



# Kaupunkiympäristön tuulisuusselvitys

OULU – OSUUSPANKIN UUDISRAKENNUS ”GRAADI”

ERKKI HEIKKOLA

30.05.2022

Selvityksen loppuun lisätty:  
*Lausunto Oulun Osuuspankin uudisrakennuksen  
suunnitelmapäivityksen tuulisuusvaikutuksista  
AFRY Finland Oy (ent. Numerola Oy) 16.3.2023*

## Raportin nimi ja tunnus

Kaupunkiympäristön tuulisuusselvitys: Oulu – Osuuspankin uudisrakennus ”Graadi”  
KS-2022-750-1, 30.5.2022

## Raportin tekijät

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

## Yhteyshenkilö

Samuli Korpinen, Numerola Oy  
[samuli.korpinen@numerola.fi](mailto:samuli.korpinen@numerola.fi)  
puh. 050 511 5343

## Vastaanottajat

Oulun Osuuspankki  
c/o Jari Ojala A-insinöörit Rakennuttaminen 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 Osuuspankin uudisrakennuksen ”Graadi” tuulisuusselvityksen CFD-virtauslaskennan sekä pitkän ajan tuulisuusaineiston avulla. Selvitys perustuu kohteen 3D-malliin, Oulun kaupungin 3D-kaupunkimalliin sekä alueen maastomalliin. Tuulisuusselvityksen tavoitteena on arvioida kohdetta ympäröivän katualueen sekä rakennuksen kattopiha-alueen tuuliolosuhteita ja selvittää kohteessa esiintyvien epämukavien tai riskialttiiden tuulen todennäköisyyksiä. Kohdealue luokitellaan tuulennopeuden perusteella mukavuus- sekä vaarallisuusluokkiin 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 | Virtauslaskentamalli .....           | 9  |
| 2.3 | Alueen tuulisuustilasto .....        | 10 |
| 3   | Tuuliolosuhteiden arviointi.....     | 12 |
| 4   | Kohdealueen tuuliolosuhteet .....    | 13 |
| 4.1 | Mukavuusluokitus .....               | 13 |
| 4.2 | Vaarallisuusluokitus.....            | 13 |
| 4.3 | Tuulen suuntatarkastelut .....       | 15 |
| 4.4 | Virtaviivatarkasteluja.....          | 18 |
| 5   | Yhteenveto .....                     | 20 |
| 6   | Viitteet.....                        | 21 |

## 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 keskustassa kortteliin 20 suunniteltu Osuuspankin uudisrakennus Graadi (Kuva 1 ja Kuva 2). Pankin toiminnot sijoittuvat rakennuksen kerroksiin 1-6. Asuintorni, kerrokset 8–14, sijoittuu tontin Hallituskadun puoleiseen osaan, ja se on erotettu itsenäiseksi pankin toiminnoista. Asuntoja palveleva piha-alue on sijoitettu kuudennen kerroksen kattoterassille. Tuulisuussimulointien avulla arvioidaan tuuliolosuhteiden viihtyisyyttä ja turvallisuutta alueen taloja ympäröivillä katuosuuksilla ja kattoterassin oleskelualueilla.



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





Kuva 2: Yläpuolella kohteen maastokartta 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 3 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.



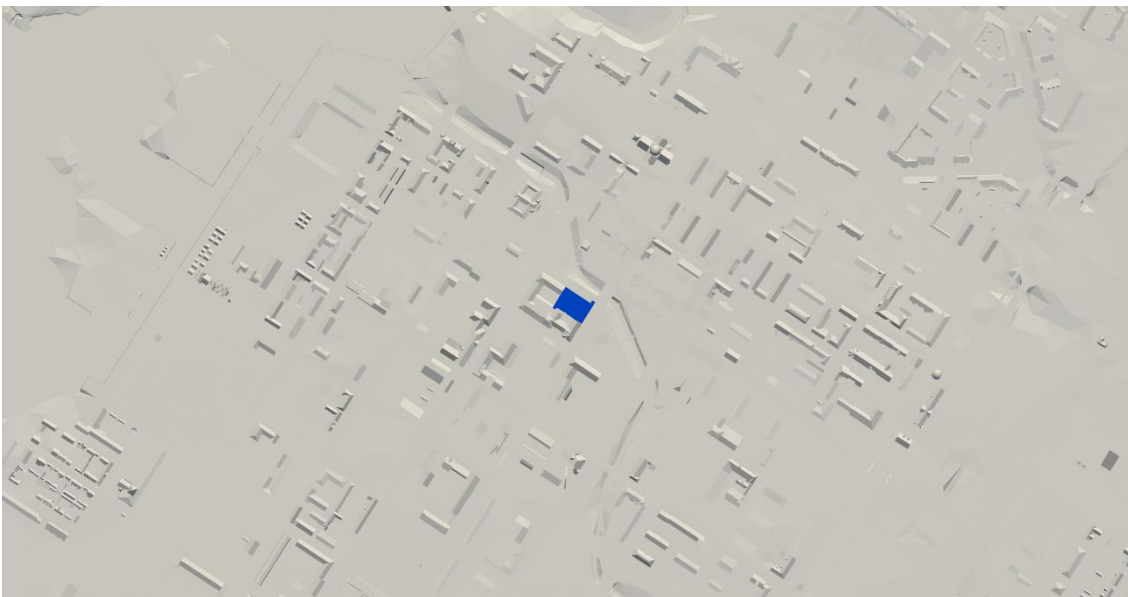
## 2 Ilmavirtausten simulointimalli

Tuulisuusselvityksessä tarvitaan kolmiulotteinen (3D) CAD-malli kohdealueen maastosta ja rakennuksista. Tässä yhteydessä se muodostettiin asiakkaalta saatujen rakennus- ja maastomallien avulla. Selvityksen lähtötietojen perusteella laaditun 3D-kaupunkimallin yksityiskohdat on kuvattu luvussa 2.1. Ilmavirtausten simuloiteja varten CAD-mallin määrittelemään kolmiulotteiseen tilavuuteen muodostettiin laskentamalli, jonka taustatiedot ja parametrisoinnit on koottu lukuun 2.2. Alueen tuulen nopeuksien ja suuntien jakaumat määritettiin sääennustemallin tuottaman pitkän ajan tuuliaineiston perusteella. Tuulitilaston jakaumat esitetään luvussa 2.3.

### 2.1 Kaupunkimallin muodostus

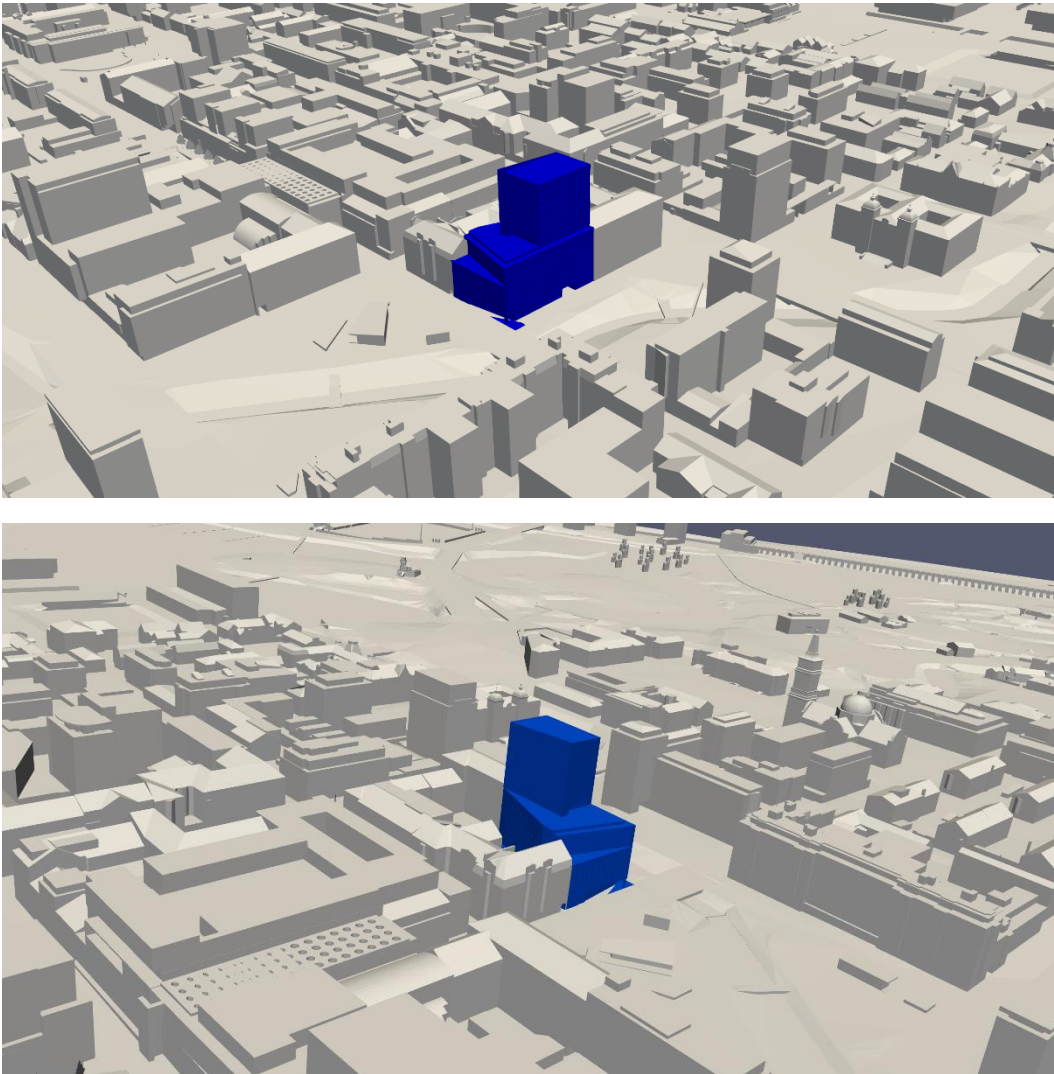
Maaston korkeudet kohdealueella määritettiin asiakkaan toimittaman korkeusmallin perusteella. Tiedot kohdealueen olemassaolevien rakennuksien sijainneista ja muodoista saatiin Oulun kaupunkimallista, ja OP:n uudisrakennuksen malli saatiin asiakkaalta. Korkeusmallin, Oulun kaupunkimallin ja kohderakennuksen mallin perusteella rakennettiin kohdealueen kolmiulotteinen kaupunkimalli, jossa kohdetta ympäröivät rakennukset huomioitiin noin 500 metrin säteellä. Kuvassa (Kuva 3) esitetään ylhäältä päin rajattu maastomalli ja siihen liitetyt rakennukset.

Mallissa käytettiin tasokoordinaatistoa ETRS-GK26 (EPSG:3380) ja projektiorioa N 7212803,3714 E 26475090,6657.



**Kuva 3: Mallinnusta varten rajattu maastomalli ja siihen liitetyt rakennukset ylhäältä päin esitettynä. Graadi esitetty sinisellä.**

Osuuspankin uudisrakennuksen suunnittelumalli on esitettynä koillisesta ja kaakosta kuvassa (Kuva 4). Pankin toiminnot sijoittuvat alimpiin kerroksiin 1-6 ja korkeampi torniosa sisältää asuinhuoneistoja. Kuudennen kerroksen kattoterassi on varattu asuinosan piha-alueeksi.



**Kuva 4: Osuuspankin uudisrakennuksen suunnitelma kahdesta ilmansuunnasta.**

## 2.2 Virtauslaskentamalli

Tuulivirtausten CFD-simuloinnit on suoritettu Hila-Boltzmann -menetelmällä. Yleensä ilmavirtausten simuloinnissa käytetään Navier-Stokesin yhtälöiden numeeriseen ratkaisemiseen soveltuvia menetelmiä. Hila-Boltzmann -menetelmä poikkeaa lähtökohdiltaan huomattavasti tämäläisistä 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 vakioksi, jolloin simuloinnit vastaavat stabiilisuudeltaan neutraalia ilmakehää (potentiaalilämpötila on korkeuden suhteen vakio). Tämä on

tyypillinen tilanne voimakkaalla tuulella, joten rajoittuminen neutraaliin stabiilisuuteen on luontevaa tämäntyyppisessä tuulisuusselvityksessä.

### 2.2.1 Laskennan parametrit

Kaupunkimallin tilavuuteen muodostettiin virtuaalinen suorakaiteen muotoinen tuulitunneli, johon tuotettiin laskentaverkko simulointimenetelmää varten. Virtuaalisen tuulitunnelin mitat olivat 1289 m (pituus), 894 m (leveys) ja 263 m (korkeus). Simulointi suoritettiin 8 tuulen suunnalla, ja tuulitunnelin suuntaa kierrettiin tuulen suunnan mukaisesti. Kohdealueen keskipiste asetui tuulitunnelin etuosaan etäisyydelle 3h tunnelin etuosasta, missä h on korkeimman rakennuksen korkeus. Laskentaverkko tihentyy kohdealueelle siten, että pienin hilakoko on noin 0,7 m ja suurin hilakoko 21 m. Käytetyssä laskentaverkossa oli noin 26 miljoonaa hilaelementtiä. Ajasta riippuvaa virtaussimulointia jatkettiin joka suunnassa niin pitkään, että simuloitavat hiukkaset läpäisevät virtuaalisen tuulitunnelin kolme kertaa, jolloin saadaan riittävän tarkka arvio kohdealueen keskimääräisistä tuuliolosuhteista. Kohteen keskimääräiset olosuhteet määritettiin aikariippuvan simuloinnin viimeisen 20 % ajalta.

### 2.2.2 Reunaehdot

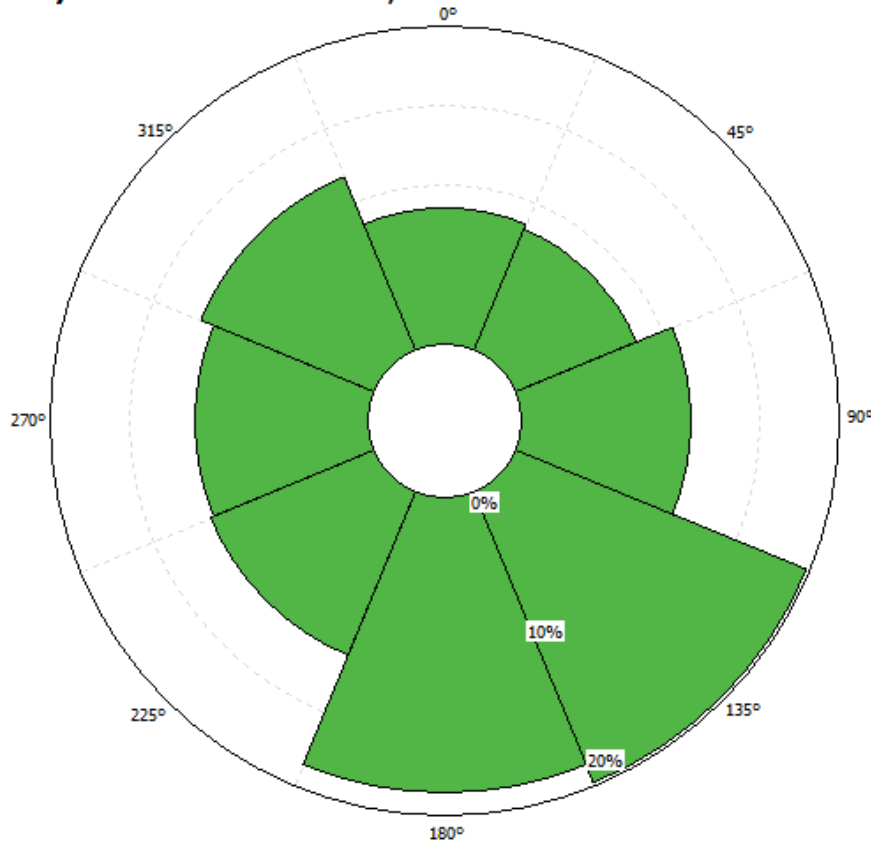
Tuulitunnelin sisäänvirtausreunalla tuulen nopeusprofiili määritettiin Eurokoodi-standardin mukaisesti (SFS-EN 1991-1-4) käyttäen suunnasta riippuvia maastotyyppejä [11]. Simuloinnit suoritettiin 8:lla tuulen suunnalla 45 asteen välein. Jokaisessa tuulen suunnassa maastotyyppi asetettiin kyseisessä suunnassa vallitsevan maastoluokan mukaisesti. Ympäröivä maasto on tässä tapauksessa pääosin tiivistä kaupunkialuetta (maastoluokka III tai IV). Laskentatilavuuden alapinnalla (maanpinta ja rakennukset) asetettiin nopeus nollassi (no-slip –reunaehto).

## 2.3 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](http://www.vortexfdc.com)) saatua säämallilla tuotettua 10 vuoden mittaista tuuliaikasarjaa. Aikasarja on tuotettu koordinaattipisteeseen E 428040 N 7210725 (ETRS-TM35FIN) aikajaksolle 2012-2021. 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 5) ja aineiston suuntakohtaiset keskituulennopeudet korkeudella 50 m on lueteltu taulukossa (Taulukko 1).

**Frequency of 'Dir 50m' vs. Dir 50m, 2012-01-01 00:00Z to 2021-12-31 24:00**


Kuva 5: Sääennustemallin tuottaman pitkän ajan tuuliaineiston mukainen tuulen suuntajakauma 50 m korkeudella.

Taulukko 1: Tuuliaineiston mukaiset suuntakohtaiset keskituulennopeudet korkeudella 50 m.

| Tuulen suuntasektori | Keskituulennopeus m/s |
|----------------------|-----------------------|
| 337-022              | 5,08                  |
| 022-067              | 5,18                  |
| 067-112              | 5,33                  |
| 112-157              | 5,72                  |
| 157-202              | 6,00                  |
| 202-247              | 6,37                  |
| 247-292              | 6,09                  |
| 292-337              | 5,35                  |
| <b>Koko aineisto</b> | <b>5,50</b>           |

### 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)<br>[%] | Mukavuus-<br>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)<br>[%] | Vaarallisuus-<br>luokka | Toiminto    |             |             |
|-------------------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                         |                         | juokseminen | kävely      | istuminen   |
| < 0,05                  | A, ei riskiä            | turvallinen | turvallinen | turvallinen |
| 0,05 – 0,3              | B, rajoitettu riski     | turvallinen | riskialtis  | riskialtis  |
| > 0,3                   | C, 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

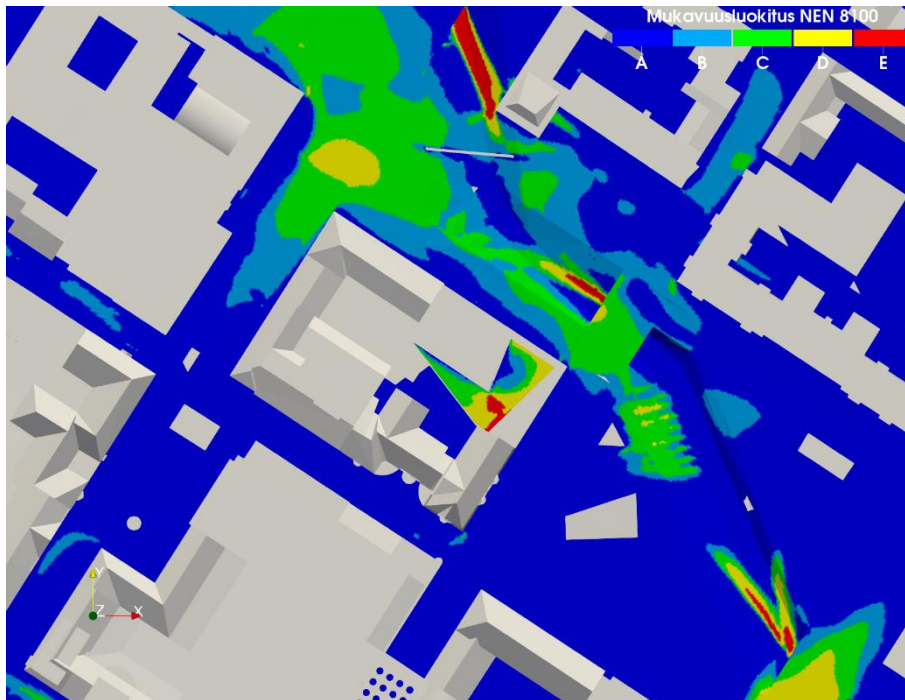
Kuva 6 havainnollistaa tuulisuuden mukavuusluokituksia OP:n uudisrakennuksen ympäristössä ja kattoterassin alueella. Tumman- ja vaalensininen väri vastaa mukavuusluokituksia A ja B, joissa tuulisuustaso on matala. Vihreä, keltainen ja punainen väri taas vastaa luokituksia C, D ja E, joissa tuulisuustaso on oleskelun kannalta välttävä/huono.

Tuulisuusanalyysin perusteella korkeita tuulisuustasoja ilmenee kohderakennuksen pohjoispuolisella katualueella, mutta ne aiheutuvat pääosin muista ympäröivistä rakennuksista eikä uudisrakennus aiheuta olennaisia muutoksia katualueen nykyisiin olosuhteisiin. Kohderakennuksen kattoterassin kaakkoiskulmaan ohjautuu voimakkaita tuulia korkean asuinosaan seinää pitkin, mikä heikentää tuuliolosuhteita. Tämä on huomioitava kattoterassin oleskelualueiden sijoittelussa ja tuulelta suojaavien istutusten ja rakenteiden suunnittelussa.

### 4.2 Vaarallisuusluokitus

Kuva 7 esittää tuulisuuden vaarallisuusluokituksia kohdealueella, mikä kuvaa voimakkaiden tuulen puuskien todennäköisyyttä. Tuulisuuden riskiluokitus rakennusten ympäröivällä katualueella pysyy matalana, mutta kattoterassin kaakkoisosassa kovien puuskien todennäköisyys on tavanomaista korkeampi. Tietyistä suunnista kohdistuvat tuulen voimistuvat Kaupunginojan yli kulkevien siltojen alla, ja tämä korostuu tuulisuuden mukavuus- ja vaarallisuusluokituksissa.





Kuva 6: Tuuliolosuhteiden mukavuusluokitukset kohdealueella.



Kuva 7: 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 Luode, pohjoinen ja koillinen

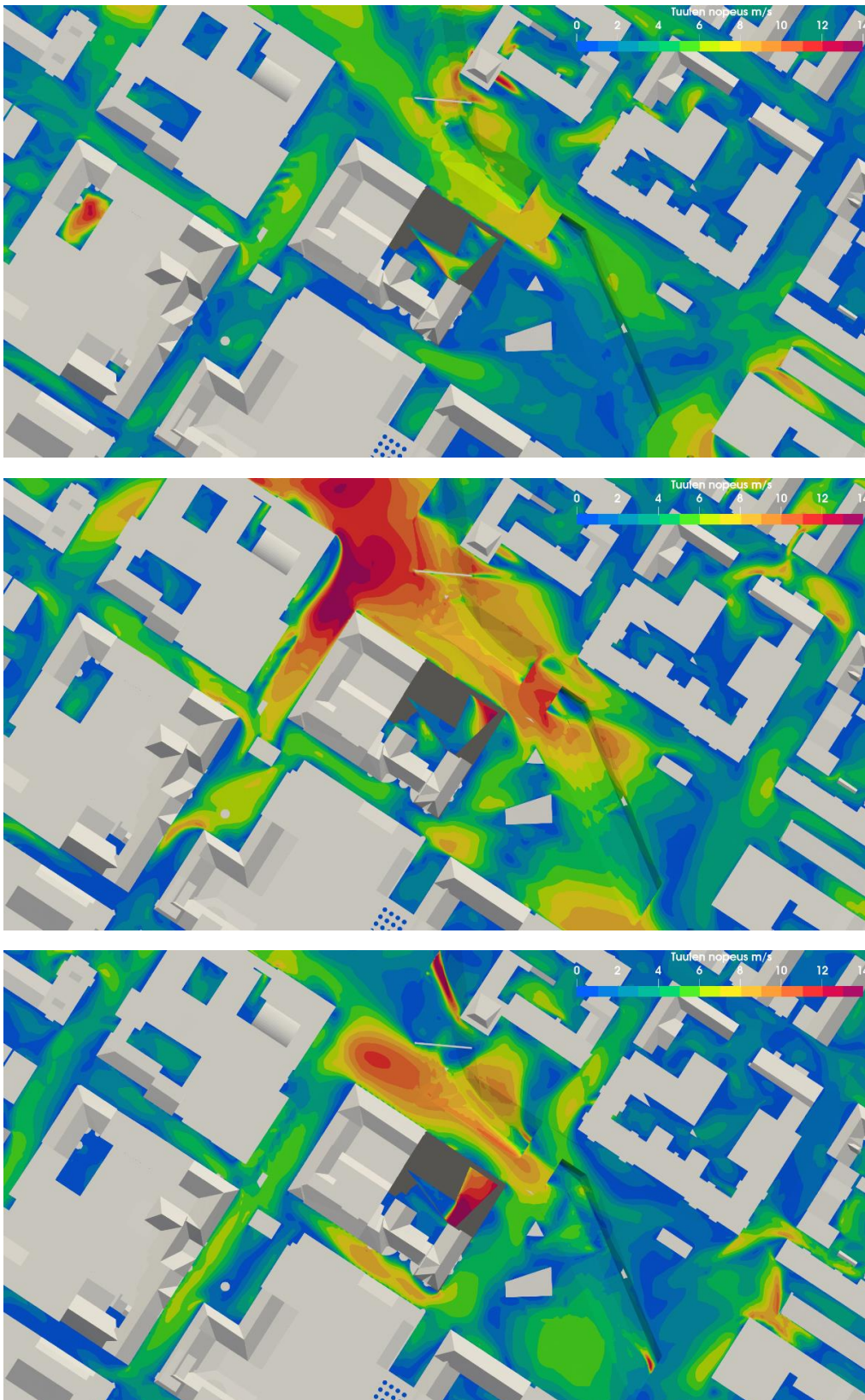
Pohjoisesta kohdistuvat tuulet voimistuvat erityisesti Kirkkokadun ja Hallituskadun risteysalueella, mutta nämä vaikutukset aiheutuvat olemassaolevista rakennuksista. Kohderakennuksen vaikutukset näkyvät näillä tuulen suunnilla lähinnä kattoterassin itäosassa (Kuva 8). Koillistuulet vaikuttavat uudisrakennuksen edustalla Hallituskadulla ja kattoterassilla tuuliolosuhteisiin. Mutta tämä suunta on suhteellisen harvinainen ja nopeuksiltaan alhainen, mikä lieventää tuulivaikutuksia. Luoteistuulilla ei ole merkittävää vaikutusta olosuhteisiin.

### 4.3.2 Itä, kaakko ja etelä

Idästä, kaakosta ja etelästä kohdistuvat tuulet ovat tässä kohteessa tilastollisesti yleisiä ja nopeudet keskimäärin korkeita. Itätuulet voivat ohjautua kohderakennuksen asuintornin nurkan kohdalta kattoterassin kaakkoiskulmaan ja aiheuttaa korkeita tuulisuustasoja (Kuva 9). Lisäksi Hallituskadun ja Kirkkokadun risteysalueella tuulisuustaso voi nousta ympäristöä korkeammaksi. Kaakkois- ja etelätuulilla ei kuitenkaan aiheudu merkittäviä tuulisuusvaikutuksia, jotka vaikuttaisivat luokitukseen. Tuulisuustasot pysyvät kohteen läheisyydessä melko tasaisina.

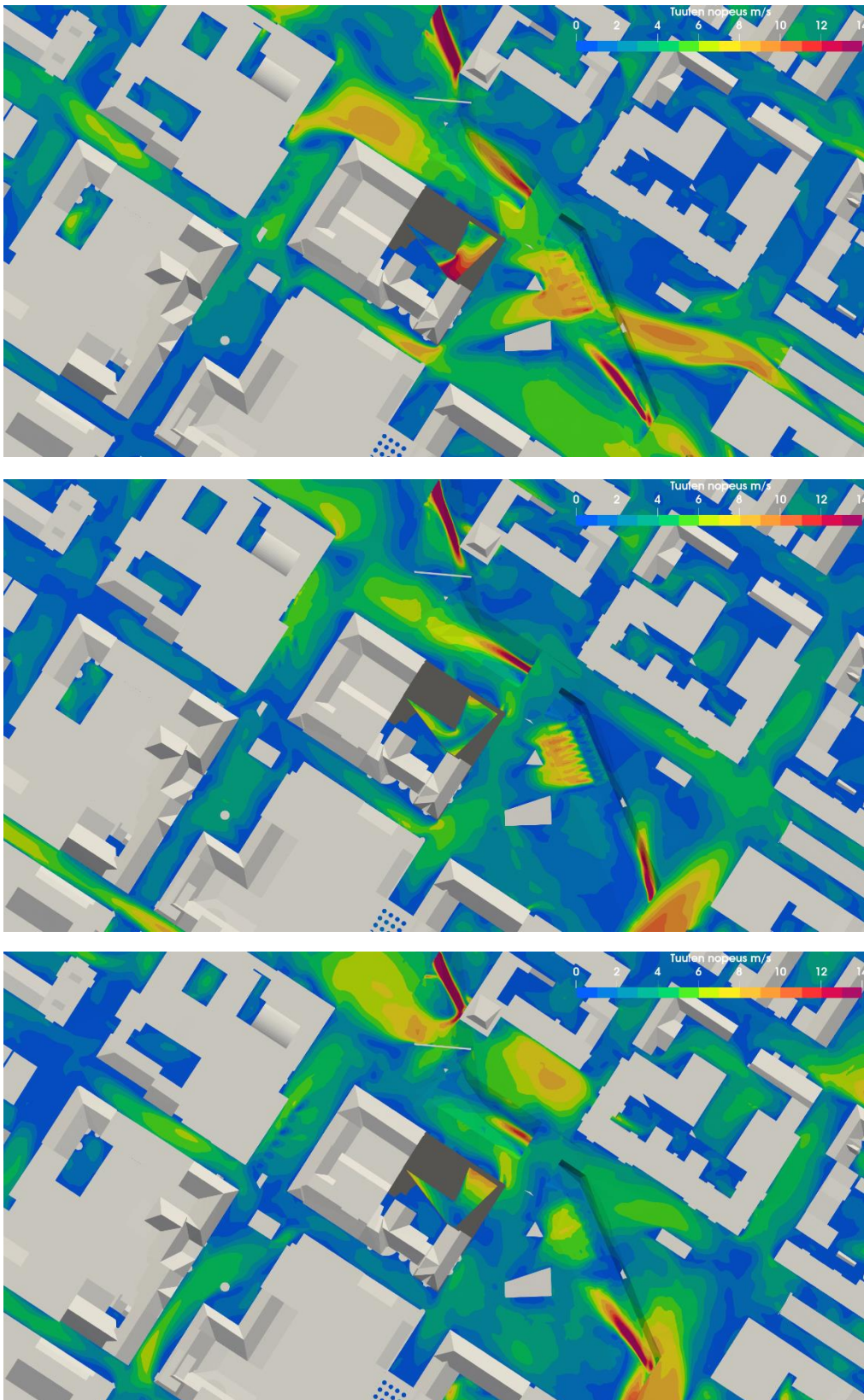
### 4.3.3 Lounas ja länsi

Lounais- ja länsituulilla tuulisuustasot nousevat korkeiksi kattoterassin etelä- ja kaakkoisosassa. Tuulet ohjautuvat asuinosan seinää pitkin ja nurkan takaa alas kattoterassille (Kuva 10).

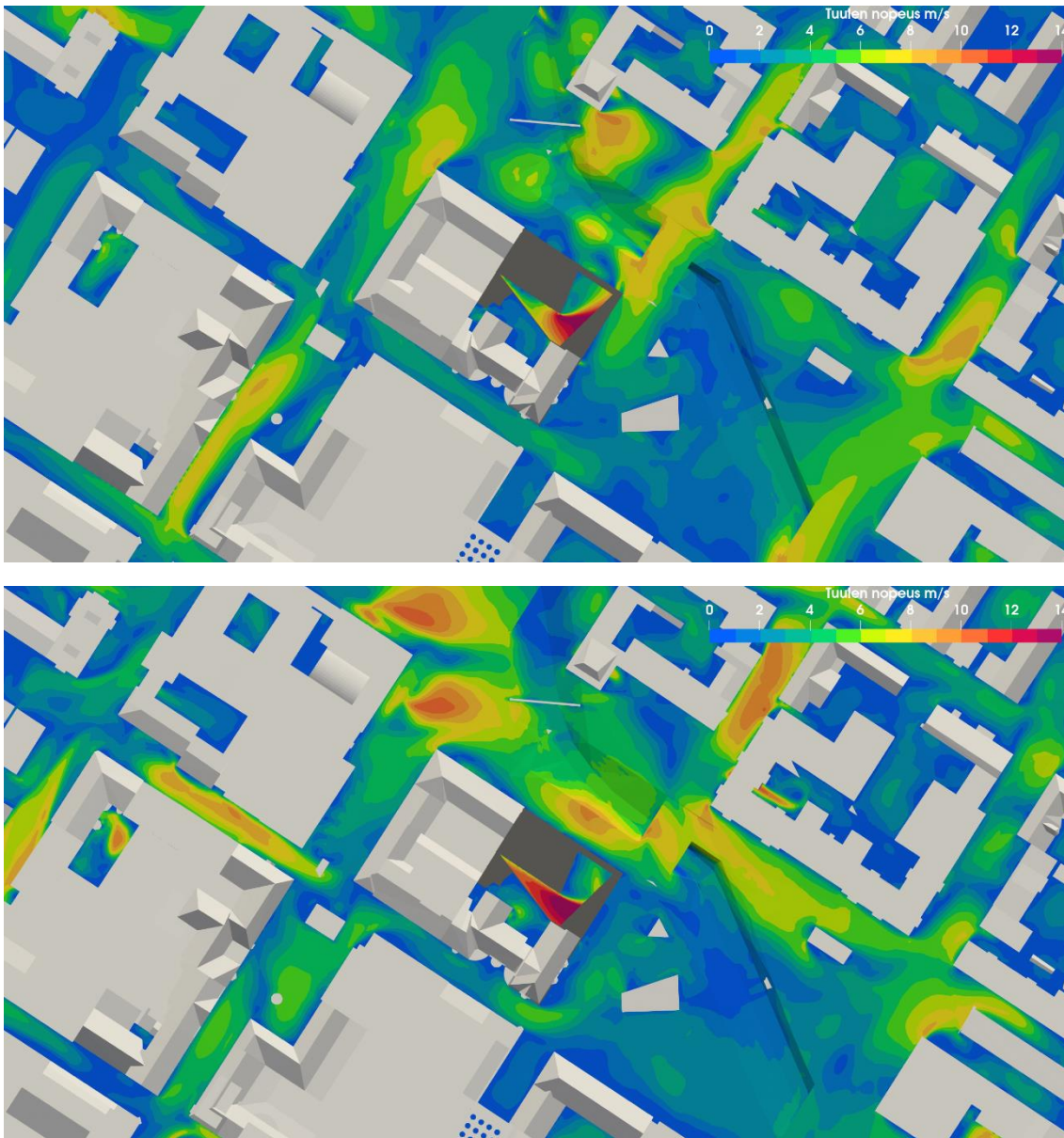


Kuva 8: Simuloidut tuulen nopeudet luoteistuulella (yllä), pohjoistuulella (keskellä) ja koillistuulella (alla).





Kuva 9: Simuloidut tuulen nopeudet itätuulella (yllä), kaakkoistuulella (keskellä) ja etelätuulella (alla).

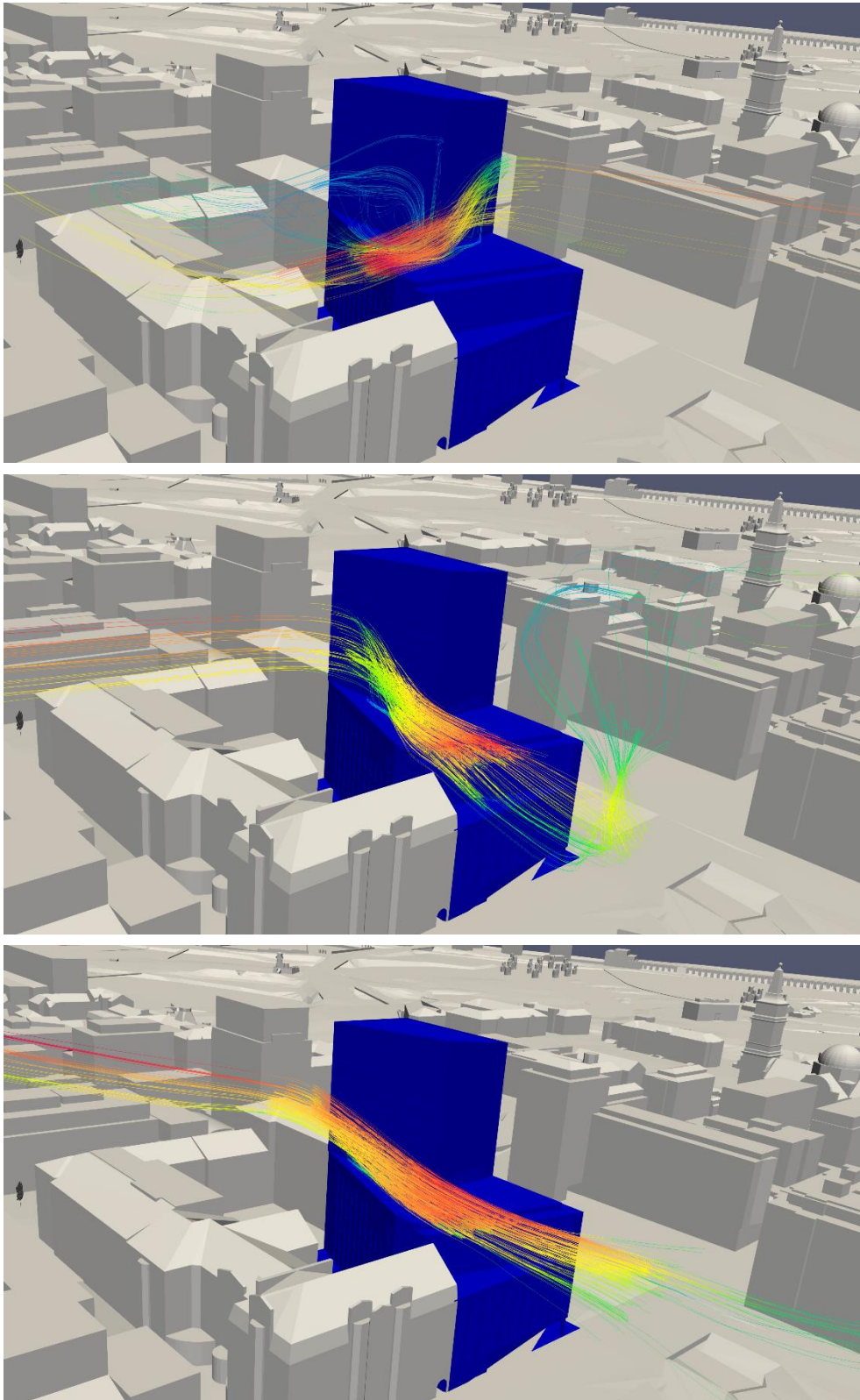


Kuva 10: Simuloidut tuulen nopeudet lounaistuulella (yllä) ja länsituulella (alla).

#### 4.4 Virtaviivatarkasteluja

Edellisessä luvussa havaittuja korkeita paikallisia tuulisuustasoja voidaan selittää tarkastelemalla tuulen virtaviivoja eri suunnissa. Kuvassa (Kuva 11) on verrattu kattoterassin kaakkoiskulmalta pirrettyjä tuulen virtaviivoja kolmella eri tuulen suunnalla. Viivojen väri vastaa tuulen nopeutta samalla tavoin kuin edellisen luvun tasokuvissa. Itätuulella talon asuinosaan itseään osuvat tuulet ohjautuvat alaspäin ja voimistuvat nurkan ohi liikuttaessa. Lounaistuulen ohjautuvat talon eteläistä seinää pitkin alaspäin ja kattoterassin reunana kohdalla ohjautuvat edelleen alaspäin katutasolle. Länsituulen kohdistuvat kattoterassin eteläosaan melko esteettömästi ja myös voimistuvat talon eteläseinän vaikutuksesta.





Kuva 11: Kattoterassin kaakkoiskulmalta piirretyt virtaviivat itätuulella (yllä), lounaistuulella (keskellä) ja länsituulella (alla).



## 5 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Oulun keskustaan kortteliin 20 suunnitellun Osuuspankin uudisrakennuksen (Graadi) tuulisuusselvitys. Tuulisuusselvityksessä arvioitiin tuuliolosuhteiden viihtyisyyttä ja turvallisuutta kohdealueen katuosuuksilla ja talon asuinosaan kattoterassilla 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 tulkinnassa: Puusto, kasvillisuus ja alueen lopullisessa toteutuksessa käytettävät rakenteet lieventävät jalankulkijan kokemia tuulisuusvaikutuksia.

Tuulisuusanalyysin perusteella korkeita tuulisuustasoja ilmenee kohderakennuksen pohjoispuolisella katualueella, mutta ne aiheutuvat pääosin muista ympäröivistä rakennuksista eikä uudisrakennus aiheuta olennaisia muutoksia katualueen nykyisiin olosuhteisiin. Kohderakennuksen kattoterassin kaakkoiskulmaan ohjautuu voimakkaita tuulia korkean asuinosaan seinää pitkin, mikä heikentää tuuliolosuhteita. Tämä on huomioitava kattoterassin oleskelualueiden sijoittelussa ja tuulelta suojaavien istutusten ja rakenteiden suunnittelussa.

## 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.

Oulun Osuuspankki  
c/o Jari Ojala  
A-insinöörit Rakennuttaminen Oy

Pvm.  
16/03/2023  
Viitteemme  
Tuulisuusselvitys, KS-2022-750-1, 30.5.2022

## Lausunto Oulun Osuuspankin uudisrakennuksen suunnitelmapäivityksen tuulisuusvaikutuksista

Olemme suorittaneet Oulun keskustaan suunnitellun Osuuspankin uudisrakennuksen "Graadi" tuulisuusselvityksen CFD-virtauslaskennan sekä pitkän ajan tuulisuusaineiston avulla:

Kaupunkiympäristön tuulisuusselvitys: Oulu – Osuuspankin uudisrakennus "Graadi"  
KS-2022-750-1, Numerola Oy, 30.5.2022.

Uudisrakennuksen suunnitelmaa on päivitetty helmikuussa 2023, jolloin rakennuksen torniosan muotoa on muutettu suorakulmaiseksi sekä sen korkeutta on hieman madallettu. Rakennuksen alaosa on säilynyt ennallaan. Tämä lausunto liittyy uuden suunnitelman tuulisuusvaikutuksiin aiemmin suoritettuun tuulisuusselvitykseen verrattuna.

Suunnitelmamuutoksen vaikutukset rajoittuvat rakennuksen kattotasanteen olosuhteisiin. Rakennuksen alaosa on pysynyt ennallaan, joten tuulisuusvaikutukset katutasolla ovat aiemman tuulisuusselvityksen mukaisia.

Uuden torniosan tuulisuusvaikutukset ovat todennäköisesti hyvin samanlaisia kuin aiemmassakin suunnitelmassa: Voimakkaimmat vaikutukset kohdistuvat edelleen kattotasanteen kaakkoiskulmaan. Muutokset ovat kuitenkin melko maltillisia, eivätkä ne johda olennaisiin muutoksiin tuulivaikutuksissa. Torniosan madallus ja suorakulmainen muoto todennäköisesti lieventävät tuulivaikutuksia aiempaan verrattuna.

Näillä perusteilla arvioimme, että aiemman tuulisuusselvityksen havainnot ja johtopäätökset ovat päteviä myös uuden suunnitelman tapauksessa, eikä aiemman selvityksen tuulisuusmallinnuksia ole tarvetta suorittaa päivitetyllä rakennusmallilla. Tuulisuusselvityksessä osoitettu kattotasanteen kaakkoiskulma, jonne kohdistuu keskimääräistä voimakkaampia tuulisuusvaikutuksia, on otettu uudessa suunnitelmassa huomioon erilaisilla suojarakenteilla ja toimintojen sijoittamisella.



Erkki Heikkola, FT  
Senior Consultant  
AFRY Finland Oy  
+358 40 529 7784  
[erkki.heikkola@afry.com](mailto:erkki.heikkola@afry.com)