



Kaupunkiympäristön tuulisuusselvitys

OULU – TERWA TOWER

ERKKI HEIKKOLA

08.09.2021

Raportin nimi ja tunnus

Kaupunkiympäristön tuulisuusselvitys: Oulu – Terwa Tower
KS-2021-646-1, 8.9.2021

Raportin tekijät

Erkki Heikkola, Numerola Oy
erkki.heikkola@numerola.fi

Yhteyshenkilö

Samuli Korpinen, Numerola Oy
samuli.korpinen@numerola.fi
puh. 050 511 5343

Vastaanottajat

Janne Kananen
YIT Suomi Oy

Aineistojen käyttöoikeudet

Selvityksessä on käytetty Maanmittauslaitoksen avoimien aineistojen käyttöluvan alaista materiaalia, joka on lisensoitu Creative Commons Nimeä 4.0 Kansainvälinen –lisenssillä:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fi>

Tiivistelmä

Raportti sisältää Oulun keskustaan suunnitellun Terwa Tower –kokonaisuuden suunnittelu- vaihtoehtojen tuulisuusselvityksen CFD-virtauslaskennan sekä pitkän ajan tuulisuusaineiston avulla. Selvitys perustuu kohteen suunnitelmien 3D-malleihin, Oulun kaupungin 3D-kaupunkimalliin sekä Maanmittauslaitoksen maastomalliin. Tuulisuusselvityksen tavoitteena on arvioida tornitaloa ympäröivän katualueen tuuliolosuhteita ja selvittää kohteessa esiintyvien epämukavien tai riskialttiiden tuulen todennäköisyyksiä. Neljän suunnittelu- vaihtoehtoon aiheuttamia tuuliolosuhteita verrataan kohteen nykyisiin olosuhteisiin. Kohdealue luokitellaan tuulennopeuden perusteella mukavuusluokkiin sekä vaarallisuus- luokkiin käyttäen kansainvälisesti tunnettuja luokittelukriteereitä.

Sisällysluettelo

1	Johdanto	3
1.1	Kohteen kuvaus	4
1.2	Raportin rakenne	7
2	Ilmavirtausten simulointimalli	8
2.1	Kaupunkimallin muodostus	8
2.2	Suunnitteluvaihtoehdot	9
2.3	Virtauslaskentamalli	11
2.4	Alueen tuulisuustilasto	12
3	Tuuliolosuhteiden arviointi	14
4	Kohdealueen tuuliolosuhteet	15
4.1	Mukavuusluokitus	15
4.2	Vaarallisuusluokitus	15
4.3	Tuulen suuntatarkastelut	17
4.4	Virtaviivatarkasteluja	23
5	Yhteenveto	26
6	Viitteet	27

1 Johdanto

Kaupunkialueiden ja rakennusten suunnittelussa tulisi ottaa huomioon alueiden käytön miellyttävyys ja turvallisuus. Yksi näihin merkittävästi vaikuttava ympäristötekijä on katutasen tuulisuus. Erityisesti korkeat rakennukset voivat aiheuttaa katutasolle voimakkaita ilmavirtauksia, jotka koetaan epämiellyttäväksi tai aiheuttavat riskitilanteita asukkaille ja käyttäjille. Raportissa [1] on havainnollistettu erilaisia mekanismeja, joilla rakennettu ympäristö voi vaikuttaa katutasen tuulisuuteen ja esitetty suunnittelukeinoja tuuliolosuhteiden hallintaan ja parantamiseen. Tuulisuusselvityksellä pyritään arvioimaan rakennetun ympäristön tuuliolosuhteita ja osoittamaan mahdolliset ongelmalliset alueet, joissa tuulisuus voi kohota liian voimakkaaksi.

Tuulisuuden miellyttävyys tai vaarallisuus riippuu tilanteesta ja tarkastelijasta, eikä yleispätevää mittaria voida esittää. Tutkimusten pohjalta on kuitenkin esitetty luokituksia ja suosituksia, joiden avulla tuulisuustasoa voidaan arvioida ja vertailla. Esimerkiksi paikat, joissa oleillaan pitkiä aikoja paikallaan (kahvilat, puistot) tulisi luokitusten mukaan olla matalan tuulisuuden alueita, kun taas paikoissa, joissa ei oleilla pitkiä aikoja tai joita käytetään vain liikkumiseen, voidaan sallia korkeampi tuulisuustaso. Myös rakennusten sisäänkäynnit tulisi suunnitella siten, ettei tuulisuus niiden luona nouse liian korkeaksi.

Tuulisuusselvityksessä yhdistetään tilastollinen aineisto pitkän ajan tuuliolosuhteista kohdealueella ja tieto tarkastelukohteen aerodynaamisista ominaisuuksista. Alueen tuulisuus voidaan näiden tietojen avulla esittää numeroarvoina, joita voidaan verrata yleisesti tunnettuihin tuulisuuden mukavuus- ja vaarallisuusluokituksiin. Tyypillinen numeroarvo on esimerkiksi todennäköisyys sille, että tuulen nopeus ylittää annetun raja-arvon.

Kohteen aerodynaamiset ominaisuudet voidaan selvittää virtauslaskennan (CFD, computational fluid dynamics) avulla, jolloin kohdealueen ilmavirtaukset eri tuulen suunnilla saadaan matemaattiseen malliin perustuvilla simuloinneilla. Perinteisesti rakennusten aerodynaamiset ominaisuudet on selvitetty kokeellisesti tuulitunnelissa tapahtuvilla mittauksilla, mutta tietokoneiden laskentakapasiteetin ja laskentatyökalujen kehittymisen myötä virtauslaskenta on kuitenkin noussut vaihtoehdoksi tuulitunnelikokeille [4][10]. Molemmissa menetelmissä on etunsa ja haittansa, ja vaativien kohteiden kokonaisvaltainen tarkastelu edellyttää yleensä molempien menetelmien käyttöä. Virtauslaskennan edut kuitenkin korostuvat kohteiden suunnitteluvaiheessa, kun rakenteiden alueellisia tuulivaikutuksia voidaan havainnollistaa visuaalisesti ja erilaisia suunnitteluratkaisuja voidaan vertailla sujuvasti ja kontrolloidusti. Seuraavassa listassa on mainittu joitakin virtauslaskennan etuja tuulitunnelikokeisiin verrattuna:

- Virtauslaskennan tuloksena kohteen tuuliolosuhteet saadaan selville koko tarkastelualueella, kun taas tuulitunnelimittauksissa tuulta tarkastellaan vain yksittäisissä mittauspisteissä.
- Tuulitunnelikokeet suoritetaan rakennetun ympäristön pienoismallilla, ja virtausilmiöiden skaalaus todelliseen mittakaavaan ei ole suoraviivaista. Virtauslaskentamallilla tilannetta voidaan tarkastella todellisessa mittakaavassa ilman mittausjärjestelyjen tuomia mahdollisia häiriöitä tuuliolosuhteisiin.
- Tuulitunnelikokeet ovat kalliita ja hitaita verrattuna virtauslaskennalla suoritettuihin tarkasteluihin.

Esimerkiksi Alankomaissa rakennusten tuulisuusselvityksiin annettu virallinen ohjeistus asettaa tuulitunnelikokeet ja virtauslaskennan vaihtoehtoisiksi tavoiksi rakennusten aerodynaamisten ominaisuuksien selvittämiseen [9]. Myös Lontoon kaupungin virallinen ohjeistus rakennusten tuulisuusselvityksille suosittelee korkeiden rakennusten tuulisuusselvitysten toteutustavaksi joko

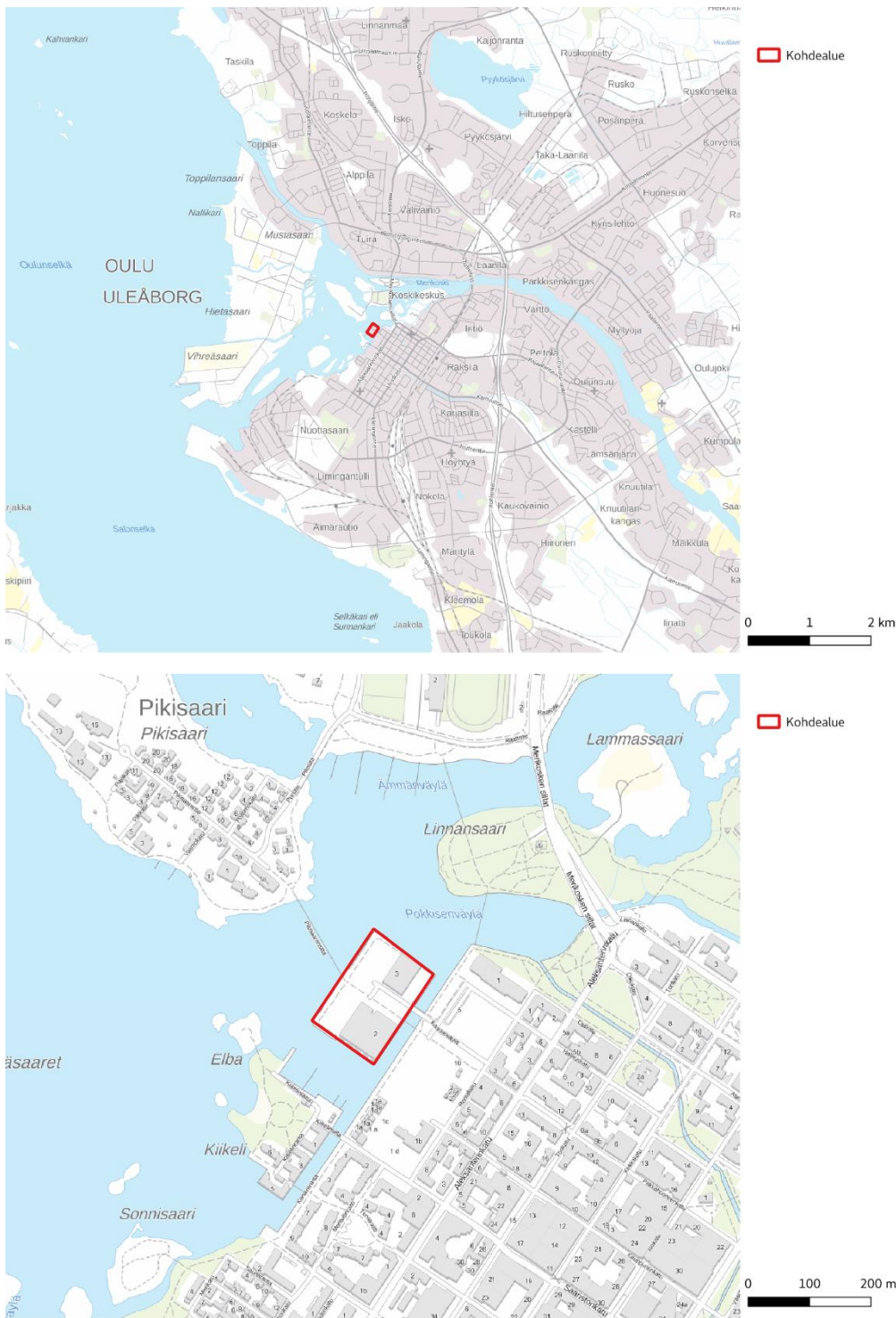
virtauslaskentaa tai tuulitunnelikokeita [8]. Huomattavan korkeiden (yli 100 m) rakennusten tapauksessa suositellaan käyttämään molempia lähestymistapoja.

Kohteen tuuliolosuhteet määräytyvät vain osittain kohteen rakennusten muodoista ja sijoittelusta. Olosuhteisiin vaikuttavat myös kohdetta ympäröivät rakennukset ja maaston piirteet aiheuttaen tuulisuuteen esimerkiksi pyörteisyyttä, puuskia ja katvealueita. Tästä syystä virtausmallinnuksessa on otettava huomioon myös tarkastelukohteen ympäristö riittävän laajalta alueelta.

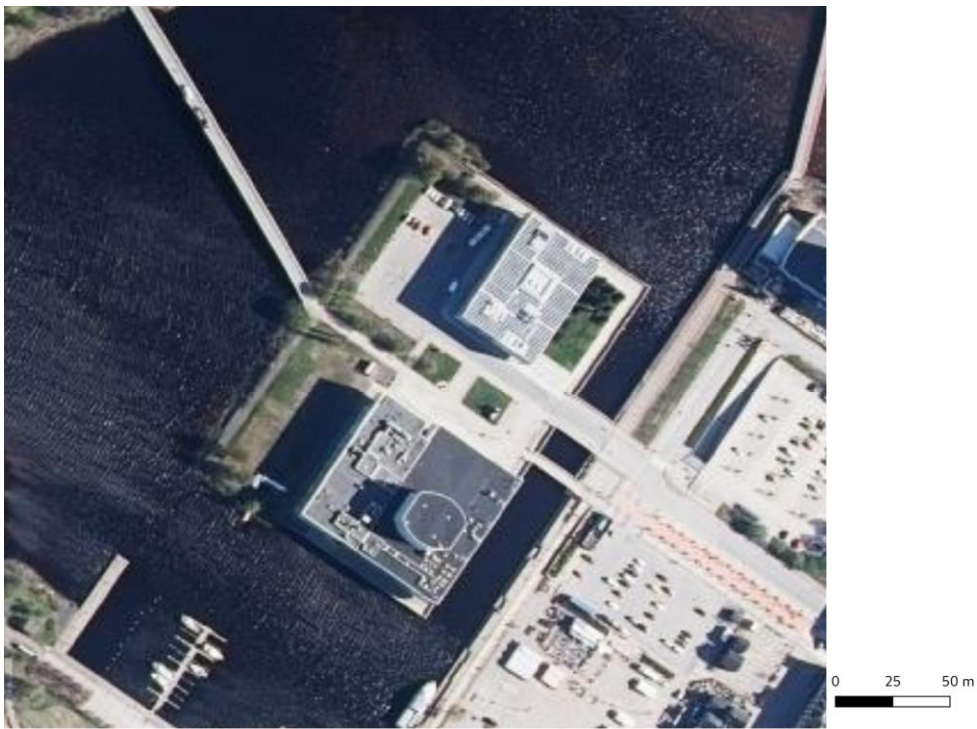
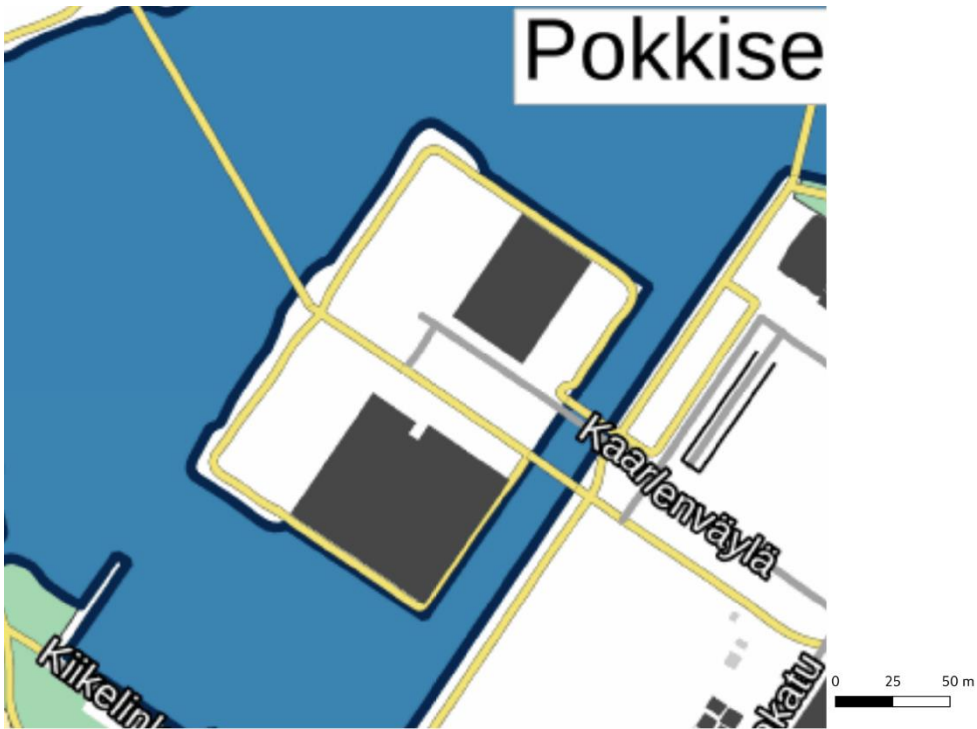
Sekä kokeellinen että simulointimalliin perustuva tarkastelu edellyttää tiettyjen hyväksi havaittujen menettelytapojen noudattamista ja tulosten huolellista laadunvarmistusta, jotta selvityksen tulokset ovat luotettavia. Virtauslaskennan käyttöä tuulisuusselvitysten osana ja siihen liittyvää laadunvarmistusta on käsitelty artikkeleissa [2][3]. Tässä selvityksessä on pyritty noudattamaan näissä tutkimuksissa esitettyjä suosituksia ja menettelytapoja.

1.1 Kohteen kuvaus

Tuulisuusselvityksen kohdealue on Oulun keskustan kortteli 38 (Vänmanninsaari), jossa tällä hetkellä sijaitsee kaupungin pääkirjasto ja kaupunginteatteri (Kuva 1 ja Kuva 2). Näiden viereen suunnitellaan Terwa Tower –rakennuskokonaisuutta, joka sisältää hotellin, kokoustiloja, huoneistoja ja toimistotiloja. Tässä selvityksessä tarkastellaan Terwa Towerin neljää eri suunnitteluvaihtoehtoa ja verrataan niiden aiheuttamia tuuliolosuhteita alueen nykytilanteeseen. Nykyisin alueella sijaitsee pysäköintikenttä ja viheralue. Kohdealueen keskellä kirjaston ja teatterin välissä sijaitsee Kaarlenaukio ja alueen keskeltä kulkee kevyen liikenteen väylä. Tuulisuussimulointien avulla arvioidaan tuuliolosuhteiden viihtyisyyttä ja turvallisuutta alueen taloja ympäröivillä katuosuuksilla ja oleskelualueilla.



Kuva 1: Tuulususselvityksen kohdealueen sijainti Oulussa ja kartta kohdealueen lähiympäristöstä.



Kuva 2: Yläpuolella kohteen pelkistetty kartta ja alapuolella ilmakeku nykytilanteesta.

1.2 Raportin rakenne

Luvussa 2 käydään läpi tuulisuusselvityksen lähtötiedot ja mallinnusvaiheet. Aluksi kuvataan kaupunkimallin muodostus ja siihen perustuvan laskentamallin yksityiskohdat ja parametrit. Tilastollinen aineisto kohdealueen tuulen nopeus- ja suuntajakaumista saadaan sääennustemallilla lasketusta paikallisesta pitkän ajan tuuliaikasarjasta. Luvussa 0 kuvataan, millaisilla kriteereillä tuulisuustasoja arvioidaan ja luokitellaan.

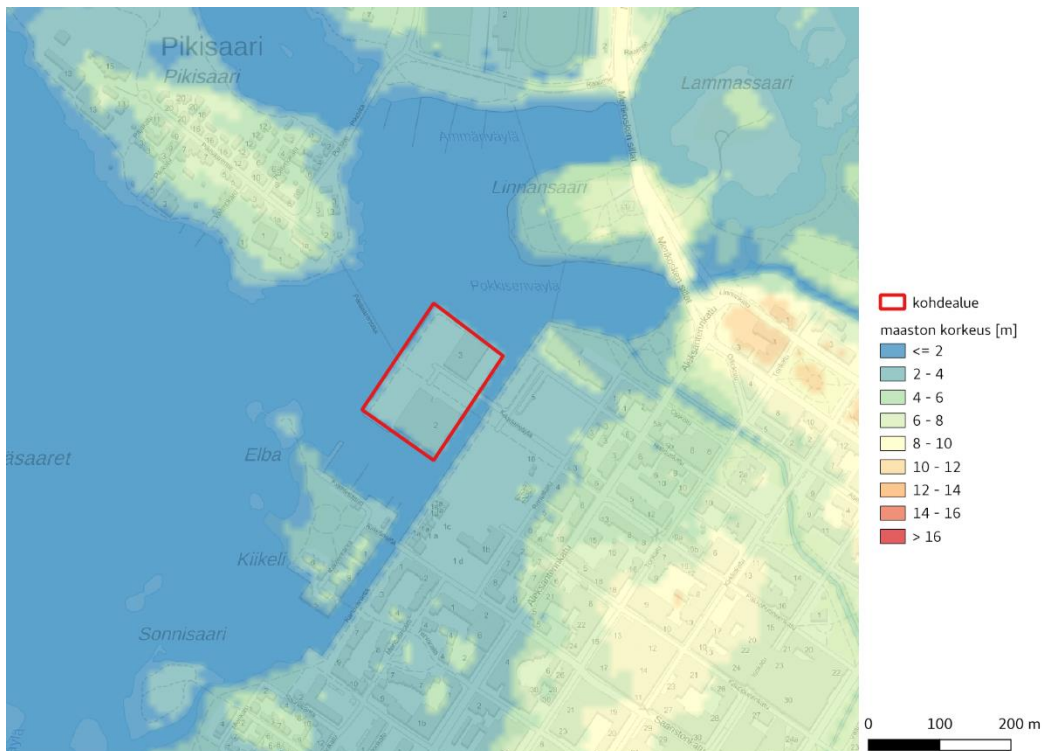
Luvussa 4 raportoidaan tuulisuusselvityksen tulokset sekä mukavuuden että turvallisuuden kannalta. Tuulen vaikutuksia analysoidaan myös suuntakohtaisesti, ja havainnollistetaan, miten eri suunnista kohdistuvat tuulet vaikuttavat kohteen olosuhteisiin. Luvussa 5 tehdään yhteenveto tuulisuusselvityksen tärkeimmistä vaiheista ja havainnoista.

2 Ilmavirtausten simulointimalli

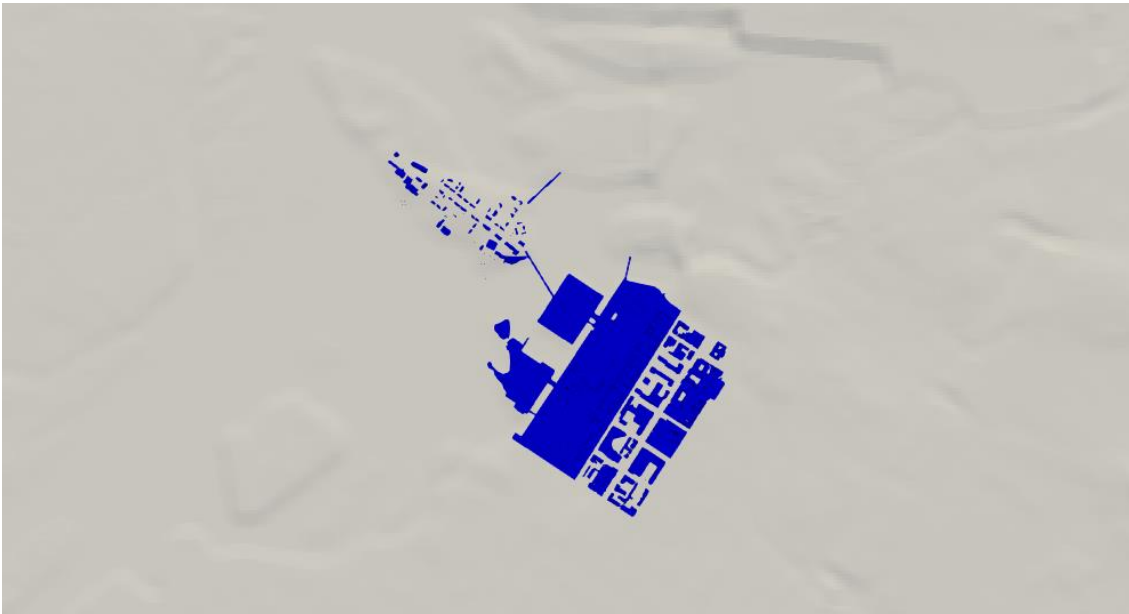
Tuulisuusselvityksessä tarvitaan kolmiulotteinen (3D) CAD-malli kohdealueen maastosta ja rakennuksista. Tässä yhteydessä se muodostettiin Maanmittauslaitoksen maaston korkeusaineiston, Oulun kaupungin kolmiulotteisen kaupunkimallin sekä asiakkaalta saatujen kohteen rakennusmallien avulla. Selvityksen lähtötietojen perusteella laadittujen 3D-kaupunkimallien yksityiskohdat on kuvattu luvuissa 2.1 ja 2.2. Ilmavirtausten simulointeja varten CAD-mallin määrittelemään kolmiulotteiseen tilavuuteen muodostettiin laskentamalli, jonka taustatiedot ja parametrisoinnit on koottu lukuun 2.3. Alueen tuulen nopeuksien ja suuntien jakaumat määritettiin sääennustemallin tuottaman pitkän ajan tuuliaineiston perusteella. Tuulitilaston jakaumat esitetään luvussa 2.4.

2.1 Kaupunkimallin muodostus

Maaston korkeudet kohdealueella määritettiin Maanmittauslaitoksen korkeusmallin perusteella. Maanmittauslaitoksen aineistoa kohdealueen ympäristössä on havainnollistettu karttakuvassa (Kuva 3). Tiedot kohdealueen olemassaolevien rakennuksien sijainneista ja muodoista saatiin Oulun kaupunkimallista, ja uusien suunnitteluvaihtoehtojen mallit saatiin asiakkaalta. Korkeusmallin, Oulun kaupunkimallin ja asiakkaalta saatujen rakennustietojen perusteella rakennettiin kohdealueen kolmiulotteinen kaupunkimalli, jossa kohdetta ympäröivät rakennukset huomioitiin noin 500 metrin säteellä. Kuvassa (Kuva 4) esitetään ylhäältä päin rajattu maastomalli ja siihen liitetyt rakennukset. Mallissa käytettiin tasokoordinaatistoa ETRS-GK26 (EPSG:3380) ja projektiorigoa N 7213134,563 E 26474649,480.



Kuva 3: Maaston korkeudet kohdealueen ympäristössä.



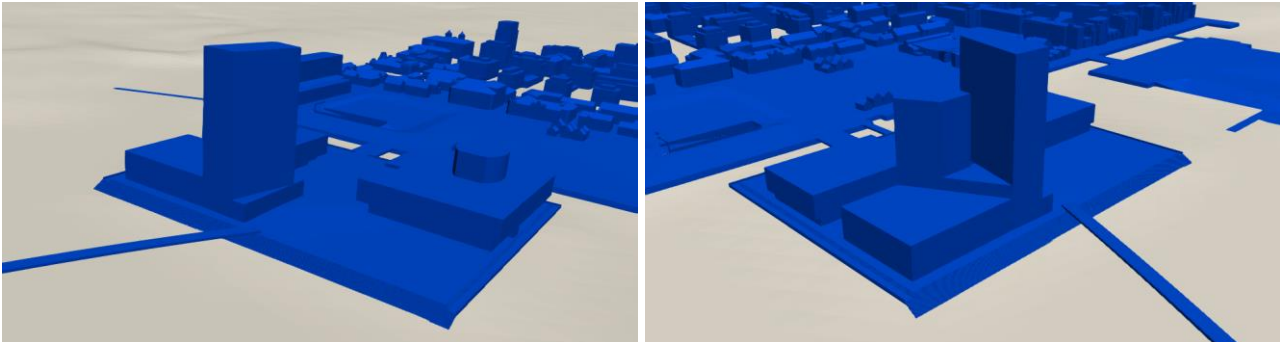
Kuva 4: Mallinnusta varten rajattu maastomalli ja siihen liitetyt rakennukset ylhäältä päin esitettynä.

2.2 Suunnitteluvaihtoehdot

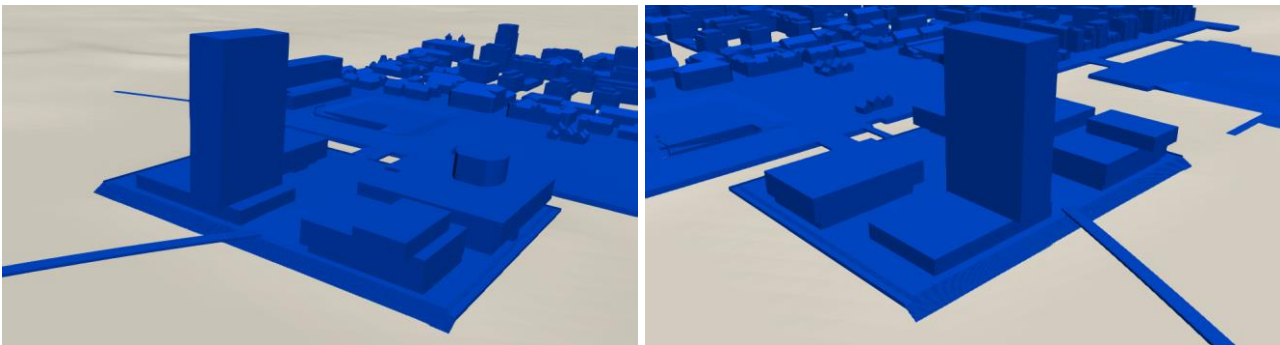
Tuulisuusselvityksessä tarkastellaan neljää erilaista Terwa Towerin suunnitteluvaihtoehtoa ja verrataan niiden tuuliolosuhteita nykytilanteeseen. Suunnitteluvaihtoehtojen olennaiset piirteet on kuvattu seuraavassa listassa:

- Vaihtoehto VE1 (Kuva 5)
 - Korkeasta ja matalammasta osasta koostuva lamellitalo,
 - Korkean osan lounaisseinä viistetty verrattuna alueen keskeltä kulkevaan kevyen liikenteen väylään,
 - Kohdealueen luoteiskulmassa rakennuksen ja rannan väliin jätetty kapea tila,
 - Kohdealueen lounaiskulma jätetty tyhjäksi.
- Vaihtoehto VE3 (Kuva 6)
 - Yhdestä korkeasta osasta koostuva lamellitalo,
 - Korkean osan lounaisseinä suora verrattuna alueen keskeltä kulkevaan kevyen liikenteen väylään,
 - Kohdealueen luoteiskulmassa rakennuksen ja rannan väliin jätetty leveä tila,
 - Kohdealueen lounaiskulmassa matalampi rakennus.
- Vaihtoehto VE5 (Kuva 7)
 - Yhdestä korkeasta osasta koostuva lamellitalo,
 - Korkean osan lounaisseinä viistetty verrattuna alueen keskeltä kulkevaan kevyen liikenteen väylään,
 - Kohdealueen luoteiskulmassa rakennuksen ja rannan väliin jätetty leveä tila,
 - Kohdealueen lounaiskulmassa matalampi rakennus.
- Vaihtoehto VE7 (Kuva 8)
 - Yhdestä korkeasta osasta koostuva pistetalo,

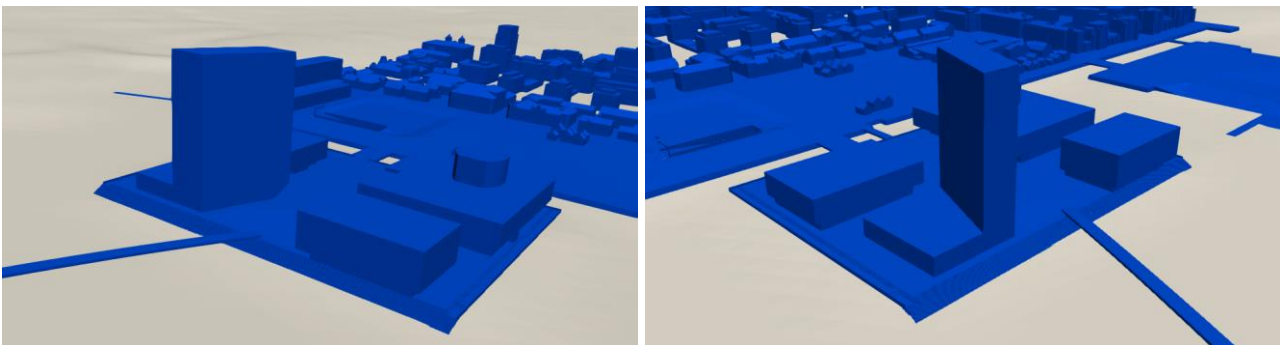
- Korkean osan lounaisseinä suora verrattuna alueen keskeltä kulkevaan kevyen liikenteen väylään,
- Kohdealueen luoteiskulmassa rakennuksen ja rannan väliin jätetty leveä tila,
- Kohdealueen lounaiskulmassa matalampi rakennus, joka on yhdistetty korkeaan rakennukseen kevyen liikenteen väylän ylittävällä katoksella.



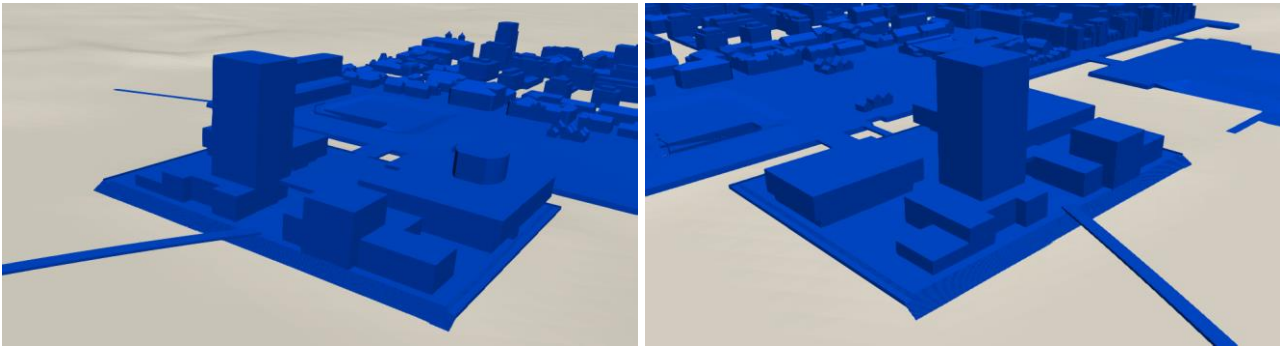
Kuva 5: Suunnitteluvaihtoehto VE1 kahdesta ilmansuunnasta.



Kuva 6: Suunnitteluvaihtoehto VE3 kahdesta ilmansuunnasta.



Kuva 7: Suunnitteluvaihtoehto VE5 kahdesta ilmansuunnasta.



Kuva 8: Suunnitteluvaihtoehto VE7 kahdesta ilmansuunnasta.

2.3 Virtauslaskentamalli

Tuulivirtausten CFD-simuloinnit on suoritettu Hila-Boltzmann -menetelmällä. Yleensä ilmapvirtausten simuloinnissa käytetään Navier-Stokesin yhtälöiden numeeriseen ratkaisemiseen soveltuvia menetelmiä. Hila-Boltzmann -menetelmä poikkeaa lähtökohdiltaan huomattavasti tämäntyyppisistä menetelmistä. Siinä ilman virtausta mallinnetaan hiukkasilla, jotka liikkuvat diskreetissä hilassa diskreetillä nopeudella diskreetteihin suuntiin, ja hiukkasten törmäyksiä simuloidaan Boltzmannin yhtälöllä. Tämän lähestymistavan etuna on erityisesti monimutkaisten laskentageometrioiden joustavampi käsittely ja laskennallinen tehokkuus rinnakkaislaskennassa verrattuna perinteisempiin CFD-menetelmiin [7].

Simulointi suoritetaan ajasta riippuvana simulointina käyttäen IDDES (improved delayed detached eddy simulation) turbulenssimallia [5]. Lämpötila oletetaan vakioiksi, jolloin simuloinnit vastaavat stabiilisuudeltaan neutraalia ilmakehää (potentiaalilämpötila on korkeuden suhteen vakio). Tämä on tyypillinen tilanne voimakkaalla tuulella, joten rajoittuminen neutraaliin stabiilisuuteen on luontevaa tämäntyyppisessä tuulusuusselvityksessä.

2.3.1 Laskennan parametrit

Eri vaihtoehtoissa muodostetun kaupunkimallin tilavuuteen muodostettiin virtuaalinen suorakaiteen muotoinen tuulitunneli, johon tuotettiin laskentaverkko simulointimenetelmää varten. Virtuaalisen tuulitunnelin mitat olivat 1111 m (pituus), 705 m (leveys) ja 270 m (korkeus). Simulointi suoritettiin 8 tuulen suunnalla, ja tuulitunnelin suuntaa kierrettiin tuulen suunnan mukaisesti. Kohdealueen keskipiste asetui tuulitunnelin etuosan etäisyydelle 3h tunnelin etuosasta, missä h on korkeimman rakennuksen korkeus. Laskentaverkko tihentyy kohdealueelle siten, että pienin hilakoko on noin 0,4 m ja suurin hilakoko 12 m. Käytetyssä laskentaverkossa oli noin 20 miljoonaa hilaelementtiä. Ajasta riippuvaa virtaussimulointia jatkettiin joka suunnassa niin pitkään, että simuloitavat hiukkaset läpäisivät virtuaalisen tuulitunnelin kolme kertaa, jolloin saadaan riittävän tarkka arvio kohdealueen keskimääräisistä tuuliolosuhteista. Kohteen keskimääräiset olosuhteet määritettiin aikariippuvan simuloinnin viimeisen 20 % ajalta.

2.3.2 Reunaehdot

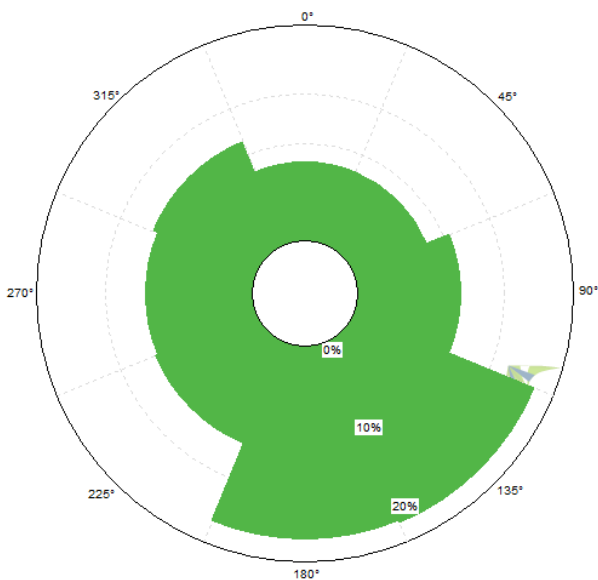
Tuulitunnelin sisäänvirtausreunalla tuulen nopeusprofiili määritettiin Eurokoodi-standardin mukaisesti (SFS-EN 1991-1-4) käyttäen suunnasta riippuvia maastotyyppejä [11]. Simuloinnit suoritettiin 8:lla tuulen suunnalla 45 asteen välein. Jokaisessa tuulen suunnassa maastotyyppi asetettiin kyseisessä suunnassa vallitsevan maastoluokan mukaisesti. Esimerkiksi idässä maasto on pääosin tiivistä kaupunkialuetta (luokka IV) kun taas lännestä maasto on lähes avointa merialuetta (luokka II) Laskentatilavuuden alapinnalla (maanpinta ja rakennukset) asetettiin nopeus nolaksi (no-slip –reunaehto).

2.4 Alueen tuulisuustilasto

Luotettavan arvion muodostaminen kohteen tuuliolosuhteista edellyttää tuulisuusaineistoa riittävän pitkältä aikajaksolta (ainakin 10 vuotta). Kohdealueen pitkän ajan tuuliolosuhteita on arvioitu käyttäen Vortex-palvelusta (www.vortexfdc.com) saatua säämallilla tuotettua 10 vuoden mittaista tuuliaikasarjaa. Aikasarja on tuotettu koordinaattipisteeseen E 427535 N 7211023 (ETRS-TM35FIN) aikajaksolle 2011-2020. Vortex käyttää WRF-mallia (Weather Research and Forecasting) tarkentamaan sääennustemallien ns. reanalyysidataa tiettyyn pisteeseen ja halutulle aikajalle. Tässä analyysissä WRF-mallin lähtötietona on käytetty ECMWF:n ERA5-aineistoa:

<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>

Vortexin tuottama aikasarja sisältää arvot tuulen nopeudelle ja suunnalle tunnin aikavälillä korkeuksille 50-180 m 10 metrin välein. Aikasarjan perusteella määritettiin tuulen nopeus- ja suuntajakaumat korkeudella 50 m kahdeksalle tuulen suuntasektorille 45 asteen välein. Suuntajakauma on esitetty kuvassa (Kuva 9) ja aineiston suuntakohtaiset keskituulennopeudet korkeudella 50 m on lueteltu taulukossa (Taulukko 1).



Kuva 9: Sääennustemallin tuottaman pitkän ajan tuulianeiston mukainen tuulen suuntajakauma 50 m korkeudella.

Taulukko 1: Tuuliaineiston mukaiset suuntakohtaiset keskituulennopeudet korkeudella 50 m.

Tuulen suuntasectori	Keskituulennopeus m/s
337-022	5,19
022-067	5,31
067-112	5,40
112-157	5,85
157-202	6,28
202-247	6,65
247-292	6,13
292-337	5,60
Koko aineisto	5,88

3 Tuuliolosuhteiden arviointi

Virtauslaskentatulosten ja alueen tuulitilaston avulla voidaan laskea kohdealueen katutasolla todennäköisyyksiä sille, että tuulen nopeus katutasolla ylittää annetun raja-arvon U_{THR} . Katutasona pidetään korkeutta 1,5 m maan pinnasta. Suomessa ei ole määritelty virallista ohjeistusta tuulisuuden arviointiin, joten on käytettävä kansainvälisiä luokituksia. Tässä raportissa tuulisuustasojen arviointiin käytetään Alankomaiden virallisessa ohjeistuksessa esitettyä luokittelua, joka jakaa tuulisuuden erilaisiin mukavuus- ja vaarallisuusluokkiin [9][12].

Luokituksessa tuulisuus jaetaan mukavuuden suhteen viiteen luokkaan A-E, joka määräytyy keskituulennopeuden $U_{THR}=5$ m/s ylitystodennäköisyyden perusteella (Taulukko 2). Tuulisuuden lisäksi luokittelussa arvioidaan tuulisuustason hyväksyttävyyttä eri tyyppisten toimintojen kannalta (istuminen, kävely, juokseminen). Luokkiin A ja B kuuluvat alueet soveltuvat istumiseen ja paikallaan oleskeluun ja luokkaan C kuuluvat alueet soveltuvat liikkumiseen. Luokkaan D ja E kuuluvat alueet ovat oleskelun ja liikkumisen kannalta epämukavia.

Vaarallisuuden suhteen tuulisuus jaetaan kolmeen luokkaan puuskanopeuden $U_{THR}=15$ m/s ylitystodennäköisyyden mukaisesti. Taulukko 3 antaa luokittelussa käytettävät todennäköisyydet ja tuulisuustason hyväksyttävyydet eri toimintojen kannalta. Vaarallisuusluokituksessa tarkastellaan tuulisuuden ääri nopeuksia, joiden esiintyminen on harvinaista. Niiden tilastollinen arviointi on hyvin epävarmaa ja riippuvaista tuulitilastojen laadusta ja kattavuudesta.

Tuulisuuden arviointiin ja luokitteluun on esitetty useita erilaisia menetelmiä ja kriteereitä, joista yleisimmin käytettyjä on vertailtu artikkelissa [6].

Taulukko 2: Tuulisuuden mukavuusluokitukset Alankomaiden ohjeistuksen NEN 8100 mukaan.

P($U > 5$ m/s) [%]	Mukavuus- luokka	Toiminto		
		juokseminen	kävely	istuminen
< 2,5	A	hyvä	hyvä	hyvä
2,5 – 5,0	B	hyvä	hyvä	välttävä
5,0 – 10,0	C	hyvä	välttävä	huono
10 – 20	D	välttävä	huono	huono
> 20	E	huono	huono	huono

Taulukko 3: Tuulisuuden vaarallisuusluokitukset Alankomaiden ohjeistuksen NEN 8100 mukaan.

P($U > 15$ m/s) [%]	Vaarallisuus- luokka	Toiminto		
		juokseminen	kävely	istuminen
< 0,05	ei riskiä	turvallinen	turvallinen	turvallinen
0,05 – 0,3	rajoitettu riski	turvallinen	riskialtis	riskialtis
> 0,3	vaarallinen	riskialtis	riskialtis	riskialtis

4 Kohdealueen tuuliolosuhteet

Tuulisuusselvityksen tulokset esitetään alueellisina karttoina NEN 8100 –ohjeistuksen mukaisista tuulisuuden mukavuus- ja vaarallisuusluokituksista. Tulokset ovat vertailukelpoisia taulukoissa Taulukko 2 ja Taulukko 3 esitettyihin luokituksiin. Kartat on kohdistettu kohdealueelle korkeudelle 1,5 m katutasosta. Tässä luvussa esitetyt tulokset perustuvat pitkän ajan tuulisuusaineistoon sekä virtaussimulointien antamaan paikalliseen aerodynaamiseen tietoon.

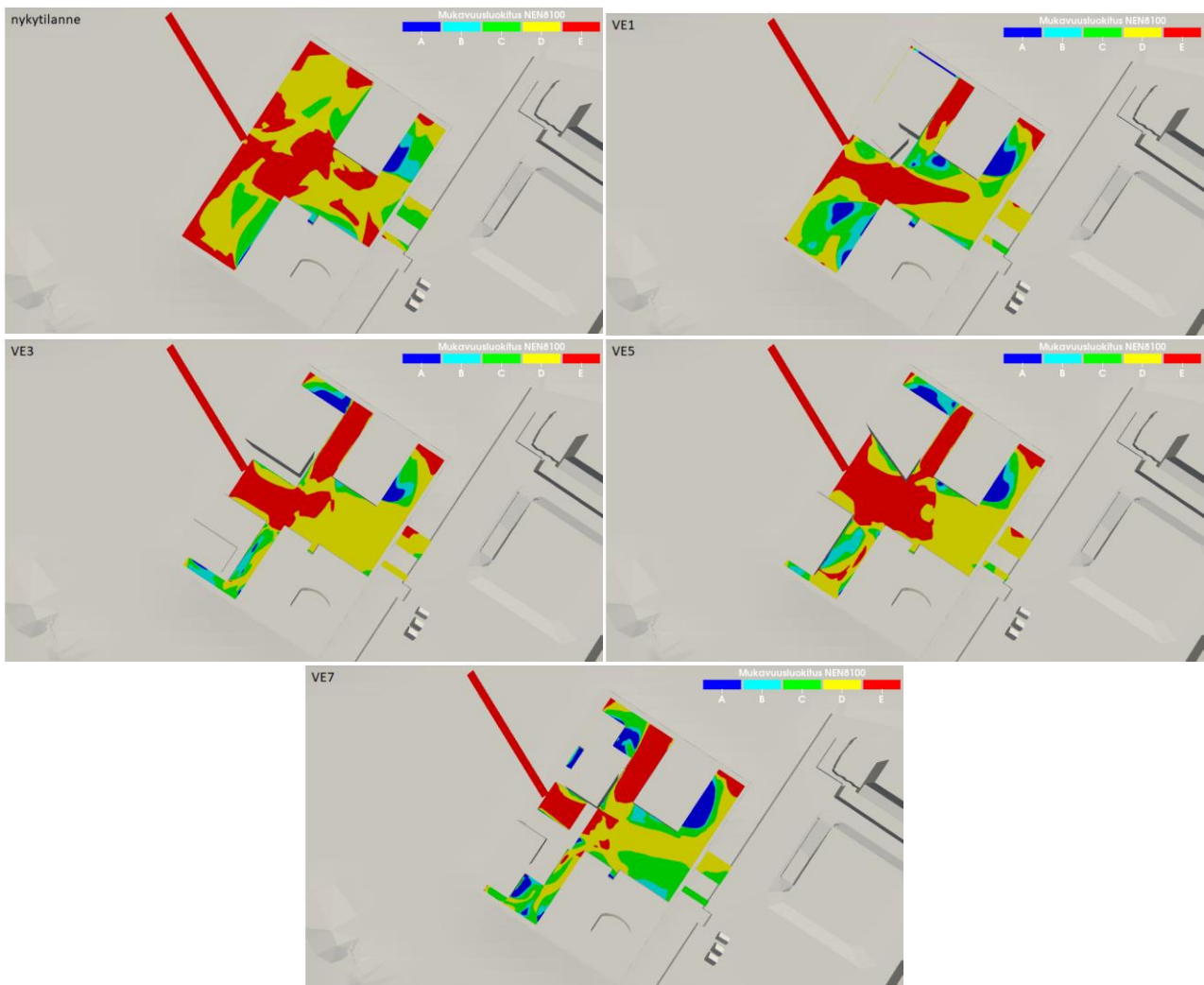
4.1 Mukavuusluokitus

Kuva 10 havainnollistaa tuulisuuden mukavuusluokituksia Terwa Towerin kohdealueella. Tumman- ja vaalensininen väri vastaa mukavuusluokituksia A ja B, joissa tuulisuustaso on matala. Vihreä, keltainen ja punainen väri taas vastaa luokituksia C, D ja E, joissa tuulisuustaso on oleskelun kannalta välttävä/huono.

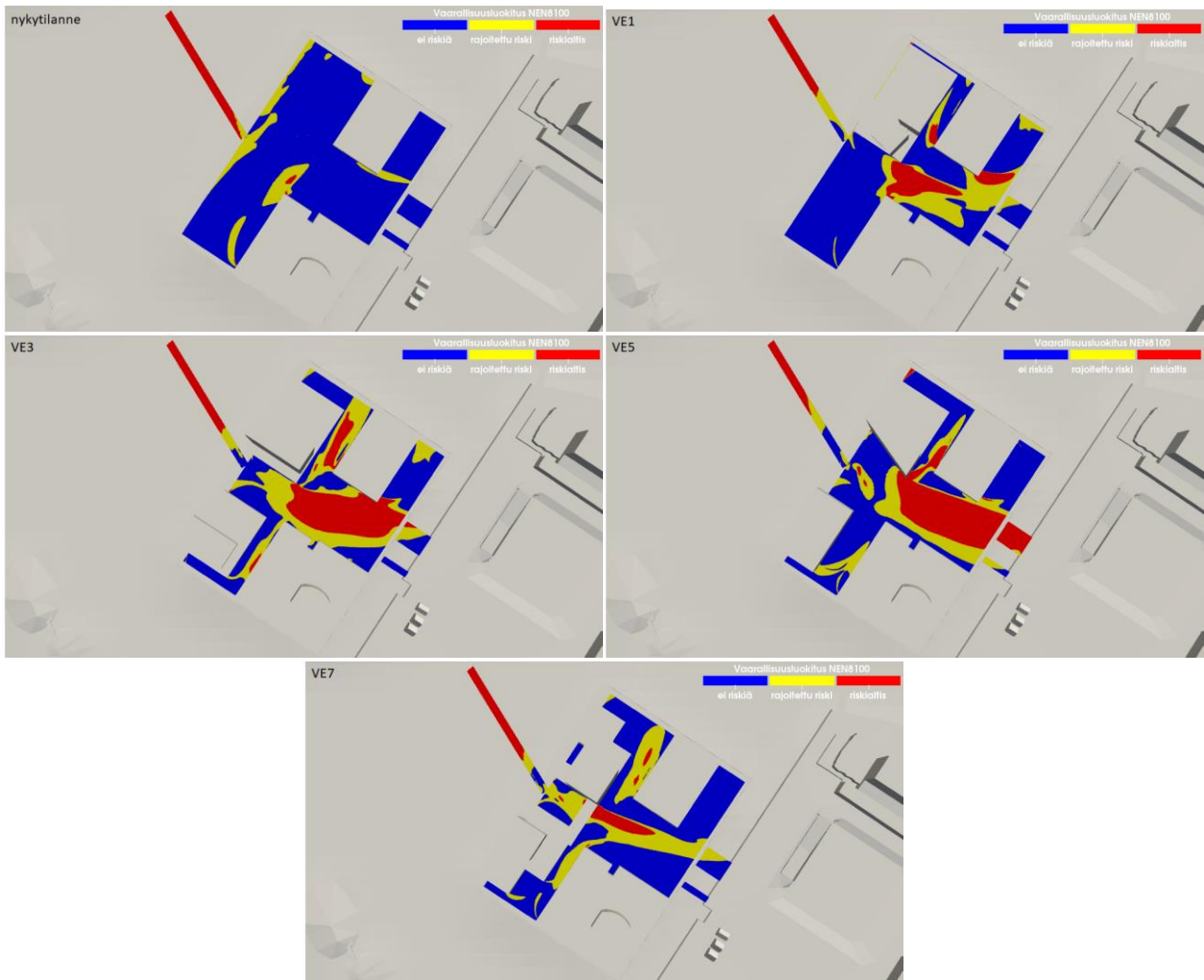
Tuulisuusanalyysin perusteella kohdealueen tuulisuustaso on nykytilanteessakin korkea. Terwa Towerin suunnitteluvaihtoehdoissa keskimääräinen tuulisuustaso on alueen keskellä kevyen liikenteen väylällä ja Kaarlenaukiolla samaa tasoa kuin nykytilanteessa. Terwa Towerin ja pääkirjaston väliin jäävälle alueelle muodostuu korkean tuulisuuden alue kaikissa vaihtoehdoissa. Suunnitteluvaihtoehdossa VE1 kaupunginteatterin vieressä olevalle viheralueelle muodostuu oleskeluun soveltuva matalan tuulisuuden alue. Suunnitteluvaihtoehdossa VE7 uusien rakennusten väliin suunniteltu katos näyttää simulointitulosten perusteella vähentävän olennaisesti tuulten ohjautumista katutasolle, mikä parantaa tuuliolosuhteita. Vaihtoehdoissa VE3, VE5 ja VE7 kohdealueen pohjoislaidalle uuden rakennuksen ja rannan väliin on jätetty leveä tila, jonne muodostuu tuulisuuden katvealue.

4.2 Vaarallisuusluokitus

Kuva 11 esittää tuulisuuden vaarallisuusluokituksia kohdealueella, mikä kuvaa voimakkaiden tuulen puuskien todennäköisyyttä. Suunnitelluilla uusilla rakennuksilla on suurempi vaikutus puuskien todennäköisyyteen kuin keskimääräiseen tuulisuuteen. Korkean tornitalon vaikutus kuitenkin rajoittuu kapealle vyöhykkeelle tornitalon nurkalta kohdealueen länsilaitaan. Kaikissa vaihtoehdoissa tuulisuuden riskiluokitus rakennusten pääsisäänkäynneillä pysyy matalana.



Kuva 10: Tuuliolosuhteiden mukavuusluokitukset kohdealueella.



Kuva 11: Tuuliolosuhteiden vaarallisuusluokitukset kohdealueella.

4.3 Tuulen suuntatarkastelut

Eri suunnista kohdistuvien tuulien vaikutuksia kohdealueella on analysoitu tarkemmin esittämällä tuulen nopeuksia samalla 1,5 m korkeudella kuin edellisessä luvussa. Nopeuksien havainnollistusten perusteella voidaan tehdä tarkempia päätelmiä, mistä tiettyjen paikkojen tavanomaista korkeammat tuulisuustasot johtuvat ja miten niitä voisi tehokkaasti alentaa. Seuraavissa luvuissa on käyty läpi simuloinneissa ilmenneet merkittävimmät tuulivaikutukset pää- ja väli-ilmansuunnissa.

4.3.1 Pohjoinen ja koillinen

Nykytilanteessa pohjoisesta ja koillisesta kohdistuvat tuulet hieman voimistuvat pääkirjaston nurkkien takana korottaen tuulisuustasoa Kaarlenaukiolla. Terwa Towerin suunnitteluvaihtoehdoissa uuden rakennuksen ja kirjaston väliin muodostuvassa kapeassa välissä tuulet voimistuvat, mikä edelleen voimistaa tuulivaikutuksia Kaarlenaukiolla (Kuva 12). Vaihtoehdoissa VE3, VE5 ja VE7 lisäksi teatterin vierelle suunniteltu rakennus ohjaa pohjoistuulia kevyen liikenteen väylälle. Koillistuulilla vaikutukset ovat samantyyppisiä, mutta jäävät alemmiksi kuin pohjoistuulilla. Pohjois- ja koillistuulia esiintyy alueella

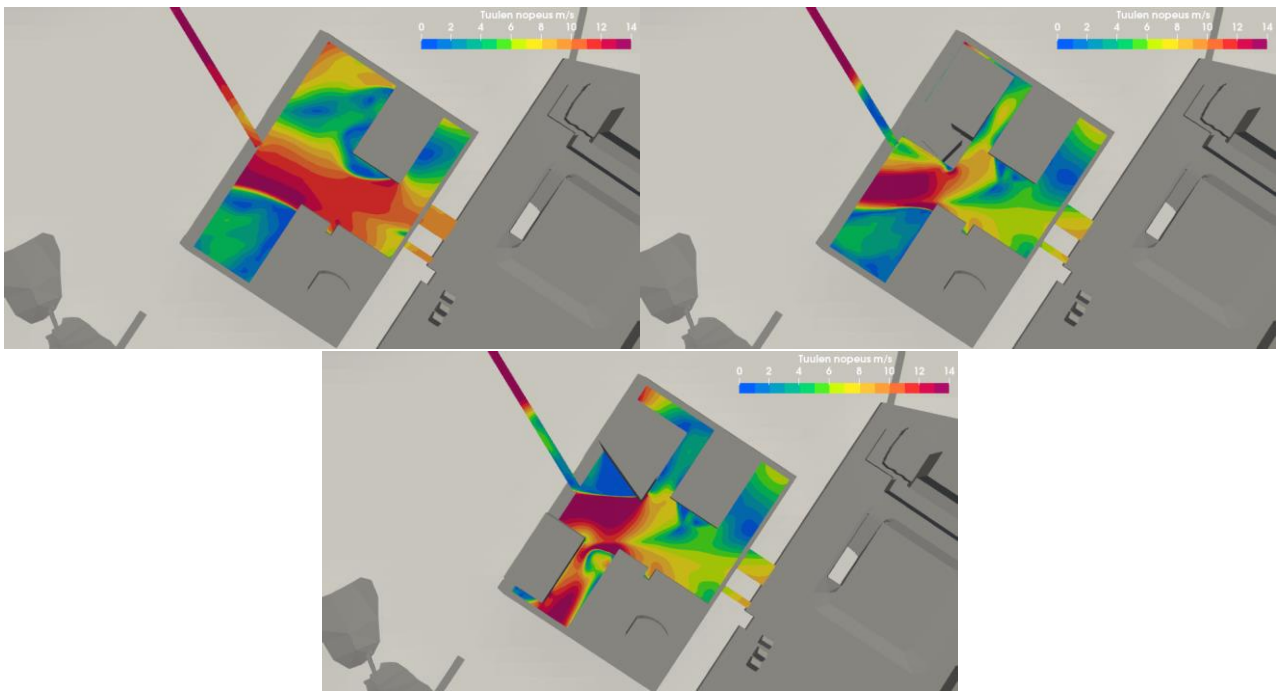
suhteellisen vähän (noin 6 % kaikista tuulista) ja niiden nopeudet ovat keskimäärin alhaisempia kuin muilla suunnilla.



Kuva 12: Simuloidut tuulen nopeudet pohjoistuulella nykytilanteessa (vasen) ja vaihtoehdossa VE3 (oikea).

4.3.2 Itä

Nykytilanteessa itätuuli kohdistuu melko suoraan alueen keskiosaan. Suunnitelmavaihtoehdoissa itätuuli voimistuu tornitalon ja teatterin muodostamassa kapeassa välissä (Kuva 13). Itätuulia esiintyy suhteellisen vähän ja niiden nopeudet ovat keskimääräistä alhaisempia.



Kuva 13: Simuloidut tuulen nopeudet itätuulella nykytilanteessa (ylhäällä vasen), vaihtoehdolla VE1 (ylhäällä oikea) ja vaihtoehdolla VE5 (alhaalla).

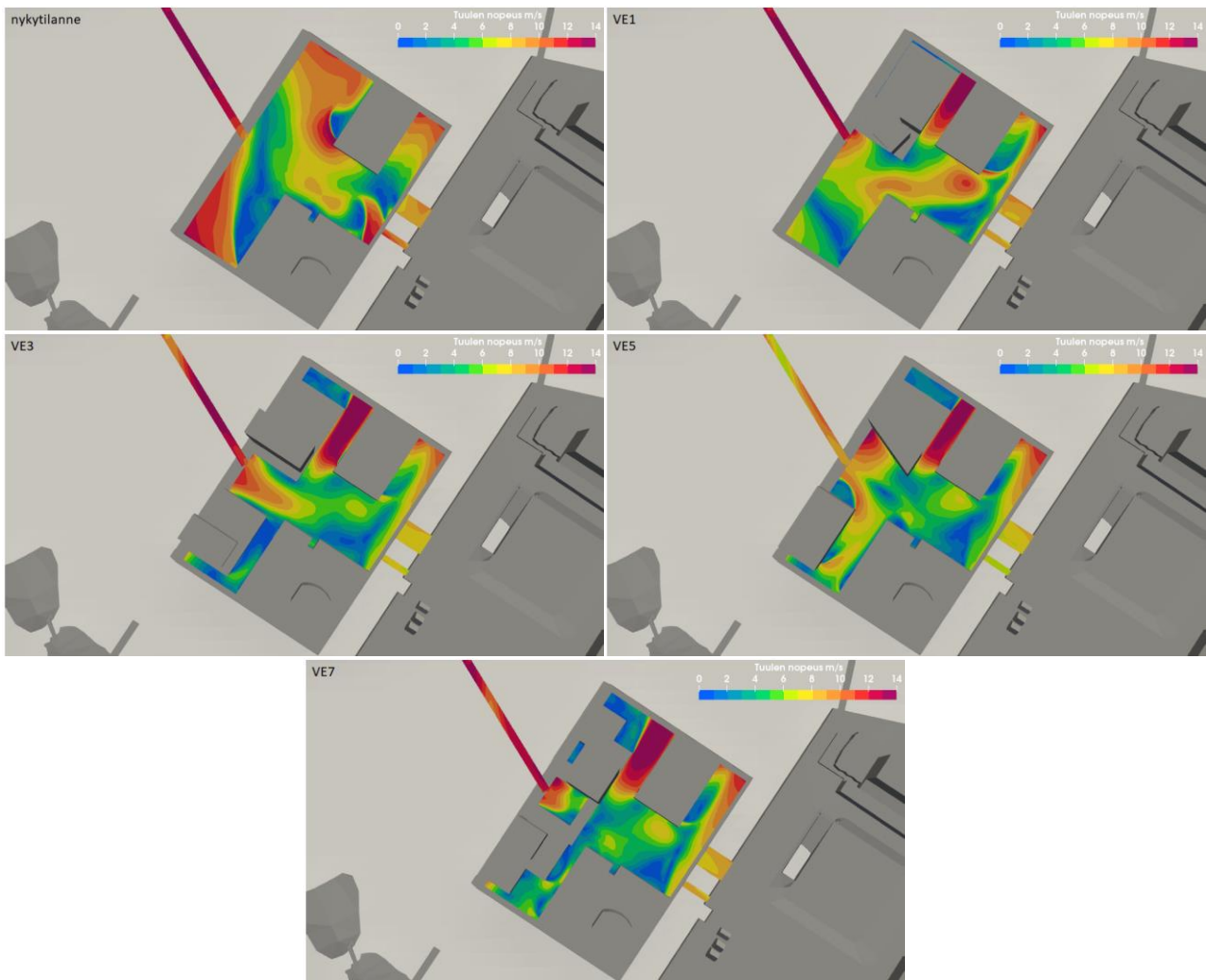
4.3.3 Kaakko ja etelä

Nykyisessä tilanteessa etelätuulet voimistuvat pääkirjaston ja teatterin nurkkien takana, mutta vaikuttavat vähän liikenneväyliin tai oleskelualueille. Kaakkoistuulilla on etelätuulia voimakkaampi vaikutus kohdealueen keskiosien tuuliolosuhteisiin (Kuva 14 ja Kuva 15).

Suunnitelmavaihtoehdoissa etelätuulien vaikutus kohdealueen keskellä on suhteellisen vähäinen. Etelätuulet kuitenkin vahvistuvat pääkirjaston ja uuden rakennuksen kapeassa välissä ja koillistuulet tornitalon edustalla. Nämä ilmiöt erottuvat kaikissa vaihtoehdoissa (Kuva 15). Kaakkois- ja etelätuulet ovat kohteen vallitsevia tuulen suuntia ja erityisesti etelätuulet ovat keskimääräistä voimakkaampia, joten niiden vaikutus keskimääräisiin luokituksiin luvussa 4.1 on merkittävä.



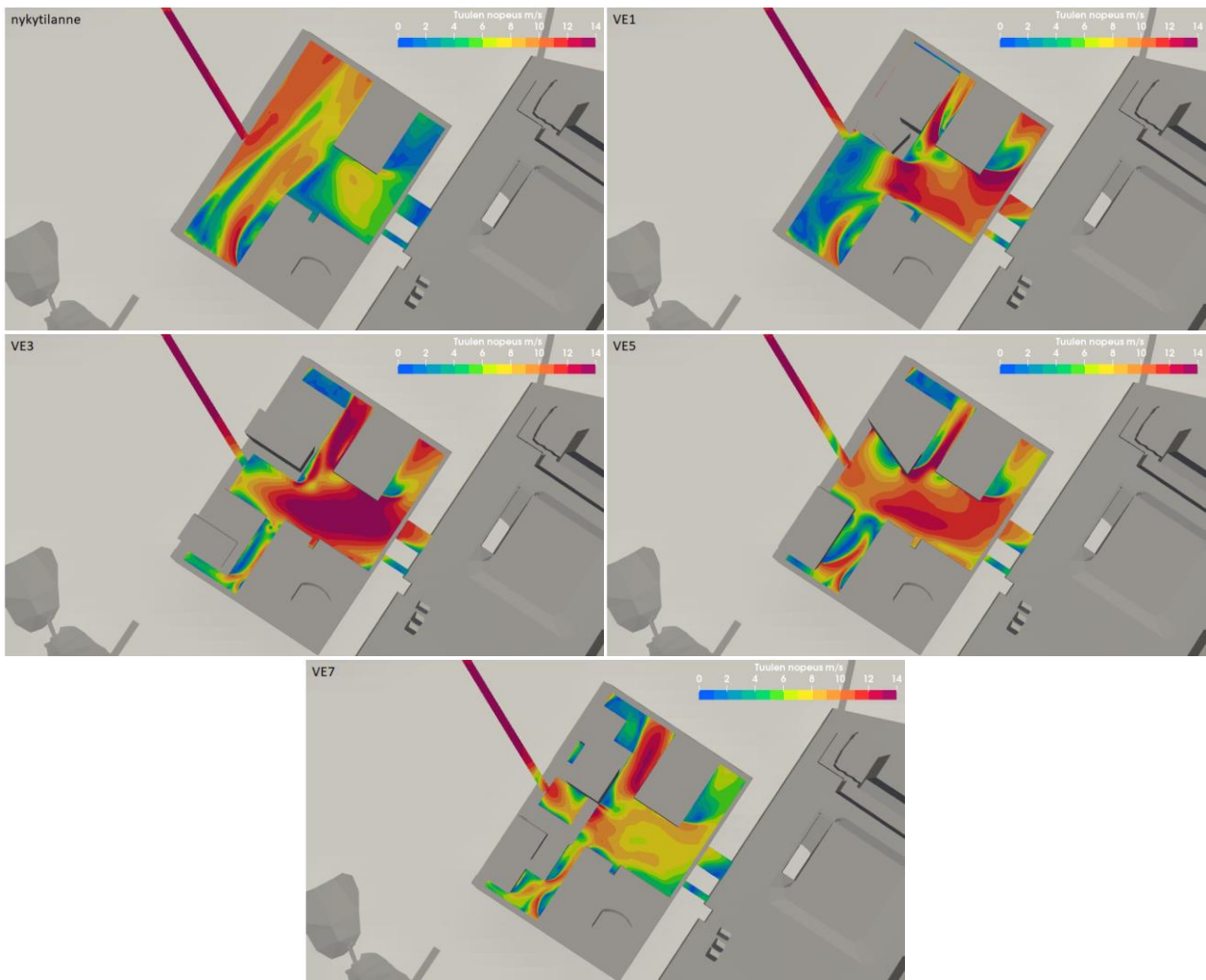
Kuva 14: Simuloidut tuulen nopeudet kaakkoistuulella nykytilanteessa (vasen) ja vaihtoehdolla VE5 (oikea).



Kuva 15: Simuloidut tuulen nopeudet etelätuulella.

4.3.4 Lounas

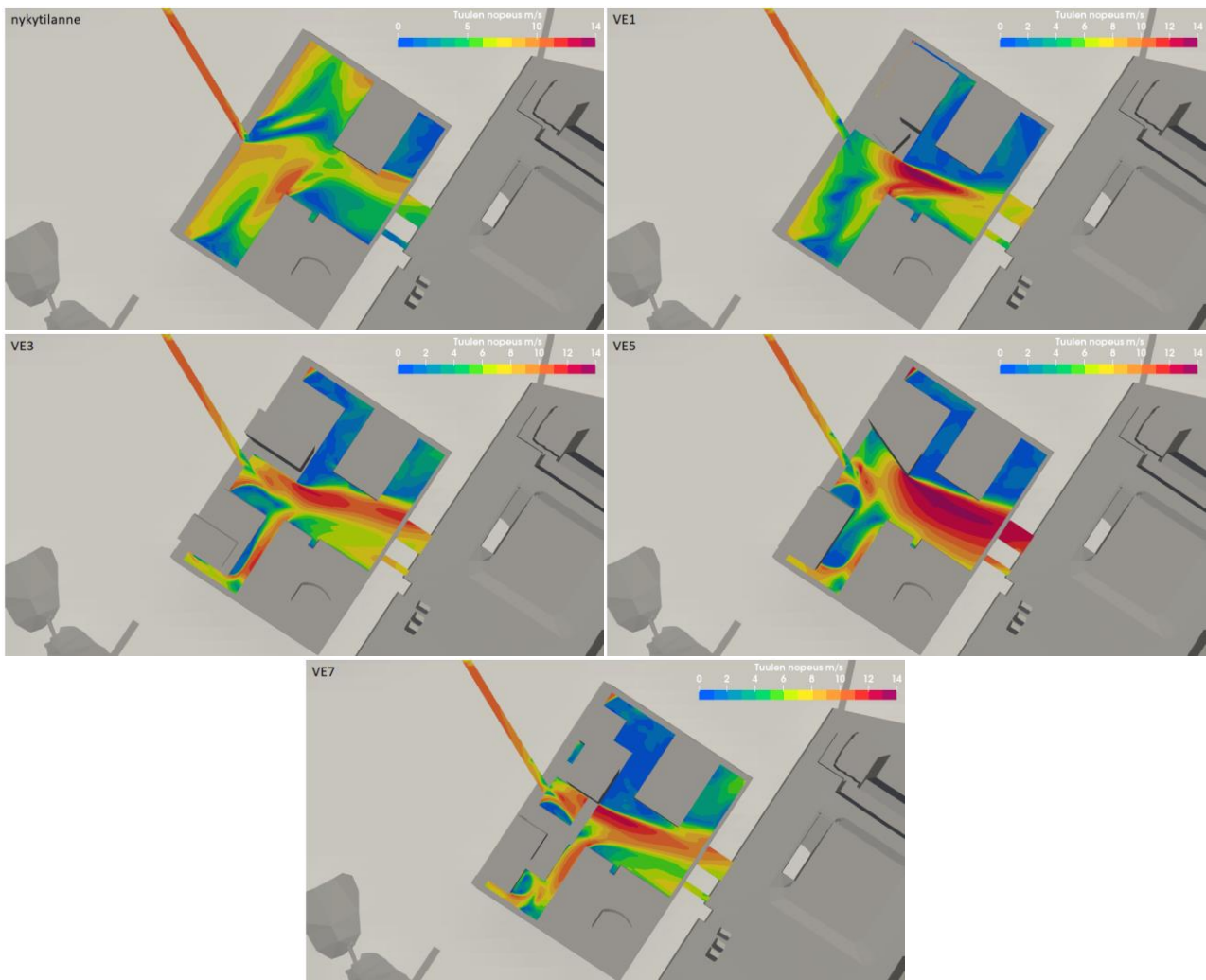
Nykyisessä tilanteessa lounaistuulet vaikuttavat lähes esteettömästi kohdealueen länsilaidalla, eikä rakennuksilla ole merkittäviä vaikutuksia. Terwa Towerin suunnitteluvaihtoehdoissa korkea rakennus kääntää lounaistuulia kohti Kaarlenaukiota, jossa tuulisuustaso voimistuu (Kuva 16). Vaihtoehdossa VE7 tämä vaikutus on huomattavasti alhaisempi verrattuna muihin, joka todennäköisesti johtuu Meritorin alueelle sijoitetun massan suojaavasta vaikutuksesta. Lounaistuulet vahvistuvat myös pääkirjaston ja uuden rakennuksen kapeassa välissä. Tämä ilmiö erottuu kaikissa vaihtoehdoissa. Lounaistuulet ovat alueella yleisiä ja keskimääräistä voimakkaampia.



Kuva 16: Simuloidut tuulen nopeudet lounaistuulella.

4.3.5 Länsi

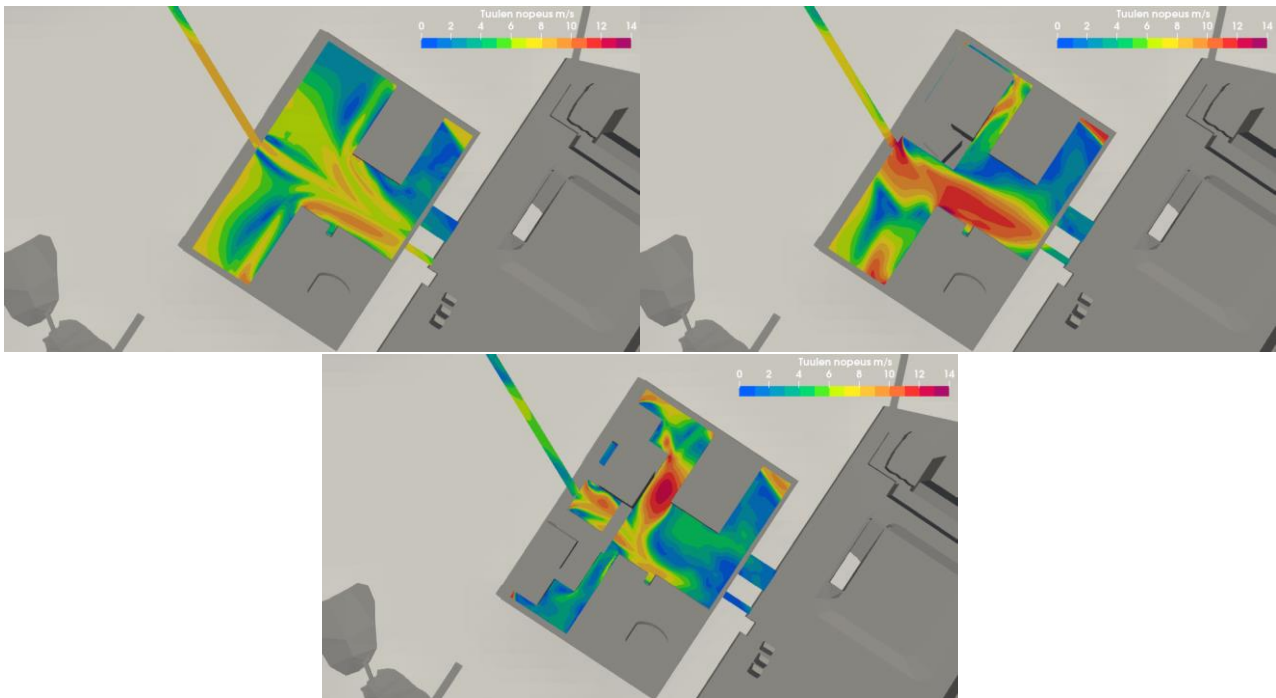
Nykyisessä tilanteessa länsituuli hieman voimistuu kaupunginteatterin ja pääkirjaston kulmalla. Kaikissa suunnitteluvaihtoehdoissa länsituuli voimistuu tornitalon kulmalta kohti Kaarlenaukiota. Tämä vaikutus on erityisen voimakas vaihtoehdoissa VE1 ja VE5 johtuen ilmeisesti tornitalon viistetystä muodosta. Vaihtoehdossa VE7 vaikutus on alhaisempi johtuen osittain Meritorin alueelle sijoitetun massan suojaavasta vaikutuksesta sekä osittain tornitalon lounaisseinän suuntauksesta.



Kuva 17: Simuloidut tuulen nopeudet länsituulella.

4.3.6 Luode

Nykytilanteessa luoteistuulien vaikutus kohdistuu kevyen liikenteen väylän alueelle. Suunnitellut rakennukset voimistavat tätä vaikutusta. Suunnitelmissa VE3, VE5 ja VE7 luoteistuulet ohjautuvat myös uuden rakennuksen pohjoispuolelta kirjaston vierelle (Kuva 18).

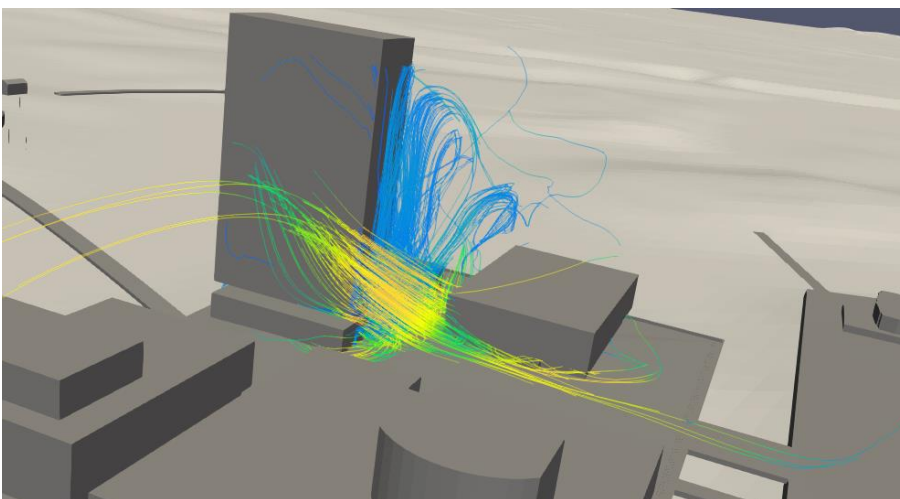
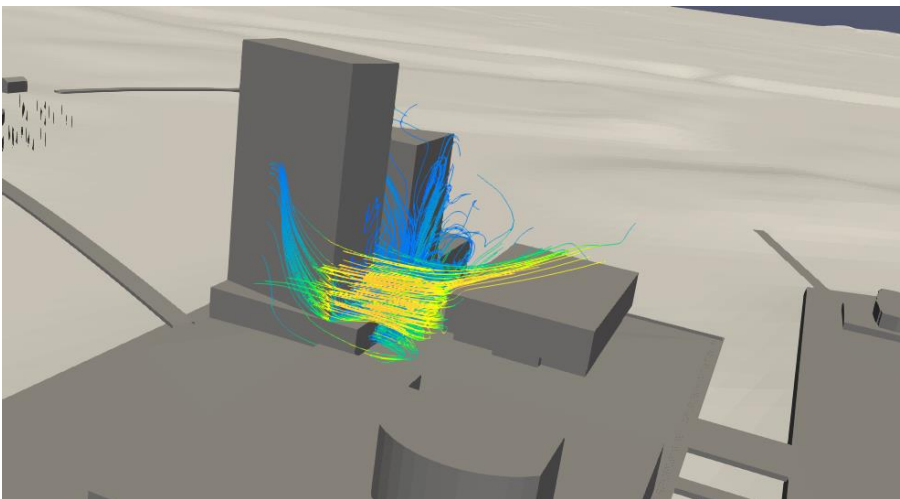
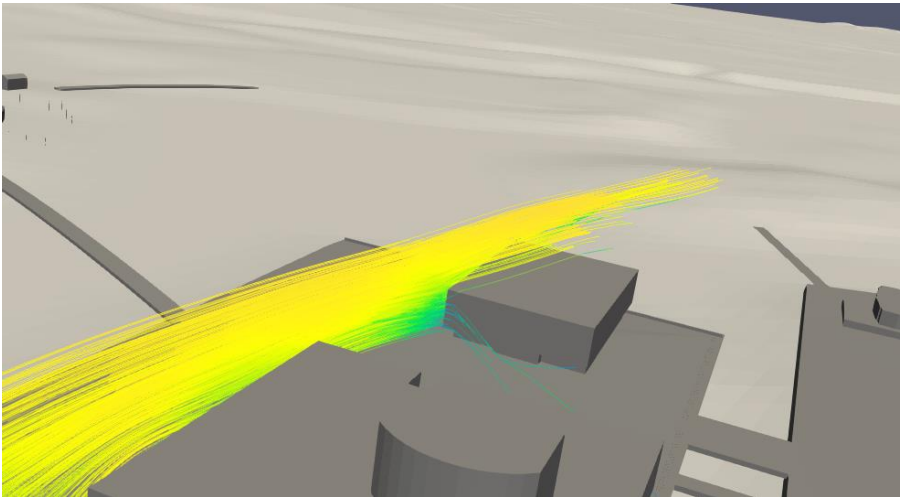


Kuva 18: Simuloidut tuulen nopeudet luoteistuulella nykytilanteessa (ylhäällä vasen), vaihtoehdolla VE1 (ylhäällä oikea) ja vaihtoehdolla VE7 (alhaalla).

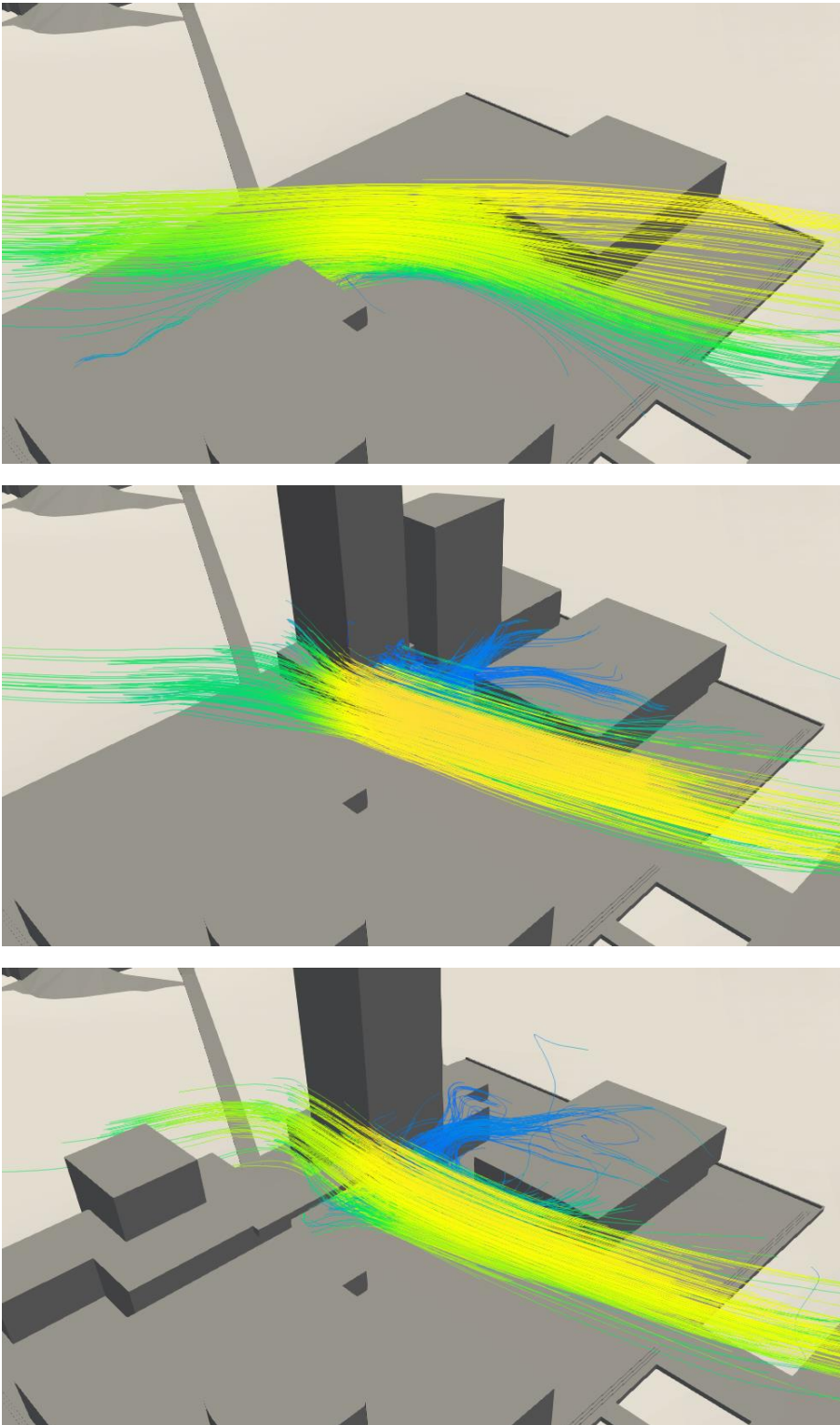
4.4 Virtaviivatarkasteluja

Edellisessä luvussa havaittuja korkeita paikallisia tuulisuustasoja voidaan selittää tarkastelemalla tuulen virtaviivoja eri suunnissa. Kuvassa (Kuva 19) on verrattu pääkirjaston lounaiskulmalta piirrettyjä tuulen virtaviivoja, kun tuulen suunta on lounaasta. Kuvassa on esitetty vastaavat virtaviivat nykytilanteessa, vaihtoehdossa VE1 ja vaihtoehdossa VE3. Viivojen väri vastaa tuulen nopeutta samalla tavoin kuin edellisen luvun tasokuvissa. Nykytilanteessa lounaistuuli kohdistuu kirjaston sivulle häiriöttämissä ja voimistuu vain hieman talon nurkalta. Tilanteissa VE1 ja VE3 lounaistuulet ohjautuvat tornitalon seinää pitkin alaspäin ja ohjautuvat voimistuen kirjaston ja tornitalon väliin. Erityisesti tapauksessa VE1, jossa talon seinä on viistetty, tuulen nopeus kasvaa myös tornitalon nurkan ohi liikuttaessa.

Kuvassa (Kuva 20) on verrattu Kaarlenaukion luoteispäädystä piirrettyjä virtaviivoja länsituulen tapauksessa. Kuvassa on esitetty virtaviivat nykytilanteessa, tapauksessa VE1 ja tapauksessa VE7. Nykytilanteessa länsituulet hieman ohjautuvat ja voimistuvat teatterin ja kirjaston välisellä alueella. Tilanteissa VE1 ja VE7 ohjautuvat samalle paikalle pääosin tornitalon seinän kautta voimistuen nurkan ohi liikuttaessa. Tapauksessa VE7 katutasen tuulisuustasot jäävät alhaisemmiksi kuin tapauksessa VE1 johtuen kevyen liikenteen väylän yli ulottuvasta katoksesta.



Kuva 19: Kirjaston lounaiskulmalta piirretyt virtaviivat nykytilanteessa (ylhällä), tapauksessa VE1 (keskellä) ja tapauksessa VE3 (alhaalla).



Kuva 20: Kaarlenaukiolta piirretyt virtaviivat nykytilanteessa (ylhällä), tapauksessa VE1 (keskellä) ja tapauksessa VE7 (alhaalla).

5 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Oulun keskustaan kortteliin 38 suunnitellun Terwa Tower -kokonaisuuden tuulisuus selvitys. Selvityksessä tarkastellaan kohteen neljää erilaista suunnitteluvaihtoehtoa, ja tuloksia verrataan nykytilanteen tuulisuusarvioihin.

Tuulisuus selvityksessä arvioitiin tuuliolosuhteiden viihtyisyyttä ja turvallisuutta kohdealueen katuosuuksilla jalankulkijan kokemana. Tulokset perustuivat sääennustemallilla laskettuun pitkän ajan tuulisuusarvioon yhdistettynä virtaussimulointien antamaan aerodynaamiseen tietoon. Kohdealue luokiteltiin tuulen nopeuden perusteella mukavuus- ja vaarallisuusluokkiin käyttäen kansainvälisesti tunnettuja luokittelukriteereitä.

Simulointimalleissa käytettiin kohdealueen rakennusten pelkistettyjä malleja, eikä niissä huomioitu alueen puustoa, istutuksia ja muita virtausesteitä. Tästä syystä uusien rakennusten aiheuttamat tuulivaikutukset korostuvat, ja tulokset todennäköisesti yliarvioivat kohteen todellisia tuulisuustasoja. Tämä on otettava huomioon tulosten tulkinnessa: Puusto, kasvillisuus ja alueen lopullisessa toteutuksessa käytettävät rakenteet lieventävät jalankulkijan kokemia tuulisuusvaikutuksia.

Kohdealueen keskimääräinen tuulisuustaso on nykytilanteessakin korkea, eikä alueelta erotu pitkäaikaiseen oleskeluun soveltuvia alueita. Uudet suunnitelmavaihtoehdot eivät merkittävästi muuta kohdealueen tuulisuuden mukavuusluokituksia. Tornitalon ja kirjaston välissä oleva kapeassa välissä tuulisuustaso voi nousta korkeaksi joillakin tuulen suunnilla.

Uuden tornitalon vaikutus tuuliolosuhteisiin erottuu selkeämmin, kun tarkastellaan tuulisuuden vaarallisuusluokituksia eli voimakkaiden tuulien todennäköisyyksiä. Tornitalon seinää pitkin alaspäin ja nurkan taakse ohjautuvat tuulet voivat voimistua ja aiheuttaa puuskia kohdealueen keskiosiin. Tätä vaikutusta voidaan kuitenkin merkittävästi alentaa erilaisilla rakenneratkaisuilla.

Eri suunnitelmavaihtoehtojen vaikutukset alueen tuulisuuteen ovat saman tyyppisiä, mutta vaihtelevat suuntaakohtaisesti voimakkuudeltaan. Yksikään vaihtoehto ei erotu vaikutuksiltaan erityisesti muita huonompana ja soveltuvat tuulisuusvaikutusten suhteen jatkosuunnittelun pohjaksi.

6 Viitteet

- [1] J. Bennett 2007. Wind design guide. BBSC 433 – architectural aerodynamics. University of Wellington.
- [2] B. Blocken 2015. Computational Fluid Dynamics for Urban Physics: Importance, scales, possibilities, limitations and ten tips and tricks towards accurate and reliable simulations. *Build Environ* 91: 219-245.
- [3] B. Blocken, W. Janssen, T. van Hooff 2012. CFD simulation for pedestrian wind comfort and wind safety in urban areas: General decision framework and case study for the Eindhoven University campus. *Environ Modell Softw* 30: 15-34.
- [4] B. Blocken, T. Stathopoulos, J. van Beeck 2016. Pedestrian-level wind conditions around buildings: Review of wind-tunnel and CFD techniques and their accuracy for wind comfort assessment. *Build Environ* 100: 50-81.
- [5] M. Gritskevich, A. Garbaruk, F. Menter 2017. A comprehensive study of improved delayed detached eddy simulation with wall functions. *Flow, Turbulence and Combustion* 98: 461-479.
- [6] W. Janssen, B. Blocken, T. van Hooff 2013. Pedestrian wind comfort around buildings: comparison of wind comfort criteria based on whole-flow field data for a complex case study. *Build Environ* 59: 547-562.
- [7] Q. Liao, T.-C. Jen 2011. Application of Lattice Boltzmann Method in Fluid Flow and Heat Transfer. *Computational Fluid Dynamics Technologies and Applications*, Chapter 2. InTech.
- [8] City of London Corporation. Wind microclimate guidelines for developments in the city of London, August 2019.
- [9] NEN 2006a. Wind comfort and wind danger in the built environment, NEN 8100 (in Dutch). Dutch standard.
- [10] P. Pancholy 2018. Numerical study of flow structure and pedestrian level wind comfort inside urban street canyons. Doctoral thesis, University of Canterbury.
- [11] SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat.
- [12] E. Willemsen, J. Wisse 2007. Design for wind comfort in The Netherlands: Procedures, criteria and open research issues. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 95(9): 1541-1550.