



UNITED  
BY OUR  
DIFFERENCE



Keski-Pasilan asemakaavoitus

## Täydentävät tuulitunnelikokeet

Joulukuu 2010

## Laadunhallinta

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

### KONSULTTI

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

Yhdyshenkilö  
Risto Kiviluoma

### TILAAJA

Helsingin Kaupunki, Kaupunki-  
suunnitteluvirasto

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

www.hel.fi/ksv

Yhdyshenkilö  
Pekka Saarinen

# Sisällys

<b>Tiivistelmä</b>	<b>4</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>5</b>
<b>2 Tuulitunnelikoe</b>	<b>7</b>
2.1 Koejärjestely	7
2.2 Koeohjelma ja mittauspisteet	9
2.3 Tuulitunnelikokeen tulokset	13
<b>3 Tuulisuus tarkastelupisteissä</b>	<b>17</b>
<b>4 Tulosten ohjeellinen tulkinta</b>	<b>20</b>
4.1 Kattoterassit	20
4.2 Tornin alaosan suunnitteluratkaisut	21
<b>5 Yhteenveto ja johtopäätökset</b>	<b>22</b>
<b>Lähdeluettelo</b>	<b>23</b>
<b>Liite 1 Tuulitunnelikokeen virhetarkastelu</b>	<b>24</b>
<b>Liite 2 Tuulitunnelikokeen numeeriset tulokset</b>	<b>26</b>
<b>Liite 3 Tuulen suuntakulmien havainnekuvat</b>	<b>28</b>

## Tiivistelmä

Tämä raportti esittää täydentävien tuulitunnelikokeiden tulokset osana Keski-Pasilan asemakaavan viitesuunnitelman tuulisuuskartoitusta. Täydentävällä tuulitunnelikokeilla on selvitetty erityisesti kysymyksiä:

- ovatko korkeimpien tornien kattorassit toteutettavissa tuulisuuden suhteen
- miten tornien vierustan tuulisuuteen voidaan vaikuttaa tuulisuutta korjaavilla suunnitteluvaihtoehdoilla.

Koetta varten on laadittu kohdealueen tuulitunnelipienois malli mittakaavassa 1:250. Pienois malli käsittää kaikki viitesuunnitelman 10 tornia ja joitain vierustan rakennuksia. Tuulitunnelikokeet on tehty rajakerros-tyyppisessä tuulitunnelissa siten, että luonnon tuulen ominaisuudet (turbulenssi ja tuulennopeuden korkeusprofiili) on voitu mallintaa kokeessa.

Tarkastellut kattorassit ovat tornin katosta avoimia tiloja, joille tornin seinä antaa tuulensuojaa. Kattorassit ovat useamman kerroksen korkuisia. Niissä on 3 tai 4 eri lattiatasoa.

Tarkastellut tornin juuren suunnitteluvaihtoehdot ovat: a) viitesuunnitelman mukainen vaihtoehto, b) viitesuunnitelman mukainen vaihtoehto ilman tornin alaosan sisennystä ja c) viitesuunnitelman mukainen vaihtoehto katoksen kanssa.

Tulosten mukaan kattoterassit ovat tuulisuuden suhteen toteutuskelpoisia, jos terassia suojaavan seinän korkeus on n. 6 m tai korkeampi. Tätä ylemmillä terassin lattiatasoilla tulee varautua kovien tuulien aiheuttamiin käyttökatkoihin ja varoitusjärjestelmiin.

Pasilan sillan viereisen tornin alaosan loiva ja korkea viiste ei merkittävästi vaikuta tuulisuuteen sillan jalkakäytävällä.

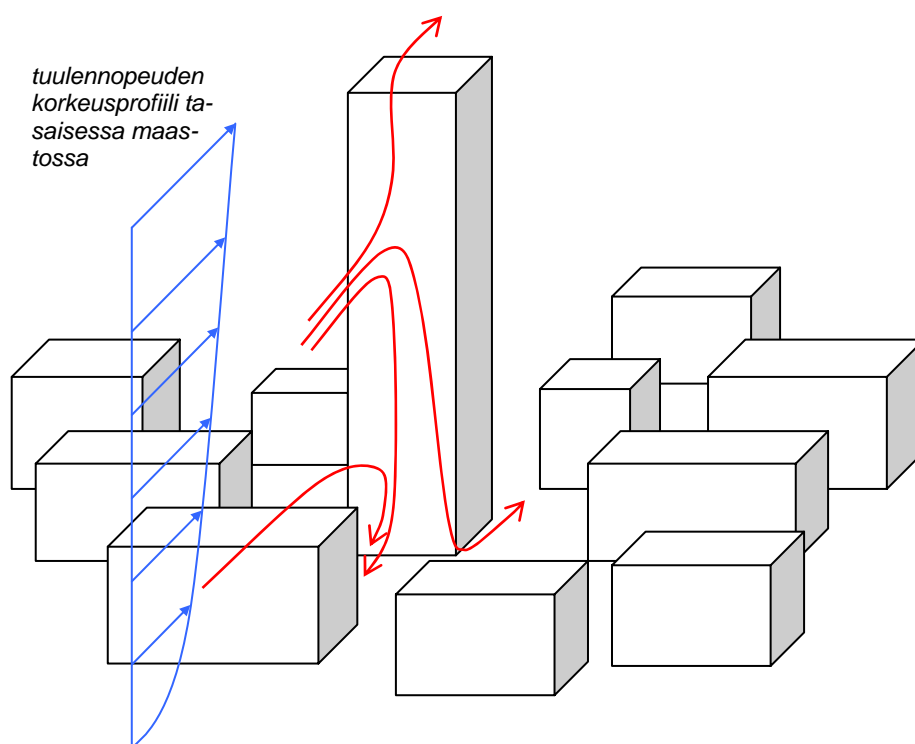
Tornien alaosaan rakennettavalla katoksella voitaisiin suojata sisääntulot Pasilan sillalta ja pienentää katoksen viereistä tuulisuutta jalkakäytävällä noin puoleen. Numeroarvoina tämä tarkoittaisi sitä, että yleinen viihtyvyyden suuruusluokkakriteeri keskituuli > 5 m/s vähemmän kuin 5 % ajasta täytyisi, ja kävelyn vaikeaksi tekevien tuulien (puuskatuuli > 16 m/s) toistuminen vähenisi 5 päivästä vuodessa puoleen.

Yleisesti katutasosta pystysuoraan nousevien seinien alaosa tulisi suojata tuulisuuden suhteen ainakin sisäänkäyntien osalta, ja näiden osoittamista asemakaavassa voitaisiin harkita.

# 1 Johdanto

Ympäristöään selvästi korkeampien rakennusten aiheuttamaa tuulisuuden kasvua katutasossa voidaan tapauskohtaisesti yrittää hallita arkkitehtonisten lisärakenteiden avulla. Näitä käytetään erityisesti kohdissa, jossa toimintoja ei voida siirtää muualle, ja joissa jalankulkijoiden kulkua ei voida rajoittaa; esim. rakennusten sisääntulot, kattoterassit ja jalkakäytävät liiketilojen näyteikkunoiden vieressä. Arkkitehtonisten lisärakenteiden tarpeellisuuteen vaikuttaa mm. alueen yleinen tuulisuus sekä tavoitteellinen viihtyvyyden taso.

Tuulisuuden kasvu ympäristöään korkeamman rakennuksen vierustassa ja katolla voidaan pelkistää johtuvaksi kolmesta vaikutusmekanismista (kuva 1): i) seinää pitkin alaspäin suuntautuva virtaus, ii) kulman ohi kiertävä virtaus ja iii) katon yli kiertävä virtaus. Lisäksi muista korkeista rakennuksista, porttikongeista, ja kaduista voi syntyä tunnelointivaikutuksia ja paikallisia virtauksia.



*Kuva 1: Periaatekuva ympäristöään korkeamman rakennuksen vaikutuksesta ilmapirtaukseen.*

Seinää pitkin alaspäin suuntautuvaan virtaukseen voidaan vaikuttaa esim. katoksilla, sisennyksillä, käyttämällä levennettyä alaosa rakennuksessa ja istutuksilla. Ongelmallisimmissa tapauksissa voidaan koko (piha)alue kattaa katoksella tai jalankulku ohjata umpinaiseen putkeen. Kulman ohi ja katon yli kiertävään virtaukseen voidaan vaikuttaa esim. aidoilla.

Tämä raportti täydentää Keski-Pasilan asemakaavoitusvaiheen tuulisuuskartoitusta [1] kattoterassien ja muutaman tavanomaisen tuulisuuden pienentämiseen tarkoitetun suunnitteluratkaisun tarkemmalla tutkimuksella tuulitunnelikokeen avulla. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää:

- ovatko korkeimpien tornien kattorassit toteutettavissa tuulisuuden suhteen
- miten tornien vierusta tuulisuuteen voidaan vaikuttaa suunnitteluvaihtoehdoilla.

## 2 Tuulitunnelikoe

### 2.1 Koejärjestely

Kokeet on suoritettu Espoon Otaniemessä sijaitsevassa suurikokoisessa rajakerros-tyyppisessä tuulitunnelissa. Tuulitunneli on sama kuin tuulisuus-kartoituksessa käytetty [1].

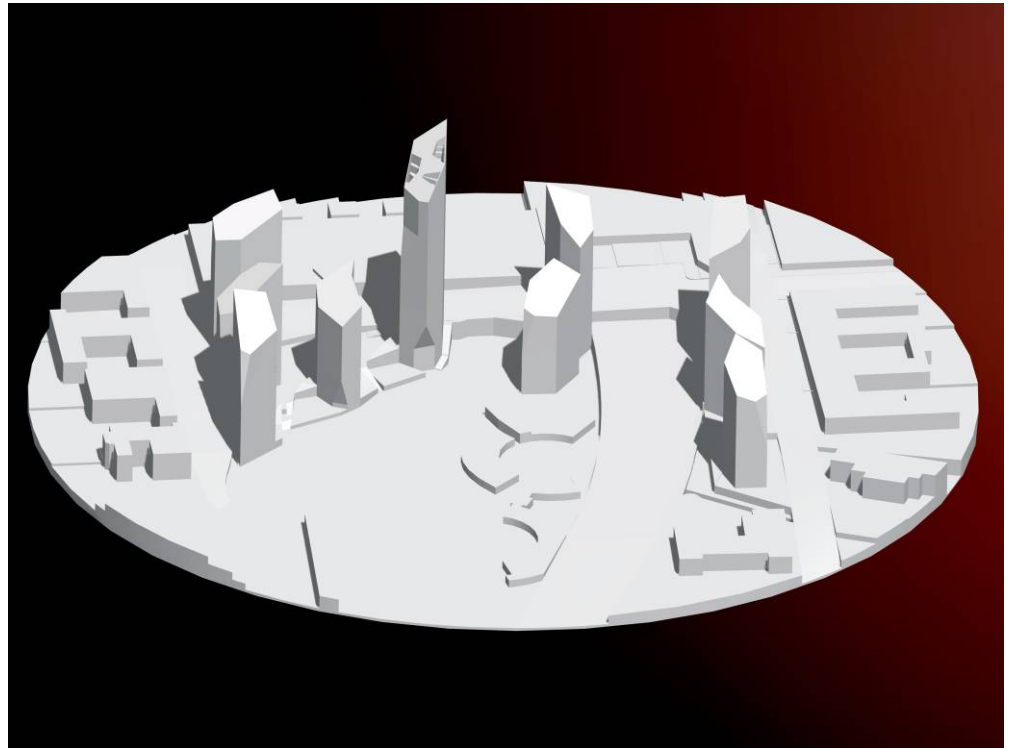
Koetta varten on tehty pienoismalli 1:250 viitesuunnitelman 3D mallin pohjalta. Tornien ja niiden viereisen maaston geometria vastaa viitesuunnitelman mallia. Mallin reunalle on lisätty olemassa olevia rakennuksia ja maastonmuotoja tuulitunnelikokeen tarpeita varten.

Malli on kaiverrettu automaattisesti laaditusta aineistosta (kuva 2). Korkeimman tornien kattoterassit on mallinnettu viitesuunnitelman tietojen perusteella. Viitesuunnitelma ei sisällä näistä tarkkoja mittatietoja.

Pienoismallin reunalle on lisätty sovituspalat siten, että pienoismallin reunat eivät aiheuta häiriötä virtaukseen.

Yleiskuva koejärjestelystä on esitetty kuvassa 3.

Virtausnopeuden mittaukset on suoritettu kuumalanka-anemometrillä mallin yläpuolelta käsin (kuva 4).



*Kuva 2: Pienoismallin kaiverrusaineisto.*





*Kuva 3: Yleiskuva koejärjestelystä.*



*Kuva 4: Kuumalanka-anemometrin kiinnitys kattoterassien mittauksessa.*



Tulovirtauksen rajakerros vastaa standardi-maastokuokan  $z_0 = 0,05$  m olo-suhteita, missä  $z_0$  = maaston karheusparametri (SFS-EN1991-1-4:2005 maastoluokka II).

Tuulitunnelikokeen virhetarkastelu ja rajakerroksen mittaustulokset on esitetty liitteessä 1.

Suhteelliset tuulennopeudet on laskettu mittaustuloksen ja referenssipisteen virtausnopeuden suhteena. Referenssipisteenä on käytetty tulovirtauksen puolella olevaa tasaisen maaston pistettä. Suhteen määrittämisessä käytetyt virtausnopeudet on määritetty samalla korkeudella alla olevan maan pinnasta. Käytetty korkeus on

- 1,75 m täydessä mittakaavassa, katutason mittauspisteet
- 1,50 m täydessä mittakaavassa, katuterassien mittauspisteet.

Tuloksena esitetyt suhteelliset tuulennopeudet ovat koejärjestelyiden erojen puitteissa suoraan verrattavissa tuulisuuskartoituksen [1] mittaustuloksiin.

Tuulitunnelikokeessa käytetty virtausnopeus on n. 4 m/s referenssipisteessä. Näytteenottotaajuus = 1 kHz (tuhat mittausta sekunnissa) ja mittausaika yhtä pistettä ja tuulen kulmaa kohden = 30 s. Virtausnopeuden aikahistoriat on suodatettu 460 Hz alipäästösuodatuksella ennen niiden käsittelyä. Suodatus vaikuttaa siten, että virtausnopeuden hetkittäiset huippuarvot vastaavat n. 0,3 s keskiarvon ottoaikaa todellisessa tuulessa.

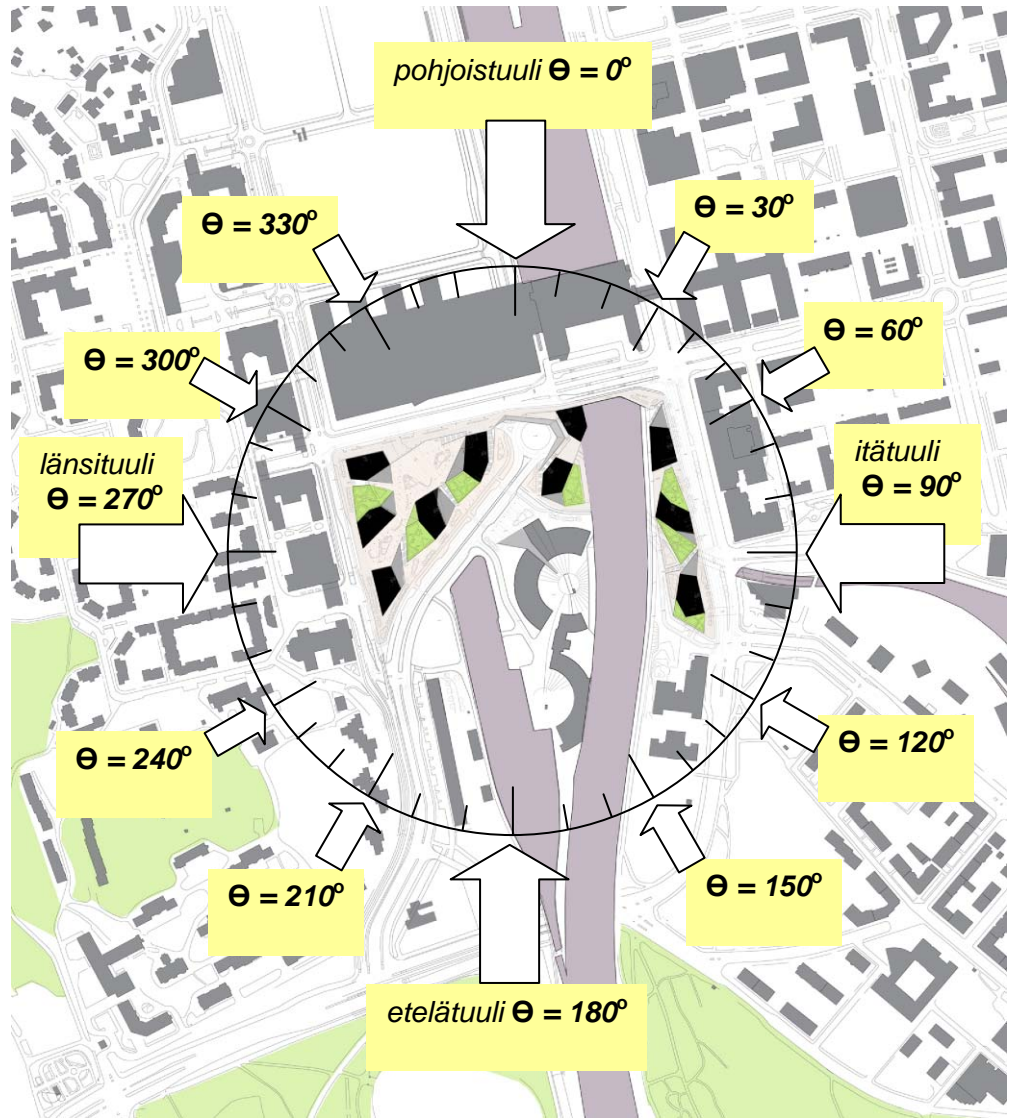
## 2.2 Koeohjelma ja mittauspisteet

Mitattuja tuulensuuntia on 36 (kaikki suunnat 10 asteen välein, kuva 5). Mittauspisteet sijaitsevat korkeimman tornin yhteydessä.

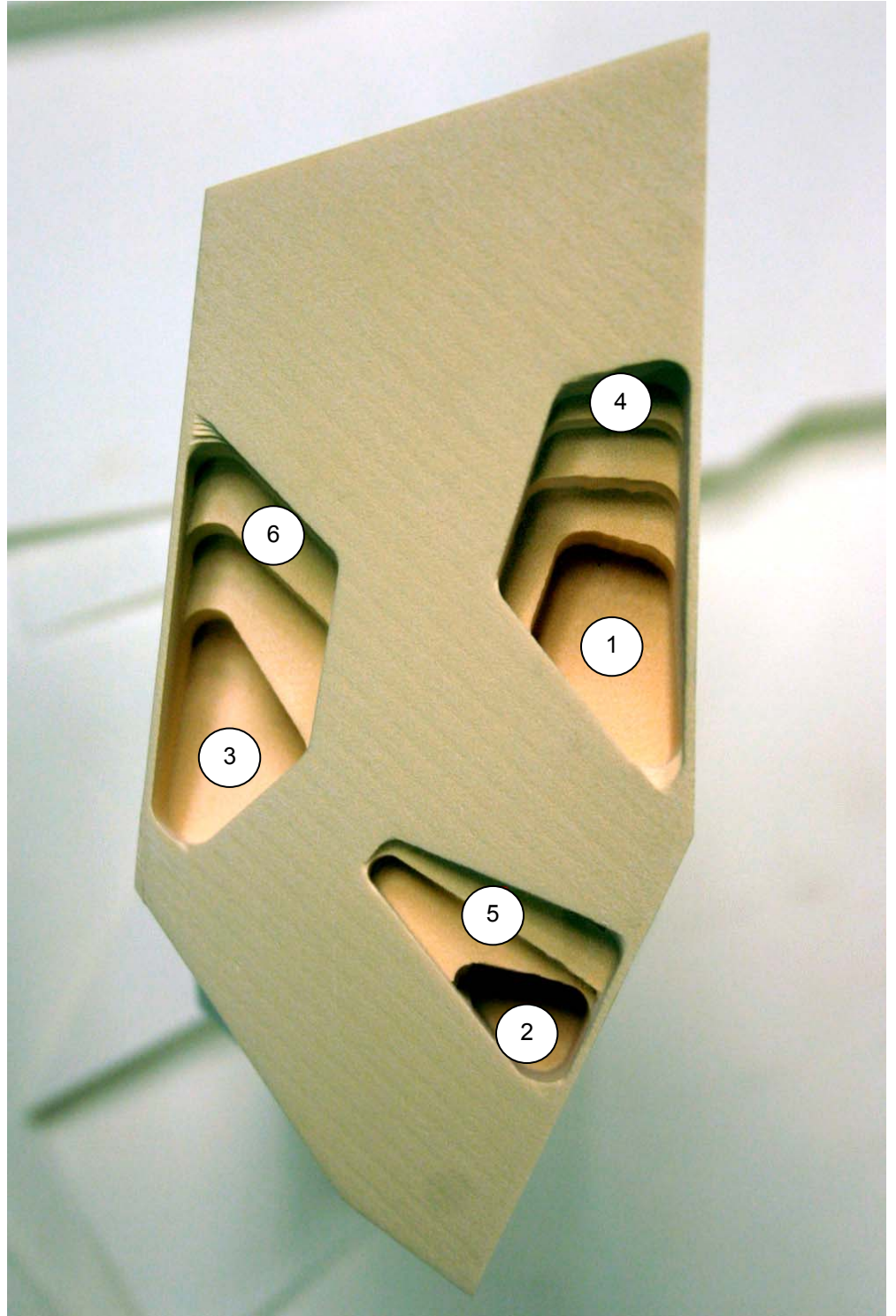
Kattoterassien mittauspisteet on esitetty kuvassa 6. Tornin alaosan tuulisuutta on tutkittu kolmella eri vaihtoehdolla:

- a viitesuunnitelman mukainen vaihtoehto
- b kuten a, mutta tornin alaosan sisennys on poistettu
- c kuten a, mutta tornin alaosaan on tehty katos sisäänkäyntien suojaamiseksi.

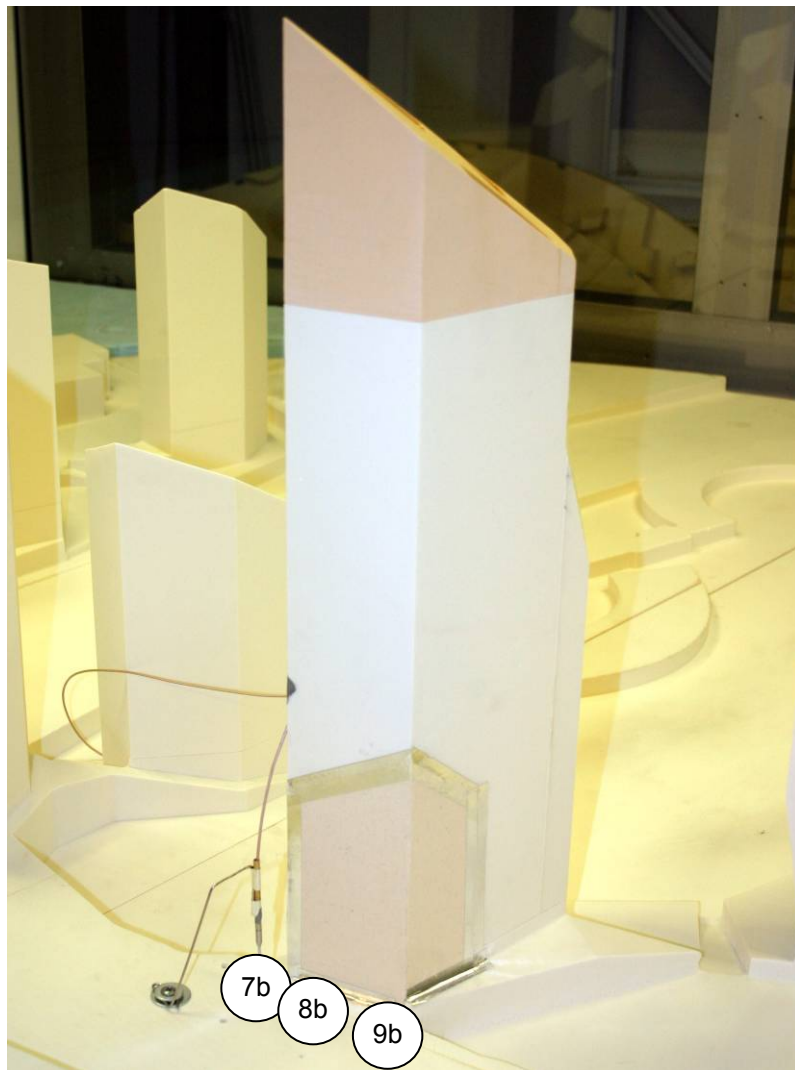
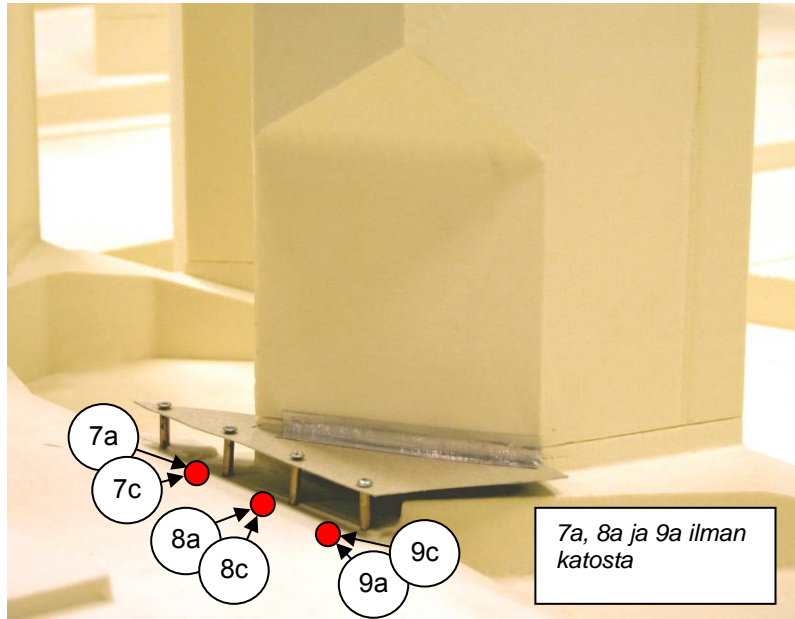
Tornien alaosan mittauspisteet on esitetty kuvassa 7.



Kuva 5: Tuulensuuntien koordinaatisto.



*Kuva 6: Kattoterassien mittauspisteet.*



*Kuva 7: Tornin alaosan mittauspisteet.*

## 2.3 Tuulitunnelikokeen tulokset

Kattoterassien ja tornin alaosan suhteelliset tuulennopeudet on esitetty, vastaavasti, kuvissa 8 ja 9. Numeeriset arvot on esitetty liitteessä 2. Kattoterassien osalta on esitetty kaksi suhteellisen puuskanopeuden arvoa:

- maksimituuli  $U_{maks}$ : tuulitunnelikokeessa mitattu huippuarvo, joka vastaa n. 0,3 s huippuarvoa luonnon tuulessa
- puuskatuuli  $U_g$ : tuulisuuskartoituksessa [1] käytetty määrittely, jossa puuskanopeus lasketaan kaavasta

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

missä

$U_h$  = tuulen keskinopeus

$g = 3,5$

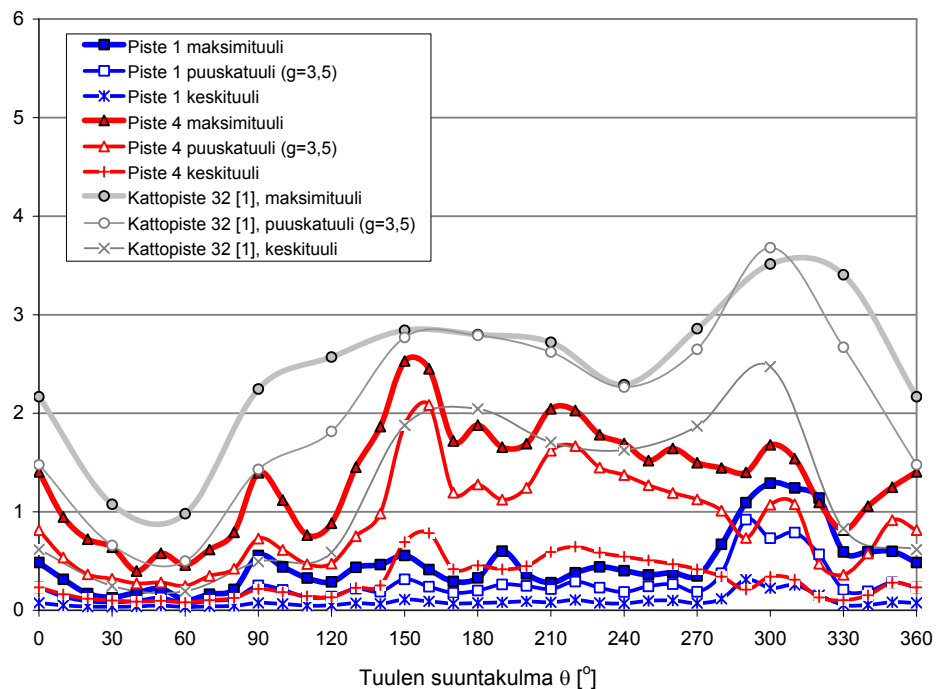
$u$  = nopeuden keskihajonta (kirjallisuudessa yleensä r.m.s. nopeus)

$l$  = turbulenssin intensiteetti laskettuna kaavalla  $l = u/U_h$

Näistä maksimituuli  $U_{maks}$  kuvaa paremmin hetkittäisiä huippuarvoja mitoiltaan ”rajallisissa” kattoterasseissa, toisin sanoen kattorassiin mahtuu tietyn kokoinen virtauksen hallitseva pyörre, joka on mitoiltaan pienempi kuin katon päällä hallitsevat pyörteet.

Tulosten tulkinnassa voidaan käyttää apuna liitteen 3 tuulen suuntakulmien havainnekuvia.

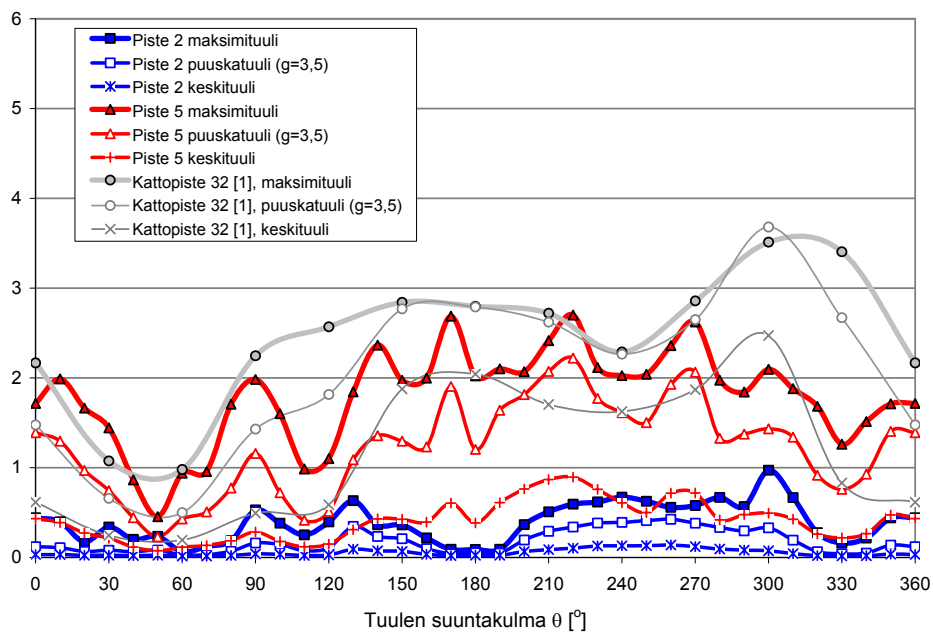
Suhteelliset tuulennopeudet: kattoterassit: pisteet 1 ja 4



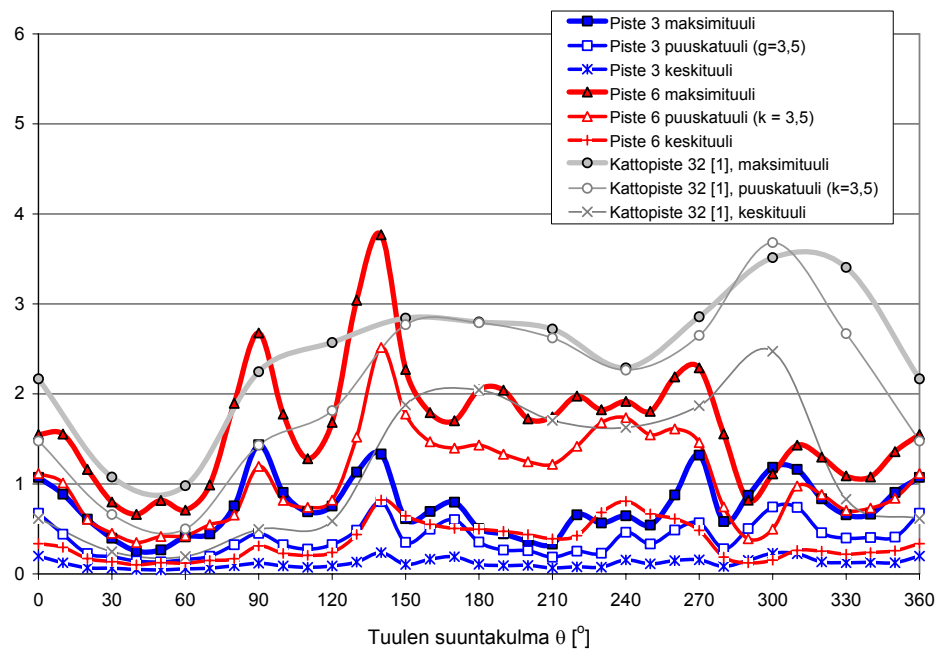
Kuva 8a: Kattoterassien mittauspisteet 1 ja 4.



Suhteelliset tuulennopeudet: kattoterassit: pisteet 2 ja 5

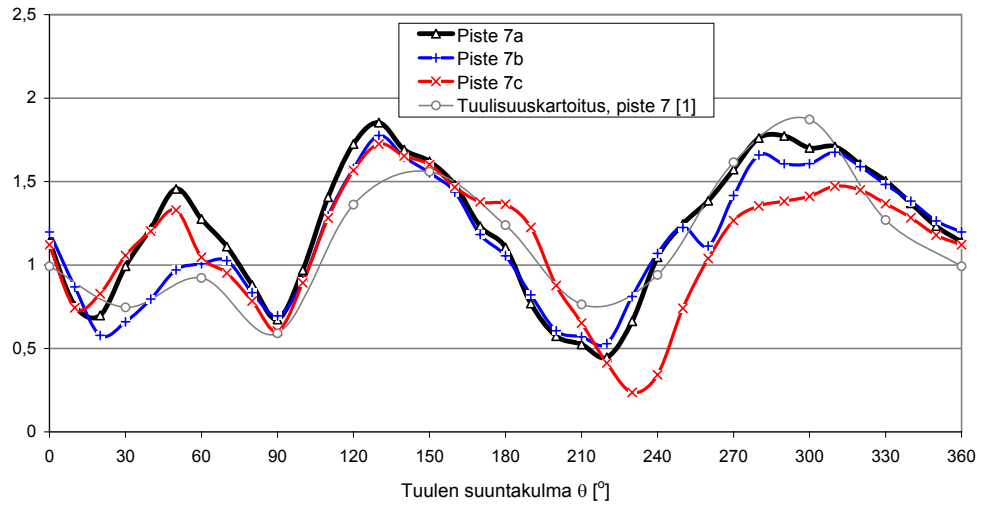


Suhteelliset tuulennopeudet: kattoterassit: pisteet 3 ja 6

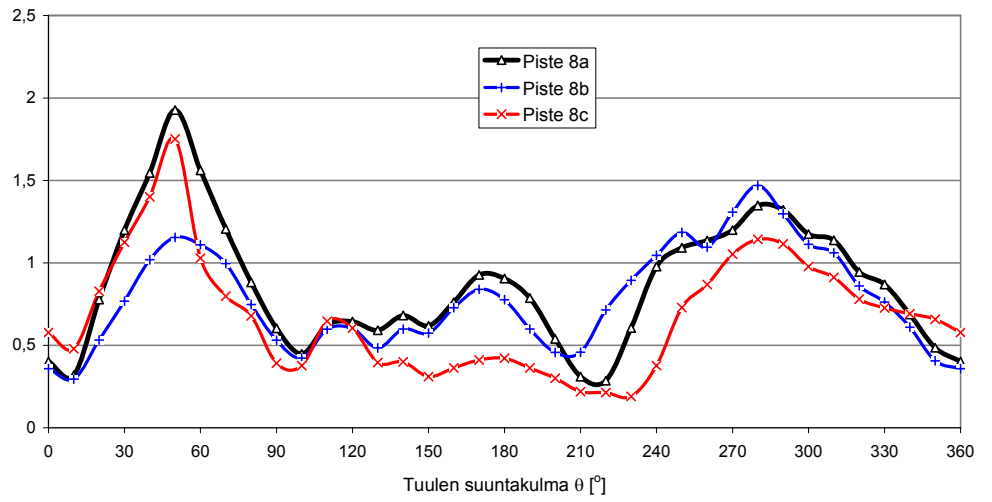


Kuva 8b: Kattoterassien mittauspisteet 2 ja 5 sekä 3 ja 6.

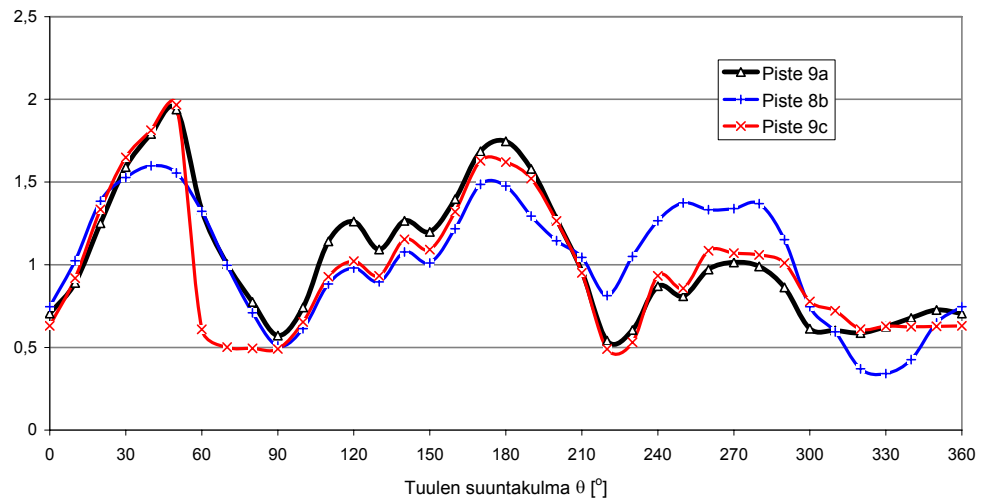
Pisteet 7a, 7b ja 7c: suhteellinen keskituuli  $U_H/U_{ref}$



Pisteet 8a, 8b ja 8c: suhteellinen keskituuli  $U_H/U_{ref}$

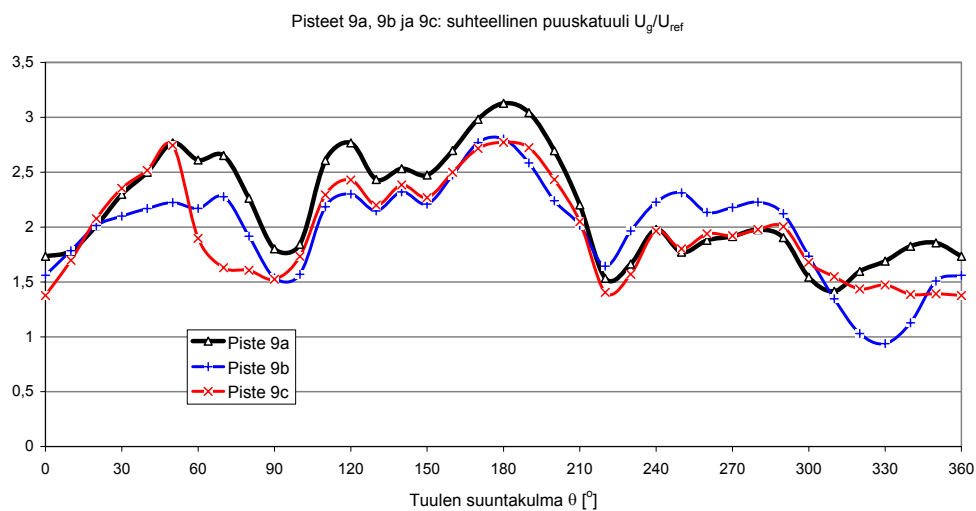
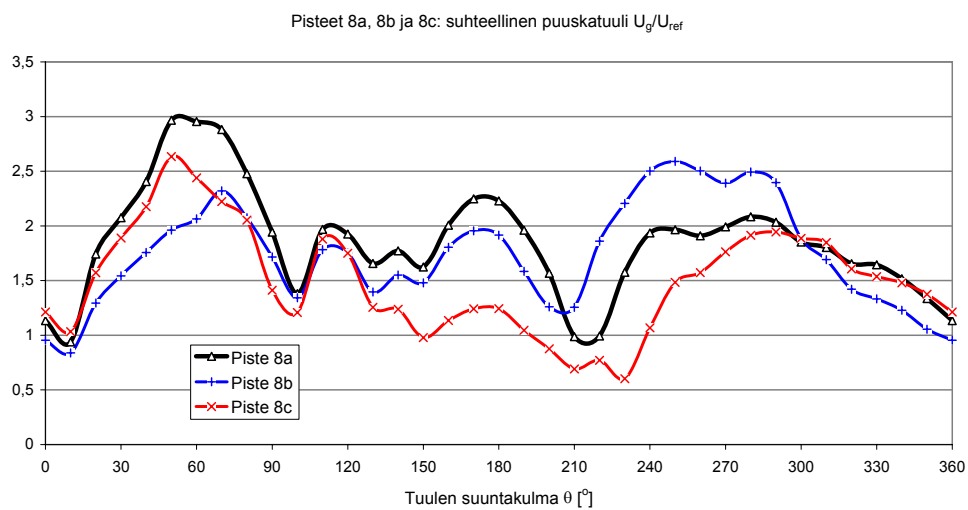
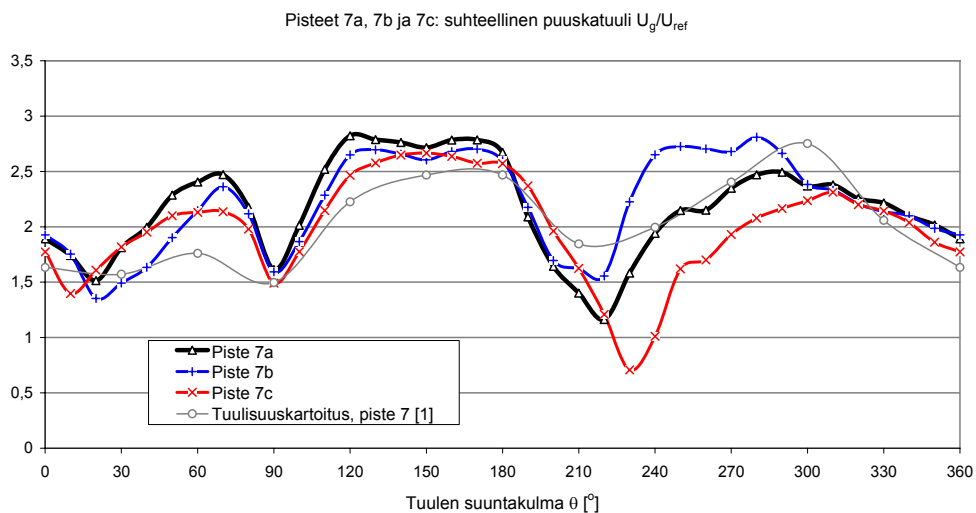


Pisteet 9a, 9b ja 9c: suhteellinen keskituuli  $U_H/U_{ref}$



Kuva 9a: Suhteelliset keskituulet tornin juuren mittauspisteissä.





Kuva 9b: Suhteelliset puuskatuulet tornin juuren mittauspisteissä.

### 3 Tuulisuus tarkastelupisteissä

Tuulitunnelikokeen tulosten mukaan on suoritettu tuulisuuskartoitus lähdeä [1] vastaten. Tulokset on esitetty taulukoissa 1-3. Kattorassien osalta on tarkastelussa käytetty maksimituulta  $U_{max}$  puuskatuulen  $U_g$  sijaan, joka antaa paremman kuvan lyhytkestoisten puuskien vaikutuksesta. Katutason pisteissä  $U_{max}$  ja  $U_g$  antavat suurin piirtein saman tuloksen, ja näiden osalta on käytetty puuskatuulta  $U_g$ .

Taulukko 1: Tuulisuus mittauspisteissä:  $U_h > 5$  m/s

Keskiarvokriteeri 5 m/s				$P_E$	Kesäkausi		$P_E$
Piste	hh/vuosi	hh/kk	hh/vk	todennäk.	Piste	hh/kk	todennäk.
1	0,00	0,00	0,00	0,0 %	1	0,0	0,0 %
2	0,00	0,00	0,00	0,0 %	2	0,0	0,0 %
3	0,00	0,00	0,00	0,0 %	3	0,0	0,0 %
4	0,82	0,07	0,02	0,0 %	4	0,0	0,0 %
5	1,87	0,16	0,04	0,0 %	5	0,0	0,0 %
6	4,09	0,34	0,08	0,0 %	6	0,1	0,0 %
7a	562	46,9	10,8	6,4 %	7a	29,1	4,0 %
7b	444	37,0	8,5	5,1 %	7b	21,1	2,9 %
7c	387	32,2	7,4	4,4 %	7c	17,4	2,4 %
8a	222	18,5	4,3	2,5 %	8a	17,5	2,4 %
8b	129	10,8	2,5	1,5 %	8b	7,8	1,1 %
8c	70	5,9	1,4	0,8 %	8c	5,0	0,7 %
9a	197	16,4	3,8	2,2 %	9a	10,6	1,5 %
9b	215	17,9	4,1	2,5 %	9b	12,5	1,7 %
9c	180	15,0	3,5	2,1 %	9c	11,6	1,6 %

Kriteeri: kun  $P_E > 5$  % on tuulisuus yleisesti epäviihtyisää.

Taulukko 2: Tuulisuus mittauspisteissä: kriteerit  $U_g > 10$  m/s ja  $U_g > 13$  m/s

A-kriteeri

Ug > 10 m/s		Kesäkausi				
Piste	hh/vuosi	hh/kk	hh/vk	Piste	hh/kk	hh/vk
1	0,2	0,0	0,0	1	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	2	0,0	0,0
3	0,3	0,0	0,0	3	0,0	0,0
4	22,9	1,9	0,4	4	0,3	0,036 %
5	94,1	7,8	1,8	5	3,3	0,459 %
6	174,7	14,6	3,4	6	5,7	0,782 %
7a	295	24,5	5,7	7a	11,1	1,525 %
7b	309	25,7	5,9	7b	14,0	1,919 %
7c	119	9,9	2,3	7c	4,0	0,542 %
8a	134	11,1	2,6	8a	9,3	1,276 %
8b	123	10,3	2,4	8b	6,6	0,900 %
8c	41	3,4	0,8	8c	2,4	0,323 %
9a	203	17,0	3,9	9a	7,5	1,022 %
9b	160	13,3	3,1	9b	6,5	0,896 %
9c	141	11,7	2,7	9c	5,2	0,709 %

A-kriteeri: kun  $P_E > 0,025$  % on tuulisuus epävihtyisää pitkäaikaisessa paikkoillaan olossa.

B-kriteeri

Ug > 13 m/s		Kesäkausi				
Piste	hh/vuosi	hh/kk	hh/vk	Piste	hh/kk	hh/vk
1	0,0	0,0	0,0	1	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	2	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	3	0,0	0,0
4	4,3	0,4	0,1	4	0,0	0,004 %
5	24,2	2,0	0,5	5	0,6	0,088 %
6	45,4	3,8	0,9	6	0,7	0,103 %
7a	58,7	4,9	1,1	7a	1,4	0,194 %
7b	68,4	5,7	1,3	7b	2,4	0,335 %
7c	21,7	1,8	0,4	7c	0,2	0,027 %
8a	22,8	1,9	0,4	8a	1,8	0,243 %
8b	37,6	3,1	0,7	8b	1,4	0,186 %
8c	4,8	0,4	0,1	8c	0,2	0,032 %
9a	27,6	2,3	0,5	9a	0,6	0,081 %
9b	19,6	1,6	0,4	9b	0,3	0,038 %
9c	15,5	1,3	0,3	9c	0,2	0,033 %

B-kriteeri: kun  $P_E > 0,025$  % on tuulisuus epävihtyisää lyhytaikaisessa paikkoillaan olossa.

Taulukko 3: Tuulisuus mittauspisteissä: kriteerit  $U_g > 16 \text{ m/s}$  ja  $U_g > 23 \text{ m/s}$

C-kriteeri

$U_g > 16 \text{ m/s}$

Piste	hh/vuosi	hh/kk	hh/vk	$P_E$ todennäk.
1	0,00	0,00	0,00	0,000 %
2	0,00	0,00	0,00	0,000 %
3	0,00	0,00	0,00	0,000 %
4	0,77	0,06	0,01	0,009 %
5	3,34	0,28	0,06	0,038 %
6	11,55	0,96	0,22	0,132 %
7a	10,1	0,84	0,19	0,115 %
7b	17,5	1,46	0,34	0,199 %
7c	5,3	0,44	0,10	0,061 %
8a	3,8	0,32	0,07	0,044 %
8b	10,4	0,87	0,20	0,119 %
8c	0,5	0,04	0,01	0,005 %
9a	5,2	0,44	0,10	0,060 %
9b	4,8	0,40	0,09	0,055 %
9c	2,7	0,23	0,05	0,031 %

C-kriteeri: kun  $P_E > 0,025 \%$  on kävely yleisesti epävihtyisää.

D-kriteeri

$U_g > 23 \text{ m/s}$

Piste	hh/vuosi	hh/kk	hh/vk	$P_E$ todennäk.
1	0,00	0,00	0,00	0,000 %
2	0,00	0,00	0,00	0,000 %
3	0,00	0,00	0,00	0,000 %
4	0,00	0,00	0,00	0,000 %
5	0,01	0,00	0,00	0,000 %
6	0,77	0,06	0,01	0,009 %
7a	0,5	0,04	0,01	0,006 %
7b	0,5	0,04	0,01	0,006 %
7c	0,2	0,01	0,00	0,002 %
8a	0,0	0,00	0,00	0,000 %
8b	0,1	0,01	0,00	0,001 %
8c	0,0	0,00	0,00	0,000 %
9a	0,3	0,03	0,01	0,004 %
9b	0,0	0,00	0,00	0,000 %
9c	0,1	0,01	0,00	0,001 %

D-kriteeri: kun  $P_E > 0,025 \%$  on tuulisuus vaarallisen kovaa ja tavoitteellinen kävely hankalaa.

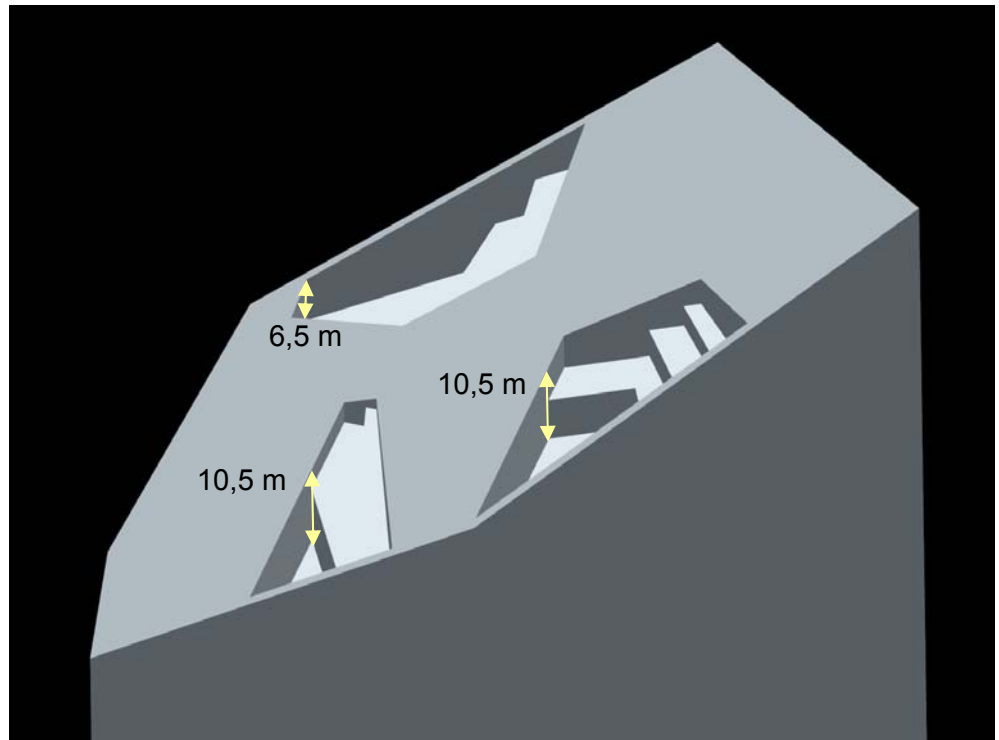
## 4 Tulosten ohjeellinen tulkinta

### 4.1 Kattoterassit

Tutkitut kolme kattoterassia korkeimman tornin huipulla vaimentavat selvästi keskituulia johtuen seinän suojaavasta vaikutuksesta. Tämä ei kuitenkaan takaa tuulisuuden suhteen vielä miellyttävää ympäristöä, koska tulosten mukaan terassien tuuli on puuskaista ja pyörteistä. Tietyistä tuulensuunnista lyhytaikaisia huippuarvoja (n. 0,3 s määrittämisajalla luonnon tuulessa) voi esiintyä samalla voimakkuudella kuin tornien katon päällä. Keskimäärin tuulisuus on kattoterasseilla enimmillään noin kolmasosa katon päällä vallitsevasta tuulisuudesta.

Lyhytkestoisten tuulenpuuskien osuus viittaa siihen että terasseille mahtuu yksi tai useampia hallitsevia pyörteitä, joiden koko on samaa suuruusluokkaa terassin mittojen kanssa. Näiden pienempien pyörteiden johdosta tuulisuus on erityyppistä kuin katutasossa.

Kattoterassit on jaettu 3 tai 4 kerrokseen, ja joista tulosten mukaan alin lattiataso on tuulisuuteen liittyvän viihtyvyyden suhteen selvästi parempi kuin ylin. Lyhytaikaisen oleskelun suhteen (B-kriteeri, kesäkausi) ylin lattiataso ei ole viihtyisä, mutta alin on. Alimman lattiatason korkeus katosta on esitetty kuvassa 10. Tuloksen mukaa kattorassin voi tuulisuuden suhteen olla viihtyisä, jos suojaavan seinän korkeus on n. 6 m tai korkeampi.

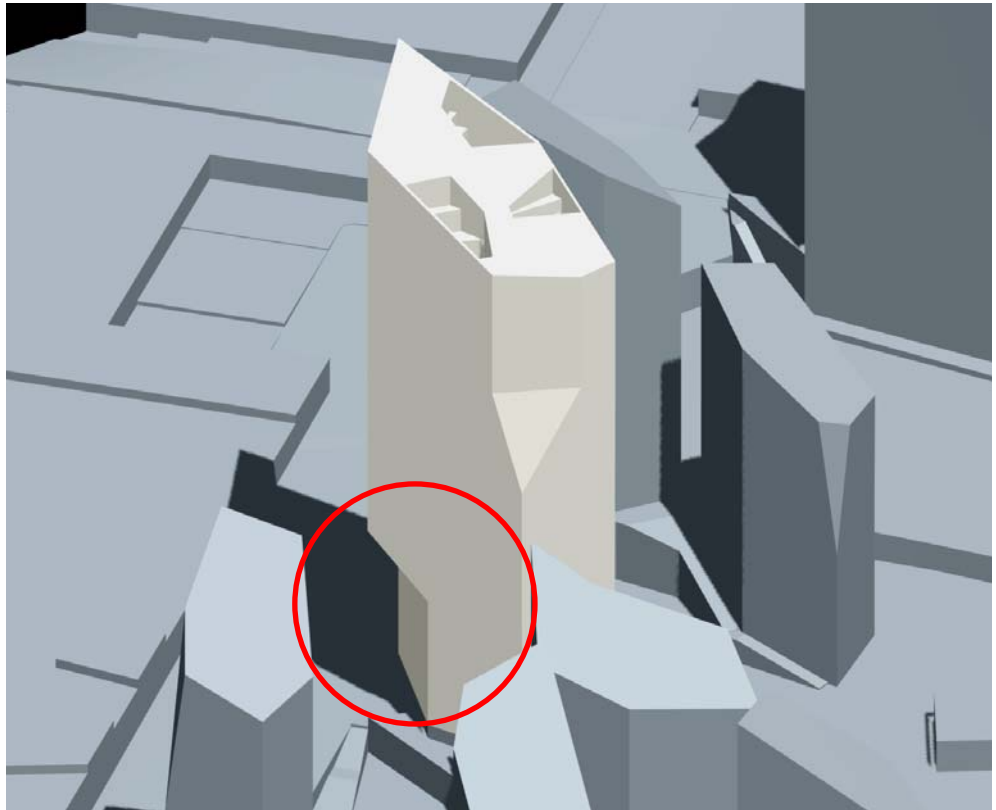


*Kuva 10: Tutkimuksessa käytetty kattorassien alimman lattian taso suhteessa kattoon.*

Tulokset vaihtelevat terassista toiseen, ja jos kattoterassien käyttöön päädytään, tulisi niiden tuulisuus tarkastaa tarkennettujen suunnitelmien pohjalta.

## 4.2 Tornin alaosan suunnitteluratkaisut

Kuvan 11 mukainen sisennys ei kokonaisuutena merkittävästi vaikuta tuulisuuteen Pasilan sillan jalkakäytävällä. Kuvan 11 mukaisesta tuulensuunnasta sisennys pienentää tuulisuutta ja lisää muilla tuulen suunnilla. Viiste siirtää kulman kiertävän virtauksen kauemmaksi sillan jalkakäytävästä.



*Kuva 11: Tutkittu sisennys (ympyröity) katsottuna tuulen suuntakulmasta 240° käsin: tuulen suunta kuvan tasosta alhaalta ylös.*

Tutkittu katos pienentää tuulisuutta kauttaaltaan (kaikista tuulensuunnista) Pasilan sillalla. Sen lisäksi katos suojaa sen alle jäävät sisäänkäynnit. Tuulisuus on katoksen vieressä jalkakäytävällä 40...50 % viitesuunnitelman mukaisesta tuulisuudesta. Puuskatuulennopeuksissa tämä vastaa n. 8 % alenemaa. Tätä ei voi pitää erityisen merkittävänä ja katoksen tärkein toiminnallisuus on siten sisäänkäyntien suojaaminen. Katos ei esim. poista kulman ohi kiertävän virtauksen vaikutusta etelätuulissa ( $\theta = 180$ , liite 3). Tähän voitaisiinkin vaikuttaa paremmin sillan kaiteella.

Tutkimuksessa käytetty katoksen korkeus on 4,5 m alla olevan maan pinnasta.

## 5 Yhteenveto ja johtopäätökset

- Tämä raportin mukaisessa tutkimuksessa on selvitetty tuulitunnelikokeen avulla Keski-Pasilan asemakaavan viitesuunnitelman mukaisia suunnitelmadetaljeja tuulisuuden suhteen. Tutkimus on kohdistettu korkeimman tornin kattoterasseihin ja alaosan detaljeihin
- tulosten mukaan kattoterassit ovat tuulisuuden suhteen toteutuskelpoisia, jos terassia suojaavan seinän korkeus on n. 6 m tai korkeampi. Tätä ylemmillä terassin lattiatasoilla tulee varautua kovien tuulien aiheuttamiin käyttökatkoihin ja varoitusjärjestelmiin. Jos kattorasseihin päädytään, niiden tuulisuus tulisi tarkastaa tarkennettujen suunnitelmien mukaan vastaavissa myöhemmissä suunnitteluvaiheissa
- tornien alaosan loiva ja korkea viiste ei merkittävästi vaikuta tuulisuuteen Pasilan sillalla
- Pasilan sillan viereisten tornien alaosaan rakennettavilla katoksilla voitaisiin suojata sisääntulot ja pienentää katoksen viereistä tuulisuutta jalakäytävällä noin puoleen. Numeroarvoina tämä tarkoittaisi sitä, että yleinen viihtyvyyden suuruusluokkakriteeri keskituuli  $U_h > 5$  m/s vähemmän kuin 5 % ajasta täyttyisi, ja kävelyn vaikeaksi tekevien tuulien (puuskatuuli  $U_g > 16$  m/s) toistuminen vähenisi 5 päivästä vuodessa puoleen
- Etelätuulen osalta Pasilan sillan kaideratkaisu tuo myös lisäsuojaa. Kai-teella ja katoksilla voitaisiin pienentää tornin aiheuttamaa yllättävää tuulisuuden kasvua ja siten parantaa mm. kevyen liikenteen turvallisuutta ja viihtyvyyttä
- yleisesti korkeiden rakennuksen suunnittelussa ei suoraan katutasosta nousevaa pystysuoraa seinää pidetä tuulisuuden suhteen hyvänä ratkaisuna. Vastaavien seinien sisäänkäynnit olisikin edullista suojata. Näiden osoittamista asemakaavassa voitaisiin harkita. Ovina voitaisiin käyttää pyöröovia tai muita vastaavia joiden toiminta kovissa tuulissa on turvattu.



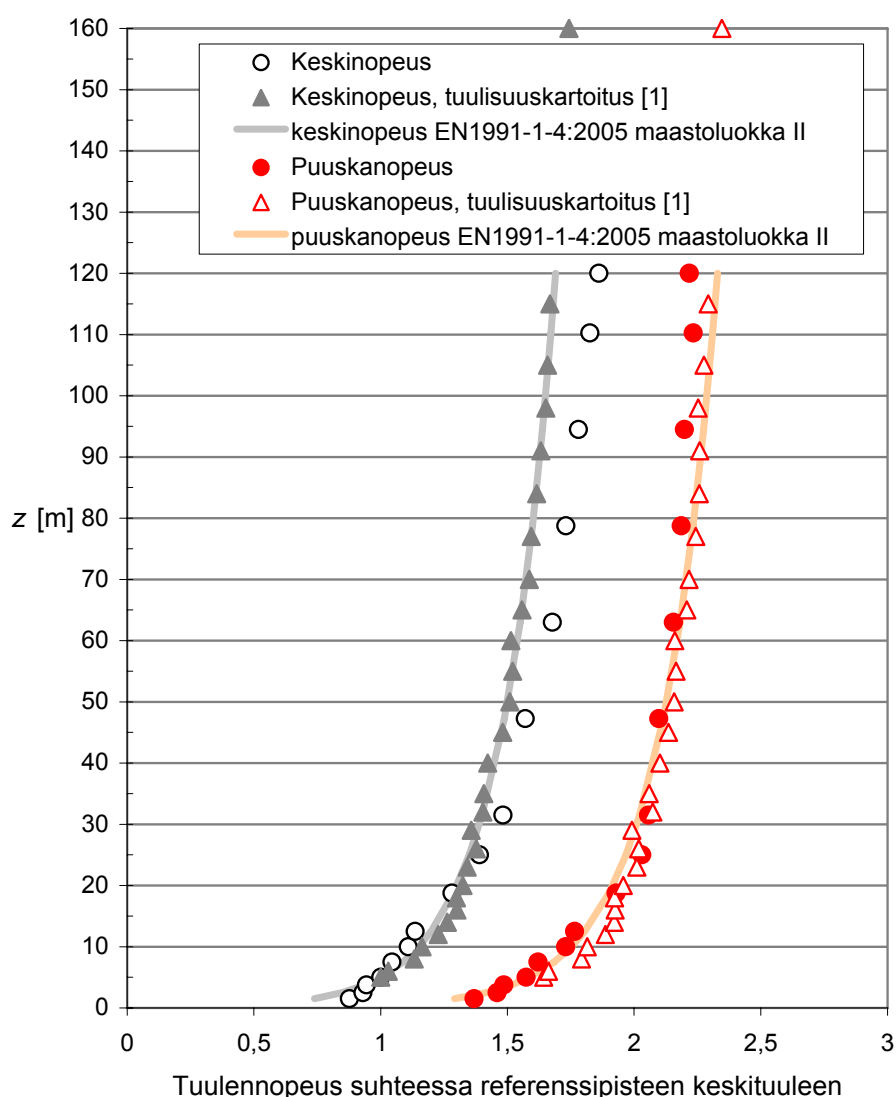
## Lähdeluettelo

1. Helsingin kaupunki, kaupunkisuunnitteluvirasto: Keski-Pasilan asema-kaavoitus, tuulisuuskartoitus, WSP Finland Oy, 2010, s. 52.
2. SFS-EN 1991-1-4:2005 Eurocode1: Rakenteiden kuormat. Yleiset kuormat. Osa 1-4: tuulikuormat. 255 s. & Kansallinen liite NA SFS-EN1991-1-4 (15.10.2007).

## Liite 1 Tuulitunnelikokeen virhetarkastelu

Tuulitunnelikoe on suoritettu pääasiassa suhteellisten erojen löytämiseksi eri suunnitteluratkaisujen välillä. Näiden osalta tuulitunnelikokeen mahdollisilla virheillä ei ole merkitystä, ja ne voidaan jättää ottamatta huomioon tulosten tulkinnassa.

Tuulisuuden absoluuttisten arvojen tarkastelussa on otettava huomioon tulovirtauksen turbulenssin ominaisuudet. Kuvassa 8 on esitetty tuulennopeuden korkeusprofiili verrattuna tuulisuuskartoituksen [1] korkeusprofiiliin. Näissä kokeissa on eri geometrinen mittakaava (vastaavasti, 1:250 ja 1:1000). Kuvan 8 mukaisesti, tornien huippujen tasolla keskituulet ovat suurempia ja puuskatuulet hieman pienempiä.



Kuva 7: tulovirtauksen tuulennopeuden korkeusprofiilien vertailu.

Jotta tämän raportin tuulisuustulokset olisivat suoraan verrattavissa tuulisuuskartoituksen [1] tuloksiin, on suhteelliset tuulennopeudet kerrottu korjauskertoimilla:

kattoterassit (pisteet 1-6)

$k_m = 0,92$ ; keskituuleen perustuvat kriteerit

$k_g = 1,05$ ; puuskatuuleen perustuvat kriteerit

tornin alaosa (pisteet 7-9)

$k_m = 0,92$ ; keskituuleen perustuvat kriteerit

$k_g = 0,92$ ; puuskatuuleen perustuvat kriteerit.



Heilahteluopeuden vaakakomponentin turbulenssin intensiteetti  $u/U_{10}$

Piste	Tuulen suuntakulma (°)																																			
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350
1	0.49	0.39	0.31	0.28	0.34	0.38	0.25	0.30	0.37	0.56	0.51	0.41	0.39	0.47	0.44	0.43	0.37	0.36	0.38	0.52	0.40	0.38	0.41	0.48	0.37	0.35	0.37	0.35	0.52	0.45	0.53	0.48	0.64	0.66	0.60	0.58
2	0.63	0.54	0.42	0.50	0.47	0.54	0.17	0.19	0.46	0.71	0.73	0.53	0.67	0.64	0.49	0.47	0.41	0.22	0.25	0.20	0.45	0.54	0.53	0.46	0.46	0.49	0.50	0.60	0.62	0.82	0.85	0.50	0.30	0.35	0.62	
3	0.57	0.61	0.55	0.48	0.45	0.47	0.42	0.49	0.61	0.67	0.64	0.66	0.64	0.64	0.56	0.55	0.47	0.50	0.54	0.42	0.40	0.42	0.52	0.48	0.46	0.46	0.54	0.62	0.56	0.55	0.52	0.54	0.57	0.51	0.51	0.53
4	0.59	0.54	0.49	0.51	0.48	0.45	0.48	0.57	0.56	0.55	0.52	0.61	0.54	0.69	0.39	0.38	0.43	0.42	0.39	0.41	0.40	0.36	0.33	0.34	0.34	0.35	0.39	0.45	0.59	0.50	0.58	0.62	0.59	0.66	0.53	
5	0.51	0.55	0.60	0.58	0.67	0.48	0.65	0.65	0.75	0.73	0.72	0.59	0.57	0.59	0.50	0.48	0.50	0.50	0.50	0.39	0.31	0.31	0.33	0.33	0.38	0.47	0.39	0.43	0.51	0.44	0.44	0.50	0.59	0.58	0.59	0.46
6	0.54	0.57	0.61	0.54	0.57	0.56	0.60	0.63	0.68	0.68	0.62	0.61	0.58	0.58	0.48	0.40	0.38	0.41	0.44	0.42	0.43	0.49	0.55	0.33	0.25	0.29	0.37	0.47	0.71	0.51	0.53	0.65	0.59	0.52	0.48	0.53
7a	0.19	0.27	0.33	0.24	0.18	0.16	0.25	0.35	0.42	0.4	0.31	0.23	0.18	0.14	0.18	0.19	0.25	0.36	0.41	0.49	0.53	0.48	0.46	0.4	0.24	0.21	0.16	0.14	0.12	0.12	0.11	0.11	0.12	0.14	0.15	0.18
7b	0.17	0.29	0.38	0.36	0.3	0.27	0.32	0.37	0.44	0.37	0.31	0.22	0.19	0.15	0.18	0.19	0.25	0.37	0.42	0.47	0.51	0.53	0.56	0.5	0.42	0.35	0.41	0.26	0.2	0.19	0.14	0.11	0.11	0.13	0.15	0.16
7c	0.17	0.25	0.27	0.21	0.18	0.17	0.3	0.36	0.44	0.42	0.28	0.19	0.16	0.14	0.17	0.19	0.23	0.25	0.25	0.27	0.35	0.43	0.55	0.57	0.56	0.34	0.18	0.15	0.15	0.16	0.17	0.16	0.15	0.16	0.17	0.17
8a	0.52	0.56	0.36	0.21	0.16	0.15	0.26	0.4	0.52	0.64	0.6	0.62	0.57	0.62	0.46	0.47	0.47	0.41	0.42	0.43	0.55	0.62	0.71	0.46	0.28	0.23	0.2	0.19	0.16	0.15	0.17	0.17	0.22	0.26	0.35	0.5
8b	0.48	0.53	0.41	0.29	0.21	0.2	0.25	0.38	0.51	0.64	0.62	0.57	0.55	0.54	0.45	0.42	0.38	0.42	0.47	0.5	0.5	0.46	0.42	0.4	0.34	0.37	0.24	0.2	0.24	0.2	0.17	0.19	0.21	0.29	0.46	
8c	0.31	0.33	0.26	0.19	0.16	0.14	0.39	0.51	0.58	0.74	0.63	0.55	0.54	0.62	0.6	0.62	0.61	0.58	0.56	0.54	0.55	0.62	0.75	0.62	0.52	0.3	0.23	0.19	0.19	0.21	0.27	0.29	0.3	0.32	0.33	0.31
9a	0.42	0.29	0.17	0.13	0.11	0.12	0.28	0.47	0.55	0.62	0.42	0.37	0.34	0.35	0.29	0.3	0.27	0.22	0.23	0.27	0.32	0.37	0.53	0.5	0.36	0.34	0.27	0.25	0.29	0.35	0.43	0.39	0.49	0.49	0.48	0.44
9b	0.31	0.21	0.13	0.11	0.1	0.12	0.18	0.37	0.49	0.58	0.45	0.42	0.39	0.4	0.33	0.34	0.3	0.25	0.26	0.29	0.27	0.29	0.25	0.22	0.2	0.17	0.18	0.18	0.24	0.38	0.36	0.51	0.5	0.47	0.38	
9c	0.34	0.24	0.16	0.12	0.11	0.11	0.16	0.47	0.42	0.39	0.31	0.26	0.19	0.2	0.23	0.26	0.33	0.53	0.56	0.32	0.32	0.32	0.23	0.23	0.25	0.28	0.23	0.25	0.28	0.33	0.33	0.39	0.38	0.35	0.35	

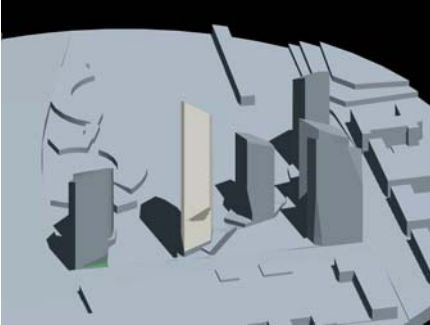
Suhteellisen tuulenopeuden maksimi ( $U_{maks}/U_{ref}$ )

Piste	Tuulen suuntakulma (°)																																				
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	
1	0.48	0.32	0.17	0.13	0.18	0.22	0.11	0.16	0.21	0.56	0.44	0.33	0.29	0.44	0.46	0.56	0.41	0.29	0.33	0.60	0.37	0.28	0.38	0.44	0.40	0.36	0.38	0.35	0.67	1.09	1.29	1.24	1.14	0.59	0.59	0.60	
2	0.44	0.40	0.17	0.34	0.20	0.24	0.06	0.12	0.19	0.53	0.38	0.25	0.40	0.63	0.36	0.36	0.22	0.09	0.09	0.09	0.37	0.51	0.59	0.62	0.67	0.63	0.56	0.67	0.57	0.97	0.67	0.28	0.16	0.22	0.44		
3	1.07	0.89	0.61	0.40	0.25	0.27	0.41	0.45	0.76	1.43	0.91	0.69	0.75	1.13	1.33	0.61	0.69	0.80	0.50	0.44	0.36	0.33	0.66	0.57	0.65	0.54	0.88	1.32	0.58	0.87	1.18	1.16	0.83	0.66	0.66	0.91	
4	1.41	0.95	0.72	0.64	0.40	0.58	0.46	0.62	0.79	1.39	1.12	0.76	0.88	1.45	1.86	2.53	2.45	1.72	1.88	1.65	1.69	2.05	2.03	1.78	1.69	1.52	1.64	1.50	1.44	1.40	1.68	1.54	1.10	0.81	1.06	1.25	
5	1.72	1.99	1.66	1.45	0.86	0.45	0.94	0.96	1.71	1.98	1.60	0.99	1.10	1.85	2.37	1.97	2.00	2.69	2.02	2.10	2.07	2.41	2.70	2.12	2.03	2.04	2.36	2.62	1.98	1.84	2.10	1.88	1.68	1.26	1.52	1.71	
6	1.55	1.55	1.16	0.80	0.66	0.82	0.71	0.99	1.90	2.68	1.77	1.28	1.68	3.04	3.77	2.27	1.79	1.70	2.05	2.04	1.72	1.74	1.97	1.82	1.92	1.81	2.19	2.29	1.56	0.82	1.11	1.43	1.30	1.09	1.08	1.36	
7a	2.44	2.20	1.78	2.03	2.27	2.55	2.66	2.78	2.60	2.16	2.11	2.48	3.06	3.01	2.81	2.94	2.76	2.94	2.61	2.49	2.22	1.77	1.51	1.83	2.08	2.70	2.33	2.72	2.62	2.65	2.49	2.61	2.96	2.52	2.49	2.40	
7b	2.25	1.87	1.74	1.82	2.13	2.02	2.60	2.45	2.51	2.31	1.97	2.51	2.88	2.81	2.79	2.84	2.93	2.62	2.83	2.49	2.04	1.91	2.10	2.68	3.11	2.87	2.54	2.73	2.89	2.76	2.54	2.51	2.35	2.48	2.72	2.56	
7c	2.22	1.65	1.94	1.98	2.37	2.19	2.38	2.30	2.34	2.17	2.18	2.60	2.77	3.08	2.85	2.74	2.72	2.78	2.72	2.55	2.15	2.11	1.58	1.16	1.52	1.78	1.89	2.21	2.28	2.28	2.50	2.63	2.34	2.35	2.29	2.21	
8a	1.82	1.37	1.96	2.16	2.65	3.13	2.98	2.90	2.98	2.60	2.04	3.17	2.97	2.19	2.33	2.02	2.21	2.44	2.54	2.26	2.13	1.61	1.69	1.98	2.26	2.37	2.28	2.35	2.41	2.15	2.07	2.07	2.06	1.77	1.72	1.71	
8b	1.46	1.24	1.54	1.78	2.06	2.28	2.64	2.26	2.16	1.69	2.52	2.41	1.82	2.30	1.99	2.07	2.19	1.93	1.54	1.62	2.11	2.49	2.80	2.93	2.43	2.42	2.52	2.44	2.18	1.93	1.64	1.51	1.59	1.60	1.60		
8c	1.50	1.27	1.77	2.07	2.32	2.78	2.28	2.17	2.39	1.93	2.01	2.91	2.39	1.82	2.04	1.53	1.75	1.98	1.74	1.68	1.42	1.12	1.39	1.14	1.46	1.85	1.79	1.99	2.06	2.34	2.06	2.05	1.88	1.92	1.92	1.96	
9a	2.30	2.15	2.24	2.57	2.68	3.00	2.60	2.66	2.80	2.62	2.60	2.49	2.62	3.10	3.47	3.01	2.77	2.82	3.09	3.15	3.18	2.88	2.51	1.88	2.36	2.44	2.16	2.09	2.26	2.30	2.22	1.94	2.30	1.91	2.29	2.18	2.28
9b	1.84	1.87	2.21	2.37	2.40	2.44	2.31	2.53	2.15	1.98	2.00	2.62	2.55	2.41	2.57	2.38	2.64	2.80	2.94	2.89	2.72	2.35	1.87	2.25	2.38	2.49	2.47	2.38	2.40	2.24	2.09	1.62	1.53	1.17	1.35	1.69	
9c	1.80	1.85	2.44	2.69	2.70	3.02	2.23	2.38	2.21	2.02	2.21	2.94	2.71	2.63	2.97	2.56	2.71	2.79	2.86	2.91	2.58	2.41	1.63	1.76	2.36	2.57	2.30	2.07	2.13	2.21	2.00	1.73	1.81	1.73	1.81	1.96	

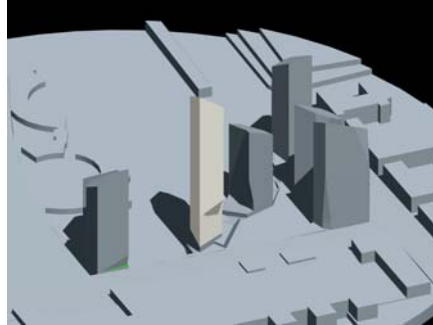
### Liite 3 Tuulen suuntakulmien havainnekuvat

Tuulen suuntakulmia on havainnollistettu oheisissa kuvissa. Tuulen suunta on kuvan tasossa alhaalta ylös.

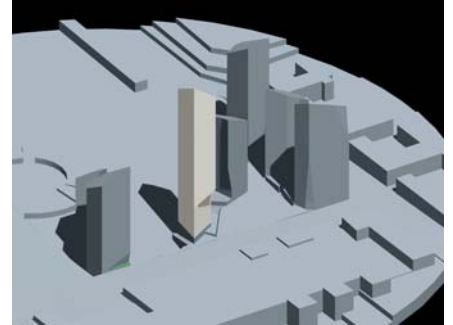
$\theta = 0^\circ$



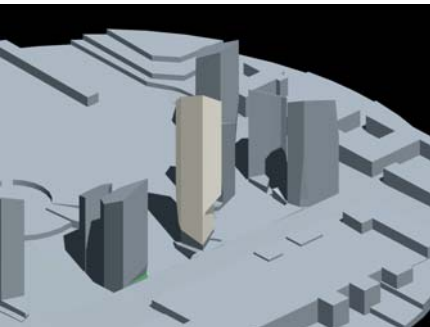
$\theta = 10^\circ$



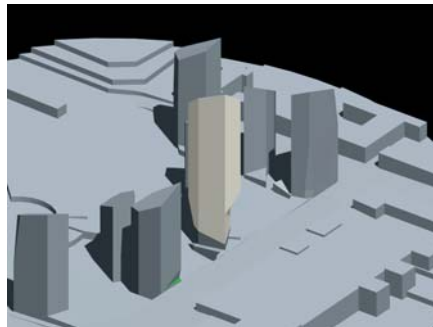
$\theta = 20^\circ$



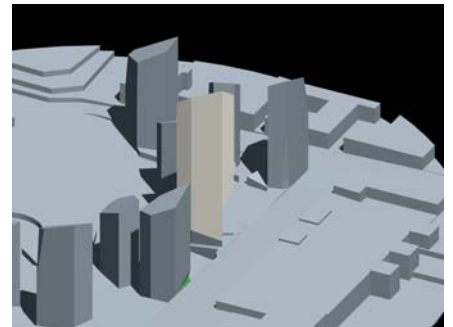
$\theta = 30^\circ$



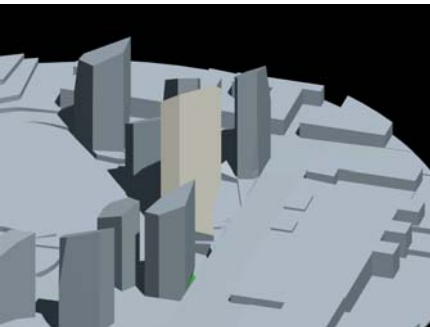
$\theta = 40^\circ$



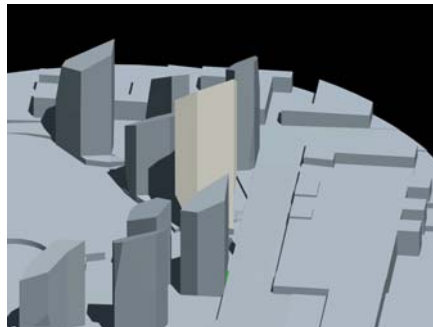
$\theta = 50^\circ$



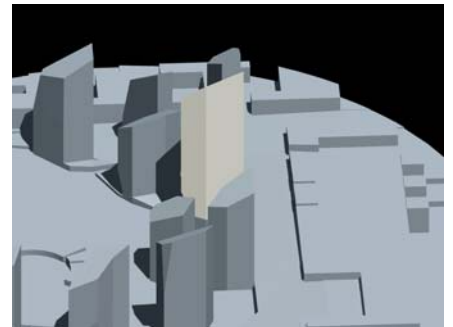
$\theta = 60^\circ$



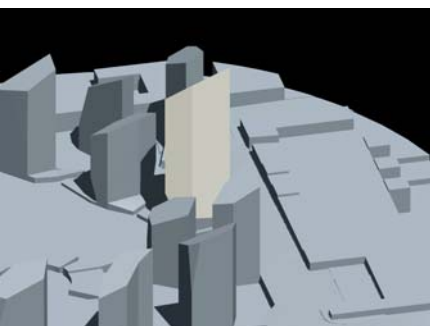
$\theta = 70^\circ$



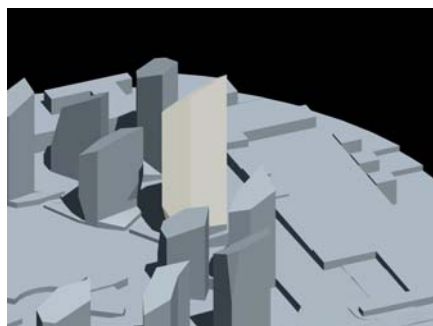
$\theta = 80^\circ$



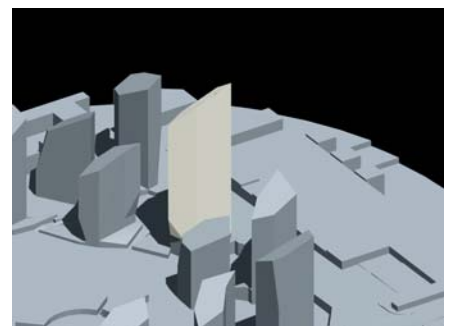
$\theta = 90^\circ$



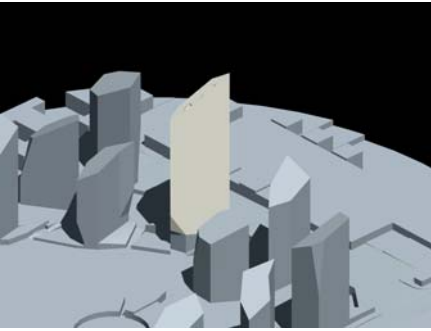
$\theta = 100^\circ$



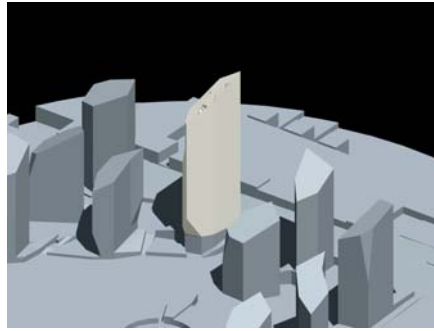
$\theta = 110^\circ$



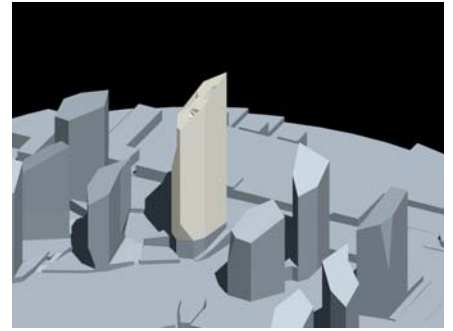
$\theta = 120^\circ$



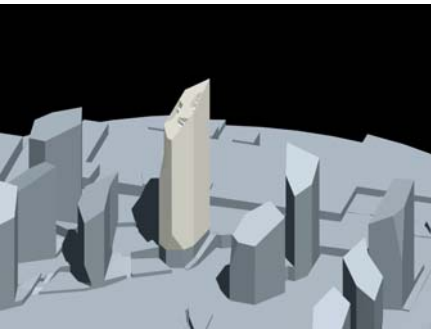
$\theta = 130^\circ$



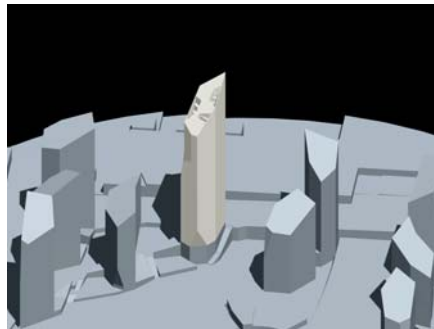
$\theta = 140^\circ$



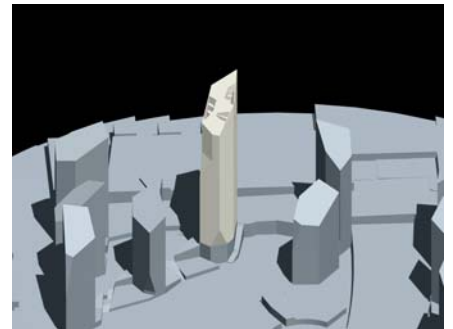
$\theta = 150^\circ$



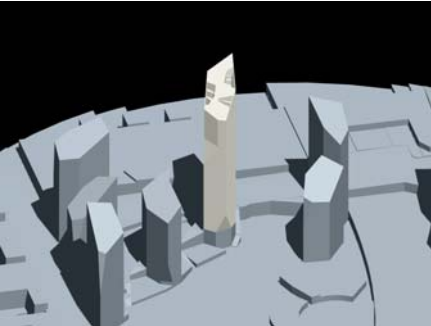
$\theta = 160^\circ$



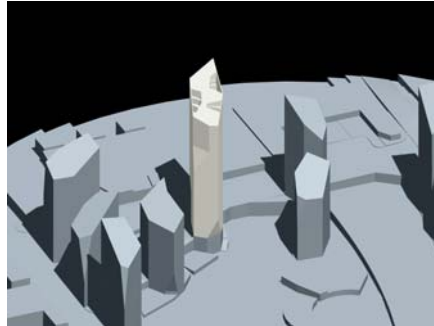
$\theta = 170^\circ$



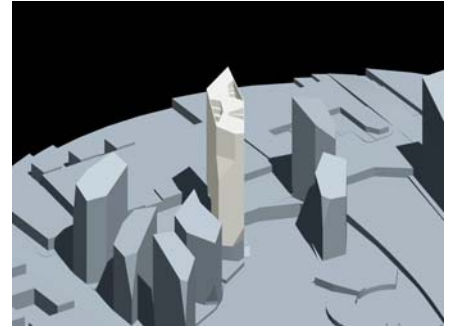
$\theta = 180^\circ$



$\theta = 190^\circ$



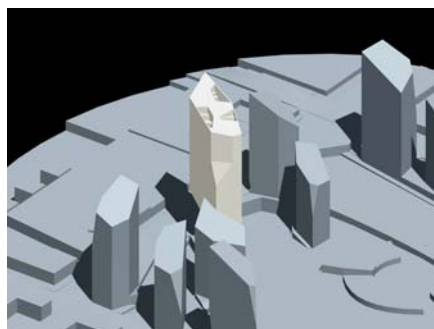
$\theta = 200^\circ$



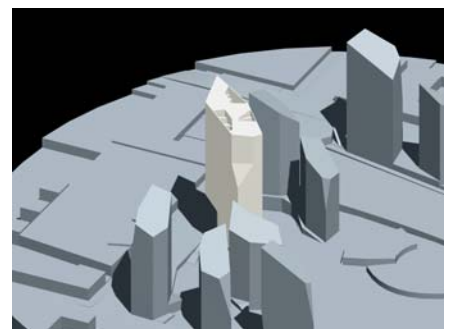
$\theta = 210^\circ$



$\theta = 220^\circ$

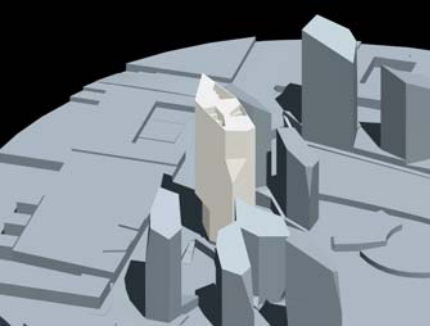


$\theta = 230^\circ$

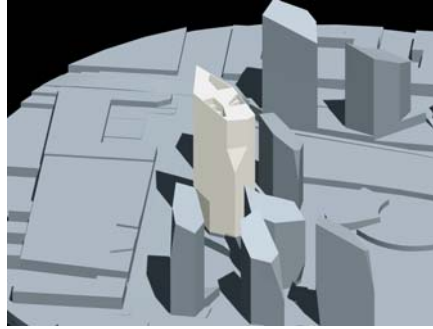




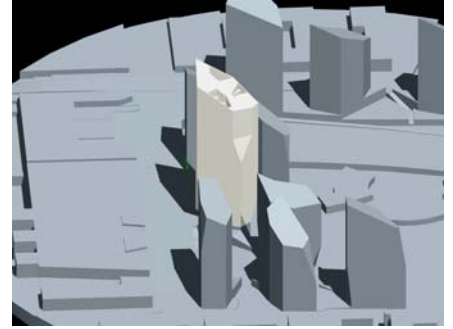
$\theta = 240^\circ$



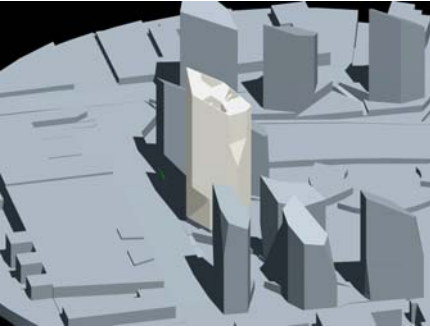
$\theta = 250^\circ$



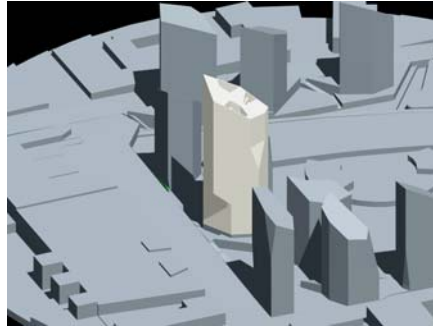
$\theta = 260^\circ$



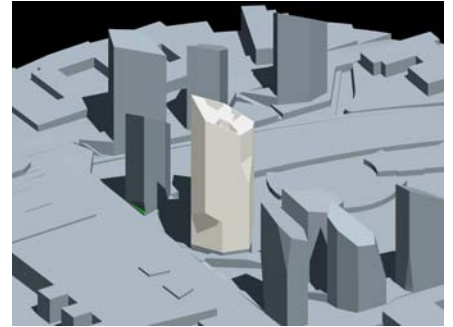
$\theta = 270^\circ$



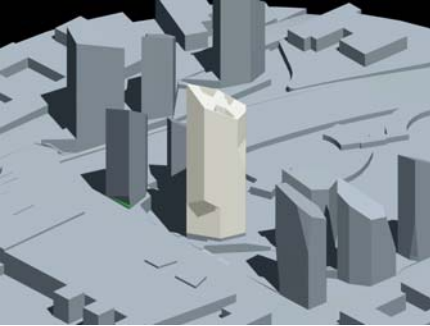
$\theta = 280^\circ$



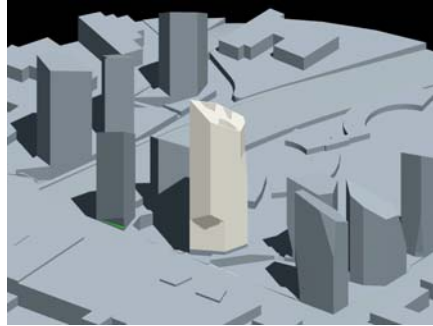
$\theta = 290^\circ$



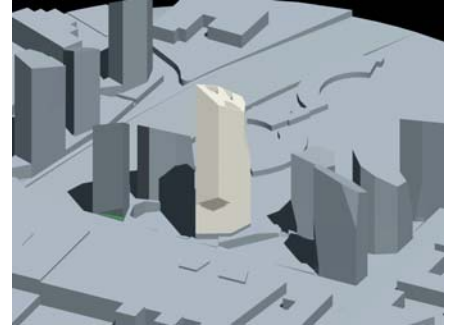
$\theta = 300^\circ$



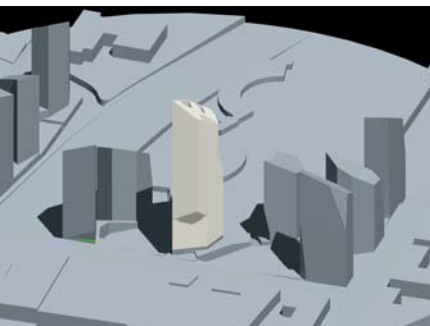
$\theta = 310^\circ$



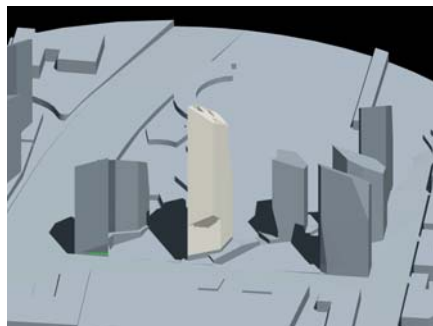
$\theta = 320^\circ$



$\theta = 330^\circ$



$\theta = 340^\circ$



$\theta = 350^\circ$

