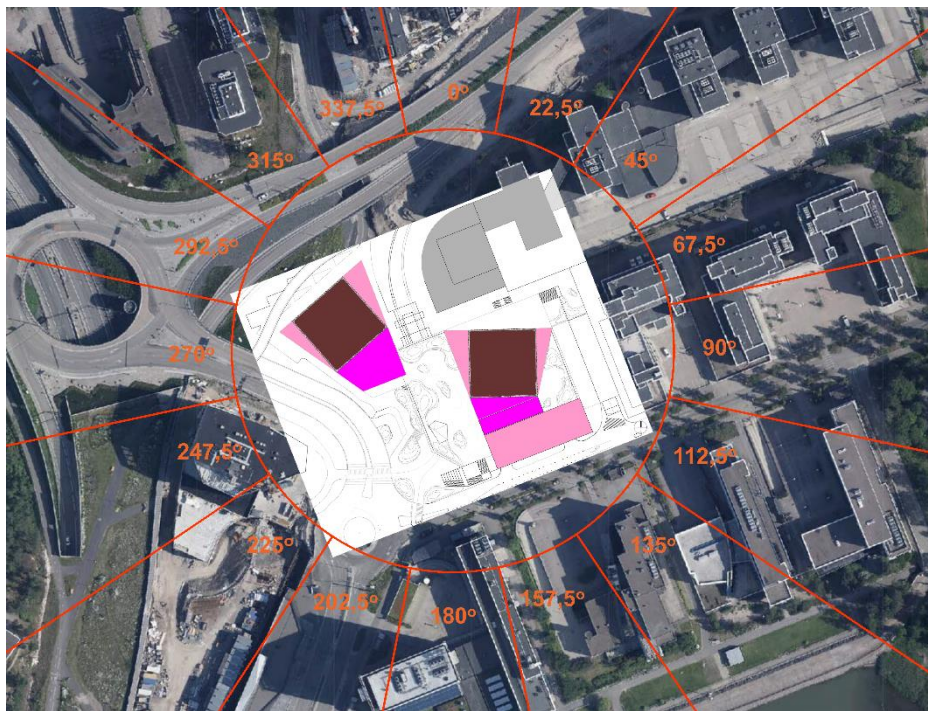
Tuulisuuden laskenta/arviointi on tehty [3] yhteydessä kehitetyllä menetelmällä, joka perustuu suunnitelmaerojen vaikutusten laskentaan, kun käytössä on viitekohteiden tuulitunnelikoetuloksia. Virtauksen kuristumista tornien välissä on analysoitu myös numeerisen virtauslaskennan avulla.

Menetelmässä määritetään lähtötiedoksi kohdealueen perustuulisuus. Se lasketaan rosoisuuden muutosten analyysin perusteella paikallisen sääaseman tuulitilastosta. Tällä analyysissä otetaan huomioon tuulitilaston mittauspisteen ja kohdealueen sijaintierosta johtuvat kysymykset sekä tuulitilaston mittauspisteen mahdolliset tuulivarjostukset.

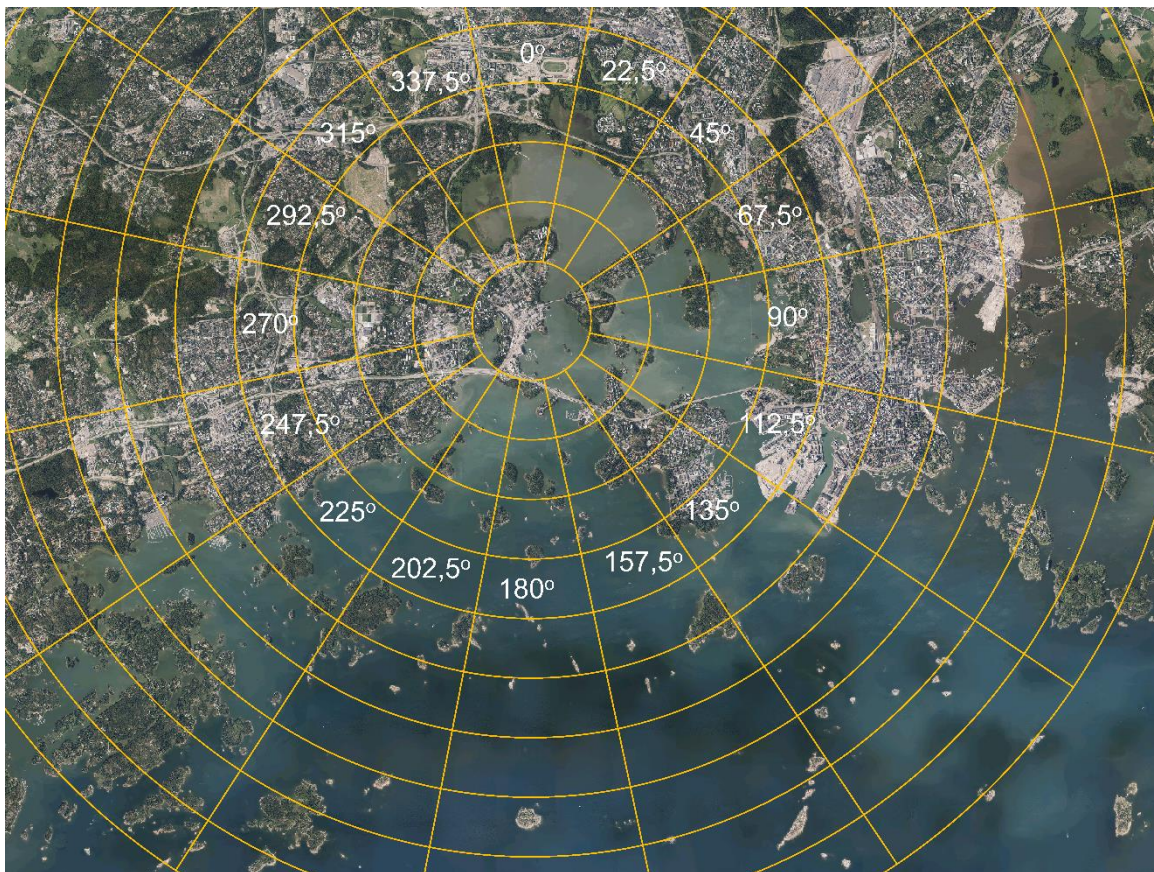
Käytetty tuulitilasto on Ilmatieteenlaitoksen Harmajan sääaseman tulokset 20 vuoden ajalta (vuodet 2001...2020).

Menetelmän tärkein etu ja ero numeerisella virtauslaskennalla tehtyihin selvityksiin nähden on, että sillä voidaan analysoida myös tarkastelupisteen tuulennopeuden hetkellisiä huippuarvoja eli tuulen puuskanopeuksia (vrt. liite 2). Näillä on tuulen tuvallisuus- ja esteettömyysvaikutusten tarkasteluissa yleisesti keskeinen merkitys.

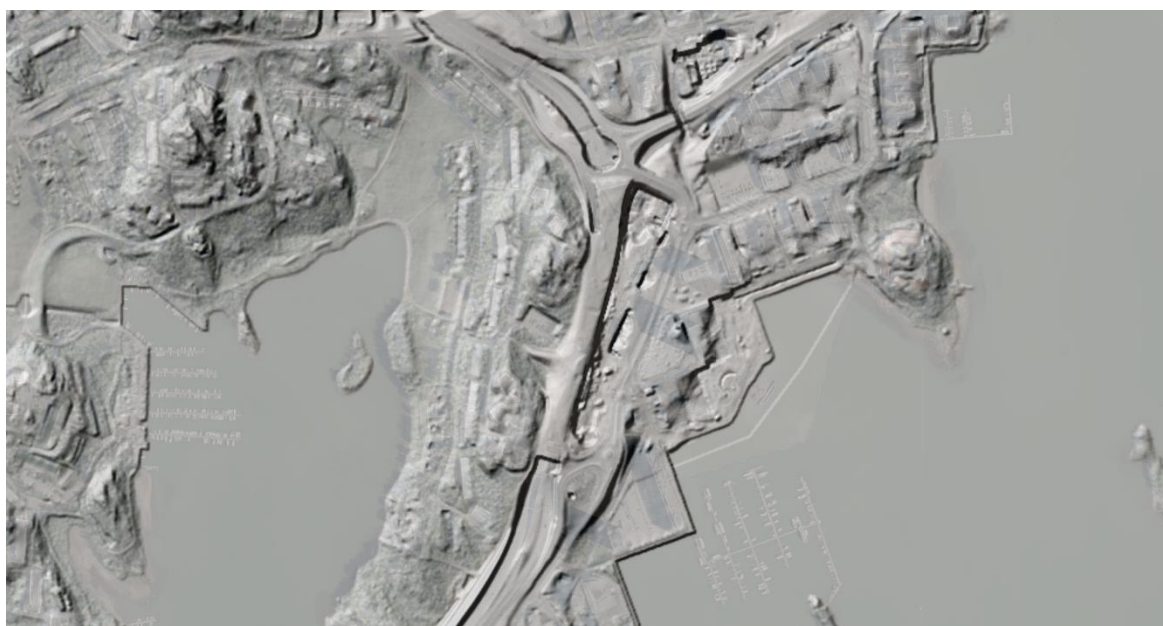
Tuulisuuden numeroarvojen määrittämistä varten tuulen suunnat on jaettu sektoreihin. Näiden suuntakulmat on esitetty kuvassa 9 (sektori 0° tarkoittaa pohjoistuulta, 90° itätuulta jne.). Maaston tyyppiä kohteen ympäristössä on havainnollistettu kuvassa 10. Maaston korkeuseroja on havainnollistettu kuvassa 11.



Kuva 9: Tuulensuuntien koordinaatisto (kuva muokattu Espoon kaupungin ja Arkkitehtitoimisto Sarc -aineistoista).



Kuva 10: Maaston tyyppi rosoisuuden muutosten analyysiin; ruudukon kehien väli = 1,0 km (kuva on muokattu Espoon kaupungin kartta-aineistosta).



Kuva 11: Maaston rinnevarjostus (kuva on muokattu Maanmittauslaitoksen kartta-aineistosta).

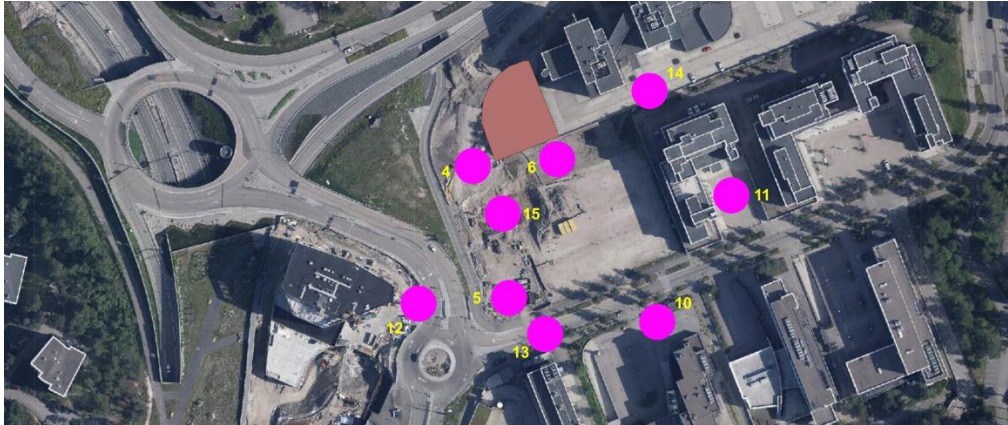
Tuulisuuden numeroarvojen laskentaan on valittu kuvan 12 mukaiset pisteet; tarkasteltavat tilanteet on eroteltu kuvan kirjaimella, ja ne ovat luvun 1 mukaisesti:

- a) nykytilanne ilman kohdetta, kohteen vieressä rakenteilla oleva toimistorakennus valmiina
- b) nykytilanne kohde rakennuttuna
- c) lopputilanne Keilaniemi rakennettuna suunnitelmien mukaisena, eli oletettu tilanne, kun nykytiedoilla vahvistetut kaavahankkeet ja Valokeilan hanke on rakennettu.

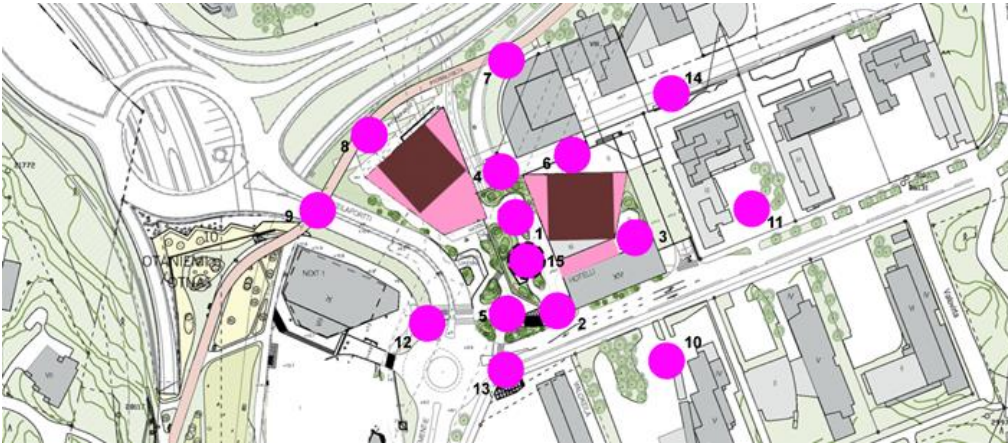
Tuulisuusselvityksessä on käytetty samoja tuulisuuskriteerejä (rajatuulennopeuksia katutasossa, toiminnallisia luokkia ja ylittävien tuulien esiintymisaikaa) kuin Konsultin aikaisemmissa tutkimuksissa. Nämä on esitetty taulukossa 1a ja liitteessä 1.

Taulukossa 1b on esitetty Lawson -kriteeristön mukainen luokittelu. Lawson -kriteeristön yhteydessä on huomattava, että sen numeroarvoille on esitetty useita eri versiota. Käytetty versio on Isossa-Britanniassa tällä hetkellä laajasti sovellettu *LDDC* [4].

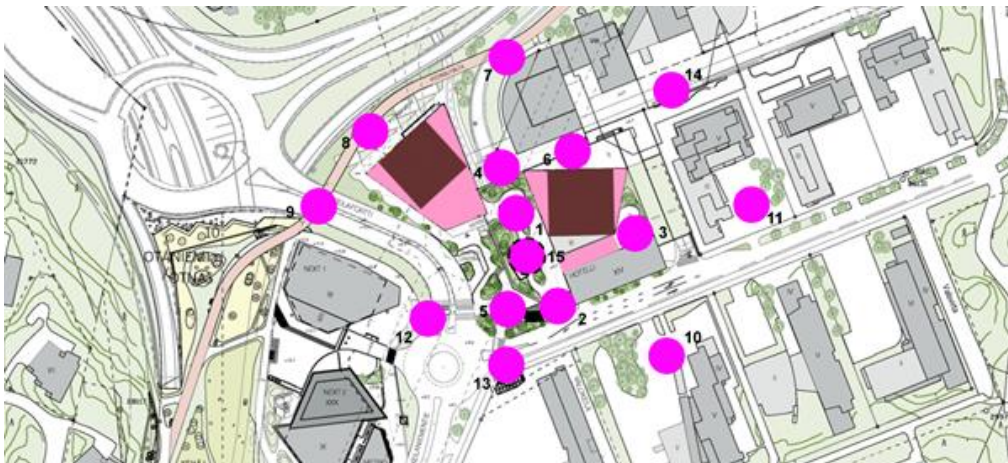
a)



b)



c)



Kuva 12: Tuulisuuden tarkastelupisteet a) nykytilanne ilman kohdetta b) nykytilanne kohde ja kevyen liikenteen silta rakennettuna ja c) suunniteltu lopputilanne. Tilanteiden b) ja c) erot tuulisuuden kannalta liittyvät kohteen ympäristön alueiden toteutukseen. Pisteet sijaitsevat samoissa kohdissa a), b) ja c) kuvissa. Piste 1 sijaitsee kansiterassin päällä ja piste 15 kansiterassin alapuolella. Kuvat muokattu Espoon kaupungin ja Arkkitehtitoimisto Sarc -aineistoista.

Taulukko 1a: Konsultin Suomen kohteissa käyttämät tuulisuuskriteerit katutasen tuulennopeuksille

Nimi	Kuvaus	Vaikutus
M tunnin keski- tuuli > 5 m/s	Tuulisuutta kuvaava yleinen kriteeri, joka soveltuu käytettäväksi, kun tuulen puuskaisuudella ei ole erityistä merkitystä. Kriteerillä voidaan myös kuvata uuden rakennuksen aiheuttamaa kokonaismuutosta tuulisuudessa, eli kuinka paljon tuulisuus muuttuu uuden rakennuksen johdosta. Jos tuulia esiintyy ≥ 5 % ajasta, on tuulisuudella oletettavasti merkitystä.	viihtyvyys
A puuskatuuli > 10 m/s (kesä- kausi)	Istuminen pitkiä aikoja; makaaminen; terassit ja kahvilat; ulkoil- mateatterit; uima-altaat. Toiminnot ovat epäviihtyisiä, kun tuulia esiintyy kerran kesäkau- della (huhtikuu-syyskuu) tai useammin, $\geq 2,2$ h * ($\geq 0,05$ % kesä- kauden tunneista).	viihtyvyys
B puuskatuuli > 13 m/s (kesä- kausi)	Seisominen/istuminen paikoillaan lyhyitä aikoja; puistot; kauppa- keskukset; rakennusten ulko-ovet. Toiminnot ovat epäviihtyisiä, kun tuulia esiintyy kerran tai use- ammin kesäkaudella (huhtikuu-syyskuu), $\geq 2,2$ h * ($\geq 0,05$ % ke- säkauden tunneista).	viihtyvyys
C puuskatuuli > 16 m/s (koko vuosi)	Kävely yleisesti; rakennuksiin sisälle meno ja niistä poistuminen. Toiminnot ovat epäviihtyisiä tai vaarallisia, kun tuulia esiintyy kerran vuodessa tai useammin $\geq 2,2$ h * ($\geq 0,025$ % ajasta).	esteettö- myys, turval- lisuus
D puuskatuuli > 23 m/s (koko vuosi)	Vaarallisen kova tuuli toiminnosta riippumatta. Tuulisuus on ei-hyväksyttävä, kun tuulia esiintyy kerran vuo- dessa tai useammin $\geq 2,2$ h * ($\geq 0,025$ % ajasta).	turvallisuus

* sellaisten keskituulien osuus ajasta, joissa tuulennopeus voi puuskissa ylittää raja-arvon. Taulukon tuulennopeuden raja-arvot on annettu katutasossa, eli 1,5...2,0 m korkeudessa tarkastelupisteen alla olevasta maanpinnasta lukien.

Taulukko 1b: Lawson (LDDC) kriteeristö. Kriteeristö määrittelee luokan, joihin tarkastelupiste kuuluu tuulisuuden kannalta

Nimi	Tunnusväri	Kuvaus	Vaikutus
GEM 4 m/s < 5 %	sininen	Istuminen pitkiä aikoja. Erityistä viihtyisyyttä edellyttävät toiminnot. Jos tuulia esiintyy < 5 % ajasta, tarkastelupiste kuuluu tähän luokkaan. Sinisellä värillä esitetyt pisteet soveltuvat pitkäaikaiseen paikoillaan oloon, joka Suomen sääoloissa voi tulla kyseeseen erityisesti kesäkaudella. Luokka vastaa tältä osin taulukon 1a A-kriteeriä ("A-kriteeri täytyy", eli tuulisuus on raja-arvoa pienempää).	viihtyvyys
GEM 6 m/s < 5 %	vaaleansininen	Seisominen tai istuminen lyhyitä aikoja. Esim. linja-autopysäkit ja rakennusten ulko-ovet Jos tuulia esiintyy < 5 % ajasta, tarkastelupiste kuuluu tähän luokkaan. Vaalean sinisellä värillä esitetyt alueet soveltuvat lyhytaikaiseen paikoillaan oloon, joka Suomen sääoloissa voi tulla kyseeseen erityisesti kesäkaudella. Luokka vastaa tältä osin taulukon 1a B-kriteeriä ("B-kriteeri täytyy", eli tuulisuus on raja-arvoa pienempää). Rakennusten ulko-ovien osalta koko vuoden tuulisuudella on merkitystä.	viihtyvyys
GEM 8 m/s < 5 %	vihreä	Kävely Jos tuulia esiintyy < 5 % ajasta, tarkastelupiste kuuluu tähän luokkaan. Luokka vastaa taulukon 1a C-kriteeriä ("C-kriteeri täytyy", eli tuulisuus on raja-arvoa pienempää)	viihtyvyys
GEM 10 m/s < 5 %	keltainen	Tavoitteelliseen kävelyyn, juoksuun ja pyöräilyyn soveltuva. Jos tuulia esiintyy < 5 % ajasta, tarkastelupiste kuuluu tähän luokkaan. Keltaisella värillä esitetyt pisteet soveltuvat tavoitteelliseen kävelyyn. Luokka vastaa tältä osin Taulukon 1a D kriteeriä ("D-kriteeri täytyy", eli tuulisuus on raja-arvoa pienempää)	viihtyvyys
GEM > 10 m/s > 5 %	punainen	ei hyväksyttävä, useimmat jalankulkijan toiminnot ovat epäviihtyisiä. Jos tuulia esiintyy > 5 % ajasta, tarkastelupiste kuuluu tähän luokkaan. Alueen tuulisuus on liiallista jalankulkijan toimintoja ajatellen.	viihtyvyys

GEM = määräävämpi jalankulkijan korkeudella (1,5 m) vaikuttavista tuulennopeuksista v_k ja $v_g/1,85$, missä v_k = tunnin keskinopeus ja v_g = 3 s. puuskanopeus.

Nimi	Tunnusväri	Kuvaus	Vaikutus
GEM > 15 m/s > 0.025 %	violetti	ei hyväksyttävä turvallisuuden kannalta yleisillä alueilla. Tuuli voi olla vaarallista toiminnoista ja henkilöstä riippuen. Jos tuulia esiintyy useammin kun kerran vuodessa tarkastelupiste kuuluu tähän luokkaan.	turvallisuus
GEM > 20 m/s > 0.025 %	violetti	ei hyväksyttävä turvallisuuden kannalta. Tuuli on vaarallisen voimakasta paikasta, toiminnosta ja henkilöstä riippumatta. Jos tuulia esiintyy useammin kun kerran vuodessa tarkastelupiste kuuluu tähän luokkaan.	turvallisuus

GEM = määräävämpi jalankulkijan korkeudella (1,5 m) vaikuttavista tuulennopeuksista v_k ja $v_g/1,85$, missä v_k = tunnin keskinopeus ja v_g = 3 s. puuskanopeus.

2.2.1 Numeerinen virtauslaskenta

Numeerinen virtauslaskenta on tehty kuvan 13 mukaisella verkotuksella, jossa laskentakoppien määrä on n. 8...14 miljoonaa, ja jossa laskenta-alueen koko on 1500 x 1000 x 300 m³. Alimman 4 m korkeudella on vähintään 8 elementtikerrosta koko laskenta-alueella.

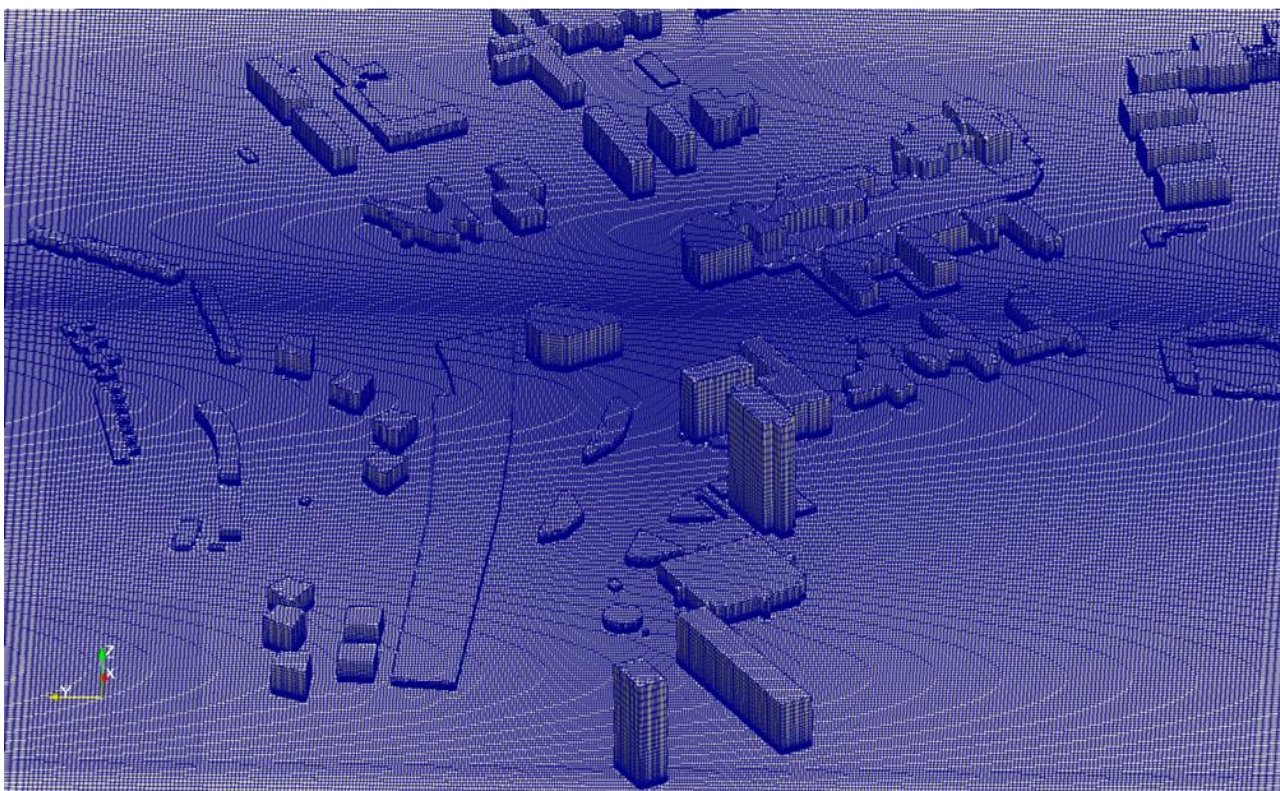
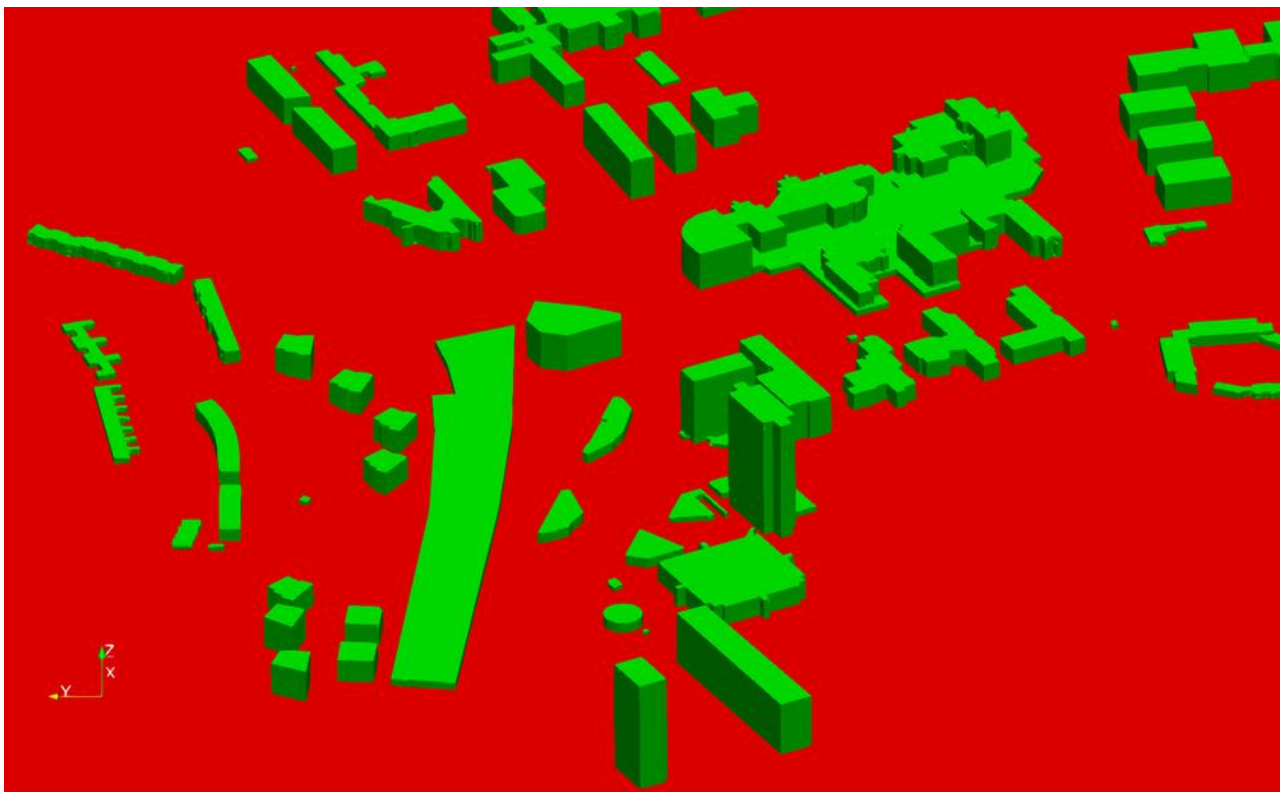
Tulovirtauksen tuuli ja turbulenssiparametrit on määritetty avoimen maaston mukaisiksi, vastaten maasto rososoisuuslukua $z_0 = 0,05$ m. Käytetty tuulen keskinopeus 10 m korkeudessa = 10,0 m/s ja 15 m referenssikorkeudella $v_{ref} = 10,8$ m/s.

Analyysin turbulenssimallina on käytetty *Realisable k-ε* epsilon –mallia kansainvälisten konsulttikäytäntöjen mukaisesti. Maata kuvaava pinta on mallinnettu karkealla seinämfunktiolla siten, että mallin rososisuusparametri on kalibroitu vastaamaan tilannetta, jossa tuulennopeus lähellä maanpintaa hie- man kasvaa, jos laskenta-alueessa ei ole lainkaan rakennuksia.

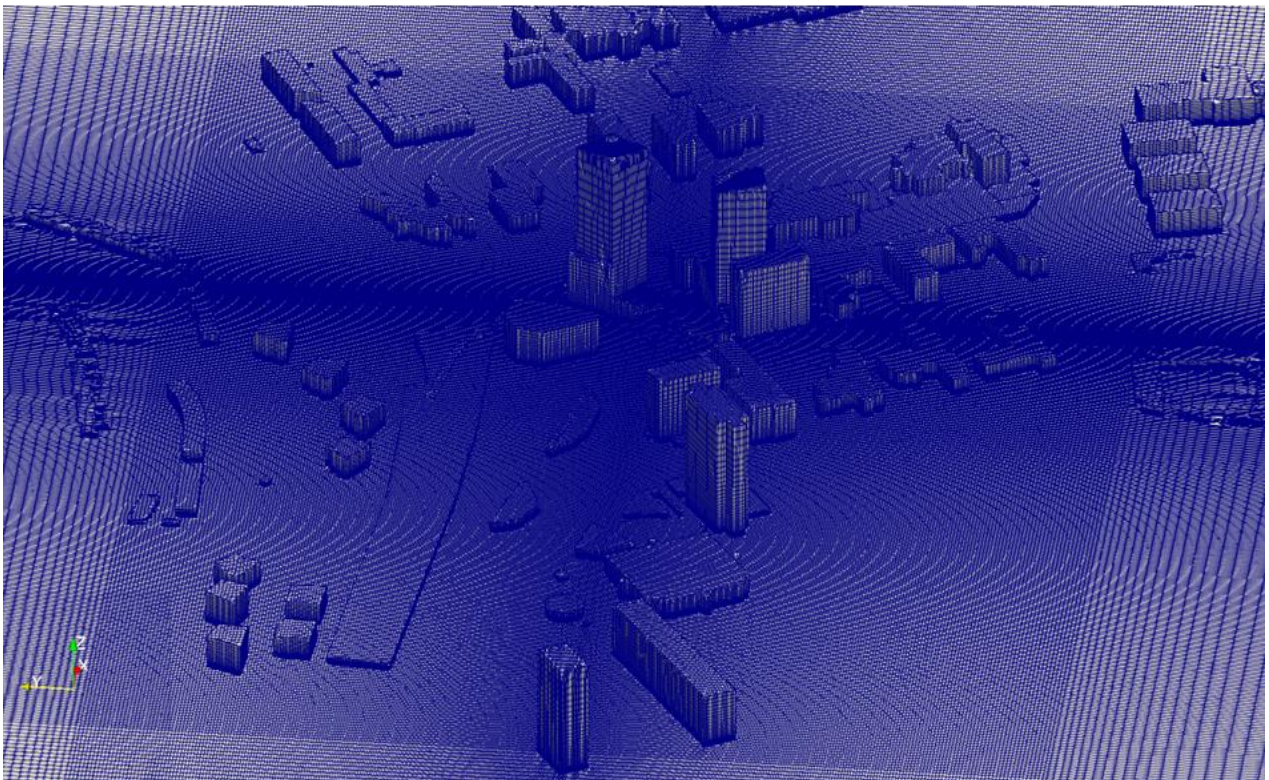
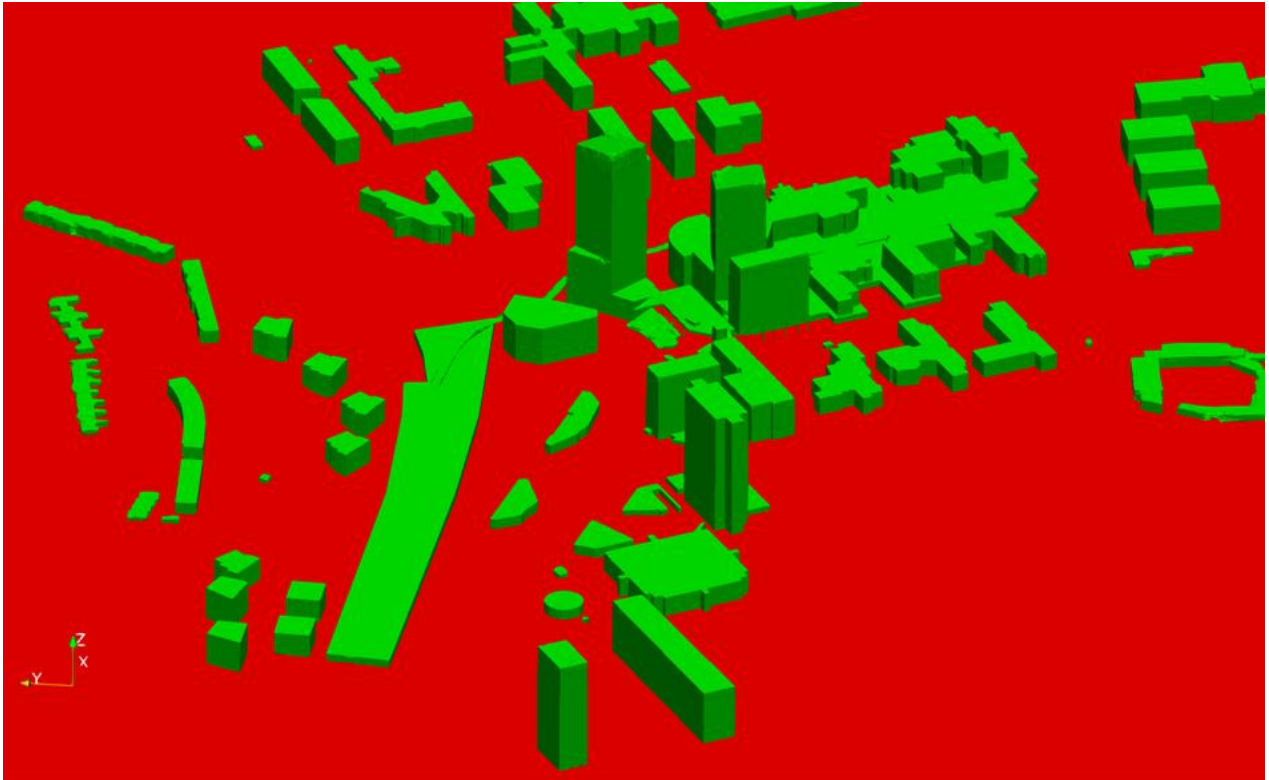
Laskenta on tehty OpenFOAM version 9 (www.openfoam.org) *simpleFoam* ratkaisijalla, jolla on ratkaistu koonpuristumattoman turbulentin virtauksen vakaan tilan ratkaisu, eli keskituulentuulennopeus RANS-menetelmällä (vrt. liite 2). Iteratiivinen ratkaisu on lopetettu, kun tulokset eivät enää oleellisesti muutu. Tämä on saavutettu noin 20'000 kierroksella ratkaistavien kuuden ympäristömuuttujien suhteellisten jännösvirheiden ollessa suuruusluokaltaan 10⁻⁴.

Laskentamallissa ei ole otettu huomioon pintojen yksityiskohtia, maanpinnan korkeusaroja tai puustoa.

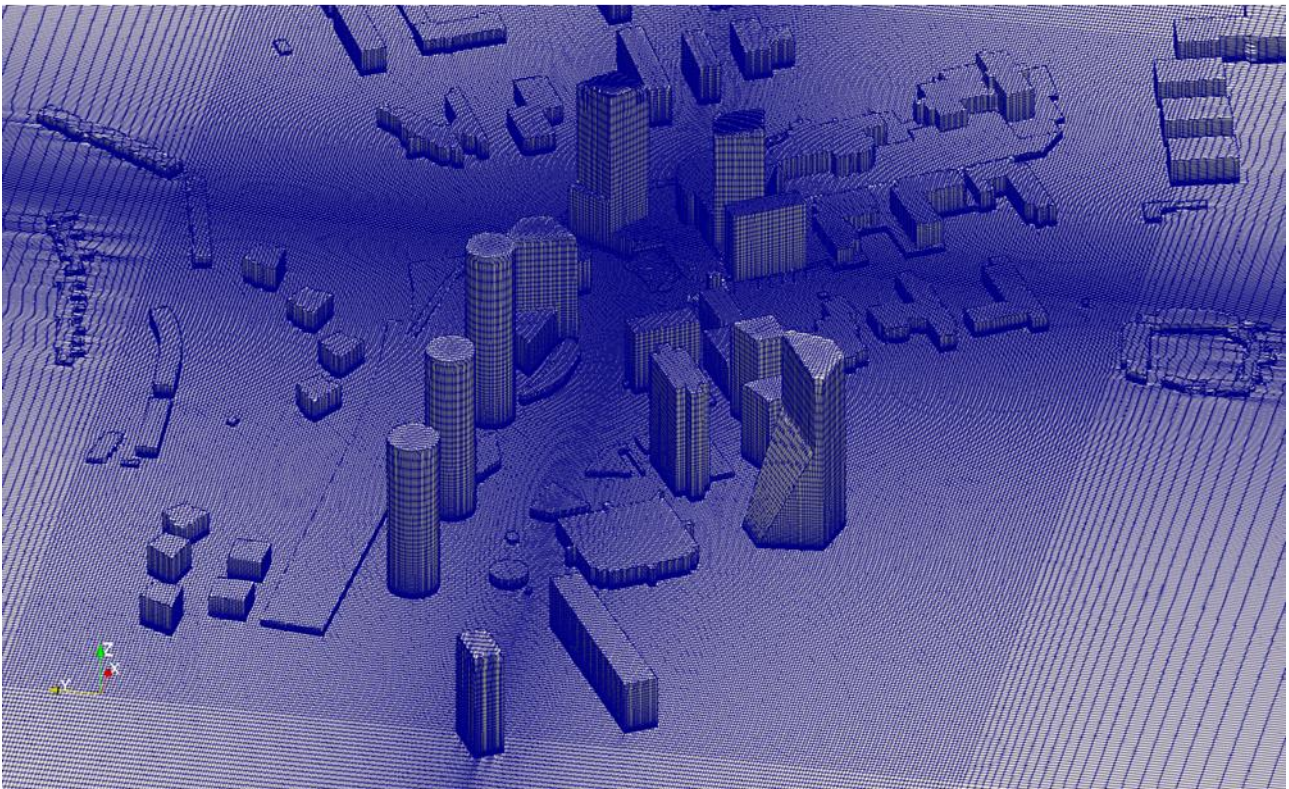
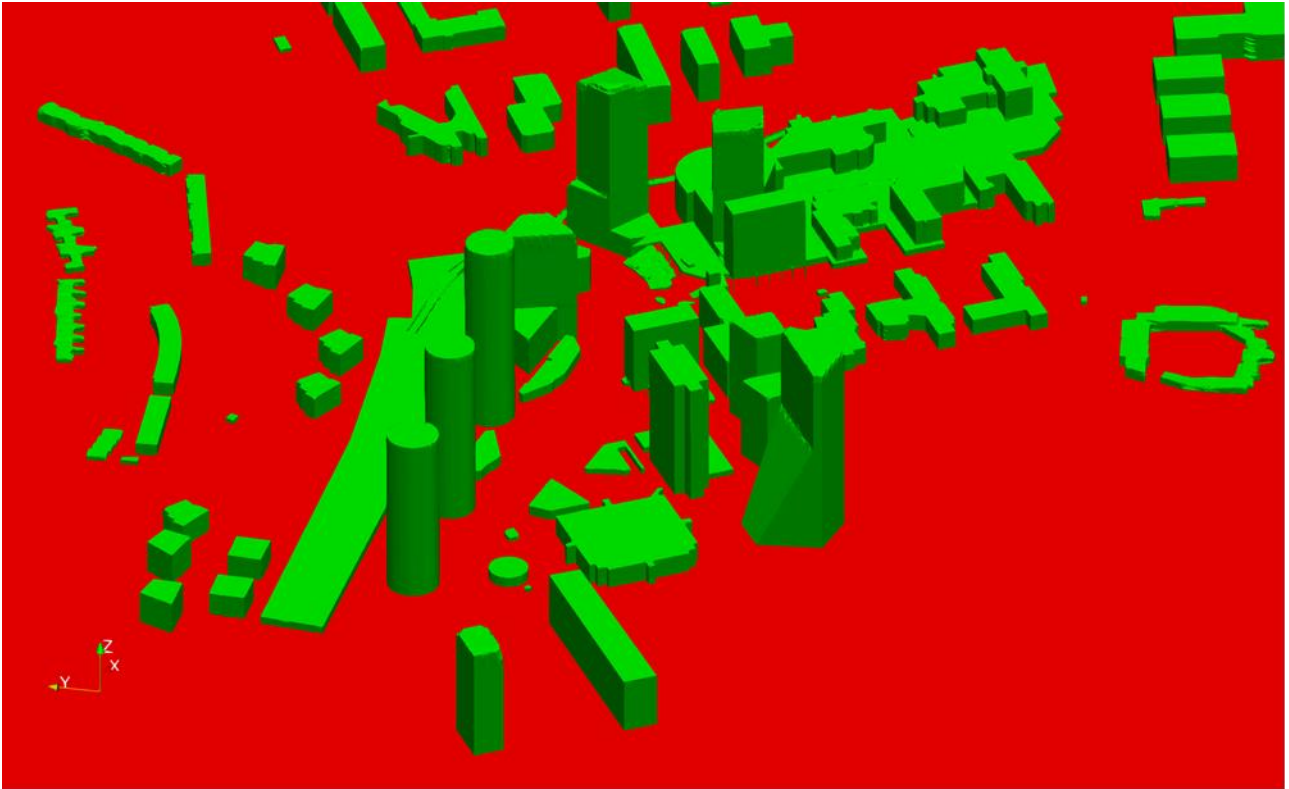
Mallinnuksen tarkkuustaso vastaa tavanomaista tuulitunnelikoetta, jossa puustoa ja pensaita ei ole erikseen mallinnettu.



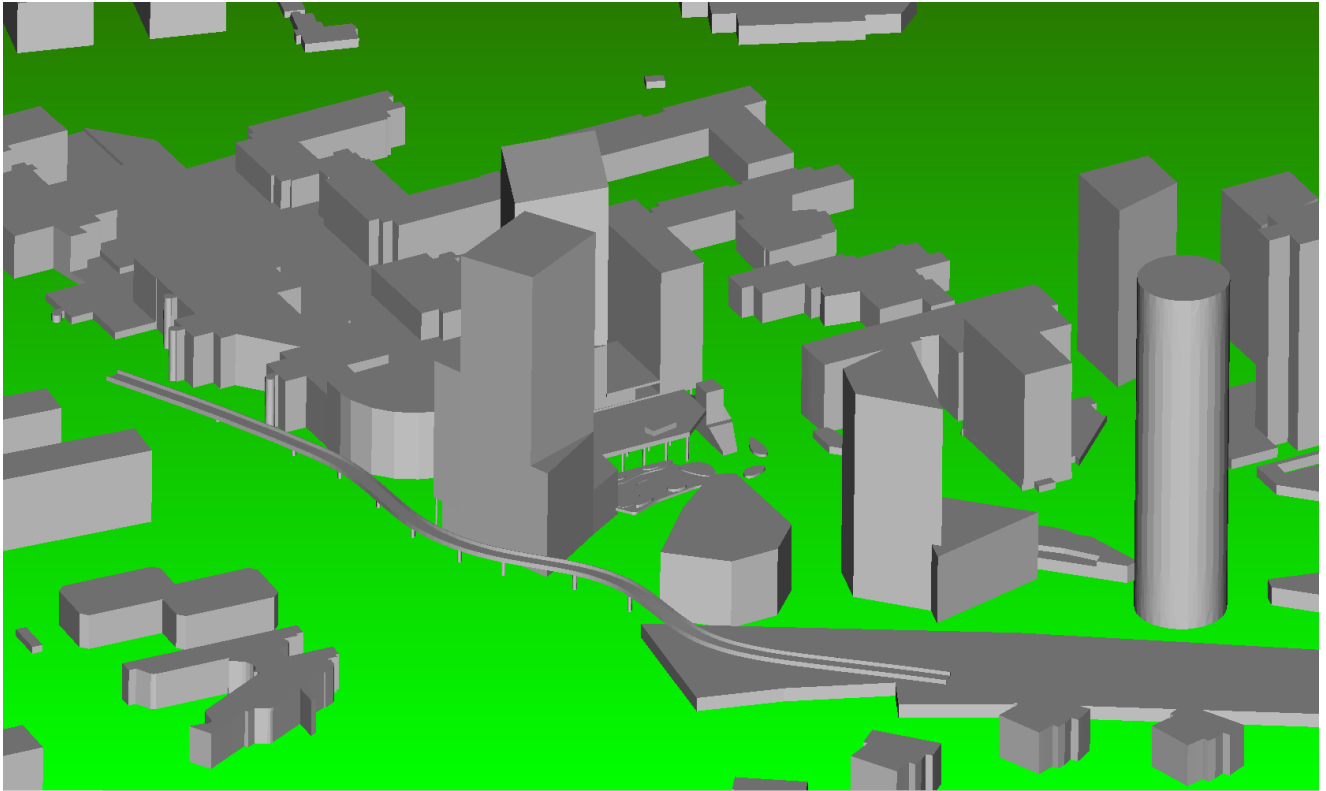
Kuva 13a: Numeerisessa virtauslaskennassa käytetty verkotus – tilanne a).



Kuva 13b: Numeerisessa virtauslaskennassa käytetty verkotus – tilanne b).



Kuva 13c: Numeerisessa virtauslaskennassa käytetty verkotus – tilanne c).



Kuva 13d: Verkotuksen perustaksi laadittu geometriamalli (tilanne c).

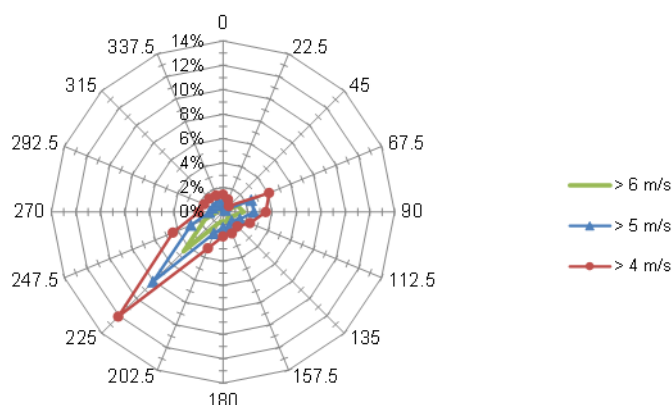
2.3 Tulokset

2.3.1 Kohdealueen perustuulisuus

Kohdealueen perustuulisuus on määritetty 15 m korkeudessa (tämä korkeus vastaa tuulitilaston mitauspisteen korkeutta). Tuloksia on havainnollistettu kuvissa 14 ja 15. Tulosten perustana oleva maaston rosoisuuden muutosten analyysi on esitetty liitteessä 4.

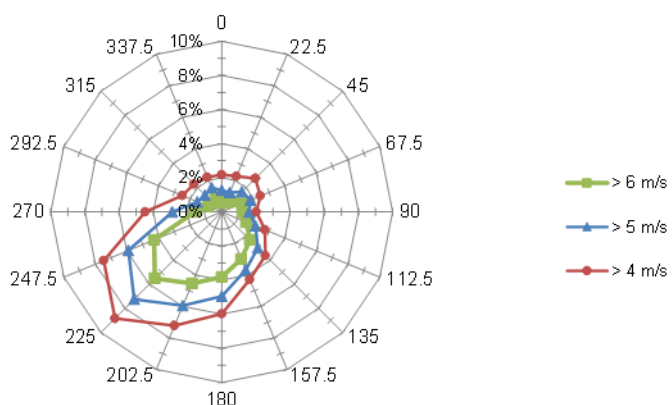
Kesäkausi: keskituulien esiintyminen kohdealueessa (% ajasta; 15 m korkeus)

kesäkausi = huhtikuu...syyskuu

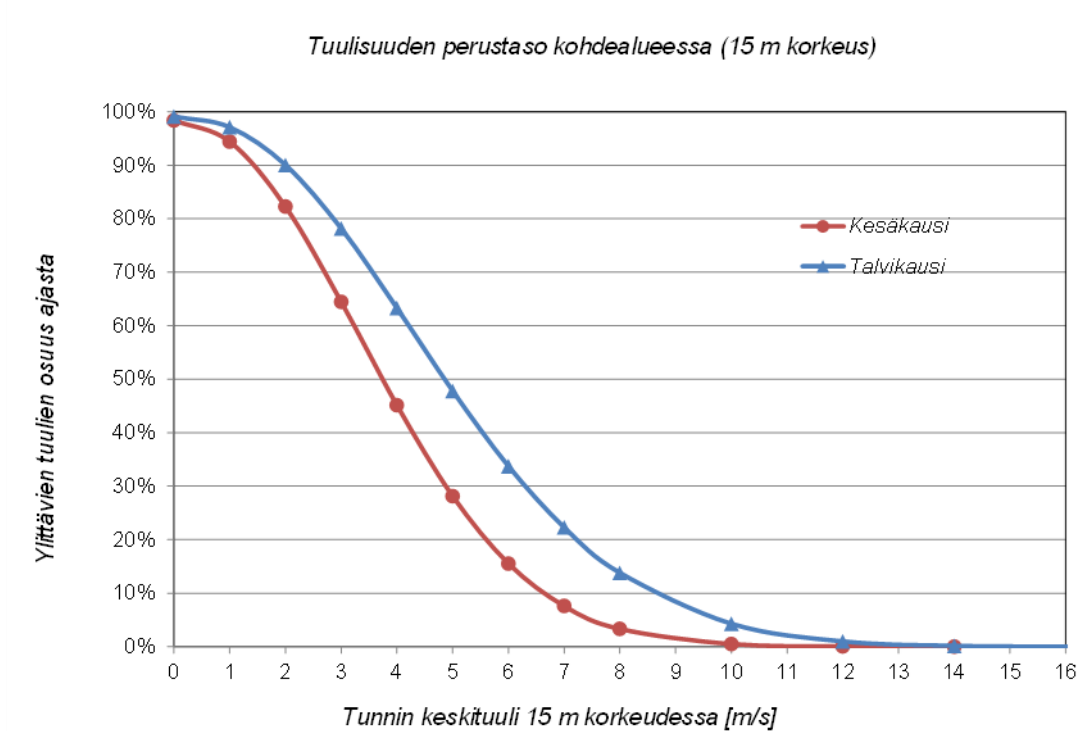


Talvikausi: keskituulien esiintyminen (% ajasta; 15 m korkeus)

talvikausi = lokakuu...maaliskuu



Kuva 14: Perustuulisuus kohdealueessa tuulen suunnittain (tuulennopeudet ovat tunnin keskituulia 15 m korkeudessa).



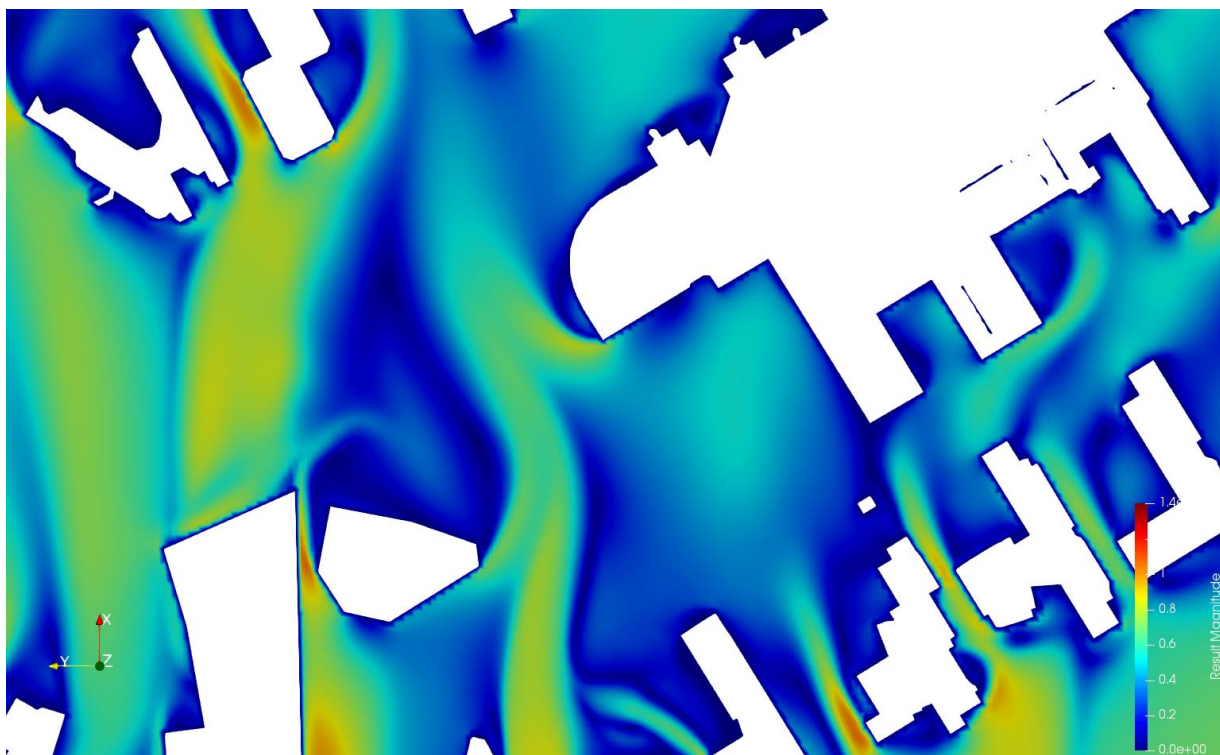
Kuva 15: Perustuulisuus kohdealueessa summana kaikista tuulensuunnista.

3.3.2 Numeerinen virtauslaskenta etelätuulelle

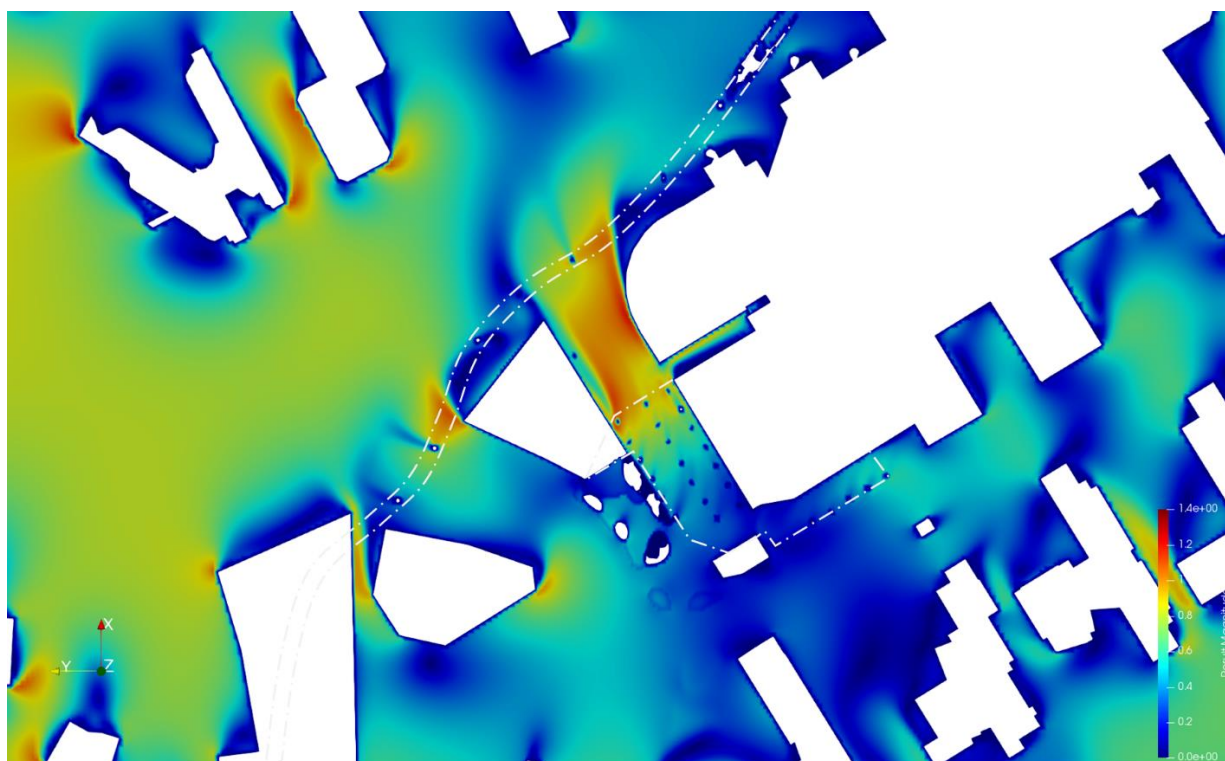
Virtauslaskennan tulokset on esitetty:

- kuvassa 16 vastaten 1,5 m korkeudetta (jalankulkijan taso maan pinnan suhteen)
- kuvassa 17 vastaten 10,5 m korkeutta (jalankulkijan taso terassikannalla).

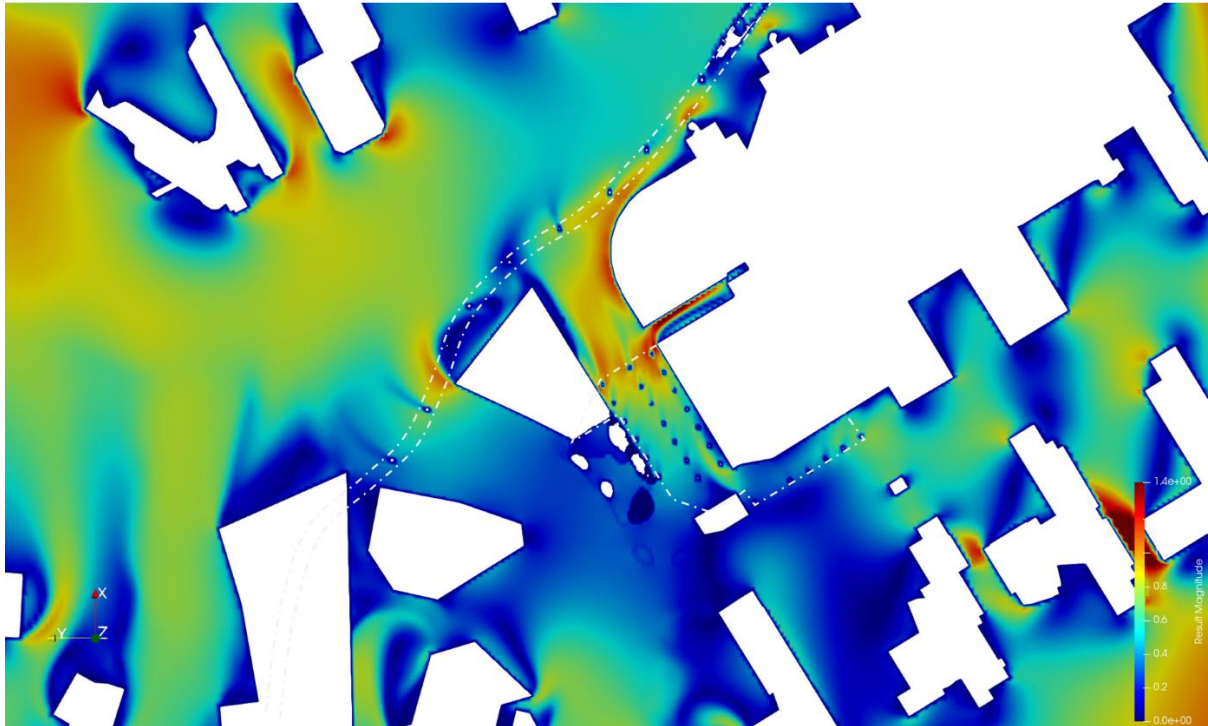
Tulokset koskevat tuulen suuntakulmaa 190°, jossa virtaukset ohjautuvat kohteeseen hieman epäedullisemmin, kuin sektorin keskellä (180°).



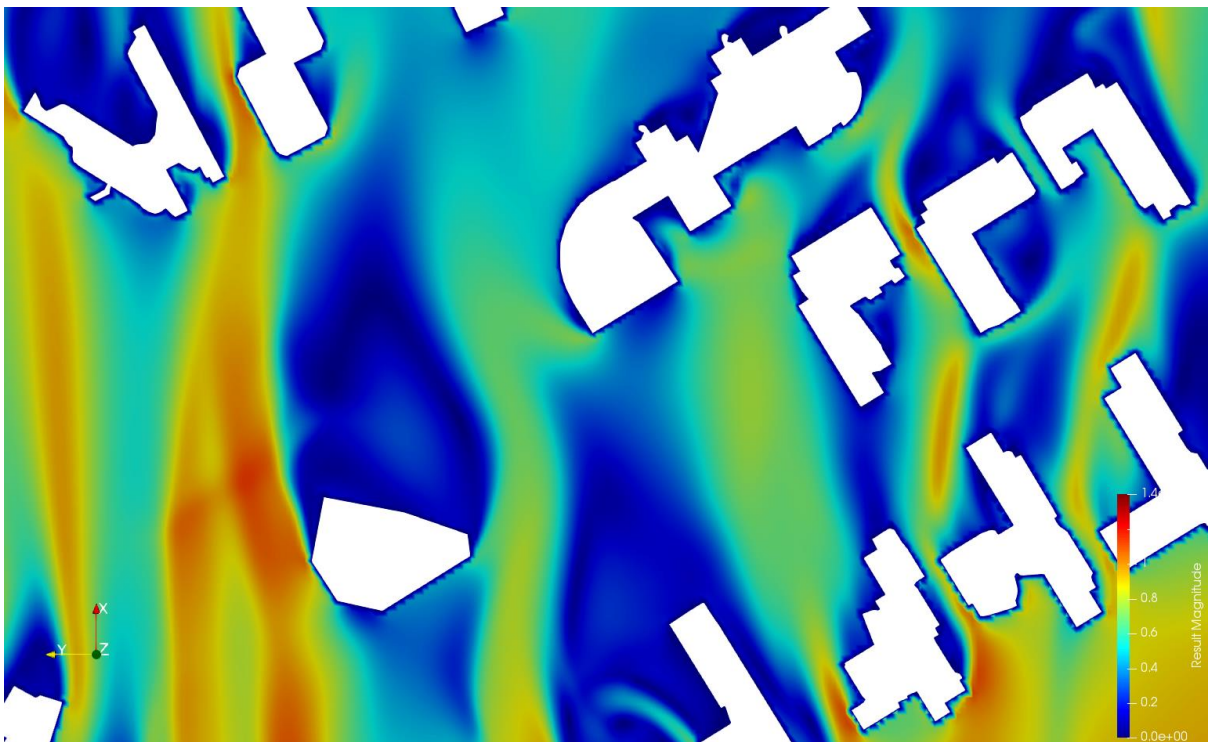
Kuva 16a: Tilanne a): suhteellinen tuulen keskinopeus k_m 1,5 m korkeudella.



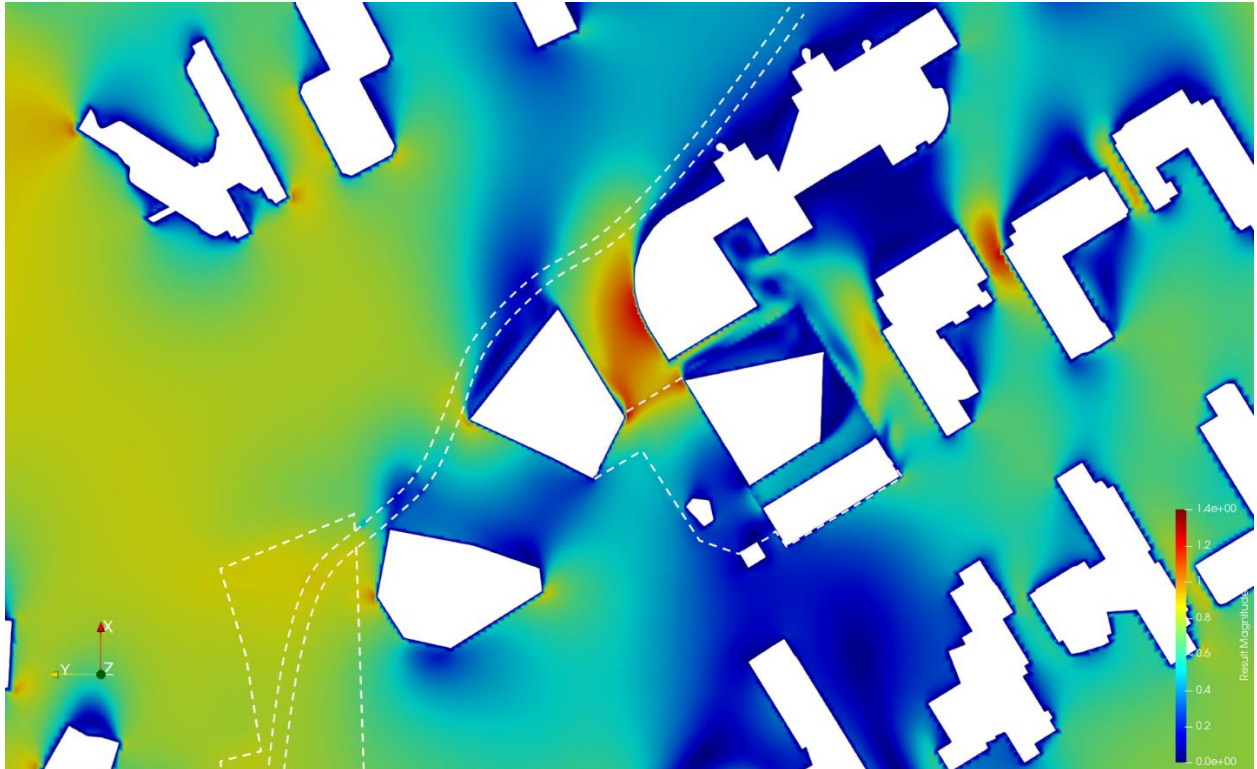
Kuva 16b: Tilanne b): suhteellinen tuulen keskinopeus k_m 1,5 m korkeudella.



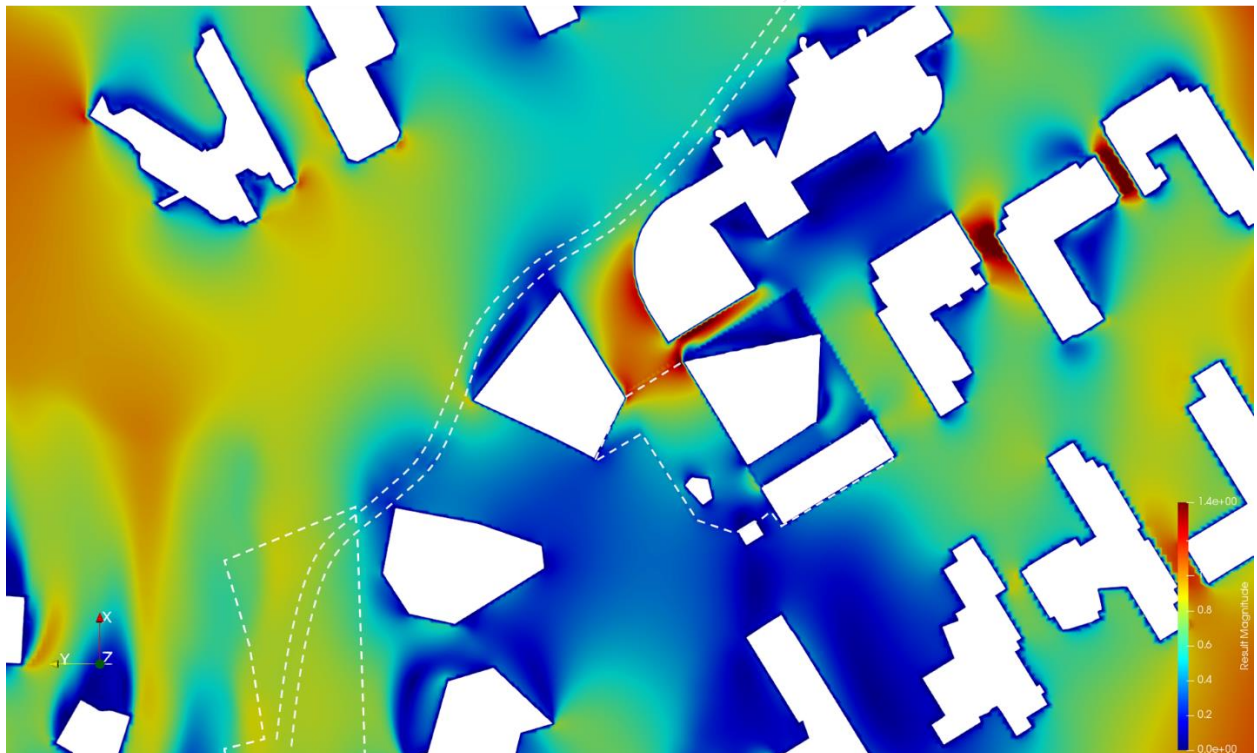
Kuva 16c: Tilanne c): suhteellinen tuulen keskinopeus k_m 1,5 m korkeudella.



Kuva 17a: Tilanne a): suhteellinen tuulen keskinopeus k_m kansiterassin korkeudella (10,5 m).



Kuva 17b: Tilanne b): suhteellinen tuulen keskinopeus k_m kansiterassin korkeudella (10,5 m).

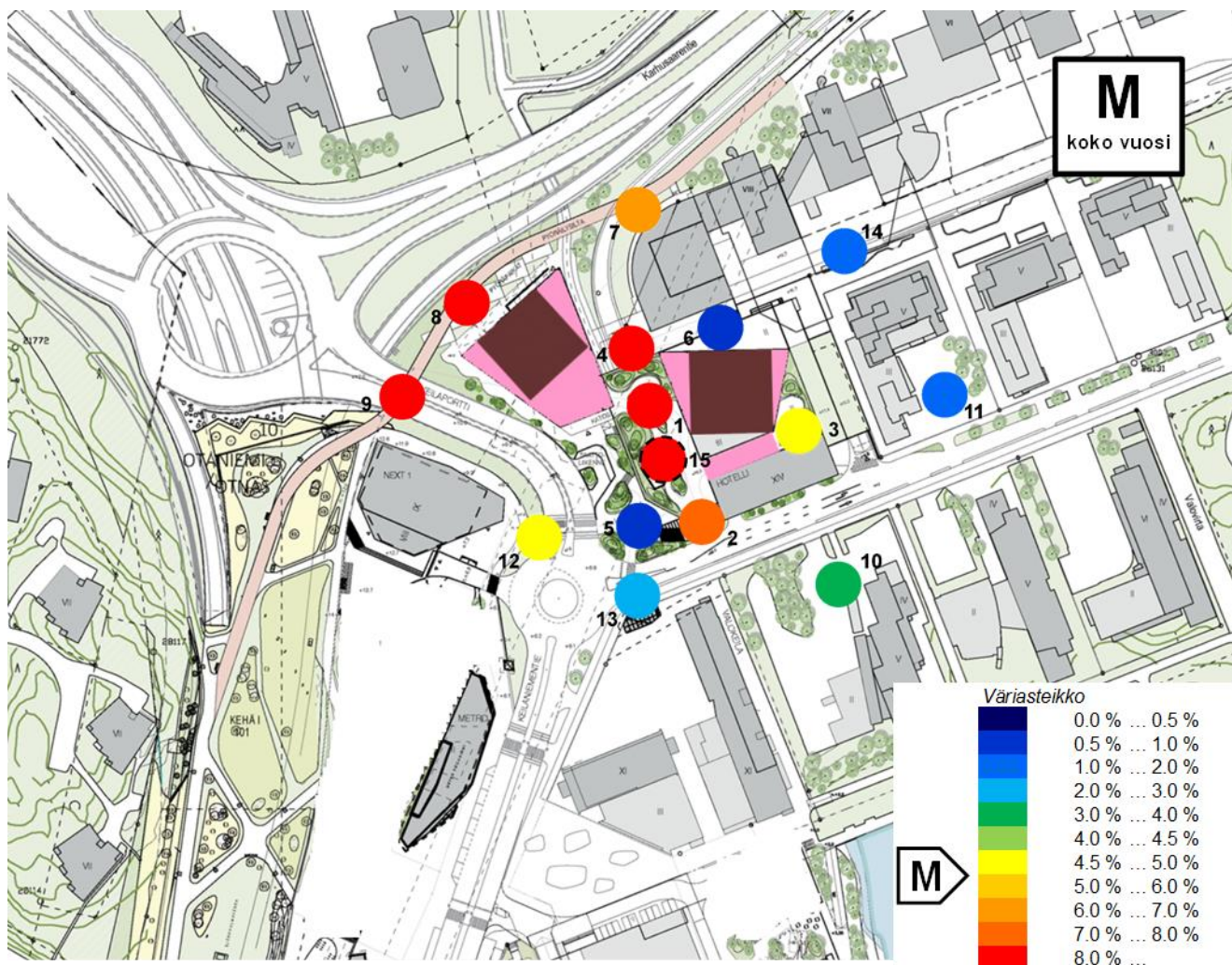


Kuva 17c: Tilanne c): suhteellinen tuulen keskinopeus k_m kansiterassin korkeudella (10,5 m).

2.3.3 Tuulisuus tarkastelupisteissä: nykytila

Tilannetta a) vastaavat tuulisuuden numeroarvot on esitetty liitteessä 5.

Tilannetta b) vastaavat tuulisuuden numeroarvot on esitetty kuvissa 18...22 (Konsultin kriteerit) ja 23...24 (Lawson LDDC -kriteerit).

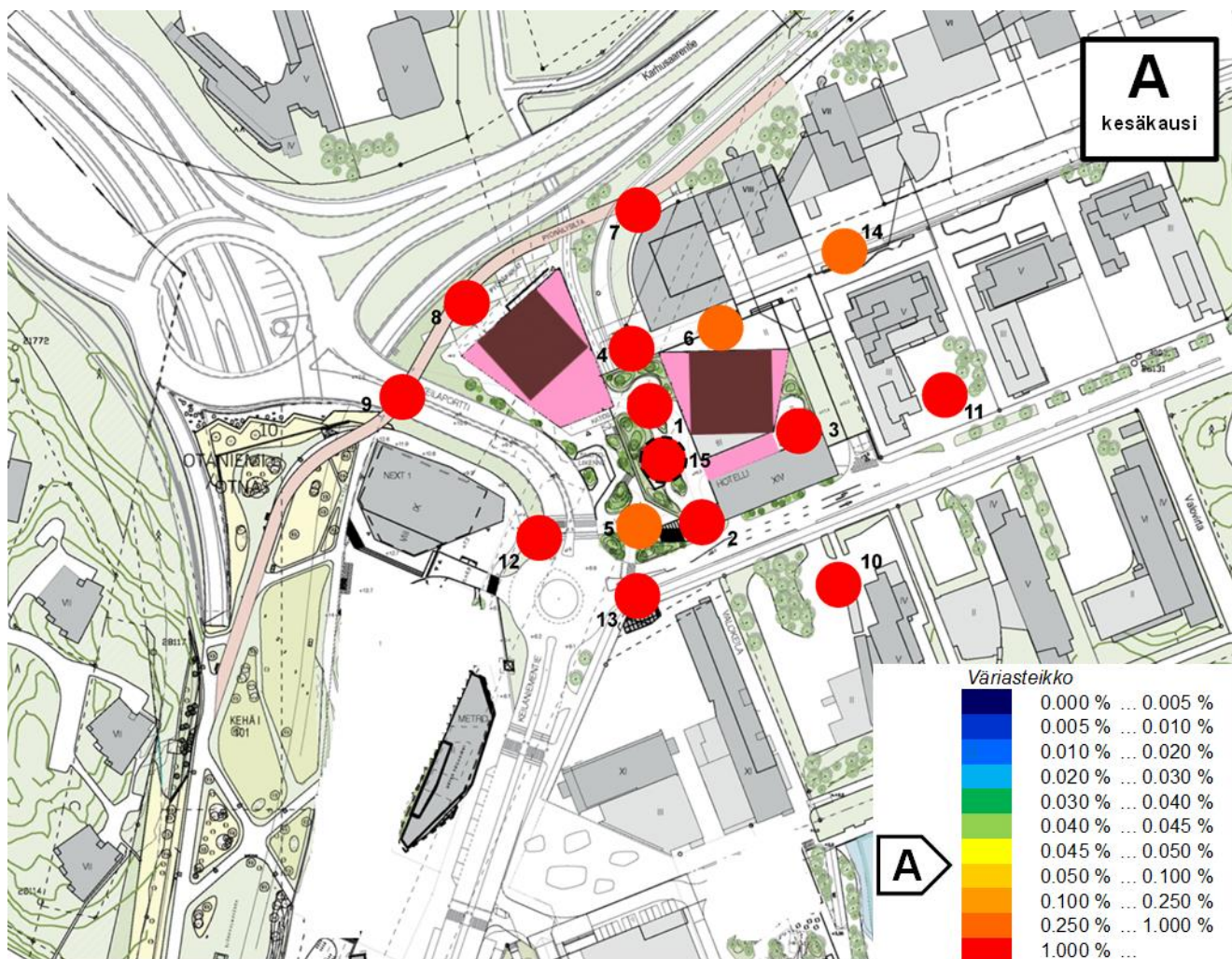


Tunnin keskituuli > 5 m/s

Piste	M Koko vuosi					Kesäkausi			
	% ajasta	h/vuosi	h/kk	h/vk		% ajasta*	h	h/kk	h/vk
1	15.7 %	1379	115	27		8.4 %	367.6	61.3	14.1
2	7.8 %	686	57	13		3.1 %	136.0	22.7	5.2
3	4.8 %	419	35	8		2.1 %	89.8	15.0	3.5
4	14.9 %	1306	109	25		9.5 %	415.5	69.2	16.0
5	0.6 %	50	4	1		0.1 %	5.6	0.9	0.2
6	0.8 %	68	6	1		0.1 %	6.3	1.0	0.2
7	6.7 %	586	49	11		2.3 %	101.0	16.8	3.9
8	8.6 %	752	63	14		2.9 %	128.7	21.5	5.0
9	8.9 %	781	65	15		3.1 %	135.6	22.6	5.2
10	3.6 %	318	27	6		1.3 %	57.6	9.6	2.2
11	1.1 %	101	8	2		0.3 %	13.2	2.2	0.5
12	5.0 %	434	36	8		1.5 %	66.0	11.0	2.5
13	2.6 %	226	19	4		0.5 %	22.5	3.7	0.9
14	1.2 %	105	9	2		0.4 %	19.7	3.3	0.8
15	11.1 %	973	81	19		6.0 %	264.7	44.1	10.2

*kesäkauden tunnit = 100 %

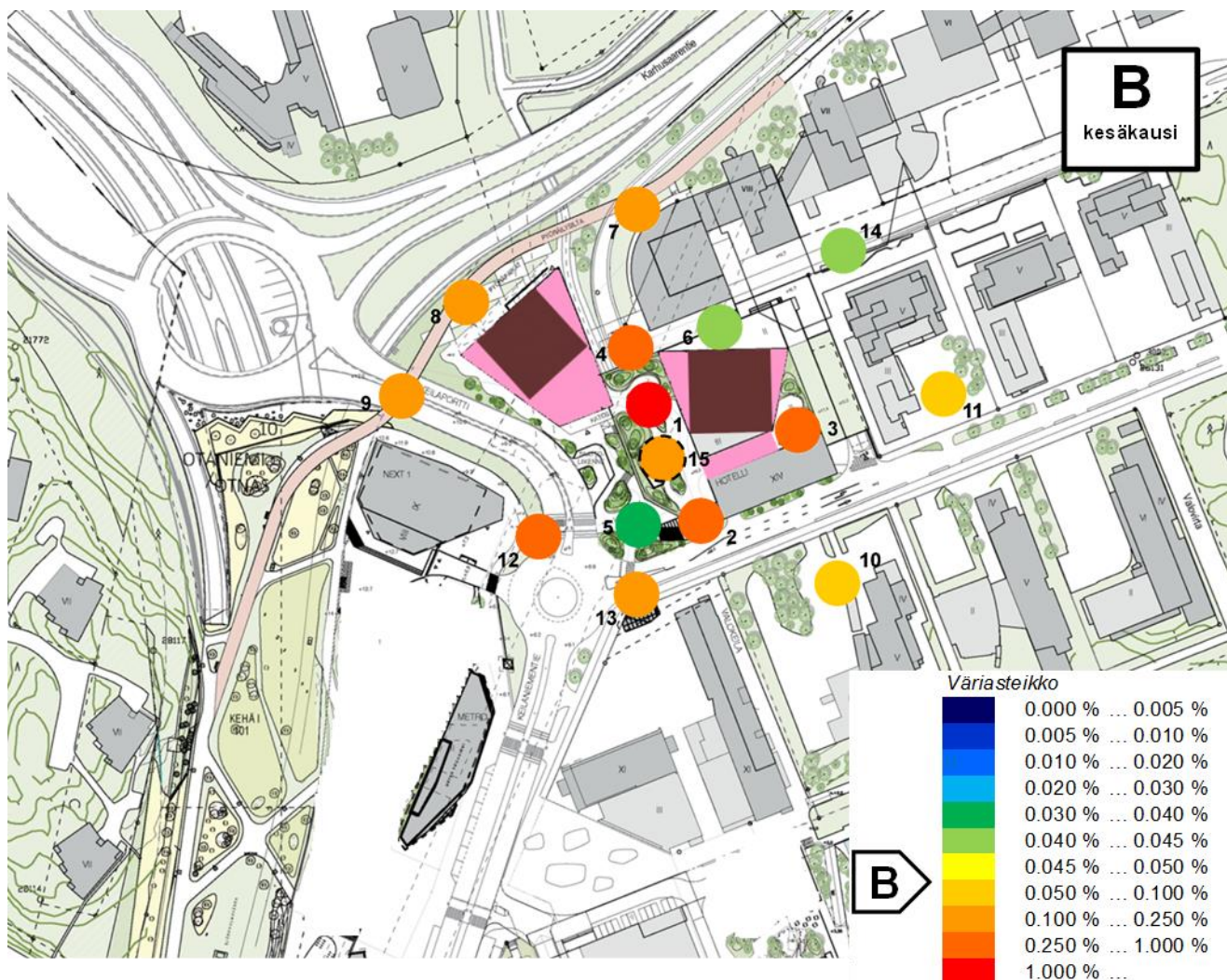
Kuva 18: Nykytilanne: tunnin keskituulien (> 5 m/s) esiintyminen tarkastelupisteissä (M-kriteeri).



Puuskatuuli > 10 m/s					A Kesäkausi			
Piste	% ajasta	h/vuosi	h/kk	h/vk	% ajasta*	h	h/kk	h/vk
1	15.4 %	1348	112.3	25.9	8.34 %	365.3	60.9	14.1
2	9.3 %	811	67.6	15.6	4.13 %	180.7	30.1	7.0
3	6.5 %	566	47.1	10.9	2.89 %	126.8	21.1	4.9
4	8.8 %	775	64.5	14.9	4.63 %	202.7	33.8	7.8
5	2.6 %	229	19.1	4.4	0.68 %	29.9	5.0	1.2
6	2.6 %	231	19.3	4.4	0.69 %	30.1	5.0	1.2
7	5.8 %	506	42.1	9.7	2.07 %	90.5	15.1	3.5
8	6.8 %	595	49.6	11.4	2.33 %	102.0	17.0	3.9
9	7.3 %	640	53.3	12.3	2.62 %	114.9	19.1	4.4
10	3.6 %	315	26.2	6.1	1.28 %	56.2	9.4	2.2
11	3.4 %	297	24.7	5.7	1.18 %	51.6	8.6	2.0
12	6.4 %	560	46.6	10.8	2.52 %	110.6	18.4	4.3
13	3.8 %	330	27.5	6.4	1.24 %	54.3	9.1	2.1
14	1.3 %	115	9.6	2.2	0.50 %	21.8	3.6	0.8
15	5.8 %	504	42.0	9.7	2.33 %	102.1	17.0	3.9

* kesäkauden tunnit = 100 %

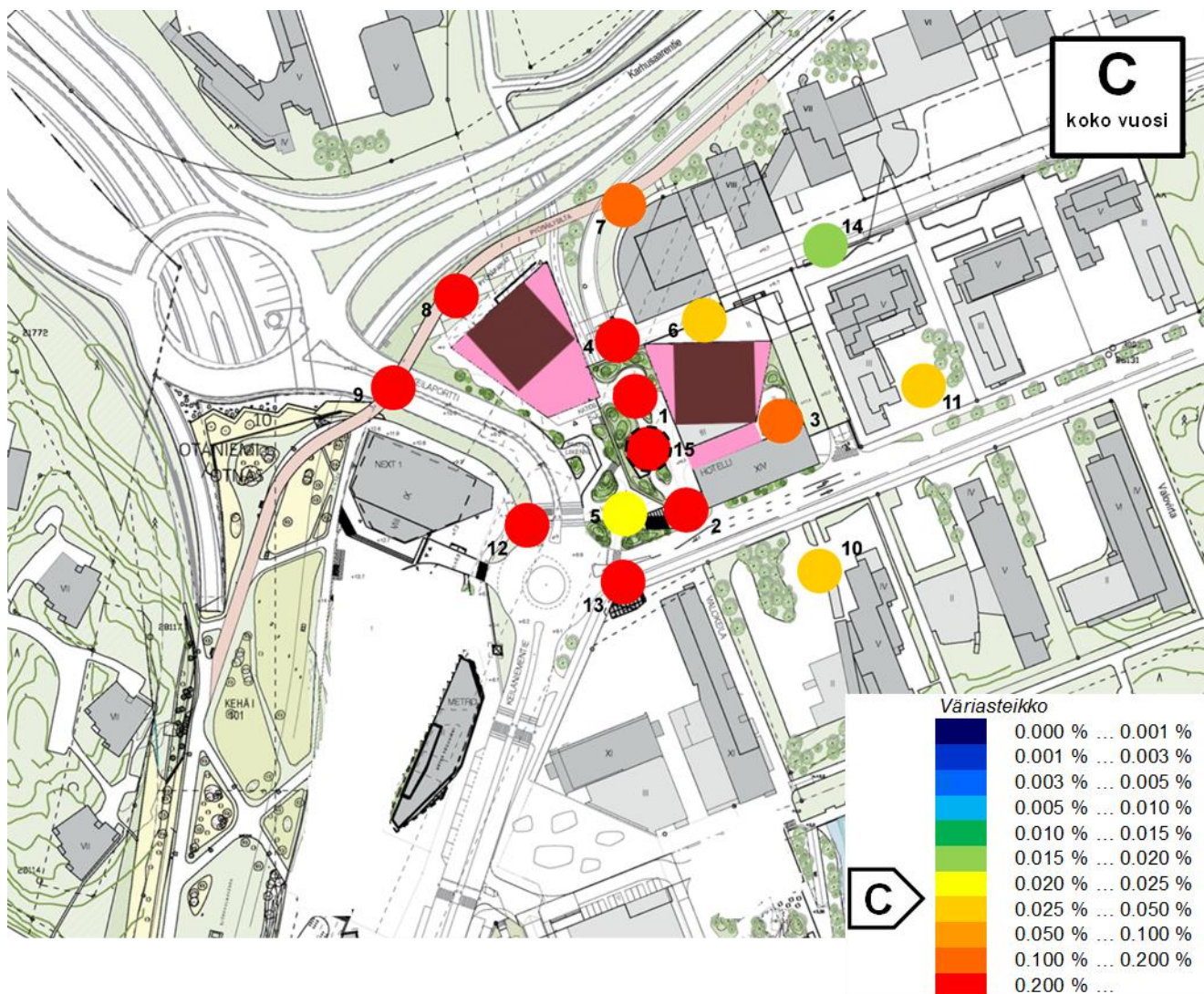
Kuva 19: Nykytilanne: puuskatuulien > 10 m/s esiintyminen tarkastelupisteissä (A-kriteeri).



Puuskatuuli > 13 m/s					B Kesäkausi			
Piste	Koko vuosi				Kesäkausi			
	% ajasta	h/vuosi	h/kk	h/vk	% ajasta*	h	h/kk	h/vk
1	4.8 %	421	35.1	8.1	1.44 %	62.9	10.5	2.4
2	2.0 %	172	14.4	3.3	0.38 %	16.7	2.8	0.6
3	1.1 %	93	7.8	1.8	0.29 %	12.9	2.1	0.5
4	2.9 %	254	21.2	4.9	0.74 %	32.4	5.4	1.2
5	0.3 %	23	2.0	0.5	0.03 %	1.5	0.2	0.1
6	0.3 %	29	2.4	0.6	0.04 %	1.8	0.3	0.1
7	1.0 %	83	6.9	1.6	0.15 %	6.6	1.1	0.3
8	1.5 %	129	10.8	2.5	0.22 %	9.6	1.6	0.4
9	1.6 %	137	11.4	2.6	0.24 %	10.3	1.7	0.4
10	0.5 %	40	3.3	0.8	0.09 %	4.1	0.7	0.2
11	0.4 %	37	3.1	0.7	0.09 %	4.0	0.7	0.2
12	1.4 %	121	10.1	2.3	0.32 %	14.2	2.4	0.5
13	0.9 %	81	6.8	1.6	0.20 %	8.7	1.4	0.3
14	0.2 %	15	1.3	0.3	0.04 %	1.8	0.3	0.1
15	1.4 %	125	10.4	2.4	0.21 %	9.4	1.6	0.4

* kesäkauden tunnit = 100 %

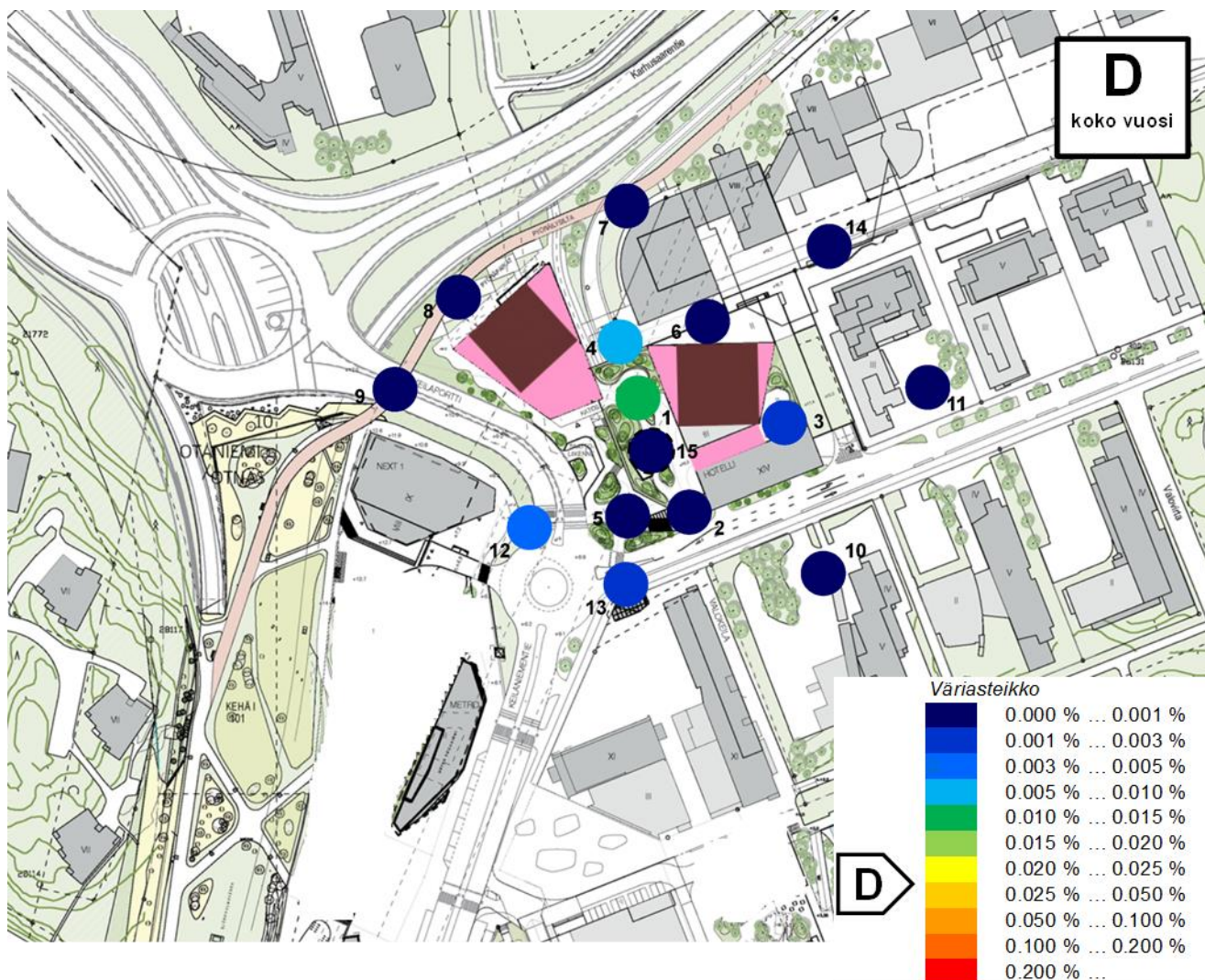
Kuva 20: Nykytilanne: puuskatuulien > 13 m/s esiintyminen tarkastelupisteissä (B-kriteeri).



Puuskatuuli > 16 m/s								
Piste	C Koko vuosi				Kesäkausi			
	% ajasta	h/vuosi	h/kk	h/vk	% ajasta*	h	h/kk	h/vk
1	1.173 %	102.7	8.6	2.0	0.155 %	6.8	1.14	0.26
2	0.289 %	25.3	2.1	0.5	0.020 %	0.9	0.15	0.03
3	0.142 %	12.4	1.0	0.2	0.025 %	1.1	0.18	0.04
4	0.728 %	63.8	5.3	1.2	0.068 %	3.0	0.50	0.11
5	0.021 %	1.8	0.2	0.0	0.001 %	0.1	0.01	0.00
6	0.029 %	2.6	0.2	0.0	0.002 %	0.1	0.01	0.00
7	0.112 %	9.8	0.8	0.2	0.008 %	0.4	0.06	0.01
8	0.233 %	20.4	1.7	0.4	0.016 %	0.7	0.12	0.03
9	0.252 %	22.1	1.8	0.4	0.016 %	0.7	0.12	0.03
10	0.045 %	3.9	0.3	0.1	0.006 %	0.3	0.04	0.01
11	0.039 %	3.4	0.3	0.1	0.006 %	0.2	0.04	0.01
12	0.249 %	21.8	1.8	0.4	0.033 %	1.5	0.24	0.06
13	0.226 %	19.8	1.7	0.4	0.030 %	1.3	0.22	0.05
14	0.019 %	1.7	0.1	0.0	0.002 %	0.1	0.02	0.00
15	0.238 %	20.9	1.7	0.4	0.013 %	0.6	0.09	0.02

* kesäkauden tunnit = 100 %

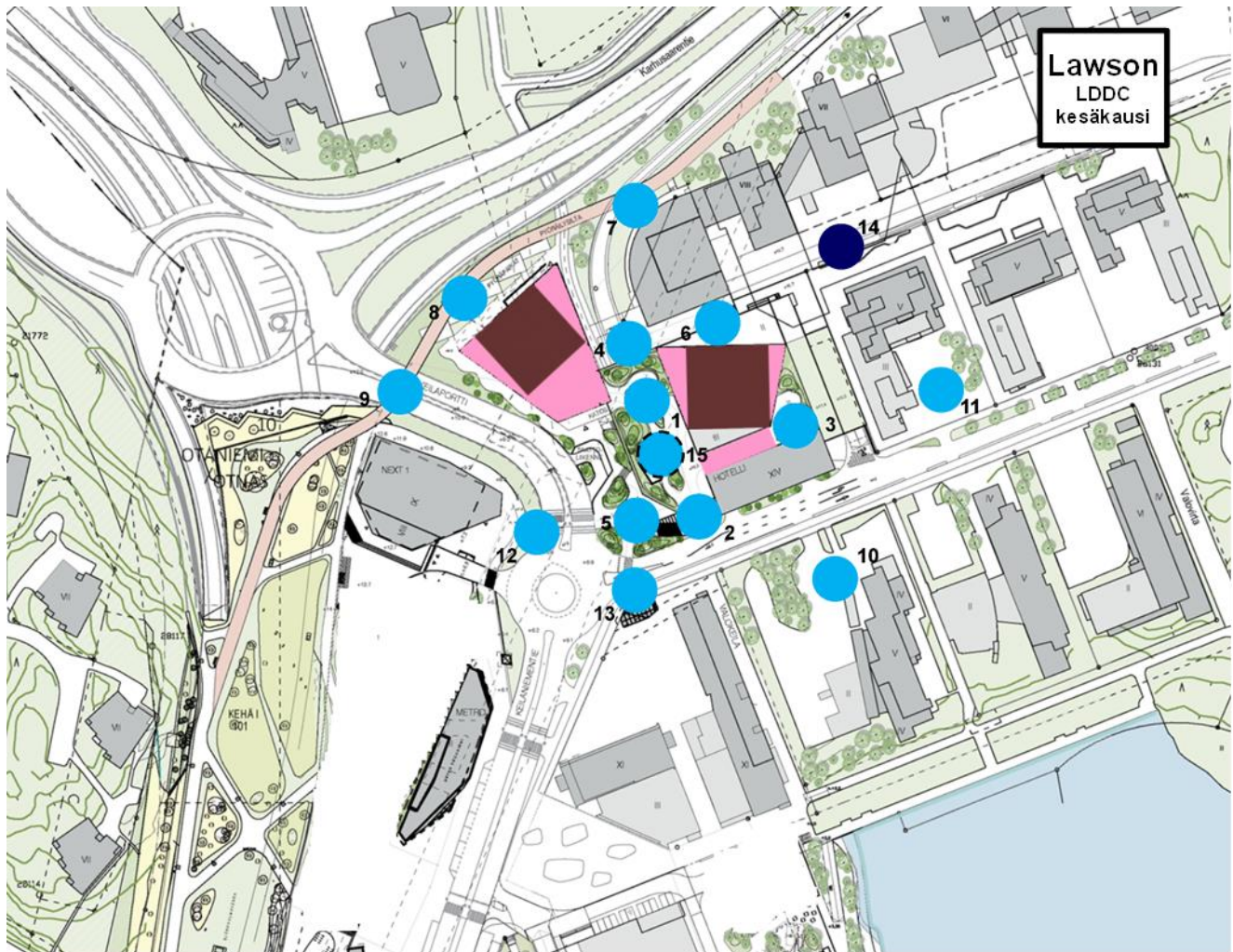
Kuva 21: Nykytilanne: puuskatuulien > 16 m/s esiintyminen tarkastelupisteissä (C-kriteeri).



Puuskatuuli > 23 m/s									
Piste	D Koko vuosi					Kesäkausi			
	% ajasta	h/vuosi	h/lk	h/vk		% ajasta*	h	h/lk	h/vk
1	0.0130 %	1.1	0.1	0.0		0.0005 %	0.0	0.0	0.0
2	0.0009 %	0.1	0.0	0.0		0.0000 %	0.0	0.0	0.0
3	0.0015 %	0.1	0.0	0.0		0.0000 %	0.0	0.0	0.0
4	0.0060 %	0.5	0.0	0.0		0.0002 %	0.0	0.0	0.0
5	0.0000 %	0.0	0.0	0.0		0.0000 %	0.0	0.0	0.0
6	0.0000 %	0.0	0.0	0.0		0.0000 %	0.0	0.0	0.0
7	0.0004 %	0.0	0.0	0.0		0.0000 %	0.0	0.0	0.0
8	0.0006 %	0.1	0.0	0.0		0.0000 %	0.0	0.0	0.0
9	0.0009 %	0.1	0.0	0.0		0.0000 %	0.0	0.0	0.0
10	0.0002 %	0.0	0.0	0.0		0.0000 %	0.0	0.0	0.0
11	0.0002 %	0.0	0.0	0.0		0.0000 %	0.0	0.0	0.0
12	0.0034 %	0.3	0.0	0.0		0.0001 %	0.0	0.0	0.0
13	0.0020 %	0.2	0.0	0.0		0.0002 %	0.0	0.0	0.0
14	0.0001 %	0.0	0.0	0.0		0.0000 %	0.0	0.0	0.0
15	0.0004 %	0.0	0.0	0.0		0.0000 %	0.0	0.0	0.0

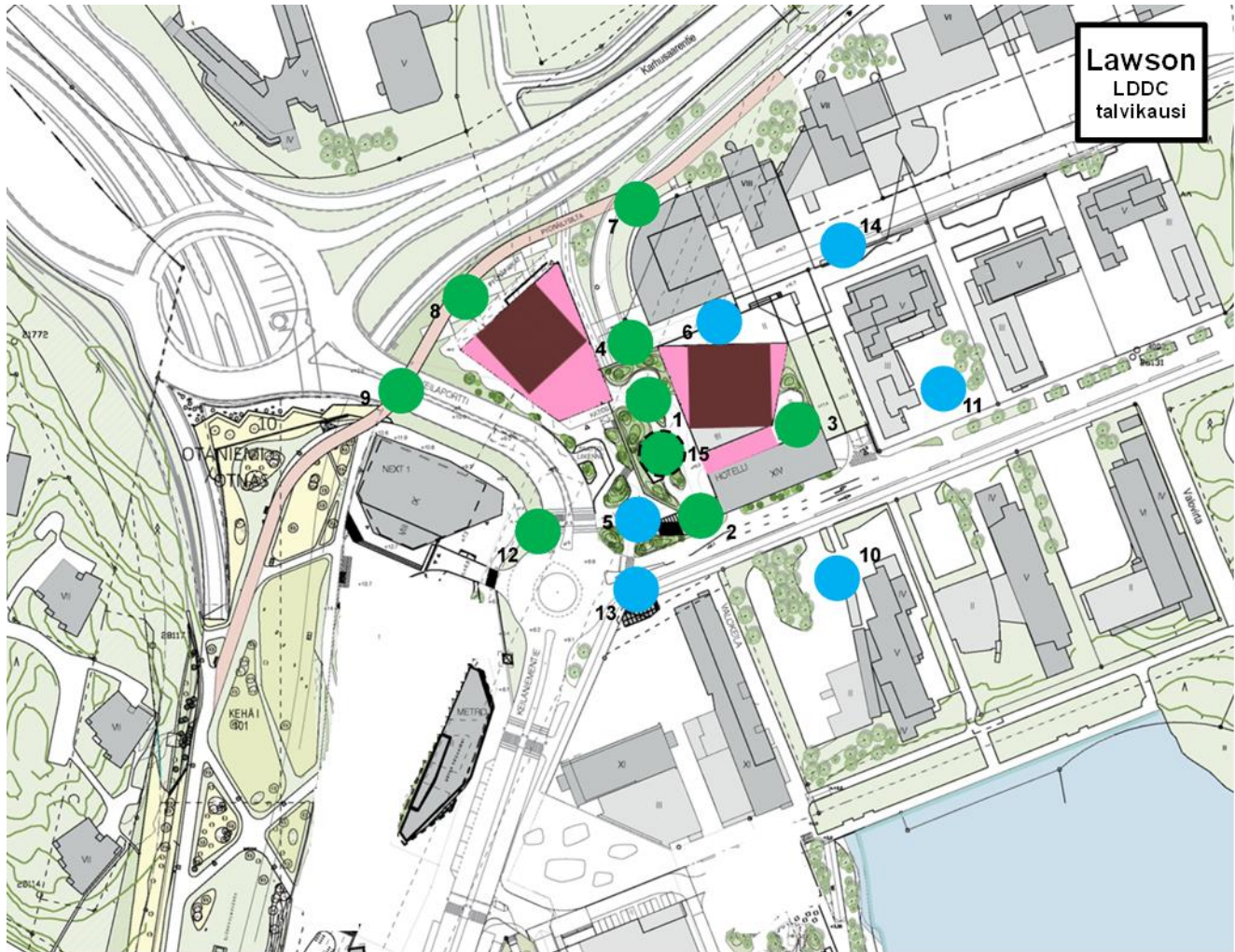
* kesäkauden tunnit = 100 %

Kuva 22: Nykytilanne: puuskatuulien > 23 m/s esiintyminen tarkastelupisteissä (D-kriteeri).



Tarkastelupisteen soveltuvuus tuulisuuden kannalta	
	GEM < 4 m/s < 5 % Istuminen pitkiä aikoja
	GEM < 6 m/s < 5 % Lyhytaikainen paikoillaan olo
	GEM < 8 m/s < 5 % Kävely
	GEM < 10 m/s < 5 % Tavoitteellinen kävely
	GEM > 10 m/s > 5 % Useimmat jalankulkijan toiminnot epäviihtyisiä
	GEM > 15 m/s > 0,025 % ei hyväksyttävä turvallisuuden kannalta yleisillä alueilla
	GEM > 20 m/s > 0,025 % ei hyväksyttävä turvallisuuden kannalta.

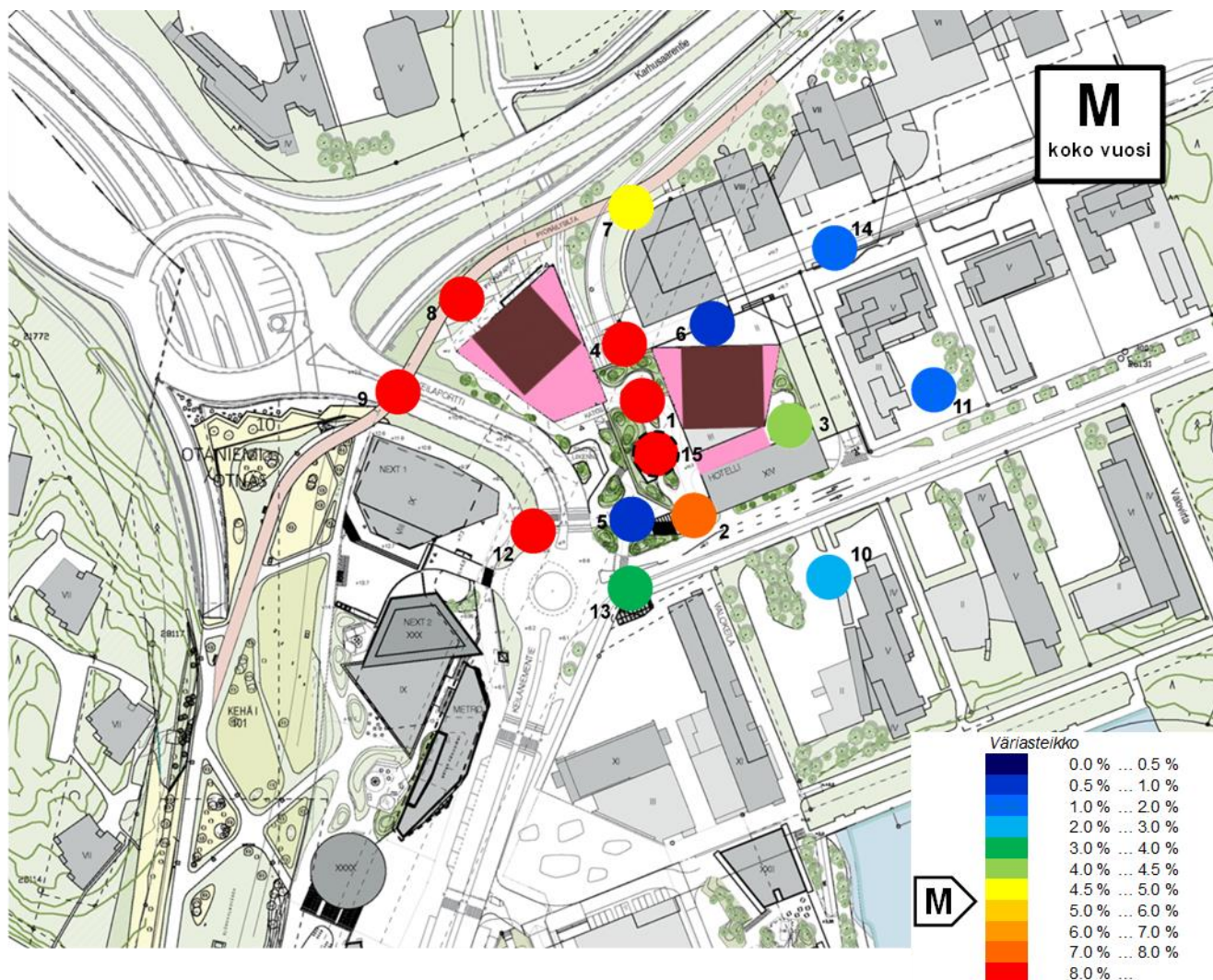
Kuva 23: Nykytilanne: Lawson LDDC -kriteeri, kesäkausi.



Kuva 24: Nykytilanne: Lawson LDDC -kriteeri, talvikausi.

2.3.4 Tuulisuus tarkastelupisteissä: lopputilanne

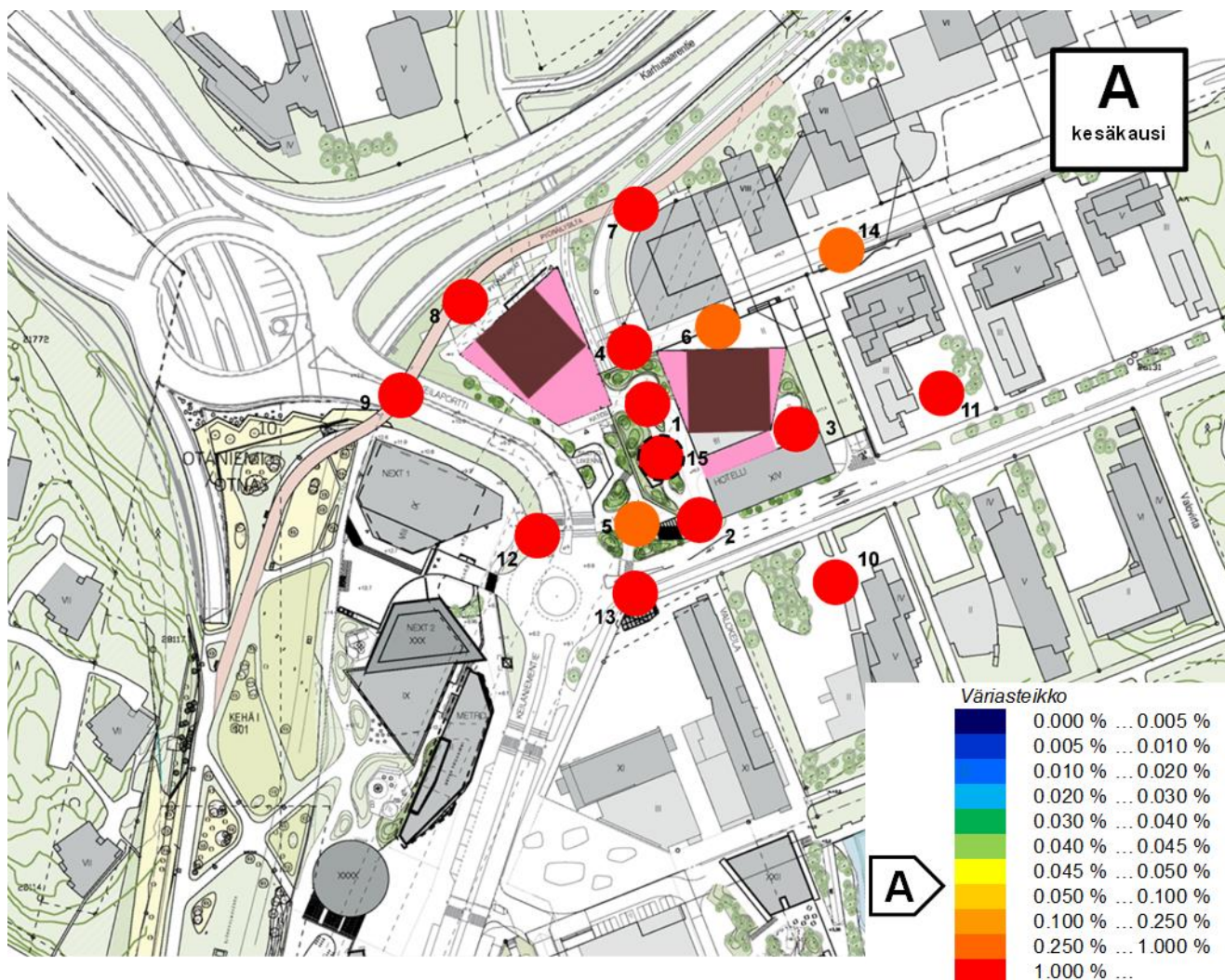
Maaston suunnitellun lopputilanteen (tilanne c) laskennalliset tuulisuuden numeroarvot tarkastelupisteissä on esitetty kuvissa 25...29 (Konsultin kriteerit) ja 30...31 (Lawson LDDC -kriteerit).



Tunnin keskituuli > 5 m/s									
Piste	M Koko vuosi					Kesäkausi			
	% ajasta	h/vuosi	h/kk	h/vk		% ajasta*	h	h/kk	h/vk
1	15.7 %	1379	115	27		8.4 %	367.6	61.3	14.1
2	7.5 %	653	54	13		3.0 %	130.6	21.8	5.0
3	4.4 %	390	32	7		1.9 %	82.2	13.7	3.2
4	13.0 %	1140	95	22		7.7 %	338.6	56.4	13.0
5	0.6 %	51	4	1		0.1 %	5.6	0.9	0.2
6	0.7 %	58	5	1		0.1 %	5.5	0.9	0.2
7	4.6 %	406	34	8		1.6 %	71.3	11.9	2.7
8	8.6 %	752	63	14		2.9 %	128.7	21.5	5.0
9	9.6 %	843	70	16		3.3 %	146.1	24.3	5.6
10	2.5 %	219	18	4		0.7 %	32.7	5.4	1.3
11	1.1 %	101	8	2		0.3 %	13.2	2.2	0.5
12	9.8 %	859	72	17		4.0 %	173.8	29.0	6.7
13	3.1 %	272	23	5		0.7 %	29.7	5.0	1.1
14	1.1 %	97	8	2		0.4 %	19.3	3.2	0.7
15	11.1 %	973	81	19		6.0 %	264.7	44.1	10.2

* kesäkauden tunnit = 100 %

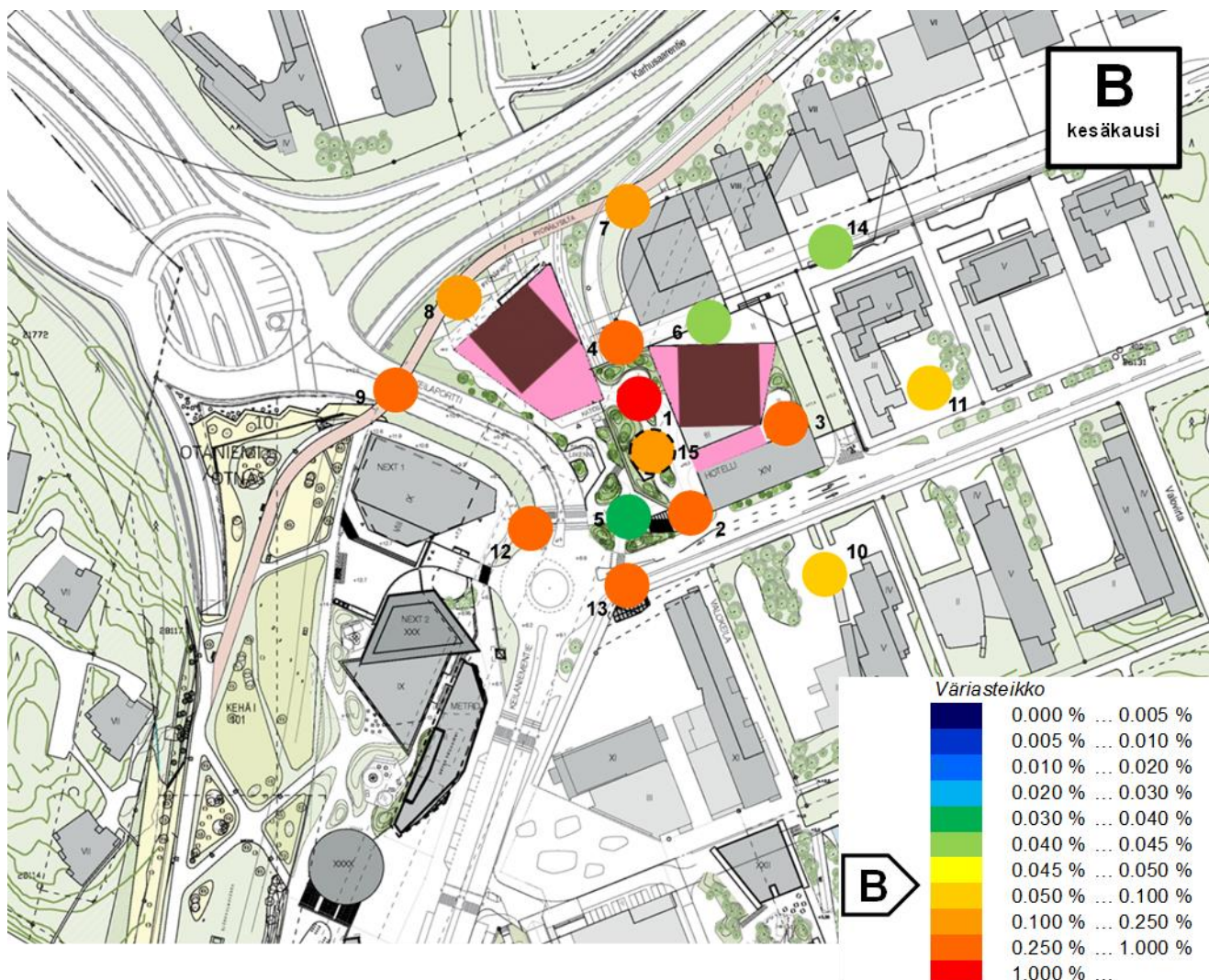
Kuva 25: Lopputilanne: tunnin keskituulien (> 5 m/s) esiintyminen tarkastelupisteissä (M-kriteeri).



Puuskatuuli > 10 m/s					A Kesäkausi			
Piste	% ajasta	h/vuosi	h/kk	h/vk	% ajasta*	h	h/kk	h/vk
1	15.4 %	1348	112.3	25.9	8.34 %	365.3	60.9	14.1
2	8.9 %	776	64.7	14.9	4.02 %	175.9	29.3	6.8
3	6.0 %	527	43.9	10.1	2.62 %	114.7	19.1	4.4
4	7.3 %	636	53.0	12.2	3.40 %	148.8	24.8	5.7
5	3.0 %	261	21.7	5.0	0.74 %	32.5	5.4	1.2
6	2.4 %	209	17.4	4.0	0.60 %	26.2	4.4	1.0
7	4.3 %	377	31.4	7.2	1.70 %	74.6	12.4	2.9
8	6.8 %	595	49.6	11.4	2.33 %	102.0	17.0	3.9
9	7.9 %	693	57.7	13.3	2.81 %	123.1	20.5	4.7
10	3.2 %	280	23.4	5.4	1.16 %	50.8	8.5	2.0
11	3.4 %	296	24.7	5.7	1.18 %	51.6	8.6	2.0
12	9.0 %	789	65.7	15.2	3.33 %	146.0	24.3	5.6
13	4.4 %	389	32.4	7.5	1.53 %	67.0	11.2	2.6
14	1.1 %	101	8.4	1.9	0.48 %	20.9	3.5	0.8
15	5.8 %	504	42.0	9.7	2.33 %	102.1	17.0	3.9

* kesäkauden tunnit = 100 %

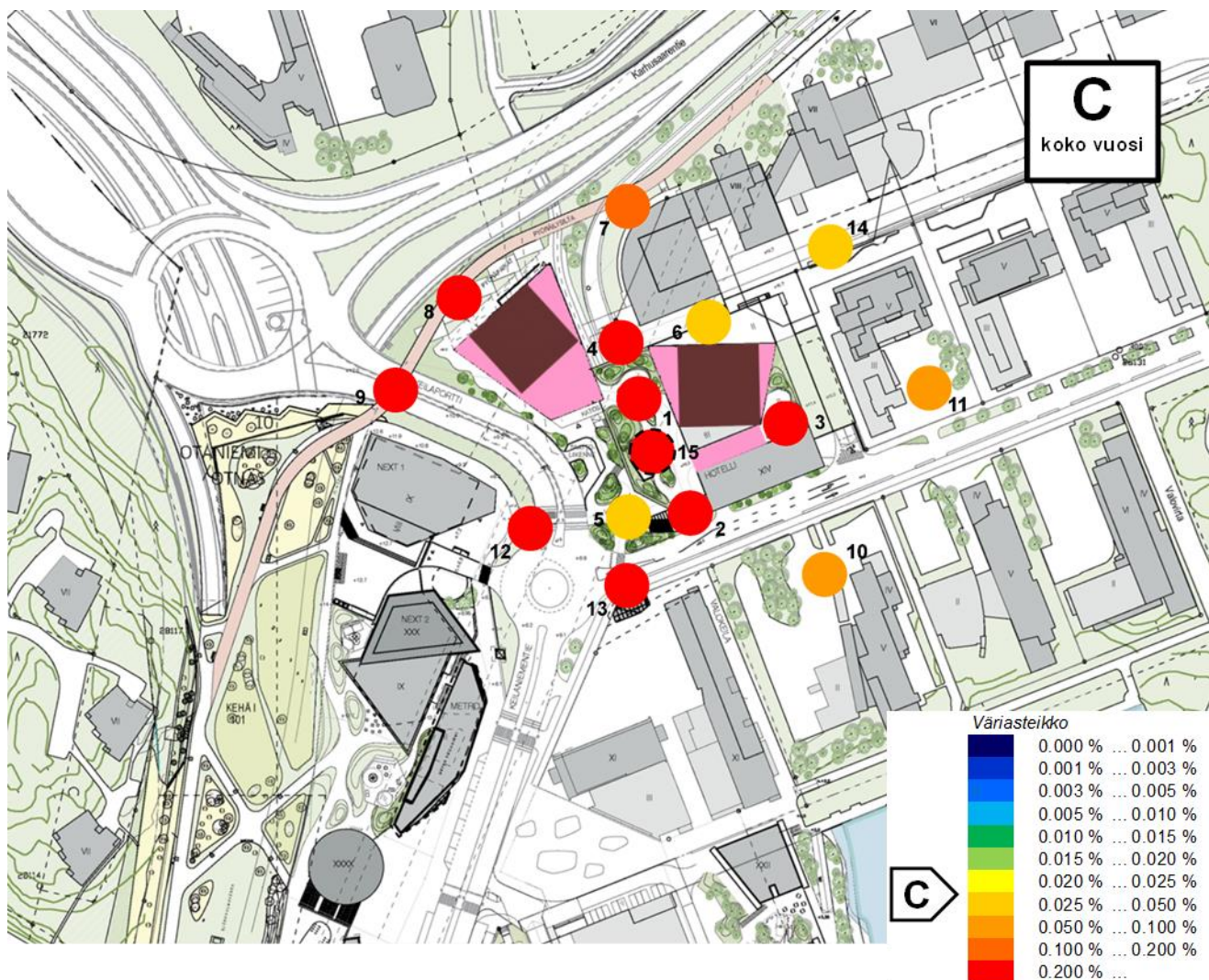
Kuva 26: Lopputilanne: Puuskatuulien > 10 m/s esiintyminen tarkastelupisteissä (A-kriteeri).



Puuskatuuli > 13 m/s					B Kesäkausi			
Piste	% ajasta	h/vuosi	h/kk	h/vk	% ajasta*	h	h/kk	h/vk
1	4.8 %	421	35.1	8.1	1.44 %	62.9	10.5	2.4
2	1.8 %	160	13.3	3.1	0.37 %	16.1	2.7	0.6
3	1.0 %	85	7.1	1.6	0.28 %	12.5	2.1	0.5
4	2.1 %	184	15.3	3.5	0.42 %	18.4	3.1	0.7
5	0.3 %	26	2.2	0.5	0.03 %	1.5	0.3	0.1
6	0.3 %	25	2.1	0.5	0.04 %	1.8	0.3	0.1
7	0.6 %	54	4.5	1.0	0.12 %	5.1	0.9	0.2
8	1.5 %	129	10.8	2.5	0.22 %	9.6	1.6	0.4
9	1.8 %	155	13.0	3.0	0.26 %	11.6	1.9	0.4
10	0.4 %	35	2.9	0.7	0.09 %	4.1	0.7	0.2
11	0.4 %	37	3.1	0.7	0.09 %	4.0	0.7	0.2
12	2.8 %	249	20.8	4.8	0.65 %	28.4	4.7	1.1
13	1.4 %	120	10.0	2.3	0.32 %	14.0	2.3	0.5
14	0.2 %	15	1.2	0.3	0.04 %	1.8	0.3	0.1
15	1.4 %	125	10.4	2.4	0.21 %	9.4	1.6	0.4

* kesäkauden tunnit = 100 %

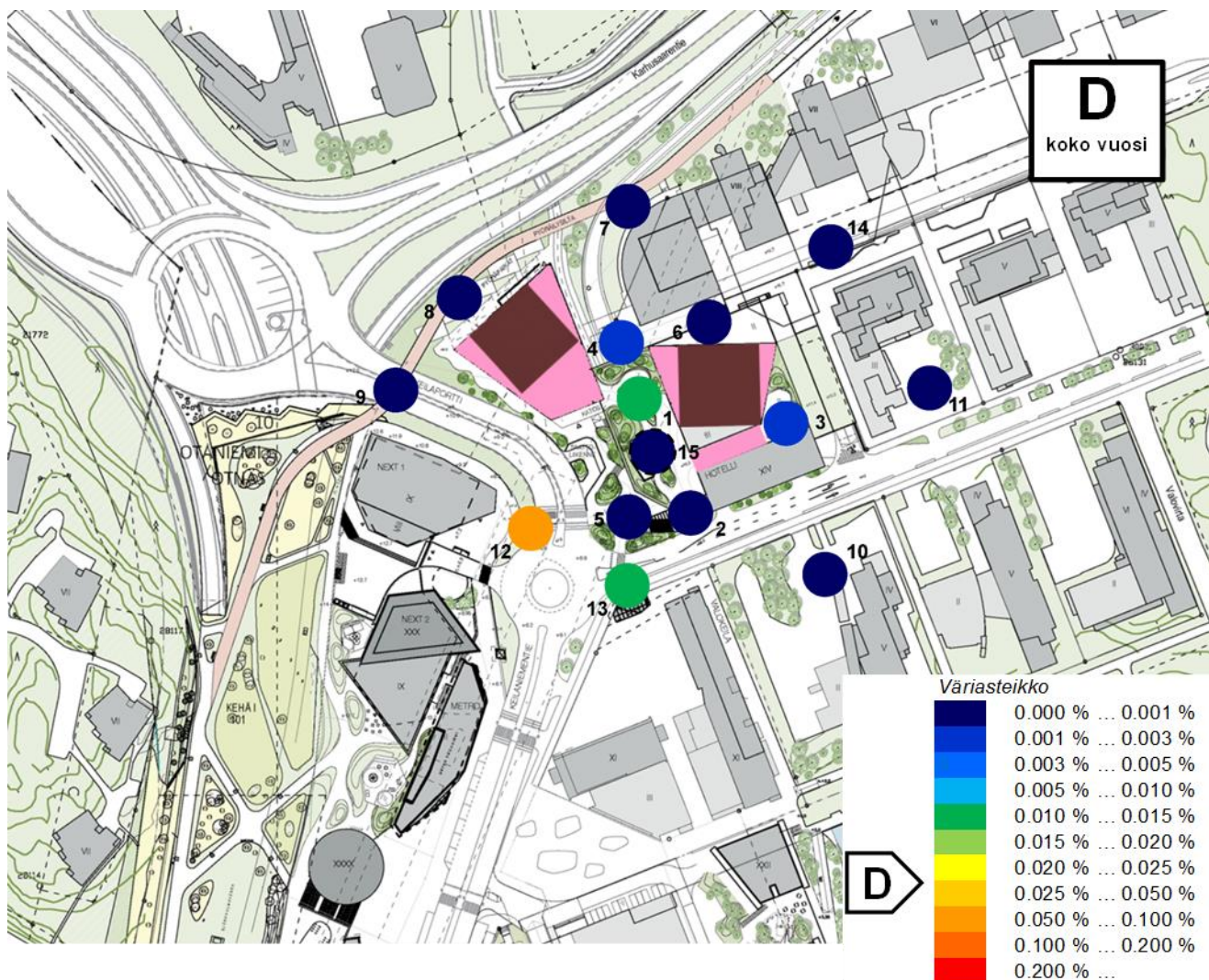
Kuva 27: Lopputilanne: Puuskatuulien > 13 m/s esiintyminen tarkastelupisteissä (B-kriteeri).



Puuskatuuli > 16 m/s								
Piste	C Koko vuosi				Kesäkausi			
	% ajasta	h/vuosi	h/kk	h/vk	% ajasta*	h	h/kk	h/vk
1	1.173 %	102.7	8.6	2.0	0.155 %	6.8	1.14	0.26
2	0.266 %	23.3	1.9	0.4	0.019 %	0.8	0.14	0.03
3	0.131 %	11.5	1.0	0.2	0.025 %	1.1	0.18	0.04
4	0.440 %	38.6	3.2	0.7	0.031 %	1.3	0.22	0.05
5	0.022 %	1.9	0.2	0.0	0.001 %	0.1	0.01	0.00
6	0.022 %	1.9	0.2	0.0	0.002 %	0.1	0.01	0.00
7	0.060 %	5.2	0.4	0.1	0.007 %	0.3	0.05	0.01
8	0.233 %	20.4	1.7	0.4	0.016 %	0.7	0.12	0.03
9	0.292 %	25.6	2.1	0.5	0.020 %	0.9	0.14	0.03
10	0.042 %	3.7	0.3	0.1	0.006 %	0.3	0.04	0.01
11	0.039 %	3.4	0.3	0.1	0.006 %	0.2	0.04	0.01
12	0.893 %	78.3	6.5	1.5	0.167 %	7.3	1.22	0.28
13	0.447 %	39.1	3.3	0.8	0.068 %	3.0	0.49	0.11
14	0.019 %	1.7	0.1	0.0	0.002 %	0.1	0.02	0.00
15	0.238 %	20.9	1.7	0.4	0.013 %	0.6	0.09	0.02

* kesäkauden tunnit = 100 %

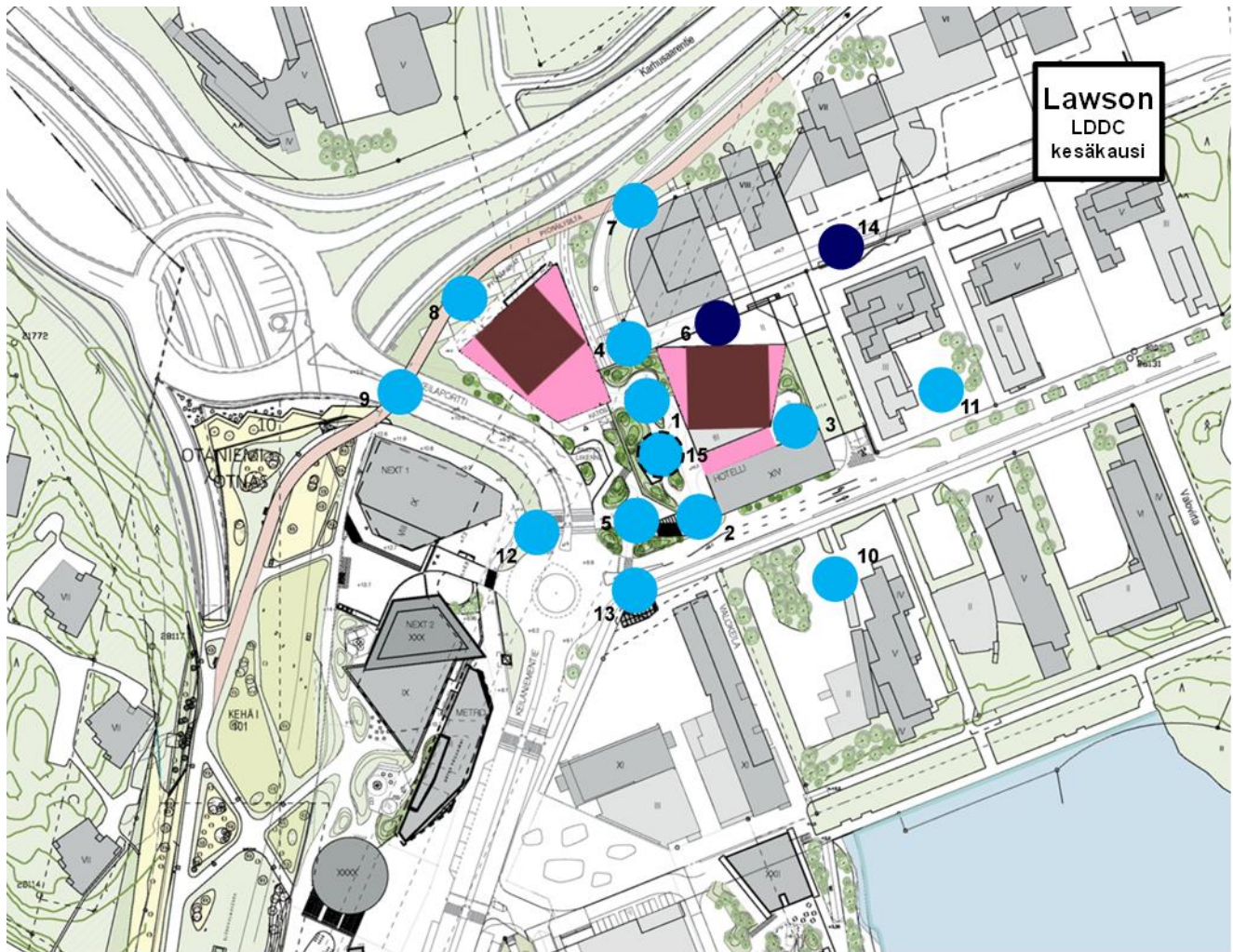
Kuva 28: Lopputilanne: Puuskatuulien > 16 m/s esiintyminen tarkastelupisteissä (C-kriteeri).



Puuskatuuli > 23 m/s		D Koko vuosi				Kesäkausi			
Piste	% ajasta	h/vuosi	h/kk	h/vk	% ajasta*	h	h/kk	h/vk	
1	0.0130 %	1.1	0.1	0.0	0.0005 %	0.0	0.0	0.0	
2	0.0009 %	0.1	0.0	0.0	0.0000 %	0.0	0.0	0.0	
3	0.0015 %	0.1	0.0	0.0	0.0000 %	0.0	0.0	0.0	
4	0.0017 %	0.2	0.0	0.0	0.0001 %	0.0	0.0	0.0	
5	0.0000 %	0.0	0.0	0.0	0.0000 %	0.0	0.0	0.0	
6	0.0000 %	0.0	0.0	0.0	0.0000 %	0.0	0.0	0.0	
7	0.0002 %	0.0	0.0	0.0	0.0000 %	0.0	0.0	0.0	
8	0.0006 %	0.1	0.0	0.0	0.0000 %	0.0	0.0	0.0	
9	0.0010 %	0.1	0.0	0.0	0.0000 %	0.0	0.0	0.0	
10	0.0002 %	0.0	0.0	0.0	0.0000 %	0.0	0.0	0.0	
11	0.0002 %	0.0	0.0	0.0	0.0000 %	0.0	0.0	0.0	
12	0.0557 %	4.9	0.4	0.1	0.0061 %	0.3	0.0	0.0	
13	0.0117 %	1.0	0.1	0.0	0.0010 %	0.0	0.0	0.0	
14	0.0001 %	0.0	0.0	0.0	0.0000 %	0.0	0.0	0.0	
15	0.0004 %	0.0	0.0	0.0	0.0000 %	0.0	0.0	0.0	

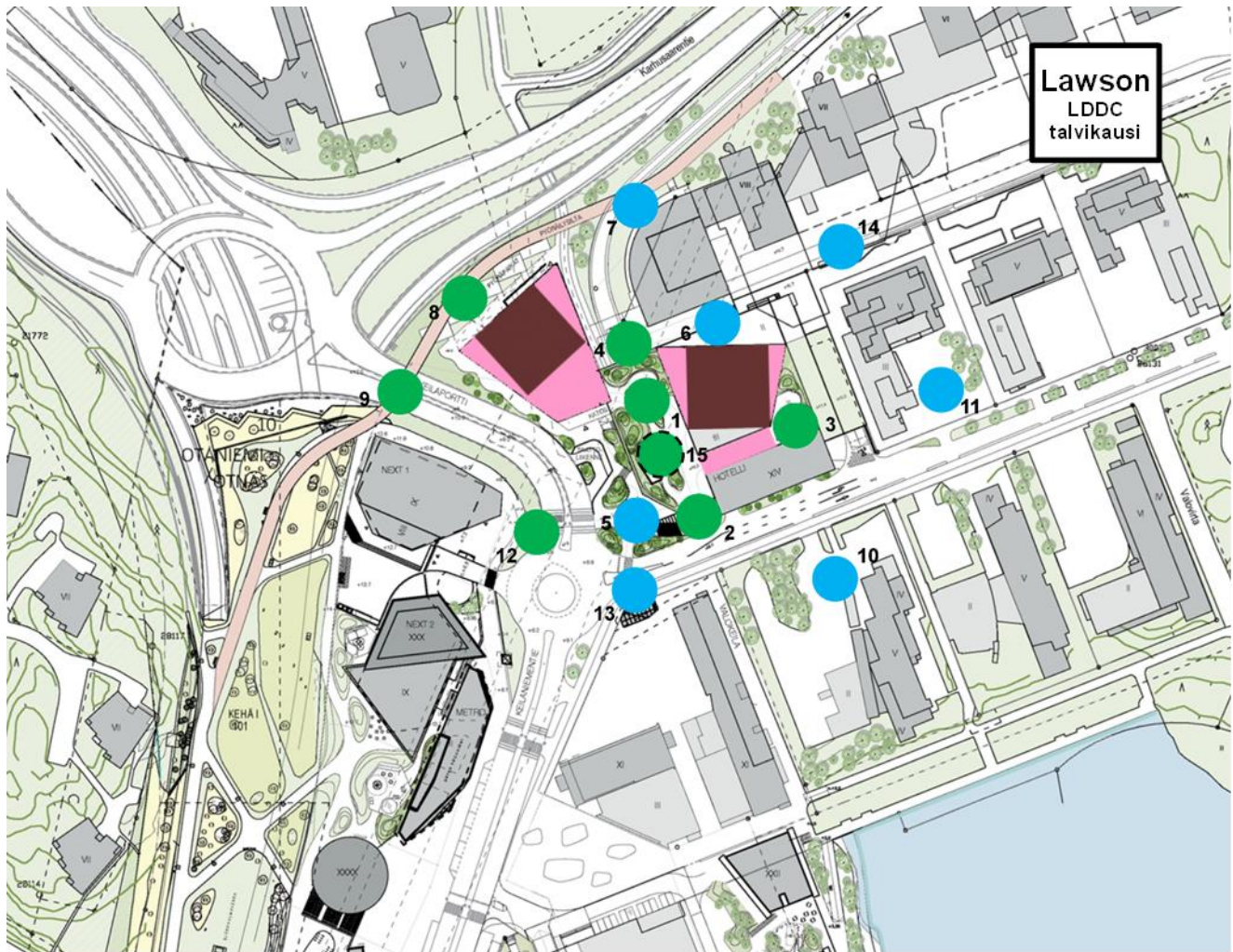
* kesäkauden tunnit = 100 %

Kuva 29: Lopputilanne: Puuskatuulien > 23 m/s esiintyminen tarkastelupisteissä (D-kriteeri).



Tarkastelupisteen soveltuvuus tuulisuuden kannalta	
	GEM < 4 m/s < 5 % Istuminen pitkiä aikoja
	GEM < 6 m/s < 5 % Lyhytaikainen paikoillaan olo
	GEM < 8 m/s < 5 % Kävely
	GEM < 10 m/s < 5 % Tavoitteellinen kävely
	GEM > 10 m/s > 5 % Useimmat jalankulkijan toiminnot epävihtyisiä
	GEM > 15 m/s > 0,025 % ei hyväksyttävä turvallisuuden kannalta yleisillä alueilla
	GEM > 20 m/s > 0,025 % ei hyväksyttävä turvallisuuden kannalta.

Kuva 30: Lopputilanne: Lawson LDDC -viihtyvyysskriteerit, kesäkausi.

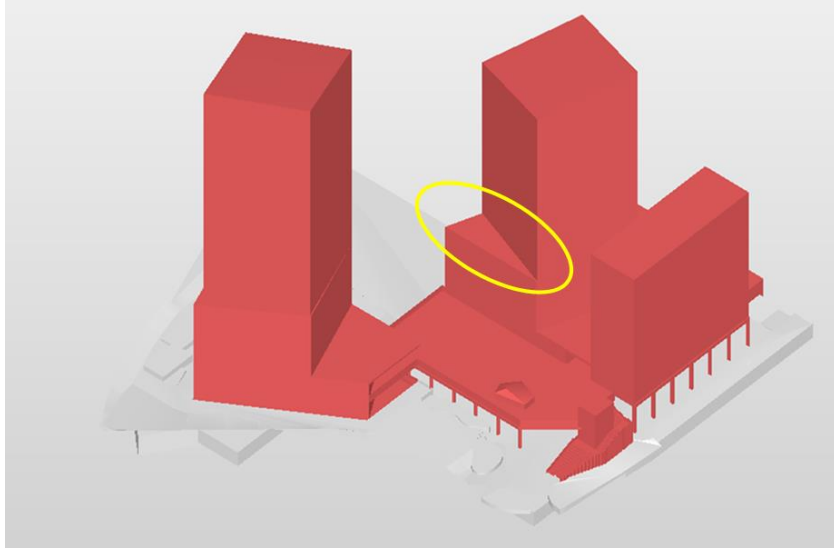


Tarkastelupisteen soveltuvuus tuulisuuden kannalta	
	GEM < 4 m/s < 5 % Istuminen pitkiä aikoja
	GEM < 6 m/s < 5 % Lyhytaikainen paikoillaan olo
	GEM < 8 m/s < 5 % Kävely
	GEM < 10 m/s < 5 % Tavoitteellinen kävely
	GEM > 10 m/s > 5 % Useimmat jalankulkijan toiminnot epävihtyisiä
	GEM > 15 m/s > 0,025 % ei hyväksyttävä turvallisuuden kannalta yleisillä alueilla
	GEM > 20 m/s > 0,025 % ei hyväksyttävä turvallisuuden kannalta.

Kuva 31: Lopputilanne: Lawson LDDC -viihtyvyysskriteerit, talvikausi.

3 Tuulisuustulosten ohjeellinen tulkinta

- Kohdealueen perustuulisuus on suhteellisen suurta, johon vaikuttaa se, että Keilaniemen alue on vielä pitkälti rakentamatta, ja laajoja alueita on ilman puustoa. Nykytilan tulosten (tilanne a) mukaan tunnin keskituuli jalankulkijan tasossa (1,5 m) on ilman korkean rakentamisen vaikutuksia > 5 m/s noin 3...4 % ajasta. Esimerkiksi Helsingin Jätkäsaaren ja Hernesaaren tuulimmissa pisteissä vastaava lukema on Konsultin selvityksissä ollut 5...6 %
- tulokset noudattavat Keilaniemen alueen aiempia korkean rakentamisen selvityksiä [1]. Kävelyä vaikeaksi tekeviä puuskatuulia (> 16 m/s) voi esiintyä rakennusten kulmien kohdalla useammin, kuin kerran vuodessa. Näitä voi esiintyä aukeilla kohdilla myös nykytilassa. Tuulisuussuunnitteluun on suositeltavaa kiinnittää huomiota
- koska alueella ei ole puustoa tai pensaita, kaikki istutukset ja tuulenpyörteitä hajottavat rakennelmat ovat eduksi parantamaan viihtyisyyttä erityyppisissä sääoloissa. Tarkasteltava viite-suunnitelma sisältää näitä, ja tuulisuusvaikutusten kannalta on tärkeää, että näitä ei karsita pois jatkosuunnittelussa
- kohteen vaikutusalueella ei ole tuulisuuden suhteen erityisen herkkiä toimintoja, kuten asuinrakennusten pihvoja. Viereisen uudisrakennuksen (Life Science Center) pääsisäänkäynti on tulosten mukaan myös nykytilassa tuulinen
- kohteen keskeinen tuulisuuskysymys on oletetusti virtauksen kuristuminen tornien väliin tuulen suunnan sektoreilla 180° ... 225° . Tornien väli on suurempi kuin tornien leveys, jolloin suunnitelman mukaisella massoittelulla kuristuminen ei ole erityisen voimakasta. Toisen tornin porrastus (kuva 32) oletettavasti pienentää kansiterassin tuulisuutta
- kohteen lounaispuolelle on suunniteltu 30-kerroksinen NEXT 2 rakennus. Se vaikuttaa lopputilanteen tuulisuustuloksiin erityisesti tarkastelupisteessä 12
- kohteessa vaarallisen kovia puuskatuulia (> 23 m/s) ei tulosten mukaan esiinny useammin kuin kerran vuodessa kohteen johdosta. Näiden esiintyminen on kuitenkin kiinni kansiterassin suunnittelun yksityiskohdista, mukaan lukien aitojen korkeudet, istutukset ja piharakennelmat. Jo suhteellisen pieni tuulensuojavaikutus vaikuttaa näihin merkittävästi. Lähteen [2] mukaisesti, Konsultin Kalasataman keskuksen viherkannen tuulitunnelikoetulosten mukaan voidaan karkeasti yleistää, että terassikannen istutuksilla ja rakenteilla voidaan pienentää kovien puuskatuulien tuulisuuden numeroarvoja paikallisesti neljäsosaan alkuperäisestä
- kohteen viereen on suunniteltu kevyen liikenteen silta, jonka alustavissa luonnoksissa kaiteen korkeus on 1,4 m, ja jossa Raide-Jokerin radan kohdalla on 2 m korkea kosketussuojaseinä. Nämä ovat eduksi suojaamaan sillan liikennettä kovilta puuskatuulilta
- kovien puuskatuulien tarkastelussa on otettava huomioon erot puuskatuulien kriteereissä. Lawson -kriteerien GEM määrittely painottaa tuulen puuskanopeuksia Konsultin kriteereitä lievemmin, ja se vastaa n. 30 % turbulenssin intensiteettiä. Konsultin puuskanopeuksien kriteerit tarkoittavat käytännössä, että tuulennopeuden 3 s. tilastollinen huippuavo voi esiintyä ainakin kerran 1 h jaksolla tuulen keskinopeuden määrittäysaikaa vastaten. Lawson -kriteerien GEM määrittely voidaan tulkita niin, että huippuarvo ei välttämättä osu samalle hetkelle, kun jalankulkija (tai pyöräilijä) on tarkastelupisteessä.



Kuva 32: Tornin porrastus on eduksi lieventämään kansiterassin tuulisuutta (kuva muokattu Arkkitehtitoimisto Sarc tietomalliaineistosta).

Lähdeluettelo

1. Espoon korkean rakentamisen periaatteet. Espoon kaupunkisuunnittelukeskuksen julkaisuja 10/2012.99 s. + liitteet.
2. Regenero Oy: Keilaniemenranta, Tuulisuusselvitys. WSP Finland Oy 16.4.2019. 54 s.
3. Helsingin kaupunki, kaupunkisuunnitteluvirasto: Jätkäsaaren ja Hernesaaren asemakaavoitus, Tuulisuuden laskenta- ja luokitusohje. WSP Finland Oy, 18.10.2013, 78 s.
4. Lawson, T., 2001. Building aerodynamics, Imperial College Press. s. 304.

Liite 1: Tuulisuuden määrittämisen yleisperiaate

Tuulisuus voidaan määrittää objektiivisesti laskemalla tietyn tuulennopeuden raja-arvon ylittävien katutasen tuulien keskimääräinen kesto (esim. % ajasta). Esim. tuulen keskinopeus > 5 m/s katutasossa ≥ 5 % ajasta on toisinaan käytetty nyrkkisääntö olosuhteelle, jossa tuulisuudella on merkitystä. Katutaso tarkoittaa tuulisuusmalleissa korkeutta 1,5...2,0 m jalankulkutason yläpuolella.

Katutasen tuulisuus riippuu alueen perustuulisuuden tasosta sekä rakennusten, maastonmuotojen, aukeiden, vesialueiden, puiden, pensaiden, aitojen yms. paikallisten tekijöiden vaikutuksesta. Kaavoituksen yhteydessä tuulisuus on kiinnostuksen kohteena useimmiten juuri rakennetussa ympäristössä, jossa rakennusten paikallinen merkitys on suuri. Rakennukset antavat yleisesti tuulensuojaa; tuulisuus ja pakkasen purevuus on kaupunkien keskustan rakennusten keskellä yleisesti pienempää kuin meren rannalla tai aukeilla keskustan ympärillä. Rakennusten sijoittelusta ja erityisesti korkeasta rakentamisesta voi kuitenkin seurata, että tuulensuoja on paikallisesti normaalia pienempi, ja katutasen tuulenpuuskat tulevat yllätyksenä muuten suojaisassa ympäristössä.

Perustuulisuus saadaan määritettyä meteorologisten tuulitilastojen avulla ottaen huomioon maaston rosoisuuden erot tuulitilaston mittauspisteen ja kohdealueen sijainnin välillä tuulen suunnittain. Meteorologiset tuulitilastot mitataan yleisimmin avoimessa maastossa n. 10 m korkeudella maapinnasta, ja mittaukset tilastoidaan 10 min keskinopeuksina. Tuulen puuskanopeus on keskinopeutta suurempi, ja tarkoittaa säätiedotuksissa tuulennopeuden 3 s huippuarvoa. Tällaiset hetkelliset tuulenpuuskat aiheuttavat suurimman osan tuulisuuden epämiellyttävistä tai vaarallisista vaikutuksista.

Tuulen keskinopeus 10 m korkeudessa on avoimessa tasaisessa maastossa likimain 1,5-kertainen katutasen keskinopeuteen nähden. Tällöin 5 m/s katutasen keskituuli vastaa noin 7,5 m/s keskituulta 10 m korkeudessa. Näitä esiintyy Suomessa meren rannikolla tyypillisesti 5...8 % ajasta, eli tuulisuudella on yleisesti merkitystä merenrantarakentamisessa.

Kun tuulisuus selvitetään tarkemmin kohteen eri tarkastelupisteissä, edellä mainittu suhde on määritettävä tarkemmin; esimerkiksi tuulitunnelikokeilla pienoismallia apuna käyttäen tai mittauksilla luonnossa todellisesta kohteesta. Tällöin tarkastelupisteen suhteellinen keskituuli (k_m) ja suhteellisen puuskatuuli (k_g) voidaan esittää tuulen suunnittain kaavoilla

$$k_m = v_m/v_{ref}$$

$$k_g = v_g/v_{ref}$$

missä v_m = katutasen keskituuli; k_g = katutasen puuskatuuli, ja v_{ref} = normeerauksessa käytetty tuulennopeus (v_{ref} voi olla esimerkiksi kohdealueen perustuulisuutta kuvaava tuulen keskinopeus korkeammalla maanpinnasta tai suoraan paikallisesta sääasemesta mitattu tuulen keskinopeus).

Suhteellinen keskituuli (k_m) ja suhteellinen puuskatuuli (k_g) voidaan olettaa olevan tuulen suunnasta ja tarkastelupisteestä riippuvia vakioita. Katutasossa puuskaisuuden osuus on suhteellisesti suurempi kuin tuulitilastojen mittauskorkeudella. Kun v_{ref} = keskituuli 10 m korkeudessa avoimessa maastossa, ovat kertoimet kaupunkiympäristössä suuruusluokkaa $k_m = 0,1 \dots 1,2$ ja $k_g = 0,2 \dots 2,5$. Suurimpia kertoimia mitataan yleisesti ympäristöään selvästi korkeampien rakennusten juuressa, katotpihoilla, kansilla ja silloilla. Erityisesti k_g voi tietyillä tuulensuunnilla olla suuri, tarkoittaen että katutasossa voi esiintyä tuulisella säällä kovia puuskatuulia. Katutasen puuskatuulien vaikutuksia on kuvattu taulukossa L1.1.

Taulukko L1.1: Katutason puuskatuulen vaikutuksen kuvaus kaupunkiolosuhteissa

3 s puuskatuuli [m/s]	Vaikutus
5...8	tuuli nostaa pölyä, kuivaa maata ja irtonaisia papereita, hiukset menevät sekaisin
8...11	tuulen tuntee keholla, hyväksyttävän tuulen raja
11...14	kävely on epäsäännöllistä, hiukset lepattavat suorina, sateenvarjoa on vaikea käyttää
14...17	kävelyä on vaikea hallita, tuulen melu on epäviihtyisää, vartalolla on nojattava tuulta vastaan
17...21	tasapainon säilyttämisessä on suuria vaikeuksia, vartalo siirtyy tuulen mukana, vanhuksille vaarallinen tuuli
21...24	ihmiset kaatuvat tuulen vaikutuksessa
24...28	seisominen ilman tukea on mahdotonta, kiinnittäminen on välttämätöntä
> 28	hyvin epätodennäköisesti koskaan koettavissa

Perustuulisuuden osalta tärkeä yksittäinen tekijä on kohdealueen etäisyys merenrannasta ja avomerestä suhteessa korkeimpien rakennusten korkeuteen. Rannikon läheisyydessä mereltä päin puhaltavilla tuulilla on tavanomaisesti suurin merkitys tuulisuuden numeroarvoihin. Tuulen ollessa meren suunnalta merialueiden kovat tuulennopeudet vaikuttavat lähes vaimentumattomina mantereen päällä tietyistä korkeudesta ylöspäin, missä korkeus on verrannollinen etäisyyteen merenrannasta (tämä korkeus on likimain $x/12,5$, missä x = kohteen etäisyys merenrannasta). Korkeat rakennukset voivat rannikon läheisyydessä kääntää näitä vaimentumattomia tuulia katutasoon, jolloin korkeasta rakentamisesta aiheutuva lisä tuulisuuteen voi olla erityisen merkittävä. Paitsi rakennuksen korkeus, myös julkisivun leveys (tornin hoikkuus) vaikuttaa syntyvään tuulisuuden lisään, samoin kuin viereisten muiden korkeiden rakennusten yhteisvaikutus.

Tavanomainen tuulisuustarkasteluissa hyödynnettävä tuulitilasto on tyypiltään tuuliruuusu (kuva L1.1), joka esittää säähavaintoaseman mittauspisteen eri keskituulien esiintymisen prosentteina ajasta.

Tuuliruuusu esittää tuulennopeuksien esiintymisen rajallisella määrällä tuulennopeusalueita. Kuvasta L1.1 ei voida esimerkiksi tarkasti päätellä aikaa, jossa tuulen keskinopeus ylittäisi 21 m/s. Tuulisuuden laskennallista määrittämistä varten jatkuva esitysmuoto on käytännöllisempi; ja useasti käytetty otaksuma on, että tuulen keskinopeuksien esiintyminen kullakin tarkasteltavalla tuulen suunnalla ja tarkastelujaksolla noudattaa Weibull-todennäköisyystiheysjakamaa

$$p(v_m) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{v_m}{\lambda} \right)^{k-1} e^{-(v_m/\lambda)^k}$$

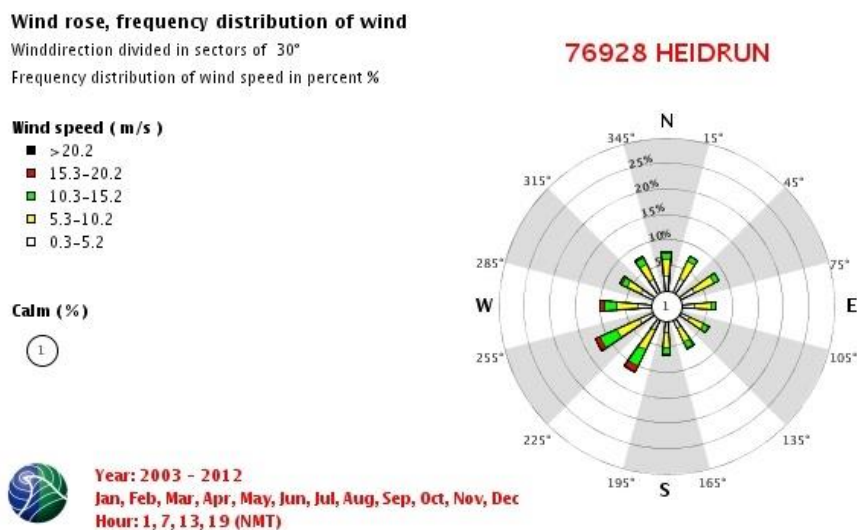
missä k = muotoparametri ja λ = skaalausparametri. Kumulatiivinen jakauma ($v \leq v_m$) on tällöin

$$P(v_m) = 1 - e^{-(v_m/\lambda)^k}$$

Tuulen keskinopeuden v_m ylittävien tuulien osuus tarkasteltavalla tuulen suunnan sektorilla saadaan lausekkeesta

$$P(v_m) = P_0 e^{-(v_m / \lambda)^k}$$

missä P_0 = tuulen suunnan sektoriin liittyvien osuus kaikista tuulista. Weibull-jakauman parametrit k ja λ saadaan käyränsovituksesta tuuliruusun arvoihin tai tuulitietoja toimittava organisaatio voi niitä määrittää valmiiksi. Käyränsovituksesta aiheutuva virhe on käytännössä pieni tavanomaisella tuulennopeusalueella, jolla tuulitilasto sisältää mittaustuloksia; toisin sanoen Weibull-jakauma sopii hyvin sääasemien mitattujen keskituulinen kuvaamiseen, ja siten tuulisuuden analyysiin. Äärimmäisen kovien tuulien, esim. rakennesuunnittelussa useasti käytettävien 50 v toistumisvälin myrskytuulien, analyysissä tulokset ovat herkkiä parametrin k arvolle, ja näitä analysoidaankin paremmin ns. ääriarvoja-kaumien avulla. Näissä otetaan tavanomaisesti lisäksi huomioon erilaisia varmuus- ja luotettavuusmarginaaleja liittyen mm. tuulitilastoihin ja sään ääri-ilmiöiden pitkän aikavälin muutoksiin. Periaatteessa tuulisuustarkasteluissakin voitaisiin varautua tuulisuusolosuhteiden pitkän aikavälin muutoksiin. On kuitenkin huomioitava, että nämä tapahtuvat määritelmänsä mukaisesti hitaasti, jolloin ihmiset tottuvat muutokseen, ja myös kaupunkirakenne ja puuston korkeus yms. tekijät voivat muuttua merkittävästi n. 50 v tarkasteluvälillä.



Kuva L1.1: Esimerkki meteorologisen havaintoaseman mittaustuloksista laaditusta tuuliruususta (Heidrun, Norja).

Kun kohdealueen perustuulisuus on selvitetty, tuulisuuden numeroarvo eri pisteissä riippuu kaupunkiympäristössä erityisesti kohteen ja sen lähiympäristön rakennuksista, puustosta ja jalankulkutason korkeusasemasta; eli kertoimista k_m ja k_g tarkastelupisteittäin ja tuulen suunnittain. Uutta rakennuskantaa suunniteltaessa paikallisten tekijöiden tarkka huomioon ottaminen edellyttää käytännössä tuulitunnelikokeiden suorittamista kohdealueen pienoismallia apuna käyttäen. Alueen nykytilan tuulisuutta voidaan selvittää myös paikan päällä katselmuksilla ja niiden yhteydessä tehtävillä katutasen tuulennopeuden mittauksilla.

Tuulisuus määritetään tietyissä suunnitelman kannalta mielenkiintoisissa pisteissä. Tällaisesta yksityiskohtaisesta tarkastelusta käytetään nimeä tuulisuuskartoitus.

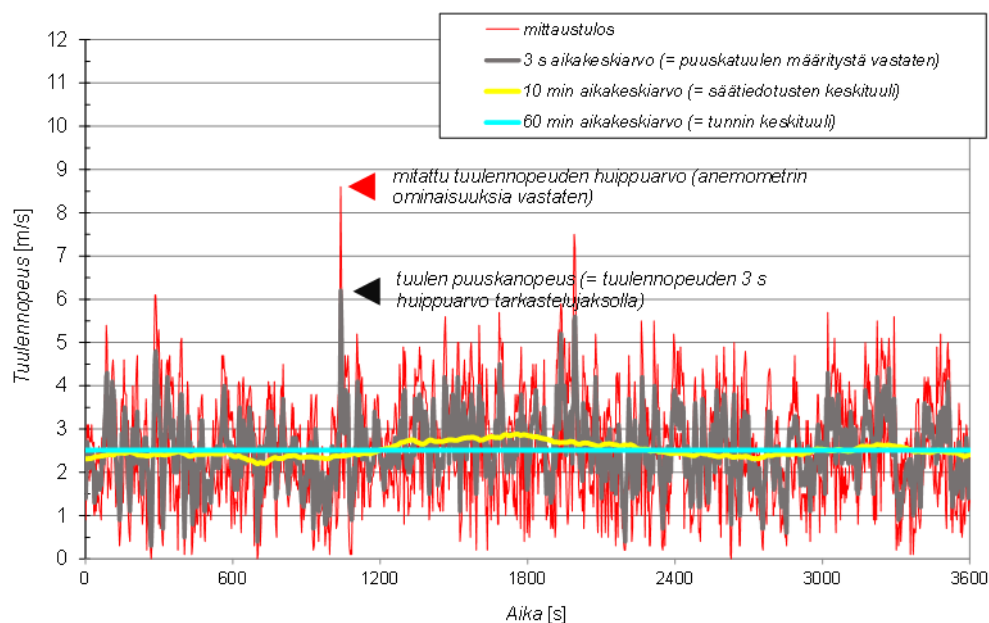
Kaupungeissa, joissa tuulisuudella on erityistä merkitystä, kriteerejä voidaan esittää kaupunginosa- ja aluekohtaisesti. Esimerkkinä tästä on tuuliseksi tunnettu Wellingtonin kaupunki Uudessa-Seelannissa, jossa kaupunki on määritellyt keskustan julkisille alueille standardin, kuinka paljon uusi rakennus saa lisätä tuulisuutta. Tällöin suunnittelussa on selvittävä sekä nykytilan tuulisuus, että tuulisuus uuden rakennuksen vaikutuksessa.

Tuulisuuden hyväksytty taso voidaan esittää tuulisuuskriteerinä, joka koostuu tyypillisesti

- tuulennopeuden raja-arvosta (katutason keskituuli tai puuskatuuli)
- ylittävien tuulennopeuksien sallitusta keskimääräisestä kestosta raja-arvoa vastaten
- ihmisen toimintaa kuvaavasta luokasta (paikoillaan olo, kävely jne.)
- kuvauksesta siitä miten kriteerin täyttämättä jääminen vaikuttaa (tuulisuus epäviihtyisää tai vaarallista).

Tuulisuuskriteereitä ovat esittäneen kansainvälisesti eri tutkimuslaitokset ja yksittäiset tutkijat. Niitä voidaan laatia tuulitunnelikokeiden avulla, tekemällä tuulennopeuden mittauksia todellisessa kohteessa ja haastatteleamalla ihmisiä. Tuulisuuskriteereissä voi siten erottua maakohtaisia eroja, esim. ihmisten tottumus tuulen vaikutuksiin, sateet, valoisa aika vuorokaudessa ja lämpötilan vaikutus.

Tuulisuuskriteereitä voidaan esittää tuulen keskinopeudelle ja tuulen puuskanopeudelle, tai näiden välimaastoon sijoittuville laskennallisille tuulennopeusarvoille. Eri tuulennopeuksien yhteyksiä on havainnollistettu kuvassa L1.2.



Kuva L1.2: Esimerkki tuulennopeuden vaihtelusta mittauspisteessä (mitattu 4 m korkeudella): tuulen puuskanopeus = 6,2 m/s; 10 min keskinopeus 2,0...3,0 m/s ja tunnin keskinopeus = 2,4 m/s (Eduskuntatalon lisärakennuksen piha, koillistuuli, ultraääniä-anemometri. Kuvan lähde WSP).

Kuvan L1.2 mukaisesti luonnon tuuli on aina turbulenttista, ja hetkellinen tuulennopeus heilahtelee voimakkaasti keskiarvon (tuulen keskinopeuden) molemmiin puolin. Tuulisuus-kriteerissä käytettävä tuulennopeus, ja tuulennopeuden huippuarvo yleisesti, voidaan yleisesti esittää muodossa

$$V_g = V_m + g\sigma_v$$

missä g = huippuarvokerroin ja σ_v = tuulennopeuden keskihajonta (määritettynä hetkellisistä tuulennopeuden lukemista tarkastelujakson aikana). Tuulen keskinopeutta vastaa tällöin huippuarvokerroin $g = 0$. Samasta tuulensuunnasta puhaltavassa kovassa tuulessa tuulennopeuden keskihajonnan suhde tuulen keskinopeuteen on mittauspisteessä likimain vakio. Keskihajonta määritetään tuulimittarin hetkellisistä mittauslukemista yleensä 1 h ajanjaksolla. Keskihajonnan ja keskituulen suhdetta kutsutaan turbulenssin intensiteetiksi:

$$I_v = \frac{\sigma_v}{V_m}$$

Esimerkiksi kuvan L1.2 tapauksessa $I_v = 0,41$, ja määritettyä 3 s puuskanopeuden huippuarvoa vastaa huippuarvokerroin $g = 3,6$. Vastaavasti suorien mittauksien huippuarvo vastaa noin 0,1 s puuskanopeutta, ja sitä vastaa tuloksissa huippuarvokerroin $g = 5,8$.

Tuulisuudelle ei Suomessa, kuten ei muissakaan maissa, ole toistaiseksi olemassa viranomaisohjeita. Suunnittelussa voidaan käyttää tutkijoiden esittämiä suosituksia. Suunnittelukäyttöön vakiintuneet suositukset vaihtelevat maittain. Suomen oloissa esim. tuulen ja pakkasen yhteisvaikutus (pakkasen purevuus) ja siihen liittyvä kasvojen paleltumisriski on oma kysymyksensä. Viileässä säässä tuulisuus myös huomataan helpommin mm. kasvojen viilennysvaikutuksen johdosta. Toisen Suomen olojen erityispiirteiden muodostavat talvikelien ajoittainen liukkaus ja hiekoitushiekkan pölyäminen keväällä.

Rakentamisen tuulisuusvaikutuksia ja tuulisuuden numeroarvoja voidaan verrata kaupungin tai kaupunginosan nykytilaan, edellyttäen että nykytilan arvot on määritetty tai tuulisuusvaikutuksia on tiedossa kokemusperäisesti. Tällöin tulee otetuksi huomioon paikallisia tekijöitä, kuten asukkaiden tottumus tuulen vaikutuksiin sekä paikallistieto tuulisista ja tuulettomista kohdista.

Liiallista tuulisuutta esiintyy tyypillisesti tietyissä ongelmapisteissä korkeiden rakennusten vieressä ja kattoterasseilla; avoimilla alueilla ja korkealla sijaitsevilla siltakansilla ja jalankuluväylillä; sekä hyvää viihtyvyyttä edellyttävissä paikoissa (puistot, aukiot, urheilukentät ja katukahvilat jne.). Näille voidaan etsiä korjaavia suunnitteluratkaisuja.

Kaavoituksessa ja rakennustarkastuksessa voidaan edellyttää ongelmallisimpien pisteiden tuulisuusolosuhteiden korjaamista. Konsultin aikaisemmissa kohteissa on ehdotettu kaavatasoiseksi tuulisuuden raja-arvoksi puuskatuulen > 23 m/s esiintymistä korkeintaan kerran vuodessa katutasossa.

Suomen perustuulisuuden tasosta johtuen tämä kriteeri ei täyty (eli tuulisuus olisi liiallista) pääosin ainoastaan korkeiden rakennusten vierustan ongelmapisteissä sekä korotettujen jalankulkutasojen yhteydessä.

Konsultin aikaisemmissa selvityksissä käyttämiä toiminnallisia luokkia ovat:

- A istuminen pitkiä aikoja; makaaminen; terassit ja kahvilat; ulkoilmateatterit; uima-altaat. Kesäkausi (huhtikuu-syyskuu)
- B seisominen/istuminen paikoillaan lyhyitä aikoja; puistot; kauppakeskukset; rakennusten ulko-ovet. Kesäkausi (huhtikuu-syyskuu)
- C kävely yleisesti; rakennuksiin sisälle meno ja niistä poistuminen. Koko vuosi
- D vaarallisen tuulen kriteeri; tavoitteellinen kävely; nopea kävely; parkkipaikat. Koko vuosi.

Näihin liittyviä hyväksymisluokkia ovat esim.:

- epäviihtyisä
- vaarallinen, ei hyväksyttävä. Tuulisuudeltaan ongelmallinen piste tulisi korjata jatkosuunnitelmassa.

Raja-arvot perustuvat W. H. Melbourne 1970-luvulla esittämään malliin, joka perustuu kerran vuodessa esiintyvään puuskatuuleen. Puuskatuuli v_g on laskettu tuulitunnelikokeessa käyttäen virtausnopeuden vaakakomponentin keskihajonnalle kerrointa $g = 3,5$. Tämä vastaa likimain taulukon L1.1 mukaista 3 s puuskatuulta.

Mallissa todennäköisyyden raja-arvo "kerran vuodessa" vastaan likimain vuotuista ylitystodennäköisyyttä

$$P = 0,025 \% (= 2,2 \text{ tuntia vuodessa}).$$

Tuulisuuskriteerit ovat:

- A: $v_g > 10 \text{ m/s}$; $P_A \geq 0,05 \% *$ (epäviihtyisä)
- B: $v_g > 13 \text{ m/s}$; $P_B \geq 0,05 \% *$ (epäviihtyisä)
- C: $v_g > 16 \text{ m/s}$; $P_C \geq 0,025 \%$ (epäviihtyisä)
- D: $v_g > 23 \text{ m/s}$; $P_D \geq 0,025 \%$ (vaarallinen)

* raja-arvo tarkoittaa 2,2 tuntia kesäkautta kohden, joka vastaa 0,05 % kesäkauden tunneista (= 0,025 % koko vuoden tunneista).

Edellä esitetyt puuskatuulien ylitystodennäköisyydet tarkoittavat sellaisten keskituulien osuutta ajasta, joissa tuulenopeus voi tuulenpuuskissa tilastollisesti (eli huippuarvokertoimella $g = 3,5$ laskettuna) ylittää raja-arvon. Todellinen hetkellisten tuulenopeuksien ylitysten kesto on huomattavasti pienempi (vrt. kuva L1.2); joitain sekunteja 10 min tarkastelujaksolla.

Jos tarkastelu rajoitetaan vain tiettyyn osaan vuorokautta, kuten alkuperäisessä Melbourne kriteerissä "valoisaan aikaan" (12 h vuorokaudessa), voidaan kriteerin P-arvoja suurentaa vastaavasti; jakamalla ne tarkasteltavien tuntien osuudella vuorokauden kaikista tunneista.

Kun kriteeri "ei täyty", tarkoittaa se, että tuulisuutta esiintyy siinä määrin ("liian monta tuntia tarkastelujaksolla"), että kriteerin mukainen toiminto on epäviihtyisää (luokat A, B, C), tai vaarallista (luokka D) tarkastelupisteessä. Tuulen puuskanopeuteen perustuvat mallit kuvaavat tarkasti esimerkiksi virtauksen paikallisen turbulenssin ja korkean rakentamisen aiheuttamia vaikutuksia tarkastelupisteessä.

Melbourne ja Konsultin ehdottama D-kriteeri rakennusten tuulisuusvaikutuksen tarkasteluun on yleisesti "tiukemmasta päästä", koska se ottaa tuulen puuskaisuuden täysimääräisesti huomioon. Esimerkiksi mainittu Wellingtonin keskustan standardin turvallisuutta koskeva määräys on kuitenkin tiukempi siten, että $v_g > 20 \text{ m/s}$ (laskettuna huippuarvokertoimella $g = 3,7$) ei tulisi uuden rakennuksen johdosta ylittyä missään julkisen alueen pisteessä useammin kuin kerran vuodessa.

Isossa-Britanniassa konsulttiselvityksissä laajasti käytetty Lawson-kriteeristö perustuu tuulen keskinopeuden (Boforien) raja-arvojen esiintymiseen, mutta se ottaa myös huomioon tuulen puuskien vaikutuksen. Puuskien vaikutus saadaan laskemalla 3 s. puuskanopeuden perusteella ekvivalentti keskinopeus (GEM *Gust Equivalent Mean*) jakamalla luvulla 1,85 tai 2,0, missä suurempaa jakajaa voidaan käyttää "rannikolla, jossa ihmiset ovat tottuneet tuuleen"). Kriteeri tarkastetaan tällöin määräävän vaikutuksen mukaan joka keskinopeuden tai ekvivalentin keskinopeuden mukaan.

Sovellettavissa olevia keskituuleen perustuvia malleja on esim. tanskalaisen FORCE Technologyn malli, joka perustuu 1 h keskituuleen:

- A: $v_h > 5 \text{ m/s}$; $P_M \leq 0,1 \%$ (hyväksyttävä)
- B: $v_h > 5 \text{ m/s}$; $P_M \leq 6 \%$ (hyväksyttävä)
- C: $v_h > 5 \text{ m/s}$; $P_M \leq 23 \%$ (hyväksyttävä)

D: $v_h > 5 \text{ m/s}$; $P_M \leq 43 \%$ (hyväksyttävä).

Pelkästään keskituuleen perustuvat mallit eivät kuvaa kovin tarkasti esimerkiksi rakennusten paikallisia vaikutuksia, ja saattavat yliarvioida esimerkiksi puuston, pensaiden ja aitojen suojaavaa vaikutusta. FORCE:n mallia tulisikin tulkita siten, että se soveltuu tyypilliseen tanskalaiseen rakennuskantaan, maastoon ja ilmastoon.

Liite 2: Tuulitunnelikokeet ja numeerinen virtauslaskenta

Katutason tuulisuutta alettiin tutkia tarkemmin maailmanlaajuisesti 1970-luvun alkupuolella tuulitunnelikokeiden avulla. Tärkeimpänä kysymyksenä oli käytännössä havaittu tuulisuuden kasvu ja vaarallisen kovat tuulenpuuskat korkeiden rakennusten vierustassa. Korkeiden rakennusten tuulisuutta lisäävä vaikutus on huomattu yhtä varhain kun niitä on alettu rakentaa; yhtenä varhaisimmista esimerkkeinä 22-kerroksinen Flatiron rakennus New Yorkissa, joka valmistui vuonna 1902.

Tuulitunnelikokeiden käytön myötä alettiin esittää myös kriteerejä tuulisuuden sallitulle tasolle, toisin sanoen tuulisuuskriteerit perustuvat useimmiten tuulitunnekoetulosten käyttöön.

Tuulitunnelikokeet ovat säilyneet toistaiseksi luotettavimpana työkaluna uuden asuinalueen tai rakennuksen ympäristöön liittyvän tuulisuuden analyysissä. Numeerinen virtauslaskenta (CFD, *Computational Fluid Dynamics*) kehittyi kuitenkin koko ajan, ja sillä on saatu asiantuntijakäytössä enenevissä määrin käyttökelpoisia tuloksia. Periaatteessa voitaisiin kehittää myös CFD-laskennan tuloksiin perustuvia tuulisuuskriteereitä, mikä parantaisi käytettävyyttä edelleen. Tuulitunnelikoe ja CFD eivät kuitenkaan yleisesti anna yhteneviä tuloksia; eivät edes geometrialtaan yksinkertaisissa testimalleissa.

Paikalliset tuulennopeudet (suhteessa kohdealueen reunalla vaikuttavaan tuulennopeuteen) määritetään luotettavimmin rajakerros-tyyppisessä tuulitunnelissa, jossa virtaukseen luodaan luonnon tuulta vastaava tuulennopeuden korkeusprofiili ja turbulenssi (kuva L2.1). Tämä tehdään useimmiten asentamalla karhennuspalikoita tuulitunnelin sisälle lattiaan n. 10...20 m matkalle virtauksen yläpuolelle, sekä käyttämällä virtauksen sisääntulossa pyörteisyyttä aiheuttavia kiiloja. Alueen pienoismallin avulla otetaan huomioon paikalliset tekijät. Pienoismallin mittakaava määräytyy tuulitunnelin mittatilan koon ja tarkasteltavien rakennusten korkeuden mukaan ja on tyypillisesti 1:1000...1:250.



Kuva L2.1: Tuulitunnelikoe Jätkäsaaren osayleiskaavavaiheen kaupunkirakennemallin tuulisuuden selvittämiseksi (kuva WSP).

Pienoismalli voi joissain tapauksissa olla suoraan kohteen kaavoituksen esittelymalli tai se voidaan tehdä erikseen tuulitunnelikoetta varten. Puut ja pensaat ovat yleensä esittelymalleissa jollain tarkkuudella mukana. Ne eivät kuitenkaan hidasta tuulta katutasossa yhtä voimakkaasti kuin todellisuudessa, joten tulokset ovat tältä osin konservatiivisia. Jos pienoismalli tehdään pelkästään tuulitunnelikoetta varten, voidaan puita ja pensaita mallintaa tarkemminkin.

Tuulitunnelikokeessa mitataan paikallisia virtausnopeuksia jalankulkijan korkeudella (1,5..2,0 m katutasosta täydessä mittakaavassa, eli 2...5 mm tavanomaisessa pienoismallissa). Mittaukseen käytetään joko kuumalanka-anemometria, jolloin mittaukset tehdään pienoismallin päältä (vrt. kuva L2.1); tai pienoismallin läpi porattuja paineantureita. Mittauksia tehdään tietyissä suunnitelman kannalta mielenkiintoisissa pisteissä eri tuulen suunnilla. Yksittäistä mittaustulosta on havainnollistettu kuvassa L2.2. Tuloksista erotellaan virtauksen keskinopeus v_m ja nopeuden keskihajonta σ_v . Kuten luonnon tuulen tapauksessa, virtausnopeuden huippuarvo σ_v tietyllä tarkastelujaksolla voidaan esittää muodossa

$$v_g = v_m + g\sigma_v$$

missä g = huippuarvokerroin. Huippuarvoon vaikuttaa sen määrittäysaika. Huippuarvokerroin on lisäksi tilastollinen suure, eli huippuarvo voi vaihdella tarkastelujaksosta toiseen liittyen ilmiön luonnolliseen satunnaisuuteen. Luonnon tuulella huippuarvokerroin on suuruusluokaltaan $g = 3,5$ kun tarkastellaan n. 1...3 sekunnin tavanomaisia huippuarvoja (eli puuskatuulia) ja v_m määritellään 10 min tai tunnin aikakeskiarvona. Virtausnopeuden keskihajonta esitetään useimmiten turbulenssin intensiteetin I_v avulla muodossa

$$I_v = \frac{\sigma_v}{v_m}$$

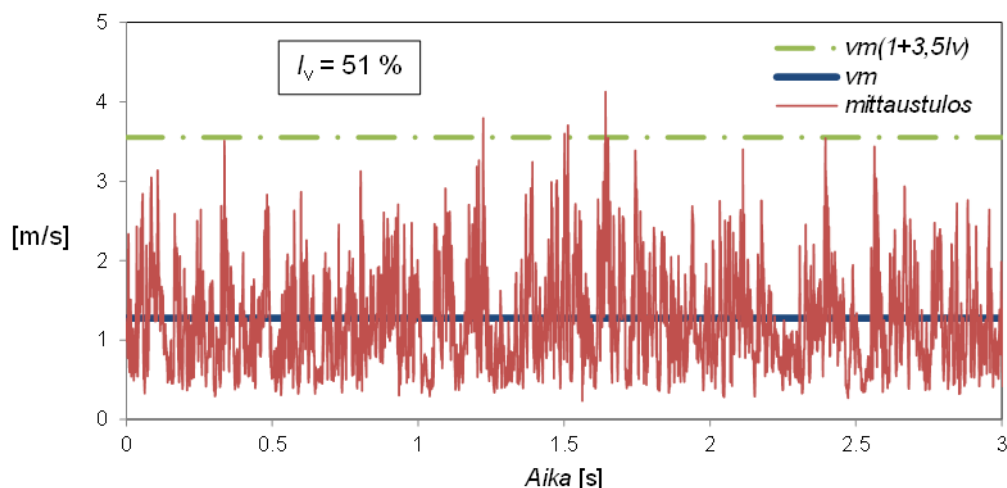
jolloin huippuarvo saadaan lausekkeesta

$$v_g = v_m (1 + gI_v)$$

Turbulenssin intensiteetti on dimensioton luku, ja se esitetäänkin useasti prosenteissa. Katutasossa mitattuna rakennusten vaikutuksessa I_v on suuruusluokkaa 50 % (vrt. kuva L2.2). Tuulisuustarkasteluissa sovellettava huippuarvokerroin g on yleensä annettu tarkasteltavassa tuulisuuskriteerissä, joten sitä ei ole tarvetta määrittää mittausten yhteydessä.

Tuulisuuskartoituksiin soveltuva numeerinen virtauslaskenta voidaan tehdä kahdella vaihtoehtoisella menetelmällä: suurten pyörteiden simuloinnilla (LES, *Large Eddy Simulation*) tai ajasta riippumattomalla RANS (*Reynolds Averaged Navier-Stokes*) -menetelmällä. Ensin mainittu on laskenta-ajaltaan huomattavasti pitempi siten, että RANS on tällä hetkellä käytetyin menetelmä. RANS-menetelmä soveltuu ainoastaan virtauksen keskinopeuden määrittämiseen (kuvan L2.2 yhtenäinen viiva). LES-menetelmällä voidaan simuloida turbulenssin suurempia pyörteitä, jolloin kuvan L2.2 mukainen virtausnopeuden vaihtelu saadaan jollain tarkkuudella "tasoitettuna" otetuksi huomioon, mutta on selvää että esimerkiksi kuvan L2.1 mukainen laaja kaupunkirakenne on käytännössä mahdotonta simuloida tarkasti kun tavoitteena on erityisesti katutaso tuulien selvitys. Supertietokonelaskenta, avoimien virtauslaskentaohjelmien kehittyminen (jolloin jokaisesta laskentaytimestä ei tarvitse "maksaa lisää lisenssimaksua") ja laskentaytimien määrän kasvu jopa useaan tuhanteen, pitää kuitenkin LES-laskennan mahdollisena tutkijakäytössä.

Jotta tulos olisi realistinen, myös kaupunkirakenteen kohtaavaan tuulen, eri laskennan raunaehdon, tulisi olla kuvan L2.2 mukainen turbulenttinen virtaus, joka vastaisi luonnon tuulta tarkasteltavalle tuulensuunnalle. Luonnon tuuli on aina turbulenttista.



Kuva L2.2: Esimerkki tuulitunnelikokeessa mitatusta katutason virtausnopeudesta (kuvan lähde WSP).

Numeerisen virtauslaskennan ja tuulitunnelikoe tulosten tulkinnan tärkeä ero on käytännössä se, että virtausnopeuden hetkelliset huippuarvot (tuulen puuskien / turbulenssin vaikutus) tulevat aliarvioituksi numeerisessa laskennassa. Tämän virheen merkitys on mahdollisesti vähäinen, jos itse tuulisuuskriteeri perustuu tuulen keskinopeuteen – ja vastaavasti merkittävä, jos kriteeri perustuu tuulen puuskanopeuteen.

Tuulitunnelikokeilla ja numeerisella virtauslaskennalla on myös toinen merkittävä ero: tuulitunnelikokeessa on rajallinen määrä mitattavia pisteitä (tyypillisesti suuruusluokaltaan 50), joissa tuulisuuden numeroarvo määritetään tarkasti. Numeerisessa laskennassa tarkastelupisteiden sijainti ja määrä voidaan valita vapaasti ja virtauksen kulkua kohdealueessa voidaan visualisoida graafisesti. Tuulitunnelikokeessa paikallisia virtauksia voidaan tarkastella ja visualisoida esim. savun avulla. Virtausnopeuden mittausten lisäksi tuulisuuden tarkasteluja on tehty tuulitunneleissa myös hiekka-eroosiokokeilla, jossa pienoismallin ripotellut hiekanjyvät puhaltuvat pois tuulisemmista kohdista, ja lopputulos antaa likimääräisesti visuaalisen kokonaiskuvan tuulisista kohdista kyseisellä tuulensuunnalla.

Tuulitunnelikokeen pisteet valitaan suunnitelman kannalta oleellisiin pisteisiin, esimerkiksi pihan oleskelupaikalle, rakennuksen sisääntulon kohdalle tai kävelysillalle. Muilta osin pisteet valitaan yleensä sellaisiin kohtiin, jossa tiedetään esiintyvän suuria tuulen puuskanopeuksia; kuten rakennuksen kulumien kohdalle, rakennusten väliin tai laajojen julkisivupintojen viereen. Vaikka tuulisuuden numeroarvot olisivat näissä suuria, voi lähistöllä olla pisteitä, jotka ovat esimerkiksi puiden ja pensaiden suojassa, ja jossa tuulisuus on vähäistä.

Tuulitunnelikoe tai numeerinen virtauslaskentatulokset ei sellaisenaan ole tuulisuuskartoitus, vaan tuulisuuskartoituksen tekemiseksi tarvitaan lisäksi tulosten yhdistäminen paikallisiin tuulitilastoihin, ottaen lisäksi huomioon tuulitilaston mittauspisteen ja kohteen välinen sijaintiero. Tämä edellyttää maaston rosoisuuden muutosten analyysiä ja sitä varten laadittujen laskentamallien käyttöä. Tavanomaisesti tuulen suunnat käydään läpi $22,5^\circ \dots 45^\circ$ välein.

Rajakerros-tuulitunnelit ovat suurikokoisia. Tuulitunnelikokeita tekevät rutiininomaisesti kymmenkunta tuulitunnelilaboratoriota mm. Kanadassa, USA:ssa, Isossa-Britanniassa, Australiassa, Tanskassa, Ranskassa, Japanissa ja Kiinassa. Suomessa kokeita on suoritettu Espoon Otaniemessä sijainneessa rajakerrostuulitunnelissa vuoteen 2016 asti; tämä tuulitunneli on sittemmin purettu.

Liite 3: Maaston rosoisuuden huomioon ottaminen

Jotta teoreettiset tuulennopeuden ja turbulenssin korkeusprofiilit olisivat voimassa myös korkeampien rakenteiden (korkeat rakennukset, korkeat sillat, mastot, tuulimyllyt yms.) korkeuksilla, on maaston oltava tuulen puolella tasaista, rosoisuuden on oltava muuttumaton pitkällä matkalla (suuruusluokaltaan ≥ 50 km) ja maaston tulee olla vapaa yksittäisistä virtaukseen vaikuttavista suuremmista esteistä. Tällöin rajakerroksen korkeus ja tuulen muut ominaisuudet eivät enää merkittävästi muutu matkan kasvaessa, eli rajakerros on tasapainotilassa maaston suhteen.

Täysin tasapainossa olevia rajakerroksia esiintyy vain harvoin todellisten rakenteiden suunnittelussa, ja tarkemmassa analyysissä rakennuspaikan tuuli- ja turbulenssiolosuhteet selvitetään analysoimalla maaston rosoisuuden muutokset tuulen puolella. Analyysi perustuu yleisesti maan ja ilmapirtauksen välistä kitkaa kuvaavaan rosoisuusparametrin (z_0) muutoksiin tuulen puolella. Teoreettisissa malleissa rosoisuusparametrin avulla voidaan mm. kuvata tuulen keskinopeuden korkeusriippuvuus ja tuulennopeuden väliset erot eri maastotyypeissä (maastoluokissa).

Tuulen keskinopeuden korkeusriippuvuus oletetaan meteorologisissa tarkeasteluissa lähellä maanpintaa vaikuttavassa ns. pintakerroksessa logaritmiseksi yhteydestä

$$v_m = \frac{u^*}{k} \left[\ln \left(\frac{z-d}{z_0} \right) - \Psi \left(\frac{z}{L} \right) \right] \quad (\text{L3.1})$$

missä v_m = tuulen keskinopeus; u^* = kitkanopeus; k = von Kármánin vakio ($= 0,4$); z = korkeus; d = nollatason siirtymä ja Ψ = kokeellisesti määritettävissä oleva funktio, joka kuvaa erityisesti ilman tasapainotilan eli stabiiliuden (yleisesti lämpötilakerrostumien) vaikutusta tuulennopeuteen. Kitkanopeus u^* on tarkoitettu määritettäväksi lähellä maanpintaa, ja se on verrannollinen ilmanvirtauksen ja maan väliseen kitkaan.

Kovemmissa myrskyissä, kuten rakennesuunnittelussa käytettävissä ≥ 50 v toistumisvälin myrskyissä, lämpötilakerrostumien vaikutus on pieni (ilman tasapainotila on neutraali), ja funktio Ψ voidaan jättää ottamatta huomioon ($\Psi = 0$) [L3.1]. Logaritminen yhteys on tällöin sama, kun tasaisen pinnan yli kulkevan virtauksen turbulentissa rajakerroksessa vaikuttava teoreettinen yhteys (ns. seinämävirtaus). Kitkanopeus u^* voidaan määrittää tuulennopeuden mittauksilla esim. 10 m korkeudella avoimessa maastossa ($d = 0$), jolloin

$$u^* = \frac{k v_{10}}{\ln \left(\frac{z_{10}}{z_0} \right)} \quad (\text{L3.2})$$

missä v_{10} = 10 m korkeudessa mitattu tuulen keskinopeus ja z_{10} = 10 m. Kitkanopeus on vakio likimain korkeusalueella $z = 10 \dots 30$ m, joten sen määrittämisessä voidaan käyttää 10 m sijaan muutakin mittauskorkeutta. Tutkimuskäytössä voidaan tuloksista erotella ne mittaustulokset, jossa ilman tasapainotilan voidaan olettaa neutraali ($\Psi = 0$), vakaa ja epävakaa.

Pintakerroksen korkeus on n. 10 % ilmakehän rajakerroksen korkeudesta h_G [L3.1]. Meteorologisissa tarkasteluissa h_G oletetaan tyypillisesti riippuvaksi tuulen nopeudesta ja Coriolisvoimasta yhteydestä [L3.1]

$$h_G = C \frac{u^*}{f} \quad (\text{L3.3})$$

missä C = vakio ja Coriolisparametri f on

$$f = 2\Omega \sin(\Phi) \quad (\text{L3.4})$$

missä Ω = maapallon pyörimisen kulmataajuus ja Φ = kohteen leveysaste. Vakion C arvot vaihtelevat kirjallisuudessa likimain alueella 0,15...0,3. Suomen etelärannikolla $f = 0,00013$ rad/s. Rajakerroksen korkeus on Suomessa kovimmissa myrkyissä 2 km luokkaa, jolloin kaavan (L3.1) logaritminen yhteys on voimassa on n. 200 m asti. Tuulen turbulenssin ominaisuudet muuttavat mittakaavaansa rajakerroksen korkeuden muuttuessa, joten kaikkein voimakkaimpien myrskyjen ominaisuuksista on vain vähän mitattua tutkimustietoa.

Kun rajakerroksen korkeudella (h_G) vaikuttava lähes kitkaton virtaus (esim. geostrofinen tuuli G) oletetaan muuttumattomaksi laajalla alueella, voidaan määrittää teoreettinen yhteys eri maastotyypeissä vallitseville tuulennopeuksille.

Jos tuulen korkeusriippuvuus oletettaisiin eksponenttimuotoiseksi vanhempien suunnitteluohjeiden mukaisesti, saataisiin yhteys yksinkertaisesti olettamalla rajakerroksen korkeudet eri maastoluokissa.

Logaritmisen yhteyden tapauksessa, koska tämä pätee vain pintakerroksessa, on otaksuttava tai mitattava tuulennopeuden korkeusriippuvuus myös rajakerroksen ylemmissä osissa. Näissä Coriolisvoima on oleellinen tekijä, jonka johdosta mm. virtauksen suunta kääntyy ilmanpaineen tasa-arvokäyrien suuntaiseksi. Kun otaksutaan, että rajakerroksen ylemmissä osissa tuulennopeudet ovat neutraalissa ilmakehässä verrannollinen tuulennopeuteen lähellä maapintaa, voidaan dimensionaalilyyissä nopeusmitaksi valita u^* ja yhteys olettaa riippuvaksi dimensiottomasta tulosta fz/u^* . Kun kaavan (L3.3) yhteys on voimassa, voidaan yhteys otaksua vaihtoehtoisesti riippuvaksi myös dimensiottomat tulosta z/h_G . Reunaehtona tällaisille yhteyksille toimivat tyypillisesti $dv_m/dz = 0$ kun z on suuri, ja että tietyllä korkeusalueella tämän ja kaavan (L3.1) logaritmisen yhteyden tulee antaa yhtenevät tulokset [L3.2]. Geostrofisen tuulen suunta poikkeaa maan pinnalla vaikuttavan tuulen suunnasta kitkan vaikutuksen johdosta, ja G voidaan esittää komponenttiansa avulla muodossa [L3.1]

$$G = \sqrt{G_X^2 + G_Y^2} \quad (\text{L3.5})$$

missä

$$G_X = \frac{u^*}{k} \left[\ln \left(\frac{u^*}{fz_0} \right) - A \right] \quad (\text{L3.6})$$

ja

$$G_Y = \frac{u^*}{k} B \quad (\text{L3.7})$$

missä A ja B ovat kokeellisia vakioita; ja G_X tarkoittaa maan pinnan tasolla vaikuttavan tuulen suuntaista komponenttia. Esimeriksi Suomen tuuliatlaksen [L3.2] laadinnassa tätä on sovellettu vakioiden arvoilla $A = 1,8$ ja $B = 4,5$. Näitä vakioita ei kuitenkaan voida pitää täysin universaaleina, ja esim. lähteessä [L3.3] on määritetty vakioita tarkemmin neutraalin tasapainotilan tuulten mittauksien perusteella Tanskassa, ja saatu $A = 0,5$ ja $B = 3,5$, sekä mainittu joidenkin tutkijoiden suosittelavan arvoja $A = 0$ ja $B = 5$ koville tuulille. Suomen rakennesuunnittelussa sovellettavan perustuulennopeuden ($v_{10} = 21$ m/s, $z_0 = 0,05$ m) mainitusta vakioista A ja B johtuvat erot geostrofiseen tuulennopeuteen (silloin kuin sitä arvioidaan lähellä maanpintaa tehdyistä tuulennopeuden mittauksista) ovat suurimmillaan n. 15 %.

Kokeellisesti geostrofisen tuuli voidaan määrittää esimerkiksi säähavaintopallojen tai ilmanpaineen tasa-arvokäyrien avulla.

Kun kitkanopeus maastotyyppissä z_{01} tunnettaaan, voidaan kitkanopeus toisessa maastotyyppissä z_0 laskea iteratiivisesti kaavan (L3.5) avulla asettamalla G samaksi kummassakin. Tulos on ainoastaan vähäisesti riippuva parametreista f , A ja B , ja voidaan esittää likimääräisesti kaavalla [L3.1]

$$\frac{u^*(z_0)}{u^*(z_{01})} = \left(\frac{z_0}{z_{01}}\right)^{0,0706} \quad (\text{L3.8})$$

Kaavat (L3.1) ja (L3.8) ovat myös Eurokoodin [L3.4] maastoluokkien perustana. Esimerkiksi jos kaavalla L3.5 määritetään myrskyisällä merellä ($z_0 = 0,003$ m) mitatun tuulennopeuden suhdetta esikau-punkialueen ($z_0 = 0,3$ m) tuulennopeuteen, on vakioiden A ja B vaikutus n. 4 % ja kaavan (L3.8) käytön vaikutus n. 3 %.

Edellä esitetty on menettely on suositteleva tapa eri maastoluokissa valitsevien tuulennopeuksien määrittämiseen, koska lähellä maanpintaa tehtävät tavanomaisten sääasemien mittaustulokset ovat herkkiä erilaisille tuulivarjostustekijöille ja maaston rosoisuuden muutoksille eri tuulensuunnilla.

Konsultin käyttämä malli tuuli- ja turbulenssiparametreille sekä maaston rosoisuuden muutoksen analyysille vastaa tuulitekniikka-asiantuntijoiden laajasti käyttämään ESDU-ohjesarjan (www.esdu.com) malleihin, jotka puolestaan perustuvat eri tutkijoiden malleihin ja mittauksiin. Tuulen keskinopeus neutraalille ilmakehälle ($\Psi = 0$, $v_{10} \geq 10$ m/s) on Deaves-Harris mallin mukainen

$$v_h = \frac{u^*}{k} \left[\ln \left(\frac{z}{z_0} \right) + a_1 \frac{z}{h_G} + a_2 \left(\frac{z}{h_G} \right)^2 + a_3 \left(\frac{z}{h_G} \right)^3 + a_4 \left(\frac{z}{h_G} \right)^4 \right] \quad (\text{L3.9})$$

missä v_h = tuulen keskinopeus tunnin aikakeskiarvona; h_G määritetään arvolla $C = 1/6$; $a_1 = 23/4$; $a_2 = -15/8$; $a_3 = -4/3$; ja $a_4 = 1/4$ [L3.5]. Geostrofisen tuulennopeus saadaan tässä mallissa asettamalla $z = z_G$, jolloin tulos on

$$G = \frac{u^*}{k} \left[\ln \left(\frac{u^*}{f z_0} \right) + 1 \right] \quad (\text{L3.10})$$

Tämä vastaa likimain kaavan (L3.5) tulosta vakioiden arvoilla $A = 0$ ja $B = 5$.

Tasapainossa olevien rajakerrosten välimaastossa on tuuli- ja turbulenssiparametrit arvioitava ko-keellista tai laskennallisista rosoisuuden muutosten analyysimalleista, joiden yleistä periaatetta on havainnollistettu kuvassa L3.1. Suomen oloissa teoreettisesti tasapainossa esiintyviä rajakerroksia (jossa rosoisuus oli muuttumaton n. 50 km matkalla) esiintyy erityisesti avomerellä, jolloin analyysin perustana voidaan käyttää avomerisääasemien tuulimittaustietoja, jossa myös tuulennopeudet ovat tyypillisesti suurimpia.

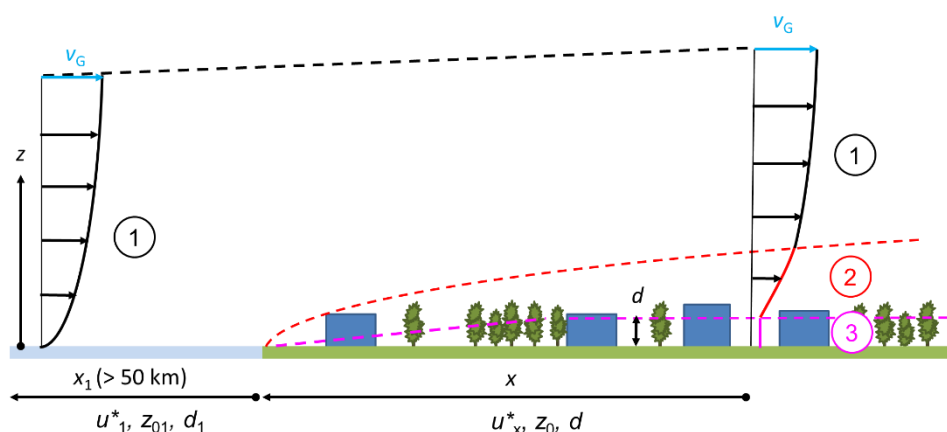
Jos maastotyyppi ei sovi sellaisenaan mihinkään tavanmaiseen maastoluokkaan, eli sille ei voida luotettavasti otaksua tiettyä rosoisuusparametria. Suomessa näin on esimerkiksi meren ja järvien saariston osalta, koska yksittäisen esteen, kuten saaren, virtaukseen aiheuttama kitka on suurempi, kuin tasaisesti jakaantuneiden esteiden.

Tehollinen rosoisuusparametri voidaan tällöin laskea esimerkiksi saarten tai muiden yksittäisten esteiden pinta-alaosuuden perusteella tuulensuunnittain. Tarkasteltava etäisyys on n. 50 km tuulen puolella lähellä vaikuttavan rosoisuuden vaikutuksen ollessa merkittävämpi tarkastelupisteen korkeudesta riippuen.

Menettelyä sovelletaan tyypillisesti mm. tuulivoimatarkasteluissa ja numeerisissa virtauslaskennassa, kuten Suomen Tuuliatlaksen [L3.3] yhteydessä tehdyissä ilmastosimulaatioissa. Konsultin käyttämä menettely on eri pinta-alaosuuksilla painotettujen kitkakertoimien C_s summaaminen tietyllä korkeudella z_B , jossa yksittäisten esteiden tuottamat häiriöt virtaukseen voidaan olettaa sekoittuneeksi päävirtaukseen. Korkeutena on käytetty $z_B = 60$ m ohjeen [L3.6] mukaisesti. Pinnan kitkakerroin on määritelmänsä mukaisesti

$$C_S = \left[\frac{k}{\ln\left(\frac{z_B}{z_0}\right)} \right]^2 \quad (\text{L3.11})$$

Tarkemmassa analyysissä vesialueiden rosoisuuteen vaikuttaa aallokko ja jääpeite, samoin kuin sisämaan peltoalueiden rosoisuuteen vaikuttaa lumipeite.



Kuva L3.1: Maaston rosoisuuden muutosanalyysin yleinen periaate. Kerroksessa 1 tuulennopeudet ovat korkeuden funktiona samat (kun otetaan huomioon nollatason siirtymän muutos $d_1 > d$). Kerroksessa 2 tuulennopeus on likimain logaritminen vastaten rosoisuusmittaa z_0 ja paikallista kitkanopeutta u^*_x . Jos tarkastelupiste x on kaukana rosoisuuden muutoksesta ($x > 50$ km) $u^*_x = u^*$, ja tuulennopeuden uusi korkeusjakauma vastaa kokonaan z_0 ja u^* mukaista.

Liitteen lähteet:

- L3.1 Simiu, E & Scanlan, R. H., Wind effects on structures: Fundamentals and application to design, 3rd Edit., John Wiley & Sons, New York 1986, 688 p.
- L3.2 Tennekes, H. The logarithmic wind profile, *Journal of the Atmospheric Science*, (1972)30, pp. 234...238.
- L3.3 Tammelin, B. et al, Production of the Finnish Wind Atlas, *Wind Energy* (2011)
- L3.4 SFS-EN 1991-1-4:2005 Eurocode1: Rakenteiden kuormat. Yleiset kuormat. Osa 1-4: tuulikuormat. 255 s. & Kansallinen liite NA SFS-EN1991-1-4 (15.10.2007).
- L3.5 He et al, On standardization of offshore surface wind speeds, *Journal of Applied Meteorology and climatology*, 2016(55), pp. 1107...1121.
- L3.6 Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, World Meteorological Organization, 2008, WMO-No. 8

Liite 4: Maaston rosoisuuden muutosten analyysi

Rosoisuuden 1. muutos

		Tuulen suuntakulma																Kommentti	Viite
Symboli	Yks.	0	22.5	45	67.5	90	112.5	135	157.5	180	202.5	225	247.5	270	292.5	315	337.5		
V _{ref}	m/s	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	keskituulen perusarvo (10 min, 10 m, 50 v, z ₀)	Tuulitilat
k		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	toistumisvälin kerroin	Euro codi
V _{ref}	m/s	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	1 v toistumisvälin tuuli	
u _r	m/s	1.146	1.146	1.146	1.146	1.146	1.146	1.146	1.146	1.146	1.146	1.146	1.146	1.146	1.146	1.146	1.146	kitkanopeus (friction velocity) vastaten z ₀	
z ₀	m	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	rosoisuusmitta (roughness length) keskituulen perusarvoon liittyen	
z ₀₁	m	0.300	0.300	0.300	0.300	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	kohtealueen ympäristössä	
lv(z = 10 m)		0.28	0.28	0.28	0.28	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	turbulenssin intensiteetti	
lv(z = 15 m)		0.26	0.26	0.26	0.26	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26		
lv(z = 80 m)		0.19	0.19	0.19	0.19	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19		
lv(z = 120 m)		0.17	0.17	0.17	0.17	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17		
vm(z = 10 m)	m/s	14	14	14	14	25	25	25	25	25	25	25	14	14	14	14	14	10 min keskituuli	
vm(z = 15 m)	m/s	16	16	16	16	26	26	26	26	26	26	26	16	16	16	16	16		
vm(z = 80 m)	m/s	23	23	23	23	31	31	31	31	31	31	31	23	23	23	23	23		
vm(z = 120 m)	m/s	25	25	25	25	32	32	32	32	32	32	32	25	25	25	25	25		
vh(z = 10 m)	m/s	13	13	13	13	24	24	24	24	24	24	24	13	13	13	13	13	tunnin keskituuli	
vh(z = 15 m)	m/s	15	15	15	15	25	25	25	25	25	25	25	15	15	15	15	15		
vh(z = 80 m)	m/s	22	22	22	22	30	30	30	30	30	30	30	22	22	22	22	22		
vh(z = 120 m)	m/s	24	24	24	24	31	31	31	31	31	31	31	24	24	24	24	24		
v(z = 10 m)	m/s	26	26	26	26	34	34	34	34	34	34	34	26	26	26	26	26	puuskatuuli g = 3,5	
v(z = 15 m)	m/s	28	28	28	28	35	35	35	35	35	35	35	28	28	28	28	28		
v(z = 80 m)	m/s	36	36	36	36	38	38	38	38	38	38	38	36	36	36	36	36		
v(z = 120 m)	m/s	38	38	38	38	39	39	39	39	39	39	39	38	38	38	38	38		
z ₀₂	m	0.001	0.001	0.001	0.100	0.100	0.300	0.300	0.030	0.030	0.100	0.300	0.300	0.010	0.300	0.300	0.001	kohtealueen mukaan	
x	m	2000	3000	2500	3000	35000	4000	4000	5000	4000	15000	33000	5000	800	5000	5000	2500	etäisyys muutostohtaan	
lv(z = 10 m)		0.12	0.12	0.12	0.22	0.22	0.28	0.28	0.18	0.18	0.22	0.28	0.28	0.18	0.28	0.28	0.12	turbulenssin intensiteetti	
lv(z = 15 m)		0.12	0.12	0.12	0.21	0.21	0.26	0.26	0.17	0.17	0.21	0.26	0.26	0.15	0.26	0.26	0.12		
lv(z = 80 m)		0.08	0.08	0.08	0.16	0.16	0.19	0.19	0.13	0.13	0.16	0.19	0.19	0.11	0.19	0.19	0.08		
lv(z = 120 m)		0.07	0.07	0.07	0.14	0.14	0.17	0.17	0.12	0.12	0.14	0.17	0.17	0.10	0.17	0.17	0.07		
vm(z = 10 m)	m/s	25	25	25	17	17	14	14	20	20	17	14	14	22	14	14	25	10 min keskituuli	
vm(z = 15 m)	m/s	26	26	26	19	19	16	16	21	21	19	16	16	23	16	16	26		
vm(z = 80 m)	m/s	31	31	31	25	25	23	23	27	27	25	23	23	28	23	23	31		
vm(z = 120 m)	m/s	32	32	32	27	27	25	25	29	29	27	25	25	30	25	25	32		
vh(z = 10 m)	m/s	24	24	24	16	16	13	13	18	18	16	13	13	20	13	13	24	tunnin keskituuli	
vh(z = 15 m)	m/s	25	25	25	17	17	15	15	20	20	17	15	15	22	15	15	25		
vh(z = 80 m)	m/s	30	30	30	24	24	22	22	26	26	24	22	22	27	22	22	30		
vh(z = 120 m)	m/s	31	31	31	25	25	24	24	28	28	26	24	24	29	24	24	31		
v(z = 10 m)	m/s	34	34	34	28	28	26	26	30	30	28	26	26	32	26	26	34	puuskatuuli g = 3,5	
v(z = 15 m)	m/s	35	35	35	30	30	28	28	32	32	30	28	28	33	28	28	35		
v(z = 80 m)	m/s	38	38	38	37	37	36	36	38	38	37	36	36	38	36	36	38		
v(z = 120 m)	m/s	39	39	39	38	38	38	38	39	39	38	38	38	39	38	38	39		
Maaston rosoisuuden muutoksen (z ₀₁ -> z ₀₂) vaikutus ESDU85020 mukaisesti																			Kohteessa
lv(z = 10 m)		0.18	0.17	0.18	0.23	0.22	0.23	0.23	0.17	0.16	0.21	0.27	0.28	0.21	0.28	0.28	0.18		
lv(z = 15 m)		0.17	0.17	0.17	0.22	0.20	0.22	0.22	0.16	0.16	0.20	0.25	0.26	0.21	0.26	0.26	0.17		
lv(z = 80 m)		0.16	0.15	0.15	0.17	0.15	0.14	0.14	0.10	0.10	0.15	0.19	0.19	0.17	0.19	0.19	0.15		
lv(z = 120 m)		0.15	0.14	0.14	0.15	0.14	0.12	0.12	0.08	0.08	0.12	0.17	0.17	0.16	0.17	0.17	0.14		
10 min keskituuli																			
vm(z = 10 m)	m/s	19	19	19	17	17	17	17	21	21	18	15	14	17	14	14	19		
vm(z = 15 m)	m/s	20	21	20	18	19	19	19	23	23	20	16	16	18	16	16	20		
vm(z = 80 m)	m/s	25	26	26	24	25	27	27	29	29	26	24	23	24	23	23	26		
vm(z = 120 m)	m/s	27	28	28	26	27	28	28	30	31	28	26	25	26	25	25	28		
Tunnin keskituuli																			
vh(z = 10 m)	m/s	18	18	18	15	16	16	16	20	20	17	13	13	16	13	13	18		
vh(z = 15 m)	m/s	19	19	19	17	18	17	17	21	22	18	15	15	17	15	15	19		
vh(z = 80 m)	m/s	24	25	24	23	24	25	25	28	28	25	22	22	23	22	22	24		
vh(z = 120 m)	m/s	26	26	26	25	26	27	27	30	30	27	24	24	24	24	24	26		
Puuskatuuli																			
v(z = 10 m)	m/s	29	29	29	27	28	28	28	32	32	29	26	26	28	26	26	29		
v(z = 15 m)	m/s	31	31	31	29	30	31	31	33	33	31	28	28	29	28	28	31		
v(z = 80 m)	m/s	37	38	37	36	37	38	38	38	38	37	36	36	36	36	36	37		
v(z = 120 m)	m/s	39	39	39	38	39	38	38	38	38	39	38	38	38	38	38	39		

Rosoisuuden 2. muutos

Symboli	Yks.	Tuulen suuntakulma																Kommentti	Viite
		0	22.5	45	67.5	90	112.5	135	157.5	180	202.5	225	247.5	270	292.5	315	337.5		
V _{ref}	m/s	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	keskituulen perusarvo (10 min, 10 m, 50 v, z ₀)	Tuulitilastot
k		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	toistumisvälin kerroin 1 v toistumisvälin tuuli	Eurakoodi
V _{ref}	m/s	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	kitkanopeus (friction velocity) vastaten z ₀	
U _r	m/s	1.146	1.146	1.146	1.146	1.146	1.146	1.146	1.146	1.146	1.146	1.146	1.146	1.146	1.146	1.146	1.146	rosaisuusmitta (roughness length) keskituulen perusarvoon liittyen	
Z _{0r}	m	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	rosaisuusmitta (roughness length) keskituulen perusarvoon liittyen	
Z ₀₁	m	0.016	0.010	0.012	0.101	0.100	0.284	0.284	0.026	0.025	0.100	0.300	0.300	0.052	0.300	0.300	0.012	kohdealueen ympäristössä	
lv(z=10 m)		0.18	0.17	0.18	0.23	0.22	0.23	0.23	0.17	0.16	0.21	0.27	0.28	0.21	0.28	0.28	0.18	turbulenssin intensiteetti	
lv(z=15 m)		0.17	0.17	0.17	0.22	0.20	0.22	0.22	0.16	0.16	0.20	0.25	0.26	0.21	0.26	0.26	0.17		
lv(z=80 m)		0.16	0.15	0.15	0.17	0.15	0.14	0.14	0.10	0.10	0.15	0.19	0.19	0.17	0.19	0.19	0.15		
lv(z=120 m)		0.15	0.14	0.14	0.15	0.14	0.12	0.12	0.08	0.08	0.12	0.17	0.17	0.16	0.17	0.17	0.14		
vm(z=10 m)	m/s	19	19	19	17	17	17	17	21	21	18	15	14	17	14	14	19	10 min keskituuli	
vm(z=15 m)	m/s	20	21	20	18	19	19	19	23	23	20	16	16	18	16	16	20		
vm(z=80 m)	m/s	25	26	26	24	25	27	27	29	29	26	24	23	24	23	23	26		
vm(z=120 m)	m/s	27	28	28	26	27	28	28	30	31	28	26	25	26	25	25	28		
vh(z=10 m)	m/s	18	18	18	15	16	16	16	20	20	17	13	13	16	13	13	18	tunnin keskituuli	
vh(z=15 m)	m/s	19	19	19	17	18	17	17	21	22	18	15	15	17	15	15	19		
vh(z=80 m)	m/s	24	25	24	23	24	25	25	28	28	25	22	22	23	22	22	24		
vh(z=120 m)	m/s	26	26	26	25	26	27	27	30	30	27	24	24	24	24	24	26		
vi(z=10 m)	m/s	29	29	29	27	28	28	28	32	32	29	26	26	28	28	28	29	puuskatuuli g = 3,5	
vi(z=15 m)	m/s	31	31	31	29	30	31	31	33	33	31	28	28	29	28	28	31		
vi(z=80 m)	m/s	37	38	37	36	37	38	38	38	38	37	36	36	36	36	36	37		
vi(z=120 m)	m/s	39	39	39	38	39	38	38	38	38	39	38	38	38	38	38	39		
Z ₀₂	m	0.300	0.300	0.300	0.001	0.010	0.010	0.001	0.001	0.300	0.300	0.100	0.001	0.030	0.300	0.300	0.300	kohdealueen mukaan	
x	m	1000	500	300	1000	4000	2000	2000	500	500	500	6000	300	200	5000	5000	500	etäisyys muutostekn. ohtaan	
lv(z=10 m)		0.28	0.28	0.28	0.12	0.16	0.16	0.12	0.12	0.28	0.28	0.22	0.12	0.18	0.28	0.28	0.28	turbulenssin intensiteetti	
lv(z=15 m)		0.26	0.26	0.26	0.12	0.15	0.15	0.12	0.12	0.26	0.26	0.21	0.12	0.17	0.26	0.26	0.26		
lv(z=80 m)		0.19	0.19	0.19	0.08	0.11	0.11	0.08	0.08	0.19	0.19	0.16	0.08	0.13	0.19	0.19	0.19		
lv(z=120 m)		0.17	0.17	0.17	0.07	0.10	0.10	0.07	0.07	0.17	0.17	0.14	0.07	0.12	0.17	0.17	0.17		
vm(z=10 m)	m/s	14	14	14	25	22	22	25	25	14	14	17	25	20	14	14	14	10 min keskituuli	
vm(z=15 m)	m/s	16	16	16	26	23	23	26	26	16	16	19	26	21	16	16	16		
vm(z=80 m)	m/s	23	23	23	31	28	28	31	31	23	23	25	31	27	23	23	23		
vm(z=120 m)	m/s	25	25	25	32	30	30	32	32	25	25	27	32	29	25	25	25		
vh(z=10 m)	m/s	13	13	13	24	20	20	24	24	13	13	16	24	18	13	13	13	tunnin keskituuli	
vh(z=15 m)	m/s	15	15	15	25	22	22	25	25	15	15	17	25	20	15	15	15		
vh(z=80 m)	m/s	22	22	22	30	27	27	30	30	22	22	24	30	26	22	22	22		
vh(z=120 m)	m/s	24	24	24	31	29	29	31	31	24	24	26	31	28	24	24	24		
vi(z=10 m)	m/s	26	26	26	34	32	32	34	34	26	26	28	34	30	26	26	26	puuskatuuli g = 3,5	
vi(z=15 m)	m/s	28	28	28	35	33	33	35	35	28	28	30	35	32	28	28	28		
vi(z=80 m)	m/s	36	36	36	38	38	38	38	38	36	36	37	38	38	36	36	36		
vi(z=120 m)	m/s	38	38	38	39	39	39	39	39	38	38	39	39	39	38	38	38		
Maaston rosaisuuden muutoksen (Z ₀₁ - > Z ₀₂) vaikutus ESD U85020 mukaisesti																			Kohteessa
lv(z=10 m)		0.27	0.25	0.24	0.18	0.17	0.17	0.15	0.14	0.21	0.23	0.22	0.20	0.22	0.28	0.28	0.25		
lv(z=15 m)		0.24	0.23	0.21	0.17	0.16	0.16	0.15	0.14	0.19	0.22	0.21	0.20	0.21	0.26	0.26	0.23		
lv(z=80 m)		0.17	0.15	0.16	0.16	0.13	0.12	0.12	0.10	0.11	0.15	0.16	0.19	0.17	0.19	0.19	0.16		
lv(z=120 m)		0.15	0.14	0.14	0.15	0.12	0.11	0.10	0.08	0.08	0.13	0.15	0.17	0.16	0.17	0.17	0.15		
10 min keskituuli																			
vm(z=10 m)	m/s	15	15	16	19	21	21	22	23	19	17	17	18	17	14	14	15		
vm(z=15 m)	m/s	17	17	18	20	22	22	24	24	20	18	19	18	19	16	16	17		
vm(z=80 m)	m/s	25	25	25	25	27	28	29	29	26	25	24	24	24	23	23	25		
vm(z=120 m)	m/s	27	27	27	27	29	30	31	31	30	28	27	26	26	25	25	27		
Tunnin keskituuli																			
vh(z=10 m)	m/s	13	14	14	18	19	20	21	22	17	15	16	17	15	13	13	14		
vh(z=15 m)	m/s	15	16	17	19	21	21	23	23	19	17	17	18	17	15	15	16		
vh(z=80 m)	m/s	23	24	24	24	26	27	28	28	24	24	22	23	22	22	22	24		
vh(z=120 m)	m/s	25	26	26	26	28	29	30	30	29	27	26	24	24	24	24	26		
Puuskatuuli																			
vi(z=10 m)	m/s	26	26	27	29	31	32	32	33	30	28	28	29	27	26	26	26	puuskatuuli (1 s, g=3,5)	
vi(z=15 m)	m/s	28	29	29	31	32	33	34	34	32	30	30	30	29	28	28	29		
vi(z=80 m)	m/s	37	37	37	37	37	39	39	38	38	37	37	36	36	36	36	37		
vi(z=120 m)	m/s	39	39	39	39	39	39	40	39	38	39	39	39	38	38	38	39		
Puuskatuulen nopeuspaine (1 s): ilman tiheys = 1,25 kg/m ³																			
q(z=10 m)	kN/m ²	0.42	0.44	0.44	0.53	0.59	0.62	0.66	0.66	0.58	0.49	0.49	0.52	0.46	0.42	0.42	0.44		
q(z=15 m)	kN/m ²	0.50	0.51	0.53	0.58	0.64	0.69	0.73	0.72	0.63	0.57	0.56	0.57	0.52	0.49	0.49	0.51		
q(z=80 m)	kN/m ²	0.84	0.86	0.85	0.84	0.87	0.93	0.96	0.91	0.90	0.87	0.85	0.83	0.82	0.82	0.82	0.85		
q(z=120 m)	kN/m ²	0.93	0.95	0.96	0.93	0.94	0.97	1.01	0.93	0.90	0.93	0.93	0.93	0.91	0.90	0.90	0.95		

Liite 5: Tuulisuuden numeroarvot, tilanne a)

Tunnin keskituuli > 5 m/s

Piste		M Koko vuosi					Kesäkausi			
		% ajasta	h/vuosi	h/kk	h/vk		% ajasta*	h	h/kk	h/vk
4		4.4 %	387	32	7		1.6 %	70.6	11.8	2.7
5		3.0 %	265	22	5		1.0 %	43.3	7.2	1.7
6		3.8 %	333	28	6		1.2 %	51.3	8.6	2.0
10		3.6 %	318	27	6		1.3 %	57.6	9.6	2.2
11		0.1 %	7	1	0		0.0 %	0.2	0.0	0.0
12		5.0 %	434	36	8		1.5 %	66.0	11.0	2.5
13		6.1 %	535	45	10		2.4 %	106.9	17.8	4.1
14		4.3 %	377	31	7		1.4 %	59.6	9.9	2.3
15		3.4 %	296	25	6		1.1 %	47.1	7.9	1.8

* kesäkauden tunnit = 100 %

Puuskatuuli > 10 m/s

Piste		Koko vuosi					A Kesäkausi			
		% ajasta	h/vuosi	h/kk	h/vk		% ajasta*	h	h/kk	h/vk
4		5.8 %	512	42.6	9.8		2.50 %	109.5	18.3	4.2
5		5.0 %	441	36.7	8.5		2.13 %	93.3	15.6	3.6
6		4.3 %	380	31.7	7.3		1.77 %	77.6	12.9	3.0
10		3.6 %	315	26.2	6.1		1.28 %	56.2	9.4	2.2
11		0.9 %	81	6.7	1.6		0.22 %	9.6	1.6	0.4
12		6.4 %	560	46.6	10.8		2.52 %	110.6	18.4	4.3
13		6.9 %	601	50.1	11.6		2.93 %	128.2	21.4	4.9
14		5.2 %	458	38.2	8.8		1.88 %	82.3	13.7	3.2
15		5.4 %	475	39.6	9.1		2.24 %	98.1	16.3	3.8

* kesäkauden tunnit = 100 %

Puuskatuuli > 13 m/s

Piste		Koko vuosi					B Kesäkausi			
		% ajasta	h/vuosi	h/kk	h/vk		% ajasta*	h	h/kk	h/vk
4		1.1 %	96	8.0	1.8		0.30 %	13.1	2.2	0.5
5		0.8 %	73	6.1	1.4		0.25 %	10.8	1.8	0.4
6		0.6 %	55	4.6	1.1		0.19 %	8.5	1.4	0.3
10		0.5 %	40	3.3	0.8		0.09 %	4.1	0.7	0.2
11		0.1 %	10	0.8	0.2		0.01 %	0.3	0.0	0.0
12		1.4 %	121	10.1	2.3		0.32 %	14.2	2.4	0.5
13		1.4 %	120	10.0	2.3		0.32 %	13.8	2.3	0.5
14		1.5 %	135	11.3	2.6		0.37 %	16.0	2.7	0.6
15		1.0 %	87	7.2	1.7		0.27 %	11.8	2.0	0.5

* kesäkauden tunnit = 100 %

Puuskatuuli > 16 m/s

Piste		C Koko vuosi				Kesäkausi			
		% ajasta	h/vuosi	h/kk	h/vk	% ajasta*	h	h/kk	h/vk
4		0.170 %	14.9	1.2	0.3	0.027 %	1.2	0.19	0.04
5		0.131 %	11.4	1.0	0.2	0.022 %	1.0	0.16	0.04
6		0.096 %	8.4	0.7	0.2	0.018 %	0.8	0.13	0.03
10		0.045 %	3.9	0.3	0.1	0.006 %	0.3	0.04	0.01
11		0.011 %	0.9	0.1	0.0	0.000 %	0.0	0.00	0.00
12		0.249 %	21.8	1.8	0.4	0.033 %	1.5	0.24	0.06
13		0.209 %	18.3	1.5	0.4	0.027 %	1.2	0.19	0.04
14		0.384 %	33.7	2.8	0.6	0.061 %	2.7	0.44	0.10
15		0.159 %	13.9	1.2	0.3	0.025 %	1.1	0.18	0.04

* kesäkauden tunnit = 100 %

Puuskatuuli > 23 m/s

Piste		D Koko vuosi				Kesäkausi			
		% ajasta	h/vuosi	h/kk	h/vk	% ajasta*	h	h/kk	h/vk
4		0.0030 %	0.3	0.0	0.0	0.0000 %	0.0	0.0	0.0
5		0.0030 %	0.3	0.0	0.0	0.0000 %	0.0	0.0	0.0
6		0.0018 %	0.2	0.0	0.0	0.0000 %	0.0	0.0	0.0
10		0.0002 %	0.0	0.0	0.0	0.0000 %	0.0	0.0	0.0
11		0.0000 %	0.0	0.0	0.0	0.0000 %	0.0	0.0	0.0
12		0.0034 %	0.3	0.0	0.0	0.0001 %	0.0	0.0	0.0
13		0.0030 %	0.3	0.0	0.0	0.0000 %	0.0	0.0	0.0
14		0.0050 %	0.4	0.0	0.0	0.0004 %	0.0	0.0	0.0
15		0.0030 %	0.3	0.0	0.0	0.0000 %	0.0	0.0	0.0

* kesäkauden tunnit = 100 %

WSP Finland Oy
WSP
Pasilan asema-aukio 1
00520 Helsinki
Puh: 0207 864 11
www.wsp.com/FI-fi

