

UNITED
BY OUR
DIFFERENCE



Keski-Pasilan asemakaavoitus

Tuulisuuskartoitus

Joulukuu 2010

Laadunhallinta

Versio/muutokset	Versio 1	Muutos 1	Muutos 2	Muutos 3
Huomautukset		lopullinen		
Päiväys	24.10.2010	30.12.2010		
Laatija Allekirjoitus	Risto Kiviluoma	Risto Kiviluoma		
Tarkastanut Allekirjoitus				
Hyväksynyt Allekirjoitus				
Projektinumero	302479			
Tiedosto				

KONSULTTI

WSP Finland Oy
Heikkiläntie 7D
00210 HELSINKI
Puh. +358 207 864 11
Faksi +358 207 864 800
www.wspgroup.fi

Yhdyshenkilö
Risto Kiviluoma

TILAAJA

Helsingin Kaupunki, Kaupunki-
suunnitteluvirasto

PL 2100
00099 HELSINGIN KAUPUNKI
puh. +358 9 310 1673
faksi +358 9 310 37409

www.hel.fi/ksv

Yhdyshenkilö
Pekka Saarinen

Sisällys

Tiivistelmä	4
1 Johdanto	5
1.1 Kohde	5
1.2 Tämä raportti	6
1.3 Menetelmän yleiskuvaus	6
2 Lähtötiedot	8
2.1 Pienoismalli	8
2.2 Alueiden suunniteltu käyttö ja rakennusdetaljit	8
2.3 Tuulitilasto	10
2.3.1 Tuulen suuntakulman koordinaatisto	10
3 Tuulitunnelikoe	12
3.1 Koejärjestely	12
3.2 Tuulitunnelikokeen tulokset	17
3.3 Tuulitunnelikokeen virhetarkastelu	23
4 Tuulisuuskartoitus	24
4.1 Tulosten vertailukriteerit	24
4.1.1 Vuorokaudenajan vaikutus	25
4.1.2 Muita vertailukriteereihin vaikuttavia tekijöitä	25
4.2 Tuulisuuskartoituksen tulokset	26
4.3 Tuulisuuskartoituksen virhetarkastelu	32
5 Tuulennopeuden ääriarvot	33
6 Tulosten ohjeellinen tulkinta	36
6.1 Tuulisuus aikaisempaan viitesuunnitelmaan verrattuna	36
6.2 Tuulen puuskanopeuteen perustuvat kriteerit	37
6.3 Tuulen keskinopeuteen perustuvat kriteerit	39
6.4 Tuulisuus tornien kattojen päällä	39
7 Yhteenveto ja johtopäätökset	40
Lähdeluettelo	42
Liite 1 Tavoitteellinen tulovirtauksen turbulenssimalli	43
Liite 2 Tuulitunnelikokeen numeeriset tulokset	44
Liite 3 Muunnoskertoimet tuulitilastolle	47
Liite 4 Tuulisuuskartat tunnin keskinopeudelle > 5 m/s	52

Tiivistelmä

Keski-Pasilan asemakaavaan liittyvälle viitesuunnitelmalle on tehty tuulisuuskartoitus tuulitunnelikokeen ja tuulitilaston avulla. Kohteelle on tehty aikaisemmin vastaava tutkimus osayleiskaavavaiheessa, jota tämä tutkimus osittain hyödyntää. Osayleiskaavavaiheen viitesuunnitelmaan nähden nyt tutkitussa viitesuunnitelmassa tornitalojen korkeus on kasvanut n. 60 metrillä ja ne ovat aikaisempaa hoikempia. Tornitalot kohoavat suurimmillaan n. 160 m korkeuteen maanpinnasta.

Tuulisuuskartoituksen tavoitteena on päivittää tiedot tuulisuuden vaikutuksesta vastaamaan asemakaavavaiheen viitesuunnitelmaa. Selvitettäviä kysymyksiä ovat:

- miten suunnitellut korkeat tornit vaikuttavat tuulisuuteen ottaen huomioon tornien suunniteltu sijainti ja geometria
- kuinka useasti epämukavuutta tai vaaraa aiheuttavia tuulia esiintyy.

Lisäksi on määritetty tuulennopeuden ääriarvoja myöhempien suunnitteluvaiheiden tarpeita varten.

Tuulisuuskartoituksen tulokset on tiivistetty neljään kriteeriin ja niitä esittävään karttaan. Osayleiskaavavaiheen viitesuunnitelmaan nähden tuulisuus on 2-4 kertaistunut. Tulosta voidaan kuvata siten tornit tuovat Helsingin rantaviivan tuulisuuden Keski-Pasilaan. Hyväksymällä ympäristöään selvästi korkeampia rakennuksia kaavaan tulee samalla hyväksyä se, että ne tuovat uuden tyyppistä puuskaisuutta ja tuulisuutta katutasolle.

Tarkastellut tuulisuuskriteerit ennakoivat että tuulisuus vaikuttaa ainoastaan viihtyvyystekijään. Tuulisuus ei ole niin suurta, että se voisi vaikuttaa esim. asemakaavan vahvistamiseen turvallisuuskysymysten johdosta. Pidemmässä tarkastelujaksossa kovia puuskia kuitenkin esiintyä katutasossa, ja näiden vaikutusten pienentämiseksi on raportissa esitetty joitain jatkosuunnittelukohteita, erityisesti Pasilan sillan ja sen viereisen korkeimman tornin yhteyteen.

Korkeimpien tornien lasijulkisivujen tuulenpainekuormat tulevat suoritettun tarkastelun mukaan olemaan kertaluokkaa suuremmat kuin Suomen rakennuksissa aikaisemmin käytetyt.

Teknistaloudelliset syyt puoltavat tuulitunnelikokeiden hyödyntämistä korkeimpien tornien jatkosuunnittelussa. Tuulisuutta korjaavia rakenteita voidaan suositella tarkasteltavaksi samassa yhteydessä.

1 Johdanto

Rakennetun ympäristön katutason tuulisuus on yksi korkealaatuisessa kaavoituksessa ja suunnittelussa huomioon otettava ympäristökysymys. Tuulisuus vaikuttaa mm. ihmisten viihtyvyyteen ja turvallisuuteen.

Suomen oloissa tuulisuudella on merkitystä erityisesti merenranta-alueilla ja alueilla, joihin suunnitellaan ympäröivää rakennuskantaa selvästi korkeampia rakennuksia.

Tuulisuuskysymystä voidaan tutkia luotettavasti kokeellisilla menetelmillä, käyttäen apuna tuulitunnelia, viitesuunnitelman pienoismallia ja paikallisia tuulilastoja. Tutkimuksessa määritetään tuulisuus alueen eri pisteissä. Vastaavasta tutkimuksesta käytetään nimitystä tuulisuuskartoitus.

Tuulisuuskartoitusten laatiminen on kansainvälisesti muodostunut standardiksi tavaksi tuulisuuskysymysten selvittämiseen. Alueen käyttäjiä ja viranomaisia varten selvitetään takaavatko suunnitteluratkaisut tuulisuuden suhteen hyväksyttävissä olevat olosuhteet vai aiheuttaako uusi rakennuskanta liiallista katutason tuulisuutta. Edelleen voidaan tehdä tarkempia rakennuskohtaisia tutkimuksia mahdollisimman viihtyisän ympäristön luomiseksi sekä ongelmallisten kohtien korjaavien toimenpiteiden suunnittelemiseksi.

Tuulisuuden hyväksytylle tasolle ei toistaiseksi Suomessa ole olemassa viranomaisohjeita. Kansainvälisesti käytetään alan tutkijoiden esittämiä suosituksia. Suunnittelukäyttöön vakiintuneet suositukset voivat vaihdella maittain.

1.1 Kohde

Yleiskuva Keski-Pasilan asemakaavaan viitesuunnitelmasta on esitetty kuvassa 1. Suunnitelma sisältää suurimmillaan n. 160 m korkuisia rakennuksia. Nämä olisivat n. 50 % korkeampia kuin aikaisemmat Suomessa suunnitella olevat korkeat rakennukset.



Kuva 1: Kohde (kuva Kaupunkisuunnitteluvirasto).

Keski-Pasilasta on tehty aikaisemmin tuulisuuskartoitus osayleiskaavavaiheessa [1] konsultin toimesta. Tähän verrattua tornit ovat suurimmillaan n. 60 m korkeampia ja hoikempia. Lisäksi Pasilan sillan pohjoispuolista ratapiha-aluetta on otettu puistokäyttöön.

1.2 Tämä raportti

Tämä raportti esittää kuvauksen ja tulokset tuulisuuskartoituksesta, joka on tehty Keski-Pasilan asemakaavaan viitesuunnitelmalle.

Tulokset perustuvat tarkoitusta varten suoritettuihin tuulitunnelikokeisiin, joissa mittauspisteet on keskitetty tornitalojen muodostamaan alueeseen. Tuulitunnelikokeet täydentävät osayleiskaavavaiheessa tehtyjä [1]. Raportissa on hyödynnetty lähteen [1] tutkimusta siten, että mittauspisteet kattavat koko kaavoitusalueen. Raportti sisältää asemakaavavaiheessa tarvittavat tiedot kokonaisuutena siten, että aikaisempaa raporttia [1] ei ole tarpeen käyttää rinnakkain.

1.3 Menetelmän yleiskuvaus

Tuulisuuskartoitus on tehty tuulitunnelikokeen ja paikallisen tuulitilaston avulla. Tuulitunnelina on käytetty rajakerros-tuulitunneliä, joka on suunniteltu luonnon tuulien simulointiin. Tuulitilastona on käytetty paikallista tilastoa, joka kattaa jatkuvat mittaukset 13 v ajalta. Analyysi kattaa tarkasti tuulen suuntien vaikutukset ja tuulisuuden muutokset eri kuukausina.

Menetelmässä tuulisuus määritetään valituissa katutasen pisteissä. Tuulisuuden määrittämissä (mittauspisteet) on sijoitettu tarkasteltavan suunnitelman kannalta kuvaaviin ja merkityksellisiin pisteisiin (mm. kulkureittien ja torien varrelle, rakennusten sisäänkäyntien läheisyyteen, jne).

Keskeisiä kysymyksiä ovat mm:

- miten ympäristöään selvästi korkeammat rakennukset vaikuttavat katutasen tuulisuuteen
- kuinka useasti epämukavuutta tai vaaraa aiheuttavia tuulia esiintyy.

Arvioitaessa tuulisuuden merkitystä tuloksia on verrattu useampaan kirjallisuudessa esitettyyn tuulisuuden kriteeriin. Näitä on sovellettu Suomen oloihin ottaen huomion talvikauden vaikutus.

Tuulisuuskriteerit koostuvat yleisesti kahdesta osasta [2]:

- rajatuulennopeus U_C : tuulennopeuden raja-arvo jolla jokin toiminto muuttuu epämukavaksi tai vaaralliseksi
- todennäköisyys P_E : kuinka pitkän ajan raja-tuulennopeus ylittyy tarkastelujaksolla. Esim. vuotuinen ylitystodennäköisyys $P_E = 0,001$ (= 0,1%) tarkoittaa että raja-tuulennopeus ylittyy keskimäärin 8,75 tuntia vuodessa.

Rajatuulennopeus määritellään yleisesti keskinopeuden vaikutuksen perusteella (esim. bofori-asteikko) tai paikalliset vaikutukset tarkemmin kuvaavan puuskanopeuden perusteella. Rajatuulennopeus on yleisesti jokin seuraavista:

- $U_c \sim U_h$ = tuulen keskinopeus (10 min tai 1 h keskiarvo)
- $U_c \sim U$ = tuulen todellinen puuskanopeus esim. 1 s tai 3 s keskiarvo

- $U_c \sim U_g$ = puuskatuulen vertailunopeus, joka lasketaan muodossa

$$U_g = U_h + gu = U_h(1 + gI)$$

missä

g = kriteeristä riippuva kerroin $g = 1 \dots 3,5$

u = nopeuden keskihajonta (kirjallisuudessa yleensä r.m.s. nopeus)

I = turbulenssiaste tai turbulenssin intensiteetti laskettuna kaavalla $I = u/U_h$

Tuulisuuskriteerit soveltuvat pääasiassa tuulisuuden arvioinnin tueksi osana muita tekijöitä. Viimekädessä jokainen henkilö, esimerkiksi kahvilan pitäjä, voi itse harkita onko esimerkiksi 1 h kuukaudessa esiintyvä ongelmatuuli hyväksyttävä, voi voiko raja olla esim. 10 h kuukaudessa.

Tässä tutkimuksessa on käytetty rajatuulennopeuskriteereitä:

- U_h = tunnin aika-keskiarvo
- U_g = puuskatuulen vertailunopeus, $g = 3,5$.

Tällöin puuskatuulen vertailupuuskanopeus vastaa likimain todellista puuskanopeutta luonnossa ($U_g \approx U$). Turbulenssiaste vastaa likimain luonnon tuulen pituussuuntaista turbulenssin intensiteettiä ($I \approx I_v$).

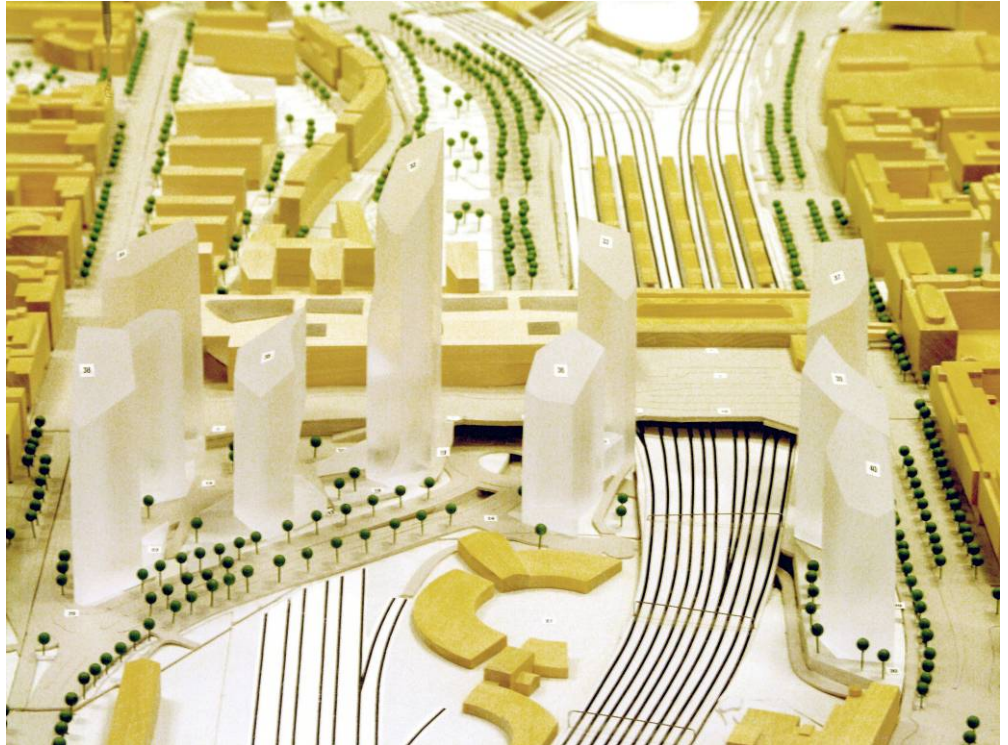
Tässä raportissa on käytetty puuskatuulen vertailunopeudesta yleisesti nimityksiä "puuskanopeus" ja "puuskatuuli".

Tuulisuuskriteerin tulokset on esitetty tiettyä toimintoa vastaavalla U_c :n arvolla siten että P_E arvo on esitetty alueittain karttoina. Tämä esitystapa on matemaattisesti eksakti. Johtopäätösten tekemiseksi käytetään kriteerikohtaista "subjektiivista" tulkintaa siitä, mikä on hyväksyttävä tai ei hyväksyttävä arvo.

2 Lähtötiedot

2.1 Pienoismalli

Tuulitunnelikokeiden pienoismalleina on käytetty tilaajan toimittamia pienoismalleja 1:1000. Pienoismalleissa (kuva 2) on mallinnettu tarkasti sekä suunnittelualue ja sen vierusta.



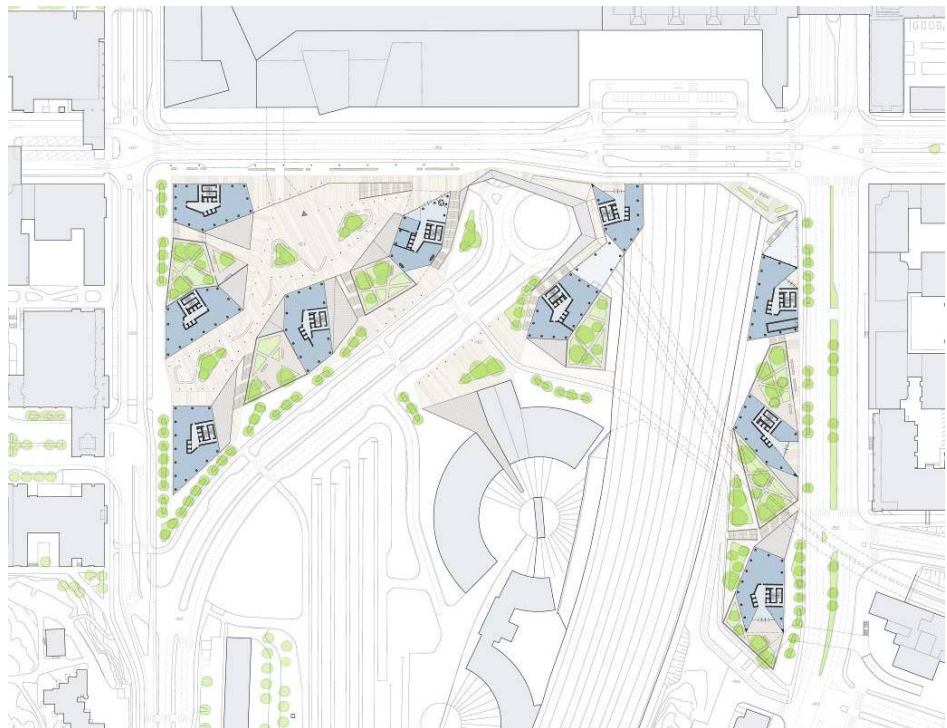
Kuva 2: Pienoismallin yksityiskohtia.

2.2 Alueiden suunniteltu käyttö ja rakennusdetaljit

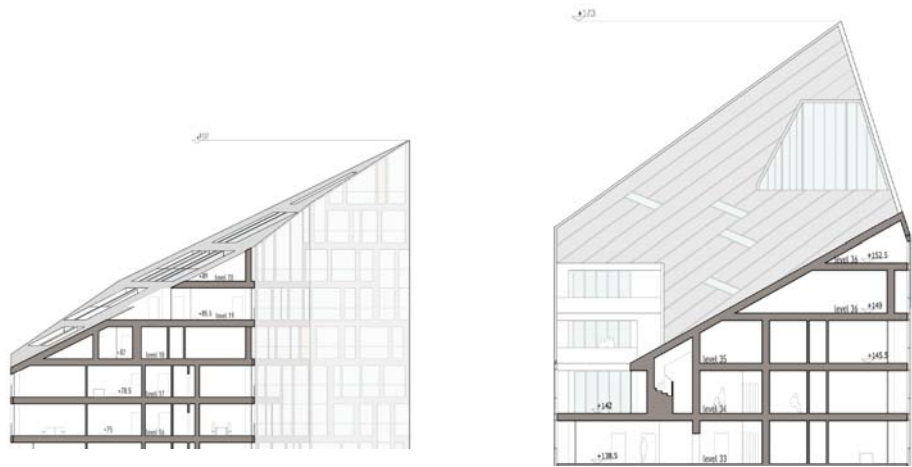
Viitesuunnitelman mukaista alueiden käyttöä on havainnollistettu kuvassa 3.

Tornitaloihin on alustavasti kaavailtu kattoterasseja (kuva 4).

Tornien sisäänkäyntiin ei toistaiseksi ole suunniteltu katoksia tai sisennyksiä, jotka voisivat parantaa viihtyvyyttä mm. tuulisuuden suhteen.



Kuva 3: Alueiden suunniteltu käyttö (kuvat Kaupunkisuunnitteluvirasto).



Kuva 4: Kattoterassien luonnoksia (kuva Kaupunkisuunnitteluvirasto).

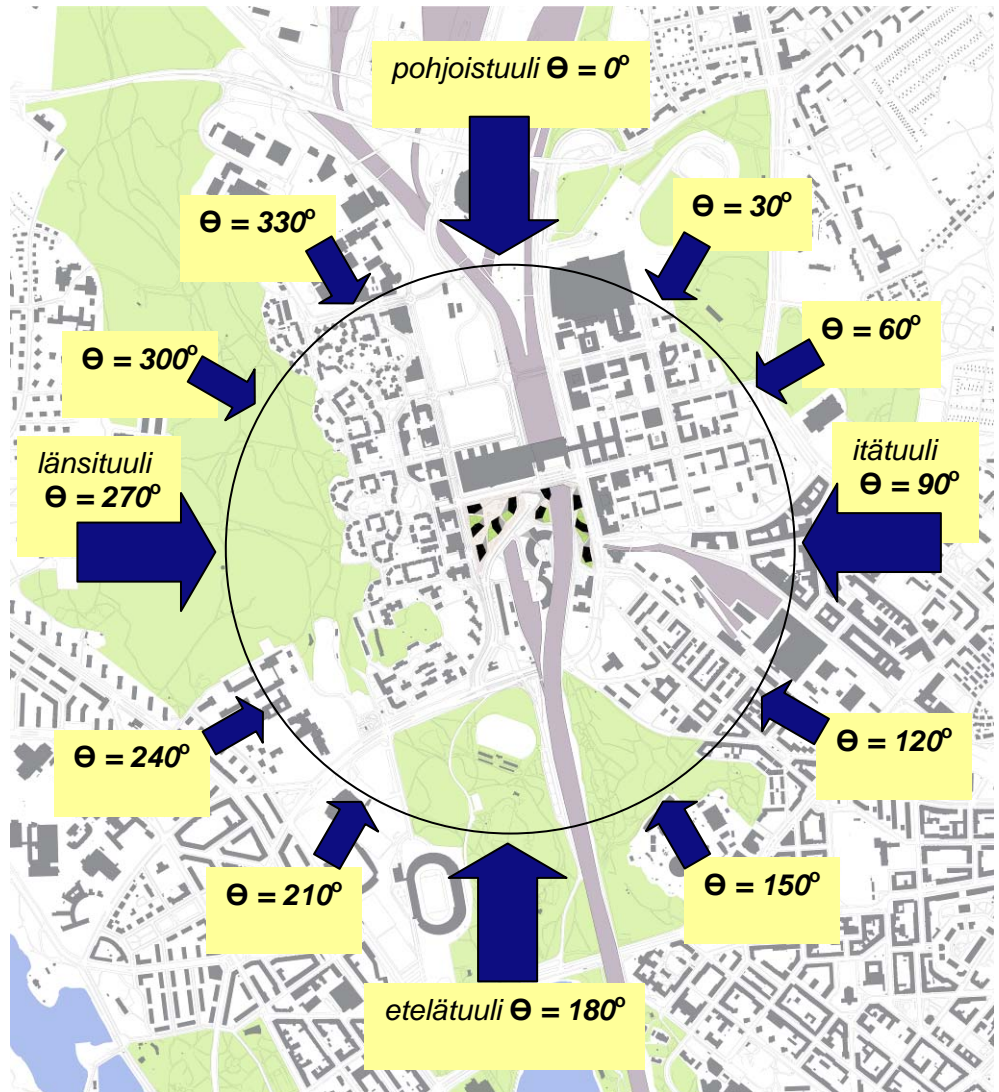
2.3 Tuulitilasto

Tuulitilastona on käytetty samaa tilastoa kuin osayleiskaavavaiheen tutkimuksessa [1]. Tilasto perustuu Lapinlahden sillan tiesääaseman jatkuviin mittauksiin. Tilasto kattaa tuulennopeuden ja suunnan jatkuvat mittaustulokset 10 min välein 13 v ajalta.

Tuulitilaston ja kohdealueen sijaintiero on n. 3 km. Sijainnin vaikutus on otettu huomioon laskennallisesti luvun 3 mukaisesti.

2.3.1 Tuulen suuntakulman koordinaatisto

Tuulen suuntakulmien koordinaatisto vastaa meteorologista vakiintunutta esitystapaa ja on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5: Tuulensuuntien koordinaatisto.

3 Tuulitunnelikoe

3.1 Koejärjestely

Kokeet on suoritettu Espoon Otaniemessä sijaitsevassa suurikokoisessa tuulitunnelissa (kuva 6). Tuulitunneli on tyypiltään rajakerros-tuulitunneli ja suunniteltu luonnon tuulien simuloitiin. Kokeen kannalta tärkeät ominaisuudet ovat:

- mittatila 2,5 x 1,5 m²
- rajakerroksen simulointiin käytettävissä oleva matka n. 10 m.

Rajakerroksen simuloinnilla tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, että pienoismallin kohtaava virtaus vastaa nopeuden korkeusprofiiltaan ja turbulenssiltaan kohteessa esiintyvää luonnon tuulta.

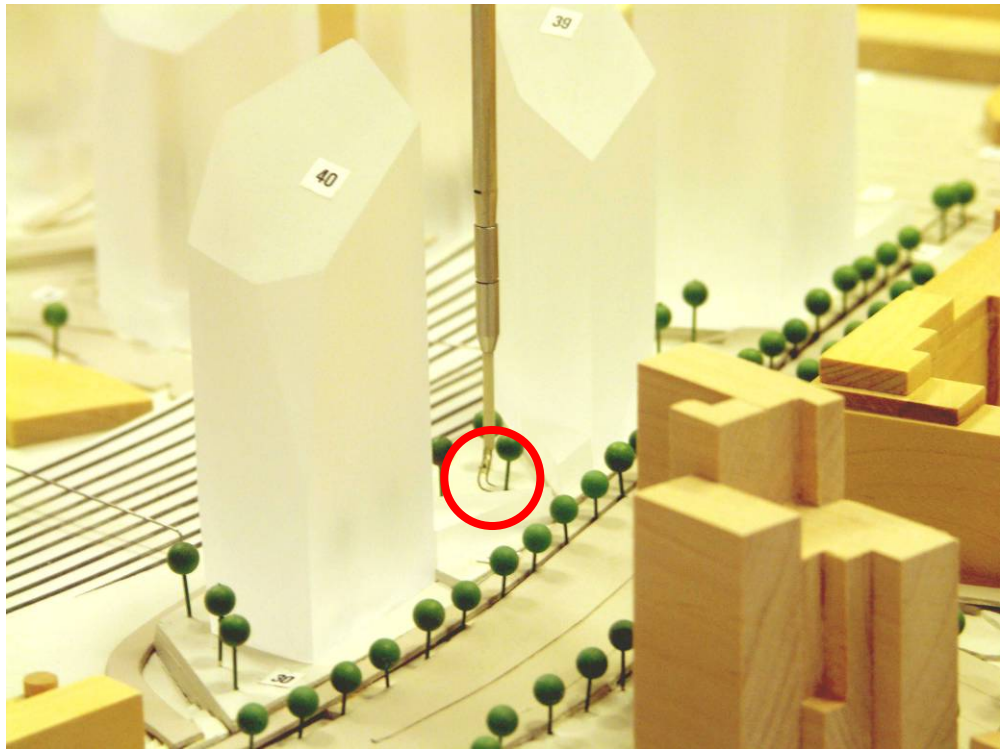
Koetyypissä tarkasti pienoismallilla mallinnettu osa simuloi kiinnostuksen kohteena olevan paikallisen turbulenssin. Pienoismallin (1:1000) reunalle on lisätty sovituspalat siten, että pienoismallin reunat eivät aiheuta häiriötä virtaukseen.

Tuulitunnelimalli sovituspaloineen on tasossa kiekon muotoinen, halkaisijaltaan 2,5 m, ja sijoitettu mittatilan kääntöpöydälle.

Tuulimittaukset on suoritettu kuumalanka-anemometrillä mallin yläpuolelta käsin (kuva 7), käyttäen apuna tuulitunnelin moottoriohjattua siirtolaitteistoa.



Kuva 6: Yleiskuva koejärjestelystä.



Kuva 7: Kuumalanka-anemometri (ympyröity kuvassa).

Ennen varsinaisia mittauksia tulovirtauksen rajakerros on säädetty halutuksi lattian ja virtauksen sisääntulon karhennuselementeillä. Tuulen turbulenssiolosuhteet tarkastelu-alueen reunoilla on oletettu noudattavan standardimaastokuokan $z_0 = 0,05$ m olosuhteita, missä z_0 = maaston karheusparametri (SFS-EN1991-1-4:2005 maastoluokka II). Maastoluokan määritelmä on ”pienkaupunkien reuna-alueet” ja se vastaa erityisesti analyysin kannalta tärkeitä pohjois- ja etelätuulia, jotka puhaltavat avaran ratapiha-alueen kautta. Tarkastelun kannalta tärkeät parametrit ovat:

- keskinopeuden korkeusjakauma; suhteellinen nopeusjakauma U_h/U_G , missä U_G = rajakerroksen korkeudella (korkealla maasta) mitattu, ”kitkaton”, tuulennopeus
- turbulenssin pituussuuntainen intensiteetti I_v .

Tulovirtauksen mitatut ja tavoitteelliset turbulenssiparametrit on esitetty liitteessä 1.

Kuumalanka-anemometri pysyy samassa suunnassa virtaukseen nähden; ainoastaan pienoismallia pyöritetään kun mitataan eri tuulensuuntia.

Käytetty kuumalanka-anemometri pystyy mittaamaan tarkasti tuulen vaakasuuntaista turbulenssia, ja mittauksissa on määritetty parametrit

- tuulen keskinopeus
- hetkittäiseen tuulennopeuteen liittyvä vaakasuuntaisen tuulen keskijajonta, joka kuvaa puuskaisuuden vaikutusta.

Tarkasteltavia tuulen suuntia on ollut 12.

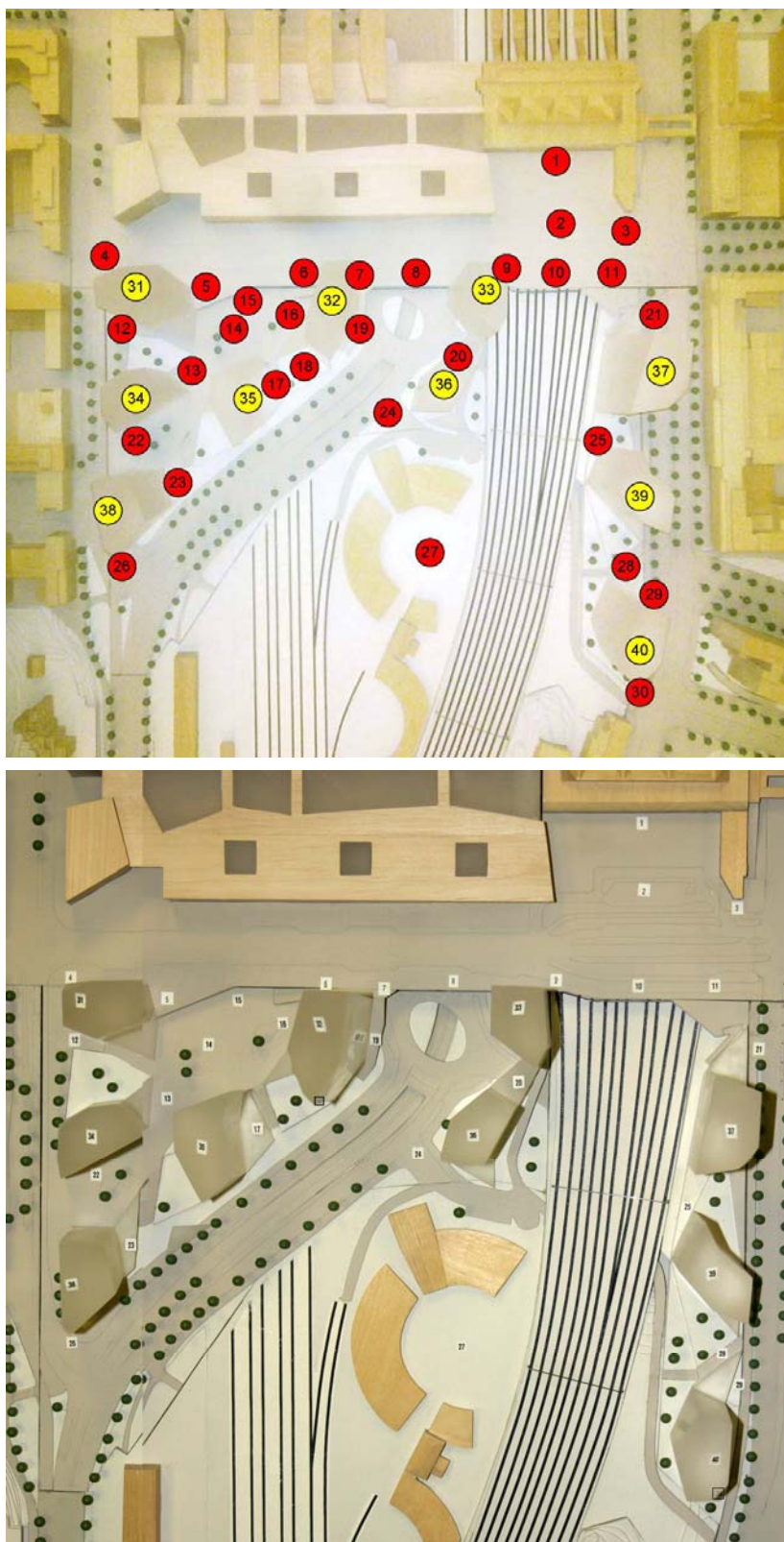
Mittauspisteet on esitetty kuvassa 8. Aikaisemmassa tutkimuksessa käytetyt pisteet on esitetty kuvassa 9.

Mittauspisteet on valittu suunnitelmien kannalta mielenkiintoisiin pisteisiin korkeiden rakennusten lähelle ja kulkureiteille. Varsinaiset mittaukset on suoritettu 5 mm korkeudella mittauspisteen kohdalla olevasta maastosta. Tämä vastaa 5 m korkeutta luonnossa ja tulokset on laskennallisesti siirretty 2 m korkeuteen, joka soveltuu katutasen tuulisuuskartoituksiin.

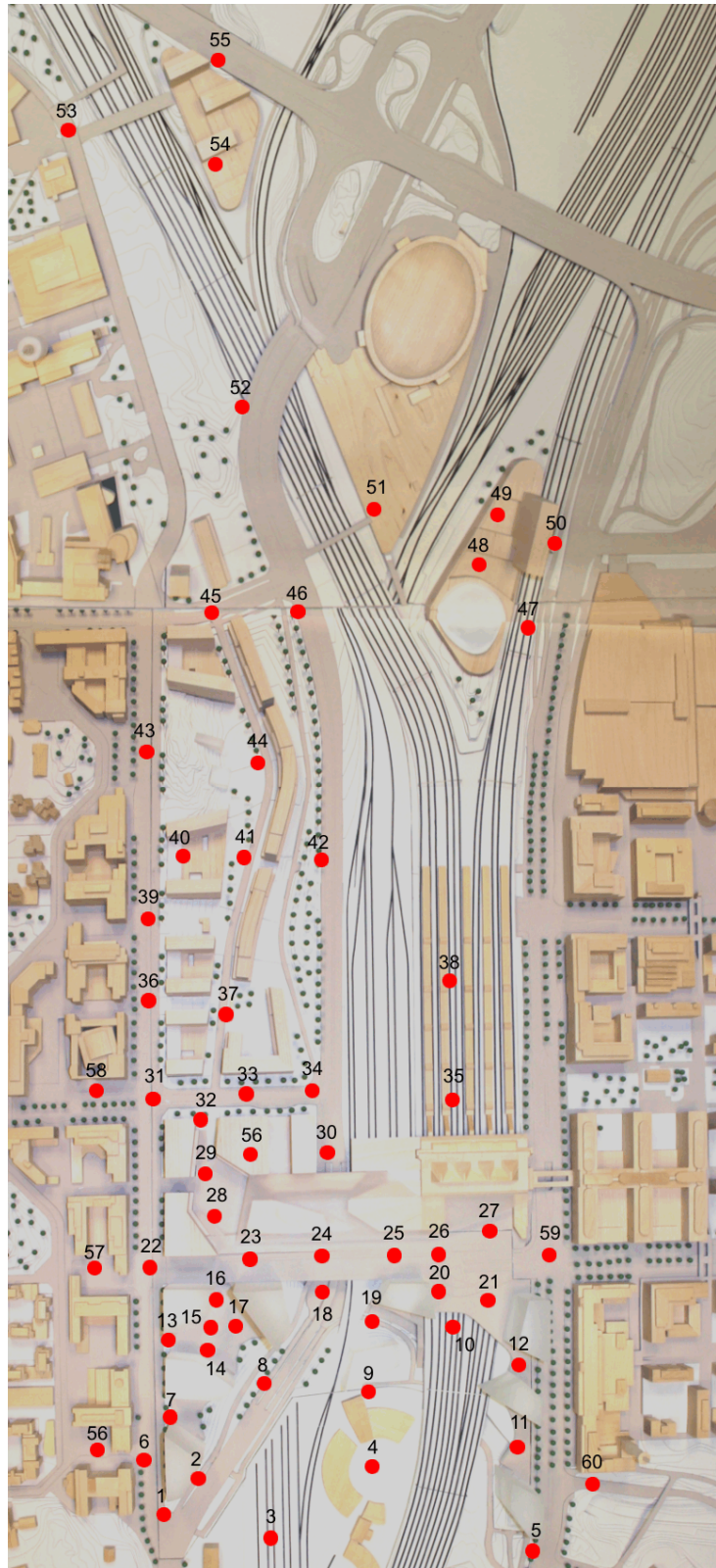
Käytetty virtausnopeus 5 mm korkeudessa on n. 3,7 m/s ja se on valittu kuumalanka-anemometrin telineen tuulivärähtelyjen pitämiseksi pieninä.

Suhteelliset virtausnopeudet on laskettu mittaustuloksen ja referenssipisteen virtausnopeuden suhteenä. Referenssipisteenä on käytetty pistettä tuulitunnelin virtauksen puoleisella reunalla. Pisteen etäisyys on 1,2 m kääntöpöydän keskeltä. Referenssipisteiden alla maasto on tasainen siten, että paikalliset kappaleet eivät vaikuta tuloksiin. Referenssipisteen korkeustaso vastaa luonnossa Pasilan sillan eteläpuoleista ratapihaa.

Näytteenottotaajuus = 1 kHz (tuhat mittausta sekunnissa) ja mittausaika yhtä pistettä ja tuulen kulmaa kohden = 30 s.



*Kuva 8: Mittauspisteet ja niiden numerointi. Pisteet 1-30 sijaitsevat katu-
tasossa. Pisteet 31-40 sijaitsevat tornien katoilla. Alemman valo-
kuvan "tarralapot" osoittavat tarkan mittauskohdan.*



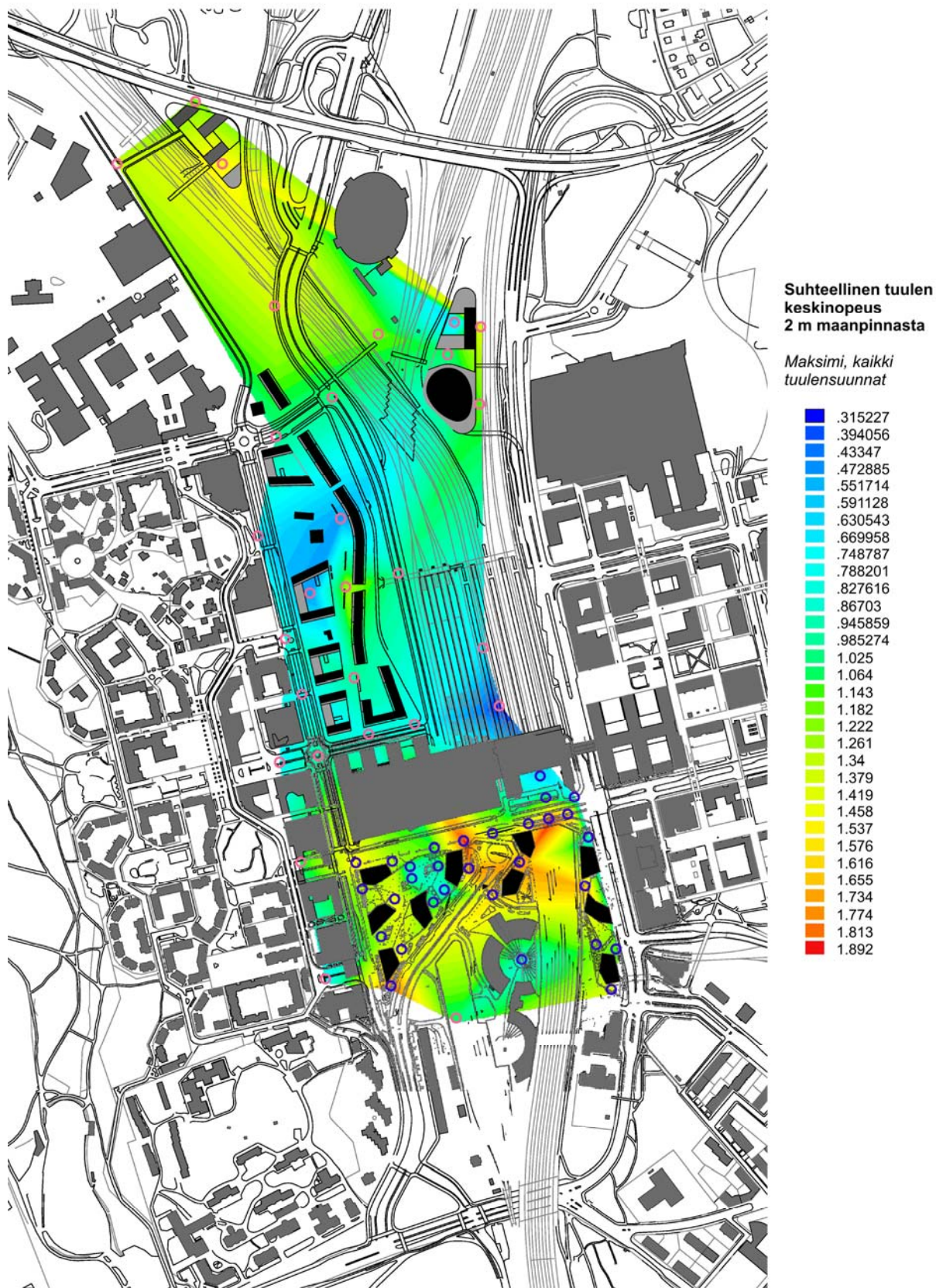
Kuva 9: Mittauspisteet aikaisemmassa (osayleiskaavavaiheen) tutkimuksessa [1].

3.2 Tuulitunnelikokeen tulokset

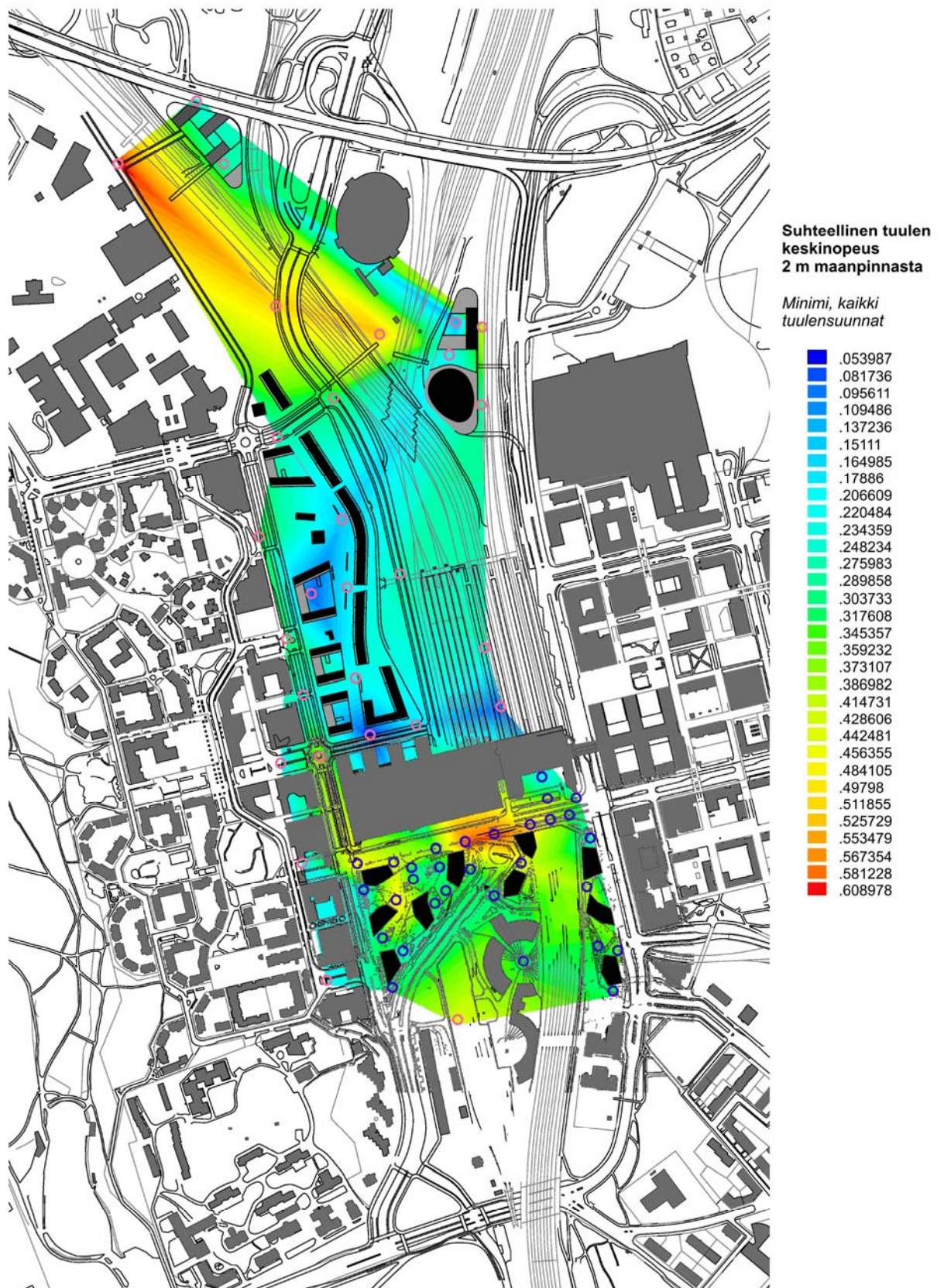
Pistekohtaiset tulokset on esitetty numeerisessa muodossa liitteessä 2.

Kuvissa 10 ja 11 on havainnollistettu suhteellisen keskinopeuden ja suhteellisen puuskanopeuden maksimeita ja minimeitä, kun tarkasteluun on otettu kaikki tuulensuunnat. Kuvien esitystavassa tulos on tarkka mittauspisteessä (mittauspisteet on merkitty ympyräsymboleilla). Mittauspisteiden ulkopuoliset tulokset ovat interpoloituja tulosten havainnollistamiseksi, ja ne eivät ole tarkkoja.

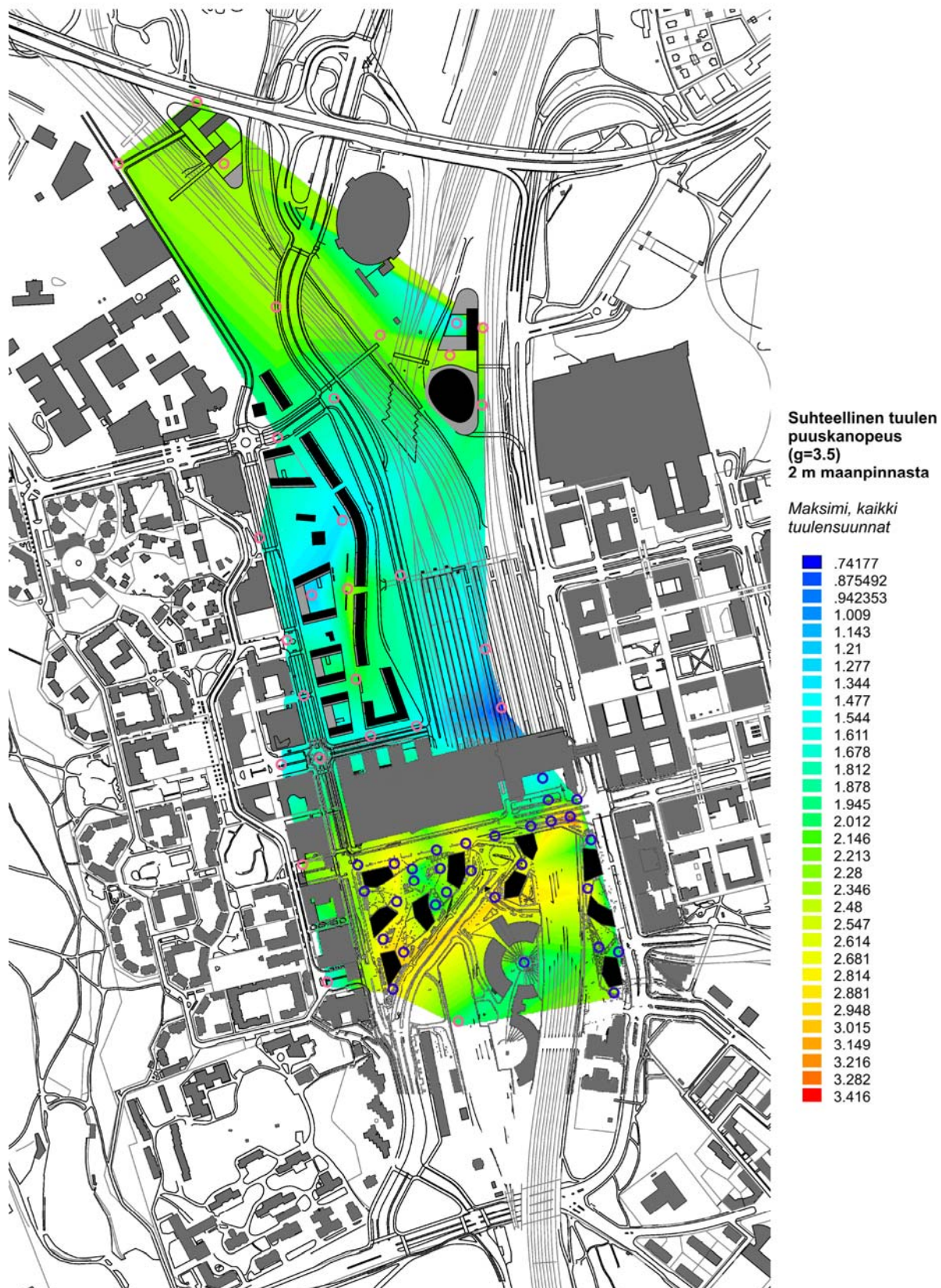
Kuvassa 12 on havainnollistettu tuulen suunnan merkitystä muutamissa pisteissä.



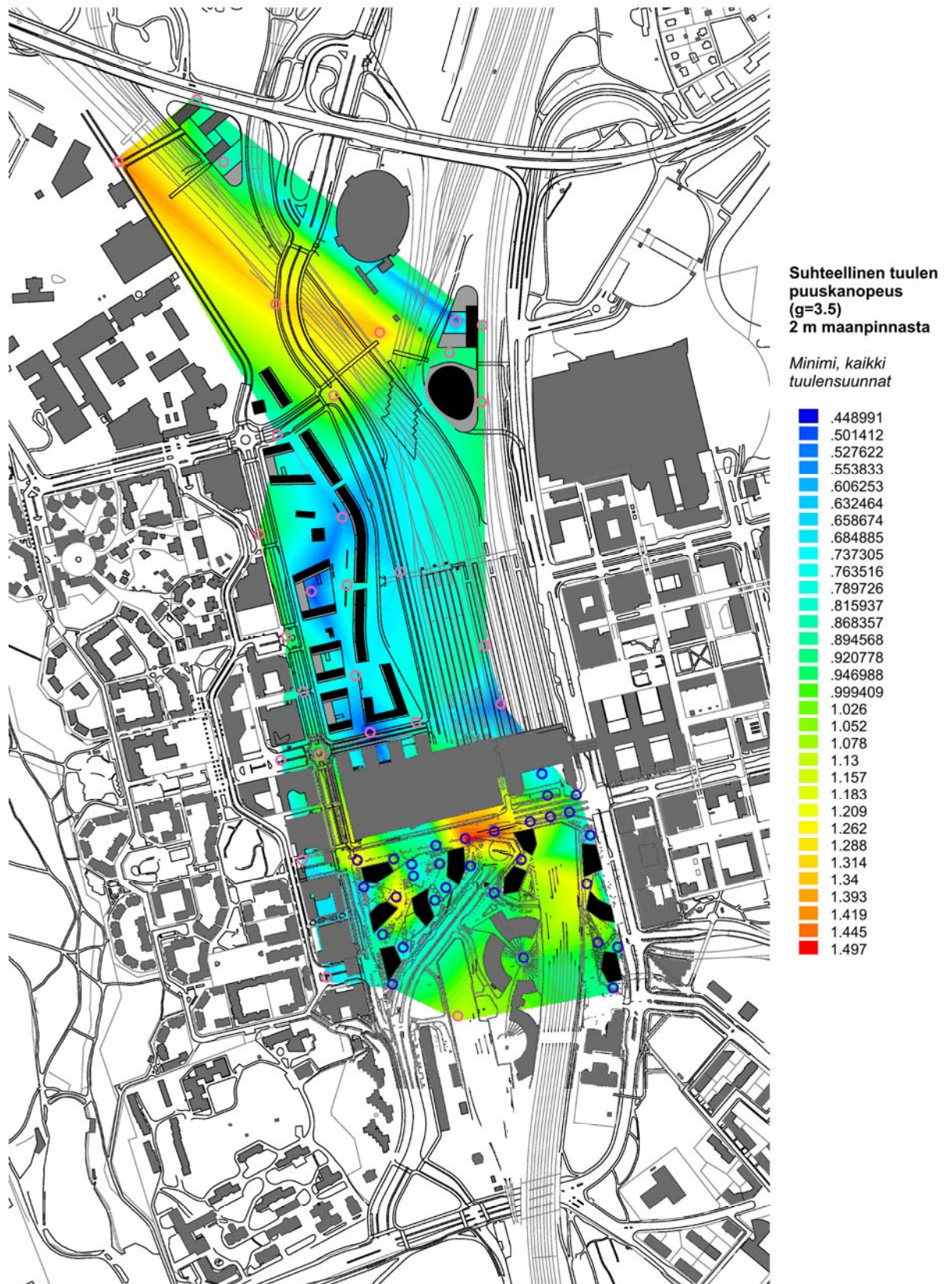
Kuva 10a: Tuulitunnelikokeiden tulosten havainnollistaminen: suhteellisen keskituulen maksimi, kaikki tuulen suunnat.



Kuva 10b: Tuulitunnelikokeiden tulosten havainnollistaminen: suhteellisen keskituulen minimi, kaikki tuulen suunnat.

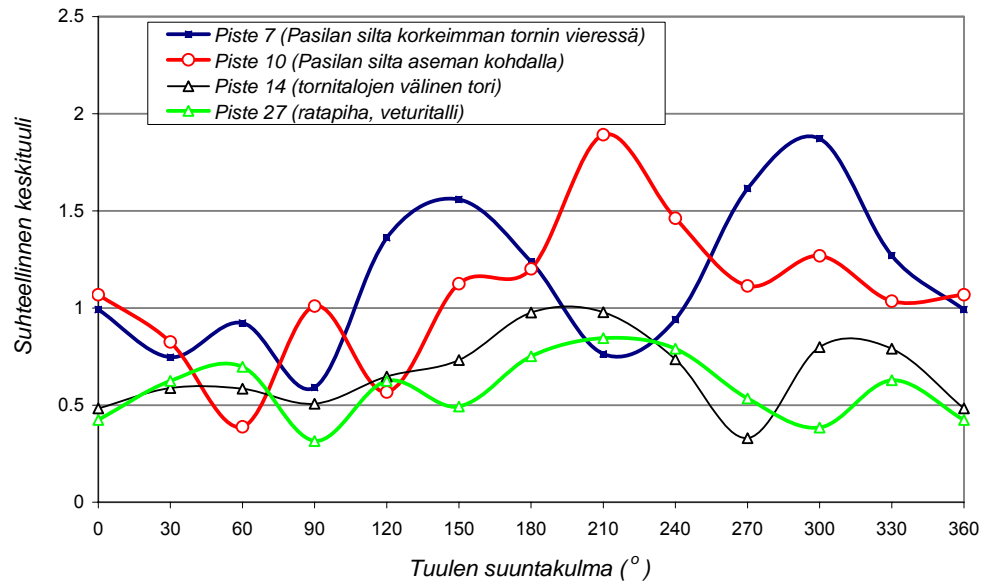


Kuva 11a: Tuulitunnelikokeiden tulosten havainnollistaminen: suhteellisen puuskatuulen maksimi, kaikki tuulen suunnat.

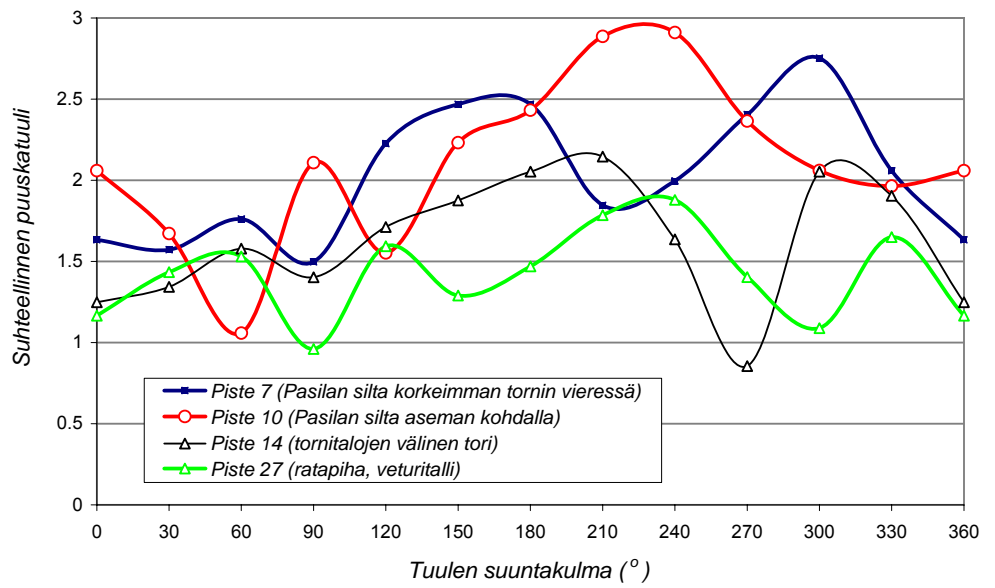


Kuva 11b: Tuulitunnelikokeiden tulosten havainnollistaminen: suhteellisen puuskatuulen minimi, kaikki tuulen suunnat.

Tuulen keskinopeuden suhde referenssipisteen keskinopeuteen



Puuskanopeuden suhde referenssipisteen keskinopeuteen



Kuva 12: Esimerkki tuulen suunnan vaikutuksesta.

3.3 Tuulitunnelikokeen virhetarkastelu

Tuulitunnelikoe on tehty samalla menetelmällä kuin lähteissä [1] ja [6] käytetyt ja sille pätee pääosin samat virhetarkastelut.

Keskeinen mahdollinen virhelähde liittyy tulovirtauksen turbulenssiparametreihin (rajakerroksen säätäminen), erityisesti tuulen keskinopeuden ja turbulenssin intensiteetin korkeusjakaumiin. Liitteen 1 mukaisesti rajakerros on onnistuttu säätämään hyvin tavoitetta vastaavaksi koko tornien korkeusalueella. Mahdollisten virheiden merkitys on pieni ja voidaan jättää ottamatta huomioon.

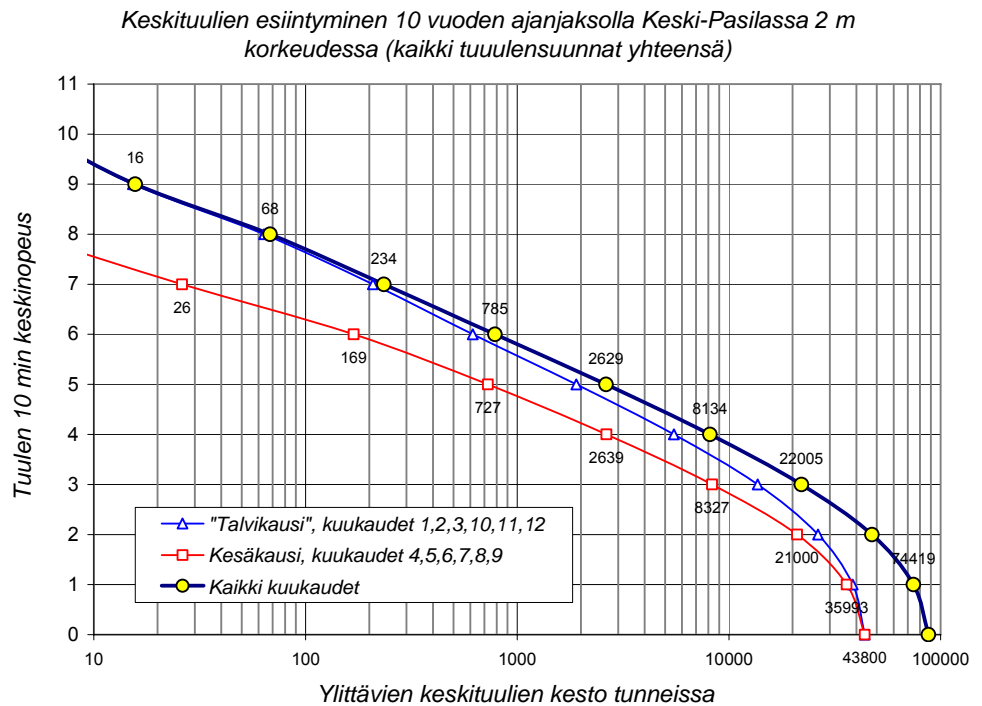
Toinen keskeinen virhemahdollisuus liittyy pienoismallin mittakaavaan (1:1000) ja siitä seuranneeseen 5 m täyden mittakaavan mittauskorkeuteen. Tulokset on laskennallisesti siirretty 2 m korkeudelle käyttäen vakioerointa $k_2 = 0,77$ (liite 3). Kerron pätee tarkistusmittausten mukaan tuulisuuden suhteen avoimille paikoille, mutta ei välttämättä rakennusten vieressä. Näissä pisteissä on otettava huomioon n. $\pm 30\%$ virhemahdollisuus tuulenopeuden arvossa. Mikäli pienoismallissa olisi mallinnettu esim. puita, pensaita ja aitoja, voisi virhe olla suurempikin. Rakennusten vieressä tuulisuus vaihtelee vaakatasossakin voimakkaasti pisteestä toiseen. Em. syistä johtuen esim. rakennusten vierustan detaljien ja kaiteiden tarkastelu tulee suorittaa suuremmilla pienoismalleilla. Ongelmallisimmat kohdat voidaan joutua tarkastamaan myös hienommalla tuulen suuntakulman jaolla (nyt on käytetty 30 asteen jakoa). Em. virhemahdollisuuden osalta koe täyttää kaavoitusvaiheen tarpeet, mutta ei myöhempien suunnitteluvaiheiden tarpeita.

Tämän raportin tulokset tuulisuuskartoitukseen on koottu kahdesta eri kokeesta: nykyisestä kokeesta, jossa mitattiin 30 katutason pistettä tornien vierestä. Näitä on täydennetty 28 mittapisteen tuloksilla aikaisemmasta [1] tuulitunnelikokeesta. Nämä pisteet sijaitsevat kauempana torneista. Molempien kokeet on suoritettu samoilla koejärjestelyillä. Tornit voivat vaikuttaa katutason tuuliin etäisyydellä noin 2H tornista, missä H on tornin korkeus. Virheen merkitys on pieni, mutta voi näkyä yksittäisissä mittauspisteissä. Koska tuulisuustarkastelu keskittyy tornien vierustaan, ei asialla ole merkitystä tulosten tulkinnessa.

4 Tuulisuuskartoitus

Keski-Pasilan tuuliolosuhteet katutasossa, tarkastelualueen reunalla (tuulitunnelikokeen virtausnopeuden referenssipisteessä), on määritetty tuulitilaston ja maaston karheusluokkamuuotosten analyysin avulla. Käytetyt muunnoskertoimet on esitetty liitteessä 3.

Yhteenveto keskituulista Keski-Pasilan ympäristössä on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13: Yhteenveto keskituulien esiintymisestä: kaikki tuulensuunnat yhteensä.

4.1 Tulosten vertailukriteerit

Vertailukriteereinä on käytetty toiminnallisia luokkia [1]:

- A istuminen pitkiä aikoja; makaaminen; terassit ja kahvilat; ulkoilmateatterit; uima-altaat. Kesäkausi (huhtikuu-syyskuu)
- B seisominen/istuminen paikoillaan lyhyitä aikoja; puistot; kaupakeskukset. 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.:

- hyväksyttävä
- epäviihtyisä
- siedettävä
- sietämätön/vaarallinen, ei hyväksyttävä.

Tässä tutkimuksessa käytetyt raja-arvot perustuvat Melbournen esittämään malliin, joka soveltaa vertailupuuskanopeutta kertoimen g arvolla 3,5. Mallissa todennäköisyyden raja-arvo on ”kerran vuodessa”, joka vastaa vuotuista ylitystodennäköisyyttä

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

Tuulisuuskriteerit ovat:

- A: $U > 10 \text{ m/s}; P_E \geq 0,025 \%$ (epäviihtyisä)
- B: $U > 13 \text{ m/s}; P_E \geq 0,025 \%$ (epäviihtyisä)
- C: $U > 16 \text{ m/s}; P_E \geq 0,025 \%$ (epäviihtyisä)
- D: $U > 23 \text{ m/s}; P_E \geq 0,025 \%$ (vaarallinen)

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.

Sovellettavissa olevia keskituuleen perustuvia malleja on esim. FORCE Technologyn malli [2], joka perustuu 1 h keskituuleen.

- A: $U_h > 5 \text{ m/s}; P_E \leq 0,1 \%$ (hyväksyttävä)
- B: $U_h > 5 \text{ m/s}; P_E \leq 6 \%$ (hyväksyttävä)
- C: $U_h > 5 \text{ m/s}; P_E \leq 23 \%$ (hyväksyttävä)
- D: $U_h > 5 \text{ m/s}; P_E \leq 43 \%$ (hyväksyttävä).

4.1.1 Vuorokaudenajan vaikutus

Mikäli tarkastelu halutaan rajoittaa vain tiettyihin vuorokaudenaikoihin (päivä tai yö jne.), voidaan vastaava esiintymistodennäköisyys P'_E arvioida kaavalla

$$P'_E = (t_h/t_{h24})P_E$$

missä

t_h = aika tunneissa vuorokautta kohden

t_{h24} = 24 tuntia.

Arvio ei ole täysin tarkka, koska lämpötilanvaihtelu yms vuorokautiset tekijät voivat vaikuttaa tuulisuuteen erityisesti alhaisilla tuulennopeuksilla.

4.1.2 Muita vertailukriteereihin vaikuttavia tekijöitä

Yksittäisiä kysymyksiä, joita ei toistaiseksi oteta yleisesti huomioon tarkemman tutkimustiedon puuttuessa ovat esim.

- yksilöllisten ominaisuuksien vaikutus (vanhuus, sairaudet, puuskien odottamaton esiintyminen eli ”yllättävyys”)
- ongelmatuulien ajoittuminen liukkaan kelin yhteyteen

- lämpötilan, sateen ja tuulen yhteisvaikutus yleisesti.

Tuulen ja pakkasen yhteisvaikutusta on tarkasteltu Jätkäsaaren tuulisuuskartoituksen yhteydessä [6]. Kovat tuulet voivat yhdessä pakkasen kanssa aiheuttaa mm. nopeasti syntyviä paleltumisvammoja. Kovimmat tuulet ja kovimmat pakkaset eivät kuitenkaan tilastojen mukaan esiinny samanaikaisesti.

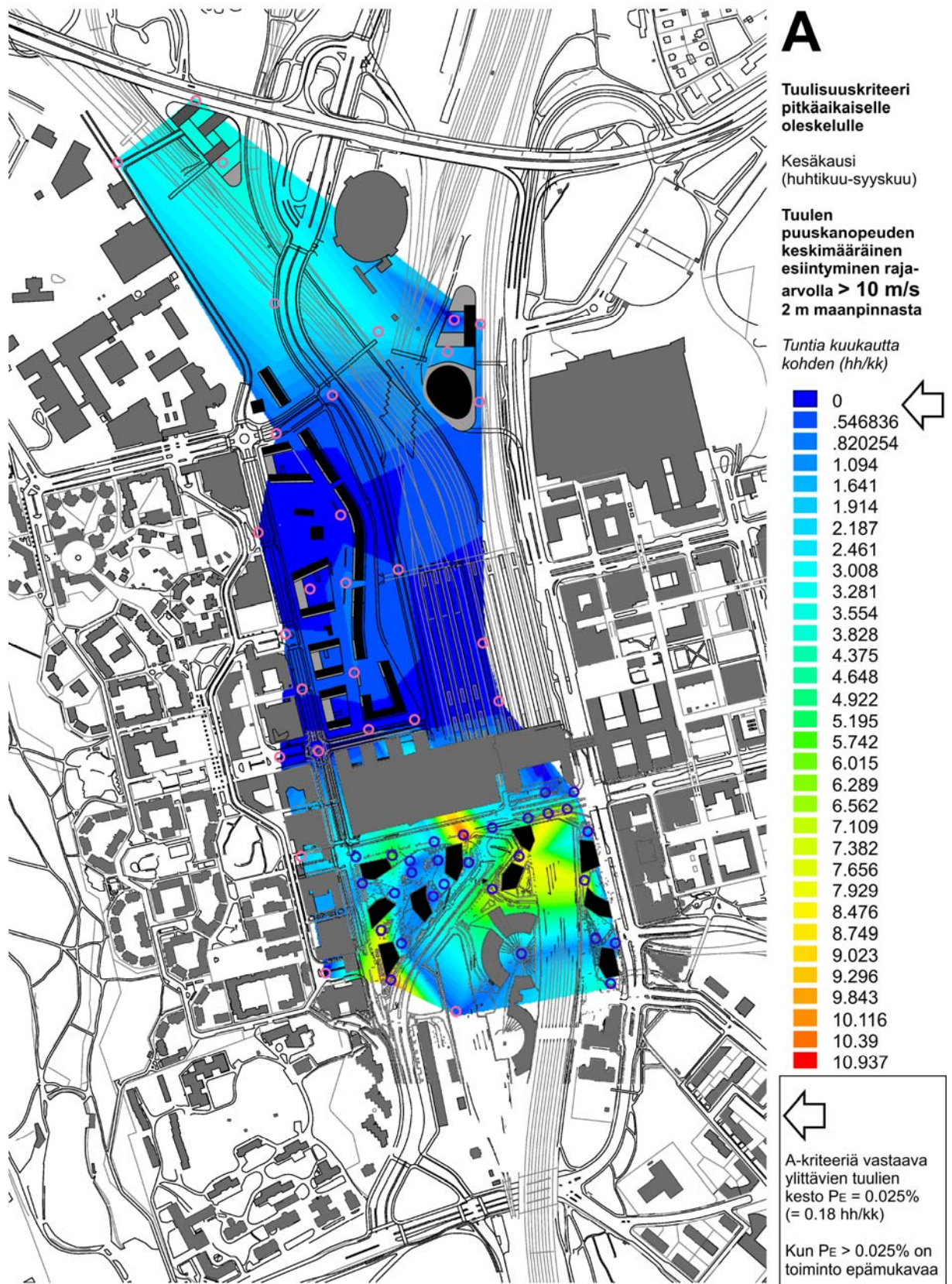
4.2 Tuulisuuskartoituksen tulokset

Tuulisuuskartoituksen tulokset on esitetty karttamuodossa kuvissa 14...17.

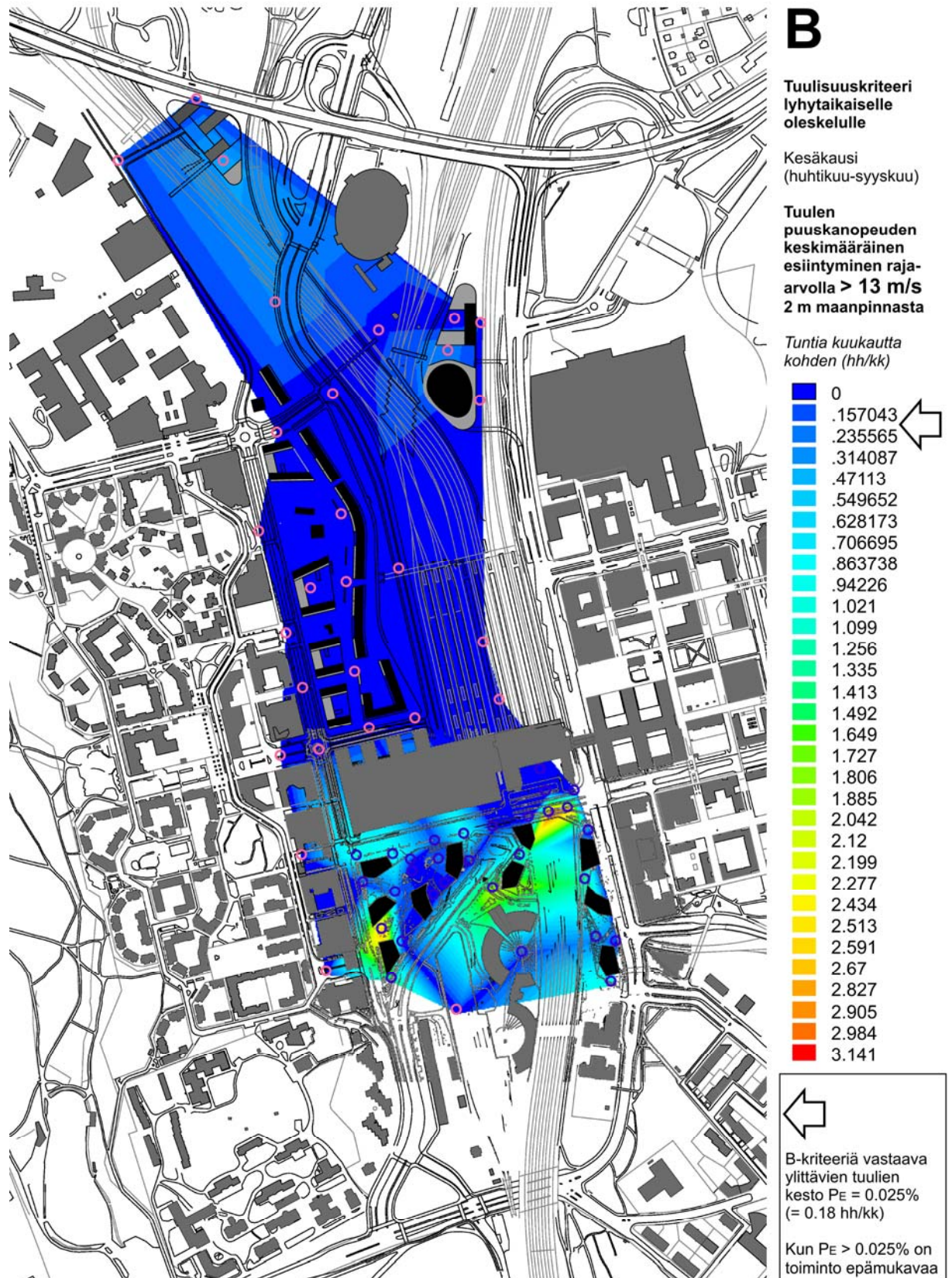
Kuvien esitystavassa tulos on tarkka mittauspisteessä (mittauspisteet on merkitty ympyräsymboleilla). Mittauspisteiden ulkopuoliset tulokset ovat interpoloituja tulosten havainnollistamiseksi, ja ne eivät ole tarkkoja.

Liitteessä 4 on esitetty lisäinformaatioksi tunnin keskituulen > 5 m/s vuotuisen esiintymistodennäköisyys.

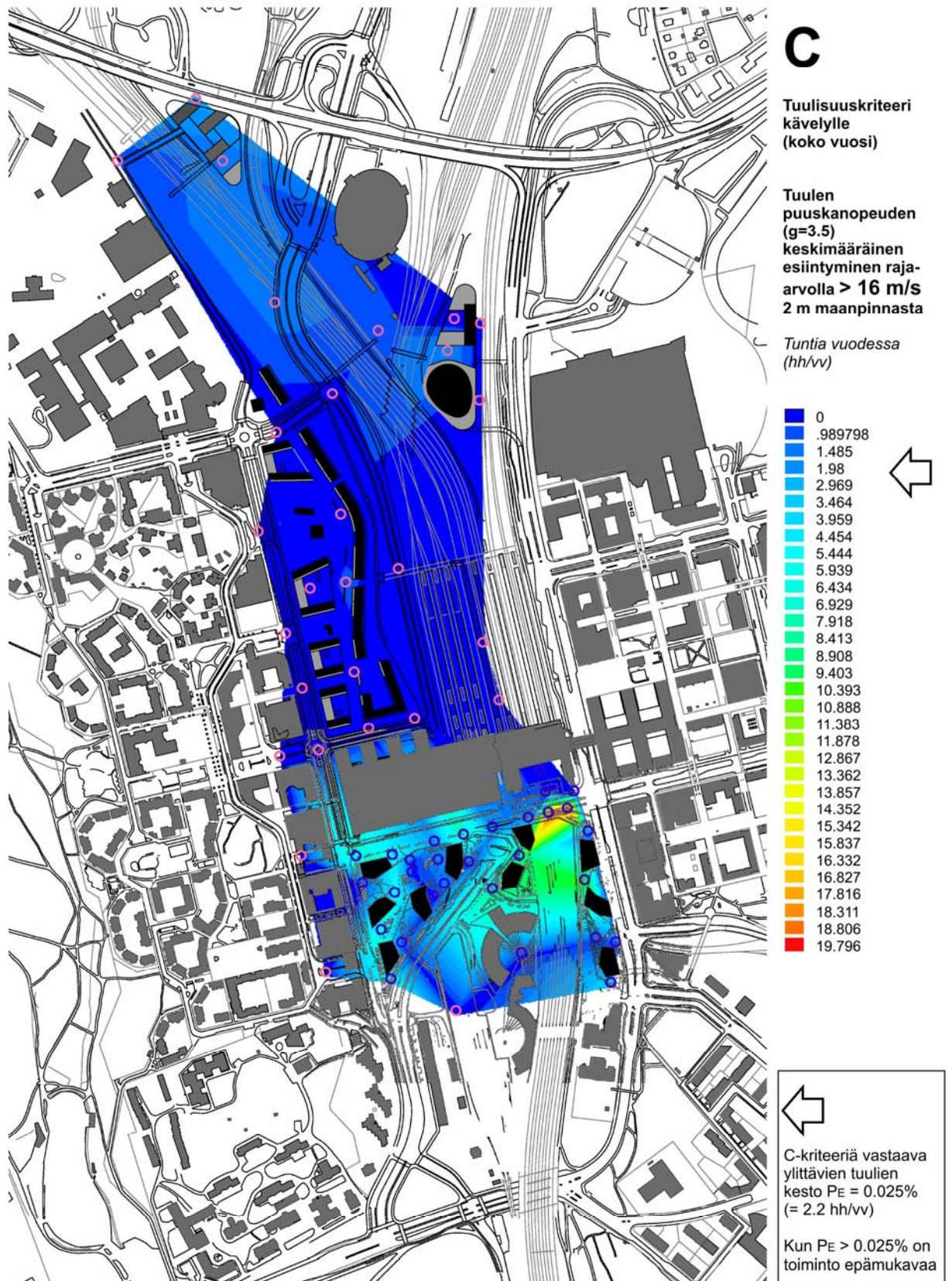
Tuulisuus tornien kattojen päällä on esitetty taulukossa 1.



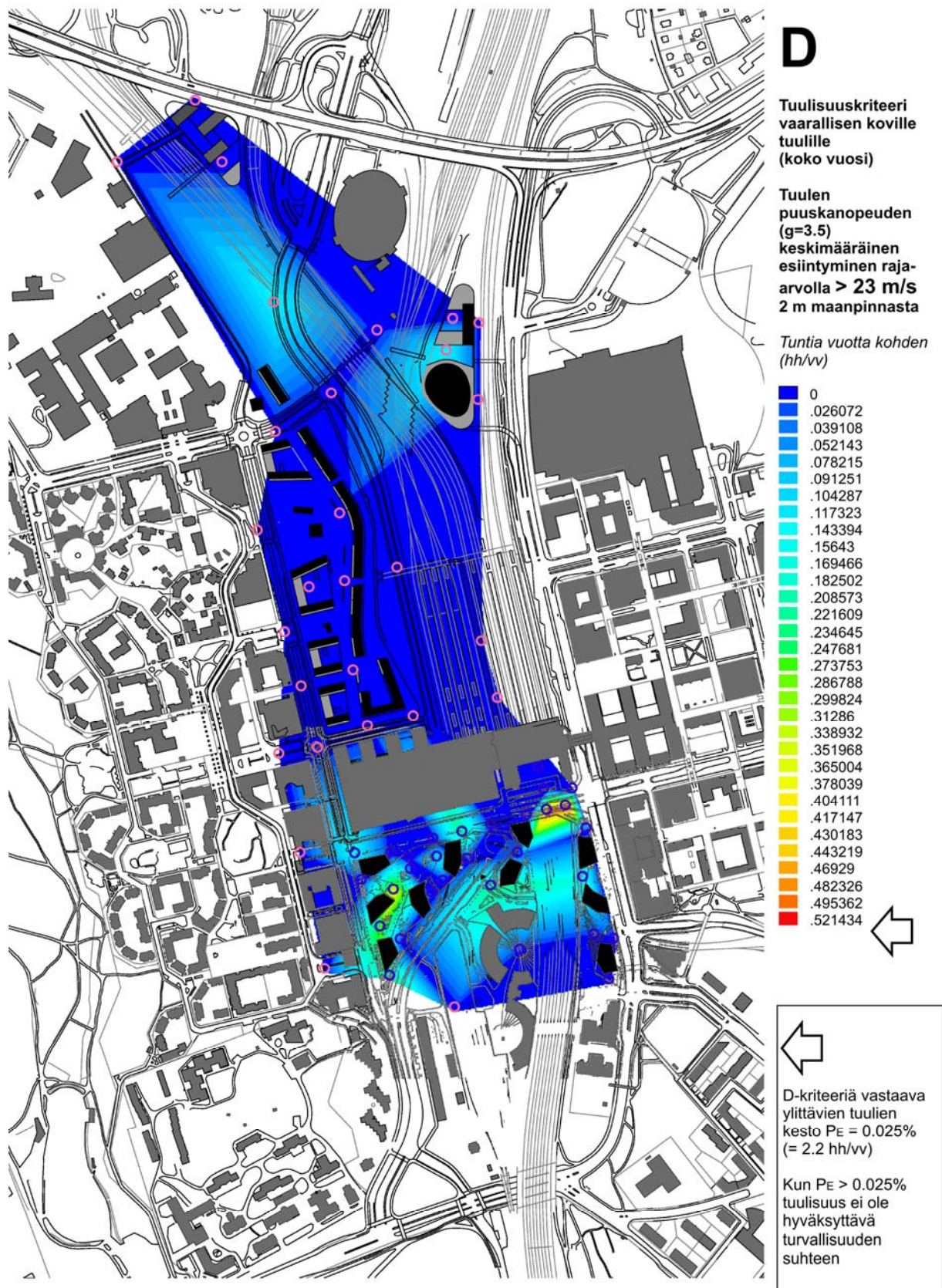
Kuva 14: Tuulisuus pitkäaikaisen oleskelun suhteen (A-kriteeri).



Kuva 15: Tuulisuus lyhytaikaisen oleskelun suhteen (B-kriteeri).



Kuva 16: Tuulisuuskriteeri kävelyn suhteen (C-kriteeri).



Kuva 17: Tuulisuuskriteeri vaarallisen kovien tuulien suhteen (D-kriteeri).

Taulukko 1: Tuulisuus tornien katoilla

Tunnin keskinopeuden kriteeri* > 4.1 m/s					Kesäkausi		
Piste	hh/vuosi	hh/kk	hh/vk	P_E todennäk.	Piste	hh/kk	P_E todennäk.
31	1429	119	27.5	16 %	31	82	11 %
32	1390	116	26.7	16 %	32	80	11 %
33	609	51	11.7	7 %	33	38	5 %
34	1033	86	19.9	12 %	34	61	8 %
35	791	66	15.2	9 %	35	39	5 %
36	498	42	9.6	6 %	36	27	4 %
37	1368	114	26.3	16 %	37	70	10 %
38	972	81	18.7	11 %	38	48	7 %
39	1043	87	20.1	12 %	39	55	7 %
40	824	69	15.8	9 %	40	57	8 %

* "ei hyväksyttävä" istumiselle jos $P_E > 6 \%$

4.3 Tuulisuuskartoituksen virhetarkastelu

Tuulisuuskartoitus on tehty samalla menetelmällä ja samalla tuulitilastolla lähteiden [1] ja [6] kanssa. Näissä esitetyt virhetarkastelut pätevät tämän raportin tuulisuuskartoitukselle. Tuulitilasto kattaa 13 vuoden paikalliset jatkuvat mittaukset, ja sitä voidaan pitää luotettavana usein toistuvien tuulien tarkastelussa. Kovimpien tuulien osalta 13 v ajalle on sattunut suurimmillaan 30 m/s puuskatuuli, jonka suunta on kaakosta. Tällainen yksittäinen tulos voi heijastua erityisesti D-kriteerin tuulisuuskartoissa. D-kriteerin karttaa tulisikin tulkita yhdessä tuulitunnelikokeen suhteellisten puuskatuulien maksimien kartan (kuva 11a) ja maksimituulien arvojen (kuva 18) kanssa. Kovimmat tuulet ovat mahdollisia kaikista tuulensuunnista. Kuvan 11a kartta esittää tällöin suoran pisteet jossa tuulisuus voi katutasossa olla ongelmallisin.

Yhteenvedona 5% virhe keskituulella aiheuttaa noin 30% virheen esiintymistodennäköisyydessä P_E , kun tarkastellaan 5 m/s keskituulia. Tuulisuuskartoitukselle voidaan kokonaisuutena ehdottaa n. $\pm 40\%$ virhemarginaalia [1].

Virhemahdollisuudella ei ole oleellista merkitystä tulosten tulkintaan, koska tuulisuuskriteerit eivät ole absoluuttisia ja niissä on suuriakin eroja. Luonnon tuulien, erityisesti myrskyjen, osalta on otettava huomioon vuotuiset vaihtelut. Jos kovan tuulen suhteen ongelmallinen olosuhde on tässä raportissa ilmoitettu esiintyvän keskimäärin esim. kerran vuodessa, voi tämä tarkoittaa sitä että 2 vuoteen ei ”tapahdu mitään” ja olosuhde esiintyykin kolmesti samana vuonna.

5 Tuulennopeuden ääriarvot

Rakenteiden turvallisuus ja asukkaiden viihtyvyys rakennuksen huojunnan suhteen määritetään yleisesti eri toistumisvälin maksimituulille. Näitä ovat esim.

- 2...50 v, rakentamisen aikainen tuulikuorma, rakentamisen kestosta riippuen
- 5 v, korkeiden rakennusten rakennusrungon värähtelyjen tarkastelu viihtyvyystekijän suhteen
- 50 v, rakennukset yleisesti
- 100...120 v, merkittäväksi luokitellut rakennukset ja suuret sillat.

Maksimituulet ns. hyvin käyttäytyvässä ilmakehässä ”noudattavat” hyvin tuulikuormille kehitettyjä matemaattisia ääriarvojakaumia. Ääriarvojakaumat määritetään meteorologisten tuulimittausten avulla; vuotuisten maksimituulien perusteella. Tarkastelussa on otettava huomioon mittausten systemaattiset virheet ja tilastointiajan rajallisuudesta johtuva epävarmuus.

Luotettavien mittausten tilastointiajan rajallisuudesta (Suomessa enimmäkseen n. 50 v.) sekä matalapaineista johtuvien myrskyjen ”pyörimisestä” seuraa että esim. 50 v toistumisvälin maksimituulien suuntaa ei voida arvioida tilastollisesti luotettavasti. Suomessa maksimituulennopeuden perusarvo oletetaan samaksi kaikista ilmansuunnista.

Ilmastomuutoksen on yleisesti ennustettu vaikuttavan sääilmiöiden ääri-ilmiöiden, mukaan lukien myrskyt, yleistymiseen.

Helsingin aikaisempien korkeiden rakennusten rakennuskäytäntöjen mukaisesti em. kysymysten huomioon otettavaksi on edellytetty erillisen lausunnon hankkimista maksimituulista.

Pitkän toistumisvälin, yleensä 50 v, tuulia on esitetty välillisesti rakennussuunnittelun kuormanormeissa. Suomen aikaisemmat kuormanormit ovat aliarvioineet tulennopeuksia rannikolla ja ulkosaaristossa tuulitilastoihin nähden. SFS-EN1991-1-4:2005 kansallinen liite osittain paikkaa tämän puutteen. Sen mukaan meri-maastoluokan (”Maastoluokka 0”) tuulet laskeetaan eri menetelmällä kuin muut maastoluokat. Koska Keski-Pasila ei sijaitse välittömästi meren rannalla, maastoluokka saatettaisiin käytännössä valita muuksi, ja rannikon kovemman tuulet jäisivät ottamatta huomioon. Luotettava analyysi voidaan tehdä maaston karheusluokan muutosanalyysin avulla siten, että tuulennopeuden perusarvoksi otetaan meri-maastoluokan tuuli ja/tai rannikon tuulitilastot.

Rannikon sääasemien tuulitilastojen (vuotuisten maksimituulien) perusteella tässä raportissa ehdotetaan Keski-Pasilaan käytettäväksi seuraavia perustuulennopeuksia:

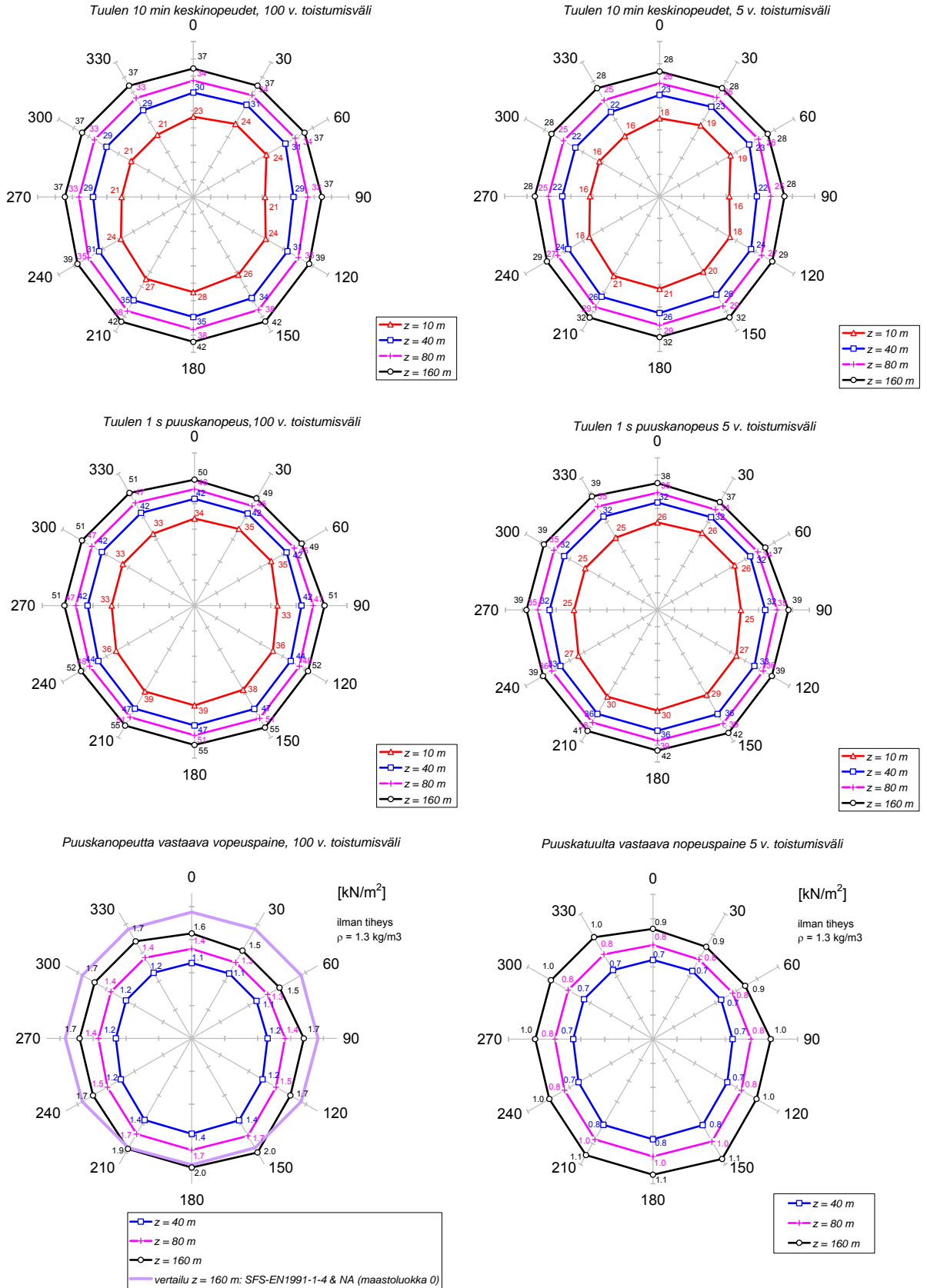
- $v_m = 32$ m/s keskituuli, 10 min, 10 m korkeus, meri-maastoluokka, $z_0 = 0,003$ m, 100 v toistumisväli
- $v_m = 24$ m/s keskituuli, 10 min, 10 m korkeus, meri-maastoluokka, $z_0 = 0,003$ m, 5 v toistumisväli.

Arvoissa on mukana:

- 90% luotettavuusväli-tarkastelu tilastointiajan rajallisuuden suhteen

- 5% lisä tuulilastojen systemaattisten virheiden (mittareiden jäätyminen ja ei-jatkuva rekisteröinti) suhteen
- 5% lisä ilmaston muuttumisesta aiheutuvien ääri-ilmiöiden kasvun huomioon ottamiseksi.

Maaston karheusluokan muutosanalyysillä lasketetut tuulennopeuksien ja tuulenpaineiden ääriarvot on esitetty kuvassa 18. Tulokset koskevat Keski-Pasilaa ilman tornien tai paikallisten kappaleiden vaikutusta. Tornit lisäävät matalampien rakennusten tuulenpaineita (ja tuulikuormaa) alueella, joka ulottuu n. 2 kertaa tornin korkeuden päähän tornista. Tornit aiheuttavat myös paikallisia virtauksia ja turbulenssia toisiinsa, jotka voivat merkittävästi kasvattaa hetkellisiä tuulenpaineita. Em. ilmiöt tulevat otetuksi huomioon tuulitunnelikokeiden kautta rakennesuunnitteluvaiheessa.



Kuva 18: Tuulennopeuksien ja tuulenpainoiden ääriarvot Keski-Pasilassa (ilman korkeiden tornien yms paikallisia vaikutuksia).

6 Tulosten ohjeellinen tulkinta

6.1 Tuulisuus aikaisempaan viitesuunnitelmaan verrattuna

Tornien korkeuden kasvattaminen osayleiskaavavaiheen viitesuunnitelmaan [1] nähden vaikuttaa tulosten mukaan odotetusti siten, että tuulisuus tornien juurella on kasvanut. Keskituulennopeuksien maksimit ovat kasvaneet n. 15% ja puuskatuulien n. 8%. Kauempana torneista vaikutus häviää ja tornien hoikentaminen näyttää jossain pisteissä jopa pienentäneen puuskatuulia.

Tornien lähistöllä ”oleskelukriteerien” A ja B osalta raja-arvon ylittävien tuulien kesto on kaksinkertaistunut. Vastaavasti kävelykriteerin C osalta raja-arvon ylittävien tuulien kesto on kolminkertaistunut ja vaarallisten kovien tuulien osalta (D-kriteeri) nelinkertaistunut.

Nykyisessä viitesuunnitelmassa tuulisuus on selvästi suurinta tornien lähistöllä. Aikaisemmassa viitesuunnitelmassa avoimilla paikoilla esiintyi nykytilassakin samaa suuruusluokkaa olevia tuulisuuksia.

Tulosten mukaan tuulisuuden kasvun on merkittävää Pasilan sillalla Pasilan aseman kohdalla (kuva 19). Tulokseen vaikuttaa rakennusten kanavointivaikutus etelätuulille. Suunniteltu tornien muutos (kuva 20) voi osaltaan pienentää kanavointivaikutusta.

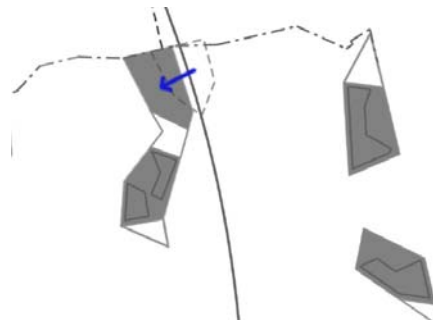
a)



b)

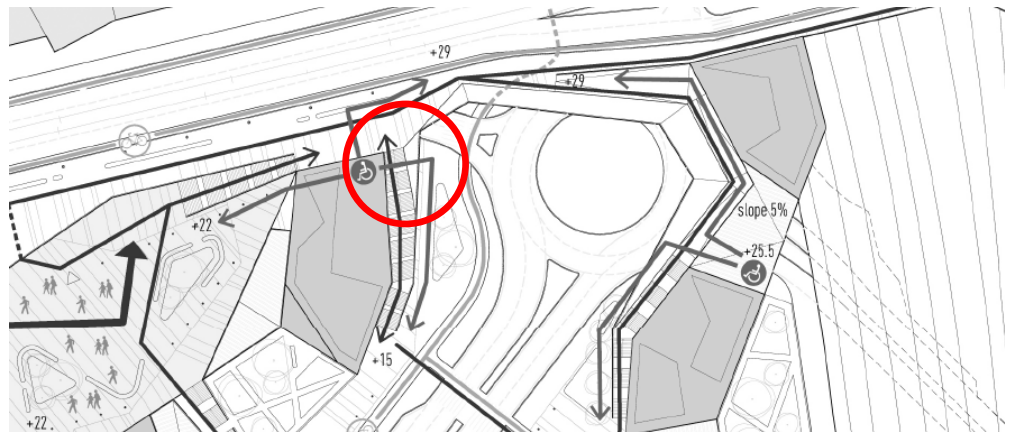


Kuva 19: Kanavointivaikutus Pasilan sillalla a) uudessa ja b) vanhassa viitesuunnitelmassa.



Kuva 20: Suunniteltu tornin sijainnin muutos.

Korkeimman tornin koillisen puoleiselle nurkalle (kuva 21) on muodostunut tuulisuuden suhteen mahdollisesti ongelmallinen kohta. Tähän kohtaan on myös kaavailtu kulku sillalta alas. Tuulisuuden suuri arvo selittyy tornien kulmat kiertävien virtausten vaikutuksella.



Kuva 21: Korkeimman tornin mahdollinen ongelmakohta tuulisuuden suhteen.

6.2 Tuulen puuskanopeuteen perustuvat kriteerit

A kriteeri ($U > 10$ m/s)

Tulosten mukaan tornit ja korotetut jalankulkutasot keräävät tuulisuutta. Toisaalta matalammat rakennukset vähentävät sitä. Tuulisuuden suhteen parhaita puiston paikkoja olisivat matalampien rakennusten reunustamat alueet kaava-alueen keskiosissa. Ratapihan alue ”veturitallien kohdalla” on avoimessa maastossa alttiina tuulisuudelle riippumatta torneista.

Tornien lähellä suurimmillaan noin 10 tuntia kesäkuukautta kohden esiintyy tuulisuutta, jossa pidempiaikainen paikallaan olo on epävihiytisää. Pasilan sillan eteläreuna kokonaisuutena näyttää olevan tuulinen. Jätkäsaaren viitesuunnitelmassa [6] vastaava arvo on 30 tuntia (saaren lounaisnurkassa), eli pienempien tuulien esiintyminen ei tornien lähellä ole suurempaa kuin nykyisin Helsingin rantaviivan tuulisissa kohdissa.

Torintalojen välinen ”alas laskettu” piha (kuva 22) näyttää vähätuuliselta. Sieltä voisi löytyä kohtia jotka soveltuisivat esim. kesäterassikäyttöön.



Kuva 22: Alas laskettu piha-alue tornitalojen välissä.

B-kriteeri ($U > 13$ m/s)

Tulkinta on pääosin sama kuin A-kriteerissä. Pasilan sillan itäpäässä (kuva 19) tuulisuus on suurinta siten, että kesäkaudella raja-arvon ylittäviä tuulia esiintyy 3 tuntia kuukaudessa. Tässä kohdassa on nykyisellään bussipysäkki ja jalankulkuliikennettä. Tuulisuudella on merkitystä myös talvella pakkasen ja tuulen yhteisvaikutuksen kautta. Esim. sillan tuulikaiteiden avulla voitaisiin yrittää parantaa tuulisuutta tässä kohdassa.

C-kriteeri ($U > 16$ m/s)

Kävelykriteerin (C) suhteen Pasilan sillan eteläinen puoleinen jalkakäytävä kuuluu luokkaan ”epäviihtyisä” eli C-kriteeri ei täyty. Sillan kaideratkaisuilla voitaneen kävelyn ja kevyenliikenteen viihtyisyyteen tuulisuuden suhteen.

Raja-arvon ylittäviä puuskatuulia, jotka lisäävät liikennesihtejä myös ajoneuvoille, esiintyy suurimmillaan 20 h vuodessa. Tulos on samaa tasoa Jätkäsaaren [6] tuulisimpien kohtien kanssa.

Koska Pasilan sillalla kulkee paljon kevyttä liikennettä, voitaisiin suunnittelussa kiinnittää huomiota siihen että ”ongelmapäivien” aikana, joita on n. 5 vuodessa, kulku voisi tapahtua vaihtoehtoisia reittejä esim. rakennusten sisäkautta.

D-kriteeri ($U > 23$ m/s; kuva 19)

Kriteeri täyttyy kauttaaltaan tarkoittaen että viitesuunnitelman turvallisuus tuulisuuden suhteen vastaa ”yleistä hyväksyttävää tasoa”. Tähän vaikuttaa osaltaan myrskytuulien harvinaisuus, Keski-Pasilan etäisyys rannikolta ja perustuulennopeuden suhteellinen alhaisuus Suomessa. Tulkinta on sama kuin C-kriteerissä.

Raja-arvoa kovempia puuskia esiintyy kuitenkin noin 5 vuoden välein tietyissä ongelmapisteissä tornien kulmien kohdalla ja Pasilan sillalla.

6.3 Tuulen keskinopeuteen perustuvat kriteerit

Tulosten (liitteen 4 kartat) mukaan korkeimman tornin vierusta (kuva 21) olisi kesäkaudella yksi ”Helsingin tuulisimmista pisteistä”. Tässä pisteessä keskituuli on suurempi kuin 5 m/s 4 % ajasta. Esim. Jätkäsaaren tuulisimmassa kohdassa [6] vastaava arvo on 3 %. Koko vuoden tarkastelussa em. paikoissa esiintyy 6 % ylittävien tuulien kesto. Täten toisinaan käytetty ”nyrkki-sääntö”: yli 5 m/s keskituuli yli 5 % todennäköisyydellä edellyttää tuulisuuden huomioon ottamista, puoltaisi korjaavien rakenteiden jatkosuunnittelua.

6.4 Tuulisuus tornien kattojen päällä

Tulosten mukaan tuulisuus tornien kattojen päällä on kesäkaudellakin merkittävä siinä mielessä, että tuulen tunnin keskinopeus ylittää 4,1 m/s n. 10 % ajasta. Mahdollisten kattoterassien tuulisuus riippuu kuitenkin rakennerratkaisuista. Oletettavasti avoimet kattoterassit jouduttaisiin sulkemaan kesäkaudella keskimäärin joka toinen viikko tuulen johdosta.

7 Yhteenveto ja johtopäätökset

- Raportissa on esitetty yksityiskohtainen tuulisuuskartoitus Keski-Pasilan asemakaavavaiheen viitesuunnitelmalle. Tuulisuuskartoitus päivittää osayleiskaavavaiheen viitesuunnitelmasta laaditun vastaavan kartoituksen. Viitesuunnitelmat eroavat toisistaan erityisesti tornien osalta siten, että nyt tutkitussa viitesuunnitelmassa tornit ovat n. 60 m korkeampia ja hoikempia
- tulosten mukaan tuulisuus on oletetusti kasvanut tornien juuressa. Raja-arvojen ylittävien tuulien kestot ovat 2-4 kertaistuneet. Kauempana torneista tuulisuus on jopa hieman pienentynyt puuskien osalta, johtuen ilmeisesti tornien hoikistamisesta
- tarkastellut tuulisuuskriteerit ennakoivat että tuulisuus vaikuttaa ainoastaan viihtyvyystekijään. Tuulisuus ei ole vaarallisen suurta yms. joka voisi vaikuttaa esim. asemakaavan vahvistamiseen
- tulosten mukaan Pasilan sillan etelän puoleisella jalkakäytävällä esiintyy 16 m/s suurempia puuskatuulia kesimäärin 5 päivänä vuodessa. Sillan kaiteiden suunnittelua tuulisuutta vähentäviksi voitaisiin harkita
- tuloksia voidaan kuvata siten, että tornit tuovat Helsingin rantaviivan tuulisuuden Keski-Pasilaan. Tornien vieressä tuulisuus on samaa tasoa Jätkäsaaren [6] tuulisimpien pisteiden kanssa. Tornien tuoma tuulisuus ylittää selvästi Keski-Pasilan aukeiden paikkojen nykytason
- tulosten mukaan tuulisuus on kasvanut siinä määrin, että yksittäisten ongelmakohtien korjaavien toimenpiteiden jatkosuunnittelua on mielekästä harkita. Tuulisuuskriteereiden yksinkertaistus: katutason (2,0 m) keskituuli yli 5 m/s yli 5% esiintymisajalla edellyttää tuulisuuden huomiointia, puoltaa korjaavien rakenteiden suunnittelua korkeimman tornin juureen
- tuulisuutta korjaava jatkosuunnittelua voidaan tehdä esim. rakennesuunnitteluvaiheen tuulitunnelikokeiden yhteydessä
- tornien viitesuunnitelma ei toistaiseksi sisällä tavanomaisia sisäänkäyntien ja kattoterassien tuulisuutta korjaavia rakenteita. Näitä tutkitaan erillisellä tuulitunnelikokeella ja niitä ei käsitellä tässä raportissa
- tornien toteutettavuusselvitystä varten on laskettu Keski-Pasilan tuulenopeuksien ääriarvoja. Tuulenpaineet ovat suurimmillaan 2,0 kN/m² luokkaa 160 m korkeudessa 100 v toistumisvälin tuulessa. Kun tähän lisätään tornien toisiinsa aiheuttamat paikalliset virtaukset ja kulmikkaiden rakennusmuotojen suuret imu-painekertoimet, saadaan esim. lasijulkisivujen mitoittamiseen Suomen oloissa kertaluokkaa aikaisempaa suurempia tuulenpaineita. Tornit myös lisäävät tuulenpaineita alempana olevissa rakenteissa
- tornien kaavoitusvaiheen teknistaloudelliset tarkastelut ja vastaavat voidaan suorittaa käyttäen tämän raportin mukaisia puuskatuulia vastaavia tuulen nopeuspaineita ja lähdettä SFS-EN 1991-1-4:2005. Tornin kokonaistuulikuorman tarkastelussa tornin huojunnasta aiheutuva dynaaminen lisä c_d ($\geq 1,0$) ja puuskien epätasaisen jakaantumisen huomioon otettava rakennuksen kokokerroin c_s ($\leq 1,0$) kumoavat toistensa vaikutusta. Tavanomaisilla jäykistyssysteemeillä varustettujen tornien alustavat tar-

kastelut voidaan siten tehdä olettaen $c_s c_d = 1,0$. Kokonaistuulikuorman arvioinnissa tarvitaan lisäksi muotokerroin c_f , jonka suuruusluokka hoikkuuskorjaus huomioon ottaen on $c_f = 1,2$

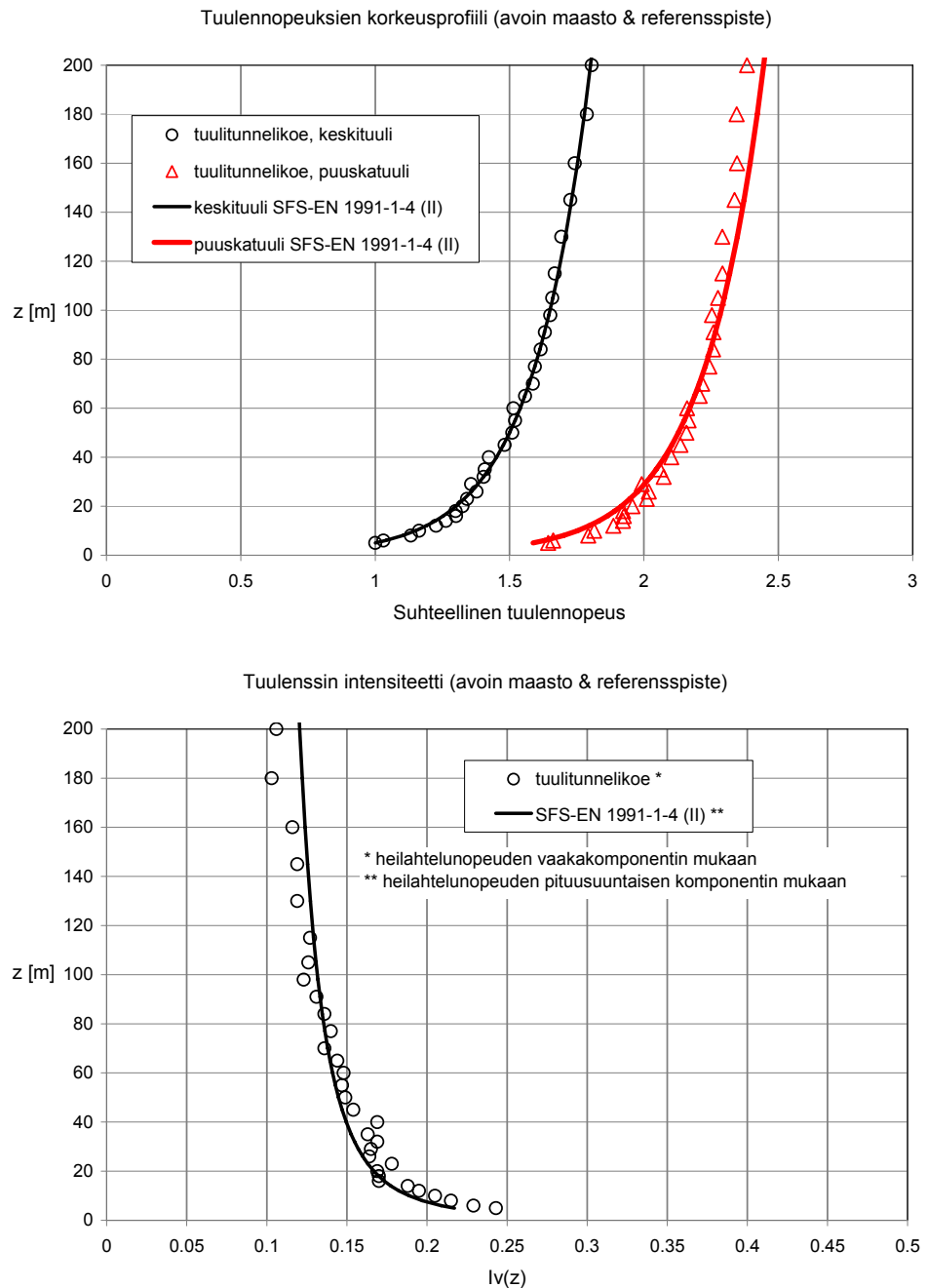
- tornien luotettava rakennesuunnittelu edellyttää tuulitunnelikokeita rakennuskohtaisesti asiantuntevan tuulitunnelilaboratorion toimesta. Tämä tulisi ottaa huomioon suunnittelun aikataulussa ja kustannuksissa, samoin kuin tilaajan teknisissä ohjeissa. Nykyisellään tuulikuorman rakennormi SFS-EN 1991-1-4:2005 tunnistaa tuulitunnelikokeiden ja asiantuntijalausuntojen käytön vaativissa tapauksissa.

Lähdeluettelo

1. Helsingin kaupunki, kaupunkisuunnitteluvirasto: Keski-Pasilan tuulisuuskartoitus, Viitesuunnitelmavaiheen tuulitunnelikokeet ja analyysi, Tutkimusraportti versio B, Ins.tsto Sormunen & Uuttu Oy, 2004, s. 63.
2. COST Action C14 Impact on Wind and Storm on City Life and Built Environment: Impact on Wind and Storm on City Life and Built Environment. Proc. of the International Conference on Urban Wind Engineering and Building Aerodynamics, Belgium, 2004, Ed. van Beeck, J.P.A.J., von Karman Institute for Fluid Dynamics, Belgium 2004. Artikkelit:
Baker C. J. Assessment of urban wind problems and synthesis of results, s. A.1.1-A.1.6
Koss H. On differences and similarities of applied wind comfort criteria. s. B.2.1-B.2.12
3. 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).
4. Simiu, E & Scanlan, R. H., Wind effects on structures: Fundamentals and application to design, 3rd Edit., John Wiley & Sons, NewYork 1986, 688 p
5. ESDU:n (Engineering Science Data Unit) turbulenssimallit
6. Helsingin kaupunki, kaupunkisuunnitteluvirasto: Jätkäsaaren kaavoitus, tuulisuuden sekä pakkasen ja tuulen yhteisvaikutuksen kartoitus, tutkimusraportti versio C, WSP Finland Oy, 2007, s. 79.

Liite 1 Tavoitteellinen tulovirtauksen turbulenssimalli

Tavoitteelliset ja tuulitunnelikokeissa mitatut turbulenssiparametrit tulovirtaukselle on esitetty kuvassa L1.1.



Kuva L1.1: Tulovirtauksen turbulenssiparametrit.

Liite 2 Tuulitunnelikokeen numeeriset tulokset

Tuulitunnelikokeen tulokset on esitetty oheisissa taulukoissa. Heittomerkillä esitetyt pistenumerot viittaavat aikaisemmin (osayleiskaavavaiheessa) mitattuihin tuloksiin ja mittapistesiin.

Suhteellinen keskituuli (U_r/U_{ref})		Tuulen suuntakulma (°)											
Piste	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	
1	0.32	0.42	0.23	0.56	0.50	0.63	0.55	0.43	0.43	0.60	0.49	0.27	
2	0.54	0.77	0.40	0.68	0.72	0.90	0.80	1.11	0.77	0.51	0.76	0.55	
3	0.39	0.33	0.40	0.64	0.64	0.61	0.86	0.84	0.82	0.52	0.74	0.37	
4	1.21	1.26	1.11	0.51	0.47	0.50	1.14	1.43	1.52	0.96	0.54	0.76	
5	1.19	0.42	0.64	0.61	0.79	0.97	1.00	1.01	0.87	0.48	1.17	1.27	
6	0.36	0.94	1.09	0.64	0.93	0.96	0.86	0.97	0.90	1.12	0.94	0.49	
7	0.99	0.75	0.92	0.59	1.36	1.56	1.24	0.76	0.94	1.62	1.87	1.27	
8	0.83	1.14	0.91	0.68	1.08	1.25	1.21	1.30	0.59	1.30	1.09	0.66	
9	1.09	0.72	0.52	0.94	0.58	0.78	0.62	0.72	0.57	1.30	1.53	1.25	
10	1.07	0.83	0.39	1.01	0.57	1.12	1.20	1.89	1.46	1.11	1.27	1.04	
11	0.94	0.50	0.32	0.92	0.83	0.60	1.07	1.61	1.64	1.02	0.91	0.62	
12	0.77	0.76	0.50	0.24	0.32	0.63	0.48	0.54	0.60	0.74	1.26	1.01	
13	0.68	0.64	0.48	0.97	1.45	1.27	1.26	0.82	0.74	0.77	0.71	0.85	
14	0.48	0.59	0.58	0.51	0.65	0.73	0.98	0.98	0.74	0.33	0.80	0.79	
15	0.56	0.40	0.44	0.39	0.75	0.73	0.81	0.87	0.71	0.29	0.62	0.61	
16	0.72	0.81	0.44	0.30	0.96	0.89	0.94	0.66	0.45	0.45	0.53	0.59	
17	0.87	0.54	0.44	0.42	0.69	0.79	1.10	0.41	0.32	0.65	0.83	0.83	
18	0.33	0.38	0.59	0.36	0.50	0.55	0.81	0.53	0.59	0.86	0.54	0.54	
19	1.03	1.19	0.78	0.32	1.24	1.41	1.71	1.18	0.42	0.54	0.75	1.01	
20	0.88	0.67	1.25	0.58	0.66	0.64	0.51	0.42	0.42	1.17	1.72	1.20	
21	0.62	0.27	0.78	0.76	0.84	0.32	0.42	0.64	0.65	0.43	0.59	0.64	
22	0.34	0.49	0.45	0.57	0.80	0.80	0.77	1.26	1.24	1.22	0.39	0.33	
23	0.55	0.52	0.46	0.88	0.91	0.98	1.40	0.64	0.63	0.27	0.27	0.62	
24	1.18	0.75	0.30	0.35	0.75	0.98	1.25	1.16	0.72	0.65	1.57	1.20	
25	0.70	1.01	1.04	0.38	0.64	0.46	1.00	1.65	1.55	0.88	1.19	1.19	
26	0.32	0.41	0.79	0.76	0.90	0.72	0.83	0.67	1.11	1.60	1.84	1.11	
27	0.42	0.63	0.70	0.32	0.62	0.49	0.75	0.84	0.79	0.53	0.38	0.63	
28	0.32	1.05	0.83	0.75	0.61	0.36	0.63	1.17	1.20	0.89	0.60	0.54	
29	0.63	0.57	0.44	0.40	1.08	0.94	0.96	0.62	0.60	0.68	0.53	0.34	
30	0.39	1.08	1.02	1.07	0.91	0.51	0.81	1.40	1.41	1.13	0.50	0.31	
31	0.75	0.65	0.58	0.57	1.20	1.19	1.64	1.84	1.84	1.81	2.32	1.28	
32	0.62	0.25	0.19	0.49	0.59	1.88	2.04	1.71	1.63	1.87	2.47	0.83	
33	0.66	1.32	1.75	0.99	0.90	1.32	2.02	2.17	0.99	0.45	0.33	0.35	
34	0.49	0.46	0.42	0.45	0.40	0.46	1.14	1.75	1.64	1.72	2.06	1.72	
35	0.57	0.52	0.54	0.65	1.65	1.38	1.88	1.33	1.38	1.17	1.19	0.82	
36	0.50	1.11	1.47	0.67	0.79	1.13	1.64	1.61	1.25	0.48	0.44	0.48	
37	0.59	0.41	0.26	0.33	1.57	1.64	1.84	1.90	1.70	0.80	1.96	2.04	
38	0.92	1.15	1.14	1.44	1.62	1.47	1.59	1.95	1.27	0.61	0.46	0.55	
39	0.71	0.65	1.42	1.45	1.42	1.34	1.81	2.07	1.88	1.63	0.59	0.42	
40	1.00	1.60	1.67	1.56	1.23	1.23	1.88	1.45	0.65	0.63	0.50	0.79	
3'	0.65	0.49	0.47	0.43	0.66	0.84	0.97	1.01	0.52	0.74	0.50	0.69	
31'	0.51	0.73	0.97	0.95	0.43	0.52	0.38	0.56	0.60	0.78	0.71	0.57	
33'	0.42	0.79	0.68	0.61	0.27	0.30	0.34	0.49	0.05	0.52	0.60	0.26	
34'	0.57	0.52	0.51	0.49	0.43	0.77	0.42	0.28	0.17	0.55	0.71	0.39	
35'	0.20	0.20	0.16	0.25	0.27	0.30	0.17	0.10	0.07	0.32	0.17	0.24	
36'	0.37	0.31	0.38	0.48	0.51	0.37	0.23	0.44	0.72	0.41	0.59	0.29	
37'	0.40	0.76	0.94	0.96	0.70	0.46	0.23	0.28	0.38	0.47	0.23	0.21	
38'	0.65	0.56	0.47	0.43	0.40	0.45	0.34	0.34	0.25	0.56	0.37	0.51	
39'	0.31	0.42	0.34	0.49	0.40	0.47	0.45	0.52	0.85	0.75	0.33	0.57	
40'	0.28	0.37	0.27	0.36	0.43	0.48	0.24	0.20	0.07	0.33	0.17	0.23	
41'	0.33	0.30	0.61	1.24	0.79	0.43	0.27	0.18	0.22	0.44	0.52	0.38	
42'	0.82	0.96	0.67	0.51	0.43	0.68	0.30	0.54	0.80	0.33	0.26	0.72	
43'	0.61	0.43	0.63	0.56	0.63	0.61	0.49	0.32	0.52	0.62	0.43	0.49	
44'	0.15	0.17	0.24	0.35	0.46	0.33	0.19	0.21	0.24	0.50	0.48	0.24	
45'	0.38	0.99	0.94	0.58	0.34	0.44	0.46	0.39	0.26	0.79	0.69	0.45	
46'	0.81	0.86	0.72	0.54	1.01	0.93	0.75	0.53	0.31	0.66	0.86	0.72	
47'	0.84	1.08	1.14	0.86	0.51	0.51	0.74	0.86	0.75	0.57	0.35	0.29	
48'	0.47	0.30	0.35	1.02	1.02	0.92	0.77	0.21	0.36	0.62	0.48	0.50	
49'	0.48	0.22	0.12	0.33	0.31	0.28	0.38	0.36	0.43	0.60	0.38	0.39	
50'	1.40	0.97	0.65	0.46	0.42	0.80	0.82	1.02	0.65	0.41	0.44	0.68	
51'	0.91	0.97	1.17	0.87	0.80	1.09	1.00	0.92	0.52	0.71	0.54	0.71	
52'	0.94	0.96	1.22	0.99	1.36	1.09	0.78	0.63	0.51	0.90	0.72	0.81	
53'	1.31	1.28	0.77	0.85	1.12	1.14	0.85	0.61	0.68	0.71	0.89	0.88	
54'	0.27	1.29	1.51	1.28	0.73	0.42	0.47	0.98	0.91	0.47	0.27	0.30	
55'	0.81	0.79	1.15	1.11	0.91	0.73	1.09	0.85	0.23	0.75	1.17	1.11	
56'	0.43	0.19	0.31	0.38	0.46	0.60	0.65	0.25	0.46	0.71	0.72	0.52	
57'	0.31	0.70	1.07	0.76	0.31	0.35	0.31	0.26	0.21	0.77	0.38	0.21	
58'	0.21	0.52	0.64	0.63	0.42	0.39	0.41	0.72	0.64	0.55	0.62	0.65	

Suhteellinen puuskatuuli (U_g/U_{ref})

Piste	Tuulen suuntakulma (°)											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
1	0.79	1.07	0.69	1.37	1.24	1.52	1.42	1.22	1.08	1.46	1.14	0.73
2	1.37	1.54	1.05	1.85	1.60	2.07	1.87	2.27	1.60	1.25	1.49	1.42
3	1.03	0.95	1.10	1.37	1.40	1.29	1.82	2.08	1.89	1.19	1.66	1.03
4	2.11	2.08	1.72	1.40	1.26	1.32	1.89	2.22	2.48	1.79	1.31	1.75
5	1.97	0.99	1.33	1.48	1.95	2.12	1.76	2.86	2.21	1.27	2.45	2.51
6	0.88	1.81	1.83	1.73	2.22	2.24	2.02	1.81	1.77	2.01	1.92	1.36
7	1.63	1.57	1.76	1.50	2.23	2.47	2.47	1.85	2.00	2.40	2.75	2.06
8	1.60	1.92	1.65	1.80	1.86	2.09	1.99	2.37	1.49	2.19	2.06	1.46
9	1.86	1.48	1.22	1.90	1.49	2.12	1.63	1.85	1.54	2.19	2.23	1.95
10	2.06	1.67	1.06	2.11	1.55	2.23	2.43	2.89	2.91	2.37	2.06	1.96
11	1.80	1.20	0.90	1.83	1.79	1.39	2.29	3.42	3.06	2.16	1.67	1.50
12	2.08	1.58	1.23	0.71	0.89	1.42	1.26	1.34	1.32	1.58	2.06	2.31
13	1.56	1.34	1.37	1.96	2.59	2.56	2.45	2.16	1.68	1.73	1.64	1.84
14	1.25	1.34	1.58	1.40	1.71	1.88	2.05	2.15	1.64	0.85	2.05	1.90
15	1.36	1.02	1.16	1.12	1.78	1.73	1.76	1.93	1.72	0.78	1.57	1.65
16	1.70	1.61	1.15	0.93	2.34	2.22	2.17	1.53	1.17	1.22	1.34	1.55
17	1.83	1.33	1.21	1.07	1.57	1.56	1.76	1.21	0.88	1.65	1.98	1.98
18	0.84	1.07	1.46	0.95	1.18	1.10	1.56	1.33	1.48	2.16	1.30	1.34
19	1.78	1.90	1.66	0.86	2.05	2.11	2.53	2.01	1.10	1.31	1.88	2.27
20	2.36	2.04	2.48	1.83	1.72	1.97	1.47	1.21	1.13	2.46	2.61	2.29
21	1.54	0.67	1.51	1.45	1.84	0.79	1.16	1.59	1.65	1.20	1.44	1.38
22	0.95	1.37	1.13	1.19	1.58	1.59	2.01	2.36	2.15	2.85	1.19	0.91
23	1.57	1.47	1.18	1.69	1.74	1.76	2.96	1.59	1.62	0.79	0.75	1.93
24	1.90	1.70	0.90	0.94	1.49	1.69	2.26	2.23	1.69	1.63	2.91	2.03
25	2.00	2.43	2.30	1.24	1.63	1.27	2.60	2.72	2.61	1.76	2.50	2.18
26	0.88	0.92	1.46	1.52	1.73	1.55	1.71	1.49	2.02	2.41	2.79	2.33
27	1.17	1.43	1.53	0.96	1.59	1.29	1.47	1.79	1.88	1.40	1.09	1.65
28	0.98	1.89	1.64	1.69	1.55	1.03	1.66	2.01	2.14	1.78	1.38	1.33
29	1.44	1.43	1.17	1.09	1.95	1.75	1.93	1.58	1.53	1.81	1.19	0.90
30	1.13	1.83	2.08	2.26	1.73	1.14	1.71	2.33	2.33	2.12	1.37	0.88
31	1.91	1.57	1.48	1.66	2.82	2.75	2.95	2.57	2.52	2.47	3.23	3.39
32	1.48	0.66	0.50	1.43	1.81	2.77	2.79	2.62	2.26	2.65	3.68	2.67
33	1.61	3.30	2.45	2.68	1.89	2.17	2.76	3.02	2.43	1.16	0.88	0.91
34	1.28	1.20	1.14	1.38	1.07	1.26	2.72	2.53	2.43	2.39	2.97	3.63
35	1.50	1.43	1.54	1.96	3.00	2.57	2.71	2.72	2.95	2.77	2.56	2.18
36	1.33	2.74	2.70	1.72	1.73	1.80	2.39	2.58	2.47	1.32	1.07	1.29
37	1.40	1.10	0.70	0.93	3.08	2.42	2.81	2.57	2.72	1.90	3.55	3.69
38	2.26	2.38	2.59	2.55	2.44	2.12	2.34	2.78	3.60	1.85	1.20	1.61
39	1.94	1.89	3.08	2.38	2.30	2.18	3.60	4.06	4.09	3.24	1.66	1.14
40	2.73	3.12	2.72	2.46	1.84	1.85	2.69	3.55	1.66	1.69	1.48	2.03
3'	1.53	1.19	1.30	1.11	1.40	1.57	1.75	1.92	1.58	1.61	1.53	1.55
31'	1.38	1.64	1.75	1.67	1.10	1.15	1.01	1.22	1.27	1.42	1.49	1.45
33'	1.24	1.53	1.49	1.14	0.61	0.66	0.91	1.28	0.45	1.06	1.28	0.85
34'	1.37	1.20	1.31	1.08	0.89	1.48	1.19	1.00	0.80	1.14	1.31	1.13
35'	0.74	0.74	0.61	0.54	0.57	0.61	0.48	0.56	0.47	0.64	0.59	0.71
36'	1.02	0.92	1.19	1.15	1.23	0.92	0.78	1.20	1.61	0.91	1.45	0.90
37'	1.08	1.54	2.07	2.07	1.60	1.12	0.74	0.99	1.28	0.96	0.69	0.70
38'	1.30	1.13	1.10	0.94	0.87	0.98	0.92	1.12	0.92	1.15	0.99	1.07
39'	1.01	1.25	1.13	1.22	0.96	1.14	1.14	1.37	1.70	1.56	1.12	1.39
40'	0.84	1.12	0.91	0.85	1.04	1.19	0.74	0.88	0.47	0.64	0.57	0.76
41'	0.92	1.08	1.78	2.26	1.79	0.96	0.86	0.82	0.90	0.96	1.41	1.15
42'	1.65	1.75	1.47	1.18	1.07	1.43	0.88	1.30	1.70	0.68	0.78	1.42
43'	1.48	1.33	1.71	1.40	1.49	1.36	1.24	1.01	1.18	1.10	1.13	1.15
44'	0.55	0.55	0.75	0.75	0.99	0.73	0.66	0.93	0.96	1.05	1.32	0.90
45'	1.10	1.78	1.82	1.52	0.79	1.00	1.39	1.44	1.04	1.45	1.74	1.29
46'	1.58	1.65	1.68	1.43	1.84	1.69	1.52	1.42	1.11	1.52	1.81	1.46
47'	1.71	1.73	2.02	1.79	1.30	1.29	1.39	1.55	1.38	1.20	1.09	0.94
48'	1.30	1.04	1.28	2.38	2.25	1.89	1.57	0.89	1.24	1.24	1.17	1.32
49'	1.39	0.82	0.51	0.74	0.74	0.60	1.15	1.19	1.26	1.28	1.06	1.06
50'	2.43	1.68	1.60	1.11	1.02	1.60	1.52	1.81	1.58	0.92	1.59	1.77
51'	1.79	1.80	2.18	2.17	1.84	1.92	1.82	1.73	1.45	1.42	1.34	1.48
52'	1.94	1.86	2.16	2.04	2.33	1.94	1.60	1.56	1.31	1.63	1.54	1.68
53'	2.18	2.27	1.69	1.74	2.10	1.97	1.66	1.56	1.80	1.41	1.86	1.67
54'	0.96	2.21	2.32	2.27	1.73	1.00	1.24	1.91	2.03	1.18	0.83	0.90
55'	1.66	1.89	2.08	1.95	2.16	1.73	1.95	2.15	0.89	1.77	2.16	2.03
56'	1.05	0.66	0.93	0.93	1.15	1.33	1.53	0.99	1.37	1.60	1.55	1.12
57'	0.94	2.20	2.21	1.76	0.68	0.84	0.95	1.01	0.81	1.41	1.27	0.75
58'	0.76	1.37	1.45	1.39	0.97	0.99	1.19	1.45	1.37	1.12	1.44	1.40

Heilahtelunopeuden vaakakomponentin turbulenssin intensiteetti σ_H/U_H

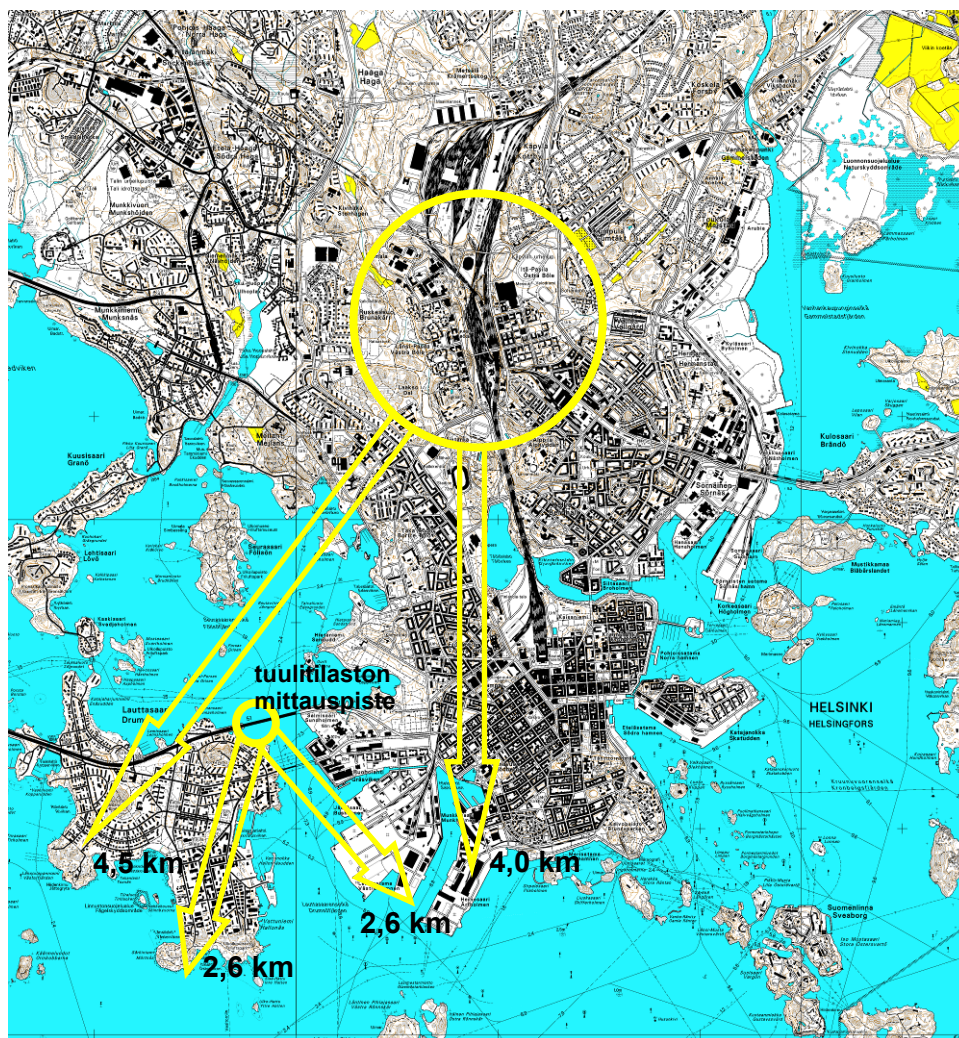
Piste	Tuulen suuntakulma (°)											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
1	0.42	0.44	0.56	0.41	0.41	0.41	0.45	0.52	0.43	0.41	0.39	0.50
2	0.44	0.29	0.46	0.49	0.36	0.37	0.38	0.30	0.31	0.42	0.28	0.45
3	0.48	0.53	0.51	0.32	0.34	0.32	0.32	0.42	0.38	0.36	0.36	0.51
4	0.21	0.19	0.16	0.50	0.49	0.47	0.19	0.16	0.18	0.25	0.41	0.37
5	0.19	0.38	0.31	0.41	0.42	0.34	0.22	0.52	0.44	0.47	0.31	0.28
6	0.42	0.26	0.20	0.50	0.40	0.38	0.39	0.25	0.28	0.23	0.30	0.51
7	0.19	0.32	0.26	0.44	0.18	0.17	0.28	0.41	0.32	0.14	0.13	0.18
8	0.27	0.20	0.23	0.47	0.21	0.19	0.18	0.24	0.43	0.19	0.25	0.34
9	0.20	0.30	0.39	0.29	0.44	0.49	0.47	0.45	0.48	0.19	0.13	0.16
10	0.27	0.29	0.49	0.31	0.50	0.28	0.29	0.15	0.28	0.32	0.18	0.26
11	0.26	0.40	0.52	0.28	0.33	0.37	0.33	0.32	0.25	0.32	0.24	0.40
12	0.49	0.31	0.42	0.54	0.51	0.36	0.46	0.42	0.34	0.33	0.18	0.37
13	0.37	0.32	0.52	0.29	0.23	0.29	0.27	0.47	0.37	0.36	0.37	0.33
14	0.45	0.37	0.49	0.50	0.47	0.45	0.32	0.34	0.35	0.45	0.45	0.40
15	0.41	0.44	0.47	0.53	0.39	0.39	0.34	0.35	0.40	0.48	0.43	0.49
16	0.39	0.28	0.46	0.61	0.41	0.43	0.37	0.37	0.47	0.49	0.44	0.47
17	0.32	0.43	0.50	0.44	0.37	0.28	0.17	0.56	0.50	0.44	0.40	0.39
18	0.45	0.51	0.43	0.47	0.39	0.29	0.27	0.42	0.43	0.43	0.40	0.42
19	0.21	0.17	0.32	0.49	0.19	0.14	0.14	0.20	0.46	0.41	0.43	0.36
20	0.48	0.59	0.28	0.61	0.45	0.59	0.54	0.53	0.47	0.31	0.15	0.26
21	0.42	0.44	0.27	0.26	0.34	0.42	0.51	0.43	0.44	0.51	0.41	0.33
22	0.51	0.52	0.43	0.31	0.28	0.28	0.46	0.25	0.21	0.38	0.57	0.51
23	0.53	0.52	0.45	0.27	0.26	0.23	0.32	0.43	0.45	0.55	0.51	0.60
24	0.18	0.36	0.55	0.49	0.28	0.21	0.23	0.26	0.39	0.44	0.25	0.20
25	0.53	0.40	0.34	0.65	0.44	0.51	0.46	0.19	0.20	0.29	0.31	0.24
26	0.51	0.36	0.24	0.29	0.27	0.33	0.30	0.35	0.24	0.14	0.15	0.31
27	0.50	0.37	0.34	0.59	0.44	0.46	0.27	0.32	0.39	0.47	0.52	0.47
28	0.58	0.23	0.28	0.36	0.44	0.54	0.47	0.21	0.22	0.28	0.37	0.42
29	0.37	0.44	0.48	0.50	0.23	0.25	0.29	0.44	0.44	0.47	0.36	0.47
30	0.54	0.20	0.30	0.32	0.26	0.35	0.32	0.19	0.19	0.25	0.49	0.52
31	0.45	0.40	0.44	0.54	0.38	0.38	0.23	0.11	0.11	0.10	0.11	0.47
32	0.40	0.48	0.45	0.54	0.60	0.14	0.10	0.15	0.11	0.12	0.14	0.63
33	0.41	0.43	0.11	0.49	0.32	0.18	0.11	0.11	0.42	0.46	0.47	0.46
34	0.47	0.46	0.50	0.58	0.48	0.50	0.40	0.13	0.14	0.11	0.13	0.32
35	0.46	0.50	0.53	0.57	0.24	0.25	0.13	0.30	0.33	0.39	0.33	0.48
36	0.47	0.42	0.24	0.45	0.34	0.17	0.13	0.17	0.28	0.50	0.40	0.49
37	0.39	0.48	0.48	0.52	0.28	0.14	0.15	0.10	0.17	0.39	0.23	0.23
38	0.42	0.31	0.36	0.22	0.15	0.13	0.14	0.12	0.52	0.59	0.46	0.55
39	0.49	0.54	0.33	0.19	0.18	0.18	0.28	0.27	0.34	0.28	0.52	0.49
40	0.49	0.27	0.18	0.17	0.14	0.14	0.12	0.41	0.44	0.48	0.57	0.45
3'	0.39	0.41	0.50	0.45	0.32	0.25	0.23	0.26	0.58	0.34	0.59	0.35
31'	0.49	0.36	0.23	0.21	0.44	0.35	0.47	0.33	0.32	0.23	0.31	0.44
33'	0.57	0.27	0.34	0.25	0.36	0.35	0.46	0.46	2.09	0.30	0.33	0.64
34'	0.40	0.37	0.44	0.35	0.31	0.26	0.52	0.75	1.06	0.31	0.24	0.54
35'	0.76	0.77	0.81	0.33	0.32	0.30	0.51	1.28	1.76	0.29	0.70	0.55
36'	0.52	0.55	0.61	0.40	0.40	0.43	0.67	0.49	0.35	0.34	0.42	0.61
37'	0.48	0.30	0.35	0.33	0.37	0.41	0.62	0.74	0.68	0.30	0.55	0.66
38'	0.28	0.29	0.38	0.34	0.34	0.34	0.50	0.67	0.77	0.30	0.49	0.31
39'	0.64	0.56	0.68	0.43	0.40	0.40	0.44	0.47	0.29	0.31	0.69	0.41
40'	0.58	0.59	0.66	0.39	0.40	0.42	0.60	0.94	1.53	0.28	0.68	0.64
41'	0.51	0.74	0.55	0.23	0.37	0.35	0.63	0.99	0.89	0.34	0.48	0.57
42'	0.29	0.23	0.34	0.38	0.42	0.32	0.56	0.40	0.32	0.31	0.57	0.28
43'	0.41	0.60	0.49	0.43	0.38	0.35	0.44	0.61	0.36	0.22	0.46	0.38
44'	0.77	0.63	0.62	0.33	0.33	0.35	0.71	0.96	0.85	0.32	0.49	0.77
45'	0.55	0.23	0.27	0.46	0.38	0.36	0.57	0.78	0.83	0.24	0.43	0.53
46'	0.27	0.26	0.38	0.48	0.23	0.23	0.29	0.48	0.74	0.37	0.32	0.29
47'	0.29	0.17	0.22	0.31	0.44	0.43	0.26	0.23	0.25	0.32	0.59	0.64
48'	0.50	0.70	0.74	0.38	0.35	0.30	0.30	0.95	0.70	0.28	0.42	0.47
49'	0.54	0.76	0.89	0.35	0.39	0.33	0.58	0.65	0.55	0.32	0.50	0.50
50'	0.21	0.21	0.42	0.41	0.41	0.28	0.25	0.22	0.40	0.35	0.74	0.45
51'	0.27	0.25	0.25	0.43	0.37	0.22	0.23	0.25	0.51	0.29	0.42	0.31
52'	0.30	0.27	0.22	0.30	0.20	0.22	0.30	0.42	0.45	0.23	0.32	0.31
53'	0.19	0.22	0.34	0.30	0.25	0.21	0.27	0.45	0.47	0.28	0.31	0.26
54'	0.72	0.20	0.15	0.22	0.39	0.40	0.47	0.27	0.35	0.44	0.59	0.57
55'	0.30	0.40	0.23	0.22	0.39	0.39	0.23	0.44	0.80	0.39	0.24	0.24
56'	0.41	0.69	0.56	0.41	0.44	0.35	0.39	0.86	0.56	0.35	0.33	0.33
57'	0.58	0.62	0.30	0.38	0.33	0.40	0.59	0.82	0.83	0.24	0.67	0.71
58'	0.74	0.47	0.36	0.34	0.36	0.43	0.54	0.29	0.33	0.30	0.37	0.33

Liite 3 Muunnokset tuulitilastolle

Tuulitilaston lukemien muuntamiseksi Keski-Pasilan reunalle (= tuulitunnelikokeen referenssipisteeseen) tarvitaan muunnoskertoimia (taulukko L3.1), joiden laskenta on tarkemmin esitetty taulukoissa L3.2-4. Laskenta perustuu maaston karheuden muutokseen eri tuulensuunnilla ja vastaavien maastoluokkien vaikutusetäisyyteen (kuva L3.1).

Tuulitilaston mittauspisteen korkeus on 22 m.

Korjauskertoimet ovat samat kuin aikaisemmassa osayleiskaavavaiheen tuulisuuskartoituksessa, eli tulokset ovat suoraan vertailukelpoisia.



Kuva L3.1: Tuulitilaston mittauspisteen sijainti suhteessa Keski-Pasilaan ja meren rantaan.

Taulukko L3.1: Muunnoskerroimet tuulitilaston lukemille

Kerroin	Tuulen suuntakulma (°)											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
k_{θ}	0.89	0.89	1.00	1.00	1.00	0.98	0.93	0.98	1.00	1.00	0.89	0.89
k_5	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
k_2	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77
<i>Yhteisvaikutus</i>	0.493	0.493	0.554	0.554	0.554	0.542	0.516	0.542	0.554	0.554	0.493	0.493
<i>Tunnin aikakeskiarvoa soveltavat kriteerit, lisäkerroin</i>												
k_T	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93

Merkinnät:

- k_{θ} = maaston karheusluokan erot kompensoiva kerroin
- k_5 = tuulitilaston mittauspisteen korkeuden (22 m) muunnoskerroin 5 m tasoon (5 m vastaa tuulitunnelikokeiden mittauspisteiden korkeutta)
- k_2 = muunnoskerroin 5 m korkeudesta katutasoon 2 m

k_T = muunnoskerroin 10 min aikakeskiarvon muunnokseksi 1 h aikakeskiarvoksi. Kerrointa sovelletaan ainoastaan tuulisuuskriteereille jotka perustuvat 1 h keskituuliin.

Taulukko L3.2: Tuulitilaston korjauskerroin etelätuulelle

Etelätuuli (tuulen suunta $\Theta = 180^\circ$)

Quantity	Factor	Tuulitilasto	Factor	Tuulitunnelikoe ref.	Comment	Reference
U_r		23.0 m/s		23.0 m/s	reference mean wind (10 min, 10 m, $z_{0r} = 0.05$ m)	Eurocode-1
U_{ref}	1.00	23.0 m/s	1.00	23.0 m/s	statistical factor	-
u_r^*		1.736 m/s		1.736 m/s	friction velocity $z_{0r} = 0.05$ m	
z_{01}		0.003 m		0.003 m	roughness length, sea	ESDU
z_{01}/z_{0r}		0.06		0.06		
$(z_{01}/z_{0r})^{0.0706}$		0.820		0.820 m/s		
u_1^*		1.424 m/s		1.424 m/s	friction velocity, sea wind	Simiu & Scanlan
$U_1(z = 10 \text{ m})$		28.9 m/s		28.9 m/s	mean wind at sea, 10 min, 10 m	
z_{02}		0.03 m		0.1 m	Terrain roughness at the site	ESDU
x_1		2550 m		4000 m	distance from coast	
z_{equ}		204 m		320 m	equivalent height, for which mean wind speed is equal at z_{01} ja z_{02}	Simiu & Scanlan
$U_1(z = z_{equ})$		39.6 m/s		41.2 m/s		
u^*		1.80 m/s		2.04 m/s	friction velocity at the site	
$U(z = z_{equ})$		39.6 m/s		41.2 m/s	mean wind (10 min) at height z_{equ}	
$U_2(z = 10 \text{ m})$		26.1 m/s		23.5 m/s	mean wind (10 min) at height 10 m, surface roughness z_{02}	
$U(z = 22 \text{ m})$		29.6 m/s		27.5 m/s	mean wind (10 min) at height 22 m	

$$k_\Theta = 27,5/29,6 = 0,93$$

Taulukko L3.3: Tuulitilaston korjauskerroin tuulensuunnille 150° ja 210°

Tuulen suunnat $\Theta = 210^\circ$; $\Theta = 150^\circ$

Quantity	Factor	Tuulitilasto	Factor	Tuulitunnelikoe ref.	Comment	Reference
U_r		23.0 m/s		23.0 m/s	reference mean wind (10 min, 10 m, $z_{0r} = 0.05$ m)	Eurocode-1
U_{ref}	1.00	23.0 m/s	1.00	23.0 m/s	statistical factor	-
u_r^*		1.736 m/s		1.736 m/s	friction velocity $z_{0r} = 0.05$ m	
z_{01}		0.003 m		0.003 m	roughness length, town outskirt	ESDU
z_{01}/z_{0r}		0.1		0.1		
$(z_{01}/z_{0r})^{0.0706}$		0.820		0.820 m/s		
u_1^*		1.424 m/s		1.424 m/s	friction velocity, for terrain z_{01}	Simiu & Scanlan
$U_1(z = 10 \text{ m})$		28.9 m/s		28.9 m/s	Mean wind for terrain z_{01}	
z_{02}		0.1 m		0.1 m	Terrain roughness at the site	ESDU
x_1		2550 m		4500 m	distance from terrain z_{01}	
z_{equ}		204 m		360 m	equivalent height, for which mean wind speed is equal at z_{01} ja z_{02}	Simiu & Scanlan
$U_1(z = z_{equ})$		39.6 m/s		41.6 m/s		
u^*		2.08 m/s		2.03 m/s	friction velocity at the site	
$U(z = z_{equ})$		39.6 m/s		41.6 m/s	mean wind (10 min) at height z_{equ}	
$U_2(z = 10 \text{ m})$		23.9 m/s		23.4 m/s	mean wind (10 min) at height 10 m, surface roughness z_{02}	
$U(z = 22 \text{ m})$		28.0 m/s		27.4 m/s	mean wind (10 min) at height 22 m	

$$k_\Theta = 27,4/28,0 = 0,98$$

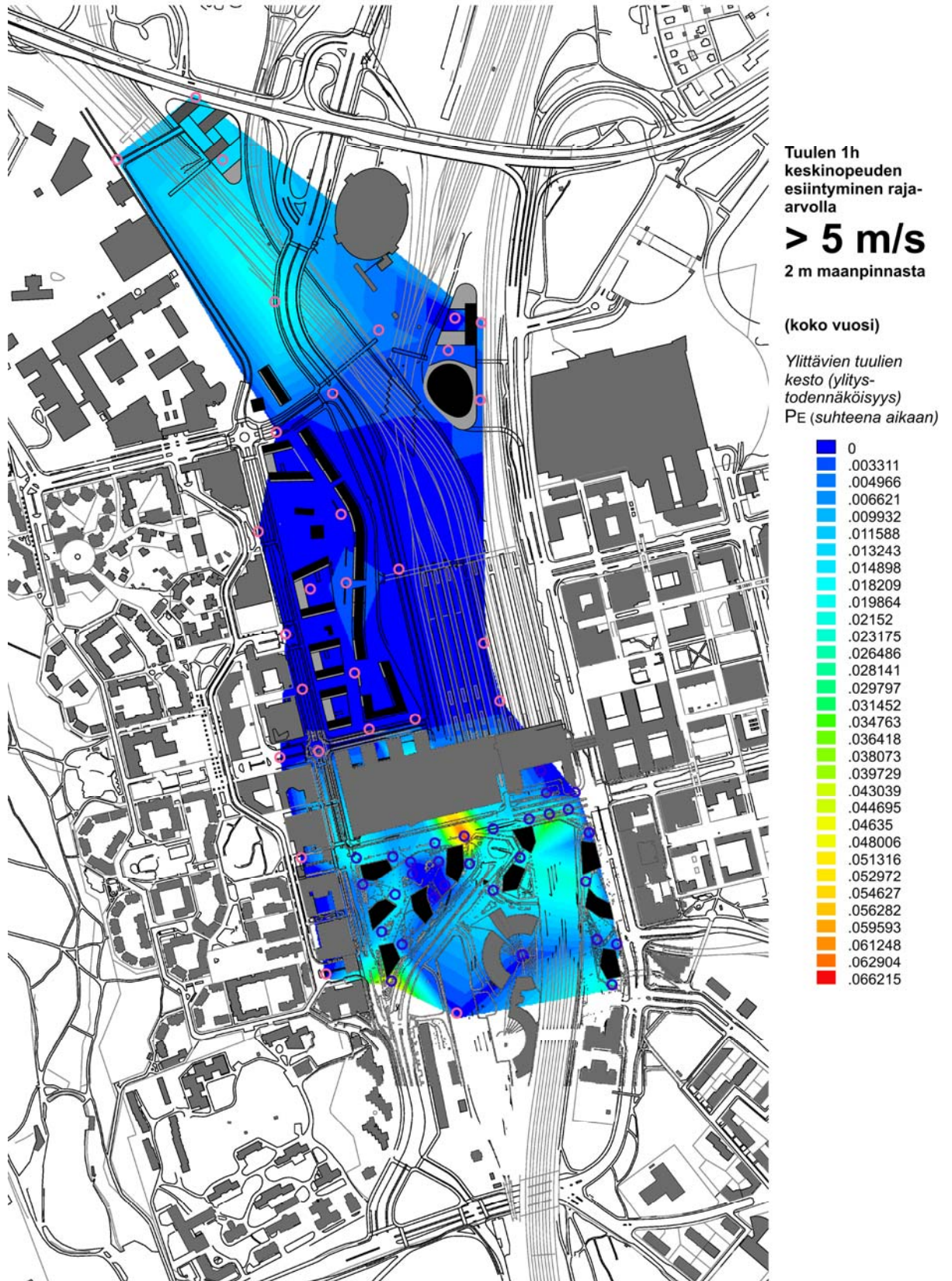
Taulukko L3.4: Tuulitilaston korjauskerroin tuulensuunnille 0°, 300° ja 330°

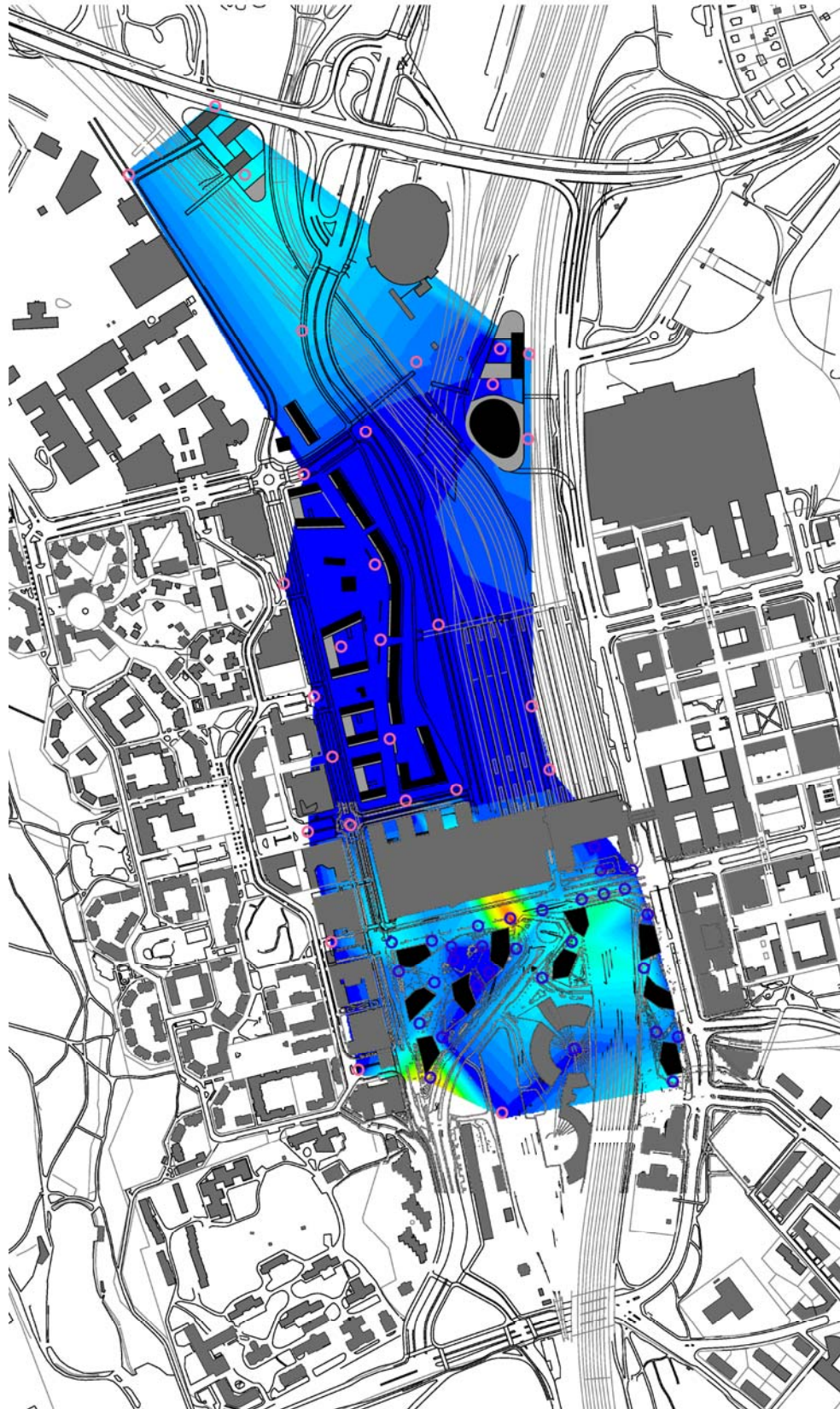
Tuulen suunnat $\Theta = 0^\circ$; $\Theta = 300^\circ$; $\Theta = 330^\circ$

Quantity	Factor	Tuulitilasto	Factor	Tuulitunnelikoe ref.	Comment	Reference
U_r		23.0 m/s		23.0 m/s	reference mean wind (10 min, 10 m, $z_{0r} = 0.05$ m)	Eurocode-1
U_{ref}	1.00	23.0 m/s	1.00	23.0 m/s	statistical factor	-
u_r^*		1.736 m/s		1.736 m/s	friction velocity $z_{0r} = 0.05$ m	
z_{01}		0.1 m		0.1 m	roughness length, town outskirt	ESDU
z_{01}/z_{0r}		2.0		2.0		
$(z_{01}/z_{0r})^{0.0706}$		1.050		1.050 m/s		
u_1^*		1.823 m/s		1.823 m/s	friction velocity, for terrain z_{01}	Simiu & Scanlan
$U_1(z = 10 \text{ m})$		21.0 m/s		21.0 m/s	Mean wind for terrain z_{01}	
z_{02}		0.001 m		0.1 m	Terrain roughness at the site	ESDU
x_1		1500 m		20000 m	distance from terrain z_{01}	
z_{equ}		120 m		1600 m	equivalent height, for which mean wind speed is equal at z_{01} ja z_{02}	Simiu & Scanlan
$U_1(z = z_{equ})$		32.3 m/s		44.1 m/s		
u^*		1.11 m/s		1.82 m/s	friction velocity at the site	
$U(z = z_{equ})$		32.3 m/s		44.1 m/s	mean wind (10 min) at height z_{equ}	
$U_2(z = 10 \text{ m})$		25.5 m/s		21.0 m/s	mean wind (10 min) at height 10 m, surface roughness z_{02}	
$U(z = 22 \text{ m})$		27.6 m/s		24.6 m/s	mean wind (10 min) at height 22 m	

$$k_\Theta = 24,6/27,6 = 0,89$$

Liite 4 Tuulisuuskartat tunnin keskinopeudelle > 5 m/s





Tuulen 1h keskinopeuden esiintymisen raja-arvolla

> 5 m/s

2 m maanpinnasta

Kesäkuusi

(huhtikuu-syyskuu)

Ylittävien tuulien kesto (ylitys-

todennäköisyys)

PE (suhteena aikaan)

