



UNITED
BY OUR
DIFFERENCE



DELFIINIKORTTELI, VUOSAARI

Tuulisuusselvitys

14.3.2017

Laadunhallinta

Versio/muutokset	Versio 1	Muutos 1	Muutos 2	Muutos 3
Huomautukset				
Päiväys	14.3.2017			
Laatija	Risto Kiviluoma			
Allekirjoitus				
Tarkastanut				
Allekirjoitus				
Hyväksynyt				
Allekirjoitus				
Raportin numero				
Tiedostotunnus				

Delfiinikortteli, Vuosaari

Tuulisuusselvitys

14.3.2017

Tilaaaja

Oy Gustav Paulig Ab
Citycon Oyj

Arkkitehti ja yhdyshenkilö:

Arkkitehtuuritoimisto B & M Oy
Tuomas Seppänen
Perämiehenkatu 12 E
00150 Helsinki
Puh. 09 682 1102
www.bm-ark.fi

Konsultti

WSP
Heikkiläntie 7
00210 HELSINKI

Puh. 0207 864 11
Faksi 0207 864 800
www.wspgroup.fi

Rekisteröity osoite

WSP Finland Oy
FI08754165
Heikkiläntie 7, FI-00210 Helsinki

Konsultin yhdyshenkilö

Risto Kiviluoma (tekniset asiat)
Karoliina Saarniaho (hallinnolliset asiat)

Tiivistelmä

Delfiinikortteli sijaitsee Helsingin merellisessä Vuosaaren kaupunginosassa ja sen viitesuunnitelma sisältää korkeaa rakentamista. Vuosaari on pääkaupunkiseudun mittapuussa tuulinen kaupunginosa, jossa pääasiassa rakennukset ja puut antavat suojaa avomereltä puhaltavilta tuulilta.

Uudisrakentamisen tuulisuusvaikutukset voidaan selvittää etukäteen tuulisuusselvitysten avulla, kuten tässä raportissa on tehty. Näissä määritetään tuulisuuden numeroarvot, mutta varsinaisia viranomaisohjeita tai määräyksiä arvojen hyväksytylle tai tavoitellulle tasolle ei ole Suomessa eikä muissakaan maissa. Arvoja voidaan kuitenkin verrata esimerkiksi alueen nykytilaan, jolloin samalla tulee otetuksi huomioon paikallisia tekijöitä, kuten asukkaiden tottumus tuulen vaikutuksiin sekä paikallistieto tuulisista ja tuulettomista kohdista. Tuulisuusselvityksiä voidaan tehdä eri tarkkuustasolla alkaen asiantuntilausunnoista suunnitelman pienoismallin avulla tehtäviin yksityiskohtaisiin tuulitunnelikoe-tutkimuksiin. Tässä raportissa käytetty menetelmä asettuu tarkkuudelta näiden välimaastoon, ja se perustuu viitekohteiden tuulitunnelikoetulosten ja paikallisten säätietojen käyttöön. Lisänä on suoritettu katselmus nykytilan arvioimiseksi.

Tuulisuusselvityksen tärkeitä tavoitteita on varmistaa, että vaarallisen kovia puuskatuulia ei rakentamisen johdosta esiinny julkisilla alueilla liian useasti, ja että rakentaminen ei merkittävästi lisää tuulisuutta kokonaisuutena, eli kaikki tuulensuunnat huomioon ottaen. Vaaralliset tuulenpuuskat riippuvat paitsi rakentamisesta, myös alueen yleisistä tuuliolosuhteista, eli myrskyjen voimakkuudesta ja toistuvuudesta. Esimerkiksi pihojen ja kaupallisten alueiden tuulisuusolosuhteisiin voidaan etsiä erityisen viihtyisiä ratkaisuja, mutta nämä ovat pääasiassa rakentajan ja kaavoittajan itsensä määrittelemiä laatutavoitteita.

Tulosten mukaan Vuosaaren rannassa, joka nykyisellään on rakennettu, voi talvikaudella esiintyä kävelyä vaikeaksi tekeviä > 16 m/s puuskatuulennopeuksia katutasossa noin 40 h/v. Nämä kertyvät lähes kokonaan etelästä ja lounaasta puhaltavista tuulista, ja liittyvät suoraan avomeren vaikutukseen. Vaarallisen kovia puuskatuulia > 23 m/s ei esiinny useammin kuin kerran vuodessa. Tilanne on numeroarvoina sama nykyisen Cirruksen tornin ja Delfiinikorttelin korkeimman tornin vieressä. Tuulisuudessa kohdissa korkea rakentaminen tuo sen tuulisuuden takaisin, jonka meren ja kohteen välissä olevat matalammat rakennukset poistavat: tuulisuus Delfiinikorttelin tuulisimmissa pisteissä ei ole sen suurempaa kuin Vuosaaren rannassa. Eroa on kuitenkin siinä, että Delfiinikortteli on tuulensuojassa, jolloin tuulenpuuskat tornien juuressa voivat tulla yllätyksenä. Kovien tuulenpuuskien esiintymisen välttämiseksi ja pihojen viihtyvyyden turvaamiseksi on suunnittelussa hyvä kiinnittää huomiota tuulisuuskysymykseen tämän raportin ohjeiden mukaisesti.

Viitesuunnitelman tornit on sijoitettu ja rakennukset massoiteltu siten, että tuulisuuden mahdollinen kasvu viereisillä tonteilla jää vaikutuksiltaan vähäiseksi.

Tulosten perusteella viitesuunnitelmassa on otettu huomioon tärkeimmät tuulisuuskysymykset, ja tuulisuuden numerojen valossa ei ole tarvetta suositella tarkemman tuulisuusselvityksen laatimista. Korkean rakentamisen ja alueen yleisen tuulisuuden johdosta voidaan kuitenkin suositella, että lopulliselle suunnitelmalle laaditaan tuulisuusselvitys, tai osoitetaan tämän selvityksen ajantasaisuus, rakennusluvan hakemisen yhteydessä.

Sisällys

Tiivistelmä	4
1. Johdanto	6
2. Lähtötiedot	9
2.1 Kohteen suunnitelma.....	9
3. Laskentamenetelmä ja määrittelyt.....	11
3.1 Tuulensuuntien koordinaatisto	11
3.2 Tuulisuuden tarkastelupisteet.....	12
3.3 Tuulisuuden laskentamenetelmä.....	14
3.4 Käytetyt tuulisuuskriteerit	16
4 Tulokset.....	17
4.1 Kohdealueen perustuulisuus	17
4.2 Tuulisuus tarkastelupisteissä	19
5 Johtopäätökset ja suunnitteluohjeita	25
5.1 Nykytilan tuulisuus	25
5.2 Viitesuunnitelma	25
Lähdeluettelo	31
Liite 1: Tuulisuuden määrittämisen yleisperiaate	32
Liite 2: Tuulitunnelikokeet ja virtauslaskenta	38
Liite 3: Maaston karheusluokan muutosanalyysi	42
Liite 4: Kohdealueen perustuulisuus.....	43
Liite 5: Tuulisuuden yksityiskohtaisia laskentatuloksia	44
Liite 6: Nykytilan tuulisuuden katselmus	50

1. Johdanto

Tämän raportin kohteena on Delfiinikorttelin (kuva 1) asemakaavan viitesuunnitelma. Kohde sisältää korkeaa rakentamista ja sijaitsee Helsingin Vuosaarissa kauppakeskuksen ja metroaseman läheisyydessä. Vuosaari on merenlahtien ja avomeren ympäröimä useasta suunnasta. Kohteesta merenrantaan on lyhimmillään noin 700 m. Viitesuunnitelmaan kuuluu pääasiassa asuinkäyttöön tulevia rakennuksia, joista korkein on 31-kerroksinen. Tornien väleihin sijoittuu kattopihoja, jotka sijaitsevat 10..12 m korkeudessa maanpintaan nähden. Kohteen vieressä sijaitsee nykyinen ympäristöään selvästi korkeampi tornitalo, 26-kerroksinen Cirrus, jonka korkeus on 87,5 m.



Kuva 1: Havainnekuvia kohteesta (kuvat Arkkitehtuuritoimisto B & M Oy).

Rakennetun ympäristön tuulisuus on muodostunut viime vuosina ajankohtaiseksi Suomessa rantarakentamiseen ja korkeaan rakentamiseen liittyen. Rakennukset ja rakenteet vaikuttavat katutasoon, piha-alueiden ja kattoterassien tuulisuuteen mm. siksi, että korkeammat rakennukset ohjaavat korkealla vaikuttavia kovempia virtauksia katutasoon. Tuulisuus vaikuttaa silloin pääasiassa puuskaisuutena, joka voi tulla yllätyksenä korkean rakennuksen vieressä kulkevalle. Korkealla maapinnasta sijaitsevat kannet, sillat ja piha-alueet ovat luonnostaan tuulisia johtuen siitä, että tuulennopeudet kasvavat ylöspäin mentäessä maan ja ilmvirtauksen välisen kitkan johdosta.

Tuulisuuden merkityksen arvioimiseksi tuulisuus voidaan esittää lukuarvona, joka kuvaa keskimääräisen ajan, jolla tietyn tuulennopeuden raja-arvo ylittyy. Tuulennopeuksien tarkastelu tehdään katutasossa; tarkoittaen tuulisuusmalleissa korkeutta 1,5...2,0 m alla olevasta jalankulkutasosta laskettuna. Tuulisuuden yleinen määrittäminen sekä tuulisuuteen liittyviä kriteerejä ja vaikutuksia on käsitelty tarkemmin liitteissä 1 ja 2 sekä lähteessä [1].

Suomessa tuulisuuden suhteen tarkasteltuja tai tarkasteltavia rakennushankkeita on ollut, ja on, mm. Helsingissä, Espoossa, Vantaalla, Tampereella ja Oulussa. Kuvassa 2 on esitetty Konsultin aikaisempia pääkaupunkiseudun tuulisuusselvitysten kohteita. Aikaisemmin tutkittujen kohteiden tuloksia voidaan käyttää vertailuaineistona tulosten ohjeellisessa tulkinnassa.



Tuulitunnelikokeilla tutkitut referenssikohteet (tutkimuksen vuosi sulussa):

1. Keski-Pasila (2004, 2010)
2. Jätkäsaari (2007)
3. Hernesaari (2012)
4. Kalastaman keskus (2011, 2012, 2015)
5. Kaupunkikeskus Tapiola (2014)

Ilman kohteen tuulitunnelikokeita tehdyt tutkimukset:

6...16.

Kuva 2: *Aikaisemmin tuulisuuden suhteen tutkittuja pääkaupunkiseudun kohteita tämän raportin kohde ympyröitynä. Kuva muokattu Espoon kaupungin kartta-aineistoon.*

Tässä raportissa esitetään laskentapohjainen tuulisuustarkastelu. Se asettuu luotettavuudeltaan ja tarkkuudeltaan asiantuntijalausunnon ja tuulitunnelikokeen avulla tehdyn varsinaisen tuulisuuskartoituksen välimaastoon. Tarkastelun pääasiallisena tavoitteena on selvittää tuulisuuskysymysten merkittävyys suunnittelun ja kaavoituksen tavoitteiden suhteen.

Vuosaari sijaitsee merellisessä ympäristössä, jossa ulkoilureittejä sijaitsee aivan rantaviivassa. Alueen asukkaat ovat oletettavasti jossain määrin tottuneet tuulisuuden vaikutuksiin.

Alueen tuulisuus koostuu yleisesti sääoloihin ja kohteen sijaintiin liittyvästä perustuulisuudesta sekä rakennusten ja maaston paikallisista vaikutuksista.

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 tietystä korkeudesta ylöspäin, missä korkeus on verrannollinen etäisyyteen 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 vaikuttaa syntyvään tuulisuuden lisään.

Tuulisuuden vaikutuksia voidaan tarkastella kahden tasoisina: viihtyvyyteen ja turvallisuuteen liittyvinä. Turvallisuuteen liittyvät vaikutukset liittyvät koviin puuskatuuliin katutasossa, ja niitä varten Konsultti on aikaisemmissa selvityksissä määrittänyt esiintymistodennäköisyyksiä raja-arvoille 16 m/s puuskatuuli katutasossa – tavoitteellinen kävely vaikeaa; ja 23 m/s puuskatuuli katutasossa – vaarallisen kova tuuli (liite 1). Turvallisuuskysymystä voidaan ajatella myös esteettömyyskysymyksenä. Esimerkiksi rakennukseen pitäisi pystyä kävelemään turvallisesti kaikissa olosuhteissa. Turvallisuuskysymykset ovat suhteellisen helposti luokiteltavissa ja niihin voidaan suositella tarvittaessa puututtavaksi kaavoitusmääräyksissä tai rakennusluvassa.

Viihtyvyystekijät ovat pitkälti subjektiivisia, ja niihin vaikuttavat monet tekijät mukaan lukien asukkaiden tottumus, toiminto mitä ollaan tekemässä ja suunnitelman eri alueiden tavoiteltu laatutaso tuulisuuden suhteen. Yleisesti korkeiden rakennusten tuulisuutta lisäävä vaikutus on ollut kaupunkilaisten huomion kohteena niin pitkään kuin niitä on rakennettu, eli noin 1900-luvun alusta (liite 2). Edes modernit tuulisuuden suunnittelumenetelmät tuulitunnelikokeineen ja tuulisuuskriteerien käyttö eivät täysin sulje pois kielteisen huomion mahdollisuutta.

Suomen oloissa alhaisessa lämpötilassa pienemmätkin tuulennopeudet voivat tuntua kasvoissa epä-mukavilta tuulen ja pakkasen yhteisvaikutuksen, pakkasen purevuuden, johdosta. Viihtyvyystekijän kannalta yksi kaavoituksen näkökulma voi olla, että kuinka paljon uusien korkeiden rakennusten sallitaan lisätä tärkeinä pidettyjen olemassa olevien julkisten alueiden tuulisuutta.

Perustuulisuuden taso on Suomessa suhteellisen alhainen verrattuna moneen muuhun maahan. Kansainvälisesti kaupungeissa, joissa äärimmäisen kovia tuulia esiintyy useammin, voidaan joutua poikkeuksellisiin ratkaisuihin turvallisuuden takaamiseksi. Esimerkiksi korkeiden rakennusten ulkovoivia tai niiden vieressä olevia katuosuuksia voidaan joutua sulkemaan tilapäisesti käytöltä myrskyjen yhteydessä. Suomessa pääkaupunkiseudulla myrskylukemiin (≥ 21 m/s keskituuli 10 m korkeus) yltäviä keskituulia mitataan lähisaarten säämittauspisteissä ainoastaan noin kerran vuodessa. Mante-reella tuulen keskinopeudet ovat huomattavasti pienempiä, esim. Helsinki-Vantaan lentokentällä, avoimessa maastossa, vuotuiset keskituulennopeuden maksimit ovat n. 15 m/s.

Yhteenvetona Konsultin suorittamista pääkaupunkiseudun tuulisuuskartoituksista tuulisuudella voi olla kaavamääräystasoista vaikutusta pääasiassa silloin, kun

- tarkastelupiste on laajalta sektorilta avoin mereltä puhaltaville tuulille (esim. saaret ja niemet)
- korkeaa rakentamista on lähellä merta
- jalankulkutaso on korkealla (pihakannet, sillat ja kattoterassit).

2. Lähtötiedot

2.1 Kohteen suunnitelma

Kohteen viitesuunnitelmaa on havainnollistettu kuvissa 3 ja 4. Toiminnallisesti viitesuunnitelman keskeinen kohta on korkeimman tornin vieressä sijaitseva aukio, josta on kaupallisia tiloja ja josta kuljetaan kauppakeskukseen tai metroasemalle. Korkeimman tornin (31 kerrosta) pohjan leveämpi sivumitta on suuruusluokaltaan 35 m. Tornin korkeus on n. 110 m maapinnasta laskettuna. Lähteen [1] mukaisesti arvioituna tornien tuulisuutta lisäävä vaikutus ulottuu tällöin enimmillään 140 m päähän tornin julkisivusta, ja tornin pohjan sivumitta (= tornin hoikkuus) on määräävämpi tekijä kuin korkeus.



Kuva 3: Asemakaavan viitesuunnitelma (kuva Arkkitehtuuritoimisto B & M Oy).

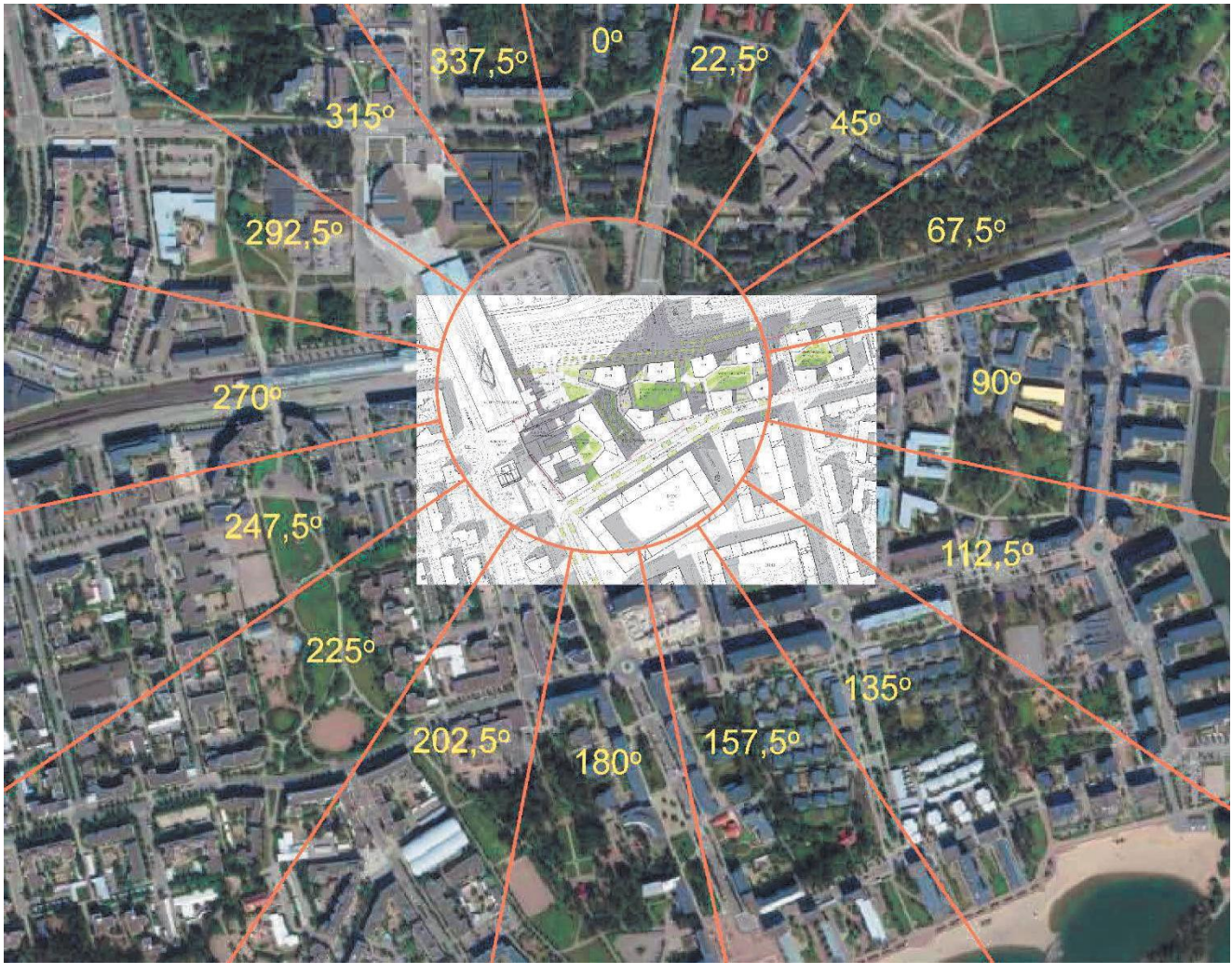


Kuva 4: Havainnekuvia aukiosta ja katualueesta (kuvat Arkkitehtuuritoimisto B & M Oy).

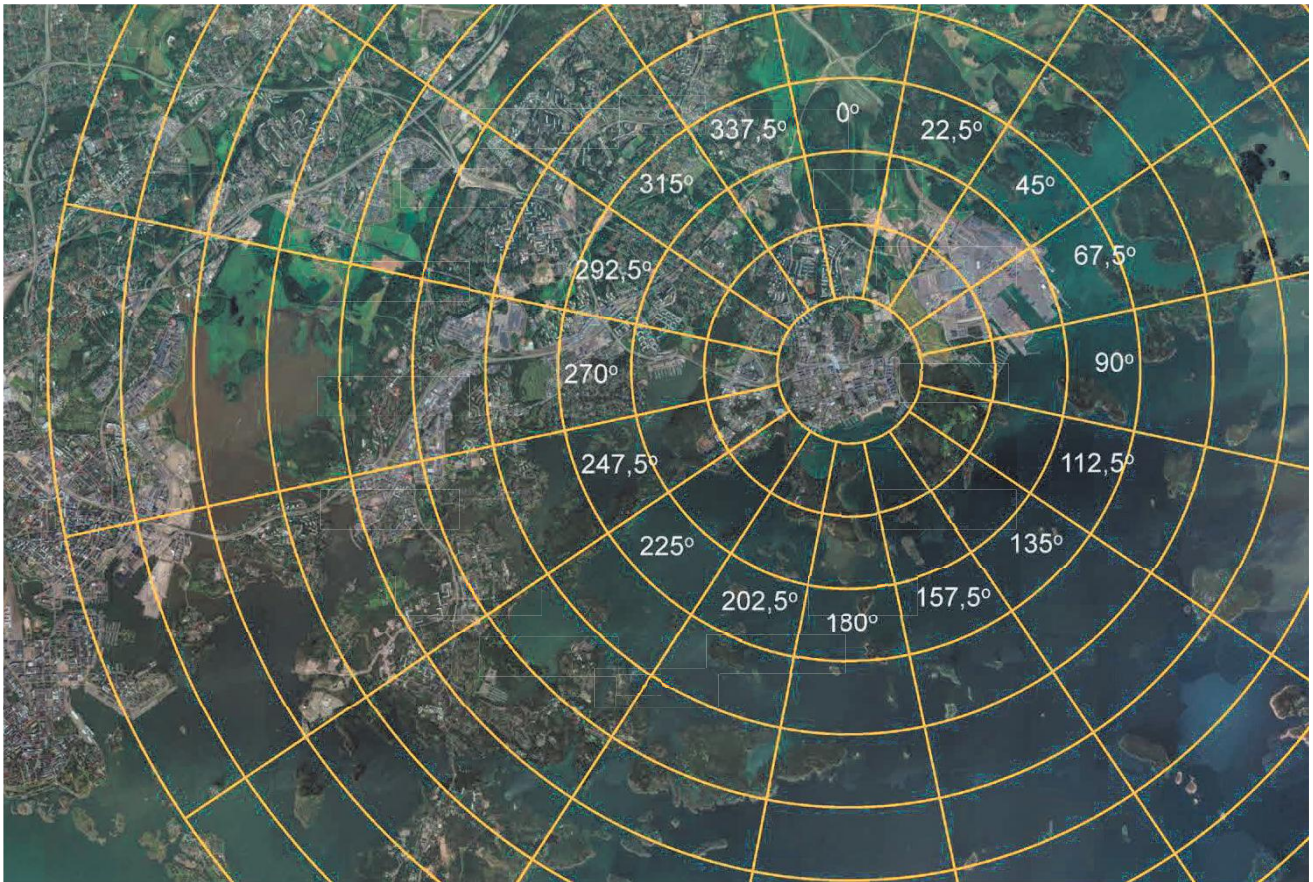
3. Laskentamenetelmä ja määrittelyt

3.1 Tuulensuuntien koordinaatisto

Tuulen suuntakulmien sektorit on esitetty kuvissa 5 ja 6.



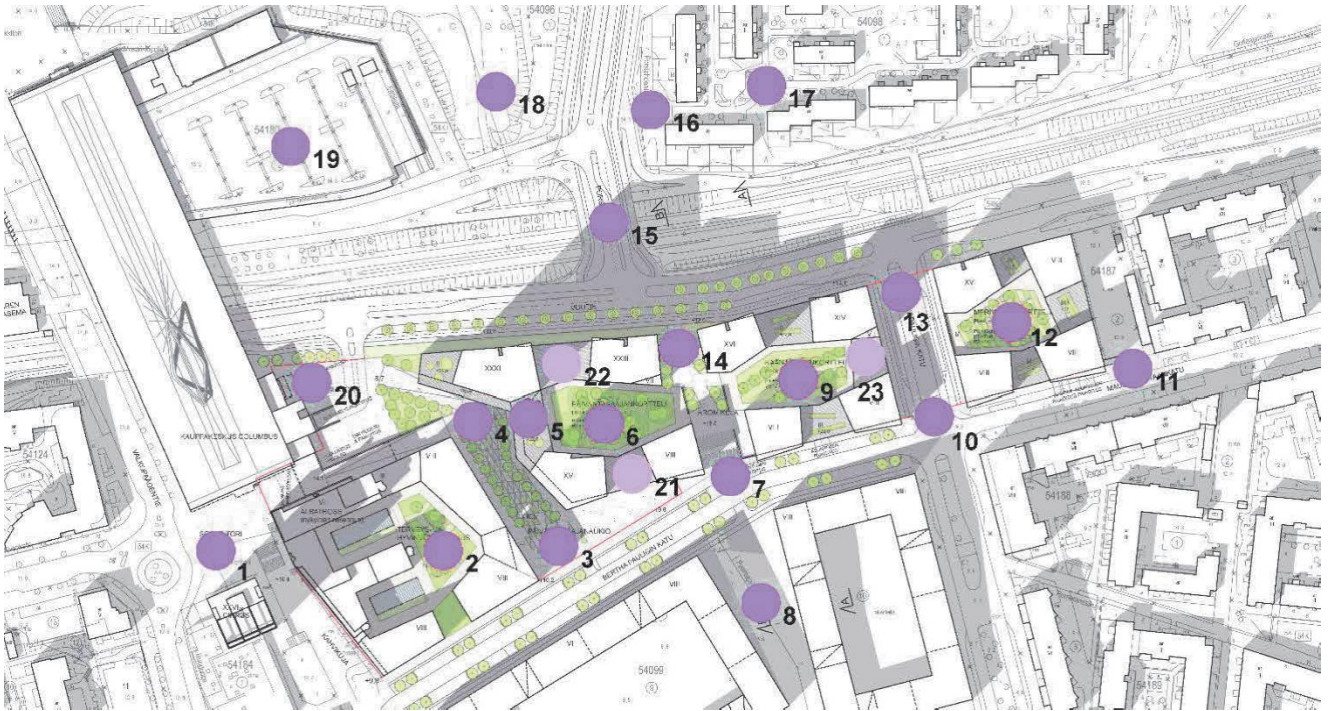
Kuva 5: Tuulensuuntien sektorit kohteessa (kuva muokattu Arkkitehtuuritoimisto B & M Oy ja Helsingin kaupungin aineistoista).



Kuva 6: Tuulen suuntia vastaavat sektorit maaston karheusluokan muutosanalyysiin (kuva muokattu Helsingin kaupungin kartta-aineistosta); ruudukon kehien väli = 1000 m.

3.2 Tuulisuuden tarkastelupisteet

Tuulisuuden arviointiin on valittu kuvan 7 mukaiset pisteet. Pisteet on sijoitettu alueiden suunniteltujen toiminnallisuuksien kannalta keskeisiin kohtiin. Pisteiden sijainti on lisäksi valittu siten, että niissä tuulisuus on rakennusten vaikutusten yms. tekijöiden johdosta oletettavasti maksimissaan.



Kuva 7: Tuulisuuden tarkastelupisteet (kuva muokattu B & M Arkkitehdit ja Helsingin kaupungin aineistosta). Tummemmalla värillä esitetyt pisteet sijaitsevat luonnollisen maanpinnan tasolla, ja vaaleammalla värillä esitetyt pisteet kattopihoilla. Pienillä kirjaimilla merkityt pisteet (a... g) tarkoittavat Vuosaaren nykytilan tarkastelupisteistä.

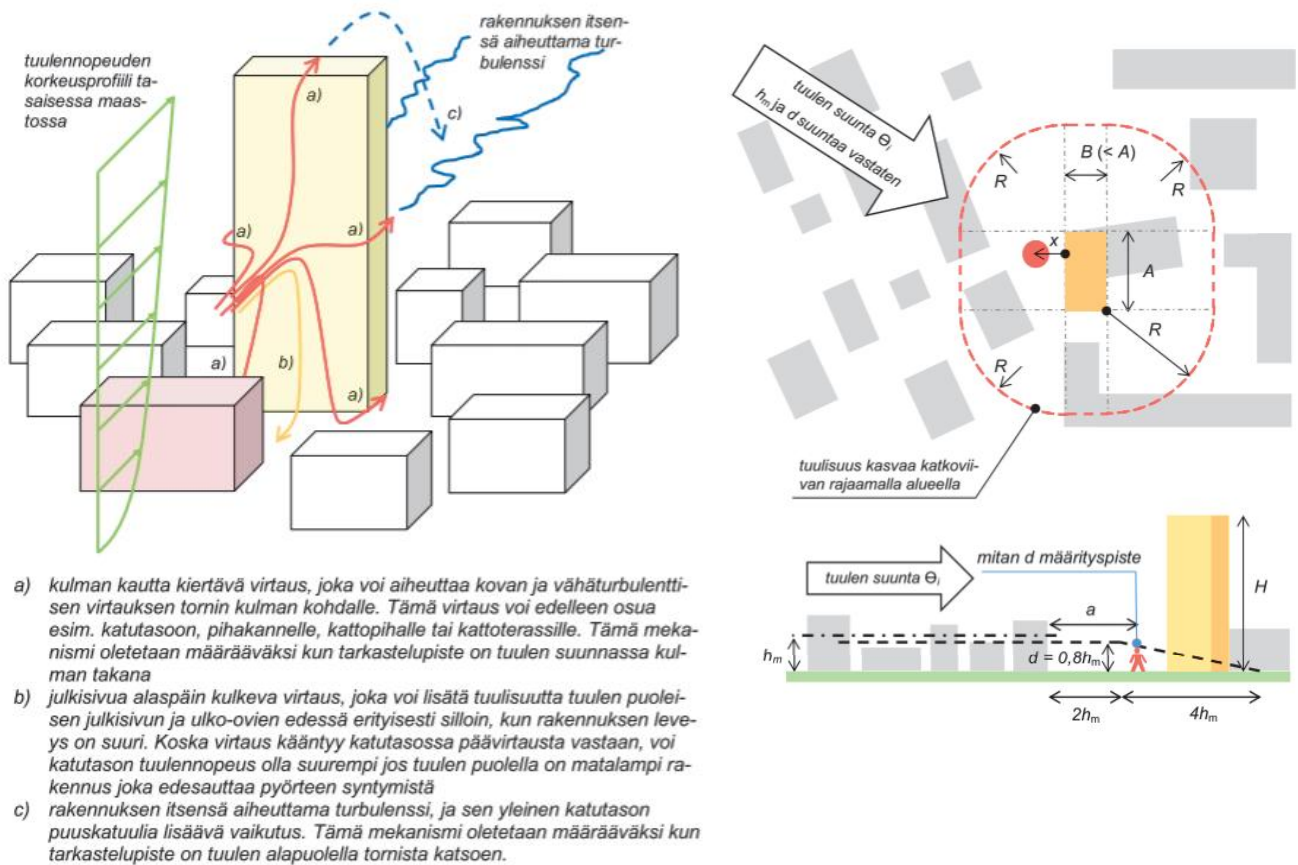
3.3 Tuulisuuden laskentamenetelmä

Tuulisuuden laskenta/arviointi on tehty lähteen [1] mukaisella menetelmällä, joka perustuu kohdealueen perustuulisuuden laskentaan (ilman rakennusten paikallisia vaikutuksia) ja suunnitelman mukaisen rakennusten (tai suunnitelmamuutosten) vaikutusten laskentaan, kun käytössä on viitekohteiden tuulitunnelikoetuloksia.

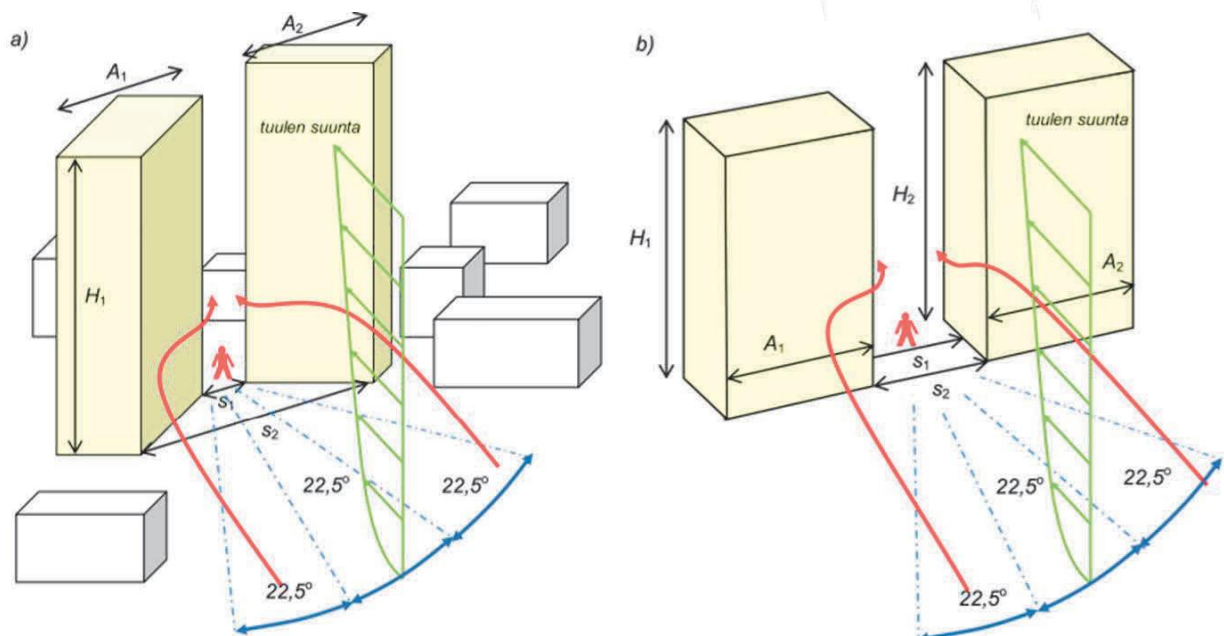
Huomioon otettavia tekijöitä ovat erityisesti

- korkean rakennuksen vaikutus tai sen korkeuden muutoksen vaikutus (kuva 8)
- kahden lähekkäisen rakennuksen aiheuttama kanavointivaikutus (kuva 9).

Perustuulisuus lasketaan maaston karheusluokan muutosanalyysin perusteella paikallisen sääaseman tuulitilastosta. Keskituulet oletetaan Weibull-jakaantuneiksi, jossa jakauman parametrit määritetään käyrän sovituksella tuulitilastoon tuulen suunnittain (liite 1). Käytetty tuulitilasto on Ilmatieteenlaitoksen Harmajan sääaseman tulokset 10 v.



Kuva 8: Ympäristöään selvästi korkeamman rakennuksen tuulisuutta lisäävä vaikutus lähteen [1] laskentamalleissa.



Kuva 9: Kahden rakennuksen aiheuttama kanavointi lähteen [1] laskentamalleissa.

3.4 Käytetyt tuulisuuskriteerit

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

Taulukko 1: Konsultin Suomen kohteissa käyttämät tuulisuuskriteerit

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.	viihtyvyy
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).	viihtyvyy
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 kesäkau- della (huhtikuu-syyskuu) tai useammin, $\geq 2,2$ h * ($\geq 0,05$ % ajasta).	viihtyvyy
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).	esteettä- 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. Taulu-
kon tuulennopeuden raja-arvot on annettu katutasossa, eli 1,5...2,0 m korkeudessa tarkastelupis-
teen alla olevasta maanpinnasta lukien.

4 Tulokset

4.1 Kohdealueen perustuulisuus

Kohde on alttiina avomereltä ja merenlahdilta puhaltaville tuulille n. 180° sektorilla. Pääkaupunkiseudun rannikolla iso osa tuulista tulee lounaasta, missä suunnassa merenlehden leveys on n. 4 km (kuva 10).

Etäisyys kohteesta merenrantaan on lyhimmillään n. 700 m, jolloin mereltä puhaltavat tuulet vaikuttavat kohteessa vaimentumattomina n. 55 m ylöspäin.

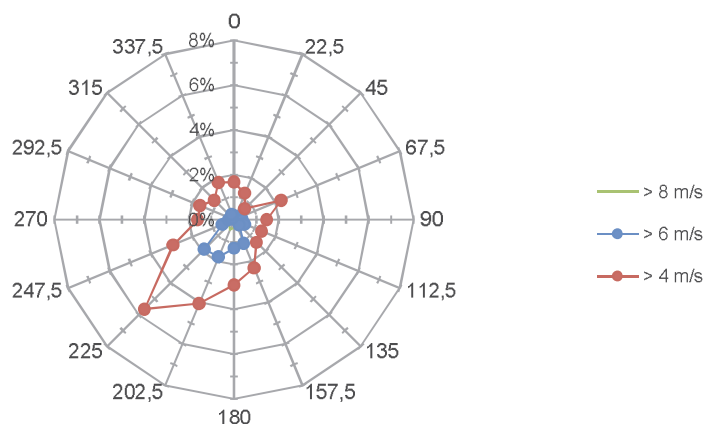


Kuva 10: Lounaistuulen vaikutuksen kannalta tärkeä merenlahti - Vuosaari ympyröitynä (kuva muokattu Helsingin kaupungin aineistosta).

Kohdealueen perustuulisuus on määritetty 15 m korkeudessa vastaten tuulitilaston mittauspisteen korkeutta. Perustuulisuuden laskenta on esitetty liitteessä 3. Yksityiskohtaiset laskentatulokset on esitetty liitteessä 4. Tuloksia on havainnollistettu kuvissa 11 ja 12.

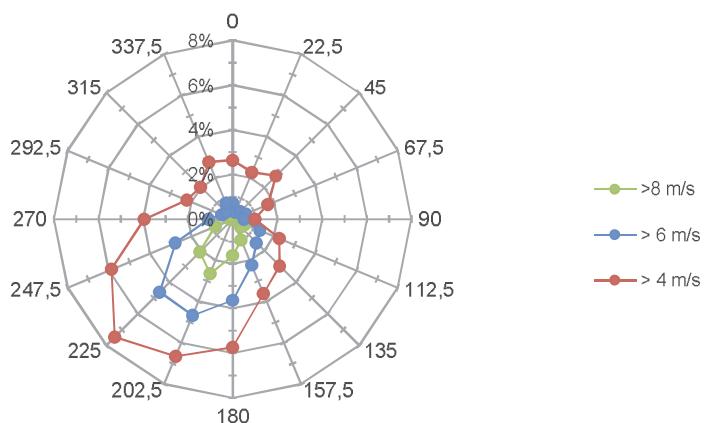
Kesäkausi: keskituulien esiintyminen kohdealueessa (% ajasta; 15 m korkeus)

kesäkausi = huhtikuu...syyskuu



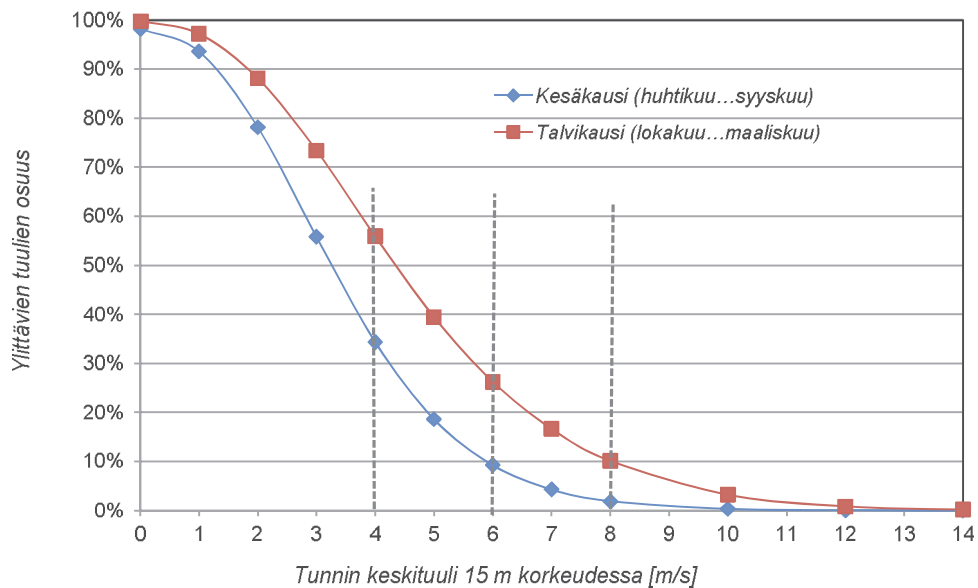
Talvikausi: keskituulien esiintyminen (% ajasta; 15 m korkeus)

talvikausi = lokakuu...maaliskuu



Kuva 11: Perustuulisuus kohdealueella tuulen suunnittain (arvot ovat tunnin keskituulia 15 korkeudessa). Arvot 4 m/s, 6 m/s ja 8 m/s on valittu kuvamaan eri tuulennopeuksien esiintymistä tuulen suunnittain; eri sektoreista yhteenlasketut prosenttiosuudet antavat ylittävien tuulien osuuden kokonaisuutena. Valitut arvot eivät liity itse analyysiin, joka tehdään jatkuvalla tuulennopeusasteikolla liitteen 1 mukaisesti.

Tuulisuuden perustaso kohdealueella (15 m korkeus)

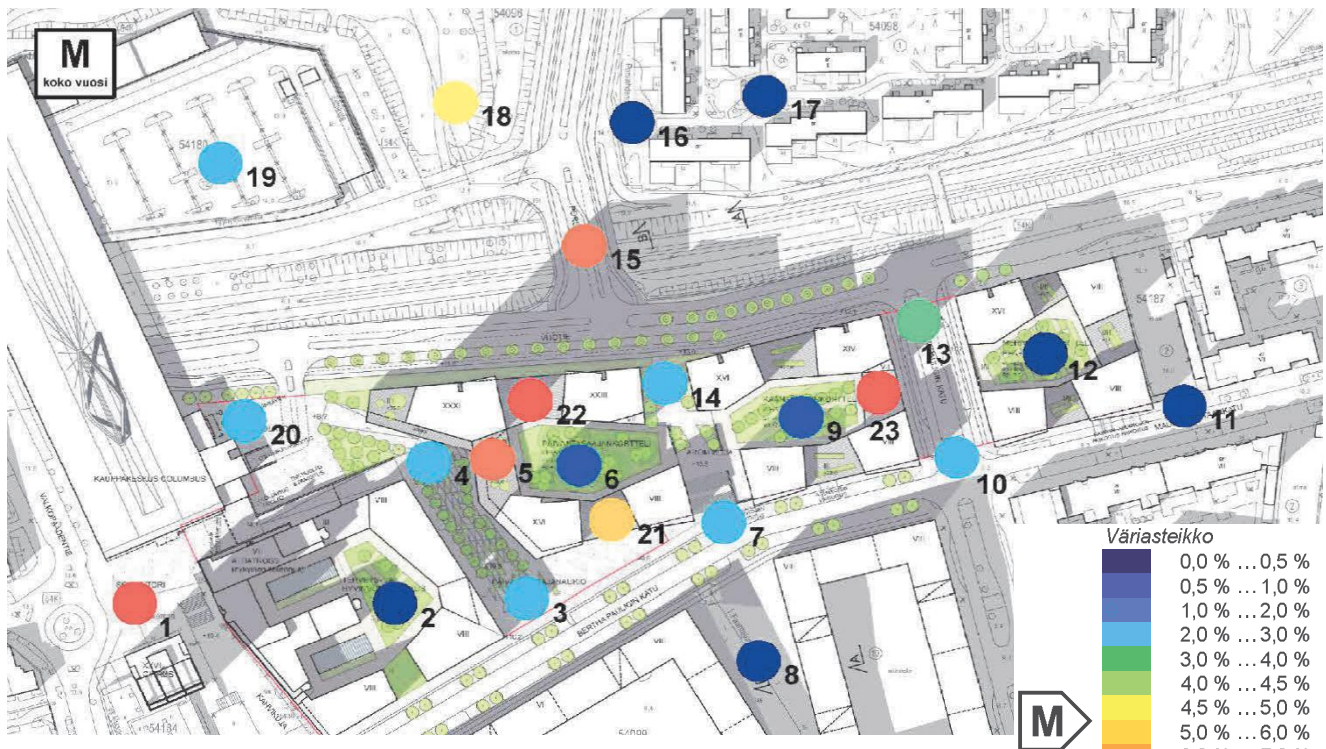


Kuva 12: Perustuulisuus kohdealueella; summana kaikista tuulensuunnista. Katkoviivat esittävät kuvaan 11 valittuja tuulennopeuden arvoja. Avoimessa maastossa 15 m korkeudessa tuulennopeus on noin 1,6-kertainen katutasen tuulennopeuteen nähden. Tällöin esimerkiksi 8,0 m/s arvo kuvassa kuvaa katutasen 5 m/s tunnin keskituulen esiintymistä: talvikaudella arvo ylittyy 10 % ajasta ja kesäkaudella 2 % ajasta.

4.2 Tuulisuus tarkastelupisteissä

Tuulisuuden laskentatulokset on esitetty kuvissa 13...17. Näiden kuvien väriasteikoissa kirjaintunnuk-sella varustettu nuoli osoittaa kriteeriä vastaavan tuulen toistumisen raja-arvon.

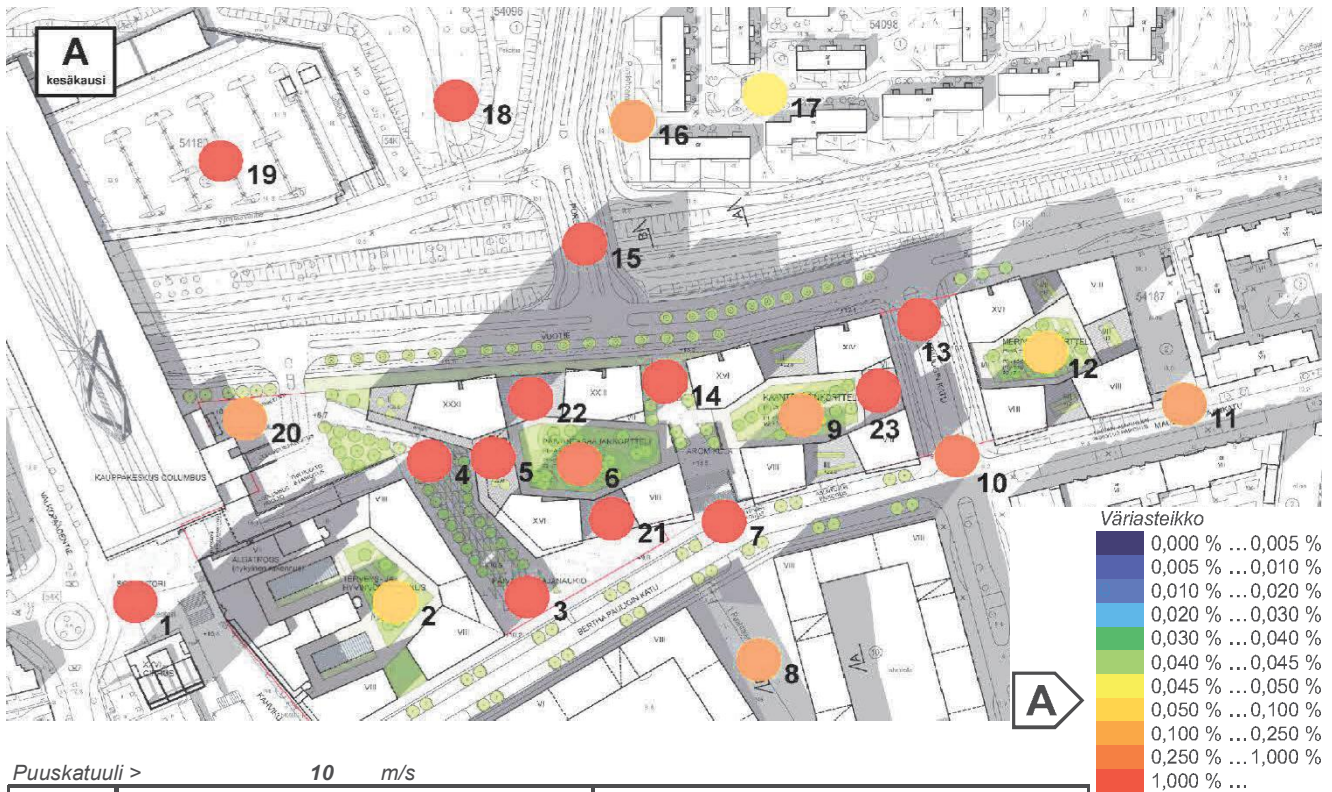
Tuulisuuden kertymistä eri tuulensuunnan sektoreista on havainnollistettu liitteessä 5.



Tunnin keskituuli > 5 m/s

Piste	M Koko vuosi					Kesäkausi			
	% ajasta	h/vuosi	h/kk	h/vk	% ajasta*	h	h/kk	h/vk	
1	12,8 %	1120	93	22	6,8 %	299,1	49,9	11,5	
2	0,2 %	21	2	0	0,1 %	3,2	0,5	0,1	
3	2,3 %	200	17	4	0,9 %	41,1	6,9	1,6	
4	2,7 %	240	20	5	0,9 %	38,0	6,3	1,5	
5	7,6 %	670	56	13	3,3 %	142,9	23,8	5,5	
6	0,7 %	61	5	1	0,2 %	6,8	1,1	0,3	
7	2,1 %	184	15	4	0,5 %	23,1	3,8	0,9	
8	0,3 %	28	2	1	0,0 %	2,0	0,3	0,1	
9	0,8 %	70	6	1	0,2 %	9,4	1,6	0,4	
10	2,6 %	230	19	4	0,8 %	33,7	5,6	1,3	
11	0,2 %	20	2	0	0,0 %	1,4	0,2	0,1	
12	0,5 %	43	4	1	0,1 %	4,1	0,7	0,2	
13	3,0 %	263	22	5	1,3 %	58,3	9,7	2,2	
14	3,0 %	261	22	5	1,1 %	50,1	8,3	1,9	
15	7,4 %	648	54	12	3,5 %	155,3	25,9	6,0	
16	0,5 %	42	3	1	0,0 %	2,0	0,3	0,1	
17	0,0 %	4	0	0	0,0 %	0,0	0,0	0,0	
18	4,5 %	398	33	8	1,8 %	80,0	13,3	3,1	
19	2,5 %	220	18	4	0,5 %	21,6	3,6	0,8	
20	2,4 %	210	17	4	0,5 %	23,2	3,9	0,9	
21	5,6 %	493	41	9	1,9 %	84,5	14,1	3,3	
22	10,7 %	940	78	18	5,4 %	236,7	39,5	9,1	
23	8,6 %	755	63	15	4,2 %	183,4	30,6	7,1	
a	12,2 %	1071	89	21	6,7 %	292,7	48,8	11,3	
b	1,2 %	108	9	2	0,1 %	6,2	1,0	0,2	
c	9,3 %	814	68	16	3,7 %	161,2	26,9	6,2	
d	0,0 %	2	0	0	0,0 %	0,2	0,0	0,0	
e	0,1 %	13	1	0	0,0 %	0,6	0,1	0,0	
f	0,0 %	2	0	0	0,0 %	0,0	0,0	0,0	
g	0,0 %	3	0	0	0,0 %	0,1	0,0	0,0	

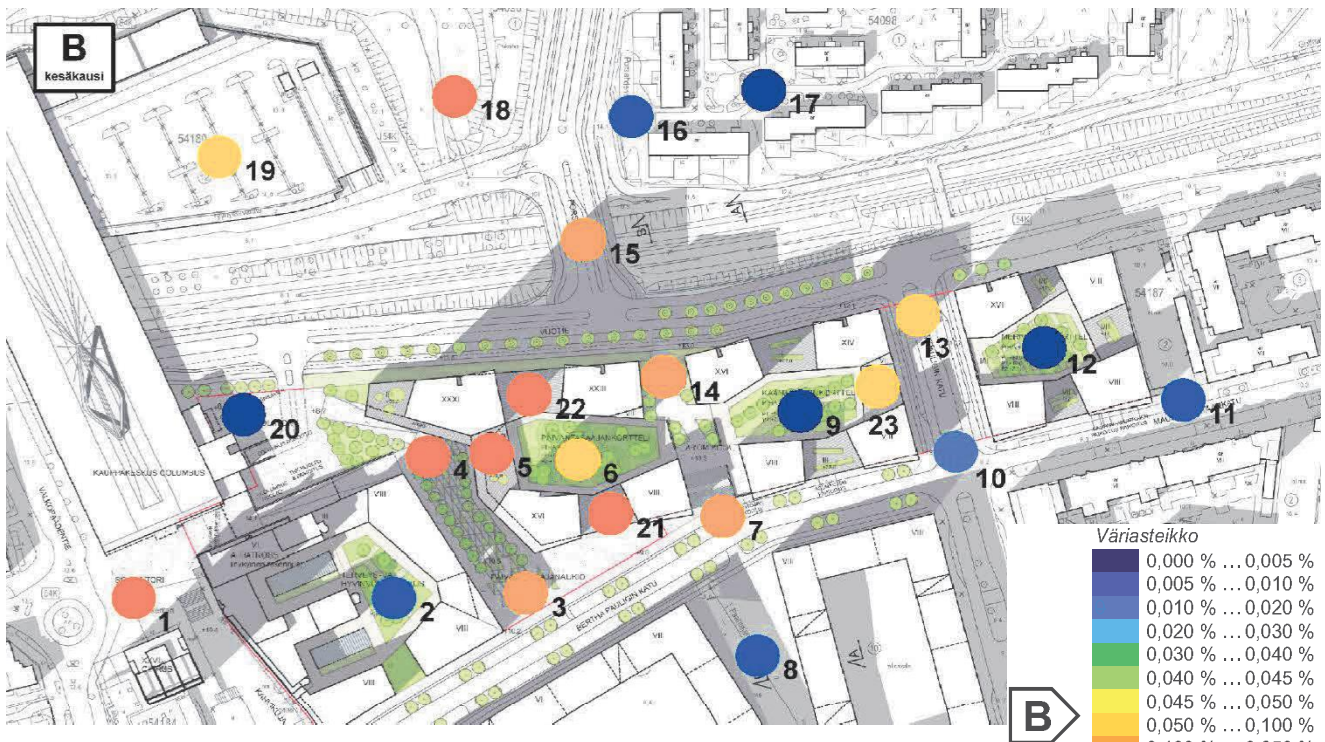
Kuva 13: Tunnin keskituulien esiintyminen tarkastelupisteissä (M-kriteeri).



Puuskatuuli > 10 m/s

Piste	Koko vuosi				A Kesäkausi			
	% ajasta	h/vuosi	h/kk	h/vk	% ajasta*	h	h/kk	h/vk
1	6,8 %	598	49,8	11,5	2,50 %	109,6	18,3	4,2
2	0,4 %	33	2,7	0,6	0,08 %	3,4	0,6	0,1
3	3,4 %	293	24,5	5,6	1,10 %	48,2	8,0	1,9
4	5,4 %	472	39,3	9,1	2,14 %	93,9	15,7	3,6
5	8,2 %	716	59,6	13,8	3,21 %	140,5	23,4	5,4
6	2,0 %	175	14,6	3,4	0,60 %	26,1	4,3	1,0
7	3,7 %	322	26,8	6,2	1,10 %	48,3	8,1	1,9
8	0,9 %	82	6,9	1,6	0,18 %	8,0	1,3	0,3
9	1,3 %	116	9,7	2,2	0,19 %	8,2	1,4	0,3
10	2,1 %	180	15,0	3,5	0,43 %	18,8	3,1	0,7
11	0,9 %	75	6,3	1,4	0,17 %	7,4	1,2	0,3
12	0,7 %	63	5,3	1,2	0,08 %	3,5	0,6	0,1
13	3,2 %	279	23,2	5,4	1,26 %	55,1	9,2	2,1
14	5,3 %	461	38,4	8,9	1,54 %	67,3	11,2	2,6
15	6,8 %	595	49,6	11,5	2,50 %	109,5	18,3	4,2
16	1,0 %	92	7,6	1,8	0,16 %	6,8	1,1	0,3
17	0,5 %	40	3,3	0,8	0,05 %	2,2	0,4	0,1
18	5,1 %	450	37,5	8,7	1,87 %	81,9	13,6	3,1
19	3,9 %	340	28,3	6,5	1,03 %	45,0	7,5	1,7
20	1,7 %	147	12,3	2,8	0,24 %	10,3	1,7	0,4
21	9,3 %	814	67,9	15,7	4,42 %	193,8	32,3	7,5
22	9,0 %	790	65,8	15,2	3,68 %	161,2	26,9	6,2
23	4,4 %	388	32,3	7,5	1,18 %	51,7	8,6	2,0
a	6,7 %	584	48,7	11,2	2,49 %	108,9	18,2	4,2
b	2,3 %	203	16,9	3,9	0,41 %	18,0	3,0	0,7
c	8,9 %	776	64,7	14,9	3,30 %	144,4	24,1	5,6
d	0,1 %	11	0,9	0,2	0,02 %	1,1	0,2	0,0
e	0,6 %	49	4,1	0,9	0,08 %	3,7	0,6	0,1
f	0,1 %	9	0,7	0,2	0,00 %	0,1	0,0	0,0
g	0,2 %	20	1,7	0,4	0,04 %	1,6	0,3	0,1

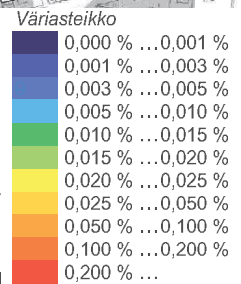
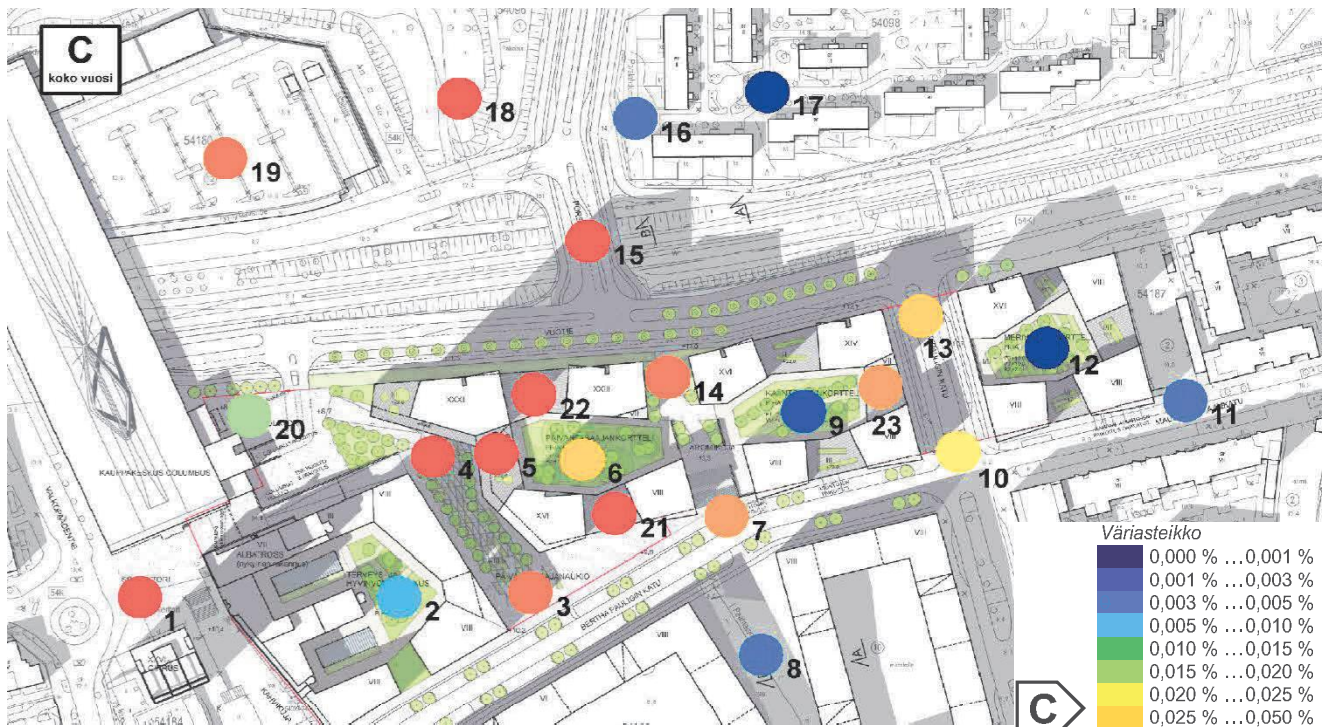
Kuva 14: Puuskatuulien > 10 m/s esiintyminen tarkastelupisteissä (A-kriteeri).



Puuskatuuli > 13 m/s

Piste	Koko vuosi				B Kesäkausi			
	% ajasta	h/vuosi	h/kk	h/vk	% ajasta*	h	h/kk	h/vk
1	2,0 %	173	14,4	3,3	0,30 %	13,1	2,2	0,5
2	0,0 %	4	0,3	0,1	0,01 %	0,2	0,0	0,0
3	0,7 %	60	5,0	1,2	0,20 %	8,8	1,5	0,3
4	1,6 %	141	11,7	2,7	0,41 %	18,0	3,0	0,7
5	2,4 %	210	17,5	4,0	0,44 %	19,3	3,2	0,7
6	0,3 %	28	2,3	0,5	0,07 %	3,3	0,5	0,1
7	0,7 %	60	5,0	1,2	0,15 %	6,6	1,1	0,3
8	0,1 %	6	0,5	0,1	0,01 %	0,3	0,0	0,0
9	0,1 %	8	0,6	0,1	0,00 %	0,2	0,0	0,0
10	0,2 %	21	1,7	0,4	0,02 %	0,7	0,1	0,0
11	0,1 %	6	0,5	0,1	0,01 %	0,3	0,0	0,0
12	0,0 %	3	0,3	0,1	0,00 %	0,1	0,0	0,0
13	0,4 %	34	2,8	0,6	0,07 %	3,1	0,5	0,1
14	1,0 %	84	7,0	1,6	0,16 %	6,9	1,1	0,3
15	1,7 %	149	12,4	2,9	0,24 %	10,6	1,8	0,4
16	0,1 %	8	0,7	0,2	0,01 %	0,2	0,0	0,0
17	0,0 %	1	0,1	0,0	0,00 %	0,0	0,0	0,0
18	1,6 %	137	11,4	2,6	0,42 %	18,2	3,0	0,7
19	0,7 %	64	5,4	1,2	0,08 %	3,3	0,6	0,1
20	0,2 %	18	1,5	0,4	0,00 %	0,2	0,0	0,0
21	3,3 %	290	24,2	5,6	0,96 %	42,2	7,0	1,6
22	2,7 %	234	19,5	4,5	0,46 %	20,4	3,4	0,8
23	0,7 %	59	4,9	1,1	0,07 %	3,0	0,5	0,1
a	2,0 %	172	14,4	3,3	0,30 %	13,1	2,2	0,5
b	0,4 %	33	2,8	0,6	0,01 %	0,5	0,1	0,0
c	2,4 %	210	17,5	4,0	0,45 %	19,6	3,3	0,8
d	0,0 %	1	0,1	0,0	0,00 %	0,0	0,0	0,0
e	0,0 %	3	0,2	0,1	0,00 %	0,1	0,0	0,0
f	0,0 %	0	0,0	0,0	0,00 %	0,0	0,0	0,0
g	0,0 %	1	0,1	0,0	0,00 %	0,0	0,0	0,0

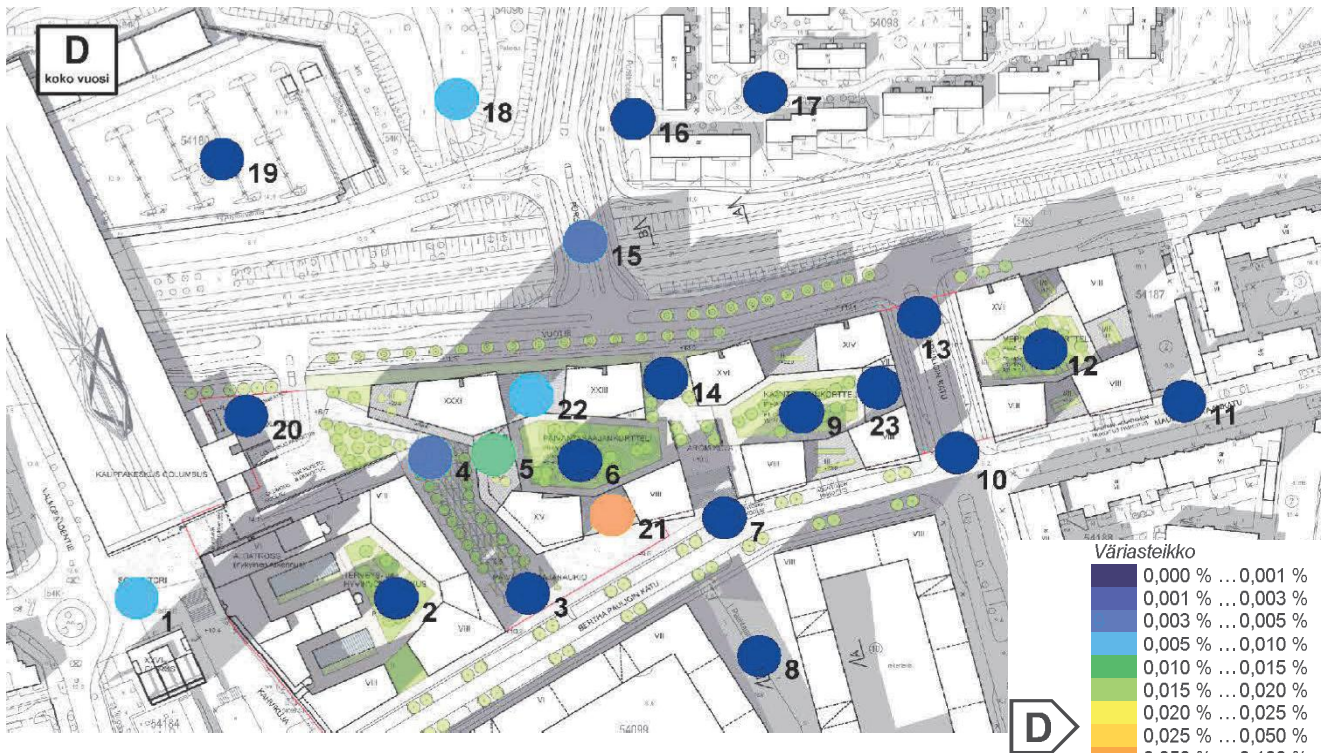
Kuva 15: Puuskatuulien > 13 m/s esiintymisen tarkastelupisteissä ("B-kriteeri").



Puuskatuuli > 16 m/s

Piste	C Koko vuosi					Kesäkausi			
	% ajasta	h/vuosi	h/kk	h/vk	% ajasta*	h	h/kk	h/vk	
1	0,477 %	41,8	3,5	0,8	0,018 %	0,8	0,13	0,03	
2	0,006 %	0,5	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,00	0,00	
3	0,107 %	9,3	0,8	0,2	0,035 %	1,5	0,25	0,06	
4	0,368 %	32,2	2,7	0,6	0,055 %	2,4	0,40	0,09	
5	0,584 %	51,1	4,3	1,0	0,036 %	1,6	0,26	0,06	
6	0,032 %	2,8	0,2	0,1	0,008 %	0,3	0,06	0,01	
7	0,094 %	8,2	0,7	0,2	0,017 %	0,7	0,12	0,03	
8	0,005 %	0,4	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,00	0,00	
9	0,003 %	0,2	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,00	0,00	
10	0,022 %	1,9	0,2	0,0	0,000 %	0,0	0,00	0,00	
11	0,005 %	0,4	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,00	0,00	
12	0,001 %	0,1	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,00	0,00	
13	0,049 %	4,3	0,4	0,1	0,002 %	0,1	0,01	0,00	
14	0,116 %	10,2	0,8	0,2	0,017 %	0,7	0,12	0,03	
15	0,378 %	33,1	2,8	0,6	0,012 %	0,5	0,09	0,02	
16	0,005 %	0,4	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,00	0,00	
17	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,00	0,00	
18	0,418 %	36,6	3,1	0,7	0,082 %	3,6	0,60	0,14	
19	0,101 %	8,9	0,7	0,2	0,003 %	0,1	0,02	0,01	
20	0,018 %	1,6	0,1	0,0	0,000 %	0,0	0,00	0,00	
21	1,140 %	99,9	8,3	1,9	0,149 %	6,5	1,09	0,25	
22	0,638 %	55,9	4,7	1,1	0,032 %	1,4	0,24	0,05	
23	0,061 %	5,3	0,4	0,1	0,002 %	0,1	0,02	0,00	
a	0,477 %	41,8	3,5	0,8	0,018 %	0,8	0,13	0,03	
b	0,037 %	3,2	0,3	0,1	0,000 %	0,0	0,00	0,00	
c	0,519 %	45,5	3,8	0,9	0,043 %	1,9	0,32	0,07	
d	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,00	0,00	
e	0,001 %	0,1	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,00	0,00	
f	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,00	0,00	
g	0,001 %	0,1	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,00	0,00	

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



Puuskatuuli > 23 m/s

Piste	D Koko vuosi				Kesäkausi			
	% ajasta	h/vuosi	h/kk	h/vk	% ajasta*	h	h/kk	h/vk
1	0,005 %	0,5	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
2	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
3	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
4	0,004 %	0,3	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
5	0,011 %	1,0	0,1	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
6	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
7	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
8	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
9	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
10	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
11	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
12	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
13	0,001 %	0,1	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
14	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
15	0,003 %	0,3	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
16	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
17	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
18	0,005 %	0,5	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
19	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
20	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
21	0,058 %	5,1	0,4	0,1	0,000 %	0,0	0,0	0,0
22	0,006 %	0,5	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
23	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
a	0,005 %	0,5	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
b	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
c	0,007 %	0,6	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
d	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
e	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
f	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
g	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0

Kuva 17: Puuskatuulien > 23 m/s esiintyminen tarkastelupisteissä (D-kriteeri).

5 Johtopäätökset ja suunnitteluohjeita

5.1 Nykytilan tuulisuus

- Vuosaaren nykytilan tuulisuutta ja korkean rakentamisen tuulisuusuuslisää voidaan arvioida paitsi tämän raportin laskentatulosten avulla myös katselmuksen avulla. Tällainen katselmuks on suoritettu osana tätä raporttia, ja sen tulokset on esitetty liitteessä 6
- kohdealueen perustuulisuus on 7...8 m/s keskituulissa (15 m korkeudella) koko vuoden tarkastelussa noin kaksi prosenttiyksikköä suurempi kuin Jätkäsaarella, ja yhden prosenttiyksikön suurempi kuin Hernesaarella tai Kalastamassa. Kuvan 12 mukaisesti katutasossa avoimessa maastossa tunnin keskituuli > 5 m/s noin 6 % ajasta koko vuoden tarkastelussa. Vertaamalla tätä kuvan 13 tuloksiin nähdään, että rakennukset pääasiassa antavat tuulensuojaa keskituulien vaikutukselle
- tulosten mukaan Vuosaari on pääkaupunkiseudun mittapuussa tuulinen kaupunginosa, jossa tuulisuus vaihtelee voimakkaasti pisteestä toiseen. Tuulisuuteen vaikuttaa erityisesti etäisyys rannasta sekä aukean tilan pituus tuulen puolella. Vuosaaren keskiosista löytyy rakennusten ympäröimiä ja puita sisältäviä pihvoja, joissa tuulisuus on vähäistä
- Cirruksen viereinen aukio ”tiedetään tuuliseksi” ja myös tämän raportin tulokset tukevat tätä. Nykytilassa Cirrus on tuulisuuden kannalta selvästi ympäristöään korkeampi rakennus kaikista tuulensuunnista, mikä lisää tuulisuutta sen vierustassa. Aukion tuulisuuteen vaikuttaa myös kauppakeskuksen pitkä ja matala rakennus sekä aukion koko yleisesti
- matalampien rakennusten suojassa vaikuttaa tavanomainen pääkaupunkiseudun rantakaupunginosan tuulisuus (”A-kriteeri ei täyty, mutta B täyttyy”)
- kävelyä vaikeaksi tekeviä puuskatuulia (> 16 m/s) voi esiintyä talvikaudella tuulisimmissa kohdissa, n. 40 h vuodessa. Ne kertyvät lähes kokonaan sektoreista 202,5° ja 225°. Tulos on samaa suuruusluokkaa Kalasataman keskuksen vierustan kanssa. Kalasatama ei aukea yhtä tuuliseen suuntaan, mutta sen tornit ohjaavat virtauksia ryhmänä ohitse. Jätkäsaarella ja Hernesaarella vastaava luku on n. 20 h/v [1]. Keski-Pasilan tornitalokaavassa [2] vastaavasti 10 h/v (Pasilan sillalla 20 h/v)
- Cirrus tuo rantaviivan tuulisuuden vierustaansa mutta ”ei enempää”. Vaarallisen kovia puuskatuulia (> 23 m/s) ei esiinny useammin kuin kerran vuodessa
- kaavamielessä tuulisuuden suhteen ei olisi moitittavaa turvallisuuden suhteen ja tarkempia tutkimuksia ei olisi tarve suositella ”jos Vuosaari kaavoitettaisiin nyt sellaisena kun se on”. Luonnollisesti Cirruksen vierustalle esitettäisiin tuulisuutta korjaavia suunnitteluratkaisuja viihtyisyyden parantamiseksi.

5.2 Viitesuunnitelma

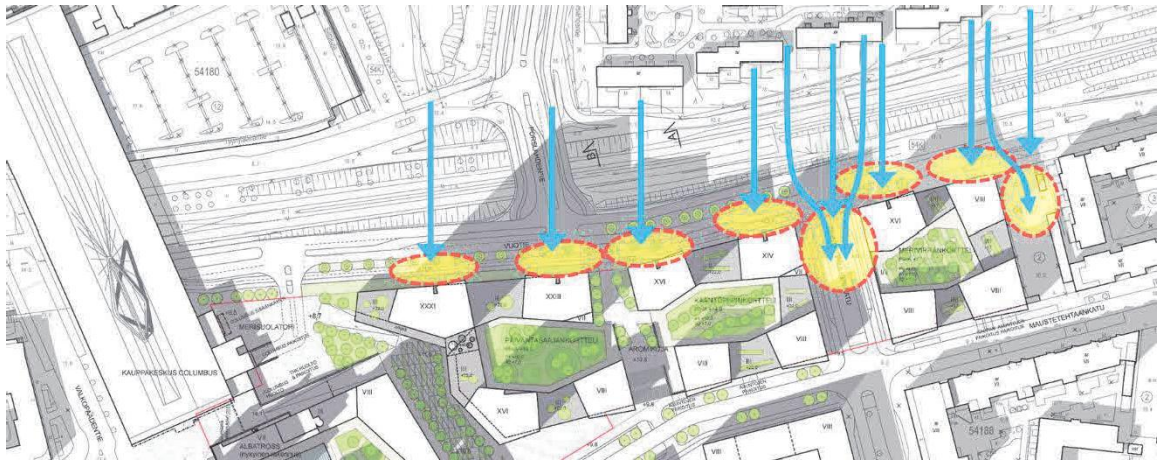
- Viitesuunnitelman korkea rakentaminen lisää tuulisuutta korkeimman tornin juuressa odotetusti. Lisä ei kuitenkaan ole sen suurempi kuin nykytilassa Cirruksen juuressa. Erityisesti tuulen keskinopeuteen liittyvä lisä on Cirruksessa olettavasti suurempi, koska siinä vaikutus tulee pääasiassa kulman kautta kiertävästä virtauksesta (tuulensuunnan sektori 202,5°), kun viitesuunnitelman tornissa se on seurausta julkisivua alaspäin kulkevasta virtauksesta tuulensuunnan sektorissa 202,5°

-
- korkeimman tornin pohjan leveämpi sivumitta on noin 35 m, ja tornien tuulisuutta lisäävä vaikutus ulottuu suurimmillaan n. 140 m päähän torneista. Vaikutus tarkoittaa käytännössä tuulen puuskaisuuden kasvua katutasossa, tilanteissa jossa torni ohjaa virtauksia tarkastelupisteeseen. Ne riippuvat siten voimakkaasti tuulen suunnasta. Suurimmat vaikutukset tulevat tornin tuulen puoleisten kulmien kohdalle ja tuulenpuoleisen julkisivun eteen
 - Tornit on sijoitettu ja rakennukset massoiteltu siten, että tuulisuuden mahdollinen kasvu viereisillä tonteilla jää vaikutuksiltaan vähäiseksi. Suunnitellut rakennusmassat toimivat vierustan tonttien ja katujen kannalta kokonaisuutena pääasiassa tuulensuojana. Tuulisuus voi kasvaa tietyissä pisteissä tieytyillä tuulensuunnilla, johon tornit voivat ohjata virtauksia. Näitä on esitetty kuvassa 18
 - vaarallisen kovia puuskatuulia (> 23 m/s) ei esiinny viitesuunnitelmassa luonnollisen maanpinnan tasossa, mutta kattopihoilla tornien välissä niitä voi esiintyä. Tulos on sama kuin Kalasataman keskuksessa [2] sillä erolla, että Kalasatamassa puistokansi on ympärivuotisessa yleisessä käytössä
 - tulokset ovat kovimpien puuskatuulien suhteen herkkiä, ja tarkat tuulisuuden lukuarvot on määritettävissä ainoastaan tuulitunnelikokeen avulla. Tuulitunnelikokeita tai kaavamääräyksiä ei ole kuitenkaan tarve suositella, johtuen vaarallisten kovien tuulien (> 23 m/s) vähyydestä ja siitä, että niiden tulokset ovat ennakoitavissa jo tehtyjen korkeiden rakentamisen kohteiden (Keski-Pasila, Kalasatama) tuloksista tai Cirruksen tornia katselmoimalla
 - tärkeä tuulisuustekijä myöhempiä suunnitteluvaiheita ja suunnitelmamuutoksia varten on varmistaa, että julkisten alueiden osalta vaarallisen kovia tuulenpuuskia ei esiinny katutasossa liian usein. Nämä puuskatuulennopeudet voidaan suositella tarkastettavaksi vuotuisen tuulennopeuden maksimin perusteella. Vuotuinen maksimituulennopeus tarkoittaa Helsingin osalta noin 21...23 m/s keskituulta 10 m korkeudessa avomerellä. Näissä olosuhteissa tuulen puuskanopeus ei tulisi katutasossa nousta vaarallisen kovaksi (> 23 m/s. eli D-kriteeri, konsultin luokituksessa) tuulen suunnasta riippumatta
 - korkean rakentamisen johdosta voidaan suositella, että lopulliselle suunnitelmalle laaditaan tuulisuusselvitys, tai osoitetaan tämän selvityksen ajantasaisuus, rakennusluvan hakemisen yhteydessä
 - tuulisuuden vaikutuksia on tarkoituksenmukaista lieventää tavanomaisilla korkean rakentamisen suunnitteluratkaisuilla, joita on esitetty esimerkiksi lähteissä [4,5,6]. Näitä on myös otettu huomioon tarkastellussa viitesuunnitelmassa. Tärkeimpinä tekijöinä voidaan pitää matalampien rakennusosien käyttöä estämään torneista ohjautuvien virtausten kulku suoraan katutasoon ja runsasta puuston käyttöä. Joitain suunnitteluohjeita ja huomiota on esitetty kuvissa 19...22.

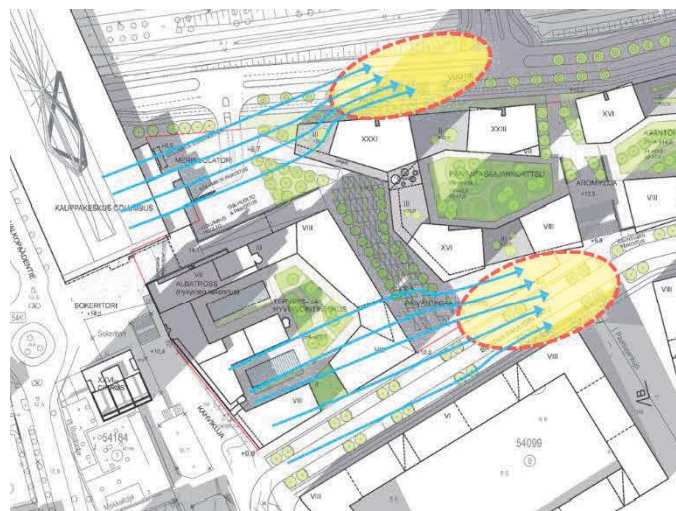
a)



b)

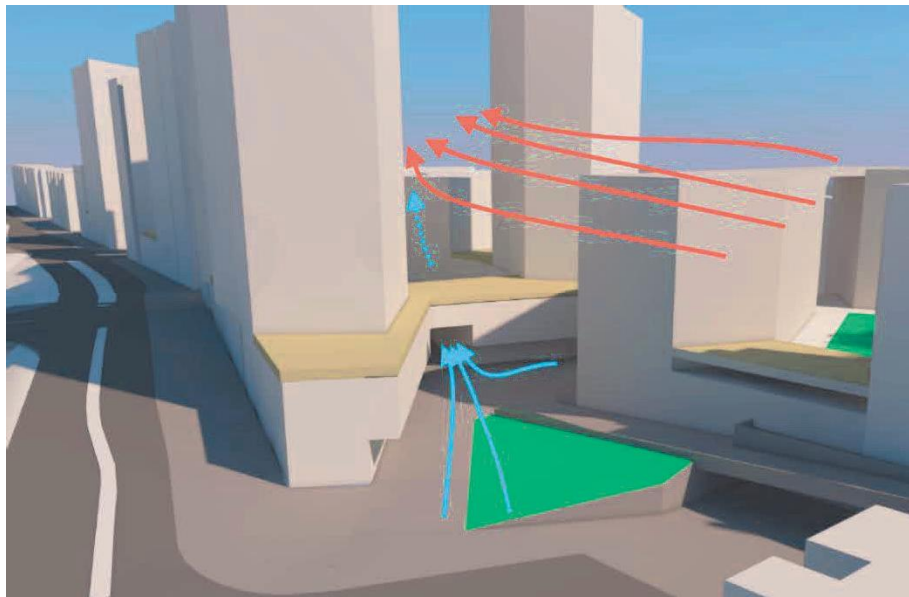


c)

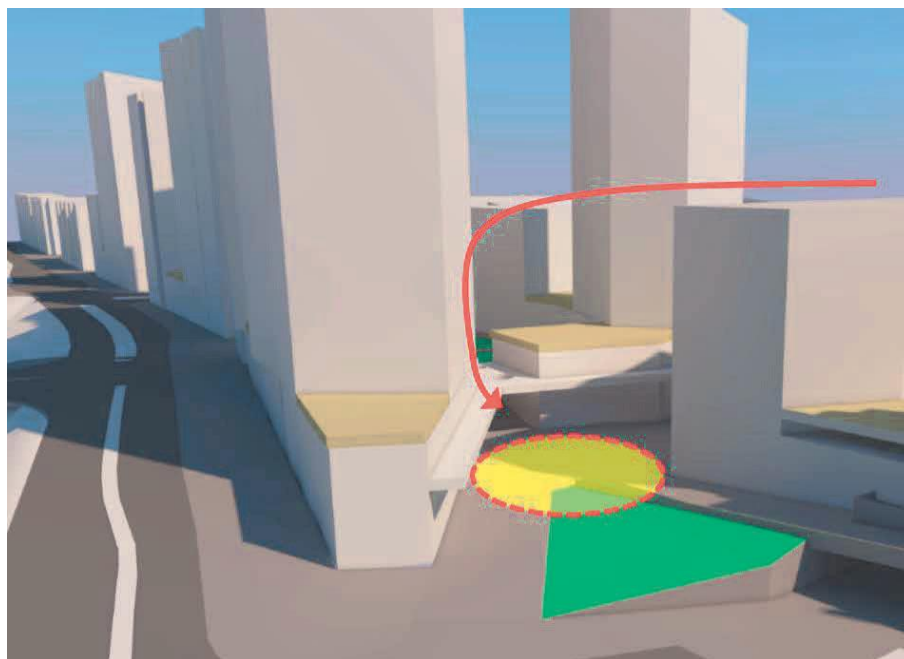


Kuva 18: Ympäristön tonttien ja katujen kannalta mahdollisia pisteitä ja tuulensuuntia, jossa tuulisuus kasvaa viitesuunnitelman johdosta: a) kauppakeskuksen sisäänkäynti koillistuulella; b) pohjoisen puoleinen katualue pohjoistuulella; ja c) katualueet tuulen puolella lounaan ja lännen välisessä tuulella. Kuvat on muokattu Arkkitehtuuritoimisto B & M Oy aineistoon.

a)

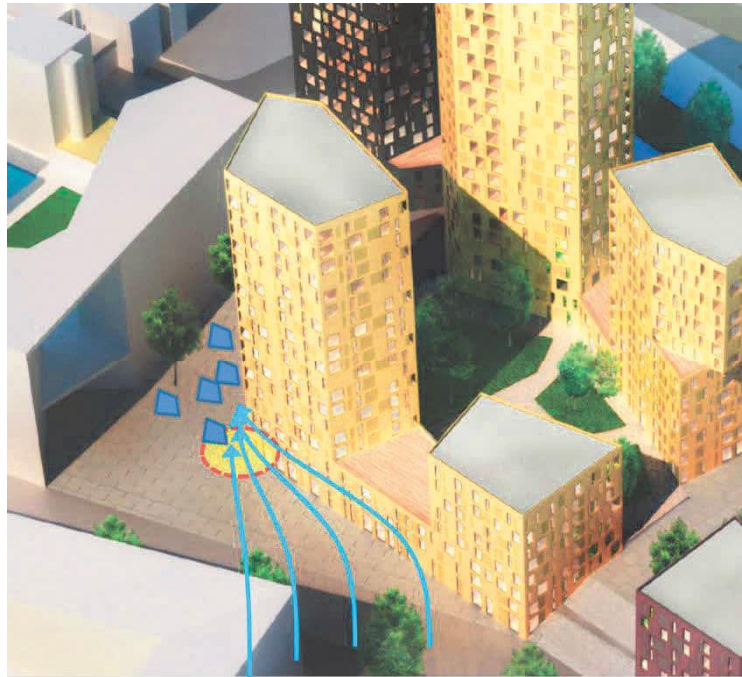


b)



Kuva 19: Kohteen korkean rakentamiseen liittyvät kaksi keskeistä vaikutusta: a) katutasoa pitkin kulkevaa virtausta voitaisiin heikentää virtaukseen kitkaa tuottavilla puilla, pensailta ja rakenteilla; b) julkisivua alaspäin kulkevaa virtausta lounaistulessa voitaisiin estää tuulensuojalipalla tai sisäänvedolla. Varsinainen tuulensuojalippa on suurehko rakenne, jonka suositeltava leveys on 4...6 m [6]. Kuvat on muokattu Arkkitehtuuritoimisto B & M Oy ai-neistoon.

a)



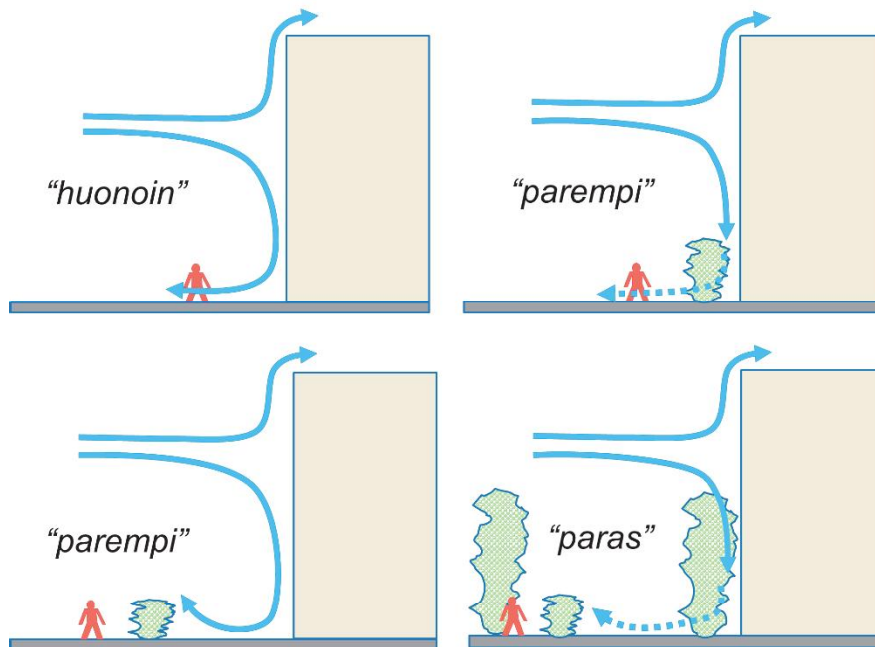
b)



Kuva 20: a) Kohteen aukion tuulisuusolosuhteita voidaan parantaa mahdollisuuksien mukaan puilla, pensilla ja katutason virtaukseen kitkaa tuottavilla rakenteilla. Tornin maahan ulottuva kulma on tuulisuuden suhteen yleensä ongelmallinen, ja siinä liikkumista voitaisiin ohjata muualle. b) Tornien väliin ei ole suositeltavaa sijoittaa erityistä viihtyisyyttä edellyttäviä toimintoja. Kuvat on muokattu Arkkitehtuuritoimisto B & M Oy aineistoon.



Kuva 21: Kattopihat on hyvä suojata aidoilla (korkeus n. 2 m tai korkeampi) ja pensailla. Kattopihojen sulkemiseen talvikauden kovien myrskyjen yhteydessä tulisi varautua. Kuva on muokattu Arkkitehtuuritoimisto B & M Oy aineistoon.



Kuva 22: Julkisivua alaspäin kulkevan virtauksen vaikutus pihojen yhteydessä, ja sen torjuntakeinoja pihan oleskelupisteiden viihtyisyyden parantamiseksi.

Lähdeluettelo

1. Helsingin kaupunki, kaupunkisuunnitteluvirasto: Jätkäsaaren ja Hernesaaren asemakaavoitus, Tuulisuuden laskenta- ja luokitusohje. WSP Finland Oy, 18.10.2013, 78 s.
2. Helsingin kaupunki, kaupunkisuunnitteluvirasto: Kalasataman keskuksen suunnittelu, tuulisuuskartoitus. WSP Finland Oy, 2011, s. 51.
3. Helsingin kaupunki, kaupunkisuunnitteluvirasto: Keski-Pasilan asemakaavoitus, Tuulisuuskartoitus, WSP Finland Oy, 19.12.2010, s. 53.
4. City of Toronto. Tall Building Design Guidelines – Adopted by Toronto City Council May 2013, p 86, online: <http://toronto.ca>
5. Wellington City Council, District Plan. Design guideline for winds (non-statutory), p 20. Online: <http://wellington.govt.nz>
6. Jessica Bennet, Wind Design Guide http://www.victoria.ac.nz/architecture/centres/cbpr/publications/architectural-aerodynamics/pdfs/BBSC_433_Jessica-Bennett_Wind-Design-Guide.pdf

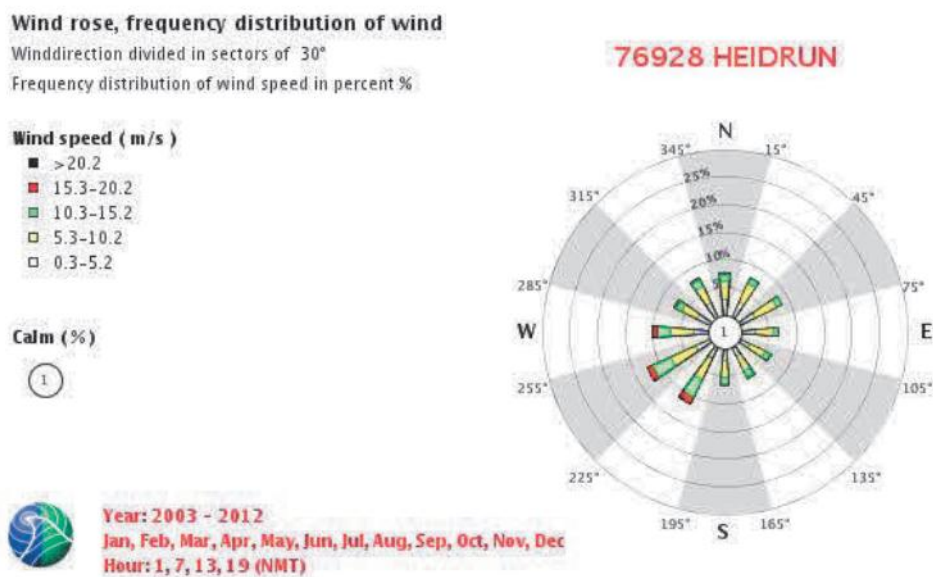
Liite 1: Tuulisuuden määrittämisen yleisperiaate

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

Perustuulisuus saadaan määritettyä meteorologisten tuulitilastojen avulla ottaen huomioon maaston karheusluokan erot tuulitilaston mittauspisteen ja kohdealueen sijainnin välillä. Kyseiset tuulitilastot mitataan avoimessa maastossa n. 10 m korkeudella maapinnasta. Tuulen keskinopeus 10 m korkeudessa on avoimessa tasaisessa maastossa likimain 1,5-kertainen katutasen keskinopeuteen nähden.

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



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

Tuuliruusu esittää eri tuulenopeuksien esiintymisen rajallisella määrällä tuulenopeusalueita. Kuvasta L1.1 ei voida esimerkiksi tarkasti päätellä aikaa, jossa tuulen keskinopeus ylittäisi 21 m/s. Tuu-

lisuuden laskennallista määrittämistä varten jatkuva esitysmuoto on käytännöllisempi; ja useasti käytetty otaksuma on, että tuulen keskinopeuksien esiintyminen kullakin tarkasteltavalla tuulen suunnalla ja tarkastelujaksolla noudattaa Weibull-todennäköisyystiheysjakaumaa

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

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 käyränsovituksella tuuliruusun arvoihin tai tuulitietoja toimittava organisaatio voi niitä myös määrittää valmiiksi. Käyränsovituksesta aiheutuva virhe on käytännössä pieni tavanomaisella tuulennopeusalueella, jolla tuulitilasto sisältää mittaustuloksia; toisin sanoen Weibull-jakauma sopii hyvin sääasemien mitattujen keskituulinen kuvaamiseen.

Uutta rakennuskantaa suunniteltaessa paikallisten tekijöiden tarkka huomioon ottaminen edellyttää käytännössä tuulitunnelikokeiden suorittamista kohdealueen pienoismallia apuna käyttäen. Tuulisuus määritetään tietyissä suunnitelman kannalta mielenkiintoisissa pisteissä. Tällaisesta yksityiskohtaisesta tarkastelusta käytetään nimeä tuulisuuskartoitus.

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.

Kaupungeissa, joissa tuulisuudella on erityistä merkitystä, kriteerejä voidaan esittää myös 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 selvitettävä sekä nykytilan tuulisuus, että tuulisuus uuden rakennuksen vaikutuksessa.

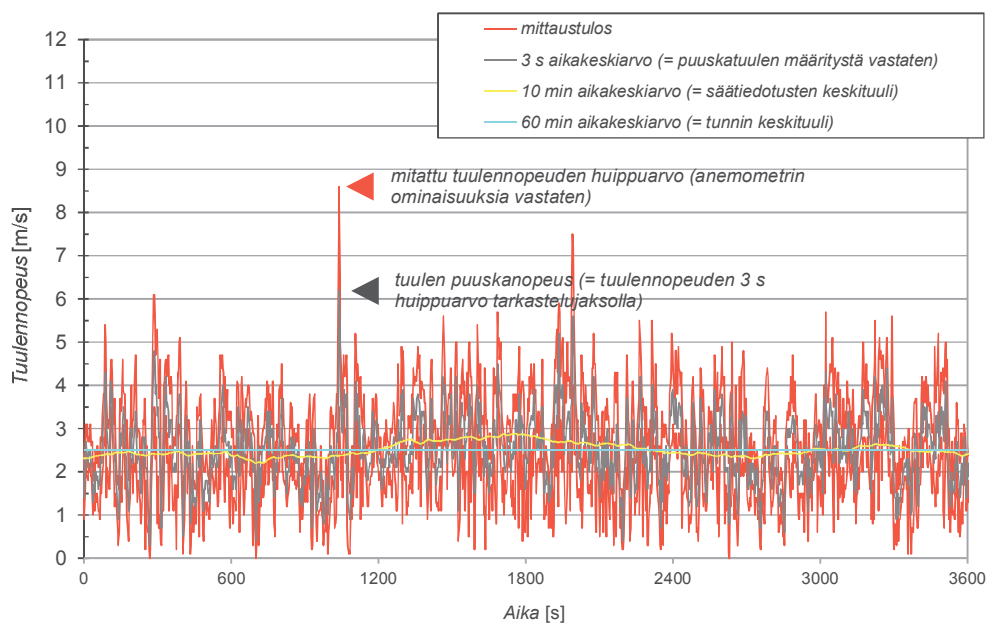
Tuulisuuskriteereitä voidaan esittää tuulen keskinopeudelle ja tuulen puuskanopeudelle, tai näiden välimaastoon sijoittuville laskennallisille tuulennopeusarvoille. Eri tuulennopeuksien yhteyksiä on havainnollistettu kuvassa L1.1. Kuvan L1.1 mukaisesti luonnon tuuli on aina turbulenttista, ja hetkellinen tuulennopeus heilahtelee voimakkaasti keskiarvon (tuulen keskinopeuden) molemmin puolin. Tuulisuuskriteerissä 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 L1.1 tapauksessa $I_v = 0,41$, ja määritettyä 3 s puuskanopeuden huippuarvoa vastaa huippuarvokerroin $g = 3,6$. Vastaavasti suorien mittaustulosten huippuarvo vastaa noin 0,1 s puuskanopeutta, ja sitä vastaa tuloksissa huippuarvokerroin $g = 5,8$.



Kuva L1.1: 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).

Kun alueen tuulisuus on kartoitettu, viimekädessä jokainen henkilö voi tehdä oman tulkintansa asian merkittävyydestä. Esimerkiksi katukahvilan pitäjä voi arvioida montako myyntipäivää hän menettää epäedullisten tuuliolojen johdosta. Taulukossa L1.1 on esitetty kuvaus puuskatuulen vaikutuksista.

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, kiinnipitäminen on välttämätöntä
> 28	hyvin epätodennäköisesti koskaan koettavissa

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.

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.

Alhaisilla tuulenopeuksilla tuulisuus on viihtyvyysskysymys, mutta kovimmissa puuskatuulissa siihen liittyy myös turvallisuustekijä. Kaavoituksessa ja rakennustarkastuksessa voidaan edellyttää ongelmallisimpien pisteiden 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 jalankulutasojen 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 hyväksymisloukkia ovat esim.:

- epäviihtyisiä
- vaarallinen, ei hyväksyttävä. Tuulisuudeltaan ongelmallinen piste tulisi korjata jatkosuunnitelussa.

Raja-arvot perustuvat W. H. Melbournen 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: $v_g > 10 \text{ m/s}$; $P_A \geq 0,05 \% *$ (epäviihtyisiä)
- B: $v_g > 13 \text{ m/s}$; $P_B \geq 0,05 \% *$ (epäviihtyisiä)
- C: $v_g > 16 \text{ m/s}$; $P_C \geq 0,025 \%$ (epäviihtyisiä)
- 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 L1.1); joitain sekunteja 10 min tarkastelujaksolla.

Jos tarkastelu rajoitetaan vain tiettyyn osaan vuorokautta, kuten alkuperäisessä Melbournen 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 epäviihtyisiä (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.

Melbournen 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 Lawsonin-kriteeristö perustuu myös tuulen keskinopeuden (Boforien) raja-arvojen esiintymiseen, mutta se ottaa myös huomioon tuulen puuskien vaikutuksen. Puuskien vaikutus saadaan laskemalla 3 s puuskanopeuden perusteella ekvivalentti keskinopeus (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 tulisi tulkitä siten, että se soveltuu tyypilliseen tanskalaiseen rakennuskantaan, maastoon ja ilmastoon.

Liite 2: Tuulitunnelikokeet ja 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 enenevässä 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 määrittämysaika. 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

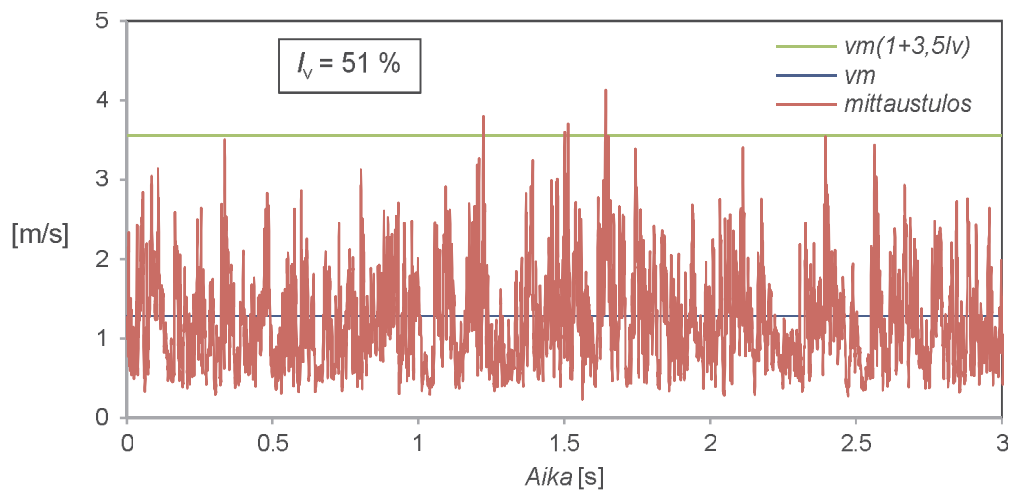
$$v_g = v_m(1 + gI_v)$$

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 katutason tuulien selvitys. Supertietokone-laskenta, avoimien vir-

tauslaskentaohjelmien 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.

Numeerisen virtauslaskennan ja tuulitunnelikoetulosten tulosten tulkinnan tärkeä ero on käytännössä se, että virtausnopeuden hetkelliset huippuarvot (tuulen puuskien / turbulenssin vaikutus) tulevat aliarvioituksi numeerisessa laskennassa. Tämän virheen merkitys on 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 ns. maaston karheusluokan muutosanalyysiä ja sitä varten laadittujen laskentamallien käyttöä. Tavanomaisesti tuulen suunnat käydään läpi 22,5°...45° välein.

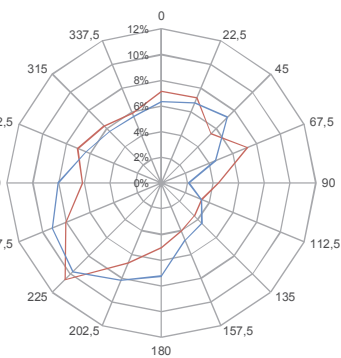
Rajakerros-tuulitunnelit ovat suurikokoisia. Tuulitunnelikokeita tekevät rutiininomaisesti kymmenkunta tuulitunnelilaboratoriota mm. Kanadassa, USA:ssa, Isossa-Britanniassa, Australiassa, Tanskassa, Ranskassa, Japanissa ja Kiinassa. Suomessa kokeita on suoritettu Espoon Otaniemessä sijaitsevassa rajakerrostuulitunnelissa.

Liite 4: Kohdealueen perustuulisuus

Laskennallinen tulos 1 h keskituulien esiintyminen 15 m korkeudessa kohdealueessa on esitetty oheisessa kuvassa. Kesäkausi = huhtikuu... syyskuu; talvikausi lokakuu... maaliskuu.

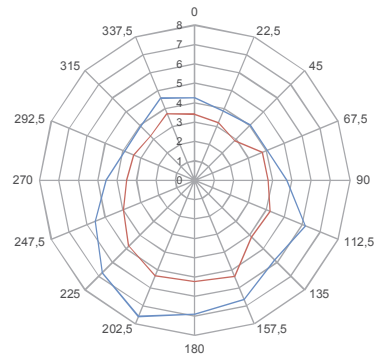
Kesäkausi (yllättävien tuulien osuus ajasta)																	
$V_{m,ref}$ [m/s]	Tuulen suuntakulma															Kaikki kulmat	
	0	22,5	45	67,5	90	112,5	135	157,5	180	202,5	225	247,5	270	292,5	315		337,5
20	3,9E-27	4,3E-41	1,9E-36	2,3E-26	2,6E-13	4,9E-09	4,2E-19	1,1E-08	1,6E-11	6,1E-12	5,1E-17	6,0E-23	4,1E-21	7,2E-29	2,4E-29	1,0E-26	1,6E-08
17	2,9E-19	3,7E-28	7,8E-26	2,1E-18	3,0E-10	2,5E-07	8,8E-14	8,3E-07	1,5E-08	1,0E-08	6,6E-12	4,2E-16	2,1E-15	2,3E-20	7,0E-21	1,0E-18	1,1E-06
14	5,2E-13	3,6E-18	2,4E-17	3,2E-12	1,1E-07	7,6E-06	1,4E-09	2,9E-05	3,3E-06	3,4E-06	5,5E-08	9,0E-11	8,9E-11	1,2E-13	4,0E-14	1,8E-12	4,4E-05
12	1,1E-09	5,0E-13	8,2E-13	5,3E-09	3,2E-06	5,6E-05	2,4E-07	2,1E-04	5,8E-05	7,0E-05	5,6E-06	5,4E-08	2,9E-08	4,4E-10	1,6E-10	3,3E-09	4,0E-04
10	5,2E-07	5,4E-09	3,8E-09	1,8E-06	5,6E-05	3,3E-04	1,5E-05	1,1E-03	5,9E-04	7,9E-04	2,1E-04	8,4E-06	3,4E-06	3,1E-07	1,3E-07	1,2E-06	3,1E-03
8	5,9E-05	5,5E-06	2,6E-06	1,5E-04	5,9E-04	1,5E-03	3,5E-04	4,1E-03	3,5E-03	4,9E-03	3,0E-03	3,8E-04	1,5E-04	4,6E-05	2,4E-05	1,1E-04	1,9E-02
7	3,9E-04	7,8E-05	3,5E-05	8,3E-04	1,6E-03	2,9E-03	1,2E-03	7,1E-03	7,1E-03	1,0E-02	8,2E-03	1,7E-03	6,7E-04	3,3E-04	1,9E-04	6,1E-04	4,3E-02
6	1,8E-03	6,8E-04	3,1E-04	3,3E-03	3,8E-03	5,1E-03	3,3E-03	1,1E-02	1,3E-02	1,8E-02	1,9E-02	5,5E-03	2,4E-03	1,7E-03	1,0E-03	2,5E-03	9,2E-02
5	0,0064	0,0036	0,0018	0,0099	0,0079	0,0086	0,0076	0,0170	0,0203	0,0286	0,0352	0,0143	0,0070	0,0061	0,0042	0,0077	0,186
4	0,0168	0,0128	0,0069	0,0227	0,0146	0,0134	0,0142	0,0233	0,0291	0,0406	0,0564	0,0294	0,0161	0,0164	0,0123	0,0179	0,343
3	0,0338	0,0308	0,0186	0,0406	0,0235	0,0194	0,0224	0,0298	0,0378	0,0521	0,0780	0,0487	0,0301	0,0335	0,0270	0,0324	0,558
2	0,053	0,053	0,035	0,058	0,033	0,026	0,030	0,035	0,045	0,061	0,095	0,067	0,046	0,053	0,045	0,047	0,781
1	0,067	0,068	0,050	0,070	0,041	0,031	0,035	0,039	0,049	0,066	0,104	0,078	0,058	0,067	0,059	0,056	0,936
P_0	0,071	0,072	0,054	0,073	0,044	0,034	0,036	0,040	0,050	0,067	0,106	0,081	0,062	0,071	0,063	0,059	0,982
k	2,30	2,47	2,27	2,41	1,95	1,76	2,32	2,06	2,50	2,38	2,50	2,41	2,17	2,33	2,27	2,40	2,23
λ [m/s]	3,41	3,21	2,91	3,76	3,78	4,19	4,13	5,37	5,23	5,34	4,81	3,98	3,50	3,40	3,23	3,72	
Talvikausi (yllättävien tuulien osuus ajasta)																	
$V_{m,ref}$ [m/s]	Tuulen suuntakulma															Kaikki kulmat	
	0	22,5	45	67,5	90	112,5	135	157,5	180	202,5	225	247,5	270	292,5	315		337,5
20	1,1E-15	3,6E-28	3,7E-26	3,7E-09	7,1E-07	2,5E-07	9,5E-11	1,9E-08	1,8E-09	2,2E-06	1,3E-08	2,7E-11	4,7E-21	2,9E-16	2,4E-19	2,9E-20	3,2E-06
17	1,6E-11	2,0E-19	5,3E-18	2,1E-07	7,7E-06	7,6E-06	6,3E-08	2,4E-06	8,9E-07	6,9E-05	2,7E-06	3,3E-08	1,7E-14	4,8E-12	5,6E-14	4,4E-14	9,0E-05
14	3,8E-08	1,1E-12	9,1E-12	7,2E-06	6,6E-05	1,3E-04	9,9E-06	1,0E-04	8,8E-05	9,9E-04	1,6E-04	8,6E-06	1,6E-09	1,3E-08	1,1E-09	2,3E-09	1,6E-03
12	2,5E-06	3,0E-09	1,4E-08	5,7E-05	2,4E-04	5,9E-04	1,4E-04	7,0E-04	8,6E-04	3,9E-03	1,3E-03	1,5E-04	5,3E-07	1,0E-06	2,1E-07	5,6E-07	8,0E-03
10	7,3E-05	1,5E-06	4,1E-06	3,5E-04	7,5E-04	2,1E-03	1,1E-03	3,2E-03	4,8E-03	1,2E-02	6,4E-03	1,5E-03	4,6E-05	3,6E-05	1,5E-05	4,0E-05	3,2E-02
8	1,0E-03	1,4E-04	2,7E-04	1,7E-03	2,1E-03	6,0E-03	5,1E-03	1,0E-02	1,6E-02	2,6E-02	2,1E-02	8,3E-03	1,2E-03	6,1E-04	3,9E-04	9,2E-04	1,0E-01
7	0,0030	0,0008	0,0013	0,0034	0,0033	0,0092	0,0093	0,0155	0,0255	0,0362	0,0324	0,0162	0,0041	0,0019	0,0014	0,0030	0,167
6	0,0073	0,0033	0,0049	0,0062	0,0050	0,0131	0,0151	0,0222	0,0364	0,0468	0,0463	0,0278	0,0108	0,0052	0,0043	0,0078	0,262
5	0,0150	0,0100	0,0131	0,0108	0,0072	0,0177	0,0222	0,0293	0,0475	0,0572	0,0610	0,0425	0,0229	0,0116	0,0103	0,0161	0,394
4	0,0264	0,0227	0,0274	0,0172	0,0100	0,0226	0,0297	0,0361	0,0574	0,0665	0,0747	0,0587	0,0396	0,0222	0,0203	0,0277	0,559
3	0,0399	0,0397	0,0452	0,0253	0,0133	0,0271	0,0364	0,0417	0,0650	0,0739	0,0857	0,0735	0,0574	0,0360	0,0333	0,0400	0,733
2	0,053	0,056	0,061	0,034	0,017	0,031	0,041	0,046	0,070	0,079	0,093	0,085	0,071	0,050	0,046	0,050	0,881
1	0,061	0,065	0,070	0,042	0,020	0,033	0,044	0,048	0,072	0,081	0,097	0,091	0,079	0,060	0,054	0,055	0,972
P_0	0,063	0,068	0,072	0,046	0,021	0,034	0,044	0,048	0,072	0,082	0,097	0,092	0,081	0,063	0,057	0,056	0,998
k	2,23	2,49	2,52	1,75	1,62	2,10	2,42	2,45	2,69	2,43	2,54	2,42	2,57	2,14	2,27	2,54	2,20
λ [m/s]	4,25	3,86	4,04	4,04	4,75	6,16	5,81	6,66	6,90	7,61	6,74	5,57	4,57	3,90	3,95	4,58	
Koko vuosi (yllättävien tuulien osuus ajasta)																	
$V_{m,ref}$ [m/s]	Tuulen suuntakulma															Kaikki kulmat	
	0	22,5	45	67,5	90	112,5	135	157,5	180	202,5	225	247,5	270	292,5	315		337,5
20	5,3E-16	1,8E-28	1,9E-26	1,9E-09	3,5E-07	1,3E-07	4,8E-11	1,5E-08	9,1E-10	1,1E-06	6,3E-09	1,3E-11	4,4E-21	1,5E-16	1,2E-19	1,5E-20	1,6E-06
17	8,2E-12	1,0E-19	2,6E-18	1,1E-07	3,9E-06	3,9E-06	3,2E-08	1,6E-06	4,5E-07	3,4E-05	1,3E-06	1,7E-08	9,7E-15	2,4E-12	2,8E-14	2,2E-14	4,6E-05
14	1,9E-08	5,4E-13	4,6E-12	3,6E-06	3,3E-05	6,7E-05	5,0E-06	6,6E-05	4,6E-05	5,0E-04	8,0E-05	4,3E-06	8,6E-10	6,6E-09	5,4E-10	1,1E-09	8,0E-04
12	1,2E-06	1,5E-09	7,0E-09	2,9E-05	1,2E-04	3,2E-04	6,8E-05	4,6E-04	4,6E-04	2,0E-03	6,4E-04	7,7E-05	2,8E-07	5,0E-07	1,0E-07	2,8E-07	4,2E-03
10	3,7E-05	7,3E-07	2,1E-06	1,8E-04	4,0E-04	1,2E-03	5,5E-04	2,2E-03	2,7E-03	6,2E-03	3,3E-03	7,5E-04	2,5E-05	1,8E-05	7,3E-06	2,1E-05	1,8E-02
8	5,5E-04	7,4E-05	1,4E-04	9,3E-04	1,3E-03	3,7E-03	2,7E-03	7,1E-03	9,9E-03	1,6E-02	1,2E-02	4,4E-03	6,7E-04	3,3E-04	2,1E-04	5,1E-04	6,0E-02
7	0,0017	0,0004	0,0007	0,0021	0,0024	0,0060	0,0052	0,0113	0,0163	0,0231	0,0203	0,0089	0,0024	0,0011	0,0008	0,0018	0,105
6	0,0046	0,0020	0,0026	0,0048	0,0044	0,0091	0,0092	0,0168	0,0245	0,0324	0,0324	0,0166	0,0066	0,0034	0,0027	0,0051	0,177
5	0,0107	0,0068	0,0075	0,0104	0,0076	0,0132	0,0149	0,0231	0,0339	0,0429	0,0481	0,0284	0,0149	0,0088	0,0072	0,0119	0,290
4	0,0216	0,0178	0,0171	0,0200	0,0123	0,0180	0,0220	0,0297	0,0432	0,0536	0,0655	0,0440	0,0279	0,0193	0,0163	0,0228	0,451
3	0,0369	0,0352	0,0319	0,0330	0,0184	0,0233	0,0294	0,0357	0,0514	0,0630	0,0819	0,0611	0,0437	0,0347	0,0301	0,0362	0,646
2	0,053	0,054	0,048	0,046	0,025	0,028	0,036	0,040	0,057	0,070	0,094	0,076	0,059	0,051	0,045	0,048	0,831
1	0,064	0,067	0,060	0,056	0,030	0,032	0,039	0,043	0,060	0,074	0,100	0,084	0,068	0,063	0,057	0,056	0,954
0	0,067	0,070	0,063	0,059	0,033	0,034	0,040	0,044	0,061	0,075	0,102	0,086	0,071	0,067	0,060	0,057	0,990

Eri tuulensuuntien osuus ajasta, P_0



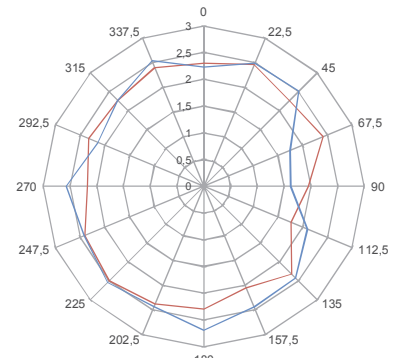
— kesäkausi
— talvikausi

Weibull-jakauman skaalausparametri λ [m/s]



— kesäkausi
— talvikausi

Weibull-jakauman muotoparametri k

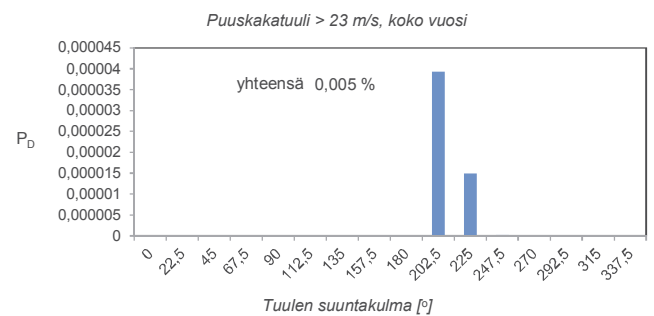
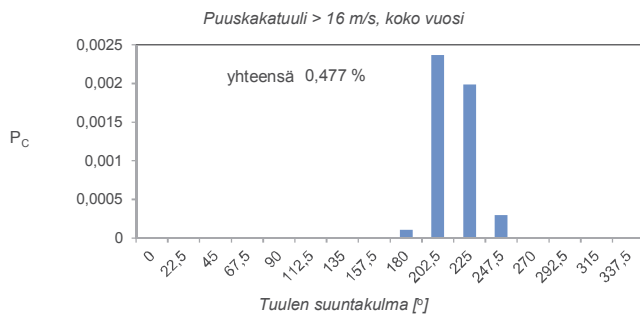
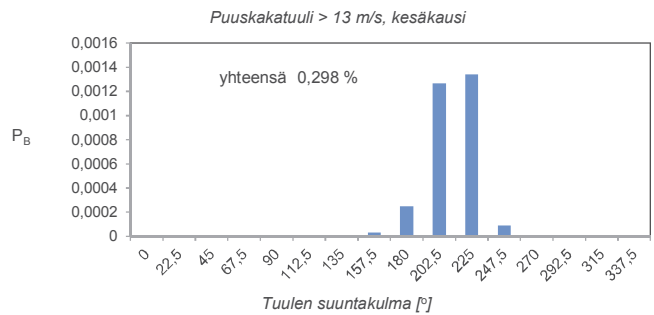
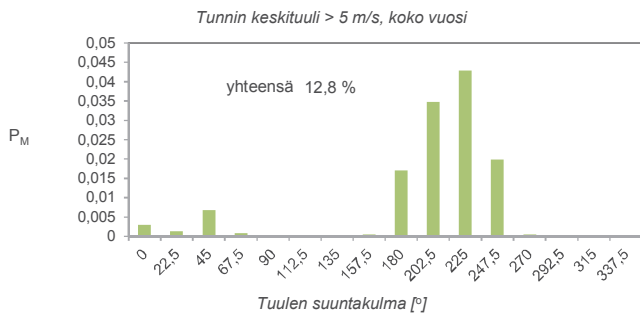


— kesäkausi
— talvikausi

Liite 5: Tuulisuuden yksityiskohtaisia laskentatuloksia

Piste: 1			Tuulisuus				Tuulisuus viitesuunnitelman viitepisteessä				KP-4
Kriteeri			Symboli	h/v	h/kesä	Symboli	h/v	h/kesä	suhte P/P'		
M	V_M	5 m/s, tunnin keskituuli, koko vuosi	P_M	12,8 %	1120	-	P'_M	12,2 %	1071	-	1,0
A	V_A	10 m/s, puuskatuuli, kesäkausi	P_A	2,50 %	-	109,6	P'_A	2,49 %	-	108,9	1,0
B	V_B	13 m/s, puuskatuuli, kesäkausi	P_B	0,298 %	-	13,1	P'_B	0,298 %	-	13,1	1,0
C	V_C	16 m/s, puuskatuuli, koko vuosi	P_C	0,477 %	41,8	-	P'_C	0,477 %	41,8	-	1,0
D	V_D	23 m/s, puuskatuuli, koko vuosi	P_D	0,005 %	0,5	-	P'_D	0,005 %	0,5	-	1,0

		Tuulen suuntakulma [°]																
		0	22,5	45	67,5	90	112,5	135	157,5	180	202,5	225	247,5	270	292,5	315	337,5	yht
k_m		0,77	0,80	0,98	0,61	0,32	0,30	0,31	0,42	0,72	0,87	0,94	0,88	0,61	0,41	0,42	0,56	-
k_g		1,35	1,33	1,57	1,04	0,89	0,83	0,82	0,93	1,20	1,36	1,50	1,47	1,14	0,91	0,98	1,17	-
kesäkausi																		
P_0		7,1 %	7,2 %	5,4 %	7,3 %	4,4 %	3,4 %	3,6 %	4,0 %	5,0 %	6,7 %	10,6 %	8,1 %	6,2 %	7,1 %	6,3 %	5,9 %	98,2 %
k		2,3	2,5	2,3	2,4	2,0	1,8	2,3	2,1	2,3	2,4	2,5	2,4	2,2	2,3	2,3	2,4	-
λ		3,4	3,2	2,9	3,8	3,8	4,2	4,1	5,4	5,2	5,3	4,8	4,0	3,5	3,4	3,2	3,7	-
		yhtystodennäköisyydet (P)																
$V_m > V_M$		0,09 %	0,04 %	0,15 %	0,01 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,02 %	0,75 %	2,02 %	2,95 %	0,77 %	0,01 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	6,8 %
$V_g > V_A$		0,02 %	0,00 %	0,01 %	0,00 %	0,00 %	0,01 %	0,00 %	0,06 %	0,28 %	0,80 %	1,10 %	0,22 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	2,50 %
$V_g > V_B$		0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,02 %	0,13 %	0,13 %	0,01 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,30 %
$V_g > V_C$		0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,001 %	0,010 %	0,007 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,018 %
$V_g > V_D$		0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %
talvikausi																		
P_0		6,3 %	6,8 %	7,2 %	4,6 %	2,1 %	3,4 %	4,4 %	4,8 %	7,2 %	8,2 %	9,7 %	9,2 %	8,1 %	6,3 %	5,7 %	5,6 %	99,8 %
k		2,2	2,5	2,5	1,7	1,6	2,1	2,4	2,4	2,7	2,4	2,5	2,4	2,6	2,1	2,3	2,5	-
λ		4,2	3,9	4,0	4,0	4,8	6,2	5,8	6,7	6,9	7,6	6,7	5,6	4,6	3,9	3,9	4,6	-
		yhtystodennäköisyydet (P)																
$V_m > V_M$		0,50 %	0,23 %	1,22 %	0,15 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,08 %	2,66 %	4,93 %	5,65 %	3,22 %	0,10 %	0,00 %	0,00 %	0,02 %	18,7 %
$V_g > V_A$		0,19 %	0,03 %	0,32 %	0,05 %	0,04 %	0,06 %	0,01 %	0,19 %	1,39 %	3,28 %	3,67 %	1,82 %	0,04 %	0,00 %	0,00 %	0,05 %	11,15 %
$V_g > V_B$		0,012 %	0,000 %	0,017 %	0,004 %	0,004 %	0,003 %	0,000 %	0,010 %	0,257 %	1,449 %	1,459 %	0,435 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	3,651 %
$V_g > V_C$		0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,021 %	0,463 %	0,390 %	0,060 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,936 %
$V_g > V_D$		0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,008 %	0,003 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,011 %
koko vuosi																		
		yhtystodennäköisyydet (P)																
$V_m > V_M$		0,29 %	0,14 %	0,69 %	0,08 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,05 %	1,71 %	3,48 %	4,30 %	1,99 %	0,05 %	0,00 %	0,00 %	0,01 %	12,8 %
$V_g > V_A$		0,11 %	0,02 %	0,17 %	0,03 %	0,02 %	0,03 %	0,01 %	0,13 %	0,83 %	2,04 %	2,39 %	1,02 %	0,02 %	0,00 %	0,00 %	0,02 %	6,83 %
$V_g > V_B$		0,006 %	0,000 %	0,009 %	0,002 %	0,002 %	0,001 %	0,000 %	0,007 %	0,141 %	0,788 %	0,796 %	0,222 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	1,975 %
$V_g > V_C$		0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,011 %	0,237 %	0,198 %	0,030 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,477 %
$V_g > V_D$		0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,004 %	0,001 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,005 %



Piste: 3

Kriteeri

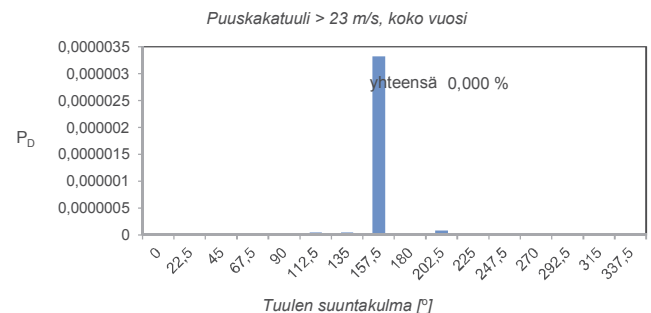
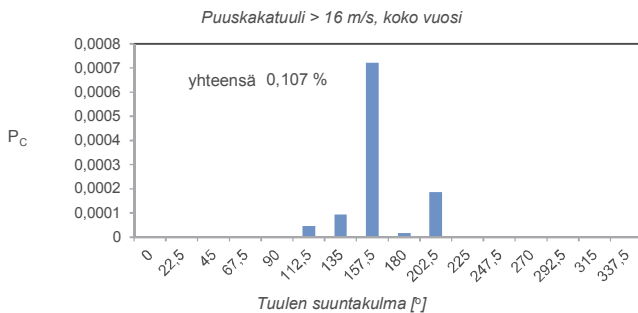
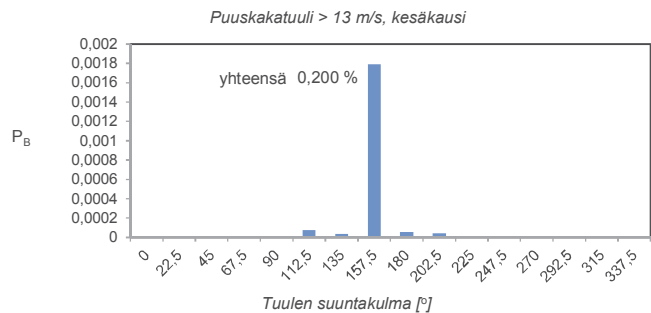
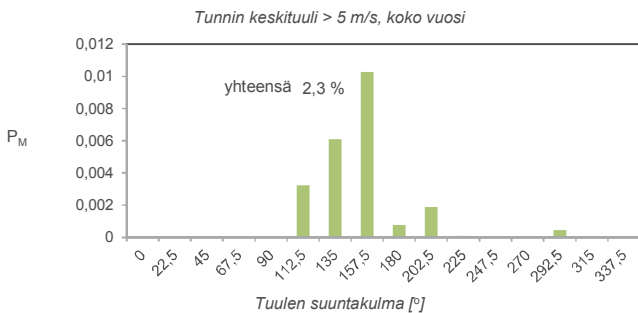
Tuulisuus

Tuulisuus viitesuunnitelman viitepisteessä

20K

	Symboli	h/v	h/kesä	Symboli	h/v	h/kesä	suhde P/P'
M	v_M	5	m/s, tunnin keskituuli, koko vuosi	P_M	2,3 %	200	-
A	v_A	10	m/s, puuskatuuli, kesäkausi	P_A	1,10 %	-	48,2
B	v_B	13	m/s, puuskatuuli, kesäkausi	P_B	0,200 %	-	8,8
C	v_C	16	m/s, puuskatuuli, koko vuosi	P_C	0,107 %	9,3	-
D	v_D	23	m/s, puuskatuuli, koko vuosi	P_D	0,000 %	0,0	-

	Tuulen suuntakulma [°]																
	0	22,5	45	67,5	90	112,5	135	157,5	180	202,5	225	247,5	270	292,5	315	337,5	yht
k_m	0,44	0,43	0,33	0,25	0,30	0,60	0,74	0,69	0,44	0,41	0,36	0,31	0,31	0,65	0,55	0,37	-
k_g	1,00	1,01	0,80	0,62	0,75	1,11	1,36	1,40	1,08	1,05	0,96	0,88	0,90	1,39	1,25	0,97	-
kesäkausi																	
P_0	7,1 %	7,2 %	5,4 %	7,3 %	4,4 %	3,4 %	3,6 %	4,0 %	5,0 %	6,7 %	10,6 %	8,1 %	6,2 %	7,1 %	6,3 %	5,9 %	98,2 %
k	2,3	2,5	2,3	2,4	2,0	1,8	2,3	2,1	2,3	2,4	2,5	2,4	2,2	2,3	2,3	2,4	-
λ	3,4	3,2	2,9	3,8	3,8	4,2	4,1	5,4	5,2	5,3	4,8	4,0	3,5	3,4	3,2	3,7	-
ylitystodennäköisyydet (P)																	
$v_m > v_M$	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,12 %	0,16 %	0,64 %	0,01 %	0,01 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,01 %	0,00 %	0,00 %	0,9 %
$v_g > v_A$	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,07 %	0,08 %	0,66 %	0,12 %	0,13 %	0,01 %	0,00 %	0,00 %	0,02 %	0,00 %	0,00 %	1,10 %
$v_g > v_B$	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,01 %	0,00 %	0,18 %	0,01 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,20 %
$v_g > v_C$	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,034 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,035 %
$v_g > v_D$	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %
talvikausi																	
P_0	6,3 %	6,8 %	7,2 %	4,6 %	2,1 %	3,4 %	4,4 %	4,8 %	7,2 %	8,2 %	9,7 %	9,2 %	8,1 %	6,3 %	5,7 %	5,6 %	99,8 %
k	2,2	2,5	2,5	1,7	1,6	2,1	2,4	2,4	2,7	2,4	2,5	2,4	2,6	2,1	2,3	2,5	-
λ	4,2	3,9	4,0	4,0	4,8	6,2	5,8	6,7	6,9	7,6	6,7	5,6	4,6	3,9	3,9	4,6	-
ylitystodennäköisyydet (P)																	
$v_m > v_M$	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,52 %	1,06 %	1,42 %	0,14 %	0,37 %	0,02 %	0,00 %	0,00 %	0,08 %	0,01 %	0,00 %	3,6 %
$v_g > v_A$	0,01 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,01 %	0,36 %	0,77 %	1,46 %	0,81 %	1,47 %	0,48 %	0,04 %	0,00 %	0,16 %	0,04 %	0,00 %	5,60 %
$v_g > v_B$	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,001 %	0,071 %	0,163 %	0,497 %	0,086 %	0,316 %	0,027 %	0,000 %	0,000 %	0,010 %	0,001 %	0,000 %	1,170 %
$v_g > v_C$	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,009 %	0,019 %	0,111 %	0,003 %	0,037 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,179 %
$v_g > v_D$	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,001 %
koko vuosi																	
ylitystodennäköisyydet (P)																	
$v_m > v_M$	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,32 %	0,61 %	1,03 %	0,08 %	0,19 %	0,01 %	0,00 %	0,00 %	0,05 %	0,00 %	0,00 %	2,3 %
$v_g > v_A$	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,22 %	0,43 %	1,06 %	0,47 %	0,80 %	0,24 %	0,02 %	0,00 %	0,09 %	0,02 %	0,00 %	3,35 %
$v_g > v_B$	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,039 %	0,083 %	0,338 %	0,046 %	0,160 %	0,014 %	0,000 %	0,000 %	0,005 %	0,000 %	0,000 %	0,685 %
$v_g > v_C$	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,005 %	0,009 %	0,072 %	0,002 %	0,019 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,107 %
$v_g > v_D$	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %



Piste: 4

Kriteeri

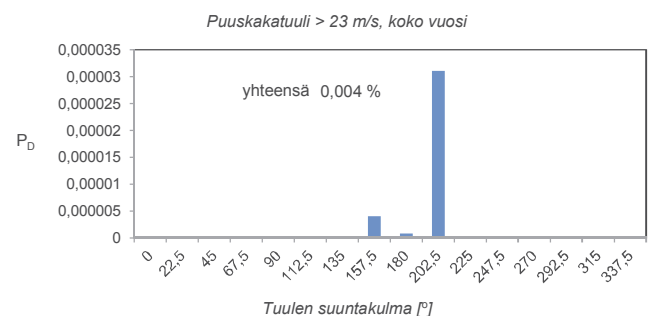
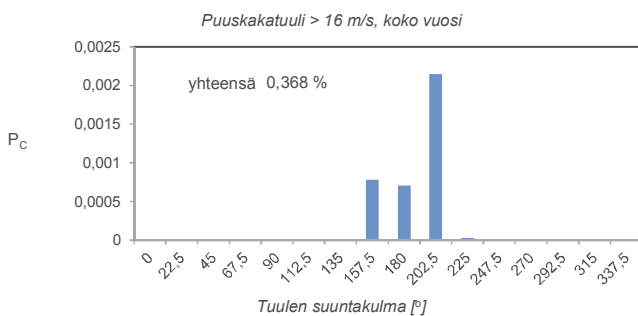
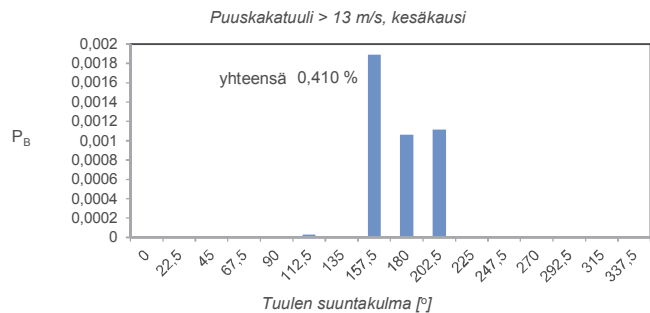
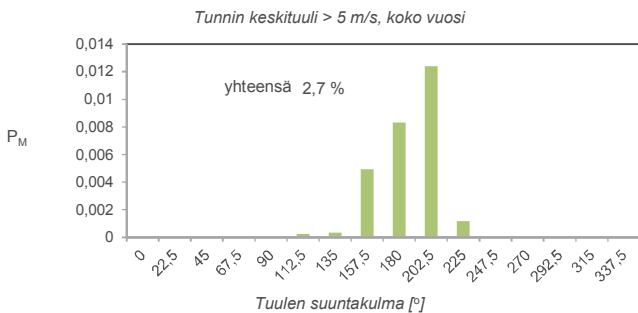
Tuulisuus

Tuulisuus viitesuunnitelman viitepisteessä

KP-16

	Symboli	h/v	h/kesä	Symboli	h/v	h/kesä	suhde P/P'					
M	v_M	5	m/s, tunnin keskituuli, koko vuosi	P_M	2,7 %	240	-	P'_M	2,1 %	184	-	1,3
A	v_A	10	m/s, puuskatuuli, kesäkausi	P_A	2,14 %	-	93,9	P'_A	1,75 %	-	76,4	1,2
B	v_B	13	m/s, puuskatuuli, kesäkausi	P_B	0,410 %	-	18,0	P'_B	0,337 %	-	14,8	1,2
C	v_C	16	m/s, puuskatuuli, koko vuosi	P_C	0,368 %	32,2	-	P'_C	0,214 %	18,7	-	1,7
D	v_D	23	m/s, puuskatuuli, koko vuosi	P_D	0,004 %	0,3	-	P'_D	0,001 %	0,1	-	5,6

	Tuulen suuntakulma [°]																
	0	22,5	45	67,5	90	112,5	135	157,5	180	202,5	225	247,5	270	292,5	315	337,5	yht
k_m	0,46	0,50	0,40	0,26	0,19	0,41	0,47	0,58	0,60	0,58	0,44	0,29	0,29	0,32	0,36	0,40	-
k_g	1,09	1,04	0,88	0,70	0,59	1,01	1,16	1,41	1,38	1,35	1,08	0,76	0,78	0,83	0,92	1,01	-
<i>kesäkausi</i>																	
P_0	7,1 %	7,2 %	5,4 %	7,3 %	4,4 %	3,4 %	3,6 %	4,0 %	5,0 %	6,7 %	10,6 %	8,1 %	6,2 %	7,1 %	6,3 %	5,9 %	98,2 %
k	2,3	2,5	2,3	2,4	2,0	1,8	2,3	2,1	2,3	2,4	2,5	2,4	2,2	2,3	2,3	2,4	-
λ	3,4	3,2	2,9	3,8	3,8	4,2	4,1	5,4	5,2	5,3	4,8	4,0	3,5	3,4	3,2	3,7	-
<i>ylitystodennäköisyydet (P)</i>																	
$v_m > v_M$	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,27 %	0,27 %	0,31 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,9 %
$v_g > v_A$	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,04 %	0,01 %	0,68 %	0,61 %	0,75 %	0,06 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	2,14 %
$v_g > v_B$	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,19 %	0,11 %	0,11 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,41 %
$v_g > v_C$	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,037 %	0,010 %	0,008 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,055 %
$v_g > v_D$	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %
<i>talvikausi</i>																	
P_0	6,3 %	6,8 %	7,2 %	4,6 %	2,1 %	3,4 %	4,4 %	4,8 %	7,2 %	8,2 %	9,7 %	9,2 %	8,1 %	6,3 %	5,7 %	5,6 %	99,8 %
k	2,2	2,5	2,5	1,7	1,6	2,1	2,4	2,4	2,7	2,4	2,5	2,4	2,6	2,1	2,3	2,5	-
λ	4,2	3,9	4,0	4,0	4,8	6,2	5,8	6,7	6,9	7,6	6,7	5,6	4,6	3,9	3,9	4,6	-
<i>ylitystodennäköisyydet (P)</i>																	
$v_m > v_M$	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,05 %	0,06 %	0,06 %	0,71 %	1,39 %	2,17 %	0,24 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	4,6 %
$v_g > v_A$	0,02 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,23 %	0,34 %	1,49 %	2,33 %	3,18 %	1,01 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,01 %	8,62 %
$v_g > v_B$	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,032 %	0,034 %	0,521 %	0,728 %	1,367 %	0,119 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	2,801 %
$v_g > v_C$	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,003 %	0,001 %	0,119 %	0,131 %	0,421 %	0,006 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,680 %
$v_g > v_D$	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,001 %	0,001 %	0,000 %	0,006 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,007 %
<i>koko vuosi</i>																	
<i>ylitystodennäköisyydet (P)</i>																	
$v_m > v_M$	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,03 %	0,03 %	0,49 %	0,83 %	1,24 %	1,12 %	0,12 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	2,7 %
$v_g > v_A$	0,01 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,13 %	0,18 %	1,09 %	1,47 %	1,97 %	1,97 %	0,54 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	5,38 %
$v_g > v_B$	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,017 %	0,017 %	0,355 %	0,417 %	0,739 %	0,060 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	1,606 %
$v_g > v_C$	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,001 %	0,001 %	0,078 %	0,070 %	0,215 %	0,003 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,368 %
$v_g > v_D$	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,003 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,004 %



Piste: 20

Kriteeri

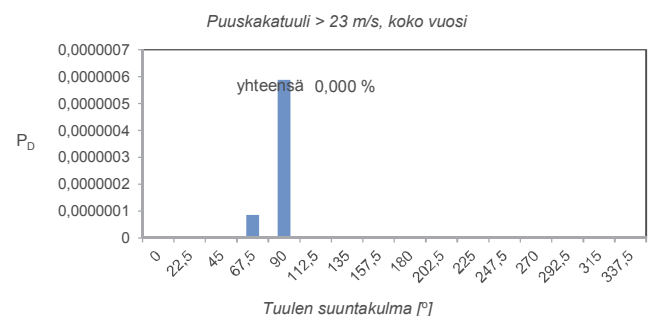
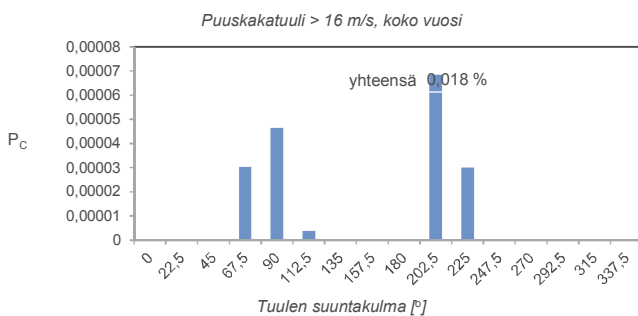
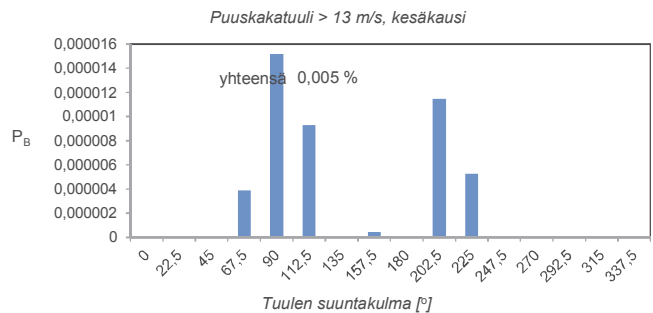
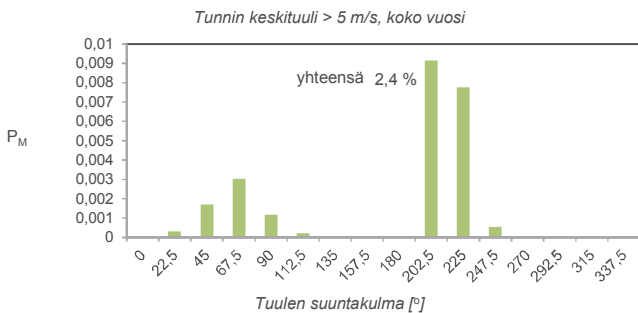
Tuulisuus

Tuulisuus viitesuunnitelman viitepisteessä

22-Z

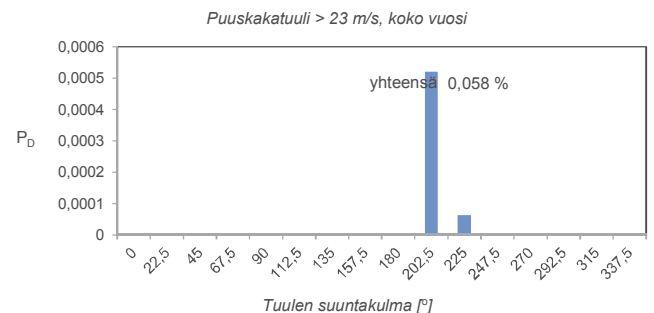
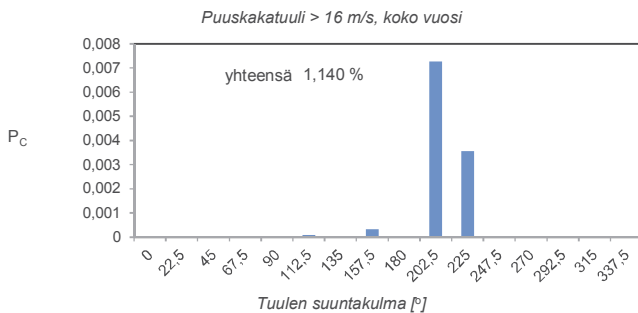
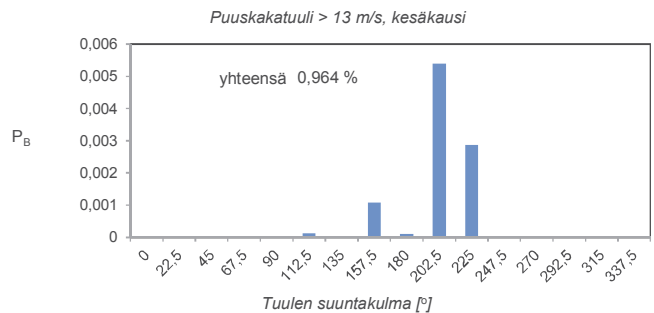
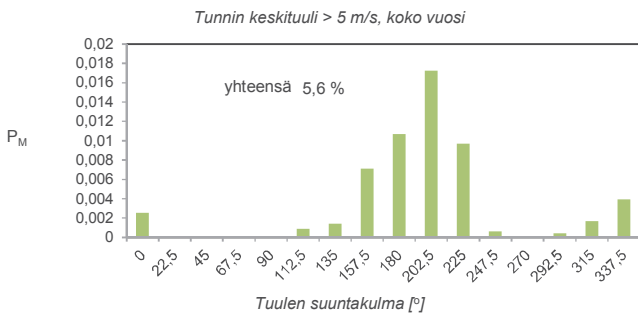
	Symboli	h/v	h/kesä	Symboli	h/v	h/kesä	suhde P/P'	
M	V_M	5	m/s, tunnin keskituuli, koko vuosi	P_M	2,4 %	210	-	1,0
A	V_A	10	m/s, puuskatuuli, kesäkausi	P_A	0,24 %	-	10,3	1,0
B	V_B	13	m/s, puuskatuuli, kesäkausi	P_B	0,005 %	-	0,2	1,0
C	V_C	16	m/s, puuskatuuli, koko vuosi	P_C	0,018 %	1,6	-	1,0
D	V_D	23	m/s, puuskatuuli, koko vuosi	P_D	0,000 %	0,0	-	1,0

	Tuulen suuntakulma [°]																
	0	22,5	45	67,5	90	112,5	135	157,5	180	202,5	225	247,5	270	292,5	315	337,5	yht
k_m	0,49	0,69	0,79	0,76	0,61	0,40	0,33	0,31	0,22	0,54	0,57	0,49	0,44	0,28	0,22	0,28	-
k_g	1,15	1,34	1,40	1,34	1,19	0,94	0,82	0,74	0,65	0,98	1,08	1,05	0,98	0,73	0,64	0,76	-
kesäkausi																	
P_0	7,1 %	7,2 %	5,4 %	7,3 %	4,4 %	3,4 %	3,6 %	4,0 %	5,0 %	6,7 %	10,6 %	8,1 %	6,2 %	7,1 %	6,3 %	5,9 %	98,2 %
k	2,3	2,5	2,3	2,4	2,0	1,8	2,3	2,1	2,3	2,4	2,5	2,4	2,2	2,3	2,3	2,4	-
λ	3,4	3,2	2,9	3,8	3,8	4,2	4,1	5,4	5,2	5,3	4,8	4,0	3,5	3,4	3,2	3,7	-
ylitystodennäköisyydet (P)																	
$V_m > V_M$	0,00 %	0,00 %	0,02 %	0,16 %	0,05 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,17 %	0,13 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,5 %
$V_g > V_A$	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,04 %	0,04 %	0,02 %	0,00 %	0,01 %	0,00 %	0,06 %	0,06 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,24 %
$V_g > V_B$	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
$V_g > V_C$	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %
$V_g > V_D$	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %
talvikausi																	
P_0	6,3 %	6,8 %	7,2 %	4,6 %	2,1 %	3,4 %	4,4 %	4,8 %	7,2 %	8,2 %	9,7 %	9,2 %	8,1 %	6,3 %	5,7 %	5,6 %	99,8 %
k	2,2	2,5	2,5	1,7	1,6	2,1	2,4	2,4	2,7	2,4	2,5	2,4	2,6	2,1	2,3	2,5	-
λ	4,2	3,9	4,0	4,0	4,8	6,2	5,8	6,7	6,9	7,6	6,7	5,6	4,6	3,9	3,9	4,6	-
ylitystodennäköisyydet (P)																	
$V_m > V_M$	0,01 %	0,06 %	0,32 %	0,45 %	0,19 %	0,04 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	1,66 %	1,42 %	0,11 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	4,3 %
$V_g > V_A$	0,04 %	0,04 %	0,11 %	0,25 %	0,17 %	0,15 %	0,01 %	0,02 %	0,00 %	1,07 %	1,04 %	0,23 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	3,12 %
$V_g > V_B$	0,001 %	0,000 %	0,002 %	0,046 %	0,044 %	0,015 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,173 %	0,124 %	0,009 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,413 %
$V_g > V_C$	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,006 %	0,009 %	0,001 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,014 %	0,006 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,036 %
$V_g > V_D$	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %
koko vuosi																	
ylitystodennäköisyydet (P)																	
$V_m > V_M$	0,00 %	0,03 %	0,17 %	0,30 %	0,12 %	0,02 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,92 %	0,78 %	0,05 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	2,4 %
$V_g > V_A$	0,02 %	0,02 %	0,05 %	0,14 %	0,10 %	0,08 %	0,01 %	0,01 %	0,00 %	0,57 %	0,55 %	0,12 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	1,68 %
$V_g > V_B$	0,000 %	0,000 %	0,001 %	0,023 %	0,023 %	0,008 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,087 %	0,062 %	0,004 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,209 %
$V_g > V_C$	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,003 %	0,005 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,007 %	0,003 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,018 %
$V_g > V_D$	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %



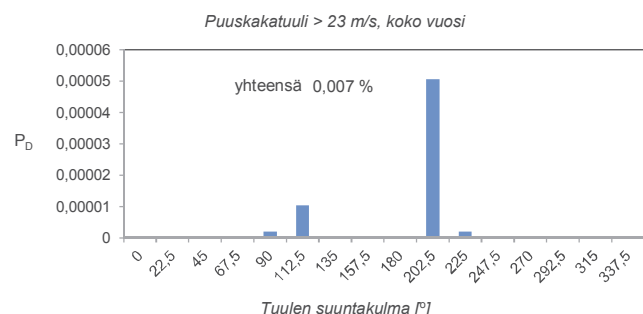
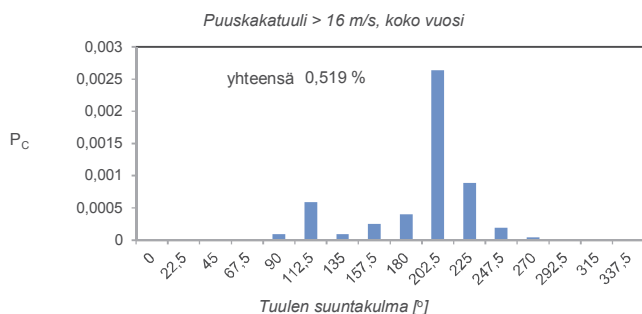
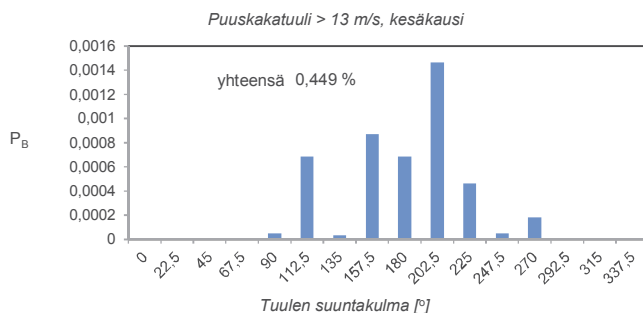
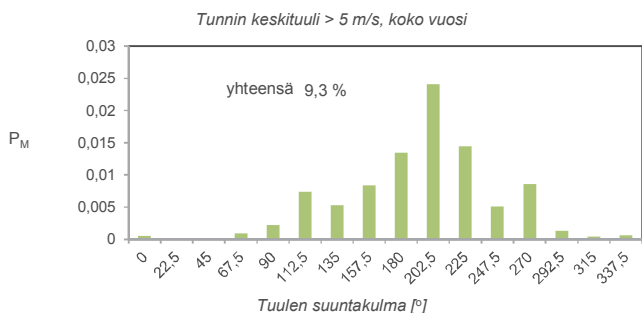
Piste: 21		Tuulisuus						Tuulisuus viitesuunnitelman viitepisteessä						KP-5
Kriteeri		Symboli		h/v	h/kesä	Symboli		h/v	h/kesä	suhte P/P'				
M	v_M	5	m/s, tunnin keskituuli, koko vuosi	P_M	5,6 %	493	-	P'_M	5,6 %	493	-	1,0		
A	v_A	10	m/s, puuskatuuli, kesäkausi	P_A	4,42 %	-	193,8	P'_A	4,42 %	-	193,8	1,0		
B	v_B	13	m/s, puuskatuuli, kesäkausi	P_B	0,964 %	-	42,2	P'_B	0,964 %	-	42,2	1,0		
C	v_C	16	m/s, puuskatuuli, koko vuosi	P_C	1,140 %	99,9	-	P'_C	1,140 %	99,9	-	1,0		
D	v_D	23	m/s, puuskatuuli, koko vuosi	P_D	0,058 %	5,1	-	P'_D	0,058 %	5,1	-	1,0		

		Tuulen suuntakulma [°]															Yht	
		0	22,5	45	67,5	90	112,5	135	157,5	180	202,5	225	247,5	270	292,5	315	337,5	
k_m		0,76	0,39	0,34	0,40	0,39	0,47	0,56	0,63	0,64	0,64	0,60	0,49	0,30	0,64	0,78	0,80	-
k_g		1,26	0,79	0,74	0,87	0,94	1,17	1,30	1,30	1,13	1,65	1,62	1,26	0,81	1,37	1,58	1,51	-
kesäkausi																		
P_0		7,1 %	7,2 %	5,4 %	7,3 %	4,4 %	3,4 %	3,6 %	4,0 %	5,0 %	6,7 %	10,6 %	8,1 %	6,2 %	7,1 %	6,3 %	5,9 %	98,2 %
k		2,3	2,5	2,3	2,4	2,0	1,8	2,3	2,1	2,3	2,4	2,5	2,4	2,2	2,3	2,3	2,4	-
λ		3,4	3,2	2,9	3,8	3,8	4,2	4,1	5,4	5,2	5,3	4,8	4,0	3,5	3,4	3,2	3,7	-
		ylitystodennäköisyydet (P)																
$v_m > v_M$		0,07 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,02 %	0,01 %	0,41 %	0,39 %	0,59 %	0,20 %	0,00 %	0,00 %	0,01 %	0,05 %	0,18 %	1,9 %
$v_g > v_A$		0,01 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,10 %	0,05 %	0,49 %	0,17 %	1,74 %	1,63 %	0,04 %	0,00 %	0,02 %	0,06 %	0,11 %	4,42 %
$v_g > v_B$		0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,01 %	0,00 %	0,11 %	0,01 %	0,54 %	0,29 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,96 %
$v_g > v_C$		0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,001 %	0,000 %	0,016 %	0,000 %	0,108 %	0,025 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,149 %
$v_g > v_D$		0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %
talvikausi																		
P_0		6,3 %	6,8 %	7,2 %	4,6 %	2,1 %	3,4 %	4,4 %	4,8 %	7,2 %	8,2 %	9,7 %	9,2 %	8,1 %	6,3 %	5,7 %	5,6 %	99,8 %
k		2,2	2,5	2,5	1,7	1,6	2,1	2,4	2,4	2,7	2,4	2,5	2,4	2,6	2,1	2,3	2,5	-
λ		4,2	3,9	4,0	4,0	4,8	6,2	5,8	6,7	6,9	7,6	6,7	5,6	4,6	3,9	3,9	4,6	-
		ylitystodennäköisyydet (P)																
$v_m > v_M$		0,44 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,01 %	0,15 %	0,27 %	1,01 %	1,75 %	2,86 %	1,74 %	0,12 %	0,00 %	0,07 %	0,28 %	0,61 %	9,3 %
$v_g > v_A$		0,11 %	0,00 %	0,00 %	0,01 %	0,05 %	0,46 %	0,62 %	1,15 %	1,00 %	4,61 %	4,36 %	0,88 %	0,00 %	0,14 %	0,31 %	0,45 %	14,17 %
$v_g > v_B$		0,004 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,007 %	0,108 %	0,108 %	0,318 %	0,133 %	2,758 %	2,041 %	0,109 %	0,000 %	0,008 %	0,028 %	0,041 %	5,665 %
$v_g > v_C$		0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,001 %	0,017 %	0,010 %	0,053 %	0,007 %	1,347 %	0,689 %	0,006 %	0,000 %	0,000 %	0,001 %	0,001 %	2,131 %
$v_g > v_D$		0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,104 %	0,012 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,116 %
koko vuosi																		
		ylitystodennäköisyydet (P)																
$v_m > v_M$		0,26 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,01 %	0,09 %	0,14 %	0,71 %	1,07 %	1,72 %	0,97 %	0,06 %	0,00 %	0,04 %	0,16 %	0,39 %	5,6 %
$v_g > v_A$		0,06 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,03 %	0,28 %	0,34 %	0,82 %	0,59 %	3,18 %	3,00 %	0,46 %	0,00 %	0,08 %	0,18 %	0,28 %	9,30 %
$v_g > v_B$		0,002 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,004 %	0,060 %	0,055 %	0,213 %	0,072 %	1,649 %	1,164 %	0,055 %	0,000 %	0,004 %	0,015 %	0,022 %	3,315 %
$v_g > v_C$		0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,009 %	0,005 %	0,034 %	0,003 %	0,727 %	0,357 %	0,003 %	0,000 %	0,000 %	0,001 %	0,001 %	1,140 %
$v_g > v_D$		0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,052 %	0,006 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,058 %



Piste:	Kriteeri	c	Tuulisuus				Tuulisuus viitesuunnitelman viitepisteessä				9H	
			Symboli	h/v	h/kesä	Symboli	h/v	h/kesä	suhde P/P'			
M	v_M	5	m/s, tunnin keskituuli, koko vuosi	P_M	9,3 %	814	-	P'_M	9,3 %	814	-	1,0
A	v_A	10	m/s, puuskatuuli, kesäkausi	P_A	3,30 %	-	144,4	P'_A	3,30 %	-	144,4	1,0
B	v_B	13	m/s, puuskatuuli, kesäkausi	P_B	0,449 %	-	19,6	P'_B	0,449 %	-	19,6	1,0
C	v_C	16	m/s, puuskatuuli, koko vuosi	P_C	0,519 %	45,5	-	P'_C	0,519 %	45,5	-	1,0
D	v_D	23	m/s, puuskatuuli, koko vuosi	P_D	0,007 %	0,6	-	P'_D	0,007 %	0,6	-	1,0

		Tuulen suuntakulma [°]															yht	
		0	22,5	45	67,5	90	112,5	135	157,5	180	202,5	225	247,5	270	292,5	315		337,5
k_m		0,62	0,34	0,42	0,62	0,70	0,77	0,72	0,65	0,68	0,73	0,65	0,64	0,88	0,73	0,66	0,64	-
k_g		1,24	0,80	0,91	1,19	1,29	1,43	1,36	1,26	1,32	1,38	1,37	1,42	1,65	1,42	1,31	1,27	-
kesäkausi																		
P_0		7,1 %	7,2 %	5,4 %	7,3 %	4,4 %	3,4 %	3,6 %	4,0 %	5,0 %	6,7 %	10,6 %	8,1 %	6,2 %	7,1 %	6,3 %	5,9 %	98,2 %
k		2,3	2,5	2,3	2,4	2,0	1,8	2,3	2,1	2,3	2,4	2,5	2,4	2,2	2,3	2,3	2,4	-
λ		3,4	3,2	2,9	3,8	3,8	4,2	4,1	5,4	5,2	5,3	4,8	4,0	3,5	3,4	3,2	3,7	-
		ylijstodennäköisyydet (P)																
$v_m > v_M$		0,01 %	0,00 %	0,00 %	0,01 %	0,14 %	0,38 %	0,12 %	0,50 %	0,54 %	1,08 %	0,44 %	0,05 %	0,34 %	0,04 %	0,01 %	0,01 %	3,7 %
$v_g > v_A$		0,01 %	0,00 %	0,00 %	0,01 %	0,07 %	0,29 %	0,08 %	0,43 %	0,48 %	0,86 %	0,63 %	0,16 %	0,23 %	0,03 %	0,01 %	0,01 %	3,30 %
$v_g > v_B$		0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,07 %	0,00 %	0,09 %	0,07 %	0,15 %	0,05 %	0,00 %	0,02 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,45 %
$v_g > v_C$		0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,012 %	0,000 %	0,011 %	0,005 %	0,013 %	0,001 %	0,000 %	0,001 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,043 %
$v_g > v_D$		0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %
talvikausi																		
P_0		6,3 %	6,8 %	7,2 %	4,6 %	2,1 %	3,4 %	4,4 %	4,8 %	7,2 %	8,2 %	9,7 %	9,2 %	8,1 %	6,3 %	5,7 %	5,6 %	99,8 %
k		2,2	2,5	2,5	1,7	1,6	2,1	2,4	2,4	2,7	2,4	2,5	2,4	2,6	2,1	2,3	2,5	-
λ		4,2	3,9	4,0	4,0	4,8	6,2	5,8	6,7	6,9	7,6	6,7	5,6	4,6	3,9	3,9	4,6	-
		ylijstodennäköisyydet (P)																
$v_m > v_M$		0,10 %	0,00 %	0,00 %	0,16 %	0,31 %	1,10 %	0,94 %	1,17 %	2,16 %	3,75 %	2,45 %	0,97 %	1,38 %	0,23 %	0,07 %	0,11 %	14,9 %
$v_g > v_A$		0,10 %	0,00 %	0,00 %	0,13 %	0,23 %	0,93 %	0,77 %	1,04 %	2,00 %	3,40 %	2,89 %	1,57 %	1,02 %	0,18 %	0,06 %	0,11 %	14,42 %
$v_g > v_B$		0,003 %	0,000 %	0,000 %	0,016 %	0,071 %	0,358 %	0,162 %	0,263 %	0,534 %	1,544 %	0,913 %	0,329 %	0,141 %	0,013 %	0,002 %	0,003 %	4,351 %
$v_g > v_C$		0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,001 %	0,018 %	0,105 %	0,019 %	0,038 %	0,076 %	0,515 %	0,176 %	0,038 %	0,008 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,995 %
$v_g > v_D$		0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,002 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,010 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,013 %
koko vuosi																		
		ylijstodennäköisyydet (P)																
$v_m > v_M$		0,05 %	0,00 %	0,00 %	0,09 %	0,22 %	0,74 %	0,53 %	0,84 %	1,35 %	2,41 %	1,45 %	0,51 %	0,86 %	0,13 %	0,04 %	0,06 %	9,3 %
$v_g > v_A$		0,05 %	0,00 %	0,00 %	0,07 %	0,15 %	0,61 %	0,43 %	0,74 %	1,24 %	2,13 %	1,76 %	0,86 %	0,63 %	0,11 %	0,03 %	0,06 %	8,86 %
$v_g > v_B$		0,002 %	0,000 %	0,000 %	0,008 %	0,038 %	0,213 %	0,083 %	0,175 %	0,301 %	0,845 %	0,480 %	0,167 %	0,079 %	0,006 %	0,001 %	0,001 %	2,400 %
$v_g > v_C$		0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,001 %	0,009 %	0,059 %	0,009 %	0,025 %	0,041 %	0,264 %	0,089 %	0,019 %	0,004 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,519 %
$v_g > v_D$		0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,001 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,005 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,000 %	0,007 %



Liite 6: Nykytilan tuulisuuden katselmus

Katselmus pidettiin iltapäivällä 6.3.2017, jolloin sää oli aurinkoinen ja liikkeellä oli ulkoilijoita tuulisesta kelistä huolimatta. Keskituuli avomerellä (Harmaja) oli 12 m/s ja tuulensuunta idästä (10 min keskituuli, 15 m korkeus; tuulensuunta 75°; lämpötila -1°C). Katselmuksessa aistinvaraista havainnointia täydennettiin jalankulkutason tuulennopeusmittauksilla, jossa hetkellisiä tuulennopeuksia mitattiin n. 1 min ajan pistettä kohden, ja joista tuulen keskinopeus ja 3 s puuskanopeus voitiin likimäärin määrittää. Suurimmat mitatut puuskanopeudet olivat 9 m/s ja ne esiintyivät rannan laiturialueilla.

Tulosten mukaan Cirruksen tornin vierusta sekä viereinen metroaseman ja kauppakeskuksen välinen aukio olivat selvästi tuulia, mutta eivät sen tuulisempia kuin rannan tai laajempien aukioiden pisteet. Cirruksen tornin viereinen aukio oli tuulisuuden suhteen epäviihtyisä, mihin vaikutti paitsi tuulenpuuskat, myös ilman viileys. Katselmuspäivän tuulensuunnalla (itätuuli) tärkein tekijä tuulennopeuteen näytti olevan aukean tilan pituus tuulen puolella siten, että tuulenpuoleisten rakennusten takana (Cirrusta lukuun ottamatta) tuulisuus oli selvästi pienempää. Ranta-alueilla tuulenpuuskat hieman pölyttivät hiekoitushiekkaa.

Katselmusmittausten tulokset ja tarkastelupisteet on esitetty kuvassa L6.1. Mittaukset tehtiin noin tunnin aikana pisteiden numeroinnin esittämässä järjestyksessä. Kuvassa tarkastelupisteiden suhteellinen keskituuli (k_m) ja suhteellisen puuskatuuli (k_g) ovat dimensiottomia lukuja, jotka on laskettu kaavoilla

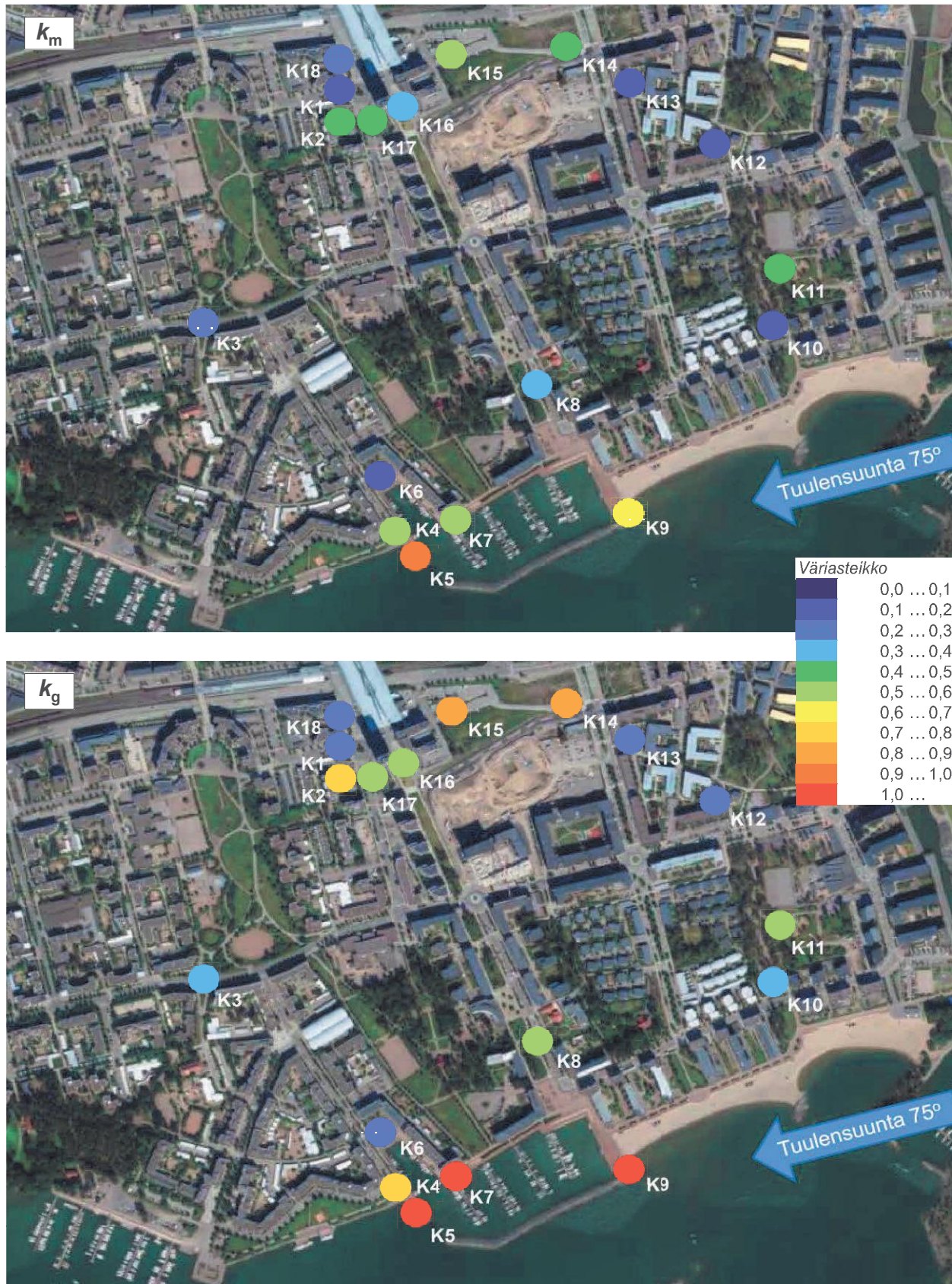
$$k_m = v_m/v_{ref}$$

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

missä v_m = mitattu keskituuli; k_g = mitattu 3 s puuskatuuli, ja v_{ref} = normeerausessa käytetty tuulennopeus. Tässä käytetty v_{ref} on tunnin keskituuli 15 m korkeudessa kohdealueella, joka katselmuksessa oli laskennallisesti 7,8 m/s. Suhteellinen keskituuli ja suhteellinen puuskatuuli voidaan olettaa olevan tuulen suunasta ja tarkastelupisteestä riippuvia vakioita. Tosin sanoen, jos keskituuli merellä olisi ollut kaksinkertainen, myös tuulennopeudet tarkastelupisteissä olisivat kaksinkertaisia.

Tulosten perusteella, mikäli avomerellä tuulennopeus olisi ollut likimain myrskylukemissa vuotuista maksimia vastaten (10 min keskituuli 10 m korkeudessa 21 m/s) olisi katutasen 3 s puuskanopeus rantatörmällä ollut suurimmillaan n. 18 m/s. Toisin sanoen, vuotuisessa maksimituudessa idän suunasta kävely voisi olla vaikeaa (C-kriteeri eli > 16 m/s), mutta tuuli ei kuitenkaan olisi vaarallisen kovaa (D-kriteeri eli > 23 m/s)

Tarkastelupisteiden tuulisuusolosuhteita on luonnehdittu sanallisesti kuvissa L6.2...L6.6.



Kuva L6.1: Katselmusmittausten tulokset: k_m = suhteellinen keskituuli ja k_g = suhteellinen puuskatuuli (kuva muokattu Helsingin kaupungin aineistoon).



K1, K2, K17, K18

Aukio oli tuulinen. Cirruksen aiheuttama tuulisuuslisä tuntui katselmuspäivän tuulensuunnalla selvimmin pisteessä K16 (tornin itäsiivu, valokuva vasemmalla), jossa julkisivua alaspäin kulkeva virtaus aiheutti tasaisen ilmavirtauksen. Tämä piste olisi muuten ollut lähes tuuleton suojaavan matalamman rakennuksen johdosta.



Kuva L6.2: Katselmustuloksia: korkea rakentaminen.



K3, K8, K10

Katualueiden ja raittien tuulisuus riippui pääasiassa tuulenpuoleisen aukean pituudesta. Tuulenpuuskien ja viileän ilman johdosta pisteessä K8 linja-auton odottaminen olisi ollut epäviihtyisää.

Kuva L6.3: Katselmustuloksia: katualueet ja raitit.



K11, K14, K15

Tuulisuus riippui tuulen puoleisen aukean alueen pituudesta. Pisteessä K15 aukean pituus oli noin 300 m jättäen sen huomattavan tuuliseksi.

Kuva L6.4: Katselmustuloksia: puistot, kentät ja rakentamattomat avoimet alueet.



K4, K5, K6, K7, K9

Ranta-alueet olivat katselmuksen tuulinsimpia pisteitä. Jos tuulen puolella oli rakennus suojana (piste K6, valokuva vasemmalla), oli tuulisuus selvästi vähäisempää. Noin 9 m/s tuulenpuuskat eivät estäneet ulkoilijoita menemästä jälle tai vaikeuttaneet kävelyä. Paikoillaan olo oli epäviihtyisää tuulen ja viileän ilman vaikutuksen johdosta.



Kuva L6.5: Katselmustuloksia: ranta-alueet.

K12, K13

Pisteen K12 piha oli katselmuksen vähätuulisin (vasemman puoleinen valokuva). Tuuli oli mitattavissa tai aistittavissa vain puuskissa. Piha on matalampien rakennusten ympäröimä ja siinä on puita. Korkeampien rakennusten ympäröimä piha (piste K13) oli hie-
man tuulisempi.



Kuva L6.6: Katselmustuloksia: pihojen oleskelupisteet.

WSP Finland Oy
Heikkiläntie 7
FI-00210 Helsinki
Finland
Tel: 0207 864 11
Fax 0207 864 800
www.wspgroup.fi

UNITED
BY OUR
DIFFERENCE

