

Kalasadaman keskus, lausunto suunnitelmamuutosten tuulisuusvaikutuksista

Konsultti: WSP Finland Oy, Prof. TkT Risto Kiviluoma, 22.12.2016

Tässä lausunnossa on käsitelty Kalasadaman keskuksen varsinaisen tuulisuuskartoituksen (Kalasadaman keskuksen suunnittelu, Kalasadaman tornien tuulitunnelikokeet, WSP Finland Oy, loppuraportti 27.8.2015) jälkeen tehtyjen suunnitelmamuutosten vaikutukset tuulisuuskysymyksiin. Tarkastelut on tehty suunnitelmaan 12/2016 liittyen.

Tornien vierustan tuulensuojakatokset ja kulkusillat

Tornien vierustan, erityisesti ulko-ovien, katosten suunnitteluratkaisuista- ja periaatteista on käytä keskustelua suunnitteluryhmässä keväällä 2016. Tornin vierustan katoksia ei varsinaisesti ole tutkittu tuulitunnelikokeilla. Esimerkiksi Keski-Pasilan tornien tuulitunnelikokeista [1] on tutkimustietoa näiden vaikutuksesta kuitenkin käytössä.

Korkeiden rakennusten ulko-ovien katoksia koskee yleinen suunnitteluperiaate, jonka mukaan ovelta suoraan avoimesti ylöspäin avautuvaa korkeaa julkisivupintaa tulisi välttää. Tämä johtuu tornin julkisivua alaspäin kulkevan virtauksen vaikutuksesta. Yleisen suunnittelukäytännön mukainen hyväksyttävä tulos saavutetaan esimerkiksi katoksella, oviaukon sisennyksellä tai rakennuksen alaosan levennyksellä.

Varsinainen tuulensuojakatos olisi kookas, mieluusti jatkuva rakenne, jonka tulisi ulottua 4...6 m päähän julkisivusta [2]. Silloinkin se suojaa ainoastaan julkisivua alaspäin kulkevalta virtaukselta, ja esimerkiksi tornin kulman kautta kiertävän virtauksen aiheuttama tuulisuudslisä vaikuttaa edelleen. Tämä havaittiin myös lähteen [1] tutkimuksessa, jossa tarkasteltava ulko-ovi sijaitsi Pasilan sillan tasolla. Kalasadaman keskuksen piha- ja puistokansilla tuulensuojakatoksen vaikutus jäisi vähäisemmäksi kannen korkeusaseman johdosta, ja aidoilla ja viher-suunnitelmalla on tärkeämpi merkitys tuulisuuden torjumisessa.

Suomen oloissa leveä katos vaatii järeät tukirakenteet paitsi tuulen, myös lumikuorman johdosta. Katokselle tuleva vesi ja sinne kerääntyvä lumi ja jää on myös saatava hallitusti pois.

Edellä mainittujen havaintojen perusteella tornien vierustan tuulensuojakatosten suunnitelma on päivitetty ottaen huomioon pisteet, jossa:

- tuulisuus on erityisen suurta
- tornin julkisivua alaspäin kulkevalla virtauksella on merkittävä vaikutus tuulisuuteen
- tarkastelupiste sijaitsee valmiiksi suojaavassa sisennyksessä.

Kulkusillat on suunnitelmassa suojattu kauttaaltaan tekemälle ne katetuiksi, jolloin esteetön kulku niissä on mahdollinen kaikissa tuuliolosuhteissa.

Tuloksena saatu suunnitelma on esitetty oheisessa kuvassa, ja sitä voidaan pitää tuulitekniestä näkökulmasta tarkoituksenmukaisena ja riittävänä.



Kuva: Suojakatosten suunnitelma (kuva: Helin & Co Arkkitehdit).

Kalasatamankadun katokset

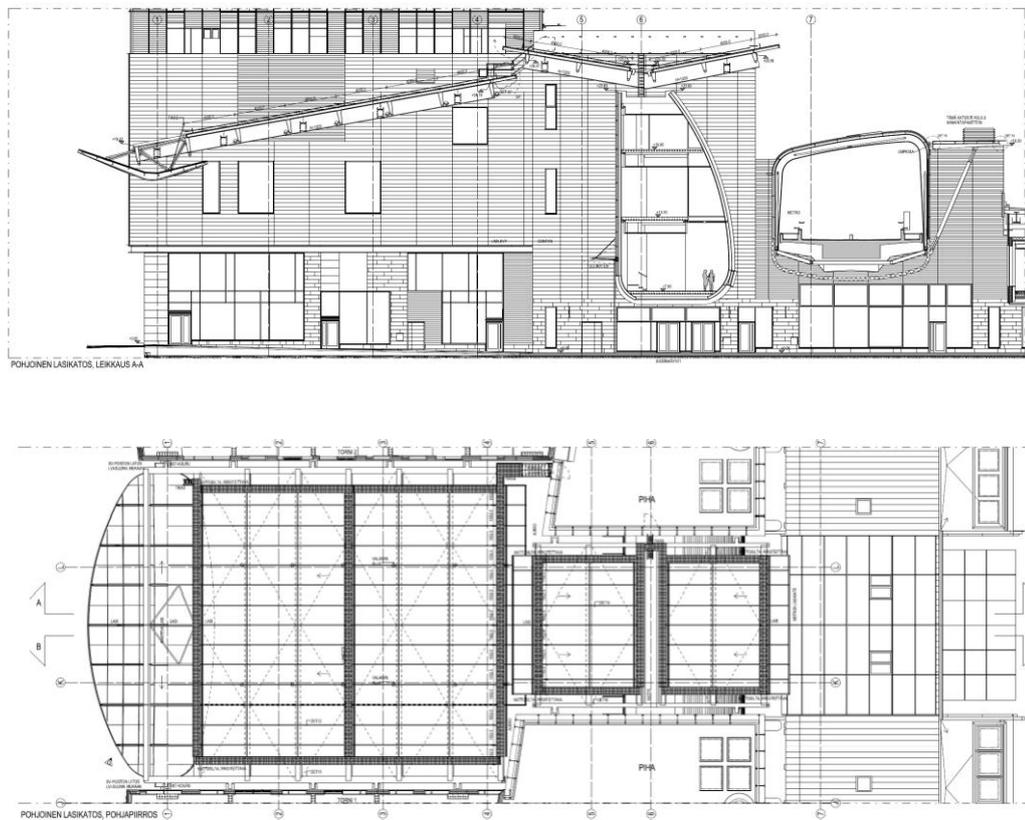
Kalasatamankadun katosten suunnitelma on esitetty oheisessa kuvassa. Tuulitunnelikokeeseen nähden katoksen korkeusasemaa on kauttaaltaan pienennetty ja katos ei enää ylety puisto/pihakansien päälle. Tuulitunnelikokeen tulosten perusteella katoksen korkeusasemalla ja ylös avautuvilla aukoilla on vain vähäinen merkitys Kalasatamankadun tuulisuuteen. Kadulla syntyvät virtaukset ovat pääasiassa seurausta aukkojen hormivaikutuksesta sekä tunnelimaisen tilan päiden välisestä paine-erosta. Katoksen korkeusaseman pienentymisen johdosta Kalasatamankadun tuulisuuden voidaan olettaa olevan uudessa suunnitelmassa kuitenkin hieman pienempi.

Puisto- ja pihakansien tuulisuuden katoksen suunnitelmamuutoksella ei ole merkittävää vaikutusta, paitsi suoraan katoksen alla, jossa tuulisuus hieman suurenee kun suoja pystysuunnalta virtauksilta poistuu.

a)



b)

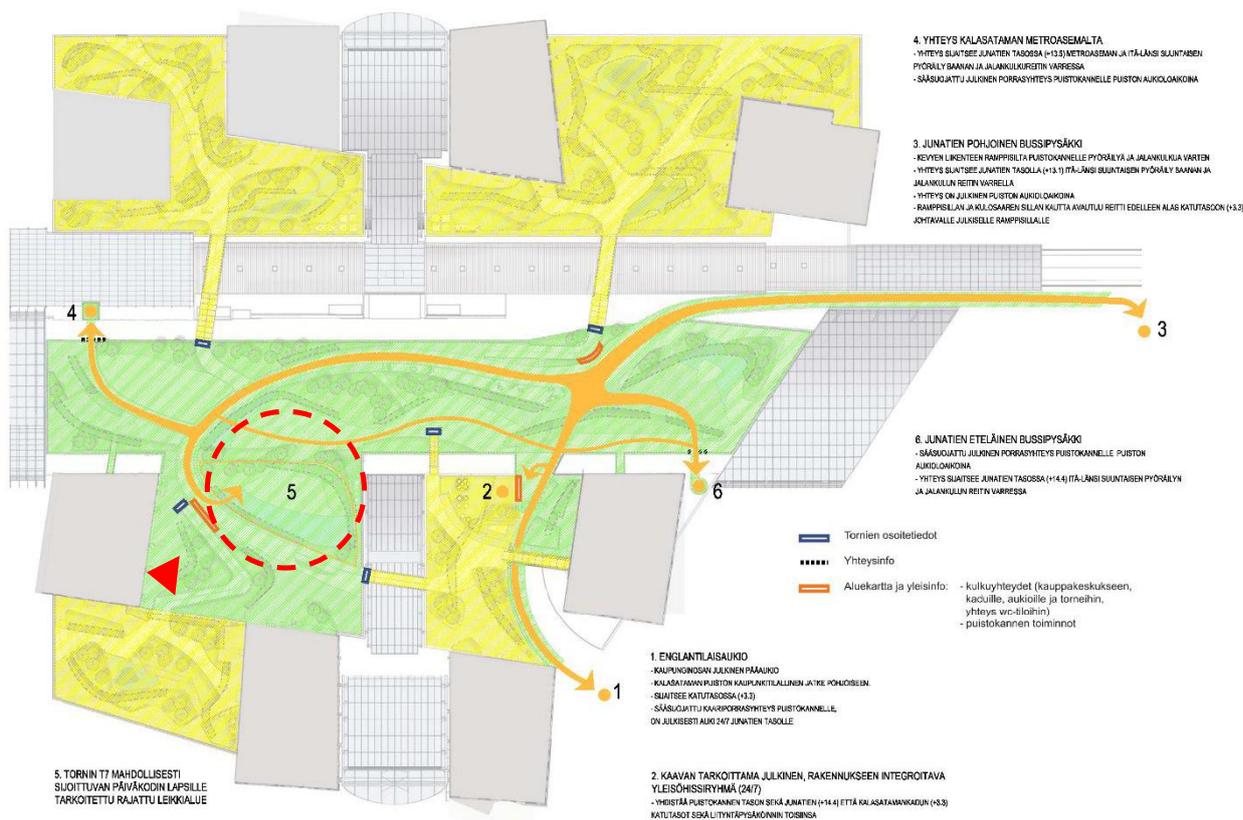


Kuva: Kalastamankadun katosten suunnitelma a) eteläinen pää, ja b) pohjoinen pää (kuva: Helin & Co Arkkitehdit).

Puisto- ja pihakannet

Puisto- ja pihakansien suunnitelma on esitetty oheisessa kuvassa. Tuulisuuden kannalta suunnitelma ei oleellisesti poikkea tuulitunnelikokeella tutkitusta.

Korkeimman tornin T₄ kulman kohdalle (kuvan piste 6) on suunniteltu ”sääsuojattu julkinen porrasyhteys” puistokannelle. Tässä pisteessä voi tornin kulman vaikutuksen johdosta esiintyä vaarallisen kovia puuskatuulia etelä/kaakkoistuulen vaikutuksessa, joten on tärkeää että porras suojataan katoksen lisäksi myös seinämäisillä rakenteilla.



Kuva: Puisto ja pihakansien kulkureitit sekä päiväkodin piha (ympyröity). Kuva muokattu Maisema-arkkitehtitoimisto Maanlumo Oy aineistosta.

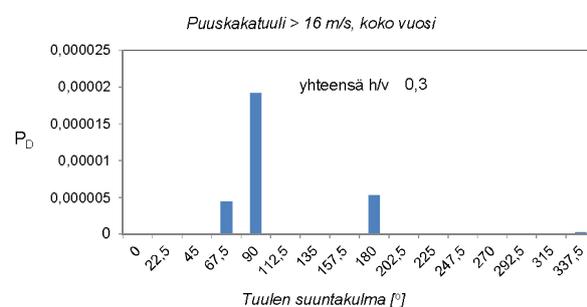
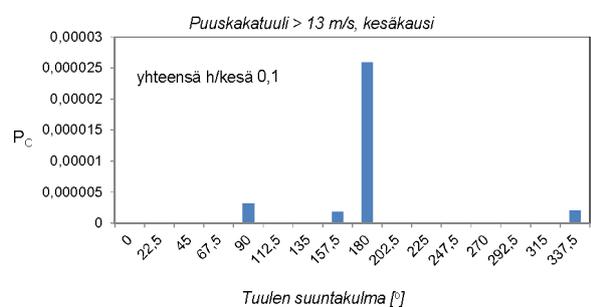
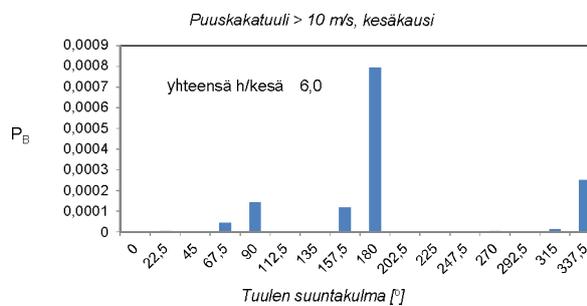
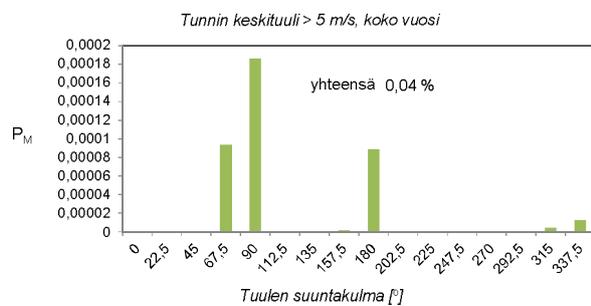
Tuulisuuden kannalta tärkeä tekijä on puistokannan osan käyttö tornin T₇ päiväkodin pihana, koska päiväkodin pihalle voidaan sen jatkuvan ja ympärivuotisen käytön johdosta perustellusti edellyttää tuulisuuden suhteen erityistä viihtyvyyttä. Päiväkodin piha sijaitsee n. 20 m tornin julkisivusta itään (piste 5, kuva yllä).

Päiväkodin pihan tuulisuusvaikutusten osalta suunnitelma poikkeaa tuulitunnelikokeessa tutkitusta (piste 13, kuva alla) seuraavasti:

- luonaan suunnassa olevan pihakannen korkeusasema on n. 5 m alempana. Sitä suojaava lasikaide on korkeampi (3,0 m vs. 2,0 m). Kulku pihakannelle on toteutettu loivemmalla portaalla kierreportaan sijaan

- kalasatamankadun katos ei ulotu puistokannen yläpuolelle. Kalasatamankadun ”kui-lua” suojaa n. 2,5 m korkea lasikaide.

Aikaisemmin tutkittu piste ja tuulisuuden kertyminen tuulen suunnittain on esitetty oheisessa kuvassa. Piste on ollut vähätuulisimpia tutkituista puistokannen pisteistä.



Kuva: Tuulitunnelikokeessa tutkittu pihan piste ja vastaava tulos tuulisuudelle.

Tämä johtuu paitsi pisteen sijainnista suhteessa torneihin ja tuulensuuntiin, myös viheristutusten vaikutuksesta. Tämä nähdään osaltaan vertaamalla tuloksia vuoden 2011 tuulitunnelikokeen [3] tuloksiin, jotka on tehty ilman virhekasvillisuuden suojaavaa vaikutusta. Siinä tuulisuus on ollut huomattavasti suurempaa tarkasteltavassa kohdassa, jopa niin että kävelyä vaikeaksi tekeviä puuskatuulia > 16 m/s voi esiintyä useammin kuin kerran vuodessa lounaistuulen vaikutuksessa. Viheristutusten vaikutusta ei näistä voi kuitenkaan tarkasti erotella, koska [3] suunnitelmassa on ollut muita eroja, mukaan lukien: mittauspiste sijaitsee lähempänä tornia T₇ ja puistokannen koreampi korkeus.

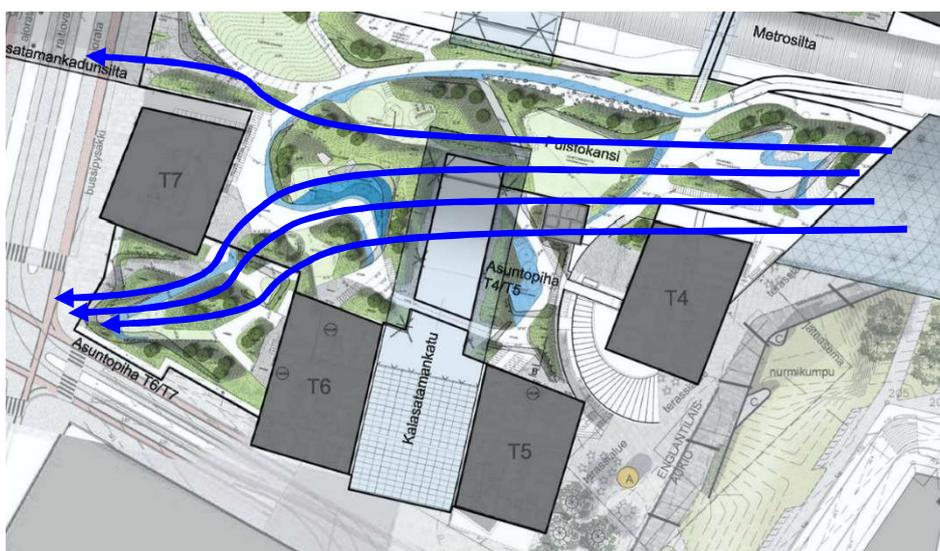
Pisteen 13 tuloksissa, samoin kuin vuoden 2011 [3] kokeiden tuloksissa, erottuu kaksi tuulisuutta lisäävää tuulensuunnan sektoria 90° ja 180°...225°. Nämä liittyvät olettavasti tornin kulman kautta kiertävän virtauksen ja kanavoinnin vaikutuksiin, joita on havainnollistettu oheisessa kuvassa. Julkisivua alaspäin kulkevan virtauksen vaikutus on suhteessa vähämerkityksellinen. Mainittujen tuulensuunnan sektorien vaikutuksesta tässä lausunnossa käsiteltävät suunnitelmamuutokset lisäävät jonkin verran tuulisuutta. Päivitetty arvio pisteen 13 tuulisuudesta on esitetty oheisessa kuvassa.

Konsultin käyttämä kriteeristö tuulisuuden tavoiteltavalle tasolle on, että raja-tuulennopeuden ylittäviä tuulia esiintyy harvemmin kuin kerran vuodessa, tarkoittaen vähemmän kuin 2,2 h kesää tai koko vuotta kohden [3].

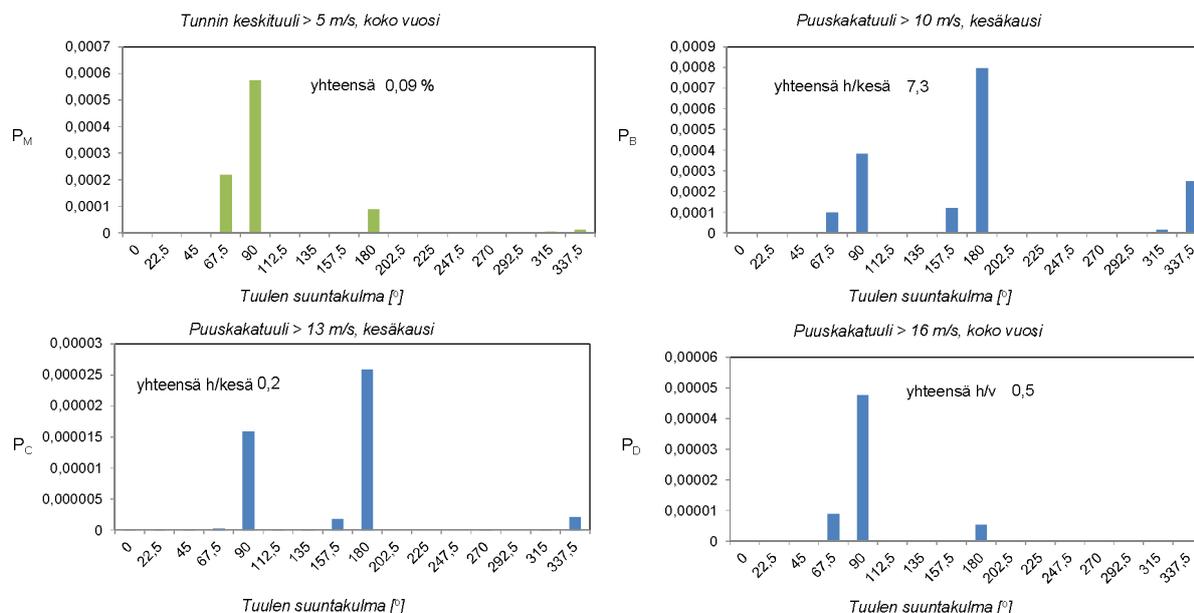
Luonnollisen maanpinnan tasossa pääkaupunkiseudun rantakaupunginosissa yleisesti, A-kriteeri (puuskatuuli > 10 m/s harvemmin kuin kerran kesäkaudella) ei täyty ilman suojaavia puita ja pensaita, ja B-kriteeri (puuskatuuli > 13 m/s harvemmin kuin kerran kesäkaudella) täyttyy. Kävelyä vaikeaksi tekeviä puuskatuulia (> 16 m/s) ei yleensä esiinny. Tämä yleinen tulos on useimmiten sama tuulen keskinopeuteen perustuvien kriteerien mukaan [3], jossa A-kriteerin täytyessä > 5 m/s tunnin keskituulia esiintyy vähemmän kuin 0,1 % ajasta. B kriteerille vastaava raja on 6 %.

Varsinaisia suosituksia päiväkodin pihojen tai muidenkaan piha-alueiden kuulumiselle A tai B-kriteerin sovellusalueeseen ei ole, joten tuulisuuden vaikutuksia voidaan arvioida pääkaupunkiseudun yleiseen tasoon nähden.

Esimerkiksi Kalasataman matalampien rakennusten suojassa luonnollisen maanpinnan tasossa (Piste 28 vuoden 2011 [3] tutkimuksessa) puuskatuuli > 10 m/s ylittyi 4,4 h/kesä; > 13 m/s ylittyi 0,1 h/kesä; ja > 16m/s ylittyi 0,4 h/vuosi. Tällöinkin siis A-kriteerin täytyminen edellyttäisi käytännössä pihan oleskelupisteiden suojaamista pensailta ja puilla.



Kuva: Päiväkodin pihan tuulisuuteen eniten vaikuttavat tuulensuunnan sektorit.



Kuva: Arvio pisteen 13 tuulisuudesta uudessa suunnitelmassa.

Tulosten mukaan päiväkodin pihan sijainti ja suunnitellut viheristutukset ovat edullisia tuulisuuden vaikutusten torjumisessa. Tuulisuus ei ole este pihan päiväkotikäytölle. Tuulisuus on käytännössä sama kuin se olisi Kalasataman alueella matalampien kerrostalojen suojassa luonnollisen maanpinnan tasossa ilman viheristutusten suojaa. Tulokseen vaikuttaa osaltaan pihan riittävä etäisyys tornin T₇ julkisivusta. Aivan tornin vieressä puuskatuulet voivat talvikaudella olla oletettavasti suurempia.

Tulosten perusteella voidaan esittää seuraavat suositukset:

- pihan päiväkotikäyttö on tuulisuusolosuhteiden suhteen mahdollinen ja pihaa voidaan pitää tuulisuuden suhteen jopa viihtyisänä, kun se suojataan suunnitelman mukaisesti viheristutuksilla. Näiden tulisi jo istutusvaiheessa olla mahdollisimman suurikokoisia
- paitsi piha, myös kulkureitti päiväkodin ovelle on hyvä suojata istutuksilla. Pihakannelle johtavan porraskäytävän maastonmuotoa voidaan osaltaan käyttää tässä apuna, kuten suunnitelmaan on luonnosteltu.

Lähdeluettelo

- [1] Helsingin kaupunki, kaupunkisuunnitteluvirasto: Keski-Pasilan asemakaavoitus, Täydentävät tuulitunnelikokeet, WSP Finland Oy, 30.12.2010, s. 30.
- [2] Jessica Bennet, Wind Design Guide, 34 s.
http://www.victoria.ac.nz/architecture/centres/cbpr/publications/architectural-aerodynamics/pdfs/BBSC_433_Jessica-Bennett_Wind-Design-Guide.pdf
- [3] Helsingin kaupunki, kaupunkisuunnitteluvirasto: Kalasataman keskuksen suunnittelu, tuulisuuskartoitus. WSP Finland Oy, 2011, s. 51.



UNITED
BY OUR
DIFFERENCE



Kalasadaman keskuksen suunnittelu

Kalasadaman tornien tuulitunnelikokeet, loppuraportti

Elokuu 2015

Laadunhallinta

Versio/muutokset	Versio 1	Muutos 1	Muutos 2	Muutos 3
Huomautukset	lopullinen			
Päiväys	27.8.2015			
Laatija	Risto Kiviluoma			
Allekirjoitus				
Tarkastanut				
Allekirjoitus				
Hyväksynyt				
Allekirjoitus				
Projektinumero	306565			
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

SRV Rakennus Oy
PL 555, 02601 Espoo
Derby Business Park
Tarvonsalmenkatu 15
02600 Espoo

Puh. 020 145 5200
Faksi 020 145 5567

www.srv.fi

Yhdyshenkilö
Reijo Harmaajärvi

Sisällys

Tiivistelmä	5
1 Johdanto	7
1.1 Korkeiden rakennusten tuulitunnelikokeet	7
1.2 Kohde	8
1.3 Tämä raportti	9
2 Lähtötiedot	10
2.1 Pienoismalli	10
2.2 Tuulitilasto	13
2.3 Tuulen suuntakulman koordinaatisto	13
2.4 Tornien värähtelyparametrit	14
3 Tuulenopeuden ääriarvot	16
4 Tuulitunnelikoe	22
4.1 Koejärjestely	22
4.1.1 Tuulisuuskartoitus ja rajakerroksen tarkistusmittaukset	25
4.1.2 Tornien tuulikuormien ja huojunnan määrittäminen	28
4.1.3 Julkisivujen painekuormien mittaukset	31
4.2 Tuulitunnelikokeen tulokset	33
4.2.1 Paikalliset virtausnopeudet	33
4.2.2 Korkeimman tornin voima- ja momenttiresultantit	35
4.2.3 Voima ja momenttiresultanttien spektraalitiheydet	41
4.2.4 Painemittaukset	48
4.3 Tuulitunnelikokeen virhetarkastelu	52
4.3.1 Tuulisuuskartoituksen mittaukset	52
4.3.2 Voima ja momenttiresultanttien mittaukset	52
4.3.3 Nettopaineiden mittaukset	53
5 Tuulisuuskartoitus	57
5.1 Kohdealueen perustuulisuus	57
5.2 Tulosten vertailukriteerit	60
5.3 Tuulisuuskartoituksen tulokset	61
6 Tornien huojunta	68
7 Staattiset korvauskuormat	78
8 Julkisivujen paine- ja imukuormat	81
9 Tulosten ohjeellinen tulkinta	83
9.1 Tuulisuuskartoitus	83
9.2 Tornien huojunta	87

9.3	Staattiset korvauskuormat	88
9.4	Julkisivujen paine- ja imukuormat	88
	Lähdeluettelo	90
Liite 1	Tornien kerrosmassat ja ominaistajuudet	91
Liite 2	Tuulen suuntakulmien havainnekuvat	96
Liite 3	Spektraalitiheyksien määrittäminen	99
Liite 4	Mitatut voima- ja momenttiresultantit	100
Liite 5	Mitatut nettopaineet	106
Liite 6	Nettopaineiden täydentävät tulokset	115
Liite 7	Tuulitilaston muunnoskertoimien laskenta	122
Liite 8	Staattiset korvauskuormat kerroksittain	124
Liite 9	Tornien julkisivujen nettopaineet suunnitteluun	131

Tiivistelmä

Tämä raportissa esitetään Kalasataman keskuksen tornitalojen rakenne- suunnitteluvaiheessa suoritettut tuulitunnelikokeet ja niihin liittyvät laskennalliset analyysit. Tuulitunnelikokeet on suoritettu kahdessa eri vaiheessa suunnitelmien 3/2012 ja 4/2015 mukaisina. Jälkimmäisessä vaiheessa on otettu huomioon erityisesti rakennusten muuttunut geometria ja tornien huojuntaan liittyvät tarkennetut lähtötiedot, sekä pihojen ja kulkuväylien tuulisuutta pienentävät suunnitteluratkaisut.

Tuulitunnelikokeet on suoritettu Aalto-yliopiston rajakerros-tyyppisessä tuulitunnelissa Espoossa siten, että tunnelin käyttöä ja paikallisten virtausnopeuksien mittauksia lukuun ottamatta Konsultti on hoitanut muut tehtävät laitteistoillaan ja erikoisohjelmistoillaan.

Laskennalliseen analyysiin on kuulunut rakennuspaikan tuulien ja turbulenssin määrittäminen eri tuulensuunnille.

Varsinaiseen koe-ohjelmaan on kuulunut tornien:

- tuulikuormien määrittäminen
- huojunnan määrittäminen
- huojunnan huomioon ottavien staattisten korvauskuormien määrittäminen
- julkisivuja kuormittavien nettopaineiden määrittäminen.

Tuulisuuden osalta on tehty mittauksia:

- puistokannella, pihakansilla, Kalasatamankadun katetulta osuudelta ja kattorasseilta
- Itäväylän katetulta osuudelta (tunnelista) tulipalojen savunpoistoon liittyen.

Jälkimmäisen vaiheen tuulisuusmittauksissa on ollut mukana vihersuunnitelman mukainen kasvillisuus puisto- ja pihkansilla sekä kansia ja kattoterasseja suojaavat aidat. Vihersuunnitelman yhdeksi lähtökohdaksi on otettu tuulisuuden vähentämien kansien oleskelualueissa. Kalasatamankadun osalta on tutkittu katoksen ja puistokannen välisen aukon koon vaikutusta.

Raportissa on esitetty tulosten ohjeellinen tulkinta ja tarvittaessa myös ohjeistusta jatkosuunnitteluun.

Rakennetekniikkaan liittyvät mittaukset on tehty korkeimmalle tornille (torni T₄) vastaten kolmea eri rakennusvaihetta. Muiden tornien (7 kpl) tulokset on johdettu interpoloimalla.

Tuulitunnelikokeet on tehty, ensimmäistä kertaa Suomen kohteessa siten, että koeohjelmaan on kuulunut pilvenpiirtäjien rakennesuunnittelussa käytettävät standarditekniikat kokonaisuudessaan. Tulokset ovat useilta osin antaneet tavanomaisilla otaksumilla tehtyä normipohjaista suunnittelua määräävämpiä rasituksia ja vasteita, ja raportin tulokset tulisikin ottaa huomioon rakennesuunnittelussa.

Tornien huojunta on voimakkainta tuulta vastaan poikittaisessa suunnassa ja voi olla ajoittain aistittavissa ylimmissä kerroksissa kovimmissa tuulissa. Huojunnan voimakkuus täyttää kuitenkin suunnitteluohjeissa ja kirjallisuudessa suositellut ohjearvot.

Itäväylän tunnelissa voi kovissa tuulissa esiintyä suhteellisen suuria virtausnopeuksia, minkä johdosta se poikkeaa savun kulkeutumisen osalta tavanomaisesta tietunnelista. Tunnelin pituus, n. 250 m, on myös suhteellisen lyhyt. Ilman ajoneuvojen vaikutusta virtauksen keskinopeus on tunnelissa ≥ 3 m/s keskimäärin 28 % ajasta. Vastaava virtauksen suunta on idästä länteen 17 % ajasta, ja lännestä itään 11 % ajasta.

Tuulisuuden osalta tulokset osoittavat että tuulisuuden suhteen mahdolliset ongelmakohdat on saatu suunnitteluratkaisuilla korjattua siten, että esim. vaarallisen kovia puuskatuulia (> 23 m/s) ei esiinny kulkureiteillä useammin kuin kerran vuodessa, ja pihakansien oleskelualueiden viheristutukset vähentävät tehokkaasti tuulisuutta. Jalankulkijoiden turvallisuuden suhteen ongelmallisimmat alueet, joita ovat olleet tornien T₄ ja T₅ välinen puistokannelle johtava porras ja korkealla sijaitset jalankulkusillat, on suojattu kattamalla ne putkimaisiksi tiloiksi. Rakennusten keskeiset sisäänkäynnit ja katutasen tornien vierusta on suojattu katoksilla.

Kalasadamankadun katettu osuus, jolle liikekäytön johdoista tavoitellaan korkeampaa viihtyisyyttä, on päädyistään suhteellisen tuulinen. Sen tuulisuutta voidaan suositella vähennettäväksi raportissa luonnosteluilla rakenteilla, jotka ohjaavat ilmavirtauksia jalankulkijoiden yläpuolelle.

Edellä mainittuja suosituksia lukuun ottamatta raportissa ei ole katsottu tarpeelliseksi esittää muita jatkosuunnitteluohjeita tai ehdottaa lisätarkasteluja. Jos suunnitelmat jatkossa muuttuvat esim. tornien jäykistyksen tai pihakansien vihersuunnitelman osalta, on niiden tuulisuus- ja rakenneteknisiä vaikutuksia suositeltavaa käsitellä uudestaan.

1 Johdanto

1.1 Korkeiden rakennusten tuulitunnelikokeet

Korkeiden rakennusten tuulitunnelikokeet ovat kansainvälisesti muodostuneet standardiksi tavaksi tuulen vaikutuksen selvittämiseksi. Menetelmää käytetään vaativissa kohteissa rinnakkain paikallisten suunnittelunormien kanssa. Asiantuntijan suorittamia tuulitunnelikokeita voidaan pitää yleisesti hyväksyttynä menetelmänä, eli rakennusnormien tunnistamana ”tuulitunneli-proseduuria” tai ”tarkempaa asiantuntija-analyysinä”. Tilanteet, jossa tuulitunnelikoeproseduuri antaa selvästi pienempiä kuormia tai rasituksia kuin normipohjainen suunnittelu on yleisesti tarkasteltava erikseen.

Kokeet suoritetaan rajakerros-tyyppisessä tuulitunnelissa, jossa simuloidaan luonnon tuulta, ja jossa rakennus ja sen vierusta on mallinnettu pienoismallilla paikallisen turbulenssin huomioon ottamiseksi. Tällöin kiinnostuksen kohteena ovat useimmiten rasitusten tai vaikutusten hetkellisten huippuarvot, joihin liittyy luonnollista satunnaisuutta mittauksesta toiseen ja joidenka mittaaminen vaatii kehittyneitä mittaustekniikoita mm. kohinakysymysten vuoksi. Huippuarvoja onkin käsiteltävä tilastollisesti luotettavien tulosten ja riittävän varmuustason saavuttamiseksi.

Rajakerrostuulitunnelitekniikoiden kehittäminen 1970-luvulta alkaen voidaan osaltaan katsoa mahdollistaneen nykyaikaisten hoikkien ja materiaalinkäytöltään optimoitujen korkeiden rakennusten rakentamisen sekä aikaisempaa kattavampien suunnitteluohjeiden laatimisen.

Tuulen vaikutukset voidaan jakaa esim. rakenneteknisiin ja arkkitehtonisiin kysymyksiin. Rakennetekniikan kannalta jo 100 m korkea rakennus voi edellyttää yksityiskohtaisia tuulitunnelikokeita, jos sen geometria on normaalista poikkeava tai sen jäykistysratkaisu halutaan optimoida (jolloin tornin värähtelyn alin ominaistajuus on useasti alhainen). Tavanomaiset selvitettävät rakennetekniset kysymykset ovat:

- rakennuspaikan tuulennopeuden ääriarvot
- rakennuksen värähtelyn (huojunnan) suuruus, ja sen vaikutus asukkaiden viihtyvyyteen
- rakennusrungon staattiset korvauskuormat, jotka ottavat huomioon huojuuntaan liittyvät hitausvoimat ja siitä seuraavan rasitusten ääriarvojen kasvun
- julkisivujen ja katon rakenteiden paikalliset painekuormat.

Edellä mainittuja voidaan arvioida alustavasti, ja tavoitteellisesti konservatiivisesti, suunnitteluohjeiden ja laskentamallien avulla. Luotettava määrittäminen edellyttää kuitenkin yleisesti tarkoitusta varten kehitettyjen tuulitunneli-koetekniikoiden käyttöä. Tekijöitä, jotka jättävät pelkästään normipohjaiseen mitoitukseen epävarmuuksia ovat esim.:

- toisten lähistön tornien vaikutus huojuuntaan (heräteterinä) ja paikallisiin painekuormiin
- tuulikuorma ja tornin huojuunta tuulta vastaan kohtisuorassa suunnassa tuulen turbulenssin vaikutuksesta
- tornin vääntövärähtely
- muotokertoimen ja painekertoimien arvot normaalista poikkeavien geometrioiden yhteydessä.

Arkkitehtonisista kysymyksistä tärkeinä voidaan pitää esim. tuulisuuden kasvua tornin juuressa sekä kattoterassien kovia virtauksia.

Rakennetekniikan kannalta tuulitunnelikoeohjelman sisältö ja laajuus riippuu tavoitteena olevan rakenteiden teknistaloudellisen optimoinnin tasosta. Kohteen ensimmäisen vaiheen tuulitunnelikokeita aloitettaessa Suomeen ei ollut suunniteltu yhtään korkeaa rakennusta, jossa korkean rakennuksen standardi tuulitunnelikoeohjelma (kaikki koetyypit) olisi suoritettu täydellisinä. Tässä raportissa käsitellyt tuulitunnelikokeet ovat tässä mielessä ensimmäiset lajissaan, ja sisältävät kaikki tavanomaiset standardit koetyypit:

- korkeataajuus-vaakamittaustekniikka rakennuksen tuulikuorman määrittämiseen, huojunnan laskemiseksi ja edelleen staattisten korvauskuormien tuottamiseksi rakennesuunnitteluun
- aika-riippuvien paineiden mittaaminen paineantureilla julkisivuissa vallitsevien hetkellisten paine- ja imukuormien ääriarvojen määrittämiseksi
- kuumalankamittaukset katutaso- ja kattoterassien tuulen ja turbulenssin mittaamiseksi.

1.2 Kohde

Tuulen vaikutuksen kannalta Kalasataman keskus (kuva 1) poikkeaa muista Suomen korkean rakentamisen kohteista siinä, että asuinkäyttöön suunniteltuja torneja sijaitsee lähellä meren rantaviivaa; ja tornien väliin jäävät pihakannet sijaitsevat korkealla, n. 23 m korkeudessa.

Kalasataman alue on alttiina meren lahtien kautta puhaltaville tuulille n. 180° sektorilla. Tornien etäisyys rantaviivasta on 200...400 m, mistä seuraa että mereltä puhaltavat tuulet pääsevät vaimentumattomina torneihin n. 16...32 m korkeudelta ylöspäin.



Kuva 1: Kalasataman keskuksen havainnekuva (kuva: Helin & Co Arkkitehdit).

Konsultti on aikaisemmin laatinut Kalasataman keskukselta yksityiskohtaisen tuulisuuskartoituksen tuulitunnelikokeen ja tuulitilaston avulla [1]. Tulokset

ten mukaan, odotetusti, tornien vierusta on tuulinen. Konsultin tuulitunnelikokeilla tutkimiin muhin Suomen kohteisiin verrattuna (Keski-Pasila, Jätkäsaari ja Hernesaari) jalankulun tasossa esiintyy vaarallisen kovia puuskatuulia (> 23 m/s) ensimmäistä kertaa useammin kuin kerran vuodessa. Tuulisuusky-symys onkin kaavoituksessa edellytetty otettavaksi huomioon jatkosuunnitelussa, ja sille onkin tehty tässä raportissa kuvattuja lisätarkasteluja ja tuulisuutta vähentäviä suunnitteluratkaisuja.

1.3 Tämä raportti

Tämä raportti esittää Kalastaman tornien rakennesuunnitteluvaiheen tuulitunnelikokeet sekä niihin liittyvät laskennalliset analyysit. Raportti kattaa kaikki kahdeksan tornia. Tuulitunnelikokeet on tehty kahdessa vaiheessa suunnitelmien 3/2012 ja 4/2015 mukaisina. Raportissa on esitetty tulosten ohjeellinen tulkinta ja tarvittaessa myös ohjeistusta jatkosuunnitteluun.

Raportti on tyypiltään loppuraportti ja kattaa molemmat edellä mainitut tuulitunnelikokeet ja analyysit.

Työssä Konsulttina on toiminut ja työ on tehty WSP Finland Oy:n toimesta. Tuulitunnelina on käytetty Aalto-yliopiston tuulitekniikkatunnelia Espoossa. Tuulitunnelin käyttöä ja paikallisten virtausnopeuksien mittauksia lukuun ottamatta Konsultti on hoitanut muut tehtävät laitteistoillaan ja erikoisohjelmistoillaan.

Työn tilaaja on SRV Rakennus Oy.

Lähtötietoja on saatu kohteen Arkkitehdilta Helin & Co Arkkitehdit, Rakennesuunnittelijalta Sweco Rakennustekniikka ja Vihersuunnittelijalta Maisema-arkkitehtitoimisto Maanlumo Oy. Raportin työnaikaisia versioita on kommentoinut rakennesuunnittelun Ulkopuolinen tarkastaja Wise Group Finland Oy.

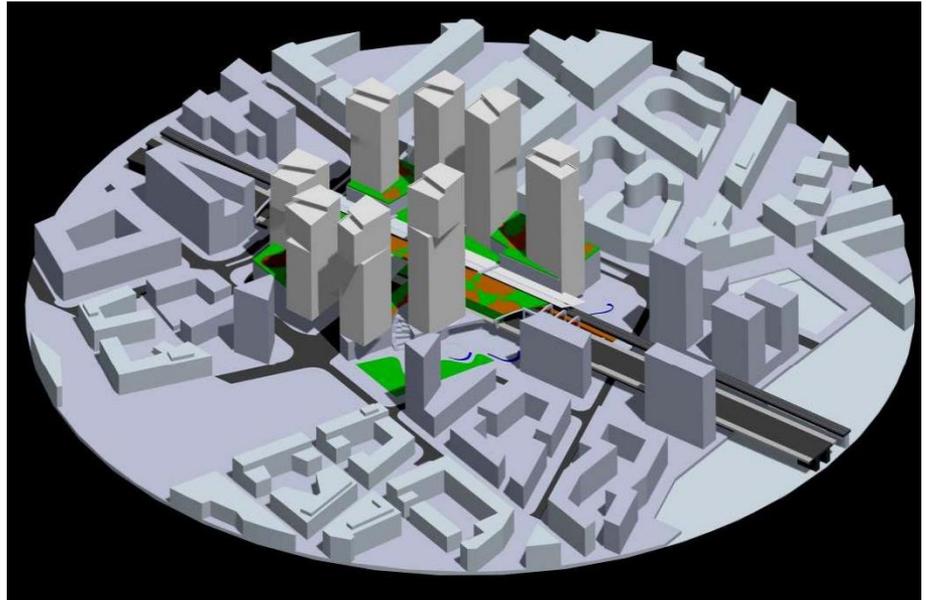
2 Lähtötiedot

2.1 Pienoismalli

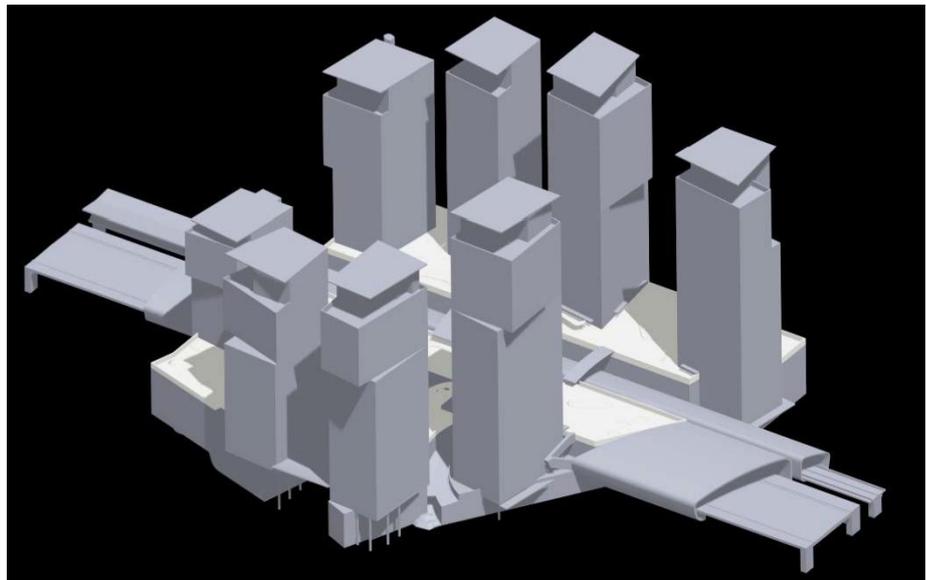
Tuulitunnelikokeissa käytettävä lähialueen pienoismalli on laadittu Konsultin toimesta käyttäen pohjana Arkkitehdin 3D malleja (3/2012 ja 4/2015).

Mallin mittakaava on 1:260. Mallin on jyrsitty koneellisesti tarkoitusta varten laaditusta kaiverrusaineistosta.

a)



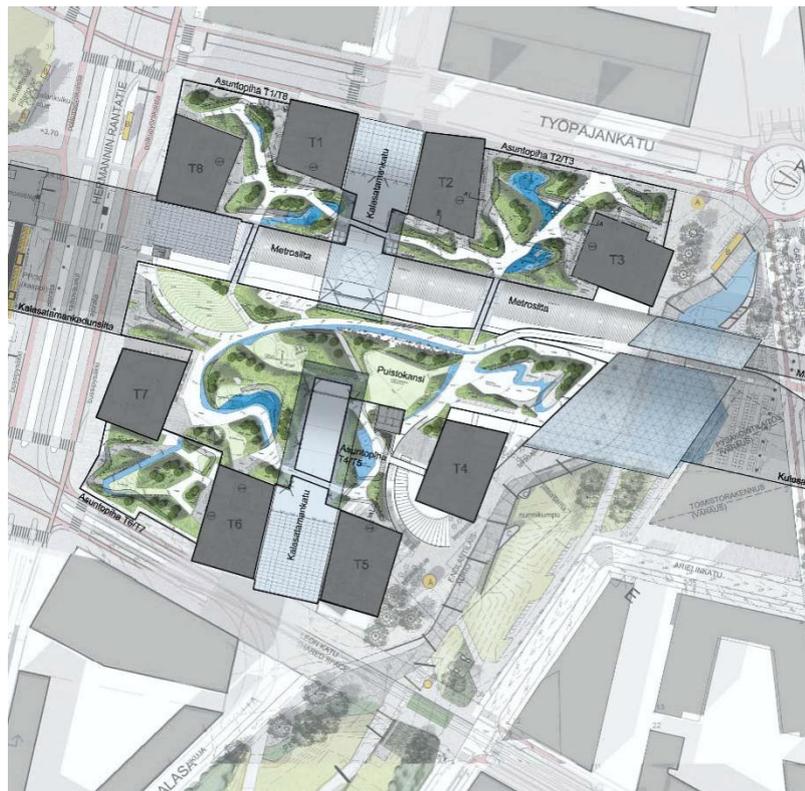
b)



Kuva 2: Tuulitunnelikokeen lähialueen pienoismallin kaiverrusaineisto: a) 3/2012 suunnitelma ja ympäristö, ja b) suunnitelman 4/2015 rakennusgeometria.

Korkeimmasta tornista (T₄) on laadittu erilliset kaiverrussaineistot eri tuulitunnelikoetekniikoiden edellyttämien pienoismallien valmistamiseksi.

Viherkannen puut, pensaat ja pergolat on mallinnettu vihersuunnitelman 4/2015 mukaan (kuva 3).



Kuva 3: Viherkannen vihersuunnitelma (kuva: Maisema-arkkitehtitoimisto Maanlumo).

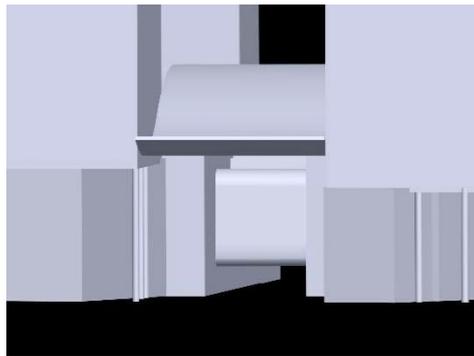
Kattoterassien yksityiskohtia on mallinnettu kuvan 4 mukaisesti.



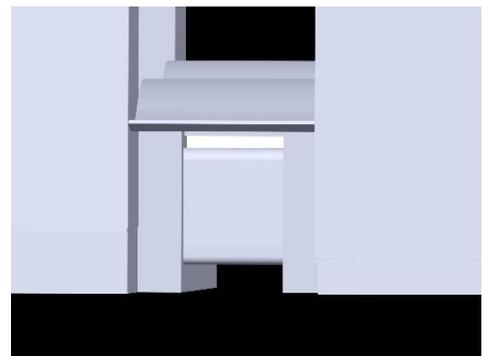
Kuva 4: Kattoterassien yksityiskohtia (kuva Helin & Co Arkkitehdit).

Kalasadamankatu on katettu ja kulkee rakennusten läpi etelästä ja pohjoiseen, Itäväylän ja metrosillan alta (kuva 5).

a)



b)



c)

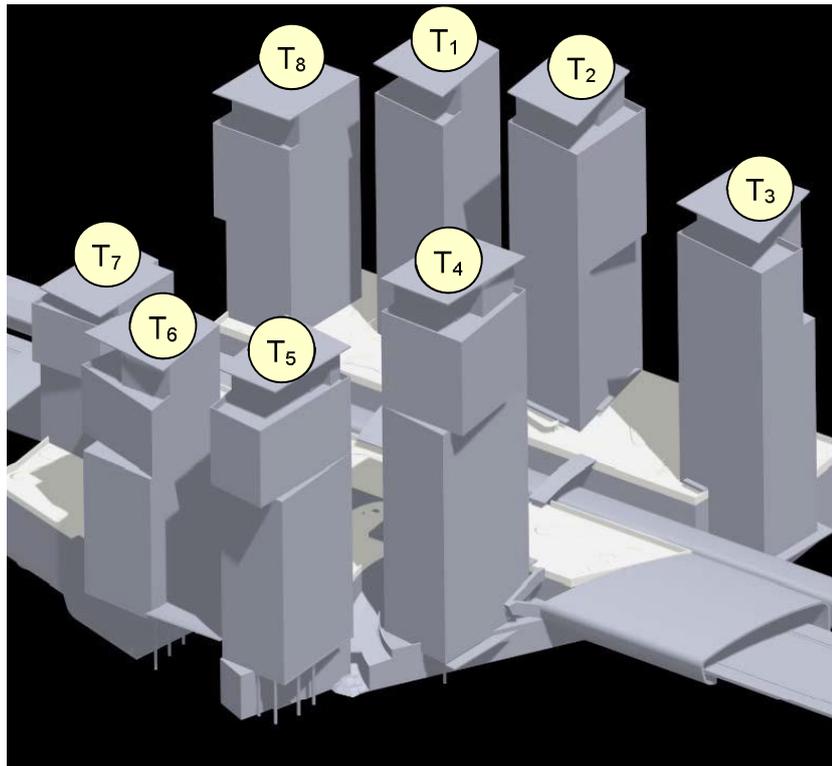


Kuva 5: Kalasadamankatu: a) eteläinen pääty, b) pohjoinen pääty ja c) havainnekuva kadulta (kuva Helin & Co Arkkitehdit).

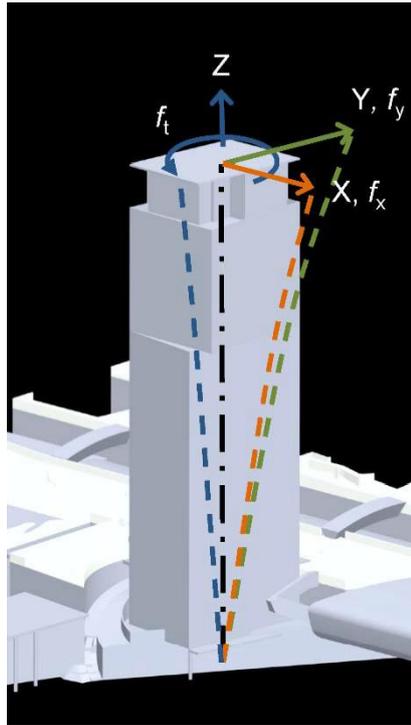
2.4 Tornien värähtelyparametrit

Tornien numerointi on esitetty kuvassa 7. Tarkasteluun on otettu alimmat värähtelymuodot tornin taivutukselle pääsuunnille (X ja Y) sekä väännölle (kuva 8).

Rakennesuunnittelijan määrittämät värähtelyn alimmat ominaistajuudet on esitetty taulukossa 1 sekä kerrosmassat liitteessä 1. Näistä on laskettu tämän raportin tarpeisiin ekvivalentit massat (taulukko 1), jotka kuvaavat kerrosmassan tehollista arvoa värähtelyn ominaismuotoon ja todelliseen kerrosmassan jakaumaan liittyen.



Kuva 7: Tornien numerointi.



Kuva 8: Tornien alimpien värähtelyn ominaismuotojen idealisointi: taivutus X-suuntaan (ominaistaajuus f_x); taivutus Y-suuntaan (ominaistaajuus f_y); sekä vääntö Z-akselin ympäri (ominaistaajuus f_t). Kuva on tornille T₄; muiden tornien akselien suunnat ovat vastaavia (X-akseli osoittaa likimain lännen suuntaan ja Y-akseli pohjoiseen).

Taulukko 1: Tornien korkeudet (h) ja alimmat värähtelyn ominaistaajuudet.

Tunnus	Korkeus- asema [m]	h [m]	f_x [Hz]	f_y [Hz]	f_t [Hz]	$m_{e,x}$ [t/m]	$m_{e,y}$ [t/m]	J_e [tm ² /m]
T ₁	116,8	113,7	0,36	0,40	0,60	279	277	44624
T ₂	130,4	127,3	0,33	0,41	0,59	349	351	49543
T ₃	122,7	119,6	0,34	0,40	0,62	363	364	56067
T ₄	133,5	130,4	0,28	0,37	0,48	353	353	49475
T ₅	118,8	115,7	0,38	0,57	0,64	350	352	50182
T ₆	103,1	100,0	0,41	0,55	0,63	368	367	57891
T ₇	105,0	101,9	0,42	0,51	0,73	229	229	46802
T ₈	117,3	114,2	0,38	0,45	0,65	259	259	44624

m_e = SFS-EN1991-1-4 mukainen ekvivalentti massa

Rakenteellisten vaimennuksen arvona on käytetty arvoa $\delta_s = 10\%$ logaritminen dekrementti kaikille torneille ja ominaismuodoille, joka on EN1991-1-4:2005 mukainen betonisen rakennuksen arvo taivutuksen alimmalle ominaismuodolle.

3 Tuulennopeuden ääriarvot

Tuulennopeuden ääriarvojen tarkastelu perustuu lähteessä [1] Kalasataman keskukselle tehtyyn tarkasteluun. Maaston karheusluokan muutoksen vaikutuksen analyysi on tehty tarkemmalla menetelmällä muutosalueella vaikuttavien puuskatuulien osalta.

Rannikon sääasemien tuulitilastojen perusteella on ehdotettu käytettäväksi seuraavia perustuulennopeuksia [1]:

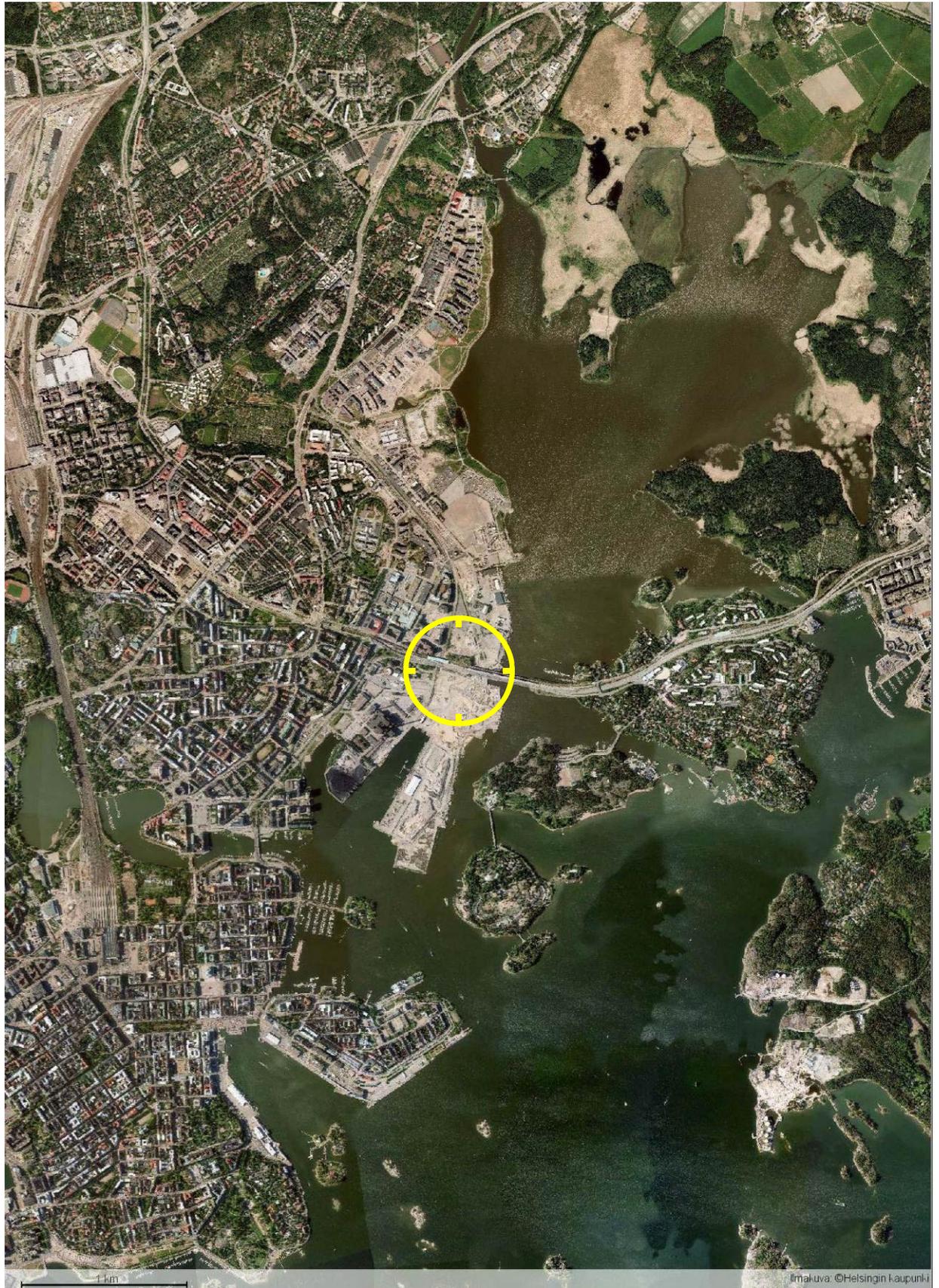
- $v_m = 31$ m/s keskituuli, 10 min, 10 m korkeus, meri-maastoluokka, $z_0 = 0,003$ m, 50 v toistumisväli
- $v_m = 26$ m/s keskituuli, 10 min, 10 m korkeus, meri-maastoluokka, $z_0 = 0,003$ m, 5 v toistumisväli. Rakennusrungon huojunnan tarkastelu ISO-standardin [5] mukaisesti.
- $v_m = 23$ m/s keskituuli, 10 min, 10 m korkeus, meri-maastoluokka, $z_0 = 0,003$ m, 1 v toistumisväli. Rakennusrungon huojunnan tarkastelu ISO-standardin [6] mukaisesti.

Perustuulennopeus on oletettu riippumattomaksi tuulen suunnasta. Arvoissa on mukana:

- 90% luotettavuusväli-tarkastelu tilastointiajan rajallisuuden suhteen
- 5% lisä tuulitilastojen systemaattisten virheiden (mittareiden jäätyminen ja ei-jatkuva rekisteröinti) suhteen
- 5% lisä ilmaston muuttumisesta aiheutuvien ääri-ilmiöiden kasvun huomioon ottamiseksi.

Tuulennopeuksien ääriarvot kohdealueella on määritetty maaston karheusluokan muutosanalyysin avulla. Kuvassa 9 on havainnollistettu lähialueen maaston tyyppiä. Tuulennopeuksien ääriarvojen laskenta on esitetty taulukossa 2 ja tuloksia havainnollistettu kuvassa 10.

Tulokset koskevat Kalastamaa ilman tornien tai rakennusten paikallisia vaikutuksia. Näiden vaikutus tulee otetuksi huomioon tuulitunnelikoneen lähialueen pienoismallin kautta.



Kuva 9: Maaston tyyppi kohdealueen ympäristössä (kuva muokattu Helsingin kaupungin aineistosta).

Taulukko 2a: Tuulennopeuden ja tuulen nopeuspaineiden ääriarvojen laskenta 50 v toistumisväliille.

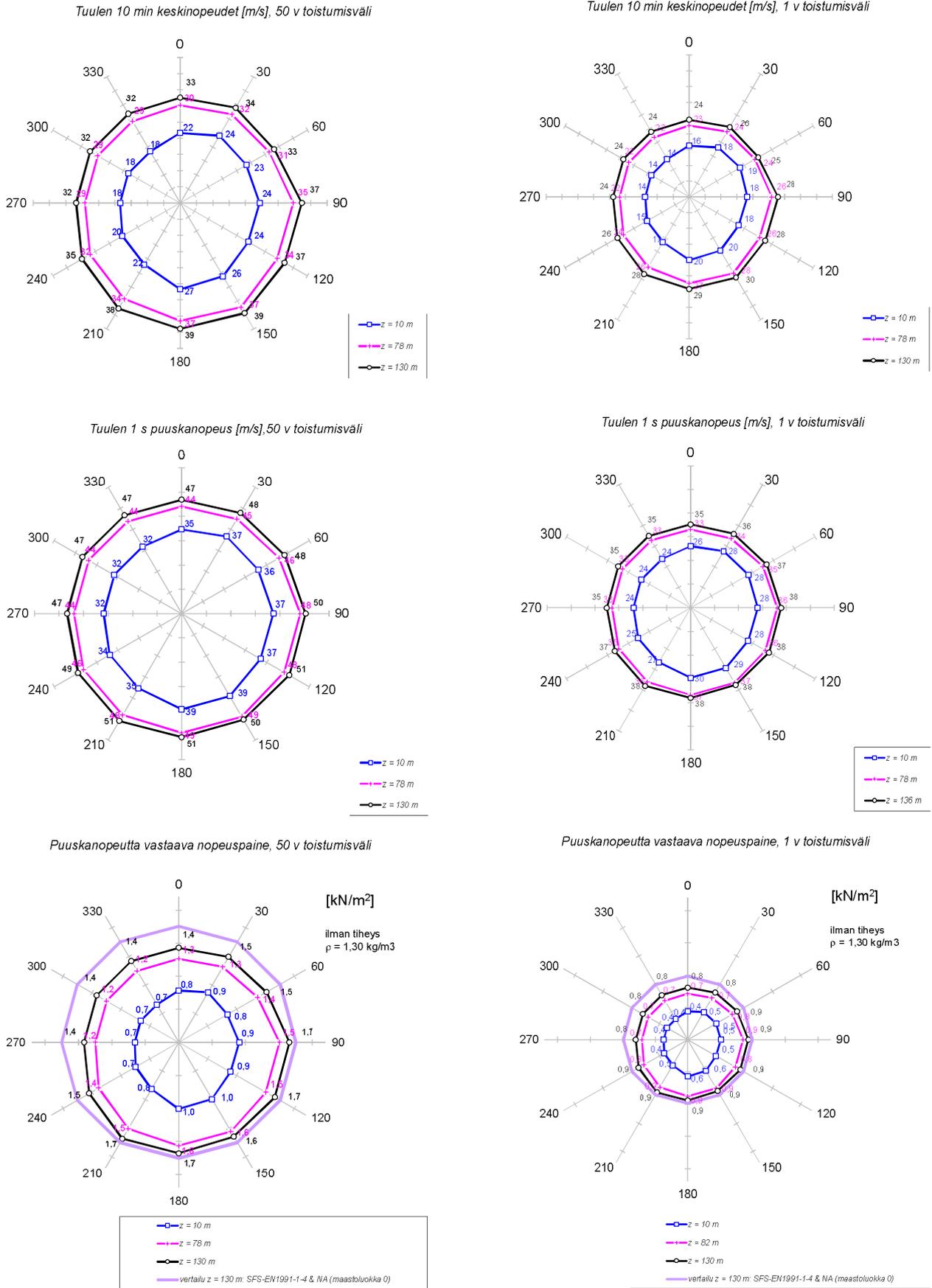
Symboli	Yksikkö	Tuulen suuntakulma												Kommentti	Viite	
		0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330			
v_{mfr}	m/s	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	keskituulen perusarvo (10 min, 10 m, 50 v, z_{0r})	Tuulitblastot
k		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	toistumisvälin kerroin	Eurokoodi
v_{ref}	m/s	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	50 v toistumisvälin tuuli	
u^*_r	m/s	1,519	1,519	1,519	1,519	1,519	1,519	1,519	1,519	1,519	1,519	1,519	1,519	1,519	kitkanopeus (friction velocity) vastaan z_{0r}	
z_{0r}	m	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	rosaisuusmitta (roughness length) keskituulen perusarvoon liittyen	Eurokoodi
z_{01}	m	0,3	0,3	0,3	0,01	0,01	0,003	0,003	0,003	0,05	0,3	0,3	0,3	0,3	kohtealueen ympäristössä	Eurokoodi
$(z_{01}/z_{0r})^{0,07}$	m/s	1,380	1,380	1,380	1,088	1,088	1,000	1,000	1,000	1,218	1,380	1,380	1,380			
u^*_1	m/s	2,097	2,097	2,097	1,652	1,652	1,519	1,519	1,519	1,849	2,097	2,097	2,097	2,097	kitkanopeus vastaten z_{01}	Eurokoodi, Simiu & Scanlan
$lv(z=10\text{ m})$		0,29	0,29	0,29	0,14	0,14	0,12	0,12	0,12	0,19	0,29	0,29	0,29	0,29	turbulenssin intensiteetti	Eurokoodi
$lv(z=15\text{ m})$		0,26	0,26	0,26	0,14	0,14	0,12	0,12	0,12	0,18	0,26	0,26	0,26	0,26		
$lv(z=78,24\text{ m})$		0,18	0,18	0,18	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,14	0,18	0,18	0,18	0,18		
$lv(z=130,4\text{ m})$		0,16	0,16	0,16	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09	0,13	0,16	0,16	0,16	0,16		
$vm(z=10\text{ m})$	m/s	18	18	18	29	29	31	31	31	24	18	18	18	18	10 min keskituuli	Eurokoodi
$vm(z=15\text{ m})$	m/s	21	21	21	30	30	32	32	32	26	21	21	21	21		
$vm(z=78,24\text{ m})$	m/s	29	29	29	37	37	39	39	39	34	29	29	29	29		
$vm(z=130,4\text{ m})$	m/s	32	32	32	39	39	41	41	41	36	32	32	32	32		
$vh(z=10\text{ m})$	m/s	17	17	17	27	27	29	29	29	23	17	17	17	17	tunnin keskituuli	Simiu&Scanlan
$vh(z=15\text{ m})$	m/s	19	19	19	29	29	31	31	31	25	19	19	19	19		
$vh(z=78,24\text{ m})$	m/s	27	27	27	36	36	37	37	37	32	27	27	27	27		
$vh(z=130,4\text{ m})$	m/s	30	30	30	38	38	39	39	39	35	30	30	30	30		
$v(z=10\text{ m})$	m/s	32	32	32	40	40	42	42	42	37	32	32	32	32	puuskatuuli	Eurokoodi
$v(z=15\text{ m})$	m/s	34	34	34	42	42	44	44	44	39	34	34	34	34		
$v(z=78,24\text{ m})$	m/s	44	44	44	49	49	50	50	50	48	44	44	44	44		
$v(z=130,4\text{ m})$	m/s	47	47	47	52	52	52	52	52	50	47	47	47	47		
z_{02}	m	0,05	0,01	0,003	0,1	0,1	0,1	0,05	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	kohtealueella	Eurokoodi
$(z_{02}/z_{01})^{0,07}$		0,882	0,788	0,724	1,175	1,175	1,278	1,278	1,380	1,134	1,000	1,000	1,000	1,000		
u^*_2	m/s	1,849	1,652	1,519	1,941	1,941	1,941	1,849	2,097	2,097	2,097	2,097	2,097	2,097	kitkanopeus vastaten z_{02}	
$lv(z=10\text{ m})$		0,19	0,14	0,12	0,22	0,22	0,22	0,19	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	turbulenssin intensiteetti	Eurokoodi
$lv(z=15\text{ m})$		0,18	0,14	0,12	0,20	0,20	0,20	0,18	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26		
$lv(z=78,24\text{ m})$		0,14	0,11	0,10	0,15	0,15	0,15	0,14	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18		
$lv(z=130,4\text{ m})$		0,13	0,11	0,09	0,14	0,14	0,14	0,13	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16		
$vm(z=10\text{ m})$	m/s	24	29	31	22	22	22	24	18	18	18	18	18	18	10 min keskituuli	Eurokoodi
$vm(z=15\text{ m})$	m/s	26	30	32	24	24	24	26	21	21	21	21	21	21		
$vm(z=78,24\text{ m})$	m/s	34	37	39	32	32	32	34	29	29	29	29	29	29		
$vm(z=130,4\text{ m})$	m/s	36	39	41	35	35	35	36	32	32	32	32	32	32		
$vh(z=10\text{ m})$	m/s	23	27	29	21	21	21	23	17	17	17	17	17	17	tunnin keskituuli	Simiu&Scanlan
$vh(z=15\text{ m})$	m/s	25	29	31	23	23	23	25	19	19	19	19	19	19		
$vh(z=78,24\text{ m})$	m/s	32	36	37	31	31	31	32	27	27	27	27	27	27		
$vh(z=130,4\text{ m})$	m/s	35	38	39	33	33	33	35	30	30	30	30	30	30		
$v(z=10\text{ m})$	m/s	37	40	42	35	35	35	37	32	32	32	32	32	32	puuskatuuli	Eurokoodi
$v(z=15\text{ m})$	m/s	39	42	44	38	38	38	39	34	34	34	34	34	34		
$v(z=78,24\text{ m})$	m/s	48	49	50	46	46	46	48	44	44	44	44	44	44		
$v(z=130,4\text{ m})$	m/s	50	52	52	49	49	49	50	47	47	47	47	47	47		
Maaston rosaisuuden muutoksen ($z_{01} - > z_{02}$) vaikutus ESDU85020 mukaisesti																
x	m	2500	5000	1300	5800	9000	1000	4200	4000	3400	3600	5000	5000	5000	etäisyys muutoskohtaan	
z_i	m	71	64	9	135	187	36	89	134	119	252	350	350	350	sis. rajakerroksen korkeus	
$lv(z=10\text{ m})$		0,22	0,19	0,19	0,19	0,20	0,18	0,17	0,23	0,25	0,29	0,29	0,29	0,29		
$lv(z=15\text{ m})$		0,21	0,18	0,18	0,18	0,18	0,16	0,16	0,21	0,22	0,26	0,26	0,26	0,26		
$lv(z=78,24\text{ m})$		0,16	0,15	0,16	0,13	0,14	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,18	0,18	0,18		
$lv(z=130,4\text{ m})$		0,15	0,14	0,16	0,12	0,12	0,09	0,10	0,12	0,14	0,16	0,16	0,16	0,16		
10 min keskituuli																
$vm(z=10\text{ m})$	m/s	22	24	23	24	24	26	27	22	20	18	18	18	18	Tarkastelupisteessä:	
$vm(z=15\text{ m})$	m/s	23	25	25	26	26	28	29	25	23	21	21	21	21		
$vm(z=78,24\text{ m})$	m/s	30	32	31	35	34	37	37	34	32	29	29	29	29		
$vm(z=130,4\text{ m})$	m/s	33	34	33	37	37	39	39	38	35	32	32	32	32		
Tunnin keskituuli																
$vh(z=10\text{ m})$	m/s	20	22	22	23	23	25	25	21	19	17	17	17	17		
$vh(z=15\text{ m})$	m/s	22	24	24	25	25	27	27	23	21	19	19	19	19		
$vh(z=78,24\text{ m})$	m/s	29	30	30	33	33	36	35	33	30	27	27	27	27		
$vh(z=130,4\text{ m})$	m/s	31	32	32	36	35	38	37	36	33	30	30	30	30		
Puuskatuuli (EN1991-1-4:2005 puuskamäärittely)																
$v(z=10\text{ m})$	m/s	35	37	36	37	37	39	39	35	34	32	32	32	32	n. 1 s huippuarvo	
$v(z=15\text{ m})$	m/s	37	38	38	40	39	41	42	38	37	34	34	34	34		
$v(z=78,24\text{ m})$	m/s	44	45	46	48	48	49	49	48	46	44	44	44	44		
$v(z=130,4\text{ m})$	m/s	47	48	48	50	51	50	51	51	49	47	47	47	47		
Puuskatuulen nopeuspaine (EN1991-1-4:2005 puuskatuulimäärittely): ilman tiheys = 1,30 kg/m³																
$q(z=10\text{ m})$	kN/m ²	0,78	0,87	0,84	0,91	0,89	0,99	1,01	0,82	0,74	0,66	0,66	0,66	0,66	50 v toistumisväli	NA
$q(z=15\text{ m})$	kN/m ²	0,87	0,95	0,93	1,03	1,01	1,10	1,12	0,95	0,87	0,76	0,76	0,76	0,76		
$q(z=78,24\text{ m})$	kN/m ²	1,26	1,32	1,36	1,51	1,51	1,56	1,57	1,51	1,38	1,25	1,25	1,25	1,25	$z = 0,6H$	
$q(z=130,4\text{ m})$	kN/m ²	1,43	1,49	1,52	1,66	1,66	1,65	1,68	1,68	1,55	1,42	1,42	1,42	1,42		
EN1991-1-4:2005 & NA q (maasto 0)																
$q(z=10\text{ m})$	kN/m ²	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	Vertailuarvo	
$q(z=15\text{ m})$	kN/m ²	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23		
$q(z=78,24\text{ m})$	kN/m ²	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62		
$q(z=130,4\text{ m})$	kN/m ²	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75		

Taulukko 2b: Tuulennopeuden ja tuulen nopeuspaineiden ääriarvojen laskenta 5 v toistumisvä-
lille.

Symboli	Yksikkö	Tuulen suuntakulma												Kommentti	Viite	
		0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330			
V_{mr}	m/s	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	keskituulen perusarvo (10 min, 10 m, 50 v, z_{0r})	Tuulitilat
k		0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	toistumisvälin kerroin	Eurokoodi	
V_{ref}	m/s	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	5 v toistumisvälin tuuli	
u^*_r	m/s	1,291	1,291	1,291	1,291	1,291	1,291	1,291	1,291	1,291	1,291	1,291	1,291	kitkanopeus (friction velocity) vastaan z_{0r}		
z_{0r}	m	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	rosoisuusmitta (roughness length) keskituulen perusarvoon liittyen	Eurokoodi	
z_{01}	m	0,3	0,3	0,3	0,01	0,01	0,003	0,003	0,003	0,05	0,3	0,3	0,3	kohdealueen ympäristössä	Eurokoodi	
$(z_{01}/z_{0r})^{0,07}$	m/s	1,380	1,380	1,380	1,088	1,088	1,000	1,000	1,000	1,218	1,380	1,380	1,380			
u^*_1	m/s	1,782	1,782	1,782	1,404	1,404	1,291	1,291	1,291	1,572	1,782	1,782	1,782	kitkanopeus vastaten z_{01}	Eurokoodi, Simiu & Scanlan	
$lv(z=10\text{ m})$		0,29	0,29	0,29	0,14	0,14	0,12	0,12	0,12	0,19	0,29	0,29	0,29	turbulenssin intensiteetti	Eurokoodi	
$lv(z=15\text{ m})$		0,26	0,26	0,26	0,14	0,14	0,12	0,12	0,12	0,18	0,26	0,26	0,26			
$lv(z=78,24\text{ m})$		0,18	0,18	0,18	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,14	0,18	0,18	0,18			
$lv(z=130,4\text{ m})$		0,16	0,16	0,16	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09	0,13	0,16	0,16	0,16			
$vm(z=10\text{ m})$	m/s	16	16	16	24	24	26	26	26	21	16	16	16	16	10 min keskituuli	Eurokoodi
$vm(z=15\text{ m})$	m/s	17	17	17	26	26	27	27	27	22	17	17	17			
$vm(z=78,24\text{ m})$	m/s	25	25	25	31	31	33	33	33	29	25	25	25			
$vm(z=130,4\text{ m})$	m/s	27	27	27	33	33	34	34	34	31	27	27	27			
$vh(z=10\text{ m})$	m/s	14	14	14	23	23	25	25	25	19	14	14	14	14	tunnin keskituuli	Simiu&Scanlan
$vh(z=15\text{ m})$	m/s	16	16	16	24	24	26	26	26	21	16	16	16			
$vh(z=78,24\text{ m})$	m/s	23	23	23	30	30	32	32	32	28	23	23	23			
$vh(z=130,4\text{ m})$	m/s	26	26	26	32	32	33	33	33	30	26	26	26			
$v(z=10\text{ m})$	m/s	27	27	27	34	34	36	36	36	32	27	27	27	27	puuskatuuli	Eurokoodi
$v(z=15\text{ m})$	m/s	29	29	29	36	36	37	37	37	33	29	29	29			
$v(z=78,24\text{ m})$	m/s	37	37	37	42	42	43	43	43	40	37	37	37			
$v(z=130,4\text{ m})$	m/s	40	40	40	44	44	44	44	44	42	40	40	40			
z_{02}	m	0,05	0,01	0,003	0,1	0,1	0,1	0,05	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	kohdealueella	Eurokoodi
$(z_{02}/z_{01})^{0,07}$		0,882	0,788	0,724	1,175	1,175	1,278	1,218	1,380	1,134	1,000	1,000	1,000			
u^*_2	m/s	1,572	1,404	1,291	1,650	1,650	1,650	1,572	1,782	1,782	1,782	1,782	1,782	1,782	kitkanopeus vastaten z_{02}	
$lv(z=10\text{ m})$		0,19	0,14	0,12	0,22	0,22	0,22	0,19	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	turbulenssin intensiteetti	Eurokoodi
$lv(z=15\text{ m})$		0,18	0,14	0,12	0,20	0,20	0,20	0,18	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26			
$lv(z=78,24\text{ m})$		0,14	0,11	0,10	0,15	0,15	0,15	0,14	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18			
$lv(z=130,4\text{ m})$		0,13	0,11	0,09	0,14	0,14	0,14	0,13	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16			
$vm(z=10\text{ m})$	m/s	21	24	26	19	19	19	21	16	16	16	16	16	16	10 min keskituuli	Eurokoodi
$vm(z=15\text{ m})$	m/s	22	26	27	21	21	21	22	17	17	17	17	17			
$vm(z=78,24\text{ m})$	m/s	29	31	33	27	27	27	29	25	25	25	25	25			
$vm(z=130,4\text{ m})$	m/s	31	33	34	30	30	30	31	27	27	27	27	27			
$vh(z=10\text{ m})$	m/s	19	23	25	18	18	18	19	14	14	14	14	14	14	tunnin keskituuli	Simiu&Scanlan
$vh(z=15\text{ m})$	m/s	21	24	26	19	19	19	21	16	16	16	16	16			
$vh(z=78,24\text{ m})$	m/s	28	30	32	26	26	26	28	23	23	23	23	23			
$vh(z=130,4\text{ m})$	m/s	30	32	33	28	28	28	30	26	26	26	26	26			
$v(z=10\text{ m})$	m/s	32	34	36	30	30	30	32	27	27	27	27	27	27	puuskatuuli	Eurokoodi
$v(z=15\text{ m})$	m/s	33	36	37	32	32	32	33	29	29	29	29	29			
$v(z=78,24\text{ m})$	m/s	40	42	43	39	39	39	40	37	37	37	37	37			
$v(z=130,4\text{ m})$	m/s	42	44	44	42	42	42	42	40	40	40	40	40			
Maaston rosoisuuden muutoksen ($z_{01} \rightarrow z_{02}$) vaikutus ESDU85020 mukaisesti																
x	m	2500	5000	1300	5800	9000	1000	4200	4000	3400	3600	5000	5000	5000	etäisyys muutoskohtaan	
zi	m	71	64	9	135	187	36	89	134	119	252	350	350	350	sis. rajakerroksen korkeus	
$lv(z=10\text{ m})$		0,22	0,19	0,19	0,19	0,20	0,18	0,17	0,23	0,25	0,29	0,29	0,29	0,29		
$lv(z=15\text{ m})$		0,21	0,18	0,18	0,18	0,18	0,16	0,16	0,21	0,22	0,26	0,26	0,26			
$lv(z=78,24\text{ m})$		0,16	0,15	0,16	0,13	0,14	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,18	0,18			
$lv(z=130,4\text{ m})$		0,15	0,14	0,16	0,12	0,12	0,09	0,10	0,12	0,14	0,16	0,16	0,16			
10 min keskituuli																
$vm(z=10\text{ m})$	m/s	18	21	20	21	20	22	23	19	17	16	16	16	16	Tarkastelupisteessä:	
$vm(z=15\text{ m})$	m/s	20	22	21	22	22	24	24	21	19	17	17	17			
$vm(z=78,24\text{ m})$	m/s	26	27	27	29	29	32	31	29	27	25	25	25			
$vm(z=130,4\text{ m})$	m/s	28	29	28	32	31	33	33	32	29	27	27	27			
Tunnin keskituuli																
$vh(z=10\text{ m})$	m/s	17	19	19	19	19	21	22	18	16	14	14	14	14		
$vh(z=15\text{ m})$	m/s	18	20	20	21	21	23	23	20	18	16	16	16			
$vh(z=78,24\text{ m})$	m/s	24	26	26	28	28	30	30	28	26	23	23	23			
$vh(z=130,4\text{ m})$	m/s	26	28	27	30	30	32	32	31	28	26	26	26			
Puuskatuuli (EN1991-1-4:2005 puuskamäärittely)																
$v(z=10\text{ m})$	m/s	30	31	31	32	31	33	33	30	29	27	27	27	27	n. 1 s huippuarvo	
$v(z=15\text{ m})$	m/s	31	32	32	34	34	35	35	33	31	29	29	29	29		
$v(z=78,24\text{ m})$	m/s	38	38	39	41	41	42	42	41	39	37	37	37			
$v(z=130,4\text{ m})$	m/s	40	41	41	43	43	43	43	43	41	40	40	40			
Puuskatuulen nopeuspaine (EN1991-1-4:2005 puuskatuulimäärittely): ilman tiheys = 1,30 kg/m³																
$q(z=10\text{ m})$	kN/m ²	0,57	0,63	0,61	0,65	0,64	0,72	0,73	0,59	0,54	0,48	0,48	0,48	0,48		
$q(z=15\text{ m})$	kN/m ²	0,63	0,68	0,67	0,74	0,73	0,80	0,81	0,69	0,63	0,55	0,55	0,55	0,55		
$q(z=78,24\text{ m})$	kN/m ²	0,92	0,95	0,99	1,09	1,09	1,12	1,13	1,09	1,00	0,90	0,90	0,90	0,90	z = 0,6H	
$q(z=130,4\text{ m})$	kN/m ²	1,04	1,08	1,10	1,20	1,20	1,19	1,21	1,22	1,12	1,02	1,02	1,02	1,02		
EN1991-1-4:2005 & NA q (maasto 0)																
$q(z=10\text{ m})$	kN/m ²	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	Vertailuarvo	
$q(z=15\text{ m})$	kN/m ²	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89		
$q(z=78,24\text{ m})$	kN/m ²	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17		
$q(z=130,4\text{ m})$	kN/m ²	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27		

Taulukko 2c: Tuulennopeuden ja tuulen nopeuspaineiden ääriarvojen laskenta 1 v toistumisvä-
lille.

Symboli	Yksikkö	Tuulen suuntakulma												Kommentti	Viite
		0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330		
v_{mr}	m/s	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	keskituulen perusarvo (10 min, 10 m, 50 v, z_{0r})	Tuulitilastot
k		0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	toistumisvälin kerroin	BS6399-2:1997
v_{ref}	m/s	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	1v toistumisvälin tuuli	
u^*_r	m/s	1,138	1,139	1,139	1,139	1,139	1,139	1,139	1,139	1,139	1,139	1,139	1,139	kitkanopeus (friction velocity) vastaan z_{0r}	
z_{0r}	m	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	rosisuusmitta (roughness length) keskituulen perusarvoon liittyen	Eurokoodi
z_{01}	m	0,3	0,3	0,3	0,01	0,01	0,003	0,003	0,003	0,05	0,3	0,3	0,3	kohdealueen ympäristössä	Eurokoodi
$(z_{01}/z_{0r})^{0,07}$	m/s	1,380	1,380	1,380	1,088	1,088	1,000	1,000	1,000	1,218	1,380	1,380	1,380		
u^*_1	m/s	1,570	1,572	1,572	1,239	1,239	1,139	1,139	1,139	1,387	1,572	1,572	1,572	kitkanopeus vastaten z_{01}	Eurokoodi, Simiu & Scanlan
$lv(z=10\text{ m})$		0,29	0,29	0,29	0,14	0,14	0,12	0,12	0,12	0,19	0,29	0,29	0,29	turbulenssin intensiteetti	Eurokoodi
$lv(z=15\text{ m})$		0,26	0,26	0,26	0,14	0,14	0,12	0,12	0,12	0,18	0,26	0,26	0,26		
$lv(z=78,24\text{ m})$		0,18	0,18	0,18	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,14	0,18	0,18	0,18		
$lv(z=130,4\text{ m})$		0,16	0,16	0,16	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09	0,13	0,16	0,16	0,16		
$vm(z=10\text{ m})$	m/s	14	14	14	21	21	23	23	23	18	14	14	14	10 min keskituuli	Eurokoodi
$vm(z=15\text{ m})$	m/s	15	15	15	23	23	24	24	24	20	15	15	15		
$vm(z=78,24\text{ m})$	m/s	22	22	22	28	28	29	29	29	26	22	22	22		
$vm(z=130,4\text{ m})$	m/s	24	24	24	29	29	30	30	30	27	24	24	24		
$vh(z=10\text{ m})$	m/s	12	13	13	20	20	22	22	22	17	13	13	13	13 tunnin keskituuli	Simiu&Scanlan
$vh(z=15\text{ m})$	m/s	14	14	14	22	22	23	23	23	19	14	14	14		
$vh(z=78,24\text{ m})$	m/s	21	21	21	27	27	28	28	28	24	21	21	21		
$vh(z=130,4\text{ m})$	m/s	23	23	23	28	28	29	29	29	26	23	23	23		
$v(z=10\text{ m})$	m/s	24	24	24	30	30	32	32	32	28	24	24	24	puuskatuuli	Eurokoodi
$v(z=15\text{ m})$	m/s	26	26	26	32	32	33	33	33	30	26	26	26		
$v(z=78,24\text{ m})$	m/s	33	33	33	37	37	38	38	38	36	33	33	33		
$v(z=130,4\text{ m})$	m/s	35	35	35	39	39	39	39	39	37	35	35	35		
z_{02}	m	0,05	0,01	0,001	0,1	0,1	0,1	0,05	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	kohdealueella	Eurokoodi
$(z_{02}/z_{01})^{0,07}$		0,882	0,788	0,671	1,175	1,175	1,278	1,218	1,380	1,134	1,000	1,000	1,000		
u^*_2	m/s	1,385	1,239	1,055	1,456	1,456	1,456	1,387	1,572	1,572	1,572	1,572	1,572	kitkanopeus vastaten z_{02}	
$lv(z=10\text{ m})$		0,19	0,14	0,11	0,22	0,22	0,22	0,19	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	turbulenssin intensiteetti	Eurokoodi
$lv(z=15\text{ m})$		0,18	0,14	0,10	0,20	0,20	0,20	0,18	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26		
$lv(z=78,24\text{ m})$		0,14	0,11	0,09	0,15	0,15	0,15	0,14	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18		
$lv(z=130,4\text{ m})$		0,13	0,11	0,08	0,14	0,14	0,14	0,13	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16		
$vm(z=10\text{ m})$	m/s	18	21	24	17	17	17	18	14	14	14	14	14	10 min keskituuli	Eurokoodi
$vm(z=15\text{ m})$	m/s	20	23	25	18	18	18	20	15	15	15	15	15		
$vm(z=78,24\text{ m})$	m/s	25	28	30	24	24	24	26	22	22	22	22	22		
$vm(z=130,4\text{ m})$	m/s	27	29	31	26	26	26	27	24	24	24	24	24		
$vh(z=10\text{ m})$	m/s	17	20	23	16	16	16	17	13	13	13	13	13	13 tunnin keskituuli	Simiu&Scanlan
$vh(z=15\text{ m})$	m/s	19	22	24	17	17	17	19	14	14	14	14	14		
$vh(z=78,24\text{ m})$	m/s	24	27	29	23	23	23	24	21	21	21	21	21		
$vh(z=130,4\text{ m})$	m/s	26	28	30	25	25	25	26	23	23	23	23	23		
$v(z=10\text{ m})$	m/s	28	30	32	27	27	27	28	24	24	24	24	24	puuskatuuli	Eurokoodi
$v(z=15\text{ m})$	m/s	29	32	33	28	28	28	30	26	26	26	26	26		
$v(z=78,24\text{ m})$	m/s	36	37	38	35	35	35	36	33	33	33	33	33		
$v(z=130,4\text{ m})$	m/s	37	39	39	37	37	37	37	35	35	35	35	35		
Maaston rosisuuden muutoksen ($z_{01} \rightarrow z_{02}$) vaikutus ESDU85020 mukaisesti															
x	m	2500	5000	1300	5800	9000	1000	4200	4000	3400	3600	5000	5000	etäisyys muutoskohtaan	
zi	m	71	64	5	135	187	36	89	134	119	252	350	350	sis. rajakerroksen korkeus	
$lv(z=10\text{ m})$		0,22	0,19	0,18	0,19	0,20	0,18	0,17	0,23	0,25	0,29	0,29	0,29		
$lv(z=15\text{ m})$		0,21	0,18	0,17	0,18	0,18	0,16	0,16	0,21	0,22	0,26	0,26	0,26		
$lv(z=78,24\text{ m})$		0,16	0,14	0,16	0,13	0,14	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,18	0,18		
$lv(z=130,4\text{ m})$		0,15	0,14	0,16	0,12	0,13	0,09	0,10	0,12	0,14	0,16	0,16	0,16		
10 min keskituuli															
$vm(z=10\text{ m})$	m/s	16	18	19	18	18	20	20	17	15	14	14	14	Tarkastelupisteessä:	
$vm(z=15\text{ m})$	m/s	18	19	20	20	20	21	22	18	17	15	15	15		
$vm(z=78,24\text{ m})$	m/s	23	24	24	26	26	28	27	26	24	22	22	22		
$vm(z=130,4\text{ m})$	m/s	24	26	25	28	28	30	29	28	26	24	24	24		
Tunnin keskituuli															
$vh(z=10\text{ m})$	m/s	15	17	17	17	17	19	19	15	14	13	13	13		
$vh(z=15\text{ m})$	m/s	16	18	19	19	18	20	20	17	16	14	14	14		
$vh(z=78,24\text{ m})$	m/s	21	23	23	25	25	27	26	25	23	21	21	21		
$vh(z=130,4\text{ m})$	m/s	23	24	24	27	26	28	28	27	25	23	23	23		
Puuskatuuli (EN1991-1-4:2005 puuskamäärittely)															
$v(z=10\text{ m})$	m/s	26	28	28	28	28	29	30	27	25	24	24	24	n. 1 s huippuarvo	
$v(z=15\text{ m})$	m/s	27	29	29	30	30	31	31	29	27	26	26	26		
$v(z=78,24\text{ m})$	m/s	33	34	35	36	36	37	37	36	35	33	33	33		
$v(z=130,4\text{ m})$	m/s	35	36	37	38	38	38	38	38	37	35	35	35		
Puuskatuulen nopeuspaine (EN1991-1-4:2005 puuskatuulimäärittely): ilman tiheys = 1,30 kg/m³															
$q(z=10\text{ m})$	kN/m ²	0,44	0,49	0,51	0,51	0,50	0,56	0,57	0,46	0,42	0,37	0,37	0,37	1 v toistumisväli	NA
$q(z=15\text{ m})$	kN/m ²	0,49	0,53	0,56	0,58	0,57	0,62	0,63	0,54	0,49	0,43	0,43	0,43		
$q(z=78,24\text{ m})$	kN/m ²	0,71	0,74	0,79	0,85	0,85	0,87	0,88	0,85	0,78	0,70	0,70	0,70	z = 0,6H	
$q(z=130,4\text{ m})$	kN/m ²	0,81	0,84	0,88	0,93	0,93	0,92	0,94	0,95	0,87	0,80	0,80	0,80		
EN1991-1-4:2005 & NA q (maasto 0)															
$q(z=10\text{ m})$	kN/m ²	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	Vertailuarvo	
$q(z=15\text{ m})$	kN/m ²	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69		
$q(z=78,24\text{ m})$	kN/m ²	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91		
$q(z=130,4\text{ m})$	kN/m ²	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99		



Kuva 10: Tuulennopeuksien ja tuulenpainoiden ääriarvot Kalasatamassa (ilman korkeiden tornien yms paikallisia vaikutuksia).

4 Tuulitunnelikoe

4.1 Koejärjestely

Kokeet on suoritettu Aalto-yliopiston tuulitekniikkatunnelissa Espoon Otaniemessä. Yleisjärjestely kokeesta on esitetty kuvassa 11. Tuulitunneli on tyypiltään rajakerros-tuulitunneli ja suunniteltu luonnon tuulien simuloitiin. Koe-tekniikan kannalta tärkeät ominaisuudet ovat:

- mittatilan poikkileikkaus (leveys x korkeus) $2,5 \times 1,5 \text{ m}^2$
- rajakerroksen simulointiin käytettävissä oleva matka n. 10 m.

a)



b)



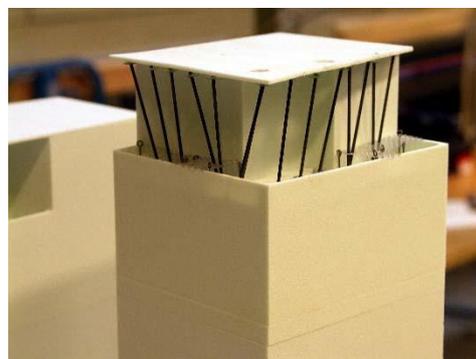
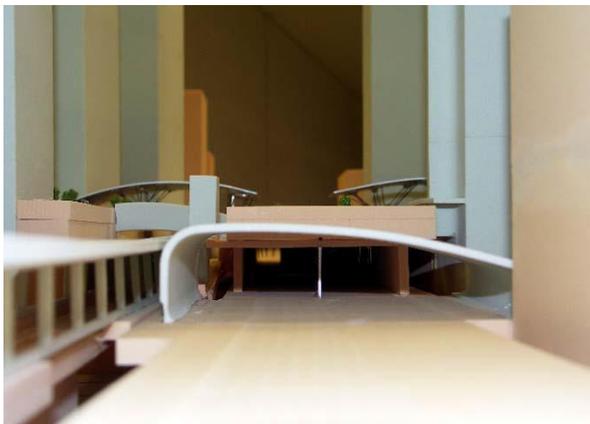
Kuva 11: Yleiskuva koejärjestelystä: a) 3/2012 suunnitelma ja b) 4/2015 suunnitelma

Rajakerroksen simuloinnilla tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, että pienois-mallin kohtaava virtaus, tulovirtaus, vastaa nopeuden korkeusprofiililtaan ja turbulenssiltaan kohteessa esiintyvää luonnon tuulta.

Koetyypissä tarkasti pienoismallilla mallinnettu osa simuloi kiinnostuksen kohteena olevan paikallisen turbulenssin.

Tuulitunnelimalli on tasossa kiekon muotoinen, halkaisijaltaan 2,4 m. Malli on sijoitettu mittatilan kääntöpöydälle, jolla voidaan pyörittää mallia eri tuulensuuntien mittaamiseksi.

Kuvassa 12 on esitetty pienoismallin yksityiskohtia.



Kuva 12: Pienoismallin yksityiskohtia (suunnitelman 4/2015 mukainen pienoismalli).

4.1.1 Tuulisuuskartoitus ja rajakerroksen tarkistusmittaukset

Paikalliset tuulennopeuden mittaukset on suoritettu kuormalanka-anemometrillä mallin yläpuolelta käsin.

Näytteenottotaajuus = 1 kHz (1000 mittausta sekunnissa) ja mittausaika yhtä pistettä ja tuulen kulmaa kohden = 30 s. Käytetty suuri näytteenottotaajuus takaa sen, että turbulenssin pienet pyörteet tulevat mitatuksi ja tulokset vastaavat tältä osin luonnon tuulta.

Kokeessa käytetty virtauksen keskinopeus tornien huipun tasolla on n. 8 m/s.

Tuulen suuntakulmat on mitattu 22,5° välein.

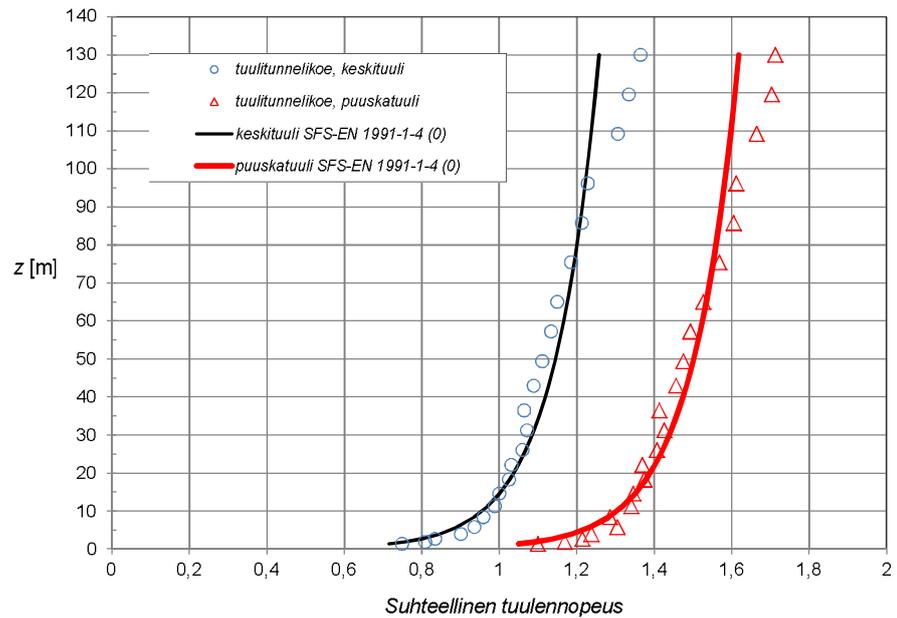
Ennen varsinaisia mittauksia tulovirtauksen rajakerros on säädetty halutuksi lattian ja virtauksen sisääntulon karhennuselementeillä. Tuulen turbulenssiolosuhteet tarkastelu-alueen reunoilla on oletettu noudattavan standardimaastokuokan $z_0 = 0,003$ m olosuhteita, missä z_0 = maaston karheusparametri (SFS-EN1991-1-4:2005 maastoluokka 0). Maastoluokka vastaa tuulikuorman kannalta tärkeitä meren suunnalta puhaltavia tuulia.

Tarkastelun kannalta tärkeät parametrit ovat:

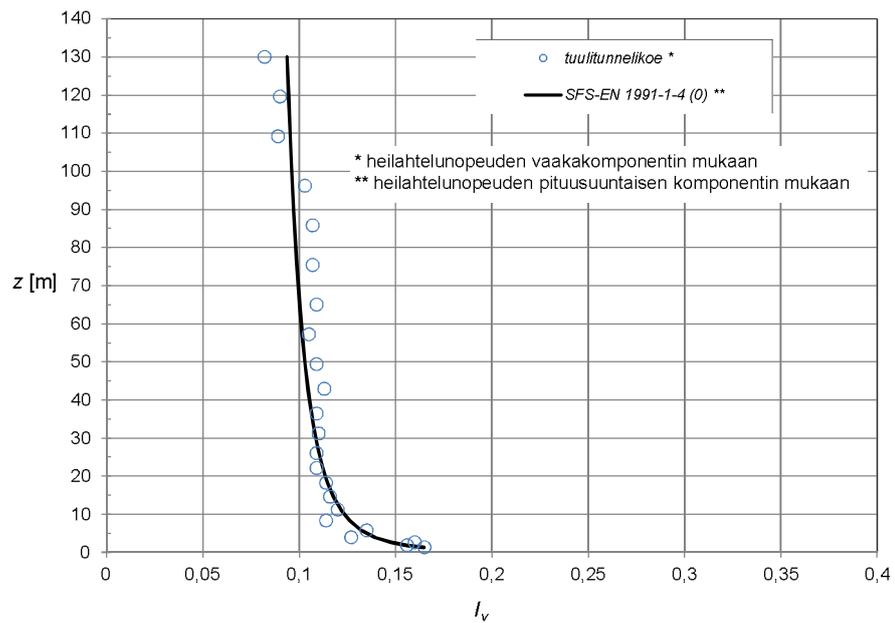
- tulovirtauksen keskinopeuden korkeusjakauma; suhteellinen nopeusjakauma v_h/v_r , missä v_r = referenssipisteen korkeudella mitattu virtausnopeus
- turbulenssin pituussuuntainen intensiteetti I_v .

Tulovirtauksen mitatut ja tavoitteelliset turbulenssiparametrit on esitetty kuvassa 13. Suhteelliset tuulennopeudet on esitetty suhteessa 15 m korkeudessa mitattuun tuulen keskinopeuteen.

Tuulennopeuksien korkeusprofiili



Turbulenssin intensiteetti



Kuva 13: Tulovirtauksen korkeusprofiili ja turbulenssi tuulitunnelikokeen tulovirtauksessa.

Tuulisuuskartoituksessa mittauskorkeus on 5,7 mm alapuolisen pinnan yläpuolelta, mikä vastaa täydessä mittakaavassa suoraan tulosten tarkastelutasoa 1,5 m.

Mittauspisteet on esitetty kuvassa 14. Ne liittyvät suunnitelman 4/2015 mukaisen pienoismallin mittauksiin,

Mittauspisteet on sijoitettu aikaisemmassa tuulisuuskartoituksessa [1] tuulिसimmiksi todettuihin pisteisiin, sekä Kalasatamankadulle (Pisteet 4...9), Itäväylän tunneliin (Pisteet 10 ja 11) sekä tornin T₂ kattoterasseille (Pisteet 25 ja 26). Piste 11 sijaitsee tunnelissa kuristuksen kohdalla, jossa poikkileikkausala on noin 65 % täydestä. Kalasatamankadun pisteiden mittaukset on tehty kolmella eri suunnitelmavaihtoehdolla, jotka on tuloksissa eritelty lisäämällä kirjain A, B tai C pisteen numeron perään:

- A: suunnitelman 4/2015 mukainen tilanne
- B: kuten A, mutta katoksen ja puistokannen välistä vapaata aukkoa on pienennetty noin 50 % (katoksen korkeusaseman pysyessä muuttomattomana)
- C: ei katosta.



Kuva 14: Mittauspisteet ja niiden numerointi. Vihreällä esitetyt pisteet sijaitsevat luonnollisen maan tasossa, keltaiset piha- ja puistokansilla ja punaiset kattorassilla.

4.1.2 Tornien tuulikuormien ja huojunnan määrittäminen

Tornien tuulikuormien ja huojunnan määrittämiseen liittyvät mittaukset on tehty suunnitelman 3/2012 mukaisista pienoismallista. Suunnitelman 4/2015 mukaisen muutoksen vaikutus on otettu huomioon laskennallisesti tuulitunnelikotuksista johdetuissa tuloksissa.

Tornien tuulikuormien ja värähtelyvasteiden määrittäminen on tehty korkeataajuus-vaakamittausmenetelmällä. Menetelmässä tornin pienoismallin alaosaan on asennettu 6-komponenttinen vaakamittauslaite (kuva 15a), joka mittaa tornin juuren voima- ja momenttiresultanttien aikahistoriat. Menetelmässä tornin pienoismalli pyritään tekemään mahdollisimman kevyeksi, jotta vaakamittauslaitteen ominaistajuus olisi mahdollisimman korkea. Tätä ominaistajuutta vastaava resonanssi ei kuulu mitattavaan ilmiöön, ja sen vaikutus poistetaan erillisellä taajuusriippuvalla korjaustekijällä.

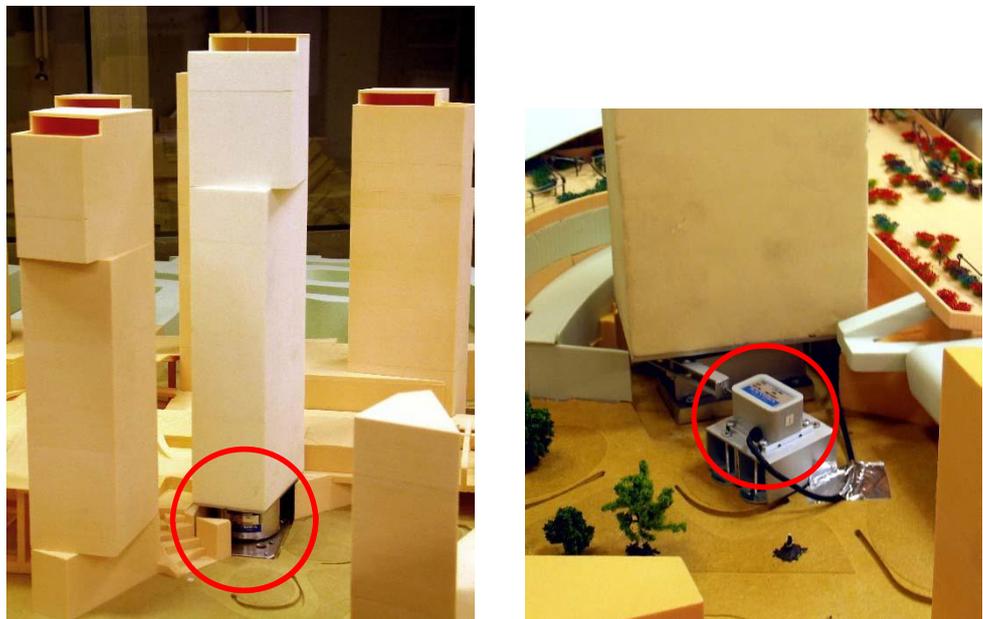
Käytetty vaakamittauslaite on tehdasvalmisteinen (mittausalueen yläraja 100...200 N voimakomponentit ja 10 Nm momenttikomponentit) ja se on kalibroitu punnusten avulla ennen koetta.

Vääntömomentin M_z osalta tulosten signaali-kohinasuhde on ollut huono vääntövärähtelyn määrittämisessä tarvittavalla taajuudella, jonka johdosta M_z se on mitattu parannetulla koejärjestelyllä, jossa torni on laakeroitu jäykän akselin ympärille siten, että vain vääntö-rotaatio on mahdollinen. Vääntömomentti M_z on mitattu 1-komponenttisella herkemmällä vaakamittauslaitteella (kuva 15 b), jonka mittausalueen yläraja on 10 N.

Mittaukset on tehty korkeimmasta tornista käyttäen kolmea eri konfiguraatiota (kuva 16). Kuvassa 17 on esitetty koordinaatisto, jossa mittaustulokset on esitetty.

a)

b)



Kuva 15: Korkeataajuus-vaakamittauslaitteisto (ympyröity): a) vaakavoimien mittaus, ja b) vääntömomentin mittaus.

1)



2)



3)



Kuva 16: Tarkastellut konfiguraatiot: 1) lopputilanne (kaikki tornit rakennettu), 2) kaksi tornia rakennettu siten, että syntyy herätetäinä värähtelyjen tarkastelussa ja 3) vain yksi torni rakennettu.

Mittaukset on tehty 2 kHz näytteenottotaajuudella ja mittausaika tuulen suuntakulmaa kohden = 30 s. Tuulen suuntakulmat on mitattu 10° välein. Mittauksissa käytetty virtauksen keskinopeus tornien huipun tasolla on n. 10 m/s.

Tornien värähtelyvasteiden määrittämiseksi mitatuista voimien ja momenttien aikahistorioista on määritetty voima ja momenttikomponenttien spektraalitiheydet. Spektraalitiheyksien määrittäminen on esitetty tarkemmin liitteessä 3.

Todellisen tornin kiihtyvyyden keskihajonta (rms-kiihtyvyys) voidaan laskea satunnaisvärähtelyjen teorian ja moodisummausmenetellyn mukaisesti kaavalla

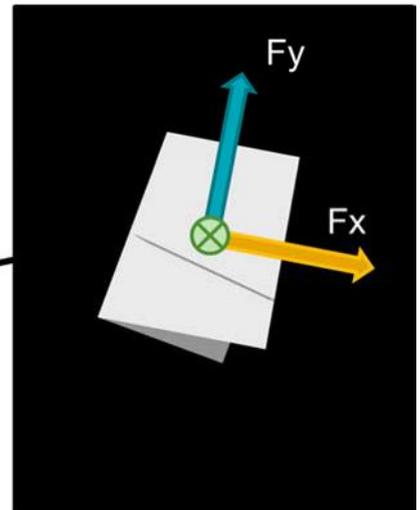
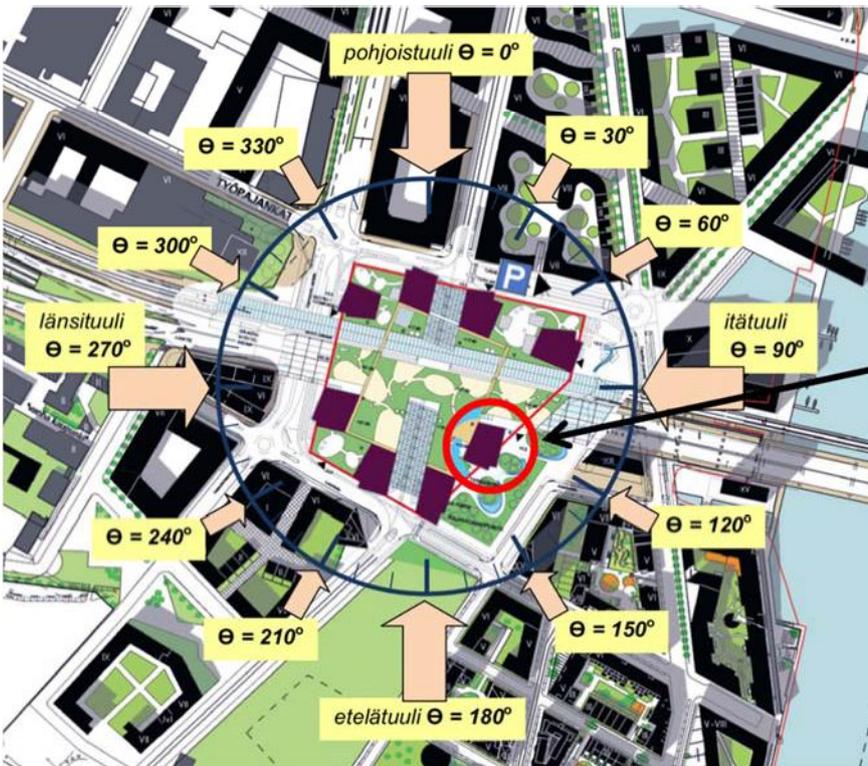
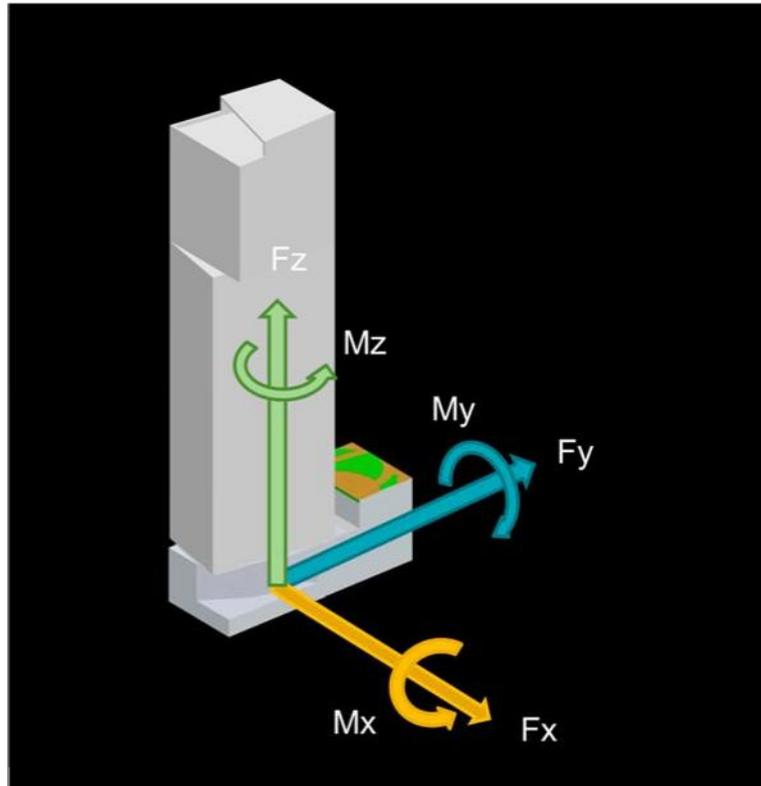
$$\sigma_q = \frac{1}{K_i} \sqrt{\frac{\pi}{4\zeta_i}} \sqrt{f_i S_q(f_i)}$$

missä värähtelyn ominaismuotoa i vastaten K_i = yleistetty jäykkyys, f_i = ominaistaajuus, ζ_i = vaimennuskerroin ja $S_q(f_i)$ = yleistetyn voiman spektraalitiheys taajuden arvolla f_i . Vaimennuskertoimen ja rakenteellisen vaimennuksen logaritmisien dekrementtien välille pätee likimain yhteys $\delta_s = 2\pi\zeta_i$

Edellä esitetty yhteys on annettu yleistetyille koordinaateille, jotka ovat esim. sidottu todellisiin koordinaatteihin lausekkeella

$$q_i = x \varphi_i$$

missä φ_i tornin ominaismuoto ($i = x, y$ tai t).



Kuva 17: Voima- ja momenttiresultanttien koordinaatisto.

4.1.3 Julkisivujen painekuormien mittaukset

Julkisivujen painekuormien määrittämiseen liittyvät mittaukset on tehty suunnitelman 3/2012 mukaisista pienoismallista. Suunnitelman 4/2015 mukaisten muutosten vaikutus on otettu huomioon laskennallisesti tuulitunnelikotuksista johdetuissa tuloksissa.

Painekuormien mittaukset on tehty aikariippuvaa nettopainetta (differentiaalista painetta) mittaavilla pienikokoisilla paineantureilla. Anturit on asennettu suoraan pienoismallin julkisisuun porattuihin reikiin (halkaisija 2,5 mm), eli erillisiä letkuja ei ole käytetty.

Mittaukset on tehty korkeimmasta tornista (T_4) käyttäen konfiguraatiota 1, eli lopputilanteessa kun kaikki tornit ovat rakennettu. Tulokset, jossa tornit antavat tuulensuojaa (ja tulos ei olisi konservatiivinen jos joku torneista jätetään rakentamatta) on otettu huomioon erikseen suunnitteluun laadituissa nettopaineen kartoissa.

Mittauksissa käytetty tornin pienoismalli on esitetty kuvassa 18. Pienoismalli on onttu. Pienoismalli kuvaa rakennusta, jonka vaipassa ei ole määrääviä aukkoja; vuotokohdat ovat pieniä suhteessa seinäalaan ja ovat suhteellisen tasaisesti jakaantuneet eri seinille.

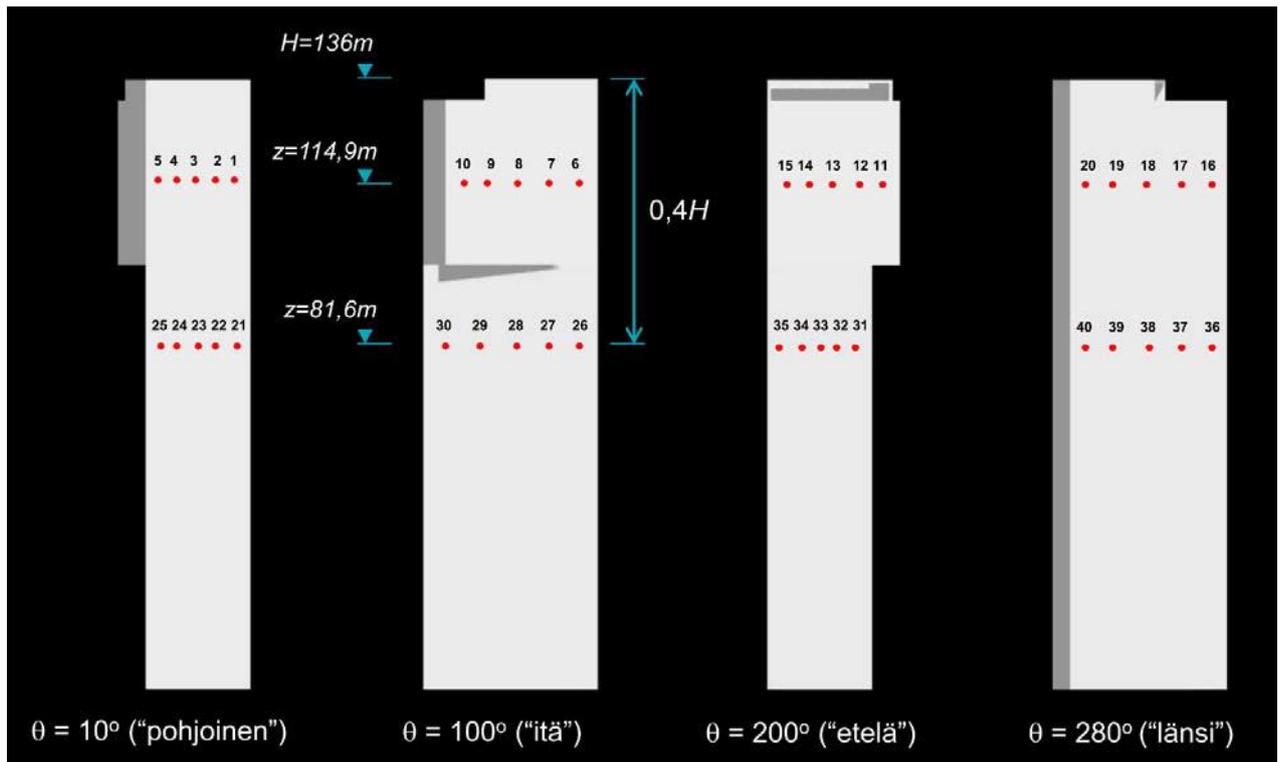
Mittaukset on tehty 2 kHz näytteenottotaajuudella ja mittausaika tuulen suuntakulmaa kohden = 30 s.

Tuulen suuntakulmat on mitattu 10° välein. Mittauksissa käytetty virtauksen keskinopeus tornien huipun tasolla on suuruusluokaltaan 20 m/s.

Mittauspisteitä on tehty kahdella tasolla: korkeudella $0,6h$, missä h on tornin korkeus sekä tornien ylempään osaan puolivälistä. Mittauspisteiden numerointi on esitetty kuvassa 19. Yhteensä mittauspisteitä on ollut 40.



Kuva 18: Painemittauksissa käytetty tornin pienoismalli. Tornin yläosan pienet reiät ovat mittauspisteitä.



Kuva 19: Painemittauspisteiden numerointi.

4.2 Tuulitunnelikokeen tulokset

4.2.1 Paikalliset virtausnopeudet

Paikalliset virtausnopeudet on määritetty tuulisuuskartoitukset tarpeisiin. Tulokset on esitetty suhteellisina virtausnopeuksina; mittauspisteen ja referenssipisteen virtausnopeuden aikakeskiarvon suhteena k_m ja k_g . Suhde on mallilakien mukaisesti sama tuulitunnelikokeessa ja todellisessa kohteessa.

Referenssipisteenä on käytetty 15 m korkeudessa täydessä mittakaavassa sijaitsevaa avoimen maaston pistettä. Mittauspisteiden korkeus on 1,5 m alla olevaan maapintaan nähden. Tulokset on esitetty kuvassa 20.

Suhteellinen keskituuli k_m

Piste	Tuulen suuntakulma [°]																keskim.	maks
	0	22,5	45	67,5	90	112,5	135	157,5	180	202,5	225	247,5	270	292,5	315	337,5		
1	0,18	0,37	0,52	0,75	0,63	0,61	0,61	0,25	0,36	0,58	0,69	0,69	0,75	0,35	0,51	0,44	0,52	0,75
2	0,46	0,45	0,55	0,94	0,35	0,34	0,54	0,30	0,37	0,58	0,70	0,56	0,23	0,42	0,44	0,37	0,48	0,94
3	0,89	0,74	0,48	0,79	0,44	0,38	0,65	0,41	0,62	0,50	0,59	0,51	0,26	0,32	0,63	0,77	0,56	0,89
4A	0,56	0,51	0,63	0,39	0,44	0,40	0,60	0,64	0,66	0,49	0,69	0,44	0,18	0,37	0,56	0,69	0,52	0,69
4B	0,50	0,42	0,49	0,30	0,39	0,37	0,60	0,62	0,68	0,49	0,66	0,34	0,18	0,30	0,43	0,56	0,46	0,68
4C	0,52	0,47	0,56	0,26	0,41	0,68	0,53	0,63	0,63	0,56	0,73	0,68	0,25	0,33	0,39	0,69	0,52	0,73
5A	0,49	0,40	0,35	0,25	0,39	0,30	0,75	0,81	0,78	0,67	0,56	0,29	0,14	0,33	0,51	0,56	0,47	0,81
5B	0,55	0,47	0,48	0,31	0,39	0,27	0,73	0,77	0,76	0,65	0,51	0,24	0,10	0,34	0,51	0,59	0,48	0,77
5C	0,45	0,47	0,47	0,26	0,47	0,53	0,65	0,85	0,80	0,68	0,60	0,32	0,30	0,27	0,48	0,51	0,51	0,85
6A	0,32	0,32	0,40	0,44	0,23	0,19	0,51	0,79	1,10	0,93	0,56	0,22	0,16	0,15	0,22	0,33	0,43	1,10
6B	0,36	0,36	0,48	0,45	0,35	0,22	0,63	0,88	1,02	0,88	0,65	0,32	0,13	0,16	0,28	0,37	0,47	1,02
6C	0,30	0,33	0,35	0,40	0,22	0,36	0,86	0,90	1,11	0,92	0,76	0,45	0,20	0,18	0,27	0,35	0,50	1,11
7	0,42	0,34	0,59	0,35	0,16	0,07	0,12	0,16	0,58	0,46	0,18	0,11	0,10	0,08	0,30	0,56	0,29	0,59
8A	1,12	1,18	1,16	0,91	0,43	0,15	0,33	0,49	0,53	0,52	0,50	0,39	0,25	0,12	0,70	1,15	0,62	1,18
8B	1,11	1,15	1,12	0,87	0,42	0,10	0,35	0,50	0,55	0,54	0,53	0,46	0,30	0,16	0,65	1,13	0,62	1,15
8C	1,07	1,12	1,10	0,86	0,26	0,14	0,46	0,54	0,53	0,58	0,57	0,47	0,30	0,14	0,73	1,14	0,63	1,14
9A	0,48	0,54	0,52	0,78	0,58	0,14	0,28	0,36	0,46	0,56	0,53	0,45	0,23	0,13	0,63	0,79	0,47	0,79
9B	0,46	0,50	0,49	0,80	0,58	0,16	0,33	0,47	0,56	0,59	0,54	0,48	0,25	0,18	0,63	0,77	0,49	0,80
9C	0,44	0,48	0,45	1,07	0,92	0,35	0,33	0,45	0,36	0,50	0,53	0,54	0,27	0,20	0,92	0,71	0,53	1,07
10	0,48	0,35	0,40	0,71	0,79	0,91	0,82	0,87	0,73	0,31	0,27	0,48	0,75	0,83	0,84	0,69	0,64	0,91
11	0,85	0,52	0,56	0,99	1,10	1,28	1,10	1,11	0,88	0,40	0,56	0,89	1,14	1,26	1,28	1,05	0,94	1,28
12	0,43	0,28	0,39	0,64	0,36	0,42	0,83	0,66	0,69	0,44	0,27	0,30	0,20	0,21	0,19	0,22	0,41	0,83
13	0,34	0,40	0,37	0,40	0,39	0,21	0,32	0,30	0,36	0,22	0,25	0,26	0,50	0,31	0,52	0,53	0,35	0,53
14	0,49	0,50	0,37	0,38	0,41	0,56	0,68	0,51	0,38	0,31	0,25	0,25	0,52	0,75	0,66	0,51	0,47	0,75
15	0,37	0,48	0,38	0,38	0,51	0,64	0,78	0,72	0,35	0,18	0,26	0,46	0,51	0,52	0,55	0,49	0,47	0,78
16	0,38	0,29	0,49	0,57	0,48	0,38	0,47	0,38	0,27	0,22	0,24	0,55	0,35	0,36	0,35	0,39	0,39	0,57
17	0,45	0,40	0,64	0,57	0,57	0,39	0,49	0,39	0,29	0,31	0,32	0,65	0,66	0,60	0,72	0,66	0,50	0,72
18	0,65	0,66	0,57	0,65	0,59	0,32	0,63	0,68	0,55	0,68	0,36	0,64	0,60	0,29	0,45	0,76	0,57	0,76
19	0,36	0,27	0,43	0,40	0,35	0,23	0,20	0,21	0,32	0,25	0,35	0,36	0,31	0,41	0,47	0,60	0,34	0,60
20	0,40	0,49	0,49	0,46	0,54	0,36	0,34	0,44	0,34	0,34	0,48	0,44	0,39	0,16	0,18	0,57	0,40	0,57
21	0,19	0,16	0,14	0,19	0,42	0,26	0,41	0,39	0,27	0,28	0,35	0,51	0,45	0,26	0,16	0,16	0,29	0,51
22	1,18	1,21	1,09	0,88	0,27	1,13	1,17	0,95	0,82	0,89	0,85	0,66	0,23	0,34	0,72	1,08	0,84	1,21
23	1,00	0,87	0,95	0,34	0,29	0,59	0,62	0,48	0,42	0,52	0,65	0,79	0,25	0,37	0,77	0,99	0,62	1,00
24	0,24	0,39	0,55	0,57	0,87	0,34	0,27	0,46	0,51	0,33	0,22	0,20	0,26	0,29	0,34	0,26	0,38	0,87
25	0,19	0,22	0,42	0,56	0,59	0,59	0,37	0,45	0,34	0,66	0,58	0,49	0,30	0,23	0,16	0,10	0,39	0,66
26	0,21	0,31	1,19	1,19	0,81	0,29	0,88	0,95	0,72	0,90	0,50	0,20	0,35	0,17	0,15	0,08	0,56	1,19

Suhteellinen puuskatuuli k_g

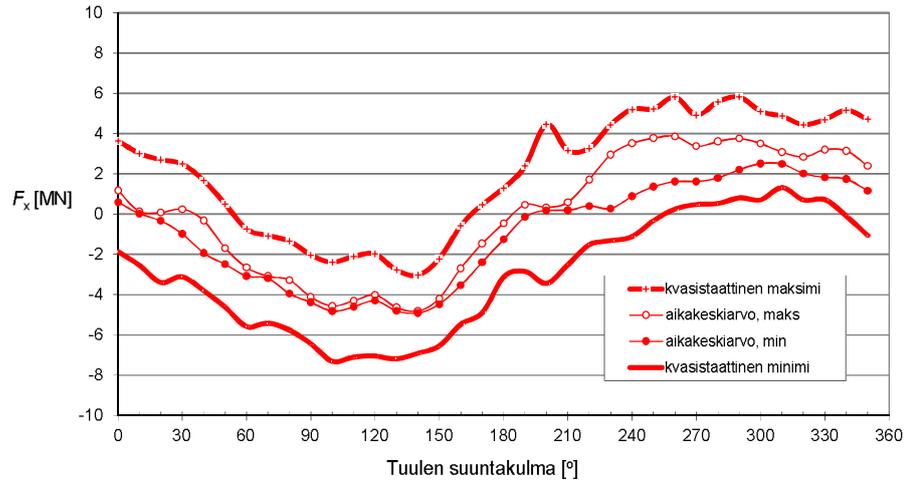
Piste	Tuulen suuntakulma [°]																keskim.	maks
	0	22,5	45	67,5	90	112,5	135	157,5	180	202,5	225	247,5	270	292,5	315	337,5		
1	0,49	0,85	1,12	1,44	1,34	1,46	1,43	0,73	0,99	1,07	1,34	1,54	1,68	0,97	1,42	1,01	1,18	1,68
2	0,89	0,86	0,93	1,56	0,93	0,96	1,29	0,88	0,89	1,06	1,30	1,11	0,66	0,86	0,87	0,75	0,99	1,56
3	1,61	1,41	0,97	1,46	1,00	1,01	1,25	1,10	1,23	1,08	1,30	1,22	0,72	0,72	1,19	1,49	1,17	1,61
4A	0,98	0,91	1,17	0,83	0,85	0,89	1,25	1,39	1,38	1,10	1,37	1,18	0,51	0,81	1,13	1,17	1,06	1,39
4B	0,89	0,78	0,89	0,60	0,72	0,85	1,28	1,38	1,41	1,12	1,33	0,99	0,47	0,61	0,84	0,99	0,95	1,41
4C	1,02	1,06	1,22	0,73	0,93	1,33	1,22	1,23	1,22	1,21	1,42	1,62	0,75	0,88	0,99	1,24	1,13	1,62
5A	0,87	0,81	0,81	0,61	0,81	0,89	1,36	1,43	1,32	1,23	1,29	0,87	0,38	0,79	0,95	1,00	0,96	1,43
5B	0,94	0,89	0,89	0,62	0,80	0,83	1,33	1,41	1,29	1,22	1,21	0,68	0,29	0,74	0,85	1,01	0,94	1,41
5C	0,89	1,00	1,01	0,65	0,99	1,27	1,23	1,56	1,42	1,37	1,42	0,93	0,73	0,74	0,95	1,04	1,08	1,56
6A	0,73	0,77	0,96	0,77	0,51	0,56	1,27	1,63	1,67	1,49	1,22	0,63	0,40	0,34	0,50	0,73	0,89	1,67
6B	0,77	0,79	0,96	0,75	0,54	0,66	1,29	1,51	1,62	1,47	1,13	0,71	0,32	0,34	0,49	0,73	0,88	1,62
6C	0,70	0,78	0,81	0,78	0,55	0,97	1,44	1,57	1,72	1,50	1,35	1,04	0,45	0,41	0,55	0,73	0,96	1,72
7	1,17	0,98	1,26	0,87	0,45	0,21	0,31	0,52	1,32	1,19	0,66	0,28	0,28	0,20	0,76	1,28	0,73	1,32
8A	1,51	1,58	1,63	1,57	0,95	0,40	0,53	0,73	0,82	0,75	0,67	0,69	0,57	0,30	1,15	1,63	0,97	1,63
8B	1,51	1,55	1,58	1,52	0,90	0,27	0,55	0,75	0,89	0,81	0,77	0,70	0,55	0,38	1,07	1,59	0,96	1,59
8C	1,50	1,54	1,73	1,66	0,78	0,38	0,71	0,83	0,83	0,82	0,82	0,79	0,64	0,48	1,43	1,74	1,04	1,74
9A	1,16	1,18	1,13	1,23	1,02	0,35	0,62	0,82	0,99	1,03	1,09	0,95	0,61	0,41	1,12	1,42	0,95	1,42
9B	1,09	1,14	1,08	1,26	1,01	0,42	0,74	0,96	1,03	1,00	1,05	0,98	0,59	0,52	1,13	1,39	0,96	1,39
9C	1,00	1,06	1,16	1,92	1,72	0,79	0,82	1,03	0,89	1,13	1,24	1,41	0,75	0,62	1,48	1,36	1,15	1,92
10	0,80	0,59	0,66	1,01	1,12	1,24	1,13	1,14	0,96	0,46	0,50	0,77	1,02	1,10	1,19	1,04	0,92	1,24
11	1,16	0,80	0,89	1,37	1,52	1,67	1,47	1,45	1,17	0,59	0,72	1,12	1,45	1,56	1,67	1,48	1,26	1,67
12	1,30	0,82	1,14	1,70	0,99	1,13	1,64	1,56	1,56	1,06	0,70	0,75	0,57	0,60	0,55	0,63	1,04	1,70
13	0,99	1,06	0,96	0,98	0,95	0,56	0,89	0,82	0,99	0,59	0,63	0,67	1,19	0,91	1,30	1,44	0,93	1,44
14	1,22	1,22	0,93	1,07	0,96	1,19	1,41	1,24	1,05	0,84	0,60	0,76	1,18	1,49	1,33	1,31	1,11	1,49
15	1,00	1,20	1,03	1,07	1,00	1,18	1,62	1,46	0,93	0,53	0,65	0,91	1,01	1,04	1,21	1,15	1,06	1,62
16	1,03	0,78	1,38	1,36	1,13	1,21	1,11	0,96	0,75	0,57	0,70	1,14	0,85	0,94	0,97	1,05	1,00	1,38
17	1,12	0,91	1,13	1,14	1,28	0,95	1,21	0,94	0,77	0,76	0,76	1,49	1,23	1,28	1,42	1,54	1,12	1,54
18	1,16	1,29	1,17	1,52	1,46	0,95	1,46	1,53	1,39	1,51	0,91	1,50	1,54	0,84	1,09	1,34	1,29	1,54
19	0,89	0,80	1,07	1,07	0,92	0,63	0,56	0,56	0,85	0,77	0,82	0,88	0,70	0,98	1,05	1,21	0,86	1,21
20	1,12	1,29	1,02	1,07	1,22	0,90	0,95	1,26	0,99	1,13	1,10	1,07	0,93	0,45	0,52	1,51	1,03	1,51
21	0,53	0,49	0,44	0,59	1,22	0,70	0,92	0,93	0,78	0,65	0,74	0,94	0,90	0,64	0,50	0,47	0,71	1,22
22	1,71	1,78	1,50	1,60	0,87	1,84	1,92	1,59	1,31	1,37	1,58	1,39	0,61	0,94				

4.2.2 Korkeimman tornin voima- ja momenttiresultantit

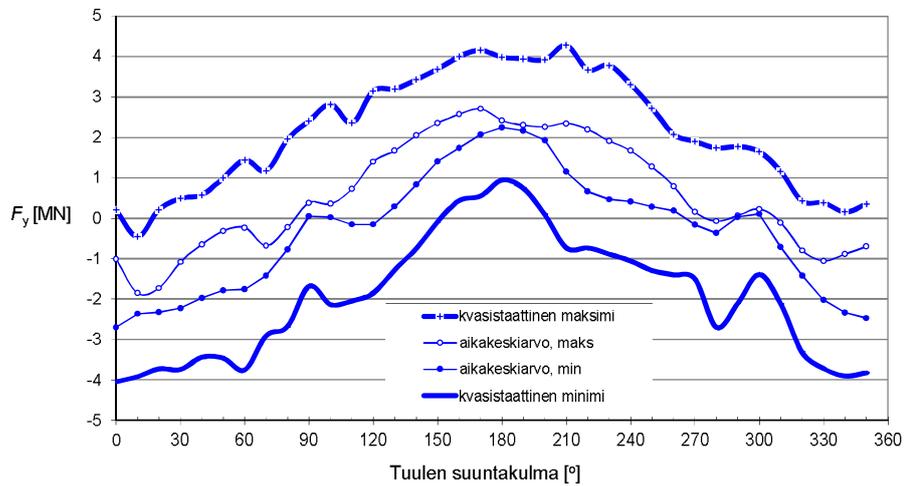
Tuulitunnelikokeen tuloksista sekä tuulennopeuden ääriarvoista mallilaeilla johdetut korkeimman tornin kvasistaattiset voima- ja momenttiresultantit on esitetty kuvassa 21 ja taulukoissa 3...5. Kvasistaattinen viittaa tässä yhteydessä siihen, että tulokset eivät sisällä dynaamista lisää tornin huojunnan johdosta. Huojunnan huomioon ottavat staattiset korvauskuormat on esitetty luvussa 7.

Tuulitunnelikokeen suorat mittaustulokset on esitetty liitteessä 4.

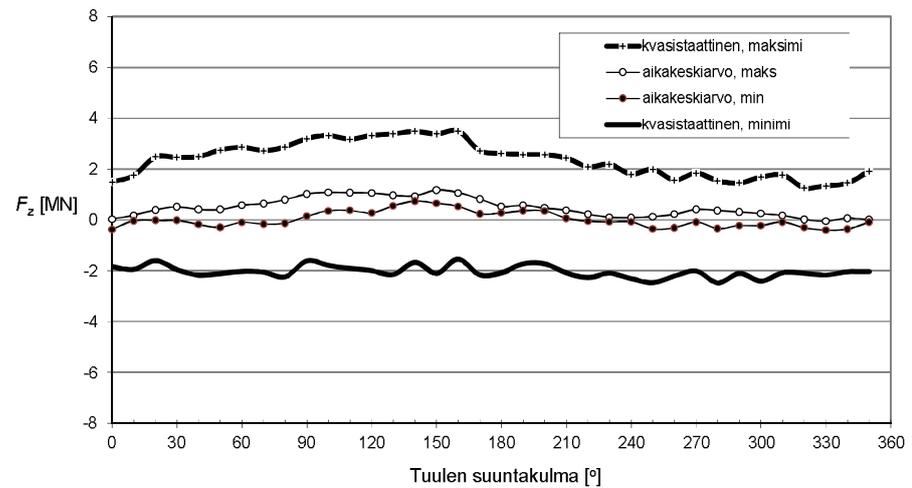
Voimaresultantin X-komponentti tornin juuressa, 50 v tuulen toistumisväli



Voimaresultantin Y-komponentti tornin juuressa, 50 v tuulen toistumisväli

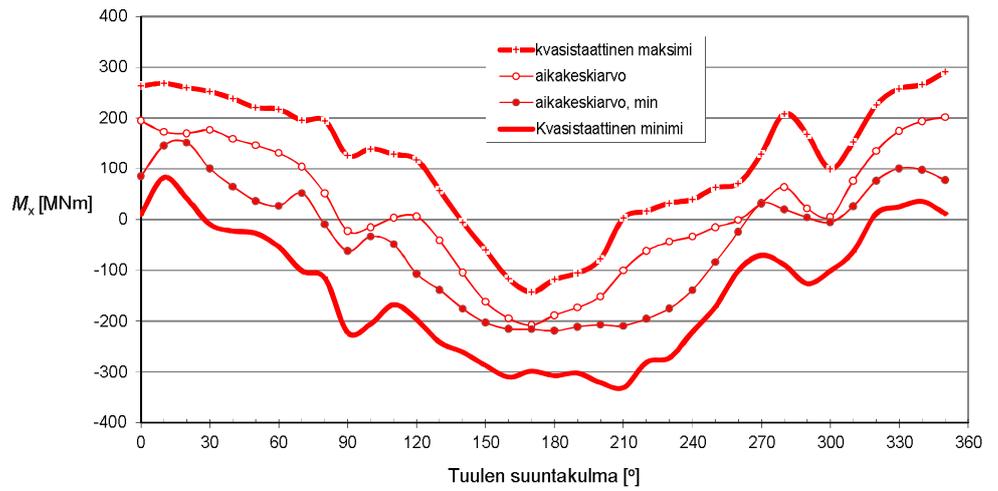


Nostava voima tornin juuressa, 50 v tuulen toistumisväli

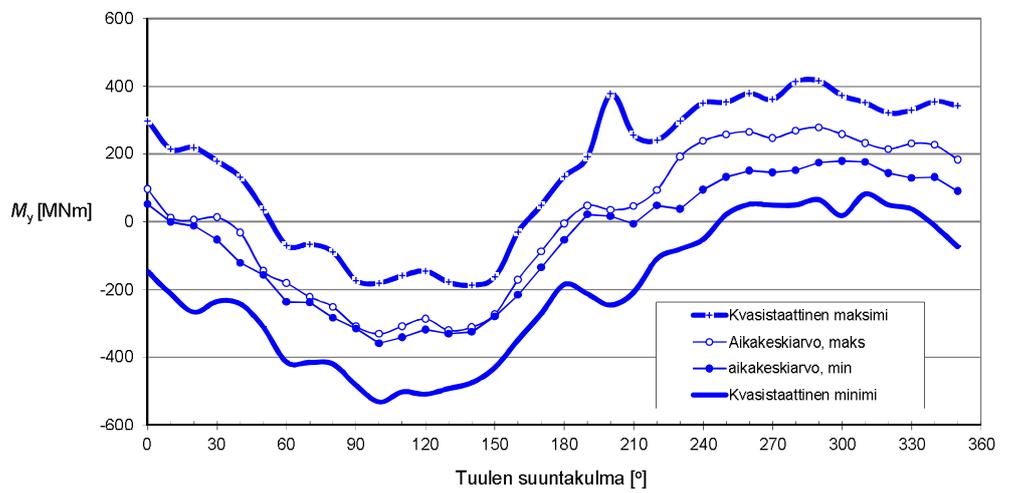


Kuva 21a: Tornin T₄ kvasistaattiset voimaresultantit.

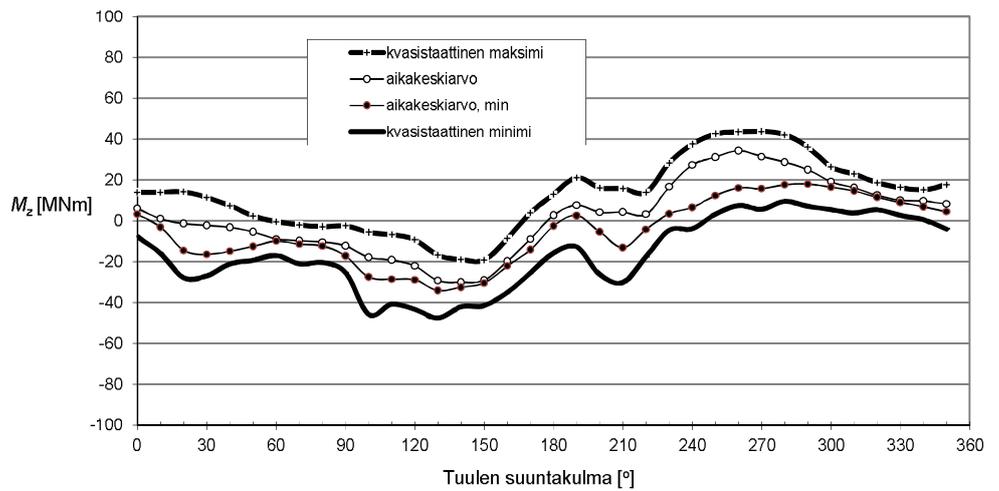
Kaatava momentti tornin juuressa, X-akselin ympäri, 50 v tuulen toistumisväli



Kaatava momentti tornin juuressa, Y-akselin ympäri, 50 v tuulen toistumisväli



Vääntävä momentti tornin juuressa, Z-akselin ympäri, 50 v tuulen toistumisväli



Kuva 21b: Tornin T_4 kvasistaattiset momenttiresultantit.

Taulukko 3: Voima- ja momenttiresultanttien aikakeskiarvot

50 v. toistumisväli

Voiman/momentin aika-keskiarvo (maksimi, konfiguraatiot 1-3)

Θ [°]	F_x [MN]	F_y [MN]	F_z [MN]	M_x [MNm]	M_y [MNm]	M_z [MNm]
0	1,17	-1,01	0,03	195	96	6
10	0,13	-1,86	0,18	173	13	1
20	0,08	-1,73	0,39	170	5	-1
30	0,24	-1,08	0,51	176	13	-2
40	-0,32	-0,65	0,41	159	-32	-3
50	-1,69	-0,31	0,41	146	-145	-5
60	-2,65	-0,23	0,57	131	-181	-9
70	-3,08	-0,68	0,64	104	-222	-10
80	-3,28	-0,22	0,79	51	-251	-10
90	-4,12	0,38	1,01	-23	-309	-12
100	-4,57	0,36	1,08	-16	-331	-18
110	-4,31	0,73	1,06	3	-309	-19
120	-4,02	1,40	1,05	6	-287	-22
130	-4,63	1,67	0,96	-41	-321	-29
140	-4,81	2,05	0,93	-105	-311	-30
150	-4,20	2,35	1,17	-162	-274	-29
160	-2,70	2,58	1,06	-195	-171	-20
170	-1,46	2,71	0,82	-208	-88	-9
180	-0,46	2,42	0,53	-188	-5	3
190	0,46	2,30	0,57	-173	48	8
200	0,33	2,26	0,46	-152	35	4
210	0,58	2,35	0,38	-100	46	4
220	1,71	2,20	0,22	-62	94	3
230	2,95	1,92	0,10	-44	192	17
240	3,52	1,67	0,08	-34	239	27
250	3,78	1,27	0,12	-15	258	31
260	3,86	0,79	0,22	-1	265	34
270	3,37	0,16	0,41	32	247	31
280	3,61	-0,07	0,36	64	269	29
290	3,75	0,07	0,31	22	279	25
300	3,50	0,23	0,24	5	258	19
310	3,08	-0,11	0,17	76	232	16
320	2,84	-0,80	0,01	135	215	12
330	3,20	-1,06	-0,05	174	231	10
340	3,14	-0,89	0,06	194	227	10
350	2,39	-0,70	0,00	202	183	8
Max	3,86	2,71	1,17	202	279	34
Min	-4,81	-1,86	-0,05	-208	-331	-30

50 v. toistumisväli

Voiman/momentin aika-keskiarvo (minimi, konfiguraatiot 1-3)

Θ [°]	F_x [MN]	F_y [MN]	F_z [MN]	M_x [MNm]	M_y [MNm]	M_z [MNm]
0	0,58	-2,70	-0,37	85	52	3
10	0,02	-2,37	-0,04	146	-1	-3
20	-0,34	-2,33	-0,02	152	-12	-15
30	-0,98	-2,23	-0,02	100	-53	-17
40	-1,94	-1,97	-0,18	65	-121	-15
50	-2,49	-1,79	-0,29	36	-157	-13
60	-3,08	-1,76	-0,10	27	-237	-10
70	-3,19	-1,42	-0,17	52	-238	-11
80	-3,95	-0,77	-0,14	-10	-283	-12
90	-4,38	0,06	0,14	-62	-316	-17
100	-4,82	0,02	0,36	-34	-359	-28
110	-4,60	-0,15	0,37	-49	-341	-29
120	-4,30	-0,15	0,27	-107	-318	-29
130	-4,81	0,29	0,55	-139	-331	-34
140	-4,91	0,83	0,74	-175	-326	-33
150	-4,48	1,40	0,65	-203	-280	-30
160	-3,54	1,74	0,53	-216	-216	-22
170	-2,40	2,08	0,24	-216	-135	-14
180	-1,26	2,25	0,27	-219	-54	-3
190	-0,15	2,17	0,36	-211	22	3
200	0,18	1,93	0,35	-207	17	-5
210	0,19	1,15	0,06	-209	-6	-13
220	0,40	0,66	-0,05	-195	48	-4
230	0,27	0,47	-0,08	-175	38	3
240	0,89	0,42	-0,08	-139	95	7
250	1,36	0,29	-0,36	-84	132	12
260	1,62	0,19	-0,32	-24	151	16
270	1,62	-0,16	-0,09	31	146	16
280	1,79	-0,36	-0,35	20	152	18
290	2,21	0,04	-0,23	4	175	18
300	2,51	0,10	-0,23	-6	179	16
310	2,48	-0,71	-0,09	26	177	15
320	2,02	-1,42	-0,31	76	144	12
330	1,83	-2,03	-0,41	101	130	9
340	1,74	-2,33	-0,37	98	132	7
350	1,16	-2,47	-0,09	78	91	4
Max	2,51	2,25	0,74	152	179	18
Min	-4,91	-2,70	-0,41	-219	-359	-34

Taulukko 4: Resultanttien heilahteluihin liittyvä keskihajonta

50 v. toistumisväli

Voiman/momentin keskihajonta (maksimi konfiguraatiosta 1-3)

Θ [°]	F_x [MN]	F_y [MN]	F_z [MN]	M_x [MNm]	M_y [MNm]	M_z [MNm]
0	0,63	0,48	0,46	25	53	2,9
10	0,69	0,51	0,48	26	53	3,5
20	0,82	0,53	0,54	30	63	4,0
30	0,59	0,51	0,56	31	47	3,4
40	0,62	0,52	0,59	23	52	2,7
50	0,58	0,51	0,60	22	47	2,2
60	0,64	0,50	0,61	22	47	2,1
70	0,62	0,55	0,65	41	47	2,7
80	0,56	0,55	0,66	38	41	2,6
90	0,65	0,58	0,69	42	45	3,3
100	0,68	0,62	0,67	44	51	4,2
110	0,71	0,58	0,66	36	52	4,4
120	0,70	0,59	0,67	32	48	4,4
130	0,69	0,56	0,64	28	44	4,0
140	0,57	0,54	0,65	28	38	3,4
150	0,53	0,50	0,62	29	38	3,3
160	0,57	0,50	0,62	29	39	4,2
170	0,53	0,48	0,61	25	38	4,0
180	0,52	0,47	0,60	25	38	3,8
190	0,65	0,46	0,60	24	49	4,6
200	0,87	0,74	0,59	28	72	6,5
210	0,69	0,75	0,59	28	53	4,2
220	0,63	0,82	0,57	25	42	4,0
230	0,57	0,77	0,56	25	35	3,8
240	0,54	0,79	0,56	24	33	3,2
250	0,48	0,71	0,55	24	31	3,3
260	0,50	0,65	0,51	23	33	3,5
270	0,52	0,45	0,50	30	36	4,2
280	0,56	0,57	0,53	44	40	4,0
290	0,58	0,53	0,50	44	40	4,0
300	0,49	0,43	0,50	28	41	3,3
310	0,47	0,40	0,50	23	34	3,0
320	0,48	0,43	0,48	24	32	1,8
330	0,46	0,41	0,48	22	31	2,0
340	0,49	0,42	0,49	27	39	1,9
350	0,67	0,44	0,50	25	53	2,5

Taulukko 5: Kvasistaattisten voima- ja momenttiresultanttien huippuarvot

50 v. toistumisväli

Voiman/momentin kvasistaattinen maksimi

Θ [°]	F_x [MN]	F_y [MN]	F_z [MN]	M_x [MNm]	M_y [MNm]	M_z [MNm]
0	3,64	0,20	1,49	263	298	14
10	3,01	-0,46	1,75	268	215	14
20	2,70	0,21	2,47	259	219	14
30	2,48	0,49	2,46	252	179	11
40	1,67	0,58	2,49	238	131	7
50	0,50	0,99	2,75	220	36	2
60	-0,74	1,45	2,85	217	-70	0
70	-1,08	1,17	2,72	195	-67	-2
80	-1,34	1,96	2,87	195	-90	-3
90	-2,03	2,41	3,20	126	-173	-2
100	-2,39	2,82	3,32	139	-181	-6
110	-2,10	2,35	3,18	129	-159	-7
120	-1,99	3,15	3,33	118	-146	-9
130	-2,78	3,20	3,38	58	-179	-17
140	-3,04	3,43	3,48	-6	-188	-19
150	-2,22	3,69	3,38	-60	-163	-19
160	-0,58	4,00	3,50	-116	-31	-9
170	0,47	4,16	2,72	-143	49	4
180	1,28	3,99	2,61	-118	134	13
190	2,39	3,95	2,58	-106	191	21
200	4,45	3,92	2,56	-78	378	16
210	3,17	4,28	2,43	3	257	16
220	3,27	3,68	2,09	16	241	14
230	4,44	3,79	2,19	32	297	28
240	5,20	3,31	1,80	39	351	37
250	5,23	2,73	1,99	63	353	42
260	5,81	2,08	1,56	71	379	43
270	4,92	1,90	1,84	129	361	44
280	5,57	1,74	1,53	208	413	42
290	5,81	1,78	1,45	167	416	36
300	5,10	1,65	1,68	99	373	26
310	4,86	1,16	1,77	152	352	23
320	4,44	0,42	1,26	225	322	19
330	4,69	0,39	1,34	258	329	16
340	5,16	0,15	1,45	266	355	15
350	4,71	0,35	1,91	291	343	18
Max	5,81	4,28	3,50	291	416	44
Min	-3,04	-0,46	1,26	-143	-188	-19

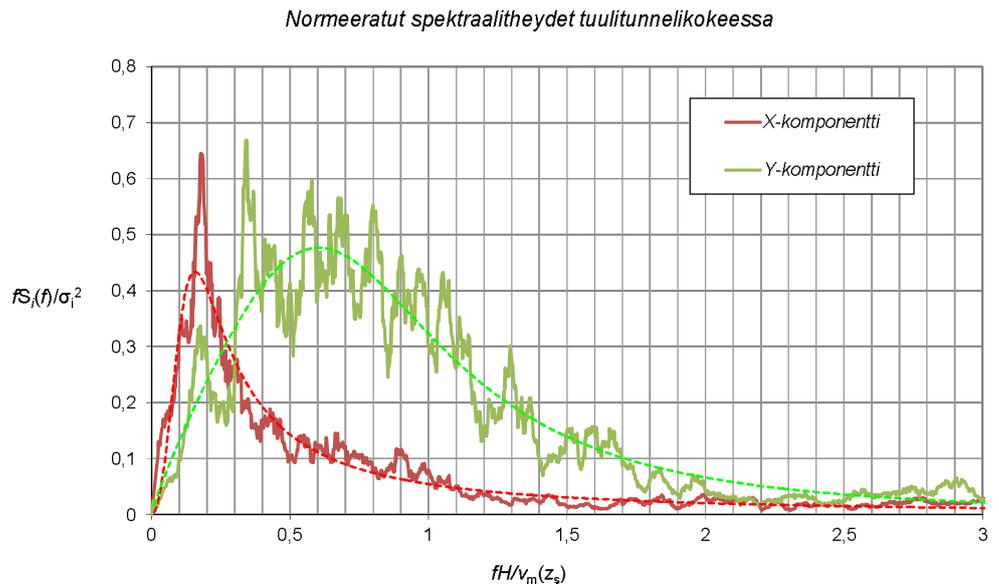
Voiman/momentin kvasistaattinen minimi

Θ [°]	F_x [MN]	F_y [MN]	F_z [MN]	M_x [MNm]	M_y [MNm]	M_z [MNm]
0	-1,87	-4,05	-1,84	10	-146	-8
10	-2,55	-3,92	-1,95	83	-214	-16
20	-3,39	-3,73	-1,61	41	-267	-28
30	-3,11	-3,74	-1,96	-10	-235	-27
40	-3,80	-3,44	-2,18	-23	-243	-21
50	-4,62	-3,47	-2,12	-27	-312	-19
60	-5,58	-3,75	-2,04	-54	-414	-17
70	-5,42	-2,91	-2,06	-101	-416	-21
80	-5,75	-2,68	-2,24	-115	-420	-20
90	-6,45	-1,68	-1,61	-223	-483	-25
100	-7,31	-2,14	-1,80	-206	-532	-46
110	-7,11	-2,05	-1,92	-167	-503	-41
120	-7,06	-1,85	-2,00	-196	-509	-43
130	-7,19	-1,27	-2,16	-242	-493	-48
140	-6,91	-0,75	-1,68	-261	-476	-42
150	-6,55	-0,09	-2,10	-287	-431	-41
160	-5,48	0,44	-1,55	-310	-349	-35
170	-4,90	0,55	-2,17	-299	-271	-26
180	-3,12	0,95	-2,09	-307	-185	-16
190	-2,85	0,74	-1,74	-303	-213	-13
200	-3,44	0,09	-1,73	-321	-246	-26
210	-2,52	-0,73	-2,10	-331	-208	-30
220	-1,53	-0,73	-2,28	-281	-110	-18
230	-1,32	-0,89	-2,10	-272	-81	-5
240	-1,13	-1,06	-2,32	-221	-52	-4
250	-0,32	-1,30	-2,47	-172	22	3
260	0,24	-1,40	-2,22	-101	52	7
270	0,48	-1,51	-2,02	-71	49	6
280	0,52	-2,70	-2,48	-89	49	9
290	0,80	-2,10	-2,11	-126	65	7
300	0,71	-1,39	-2,41	-101	18	5
310	1,31	-2,12	-2,08	-63	81	4
320	0,71	-3,32	-2,11	12	50	5
330	0,71	-3,72	-2,18	25	38	3
340	-0,09	-3,91	-2,04	36	-12	1
350	-1,06	-3,83	-2,04	12	-73	-4
Max	1,31	0,95	-1,55	83	81	9
Min	-7,31	-4,05	-2,48	-331	-532	-48

4.2.3 Voima ja momenttiresultanttien spektraalitiheydet

Esimerkki voimaresultanttien heilahteluihin liittyvistä spektraalitiheyksistä S_i on esitetty kuvassa 22. Vaaka ja pysty akselien suuret ovat dimensiottomia, ja ne ovat samat tuulitunnelikokeessa ja todellisessa tornissa.

Spektraalitiheyksien normeeraus on suoritettu suhteessa voiman (tai momentin) varianssiin σ_i^2 , missä σ_i = voiman tai momentin heilahtelujen keskihajonta.



Kuva 22: Esimerkki tuulitunnelikokeella määritetyistä tornin vaakavoimaresultanttien $i = F_x$ ja F_y spektraalitiheyksistä: tuulen suuntakulma 120° ; konfiguraatio 3. Katkoviiva esittää käyränsovituksen tulosta.

Tornien huojunta-analyysin kannalta kiinnostavat (yksittäisiä resonanssitaajuuksia vastaavat) numeroarvot on esitetty taulukoissa 6...8.

Taulukko 6a: Normeerattujen spektraalitiheyksien numeroarvot resonanssitaajuuksilla vastaten 50 v toistumisvälin tuulta

50 v toistumisvälin tuuli

Θ [°]	$f_x S_x(f)/\sigma_x^2$; $f_x=0,3$ Hz			$f_y S_y(f)/\sigma_y^2$; $f_y=0,4$ Hz			$f_t S_t(f)/\sigma_t^2$; $f_t=0,5$ Hz		
	Konfiguraatio			Konfiguraatio			Konfiguraatio		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	0,35	0,18	0,13	0,26	0,25	0,06	0,50	0,40	0,50
10	0,28	0,22	0,05	0,19	0,15	0,06	0,35	0,50	0,20
20	0,18	0,13	0,06	0,09	0,10	0,07	0,25	0,20	0,15
30	0,24	0,13	0,08	0,10	0,06	0,06	0,25	0,30	0,30
40	0,16	0,14	0,08	0,19	0,07	0,06	0,20	0,40	0,40
50	0,11	0,15	0,14	0,31	0,08	0,09	0,30	0,35	0,50
60	0,08	0,14	0,13	0,22	0,09	0,09	0,30	0,50	0,60
70	0,09	0,09	0,08	0,08	0,10	0,11	0,40	0,50	0,50
80	0,08	0,06	0,06	0,10	0,10	0,10	0,20	0,40	0,40
90	0,07	0,05	0,07	0,14	0,11	0,10	0,15	0,20	0,17
100	0,06	0,05	0,06	0,12	0,05	0,08	0,08	0,10	0,11
110	0,05	0,04	0,06	0,10	0,10	0,13	0,06	0,08	0,10
120	0,05	0,05	0,04	0,07	0,11	0,17	0,05	0,03	0,04
130	0,05	0,06	0,05	0,06	0,11	0,13	0,06	0,05	0,10
140	0,07	0,07	0,06	0,08	0,09	0,10	0,08	0,04	0,07
150	0,09	0,07	0,08	0,07	0,07	0,09	0,20	0,08	0,05
160	0,08	0,08	0,09	0,05	0,07	0,07	0,05	0,05	0,05
170	0,11	0,13	0,13	0,08	0,07	0,08	0,08	0,06	0,10
180	0,14	0,17	0,19	0,08	0,08	0,08	0,15	0,10	0,10
190	0,20	0,12	0,18	0,09	0,09	0,10	0,25	0,08	0,10
200	0,13	0,05	0,11	0,09	0,07	0,08	0,10	0,08	0,08
210	0,15	0,12	0,07	0,08	0,05	0,05	0,20	0,10	0,18
220	0,22	0,13	0,14	0,12	0,07	0,08	0,25	0,05	0,05
230	0,16	0,13	0,15	0,12	0,07	0,08	0,25	0,05	0,05
240	0,13	0,08	0,09	0,15	0,06	0,10	0,30	0,08	0,08
250	0,12	0,06	0,09	0,14	0,07	0,11	0,12	0,05	0,08
260	0,09	0,05	0,10	0,18	0,12	0,12	0,10	0,05	0,05
270	0,08	0,04	0,09	0,14	0,07	0,08	0,15	0,05	0,05
280	0,07	0,05	0,08	0,18	0,04	0,02	0,18	0,10	0,05
290	0,08	0,05	0,07	0,21	0,05	0,04	0,10	0,10	0,12
300	0,09	0,04	0,09	0,19	0,06	0,10	0,12	0,11	0,15
310	0,12	0,05	0,08	0,20	0,07	0,08	0,25	0,15	0,20
320	0,13	0,06	0,10	0,17	0,06	0,06	0,40	0,35	0,30
330	0,19	0,06	0,11	0,14	0,04	0,06	0,40	0,35	0,30
340	0,15	0,06	0,12	0,14	0,15	0,06	0,50	0,50	0,50
350	0,18	0,06	0,11	0,16	0,19	0,05	0,40	0,50	0,55

Taulukko 6b: Spektraalitiheyksien normeerauksessa käytetyt keskihajonnat (todellinen torni, 50 v tuuli)

50 v toistumisvälin tuuli

Θ [°]	σ_x [MN]			σ_y [MN]			σ_t [MNm]		
	Konfiguraatio			Konfiguraatio			Konfiguraatio		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	0,31	0,40	0,35	0,26	0,26	0,27	2,60	2,86	1,91
10	0,32	0,40	0,50	0,28	0,24	0,29	2,76	3,39	3,50
20	0,36	0,52	0,57	0,37	0,31	0,31	3,86	3,97	3,77
30	0,35	0,46	0,44	0,36	0,30	0,32	3,40	2,93	2,75
40	0,42	0,38	0,37	0,25	0,25	0,25	2,74	2,19	2,12
50	0,41	0,36	0,35	0,19	0,29	0,28	2,19	2,07	1,76
60	0,47	0,35	0,32	0,26	0,28	0,29	2,09	1,87	1,83
70	0,45	0,35	0,35	0,47	0,29	0,27	2,73	1,78	1,89
80	0,38	0,40	0,38	0,38	0,28	0,31	2,59	1,63	1,60
90	0,44	0,47	0,46	0,41	0,36	0,41	3,26	2,23	2,88
100	0,56	0,58	0,54	0,37	0,43	0,40	4,23	3,27	2,87
110	0,60	0,65	0,57	0,38	0,43	0,39	4,38	3,27	3,32
120	0,53	0,52	0,54	0,43	0,34	0,36	4,36	3,81	3,67
130	0,51	0,49	0,54	0,37	0,35	0,33	4,02	3,67	3,47
140	0,49	0,48	0,51	0,27	0,26	0,24	3,38	3,38	3,43
150	0,43	0,47	0,45	0,29	0,24	0,25	2,95	3,11	3,26
160	0,49	0,44	0,45	0,29	0,24	0,25	4,23	3,06	3,09
170	0,46	0,42	0,42	0,23	0,23	0,24	4,04	3,35	3,61
180	0,43	0,45	0,45	0,24	0,25	0,26	3,42	3,70	3,83
190	0,37	0,52	0,52	0,21	0,22	0,23	3,17	4,64	4,55
200	0,37	0,63	0,70	0,18	0,21	0,22	3,85	5,85	6,51
210	0,41	0,50	0,54	0,22	0,25	0,24	3,28	4,05	4,20
220	0,36	0,37	0,38	0,18	0,20	0,20	2,53	4,01	3,94
230	0,32	0,33	0,33	0,14	0,18	0,17	2,17	3,68	3,77
240	0,31	0,32	0,30	0,13	0,16	0,14	2,25	3,18	2,99
250	0,28	0,33	0,31	0,22	0,23	0,20	2,44	3,34	3,31
260	0,29	0,34	0,33	0,23	0,26	0,23	2,69	3,44	3,54
270	0,28	0,36	0,34	0,25	0,30	0,27	2,63	4,18	4,11
280	0,26	0,41	0,38	0,25	0,43	0,38	2,90	3,51	4,01
290	0,27	0,39	0,41	0,19	0,36	0,35	3,52	3,77	3,99
300	0,37	0,35	0,34	0,21	0,24	0,21	3,29	2,32	2,40
310	0,27	0,33	0,35	0,22	0,24	0,25	3,03	1,98	2,02
320	0,25	0,30	0,31	0,19	0,20	0,24	1,85	1,70	1,74
330	0,21	0,30	0,31	0,23	0,20	0,24	1,95	1,40	1,63
340	0,28	0,35	0,32	0,27	0,19	0,23	1,87	1,55	1,45
350	0,34	0,57	0,32	0,26	0,18	0,23	2,49	2,15	1,54

Taulukko 7a: Normeerattujen spektraalitiheyksien resonanssitaajuuksilla vastaten 5 v toistumisvälin tuulta

5 v toistumisvälin tuuli

Θ [°]	$f_x S_x(f)/\sigma_x^2 ; f_x=0,3 \text{ Hz}$			$f_y S_y(f)/\sigma_y^2 ; f_y=0,4 \text{ Hz}$			$f_t S_t(f)/\sigma_t^2 ; f_t=0,5 \text{ Hz}$		
	Konfiguraatio			Konfiguraatio			Konfiguraatio		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	0,16	0,12	0,08	0,19	0,18	0,05	0,20	0,25	0,20
10	0,18	0,05	0,02	0,15	0,12	0,05	0,28	0,25	0,08
20	0,13	0,07	0,03	0,07	0,07	0,06	0,15	0,20	0,10
30	0,18	0,07	0,03	0,08	0,05	0,05	0,10	0,20	0,10
40	0,12	0,09	0,03	0,16	0,06	0,05	0,10	0,20	0,20
50	0,08	0,10	0,10	0,24	0,06	0,07	0,10	0,17	0,20
60	0,05	0,10	0,10	0,16	0,08	0,07	0,15	0,35	0,25
70	0,07	0,07	0,07	0,04	0,08	0,09	0,15	0,30	0,15
80	0,07	0,05	0,05	0,06	0,08	0,07	0,10	0,17	0,30
90	0,06	0,04	0,05	0,07	0,06	0,06	0,05	0,14	0,08
100	0,05	0,04	0,05	0,05	0,02	0,04	0,02	0,05	0,08
110	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0,09	0,04	0,05	0,03
120	0,04	0,04	0,03	0,06	0,07	0,11	0,02	0,02	0,03
130	0,04	0,05	0,04	0,05	0,08	0,10	0,04	0,02	0,04
140	0,06	0,06	0,05	0,06	0,07	0,08	0,04	0,02	0,03
150	0,07	0,06	0,07	0,06	0,06	0,07	0,05	0,04	0,04
160	0,07	0,07	0,08	0,04	0,05	0,06	0,02	0,03	0,03
170	0,09	0,10	0,11	0,07	0,06	0,06	0,04	0,02	0,03
180	0,11	0,09	0,10	0,07	0,07	0,07	0,06	0,03	0,03
190	0,14	0,05	0,08	0,07	0,07	0,08	0,10	0,08	0,08
200	0,08	0,02	0,06	0,08	0,06	0,07	0,05	0,04	0,06
210	0,11	0,05	0,03	0,06	0,03	0,04	0,06	0,05	0,06
220	0,15	0,10	0,13	0,10	0,05	0,07	0,10	0,02	0,03
230	0,12	0,10	0,13	0,10	0,05	0,07	0,10	0,02	0,02
240	0,10	0,06	0,08	0,12	0,04	0,09	0,08	0,03	0,03
250	0,10	0,05	0,08	0,11	0,06	0,09	0,05	0,02	0,03
260	0,07	0,04	0,09	0,14	0,09	0,09	0,05	0,02	0,02
270	0,07	0,04	0,08	0,11	0,04	0,05	0,08	0,02	0,02
280	0,06	0,04	0,07	0,13	0,02	0,01	0,06	0,05	0,04
290	0,07	0,04	0,07	0,15	0,03	0,03	0,05	0,05	0,05
300	0,08	0,03	0,08	0,12	0,03	0,07	0,05	0,04	0,04
310	0,10	0,05	0,07	0,15	0,05	0,06	0,08	0,05	0,03
320	0,11	0,04	0,10	0,14	0,03	0,05	0,10	0,08	0,05
330	0,17	0,05	0,10	0,11	0,02	0,05	0,15	0,10	0,06
340	0,12	0,04	0,11	0,11	0,11	0,05	0,30	0,15	0,15
350	0,10	0,03	0,07	0,10	0,13	0,05	0,25	0,20	0,20

Taulukko 7b: Spektraalitiheyksien normeerauksessa käytetyt keskihajonnat (todellinen torni, 5 v tuuli)

5 v toistumisvälin tuuli

Θ [°]	σ_x [MN]			σ_y [MN]			σ_t [MNm]		
	Konfiguraatio			Konfiguraatio			Konfiguraatio		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	0,22	0,29	0,25	0,19	0,19	0,20	1,88	2,07	1,38
10	0,23	0,29	0,36	0,20	0,18	0,21	1,99	2,45	2,53
20	0,26	0,38	0,41	0,27	0,22	0,22	2,79	2,87	2,73
30	0,25	0,33	0,32	0,26	0,22	0,23	2,46	2,12	1,99
40	0,31	0,28	0,27	0,18	0,18	0,18	1,98	1,58	1,53
50	0,30	0,26	0,26	0,14	0,21	0,20	1,58	1,49	1,27
60	0,34	0,25	0,23	0,19	0,20	0,21	1,51	1,35	1,32
70	0,32	0,25	0,25	0,34	0,21	0,20	1,97	1,28	1,36
80	0,28	0,29	0,28	0,28	0,20	0,23	1,87	1,18	1,16
90	0,32	0,34	0,34	0,29	0,26	0,30	2,36	1,61	2,08
100	0,40	0,42	0,39	0,27	0,31	0,29	3,06	2,36	2,07
110	0,43	0,47	0,41	0,28	0,31	0,28	3,17	2,36	2,40
120	0,38	0,38	0,39	0,31	0,25	0,26	3,15	2,75	2,65
130	0,37	0,35	0,39	0,27	0,25	0,24	2,91	2,65	2,51
140	0,36	0,35	0,36	0,20	0,19	0,17	2,44	2,44	2,48
150	0,31	0,34	0,33	0,21	0,18	0,18	2,13	2,25	2,36
160	0,35	0,32	0,32	0,21	0,18	0,18	3,06	2,21	2,24
170	0,33	0,30	0,31	0,17	0,16	0,17	2,92	2,42	2,61
180	0,31	0,32	0,33	0,18	0,18	0,19	2,47	2,67	2,77
190	0,27	0,38	0,38	0,15	0,16	0,16	2,29	3,35	3,29
200	0,27	0,45	0,51	0,13	0,15	0,16	2,78	4,22	4,70
210	0,30	0,36	0,39	0,16	0,18	0,18	2,37	2,93	3,04
220	0,26	0,27	0,28	0,13	0,15	0,14	1,83	2,90	2,85
230	0,23	0,24	0,24	0,10	0,13	0,12	1,57	2,66	2,72
240	0,23	0,23	0,22	0,09	0,11	0,10	1,62	2,30	2,16
250	0,21	0,24	0,22	0,16	0,16	0,14	1,77	2,41	2,39
260	0,21	0,25	0,23	0,17	0,19	0,17	1,94	2,48	2,55
270	0,20	0,26	0,25	0,18	0,21	0,20	1,90	3,02	2,97
280	0,19	0,29	0,27	0,18	0,31	0,28	2,09	2,54	2,90
290	0,20	0,28	0,29	0,14	0,26	0,26	2,54	2,73	2,89
300	0,27	0,25	0,25	0,15	0,17	0,15	2,38	1,68	1,74
310	0,20	0,24	0,26	0,16	0,17	0,18	2,19	1,43	1,46
320	0,18	0,22	0,22	0,14	0,14	0,17	1,33	1,23	1,25
330	0,15	0,22	0,23	0,17	0,15	0,17	1,41	1,01	1,18
340	0,20	0,25	0,23	0,19	0,14	0,16	1,35	1,12	1,05
350	0,25	0,41	0,23	0,19	0,13	0,17	1,80	1,55	1,11

Taulukko 8a: Normeerattujen spektraalitiheyksien resonanssitaajuuksilla vastaten 1 v toistumisvälin tuulta

1 v toistumisvälin tuuli

Θ [°]	$f_x S_x(f)/\sigma_x^2; f_x=0,3 \text{ Hz}$			$f_y S_y(f)/\sigma_y^2; f_y=0,4 \text{ Hz}$			$f_t S_t(f)/\sigma_t^2; f_t=0,5 \text{ Hz}$		
	Konfiguraatio			Konfiguraatio			Konfiguraatio		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	0,08	0,09	0,05	0,15	0,02	0,05	0,12	0,10	0,10
10	0,06	0,02	0,01	0,08	0,10	0,04	0,12	0,13	0,06
20	0,08	0,04	0,02	0,05	0,06	0,05	0,10	0,12	0,10
30	0,11	0,04	0,02	0,05	0,05	0,04	0,07	0,10	0,08
40	0,07	0,07	0,02	0,10	0,05	0,04	0,08	0,10	0,10
50	0,04	0,07	0,07	0,13	0,06	0,06	0,08	0,09	0,10
60	0,03	0,08	0,08	0,13	0,06	0,06	0,10	0,13	0,10
70	0,05	0,05	0,06	0,03	0,06	0,07	0,10	0,10	0,05
80	0,06	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,10	0,12	0,15
90	0,05	0,03	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,08	0,05
100	0,04	0,04	0,04	0,02	0,01	0,03	0,02	0,03	0,03
110	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,06	0,03	0,02	0,02
120	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,08	0,02	0,02	0,02
130	0,04	0,04	0,03	0,04	0,07	0,08	0,03	0,02	0,03
140	0,05	0,05	0,04	0,06	0,05	0,07	0,03	0,02	0,02
150	0,07	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,03	0,02	0,03
160	0,06	0,06	0,07	0,04	0,05	0,05	0,02	0,02	0,02
170	0,07	0,08	0,09	0,06	0,05	0,06	0,03	0,02	0,02
180	0,08	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,04	0,03	0,03
190	0,10	0,03	0,05	0,06	0,06	0,07	0,05	0,05	0,06
200	0,06	0,01	0,03	0,07	0,05	0,06	0,05	0,03	0,03
210	0,08	0,03	0,01	0,05	0,03	0,03	0,05	0,04	0,06
220	0,11	0,08	0,12	0,08	0,05	0,06	0,08	0,02	0,02
230	0,09	0,07	0,13	0,08	0,04	0,06	0,08	0,01	0,01
240	0,09	0,05	0,08	0,10	0,03	0,08	0,04	0,02	0,02
250	0,09	0,04	0,08	0,09	0,04	0,08	0,03	0,01	0,02
260	0,07	0,03	0,09	0,11	0,08	0,08	0,05	0,01	0,02
270	0,07	0,03	0,07	0,09	0,03	0,04	0,06	0,01	0,02
280	0,06	0,03	0,07	0,11	0,02	0,01	0,05	0,05	0,02
290	0,06	0,04	0,06	0,11	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03
300	0,08	0,03	0,08	0,09	0,02	0,05	0,03	0,03	0,03
310	0,09	0,04	0,07	0,12	0,03	0,05	0,05	0,03	0,02
320	0,10	0,03	0,09	0,12	0,02	0,05	0,05	0,04	0,03
330	0,15	0,04	0,09	0,10	0,01	0,04	0,10	0,05	0,03
340	0,09	0,03	0,11	0,09	0,09	0,04	0,15	0,07	0,05
350	0,07	0,02	0,05	0,07	0,09	0,04	0,15	0,12	0,07

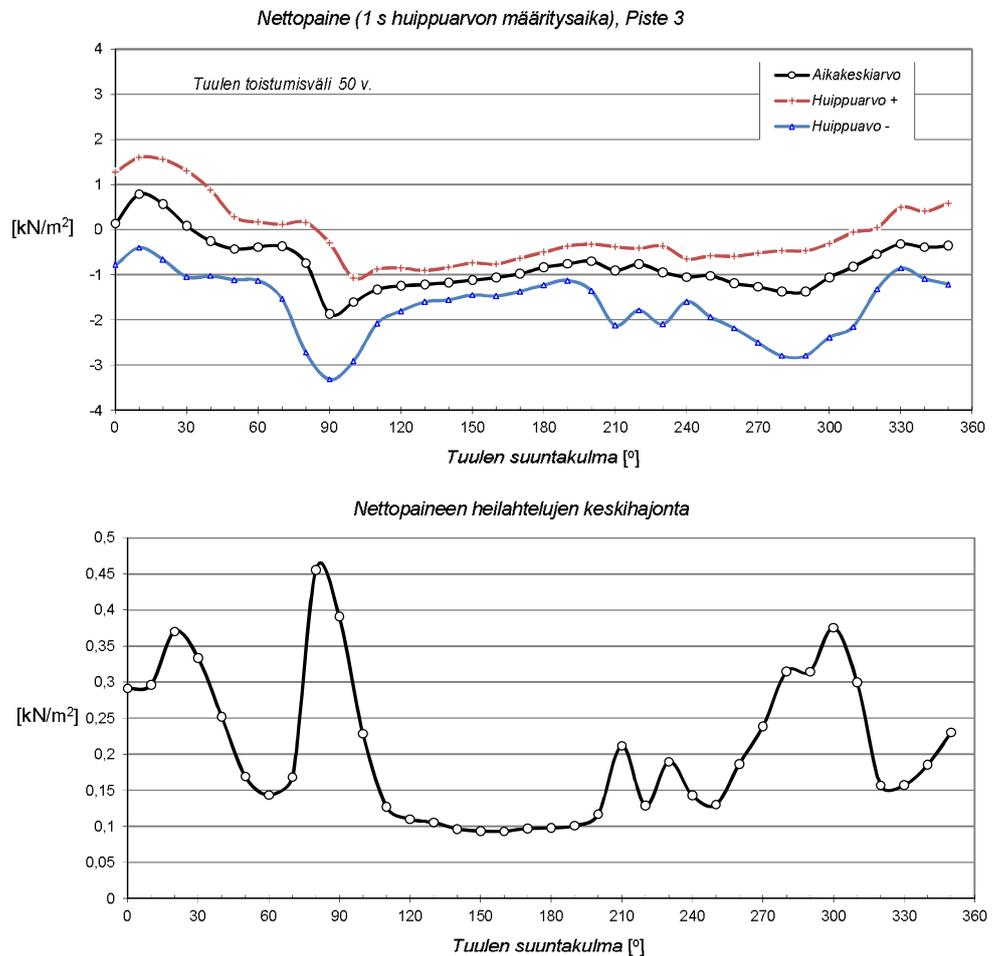
Taulukko 8b: Spektraalitiheyksien normeerauksessa käytetyt keskihajonnat (todellinen torni, 1 v tuuli)

1 v toistumisvälin tuuli

Θ [°]	σ_x [MN]			σ_y [MN]			σ_t [MNm]		
	Konfiguraatio			Konfiguraatio			Konfiguraatio		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	0,17	0,23	0,20	0,15	0,15	0,15	1,46	1,61	1,07
10	0,18	0,23	0,28	0,16	0,14	0,16	1,55	1,91	1,97
20	0,20	0,29	0,32	0,21	0,17	0,17	2,17	2,23	2,12
30	0,20	0,26	0,25	0,20	0,17	0,18	1,91	1,65	1,55
40	0,24	0,22	0,21	0,14	0,14	0,14	1,54	1,23	1,19
50	0,23	0,20	0,20	0,11	0,16	0,16	1,23	1,16	0,99
60	0,26	0,19	0,18	0,15	0,16	0,16	1,17	1,05	1,03
70	0,25	0,19	0,20	0,26	0,16	0,15	1,54	1,00	1,06
80	0,22	0,23	0,21	0,21	0,16	0,18	1,46	0,92	0,90
90	0,25	0,27	0,26	0,23	0,20	0,23	1,84	1,25	1,62
100	0,31	0,33	0,30	0,21	0,24	0,22	2,38	1,84	1,61
110	0,34	0,36	0,32	0,21	0,24	0,22	2,46	1,84	1,87
120	0,30	0,29	0,30	0,24	0,19	0,20	2,45	2,14	2,06
130	0,29	0,27	0,30	0,21	0,20	0,18	2,26	2,06	1,95
140	0,28	0,27	0,28	0,15	0,15	0,14	1,90	1,90	1,93
150	0,24	0,26	0,25	0,16	0,14	0,14	1,66	1,75	1,84
160	0,27	0,25	0,25	0,17	0,14	0,14	2,38	1,72	1,74
170	0,26	0,24	0,24	0,13	0,13	0,14	2,27	1,88	2,03
180	0,24	0,25	0,25	0,14	0,14	0,15	1,93	2,08	2,16
190	0,21	0,29	0,29	0,12	0,12	0,13	1,79	2,61	2,56
200	0,21	0,35	0,39	0,10	0,12	0,12	2,17	3,29	3,66
210	0,23	0,28	0,30	0,12	0,14	0,14	1,85	2,28	2,36
220	0,20	0,21	0,22	0,10	0,11	0,11	1,43	2,26	2,22
230	0,18	0,18	0,19	0,08	0,10	0,10	1,22	2,07	2,12
240	0,18	0,18	0,17	0,07	0,09	0,08	1,26	1,79	1,68
250	0,16	0,18	0,17	0,13	0,13	0,11	1,38	1,88	1,86
260	0,16	0,19	0,18	0,13	0,15	0,13	1,51	1,93	1,99
270	0,16	0,21	0,19	0,14	0,17	0,15	1,48	2,35	2,31
280	0,15	0,23	0,21	0,14	0,24	0,21	1,63	1,98	2,25
290	0,15	0,22	0,23	0,11	0,20	0,20	1,98	2,12	2,25
300	0,21	0,20	0,19	0,12	0,13	0,12	1,85	1,30	1,35
310	0,15	0,18	0,20	0,12	0,13	0,14	1,71	1,11	1,14
320	0,14	0,17	0,17	0,11	0,11	0,13	1,04	0,96	0,98
330	0,12	0,17	0,18	0,13	0,11	0,13	1,10	0,79	0,92
340	0,16	0,20	0,18	0,15	0,11	0,13	1,05	0,87	0,81
350	0,19	0,32	0,18	0,15	0,10	0,13	1,40	1,21	0,87

4.2.4 Painemittaukset

Nettopaineiden suorat mittaustulokset on esitetty liitteessä 5. Mittaustuloksista mallilailla määritettyjä todellisen rakennuksen nettopaineiden arvoja on havainnollistettu kuvassa 23.



Kuva 23: Esimerkki painemittausten tuloksesta (tulokset muunnettuna täyteen mittakaavaan vastaamaan tuulen 50 v toistumisväliä).

Tulokset koskevat tornia, jossa mahdolliset aukot ovat likimain tasaisesti ja kaantuneet eri julkisivuille (julkisivuissa ei ole määräävä aukkoja, jotka vaikuttaisivat sisäisen paineen muodostumiseen). Ilman tiheydeksi on oletettu nolla-asteen lämpötilaa vastaava arvo (1,3 kg/m³).

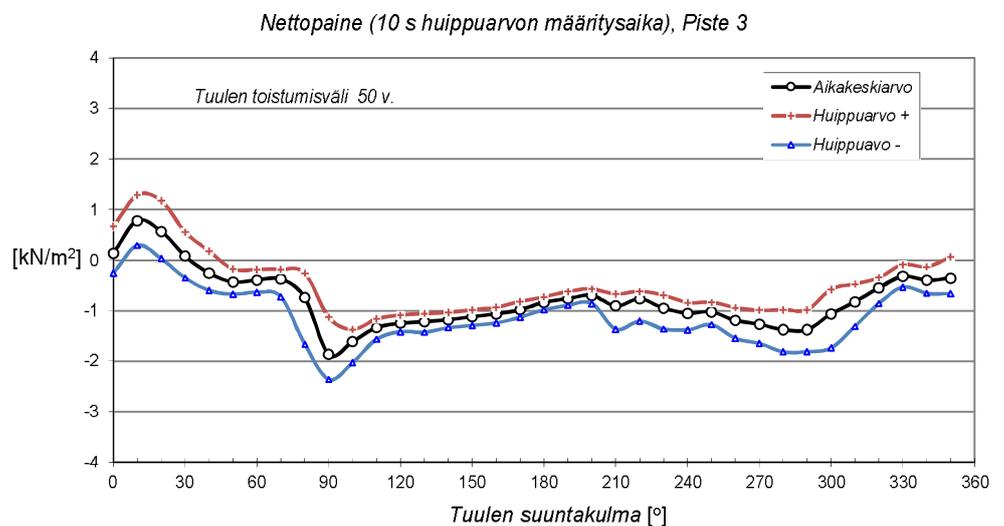
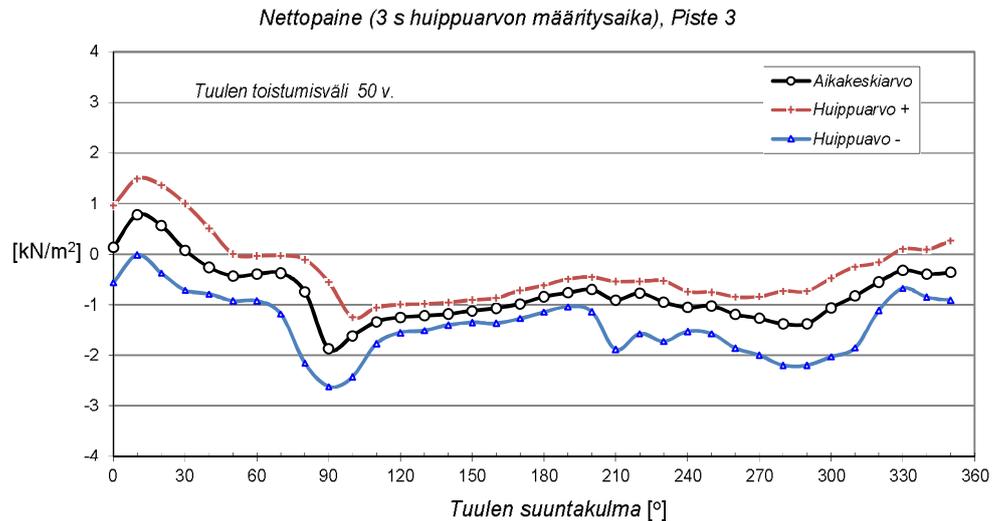
Nettopaineen positiivinen huippuarvo (+) tarkoittaa rakennuksen ulkoa sisäänpäin kohdistuvaa voimaa ("painetta") ja vastaavasti negatiivinen huippuarvo vastakkaiseen suuntaan ("imua"). Huippuarvot voidaan yleisesti esittää muodossa

$$p^+ = p_0 + g^+ \sigma_p$$

$$p^- = p_0 - g^- \sigma_p$$

missä p_0 = nettopaineen aikakeskiarvo (vastaten keskittuulen määrittäysaika 10 min tai 1 h); g^+ (ja g^-) on huippuarvokerroin; ja σ_p = nettopaineen heilahtelujen keskihajonta.

Huippuarvot (ja huippuarvokerroimet) riippuvat huippuarvon määrittäysajasta (kuva 24). Mitä pitempi on huippuarvon määrittäysaika, sitä pienempiä ovat huippuarvojen numeroarvot ja sitä lähempänä ne ovat aikakeskiarvoa.



Kuva 24: Esimerkki painemittausten tuloksesta 3 s ja 10 s huippuarvon määrittäysajoilla.

Huippuarvojen määrittäysaika 1 s vastaavat tulokset on esitetty taulukoissa 9. Liitteessä 5 on esitetty huippuarvojen määrittäysaika 3 s ja 10 s vastaavat tulokset sekä nettopaineen aikakeskiarvo ja nettopaineen heilahteluihin liittyvä keskihajonta.

Taulukko 9a: Tornin T_4 julkisivujen nettopaineiden 1 s huippuarvot p^+

Point	Tuulen suuntakulma [°]																															Max								
	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	0,6	0,9	0,9	0,7	0,2	-0,1	-0,2	-0,1	-0,3	-0,7	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,2	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6	-0,5	-0,6	-0,5	-0,6	-0,6	-0,6	-0,2	-0,2	0,1	0,5	0,4	0,4	0,9			
2	1,2	1,6	1,6	1,5	1,0	0,6	0,6	0,7	0,6	0,1	-0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,4	0,3	0,4	0,2	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0	0,2	-0,1	-0,1	0,2	0,3	0,6	0,8	0,7	0,9	1,6		
3	1,3	1,6	1,6	1,3	0,9	0,3	0,2	0,1	0,2	-0,3	-1,1	-0,9	-0,9	-0,8	-0,7	-0,8	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,6	-0,6	-0,6	-0,5	-0,5	-0,3	-0,1	0,0	0,5	0,4	0,6	0,6	1,6	1,6	1,6		
4	1,0	1,2	1,1	0,8	0,6	0,2	0,1	0,1	0,0	-0,5	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,5	-0,5	-0,4	-0,2	-0,2	-0,3	-0,2	0,0	0,2	0,3	0,5	1,2	1,2	0,9		
5	0,9	0,9	0,8	0,5	0,2	0,2	0,1	0,0	-0,8	-0,8	-0,7	-0,6	-0,7	-0,7	-0,6	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,1	0,1	0,3	0,5	0,9	0,9	0,9		
6	-0,4	-0,4	0,0	0,6	0,8	1,0	1,3	1,4	1,2	1,1	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0,0	-0,2	-0,3	-0,2	-0,2	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,6	-0,6	-0,5	1,4	1,4		
7	0,0	0,1	0,2	0,7	0,9	1,3	1,5	1,7	1,9	1,8	2,0	1,7	1,6	1,4	1,2	1,0	0,7	0,6	0,3	0,1	0,2	0,0	0,2	0,2	0,0	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,0	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0,0	2,0		
8	-0,4	-0,4	0,0	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0	1,3	1,3	1,3	1,2	1,0	0,9	0,6	0,3	0,0	-0,2	-0,4	-0,4	-0,5	-0,3	-0,2	-0,4	-0,4	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,6	-0,5	-0,5	-0,4	1,3	1,3		
9	-0,4	-0,3	0,0	0,2	0,4	0,6	0,6	0,9	1,1	1,2	1,3	1,3	1,2	1,1	0,8	0,4	0,1	-0,4	-0,5	-0,4	-0,2	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	1,3	1,3		
10	-0,4	-0,4	0,1	0,1	0,2	0,2	0,5	0,7	0,7	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,9	0,5	-0,2	-0,7	-0,6	-0,4	-0,5	-0,5	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6	-0,6	-0,5	-0,5	-0,5	1,2	1,2		
11	0,3	0,4	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,1	-0,2	-0,3	0,1	1,1	1,7	1,9	2,0	2,0	1,8	1,9	1,8	1,7	1,4	1,0	0,9	0,4	-0,2	-0,1	-0,1	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6	-0,5	-0,5	-0,5	1,0	1,0		
12	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,6	-0,8	-0,1	0,3	0,5	0,7	1,0	1,2	1,3	1,4	1,4	1,3	1,4	1,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	1,4	1,4		
13	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,1	-0,5	-0,5	0,1	0,3	0,5	0,5	0,8	0,9	1,1	1,1	1,2	1,1	1,2	1,2	0,8	0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	1,2	1,2	
14	-0,3	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	-0,3	-0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	0,9	1,1	1,1	0,6	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,5	-0,4	-0,4	-0,3	1,1	1,1		
15	-0,5	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	0,0	-0,1	-0,3	-0,1	-0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,6	0,7	1,0	1,0	0,9	0,4	-0,2	-0,1	-0,1	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6	-0,5	-0,5	-0,5	1,0	1,0		
16	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	-0,1	-0,1	0,1	0,1	-0,2	0,0	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,0	0,0	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,1	0,6	1,1	1,3	1,4	1,3	1,3	1,1	1,1	0,8	0,6	0,5	0,7	1,4	1,4		
17	0,9	1,0	0,9	0,8	1,0	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,5	0,7	0,7	0,7	0,8	1,0	0,8	1,3	1,7	2,0	1,8	2,0	2,0	1,6	1,7	1,3	1,0	1,2	1,2	2,0	2,0			
18	0,2	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,4	-0,6	-0,5	-0,6	-0,6	-0,7	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,4	-0,4	-0,3	0,0	0,1	0,3	1,0	1,0	1,1	1,2	1,2	1,2	1,1	1,0	0,6	0,6	0,6	1,2	1,2			
19	0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,5	-0,7	-0,6	-0,5	-0,6	-0,7	-0,7	-0,6	-0,6	-0,7	-0,6	-0,6	-0,5	-0,4	-0,2	0,0	0,1	0,5	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,2	1,0	0,9	0,6	0,7	0,7	1,2	1,2			
20	0,2	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4	-0,5	-0,7	-0,6	-0,5	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,6	-0,7	-0,7	-0,6	-0,5	-0,5	-0,2	-0,1	0,0	0,3	0,4	0,7	0,8	0,8	1,0	1,0	0,8	0,5	0,8	0,7	0,7	1,0	1,0	1,0			
21	1,1	1,4	1,3	1,1	0,8	0,3	0,2	0,2	0,0	-0,4	-0,5	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,3	-0,1	-0,3	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,1	0,0	0,4	0,6	0,7	0,9	1,4	1,4			
22	1,4	1,6	1,4	1,2	0,9	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	-0,3	-0,2	-0,3	-0,2	0,0	0,0	-0,1	0,4	0,2	0,2	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,5	0,7	0,9	1,1	1,6	1,6			
23	1,6	1,8	1,6	1,3	1,0	0,5	0,6	0,6	0,4	0,3	-0,2	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,8	0,4	0,5	0,8	0,5	0,5	0,4	0,3	0,1	0,3	0,3	0,1	0,0	0,1	0,1	0,6	0,7	1,1	1,3	1,8	1,8			
24	1,1	1,2	1,0	1,0	0,6	0,1	0,2	0,3	0,2	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,3	-0,2	-0,3	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	0,0	0,5	0,9	1,1	1,2	1,2			
25	1,2	1,3	1,1	0,8	0,4	0,2	0,3	0,6	0,6	-0,5	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,1	-0,1	0,0	1,2	0,1	0,4	0,4	0,2	0,2	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	0,7	1,1	1,3	1,3			
26	-0,5	-0,4	-0,4	-0,1	0,3	0,8	1,0	1,1	1,0	1,1	1,1	0,9	0,8	0,5	0,3	0,3	0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	1,1	1,1		
27	-0,6	-0,5	-0,5	0,0	0,1	0,5	0,7	0,6	1,0	1,1	1,1	1,0	0,8	0,6	0,6	0,4	0,0	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,6	-0,5	-0,4	-0,5	-0,4	1,1	1,1		
28	-0,4	-0,4	-0,4	0,1	0,0	0,4	0,5	0,5	0,9	1,0	1,2	1,2	1,3	1,1	1,0	0,9	0,6	0,4	0,1	0,0	-0,1	-0,2	0,0	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	1,3	1,3	
29	-0,5	-0,5	-0,3	-0,1	-0,1	0,2	0,1	0,2	0,7	0,8	1,1	1,2	1,2	1,2	1,1	1,0	0,6	0,3	0,0	-0,3	-0,3	0,0	-0,2	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	1,3	1,3	
30	-0,6	-0,5	-0,3	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	0,2	0,3	0,4	0,8	1,0	1,3	1,3	1,2	1,1	0,8	0,4	-0,2	-0,6	-0,3	-0,2	0,0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	1,3	1,3	
31	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,1	-0,2	-0,7	-0,6	-0,3	0,2	0,5	0,9	1,1	1,2	1,3	1,2	1,2	1,2	0,9	0,1	-0,3	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	1,3	1,3	
32	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,1	-0,5	-0,8	-0,7	0,1	0,2	0,5	0,8	1,0	1,1	1,3	1,2	1,3	1,1	0,8	0,0	-0,4	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	1,3	1,3
33	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,4	-0,2	-0,5	0,3	0,3	0,9	1,1	1,0	1,3	1,5	1,7	1,8	1,5	1,4	0,8	0,2	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	1,8	1,8		
34	-0,6	-0,5	-0,3	-0,4	-0,5	-0,5	0,1	-0,2	-0,5	-0,2	0,4	0,5	0,5	0,9	1,0	1,3	1,4	1,5	1,4	1,1	0,3	-0,3	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	1,5	1,5	
35	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	0,1	0,3	-0,2	-0,1	0,2	0,0	0,0	0,2	0,3	0,7	0,7	0,6	0,4	0,0	-0,6	-0,3	-0,2	0,0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	1,3	1,3
36	0,0	0,1	0,1	0,0	-0,2	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,5	-0,5	-0,7	-0,7	-0,6	-0,6	-0,6	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	0,6	0,6	
37	0,1	0,2	0,2	0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,2	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6	-0,6	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	0,5	0,4	0,3	0,6	0,4	0,9	0,8	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,9	0,9	0,9		
38	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3	-0,4	-0,5	-0,5	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,8	-0,7	-0,7	-0,6	-0,6	-0,5	-0,4	-0,4	-0,2	0,2	0,1	0,1	0,6	0,4	0,8											

4.3 Tuulitunnelikokeen virhetarkastelu

Tuulitunnelikoe tehty samoilla standardeilla menetelmillä, joita käytetään yleisesti korkeiden rakennusten suunnittelussa kansainvälisesti, ja joiden pohjalta on osaltaan laadittu viimeisimpiä tuulikuormiin liittyviä suunnittelunormeja.

4.3.1 Tuulisuuskartoituksen mittaukset

Tuulisuuskartoituksen mittausten virhemarginaaleja on käsitelty tarkemmin lähteessä [1]. Tämän raportin mukaisissa mittaustuloksissa (suunnitelman 4/2015 mukainen pienoismalli) on ollut mukana puiden, pensaiden ja aitojen vaikutus. Nämä yleisesti pienentävät tuulisuutta.

Suuntaa antava virhemarginaali tuulitunnelikokeen tuloksille on $\pm 10\%$.

4.3.2 Voima ja momenttiresultanttien mittaukset

Mittaukset on tehty tehdasvalmisteisella 6-komponenttisella vaa'alla joka ominaisuuksiltaan soveltuu korkeataajuusmittauksiin.

Vaaka on kalibroitu manuaalisesti punnusten avulla tuulitunnelissa ennen ja jälkeen mittausten. Kalibroitavasta johtuen analyysin kannalta tärkeimpien kaatavien momenttien (M_x ja M_y) ja vaakavoimien (F_x ja F_y) mahdollinen kalibrointivirhe on pieni.

Käytetty vaaka, samoin kuin muutkin vastaavat, ovat venymäliuskoihin perustuvia: tuulitunnelikokeessa mitattavat jännitesignaalit on hyvin pieniä ja alttiita ympäristöstä välittyville sähköisille häiriöille, sekä hitaasti tapahtuville signaalien nollassa "ryöminällä". Häiriöt on pyritty minimoimaan käyttämällä venymäliuskoille tarkoitettua vähäkohinaista vahvistinta ja jännitesyötöä, sekä lyhyitä kaapeleita.

Signaalien nollassa on mitattu ennen ja jälkeen eri tuulen eri suuntakulmien mittausta ja väliarvot on interpoloitu.

Häiriötä voidaan yleisesti vähentää suodattamalla korkeampia taajuuksia pois, mutta koska tavoitteena on ollut mitata korkealla taajuus-alueella (nopeita voiman heilahteluita) n. 100 Hz taajuuteen asti, ja vastaavat voimat ovat hyvin pieniä, kohina vaikuttaa tuloksiin n. 30...50 Hz ylöspäin. Vaikutus näkyy mitattuja dynaamisia suureita (rms-arvoja ja huippuarvoja) lisäävänä tekijänä. Tulosten mukaan momentteihin M_x ja M_y liittyvä kohina on ollut pienempää kuin vaakavoimiin, ja tämän vuoksi momenteja on käytetty tornien värähtelyanalyysissä (vrt. liite 2).

Tornin vääntömomentin (M_z) mittauksissa 6-komponenttivaalla kohinan vaikutus havaittiin liian suuriksi vääntövärähtelyanalyysin luotettavaksi suorittamiseksi, toisin sanoen kohinan vaikutuksesta värähtelyennuste oli liian suuri. Tämän johdosta koe uusittiin parannetulla koejärjestelyllä käyttäen 1-komponenttista vaakaa ja pienoismallia, jossa vain vääntö-vapausaste on vapaana. Tämän raportin vääntö koskevat tulokset on mitattu tällä koejärjestelyllä.

Noin 25 Hz tuntumassa dynaamisiin mittaustuloksiin vaikuttaa pienoismallivaaka -systeemin oma ominaisvärähtely, jonka vaikutus on kumottu laskennallisesti.

Muita virhemahdollisuuksia muodostaa mm.

- pienoismallin tuulitunnelissa aiheuttama virtauksen esto (*blockage*), joka kiihdyttää virtausta ja kasvattaa mitattuja voimia
- mahdolliset epätarkkuudet virtauksen korkeusprofiilissa ja turbulenssissa
- pienoismallista riippuva tekijä, jossa ympäröiviä rakennuksia on mallinnettu vain rajalliselta etäisyydeltä
- voiman ja momentin huippuarvoihin liittyvä tarkasteltavasta ilmiöstä riippuva luonnollinen satunnaisuus.

Mitatuille kvasistaattisille (alhaisen taajuusalueen) voima ja momenttiresultanteille voidaan ehdottaa $\pm 10\%$ virhemarginaalia.

Tornin värähtelyanalyysiin vaikuttaville korkean taajuusalueen tuloksille voidaan olettaa n. $-10\% \dots +20\%$ virhemarginaali.

4.3.3 Nettopaineiden mittaukset

Mittaukset on tehty pintaan asennetuilla paineantureilla, jolloin niiden taajuusvaste on paras mahdollinen (ilman letkujen aiheuttamaa nopeiden heilahtelujen vaimenemista). Käytetyt paineanturit ovat toimintaperiaatteeltaan venymäliuska-pohjaisia, ja niille pätee samat sähköiset häiriökysymykset kuin edellä esitetyille korkeataajuus-vaakamittaukselle. Kohinan vaikutus on pyritty minimoimaan samoilla menetelmillä. Mittaustekniikassa alipäästösuodatuksen avulla tulovirtauksen turbulenssiin liittyvät suhteellisen hitaat paineen heilahtelut ja vastaavat suureet (heilahtelujen keskihajonta ja aikakeskiarvo) saadaan luotettavasti määritettyä. Mahdolliset sähköiset häiriöt vaikuttavat eniten lyhytkestoisten huippuarvojen suoriin mittaustuloksiin.

Paine-anturien häiriöherkkyys on vaihdellut anturista (ja mittauskanavasta) toiseen. Kerralla on mitattu 20 anturia. Luotettavien hetkellisten huippuarvojen mittaamiseksi toisissa kanavissa satunnaisesti esiintyneet piikkimäiset sähköiset häiriöt on jouduttu eliminoimaan suorittamalla analyysi signaalin häiriöttömästä osasta.

Paineantureita ei erikseen kalibroida, vaan kalibroinnin osalta on luotettava tehdaskalibrointiin sekä vahvistimien nimelliseen vahvistuskertoimeen.

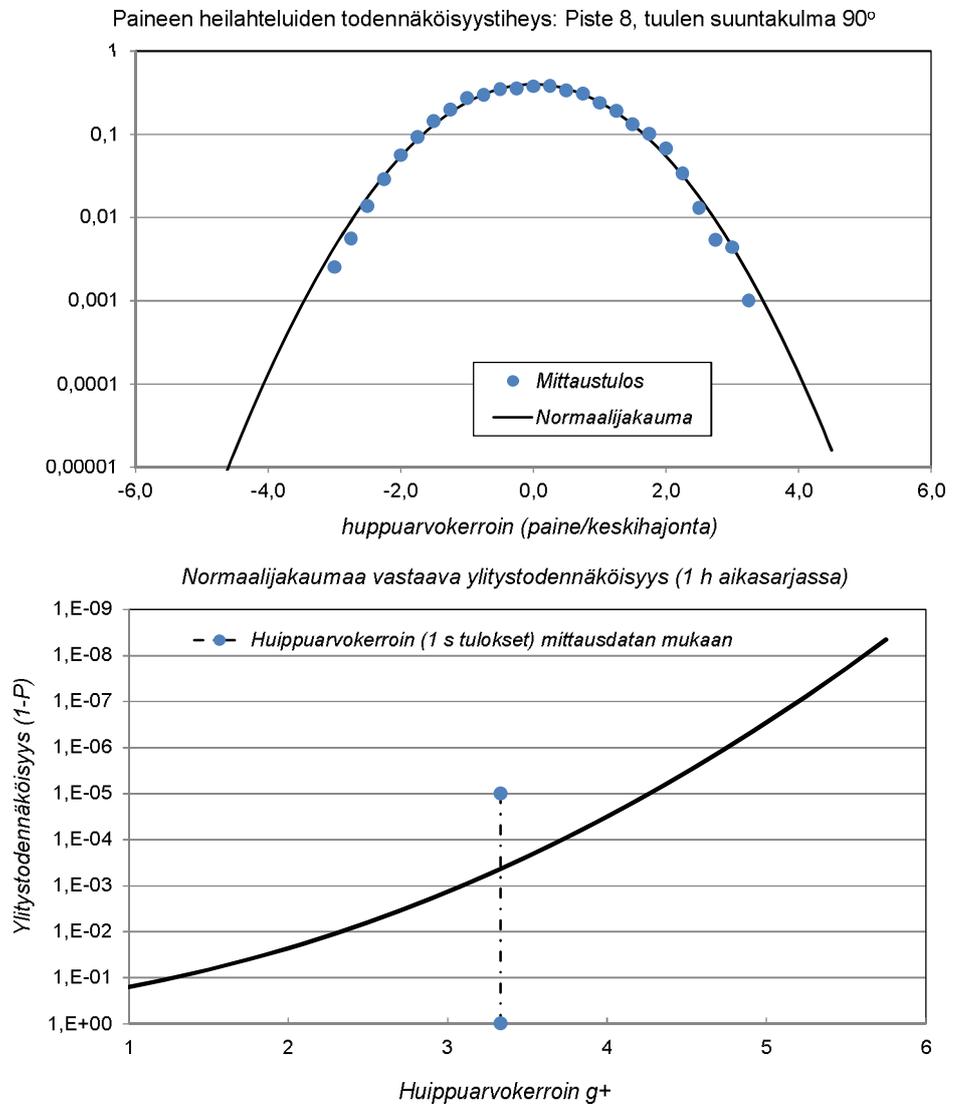
Yksittäisen lyhytkestoisten huippuarvojen osalta mitattavaan ilmiöön liittyy luonnollista satunnaisuutta, erityisesti imukuormien yhteydessä. Imukuormien huippuarvokertoimien (g^+ ja g^-) suunnitteluarvoja tarkastellaankin toisinaan mitattujen paineiden todennäköisyystiheysfunktioiden kautta [4].

Pienoismalliin ja tuuliprofiileihin liittyvät epävarmuudet vastaavat edellä esitettyjä. Paikallisiin huippuarvoihin vaikuttaa myös tarkasteltujen tuulen suuntien jako (tuulen suuntien määrä). Kokeessa käytetty 10° jako on tiheimmästä päästä, mutta suurimpien huippuarvojen analyysin osalta voitaisiin käyttää jopa $1^\circ \dots 2^\circ$ jakoa [4].

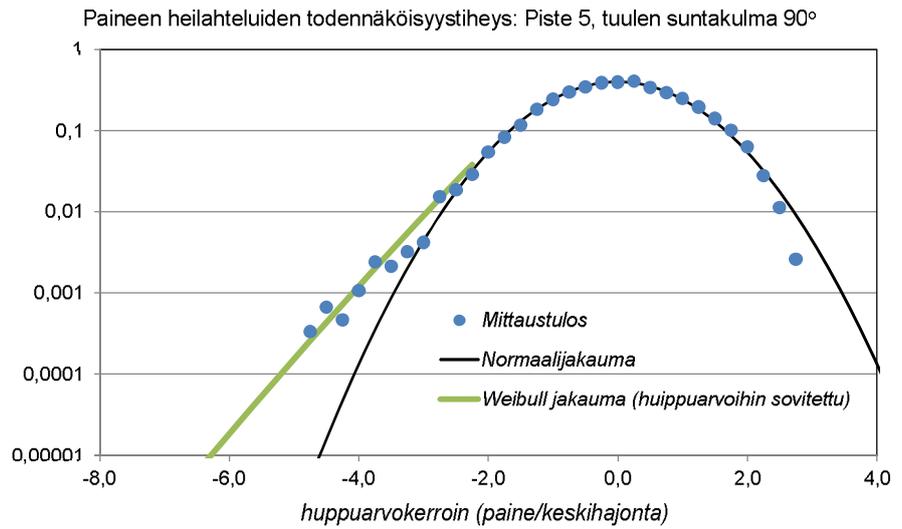
Mitattuihin nettopaineisiin vaikuttaa rakennuksen sisäinen paine, jonka vaikutus tuloksiin ja mahdollisiin epävarmuuksiin on pieni, koska rakennukseen vaippaan ei ole oletettu määrääviä aukkoja.

Käytetyllä tekniikalla ja suodatuksilla 1 s (ja sitä pitempien määritysaikojen) huippuarvot on saatu luotettavasti määritettyä mittausteknisesti, eli kohina ei ole vaikuttanut tuloksiin merkittävästi. Tätä on havainnollistettu kuvassa 25. Rakennusten paine- ja imukuormien tarkastelussa (positiivisen) paineen alueilla heilahtelujen on todettu noudattavat normaalijakaumaa ja imualueilla

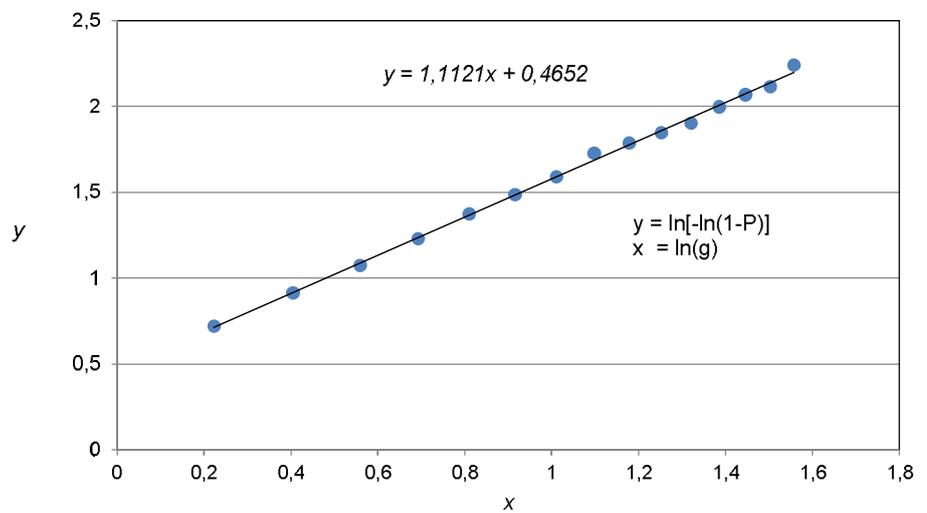
Weibull-jakaumaa huippuarvojen osalta [4]. Tulokset noudattavat hyvin näitä yhteyksiä, ja kohinan vaikutus voidaan olettaa pieneksi. Myös tuloksia vastaavat huippuarvokertoimet ovat tavanomaisia (eli eivät ylisuuria, joka viittäisi kohinaan tai muihin sähköisiin häiriöihin).



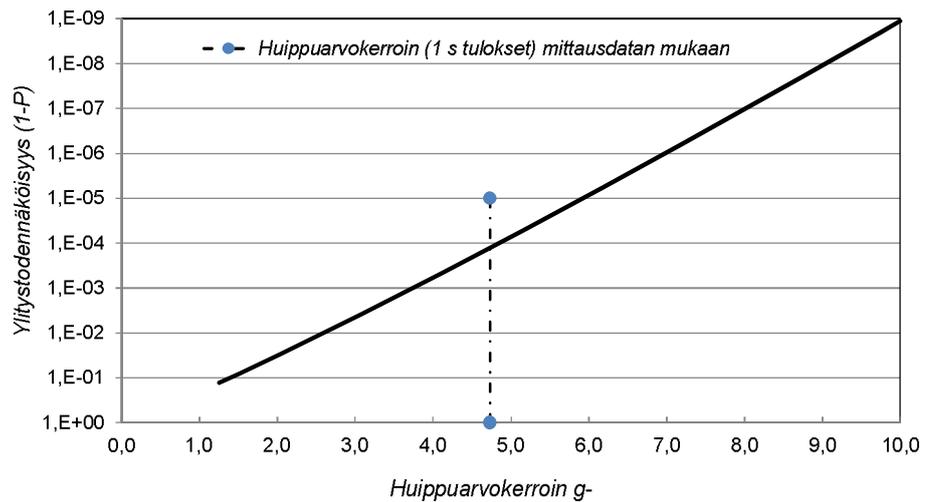
Kuva 25a: Esimerkki paineen heilahtelujen todennäköisyysteoreettisesta tarkastelusta positiivisten huippuarvojen osalta.



Weibull kuvaaja mitatuille negatiivisille huippuarvoille



Weibull-jakaumaa vastaava ylitystodennäköisyys (1 h aikasarjassa)



Kuva 25b: Esimerkki paineen heilahtelujen todennäköisyysteoreettisesta tarkastelusta negatiivisten huippuarvojen osalta.

Kokonaisuutena yksittäisen pisteen painemittausten tuloksille voidaan ehdottaa virhemarginaaleja:

± 20 %; 1 s huippuarvot

± 15 %; 3 s huippuarvot

± 10 %; 10 s huippuarvot ja 1 h aikakeskiarvot

Tornien seinien nettopaineiden suunnitteluarvot julkisivuittain perustuvat suurimpaan (ja pienimpään) mittaustulokseen kyseisellä seinällä, ja näiden osalta annettuja arvoja määräävämpien paineiden esiintyminen on epätodennäköisempää.

5 Tuulisuuskartoitus

5.1 Kohdealueen perustuulisuus

Tuulisuuskartoitusta varten Harmajan tuulitilastot lukemat on muunnettu laskennallisesti Kalasataman keskuksen arvoiksi. Laskenta ja käytetyt muunnoskertoimet on esitetty liitteessä 7.

Yhteenveto kalasataman tuulista on esitetty kuvassa 26. Kuvassa kesäkausi tarkoittaa kuukausia huhtikuusta syyskuuhun. Vastaavasti talvikausi tarkoittaa kuukausia lokakuusta maaliskuuhun.

Kesäkausi (ylittävien tuulien osuus ajasta), 15 m korkeus, 1 h keskituuli, Kalasatama

$V_{m,ref}$ [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
15	2,6E-13	2,1E-15	2,5E-13	4,3E-10	4,3E-07	2,9E-06	1,9E-10	5,3E-06	1,7E-06	6,7E-09	2,1E-10	1,7E-14	4,8E-17	1,4E-17	1,3E-18	4,7E-17	1,0E-05
13	4,2E-10	2,2E-11	3,4E-10	1,1E-07	7,2E-06	2,3E-05	4,2E-08	5,2E-05	3,0E-05	6,2E-07	8,7E-08	8,5E-11	5,2E-13	4,0E-13	5,7E-14	1,2E-12	1,1E-04
11	1,8E-07	3,5E-08	1,3E-07	9,3E-06	8,1E-05	1,5E-04	3,4E-06	3,6E-04	3,2E-04	2,8E-05	1,0E-05	8,0E-08	1,2E-09	1,7E-09	3,6E-10	4,0E-09	9,6E-04
10	2,2E-06	7,3E-07	1,6E-06	5,9E-05	2,4E-04	3,4E-04	2,1E-05	8,4E-04	8,6E-04	1,4E-04	7,4E-05	1,4E-06	3,4E-08	5,6E-08	1,5E-08	1,2E-07	2,6E-03
9	2,1E-05	1,0E-05	1,5E-05	2,9E-04	6,3E-04	7,5E-04	1,1E-04	1,8E-03	2,1E-03	5,4E-04	4,0E-04	1,6E-05	6,4E-07	1,2E-06	3,8E-07	2,2E-06	6,6E-03
8	1,4E-04	9,4E-05	1,0E-04	1,1E-03	1,5E-03	1,5E-03	4,3E-04	3,5E-03	4,4E-03	1,7E-03	1,6E-03	1,3E-04	8,6E-06	1,7E-05	6,3E-06	2,7E-05	1,6E-02
7	7,4E-04	6,0E-04	5,3E-04	3,6E-03	3,3E-03	2,9E-03	1,4E-03	6,3E-03	8,4E-03	4,7E-03	5,4E-03	7,6E-04	8,0E-05	1,6E-04	7,0E-05	2,2E-04	3,9E-02
6	2,9E-03	2,7E-03	2,1E-03	9,1E-03	6,5E-03	5,2E-03	3,7E-03	1,0E-02	1,4E-02	1,1E-02	1,4E-02	3,2E-03	5,3E-04	9,8E-04	5,2E-04	1,3E-03	8,8E-02
5	0,0086	0,0089	0,0063	0,0191	0,0115	0,0088	0,0082	0,0159	0,0219	0,0204	0,0293	0,0102	0,0025	0,0043	0,0027	0,0049	0,183
4	0,0201	0,0215	0,0148	0,0333	0,0185	0,0136	0,0149	0,0224	0,0305	0,0333	0,0508	0,0240	0,0086	0,0134	0,0094	0,0138	0,343
3	0,0371	0,0396	0,0276	0,0491	0,0270	0,0195	0,0229	0,0291	0,0387	0,0471	0,0742	0,0440	0,0214	0,0302	0,0234	0,0284	0,559
2	0,055	0,058	0,042	0,063	0,035	0,026	0,030	0,035	0,045	0,059	0,093	0,064	0,040	0,051	0,042	0,045	0,782
1	0,068	0,069	0,051	0,071	0,042	0,031	0,035	0,039	0,049	0,065	0,104	0,077	0,056	0,066	0,058	0,056	0,937
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	2,46	2,27	2,41	1,95	1,76	2,32	2,06	2,30	2,38	2,50	2,41	2,17	2,33	2,27	2,40	2,23
λ [m/s]	3,61	3,71	3,56	4,43	4,29	4,22	4,22	5,19	5,43	4,64	4,52	3,69	2,93	3,22	3,01	3,43	

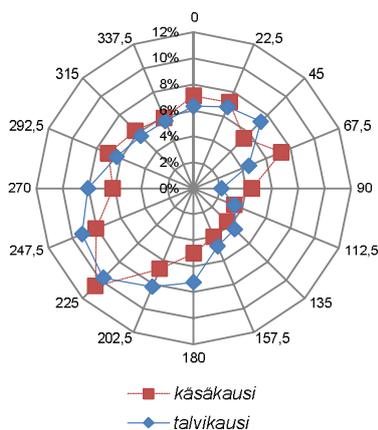
Talvikausi (ylittävien tuulien osuus ajasta)

$V_{m,ref}$ [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
15	2,6E-08	7,7E-11	6,1E-09	2,8E-05	1,1E-04	5,7E-05	3,5E-06	1,7E-05	5,0E-05	5,3E-05	1,3E-05	1,8E-07	2,5E-16	1,2E-10	1,6E-12	8,0E-13	3,3E-04
13	1,5E-06	3,7E-08	8,4E-07	1,4E-04	3,3E-04	3,0E-04	5,6E-05	1,8E-04	5,1E-04	4,6E-04	2,0E-04	8,3E-06	7,3E-12	2,4E-08	1,3E-09	1,6E-09	2,2E-03
11	4,0E-05	5,0E-06	4,1E-05	6,2E-04	8,8E-04	1,2E-03	5,2E-04	1,2E-03	3,1E-03	2,6E-03	1,7E-03	1,8E-04	2,3E-08	2,1E-06	3,5E-07	6,5E-07	1,2E-02
10	1,7E-04	3,8E-05	2,0E-04	1,2E-03	1,4E-03	2,2E-03	1,3E-03	2,5E-03	6,3E-03	5,3E-03	4,0E-03	6,6E-04	6,1E-07	1,4E-05	3,6E-06	7,5E-06	2,5E-02
9	5,8E-04	2,1E-04	8,0E-04	2,2E-03	2,1E-03	3,8E-03	2,9E-03	5,0E-03	1,1E-02	9,8E-03	8,5E-03	2,0E-03	1,0E-05	7,6E-05	2,8E-05	6,1E-05	5,0E-02
8	1,7E-03	9,2E-04	2,5E-03	3,9E-03	3,2E-03	6,1E-03	5,7E-03	8,8E-03	1,9E-02	1,7E-02	1,6E-02	5,2E-03	1,0E-04	3,4E-04	1,7E-04	3,6E-04	9,1E-02
7	0,0043	0,0031	0,0066	0,0065	0,0046	0,0093	0,0100	0,0141	0,0283	0,0260	0,0269	0,0114	0,0007	0,0012	0,0008	0,0015	0,155
6	0,0094	0,0083	0,0143	0,0103	0,0065	0,0133	0,0159	0,0207	0,0389	0,0372	0,0408	0,0219	0,0034	0,0038	0,0028	0,0049	0,252
5	0,0178	0,0179	0,0260	0,0154	0,0088	0,0179	0,0230	0,0281	0,0495	0,0494	0,0563	0,0365	0,0110	0,0094	0,0077	0,0121	0,387
4	0,0293	0,0316	0,0404	0,0219	0,0115	0,0227	0,0303	0,0352	0,0587	0,0611	0,0714	0,0537	0,0263	0,0194	0,0171	0,0235	0,554
3	0,0422	0,0467	0,0546	0,0293	0,0145	0,0272	0,0367	0,0412	0,0657	0,0708	0,0838	0,0703	0,0472	0,0335	0,0304	0,0369	0,731
2	0,054	0,059	0,065	0,037	0,017	0,031	0,041	0,045	0,070	0,078	0,092	0,083	0,067	0,049	0,044	0,048	0,881
1	0,061	0,066	0,071	0,043	0,020	0,033	0,044	0,048	0,072	0,081	0,096	0,090	0,078	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]	4,50	4,46	4,95	4,77	5,39	6,20	5,94	6,44	7,17	6,61	6,34	5,16	3,83	3,69	3,69	4,22	

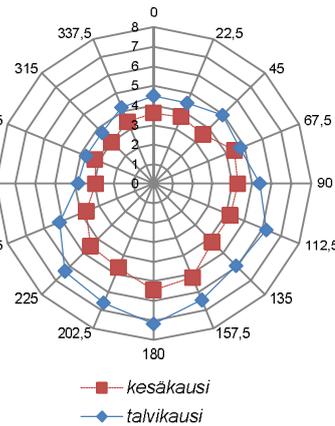
Koko vuosi (ylittävien tuulien osuus ajasta)

$V_{m,ref}$ [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
15	1,3E-08	3,8E-11	3,0E-09	1,4E-05	5,5E-05	3,0E-05	1,7E-06	1,1E-05	2,6E-05	2,6E-05	6,5E-06	8,9E-08	1,5E-16	6,0E-11	7,8E-13	4,0E-13	1,7E-04
13	7,3E-07	1,9E-08	4,2E-07	7,2E-05	1,7E-04	1,6E-04	2,8E-05	1,2E-04	2,7E-04	2,3E-04	9,8E-05	4,2E-06	3,9E-12	1,2E-08	6,7E-10	8,1E-10	1,1E-03
11	2,0E-05	2,5E-06	2,1E-05	3,1E-04	4,8E-04	6,8E-04	2,6E-04	7,7E-04	1,7E-03	1,3E-03	8,5E-04	9,2E-05	1,2E-08	1,0E-06	1,7E-07	3,3E-07	6,5E-03
10	8,4E-05	1,9E-05	1,0E-04	6,3E-04	8,1E-04	1,3E-03	6,6E-04	1,7E-03	3,6E-03	2,7E-03	2,0E-03	3,3E-04	3,2E-07	7,0E-06	1,8E-06	3,8E-06	1,4E-02
9	3,0E-04	1,1E-04	4,1E-04	1,2E-03	1,4E-03	2,3E-03	1,5E-03	3,4E-03	6,8E-03	5,2E-03	4,5E-03	1,0E-03	5,3E-06	3,9E-05	1,4E-05	3,2E-05	2,8E-02
8	9,2E-04	5,1E-04	1,3E-03	2,5E-03	2,3E-03	3,8E-03	3,1E-03	6,1E-03	1,2E-02	9,2E-03	8,8E-03	2,6E-03	5,7E-05	1,8E-04	8,7E-05	1,9E-04	5,3E-02
7	0,0025	0,0019	0,0036	0,0050	0,0039	0,0061	0,0057	0,0102	0,0183	0,0153	0,0161	0,0061	0,0004	0,0007	0,0004	0,0009	0,097
6	0,0062	0,0055	0,0082	0,0097	0,0065	0,0093	0,0098	0,0156	0,0266	0,0239	0,0274	0,0125	0,0019	0,0024	0,0016	0,0031	0,170
5	0,0132	0,0134	0,0161	0,0173	0,0101	0,0133	0,0156	0,0220	0,0357	0,0349	0,0428	0,0233	0,0068	0,0069	0,0052	0,0085	0,285
4	0,0247	0,0265	0,0276	0,0276	0,0150	0,0181	0,0226	0,0288	0,0446	0,0472	0,0611	0,0388	0,0174	0,0164	0,0132	0,0186	0,448
3	0,0396	0,0432	0,0411	0,0392	0,0207	0,0234	0,0298	0,0352	0,0522	0,0590	0,0790	0,0572	0,0343	0,0318	0,0269	0,0327	0,645
2	0,054	0,058	0,053	0,050	0,026	0,028	0,036	0,040	0,058	0,068	0,093	0,074	0,053	0,050	0,043	0,047	0,832
1	0,064	0,068	0,061	0,057	0,031	0,032	0,039	0,043	0,060	0,073	0,100	0,084	0,067	0,063	0,056	0,055	0,955
P_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

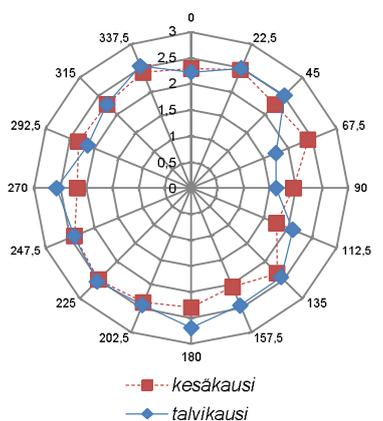
Eri tuulensuuntien osuus ajasta, P_0



Weibull-jakauman skaalausparametri λ [m/s]

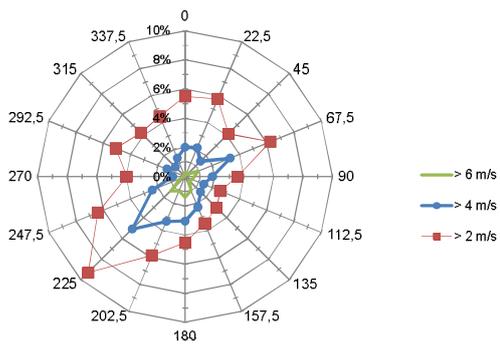


Weibull-jakauman muotoparametri k

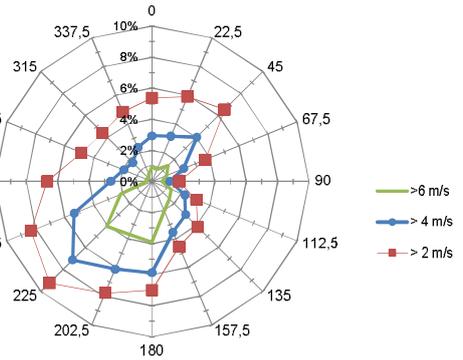


Kuva 26a: Kalasataman alueen perustuuilisuus (Harmajan tuulitilastosta laskennallisesti muunnet- tuna).

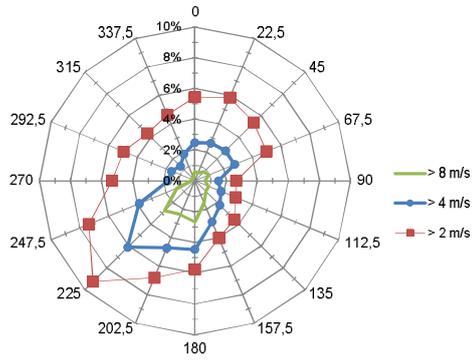
Kesäkausi: keskituulien esiintyminen kohdealueessa (% ajasta; 15 m korkeus)



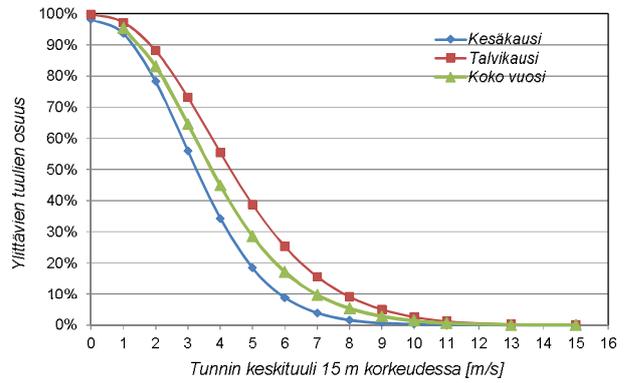
Talvikausi: keskituulien esiintyminen (% ajasta; 15 m korkeus)



Koko vuosi: keskituulien esiintyminen (% ajasta; 15 m korkeus)



Tuulisuuden perustaso Kalasatamassa



Kuva 26b: Kalastaman alueen perustuulisuus.

5.2 Tulosten vertailukriteerit

Vertailukriteereinä on käytetty samoja toiminnallisia luokkia kuten aikaisemmassa tutkimuksessa [1]:

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

Näihin liittyviä hyväksymisluokkia ovat esim.:

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

Käytetyt raja-arvot perustuvat Melbournen esittämään malliin, joka perustuu kerran vuodessa esiintyvään puuskatuuleen. Tämä voidaan esittää vertailupuuskanopeuden kertoimen g arvolla 3,5 ja käyttäen keskituulena tunnin aikakeskiarvoa. Mallissa todennäköisyyden raja-arvo kerran vuodessa vastaan likimain vuotuista ylitystodennäköisyyttä

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

Tuulisuuskriteerit ovat:

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

Kun kriteeri ”ei täyty”, tarkoittaa se että tuulisuutta esiintyy siinä määrin (”liian monta tuntia tarkastelujaksolla”), että kriteerin mukainen toiminto on epäviihtyisää (luokat A, B, C), tai vaarallista (luokka D) tarkastelupisteessä.

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

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

5.3 Tuulisuuskartoituksen tulokset

Tuulisuuskartoituksen numeeriset tulokset on esitetty kuvissa 27 ja 28. Tulokset tarkoittavat tuulennopeuksien esiintymistä tarkastelupisteissä, 1,5 m korkeudessa alla olevaan pintaan nähden.

Eri tuulien suuntien osuutta Kalasatamankadun tuulisuuden kertymisessä on havainnollistettu kuvassa 29.

Tunnin keskituuli > 5 m/s

Piste	M	Koko vuosi			Kesäkausi				
		% ajasta	h/vuosi	h/kk	h/vk	% ajasta	h	h/kk	h/vk
1		4,2 %	366	31	7	1,4 %	62,1	10,4	2,4
2		3,9 %	343	29	7	2,1 %	93,3	15,6	3,6
3		4,6 %	403	34	8	1,9 %	82,6	13,8	3,2
4A		4,3 %	376	31	7	1,5 %	64,0	10,7	2,5
5A		6,2 %	541	45	10	2,7 %	117,0	19,5	4,5
6A		9,0 %	788	66	15	5,1 %	225,1	37,5	8,7
7		1,1 %	95	8	2	0,3 %	13,1	2,2	0,5
8A		10,6 %	926	77	18	6,9 %	303,9	50,7	11,7
9A		2,2 %	195	16	4	0,9 %	40,6	6,8	1,6
10		7,3 %	644	54	12	4,2 %	183,5	30,6	7,1
11		20,4 %	1787	149	34	13,9 %	609,9	101,7	23,5
12		3,8 %	334	28	6	1,7 %	73,6	12,3	2,8
13		0,0 %	3	0	0	0,0 %	0,1	0,0	0,0
14		1,1 %	95	8	2	0,3 %	13,4	2,2	0,5
15		2,4 %	210	17	4	1,1 %	48,9	8,2	1,9
16		0,4 %	33	3	1	0,1 %	2,8	0,5	0,1
17		1,0 %	87	7	2	0,2 %	7,8	1,3	0,3
18		4,3 %	379	32	7	1,5 %	64,4	10,7	2,5
19		0,0 %	3	0	0	0,0 %	0,1	0,0	0,0
20		0,4 %	34	3	1	0,1 %	3,6	0,6	0,1
21		0,1 %	8	1	0	0,0 %	0,4	0,1	0,0
22		23,3 %	2044	170	39	14,6 %	639,4	106,6	24,6
23		7,4 %	652	54	13	2,9 %	124,9	20,8	4,8
24		1,4 %	123	10	2	0,9 %	40,7	6,8	1,6
25		2,4 %	213	18	4	0,6 %	26,7	4,5	1,0
26		13,7 %	1201	100	23	9,1 %	398,1	66,4	15,3
4B		3,9 %	339	28	7	1,3 %	58,7	9,8	2,3
5B		5,5 %	478	40	9	2,3 %	100,7	16,8	3,9
6B		9,5 %	835	70	16	5,1 %	222,1	37,0	8,5
8B		10,3 %	904	75	17	6,4 %	279,0	46,5	10,7
9B		3,1 %	274	23	5	1,3 %	56,7	9,4	2,2
4C		5,4 %	471	39	9	1,8 %	79,3	13,2	3,0
5C		6,7 %	589	49	11	2,9 %	129,0	21,5	5,0
6C		11,9 %	1046	87	20	6,7 %	292,8	48,8	11,3
8C		10,3 %	903	75	17	6,1 %	267,0	44,5	10,3
9C		4,0 %	352	29	7	3,5 %	151,3	25,2	5,8

Kuva 27a: Tuulisuuskartoituksen numeeriset tulokset: tunnin keskituulien > 5 m/s esiintyminen.

Puuskatuuli > 10 m/s

Piste	Koko vuosi				A Kesäkausi			
	% ajasta	h/vuosi	h/kk	h/vk	% ajasta	h	h/kk	h/vk
1	5,2 %	457	38,1	8,8	1,7 %	75,8	12,6	2,9
2	3,0 %	263	21,9	5,1	1,0 %	45,6	7,6	1,8
3	5,0 %	442	36,8	8,5	1,7 %	74,1	12,3	2,8
4A	5,1 %	444	37,0	8,5	1,8 %	77,9	13,0	3,0
5A	4,9 %	429	35,7	8,2	1,7 %	74,8	12,5	2,9
6A	7,0 %	616	51,3	11,8	3,2 %	140,6	23,4	5,4
7	2,4 %	208	17,3	4,0	0,7 %	30,8	5,1	1,2
8A	2,7 %	234	19,5	4,5	1,3 %	55,6	9,3	2,1
9A	1,6 %	142	11,8	2,7	0,3 %	13,0	2,2	0,5
10	1,4 %	125	10,4	2,4	0,5 %	22,2	3,7	0,9
11	5,0 %	442	36,8	8,5	2,5 %	110,2	18,4	4,2
12	6,5 %	570	47,5	11,0	3,5 %	154,3	25,7	5,9
13	0,6 %	55	4,6	1,1	0,1 %	6,0	1,0	0,2
14	2,5 %	216	18,0	4,1	0,8 %	35,4	5,9	1,4
15	2,7 %	241	20,1	4,6	1,2 %	52,5	8,7	2,0
16	1,6 %	140	11,7	2,7	0,6 %	24,5	4,1	0,9
17	2,0 %	173	14,5	3,3	0,5 %	22,2	3,7	0,9
18	7,7 %	677	56,5	13,0	3,4 %	151,0	25,2	5,8
19	0,3 %	29	2,4	0,6	0,0 %	1,8	0,3	0,1
20	2,7 %	238	19,8	4,6	0,8 %	34,0	5,7	1,3
21	0,4 %	34	2,9	0,7	0,2 %	7,8	1,3	0,3
22	12,5 %	1099	91,6	21,1	6,0 %	263,3	43,9	10,1
23	7,3 %	643	53,6	12,4	2,7 %	117,7	19,6	4,5
24	3,5 %	308	25,7	5,9	1,9 %	81,3	13,5	3,1
25	4,1 %	361	30,1	6,9	1,7 %	72,4	12,1	2,8
26	11,5 %	1011	84,3	19,5	6,4 %	279,4	46,6	10,7
4B	4,8 %	422	35,2	8,1	1,8 %	76,9	12,8	3,0
5B	4,3 %	380	31,7	7,3	1,5 %	64,2	10,7	2,5
6B	6,3 %	548	45,7	10,5	2,7 %	120,2	20,0	4,6
8B	2,5 %	217	18,1	4,2	1,1 %	46,8	7,8	1,8
9B	1,6 %	143	11,9	2,8	0,4 %	16,1	2,7	0,6
4C	6,1 %	532	44,3	10,2	1,9 %	82,2	13,7	3,2
5C	6,8 %	600	50,0	11,5	2,8 %	121,9	20,3	4,7
6C	7,9 %	696	58,0	13,4	3,5 %	155,4	25,9	6,0
8C	3,2 %	283	23,6	5,4	1,6 %	71,9	12,0	2,8
9C	4,8 %	419	34,9	8,1	2,8 %	123,8	20,6	4,8

Kuva 27b: Tuulisuuskartoituksen numeeriset tulokset: puuskatuulien > 10 m/s esiintyminen.

Puuskatuuli > 13 m/s

Piste	Koko vuosi				B Kesäkausi			
	% ajasta	h/vuosi	h/kk	h/vk	% ajasta	h	h/kk	h/vk
1	1,1 %	98	8,1	1,9	0,2 %	7,5	1,3	0,3
2	0,5 %	47	3,9	0,9	0,1 %	3,7	0,6	0,1
3	0,9 %	76	6,3	1,5	0,1 %	5,6	0,9	0,2
4A	1,2 %	107	8,9	2,1	0,3 %	13,3	2,2	0,5
5A	1,2 %	105	8,7	2,0	0,3 %	12,6	2,1	0,5
6A	2,7 %	238	19,8	4,6	1,0 %	41,8	7,0	1,6
7	0,5 %	47	3,9	0,9	0,1 %	4,3	0,7	0,2
8A	0,5 %	40	3,4	0,8	0,1 %	4,6	0,8	0,2
9A	0,2 %	14	1,1	0,3	0,0 %	0,3	0,0	0,0
10	0,2 %	20	1,6	0,4	0,1 %	2,4	0,4	0,1
11	1,4 %	122	10,1	2,3	0,5 %	22,4	3,7	0,9
12	2,2 %	197	16,4	3,8	0,9 %	37,6	6,3	1,4
13	0,0 %	4	0,3	0,1	0,0 %	0,1	0,0	0,0
14	0,4 %	36	3,0	0,7	0,1 %	3,9	0,7	0,2
15	0,8 %	67	5,6	1,3	0,2 %	10,9	1,8	0,4
16	0,2 %	22	1,8	0,4	0,0 %	1,7	0,3	0,1
17	0,3 %	25	2,1	0,5	0,0 %	1,2	0,2	0,0
18	2,3 %	199	16,6	3,8	0,6 %	27,3	4,6	1,1
19	0,0 %	2	0,2	0,0	0,0 %	0,0	0,0	0,0
20	0,4 %	33	2,7	0,6	0,1 %	3,7	0,6	0,1
21	0,1 %	5	0,5	0,1	0,0 %	0,6	0,1	0,0
22	4,0 %	348	29,0	6,7	1,2 %	51,6	8,6	2,0
23	1,6 %	141	11,8	2,7	0,3 %	13,3	2,2	0,5
24	0,9 %	76	6,3	1,5	0,3 %	14,7	2,5	0,6
25	1,2 %	109	9,1	2,1	0,2 %	10,1	1,7	0,4
26	4,7 %	410	34,2	7,9	1,7 %	75,3	12,6	2,9
4B	1,2 %	108	9,0	2,1	0,3 %	13,9	2,3	0,5
5B	1,0 %	87	7,3	1,7	0,2 %	10,7	1,8	0,4
6B	2,3 %	198	16,5	3,8	0,7 %	32,0	5,3	1,2
8B	0,4 %	33	2,8	0,6	0,1 %	3,2	0,5	0,1
9B	0,2 %	14	1,2	0,3	0,0 %	0,5	0,1	0,0
4C	1,3 %	118	9,8	2,3	0,2 %	8,2	1,4	0,3
5C	2,1 %	183	15,2	3,5	0,6 %	24,5	4,1	0,9
6C	3,0 %	263	21,9	5,1	1,0 %	43,0	7,2	1,7
8C	0,6 %	54	4,5	1,0	0,2 %	8,0	1,3	0,3
9C	1,2 %	106	8,8	2,0	0,7 %	29,8	5,0	1,1

Kuva 27c: Tuulisuuskartoituksen numeeriset tulokset: puuskatuulien > 13 m/s esiintyminen.

Puuskatuuli > 16 m/s

Piste	C Koko vuosi				Kesäkausi			
	% ajasta	h/vuosi	h/kk	h/vk	% ajasta	h	h/kk	h/vk
1	0,2 %	18,0	1,5	0,3	0,02 %	0,9	0,14	0,03
2	0,1 %	7,3	0,6	0,1	0,00 %	0,2	0,03	0,01
3	0,1 %	9,1	0,8	0,2	0,01 %	0,2	0,04	0,01
4A	0,2 %	17,8	1,5	0,3	0,04 %	1,8	0,29	0,07
5A	0,2 %	16,3	1,4	0,3	0,04 %	1,8	0,30	0,07
6A	0,8 %	74,3	6,2	1,4	0,23 %	10,1	1,69	0,39
7	0,1 %	6,7	0,6	0,1	0,01 %	0,4	0,06	0,01
8A	0,1 %	6,7	0,6	0,1	0,00 %	0,2	0,04	0,01
9A	0,0 %	1,2	0,1	0,0	0,00 %	0,0	0,00	0,00
10	0,0 %	2,8	0,2	0,1	0,00 %	0,2	0,03	0,01
11	0,4 %	31,8	2,7	0,6	0,10 %	4,3	0,72	0,17
12	0,6 %	54,4	4,5	1,0	0,15 %	6,7	1,12	0,26
13	0,0 %	0,3	0,0	0,0	0,00 %	0,0	0,00	0,00
14	0,0 %	4,3	0,4	0,1	0,01 %	0,3	0,06	0,01
15	0,2 %	14,7	1,2	0,3	0,04 %	1,8	0,30	0,07
16	0,0 %	3,7	0,3	0,1	0,00 %	0,1	0,02	0,00
17	0,0 %	3,5	0,3	0,1	0,00 %	0,1	0,01	0,00
18	0,5 %	46,6	3,9	0,9	0,09 %	4,0	0,66	0,15
19	0,0 %	0,2	0,0	0,0	0,00 %	0,0	0,00	0,00
20	0,0 %	3,8	0,3	0,1	0,01 %	0,4	0,06	0,01
21	0,0 %	1,4	0,1	0,0	0,00 %	0,0	0,00	0,00
22	1,1 %	95,8	8,0	1,8	0,22 %	9,7	1,62	0,37
23	0,3 %	24,4	2,0	0,5	0,02 %	1,1	0,18	0,04
24	0,2 %	17,3	1,4	0,3	0,05 %	2,2	0,37	0,09
25	0,4 %	30,7	2,6	0,6	0,02 %	0,9	0,16	0,04
26	1,8 %	155,8	13,0	3,0	0,36 %	15,9	2,65	0,61
4B	0,2 %	18,7	1,6	0,4	0,04 %	1,9	0,31	0,07
5B	0,1 %	12,7	1,1	0,2	0,03 %	1,5	0,25	0,06
6B	0,6 %	56,4	4,7	1,1	0,15 %	6,6	1,09	0,25
8B	0,1 %	5,1	0,4	0,1	0,00 %	0,1	0,02	0,00
9B	0,0 %	1,3	0,1	0,0	0,00 %	0,0	0,00	0,00
4C	0,2 %	17,2	1,4	0,3	0,01 %	0,6	0,10	0,02
5C	0,5 %	39,5	3,3	0,8	0,10 %	4,3	0,72	0,17
6C	0,9 %	81,2	6,8	1,6	0,23 %	10,3	1,71	0,39
8C	0,1 %	10,2	0,9	0,2	0,01 %	0,5	0,09	0,02
9C	0,3 %	29,8	2,5	0,6	0,12 %	5,3	0,89	0,21

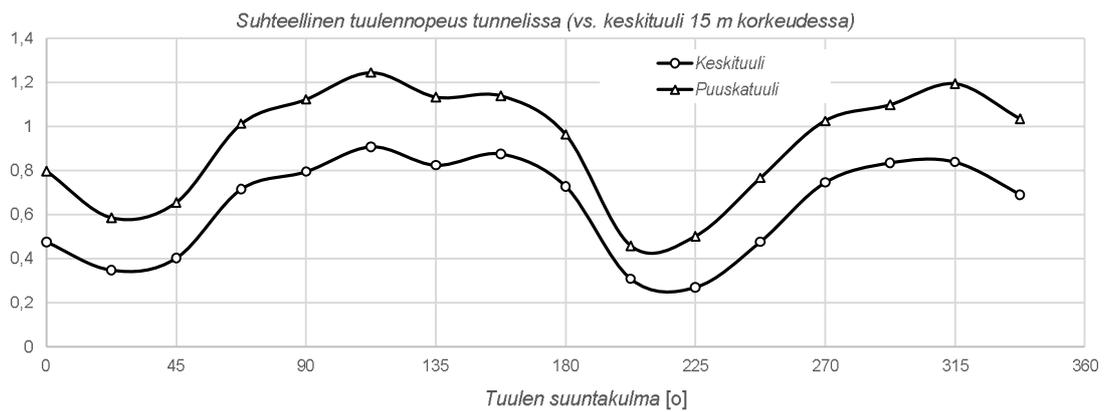
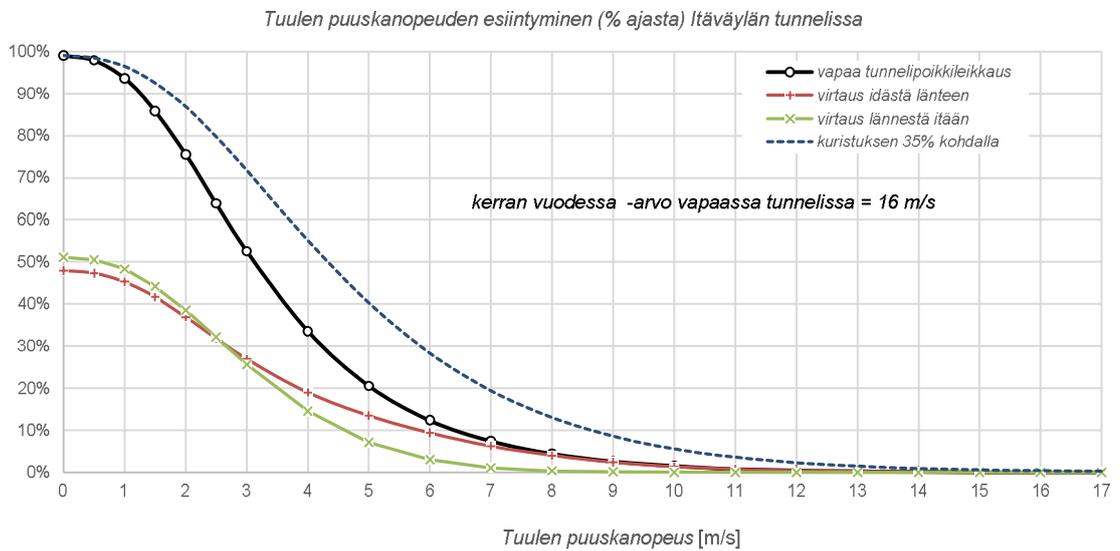
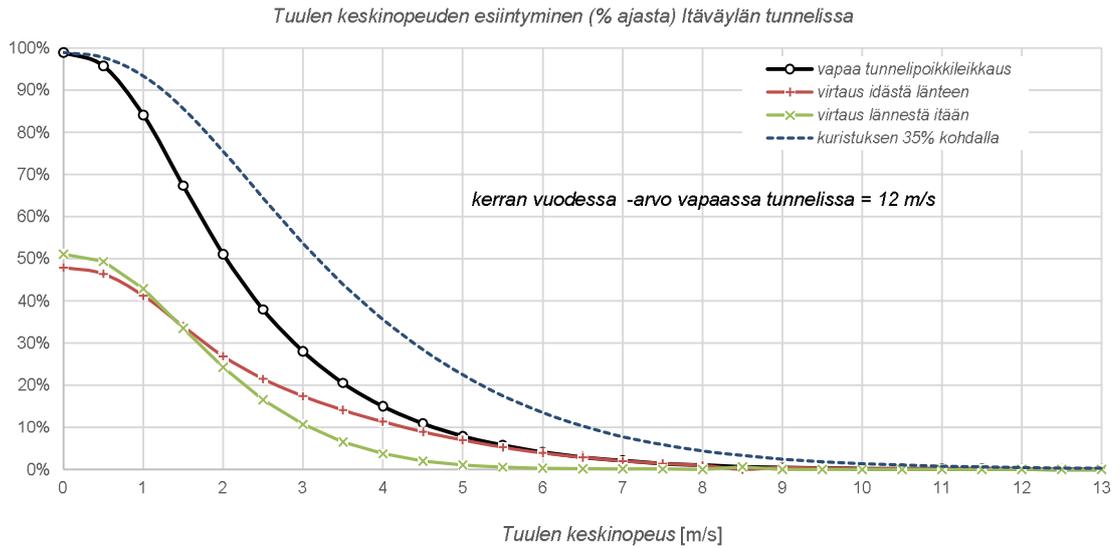
Kuva 27d: Tuulisuuskartoituksen numeeriset tulokset: puuskatuulien > 16 m/s esiintyminen.

Puuskatuuli >

23 m/s

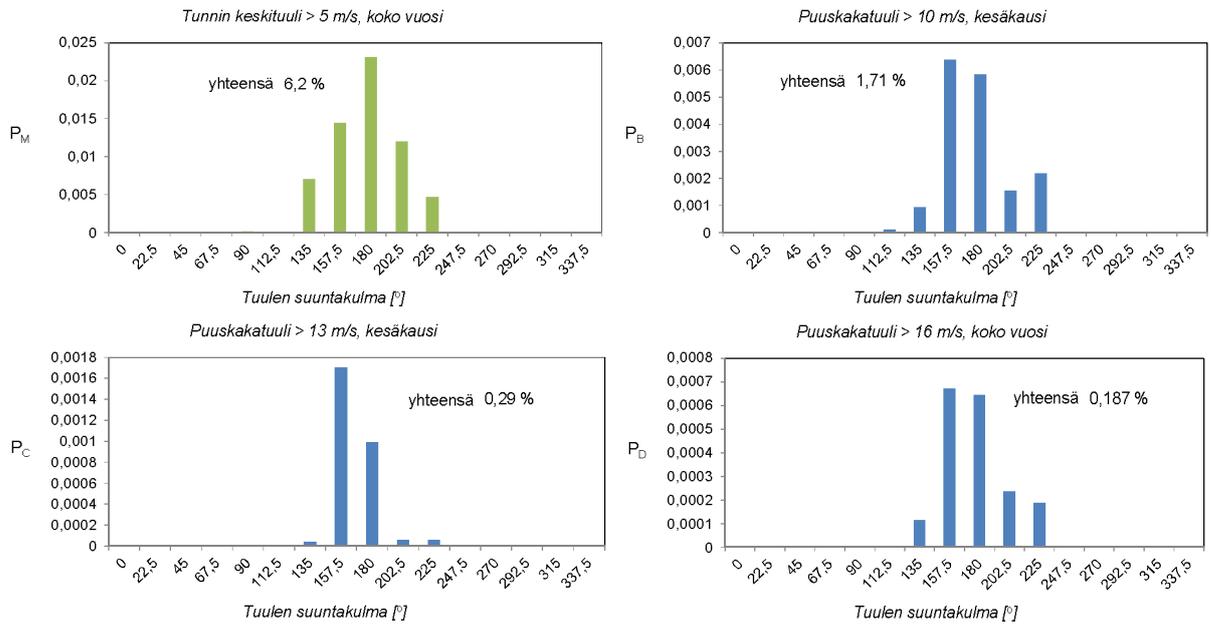
Piste	D Koko vuosi				Kesäkausi			
	% ajasta	h/vuosi	h/kk	h/vk	% ajasta	h	h/kk	h/vk
1	0,004 %	0,3	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
2	0,002 %	0,1	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
3	0,001 %	0,1	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
4A	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
5A	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
6A	0,017 %	1,5	0,1	0,0	0,003 %	0,1	0,0	0,0
7	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
8A	0,002 %	0,2	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
9A	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	0,015 %	1,3	0,1	0,0	0,001 %	0,1	0,0	0,0
12	0,011 %	0,9	0,1	0,0	0,001 %	0,0	0,0	0,0
13	0,000 %	0,0	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	0,001 %	0,1	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	0,001 %	0,1	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
18	0,008 %	0,7	0,1	0,0	0,001 %	0,0	0,0	0,0
19	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
20	0,001 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
21	0,001 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
22	0,039 %	3,4	0,3	0,1	0,005 %	0,2	0,0	0,0
23	0,002 %	0,1	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
24	0,012 %	1,1	0,1	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
25	0,007 %	0,6	0,1	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
26	0,151 %	13,3	1,1	0,3	0,003 %	0,1	0,0	0,0
4B	0,001 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
5B	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
6B	0,009 %	0,8	0,1	0,0	0,001 %	0,0	0,0	0,0
8B	0,001 %	0,1	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
9B	0,000 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
4C	0,001 %	0,0	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
5C	0,003 %	0,2	0,0	0,0	0,001 %	0,0	0,0	0,0
6C	0,021 %	1,9	0,2	0,0	0,003 %	0,1	0,0	0,0
8C	0,004 %	0,3	0,0	0,0	0,000 %	0,0	0,0	0,0
9C	0,029 %	2,5	0,2	0,0	0,001 %	0,0	0,0	0,0

Kuva 27e: Tuulisuuskartoituksen numeeriset tulokset: puuskatuulien > 23 m/s esiintyminen.

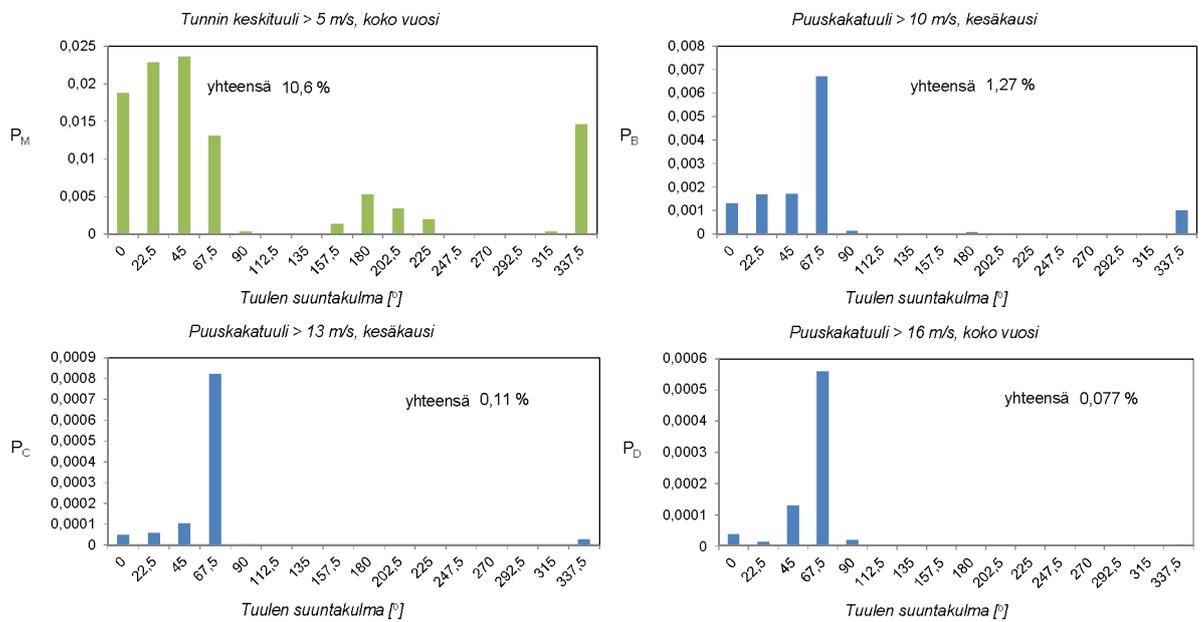


Kuva 28: Tuulisuus Itäväylän tunnelissa.

a) Piste 5A (kadun eteläinen pää)



b) Piste 8A (kadun pohjoinen pää)



Kuva 29: Kalasatamankadun tuulisuuden kertyminen tuulen suunnittain.

6 Tornien huojunta

Tuulitunnelikokeen tuloksena määritetyt korkeimman tornin (T_4) kiihtyvyyden maksimi-arvot eri tuulen toistumisväleillä on esitetty kuvassa 30. Vastaavat kiihtyvyyden keskihajonnat (rms arvot) on esitetty kuvassa 31. Kuvassa 32 on esitetty resonanssi-värähtelyn maksiamplitudi. Vääntöheilahtelun nopeusmaksimit on esitetty kuvassa 33.

Kiihtyvyydvasteet on esitetty käyttäen betonirunkoisen rakennuksen vaimennuksen arvoa ($\bar{\delta}_{s,c} = 10\%$ logaritminen dekrementti, EN1991-1-4:2005). Muun rakenteellinen vaimennuksen arvo voidaan ottaa huomioon kerrointeikkijällä $k = (\bar{\delta}_{s,c}/\bar{\delta}_s)^{1/2}$, missä

$$\bar{\delta}_s = 8\% \text{ Betoni-teräs -runkoinen torni; } k = 1,12$$

$$\bar{\delta}_s = 5\% \text{ teräsrunkoinen torni; } k = 1,41.$$

Rungon materiaalin muuttuessa on tarvittaessa otettava huomioon myös ominaistaajuuden, massan ja värähtelyn ominaisuuden muutoksen vaikutukset.

Nopeusvasteet (V) voidaan määrittää kiihtyvyydvasteista (A) kaavalla

$$V = \frac{A}{2\pi f_i}$$

missä f_i = tornien ominaistaajuus liikkeen suunnassa ($i = x, y$ tai t).

Siirtymään liittyvä resonanssivärähtelyn vaste (X_R) voidaan, vastaavasti, määrittää kaavalla

$$X_R = \frac{A}{(2\pi f_i)^2}$$

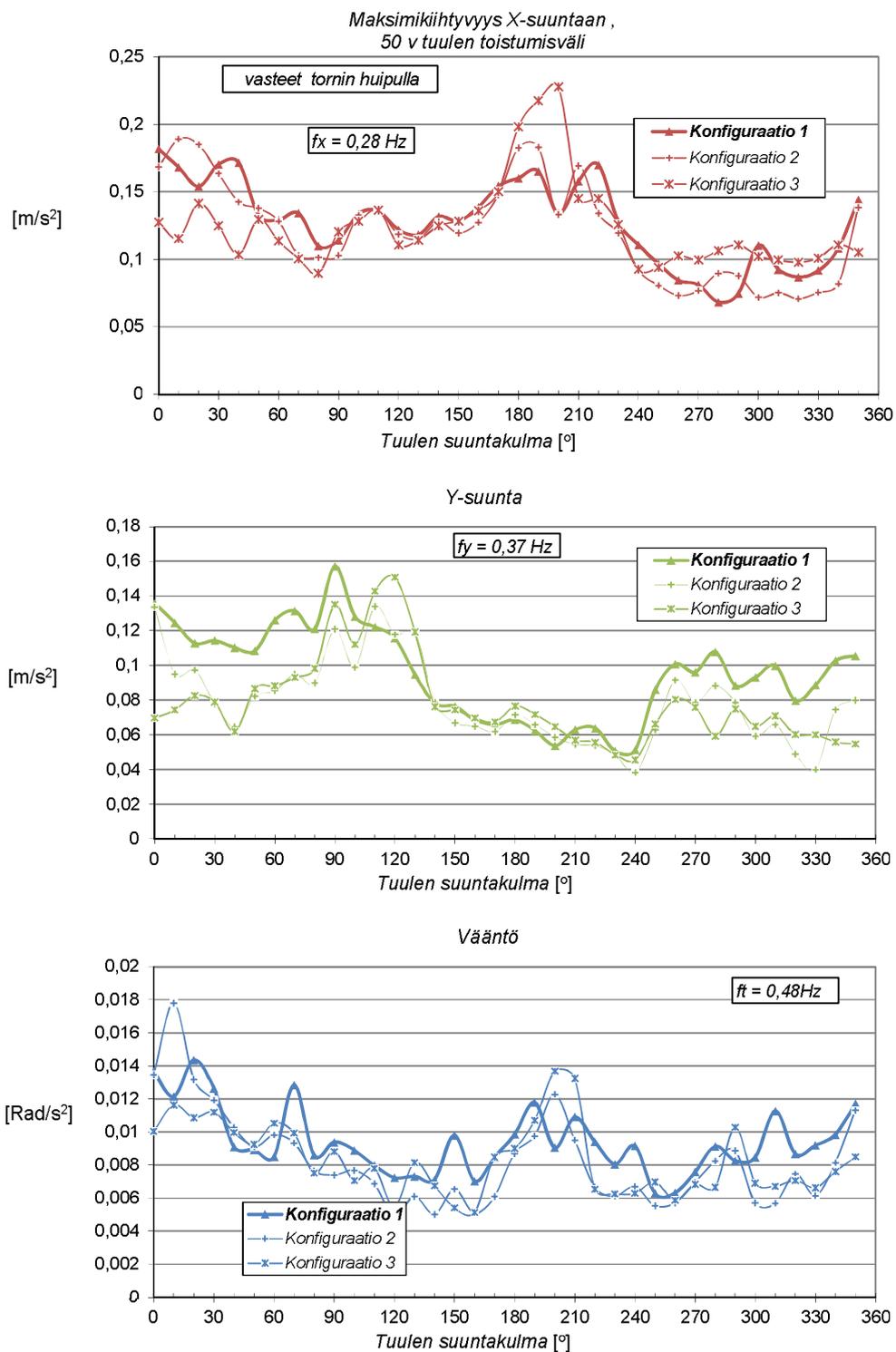
Tornin maksimitaipumaan vaikuttaa lisäksi kuorman kvasistaattinen (alhaisen taajuusalueen) värähtelyvaste (X_B) ja tuulen keskinopeuteen liittyvä vaste X_0 . Maksimitaipuma lasketaan kaavalla

$$X_{maks} = X_0 + \sqrt{X_B^2 + X_R^2}$$

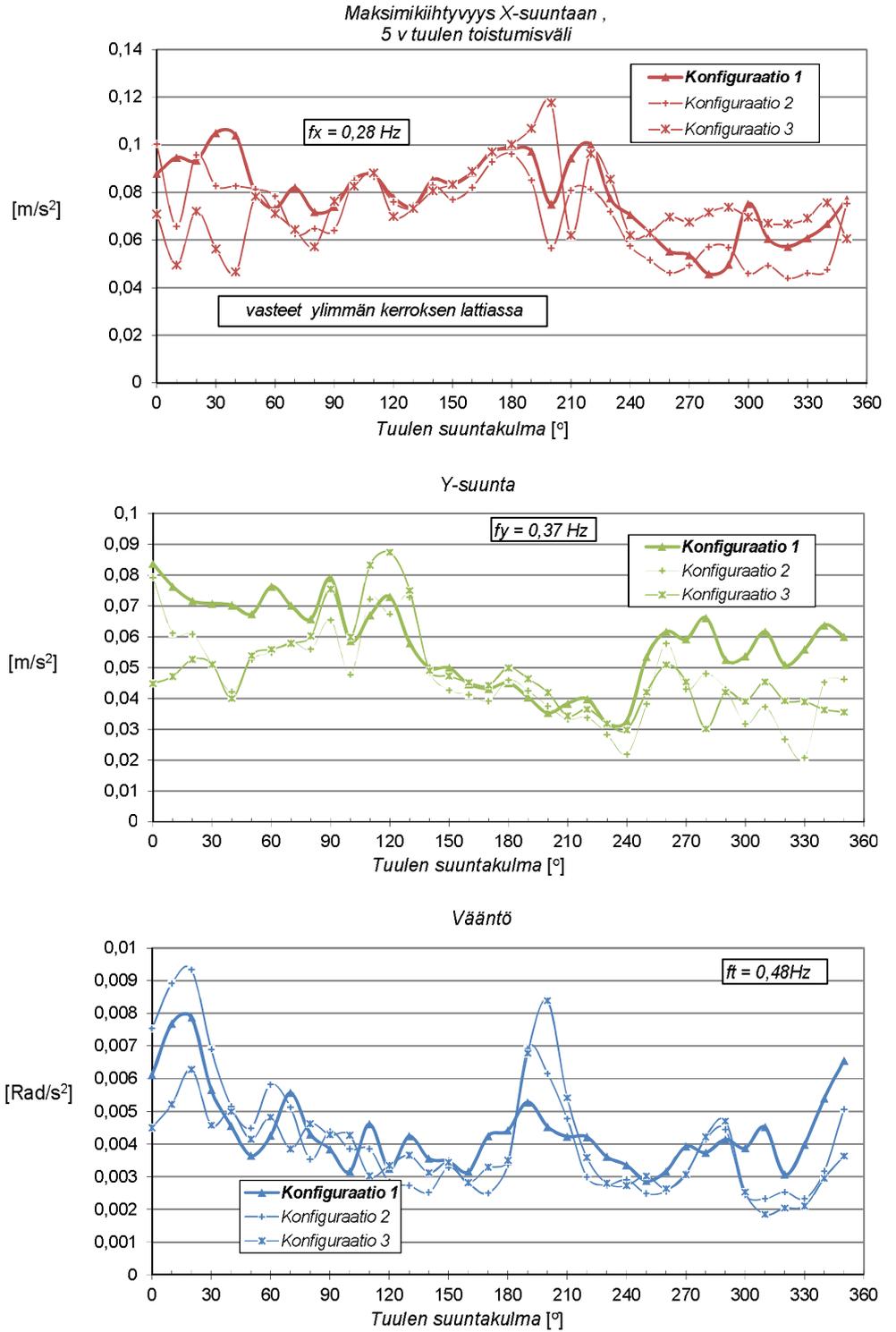
Maksimitaipuma ei siten ole suoraan luettavissa tuloksista, vaan sen tarkka arvo määritetään parhaiten sijoittamalla luvun 7 mukaiset staattiset korvauskuormat rakennesuunnittelijan laskentamalliin.

Muiden tornien värähtelyvasteita voidaan arvioida taulukon 10 kertoimilla. Kertoimien laskenta on tehty EN1991-1-4:2005 laskentakaavoilla ottaen huomioon mm:

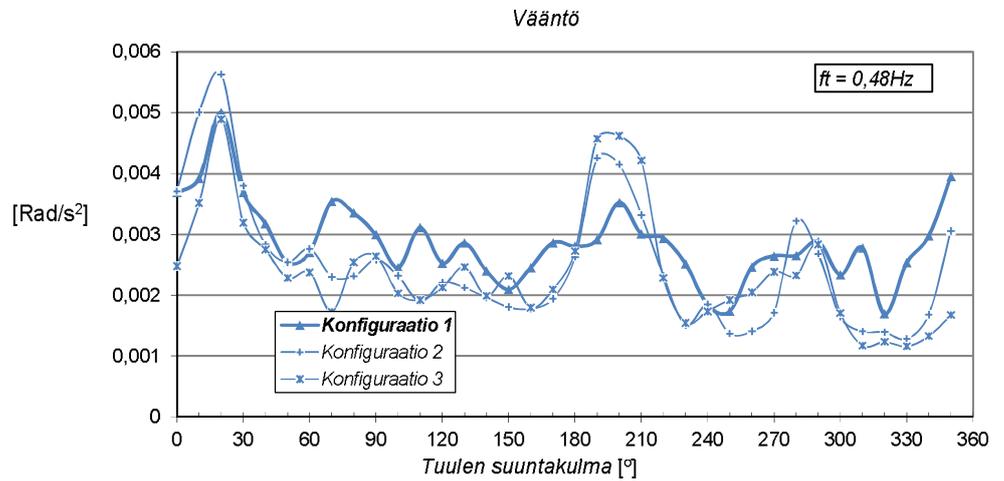
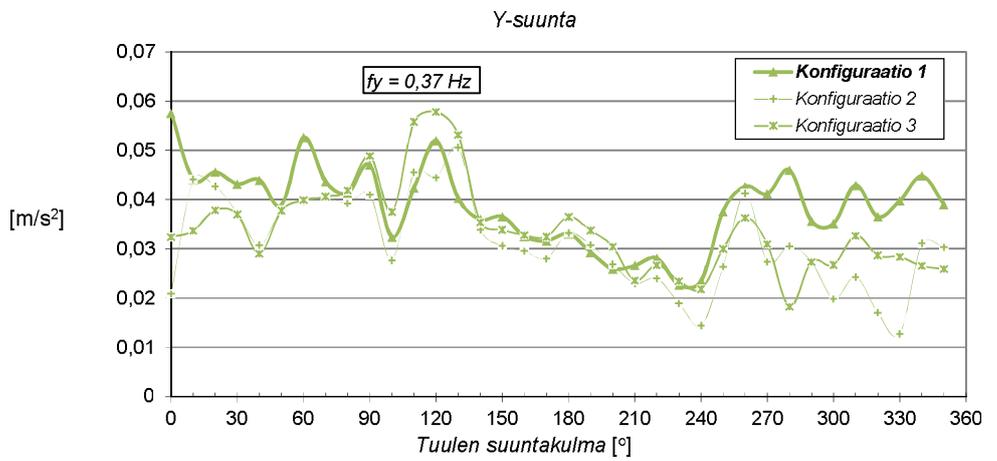
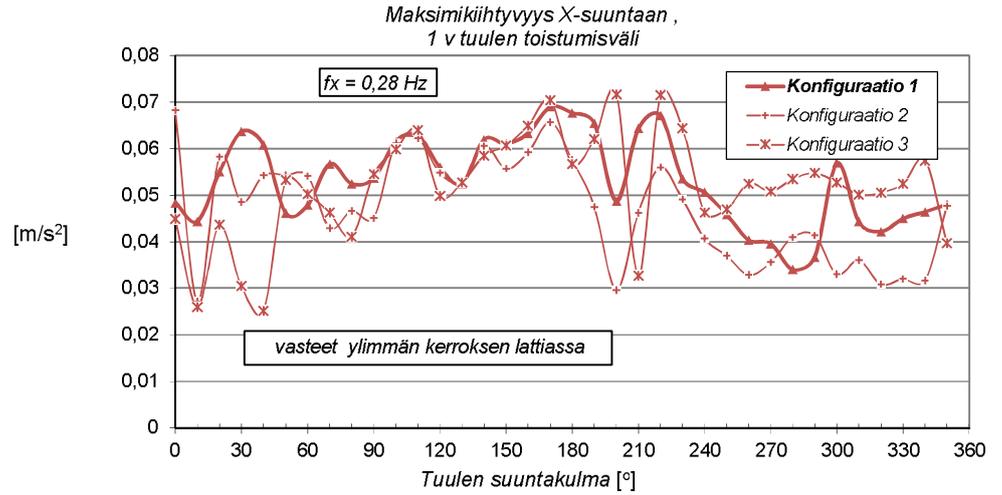
- tornin korkeus ja ominaistaajuus
- tornin yläosan poikkileikkauksen leveys ja syvyys (ja näiden vaikutus mm. tuuli-pinta-alaan ja voimakertoimiin).



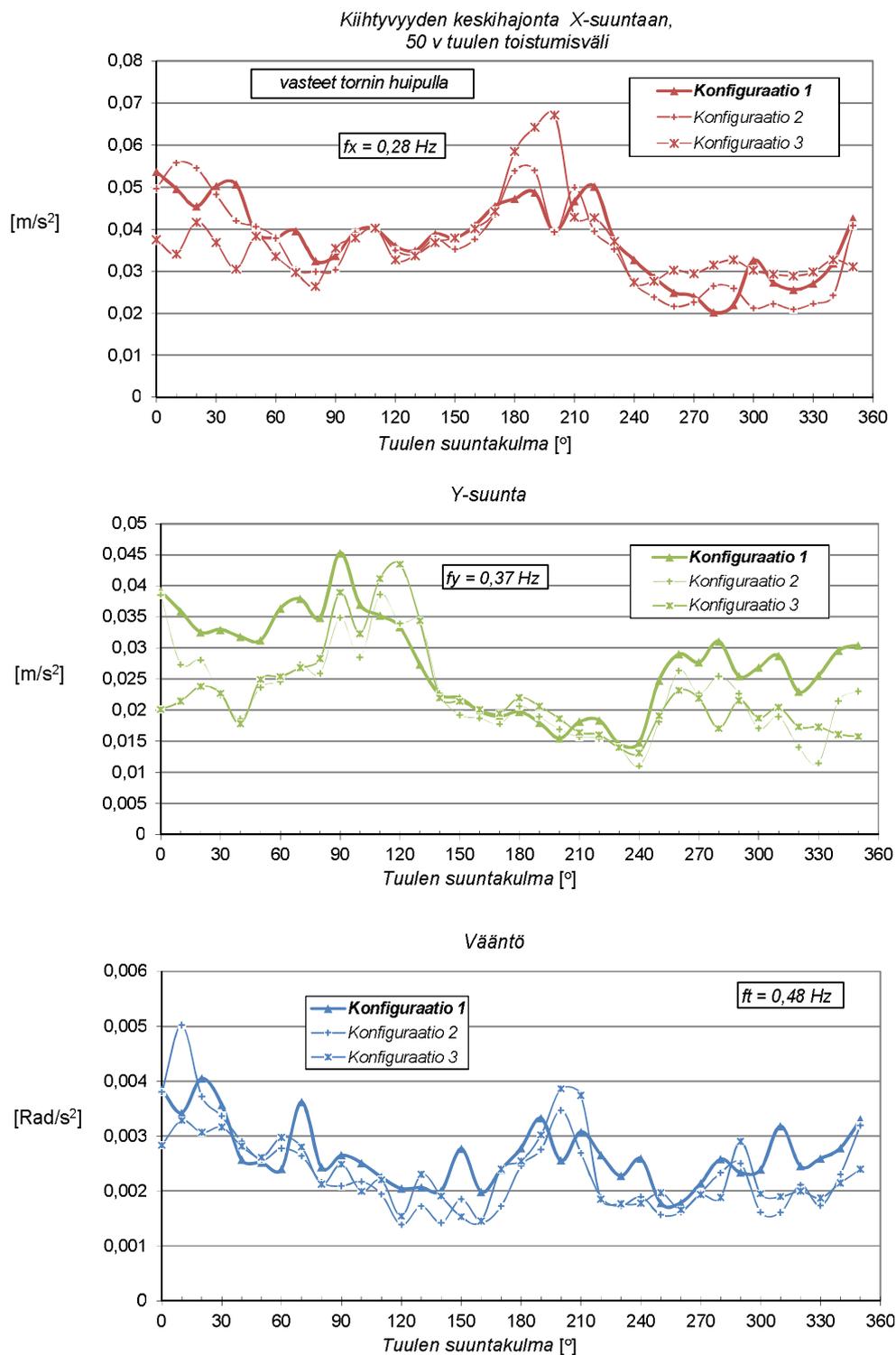
Kuva 30a: Tornin T_4 maksikihtyvyydet 50 v toistumisvälin tuulessa.



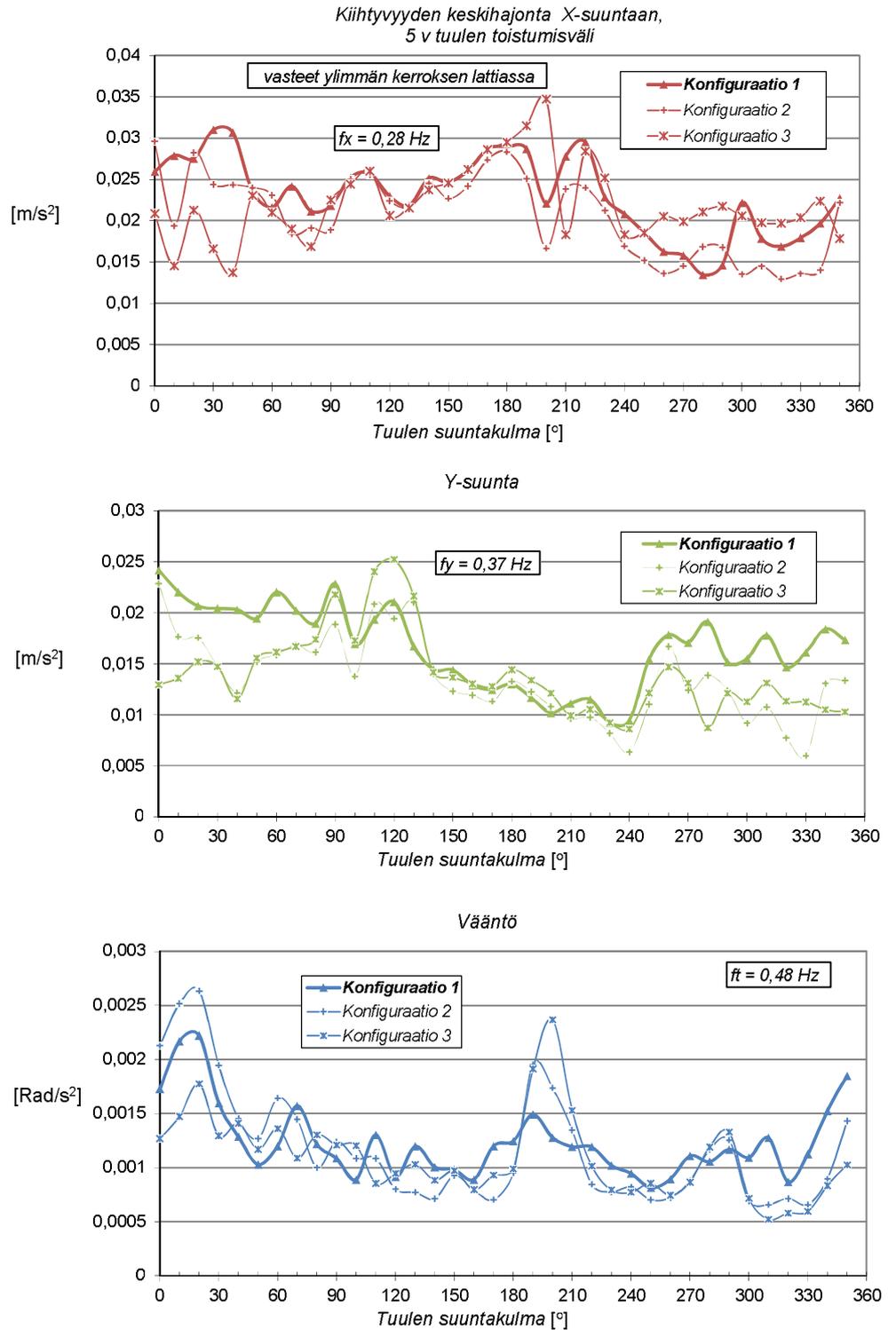
Kuva 30b: Tornin T_4 maksikihtyvyudet 5 v toistumisvälin tuulessa.



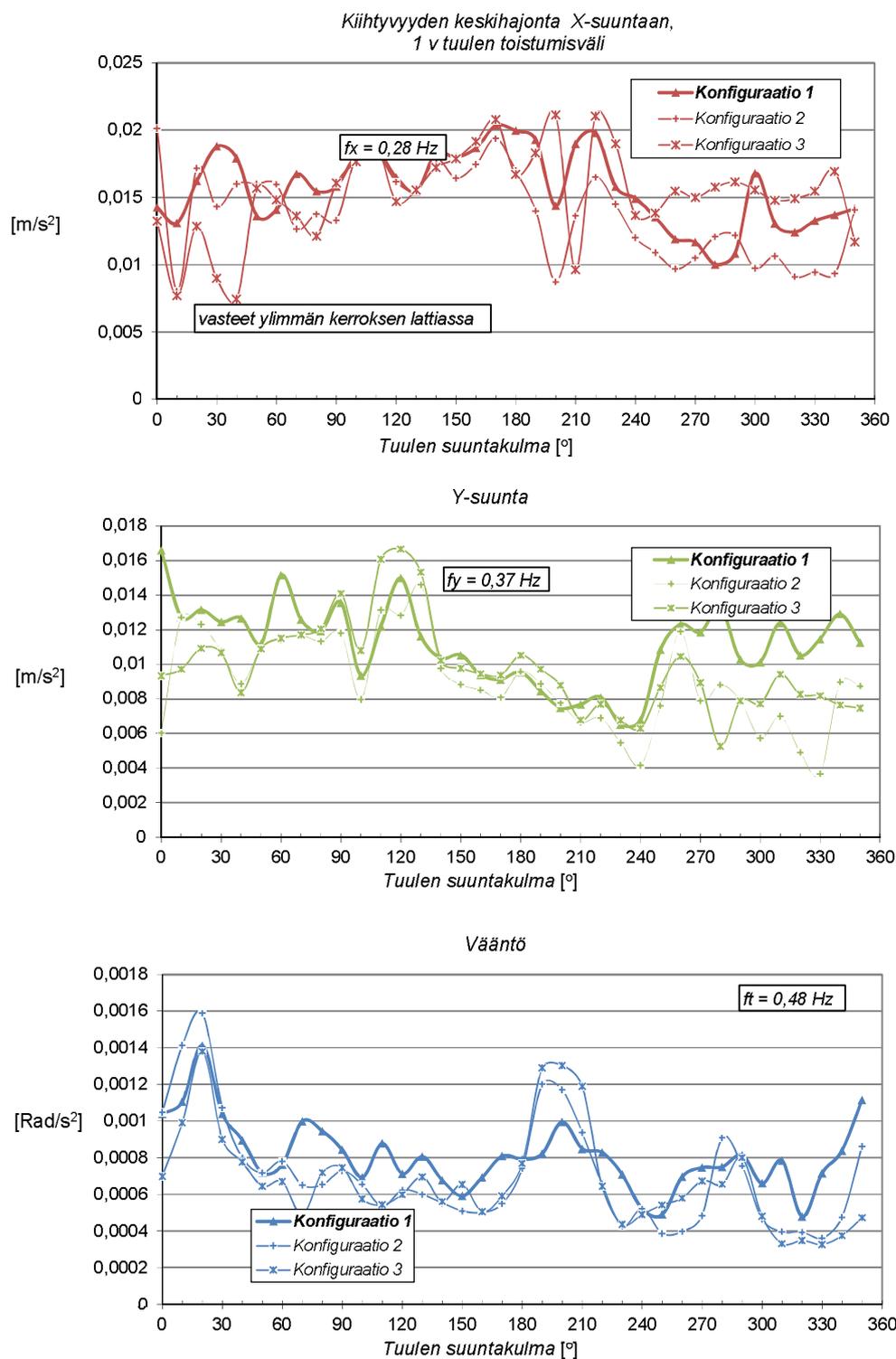
Kuva 30c: Tornin T_4 maksimikihtyvyydet 1 v toistumisvälin tuulella.



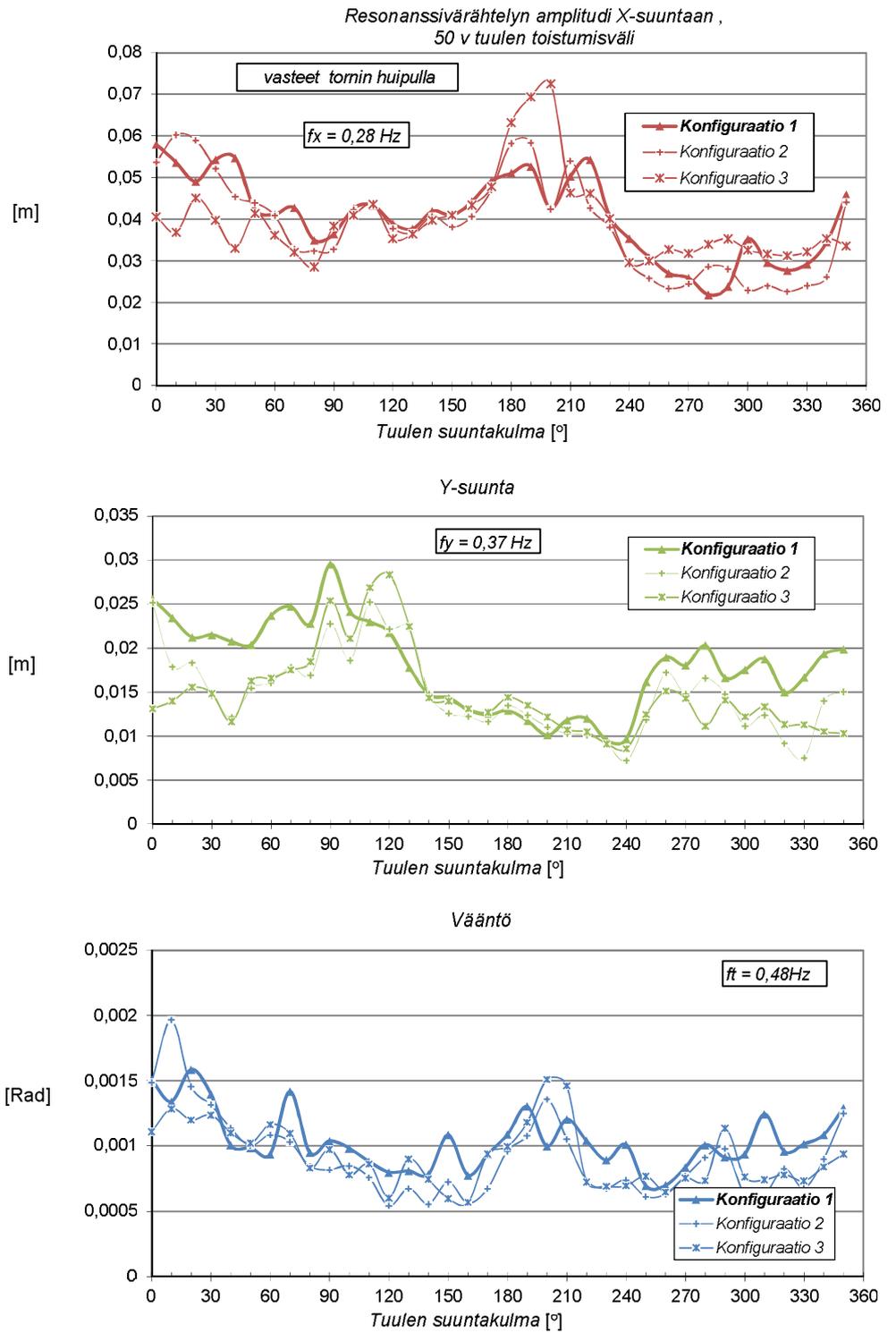
Kuva 31a: Tornin T_4 rms-kiihtyvyydet 50 v toistumisvälin tuulella.



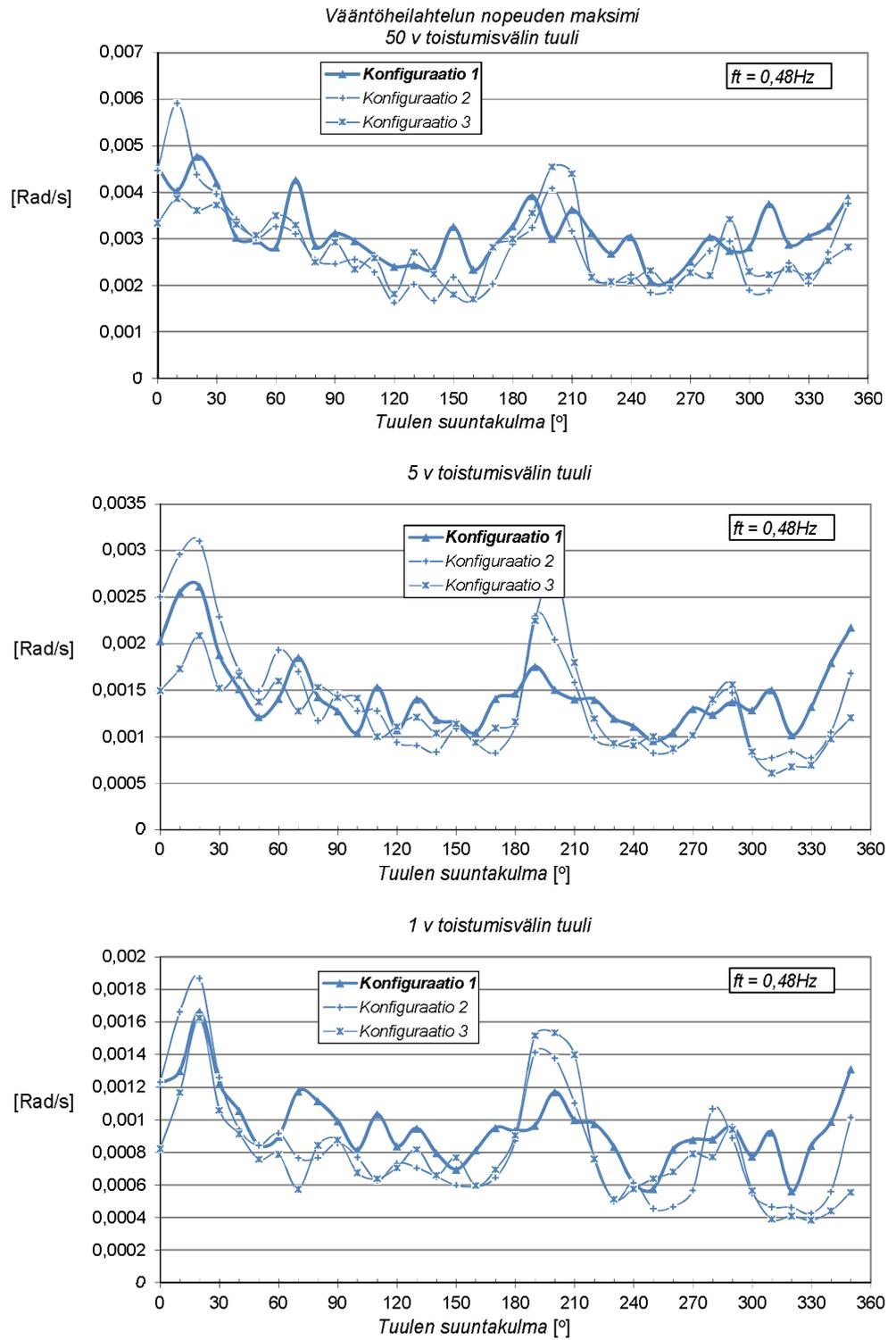
Kuva 31b: Tornin T₄ rms-kiihtyvyydet 5 v toistumisvälin tuulella.



Kuva 31c: Tornin T₄ rms-kiihtyvyydet 1 v toistumisvälin tuulella.



Kuva 32: Tornin T_4 resonanssivärähtelyn siirtymä/vääntöamplitudi 50 v toistumisvälin tuulessa.



Kuva 33: Tornin T_4 vääntöheilahtelun nopeusmaksimi.

Taulukko 10: Muunnoskerroimet muiden tornien kiihtyvyyssvasteiden arvioinnille tornien T_4 tuloksista.

Tunnus	h [m]	Pohjoistuuli			Itätuuli			Etelätuuli			Länsituuli		
		A_x	A_y	A_t	A_x	A_y	A_t	A_x	A_y	A_t	A_x	A_y	A_t
T_1	113,7	0,78	0,88	0,80	0,77	0,89	0,80	0,78	0,88	0,88	0,77	0,89	0,80
T_2	127,3	0,93	0,92	0,89	0,92	0,94	0,89	0,93	0,93	0,95	0,92	0,94	0,89
T_3	119,6	0,81	0,96	0,81	0,79	0,96	0,81	0,81	0,93	0,91	0,79	0,96	0,81
T_4	130,4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
T_5	115,7	0,84	0,64	0,80	0,85	0,66	0,80	0,84	0,67	0,72	0,85	0,66	0,80
T_6	100,0	0,74	0,74	0,82	0,68	0,78	0,82	0,74	0,72	0,75	0,68	0,78	0,82
T_7	101,9	0,74	0,66	0,70	0,73	0,70	0,70	0,74	0,69	0,75	0,73	0,70	0,70
T_8	114,2	0,77	0,80	0,76	0,76	0,81	0,76	0,77	0,80	0,82	0,76	0,81	0,76

7 Staattiset korvauskuormat

Korkeimman tornin tuulitunnelikokeista johdetut staattiset korvauskuormat on esitetty voima- ja momenttiresultanttien osalta taulukossa 11. Kuorman jakaantuminen kerroksittain on esitetty taulukossa 12 tornille T₄ ja muille torneille liitteessä 8.

Staattisen korvauskuorman komponentit F_x ja F_y voivat vaikuttaa samanaikaisesti (aiheuttaen vinon taivutuksen torniin).

Taulukko 11: Tornien staattisten korvauskuormien resultantit (F_x , F_y , M_x , M_y ja M_z) tornien juuressa. Tuulta vastaan kohtisuora kuormakomponentti sekä vääntö voi vaikuttaa kumpaankin suuntaan määrävän vaikutuksen mukaan.

		Pohjoistuuli												
Tunnus	h [m]				Ilman tornin huojunnan vaikutusta					Tornin huojunta huomioon ottaen				
		q** [kPa]	A _x [m ²]	A _y [m ²]	F _{x,QS} [MN]	F _{y,QS} [MN]	M _{x,QS} [MNm]	M _{y,QS} [MNm]	M _{z,QS} [MNm]	F _x [MN]	F _y [MN]	M _x [MNm]	M _y [MNm]	M _z [MNm]
T ₁	113,7	1,25	3345	2919	2,5	-3,4	207	152	21	3,6	-4,3	282	252	50
T ₂	127,3	1,27	4747	3461	3,5	-4,1	284	240	34	5,6	-5,5	420	441	74
T ₃	119,6	1,26	3820	2539	2,8	-3,2	235	177	24	4,6	-4,7	370	340	64
T ₄ *	130,4	1,28	4615	2674	3,4	-3,4	274	239	30	5,7	-5,0	429	462	77
T ₅	115,7	1,25	3870	2256	2,8	-2,7	191	181	24	4,6	-3,5	264	330	58
T ₆	100,0	1,21	2663	1938	2,0	-2,3	139	119	19	3,2	-3,0	191	197	49
T ₇	101,9	1,22	3421	1845	2,3	-2,0	117	111	19	2,8	-2,3	140	153	39
T ₈	114,2	1,25	3796	2357	2,7	-3,0	205	169	24	3,8	-3,7	266	258	51
<i>Itätuuli</i>														
T ₁	113,7	1,38	3345	2919	-5,6	2,3	-139	-352	26	-6,3	3,5	-246	-408	46
T ₂	127,3	1,42	3864	3461	-7,1	2,8	-194	-544	40	-8,3	4,8	-383	-665	66
T ₃	119,6	1,40	3820	3130	-6,3	2,4	-161	-403	31	-7,3	4,5	-342	-500	57
T ₄ *	130,4	1,43	4615	3216	-8,0	2,6	-188	-563	39	-9,5	4,9	-407	-711	71
T ₅	115,7	1,39	3870	2827	-6,6	2,2	-138	-428	31	-7,6	3,4	-244	-517	53
T ₆	100,0	1,34	3500	2499	-5,3	1,9	-102	-269	36	-5,8	3,1	-181	-309	55
T ₇	101,9	1,35	2653	2383	-4,1	1,7	-87	-240	21	-4,4	2,2	-124	-261	34
T ₈	114,2	1,39	3014	2962	-5,5	2,3	-142	-382	29	-6,1	3,3	-232	-431	47
<i>Etelätuuli</i>														
T ₁	113,7	1,43	3345	2314	4,0	3,2	-221	245	22	5,3	3,5	-251	362	46
T ₂	127,3	1,46	4747	2844	5,7	4,0	-310	386	37	8,2	4,6	-367	625	68
T ₃	119,6	1,45	3820	3130	4,5	4,0	-260	285	27	6,6	4,6	-315	480	61
T ₄ *	130,4	1,47	4615	3216	5,5	4,3	-313	384	34	8,4	5,0	-382	666	69
T ₅	115,7	1,44	3870	2827	4,6	3,7	-231	292	27	6,6	4,0	-261	469	49
T ₆	100,0	1,40	3500	2499	4,0	3,0	-158	202	26	5,3	3,3	-177	295	46
T ₇	101,9	1,40	3421	1845	3,7	2,3	-135	179	21	4,3	2,4	-144	227	37
T ₈	114,2	1,43	3796	2357	4,4	3,3	-229	272	26	5,6	3,6	-252	376	48
<i>Länsituuli</i>														
T ₁	113,7	1,26	2674	2919	4,2	-2,5	158	300	25	4,7	-3,3	221	342	37
T ₂	127,3	1,30	4747	3461	7,0	-3,1	222	490	44	8,0	-4,3	337	583	59
T ₃	119,6	1,27	3066	3130	4,7	-2,7	184	344	29	5,5	-4,0	294	419	46
T ₄ *	130,4	1,31	4615	3216	6,9	-2,9	216	496	39	8,1	-4,3	351	610	59
T ₅	115,7	1,26	3870	2827	5,7	-2,5	157	375	31	6,5	-3,2	219	443	60
T ₆	100,0	1,21	2663	2499	3,8	-2,1	115	223	26	4,2	-2,8	161	253	39
T ₇	101,9	1,22	3421	2383	4,4	-1,9	98	221	24	4,6	-2,2	118	237	31
T ₈	114,2	1,26	3796	2962	5,4	-2,6	162	342	31	5,8	-3,1	214	379	41

Huom.

* tuulitunnelikokeessa mitattujen tulosten mukaan. Muiden tornien osalta tulokset ovat interpoloituja

** korkeudella 0,6h, kerran 50 v. esiintyvä puuskatuulen nopeuspaine EN1991-1-4:2005 määräyksillä

Taulukko 12: Tornin T₄ staattiset korvauskuormat kerroksittain

Torni T₄

kerros*	h [m]	130,4	pohjoistuuli			itätuuli			etelätuuli			länsituuli		
	z	dz	±F _x	**F _y	±M _z	**F _x	±F _y	±M _z	±F _x	**F _y	±M _z	**F _x	±F _y	±M _z
	[m]	[m]	[MN]	[MN]	[MNm]	[MN]	[MN]	[MNm]	[MN]	[MN]	[MNm]	[MN]	[MN]	[MNm]
1	0	4,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	4,8	5,8	0,11	0,00	0,97	-0,25	0,08	1,25	0,19	0,14	1,16	0,20	-0,08	1,15
3	10,6	5,3	0,10	0,00	1,00	-0,23	0,07	1,19	0,17	0,12	1,13	0,19	-0,07	1,08
4	15,9	3,6	0,08	0,00	0,82	-0,17	0,05	0,94	0,13	0,09	0,89	0,14	-0,06	0,84
5	19,5	3,3	0,08	0,00	0,85	-0,17	0,05	0,94	0,12	0,09	0,89	0,14	-0,05	0,84
6	22,8	3,3	0,08	0,00	0,93	-0,17	0,06	1,00	0,13	0,09	0,95	0,14	-0,06	0,89
7	26,1	3,3	0,08	-0,09	1,06	-0,18	0,06	1,07	0,13	0,09	1,02	0,15	-0,06	0,95
8	29,4	3,3	0,09	-0,09	1,14	-0,19	0,06	1,14	0,14	0,10	1,09	0,16	-0,06	1,00
9	32,7	3,3	0,09	-0,09	1,23	-0,19	0,07	1,21	0,14	0,10	1,16	0,16	-0,07	1,05
10	36	3,3	0,10	-0,10	1,31	-0,20	0,07	1,28	0,15	0,10	1,22	0,17	-0,07	1,11
11	39,3	3,3	0,10	-0,10	1,40	-0,20	0,08	1,34	0,16	0,10	1,29	0,17	-0,07	1,16
12	42,6	3,3	0,11	-0,10	1,48	-0,21	0,08	1,41	0,16	0,11	1,36	0,18	-0,08	1,21
13	45,9	3,3	0,11	-0,11	1,57	-0,21	0,08	1,48	0,17	0,11	1,42	0,18	-0,08	1,26
14	49,2	3,3	0,12	-0,11	1,65	-0,22	0,09	1,54	0,17	0,11	1,49	0,19	-0,08	1,32
15	52,5	3,3	0,12	-0,12	1,73	-0,23	0,09	1,61	0,18	0,11	1,56	0,19	-0,09	1,37
16	55,8	3,3	0,13	-0,12	1,82	-0,23	0,10	1,68	0,19	0,12	1,62	0,20	-0,09	1,42
17	59,1	3,3	0,13	-0,12	1,90	-0,24	0,11	1,74	0,20	0,12	1,69	0,20	-0,10	1,47
18	62,4	3,3	0,14	-0,13	1,99	-0,24	0,11	1,81	0,20	0,12	1,75	0,21	-0,10	1,52
19	65,7	3,3	0,14	-0,13	2,07	-0,25	0,12	1,87	0,21	0,12	1,82	0,21	-0,10	1,57
20	69	3,3	0,15	-0,14	2,15	-0,25	0,12	1,94	0,22	0,13	1,88	0,22	-0,11	1,62
21	72,3	3,3	0,16	-0,14	2,24	-0,26	0,13	2,01	0,23	0,13	1,95	0,22	-0,11	1,67
22	75,6	3,3	0,16	-0,15	2,32	-0,27	0,13	2,07	0,24	0,13	2,01	0,23	-0,12	1,73
23	78,9	3,3	0,17	-0,15	2,40	-0,27	0,14	2,14	0,24	0,14	2,08	0,24	-0,12	1,78
24	82,2	3,3	0,18	-0,16	2,48	-0,28	0,15	2,20	0,25	0,14	2,14	0,24	-0,13	1,83
25	85,5	3,6	0,20	-0,18	2,80	-0,31	0,17	2,47	0,29	0,16	2,41	0,27	-0,14	2,05
26	89,1	3,3	0,19	-0,19	2,71	-0,29	0,17	2,41	0,27	0,17	2,34	0,25	-0,15	2,01
27	92,4	3,3	0,20	-0,20	2,79	-0,30	0,18	2,47	0,28	0,17	2,40	0,26	-0,16	2,06
28	95,7	3,3	0,21	-0,20	2,87	-0,31	0,18	2,54	0,29	0,17	2,47	0,27	-0,16	2,11
29	99	3,3	0,22	-0,21	2,96	-0,32	0,19	2,60	0,30	0,18	2,53	0,27	-0,17	2,16
30	102,3	3,3	0,22	-0,21	3,04	-0,32	0,20	2,67	0,31	0,18	2,59	0,28	-0,17	2,21
31	105,6	3,3	0,23	-0,22	3,12	-0,33	0,21	2,73	0,32	0,18	2,66	0,28	-0,18	2,26
32	108,9	3,3	0,24	-0,23	3,20	-0,34	0,21	2,80	0,33	0,19	2,72	0,29	-0,18	2,31
33	112,2	3,3	0,25	-0,23	3,29	-0,35	0,22	2,86	0,34	0,19	2,79	0,30	-0,19	2,36
34	115,5	4,0	0,31	-0,29	4,08	-0,43	0,28	3,54	0,42	0,24	3,45	0,37	-0,23	2,93
35	119,5	5,0	0,37	-0,34	4,74	-0,47	0,33	3,85	0,50	0,26	3,88	0,40	-0,27	3,00
36	124,5	3,0	0,23	-0,21	2,90	-0,28	0,21	2,35	0,31	0,16	2,37	0,24	-0,17	1,83
37 top	130,4	2,95	0,15	-0,15	1,72	-0,30	0,22	2,44	0,33	0,16	2,47	0,25	-0,18	1,90
Yht		130,4	5,75	-5,01	76,7	-9,48	4,86	70,6	8,40	5,03	68,6	8,07	-4,29	59,0

* kuorma voidaan kohdistaa kerroksen lattiaan.

** tuulen suuntainen komponentti

8 Julkisivujen paine- ja imukuormat

Tuulitunnelikokeiden tuloksista pelkistetyt julkisivujen nettopaineiden kartat (ulkoisen ja sisäisen paineen yhteisvaikutus) on esitetty kuvassa 34 tornille T₄. Muiden tornien osalta tulokset ovat interpoloituja, ja ne on esitetty liitteessä 9.

Tulokset koskevat 50 v tuulen toistumisväliä. Muita tuulen toistumisväliä vastaavat tulokset voidaan laskea taulukon 13 kertoimilla.

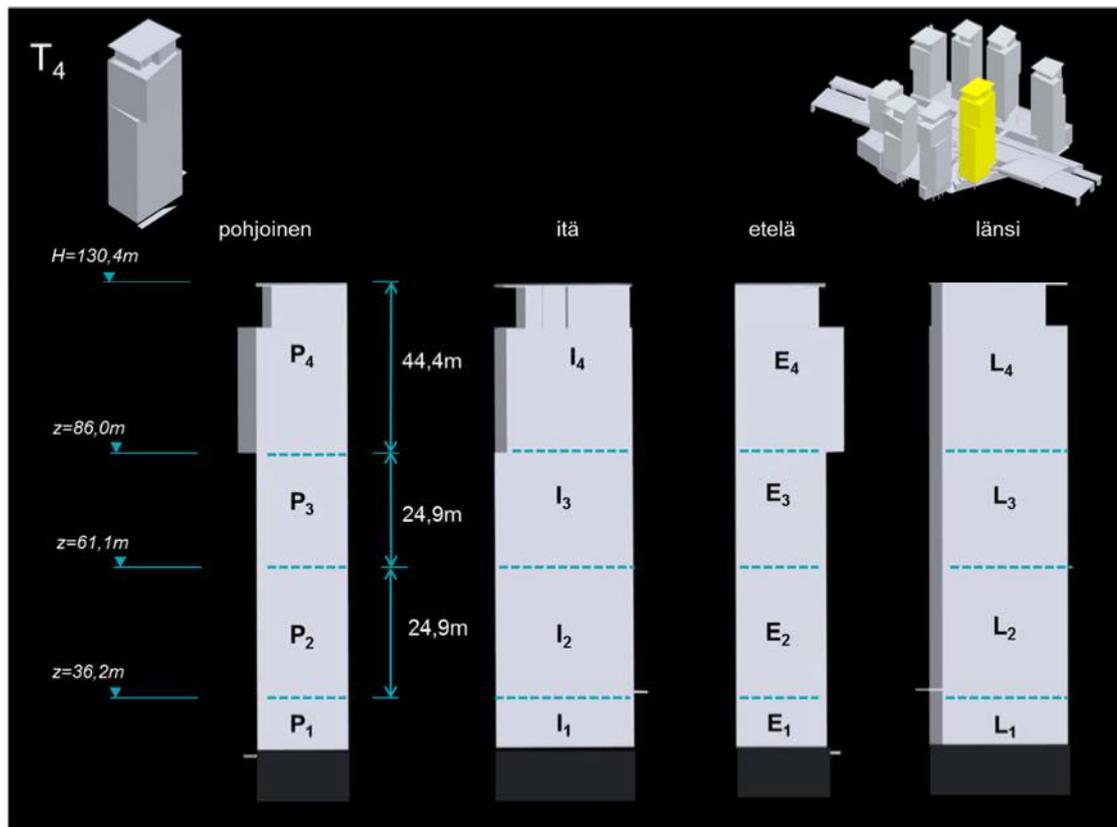
Tulokset on esitetty 1 s, 3 s ja 10 s huippuarvon määrittämisajalla, sekä aika 1 h aikakeskiarvoa vastaavalla määrittämisajalla.

Taulukko 13: Tuulen toistumisvälin T kerroin nettopaineille (k_{prob})

T [v]	p	c_{prob}	k_{prob}
1	0,632	0,75	0,56
5	0,20	0,85	0,73
10	0,10	0,90	0,81
50	0,02	1,00	1,00
100	0,01	1,04	1,08
120	0,008	1,05	1,10

Torni T₄ 50 v toistumisvälin tuuli

Alue	Paineuormat [kN/m ²]				Imukuormat [kN/m ²]			
	Huippuarvon määrittäisaika				Huippuarvon määrittäisaika			
	1 s	3 s	10 s	1 h	1 s	3 s	10 s	1 h
P ₁	1,5	1,1	0,9	0,52	-2,5	-2,1	-1,7	-1,28
P ₂	1,7	1,2	1,0	0,58	-2,8	-2,3	-1,9	-1,43
P ₃	1,8	1,3	1,0	0,63	-3,0	-2,5	-2,1	-1,54
P ₄	1,9	1,5	1,3	0,78	-3,3	-2,6	-2,4	-1,87
I ₁	1,6	1,0	0,9	0,55	-1,8	-1,4	-1,3	-0,90
I ₂	1,7	1,1	1,0	0,61	-2,0	-1,6	-1,4	-1,00
I ₃	1,9	1,2	1,0	0,66	-2,2	-1,7	-1,5	-1,09
I ₄	2,0	1,5	1,2	0,79	-2,6	-2,0	-1,5	-1,14
E ₁	1,6	1,2	1,0	0,59	-2,2	-2,0	-1,7	-1,35
E ₂	1,7	1,3	1,1	0,66	-2,5	-2,2	-1,9	-1,51
E ₃	1,8	1,4	1,2	0,70	-2,6	-2,3	-2,1	-1,62
E ₄	2,0	1,5	1,3	0,76	-2,9	-2,5	-2,0	-1,60
L ₁	1,5	0,8	0,6	0,48	-2,5	-1,7	-1,3	-0,99
L ₂	1,7	0,9	0,7	0,55	-2,8	-1,9	-1,5	-1,09
L ₃	1,8	1,0	0,7	0,60	-2,9	-2,0	-1,6	-1,16
L ₄	2,0	1,4	1,0	0,74	-2,8	-2,3	-1,7	-1,28



Kuva 34: Tornin T₄ julkisivujen nettopaineiden ääriarvot suunnitteluun.

9 Tulosten ohjeellinen tulkinta

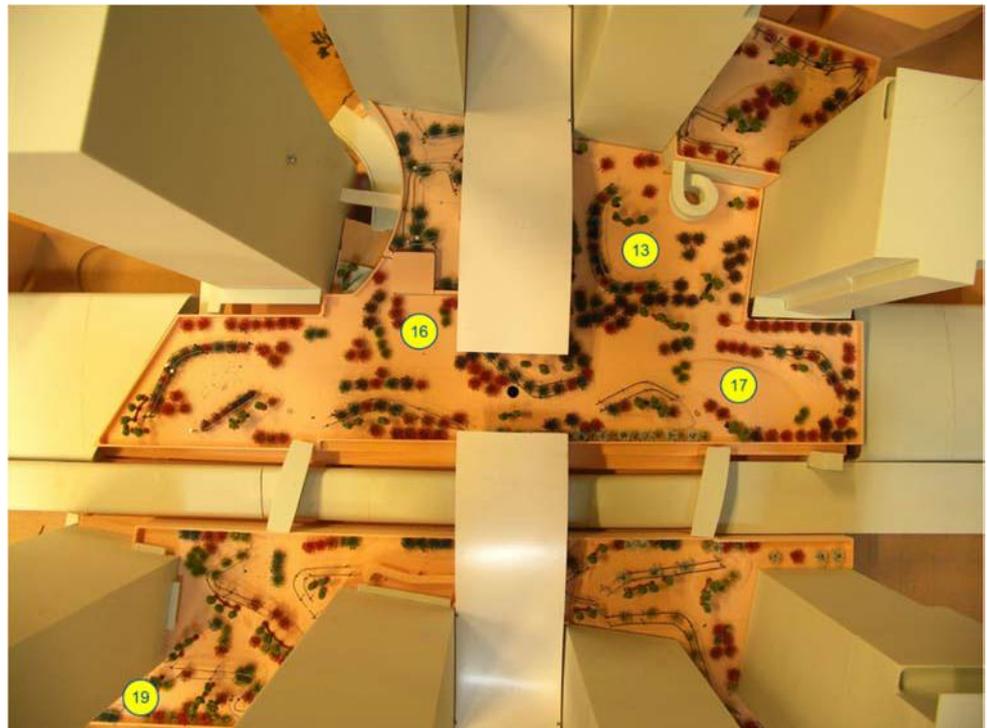
9.1 Tuulisuuskartoitus

Tuulisuuden tuulitunnelipohjaisia analyysejä on tehty kohteeseen Konsultin toimesta kolmeen eri otteeseen ja tuloksia on käsitelty suunnitteluryhmässä. Ensimmäisessä kartoituksessa [1] havaittu tärkein mahdollinen ongelma-kohta, tornien T₄ ja T₅ välisen keskeisen kulkuväylän porras, on korjaantunut suunnitelmamuutoksen myötä, jossa porras on katettu putkimaiseksi tilaksi. Samoin on katettu myös torneihin ja pihakansille johtavat kulkusillat. Rakennusten keskeiset sisäänkäynnit ja katutaso tornien vierusta on suojattu katoksilla, joten näitä pisteitä ei ole erikseen tutkittu. Puisto- ja pihakansien tuulisuutta vähentää osaltaan suunnitelmamuutos, jossa kannen korkeus-asema maanpinnan suhteen on pienentynyt arvosta 30 m arvoon 23 m.

Puisto- ja pihakannet

Tulosten mukaan vihersuunnitelman mukaiset istutukset, yhdessä pihakan-
nen koron alentamisen kanssa, parantavat selvästi tuulisuuteen liittyvää viihtyisyyttä puisto- ja pihakansilla. Oleskelualueiden tuulisuuden vähentäminen on ollut yksi vihersuunnitelman lähtökohdista. Suunnitelmassa oleskelualueita on ympäröity, ja samalla suojattu, pensaille ja pergoloilla. Esimerkiksi kuvan 35 suunnitellut oleskelualueet ovat vähätuulisia.

Vaarallisen kovia puuskatuulia (> 23 m/s) ei enää esiinny kulkureiteillä useammin kuin kerran vuodessa, mikä on ollut Konsultin ehdottama kriteeri [1] suunnitelmamuutoksia edellyttäväksi rajaksi.



Kuva 35: Vähätuulisia pisteitä puisto- ja pihakansilla.

Talvikauden myrkyissä kulkuväylillä voi esiintyä kävelyä vaikeuttavia puuska-
tuulia (> 16 m/s) useammin kuin kerran vuodessa. Sama koskee Kalasata-
man aukeita alueita yleisesti, jotka ovat suhteellisen tuulisia rannikkosijain-
tinsa johdosta. Ympäristöään selvästi korkeammat rakennukset lisäävät tuu-
lisuuttaan lähistöössään. Aikaisemman tutkimuksen [1] mukaan tornien vaiku-
tuksen ulkopuolelle jäävässä avoimessa puiston pisteessä, tuulen puuskanopeus
16 m/s ylittyy 4 h/v, eli keskimäärin kaksi kertaa vuodessa. Saman puiston
lähempänä torneja sijaitsevassa pisteessä 1 (kuva 14) vastaava luku on
18 h/v. Metroasemalta johtavalta kulkuväylältä puistokannen pisteessä 15,
joka sijaitsee 23 m korkeudessa, arvo on samaa suuruusluokkaa; 15 h/v. Vastaavan
pisteen lukema suunnitelman 3/2012 mukaisessa kokeessa (30 m puistokannen korkeudessa ilman suojaavaa kasvillisuutta ja reuna-aitaa) on
ollut 94 h.

Istutettavaa kasvillisuutta voidaan siten suositella suojaamaan paitsi kansien,
myös luonnollisen maanpinnan tason kulkuväyliä avoimissa kohdissa.

Pihakannen piste 22 tornien T_1 ja T_8 välissä (kuva 36) on alttiina virtauksen
kuristumiselle sekä etelä- että pohjoistuulten yhteydessä, on siksi tuulinen.
Siinä ei kuitenkaan sijaitse keskeistä kulkuväyliä.



Kuva 36: Pihakansien ”tuulisin piste” (nro 22) tornien T_1 ja T_8 välissä.

Kalasadamankatu

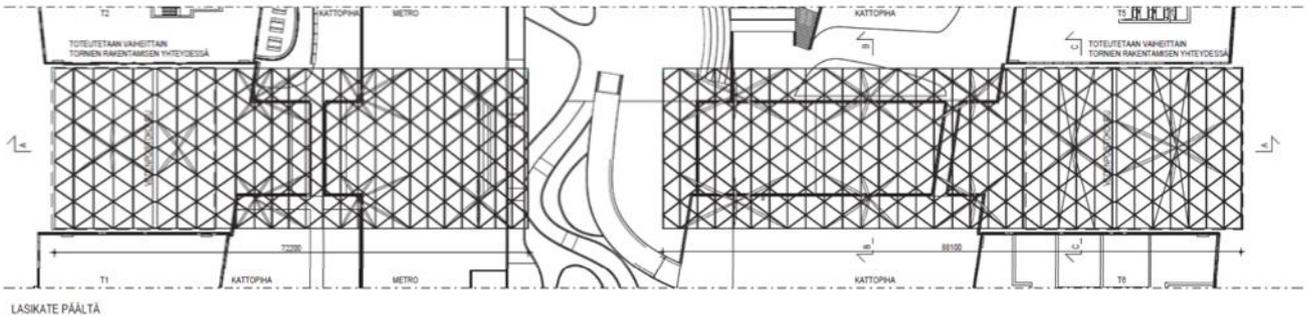
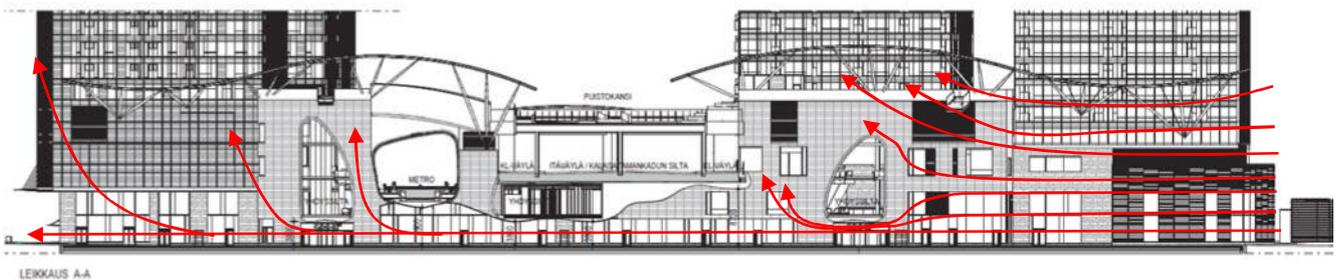
Kalasadamakatu on tulosten mukaan tuulinen ajatellen tavoitteellista tuulisuu-
den suhteen viihtyisää kävelykatu/ostoskeskus käyttöä. Syynä tähän on ilmei-
simmin ”hormivaikutus”, jossa katoksen ja pihakannen välinen vapaa aukko
imee ilmaa pihakannelle (kuva 37a). Katoksen alle syntyvässä tunnelimai-
sessa tilassa on lisäksi yhdysilloista ja metrosillasta johtuvia kuristuksia, jotka
kiihdyttävät virtauksia paikallisesti. Esimerkiksi pohjoispään pisteessä 8 tuuli-
suus on suurempi kuin itse tunnelin suuaukossa pisteessä 9.

Tuulitunnelikokeilla testattiin kahden mahdollisen suunnitelmanmuutoksen
vaikutusta:

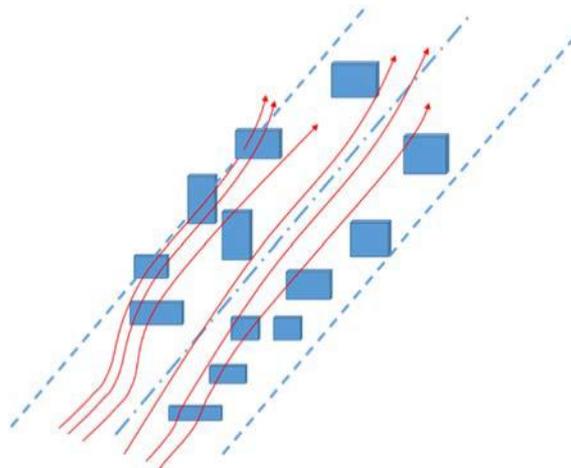
- ei katosta: tuulisuus olisi suurempaa, erityisesti pohjoisenpuoleisessa
päässä katua
- katoksen ja puistokannen välistä vapaata aukkoa pienennettäisiin 50
% esim. aidoilla ja istutuksilla katoksen korkeusaseman ollessa ennallaan: ei oleellista vaikutusta.

Näiden tulosten perusteella hormivaikutusta ja tuulen virtausta Kalasatamankadulla on vaikea välttää, joten korjaavana suunnitteluratkaisuna on "nostaa" virtaus jalankulkijoiden yläpuolelle käyttäen virtaukseen kitkaa tuottavia esim. seinämäisiä rakenteita, joiden korkeus on n. 0,5...2,0 m (kuva 37b). Matalampia (0,5 m) rakenteita käytettäessä tarvitaan niitä pitemmälle matkalle tuulen yläpuolelle. Rakenteiden sijoittelua rajoittaa osaltaan kadun toiminnallisuusvaatimukset. Myös pensasistutukset pienentäisivät tuulen pyörteitä katussassa.

a)



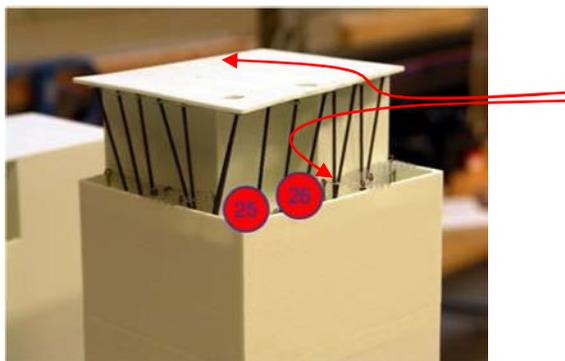
b)



Kuva 37: a) Ilmavirtauksen oletettava kulku Kalasatamankadun pituusleikkauksessa etelätuulella, ja b) ehdotettu tuulisuutta korjaava suunnitteluratkaisu.

Kattoterassit

Kattoterasseilla voi tulosten mukaan esiintyä kovia virtauksia huolimatta suojaavasta suhteellisen korkeasta aidasta. Tähän vaikuttaa todennäköisesti julkisivua alaspäin kulkeva virtaus (kuva 38). Kattoterassien käyttökatkoihin kovissa tuulissa on syytä varautua. Tarvittaessa alaspäin suuntautuvaa virtausta voitaisiin myös estää ritilämäisellä tai umpinaisella katoksella. Ritiläkatoksen tapauksessa aukkosuhde tulisi olla noin 50 %.



Kuva 38: Virtauksen mahdollinen kulku kattoterassilla.

Itäväylän tunneli

Tulosten mukaan tunneli on tuulinen, mikä johtuu osaltaan sen sijainnista rannikolla, lyhydestä, korkeusasemasta, ja korkeiden rakennusten vaikutuksesta. Paitsi luonnon tuuli, myös liikkuvat ajoneuvot kuljettavat ilmaa tunnelissa. Tunnelin puistokannen alapuolisen osan pituus on n. 170 m. Päätyjen lasikatokset mukaan lukien tunnelin kokonaispituudeksi tulee n. 250 m.

Tarkasteltu tunneli on pääosin umpinainen, jolloin ilman ollessa kokoonpuristumatonta tunneliin menevä ilmamäärä on sama kuin sieltä poistuva. Tällöin esim. pysähtyneistä ajoneuvoista aiheutuva kuristuma lisää virtausnopeutta paikallisesti.

Tulipalotilanteiden savun kulkeutumisen osalta virtauksen keskinopeus 3 m/s on lähteen [7] mukaan suuruusluokka virtausnopeudelle, jossa savu ei pääse merkittävästi leviämään virtausta vastaan tavanomaisissa ajoneuvopaloissa. Pitemmissä tunneleissa, jos koneellista savunpoistoa tarvitaan, 3 m/s olisi myös suositus tuulettimien mitoitukselle, eli tuulettimien tuottamalle keskimääräiselle virtausnopeudelle lähellä maksimitehoja.

Tulosten mukaan, luonnollisen tuulen vaikutuksessa, ilman ajoneuvojen vaikutusta, virtauksen keskinopeus on tunnelissa ≥ 3 m/s keskimäärin 28 % ajasta. Vastaava virtauksen suunta on idästä länteen 17 % ajasta, ja lännestä itään 11 % ajasta (taulukko 14). Jos virtauksen suunta käännetään tuulettimilla jonkin aikaa tulipalon alkamisen jälkeen, voi siitä olla seurauksena että savu levittäytyy tasaisesti koko tunneliin [7]. Itäväylän tunneli on suhteellisen lyhyt, jolloin poistumismatka jää myös lyhyeksi, mikä vähentänee tarvetta puhalttaa savua tuulta vastaan. Kovimmissa tuulissa olisi joka tapauksessa vaikea kääntää virtausta koneellisesti tuulta vastaan, koska esim. kerran vuodessa voi esiintyä keskimäärin 12 m/s virtauksen keskinopeus.

Taulukko 14: Virtauksen keskinopeuksien esiintyminen Itäväylän tunnelissa luonnon tuulen vaikutuksesta (ilman ajoneuvojen vaikutusta).

Virtauksen keskinopeus* [m/s]	Osuus ajasta		yht.
	idästä länteen	lännestä itään	
≥ 0,5	46,4 %	49,3 %	95,8 %
≥ 1,0	41 %	43 %	84 %
≥ 1,5	34 %	33 %	67 %
≥ 2,0	27 %	24 %	51 %
≥ 2,5	21 %	17 %	38 %
≥ 3,0	17 %	11 %	28 %

* 1,5 m korkeudessa tien pinnasta

9.2 Tornien huojunta

Tulosten mukaan korkein torni T_4 voi huojua tuulta vastaan kohtisuorassa suunnassa hieman voimakkaammin kuin tuulen suunnassa.

Tuulta vastaan kohtisuora värähtely seuraa periaatteessa tuulen suuntaisille seinille syntyvistä heilahtelevista imukuormista, eli tuulen turbulenssin normaalista vaikutuksesta (tärinästä). On huomattava että useimmat suunniteluohjeet ja normit, esim. EN1991-1-4:2005 eivät toistaiseksi kata tätä tuulen vaikutusmekanismia, vaikka se korkeiden rakennusten tarkastelussa on useasti tärkeä [4].

Tornin T_4 poikkileikkauksen kapein sivumitta on $b = 23,6$ m (4/2015 suunnitelma), joka Strouhalin luvulla $S_t = 0,2$ ja ominaistaajuudella $f_y = 0,3$ Hz antaa pyörreratailmiön kriittiseksi keskituulennopeudeksi 35 m/s. Se on suunnilleen sama kuin 50 v toistumisvälin keskituuli etelästä korkeudella 0,6h, ja voi siten vaikuttaa huojuntaa lisäävänä tekijänä. Tätä tukee myös kuvan 30 mukainen tulos, jonka mukaan poikittaisvärähtely olisi suhteellisesti voimakainta 50 v toistumisvälin etelätuulella konfiguraatiossa 3, eli tilanteessa jossa vain yksi torni olisi rakennettu. Tällöin toisten tornien aiheuttama turbulenssi estäisi säännöllisen pyörreradan syntymistä tornin taakse.

Tornien huojunnan arvoa voidaan verrata ISO-standardien [5] ja [6] mukaisiin raja-arvoihin. Aikaisemman standardin [5] raja-arvosuositus perustuu rms kiihtyvyyteen 5 v toistumisväliin tuulella, ja on sama toimisto- ja asuinrakennuksille. Vastaavat raja-arvot ovat:

0,42 m/s² rms-kiihtyvyys kun taajuus on 0,30 Hz

0,38 m/s² rms-kiihtyvyys kun taajuus on 0,35 Hz.

Tulosten mukaan tornin T_4 rms-kiihtyvyys on suurimmillaan 0,35 m/s² taajuudella 0,3 Hz, eli se täyttää suosituksen. Uudemman standardin [6] mukainen raja-arvo on annettu maksimikihtyvyydelle 1 v toistumisväliin tuulella, ja on eri asuin- ja toimistorakennuksille. Raja-arvosuositukset ovat:

asuinrakennukset

0,070 m/s² kun taajuus on 0,30 Hz

0,065 m/s² kun taajuus on 0,35 Hz

0,055 m/s² kun taajuus on 0,5 Hz

toimistorakennukset

0,11 m/s² kun taajuus on 0,30 Hz

0,10 m/s² kun taajuus on 0,35 Hz

0,082 m/s² kun taajuus on 0,5 Hz.

Tulosten mukaan tornin T₄ maksimikihtyvyys on 0,07 m/s² (taajuus 0,3 Hz) ja 0,06 m/s² (taajuus 0,35 Hz). Tulokset voidaan tulkita siten, että tornien huojunta voidaan aistia vuotuisissa myrskyissä ylimmissä kerroksissa, mutta huojunnan suuruus on kuitenkin suositusten mukainen sekä asuin- että toimistokäytössä. Ylimääräistä varaa vaakajäykistyksen ”löysentämiseksi” (ominaistaajuuden alentamiseksi) ei korkeimmissa torneissa kuitenkaan näytä olevan, ja huojunnan rajoittaminen on tärkeä osa rakennesuunnittelua.

Mainitut ISO-standardit eivät ota kantaa vääntövärihtelyn aistimiseen ja raja-arvoihin. Tulosten mukaan 1 v toistumisvälin tuulessa vääntövärihtelyn maksimi = 0,005 rad/s², mikä esim. 10 m etäisyydellä vääntökeskiöstä tarkoittaisi 0,05 m/s² vaakakihtyvyttä. Myös vääntövärihtely on siten aistittavissa tornin yläosan kerrosten kulmapisteissä. Sen taajuus on kuitenkin eri kuin vaakavärihtelyn, ja vastaavaa tulosta ei ole tarve summata vaakavärihtelyn arvoon.

On huomattava että tulokset ovat herkkiä oletetulle tuulennopeudelle (kihtyvyydvaste kasvaa likimain verrannollisena tuulennopeuden kolmanteen potenssiin). EN 1991-1-4:2005 kansallisen liitteen mukainen laskennallinen tulos on ollut, että kerran viidessä vuodessa merellä (mantereen lähellä) esiintyy myrskytuuli 26 m/s (10 aikakeskiarvo, 10 m korkeus). Jos tarkastelu tehdään lähteen [1] mukaiselle Helsingin edustan merialueen tuulitilastoihin perustavalle suositukselle 24 m/s, voidaan kihtyvyydvasteet kertoa luvulla 0,8. Voidaan kuitenkin ottaa huomioon, että ilmastonmuutoksen on oletettu lisäävän ilmaston ääri-ilmiöiden, kuten myrskytuulien, toistumistiheyttä, joten 26 m/s voidaan pitää tässä mielessä parempana suunnitteluperustana.

9.3 Staattiset korvauskuormat

Tornin T₄ tuulikuorman kvasistaattinen määräävä voimaresultantti on X-suunnassa -8,0 MN (itätuuli) ja huojunta huomioon ottaen staattinen korvauskuorma on -9,5 MN; dynaaminen lisä näiden suhteena laskettuna = 1,2.

Y-suunnassa mitoittava staattisen korvauskuoman resultantti -5,0 MN syntyy pohjoistuulella herätetärinän johdosta ja etelätuulella normaalisti tuulen suorasta vaikutuksesta 5,0 MN. Ilman värihtelyjen vaikutusta mitoittava arvo olisi 4,3 MN (etelätuuli).

Staattinen korvauskuorma tuulta vastaan kohtisuora värihtelyn johdosta, vaikka onkin merkittävä, ei siten muodostu mitoittavaksi rakenteellisen turvallisuuden kannalta.

Tornin vääntörasitus voi olla merkittävä ja siihen on kiinnitettävä huomiota. Siirtymä tornin yläosan kulmapisteessä on resonanssi-tyyppisen vääntövärihtelyn seurauksena suurimmillaan noin puolet resonanssityyppisestä taipuma-amplitudista. Vääntövärihtelyyn liittyvä siirtymäamplitudi on suurimmillaan herätetärinän yhteydessä, kun vain kaksi tornia on rakennettu.

9.4 Julkisivujen paine- ja imukuormat

Julkisivujen nettopaineiden osalta imukuormat ovat oletetusti määrääviä. Korkeimmassa tornissa itseisarvoltaan suurin yksittäinen 1 s huippuarvo on

-3,3 kN/m² 50 v toistumisvälin tuulessa. Suurin positiivisen nettopaineen arvo on 2,1 kN/m².

Tulosten mukaan toisten tornien kulmista ja katoista ohjautuvat virtaukset, tornien väliset kanavointivaikutukset jne. vaikuttavat paikallisiin kuormiin siten, että suurimpia imukuormia ei voida olettaa ainoastaan rakennuksen nurkka-alueille, mikä on otettu huomioon raportin paine- ja imukuormien suunnittelukartoissa.

Suunnittelussa käytettävä huippuarvon määrittäminen (raportissa 1 s, 3 s, 10 s tai 1 h) riippuu tarkasteltavasta rakenteesta ja sen mitoitustavasta. Yhden sekunnin huippuarvo on yleinen suunnitteluperuste esim. lasirakenteille, vaikka lasin murtokuorma määräytyykin pidempiaikaisen kuormitushistorian pohjalta [4]. Vastaavasti 3 s huippuarvo vastaa vanhaa 3 s puuskatuulen nopeuspaineeseen perustuvaa suunnittelukäytäntöä. Pisintä määrittämysaika (1 h) vastaavat paineet on annettu raportissa ilmanvaihtolaitteiden tarkasteluja varten.

Suurin EN-1991-1-4:2005 & NA mukainen huippuarvo olisi ulkoisen paineen osalta $-1,75 \cdot 1,4 = -2,5$ kN/m² ja sisäisen paineen osalta $-0,6 \dots +0,4$ kN/m² otaksumista riippuen. Nettopaineeksi tulisi tällöin $-2,1 \dots -3,1$ kN/m².

Normin mukaista suurinta (suoraidepohjaisen tornin) ulkoisen seinän painekerrointa $c_{pe} = -1,4$ ei voida pitää erityisen konservatiivisena, verrattuna toisinaan käytettyyn otaksumaan $c_{pe} = -2,0$ paikallisten vaikutusten tarkastelussa. Samasta syystä julkisivu ja ikkunalasit voisivat jäädä alimitoitetuksi. EN-1991-1-4:2005 ei suoraan määrittele sen mukaan laskettujen painekuormien huippuarvojen määrittämissä, mutta puuskatuulen nopeuden kaavan perusteella sen voidaan olettaa olevan lähellä 1 s.

Ilmanvaihtolaitteiden tarkasteluja varten raportin taulukoista voidaan arvioida kerran vuodessa esiintyvänä pitkäaikaiseksi (1 h kestoiseksi) yhdellä seinällä vaikuttavaksi nettopaineeksi arvo $k_{prob} c_{p1h}$, missä $k_{prob} = 0,52$ ja c_{p1h} = torneittain ja seinittäin taulukoitu paine- tai imukuorman 1 h arvo. Ylimmissä kerroksissa tulokseksi saadaan suurimmillaan +400 Pa ja -600...-1000 Pa.

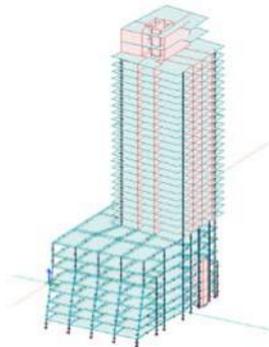
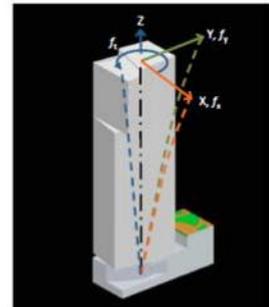
Lähdeluettelo

1. Helsingin kaupunki, kaupunkisuunnitteluvirasto: Kalasataman keskuksen suunnittelu, tuulisuuskartoitus. WSP Finland Oy, 2011, s. 51.
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).
3. Simiu, E & Scanlan, R. H., Wind effects on structures: Fundamentals and application to design, 3rd Edit., John Wiley & Sons, New York 1986, 688 p.
4. CTBUH 1980. Tall Building Design Criteria and Loading, Vol. CL. Council of Tall Buildings & Urban Habitat, 888 p.
5. ISO 6897-1984E. International Standard, Guidelines for the evaluation of the response of occupants of fixed structures, especially buildings and off-shore structures, to low-frequency horizontal motion (0,063 to 1 Hz), 8 p.
6. ISO 10137:2007 Bases for design of structure – Serviceability of buildings and walkways against vibrations, 44 p.
7. Fire and smoke control in road tunnels, PIARC Committee on Road Tunnels (C5), PIARC 05.05.B – 1999. 283 p.

Liite 1 Tornien kerromassat ja ominaistaajuudet

Tornien huojuta-analyysin perustana olevat Rakennesuunnittelijan toimittamat kerromassat ja ominaistaajuudet on esitetty oheassa.

z = lattian yläpinnan korkeustaso				fx*	0.358 Hz	
				fy*	0.401 Hz	
				ft*	0.598 Hz	
Torni T1	H [m]	Massa*	Väännön	Värähtelyn ominaismuodot		
Kerros	z[m]	Mi [t]	massahitaus*	$\varphi_x(z)$	$\varphi_y(z)$	$\varphi_t(z)$
			Ji [tm ²]			
K4	-13.9	0	0	0.000	0.000	0.000
K3	-10.1	1521.675	213034.43	0.07	0.005	0.029
K2	-6.3	1511.947	211672.58	0.018	0.014	0.059
K1	-2.2	1535.695	214997.3	0.038	0.027	0.088
1	3.1	1666.992	233378.88	0.068	0.050	0.118
2	7.9	1479.95	207193	0.102	0.075	0.147
3	13.7	1506.426	210899.64	0.148	0.111	0.176
4	19	1433.701	200718.07	0.192	0.148	0.206
5	25.3	1784.978	249896.92	0.246	0.192	0.235
6	28.9	1136.525	159113.43	0.272	0.218	0.265
7	32.2	1100.296	154041.37	0.295	0.243	0.294
8	35.5	1100.296	154041.37	0.318	0.269	0.324
9	38.8	1100.296	154041.37	0.343	0.295	0.353
10	42.1	1042.523	145953.22	0.369	0.322	0.382
11	45.1	1007.382	141033.48	0.392	0.347	0.412
12	48.4	1042.523	145953.22	0.418	0.376	0.441
13	52	1077.667	150873.31	0.447	0.407	0.471
14	55.3	1042.523	145953.22	0.474	0.436	0.500
15	58.6	1042.523	145953.22	0.502	0.466	0.529
16	61.9	1042.523	145953.22	0.530	0.495	0.559
17	65.2	1042.523	145953.22	0.557	0.525	0.588
18	68.5	1042.523	145953.22	0.585	0.555	0.618
19	72.1	1108.934	155250.76	0.615	0.588	0.647
20	75.4	961.853	134659.42	0.644	0.619	0.676
21	78.7	961.853	134659.42	0.673	0.650	0.706
22	82	961.853	134659.42	0.701	0.681	0.735
23	85.3	961.853	134659.42	0.729	0.711	0.765
24	88.6	961.853	134659.42	0.758	0.742	0.794
25	91.9	961.853	134659.42	0.787	0.772	0.824
26	95.2	961.853	134659.42	0.815	0.803	0.853
27	98.5	961.853	134659.42	0.843	0.830	0.882
28	101.8	961.853	134659.42	0.871	0.864	0.912
29	105.8	1011.163	141562.82	0.905	0.900	0.941
30	110.8	694.5	97230	0.949	0.946	0.971
31	116.8	819.5	114730	1.000	1.000	1.000
		38552.26				



Dynaamisen ominaisuuksien laskennassa on käytetty maanjäristystilanteen kuormitusyhdistelmää
 $1,0 \cdot G + \phi \cdot \psi_2 \cdot Q + \psi_2 \cdot S$,
 jossa kertoimet ϕ ovat EN 1998-1 taulukon 4.2 ja kertoimet ψ_2 EN 1990 taulukon A1.1 (FI) mukaisia.
 (1,0G+0,5Q,3Q+0,2S)

Mode 1	f_x^*	0,3249 Hz
Mode 2	f_y^*	0,4084 Hz
Mode 3	f_z^*	0,5857 Hz

z = lattian yläpinnan korkeustaso

	Torni T2		Massa* Mi [t]	Väännön massahitaus* Ji [tm ²]	Värähtelyn ominaismuodot			Taso
	H [m] kerros	144,300 z[m]			$\psi_x(z)$	$\psi_y(z)$	$\psi_z(z)$	
Anturat	0	0	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	-13,900
K3	1	3,000	170,22	30005,97	0,0000	0,00019	0,00000	-10,900
K2	2	7,600	4404,53	2247803,82	0,00385	0,00346	0,00000	-6,300
K1	3	11,700	3933,01	1958687,62	0,00911	0,01007	0,00000	-2,200
KRS1, katutaso	4	17,000	4690,51	2345070,24	0,02105	0,01954	0,00798	3,100
KRS2	5	21,800	4391,26	2166441,8	0,04081	0,03313	0,01480	7,900
KRS3	6	27,600	4463,69	2161454,67	0,07007	0,05325	0,04594	13,700
KRS4	7	32,900	4310,87	2072835,15	0,10110	0,08694	0,08274	19,000
KRS5	8	39,100	5197,15	2450417,5	0,14057	0,15838	0,12963	25,200
KRS6	9	42,800	1579,28	228184,87	0,16032	0,18350	0,14815	28,900
KRS7	10	46,100	1275,01	180897,2	0,18016	0,20133	0,16867	32,200
KRS8	11	49,400	1259,87	179153,7	0,20132	0,22175	0,20370	35,500
KRS9	12	52,700	1273,75	180542,48	0,22325	0,24281	0,23814	38,800
KRS9	13	56,000	1162,79	168948,77	0,24628	0,26470	0,25925	42,100
KRS10	14	59,300	1162,86	168973,72	0,27025	0,28716	0,29629	45,400
KRS11	15	62,600	1162,85	168970,53	0,29492	0,30993	0,33333	48,700
KRS12	16	65,900	1162,8	168954,74	0,32029	0,33309	0,37036	52,000
KRS13	17	69,200	1162,88	168980,01	0,34621	0,35666	0,40740	55,300
KRS14	18	72,500	1162,82	168962,29	0,37288	0,38076	0,44444	58,600
KRS15	19	75,800	1165,66	169382,81	0,39970	0,40432	0,48147	61,900
KRS16	20	79,100	1162,89	168983,14	0,42704	0,42855	0,51851	65,200
KRS17	21	82,400	1162,79	168951,11	0,45483	0,45192	0,55555	68,500
KRS18	22	85,700	1164,55	169246,73	0,48290	0,47526	0,59258	71,800
KRS19	23	89,000	1182,74	175153,83	0,51095	0,49837	0,62446	75,100
KRS20	24	92,900	1293,89	200402,68	0,54512	0,52703	0,66665	79,000
KRS21	25	96,200	1327,21	221154,39	0,57469	0,55357	0,68856	82,300
KRS22	26	99,500	1332,76	222792,91	0,60409	0,57923	0,72221	85,600
KRS23	27	49,900	1111,71	159100,97	0,63355	0,60524	0,75925	88,900
KRS24	28	106,100	1111,31	159097,1	0,66300	0,63107	0,77909	92,200
KRS25	29	109,400	1111,58	159101,5	0,69224	0,65702	0,81480	95,500
KRS26	30	112,700	1112,62	159114,87	0,72185	0,68293	0,83332	98,800
KRS27	31	116,000	1112,63	159081,96	0,75123	0,70874	0,87035	102,100
KRS28	32	119,300	1112,11	158934,26	0,78050	0,73489	0,88887	105,400
KRS29	33	122,600	1112,03	158907,24	0,80971	0,76204	0,90739	108,7
KRS30	34	126,100	1112,08	158922,16	0,84216	0,80410	0,92591	112,2
KRS31	35	129,200	1120,1	161328,59	0,86788	0,82524	0,94443	115,3
KRS32, kattoterassi	36	133,200	1667,32	245463,85	0,90311	0,86447	0,96295	119,3
KRS33	37	136,800	606,6	49928,81	0,93586	0,89494	0,98146	122,9
KRS34	38	140,400	618,43	50815,59	0,96724	0,92579	0,99998	126,5
tomin huippu	39	144,300	1063,01	125540,13	1,00000	1,00000	1,00000	130,4

27208.17

f_y^*	0,3417 Hz	Mode1
f_x^*	0,3989 Hz	Mode2
f_z^*	0,6182 Hz	Mode3

z = lattian yläpinnan korkeustaso

	Torni T3		Massa* Mi [t]	Väännön massahitaus* Ji [tm ²]	Värähtelyn ominaismuodot			Taso
	H [m] kerros	136,625 z[m]			$\psi_x(z)$	$\psi_y(z)$	$\psi_z(z)$	
Anturat	0	0	0	0	0,0000	0,0000	0,0018	-13,900
K3	1	3,000	206,14	6935,87	0,0010	0,0017	0,0032	-10,900
K2	2	7,600	2744,82	813674,67	0,0082	0,0088	0,0110	-6,300
K1	3	11,700	2283,09	631032,8	0,0192	0,0194	0,0133	-2,200
KRS1, katutaso	4	17,000	2776,57	786579,58	0,0403	0,0390	0,0283	3,100
KRS2	5	21,800	2362,37	634678,95	0,0676	0,0657	0,0663	7,900
KRS3	6	27,600	2684,77	782879,32	0,1042	0,1018	0,1232	13,700
KRS4	7	32,900	2673,76	790848,94	0,1397	0,1390	0,1683	19,000
KRS5	8	39,200	2638,87	746458,17	0,1846	0,2043	0,2281	25,300
KRS6	9	42,800	1311,72	173842,57	0,2078	0,2231	0,2591	28,900
KRS7	10	46,100	1274,14	170840,19	0,2300	0,2463	0,2919	32,200
KRS8	11	49,400	1286,52	171005,62	0,2532	0,2700	0,3251	35,500
KRS9	12	52,700	1284,36	170993,92	0,2770	0,2942	0,3587	38,800
KRS9	13	56,000	1187,12	161930,84	0,3019	0,3194	0,3958	42,100
KRS10	14	59,400	1187,33	161988,48	0,3352	0,3546	0,4354	45,500
KRS11	15	62,600	1187,38	161984,62	0,3538	0,3711	0,4708	48,700
KRS12	16	65,900	1187,16	161935,33	0,3806	0,3975	0,5078	52,000
KRS13	17	69,200	1187,18	161955,03	0,4079	0,4242	0,5447	55,300
KRS14	18	72,500	1186,67	161910,21	0,4356	0,4511	0,5812	58,600
KRS15	19	75,800	1187,13	161935,94	0,4637	0,4782	0,6163	61,900
KRS16	20	79,100	1187,21	161950,06	0,4921	0,5055	0,6505	65,200
KRS17	21	82,400	1187,5	162016,05	0,5208	0,5328	0,6829	68,500
KRS18	22	85,700	1187,02	161916,54	0,5496	0,5598	0,7143	71,800
KRS19	23	89,000	1187,22	161985,78	0,5783	0,5878	0,7448	75,100
KRS20	24	92,300	1188,35	162055,39	0,6078	0,6155	0,7737	78,400
KRS21	25	95,600	1196,15	164473,15	0,6381	0,6423	0,8014	81,700
KRS22	26	99,500	1295,39	178983,09	0,6703	0,6726	0,8333	85,600
KRS23	27	49,900	1079,98	150366,89	0,6987	0,7017	0,8594	88,900
KRS24	28	106,100	1080,09	150392,97	0,7267	0,7297	0,8838	92,200
KRS25	29	109,400	1073,91	148764,85	0,7559	0,7577	0,9061	95,500
KRS26	30	112,700	1073,29	148566,23	0,7849	0,7857	0,9264	98,800
KRS27	31	116,000	1073,18	148542,64	0,8139	0,8153	0,9453	102,100
KRS28	32	119,300	1083,07	151010,6	0,8424	0,8454	0,9619	105,400
KRS29, kattoterassi	33	123,300	1246,67	170073,43	0,8812	0,8795	0,9775	109,4
KRS30	34	126,900	543,07	38253,26	0,9064	0,8995	0,9854	113
KRS31	35	130,500	526,2	38922,37	0,9329	0,9189	0,9917	116,6
tomin huippu	36	136,625	1154,38	113410,43	1,0000	1,0000	1,0000	122,725

50198.78

z = lattian yläpinnan korkeustaso

fx * 0.282 Hz
 fy * 0.367 Hz
 ft * 0.479 Hz

Torni T4	H [m]	147.4	Massa*	Väännön	Värähtelyn ominaismuodot		
Kerros	z[m]	Mi [t]	Ji [tm2]	ux(z)	uy(z)	φt(z)	
K4	-13.9	0	0	0.000	0.000	0.000	
K3	-10.1	1902.093	266293.0375	0.025	0.025	0.025	
K2	-6.3	1889.934	264590.725	0.050	0.050	0.050	
K1	-2.2	1919.619	268746.625	0.075	0.075	0.075	
1	3.1	2083.74	291723.6	0.100	0.100	0.100	
2	7.9	1849.938	258991.25	0.125	0.125	0.125	
3	13.7	1883.033	263624.55	0.150	0.150	0.150	
4	19	1792.126	250897.5875	0.175	0.175	0.175	
5	22.6	2231.223	312371.15	0.200	0.200	0.200	
6	25.9	1420.656	198891.7875	0.225	0.225	0.225	
7	29.2	1375.369	192551.7125	0.250	0.250	0.250	
8	32.5	1375.369	192551.7125	0.275	0.275	0.275	
9	35.8	1375.369	192551.7125	0.300	0.300	0.300	
10	39.1	1303.154	182441.525	0.325	0.325	0.325	
11	42.4	1259.228	176291.85	0.350	0.350	0.350	
12	45.7	1303.154	182441.525	0.375	0.375	0.375	
13	49	1347.083	188591.6375	0.400	0.400	0.400	
14	52.3	1303.154	182441.525	0.425	0.425	0.425	
15	55.6	1303.154	182441.525	0.450	0.450	0.450	
16	58.9	1303.154	182441.525	0.475	0.475	0.475	
17	62.2	1303.154	182441.525	0.500	0.500	0.500	
18	65.5	1303.154	182441.525	0.525	0.525	0.525	
19	68.8	1303.154	182441.525	0.550	0.550	0.550	
20	72.1	1303.154	182441.525	0.575	0.575	0.575	
21	75.4	1303.154	182441.525	0.600	0.600	0.600	
22	78.7	1303.154	182441.525	0.625	0.625	0.625	
23	82	1303.154	182441.525	0.650	0.650	0.650	
24	85.3	1303.154	182441.525	0.675	0.675	0.675	
25	88.6	1202.316	168324.275	0.700	0.700	0.700	
26	92.2	1202.316	168324.275	0.725	0.725	0.725	
27	95.5	1202.316	168324.275	0.750	0.750	0.750	
28	98.8	1202.316	168324.275	0.775	0.775	0.775	
29	102.1	1202.316	168324.275	0.800	0.800	0.800	
30	105.4	1202.316	168324.275	0.825	0.825	0.825	
31	108.7	1202.316	168324.275	0.850	0.850	0.850	
32	112	1202.316	168324.275	0.875	0.875	0.875	
33	115.3	1202.316	168324.275	0.900	0.900	0.900	
34	118.6	1202.316	168324.275	0.925	0.925	0.925	
35	122.6	1263.954	176953.525	0.950	0.950	0.950	
36	127.6	868.125	121537.5	0.975	0.975	0.975	
37	133.5	1024.375	143412.5	1.000	1.000	1.000	

55825.39

Torni 5

z on lattian yläpinnan korkeustaso

Kerros	Taso	z [m]	Massa Mi[t]	Väännön Massahitaus Ji [tm2]	Värähtelyn ominaismuodot		
					ux(z)	uy(z)	φt(z)
Anturat	-13.9	0	0	0	0	0	0
K3	-10.1	3.8	411.9	29723.39	0.002	0.003	0.005
K2	-6.3	7.6	1639.71	338091.16	0.007	0.010	0.013
K1	-2.2	11.7	1435.79	296091.04	0.016	0.022	0.024
KRS 1, katutaso	3.1	17.2	1342.07	236846.67	0.036	0.045	0.057
KRS 2	7.9	22	889.95	107011.04	0.063	0.073	0.132
KRS 3	13.7	27.8	986.24	121632.71	0.107	0.109	0.161
KRS 4	19	33.1	1209.97	184995.22	0.153	0.145	0.174
KRS 5	22	36.1	775.24	90106.05	0.176	0.171	0.216
KRS 6	25.3	39.4	1485.48	265017.06	0.196	0.198	0.242
KRS 7	28.9	43	1290.51	169863.56	0.220	0.223	0.277
KRS 8	32.2	46.3	1237.95	163364.18	0.243	0.246	0.308
KRS 9	35.5	49.6	1237.95	163364.18	0.268	0.269	0.341
KRS 10	38.8	52.9	1130.52	152158.22	0.292	0.292	0.375
KRS 11	42.1	56.2	1130.52	152158.22	0.316	0.317	0.417
KRS 12	45.4	59.5	1130.52	152158.22	0.340	0.342	0.449
KRS 13	48.7	62.8	1130.52	152158.22	0.373	0.367	0.486
KRS 14	52	66.1	1130.52	152158.22	0.401	0.393	0.523
KRS 15	55.3	69.4	1130.52	152158.22	0.430	0.420	0.560
KRS 16	58.6	72.7	1130.52	152158.22	0.459	0.447	0.596
KRS 17	61.9	76	1130.52	152158.22	0.488	0.475	0.631
KRS 18	65.2	79.3	1130.52	152158.22	0.518	0.503	0.666
KRS 19	68.5	82.6	1130.52	152158.22	0.548	0.532	0.699
KRS 20	71.8	85.9	1130.52	152158.22	0.578	0.560	0.731
KRS 21	75.1	89.2	1130.52	152158.22	0.609	0.589	0.762
KRS 22	78.4	92.5	1130.52	152158.22	0.639	0.619	0.791
KRS 23	82.3	96.4	1127.92	181537.18	0.675	0.654	0.822
KRS 24	85.6	99.7	1178.83	194686.2	0.706	0.684	0.848
KRS 25	88.9	103	1178.83	194686.2	0.736	0.715	0.871
KRS 26	92.2	106.3	1178.83	194686.2	0.766	0.746	0.891
KRS 27	95.5	109.6	1178.83	194686.2	0.796	0.777	0.911
KRS 28	98.8	112.9	1178.83	194686.2	0.826	0.808	0.929
KRS 29	102.1	116.2	1178.83	194686.2	0.856	0.839	0.946
KRS 30	106.1	120.2	1592.58	260686.41	0.892	0.877	0.964
KRS 31	109.7	123.8	708.96	61353.08	0.923	0.911	0.977
KRS 32	113.3	127.4	686.58	60503.36	0.954	0.946	0.986
Vesikatko	118.8	132.9	1554.85	229552.7	1.000	1.000	1.000

Mode 1	fx	0.376 Hz
Mode 2	fy	0.567 Hz
Mode 3	ft	0.641 Hz



Torni T6

f_x^*	0,412	Hz
f_y^*	0,545	Hz
f_t^*	0,631	Hz

z = lattian yläpinnan korkeustaso

	Torni T6		Massa*	Väännön massahitaus*	Värähtelyn ominaismuodot			
	H [m]	Taso			M_i [t]	J_i [tm ²]	$u_x(z)$	$u_y(z)$
Perustamistaso	Kerroksen katto	117,00						
		-13,90				0,000	0,000	0,001
	K4	-10,10	557,59	62957,94	0,976	0,985	0,994	
Katutaso	K3	-6,30	2319,59	948886,82	0,015	0,022	0,067	
	K2	-2,20	2605,57	1058028,82	0,028	0,046	0,117	
	K1	3,10	2482,48	957559,21	0,055	0,087	0,171	
	KERROS 1	7,90	2261,55	803270,25	0,086	0,133	0,276	
	KERROS 2	13,70	2332,11	864311,96	0,126	0,197	0,333	
	KERROS 3	19,00	1036,01	184008,51	0,164	0,251	0,385	
	KERROS 4	22,05	2773,51	1216235,79	0,189	0,281	0,418	
	KERROS 5	25,90	1427,54	214944,41	0,221	0,315	0,442	
	KERROS 6	29,20	1112,83	171473,03	0,248	0,343	0,466	
	KERROS 7	32,50	1395,04	210867,39	0,274	0,370	0,491	
Jalustan yp	KERROS 8	36,10	1311,71	198242,26	0,306	0,400	0,523	
	KERROS 9	39,40	1177,20	179428,71	0,335	0,432	0,554	
	KERROS 10	42,70	1171,29	179268,12	0,367	0,460	0,586	
	KERROS 11	46,00	1174,75	179343,96	0,397	0,490	0,618	
	KERROS 12	49,30	1174,75	179342,84	0,430	0,521	0,649	
	KERROS 13	52,60	1174,75	179343,06	0,463	0,551	0,680	
	KERROS 14	55,90	1174,75	179343	0,495	0,579	0,710	
	KERROS 15	59,20	1174,75	179342,87	0,530	0,610	0,740	
	KERROS 16	62,50	1174,75	179343,08	0,564	0,640	0,768	
	KERROS 17	65,80	1170,61	178151,77	0,595	0,672	0,795	
Kierto	KERROS 18	69,70	1385,23	221118,28	0,638	0,707	0,824	
	KERROS 19	73,00	1112,78	162334,76	0,671	0,735	0,848	
	KERROS 20	76,30	1104,72	159089,11	0,706	0,764	0,871	
	KERROS 21	79,60	1127,74	165660,43	0,745	0,798	0,892	
	KERROS 22	82,90	1116,23	162375,06	0,774	0,825	0,912	
	KERROS 23	86,20	1122,91	163332,49	0,809	0,855	0,930	
	KERROS 24	90,20	1639,08	247136,17	0,850	0,889	0,951	
	KERROS 25	93,80	607,21	50036,1	0,900	0,922	0,966	
	KERROS 26	97,40	660,40	54138,38	0,936	0,953	0,982	
	KERROS 27	101,00	748,98	61387,47	0,976	0,985	0,994	
Kattoterassi	VESIKATTO	103,10	1433,74	212503,29	1,000	1,000	1,000	

TORNI 7

Mode 1	f_x^*	0,423 Hz
Mode 2	f_y^*	0,505 Hz
Mode 3	f_t^*	0,725 Hz

z = lattian yläpinnan korkeustaso

	Torni T7		T7	Väännön massahitaus*	Värähtelyn ominaismuodot			Taso
	H [m]	0,000			Massa*	massahitaus*	$\varphi_x(z)$	
Anturat	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-13,90
K3	1	3,80	143,69	25329,14	0,04	0,04	0,04	-10,10
K2	2	7,60	3851,38	1965508,94	0,07	0,07	0,07	-6,30
K1	3	11,70	3487,63	1736881,26	0,11	0,11	0,11	-2,20
KRS1, katutaso	4	17,00	4298,50	2149082,53	0,16	0,16	0,16	3,10
KRS2	5	21,80	3420,09	1687313,86	0,21	0,21	0,21	7,90
KRS3	6	27,60	4477,14	2167969,98	0,26	0,26	0,26	13,70
KRS4	7	32,90	4225,62	2031841,46	0,31	0,31	0,31	19,00
KRS5	8	40,10	5094,37	2401956,51	0,38	0,38	0,38	26,20
KRS6	9	43,70	1435,72	207442,30	0,42	0,42	0,42	29,80
KRS7	10	47,00	1159,11	164453,19	0,45	0,45	0,45	33,10
KRS8	11	50,30	1145,34	162868,18	0,48	0,48	0,48	36,40
KRS9	12	53,60	1157,96	164130,72	0,51	0,51	0,51	39,70
KRS9	13	56,90	1057,09	153590,91	0,54	0,54	0,54	43,00
KRS10	14	60,20	1057,15	153613,59	0,57	0,57	0,57	46,30
KRS11	15	63,50	1057,14	153610,69	0,61	0,61	0,61	49,60
KRS12	16	66,80	1057,10	153596,33	0,64	0,64	0,64	52,90
KRS13	17	70,10	1057,17	153619,31	0,67	0,67	0,67	56,20
KRS14	18	73,40	1057,12	153603,20	0,70	0,70	0,70	59,50
KRS15	19	76,70	1018,99	148070,79	0,73	0,73	0,73	62,80
KRS16	20	80,00	1016,57	147721,41	0,76	0,76	0,76	66,10
KRS17	21	83,30	1016,49	147693,41	0,79	0,79	0,79	69,40
KRS18	22	86,60	1018,02	147951,83	0,83	0,83	0,83	72,70
KRS19	23	89,90	1033,93	153115,69	0,86	0,86	0,86	76,00
KRS20	24	94,90	803,42	124437,36	0,90	0,90	0,90	81,00
KRS21	25	99,65	824,11	137322,85	0,95	0,95	0,95	85,75
KRS22	26	104,95	827,56	138340,27	1,00	1,00	1,00	91,05
			47798,43					

TORNI 8

Mode 1	f_x^*	0,380 Hz
Mode 2	f_y^*	0,454 Hz
Mode 3	f_t^*	0,651 Hz

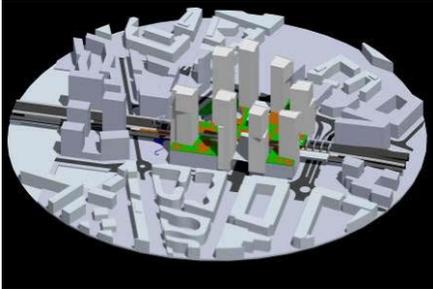
z = lattian yläpinnan korkeustaso

	Torni T8		T8 Massa* Mi [t]	Vaännön massahitaus* Ji [tm ²]	Värähtelyn ominaismuodot			Taso
	H [m] kerros	0,000 z[m]			$\psi_x(z)$	$\psi_y(z)$	$\psi_t(z)$	
Anturat	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-13,90
K3	1	3,80	113,19	19952,72	0,03	0,03	0,03	-10,10
K2	2	7,60	2930,74	1495669,60	0,06	0,06	0,06	-6,30
K1	3	11,70	2653,94	1321693,55	0,10	0,10	0,10	-2,20
KRS1, katutaso	4	17,00	3261,94	1630840,87	0,14	0,14	0,14	3,10
KRS2	5	21,80	2802,03	1382391,56	0,19	0,19	0,19	7,90
KRS3	6	27,60	2685,12	1300215,21	0,24	0,24	0,24	13,70
KRS4	7	32,90	2659,66	1278870,42	0,28	0,28	0,28	19,00
KRS5	8	40,10	3206,47	1511826,18	0,34	0,34	0,34	26,20
KRS6	9	43,70	1519,82	219593,28	0,37	0,37	0,37	29,80
KRS7	10	47,00	1227,00	174086,08	0,40	0,40	0,40	33,10
KRS8	11	50,30	1212,43	172408,23	0,43	0,43	0,43	36,40
KRS9	12	53,60	1225,79	173744,72	0,46	0,46	0,46	39,70
KRS9	13	56,90	1119,01	162587,53	0,48	0,48	0,48	43,00
KRS10	14	60,20	1119,08	162611,54	0,51	0,51	0,51	46,30
KRS11	15	63,50	1119,07	162608,47	0,54	0,54	0,54	49,60
KRS12	16	66,80	1119,02	162593,28	0,57	0,57	0,57	52,90
KRS13	17	70,10	1119,10	162617,59	0,60	0,60	0,60	56,20
KRS14	18	73,40	1119,04	162600,54	0,63	0,63	0,63	59,50
KRS15	19	76,70	1121,77	163005,23	0,65	0,65	0,65	62,80
KRS16	20	80,00	1119,10	162620,61	0,68	0,68	0,68	66,10
KRS17	21	83,30	1237,84	179855,45	0,71	0,71	0,71	69,40
KRS18	22	86,60	1239,71	180170,15	0,74	0,74	0,74	72,70
KRS19	23	89,90	1259,08	186458,50	0,77	0,77	0,77	76,00
KRS20	24	93,80	1331,37	206207,57	0,80	0,80	0,80	79,90
KRS21	25	97,10	1365,65	227560,38	0,83	0,83	0,83	83,20
KRS22	26	100,40	1371,36	229246,36	0,86	0,86	0,86	86,50
KRS23	27	49,90	1143,91	163709,51	0,43	0,43	0,43	89,80
KRS24	28	107,00	1143,50	163705,53	0,91	0,91	0,91	93,10
KRS25	29	110,10	598,57	85674,34	0,94	0,94	0,94	96,20
KRS26	30	113,30	599,13	85681,54	0,97	0,97	0,97	99,40
KRS27	31	117,32	599,14	85663,82	1,00	1,00	1,00	103,42
			46342,58					

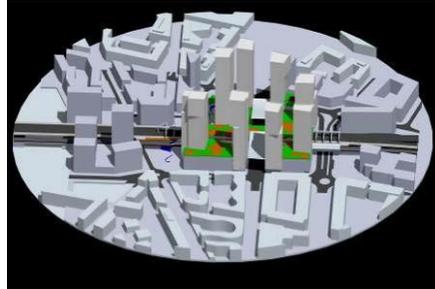
Liite 2 Tuulen suuntakulmien havainnekuvat

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

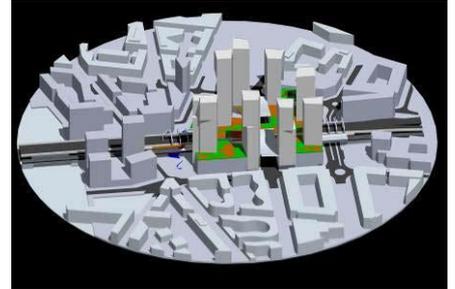
$\theta = 0^\circ$



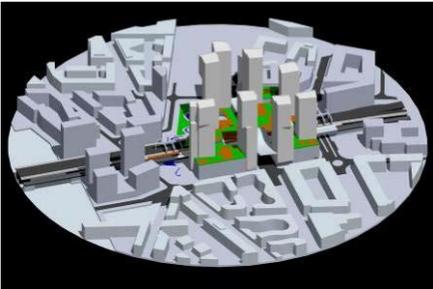
$\theta = 10^\circ$



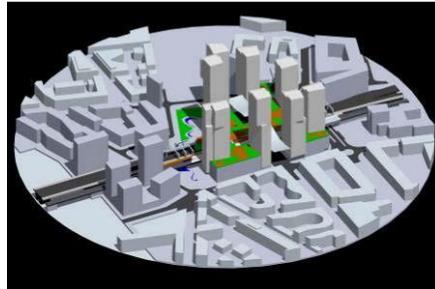
$\theta = 20^\circ$



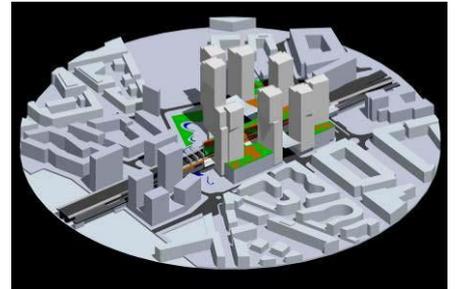
$\theta = 30^\circ$



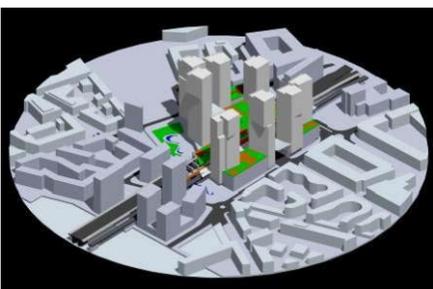
$\theta = 40^\circ$



$\theta = 50^\circ$



$\theta = 60^\circ$



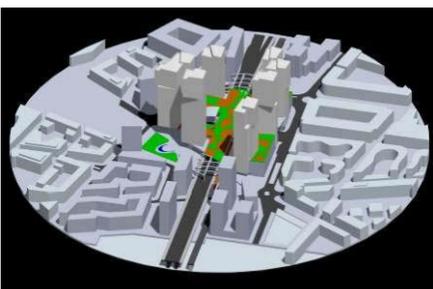
$\theta = 70^\circ$



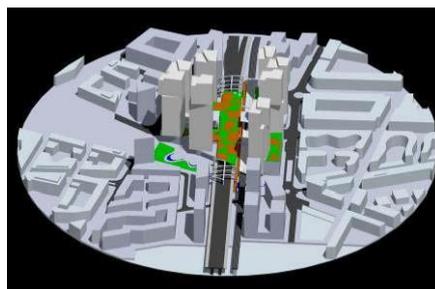
$\theta = 80^\circ$



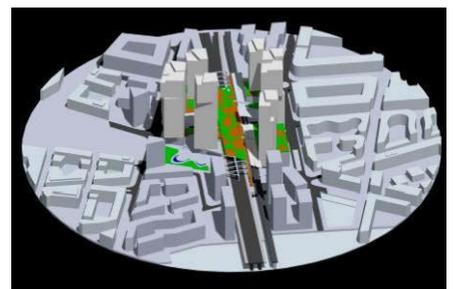
$\theta = 90^\circ$



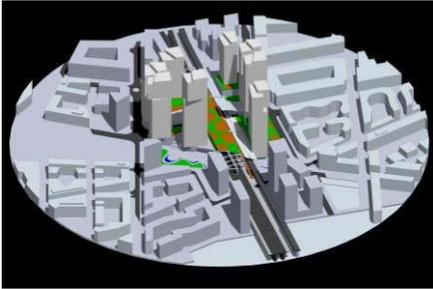
$\theta = 100^\circ$



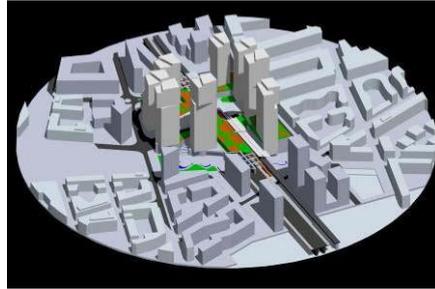
$\theta = 110^\circ$



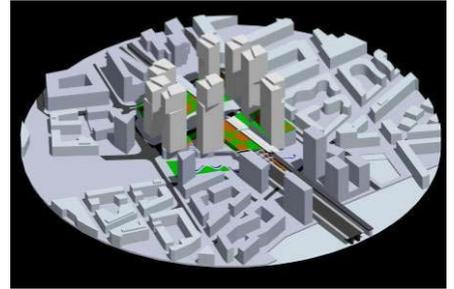
$\theta = 120^\circ$



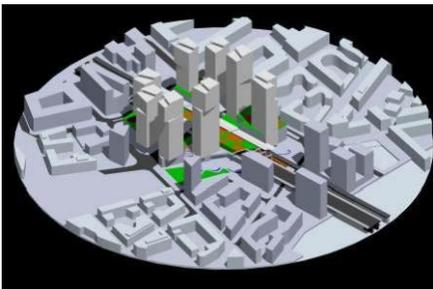
$\theta = 130^\circ$



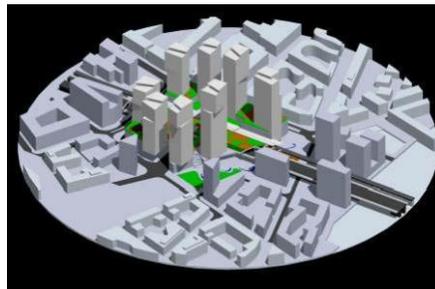
$\theta = 140^\circ$



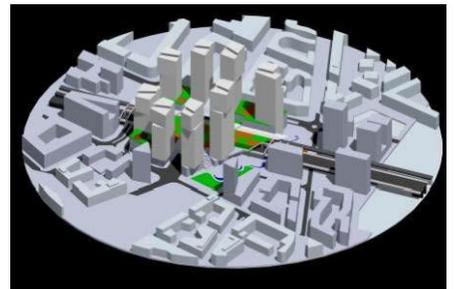
$\theta = 150^\circ$



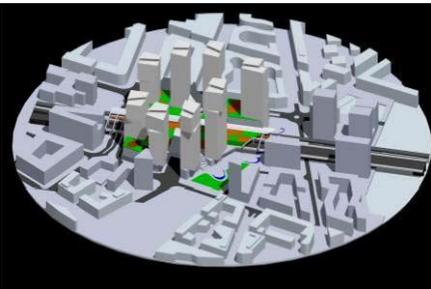
$\theta = 160^\circ$



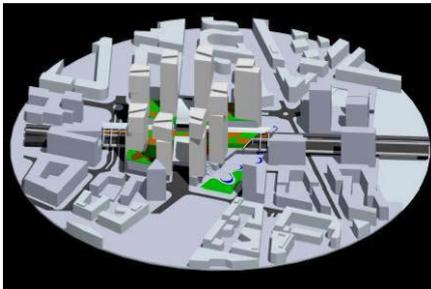
$\theta = 170^\circ$



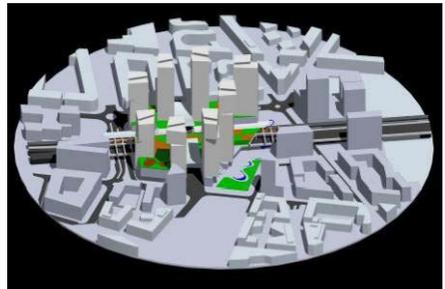
$\theta = 180^\circ$



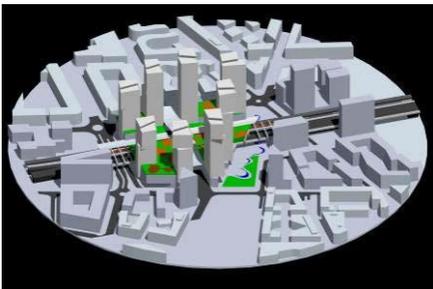
$\theta = 190^\circ$



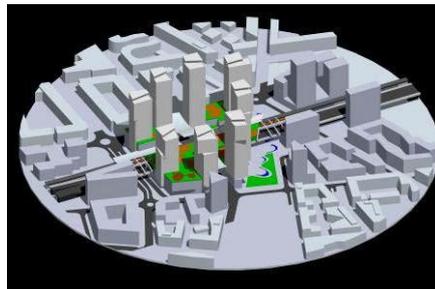
$\theta = 200^\circ$



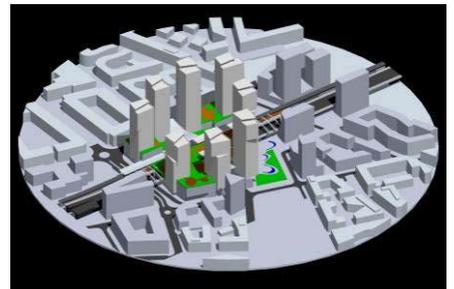
$\theta = 210^\circ$



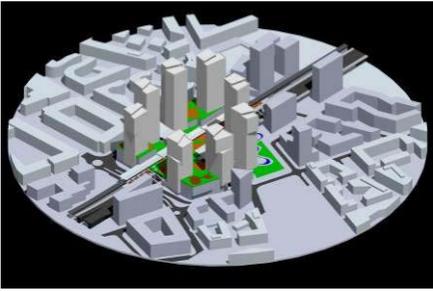
$\theta = 220^\circ$



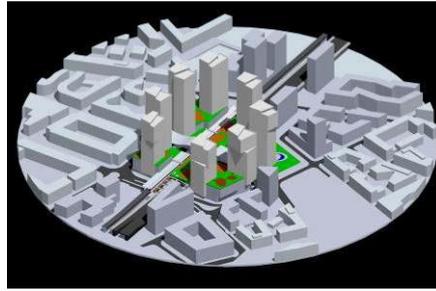
$\theta = 230^\circ$



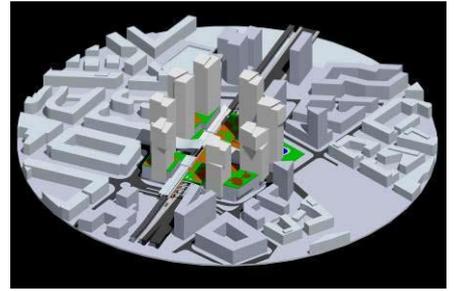
$\theta = 240^\circ$



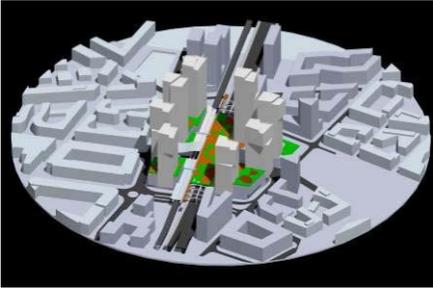
$\theta = 250^\circ$



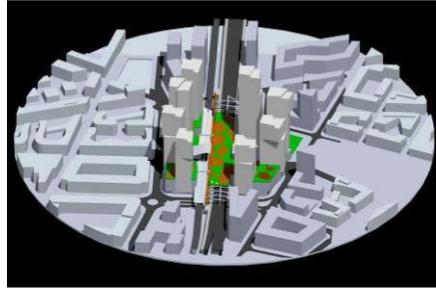
$\theta = 260^\circ$



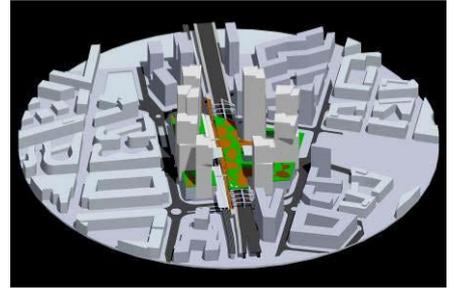
$\theta = 270^\circ$



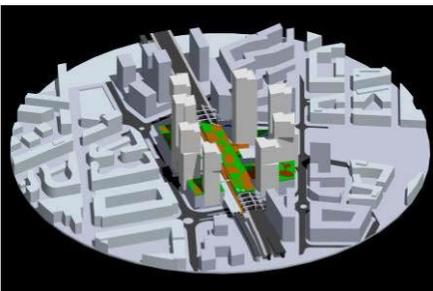
$\theta = 280^\circ$



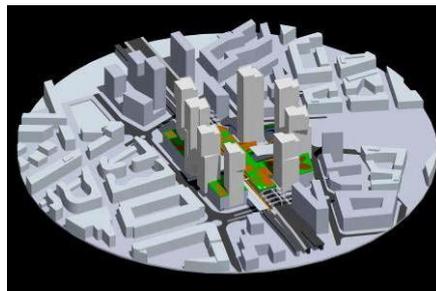
$\theta = 290^\circ$



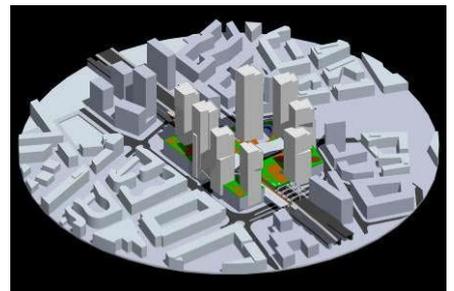
$\theta = 300^\circ$



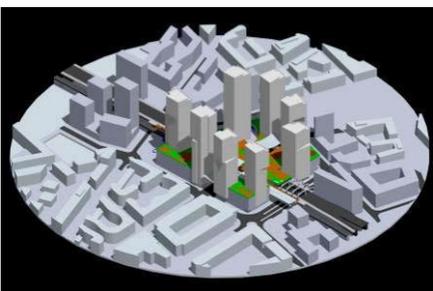
$\theta = 310^\circ$



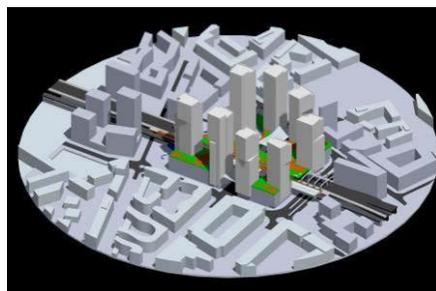
$\theta = 320^\circ$



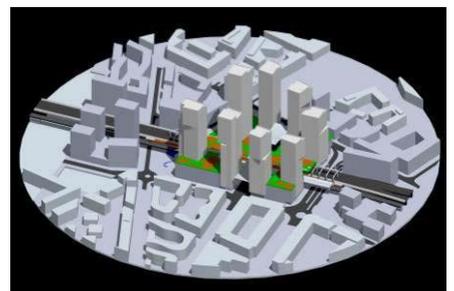
$\theta = 330^\circ$



$\theta = 340^\circ$



$\theta = 350^\circ$



Liite 3 Spektraalitiheyksien määrittäminen

Tornien värähtelyvasteiden määrittämiseksi mitatuista voimien ja momenttien aikahistorioista on määritetty voima ja momenttikomponenttien F_x , F_y ja M_z spektraalitiheydet. Spektraalitiheydet on määritetty FFT-tekniikkaan perustuvalla tietokoneohjelmistolla.

Spektraalitiheyksistä on poistettu laskennallisesti vaaka-torni -systeemin oman resonanssin vaikutus taajuusriippuvalla korjaustekijällä. Vastaavat ominaistajuudet ja ominaismuoto-kohtaiset vaimennukset ovat olleet:

X-akselin suuntaisessa voimassa $f_0 = 22,0$ Hz, $\zeta = 0,02$

Y-akselin suuntaisessa voimassa $f_0 = 27,3$ Hz, $\zeta = 0,03$.

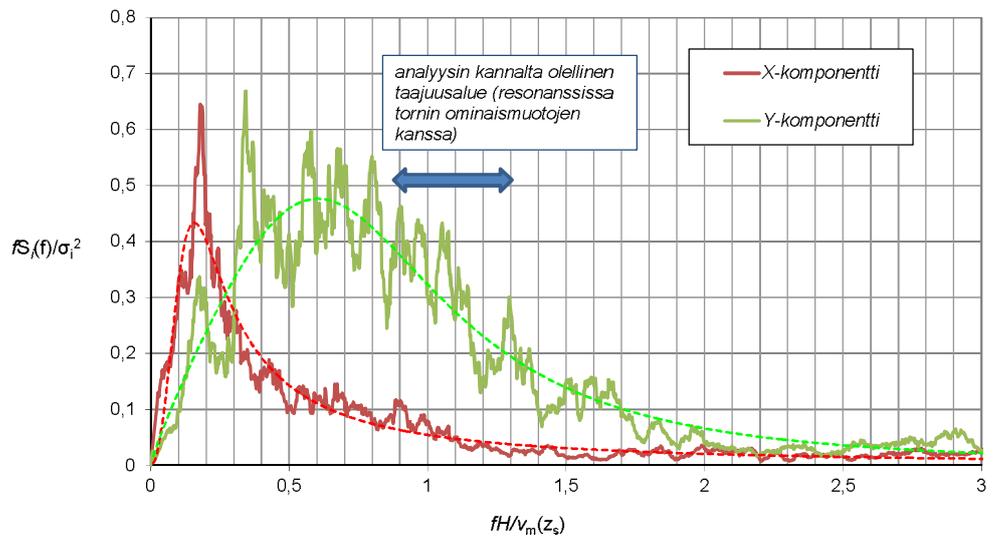
Voimaresultanttien osalta korjaustekijällä on merkitystä n. 10 Hz taajuuksista ylöspäin. Korjaustekijän lauseke on $1/k$ missä

$$k = \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta\left(\frac{f}{f_0}\right)\right]^2}$$

Spektraalitiheyksissä esiintyy luonnollista satunnaisuutta, joka on otettu huomioon käyttämällä analyysissä keskimääräistä arvoa. Keskimääräinen arvo on määritetty sovittamalla normeerattuihin spektraalitiheyksiin eksponentti-tyyppinen käyrä, vrt. kuva alla. Kuvassa S_i = mitattu spektraalitiheyden arvo, σ_i = mitatun suureen varianssi, $v_m(z_s)$ on virtauksen keskinopeus korkeudella $z_s = 0,6H$ (missä H on tornin pienoismallin korkeus).

Koska korkealla taajuusalueella tornia kaatavien momenttien M_y ja M_x mitaustulosten signaali-kohina suhde on ollut parempi kuin voimaresultanteissa, on voimaresultantit laskettu kaavoilla $F_x = M_y/e_y$ ja $F_y = M_x/e_x$, missä epäkeskisyydet e_y ja e_x on määritetty alhaisen taajuusalueen tulostan mukaan.

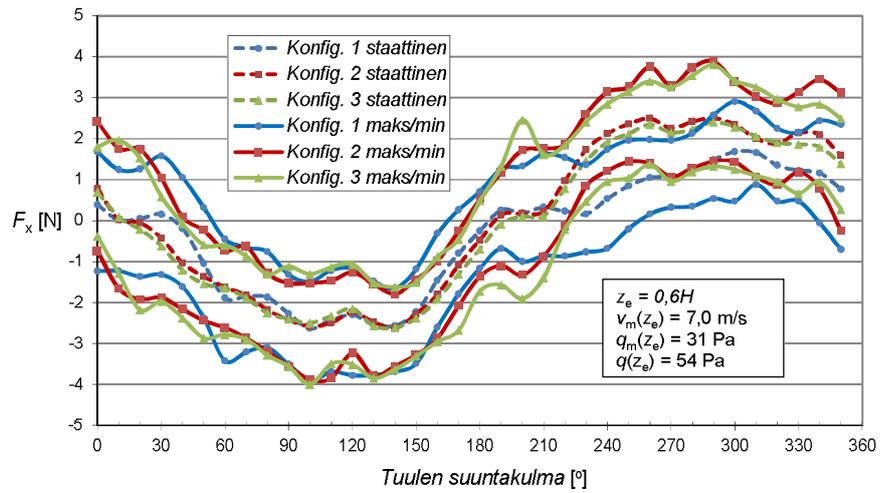
Normeeratut spektraalitiheydet tuulitunnelikokeessa



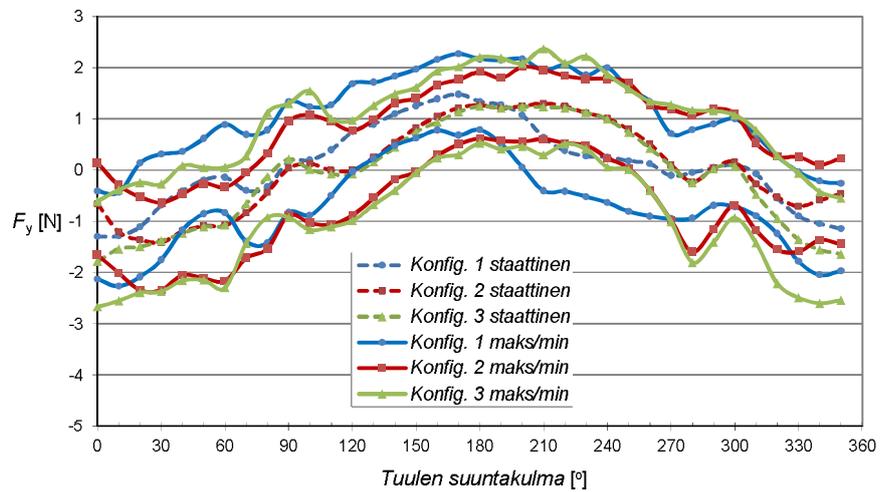
Liite 4 Mitatut voima- ja momenttiresultantit

Tuulitunnelikokeen suorat mittaustulokset on esitetty oheisissa kuvissa ja taulukoissa (tuloksia ei ole skaalattu täyteen mittakaavaan). Tulokset liittyvät 1:260 mittakaavassa mallinnetun korkeimman tornin juuren voimiin/momenttiin virtausnopeudessa, jossa virtauksen nopeuspaineen aikakeskiarvo = 31 Pa korkeudella $0,6H_m$, missä H_m = tornin pienoismallin korkeus.

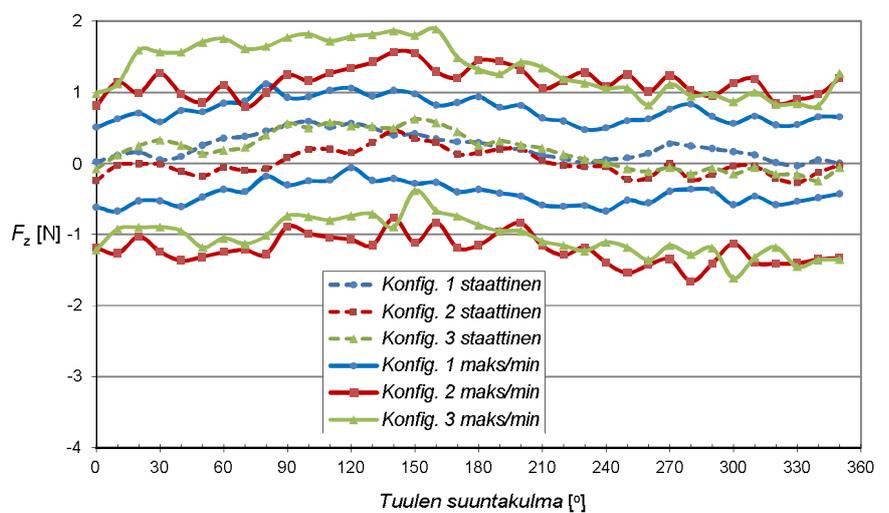
Mittaustulokset: voiman X-komponentti



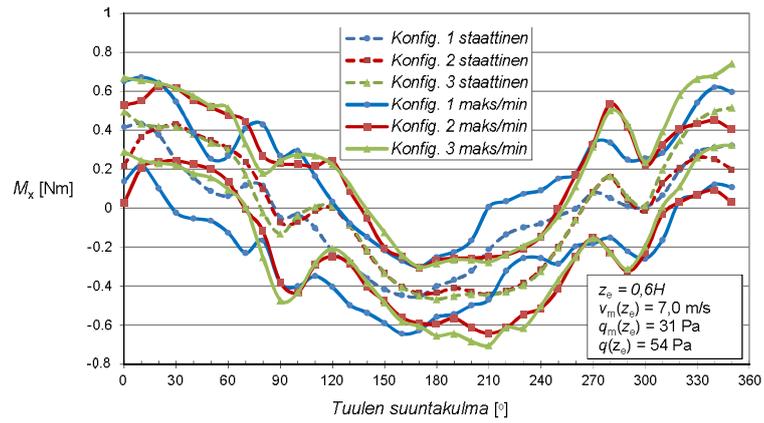
Mittaustulokset: voiman Y-komponentti



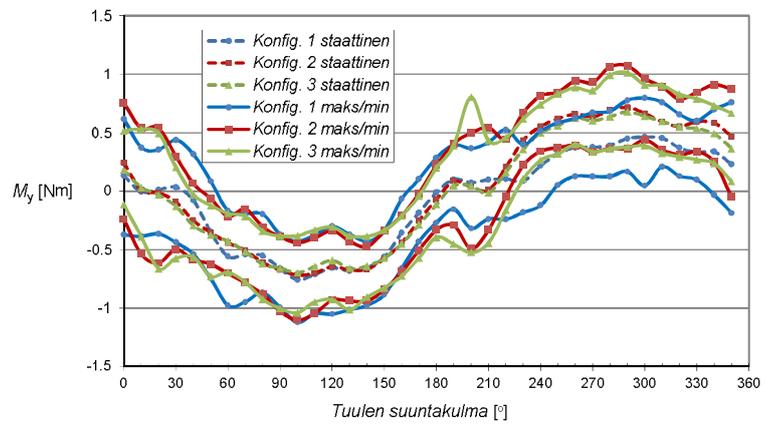
Mittaustulokset: voiman Z-komponentti



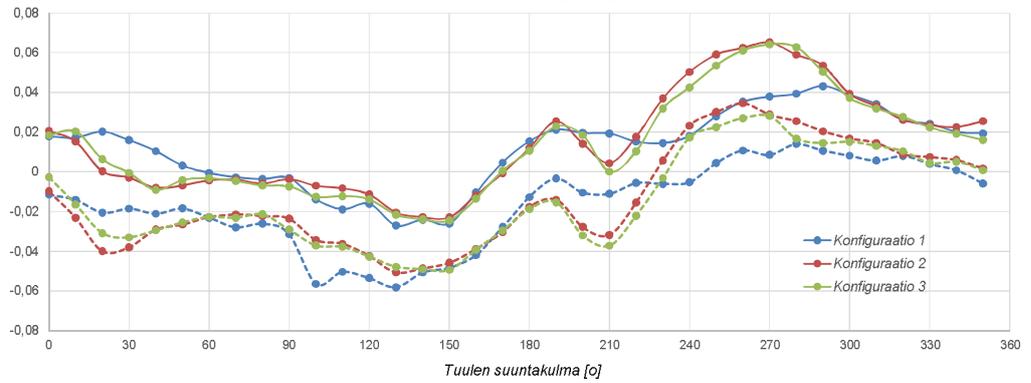
Mittaustulokset: momentti X-akselin ympäri



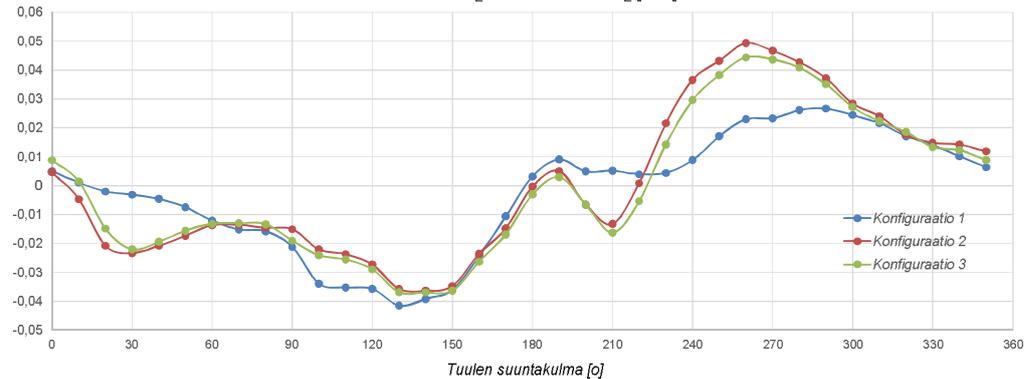
Mittaustulokset: momentti Y-akselin ympäri



M_z ääriarvot M_z [Nm]



M_z aikakeskiarvo M_z [Nm]



Voiman/momentin aikakeskiarvo (maksimi, konfiguraatiot 1-3)

Θ [°]	F_x [N]	F_y [N]	F_z [N]	M_x [Nm]	M_y [Nm]	M_z [Nm]
0	0,77	-0,67	0,02	0,49	0,24	0,009
10	0,09	-1,21	0,12	0,43	0,03	0,001
20	0,05	-1,11	0,25	0,42	0,01	-0,002
30	0,15	-0,69	0,32	0,43	0,03	-0,003
40	-0,20	-0,41	0,26	0,38	-0,08	-0,005
50	-1,05	-0,20	0,25	0,35	-0,35	-0,007
60	-1,63	-0,14	0,35	0,31	-0,43	-0,012
70	-1,82	-0,40	0,38	0,24	-0,51	-0,013
80	-1,88	-0,13	0,45	0,11	-0,55	-0,013
90	-2,28	0,21	0,56	-0,05	-0,66	-0,015
100	-2,50	0,20	0,59	-0,03	-0,70	-0,022
110	-2,33	0,39	0,58	0,01	-0,64	-0,024
120	-2,15	0,75	0,56	0,01	-0,59	-0,027
130	-2,48	0,90	0,52	-0,08	-0,66	-0,036
140	-2,57	1,10	0,50	-0,22	-0,64	-0,036
150	-2,24	1,26	0,62	-0,33	-0,56	-0,035
160	-1,46	1,39	0,57	-0,40	-0,36	-0,024
170	-0,80	1,48	0,45	-0,44	-0,18	-0,011
180	-0,25	1,34	0,29	-0,40	-0,01	0,003
190	0,26	1,27	0,31	-0,37	0,10	0,009
200	0,18	1,25	0,26	-0,32	0,07	0,005
210	0,32	1,30	0,21	-0,21	0,10	0,005
220	0,97	1,25	0,12	-0,14	0,20	0,004
230	1,73	1,12	0,06	-0,10	0,43	0,022
240	2,12	1,01	0,05	-0,08	0,55	0,037
250	2,36	0,80	0,08	-0,04	0,62	0,043
260	2,50	0,51	0,14	0,00	0,66	0,049
270	2,26	0,11	0,27	0,08	0,64	0,047
280	2,41	-0,05	0,24	0,16	0,69	0,043
290	2,51	0,04	0,21	0,06	0,72	0,037
300	2,34	0,15	0,16	0,01	0,67	0,028
310	2,06	-0,07	0,12	0,20	0,60	0,024
320	1,90	-0,53	0,01	0,35	0,55	0,019
330	2,14	-0,71	-0,04	0,45	0,60	0,015
340	2,10	-0,59	0,04	0,50	0,58	0,014
350	1,59	-0,46	0,00	0,52	0,47	0,012
<i>Maks</i>	2,51	1,48	0,62	0,52	0,72	0,049
<i>Min</i>	-2,57	-1,21	-0,04	-0,44	-0,70	-0,036

Voiman/momentin aikakeskiarvo (minimi, konfiguraatiot 1-3)

Θ [°]	F_x [N]	F_y [N]	F_z [N]	M_x [Nm]	M_y [Nm]	M_z [Nm]
0	0,39	-1,79	-0,25	0,22	0,13	0,005
10	0,02	-1,54	-0,03	0,37	0,00	-0,005
20	-0,22	-1,50	-0,01	0,38	-0,03	-0,021
30	-0,62	-1,41	-0,01	0,24	-0,13	-0,023
40	-1,22	-1,24	-0,12	0,16	-0,29	-0,021
50	-1,55	-1,11	-0,18	0,09	-0,37	-0,017
60	-1,89	-1,08	-0,06	0,06	-0,56	-0,014
70	-1,89	-0,84	-0,10	0,12	-0,54	-0,015
80	-2,26	-0,44	-0,08	-0,02	-0,62	-0,016
90	-2,42	0,03	0,08	-0,13	-0,67	-0,021
100	-2,64	0,01	0,20	-0,07	-0,76	-0,034
110	-2,49	-0,08	0,20	-0,10	-0,71	-0,035
120	-2,31	-0,08	0,15	-0,22	-0,66	-0,036
130	-2,57	0,16	0,30	-0,29	-0,68	-0,042
140	-2,62	0,45	0,39	-0,36	-0,67	-0,039
150	-2,39	0,75	0,35	-0,42	-0,57	-0,036
160	-1,91	0,94	0,29	-0,45	-0,45	-0,026
170	-1,31	1,14	0,13	-0,45	-0,28	-0,017
180	-0,69	1,25	0,15	-0,47	-0,11	-0,003
190	-0,08	1,20	0,20	-0,45	0,05	0,003
200	0,10	1,07	0,19	-0,44	0,04	-0,007
210	0,10	0,64	0,03	-0,45	-0,01	-0,016
220	0,23	0,38	-0,03	-0,43	0,11	-0,005
230	0,16	0,27	-0,05	-0,39	0,09	0,004
240	0,53	0,25	-0,05	-0,32	0,22	0,009
250	0,85	0,18	-0,23	-0,20	0,32	0,017
260	1,05	0,12	-0,20	-0,06	0,37	0,023
270	1,08	-0,11	-0,06	0,08	0,38	0,023
280	1,20	-0,24	-0,23	0,05	0,39	0,026
290	1,48	0,03	-0,15	0,01	0,45	0,027
300	1,68	0,07	-0,15	-0,01	0,46	0,024
310	1,66	-0,48	-0,06	0,07	0,46	0,022
320	1,35	-0,95	-0,21	0,20	0,37	0,017
330	1,22	-1,36	-0,27	0,26	0,33	0,013
340	1,16	-1,56	-0,25	0,25	0,34	0,010
350	0,77	-1,64	-0,06	0,20	0,23	0,006
<i>Maks</i>	1,68	1,25	0,39	0,38	0,46	0,027
<i>Min</i>	-2,64	-1,79	-0,27	-0,47	-0,76	-0,042

Voiman/momentin keskihajonta (maksimi konfiguraatiosta 1-3)

Θ	F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z
[°]	[N]	[N]	[N]	[Nm]	[Nm]	[Nm]
0	0,42	0,32	0,31	0,06	0,13	0,004
10	0,45	0,33	0,31	0,07	0,13	0,005
20	0,53	0,34	0,35	0,07	0,16	0,006
30	0,37	0,33	0,36	0,08	0,12	0,005
40	0,39	0,32	0,37	0,06	0,12	0,004
50	0,36	0,32	0,37	0,05	0,11	0,003
60	0,39	0,31	0,38	0,05	0,11	0,003
70	0,37	0,33	0,38	0,09	0,11	0,004
80	0,32	0,31	0,38	0,08	0,09	0,003
90	0,36	0,32	0,38	0,09	0,10	0,004
100	0,37	0,34	0,37	0,09	0,11	0,005
110	0,39	0,32	0,36	0,08	0,11	0,005
120	0,37	0,32	0,36	0,07	0,10	0,005
130	0,37	0,30	0,34	0,06	0,09	0,005
140	0,31	0,29	0,35	0,06	0,08	0,004
150	0,28	0,27	0,33	0,06	0,08	0,004
160	0,31	0,27	0,33	0,06	0,08	0,005
170	0,29	0,26	0,33	0,05	0,08	0,005
180	0,29	0,26	0,33	0,05	0,08	0,005
190	0,36	0,26	0,33	0,05	0,10	0,006
200	0,48	0,41	0,33	0,06	0,15	0,008
210	0,38	0,41	0,33	0,06	0,11	0,005
220	0,36	0,47	0,33	0,06	0,09	0,005
230	0,33	0,45	0,33	0,06	0,08	0,005
240	0,32	0,47	0,34	0,06	0,08	0,004
250	0,30	0,44	0,34	0,06	0,07	0,005
260	0,33	0,42	0,33	0,06	0,08	0,005
270	0,35	0,30	0,34	0,08	0,09	0,006
280	0,38	0,38	0,35	0,11	0,10	0,006
290	0,39	0,35	0,33	0,11	0,10	0,006
300	0,33	0,29	0,34	0,07	0,11	0,005
310	0,31	0,27	0,33	0,06	0,09	0,005
320	0,32	0,29	0,32	0,06	0,08	0,003
330	0,31	0,28	0,32	0,06	0,08	0,003
340	0,33	0,28	0,32	0,07	0,10	0,003
350	0,45	0,29	0,33	0,06	0,14	0,004

Voiman/momentin positiivinen huippuarvo (konfiguraatiot 1-3)

Θ [°]	F_x [N]	F_y [N]	F_z [N]	M_x [Nm]	M_y [Nm]	M_z [Nm]
0	2,41	0,13	0,98	0,67	0,76	0,021
10	1,96	-0,30	1,14	0,67	0,54	0,020
20	1,74	0,14	1,59	0,64	0,54	0,020
30	1,58	0,31	1,56	0,62	0,44	0,016
40	1,05	0,36	1,57	0,57	0,32	0,010
50	0,31	0,62	1,71	0,53	0,09	0,003
60	-0,46	0,89	1,75	0,51	-0,17	-0,001
70	-0,64	0,69	1,61	0,44	-0,15	-0,003
80	-0,77	1,12	1,64	0,43	-0,20	-0,004
90	-1,12	1,33	1,77	0,27	-0,37	-0,003
100	-1,31	1,54	1,82	0,29	-0,38	-0,007
110	-1,14	1,28	1,72	0,27	-0,33	-0,008
120	-1,06	1,69	1,78	0,24	-0,30	-0,011
130	-1,49	1,71	1,81	0,12	-0,37	-0,021
140	-1,62	1,83	1,86	-0,01	-0,39	-0,023
150	-1,18	1,97	1,80	-0,12	-0,33	-0,023
160	-0,31	2,16	1,89	-0,24	-0,06	-0,010
170	0,26	2,27	1,49	-0,30	0,10	0,005
180	0,71	2,21	1,44	-0,25	0,29	0,015
190	1,32	2,19	1,43	-0,23	0,41	0,025
200	2,46	2,17	1,42	-0,17	0,80	0,020
210	1,75	2,37	1,35	0,01	0,55	0,019
220	1,86	2,09	1,19	0,04	0,53	0,018
230	2,60	2,22	1,28	0,07	0,67	0,037
240	3,14	2,00	1,09	0,09	0,81	0,050
250	3,26	1,70	1,24	0,15	0,85	0,059
260	3,75	1,34	1,01	0,18	0,94	0,062
270	3,29	1,27	1,23	0,33	0,93	0,065
280	3,73	1,16	1,03	0,54	1,06	0,063
290	3,89	1,19	0,97	0,43	1,07	0,054
300	3,42	1,10	1,13	0,26	0,96	0,039
310	3,26	0,78	1,18	0,39	0,91	0,034
320	2,97	0,28	0,85	0,58	0,83	0,028
330	3,14	0,26	0,89	0,66	0,85	0,024
340	3,44	0,10	0,97	0,68	0,91	0,023
350	3,12	0,23	1,27	0,74	0,87	0,026
<i>Maks</i>	3,89	2,37	1,89	0,74	1,07	0,065
<i>Min</i>	-1,62	-0,30	0,85	-0,30	-0,39	-0,023

Voiman/momentin negatiivinen huippuarvo (konfiguraatiot 1-3)

Θ [°]	F_x [N]	F_y [N]	F_z [N]	M_x [Nm]	M_y [Nm]	M_z [Nm]
0	-1,23	-2,68	-1,22	0,03	-0,37	-0,012
10	-1,66	-2,56	-1,27	0,21	-0,54	-0,023
20	-2,18	-2,40	-1,03	0,10	-0,66	-0,040
30	-1,98	-2,38	-1,25	-0,02	-0,58	-0,038
40	-2,39	-2,16	-1,37	-0,05	-0,59	-0,029
50	-2,87	-2,15	-1,32	-0,06	-0,74	-0,027
60	-3,43	-2,30	-1,25	-0,13	-0,98	-0,023
70	-3,21	-1,72	-1,22	-0,23	-0,95	-0,028
80	-3,29	-1,53	-1,28	-0,25	-0,92	-0,026
90	-3,57	-0,93	-0,89	-0,47	-1,03	-0,031
100	-4,00	-1,17	-0,99	-0,43	-1,12	-0,056
110	-3,85	-1,11	-1,04	-0,35	-1,05	-0,050
120	-3,78	-0,99	-1,07	-0,40	-1,05	-0,054
130	-3,85	-0,68	-1,15	-0,50	-1,01	-0,058
140	-3,69	-0,40	-0,90	-0,54	-0,98	-0,051
150	-3,49	-0,05	-1,12	-0,59	-0,88	-0,049
160	-2,96	0,24	-0,84	-0,64	-0,72	-0,042
170	-2,68	0,30	-1,18	-0,63	-0,57	-0,030
180	-1,73	0,52	-1,15	-0,65	-0,39	-0,019
190	-1,58	0,41	-0,96	-0,64	-0,45	-0,015
200	-1,91	0,05	-0,96	-0,68	-0,52	-0,032
210	-1,40	-0,41	-1,16	-0,70	-0,44	-0,037
220	-0,87	-0,42	-1,30	-0,62	-0,24	-0,022
230	-0,77	-0,52	-1,23	-0,61	-0,18	-0,006
240	-0,68	-0,64	-1,40	-0,51	-0,12	-0,005
250	-0,20	-0,81	-1,54	-0,41	0,05	0,004
260	0,16	-0,90	-1,43	-0,25	0,13	0,011
270	0,32	-1,01	-1,35	-0,18	0,13	0,008
280	0,35	-1,81	-1,66	-0,23	0,13	0,014
290	0,54	-1,41	-1,41	-0,32	0,17	0,011
300	0,47	-0,93	-1,62	-0,26	0,05	0,008
310	0,88	-1,42	-1,40	-0,16	0,21	0,006
320	0,48	-2,22	-1,41	0,03	0,13	0,008
330	0,48	-2,49	-1,46	0,06	0,10	0,004
340	-0,06	-2,61	-1,36	0,09	-0,03	0,001
350	-0,70	-2,54	-1,36	0,03	-0,19	-0,006
<i>Maks</i>	0,88	0,52	-0,84	0,21	0,21	0,014
<i>Min</i>	-4,00	-2,68	-1,66	-0,70	-1,12	-0,058

Liite 5 Mitatut nettopaineet

Nettopaineiden suorat mittaustulokset on esitetty ohessa. Tulokset liittyvät 18,6 m/s virtauksen keskinopeuteen korkeudella $0,6H_m = 314$ mm. Ilman tiheys on tuulitunnelikokeessa ollut $1,2$ kg/m³.

Nettopaineen alikeskiavo [N/m²]

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	-14	86	81	-13	-86	-130	-132	-127	-135	-267	-330	-280	-257	-247	-235	-220	-211	-197	-171	-155	-147	-196	-155	-197	-218	-213	-249	-266	-312	-312	-355	-333	-198	-59	-80	-84				
2	26	150	125	24	-50	-91	-90	-84	-113	-301	-300	-247	-228	-221	-210	-198	-191	-177	-151	-137	-127	-172	-139	-181	-203	-199	-238	-258	-302	-302	-285	-244	-135	-54	-71	-67				
3	36	208	150	21	-68	-112	-101	-95	-186	-461	-394	-323	-300	-291	-282	-267	-257	-239	-207	-188	-172	-223	-195	-248	-283	-279	-328	-353	-383	-383	-296	-231	-153	-89	-109	-97				
4	17	150	87	-5	-63	-91	-89	-94	-217	-365	-289	-239	-221	-215	-210	-199	-191	-178	-155	-143	-130	-162	-148	-184	-220	-219	-253	-264	-266	-190	-156	-125	-90	-100	-85	-100				
5	-13	106	35	-38	-79	-124	-173	-191	-300	-360	-286	-235	-215	-209	-204	-193	-185	-172	-150	-144	-136	-160	-153	-181	-222	-225	-264	-268	-243	-243	-170	-150	-138	-111	-120	-104				
6	-245	-209	-248	-234	-128	25	151	173	153	141	111	66	28	-7	-41	-73	-103	-112	-128	-185	-208	-224	-186	-169	-175	-176	-192	-188	-181	-181	-174	-181	-193	-203	-233	-248	-240			
7	-243	-216	-242	-191	-101	39	131	152	168	192	185	150	113	74	34	13	-61	-94	-172	-232	-212	-238	-219	-184	-178	-176	-188	-179	-176	-176	-175	-182	-195	-208	-234	-240	-240			
8	-229	-214	-219	-151	-83	35	96	120	149	182	193	173	151	124	87	39	-15	-104	-228	-255	-214	-237	-230	-189	-179	-176	-187	-174	-170	-170	-172	-180	-191	-204	-222	-220	-220			
9	-214	-214	-199	-134	-83	10	49	80	115	154	182	179	152	120	69	-24	-191	-276	-250	-198	-221	-237	-195	-183	-175	-194	-175	-168	-168	-171	-178	-188	-199	-209	-204	-204	-204			
10	-221	-231	-199	-150	-115	-55	-33	-1	23	60	107	136	156	159	137	70	-118	-238	-280	-243	-193	-222	-249	-208	-197	-191	-218	-202	-192	-192	-190	-197	-207	-216	-217	-208	-208			
11	-189	-182	-184	-148	-148	-147	-154	-156	-275	-351	-390	-285	-134	47	139	177	183	189	149	133	130	130	66	-61	-118	-130	-148	-197	-222	-222	-201	-214	-229	-212	-213	-198	-198			
12	-190	-181	-155	-140	-140	-147	-159	-182	-273	-352	-386	-232	-24	68	115	154	179	184	184	181	184	183	76	-65	-122	-127	-162	-215	-212	-213	-191	-202	-227	-219	-214	-199	-199			
13	-186	-175	-143	-120	-116	-113	-126	-144	-243	-283	-238	-139	-28	29	65	99	124	137	145	150	155	140	34	-77	-116	-121	-181	-215	-204	-204	-185	-194	-218	-211	-202	-181	-181			
14	-182	-168	-132	-100	-91	-78	-93	-107	-213	-215	-90	-46	-31	-11	15	43	69	90	106	119	127	97	-7	-90	-111	-115	-200	-215	-196	-196	-179	-185	-209	-204	-190	-163	-163			
15	-222	-212	-189	-167	-165	-180	-203	-169	-251	-207	-103	-88	-76	-52	-26	4	38	70	100	121	120	40	-72	-139	-142	-224	-272	-246	-217	-217	-205	-210	-238	-231	-217	-210	-210			
16	-121	-158	-139	-124	-137	-193	-249	-260	-234	-223	-246	-230	-221	-215	-212	-205	-198	-191	-166	-156	-161	-214	-178	-178	-132	4	124	102	101	101	18	38	-28	-87	-76	-88				
17	-89	-162	-136	-102	-119	-183	-228	-224	-200	-197	-225	-210	-199	-195	-194	-190	-182	-177	-155	-146	-163	-107	-143	-29	135	166	145	141	141	79	91	19	-45	-25	-53	-53	-53			
18	-100	-224	-196	-125	-141	-207	-242	-229	-203	-209	-239	-222	-212	-207	-208	-203	-195	-191	-167	-158	-165	-145	-110	-122	38	141	135	143	133	105	103	28	-32	-4	-53	-53	-53			
19	-140	-285	-280	-196	-199	-249	-258	-237	-210	-221	-248	-227	-216	-210	-212	-207	-199	-196	-172	-166	-170	-136	-101	-95	55	99	99	125	105	105	108	93	16	-29	8	-67	-67			
20	-205	-301	-340	-294	-266	-266	-260	-241	-217	-237	-270	-244	-231	-224	-224	-220	-212	-214	-190	-188	-184	-142	-103	-96	5	21	34	64	44	44	81	58	-10	-27	7	-89	-89			
21	65	127	115	21	-60	-112	-105	-103	-123	-297	-321	-269	-245	-236	-226	-213	-203	-187	-159	-147	-135	-155	-135	-158	-209	-235	-248	-228	-257	-257	-277	-257	-157	-63	-54	-26	-26			
22	104	147	131	38	-46	-103	-91	-91	-117	-312	-317	-264	-239	-230	-221	-210	-199	-182	-153	-142	-130	-134	-125	-138	-205	-246	-248	-209	-229	-229	-238	-220	-137	-65	-41	3	3			
23	143	167	148	55	-33	-94	-78	-79	-110	-327	-313	-268	-233	-224	-217	-206	-195	-177	-147	-138	-124	-113	-116	-119	-119	-202	-257	-247	-190	-202	-198	-182	-116	-67	-28	32	32			
24	132	138	106	13	-56	-104	-87	-83	-140	-365	-314	-263	-236	-228	-221	-208	-198	-182	-154	-145	-132	-122	-120	-125	-191	-252	-225	-169	-178	-177	-166	-160	-118	-75	-21	41	41			
25	96	88	41	-49	-94	-118	-122	-105	-186	-379	-317	-265	-238	-232	-224	-211	-200	-183	-155	-146	-134	-126	-121	-130	-198	-248	-210	-168	-177	-176	-172	-166	-138	-99	-35	27	27			
26	-191	-181	-176	-177	-152	-43	92	92	92	69	126	131	106	66	77	59	23	-43	-72	-104	-138	-146	-151	-126	-144	-174	-180	-182	-181	-174	-174	-179	-188	-201	-212	-225	-214	-214		
27	-207	-200	-200	-201	-163	-59	23	18	39	109	135	133	109	127	112	79	4	-34	-101	-152	-129	-158	-128	-139	-146	-152	-149	-151	-159	-158	-162	-166	-177	-191	-202	-190	-190	-190		
28	-197	-190	-191	-179	-128	-45	11	9	33	109	135	133	109	127	112	79	4	-34	-101	-152	-129	-158	-128	-139	-146	-152	-149	-151	-159	-158	-162	-166	-177	-191	-202	-190	-190	-190		
29	-204	-199	-198	-176	-134	-77	-44	-40	-11	61	107	119	109	144	130	97	7	-79	-193	-259	-217	-180	-157	-160	-160	-164	-159	-164	-183	-183	-177	-180	-191	-204	-209	-197	-197	-197		
30	-203	-194	-183	-154	-130	-99	-88	-73	-57	-5	46	75	94	156	156	134	20	-156	-222	-267	-261	-191	-158	-158	-163	-161	-165	-175	-195	-196	-183	-190	-203	-208	-211	-201	-201	-201		
31	-208	-207	-185	-161	-164	-158	-157	-161	-290	-261	-290	-251	-162	-110	18	109	136	162	154	153	125	-108	-178	-193	-181	-182	-186	-209	-229	-229	-204	-212	-223	-226	-221	-202	-202	-202		
32	-208	-210	-185	-159	-156	-162	-186	-273	-295	-289	-267	-136	-45	47	92	126	158	159	159	101	-120	-169	-173	-177	-175	-184	-207	-230	-230	-202	-217	-236	-237	-231	-208	-208	-208			
33	-224	-224	-195	-166	-158	-167	-170	-194	-300	-320	-311	-260	-86	9	33	67	109	146	152	145	47	-164	-225	-242	-235	-241	-242	-289	-323	-323	-272	-308	-350	-340	-338	-302	-302			
34	-201	-290	-247	-211	-209	-223	-236	-221	-364	-399	-376	-247	-71	-9	26	62	117	162	171	159	15	-194	-225	-242	-235	-241	-242	-289	-323	-323	-272	-308	-350	-340	-338	-302	-302			
35	-259	-248	-213	-181	-179	-191	-208	-164	-264	-304	-263	-149	-85	-61	-40	-13	26	56	69	57	42	-152	-181	-204	-202	-201	-209	-246	-266	-266	-229	-258	-288	-278	-281	-257	-257			
36	-128	-130	-111	-95	-102	-114	-226	-269	-216	-228	-255	-260	-230	-227	-222	-211	-203	-178	-171	-166	-151	-145	-145	-145	-145	-145	-145	-145	-145	-145	-145	-145	-145	-145	-145	-145	-145	-145		
37	-116	-148	-116	-66	-69	-117	-214	-217	-171	-186	-222	-222	-199	-201	-203	-201	-191	-184	-159	-153	-149	-128	-146	-165	-172	-152	-77	-70	-49	-49	39	53	9	24	-47	-72	-72			
38	-206	-283	-255	-145	-123	-175	-283	-270	-220	-238	-265	-261	-236	-244	-246	-240	-226	-220	-192	-190	-186	-165	-195	-208	-208	-156	-105	-120	-78	-78	33	24	-17	-52	-86	-120	-120			
39	-227	-295	-294	-193	-138	-189	-297	-268	-212	-236	-263	-268	-238	-241	-241	-237	-226	-223	-196	-188	-161	-181	-184	-173	-104	-105	-109	-50	-50	61	19	-15	-43	-86	-136	-136	-136			
40	-187	-228	-244	-219	-151	-187	-256	-219	-174	-208	-242	-230	-211	-214	-212	-210	-199	-203	-179	-179	-177	-137	-134	-132	-113	-84	-114	-83	-31	-31	59	-								

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	48	54	69	76	57	34	21	18	34	74	45	29	22	19	16	15	15	15	15	16	27	57	23	34	25	21	31	40	64	64	81	80	82	52	56	43				
2	75	78	91	89	74	61	57	55	76	96	69	57	54	54	53	54	53	54	54	54	57	69	56	63	58	56	62	70	85	85	106	101	74	64	66	68				
3	78	79	98	88	66	44	37	43	114	96	66	31	26	25	23	22	22	24	24	25	29	52	33	49	38	35	51	66	88	105	84	44	44	51	62					
4	65	58	70	58	44	36	44	61	109	64	36	20	17	16	14	13	14	15	16	17	17	31	21	34	31	30	39	49	65	58	39	22	28	38	51					
5	69	53	60	49	43	63	89	86	84	56	33	19	17	16	14	13	13	15	16	19	17	23	20	31	34	34	44	53	63	63	37	23	17	25	39	57				
6	53	33	69	99	93	77	68	60	65	45	40	36	33	26	22	18	14	15	28	42	42	39	36	27	20	18	20	24	29	29	15	14	13	19	42	52				
7	68	61	84	97	87	85	71	73	79	68	67	67	64	59	56	54	50	55	68	62	61	61	64	61	55	52	52	51	53	53	50	50	49	52	60	63				
8	37	36	62	60	60	56	41	50	57	45	46	46	45	37	34	27	25	58	54	39	38	38	41	44	35	25	25	19	17	17	13	12	11	17	28	30				
9	34	39	57	48	52	44	35	46	52	44	46	47	47	41	38	32	60	72	42	41	36	37	43	54	46	32	36	27	22	18	18	18	20	26	29	24				
10	30	37	47	34	38	29	24	38	43	38	43	46	49	44	43	56	79	40	31	37	31	33	39	54	50	31	43	36	23	13	13	14	18	21	24					
11	62	60	61	59	58	57	59	67	64	75	77	79	99	98	73	73	74	70	68	67	65	67	78	62	60	59	62	70	71	71	61	61	61	58	59	60				
12	26	26	24	18	16	15	17	38	33	58	70	104	85	36	40	44	47	44	43	43	42	47	62	32	30	26	40	52	42	42	30	28	31	24	25	26				
13	28	29	33	27	22	20	21	51	32	52	66	69	55	32	36	40	42	41	41	39	41	48	53	29	27	26	44	49	41	41	33	30	31	25	27	34				
14	31	37	35	25	21	18	18	40	40	48	30	17	17	20	25	29	33	35	39	38	36	40	49	44	25	24	27	45	39	39	36	32	31	26	29	42				
15	31	37	35	25	21	18	18	40	40	48	30	17	17	20	25	29	33	35	39	38	36	40	49	44	25	24	27	45	39	39	36	32	31	26	29	42				
16	55	66	64	50	49	51	52	55	56	51	51	47	46	47	46	47	46	46	46	48	48	51	90	86	53	60	79	71	79	81	81	83	70	70	56	52	61			
17	79	95	95	75	73	75	74	73	73	71	73	72	72	71	70	70	72	71	70	75	91	76	72	95	88	87	90	99	99	102	90	88	76	76	83	83				
18	49	74	86	38	35	35	29	25	20	21	24	19	18	17	16	16	16	17	20	37	54	31	35	72	44	48	57	71	71	81	61	58	34	44	56	64				
19	71	66	84	56	49	41	29	25	20	22	24	16	16	15	14	14	14	15	20	36	44	29	41	57	37	44	53	67	67	81	62	58	35	56	64					
20	90	57	76	77	68	44	28	25	22	28	26	20	18	17	17	16	16	17	29	41	38	26	40	49	56	48	58	60	72	69	81	77	73	57	69	70				
21	66	62	73	87	68	48	42	44	61	91	64	48	43	41	40	39	39	39	39	39	45	60	44	49	56	48	58	60	72	69	81	77	73	57	69	70				
22	75	65	75	93	73	55	53	57	74	100	74	58	54	52	52	51	51	52	51	51	55	61	54	56	71	61	72	70	76	72	82	75	68	60	75	84				
23	84	69	77	99	79	63	63	70	88	109	83	68	65	63	64	63	64	64	63	64	63	64	62	64	86	74	85	79	79	74	82	74	64	63	82	97				
24	61	45	57	72	47	38	51	52	95	78	54	33	25	20	18	17	18	17	17	20	19	22	21	21	56	48	60	46	47	39	40	36	28	41	75	88				
25	73	62	76	75	59	68	97	92	130	87	70	55	53	50	50	49	50	49	49	49	51	50	49	48	67	67	72	57	58	55	50	50	50	64	94	101				
26	23	20	24	41	55	64	68	61	44	49	47	43	47	32	24	18	16	16	19	22	24	27	29	43	32	32	29	25	23	15	14	15	25	42	39					
27	23	20	25	43	54	59	47	37	43	46	45	48	53	36	29	27	29	20	23	24	20	29	29	22	25	22	23	27	17	17	11	11	13	23	40	37				
28	26	18	26	32	45	48	35	36	47	47	49	54	59	48	43	44	45	54	50	42	43	44	43	34	31	30	29	30	26	26	24	27	27	36	35					
29	18	19	25	37	36	37	25	24	45	41	45	52	47	43	36	37	42	72	64	50	55	36	40	28	21	17	15	16	23	17	15	14	14	16	24	23				
30	22	24	26	29	26	24	17	28	38	28	40	46	59	42	38	41	106	72	42	40	55	55	48	29	17	15	13	18	25	25	16	19	19	20	28	26				
31	25	30	32	26	24	26	24	59	38	33	37	41	65	88	95	56	50	38	37	40	62	84	49	29	21	24	18	35	44	46	29	37	33	30	35	27				
32	29	33	32	26	21	19	22	63	40	38	39	54	85	82	53	42	49	39	40	43	69	62	37	21	20	21	18	36	44	50	31	41	37	34	40	31				
33	60	62	62	59	52	53	55	91	70	71	72	97	102	78	66	68	75	69	69	69	95	73	63	56	56	56	65	70	76	62	68	66	62	67	62	62				
34	56	55	50	45	37	30	31	90	66	66	61	117	80	46	43	51	60	51	53	55	85	51	43	31	32	32	32	32	64	67	78	53	66	62	53	64	57			
35	49	43	39	33	27	21	21	59	54	53	69	74	37	19	24	29	36	30	32	32	46	24	22	18	19	18	23	49	47	60	38	49	45	36	48	44				
36	37	52	48	25	21	21	39	60	43	35	39	43	23	21	20	21	21	20	20	21	21	20	24	22	27	34	44	33	34	36	38	43	37	25	23	26				
37	57	78	78	36	22	24	46	48	33	30	38	36	24	23	23	23	24	24	24	24	22	29	28	27	45	63	60	37	48	46	52	47	38	26	28	34				
38	71	89	100	58	23	29	57	59	25	29	33	31	22	21	20	20	21	18	20	25	21	28	27	43	66	41	35	53	50	60	46	34	24	54	20	47				
39	83	90	98	94	56	60	82	84	54	54	54	53	51	50	49	49	50	50	49	50	52	50	52	54	64	70	54	60	70	72	82	62	64	50	59	77				
40	88	83	93	109	97	86	94	88	77	80	80	76	76	72	74	74	75	79	76	76	75	71	74	75	82	75	73	81	85	95	98	81	74	73	82	88				

Nettopainainen huippuainvo (+), 1 s tuloksia vastaten [N/m²]

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	153	247	251	239	170	39	-34	-53	-31	-69	-175	-205	-196	-190	-181	-167	-167	-144	-113	-99	-61	-90	-92	-105	-134	-151	-149	-162	-157	-157	-69	-43	39	149	121	106				
2	332	423	414	387	253	157	150	169	142	15	-12	-28	33	25	43	32	36	65	83	90	130	99	72	112	47	23	-12	43	-24	-24	52	71	158	214	204	241				
3	341	425	412	343	230	73	42	30	39	-74	-262	-213	-205	-217	-200	-176	-185	-155	-124	-91	-80	-95	-106	-94	-174	-158	-163	-145	-131	-131	-86	-18	11	138	111	157				
4	269	310	282	209	167	58	28	31	12	-129	-201	-175	-165	-165	-162	-155	-151	-129	-104	-83	-70	-88	-93	-91	-132	-123	-127	-101	-65	-65	-87	-54	-7	45	86	145				
5	241	249	212	141	142	48	41	27	5	-201	-201	-174	-151	-156	-157	-150	-139	-121	-97	-69	-66	-84	-97	-97	-126	-121	-106	-87	-66	-66	-92	-80	-33	16	95	146				
6	-119	-116	-8	157	208	261	333	347	311	280	254	181	140	98	49	-12	-49	-64	-53	-56	-41	-87	-76	-73	-103	-121	-114	-109	-103	-103	-125	-141	-153	-154	-146	-127				
7	-4	18	55	188	240	344	387	437	469	448	489	399	392	323	288	228	159	134	73	28	42	-1	50	51	50	10	36	42	56	56	38	57	1	19	38	1				
8	-116	-100	-10	88	127	190	217	260	330	325	318	284	248	209	139	65	8	-39	-107	-85	-128	-81	-61	-94	-115	-127	-116	-112	-112	-127	-142	-156	-152	-139	-120	-120				
9	-107	-90	-7	58	95	150	158	222	281	299	316	320	314	290	254	189	96	25	-104	-118	-88	-116	-106	-59	-78	-88	-107	-99	-99	-115	-123	-129	-135	-122	-108	-108				
10	-113	-108	-30	15	20	41	53	123	167	182	233	282	296	291	281	215	122	-37	-181	-139	-93	-122	-126	-88	-95	-117	-130	-116	-119	-143	-157	-162	-147	-150	-123	-123				
11	90	103	77	141	129	154	123	131	25	-38	-68	30	271	410	446	488	492	449	478	434	417	410	345	250	147	105	120	72	61	60	63	45	37	48	59	58				
12	-99	-95	-86	-80	-92	-97	-96	-84	-152	-199	-31	78	123	165	246	285	323	329	335	320	329	342	271	60	16	-18	-44	-51	-79	-79	-107	-134	-138	-146	-143	-110	-110			
13	-91	-66	-43	-42	-51	-50	-53	13	-118	-119	14	75	124	131	188	226	254	272	287	276	296	308	213	32	-5	-25	-46	-68	-82	-82	-95	-113	-125	-139	-118	-75	-75			
14	-85	-34	4	-9	-13	-4	-10	123	-85	-45	68	62	65	93	129	164	186	215	240	232	263	273	151	5	-23	-31	-46	-85	-85	-85	-82	-92	-112	-132	-92	-45	-45			
15	-131	-105	-90	-100	-101	-122	-140	3	-35	-74	-29	-30	-19	17	55	103	154	182	239	244	250	210	90	-41	-38	-29	-109	-105	-121	-121	-119	-136	-151	-161	-145	-133	-133			
16	100	67	80	71	68	40	-19	-24	-8	23	-6	-33	-46	-2	8	11	28	60	55	62	49	65	27	156	289	366	381	373	300	306	237	157	127	181	171	181				
17	238	258	240	215	264	127	113	89	127	157	148	112	119	151	156	184	180	130	184	177	164	205	254	196	359	471	542	510	550	550	433	481	353	266	316	316				
18	52	-10	-13	-34	-55	-101	-142	-144	-137	-142	-153	-161	-149	-139	-146	-138	-134	-136	-107	-89	-74	12	26	91	260	271	282	307	331	333	304	277	175	160	171	171				
19	77	-50	-51	-62	-69	-119	-171	-157	-134	-158	-170	-164	-154	-146	-140	-162	-155	-152	-124	-108	-53	-6	22	123	220	212	242	282	282	287	326	287	255	176	160	179				
20	62	-108	-112	-77	-94	-140	-179	-157	-124	-161	-180	-174	-163	-144	-146	-161	-160	-150	-129	-115	-48	-24	-2	87	109	121	198	219	224	225	290	271	235	153	226	181	181			
21	295	360	337	290	222	90	69	57	47	-2	-107	-112	-111	-95	-73	-64	-70	0	-4	3	54	12	9	-8	-26	-72	-40	-52	-62	-79	-21	-3	105	178	206	240	240			
22	366	421	382	314	245	107	113	104	81	39	-74	-57	-63	-40	-11	-7	-15	95	52	58	125	65	68	46	27	-22	22	9	-12	-40	3	17	134	193	250	295	295			
23	437	484	428	336	266	117	150	145	112	85	-43	3	-12	20	56	52	45	205	109	117	206	119	133	102	79	34	88	73	39	0	27	38	159	208	295	342	342			
24	304	311	264	260	169	29	39	83	75	-58	-164	-169	-162	-156	-165	-154	-142	-125	-95	-73	-75	-66	-53	-66	-59	-93	-66	-78	-87	-104	-77	-81	8	127	240	294	294			
25	315	340	280	200	107	65	89	161	153	-116	-87	-91	-61	-63	-29	-12	-12	281	29	25	91	111	44	44	5	-13	26	61	2	2	3	18	141	192	306	302	302			
26	-129	-112	-108	-23	89	204	267	281	242	275	268	206	197	126	79	60	19	-31	-52	-55	-69	-52	-38	-67	-83	-90	-74	-86	-84	-104	-112	-127	-135	-134	-101	-114	-114			
27	-148	-135	-126	11	23	123	172	153	246	268	269	273	234	191	152	140	87	10	-51	-68	-80	-67	-45	-75	-88	-115	-111	-122	-127	-128	-143	-152	-165	-153	-122	-129	-129			
28	-110	-113	-95	13	12	107	122	131	219	244	303	294	311	263	248	222	142	108	32	-8	-19	-46	0	-46	-52	-71	-73	-77	-66	-92	-98	-99	-98	-118	-113	-105	-105			
29	-142	-137	-75	-22	-19	47	23	56	173	200	271	295	299	285	256	240	150	80	-1	-83	-83	-78	-6	-56	-74	-112	-112	-116	-116	-116	-126	-133	-152	-161	-141	-139	-139			
30	-148	-134	-82	-61	-47	-29	-33	46	82	95	193	237	303	308	290	268	181	99	-47	-153	-84	-49	-7	-24	-92	-109	-116	-125	-115	-127	-128	-139	-142	-153	-141	-116	-116			
31	-124	-120	-98	-95	-96	-79	-93	-19	-62	-179	-153	-62	71	117	208	261	292	307	285	298	294	217	35	-80	-122	-115	-131	-107	-93	-108	-113	-130	-138	-130	-123	-123	-123			
32	-122	-106	-91	-80	-94	-92	-101	-33	-120	-190	-162	-20	53	123	183	231	266	327	295	328	278	205	-1	-104	-123	-113	-119	-94	-108	-125	-101	-121	-132	-128	-125	-126	-126			
33	-11	-4	-3	54	16	34	13	91	-53	-114	65	74	222	255	242	317	364	412	452	365	344	201	4	-3	18	15	15	61	-4	-1	59	30	5	9	0	25	25			
34	-152	-132	-70	-98	-122	-133	-135	28	-58	-122	-58	91	113	125	208	240	318	342	377	342	266	65	-77	-122	-123	-141	-137	-134	-147	-125	-130	-136	-188	-203	-176	-141	-141			
35	-132	-134	-106	-93	-118	-132	-124	20	65	-48	-23	46	9	-2	48	79	168	166	181	155	105	-5	-90	-153	-144	-149	-156	-148	-159	-133	-147	-154	-172	-167	-167	-163	-163			
36	1	19	14	3	-41	-81	-108	-94	-86	-116	-130	-169	-165	-146	-141	-119	-113	-111	-87	-95	-111	-87	-59	-68	-64	-48	124	103	71	160	114	242	240	220	125	62	39			
37	39	64	45	27	-15	-39	-87	-93	-48	-97	-103	-130	-134	-135	-129	-131	-122	-107	-95	-88	-81	-59	-68	-64	-48	124	103	71	160	114	242	240	220	125	62	39	39			
38	-12	-23	-27	-26	-67	-98	-118	-116	-126	-153	-162	-171	-162	-176	-174	-162	-155	-144	-130	-118	-95	-105	-116	-51	46	30	23	159	99	219	230	180	63	8	3	3				
39	4	16	-13	40	13	-3	-81	-35	-38	-57	-45	-30	-39	-33	-75	-52	-32	-9	-17	-10	7	37	27	29	92	103	72	121	194	185	314	238	195	134	155	136	136			
40	183	62	151	194	98	128	4	64	168	42	78	89	93	70	46	109	91	191	115	140	130	149	148	142	216	167	257	203	314	270	515	333	314	260	280	280	280			

Nettopiirineen huippuvarvo (+), 3 s tuloksia vastaten [N/m²]

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	116	210	224	196	98	-30	-66	-83	-76	-111	-237	-222	-214	-201	-200	-183	-176	-160	-131	-116	-85	-112	-109	-124	-156	-161	-169	-189	-199	-199	-131	-127	-16	73	71	43				
2	202	330	320	253	120	58	38	24	27	-68	-153	-140	-123	-114	-109	-100	-63	-66	-47	-31	-14	-39	-25	-53	-73	-69	-119	-115	-142	-142	-60	-43	20	93	74	85				
3	257	397	362	264	134	2	-8	-7	-26	-137	-305	-255	-239	-235	-228	-216	-208	-174	-152	-121	-112	-133	-136	-138	-198	-205	-233	-233	-204	-204	-132	-70	-45	29	26	72				
4	4	199	291	253	158	94	0	5	0	-27	-214	-230	-194	-184	-178	-172	-167	-157	-138	-116	-101	-86	-106	-106	-110	-152	-159	-172	-169	-139	-140	-116	-96	-55	-8	4	58			
5	181	229	186	96	84	-1	15	-9	-67	-242	-230	-188	-175	-169	-162	-158	-149	-133	-110	-98	-89	-108	-111	-113	-151	-160	-166	-152	-134	-134	-116	-110	-79	-39	15	56				
6	-170	-153	-71	80	119	221	299	316	285	247	221	164	121	65	22	18	-64	-80	-79	-100	-114	-125	-109	-106	-122	-133	-140	-130	-126	-126	-136	-153	-166	-171	-166	-163				
7	-105	-91	-70	55	101	233	281	310	352	370	337	298	260	201	171	111	42	16	-24	-89	-91	-104	-84	-57	-61	-64	-74	-71	-76	-76	-64	-62	-99	-98	-110	-115				
8	-153	-153	-64	29	63	166	192	242	287	311	313	291	262	226	186	121	49	-3	-60	-168	-135	-155	-116	-91	-111	-125	-134	-131	-135	-135	-136	-151	-164	-170	-165	-156				
9	-140	-138	-61	7	48	116	134	195	243	277	295	296	288	271	231	167	76	1	-150	-160	-120	-146	-133	-100	-98	-115	-124	-122	-126	-126	-130	-145	-152	-158	-152	-144				
10	-151	-147	-90	-51	-19	22	26	91	129	161	214	254	281	282	272	196	97	-88	-206	-160	-121	-151	-145	-117	-117	-137	-138	-144	-145	-145	-158	-168	-174	-172	-169	-152				
11	-54	-50	-58	-5	-20	-18	-30	17	-110	-183	-220	-85	124	273	308	366	369	340	324	281	276	279	236	93	11	-18	0	-60	-43	-43	-64	-87	-100	-78	-88	-72				
12	-135	-115	-102	-102	-110	-114	-119	-104	-175	-217	-97	57	99	153	218	273	304	301	319	297	291	294	236	34	-51	-69	-91	-118	-135	-135	-133	-152	-168	-164	-154	-144				
13	-124	-99	-71	-68	-77	-72	-78	-24	-148	-144	43	29	72	108	156	200	230	243	261	257	259	258	178	5	-52	-64	-85	-126	-133	-133	-127	-139	-159	-161	-140	-113				
14	-112	-82	-39	-35	-46	-32	-37	63	-122	75	20	24	24	62	95	129	158	186	205	216	227	223	118	-23	-53	-58	-75	-134	-131	-131	-121	-126	-150	-159	-126	-83				
15	-148	-135	-120	-119	-129	-140	-159	-32	-69	-98	-45	-45	-36	7	39	86	132	167	199	221	224	173	53	-63	-67	-70	-145	-149	-158	-158	-150	-157	-178	-178	-169	-159				
16	-4	-38	-17	-5	45	-87	-121	-150	-131	-101	-135	-127	-132	-114	-111	-101	-98	-100	-62	-64	-57	-38	29	-66	31	191	292	293	270	270	220	204	149	84	27	47				
17	70	35	37	51	50	2	-64	-53	-37	-12	-42	-49	-51	-48	-20	-52	-7	-34	-2	21	-1	32	45	19	205	319	351	385	345	345	311	297	243	158	145	144				
18	1	-46	-52	-60	-79	-130	-165	-169	-154	-160	-178	-177	-167	-156	-163	-165	-157	-153	-128	-114	-104	-34	-39	3	223	245	257	275	306	306	293	265	203	114	121	93				
19	-8	-100	-97	-102	-112	-157	-199	-176	-160	-178	-191	-177	-167	-160	-164	-173	-162	-161	-140	-124	-103	-52	-28	67	188	191	225	254	261	260	283	252	201	109	149	99				
20	-35	-157	-179	-137	-143	-182	-205	-173	-154	-191	-209	-191	-179	-169	-169	-180	-173	-170	-149	-134	-105	-70	-33	52	87	96	156	175	181	181	243	228	173	96	190	118				
21	234	281	284	253	134	2	3	-1	-20	-84	-189	-171	-161	-144	-140	-127	-115	-88	-60	-52	-32	-54	-46	-62	-91	-129	-135	-124	-132	-132	-100	-88	9	82	123	163				
22	291	317	315	280	149	11	28	39	7	-68	-165	-146	-135	-118	-112	-104	-86	-50	-29	-21	-7	-24	-13	-33	-67	-118	-108	-94	-98	-98	-85	-68	20	87	148	219				
23	347	355	346	307	163	15	46	77	34	-51	-141	-122	-110	-93	-84	-85	-58	-12	1	10	18	6	21	-5	-48	-109	-81	-67	-64	-70	-47	32	91	172	271					
24	266	252	239	238	102	-23	-2	26	13	-112	-220	-191	-176	-177	-174	-160	-150	-132	-110	-87	-84	-79	-72	-77	-93	-121	-109	-106	-110	-120	-112	-100	-18	63	192	246				
25	236	231	230	162	47	-36	9	78	52	-190	-180	-151	-129	-131	-135	-110	-71	-10	-43	-50	-26	-17	-30	-27	-68	-96	-67	-59	-68	-81	-68	-63	23	99	228	246				
26	-152	-144	-126	-52	-14	155	238	184	205	238	233	174	178	103	64	43	4	-46	-67	-76	-77	-71	-53	-87	-108	-111	-105	-103	-111	-118	-128	-134	-143	-159	-152	-145				
27	-174	-164	-151	-44	-28	88	137	69	211	252	252	241	213	175	137	123	60	0	-59	-88	-97	-96	-77	-49	-73	-90	-97	-105	-103	-102	-114	-121	-125	-147	-150	-131				
28	-141	-141	-126	-46	-10	50	90	76	184	215	282	267	252	251	221	198	117	56	7	55	-51	-77	-49	-73	-90	-97	-105	-103	-102	-114	-121	-125	-147	-150	-131					
29	-169	-155	-107	-57	-50	-15	9	12	128	164	258	278	263	270	231	218	126	53	-15	-152	-98	-106	-70	-86	-90	-121	-127	-129	-133	-149	-141	-144	-158	-171	-162	-153				
30	-164	-141	-106	-75	-82	-56	-10	60	85	166	223	265	283	272	248	164	87	-88	-184	-103	-97	-49	-78	-91	-108	-129	-123	-136	-138	-141	-152	-161	-176	-172	-171	-165				
31	-162	-134	-120	-107	-119	-115	-107	-35	-82	-202	-182	-120	38	101	183	247	269	283	259	289	255	160	-21	-121	-135	-131	-147	-132	-133	-163	-136	-145	-169	-169	-149	-150				
32	-148	-135	-114	-104	-122	-110	-119	-142	-120	-186	-58	38	111	166	222	249	304	279	262	131	-50	-122	-122	-127	-129	-133	-149	-141	-144	-156	-172	-170	-151	-139	-139					
33	-108	-71	-83	-49	-69	-77	-53	-7	-129	-189	-81	4	100	151	173	217	279	303	297	263	135	60	-96	-96	-75	-80	-75	-88	-91	-96	-81	-96	-125	-114	-120	-111				
34	-189	-174	-127	-131	-157	-173	-169	-60	-81	-217	-76	37	78	101	159	197	293	311	340	314	220	19	-123	-175	-167	-177	-186	-170	-203	-184	-201	-193	-243	-238	-208	-190				
35	-174	-161	-135	-122	-142	-146	-157	-64	-10	-129	-80	4	5	-6	28	68	143	154	162	144	78	-45	-116	-166	-157	-162	-172	-171	-184	-169	-176	-190	-206	-206	-186	-176				
36	-46	-25	-33	-36	-62	-100	-150	-92	-118	-168	-187	-186	-181	-177	-177	-163	-161	-151	-128	-115	-112	-125	-143	-140	-91	-42	-35	-11	0	98	141	98	12	-33	-44					
37	2	-9	-2	-6	-33	-72	-122	-98	-102	-129	-150	-152	-149	-147	-148	-139	-135	-108	-103	-101	-81	-88	-96	-96	-96	-96	-96	-96	-96	-96	-96	-96	-96	-96	-96	-96	-96			
38	-74	-75	-87	-64	-85	-125	-159	-153	-164	-187	-197	-190	-177	-166	-190	-187	-178	-173	-154	-143	-126	-112	-127	-147	-104	-18	-5	-9	84	54	199	170	124	41	-6	-34				
39	-70	-106	-100	-44	-44	-77	-137	-101	-105	-123	-146	-146	-133	-142	-137	-124	-130	-91	-74	-75	-74	-48	-79	-66	-11	21	14	34	103	109	223	183	138	72	46	20				
40	-38	-79	-70	33	18	-42	-105	-35	-12	-50	-87	-33	-53	-56	-37	-41	-19	-26	-19	-6	-27	3	18	-2	59	82	96	101	151	166	278	162	138	163	132	52				

Nettopaineinen huippuainarvo (-), 3 s tuloksia vastaten [N/m²]

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	-127	-56	-124	-178	-206	-216	-192	-176	-323	-410	-442	-390	-337	-319	-295	-267	-261	-257	-224	-205	-265	-435	-286	-340	-306	-309	-380	-465	-530	-530	-522	-546	-440	-229	-246	-203				
2	-139	-37	-97	-180	-227	-217	-222	-215	-382	-486	-464	-369	-383	-358	-341	-315	-298	-293	-265	-251	-261	-393	-311	-366	-340	-340	-400	-468	-520	-520	-513	-478	-322	-186	-204	-231				
3	-150	-4	-99	-188	-207	-240	-237	-300	-538	-646	-593	-428	-372	-361	-335	-322	-329	-310	-283	-256	-280	-464	-398	-450	-410	-428	-511	-557	-613	-613	-566	-516	-310	-188	-234	-247				
4	-121	-7	-84	-143	-166	-206	-238	-303	-446	-522	-436	-309	-282	-263	-249	-236	-236	-225	-212	-199	-192	-318	-282	-334	-331	-319	-377	-403	-415	-415	-390	-307	-205	-153	-191	-207				
5	-156	-43	-105	-162	-210	-317	-396	-377	-512	-533	-412	-303	-273	-259	-244	-228	-230	-220	-207	-203	-184	-269	-242	-297	-338	-333	-396	-394	-397	-300	-234	-186	-171	-212	-250					
6	-436	-382	-472	-524	-451	-142	-59	-27	-37	4	1	-28	-82	-77	-95	-116	-138	-158	-222	-302	-316	-351	-285	-248	-236	-243	-266	-271	-278	-278	-220	-233	-231	-290	-394	-400				
7	-410	-393	-448	-439	-371	-170	-61	-39	-37	3	30	-14	-56	-7	-100	-131	-166	-228	-322	-387	-355	-376	-363	-326	-298	-296	-310	-290	-304	-304	-289	-296	-306	-326	-371	-397				
8	-357	-388	-382	-321	-231	-102	-44	-31	-12	62	66	55	-9	31	3	-23	-110	-273	-357	-350	-336	-353	-347	-320	-305	-273	-284	-250	-227	-227	-209	-218	-228	-269	-329	-306				
9	-324	-351	-363	-287	-197	-107	-68	-46	20	47	58	52	-8	49	25	-12	-235	-361	-379	-372	-340	-338	-349	-348	-334	-330	-324	-282	-241	-211	-217	-233	-249	-281	-294					
10	-307	-338	-328	-267	-192	-135	-109	-103	-87	-28	-4	5	-23	47	24	-132	-284	-350	-379	-368	-319	-324	-354	-364	-359	-362	-400	-352	-289	-289	-231	-235	-249	-287	-282	-305				
11	-318	-309	-308	-279	-288	-282	-291	-329	-425	-556	-609	-476	-358	-321	-66	12	41	31	79	72	71	83	26	-81	-152	-185	-183	-281	-362	-372	-340	-346	-318	-289	-293	-285				
12	-290	-254	-232	-194	-203	-199	-231	-327	-390	-522	-547	-439	-321	-66	12	41	31	79	72	71	83	26	-81	-152	-185	-183	-281	-362	-372	-340	-346	-318	-289	-293	-285					
13	-277	-255	-246	-205	-192	-173	-198	-323	-340	-419	-414	-343	-200	-69	-25	-1	2	39	46	49	59	-7	-103	-157	-174	-201	-294	-363	-368	-348	-348	-315	-309	-292	-283	-306				
14	-260	-255	-257	-220	-173	-143	-160	-308	-291	-321	-278	-177	-101	-77	-62	-44	-30	0	20	28	35	-38	-125	-161	-163	-220	-305	-363	-348	-348	-315	-309	-292	-272	-332					
15	-323	-317	-292	-250	-230	-237	-256	-278	-342	-327	-240	-143	-123	-100	-95	-74	-58	-8	13	21	32	-124	-192	-227	-403	-640	-616	-432	-414	-414	-352	-345	-373	-348	-296	-313				
16	-253	-325	-328	-234	-252	-313	-373	-391	-366	-342	-363	-336	-329	-325	-310	-298	-291	-290	-281	-267	-300	-566	-576	-287	-266	-191	-87	-99	-108	-154	-113	-185	-225	-192	-209					
17	-253	-378	-346	-283	-271	-353	-409	-384	-370	-329	-381	-372	-346	-335	-347	-338	-323	-336	-303	-307	-351	-394	-266	-303	-256	-104	36	-82	-83	-83	-166	-110	-174	-227	-203	-237				
18	-262	-380	-396	-282	-260	-315	-341	-331	-265	-274	-310	-283	-272	-279	-261	-253	-330	-345	-302	-282	-290	-267	-254	-247	-295	-390	-447	-414	-411	-410	-389	-455	-370	-295	-181	-232	-154			
19	-334	-423	-443	-374	-352	-372	-360	-351	-285	-293	-317	-286	-268	-278	-264	-256	-251	-249	-229	-249	-308	-270	-165	-170	-125	-6	-32	-16	-56	-57	-108	-54	-102	-105	-150	-215				
20	-409	-476	-569	-479	-456	-413	-357	-339	-288	-316	-351	-303	-283	-294	-277	-271	-274	-285	-284	-299	-295	-259	-161	-170	-122	-58	-82	-64	-101	-100	-152	-93	-115	-120	-183	-264				
21	-96	-26	-99	-189	-193	-221	-212	-209	-412	-483	-480	-438	-370	-352	-352	-314	-315	-304	-270	-255	-287	-347	-305	-328	-368	-403	-428	-453	-473	-461	-488	-457	-367	-209	-242	-190				
22	-81	-11	-87	-196	-186	-220	-218	-219	-443	-521	-499	-457	-375	-354	-368	-326	-333	-309	-281	-274	-282	-301	-285	-314	-384	-432	-429	-437	-442	-426	-471	-414	-331	-196	-237	-175				
23	-67	5	-74	-205	-178	-218	-220	-225	-465	-559	-518	-473	-372	-346	-375	-330	-345	-302	-282	-290	-267	-254	-247	-295	-390	-447	-414	-411	-410	-389	-455	-370	-295	-181	-232	-154				
24	-68	20	-80	-142	-138	-202	-285	-192	-463	-567	-560	-463	-317	-307	-287	-282	-260	-237	-222	-196	-204	-186	-211	-217	-348	-376	-366	-309	-358	-333	-362	-308	-224	-183	-166	-134				
25	-108	-49	-142	-197	-205	-282	-359	-326	-551	-610	-582	-431	-342	-346	-348	-316	-317	-267	-280	-250	-261	-238	-237	-225	-350	-410	-400	-351	-323	-340	-282	-281	-231	-218	-224	-220				
26	-275	-226	-271	-321	-324	-195	-73	-159	-24	-11	-12	-29	-72	-76	-69	-94	-136	-152	-156	-182	-207	-196	-254	-247	-336	-287	-282	-263	-246	-264	-201	-220	-240	-327	-380	-383				
27	-299	-263	-293	-324	-294	-178	-109	-124	-37	18	16	-24	-46	-19	-17	-49	-112	-139	-194	-218	-205	-216	-211	-212	-256	-265	-285	-281	-308	-234	-253	-215	-238	-262	-359	-363	-335			
28	-267	-261	-283	-288	-265	-141	-77	-97	-40	8	28	-17	-19	11	12	-31	-118	-222	-301	-282	-229	-228	-222	-238	-219	-207	-214	-237	-236	-228	-212	-222	-254	-274	-322	-300				
29	-262	-264	-277	-271	-243	-158	-105	-133	-88	-47	-11	-24	-17	15	27	-13	-159	-290	-349	-418	-372	-274	-259	-245	-242	-216	-208	-228	-256	-248	-224	-235	-236	-269	-281	-277				
30	-291	-281	-259	-220	-199	-141	-125	-178	-135	-93	-49	-41	-39	28	51	-37	-355	-362	-342	-391	-408	-345	-267	-264	-219	-205	-209	-237	-289	-276	-245	-310	-303	-287	-298	-321				
31	-284	-281	-255	-229	-225	-264	-232	-316	-349	-380	-393	-369	-365	-267	-234	-171	-8	61	69	59	-141	-263	-293	-267	-261	-269	-245	-330	-351	-375	-310	-358	-304	-299	-332	-271				
32	-296	-295	-270	-230	-211	-196	-231	-402	-418	-441	-415	-422	-347	-244	-165	-84	-6	56	56	46	-146	-226	-253	-228	-234	-247	-226	-320	-361	-368	-344	-350	-342	-326	-344	-291				
33	-362	-355	-354	-284	-247	-255	-273	-459	-434	-489	-488	-500	-397	-225	-130	-138	-135	-94	-37	-13	-198	-297	-301	-303	-302	-292	-362	-430	-392	-411	-411	-399	-387	-422	-371					
34	-454	-425	-392	-371	-304	-291	-313	-532	-516	-552	-572	-537	-432	-179	-98	-60	-70	35	55	31	-210	-304	-306	-317	-318	-327	-358	-560	-566	-544	-501	-525	-555	-506	-512	-545				
35	-365	-371	-328	-285	-268	-237	-257	-375	-393	-420	-427	-344	-257	-129	-107	-92	-77	-12	-24	-157	-208	-256	-259	-252	-269	-305	-499	-444	-467	-396	-445	-443	-412	-436	-458					
36	-231	-254	-258	-171	-162	-187	-350	-481	-358	-314	-376	-423	-307	-282	-280	-276	-299	-262	-232	-241	-232	-235	-226	-261	-275	-255	-229	-185	-180	-186	-130	-97	-127	-129	-144	-189				
37	-262	-328	-378	-192	-145	-182	-344	-351	-273	-301	-334	-365	-263	-253	-259	-268	-281	-250	-222	-222	-214	-198	-214	-238	-266	-274	-236	-155	-157	-153	-100	-36	-72	-86	-121	-180				
38	-398	-534	-487	-327	-212	-256	-421	-440	-330	-327	-377	-377	-299	-307	-313	-258	-252	-270	-248	-275	-275	-302	-286	-221	-198	-191	-191	-191	-191	-115	-71	-93	-105	-189	-284					
39	-395	-487	-466	-427	-272	-325	-497	-491	-346	-361	-381	-385	-342	-360	-341	-351	-388	-337	-334	-318	-301	-282	-305	-292	-311	-268	-232	-247	-210	-220	-169	-111	-118	-159	-230	-329				
40	-428	-431	-528	-462	-343	-378	-509	-420	-334	-357	-397	-390	-379	-353	-346	-395	-369	-376	-331	-338	-345	-280	-313	-298	-296	-269	-259	-295	-217	-217	-181	-171	-151	-156	-255	-324				

Nettopaineen huippuarvo (+), 10 s tuloksia vastaten [N/m²]

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	67	177	180	97	-4	-82	-99	-101	-99	-147	-272	-240	-227	-217	-207	-194	-187	-173	-150	-134	-119	-137	-128	-150	-177	-180	-207	-216	-235	-235	-218	-217	-88	9	7	-18				
2	140	267	258	145	47	-19	-32	-23	-36	-143	-228	-185	-170	-163	-159	-140	-126	-114	-94	-85	-65	-88	-77	-105	-126	-137	-169	-179	-206	-206	-123	-125	-46	22	1	19				
3	179	343	312	146	46	-46	-48	-46	-46	-279	-335	-282	-261	-252	-247	-234	-225	-199	-179	-153	-141	-165	-158	-181	-226	-227	-258	-276	-273	-273	-162	-132	-96	-26	-37	17				
4	136	255	203	81	29	-37	-32	-34	-71	-273	-247	-208	-196	-188	-185	-177	-169	-150	-135	-122	-109	-124	-123	-142	-175	-178	-200	-203	-177	-177	-129	-113	-89	-52	-43	0				
5	100	201	133	36	23	-39	-47	-75	-163	-274	-247	-203	-191	-181	-179	-170	-163	-144	-128	-122	-114	-126	-126	-142	-174	-181	-206	-204	-163	-163	-124	-108	-77	-61	-23					
6	-191	-176	-173	-110	5	160	263	281	251	223	186	125	98	42	0	-40	-77	-92	-97	-123	-152	-163	-133	-131	-141	-145	-156	-150	-145	-145	-162	-177	-182	-188	-186					
7	-170	-153	-136	-85	3	159	244	262	287	302	302	242	207	161	107	53	-10	-31	-76	-153	-146	-155	-138	-118	-114	-115	-129	-125	-113	-113	-125	-127	-143	-153	-173	-172				
8	-188	-177	-139	-75	10	124	168	210	244	279	278	253	245	193	163	94	32	-20	-118	-197	-162	-177	-165	-130	-131	-137	-143	-144	-144	-153	-162	-173	-182	-186	-184					
9	-178	-171	-132	-76	-1	81	111	159	206	246	265	266	267	227	205	132	59	-44	-200	-180	-147	-164	-180	-124	-130	-132	-139	-138	-141	-141	-149	-158	-166	-175	-174	-170				
10	-189	-191	-150	-107	-57	8	6	65	91	130	180	231	256	245	231	158	56	-172	-230	-177	-153	-168	-192	-136	-146	-150	-155	-160	-160	-170	-177	-186	-192	-184	-177					
11	-127	-120	-103	-80	-78	-77	-92	-57	-175	-248	-289	-161	34	184	243	302	292	277	257	227	216	177	21	-51	-66	-80	-123	-139	-139	-138	-135	-163	-154	-155	-138					
12	-153	-149	-123	-118	-120	-125	-137	-134	-214	-270	-209	11	76	130	197	242	275	279	274	272	264	261	180	8	-74	-99	-116	-158	-164	-164	-157	-165	-186	-185	-180	-167				
13	-147	-138	-106	-91	-92	-87	-99	-76	-185	-193	-112	-9	46	83	133	174	203	222	225	235	230	226	125	-16	-78	-89	-112	-159	-157	-149	-156	-179	-180	-166	-144					
14	-140	-127	-92	-66	-66	-50	-60	-15	-156	-120	-11	3	7	37	71	107	133	166	177	198	197	191	70	-39	-82	-79	-104	-161	-150	-141	-147	-173	-176	-152	-122					
15	-180	-175	-154	-140	-145	-155	-175	-98	-160	-128	-64	-60	-48	-15	21	59	99	143	175	198	198	145	7	-83	-89	-111	-184	-176	-174	-174	-170	-172	-195	-196	-182	-181				
16	-64	-82	-73	-75	-83	-133	-190	-195	-169	-163	-185	-175	-174	-159	-158	-150	-156	-141	-118	-101	-109	-118	-88	-117	-25	127	228	219	223	223	168	137	87	-16	-23	-12				
17	-13	-51	-41	-28	-40	-97	-137	-142	-128	-114	-146	-131	-124	-123	-122	-120	-112	-87	-86	-75	-74	-55	-22	-56	143	242	272	270	278	278	231	205	162	44	78	45				
18	-52	-102	-90	-85	-100	-157	-198	-186	-175	-179	-195	-192	-179	-170	-178	-178	-172	-167	-143	-136	-130	-79	-73	-44	166	216	237	240	252	252	219	132	31	72	31					
19	-69	-178	-157	-133	-137	-195	-219	-195	-180	-192	-207	-195	-185	-184	-184	-184	-176	-173	-150	-144	-138	-83	-66	3	154	166	187	216	220	219	245	210	120	33	96	38				
20	-105	-231	-243	-183	-182	-211	-223	-200	-186	-205	-230	-212	-201	-195	-189	-195	-187	-186	-164	-158	-143	-95	-74	-7	66	73	104	140	150	150	202	179	92	39	116	39				
21	174	225	222	149	28	-62	-52	-45	-58	-148	-239	-206	-191	-181	-173	-161	-145	-121	-105	-98	-84	-91	-89	-103	-129	-170	-173	-159	-168	-182	-165	-162	-72	6	41	79				
22	227	249	242	176	43	-56	-33	-18	-38	-148	-223	-191	-174	-167	-163	-151	-126	-93	-84	-82	-65	-68	-72	-83	-109	-169	-158	-132	-135	-156	-140	-134	-63	3	57	128				
23	279	273	263	202	57	-52	-17	7	-18	-148	-207	-177	-159	-156	-157	-146	-109	-64	-63	-66	-45	-44	-55	-64	-93	-172	-144	-106	-101	-130	-114	-106	-53	1	71	177				
24	224	222	219	151	12	-69	-36	-12	-40	-223	-245	-206	-191	-197	-187	-179	-163	-150	-120	-112	-93	-90	-86	-103	-113	-178	-144	-121	-122	-131	-123	-126	-62	-11	112	164				
25	187	169	156	94	-32	-67	-46	9	-25	-281	-225	-203	-179	-176	-177	-150	-133	-118	-96	-92	-73	-54	-66	-81	-109	-165	-107	-106	-118	-112	-124	-123	-93	5	128	176				
26	-171	-159	-153	-123	-85	24	206	148	141	205	202	146	141	81	41	11	-27	-60	-77	-93	-85	-86	-75	-104	-135	-125	-125	-122	-122	-129	-135	-144	-158	-174	-194	-195	-189			
27	-184	-178	-176	-144	-96	1	102	47	136	227	228	202	183	149	116	84	30	-20	-73	-106	-121	-116	-100	-115	-136	-148	-147	-146	-151	-153	-163	-169	-185	-194	-195	-189				
28	-158	-164	-162	-120	-75	-1	58	45	136	198	237	237	218	175	141	90	39	-18	-81	-87	-105	-83	-108	-108	-121	-119	-122	-122	-133	-136	-142	-153	-169	-168	-160					
29	-183	-173	-167	-127	-97	-44	-13	-10	85	141	223	232	230	245	198	169	103	32	-72	-159	-121	-136	-112	-124	-122	-134	-136	-141	-141	-157	-156	-160	-173	-183	-183	-176				
30	-179	-164	-151	-118	-104	-76	-71	-35	13	59	132	175	211	246	235	206	149	53	-131	-206	-151	-134	-119	-124	-135	-142	-139	-143	-156	-163	-162	-168	-183	-186	-180	-173				
31	-179	-171	-156	-136	-143	-132	-134	-79	-155	-246	-205	-177	-33	30	154	200	248	240	227	240	229	17	-106	-157	-149	-151	-162	-155	-164	-184	-167	-171	-192	-187	-188	-177				
32	-175	-175	-155	-131	-130	-141	-137	-111	-194	-248	-213	-146	0	77	127	169	233	249	245	254	230	-19	-109	-146	-147	-148	-159	-162	-169	-175	-168	-180	-198	-199	-194	-178				
33	-162	-160	-141	-117	-116	-110	-123	-100	-210	-248	-201	-90	41	96	118	179	227	245	248	242	190	-49	-121	-142	-127	-128	-123	-134	-162	-147	-144	-163	-178	-190	-186	-163				
34	-232	-226	-204	-170	-181	-193	-199	-127	-131	-318	-179	-41	29	72	109	148	241	275	288	271	190	-121	-178	-205	-184	-191	-205	-217	-232	-210	-228	-245	-277	-276	-273	-250				
35	-211	-198	-177	-150	-160	-166	-177	-92	-113	-217	-135	-46	-23	-27	12	38	98	118	132	129	64	-104	-151	-176	-168	-172	-183	-194	-202	-186	-200	-232	-232	-232	-214					
36	-88	-66	-66	-67	-79	-126	-169	-183	-178	-199	-210	-212	-200	-194	-197	-196	-177	-173	-146	-142	-137	-128	-143	-166	-154	-145	-81	-66	-44	-39	49	78	44	-24	-57	-79				
37	-43	-47	-40	-32	-48	-94	-151	-151	-136	-157	-174	-178	-165	-165	-172	-175	-154	-154	-126	-119	-120	-100	-115	-126	-123	-45	9	-13	36	19	159	148	94	31	-8	-41				
38	-111	-172	-117	-97	-101	-149	-198	-196	-192	-195	-213	-206	-196	-201	-212	-201	-191	-183	-161	-158	-145	-127	-147	-165	-152	-66	-44	-59	11	-12	154	109	58	-10	-38	-70				
39	-147	-183	-194	-102	-84	-132	-196	-182	-159	-174	-197	-198	-154	-177	-177	-182	-160	-134	-126	-124	-104	-120	-121	-97	-27	-43	-10	38	47	181	125	55	21	-28	-64					
40	-99	-152	-159	-90	-41	-86	-165	-118	-91	-131	-161	-127	-144	-146	-148	-121	-118	-108	-88	-93	-71	-55	-49	-66	-25	-2	-26	35	61	107	204	96	72	54	31	-28				

Nettopaineen huippuarvo (-), 10 s tuloksia vastaten [N/m²]

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	-85	-3	-20	-98	-156	-174	-161	-153	-223	-370	-389	-340	-291	-288	-267	-250	-245	-223	-196	-176	-190	-317	-225	-284	-279	-257	-317	-354	-428	-428	-458	-467	-363	-148	-174	-146				
2	-65	31	8	-78	-143	-160	-154	-136	-256	-415	-380	-309	-287	-282	-271	-260	-256	-238	-216	-195	-183	-271	-217	-287	-279	-271	-338	-360	-408	-408	-430	-379	-251	-123	-157	-154				
3	-68	77	7	-93	-157	-175	-163	-185	-417	-583	-496	-379	-340	-341	-319	-308	-300	-275	-243	-220	-212	-337	-306	-356	-371	-347	-426	-459	-505	-484	-366	-239	-149	-180	-180					
4	-65	49	-14	-85	-127	-149	-161	-217	-392	-448	-372	-282	-248	-248	-238	-225	-221	-203	-182	-170	-159	-237	-220	-263	-293	-280	-321	-334	-358	-358	-314	-232	-169	-127	-149	-152				
5	-97	14	-50	-107	-143	-247	-332	-304	-414	-437	-357	-278	-243	-243	-234	-219	-215	-197	-179	-176	-164	-217	-193	-244	-294	-283	-332	-334	-334	-245	-191	-167	-141	-174	-175					
6	-340	-280	-345	-392	-271	-80	36	58	32	43	43	0	-37	-48	-79	-99	-126	-140	-184	-261	-264	-282	-247	-213	-214	-215	-234	-224	-229	-229	-201	-207	-212	-240	-311	-333				
7	-338	-294	-347	-302	-214	-78	19	24	36	85	82	46	8	-5	-50	-74	-114	-179	-264	-310	-293	-328	-306	-255	-254	-251	-252	-241	-243	-243	-231	-234	-249	-260	-306	-325				
8	-287	-290	-311	-235	-155	-47	18	22	37	97	104	83	37	49	25	-7	-69	-221	-313	-313	-286	-305	-287	-258	-247	-243	-251	-216	-199	-199	-197	-206	-211	-236	-269	-266				
9	-261	-273	-275	-198	-141	-57	-12	-11	23	79	96	85	51	69	52	13	-155	-307	-337	-322	-288	-294	-298	-273	-268	-268	-282	-233	-203	-203	-195	-205	-211	-224	-247	-251				
10	-268	-287	-279	-195	-157	-98	-75	-71	-46	1	27	43	35	69	58	-45	-231	-316	-332	-314	-271	-293	-309	-296	-295	-296	-331	-288	-238	-238	-215	-225	-232	-252	-254	-250				
11	-254	-243	-231	-216	-213	-211	-214	-270	-351	-455	-489	-390	-281	-119	8	69	63	66	62	35	28	31	-55	-123	-184	-190	-229	-274	-305	-305	-277	-292	-297	-273	-280	-271				
12	-237	-219	-190	-172	-171	-177	-197	-261	-326	-457	-477	-375	-240	-11	33	72	68	109	101	99	111	100	-33	-127	-163	-163	-235	-309	-284	-284	-273	-273	-284	-255	-240	-240				
13	-230	-213	-190	-167	-151	-146	-164	-240	-293	-368	-353	-268	-150	-30	-3	27	30	68	70	76	90	59	-56	-130	-151	-169	-250	-309	-282	-283	-270	-266	-271	-253	-246	-235				
14	-221	-207	-188	-163	-126	-112	-129	-213	-261	-281	-227	-125	-80	-52	-40	-18	-10	26	39	53	68	17	-80	-134	-140	-176	-265	-308	-280	-266	-258	-258	-250	-237	-230	-230				
15	-273	-262	-231	-208	-194	-210	-231	-249	-316	-291	-189	-121	-110	-85	-74	-50	-33	9	31	53	61	-64	-136	-188	-246	-447	-469	-366	-322	-322	-299	-283	-299	-288	-264	-258				
16	-178	-244	-227	-178	-189	-253	-320	-341	-301	-285	-304	-294	-276	-278	-265	-244	-240	-226	-222	-200	-200	-217	-200	-141	-146	-76	26	8	26	-6	-6	-44	-15	-67	-73	-81	-148			
17	-167	-278	-259	-195	-194	-275	-323	-301	-274	-269	-302	-294	-279	-262	-265	-268	-263	-251	-224	-213	-247	-265	-193	-230	-164	13	11	-9	-7	-7	-84	-12	-97	-124	-129	-141				
18	-180	-328	-338	-197	-209	-272	-294	-286	-237	-251	-283	-257	-243	-257	-240	-235	-222	-220	-194	-192	-229	-232	-152	-171	-108	55	26	40	0	0	-37	1	-60	-71	-75	-129				
19	-259	-366	-398	-302	-290	-323	-306	-300	-244	-265	-288	-266	-245	-259	-244	-240	-226	-222	-200	-200	-217	-200	-141	-146	-76	26	8	26	-6	-6	-44	-15	-67	-73	-81	-148				
20	-326	-389	-458	-405	-378	-349	-311	-296	-251	-286	-310	-285	-261	-273	-257	-253	-246	-246	-226	-237	-229	-201	-134	-146	-81	-31	-32	-18	-50	-50	-62	-47	-90	-85	-95	-175				
21	-25	28	17	-100	-138	-165	-154	-158	-269	-409	-401	-355	-311	-302	-289	-277	-271	-253	-216	-196	-196	-247	-233	-246	-312	-319	-344	-342	-380	-375	-396	-374	-278	-143	-151	-115				
22	7	43	37	-103	-128	-159	-147	-158	-289	-426	-407	-358	-321	-299	-291	-283	-273	-267	-222	-204	-196	-212	-225	-218	-316	-344	-346	-330	-355	-347	-365	-328	-238	-139	-136	-96				
23	40	59	56	-108	-119	-151	-137	-155	-307	-442	-411	-358	-329	-292	-287	-283	-268	-280	-225	-212	-192	-175	-209	-186	-311	-366	-341	-316	-330	-320	-333	-282	-200	-134	-120	-75				
24	47	56	25	-92	-113	-146	-146	-143	-348	-451	-413	-353	-277	-275	-253	-243	-232	-219	-198	-181	-177	-165	-168	-166	-178	-328	-318	-247	-278	-269	-243	-241	-166	-118	-113	-68				
25	1	-58	-156	-153	-172	-248	-218	-406	-508	-441	-356	-309	-291	-285	-268	-258	-240	-213	-202	-200	-186	-186	-174	-298	-337	-321	-263	-277	-250	-216	-229	-187	-155	-145	-80					
26	-221	-201	-209	-249	-230	-112	-19	-42	9	42	26	-9	-51	-64	-47	-80	-119	-131	-129	-157	-179	-177	-174	-199	-275	-247	-233	-225	-205	-224	-185	-191	-201	-231	-264	-270				
27	-245	-218	-235	-273	-232	-123	-57	-39	-14	41	44	14	-23	-2	1	36	92	-112	-157	-180	-180	-189	-169	-163	-225	-227	-234	-256	-208	-219	-202	-210	-221	-248	-289	-235				
28	-230	-218	-234	-235	-201	-90	-44	-43	-24	28	55	21	19	36	48	3	72	-161	-212	-228	-190	-201	-185	-186	-201	-188	-195	-206	-213	-202	-190	-195	-212	-219	-259	-235				
29	-230	-226	-231	-220	-192	-115	-78	-76	-62	-18	24	10	11	42	60	15	-117	-250	-303	-373	-330	-242	-217	-207	-223	-197	-193	-208	-241	-233	-198	-213	-217	-228	-245	-236				
30	-241	-233	-219	-196	-168	-121	-108	-115	-101	-48	-18	-10	-1	61	82	41	-246	-258	-305	-347	-348	-269	-220	-208	-189	-190	-192	-215	-250	-210	-258	-245	-236	-258	-247	-247				
31	-242	-246	-223	-192	-193	-201	-187	-240	-320	-347	-358	-338	-311	-222	-168	-77	46	86	93	86	-66	-204	-229	-233	-222	-237	-227	-277	-295	-317	-241	-298	-264	-266	-260	-233				
32	-248	-254	-224	-194	-176	-175	-184	-286	-329	-349	-361	-364	-313	-196	-83	-11	32	82	80	94	-81	-194	-212	-203	-209	-213	-214	-283	-300	-312	-249	-304	-290	-281	-275	-244				
33	-298	-295	-271	-237	-201	-216	-220	-313	-378	-397	-399	-397	-306	-175	-68	-40	-27	8	51	45	-123	-251	-264	-251	-250	-255	-249	-307	-329	-344	-276	-343	-314	-330	-289	-289				
34	-372	-361	-311	-298	-246	-258	-278	-334	-450	-500	-506	-437	-297	-108	-51	-47	9	64	79	74	-168	-266	-276	-286	-283	-301	-287	-403	-459	-443	-351	-437	-488	-420	-419	-381				
35	-318	-311	-267	-234	-209	-216	-235	-244	-336	-376	-384	-298	-184	-94	-85	-80	-54	5	2	-1	-133	-188	-209	-237	-243	-249	-250	-344	-363	-370	-307	-342	-377	-336	-361	-323				
36	-173	-203	-171	-129	-126	-171	-280	-370	-268	-269	-307	-346	-278	-260	-254	-253	-246	-246	-211	-201	-203	-185	-205	-235	-239	-229	-203	-148	-162	-153	-90	-57	-84	-108	-120	-148				
37	-186	-242	-256	-126	-93	-142	-268	-282	-211	-230	-272	-291	-247	-239	-234	-233	-230	-233	-198	-194	-188	-158	-186	-205	-222	-243	-179	-119	-131	-112	-36	1	-34	-50	-80	-131				
38	-312	-386	-408	-254	-155	-208	-362	-352	-258	-281	-319	-279	-293	-282	-276	-275	-252	-239	-233	-240	-217	-247	-248	-248	-250	-250	-174	-162	-170	-155	-71	-31	-58	-86	-136	-203				
39	-348	-412	-398	-323	-200	-254	-402	-371	-270	-299	-329	-322	-290	-293	-308	-294	-296	-300	-267	-251	-258	-223	-240	-244	-239	-206	-177	-180	-153	-141	-75	-55	-70	-97	-145	-219				
40	-297	-329	-352	-330	-259	-269	-366	-354	-253	-301	-346	-313	-280	-292	-282	-289	-302	-304	-261	-261	-264	-216	-212	-214	-192	-171	-201	-193	-140	-147	-90	-93	-75	-103	-143	-225				

Liite 6 Nettopaineiden täydentävät tulokset

Tornin T₄ julkisivujen täydentävät mittaustulokset on esitetty ohessa. Tulokset koskevat todellista tornia tuulen toistumisvälillä 50 v ja ilman tiheyttä lämpötilassa 0°C (= 1,3 kg/m³).

Nettopaineen heilahteluihin liittyvä keskihajonta: 50 v toistumisvälin tuuli

Piste	Tuulen suurtakuuima [°]																																								Max	Min
	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	360					
1	0,18	0,20	0,26	0,29	0,22	0,13	0,08	0,07	0,14	0,30	0,18	0,12	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,11	0,23	0,09	0,13	0,09	0,08	0,11	0,14	0,23	0,23	0,29	0,29	0,310	0,29	0,29	0,29	0,19	0,20	0,16	0,30	0,06	
2	0,28	0,29	0,34	0,34	0,28	0,24	0,22	0,22	0,30	0,39	0,28	0,24	0,23	0,23	0,22	0,23	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,28	0,22	0,24	0,21	0,21	0,23	0,25	0,31	0,31	0,38	0,36	0,27	0,23	0,24	0,25	0,39	0,21	0,39	0,21	0,46	0,09
3	0,29	0,30	0,37	0,33	0,25	0,17	0,14	0,17	0,46	0,39	0,23	0,13	0,11	0,11	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,12	0,21	0,13	0,19	0,14	0,13	0,19	0,24	0,31	0,31	0,38	0,30	0,16	0,16	0,19	0,23	0,46	0,09	0,44	0,06	0,44	0,06
4	0,24	0,22	0,26	0,22	0,17	0,14	0,17	0,24	0,44	0,26	0,15	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,13	0,08	0,13	0,12	0,11	0,14	0,18	0,23	0,23	0,21	0,14	0,08	0,10	0,14	0,19	0,44	0,06	0,44	0,06	0,44	0,06
5	0,26	0,20	0,23	0,19	0,16	0,24	0,35	0,34	0,26	0,34	0,23	0,13	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,13	0,16	0,19	0,22	0,22	0,13	0,08	0,06	0,09	0,14	0,21	0,35	0,06	0,35	0,06	0,35	0,06	0,35	0,06
6	0,20	0,12	0,26	0,38	0,36	0,30	0,26	0,24	0,26	0,18	0,17	0,15	0,14	0,11	0,09	0,08	0,06	0,06	0,11	0,17	0,17	0,16	0,14	0,11	0,07	0,07	0,09	0,11	0,11	0,06	0,05	0,05	0,07	0,15	0,19	0,38	0,05	0,38	0,05	0,38	0,05	
7	0,25	0,23	0,32	0,37	0,33	0,33	0,27	0,29	0,31	0,28	0,27	0,28	0,27	0,25	0,23	0,23	0,21	0,23	0,27	0,25	0,25	0,25	0,23	0,20	0,19	0,19	0,18	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18	0,19	0,22	0,23	0,37	0,18	0,37	0,18	0,37	0,18	
8	0,14	0,14	0,23	0,23	0,23	0,22	0,16	0,20	0,23	0,18	0,19	0,19	0,19	0,16	0,14	0,11	0,10	0,24	0,22	0,16	0,15	0,15	0,16	0,17	0,13	0,09	0,09	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,06	0,10	0,11	0,24	0,04	0,24	0,04	0,24	0,04
9	0,13	0,15	0,22	0,18	0,20	0,17	0,14	0,18	0,21	0,18	0,19	0,19	0,20	0,17	0,16	0,14	0,25	0,29	0,17	0,17	0,15	0,15	0,17	0,21	0,17	0,12	0,13	0,10	0,08	0,08	0,06	0,06	0,07	0,10	0,11	0,29	0,06	0,29	0,06	0,29	0,06	
10	0,11	0,14	0,18	0,13	0,15	0,11	0,09	0,15	0,17	0,15	0,18	0,19	0,20	0,18	0,18	0,23	0,33	0,16	0,12	0,15	0,13	0,14	0,15	0,21	0,19	0,11	0,16	0,13	0,08	0,08	0,05	0,05	0,06	0,08	0,09	0,33	0,05	0,33	0,05	0,33	0,05	
11	0,23	0,23	0,23	0,22	0,22	0,22	0,23	0,26	0,25	0,31	0,31	0,33	0,42	0,41	0,30	0,31	0,31	0,29	0,27	0,26	0,27	0,31	0,24	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,42	0,21	0,42	0,21	0,42	0,21	0,42	0,21
12	0,10	0,10	0,09	0,07	0,06	0,06	0,07	0,15	0,13	0,24	0,29	0,43	0,35	0,15	0,17	0,19	0,19	0,18	0,18	0,17	0,19	0,24	0,12	0,11	0,10	0,15	0,19	0,15	0,15	0,11	0,10	0,11	0,09	0,09	0,10	0,43	0,06	0,43	0,06	0,43	0,06	
13	0,11	0,11	0,13	0,10	0,09	0,08	0,08	0,20	0,13	0,21	0,27	0,28	0,23	0,13	0,15	0,17	0,18	0,17	0,17	0,16	0,17	0,20	0,21	0,11	0,10	0,10	0,16	0,17	0,15	0,12	0,11	0,11	0,09	0,10	0,13	0,28	0,08	0,28	0,08	0,28	0,08	
14	0,12	0,12	0,16	0,13	0,11	0,09	0,09	0,26	0,13	0,19	0,25	0,14	0,11	0,12	0,13	0,15	0,16	0,15	0,14	0,16	0,20	0,17	0,10	0,09	0,10	0,17	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,09	0,11	0,16	0,26	0,09	0,26	0,09	0,26	0,09	0,26	0,09
15	0,12	0,14	0,13	0,10	0,08	0,07	0,16	0,16	0,20	0,12	0,07	0,07	0,09	0,11	0,12	0,14	0,14	0,16	0,16	0,15	0,22	0,17	0,12	0,15	0,43	0,27	0,21	0,13	0,13	0,11	0,12	0,10	0,09	0,10	0,43	0,07	0,43	0,07	0,43	0,07	0,43	0,07
16	0,20	0,25	0,24	0,19	0,19	0,20	0,20	0,22	0,23	0,21	0,21	0,19	0,19	0,19	0,20	0,19	0,19	0,20	0,21	0,36	0,34	0,20	0,23	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,36	0,19	0,36	0,19	0,36	0,19	0,36	0,19	
17	0,30	0,36	0,36	0,28	0,28	0,29	0,29	0,29	0,30	0,41	0,30	0,24	0,23	0,22	0,22	0,30	0,30	0,29	0,29	0,28	0,31	0,37	0,30	0,28	0,35	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,37	0,27	0,37	0,27	0,37	0,27	0,37	0,27	0,37	0,27
18	0,18	0,28	0,33	0,14	0,13	0,14	0,11	0,10	0,08	0,08	0,10	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,15	0,22	0,12	0,13	0,27	0,16	0,17	0,20	0,25	0,25	0,29	0,22	0,21	0,12	0,16	0,21	0,33	0,07	0,33	0,07	0,33	0,07
19	0,27	0,25	0,32	0,21	0,19	0,16	0,11	0,10	0,08	0,09	0,09	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,08	0,15	0,18	0,12	0,16	0,21	0,13	0,16	0,19	0,24	0,24	0,29	0,22	0,21	0,32	0,06	0,32	0,06	0,32	0,06		
20	0,34	0,22	0,29	0,29	0,26	0,17	0,11	0,10	0,09	0,11	0,11	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,12	0,17	0,15	0,10	0,14	0,11	0,15	0,16	0,22	0,22	0,28	0,23	0,20	0,34	0,07	0,34	0,07	0,34	0,07	0,34	0,07
21	0,25	0,23	0,28	0,33	0,26	0,19	0,16	0,17	0,24	0,37	0,26	0,20	0,18	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,18	0,24	0,17	0,19	0,21	0,18	0,21	0,21	0,26	0,25	0,29	0,28	0,26	0,37	0,16	0,37	0,16	0,37	0,16	0,37	0,16
22	0,28	0,25	0,28	0,35	0,28	0,21	0,20	0,22	0,30	0,41	0,30	0,24	0,23	0,22	0,22	0,30	0,30	0,29	0,29	0,28	0,31	0,37	0,30	0,28	0,35	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,37	0,27	0,37	0,27	0,37	0,27	0,37	0,27	0,37	0,27	
23	0,31	0,26	0,29	0,37	0,30	0,24	0,25	0,27	0,35	0,44	0,34	0,28	0,27	0,26	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25	0,25	0,24	0,32	0,27	0,31	0,29	0,28	0,27	0,29	0,26	0,23	0,44	0,22	0,44	0,22	0,44	0,22	0,44	0,22	
24	0,23	0,17	0,22	0,27	0,18	0,14	0,20	0,20	0,38	0,32	0,22	0,13	0,10	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
25	0,27	0,23	0,29	0,28	0,23	0,26	0,38	0,36	0,52	0,35	0,29	0,23	0,22	0,21	0,21	0,21	0,21	0,20	0,20	0,20	0,21	0,20	0,19	0,18	0,25	0,25	0,26	0,20	0,21	0,20	0,18	0,18	0,23	0,32	0,18	0,32	0,18	0,32	0,18	0,32	0,18	
26	0,08	0,07	0,09	0,16	0,21	0,25	0,27	0,24	0,18	0,20	0,19	0,18	0,20	0,13	0,10	0,10	0,10	0,08	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,16	0,12	0,12	0,10	0,09	0,08	0,05	0,05	0,09	0,15	0,15	0,27	0,05	0,27	0,05	0,27	0,05		
27	0,08	0,07	0,09	0,16	0,21	0,23	0,18	0,14	0,17	0,19	0,19	0,20	0,22	0,15	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
28	0,10	0,10	0,12	0,17	0,17	0,19	0,14	0,14	0,19	0,19	0,20	0,22	0,25	0,20	0,18	0,19	0,19	0,18	0,22	0,20	0,17	0,17	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,11	0,09	0,09	0,10	0,10	0,13	0,25	0,09	0,25	0,09	0,25	0,09	0,25	0,09	
29	0,07	0,07	0,09	0,14	0,14	0,14	0,10	0,09	0,18	0,16	0,19	0,22	0,24	0,18	0,15	0,16	0,17	0,30	0,26	0,20	0,22	0,15	0,16	0,11	0,08	0,06	0,05	0,06	0,08	0,06	0,05	0,05	0,06	0,09	0,30	0,05	0,30	0,05	0,30	0,05	0,30	0,05
30	0,08	0,09	0,10	0,11	0,10	0,09	0,07	0,11	0,15	0,11	0,16	0,19	0,25	0,17	0,16	0,17	0,44	0,29	0,17	0,16	0,22	0,22	0,19	0,11	0,06	0,05	0,05	0,06	0,09	0,09	0,06	0,07	0,10	0,10	0,44	0,05	0,44	0,05	0,44	0,05		
31	0,09	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09	0,23	0,15	0,13	0,15	0,17	0,27	0,29	0,40	0,24	0,21	0,16	0,15	0,16	0,25	0,34	0,19	0,11	0,08	0,09	0,08	0,13	0,16	0,17	0,10	0,09	0,08	0,05	0,09	0,15	0,15	0,27	0,05	0,27	0,05	0,27	0,05

Nettopaine [kN/m²], 3 s huippuarvo (-) 50 v tuulen toistumisväli

Point	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	Min			
1	-0,5	-0,2	-0,5	-0,7	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-1,3	-1,7	-1,8	-1,6	-1,4	-1,3	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-0,9	-0,8	-1,1	-1,8	-1,1	-1,3	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,4	-1,6	-1,9	-1,9	-2,0	-1,6	-0,8	-0,9	-0,7	-2,0		
2	-0,5	-0,1	-0,4	-0,7	-0,9	-0,8	-0,9	-0,8	-1,5	-2,0	-1,9	-1,5	-1,6	-1,5	-1,4	-1,3	-1,2	-1,2	-1,1	-1,0	-1,1	-1,6	-1,2	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,5	-1,6	-1,9	-2,0	-2,2	-2,0	-1,9	-1,1	-0,7	-0,9	-2,6	
3	-0,6	0,0	-0,4	-0,7	-0,8	-0,9	-1,2	-2,2	-2,6	-2,4	-1,8	-1,6	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,1	-1,0	-1,1	-1,9	-1,6	-1,7	-1,5	-1,6	-1,9	-2,0	-2,2	-2,2	-2,0	-1,9	-1,1	-0,7	-0,9	-0,9	-2,6				
4	-0,5	0,0	-0,3	-0,5	-0,6	-0,8	-0,9	-1,2	-1,8	-2,1	-1,8	-1,3	-1,2	-1,1	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-1,3	-1,1	-1,3	-1,2	-1,2	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,4	-1,1	-0,7	-0,6	-0,7	-0,8	-2,1				
5	-0,6	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1,2	-1,5	-2,0	-2,2	-1,7	-1,3	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,8	-0,8	-0,7	-1,1	-1,0	-1,1	-1,3	-1,2	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,1	-0,8	-0,7	-0,6	-0,8	-0,9	-2,2				
6	-1,6	-1,4	-1,8	-2,0	-1,7	-0,5	-0,2	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,3	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,6	-0,9	-1,2	-1,3	-1,4	-1,1	-1,0	-0,9	-0,9	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,8	-0,8	-1,0	-1,4	-1,5	-2,0				
7	-1,5	-1,5	-1,7	-1,7	-1,4	-0,7	-0,2	-0,2	0,1	0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,4	-0,5	-0,7	-0,9	-1,3	-1,6	-1,4	-1,5	-1,4	-1,3	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,1	-1,1	-1,2	-1,3	-1,5	-1,7					
8	-1,3	-1,5	-1,4	-1,2	-0,9	-0,4	-0,2	-0,1	0,0	0,3	0,3	0,2	0,0	0,1	0,0	-0,1	-0,5	-1,1	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,2	-1,1	-1,0	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-1,0	-1,2	-1,1	-1,5						
9	-1,2	-1,3	-1,4	-1,1	-0,8	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0,2	0,2	0,2	0,0	0,2	0,1	0,0	-1,0	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,0	-0,9	-0,8	-0,8	-0,9	-1,0	-1,1	-1,5					
10	-1,2	-1,3	-1,2	-1,0	-0,7	-0,5	-0,4	-0,4	-0,3	-0,1	0,0	0,0	-0,1	0,2	0,1	-0,6	-1,2	-1,4	-1,5	-1,5	-1,3	-1,3	-1,3	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,5	-1,3	-1,4	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,5				
11	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,3	-1,7	-2,3	-2,5	-2,0	-1,5	-1,0	-0,3	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,5	-0,7	-0,8	-0,9	-1,1	-1,3	-1,4	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,5				
12	-1,1	-1,0	-0,9	-0,7	-0,8	-0,8	-0,9	-1,3	-1,6	-2,1	-2,2	-1,8	-1,3	-0,3	0,1	0,2	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-1,0	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,1	-1,0	-1,1	-2,2				
13	-1,0	-1,0	-0,9	-0,8	-0,7	-0,7	-0,8	-1,3	-1,4	-1,7	-1,7	-1,4	-0,8	-0,3	-0,1	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	-0,4	-0,6	-0,6	-0,7	-1,1	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,1	-1,0	-1,1	-1,7				
14	-1,0	-1,0	-1,0	-0,8	-0,6	-0,6	-1,2	-1,2	-1,3	-1,1	-0,7	-0,4	-0,3	-0,2	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-0,2	-0,5	-0,6	-0,8	-1,1	-1,3	-1,3	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,2	-1,3				
15	-1,2	-1,2	-1,1	-0,9	-0,9	-0,9	-1,0	-1,1	-1,4	-1,3	-1,1	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	-0,5	-0,8	-0,9	-1,5	-2,4	-2,2	-1,6	-1,5	-1,3	-1,2	-1,3	-1,3	-1,1	-1,2	-2,4				
16	-0,9	-1,2	-1,2	-0,9	-1,0	-1,2	-1,5	-1,5	-1,4	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,2	-2,3	-2,3	-1,1	-1,0	-0,7	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,6	-0,4	-0,7	-0,8	-0,7	-2,3				
17	-0,9	-1,4	-1,5	-1,1	-1,0	-1,4	-1,6	-1,5	-1,5	-1,3	-1,6	-1,5	-1,4	-1,4	-1,5	-1,4	-1,4	-1,3	-1,4	-1,2	-1,2	-1,4	-1,6	-1,1	-1,2	-1,0	-0,4	-0,1	-0,3	-0,3	-0,6	-0,4	-0,6	-0,8	-0,7	-0,9	-1,6			
18	-1,0	-1,4	-1,5	-1,1	-1,0	-1,2	-1,3	-1,1	-1,1	-1,3	-1,2	-1,1	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-0,9	-1,0	-1,3	-1,2	-1,2	-0,7	-0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,2	-0,3	-0,1	-0,4	-0,5	-0,7	-1,5			
19	-1,3	-1,6	-1,7	-1,4	-1,3	-1,4	-1,4	-1,4	-1,1	-1,2	-1,1	-1,2	-1,1	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-0,9	-1,0	-1,3	-1,1	-0,6	-0,7	-0,5	0,0	0,0	-0,2	-0,2	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,8	-1,7				
20	-1,5	-1,8	-2,1	-1,8	-1,7	-1,6	-1,4	-1,3	-1,2	-1,3	-1,4	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-0,6	-0,7	-0,5	-0,2	-0,3	-0,2	-0,4	-0,4	-0,5	-0,3	-0,4	-0,4	-0,7	-1,0	-2,1		
21	-0,4	-0,1	-0,4	-0,7	-0,7	-0,9	-0,8	-0,8	-1,6	-2,0	-2,0	-1,8	-1,5	-1,5	-1,3	-1,3	-1,2	-1,1	-1,0	-1,2	-1,4	-1,2	-1,4	-1,2	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,8	-1,6	-1,3	-0,7	-0,9	-2,0			
22	-0,3	0,0	-0,3	-0,7	-0,8	-0,8	-0,9	-1,8	-2,1	-2,0	-1,9	-1,6	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,1	-1,1	-1,1	-1,2	-1,1	-1,2	-1,1	-1,2	-1,4	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,2	-0,7	-0,9	-0,6	-2,1				
23	-0,2	0,0	-0,3	-0,8	-0,7	-0,8	-0,9	-0,9	-1,9	-2,3	-2,1	-2,0	-1,6	-1,4	-1,6	-1,4	-1,4	-1,2	-1,1	-1,2	-1,1	-1,2	-1,1	-1,0	-1,0	-1,1	-1,5	-1,6	-1,5	-1,4	-1,6	-1,3	-1,1	-0,6	-0,8	-0,6	-2,3			
24	-0,3	0,1	-0,3	-0,5	-0,5	-0,8	-1,1	-0,8	-1,9	-2,3	-2,3	-1,9	-1,3	-1,3	-1,2	-1,1	-1,1	-1,0	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-1,3	-1,4	-1,3	-1,1	-1,3	-1,2	-1,3	-1,1	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-2,3			
25	-0,4	-0,2	-0,5	-0,7	-0,8	-1,1	-1,4	-1,3	-2,2	-2,5	-2,4	-1,8	-1,4	-1,4	-1,5	-1,3	-1,3	-1,1	-1,1	-1,0	-1,1	-1,0	-0,9	-0,9	-1,3	-1,5	-1,5	-1,3	-1,2	-1,0	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-2,5			
26	-1,0	-0,9	-1,0	-1,2	-1,2	-0,8	-0,3	-0,6	-0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,6	-0,6	-0,7	-0,8	-0,8	-0,8	-1,0	-0,9	-1,3	-1,1	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-1,2	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4				
27	-1,1	-1,0	-1,1	-1,3	-1,1	-0,7	-0,4	-0,5	-0,1	0,1	0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,6	-0,6	-0,8	-0,9	-0,8	-0,9	-0,8	-0,8	-1,0	-1,0	-1,0	-1,1	-0,8	-0,9	-0,9	-1,3	-1,3	-1,2	-1,3				
28	-1,0	-1,0	-1,1	-1,1	-1,0	-0,5	-0,3	-0,4	-0,2	0,0	0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,5	-0,9	-1,2	-1,1	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-1,2	-1,1	-1,2		
29	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,6	-0,4	-0,5	-0,4	-0,2	0,0	-0,1	0,1	0,1	-0,1	-0,7	-1,2	-1,4	-1,6	-1,7	-1,5	-1,1	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-1,0	-1,0	-1,0		
30	-1,1	-1,1	-1,0	-0,8	-0,5	-0,5	-0,7	-0,5	-0,4	-0,2	0,0	0,2	-0,2	0,1	0,2	-0,2	-1,5	-1,4	-1,6	-1,7	-1,4	-1,1	-1,0	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-1,1	-1,2	-1,7	
31	-1,1	-1,1	-1,0	-0,9	-0,9	-1,0	-0,9	-1,2	-1,4	-1,5	-1,6	-1,5	-1,5	-1,1	-1,0	-0,7	0,0	0,2	0,3	0,2	-0,6	-1,1	-1,2	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-1,1	-1,1	-1,2	
32	-1,1	-1,1	-1,0	-0,9	-0,8	-0,8	-0,9	-1,6	-1,7	-1,8	-1,7	-1,4	-1,0	-0,7	-0,4	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	-0,6	-0,9	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-1,2	-1,3	-1,2	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,3	-1,1	-1,8		
33	-1,4	-1,3	-1,3	-1,1	-1,0	-1,1	-1,8	-1,7	-2,0	-2,0	-2,1	-1,7	-0,9	-0,5	-0,6	-0,6	-0,4	-0,2	-0,1	-0,9	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,3	-1,1	-1,8
34	-1,7	-1,6	-1,5	-1,4	-1,2	-1,1	-1,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,2	-2,3	-2,2	-1,8	-0,8	-0,4	-0,3	-0,3	0,1	0,2	0,1	-0,9	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-2,3	
35	-1,4	-1,4	-1,2	-1,1	-1,0	-0,9	-1,0	-1,5	-1,6	-1,7	-1,7	-1,4	-1,1	-0,5	-0,4	-0,4	-0,3	-0,1	0,0	-0,1	-0,6	-0,8	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-1,0	-2,0	-2,3
36	-0,9	-1,0	-1,0	-0,6	-0,6	-0,7	-1,4	-1,7	-1,4	-1,3	-1,5	-1,7	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-0,9	-1,0	-0,9	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-1,0	-1,7	
37	-1,0	-1,2	-1,4	-0,7	-0,6	-0,7	-1,3	-1,4	-1,1	-1,2	-1,4	-1,5	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,5		
38	-1,5	-2,0	-1,8	-1,2	-0,8	-1,0	-1,6	-1,7	-1,3	-1,5	-1,5	-1,2	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-2,0		
39	-1,5	-1,8	-1,8	-1,6	-1,0	-1,3	-1,9	-1,9	-1,4	-1,5	-1,6	-1,6	-1,4	-1,5	-1,4	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,2	-1,1	-1,2	-1,1	-1,2	-1,0	-0											

Nettopaine [kN/m²], 10 s huippuarvo (< 50 v tuulen toistumisväli

Point	Tuulen suuntakulma [°]																																			Min					
	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	-0,3	0,0	-0,1	-0,4	-0,6	-0,7	-0,6	-0,6	-0,9	-1,5	-1,6	-1,4	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,0	-0,9	-0,8	-0,7	-0,8	-1,3	-0,9	-1,1	-1,0	-0,9	-1,1	-1,0	-0,9	-1,2	-1,3	-1,5	-1,5	-1,6	-1,7	-1,3	-0,5	-0,6	-0,5	-1,7	
2	-0,2	0,1	0,0	-0,3	-0,5	-0,6	-0,6	-0,5	-1,0	-1,7	-1,6	-1,3	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-0,9	-0,8	-0,7	-1,1	-0,9	-1,1	-0,9	-1,1	-1,0	-1,0	-1,2	-1,3	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-0,9	-0,4	-0,6	-0,6	-1,7		
3	-0,3	0,3	0,0	-0,4	-0,6	-0,7	-0,6	-0,7	-1,7	-2,4	-2,0	-1,6	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,2	-1,1	-1,0	-0,9	-0,9	-1,4	-1,2	-1,4	-1,3	-1,5	-1,6	-1,8	-1,8	-1,7	-1,3	-0,9	-0,5	-0,7	-0,7	-2,4	-0,7	-0,7	-2,4		
4	-0,2	0,2	0,1	-0,3	-0,5	-0,6	-0,6	-0,9	-1,6	-1,8	-1,5	-1,2	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,8	-0,7	-0,7	-0,6	-1,0	-0,9	-1,1	-1,0	-1,2	-1,2	-1,3	-1,3	-1,1	-0,8	-0,6	-0,5	-0,5	-0,6	-1,8	-0,6	-0,5	-1,8		
5	-0,4	0,1	-0,2	-0,4	-0,5	-1,0	-1,3	-1,2	-1,7	-1,8	-1,5	-1,2	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,9	-0,8	-0,9	-1,1	-1,0	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-0,9	-0,7	-0,6	-0,5	-0,6	-1,8	-0,6	-0,5	-1,8		
6	-1,3	-1,1	-1,3	-1,5	-1,0	-0,3	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,0	-0,2	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,8	-0,9	-1,1	-1,2	-1,5	-1,5		
7	-1,3	-1,1	-1,3	-1,1	-0,8	-0,3	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,2	0,0	0,2	0,1	0,0	-0,2	-0,3	-0,5	-0,7	-1,1	-1,3	-1,2	-1,3	-1,2	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,9	-0,9	-1,1	-1,2	-1,3	-1,3			
8	-1,1	-1,1	-1,2	-0,9	-0,6	-0,2	0,1	0,1	0,1	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,0	-0,3	-0,9	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,8	-0,7	-0,7	-0,8	-0,8	-1,0	-1,0	-1,3	-1,3		
9	-1,0	-1,0	-1,0	-0,7	-0,5	-0,2	0,0	0,0	0,1	0,3	0,4	0,4	0,2	0,3	0,2	0,1	-0,6	-1,3	-1,4	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,8	-0,8	-0,9	-0,9	-1,4	-1,4		
10	-1,0	-1,1	-1,1	-0,7	-0,6	-0,4	-0,3	-0,2	0,0	0,1	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	-0,2	-0,5	-0,7	-0,7	-0,8	-1,0	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-1,1	-1,0	-1,0	-2,0		
11	-1,0	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-1,1	-1,4	-1,8	-2,0	-1,6	-1,2	-0,5	0,0	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,1	0,2	-0,2	-0,5	-0,6	-0,6	-0,9	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-2,0	
12	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,9	-1,2	-1,5	-1,4	-1,1	-0,6	-0,1	0,0	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	-0,2	-0,5	-0,6	-0,6	-0,9	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-1,5		
13	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,9	-1,2	-1,5	-1,4	-1,1	-0,6	-0,1	0,0	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	-0,2	-0,5	-0,6	-0,6	-0,9	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-1,5		
14	-0,8	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,5	-0,8	-1,0	-1,3	-1,2	-0,8	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,1	-0,3	-0,5	-0,5	-0,6	-0,6	-0,9	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-2,0		
15	-1,0	-1,0	-0,9	-0,8	-0,7	-0,8	-0,9	-1,0	-1,3	-1,2	-0,8	-0,5	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	-0,3	-0,5	-0,5	-0,6	-0,6	-0,9	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-2,0		
16	-0,7	-0,9	-0,9	-0,7	-0,7	-1,0	-1,2	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-1,7	-1,4	-0,9	-0,8	-0,4	0,0	0,1	0,2	-0,2	-0,4	-0,2	-0,4	-0,5	-0,5	-0,6	-1,7	-1,7	-1,7		
17	-0,6	-1,0	-1,3	-0,7	-0,7	-1,1	-1,3	-1,2	-1,1	-1,1	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-0,9	-0,9	-1,0	-1,1	-0,8	-0,9	-0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,3	
18	-0,7	-1,2	-1,3	-0,7	-0,8	-1,1	-1,1	-1,1	-0,9	-1,0	-1,2	-1,1	-1,0	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,9	-0,8	-0,6	-0,7	-0,4	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,3	
19	-1,0	-1,4	-1,5	-1,1	-1,1	-1,2	-1,2	-1,0	-1,1	-1,2	-1,1	-1,0	-1,1	-1,0	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,9	-0,8	-0,6	-0,7	-0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,3	
20	-1,2	-1,5	-1,7	-1,5	-1,4	-1,3	-1,2	-1,2	-1,0	-1,2	-1,3	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-1,0	-0,9	-0,8	-0,8	-0,5	-0,6	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-1,7
21	-0,1	0,1	0,1	-0,4	-0,5	-0,6	-0,6	-0,6	-1,1	-1,7	-1,6	-1,5	-1,3	-1,3	-1,2	-1,1	-1,1	-1,0	-0,9	-0,8	-0,8	-1,0	-0,9	-0,8	-0,5	-0,6	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-1,7
22	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-1,7
23	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-1,7
24	0,2	0,2	0,1	-0,3	-0,4	-0,6	-0,6	-0,6	-1,4	-1,8	-1,7	-1,5	-1,2	-1,2	-1,1	-1,0	-1,0	-0,9	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-1,7
25	0,0	0,0	-0,2	-0,6	-0,6	-0,7	-1,0	-0,9	-1,6	-2,1	-1,8	-1,5	-1,4	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,0	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-1,7
26	0,0	0,0	-0,2	-0,6	-0,6	-0,7	-1,0	-0,9	-1,6	-2,1	-1,8	-1,5	-1,4	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,0	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-1,7
27	-0,9	-0,8	-0,9	-1,0	-0,9	-0,5	-0,2	-0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,7	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-1,7	
28	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,7	-0,4	-0,3	-0,3	-0,2	0,1	0,0	0,0	0,2	0,3	0,1	-0,5	-1,0	-1,2	-1,5	-1,3	-1,0	-0,9	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-1,7	
29	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,7	-0,4	-0,3	-0,3	-0,2	0,1	0,0	0,0	0,2	0,3	0,1	-0,5	-1,0	-1,2	-1,5	-1,3	-1,0	-0,9	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-1,7	
30	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,7	-0,4	-0,5	-0,4	-0,2	0,1	0,0	0,0	0,2	0,3	0,2	-0,1	-0,5	-1,0	-1,2	-1,5	-1,3	-1,0	-0,9	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-1,7	
31	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,7	-0,7	-0,8	-0,7	-1,1	-1,3	-1,4	-1,5	-1,4	-1,3	-0,9	-0,7	-0,3	0,2	0,4	0,3	-0,3	-0,8	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-1,7	
32	-0,9	-1,0	-0,8	-0,7	-0,7	-1,1	-1,3	-1,4	-1,5	-1,5	-1,3	-0,8	-0,3	0,0	0,1	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	-0,3	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-1,7	
33	-1,1	-1,1	-1,0	-0,9	-0,8	-0,8	-0,9	-1,2	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,3	-0,7	-0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	-0,5	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,6	
34	-1,4	-1,4	-1,2	-1,1	-0,9	-1,0	-1,1	-1,3	-1,8	-2,0	-2,1	-1,8	-1,2	-0,5	-0,2	0,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-0,7	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,6	
35	-1,2	-1,2	-1,0	-0,9	-0,8	-0,8	-0,9	-1,0	-1,3	-1,5	-1,6	-1,2	-0,8	-0,4	-0,4	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,5	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-1,6	
36	-0,6	-0,8	-0,6	-0,5	-0,5	-0,7	-1,1	-1,5	-1,1	-1,3	-1,4	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,0	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-1,6	
37	-0,7	-0,9	-1,0	-0,5	-0,4	-0,5																																			

Liite 7 Tuulitilaston muunnoskertoimien laskenta

Tuulitilaston lukemien muuntamiseksi Harmajan tuulitilastosta Kalasataman lukemiksi tarvitaan muunnoskertoimia, joiden laskenta on tarkemmin esitetty oheisessa taulukossa. Merkinnät:

- k_1 = maaston karheusluokan erot kompensoiva kerroin tuulitunneliko-
keen referenssipistettä vastaavalla korkeudella ($z' = 15$ m)
- k_h = tunnin keskituulien suhde 10 min keskituuliin tuulitunneliko-
keen referenssipistettä vastaavalla korkeudella ($z' = 15$ m).

Symboli	Yksikkö	Tuulen suuntakulma											Kommentti	Viite		
		0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300			330	
v_{ref}	m/s	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	keskituulen perusarvo (10 min, 10 m, 50 v, z_{01})	Tuulitilastot
k		0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	toistumisvälin kerroin	Eurokoodi
v_{ref}	m/s	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	26,2	1 v toistumisvälin tuuli	
u^*	m/s	1,137	1,137	1,137	1,137	1,137	1,137	1,137	1,137	1,137	1,137	1,137	1,137	1,137	kitkanopeus (friction velocity) vastaan z_{01}	
z_{01}	m	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	rosoisuusmitta (roughness length) keskituulen perusarvoon liittyen	Eurokoodi
z_{01}	m	0,3	0,3	0,3	0,01	0,01	0,003	0,003	0,003	0,05	0,3	0,3	0,3	0,3	kohdealueen ympäristössä	Eurokoodi
$(z_{01}/z_{01})^{0,07}$	m/s	1,491	1,491	1,491	1,175	1,175	1,080	1,080	1,080	1,315	1,491	1,491	1,491	1,491		
u^*_{-1}	m/s	1,695	1,695	1,695	1,336	1,336	1,228	1,228	1,228	1,495	1,695	1,695	1,695	1,695	kitkanopeus vastaten z_{01}	Eurokoodi, Simiu & Scanlan
lv(z = 10 m)		0,29	0,29	0,29	0,14	0,14	0,12	0,12	0,12	0,19	0,29	0,29	0,29	0,29	turbulenssin intensiteetti	Eurokoodi
lv(z = 15 m)		0,26	0,26	0,26	0,14	0,14	0,12	0,12	0,12	0,18	0,26	0,26	0,26	0,26		
lv(z = 78,24 m)		0,18	0,18	0,18	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,14	0,18	0,18	0,18	0,18		
lv(z = 130,4 m)		0,16	0,16	0,16	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09	0,13	0,16	0,16	0,16	0,16		
vm(z = 10 m)	m/s	15	15	15	23	23	25	25	25	20	15	15	15	15	10 min keskituuli	Eurokoodi
vm(z = 15 m)	m/s	17	17	17	24	24	26	26	26	21	17	17	17	17		
vm(z = 78,24 m)	m/s	24	24	24	30	30	31	31	31	27	24	24	24	24		
vm(z = 130,4 m)	m/s	26	26	26	32	32	33	33	33	29	26	26	26	26		
vh(z = 10 m)	m/s	13	13	13	22	22	24	24	24	19	13	13	13	13	tunnin keskituuli	Simiu & Scanlan
vh(z = 15 m)	m/s	15	15	15	23	23	25	25	25	20	15	15	15	15		
vh(z = 78,24 m)	m/s	22	22	22	29	29	30	30	30	26	22	22	22	22		
vh(z = 130,4 m)	m/s	24	24	24	30	30	32	32	32	28	24	24	24	24		
v(z = 10 m)	m/s	26	26	26	33	33	34	34	34	30	26	26	26	26	puuskatuuli	Eurokoodi
v(z = 15 m)	m/s	28	28	28	34	34	35	35	35	32	28	28	28	28		
v(z = 78,24 m)	m/s	35	35	35	40	40	41	41	41	38	35	35	35	35		
v(z = 130,4 m)	m/s	38	38	38	42	42	42	42	42	40	38	38	38	38		
z_{02}	m	0,05	0,01	0,003	0,1	0,1	0,1	0,05	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	kohdealueella	Eurokoodi
$(z_{02}/z_{01})^{0,07}$		0,882	0,788	0,724	1,175	1,175	1,278	1,218	1,380	1,134	1,000	1,000	1,000	1,000		
u^*_{-2}	m/s	1,495	1,336	1,228	1,569	1,569	1,569	1,495	1,695	1,695	1,695	1,695	1,695	1,695	kitkanopeus vastaten z_{02}	Eurokoodi
lv(z = 10 m)		0,19	0,14	0,12	0,22	0,22	0,22	0,19	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	turbulenssin intensiteetti	Eurokoodi
lv(z = 15 m)		0,18	0,14	0,12	0,20	0,20	0,20	0,18	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26		
lv(z = 78,24 m)		0,14	0,11	0,10	0,15	0,15	0,15	0,14	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18		
lv(z = 130,4 m)		0,13	0,11	0,09	0,14	0,14	0,14	0,13	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16		
vm(z = 10 m)	m/s	20	23	25	18	18	18	20	15	15	15	15	15	15	10 min keskituuli	Eurokoodi
vm(z = 15 m)	m/s	21	24	26	20	20	20	21	17	17	17	17	17	17		
vm(z = 78,24 m)	m/s	27	30	31	26	26	26	27	24	24	24	24	24	24		
vm(z = 130,4 m)	m/s	29	32	33	28	28	28	29	26	26	26	26	26	26		
vh(z = 10 m)	m/s	19	22	24	17	17	17	19	13	13	13	13	13	13	tunnin keskituuli	Simiu & Scanlan
vh(z = 15 m)	m/s	20	23	25	18	18	18	20	15	15	15	15	15	15		
vh(z = 78,24 m)	m/s	26	29	30	25	25	25	26	22	22	22	22	22	22		
vh(z = 130,4 m)	m/s	28	30	32	27	27	27	28	24	24	24	24	24	24		
v(z = 10 m)	m/s	30	33	34	29	29	29	30	26	26	26	26	26	26	puuskatuuli	Eurokoodi
v(z = 15 m)	m/s	32	34	35	30	30	30	32	28	28	28	28	28	28		
v(z = 78,24 m)	m/s	38	40	41	37	37	37	38	35	35	35	35	35	35		
v(z = 130,4 m)	m/s	40	42	42	40	40	40	40	38	38	38	38	38	38		
Maaston rosoisuuden muutoksen ($z_{01} \rightarrow z_{02}$) vaikutus ESDU85020 mukaisesti																
x	m	2500	5000	1300	5800	9000	1000	4200	4000	3400	3600	5000	5000	5000	etäisyys muutoskohtaan	
zi	m	71	64	9	135	187	36	89	134	119	252	350	350	350	sis. rajakerroksen korkeus	
lv(z = 10 m)		0,22	0,19	0,19	0,19	0,20	0,18	0,17	0,23	0,25	0,29	0,29	0,29	0,29		
lv(z = 15 m)		0,21	0,18	0,18	0,18	0,18	0,16	0,16	0,21	0,22	0,26	0,26	0,26	0,26		
lv(z = 78,24 m)		0,16	0,14	0,16	0,13	0,14	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,18	0,18	0,18		
lv(z = 130,4 m)		0,15	0,14	0,16	0,12	0,13	0,09	0,10	0,12	0,14	0,16	0,16	0,16	0,16		
10 min keskituuli																
vm(z = 10 m)	m/s	18	20	19	20	19	21	22	18	16	15	15	15	15		
vm(z = 15 m)	m/s	19	21	20	21	21	23	23	20	18	17	17	17	17		
vm(z = 78,24 m)	m/s	24	26	25	28	28	30	30	28	26	24	24	24	24		
vm(z = 130,4 m)	m/s	26	28	27	30	30	32	31	31	28	26	26	26	26		
Tunnin keskituuli																
vh(z = 10 m)	m/s	16	18	18	18	18	20	20	17	15	13	13	13	13		
vh(z = 15 m)	m/s	18	19	19	20	20	22	22	19	17	15	15	15	15		
vh(z = 78,24 m)	m/s	23	24	24	27	26	29	28	26	24	22	22	22	22		
vh(z = 130,4 m)	m/s	25	26	26	29	29	31	30	29	27	24	24	24	24		
Puuskatuuli (EN1991-1-4:2005 puuskamäärittely)																
v(z = 10 m)	m/s	28	30	29	30	30	32	32	29	27	26	26	26	26		
v(z = 15 m)	m/s	30	31	31	32	32	33	34	31	30	28	28	28	28		
v(z = 78,24 m)	m/s	36	36	37	39	39	40	40	39	37	35	35	35	35		
v(z = 130,4 m)	m/s	38	39	39	41	41	41	41	41	39	38	38	38	38		
Puuskatulen nopeuspaine (EN1991-1-4:2005 puuskatuulimäärittely): ilman tiheys = 1,30 kg/m³																
q(z = 10 m)	kN/m ²	0,51	0,57	0,55	0,59	0,58	0,65	0,66	0,53	0,49	0,43	0,43	0,43	0,43		
q(z = 15 m)	kN/m ²	0,57	0,62	0,61	0,67	0,66	0,72	0,73	0,63	0,57	0,50	0,50	0,50	0,50		
q(z = 78,24 m)	kN/m ²	0,83	0,86	0,89	0,99	0,98	1,01	1,02	0,99	0,91	0,82	0,82	0,82	0,82	z = 0,6H	
q(z = 130,4 m)	kN/m ²	0,94	0,98	1,00	1,08	1,08	1,07	1,10	1,10	1,01	0,93	0,93	0,93	0,93		
EN1991-1-4:2005 & NA q (maasto 0)																
q(z = 10 m)	kN/m ²	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82		
q(z = 15 m)	kN/m ²	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89		
q(z = 78,24 m)	kN/m ²	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17		
q(z = 130,4 m)	kN/m ²	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27		
vm,r (z=15)	m/s	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	Harmaja, 10 min keskituuli (15 m)	
vm,r (z')	m/s	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	Harmaja, 10 min keskituuli (z')	
vm (z')	m/s	18,9	20,7	20,3	21,4	21,1	22,8	23,2	19,8	18,4	16,6	16,6	16,6	16,6	Kalatatama, 10 min keskituuli	
k1		0,69	0,76	0,74	0,78	0,77	0,83	0,85	0,73	0,67	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61 = vm/vm,r	
kh		0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95	0,94	0,93	0,92	0,92	0			

Liite 8 Staattiset korvauskuormat kerroksittain

Tornien T₁-T₃ ja T₅-T₈ staattiset korvauskuormat on esitetty oheisissa taulukoissa. Tornin T₄ osalta staattiset korvauskuormat on esitetty luvussa 7.

Torni T₁

kerros*	h [m]		pohjoistuuli			itätuuli			etelätuuli			länsituuli		
	z	dz	±F _x	**F _y	±M _z	**F _x	±F _y	±M _z	±F _x	**F _y	±M _z	**F _x	±F _y	±M _z
	[m]	[m]	[MN]	[MN]	[MNm]	[MN]	[MN]	[MNm]	[MN]	[MN]	[MNm]	[MN]	[MN]	[MNm]
1	0	4,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	4,8	5,8	0,09	-0,13	0,81	-0,20	0,08	0,96	0,15	0,00	0,71	0,00	-0,09	0,56
3	10,6	5,3	0,08	-0,12	0,83	-0,19	0,08	0,93	0,14	0,00	0,73	0,00	-0,08	0,55
4	15,9	6,3	0,11	-0,16	1,20	-0,24	0,10	1,28	0,18	0,00	1,06	0,00	-0,11	0,78
5	22,2	3,6	0,07	-0,10	0,83	-0,15	0,07	0,85	0,11	0,00	0,73	0,00	-0,07	0,53
6	25,8	3,3	0,07	-0,09	0,84	-0,14	0,06	0,84	0,11	0,10	0,84	0,12	-0,07	0,74
7	29,1	3,3	0,07	-0,10	0,91	-0,15	0,07	0,90	0,11	0,10	0,90	0,12	-0,07	0,78
8	32,4	3,3	0,07	-0,10	0,98	-0,15	0,07	0,95	0,11	0,11	0,96	0,13	-0,07	0,82
9	35,7	3,3	0,08	-0,10	1,05	-0,16	0,07	1,01	0,12	0,11	1,02	0,13	-0,07	0,87
10	39	3,0	0,07	-0,10	1,02	-0,15	0,07	0,97	0,11	0,10	0,98	0,12	-0,07	0,83
11	42	3,3	0,08	-0,11	1,18	-0,16	0,08	1,11	0,13	0,11	1,13	0,14	-0,08	0,95
12	45,3	3,6	0,09	-0,12	1,36	-0,18	0,09	1,27	0,14	0,13	1,30	0,16	-0,09	1,08
13	48,9	3,3	0,09	-0,12	1,33	-0,17	0,09	1,23	0,14	0,12	1,26	0,15	-0,09	1,04
14	52,2	3,3	0,09	-0,12	1,39	-0,18	0,09	1,28	0,14	0,12	1,32	0,15	-0,09	1,08
15	55,5	3,3	0,10	-0,12	1,46	-0,18	0,10	1,34	0,15	0,12	1,38	0,16	-0,09	1,12
16	58,8	3,3	0,10	-0,13	1,53	-0,19	0,10	1,39	0,15	0,13	1,44	0,16	-0,10	1,16
17	62,1	3,3	0,11	-0,13	1,60	-0,19	0,11	1,44	0,16	0,13	1,49	0,16	-0,10	1,20
18	65,4	3,6	0,12	-0,15	1,82	-0,21	0,12	1,63	0,18	0,14	1,69	0,18	-0,11	1,36
19	69	3,3	0,13	-0,14	1,82	-0,22	0,12	1,66	0,18	0,13	1,70	0,19	-0,11	1,40
20	72,3	3,3	0,13	-0,14	1,89	-0,22	0,12	1,71	0,19	0,14	1,76	0,19	-0,11	1,44
21	75,6	3,3	0,14	-0,15	1,96	-0,23	0,13	1,77	0,20	0,14	1,82	0,20	-0,12	1,49
22	78,9	3,3	0,14	-0,15	2,02	-0,23	0,13	1,82	0,20	0,14	1,88	0,20	-0,12	1,53
23	82,2	3,3	0,15	-0,16	2,09	-0,24	0,14	1,88	0,21	0,14	1,94	0,21	-0,13	1,57
24	85,5	3,3	0,15	-0,16	2,16	-0,24	0,15	1,93	0,22	0,15	1,99	0,21	-0,13	1,61
25	88,8	3,3	0,16	-0,17	2,23	-0,25	0,15	1,98	0,22	0,15	2,05	0,22	-0,13	1,65
26	92,1	3,3	0,16	-0,17	2,30	-0,25	0,16	2,04	0,23	0,15	2,11	0,22	-0,14	1,70
27	95,4	3,3	0,17	-0,18	2,37	-0,26	0,16	2,09	0,24	0,16	2,17	0,22	-0,14	1,74
28	98,7	4,0	0,21	-0,22	2,95	-0,32	0,20	2,60	0,30	0,19	2,70	0,28	-0,18	2,16
29	102,7	5,0	0,27	-0,29	3,81	-0,41	0,27	3,35	0,38	0,25	3,48	0,36	-0,23	2,77
30	107,7	3,0	0,15	-0,16	2,06	-0,19	0,15	1,64	0,20	0,12	1,82	0,16	-0,13	1,25
31 (top)	113,7	3	0,16	-0,17	2,16	-0,19	0,16	1,72	0,21	0,13	1,91	0,17	-0,13	1,31
Yht	113,7		3,61	-4,25	50,0	-6,26	3,52	45,5	5,32	3,52	46,3	4,70	-3,26	37,1

* kuorma voidaan kohdistaa kerroksen lattiaan.

** tuulen suuntainen komponentti

Torni T₂

kerros*	127,3		pohjoistuuli			itätuuli			etelätuuli			länsituuli			
	h [m]	z [m]	dz [m]	±F _x [MN]	**F _y [MN]	±M _z [MNm]	**F _x [MN]	±F _y [MN]	±M _z [MNm]	±F _x [MN]	**F _y [MN]	±M _z [MNm]	**F _x [MN]	±F _y [MN]	±M _z [MNm]
1	0	4,8	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
2	4,8	5,8	0,12	-0,13	1,19	0,00	0,09	0,65	0,20	0,00	1,20	0,21	-0,09	1,32	
3	10,6	5,3	0,11	-0,12	1,17	0,00	0,08	0,67	0,18	0,00	1,16	0,19	-0,08	1,22	
4	15,9	6,2	0,14	-0,16	1,61	0,00	0,10	0,96	0,23	0,00	1,56	0,26	-0,11	1,64	
5	22,1	3,7	0,09	-0,10	1,12	0,00	0,07	0,70	0,15	0,00	1,07	0,17	-0,07	1,10	
6	25,8	3,3	0,09	-0,09	1,09	-0,19	0,07	1,15	0,14	0,10	1,11	0,16	-0,07	1,04	
7	29,1	3,3	0,09	-0,10	1,17	-0,19	0,07	1,22	0,14	0,11	1,17	0,16	-0,07	1,10	
8	32,4	3,3	0,09	-0,10	1,25	-0,20	0,07	1,28	0,15	0,11	1,24	0,17	-0,07	1,15	
9	35,7	3,3	0,10	-0,10	1,32	-0,21	0,08	1,35	0,16	0,11	1,31	0,17	-0,08	1,20	
10	39	3,3	0,10	-0,11	1,40	-0,21	0,08	1,41	0,16	0,12	1,37	0,18	-0,08	1,25	
11	42,3	3,3	0,11	-0,11	1,48	-0,22	0,09	1,47	0,17	0,12	1,44	0,18	-0,08	1,30	
12	45,6	3,3	0,11	-0,11	1,56	-0,22	0,09	1,54	0,17	0,12	1,50	0,19	-0,09	1,35	
13	48,9	3,3	0,12	-0,12	1,64	-0,23	0,10	1,60	0,18	0,12	1,57	0,19	-0,09	1,40	
14	52,2	3,3	0,12	-0,12	1,72	-0,23	0,10	1,66	0,19	0,13	1,64	0,20	-0,09	1,45	
15	55,5	3,3	0,13	-0,13	1,80	-0,24	0,11	1,72	0,19	0,13	1,70	0,20	-0,10	1,50	
16	58,8	3,3	0,13	-0,13	1,87	-0,24	0,11	1,79	0,20	0,13	1,77	0,21	-0,10	1,55	
17	62,1	3,3	0,14	-0,14	1,95	-0,25	0,12	1,85	0,21	0,13	1,83	0,21	-0,11	1,60	
18	65,4	3,3	0,15	-0,14	2,03	-0,26	0,12	1,91	0,22	0,14	1,90	0,22	-0,11	1,65	
19	68,7	3,3	0,15	-0,15	2,11	-0,26	0,13	1,97	0,22	0,14	1,96	0,22	-0,12	1,70	
20	72	3,9	0,19	-0,18	2,58	-0,32	0,16	2,40	0,27	0,17	2,39	0,27	-0,14	2,06	
21	75,9	3,3	0,17	-0,16	2,30	-0,27	0,15	2,15	0,24	0,16	2,13	0,24	-0,13	1,85	
22	79,2	3,3	0,17	-0,17	2,38	-0,28	0,15	2,21	0,25	0,16	2,20	0,24	-0,14	1,90	
23	82,5	3,3	0,18	-0,18	2,46	-0,29	0,16	2,27	0,26	0,16	2,26	0,25	-0,14	1,95	
24	85,8	3,3	0,19	-0,18	2,54	-0,29	0,16	2,33	0,27	0,16	2,33	0,25	-0,15	1,99	
25	89,1	3,3	0,19	-0,19	2,61	-0,30	0,17	2,39	0,27	0,17	2,39	0,26	-0,15	2,04	
26	92,4	3,3	0,20	-0,19	2,69	-0,31	0,18	2,45	0,28	0,17	2,45	0,27	-0,16	2,09	
27	95,7	3,3	0,21	-0,20	2,77	-0,31	0,18	2,51	0,29	0,17	2,52	0,27	-0,16	2,14	
28	99	3,3	0,22	-0,20	2,84	-0,32	0,19	2,58	0,30	0,18	2,58	0,28	-0,17	2,19	
29	102,3	3,3	0,22	-0,21	2,92	-0,33	0,20	2,64	0,31	0,18	2,64	0,28	-0,17	2,24	
30	105,6	3,5	0,24	-0,23	3,18	-0,35	0,22	2,86	0,34	0,20	2,87	0,31	-0,19	2,42	
31	109,1	3,1	0,22	-0,21	2,89	-0,32	0,20	2,59	0,31	0,18	2,61	0,28	-0,17	2,19	
32	112,2	4,0	0,30	-0,28	3,82	-0,42	0,26	3,41	0,41	0,23	3,43	0,37	-0,23	2,88	
33	116,2	3,6	0,28	-0,26	3,53	-0,39	0,25	3,15	0,38	0,21	3,17	0,34	-0,21	2,66	
34	119,8	3,6	0,25	-0,23	3,11	-0,31	0,23	2,52	0,34	0,18	2,69	0,27	-0,19	1,95	
35	123,4	2,0	0,14	-0,13	1,73	-0,17	0,13	1,40	0,19	0,10	1,50	0,15	-0,11	1,08	
tornin huippu	127,3	1,95	0,15	-0,14	1,78	-0,18	0,14	1,44	0,20	0,10	1,54	0,15	-0,11	1,11	
Yht		127,3	5,64	-5,49	73,6	-8,32	4,77	66,2	8,19	4,58	68,2	7,97	-4,31	59,3	

* kuorma voidaan kohdistaa kerroksen lattiaan.

** tuulen suuntainen komponentti

Torni T₃

kerros*	h [m]		pohjoistuuli			itätuuli			etelätuuli			länsituuli		
	z [m]	dz [m]	±F _x [MN]	**F _y [MN]	±M _z [MNm]	**F _x [MN]	±F _y [MN]	±M _z [MNm]	±F _x [MN]	**F _y [MN]	±M _z [MNm]	**F _x [MN]	±F _y [MN]	±M _z [MNm]
1	0	4,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	4,8	5,8	0,10	0,00	0,81	-0,22	0,08	1,11	0,17	0,14	1,04	0,00	-0,09	0,54
3	10,6	5,3	0,10	0,00	0,87	-0,20	0,08	1,07	0,16	0,13	1,04	0,00	-0,08	0,55
4	15,9	6,3	0,12	0,00	1,28	-0,27	0,10	1,49	0,20	0,17	1,47	0,00	-0,11	0,80
5	22,2	3,6	0,08	0,00	0,91	-0,17	0,07	0,99	0,13	0,10	1,00	0,00	-0,07	0,55
6	25,8	3,3	0,08	-0,09	0,99	-0,16	0,06	0,98	0,12	0,10	1,00	0,13	-0,07	0,86
7	29,1	3,3	0,08	-0,10	1,07	-0,16	0,07	1,05	0,13	0,10	1,07	0,14	-0,07	0,91
8	32,4	3,3	0,08	-0,10	1,16	-0,17	0,07	1,11	0,13	0,10	1,14	0,14	-0,07	0,96
9	35,7	3,3	0,09	-0,10	1,24	-0,17	0,08	1,18	0,14	0,11	1,22	0,15	-0,08	1,01
10	39	3,4	0,09	-0,11	1,36	-0,18	0,09	1,28	0,15	0,11	1,33	0,16	-0,08	1,09
11	42,4	3,2	0,09	-0,11	1,37	-0,18	0,09	1,27	0,14	0,11	1,33	0,15	-0,08	1,08
12	45,6	3,3	0,10	-0,12	1,49	-0,19	0,09	1,38	0,15	0,11	1,44	0,16	-0,09	1,16
13	48,9	3,3	0,11	-0,12	1,57	-0,19	0,10	1,44	0,16	0,12	1,51	0,16	-0,09	1,21
14	52,2	3,3	0,11	-0,13	1,65	-0,20	0,10	1,51	0,17	0,12	1,59	0,17	-0,10	1,26
15	55,5	3,3	0,12	-0,13	1,74	-0,20	0,11	1,57	0,17	0,12	1,66	0,17	-0,10	1,31
16	58,8	3,3	0,12	-0,14	1,82	-0,21	0,12	1,64	0,18	0,13	1,73	0,18	-0,10	1,36
17	62,1	3,3	0,13	-0,14	1,90	-0,21	0,12	1,70	0,19	0,13	1,80	0,18	-0,11	1,41
18	65,4	3,3	0,13	-0,15	1,98	-0,22	0,13	1,77	0,19	0,13	1,88	0,19	-0,11	1,46
19	68,7	3,3	0,14	-0,15	2,07	-0,23	0,14	1,83	0,20	0,14	1,95	0,19	-0,12	1,51
20	72	3,3	0,15	-0,16	2,15	-0,23	0,14	1,90	0,21	0,14	2,02	0,20	-0,12	1,56
21	75,3	3,3	0,15	-0,17	2,23	-0,24	0,15	1,96	0,22	0,14	2,09	0,20	-0,13	1,61
22	78,6	3,9	0,19	-0,20	2,73	-0,29	0,18	2,39	0,27	0,17	2,56	0,25	-0,16	1,96
23	82,5	3,3	0,17	-0,18	2,41	-0,25	0,16	2,10	0,24	0,15	2,25	0,21	-0,14	1,72
24	85,8	3,3	0,17	-0,20	2,54	-0,26	0,18	2,24	0,24	0,17	2,38	0,22	-0,16	1,85
25	89,1	3,3	0,18	-0,20	2,62	-0,26	0,19	2,30	0,25	0,17	2,45	0,23	-0,16	1,90
26	92,4	3,3	0,19	-0,21	2,71	-0,27	0,19	2,36	0,26	0,18	2,52	0,23	-0,17	1,95
27	95,7	3,3	0,19	-0,22	2,79	-0,28	0,20	2,43	0,27	0,18	2,59	0,24	-0,17	2,00
28	99	3,3	0,20	-0,23	2,87	-0,28	0,21	2,49	0,28	0,18	2,67	0,24	-0,18	2,04
29	102,3	4,0	0,25	-0,28	3,57	-0,35	0,26	3,09	0,35	0,23	3,32	0,30	-0,22	2,54
30	106,3	3,6	0,24	-0,26	3,32	-0,32	0,25	2,87	0,33	0,21	3,08	0,28	-0,21	2,35
31	109,9	3,6	0,22	-0,24	3,06	-0,27	0,24	2,44	0,30	0,18	2,77	0,23	-0,19	1,87
32	113,5	3,1	0,20	-0,21	2,68	-0,24	0,21	2,14	0,27	0,15	2,42	0,20	-0,17	1,64
tornin huippu	119,6	3,1	0,21	-0,22	2,81	-0,25	0,22	2,24	0,28	0,16	2,54	0,21	-0,18	1,71
Yht	119,6		4,59	-4,68	63,8	-7,32	4,48	57,3	6,65	4,58	60,9	5,52	-3,97	45,8

* kuorma voidaan kohdistaa kerroksen lattiaan.

** tuulen suuntainen komponentti

Tomi T₅

h [m]		pohjoistuuli			itätuuli			etelätuuli			länsituuli			
kerros*	z [m]	dz [m]	±F _x [MN]	**F _y [MN]	±M _z [MNm]	**F _x [MN]	±F _y [MN]	±M _z [MNm]	±F _x [MN]	**F _y [MN]	±M _z [MNm]	**F _x [MN]	±F _y [MN]	±M _z [MNm]
1	0	4,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	4,8	5,8	0,10	0,00	0,79	-0,23	0,08	1,07	0,17	0,14	1,00	0,18	-0,08	1,00
3	10,6	5,3	0,09	0,00	0,84	-0,21	0,07	1,03	0,15	0,13	0,96	0,17	-0,08	0,99
4	15,9	3,0	0,06	0,00	0,58	-0,13	0,05	0,68	0,10	0,08	0,63	0,11	-0,05	0,68
5	18,9	3,3	0,07	0,00	0,71	-0,15	0,05	0,80	0,11	0,09	0,74	0,12	-0,06	0,82
6	22,2	3,6	0,08	0,00	0,86	-0,17	0,06	0,95	0,13	0,10	0,87	0,14	-0,06	0,98
7	25,8	3,3	0,08	-0,08	0,93	-0,16	0,06	0,94	0,12	0,10	0,86	0,14	-0,06	0,98
8	29,1	3,3	0,08	-0,09	1,01	-0,17	0,06	1,00	0,13	0,10	0,92	0,14	-0,06	1,06
9	32,4	3,3	0,08	-0,09	1,09	-0,17	0,07	1,06	0,13	0,10	0,97	0,15	-0,07	1,14
10	35,7	3,3	0,09	-0,09	1,17	-0,18	0,07	1,12	0,14	0,11	1,03	0,15	-0,07	1,22
11	39	3,3	0,09	-0,10	1,24	-0,18	0,07	1,18	0,14	0,11	1,08	0,16	-0,07	1,29
12	42,3	3,3	0,10	-0,10	1,32	-0,19	0,08	1,24	0,15	0,11	1,14	0,16	-0,08	1,37
13	45,6	3,3	0,10	-0,10	1,40	-0,19	0,08	1,30	0,15	0,11	1,19	0,17	-0,08	1,45
14	48,9	3,3	0,11	-0,10	1,48	-0,20	0,08	1,37	0,16	0,11	1,25	0,17	-0,08	1,52
15	52,2	3,3	0,11	-0,11	1,55	-0,21	0,09	1,43	0,17	0,12	1,30	0,18	-0,09	1,60
16	55,5	3,3	0,12	-0,11	1,63	-0,21	0,09	1,49	0,18	0,12	1,36	0,18	-0,09	1,68
17	58,8	3,3	0,12	-0,12	1,70	-0,22	0,10	1,55	0,18	0,12	1,41	0,18	-0,09	1,75
18	62,1	3,3	0,13	-0,12	1,78	-0,22	0,10	1,61	0,19	0,12	1,47	0,19	-0,10	1,83
19	65,4	3,3	0,14	-0,12	1,86	-0,23	0,11	1,67	0,20	0,13	1,52	0,20	-0,10	1,90
20	68,7	3,3	0,14	-0,13	1,93	-0,23	0,11	1,73	0,21	0,13	1,57	0,20	-0,10	1,98
21	72	3,3	0,15	-0,13	2,01	-0,24	0,12	1,79	0,21	0,13	1,63	0,21	-0,11	2,05
22	75,3	3,9	0,18	-0,16	2,46	-0,29	0,14	2,18	0,26	0,16	1,99	0,25	-0,13	2,51
23	79,2	3,3	0,18	-0,14	2,35	-0,29	0,13	2,15	0,25	0,14	1,94	0,25	-0,11	2,45
24	82,5	3,3	0,18	-0,14	2,43	-0,30	0,13	2,22	0,26	0,14	2,00	0,25	-0,12	2,53
25	85,8	3,3	0,19	-0,15	2,50	-0,30	0,14	2,28	0,27	0,14	2,05	0,26	-0,12	2,61
26	89,1	3,3	0,20	-0,15	2,58	-0,31	0,14	2,34	0,28	0,14	2,11	0,27	-0,13	2,69
27	92,4	3,3	0,21	-0,16	2,66	-0,32	0,15	2,40	0,29	0,15	2,16	0,27	-0,13	2,76
28	95,7	3,3	0,21	-0,16	2,73	-0,32	0,15	2,46	0,30	0,15	2,22	0,28	-0,13	2,84
29	99	4,0	0,27	-0,20	3,41	-0,40	0,19	3,06	0,37	0,18	2,75	0,35	-0,17	3,53
30	103	3,6	0,25	-0,19	3,17	-0,37	0,18	2,83	0,35	0,17	2,55	0,32	-0,16	3,28
31	106,6	3,6	0,24	-0,18	2,87	-0,31	0,17	2,37	0,32	0,15	2,19	0,27	-0,15	2,83
32	110,2	2,9	0,19	-0,15	2,34	-0,25	0,14	1,93	0,26	0,12	1,78	0,22	-0,12	2,30
tornin huippu	115,9	2,85	0,21	-0,15	2,45	-0,26	0,15	2,02	0,28	0,13	1,86	0,23	-0,13	2,41
Yht	115,9		4,55	-3,51	57,8	-7,63	3,41	53,2	6,61	4,04	48,5	6,49	-3,16	60,0

* kuorma voidaan kohdistaa kerroksen lattiaan.

** tuulen suuntainen komponentti

Torni T₆

kerros*	z [m]	dz [m]	pohjoistuuli			itätuuli			etelätuuli			länsituuli		
			±F _x [MN]	**F _y [MN]	±M _z [MNm]	**F _x [MN]	±F _y [MN]	±M _z [MNm]	±F _x [MN]	**F _y [MN]	±M _z [MNm]	**F _x [MN]	±F _y [MN]	±M _z [MNm]
1	0	4,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	5,0	5,8	0,00	0,00	0,00	-0,23	0,08	1,56	0,19	0,13	1,18	0,00	-0,08	0,50
3	10,0	5,3	0,00	0,00	0,00	-0,21	0,07	1,48	0,17	0,12	1,15	0,00	-0,07	0,52
4	15,0	3,1	0,00	0,00	0,00	-0,13	0,05	0,98	0,11	0,07	0,77	0,00	-0,05	0,38
5	20,0	3,9	0,00	0,00	0,00	-0,18	0,07	1,40	0,15	0,10	1,11	0,00	-0,07	0,58
6	23,0	3,3	0,00	0,00	0,00	-0,16	0,06	1,28	0,13	0,09	1,02	0,00	-0,06	0,55
7	26,0	3,3	0,09	-0,08	1,20	-0,17	0,06	1,35	0,14	0,09	1,09	0,14	-0,06	1,01
8	29,0	3,6	0,10	-0,10	1,42	-0,19	0,07	1,56	0,15	0,10	1,27	0,16	-0,07	1,17
9	32,0	3,3	0,09	-0,09	1,39	-0,18	0,07	1,51	0,15	0,09	1,23	0,15	-0,07	1,13
10	35,0	3,3	0,10	-0,09	1,49	-0,18	0,08	1,59	0,15	0,10	1,30	0,15	-0,07	1,19
11	38,0	3,3	0,10	-0,10	1,59	-0,19	0,08	1,66	0,16	0,10	1,37	0,16	-0,08	1,24
12	41,0	3,3	0,11	-0,10	1,68	-0,19	0,09	1,74	0,16	0,10	1,44	0,16	-0,08	1,30
13	44,0	3,3	0,11	-0,11	1,78	-0,20	0,09	1,82	0,17	0,10	1,51	0,17	-0,08	1,36
14	47,0	3,3	0,12	-0,11	1,87	-0,20	0,10	1,89	0,18	0,11	1,58	0,17	-0,09	1,41
15	50,0	3,3	0,12	-0,11	1,96	-0,21	0,10	1,97	0,18	0,11	1,64	0,18	-0,09	1,47
16	53,0	3,3	0,13	-0,12	2,06	-0,21	0,11	2,05	0,19	0,11	1,71	0,18	-0,10	1,53
17	56,0	3,3	0,14	-0,12	2,15	-0,22	0,11	2,12	0,20	0,11	1,78	0,19	-0,10	1,59
18	59,0	3,9	0,17	-0,15	2,66	-0,26	0,14	2,60	0,24	0,14	2,18	0,22	-0,12	1,94
19	62,0	3,3	0,15	-0,13	2,34	-0,23	0,12	2,27	0,21	0,12	1,92	0,20	-0,11	1,70
20	65,0	3,3	0,15	-0,14	2,43	-0,23	0,13	2,35	0,22	0,12	1,98	0,20	-0,11	1,75
21	68,0	3,3	0,16	-0,16	2,57	-0,23	0,15	2,50	0,23	0,15	2,10	0,20	-0,13	1,88
22	71,0	3,3	0,17	-0,17	2,67	-0,24	0,16	2,58	0,24	0,15	2,17	0,21	-0,14	1,93
23	74,0	3,3	0,17	-0,18	2,76	-0,25	0,16	2,66	0,24	0,15	2,24	0,21	-0,14	1,99
24	77,0	4,0	0,22	-0,22	3,46	-0,31	0,21	3,31	0,31	0,19	2,80	0,26	-0,18	2,48
25	80,0	3,6	0,20	-0,20	3,22	-0,28	0,19	3,06	0,29	0,18	2,59	0,24	-0,17	2,29
26	83,0	3,6	0,21	-0,21	3,32	-0,29	0,20	3,14	0,30	0,18	2,66	0,25	-0,17	2,35
27	86,0	3,6	0,22	-0,22	3,42	-0,30	0,21	3,22	0,31	0,18	2,74	0,25	-0,18	2,41
28	89,0	1,1	0,07	-0,07	1,03	-0,09	0,06	0,96	0,09	0,05	0,82	0,08	-0,05	0,72
tornin huippu	100,0	1,05	0,07	-0,06	1,01	-0,08	0,06	0,83	0,09	0,04	0,76	0,07	-0,05	0,60
Yht	100		3,15	-3,04	49,5	-5,84	3,08	55,5	5,34	3,28	46,1	4,18	-2,80	39,0

* kuorma voidaan kohdistaa kerroksen lattiaan.

** tuulen suuntainen komponentti

Torni T₇

kerros*	h [m]		pohjoistuuli			itätuuli			etelätuuli			länsituuli		
	z	dz	±F _x	**F _y	±M _z	**F _x	±F _y	±M _z	±F _x	**F _y	±M _z	**F _x	±F _y	±M _z
	[m]	[m]	[MN]	[MN]	[MNm]	[MN]	[MN]	[MNm]	[MN]	[MN]	[MNm]	[MN]	[MN]	[MNm]
1	0	4,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	5	5,8	0,10	0,00	0,82	0,00	0,07	0,50	0,17	0,00	0,91	0,18	-0,08	0,99
3	10	5,3	0,10	0,00	0,83	0,00	0,07	0,53	0,16	0,00	0,89	0,17	-0,07	0,92
4	15	7,2	0,14	0,00	1,36	0,00	0,10	0,89	0,23	0,00	1,41	0,25	-0,11	1,44
5	20	3,6	0,08	0,00	0,80	0,00	0,06	0,53	0,12	0,00	0,81	0,14	-0,06	0,80
6	23	3,3	0,07	0,00	0,80	0,00	0,05	0,54	0,12	0,00	0,79	0,13	-0,06	0,78
7	26	3,3	0,07	-0,08	0,91	-0,16	0,06	0,93	0,12	0,09	0,91	0,14	-0,06	0,82
8	29	3,3	0,08	-0,08	0,98	-0,17	0,06	0,98	0,12	0,09	0,96	0,14	-0,06	0,86
9	32	3,3	0,08	-0,08	1,04	-0,17	0,06	1,03	0,13	0,10	1,02	0,15	-0,06	0,90
10	35	3,3	0,08	-0,09	1,11	-0,18	0,06	1,08	0,13	0,10	1,07	0,15	-0,07	0,94
11	38	3,3	0,09	-0,09	1,17	-0,18	0,07	1,14	0,14	0,10	1,13	0,15	-0,07	0,99
12	41	3,3	0,09	-0,09	1,24	-0,19	0,07	1,19	0,14	0,10	1,18	0,16	-0,07	1,03
13	44	3,3	0,09	-0,09	1,30	-0,19	0,07	1,24	0,14	0,10	1,24	0,16	-0,07	1,07
14	47	3,3	0,10	-0,09	1,37	-0,19	0,07	1,29	0,15	0,10	1,29	0,16	-0,07	1,11
15	50	3,3	0,10	-0,10	1,43	-0,20	0,08	1,34	0,15	0,11	1,35	0,17	-0,08	1,15
16	53	3,3	0,10	-0,10	1,50	-0,20	0,08	1,40	0,16	0,11	1,40	0,17	-0,08	1,19
17	56	3,3	0,11	-0,10	1,56	-0,20	0,08	1,45	0,16	0,11	1,46	0,18	-0,08	1,23
18	59	3,3	0,11	-0,10	1,63	-0,21	0,09	1,50	0,17	0,11	1,51	0,18	-0,08	1,27
19	62	3,3	0,11	-0,11	1,69	-0,21	0,09	1,55	0,17	0,11	1,56	0,18	-0,09	1,31
20	65	5,0	0,18	-0,17	2,66	-0,33	0,14	2,43	0,26	0,17	2,45	0,28	-0,14	2,04
21	68	4,8	0,17	-0,16	2,62	-0,32	0,14	2,38	0,26	0,17	2,41	0,27	-0,13	2,00
22	71	5,3	0,20	-0,19	3,03	-0,36	0,16	2,73	0,30	0,19	2,77	0,31	-0,15	2,29
23	74	7,0	0,27	-0,25	4,11	-0,48	0,22	3,69	0,40	0,25	3,75	0,42	-0,21	3,09
tornin huippu	101,9	7,0	0,33	-0,31	4,95	-0,47	0,30	4,12	0,45	0,29	4,34	0,40	-0,26	3,26
	Yht	101,9	2,85	-2,28	38,9	-4,40	2,25	34,5	4,34	2,41	36,6	4,64	-2,20	31,5

* kuorma voidaan kohdistaa kerroksen lattiaan.

** tuulen suuntainen komponentti

Torni T₈

kerros*	H [m]		pohjoistuuli			itätuuli			etelätuuli			länsituuli		
	z [m]	dz [m]	±F _x [MN]	**F _y [MN]	±M _z [MNm]	**F _x [MN]	±F _y [MN]	±M _z [MNm]	±F _x [MN]	**F _y [MN]	±M _z [MNm]	**F _x [MN]	±F _y [MN]	±M _z [MNm]
1	0	4,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	4,8	5,8	0,11	0,00	0,85	0,00	0,08	0,62	0,18	0,00	0,94	0,19	-0,09	1,08
3	10,6	5,3	0,10	0,00	0,86	0,00	0,08	0,63	0,16	0,00	0,92	0,17	-0,08	1,01
4	15,9	7,2	0,15	0,00	1,40	0,00	0,12	1,03	0,24	0,00	1,45	0,26	-0,12	1,57
5	23,1	3,6	0,08	-0,10	0,94	-0,18	0,07	1,00	0,13	0,11	0,96	0,15	-0,07	0,90
6	26,7	3,3	0,08	-0,09	0,93	-0,17	0,06	0,97	0,12	0,10	0,94	0,14	-0,07	0,87
7	30	3,3	0,08	-0,10	1,00	-0,17	0,07	1,03	0,13	0,11	1,00	0,14	-0,07	0,92
8	33,3	3,3	0,08	-0,10	1,07	-0,18	0,07	1,08	0,13	0,11	1,05	0,15	-0,07	0,96
9	36,6	3,3	0,09	-0,10	1,13	-0,18	0,07	1,14	0,14	0,11	1,11	0,15	-0,07	1,01
10	39,9	3,3	0,09	-0,10	1,20	-0,19	0,08	1,19	0,14	0,11	1,17	0,16	-0,08	1,05
11	43,2	3,3	0,09	-0,11	1,27	-0,19	0,08	1,25	0,14	0,11	1,22	0,16	-0,08	1,09
12	46,5	3,3	0,10	-0,11	1,34	-0,20	0,08	1,30	0,15	0,12	1,28	0,17	-0,08	1,14
13	49,8	3,3	0,10	-0,11	1,40	-0,20	0,09	1,35	0,15	0,12	1,34	0,17	-0,09	1,18
14	53,1	3,3	0,10	-0,12	1,47	-0,20	0,09	1,41	0,16	0,12	1,39	0,17	-0,09	1,22
15	56,4	3,3	0,11	-0,12	1,54	-0,21	0,09	1,46	0,16	0,12	1,45	0,18	-0,09	1,26
16	59,7	3,3	0,11	-0,12	1,60	-0,21	0,10	1,51	0,17	0,13	1,50	0,18	-0,09	1,31
17	63	3,3	0,12	-0,13	1,67	-0,22	0,10	1,57	0,17	0,13	1,56	0,19	-0,10	1,35
18	66,3	3,3	0,12	-0,13	1,74	-0,22	0,11	1,62	0,18	0,13	1,61	0,19	-0,10	1,39
19	69,6	3,3	0,12	-0,13	1,80	-0,23	0,11	1,67	0,18	0,13	1,67	0,19	-0,10	1,43
20	72,9	3,9	0,15	-0,16	2,21	-0,27	0,14	2,04	0,22	0,16	2,04	0,24	-0,13	1,74
21	76,8	3,3	0,13	-0,14	1,95	-0,24	0,12	1,79	0,20	0,14	1,79	0,20	-0,11	1,52
22	80,1	3,3	0,14	-0,15	2,01	-0,24	0,13	1,84	0,20	0,14	1,84	0,21	-0,12	1,56
23	83,4	3,3	0,14	-0,15	2,08	-0,24	0,13	1,89	0,21	0,14	1,90	0,21	-0,12	1,60
24	86,7	3,3	0,15	-0,15	2,15	-0,25	0,13	1,94	0,22	0,14	1,95	0,22	-0,12	1,65
25	90	3,1	0,15	-0,15	2,08	-0,24	0,13	1,88	0,21	0,14	1,89	0,21	-0,12	1,58
26	93,1	3,2	0,15	-0,16	2,20	-0,25	0,14	1,98	0,22	0,14	2,00	0,22	-0,13	1,67
27	96,3	4,0	0,20	-0,20	2,85	-0,32	0,18	2,55	0,29	0,18	2,57	0,28	-0,16	2,15
28	100,32	6,9	0,36	-0,36	5,08	-0,57	0,33	4,54	0,51	0,32	4,58	0,49	-0,29	3,81
tornin huippu	114,2	6,94	0,37	-0,37	5,11	-0,51	0,35	4,25	0,51	0,31	4,47	0,44	-0,30	3,37
Yht	114,2		3,77	-3,65	50,9	-6,07	3,32	46,5	5,62	3,57	47,6	5,84	-3,15	41,4

* kuorma voidaan kohdistaa kerroksen lattiaan.

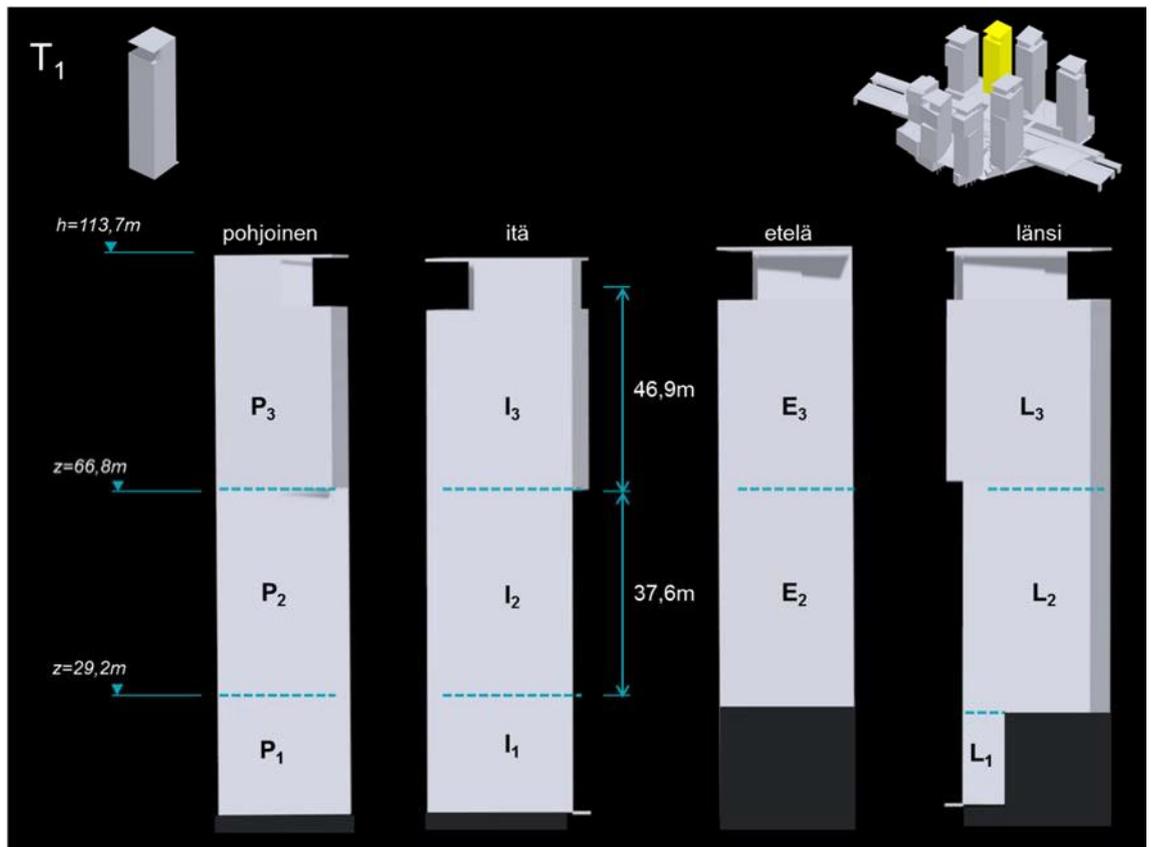
** tuulen suuntainen komponentti

Liite 9 Tornien julkisivujen nettopaineet suunnitteluun

Tornien T₁-T₃ ja T₅-T₈ julkisivujen nettopaineet on esitetty oheisissa kuvissa. Tulokset on saatu interpoloimalla Tornin T₄ tuloksista (luku 8).

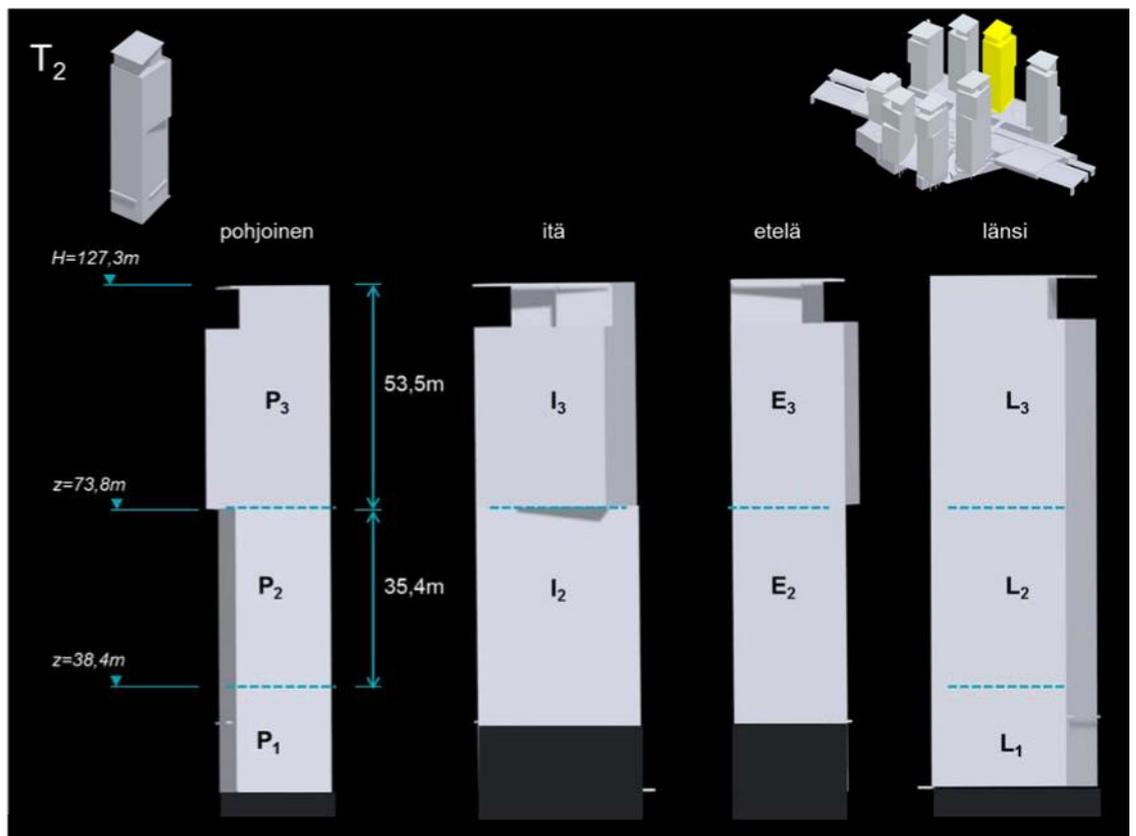
Torni T₁ 50 v toistumisvälin tuuli

Alue	Paine kuormat [kN/m ²]				Imu kuormat [kN/m ²]			
	Huippuarvon määrittäysaika				Huippuarvon määrittäysaika			
	1 s	3 s	10 s	1 h	1 s	3 s	10 s	1 h
P ₁	1,3	1,0	0,8	0,46	-2,2	-1,8	-1,5	-1,13
P ₂	1,6	1,2	0,9	0,57	-2,7	-2,3	-1,9	-1,40
P ₃	1,8	1,4	1,2	0,72	-3,2	-2,5	-2,3	-1,80
I ₁	1,5	1,1	0,8	0,52	-2,0	-1,3	-1,1	-0,78
I ₂	1,8	1,4	1,0	0,63	-2,4	-1,6	-1,3	-0,95
I ₃	2,0	1,5	1,2	0,78	-2,6	-2,1	-1,6	-1,16
-	-	-	-	-	-	-	-	-
E ₂	1,8	1,3	1,1	0,67	-2,7	-2,1	-1,8	-1,44
E ₃	2,0	1,5	1,3	0,76	-3,2	-2,5	-2,0	-1,58
L ₁	1,5	1,0	0,7	0,46	-2,4	-1,7	-1,3	-0,96
L ₂	1,8	1,2	0,9	0,57	-2,8	-1,9	-1,5	-1,12
L ₃	2,0	1,4	1,1	0,73	-2,9	-2,4	-1,8	-1,33



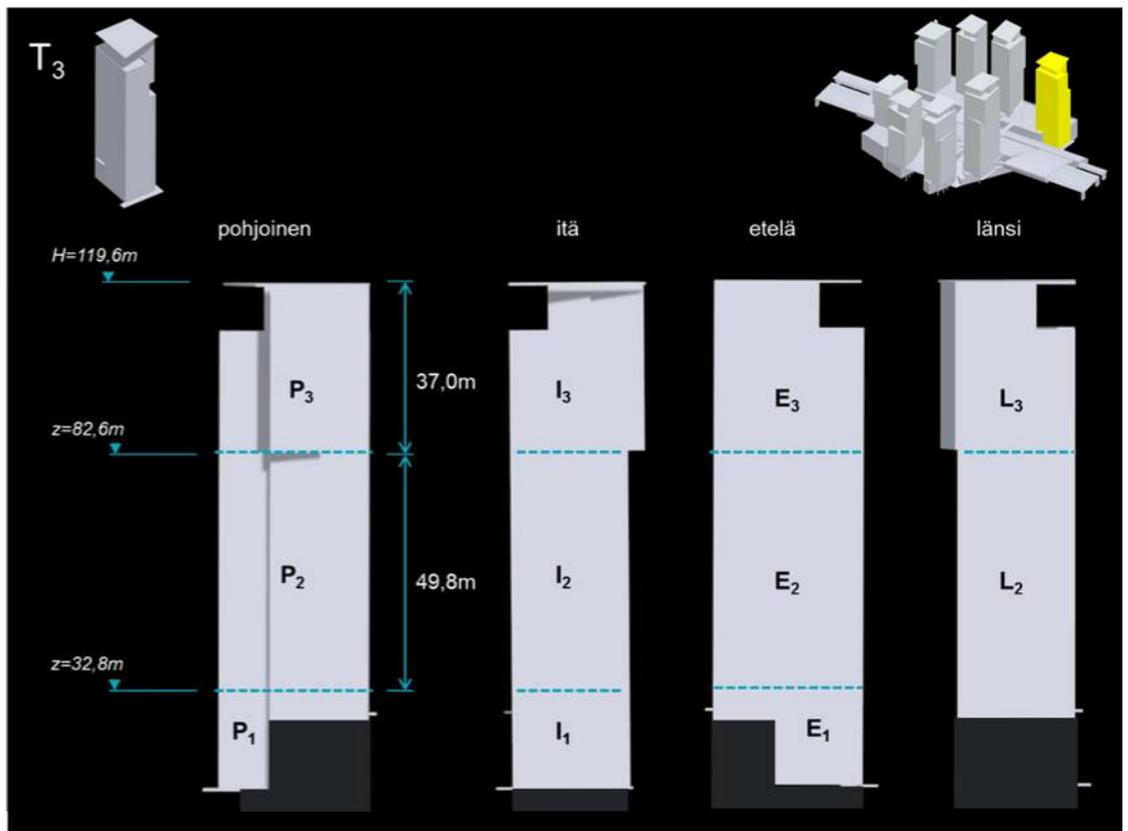
Torni T₂ 50 v toistumisvälin tuuli

Alue	Paine kuormat [kN/m ²]				Imu kuormat [kN/m ²]			
	Huippuarvon määrittäysaika				Huippuarvon määrittäysaika			
	1 s	3 s	10 s	1 h	1 s	3 s	10 s	1 h
P ₁	1,4	1,0	0,8	0,48	-2,2	-1,8	-1,5	-1,13
P ₂	1,7	1,2	1,0	0,58	-2,7	-2,2	-1,8	-1,37
P ₃	1,9	1,4	1,2	0,74	-3,1	-2,5	-2,2	-1,77
-	-	-	-	-	-	-	-	-
I ₂	1,8	1,4	1,0	0,64	-2,4	-1,7	-1,3	-0,97
I ₃	2,0	1,5	1,2	0,80	-2,6	-2,1	-1,6	-1,19
-	-	-	-	-	-	-	-	-
E ₂	1,8	1,4	1,1	0,68	-2,6	-2,0	-1,8	-1,41
E ₃	2,1	1,6	1,3	0,77	-3,1	-2,4	-2,0	-1,55
L ₁	1,5	1,0	0,8	0,48	-2,5	-1,7	-1,3	-0,99
L ₂	1,8	1,3	0,9	0,58	-2,9	-2,0	-1,5	-1,13
L ₃	2,1	1,4	1,2	0,75	-3,0	-2,4	-1,8	-1,36



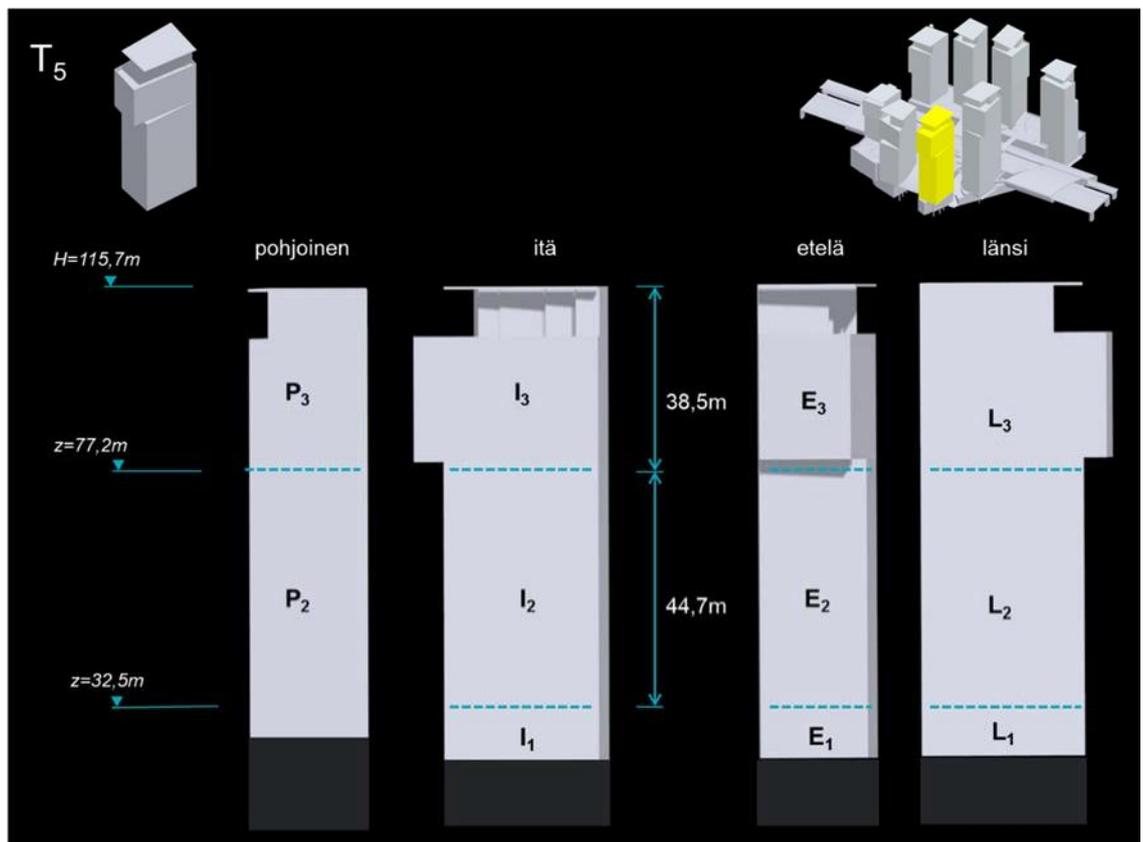
Torni T₃ 50 v toistumisvälin tuuli

Alue	Paine kuormat [kN/m ²]				Imu kuormat [kN/m ²]			
	Huippuarvon määrittäysaika				Huippuarvon määrittäysaika			
	1 s	3 s	10 s	1 h	1 s	3 s	10 s	1 h
P ₁	1,4	1,0	0,8	0,49	-2,4	-1,6	-1,3	-0,95
P ₂	1,7	1,2	1,0	0,58	-2,8	-1,9	-1,5	-1,10
P ₃	1,8	1,4	1,2	0,73	-2,9	-2,4	-1,8	-1,31
I ₁	1,6	1,2	0,9	0,55	-2,9	-2,4	-2,0	-1,47
I ₂	1,8	1,4	1,0	0,64	-3,3	-2,7	-2,2	-1,67
I ₃	2,0	1,5	1,2	0,79	-3,6	-2,9	-2,6	-2,05
E ₁	1,6	1,2	1,0	0,60	-2,4	-1,6	-1,3	-0,95
E ₂	1,8	1,4	1,1	0,68	-2,8	-1,9	-1,5	-1,10
E ₃	2,1	1,5	1,3	0,76	-2,9	-2,4	-1,8	-1,31
L ₁	-	-	-	-	-	-	-	-
L ₂	1,8	1,3	0,9	0,58	-2,6	-2,3	-2,0	-1,59
L ₃	2,0	1,4	1,1	0,73	-3,0	-2,6	-2,1	-1,67



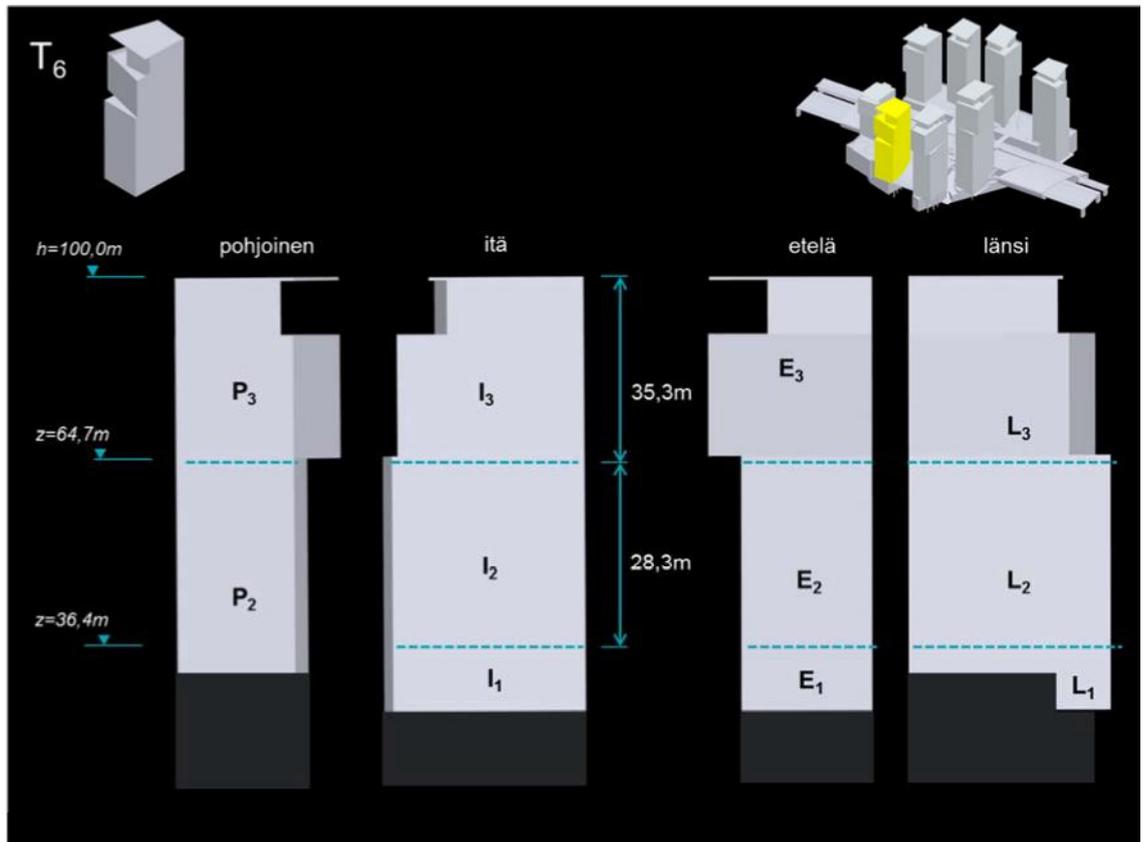
Torni T₅ 50 v toistumisvälin tuuli

Alue	Paineuormat [kN/m ²]				Imukuormat [kN/m ²]			
	Huippuarvon määrittäisaika				Huippuarvon määrittäisaika			
	1 s	3 s	10 s	1 h	1 s	3 s	10 s	1 h
-	-	-	-	-	-	-	-	-
P ₂	1,7	1,2	1,0	0,58	-2,5	-2,4	-2,0	-1,49
P ₃	1,8	1,4	1,2	0,73	-3,0	-2,6	-2,4	-1,86
I ₁	1,5	1,2	0,8	0,53	-2,0	-1,4	-1,1	-0,79
I ₂	1,8	1,4	1,0	0,64	-2,4	-1,7	-1,3	-0,96
I ₃	2,0	1,5	1,2	0,79	-2,6	-2,1	-1,6	-1,17
E ₁	1,5	1,2	1,0	0,59	-2,4	-1,9	-1,6	-1,28
E ₂	1,8	1,3	1,1	0,68	-2,9	-2,2	-2,0	-1,53
E ₃	2,1	1,5	1,3	0,76	-3,3	-2,6	-2,1	-1,64
L ₁	1,5	1,0	0,7	0,47	-2,5	-1,7	-1,3	-0,98
L ₂	1,8	1,3	0,9	0,58	-2,8	-2,0	-1,5	-1,13
L ₃	2,0	1,4	1,1	0,73	-3,0	-2,4	-1,8	-1,34



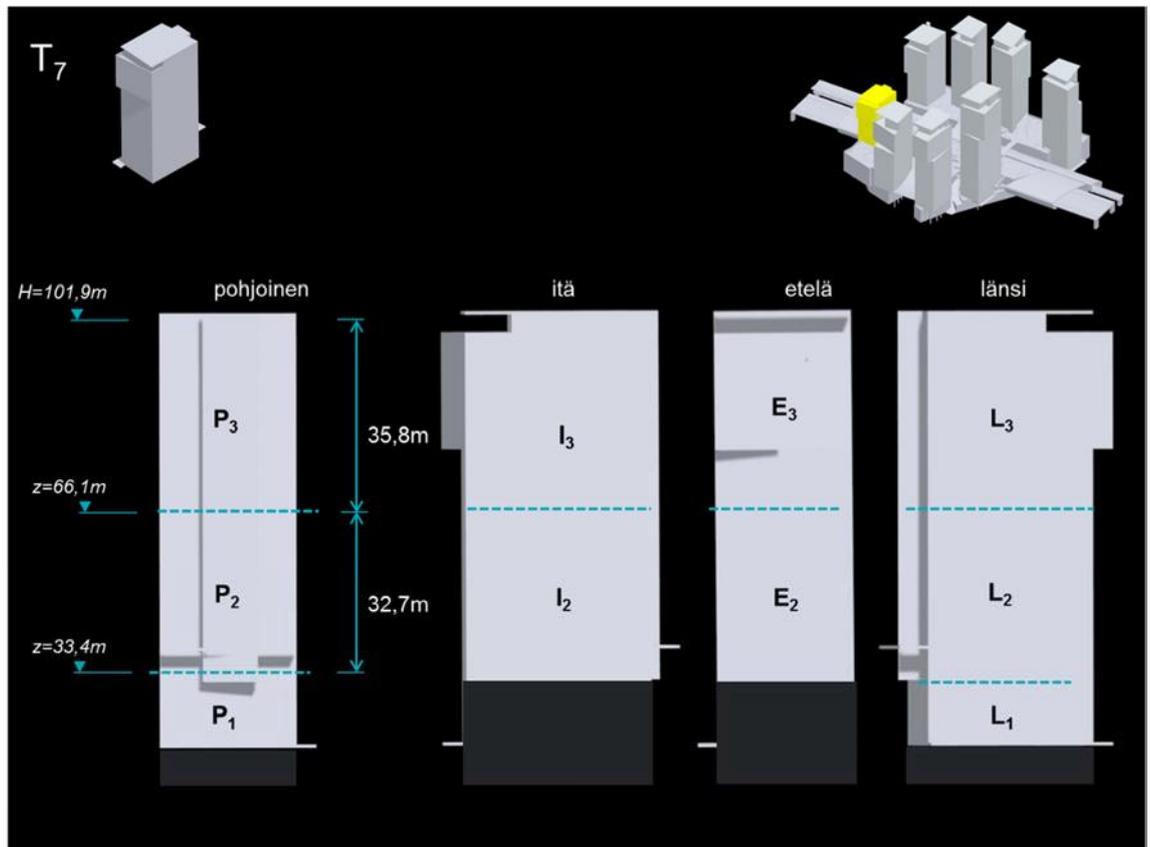
Torni T₆ 50 v toistumisvälin tuuli

Alue	Painekuormat [kN/m ²]				Imukuormat [kN/m ²]			
	Huippuarvon määrittäisaika				Huippuarvon määrittäisaika			
	1 s	3 s	10 s	1 h	1 s	3 s	10 s	1 h
-	-	-	-	-	-	-	-	-
P ₂	1,6	1,2	0,9	0,55	-2,7	-2,2	-1,8	-1,35
P ₃	1,8	1,3	1,2	0,70	-3,1	-2,4	-2,2	-1,75
I ₁	1,6	1,2	0,9	0,55	-2,7	-1,9	-1,5	-1,08
I ₂	1,8	1,3	1,0	0,61	-3,0	-2,0	-1,6	-1,18
I ₃	1,9	1,4	1,2	0,76	-3,1	-2,5	-1,9	-1,41
E ₁	1,6	1,2	1,0	0,60	-2,3	-1,8	-1,6	-1,22
E ₂	1,7	1,3	1,1	0,66	-2,7	-2,0	-1,8	-1,39
E ₃	2,0	1,5	1,2	0,74	-3,1	-2,4	-1,9	-1,54
L ₁	1,5	1,1	0,8	0,49	-2,5	-1,7	-1,3	-1,00
L ₂	1,8	1,2	0,9	0,55	-2,7	-1,9	-1,5	-1,09
L ₃	1,9	1,3	1,1	0,71	-2,9	-2,3	-1,8	-1,31



Torni T₇ 50 v toistumisvälin tuuli

Alue	Paine kuormat [kN/m ²]				Imu kuormat [kN/m ²]			
	Huippuarvon määrittämysaika				Huippuarvon määrittämysaika			
	1 s	3 s	10 s	1 h	1 s	3 s	10 s	1 h
P ₁	1,4	1,0	0,8	0,47	-2,2	-1,8	-1,5	-1,14
P ₂	1,6	1,1	0,9	0,54	-2,6	-2,2	-1,8	-1,34
P ₃	1,7	1,3	1,1	0,69	-3,0	-2,4	-2,2	-1,70
-	-	-	-	-	-	-	-	-
I ₂	1,7	1,3	0,9	0,60	-2,9	-2,0	-1,6	-1,17
I ₃	1,9	1,4	1,2	0,75	-3,1	-2,5	-1,9	-1,39
-	-	-	-	-	-	-	-	-
E ₂	1,7	1,3	1,1	0,65	-2,6	-2,0	-1,8	-1,37
E ₃	2,0	1,5	1,2	0,73	-3,0	-2,3	-1,9	-1,50
L ₁	1,5	1,0	0,7	0,47	-2,6	-1,8	-1,4	-1,05
L ₂	1,7	1,2	0,9	0,55	-2,9	-2,0	-1,6	-1,17
L ₃	1,9	1,3	1,1	0,69	-3,1	-2,5	-1,9	-1,39



Torni T₈ 50 v toistumisvälin tuuli

Alue	Paine kuormat [kN/m ²]				Imu kuormat [kN/m ²]			
	Huippuarvon määrittäysaika				Huippuarvon määrittäysaika			
	1 s	3 s	10 s	1 h	1 s	3 s	10 s	1 h
-	-	-	-	-	-	-	-	-
P ₂	1,6	1,2	0,9	0,6	-2,6	-2,1	-1,8	-1,3
P ₃	1,8	1,3	1,2	0,7	-3,0	-2,3	-2,1	-1,7
-	-	-	-	-	-	-	-	-
I ₂	1,8	1,3	1,0	0,6	-2,5	-2,0	-1,7	-1,3
I ₃	1,9	1,4	1,2	0,8	-2,8	-2,2	-2,0	-1,6
-	-	-	-	-	-	-	-	-
E ₂	1,7	1,3	1,1	0,7	-2,6	-2,1	-1,8	-1,3
E ₃	2,0	1,5	1,2	0,7	-3,0	-2,3	-2,1	-1,7
L ₁	1,4	1,0	0,7	0,5	-2,0	-1,7	-1,4	-1,0
L ₂	1,8	1,2	0,9	0,6	-2,5	-2,0	-1,7	-1,3
L ₃	1,9	1,3	1,1	0,7	-2,8	-2,2	-2,0	-1,6

