



One Simulations BV
3^e Binnenvestgracht 23K
2312 NR Leiden
The Netherlands
+31 (0)71 56 80 900
info@onesimulations.com
www.onesimulations.com

Rapport

Project: Windonderzoek Roertoren

Locatie: Roermond, Nederland
Onderwerp: CFD simulaties windonderzoek
Document: B622129e200
Datum: 4 april 2023

Rev	Status	Beschrijving	Auteur	Controle	Datum
0	1 ^e uitgave	CFD rapport	JB	SS	04-04-2023

Project	Windonderzoek Roertoren
Locatie	Roermond, Nederland
Onderwerp	CFD simulaties windonderzoek
Document	B622129e200
Revisie	0
Datum	4 april 2023
Status	Definitief
Auteur	J. Braal
Controle door	S. Stengewis
Opdrachtgever	Aveco de Bondt
	Gondel 1
	1186 MJ Amstelveen
	Nederland
Contact	J. Hendriks
Uitgever	One Simulations BV
	3 ^e Binnenvestgracht 23K
	2312 NR Leiden
	Nederland
	+31 (0)71 5680900
	info@onesimulations.com
	www.onesimulations.com

Inhoudsopgave

1	Introductie.....	4
2	Onderzoeksdoel.....	5
3	Uitgangspunten	6
3.1	Geometrie	6
3.2	Windklimaat	8
3.3	Windprofiel.....	10
3.4	CFD modellering	12
4	Resultaten	13
4.1	Windhinder.....	13
4.2	Windgevaar	18
5	Samenvatting.....	20
	Referenties	22
	Bijlage A – CFD simulatieresultaten per windrichting.....	23
	Bijlage B – Technisch inlegvel numerieke simulatie.....	48

1 Introductie

Op verzoek van Aveco de Bondt is een windhinderonderzoek uitgevoerd voor de ontwikkeling Roertoren, te Roermond. De ontwikkeling is een woontoren van rond de 70 meter hoog met een verbinding naar de naastgelegen parkeergarage middels een luifel. De resultaten van dit onderzoek zijn omschreven in het rapport met referentie P12922086e100 (1) (d.d. 07-10-2022). Naar aanleiding hiervan zijn maatregelen onderzocht ter verbetering van het windklimaat. In het huidige rapport wordt het nieuwe windklimaat met de best werkende maatregelen beschreven.

Het windklimaat is inzichtelijk gemaakt met behulp van Computational Fluid Dynamics (CFD) simulaties aan de hand van de methodiek die omschreven staat in de NEN 8100 (2). Er is inzicht verschaft in het windklimaat op straatniveau in de directe omgeving van de ontwikkeling en de balkons.

Een CFD simulatie geeft inzicht in de te verwachten luchtstromingen, rekening houdend met verschillende fysische verschijnselen. Bij een dergelijke simulatie wordt een geometrie voorzien van een rekengrid waarbinnen de massa-, energie- en impulsbalansen worden opgelost.

2 Onderzoeksdoel

Het doel van het onderzoek is het lokale windklimaat op straatniveau en de balkons van de Roertoren inzichtelijk te maken. Het lokale windklimaat is inzichtelijk gemaakt aan de hand van de methode omschreven in de NEN 8100. De NEN 8100 maakt gebruik van een classificatie tabel waarbij de beoordeling van het windklimaat bij een activiteit wordt gedaan naar de frequentie dat de drempelwaarde (windsnelheid) per jaar wordt overschreden. De drempelwaarde voor windhinder is vastgesteld op 5 m/s. In Tabel 1 is deze classificatie weergegeven. De CFD simulaties zijn voor 12 windrichtingen uitgevoerd. De som van het aantal uren dat de drempelwaarde wordt overschreden, bepaalt de kwaliteitsklasse rondom de roertoren. Deze beoordeling moet worden uitgevoerd op 1,75 m boven het maaiveld.

Overschrijdingskans In procenten van het aantal uren per jaar	Kwaliteitsklasse	Activiteiten		
		Doorlopen	Slenteren	Langdurig zitten
<2.5	A	Goed	Goed	Goed
2.5 – 5	B	Goed	Goed	Matig
5 – 10	C	Goed	Matig	Slecht
10 – 20	D	Matig	Slecht	Slecht
>20	E	Slecht	Slecht	Slecht

Tabel 1: Classificatie windhinder conform NEN 8100.

De drempelwaarde voor windgevaar is in de NEN 8100 vastgesteld op 15 m/s. In Tabel 2 zijn de overschrijdingskans en bijbehorende kwalificaties voor windgevaar gegeven.

Overschrijdingskans p In procenten van het aantal uren per jaar	Kwalificatie
$0,05 < p < 0,30$	Beperkt risico
$p > 0,30$	Gevaarlijk

Tabel 2: Kwalificatie tabel windgevaar conform NEN 8100.

Situaties waarvoor een overschrijdingskans geldt van $0,05 < p < 0,30$ mogen alleen worden geaccepteerd als deze vallen binnen de activiteitenklasse Doorlopen. Voor activiteitenklasse Slenteren en Langdurig zitten geldt de eis $p \leq 0,05$. Situaties met een overschrijdingskans van $p \geq 0,30$ zijn evident gevaarlijk en behoren te allen tijde te worden vermeden; het publiek mag hier niet aan worden blootgesteld.

3 Uitgangspunten

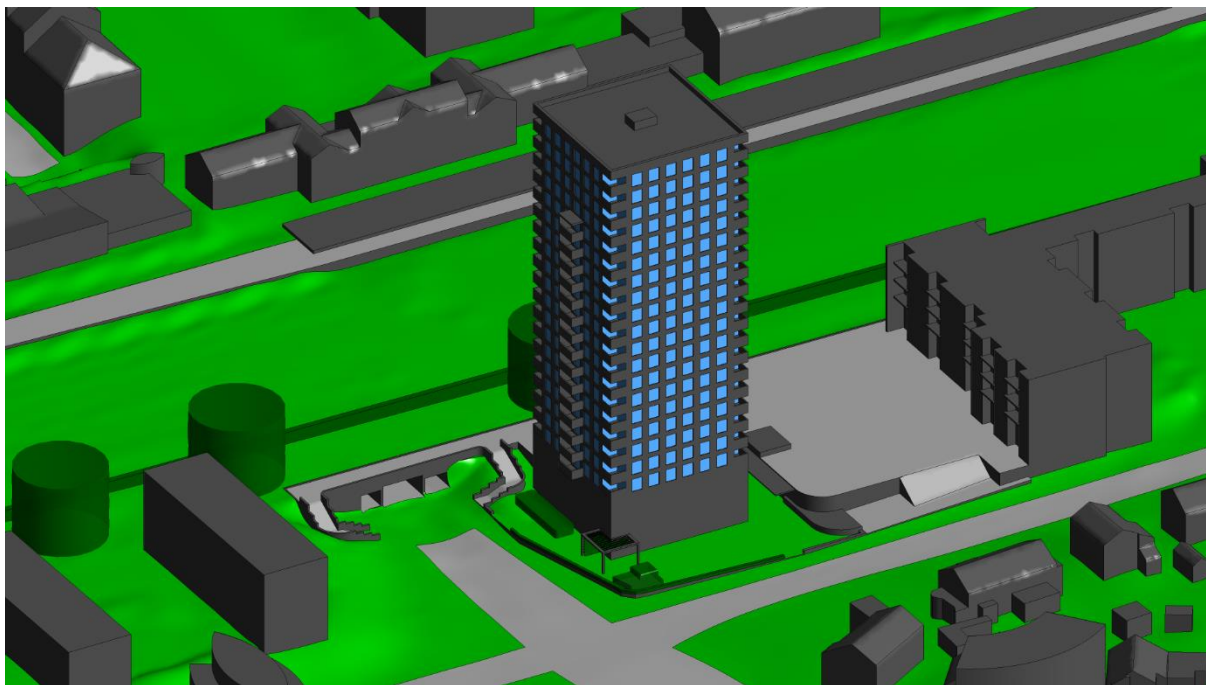
3.1 Geometrie

De Roertoren is een ontwikkeling naast het centraal station van Roermond. De ontwikkeling is een woontoren van ongeveer 70 meter hoog. Het 3D CFD model is gebaseerd op het aangeleverde 3D model, weergegeven in Tabel 3. Aan de zuidoostelijke hoek is een pergola met lamellen dak en lamellen wand met bladvast groen in het model opgenomen. Daarnaast zijn grote blijvende bomen en bomen/struiken met bladvast groen in het model opgenomen. De omgeving gereconstrueerd aan de hand van het actueel Hoogtebestand Nederland (3) en 3D Bag (4).

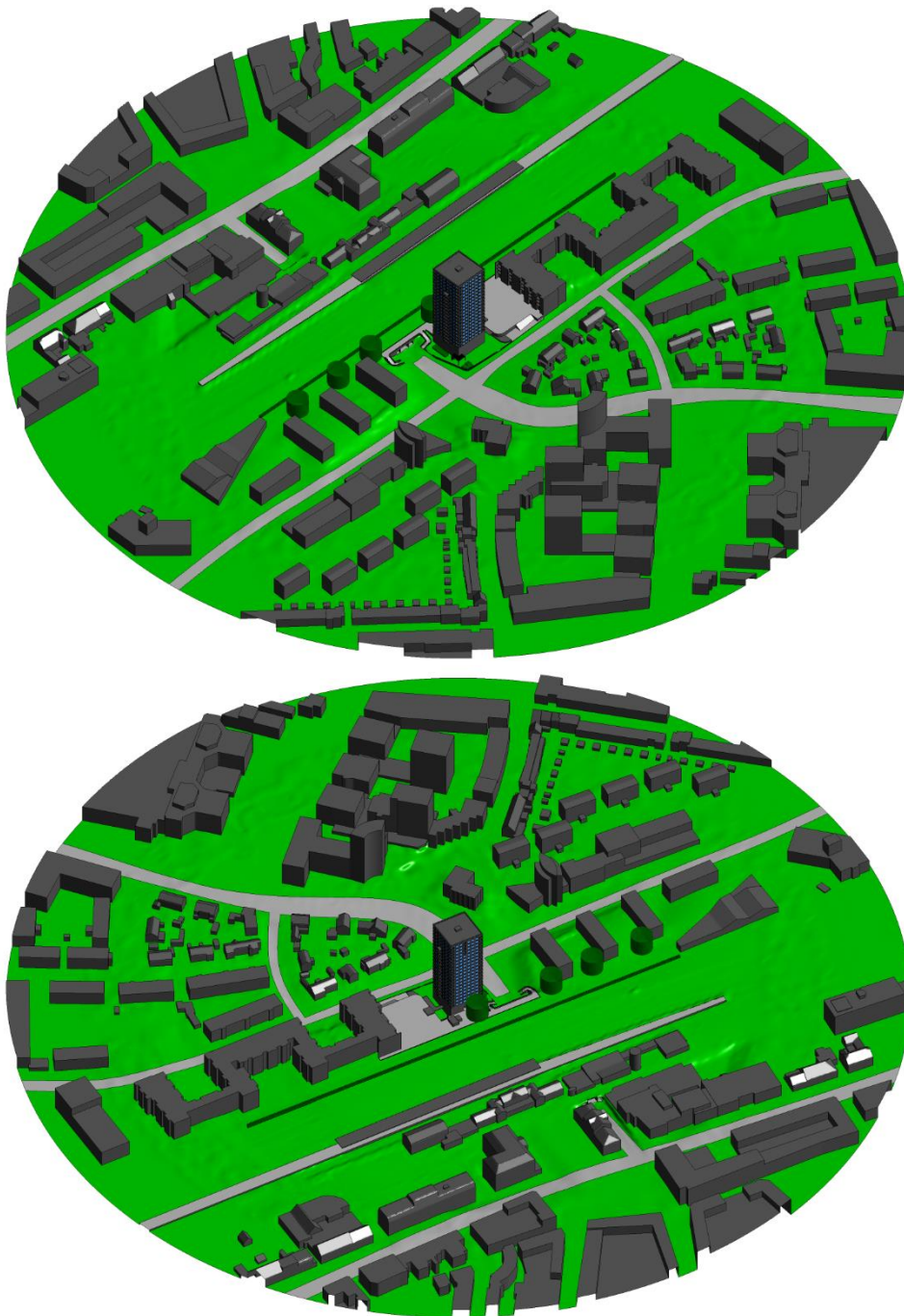
Model/tekening	Omschrijving	Ontvangen op
KLA_17894_Roermond Oranjelaan_toren_R20	Roertoren	21-09-2022
3dbag_v210908_fd2cee53_lod22_3d_5387.obj	Gebouwen omgeving	27-09-2021
3dbag_v210908_fd2cee53_lod22_3d_5389.obj	Gebouwen omgeving	27-09-2021
3dbag_v210908_fd2cee53_lod22_3d_5392.obj	Gebouwen omgeving	27-09-2021
3dbag_v210908_fd2cee53_lod22_3d_7896.obj	Gebouwen omgeving	26-09-2021
C_58DZ2 – Cloud.bin	Terrein omgeving AHN	19-09-2022

Tabel 3: Modellen/tekeningen gebruikt als basis voor het CFD model.

In Figuur 1 is een impressie van het 3D CFD model van nabij de Roertoren weergegeven. In Figuur 2 is het volledige 3D model vanuit twee verschillende aanzichten weergegeven.



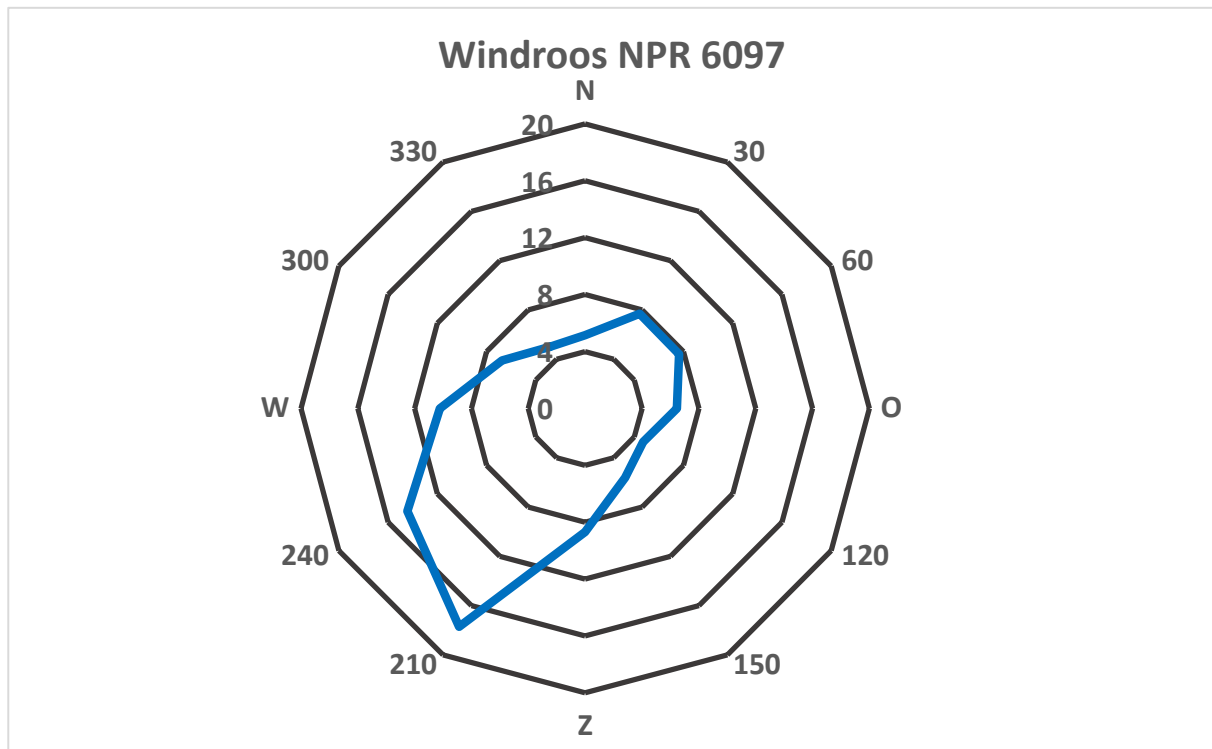
Figuur 1: Overzicht van de Roertoren in het 3D CFD model.



Figuur 2: Overzicht van het 3D CFD model met omliggende bebouwing.

3.2 Windklimaat

Het windklimaat is gebaseerd op de Nederlandse praktijkrichtlijn (NPR) 6097. Deze richtlijn omschrijft de toepassing van de statistiek van de uurgemiddelde windsnelheden voor Nederland over de jaren 1963 – 2002. Het percentage dat een windrichting per jaar voorkomt staat weergegeven in de windroos in Figuur 3. De simulaties zijn voor 12 windrichtingen uitgevoerd.



Figuur 3: Windroos Roertoren, volgens NPR 6097.

Het aantal uren wind per windrichting en de windsnelheid hebben effect op het windklimaat. Middels de in de CFD berekende windfactor (verhouding van de lokale windsnelheid ten opzicht van een referentiewindsnelheid) wordt het lokaal aantal uren overschrijding met behulp van de windklimaat data berekend. Tabel 4 geeft de jaargemiddelde frequentie van de windsnelheid per richting over de periode 1963 – 2002.

Richting	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Snelheid [m/s]	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]
0.0 – 0.9	21.3	25	21.4	22.2	21.5	23.7	19	24.6	16.7	17	17.6	19.4
1.0 – 1.9	57.4	76.6	62	59.7	55.7	62.3	68.6	81.7	55.8	50.4	51.8	50.4
2.0 – 2.9	71.3	100.1	87.7	81.4	81.8	88.5	88.7	127.7	85.9	79.3	71.7	64.1
3.0 – 3.9	70.8	115.1	100.3	88.4	79.9	93.3	100.4	152.2	106.9	90.5	79.4	64.9
4.0 – 4.9	66.8	104.1	102.2	86.4	67.1	76.7	104.4	183.3	129.1	100.1	74.9	58.4
5.0 – 5.9	55	84.7	88.9	70.2	46.8	56	94.7	184.5	136.7	96.9	68.2	51.4
6.0 – 6.9	43.2	63.7	67.3	53	28.6	36.9	77.6	158	138.1	89	60.7	38
7.0 – 7.9	28.9	44.2	54	40.2	17.4	26.4	64.8	145.3	120.3	77.8	50.2	30
8.0 – 8.9	15.9	27.4	35	26.4	8.7	14.7	46.8	133.1	119.2	70.2	39.7	21.1
9.0 – 9.9	9.4	16.1	22.6	17	3.3	7.1	35.8	110.1	97.9	58.7	26.9	16.7
10.0 – 10.9	5.3	9.1	13.4	10	1.4	3.8	23.5	82.5	71.4	44.8	18.3	10.9
11.0 – 11.9	3.2	3.5	8.4	5.3	0.2	1.6	16.6	60.2	60.5	34.5	12.4	5
12.0 – 12.9	1.8	1.8	4.5	3.2	0.3	0.6	9.2	42.9	48.4	25.5	8.9	3
13.0 – 13.9	0.8	0.6	0.8	1	0	0.3	5.7	26.4	29.1	18.7	4.3	1.9
14.0 – 14.9	0.3	0.2	0.4	0.6	0	0	2.8	17.2	18.1	13.9	2.5	1.4
15.0 – 15.9	0.1	0	0.2	0.2	0	0	1.3	9.9	13	10.1	1.4	0.5
16.0 – 16.9	0	0	0	0	0	0	0.9	6.3	7.7	6.1	0.9	0.3
17.0 – 17.9	0	0	0	0	0	0	0.3	3.6	4.6	4.2	0.4	0.1
18.0 – 18.9	0	0	0	0	0	0	0.5	2.2	2.6	2.6	0.2	0.1
19.0 – 19.9	0	0	0	0	0	0	0.1	0.9	1.4	1.5	0.1	0
20.0 – 20.9	0	0	0	0	0	0	0	0.8	0.7	1.3	0.2	0
21.0 – 21.9	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.6	1.1	0	0
22.0 – 22.9	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.6	0	0
23.0 – 23.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0	0
24.0 – 24.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0	0
25.0 – 25.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0
26.0 – 26.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0
27.0 – 27.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0
28.0 – 28.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0
29.0 – 29.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 4: Overzicht van de jaargemiddelde frequentie van de windsnelheid per richting bij de Roertoren volgens NPR 6097.

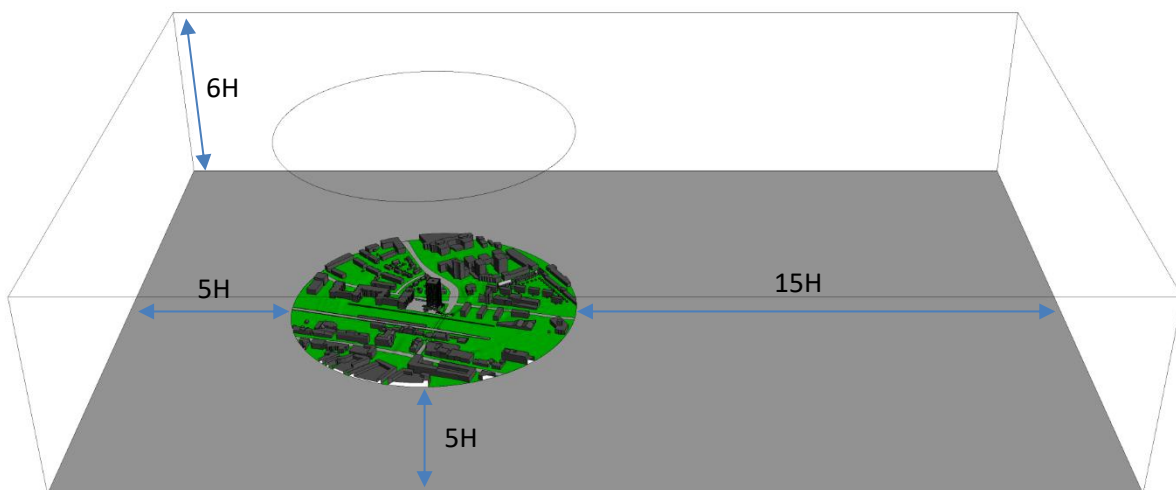
3.3 Windprofiel

De windsnelheid is afhankelijk van de hoogte boven het maaiveld. Ter hoogte van het maaiveld is de windsnelheid lager door de invloed van bebouwing en begroeiing. De mate van invloed wordt beschreven door de ruwheidslengte (5). De ruwheidslengte voor het gebied rondom de Roertoren is vastgesteld aan de hand van de NPR 6097 (6) op 1,6 m (stedelijk gebied). Het windprofiel dat behoort bij een ruwheidslengte van 1,6 m is opgegeven aan alle buitengrenzen van het CFD model.

Rondom de gemodelleerde bebouwing is een winddomein geplaatst. Aan de randen van dit winddomein wordt het windprofiel opgegeven. In het winddomein wordt het windprofiel behouden door volumetrische bronnen van momentum en turbulentie, afgestemd op de betreffende ruwheidslengte.

Door de buitengrenzen van het CFD model op afstand van het gebied van interesse te plaatsen wordt een zo realistisch mogelijke windstroom in de stad berekend. De afmetingen van het winddomein worden bepaald op basis van de hoogte (H) van het hoogste gebouw. De randen van het winddomein bevinden zich ten minste op 5H vanaf de rand van het gemodelleerde gebied. De totale hoogte van het domein is 6H. Het effect van de buitengrens van het CFD model is stroomafwaarts van grotere invloed en is daarom op 15H geplaatst. Door bovenstaande methodiek ontstaat een realistische windstroom in het gebied van interesse.

Het winddomein om het gemodelleerde gebied heen is weergegeven in Figuur 4 en kan worden gezien als een digitale windtunnel.



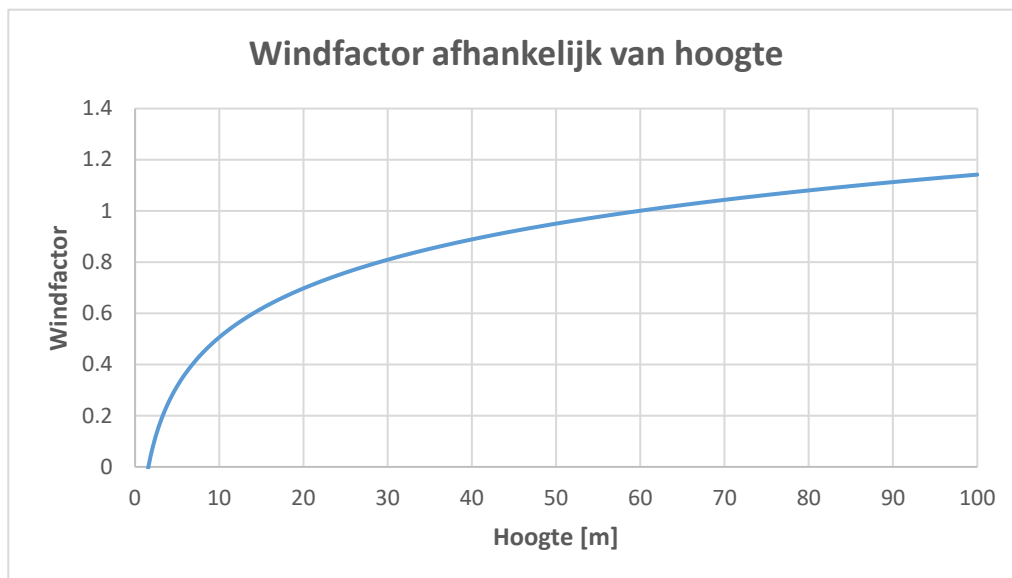
Figuur 4: Winddomein om het gemodelleerde gebied heen, ten behoeve van het windprofiel (digitale windtunnel).

Aan de hand van de referentiewindsnelheid, referentiehoogte en ruwheidlengte kan het windprofiel worden opgesteld. Het windprofiel wordt berekend met onderstaande logaritmische vergelijking en staat als windfactor profiel weergegeven in Figuur 5.

$$v_{wind} = v_{ref} \cdot \left(\frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_0}\right)} \right)$$

Waar,

v_{wind}	Windsnelheid	[m/s]
v_{ref}	Referentiesnelheid	[m/s]
z	Hoogte boven de grond	[m]
z_0	Ruwheidslengte	[m]
z_{ref}	Referentiehoogte	[m]



Figuur 5: Toegepast windprofiel.

3.4 CFD modellering

De simulaties zijn uitgevoerd met behulp van het software pakket ANSYS CFX versie 2023 R1.

Er is een 3D model gecreëerd van het gebied rondom de Roertoren. Vervolgens is het model opgedeeld in een grote hoeveelheid rekencellen. De standaard differentiaalvergelijkingen voor de stroming van fluïda worden voor elke cel opgelost. In Tabel 5 staan de belangrijkste toegepaste randvoorwaarden beschreven. Daarnaast is het inlegvel uit de NEN 8100 bijgevoegd in Bijlage B.

Parameter	Beschrijving
Cel type	Hybride, combinatie van hexaëders, tetraëders, piramides en prismalagen
Cel grootte	Dynamisch, variërend tussen 0,08 tot 1,0 m in de omgeving (vlakken) groeiend met een factor 1,2 tot maximaal 15 m in het vrije volume
Aantal cellen	66 miljoen
Simulatie type	Steady state
Convergentie criteria	RMS maximaal $5 \cdot 10^{-4}$
Tijdstap	2,5 s
Aantal iteraties	1000
Fluide	Lucht met constante eigenschappen
Turbulentie model	RANS, RNG Kappa Epsilon model
Wanden	Glad met stilstaande lucht (no slip)
Grondvlak (gemodelleerd gebied)	Ruw met stilstaande lucht (no slip) - 0.050 m
Randen winddomein	Snelheids- en turbulentieprofiel
Ruwheid winddomein	Gemodelleerd door toepassing van volumetrische bronnen voor momentum en turbulentie net boven het maaiveld
Bomen/ pergola	Volumetrische weerstandscoefficiënt van $0,25 \text{ m}^{-1}$ (7) (conservatieve aanname)

Tabel 5: CFD modellering eigenschappen.

4 Resultaten

Het aantal uren overschrijding van windhinder en windgevaar is voor 12 windrichtingen berekend. Het resulterende aantal uren overschrijding is op voetgangersniveau (1,75 meter boven het grondvlak) en boven balkons (1 m boven de vloer) voor alle windrichtingen gesommeerd. Met deze resultaten wordt het percentage jaarlijkse overschrijding van windhinder en windgevaar berekend. De resultaten per windrichting zijn bijgevoegd in Bijlage A.

4.1 Windhinder

In Figuur 6 wordt het percentage overschrijding van windhinder op jaarbasis weergegeven volgens de kwaliteitsklassen uit de NEN 8100 op 1,75 m boven de grond en op 1 m boven de balkons. De zwarte pijlen geven een indicatie van de entrees van de Roertoren en de naastgelegen parkeergarage.

Zoals te zien op de figuren in Bijlage A leveren windrichting 210 en 240 de grootste bijdrage aan het aantal uren overschrijding van de drempelwaarde voor windhinder. Dit komt omdat deze windrichtingen per jaar het meest voorkomen, zoals te zien in Figuur 3.

In Figuur 6 is te zien dat bij de ingangen en in de omgeving van de Roertoren vooral kwaliteitsklasse A en B te zien zijn. Dit is een goed tot matig windklimaat voor de activiteit Langdurig zitten.

Nabij de ingang van de parkeergarage is kwaliteitsklasse C tot D waarneembaar. Dit wordt veroorzaakt door lucht die om de Roertoren heen beweegt en langs de garage ingang versnelt. Dit effect is weergegeven voor windrichting 180 in Figuur 7. Daarnaast is bij de ingang aan de westzijde van de Roertoren aan de spoorlaan noord kwaliteitsklasse C waarneembaar.

In de directe omgeving van de Roertoren zijn voornamelijk kwaliteitsklasse C en D zichtbaar. Dit is een goed tot matig klimaat voor de activiteit Doorlopen. Het wordt veroorzaakt doordat wind het meest uit het zuidwesten komt. Vanuit deze windrichting versnelt de wind over het spoor en de nabij gelegen autowegen. Op het treinspoor en de autoweg zijn geen obstakels aanwezig, waardoor wind niet wordt afgeremd. Hierdoor wordt de drempelwaarde voor windhinder vaker overschreden.

In het algemeen wordt door het plaatsen van hoogbouw het stromingspad van lucht geblokkeerd en stroomt deze langs de hoeken van het gebouw weg. Hierdoor ontstaan lokale versnelling langs de hoeken van gebouwen. Door deze versnelling wordt de drempelwaarde voor windhinder bij hoogbouw eerder overschreden.

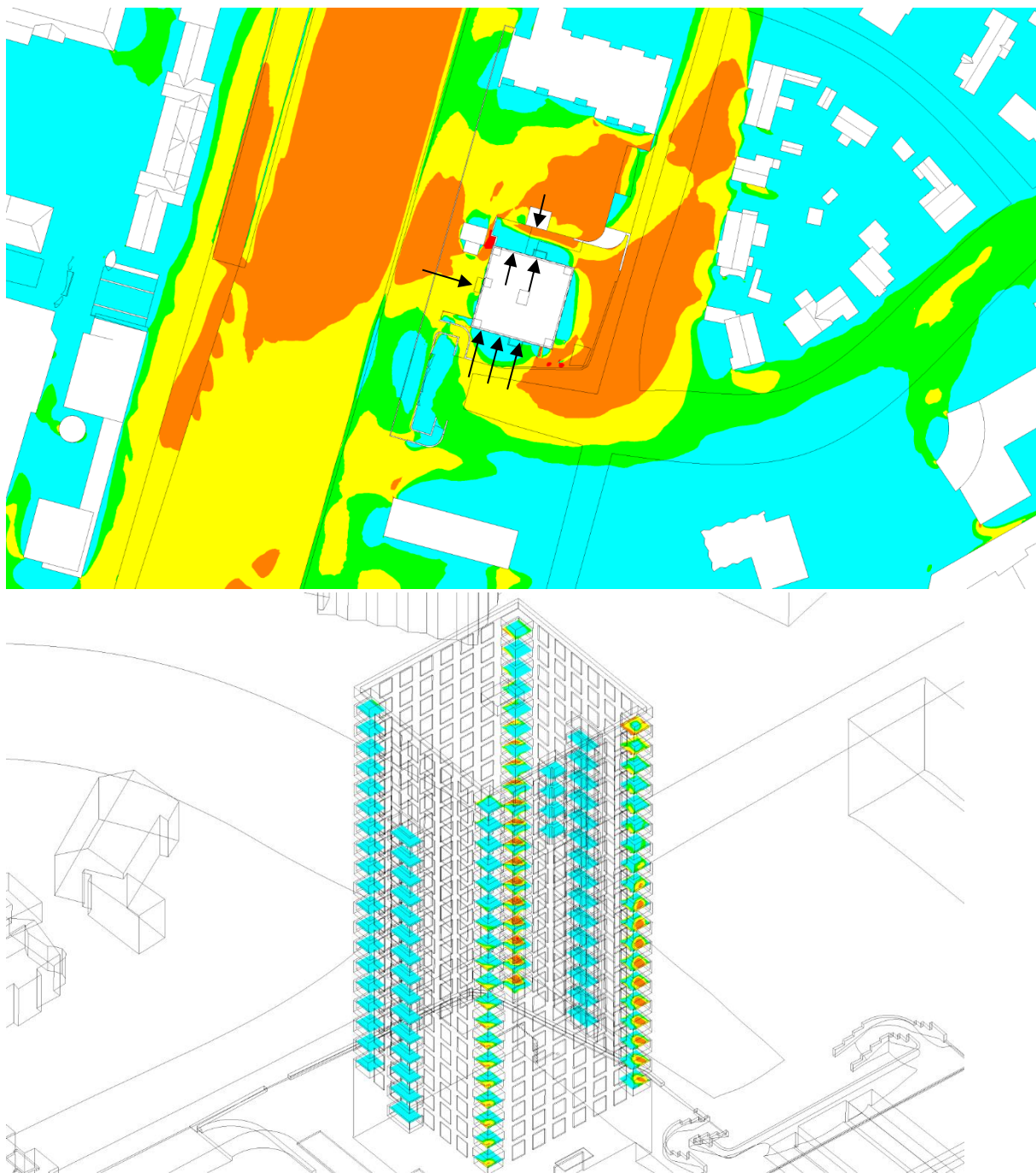
Aan de westkant van de Roertoren aan de Spoorlaan Noord is voornamelijk kwaliteitsklasse C te zien met een plek van kwaliteitsklasse D nabij de hoogbouw. Dit is een goed tot matig windklimaat voor de activiteit Doorlopen. De heg en de bomen tussen het spoor en de Spoorlaan Noord remmen de wind af, wat een positief effect heeft op het windklimaat. Het gebied met kwaliteitsklasse D en klein stuk E op de Spoorlaan Noord, richting de entree van de Roertoren en boven het dak van parkeergarage Stationspark wordt veroorzaakt door drie effecten. Zoals eerder omschreven zorgt het relatief open terrein rond de Roertoren er in het algemeen voor dat de wind versnelt en de kwaliteit van het windklimaat afneemt. Daarnaast zorgt een hoog gebouw in een relatief open terrein voor een versnelling van lucht langs de hoeken van het gebouw nabij het maaiveld. Dit tweede effect is

weergegeven in Figuur 8. Ten derde draagt het appartementencomplex ten noorden van de Roertoren bij aan een versnelling van de lucht boven parkeergarage Stationspark omdat het doorstroomoppervlak van de lucht hier wordt vernauwd.

Aan de oostzijde van de Roertoren aan de Maria Theresialaan is voornamelijk kwaliteitsklasse A tot en met D waarneembaar. Dit is een matig windklimaat voor de activiteit Doorlopen. Het lokale windklimaat wordt veroorzaakt door de eerste twee effecten omschreven in de voorgaande alinea. De grootste bijdrage komt echter door de Roertoren en is tevens weergegeven in Figuur 9.

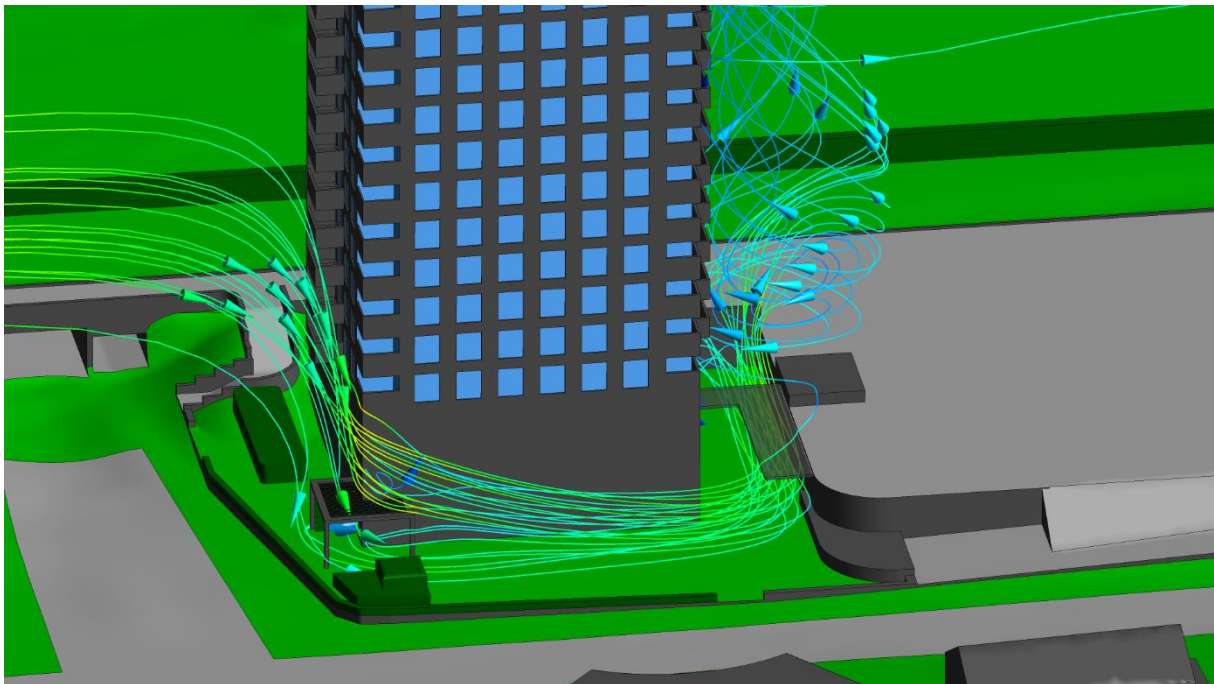
Aan de zuidzijde van de Roertoren op de Oranjelaan is voornamelijk kwaliteitsklasse A tot en met C waarneembaar, met een plek van kwaliteitsklasse D op het kruispunt. Het iets gunstigere windklimaat in dit gebied komt doordat de weg in de luwte van de tunnelingang ligt. Op de trappen aan beide zijdes van de tunnelingang zijn voornamelijk kwaliteitsklassen A tot en met C waarneembaar. Dit is een goed tot matig klimaat voor de activiteit Slenteren.

Op de balkons van de Roertoren, weergegeven in Figuur 6, is voornamelijk kwaliteitsklasse A waarneembaar. Daarnaast zijn er een aantal balkons met kwaliteitsklasse C en D. De versnelling op de balkons wordt veroorzaakt doordat lucht langs de hoeken versnelt, waardoor de drempelwaarde voor windhinder vaker wordt overschreden. Echter, op deze balkons zijn nabij de gevel ook plekken met kwaliteitsklasse A, waar men in de luwte kan zitten.

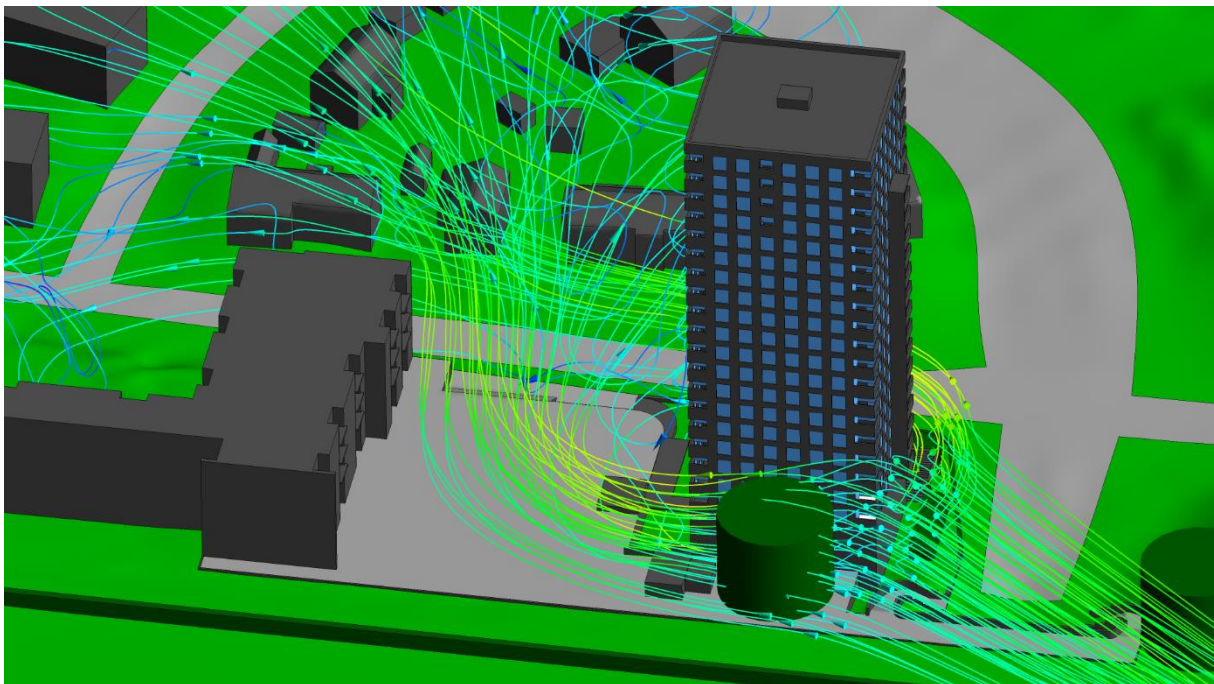


Overschrijdingskans In procenten van het aantal uren per jaar	Kwaliteitsklasse	Activiteiten		
		Doorlopen	Slenteren	Langdurig zitten
<2,5	A	Goed	Goed	Goed
2,5 – 5	B	Goed	Goed	Matig
5 – 10	C	Goed	Matig	Slecht
10 – 20	D	Matig	Slecht	Slecht
>20	E	Slecht	Slecht	Slecht

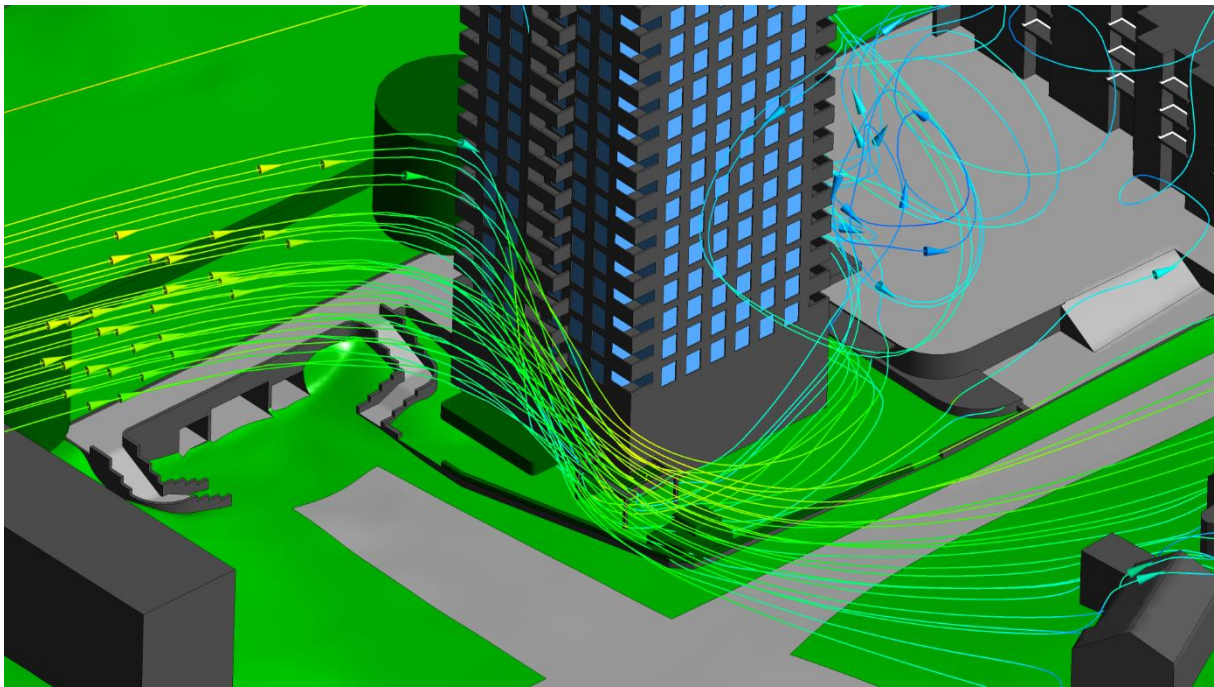
Figuur 6: Kwaliteitsklasse op 1,75 meter boven straatniveau (boven) en op 1 m boven de balkons (onder) volgens de NEN8100. De pijlen geven de ingangen aan.



Figuur 7: Stroomlijnen van de lucht die langs het gebouw ten zuidoosten van de Roertoren welke om de Roertoren heen beweegt en langs de garage ingang versneld (windrichting 180).



Figuur 8: Stroomlijnen van de lucht die langs het gebouw ten zuidwesten van de Roertoren welke om en tussen de gebouwen versnelt (windrichting 240).



Figuur 9: Stroomlijnen van de lucht die langs het gebouw ten zuidoosten van de Roertoren welke om het gebouw versnelt (windrichting 210).

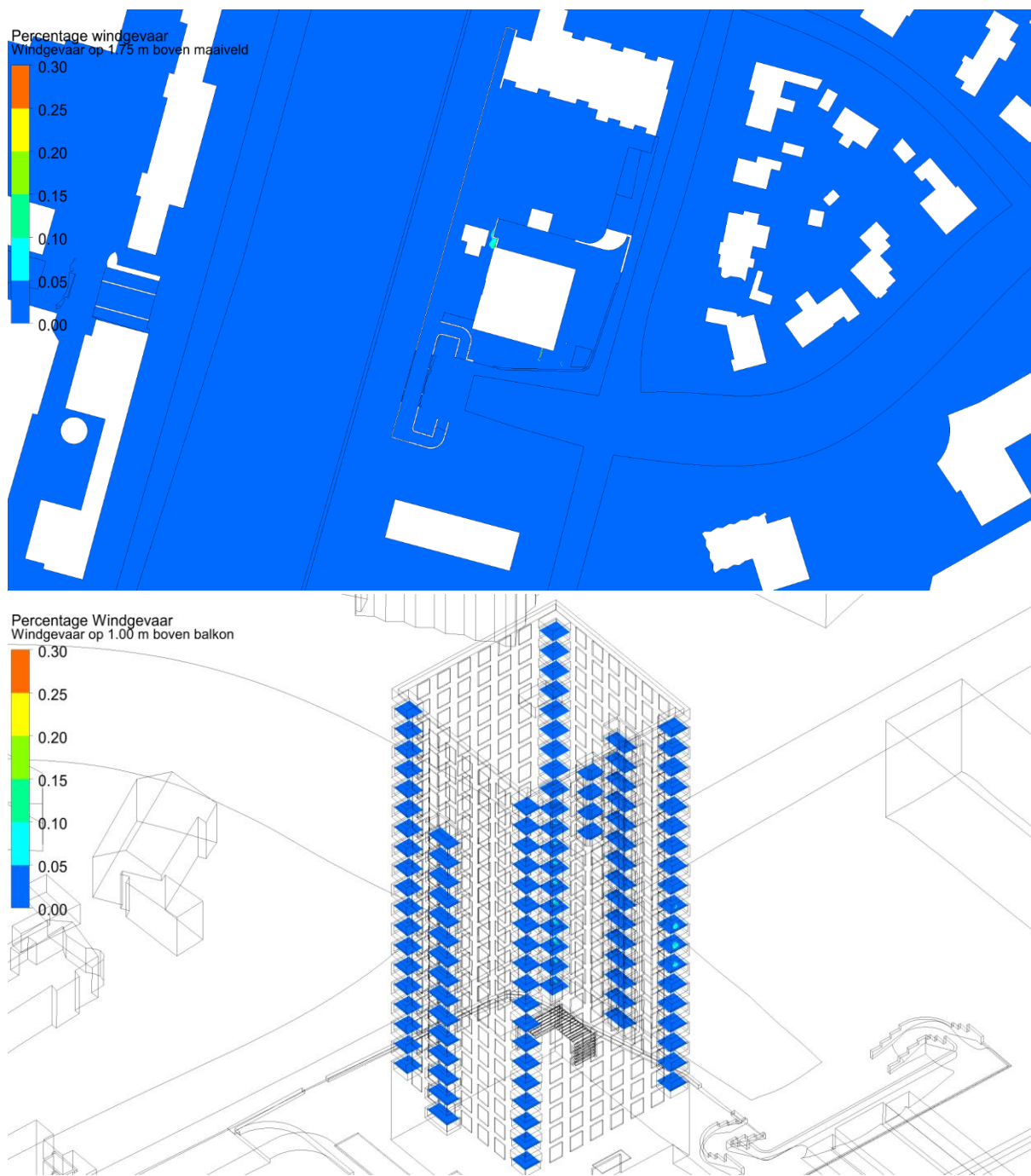
4.2 Windgevaar

In de NEN 8100 staat dat een percentage overschrijding van 0,30% per jaar gevaarlijk is en dat publiek hier niet aan mag worden blootgesteld. Daarnaast wordt in de NEN8100 gesteld dat situaties met een overschrijdingskans van 0,05% tot 0,30%, een beperkt risico, alleen mag worden geaccepteerd als dit binnen de activiteitenklasse doorlopen valt.

In Figuur 10 wordt het percentage overschrijding van windgevaar op 1,75 m boven het grondvlak en op 1 m boven de balkons op jaarbasis weergegeven volgens de boordeling uit de NEN8100.

In de figuur is te zien dat op 1,75 m boven het maaiveld rondom de ontwikkeling de maximale overschrijdingskans van 0,30% voor windgevaar niet wordt overschreden. Er is langs de noordwesthoek van de Roertoren een heel klein gebied waar de overschrijdingskans voor windgevaar tussen de 0,05% en 0,10% is. Als voor dit gebied de activiteit Doorlopen geldt, dan wordt voldaan aan de voorwaarden uit de NEN 8100.

Er is tevens te zien dat er een beperkt risico geldt op kleine delen van een aantal loggia's op de hoeken van de Roertoren. Een mogelijke oplossing is het sluiten van de loggia's aan een zijde door het toepassen van een verhoogde glazen wand.



Figuur 10: Percentage windgevaar per jaar op 1,75 m boven de grondvlakken (boven) en op 1 m boven de balkons (onder).

5 Samenvatting

Op verzoek van Aveco de Bondt is een windhinderonderzoek uitgevoerd voor de ontwikkeling Roertoren, te Roermond. De ontwikkeling is een woontoren van rond de 70 meter hoog met een verbinding naar de naastgelegen parkeergarage middels een luifel. De resultaten van dit onderzoek zijn omschreven in het rapport met referentie P12922086e100 (d.d. 07-10-2022). Naar aanleiding hiervan zijn maatregelen onderzocht ter verbetering van het windklimaat. In het huidige rapport wordt het nieuwe windklimaat met de best werkende maatregelen beschreven.

Het lokale windklimaat is voor de bestaande en nieuwe situatie inzichtelijk gemaakt met behulp van Computational Fluid Dynamics (CFD) simulaties aan de hand van de methodiek die omschreven staat in de NEN8100 (2).

Op basis van de resultaten is het volgende vast te stellen met betrekking tot windhinder:

- Windrichting 210 en 240 leveren de grootste bijdrage aan het aantal uren overschrijding van de drempelwaarde voor windhinder. Dit komt omdat deze windrichtingen per jaar het meest voorkomen.
- Nabij de ingangen en in de omgeving van de Roertoren geldt vooral kwaliteitsklasse A en B. Dit is een goed tot matig windklimaat voor de activiteit Langdurig zitten.
- Nabij de ingang van de parkeergarage geldt echter kwaliteitsklasse C tot D, daarnaast is bij de ingang aan de westzijde van de Roertoren aan de spoorlaan noord kwaliteitsklasse C waarneembaar.
- In de directe omgeving van de Roertoren zijn voornamelijk kwaliteitsklasse C en D zichtbaar. Dit is een goed tot matig klimaat voor de activiteit Doorlopen.
- Aan de westkant van de Roertoren aan de Spoorlaan Noord is voornamelijk kwaliteitsklasse C te zien met een plek van kwaliteitsklasse D nabij de hoogbouw. Dit is een goed tot matig windklimaat voor de activiteit Doorlopen.
- Het gebied met kwaliteitsklasse D en klein stuk E op de Spoorlaan Noord, richting de entree van de Roertoren en boven het dak van parkeergarage Stationspark wordt veroorzaakt door drie effecten.
 1. Het relatief open terrein rond de Roertoren zorgt er in het algemeen voor dat de wind versnelt en de kwaliteit van het windklimaat afneemt.
 2. In het algemeen zorgt een hoog gebouw in een relatief open terrein voor een versnelling van lucht langs de hoeken van het gebouw nabij het maaiveld.
 3. Het appartementencomplex ten noorden van de Roertoren draagt bij aan een versnelling van de lucht boven parkeergarage Stationspark omdat het doorstroomoppervlak van de lucht hier wordt vernauwd.
- Aan de oostzijde van de Roertoren aan de Maria Theresialaan is voornamelijk kwaliteitsklasse A tot en met D waarneembaar. Dit is een matig windklimaat voor de activiteit Doorlopen. Dit lokale windklimaat wordt veroorzaakt door de eerste twee effecten eerder omschreven.
- Aan de zuidzijde van de Roertoren op de Oranjelaan is voornamelijk kwaliteitsklasse A tot en met C waarneembaar, met een plek van kwaliteitsklasse D op het kruispunt.

- Op de trappen aan beide zijdes van de tunnelingang zijn voornamelijk kwaliteitsklassen A tot en met C waarneembaar. Dit is een goed tot matig klimaat voor de activiteit Slenteren.
- Op de balkons van de Roertoren is voornamelijk kwaliteitsklasse A waarneembaar. Daarnaast zijn er een aantal balkons met kwaliteitsklasse C en D. Echter, op deze balkons zijn nabij de gevel ook plekken met kwaliteitsklasse A, waar men in de luwte kan zitten.

Op basis van de resultaten is het volgende vast te stellen met betrekking tot windgevaar:

- Op 1,75 m boven het maaiveld rondom de ontwikkeling wordt de maximale overschrijdingskans van 0,30% voor windgevaar niet overschreden.
- Er zijn langs de hoek van de Roertoren een klein gebied waar de overschrijdingskans voor windgevaar tussen de 0,05% en 0,30% is. Als in dit gebied de activiteit Doorlopen geldt, dan wordt voldaan aan de voorwaarden uit de NEN 8100.
- Er geldt een beperkt risico op kleine delen van een aantal loggia's op de hoeken van de Roertoren. Een mogelijke oplossing is het sluiten van de loggia's aan een zijde door het toepassen van een verhoogde glazen wand.

Referenties

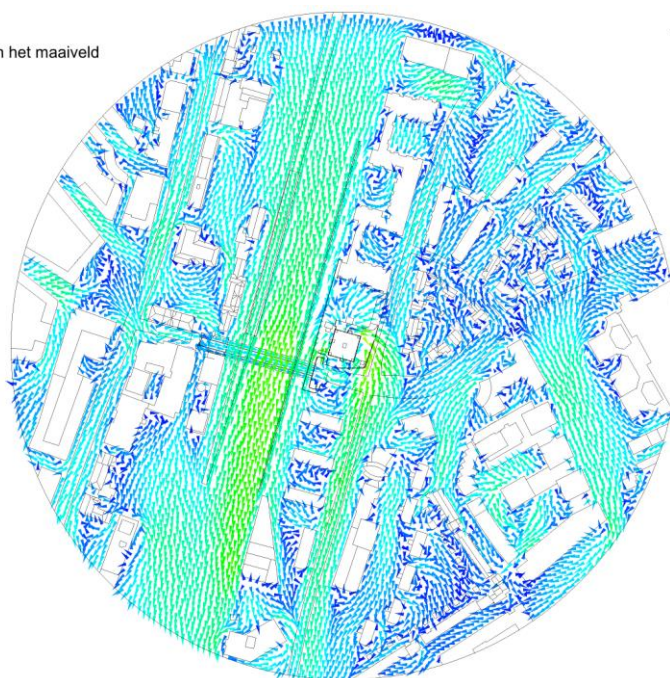
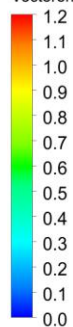
1. **One Simulations.** *P12922086e100 - Windonderzoek Roertoren.* Leiden : s.n., 2022. P12922086e100.
2. **NEN 8100** Windhinder en windgevaar in de gebouwde omgeving. Delft : Nederlands Normalisatie-instituut, februari 2006.
3. *Actueel Hoogtebestand Nederland.* [Online] <https://www.ahn.nl/en>.
4. 3D Geoinformation research group. <https://3dbag.nl/>. [Online]
5. Troen, Ib and Petersen, Erik Lundtang. *Roughness Classes and Roughness Length Table in "European Wind Atlas"*. Risoe , Denmark : Risoe National Laboratory, 1991. ISBN 87-550-1482-8.
6. Nederlandse Normalisatie-instituut. *Toepassing van de statistiek van de uurgemiddelde windsnelheden voor Nederland.* Delft : s.n., 2006. NPR 6097.
7. *Modeling vegetation in Wind Engineering wind tunnel studies.* Gromke, C. Shanghai, China : The Seventh International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics and Applications (BBAA7), 2012.

Bijlage A – CFD simulatieresultaten per windrichting

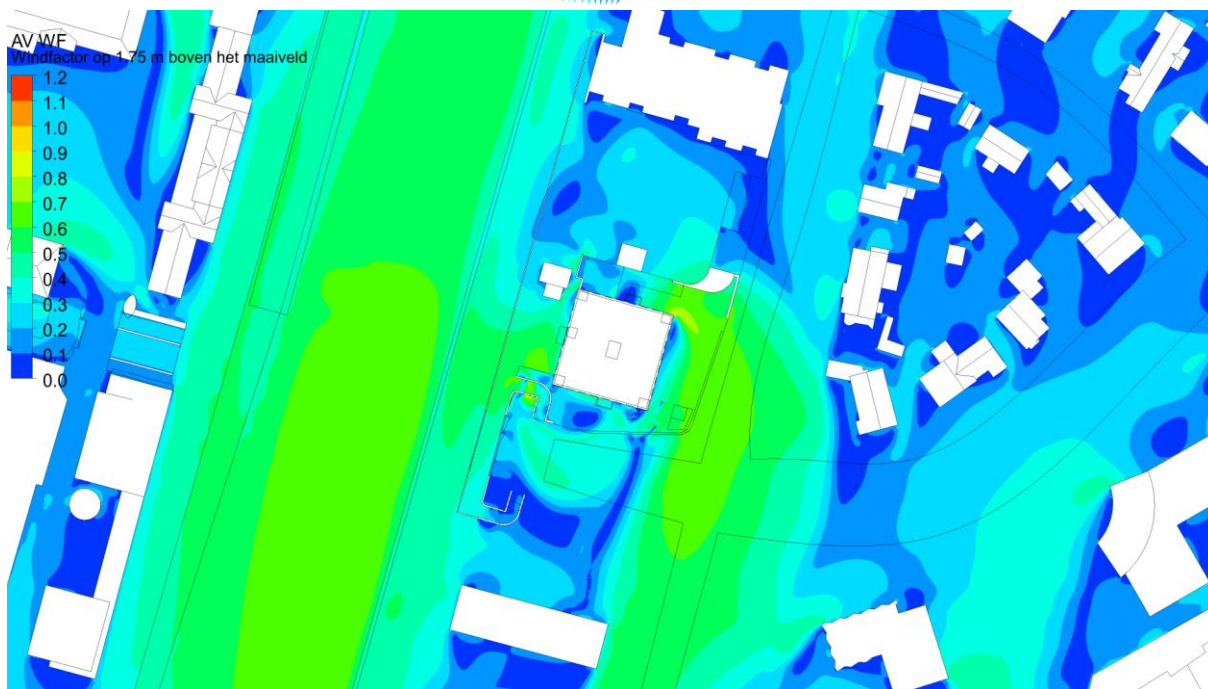
Op de volgende pagina's worden de CFD simulatieresultaten per windrichting weergegeven op 1,75 m boven het grondvlak. Voor iedere windrichting is het volgende weergegeven:

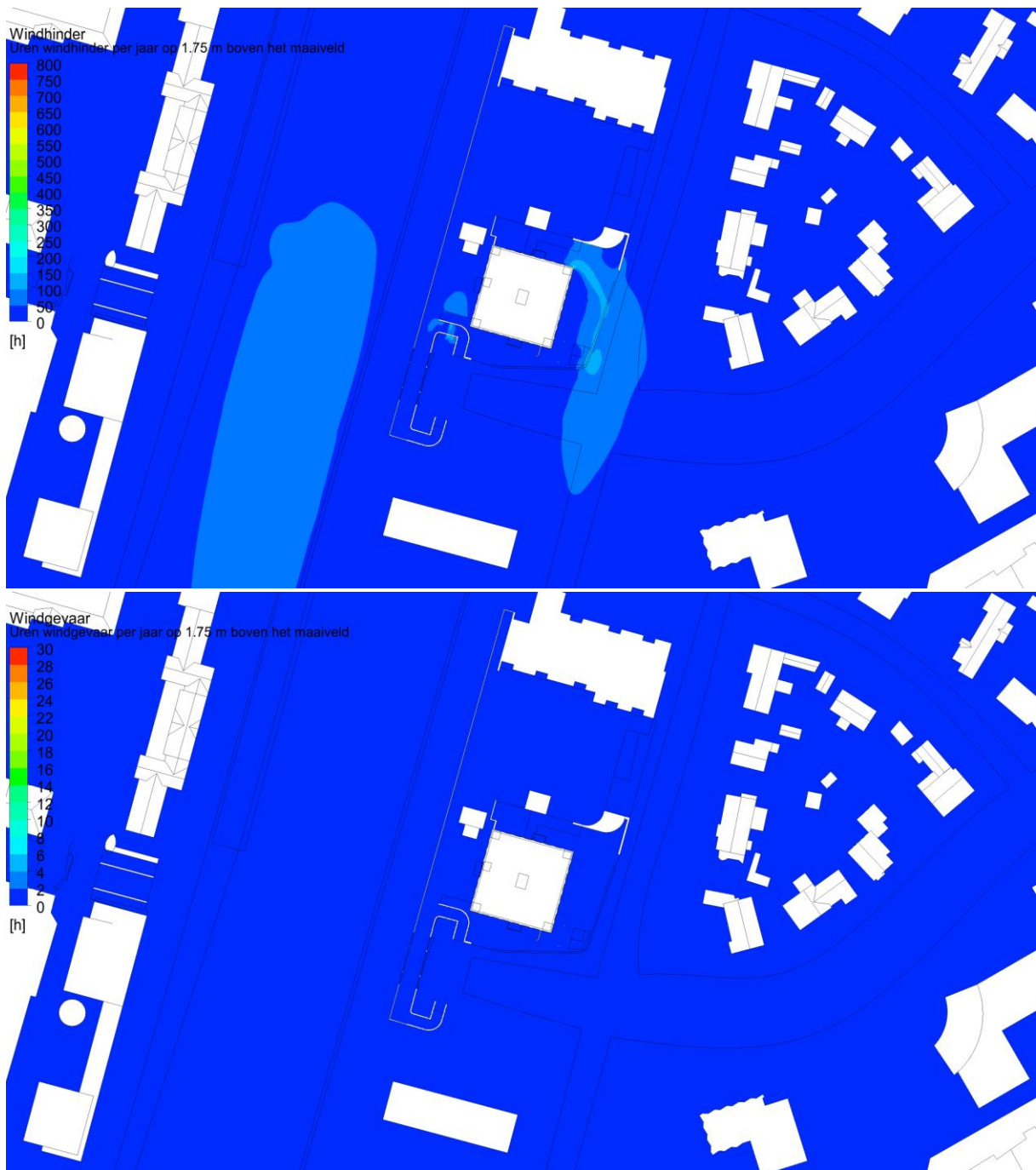
- Snelheidsvectoren gekleurd met windfactor
- Bovenaanzicht van een contour gekleurd met de windfactor
- Bovenaanzicht van een contour gekleurd met de uren windhinder per jaar
- Bovenaanzicht van een contour gekleurd met de uren windgevaar per jaar

AV WF
Vectoren windfactor op 1.75 m boven het maaiveld

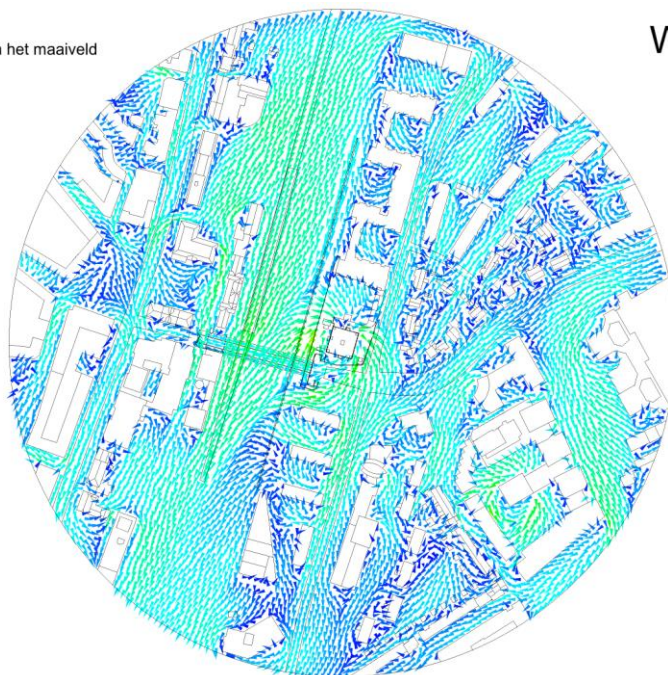
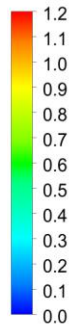


Windrichting = 0

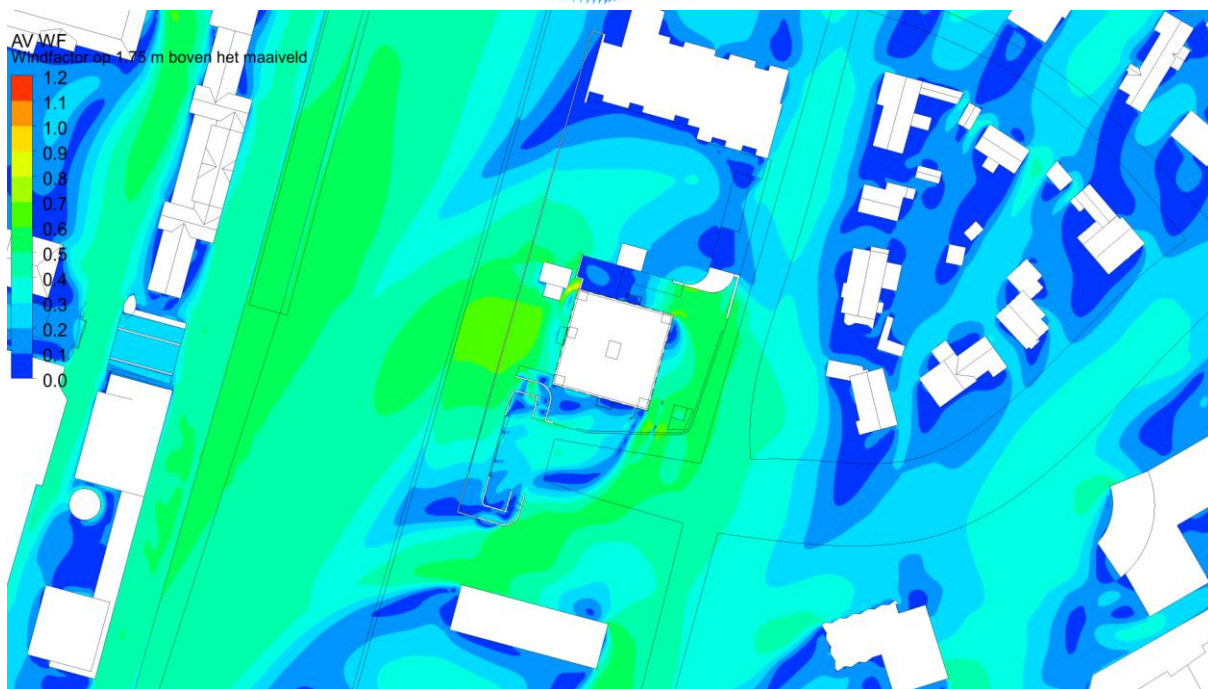


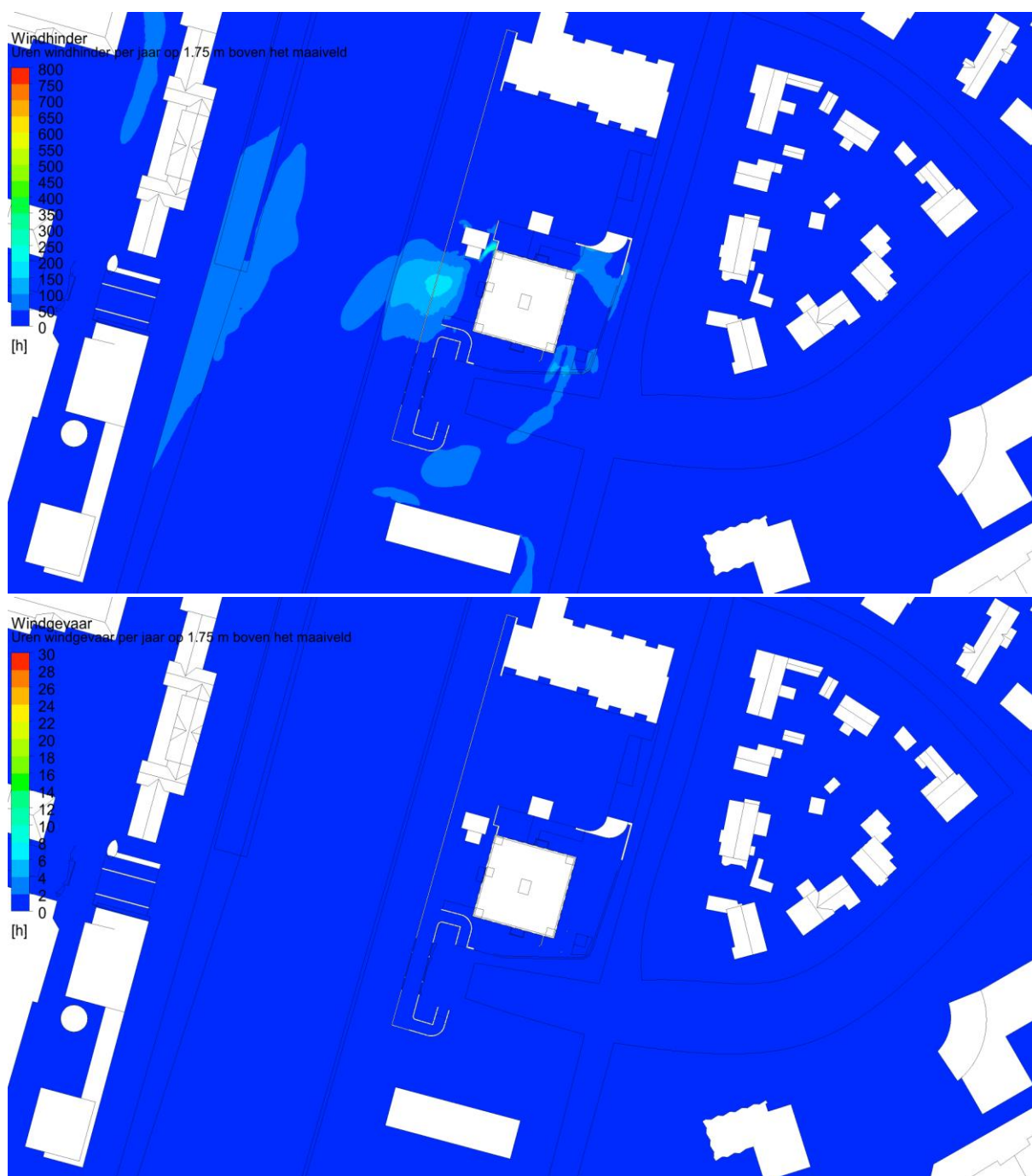


AV WF
Vectoren windfactor op 1.75 m boven het maaiveld

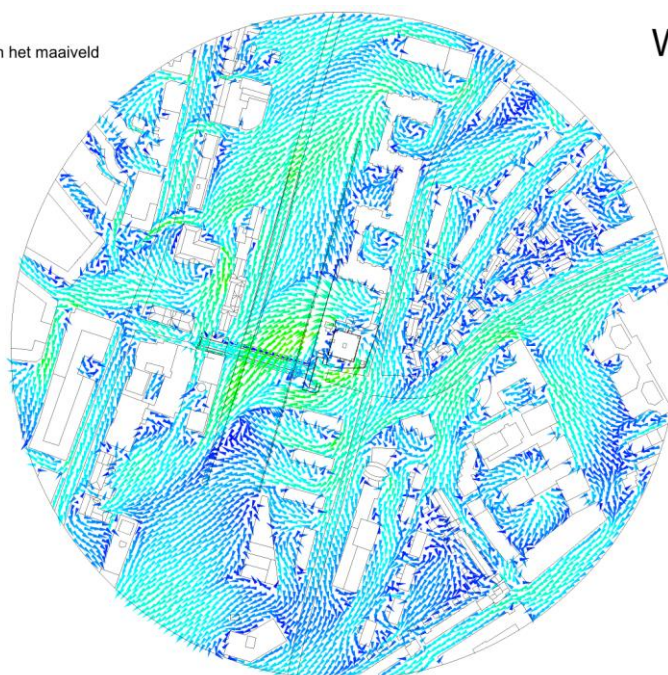
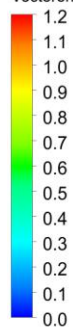


Windrichting = 30

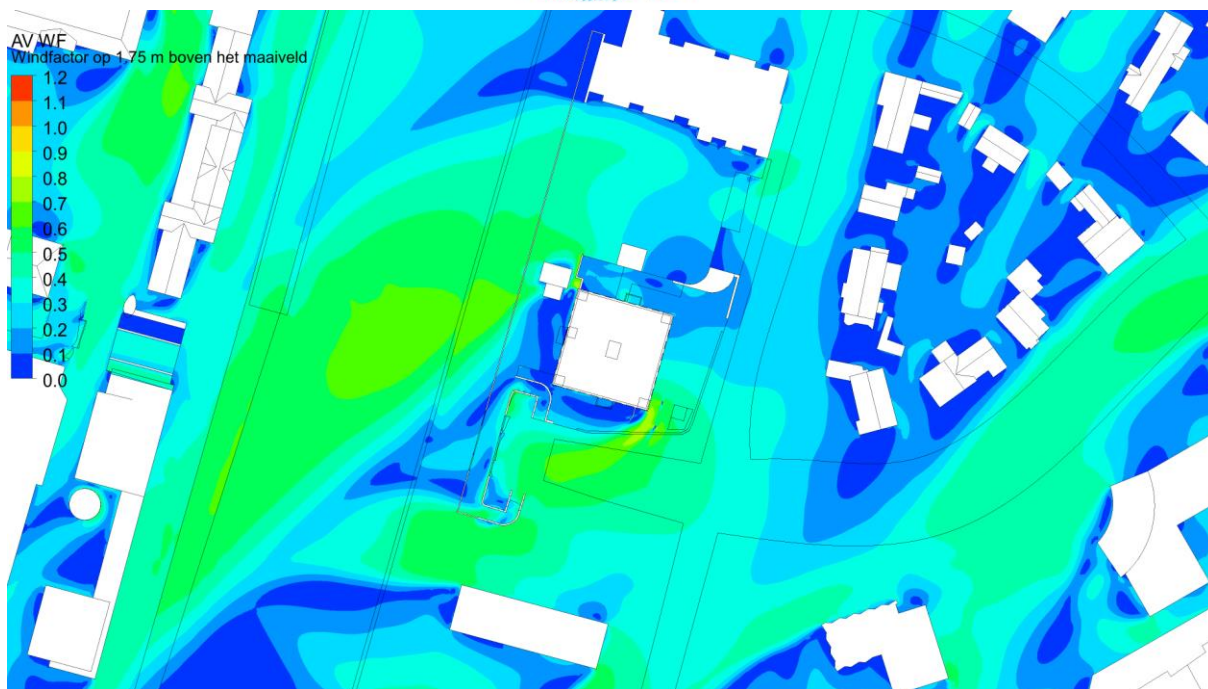


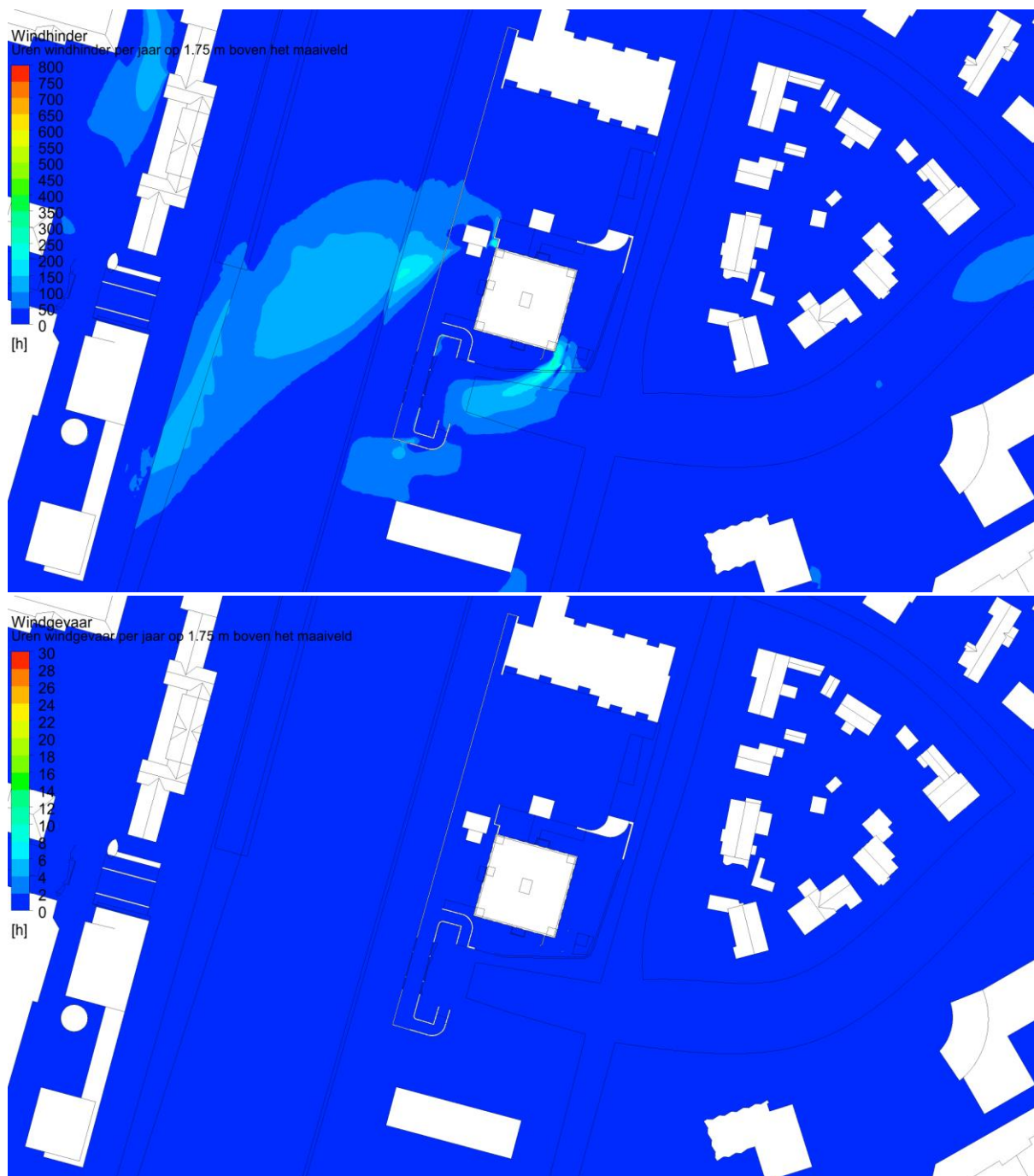


AV WF
Vectoren windfactor op 1.75 m boven het maaiveld

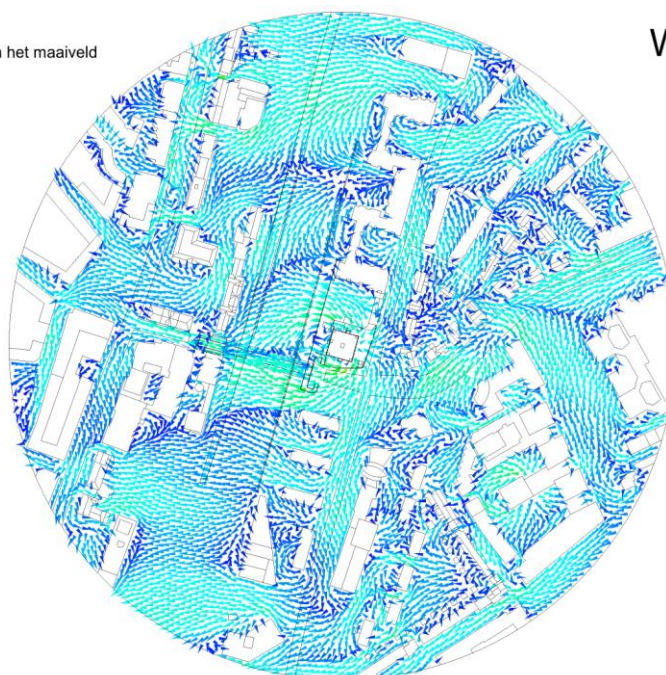
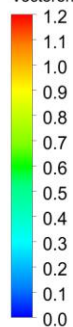


Windrichting = 60

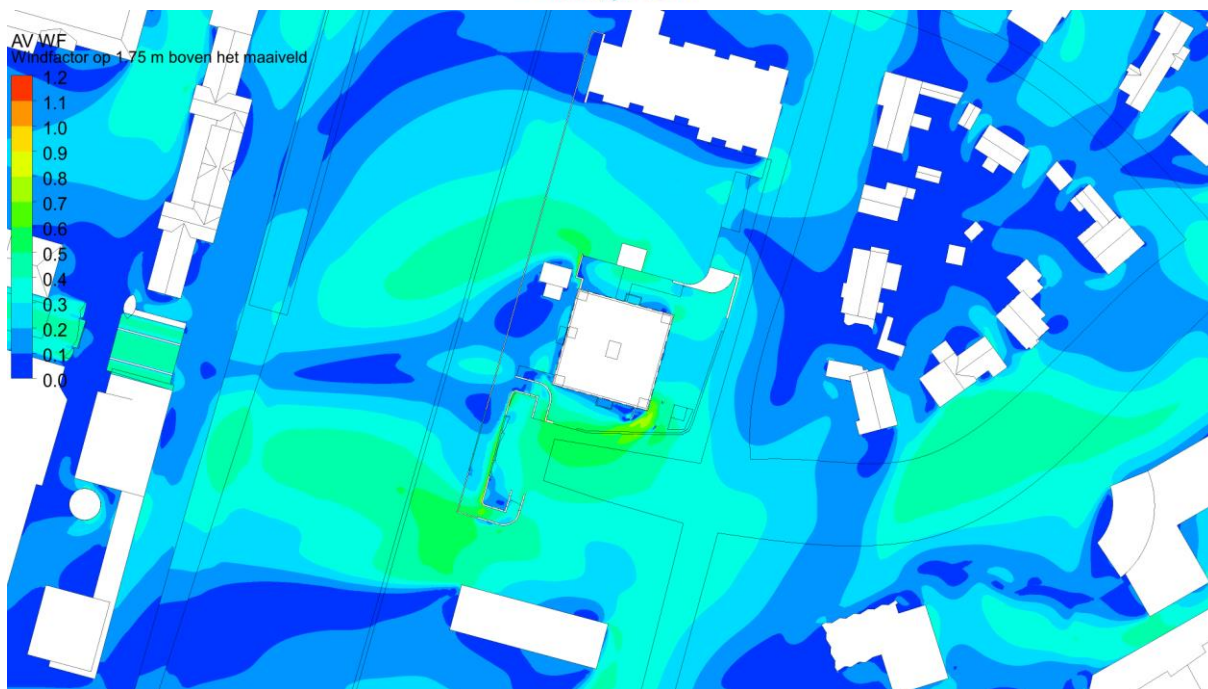


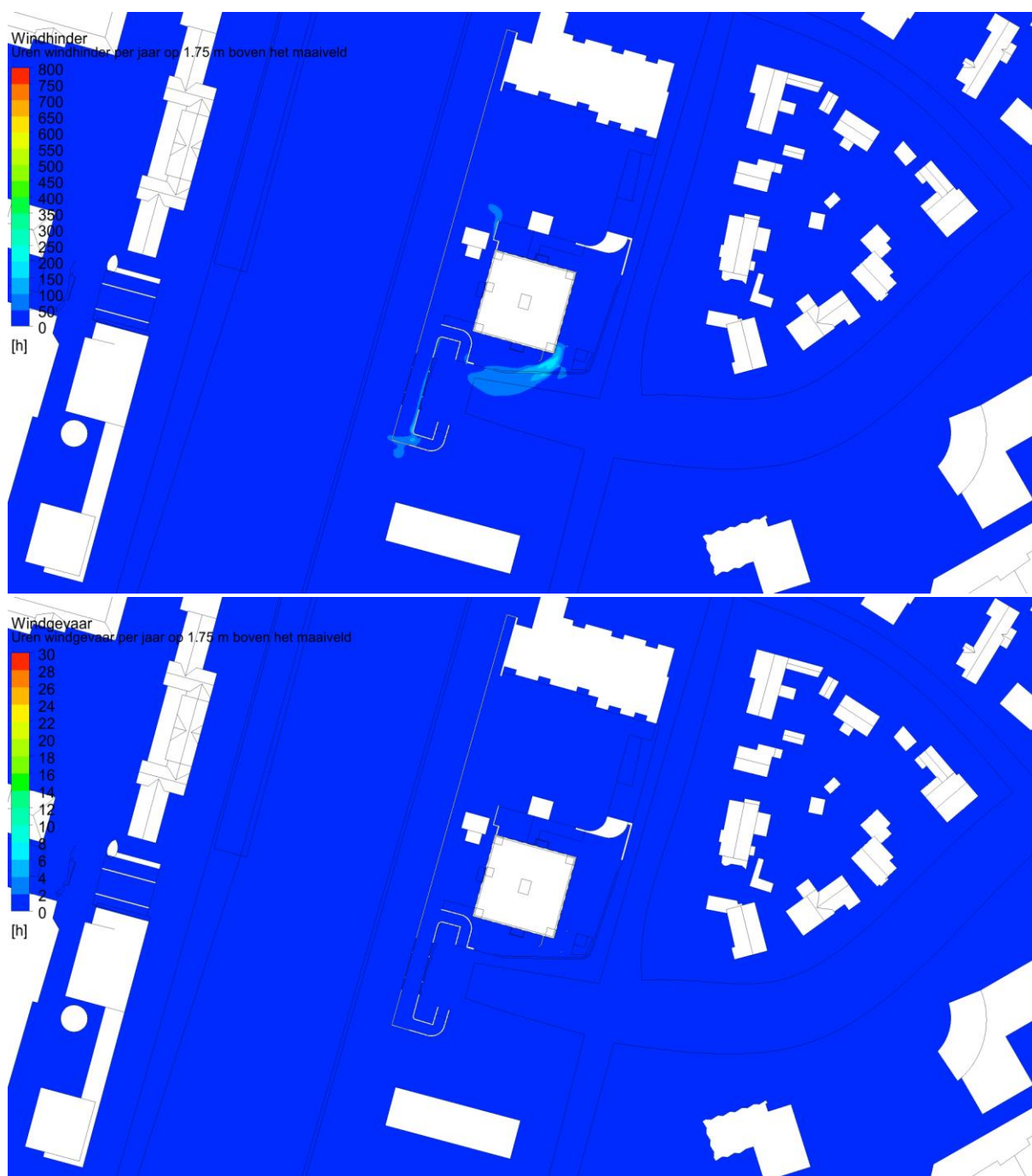


AV WF
Vectoren windfactor op 1.75 m boven het maaiveld

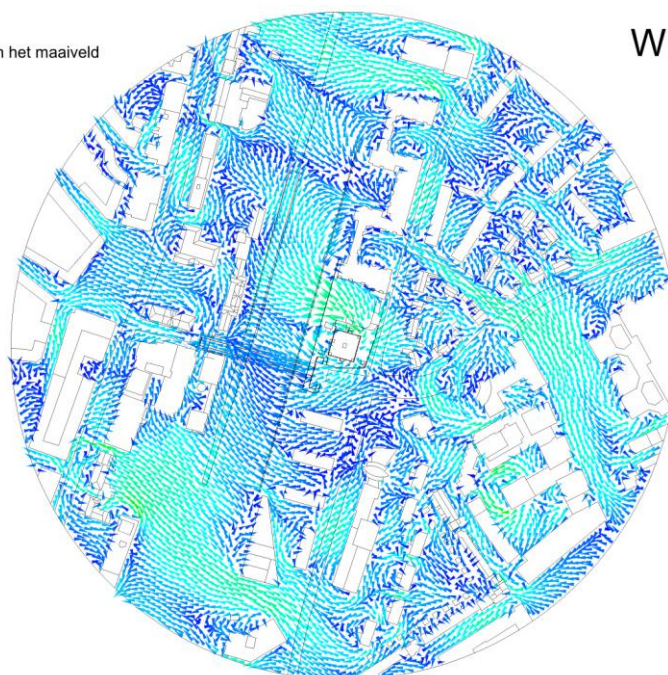
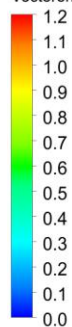


Windrichting = 90

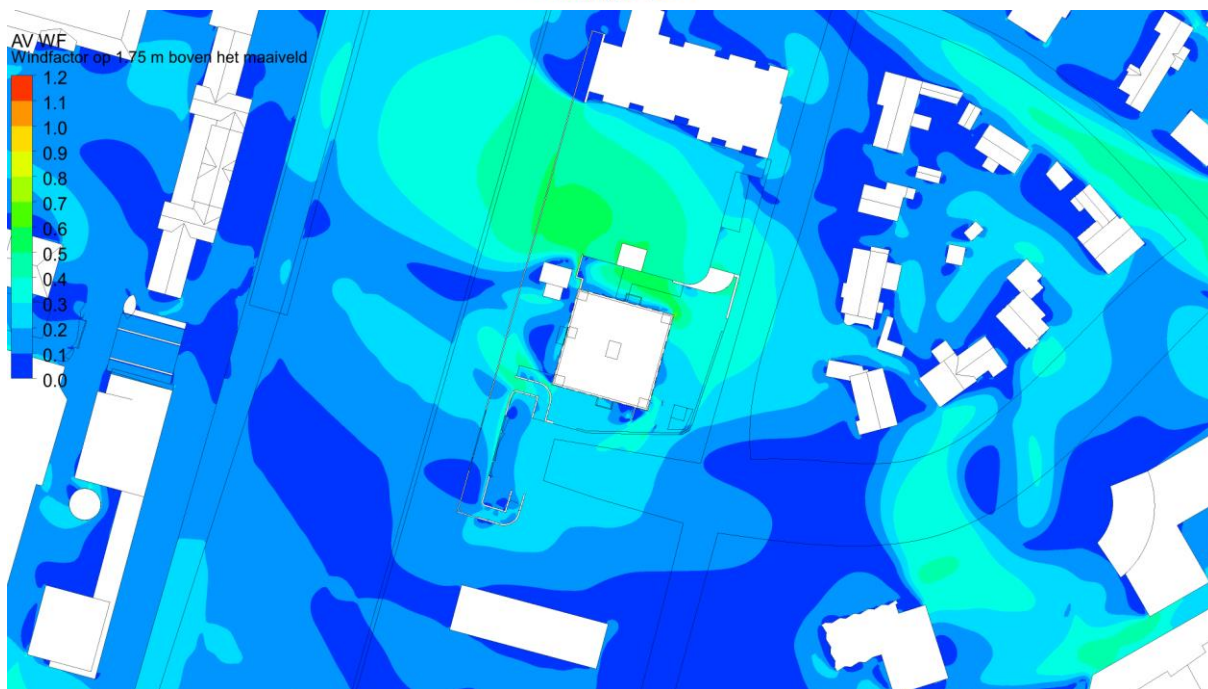


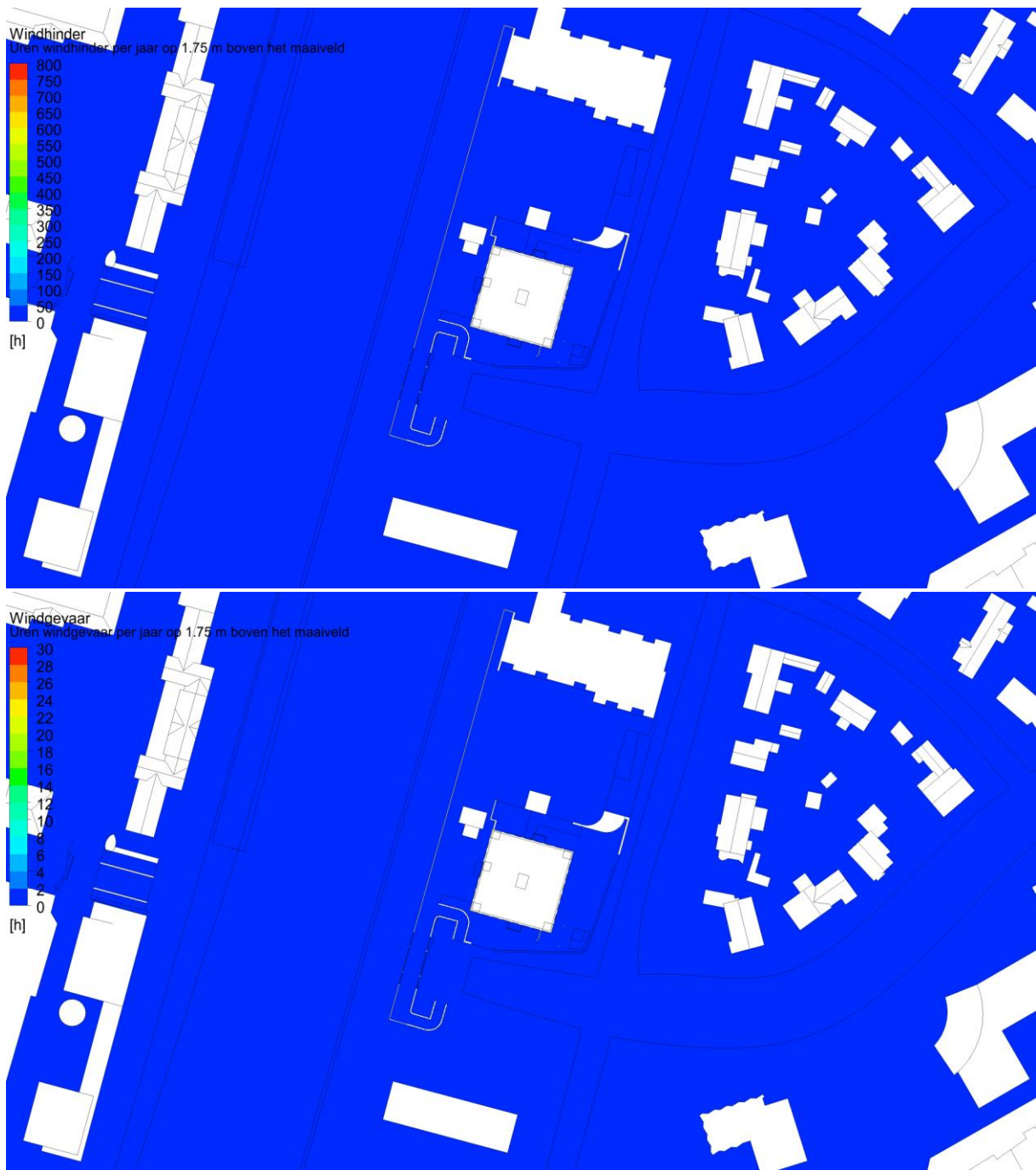


AV WF
Vectoren windfactor op 1.75 m boven het maaiveld

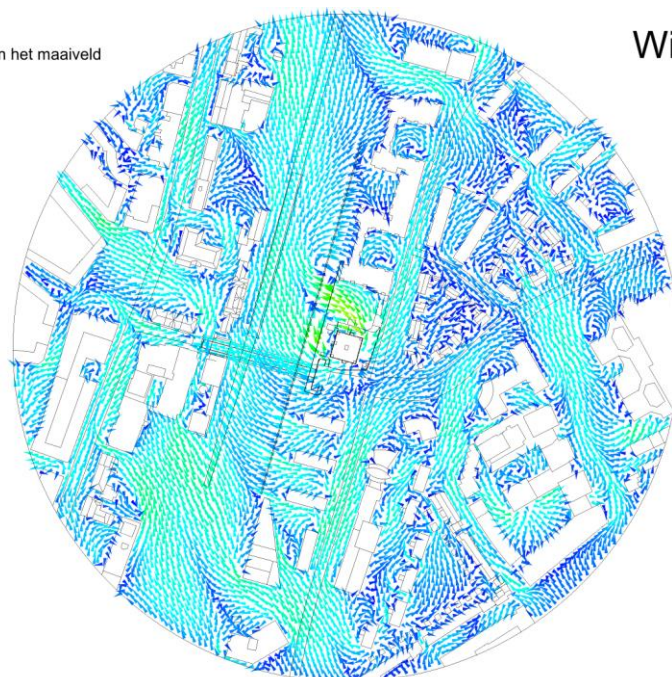
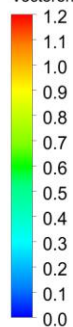


Windrichting = 120

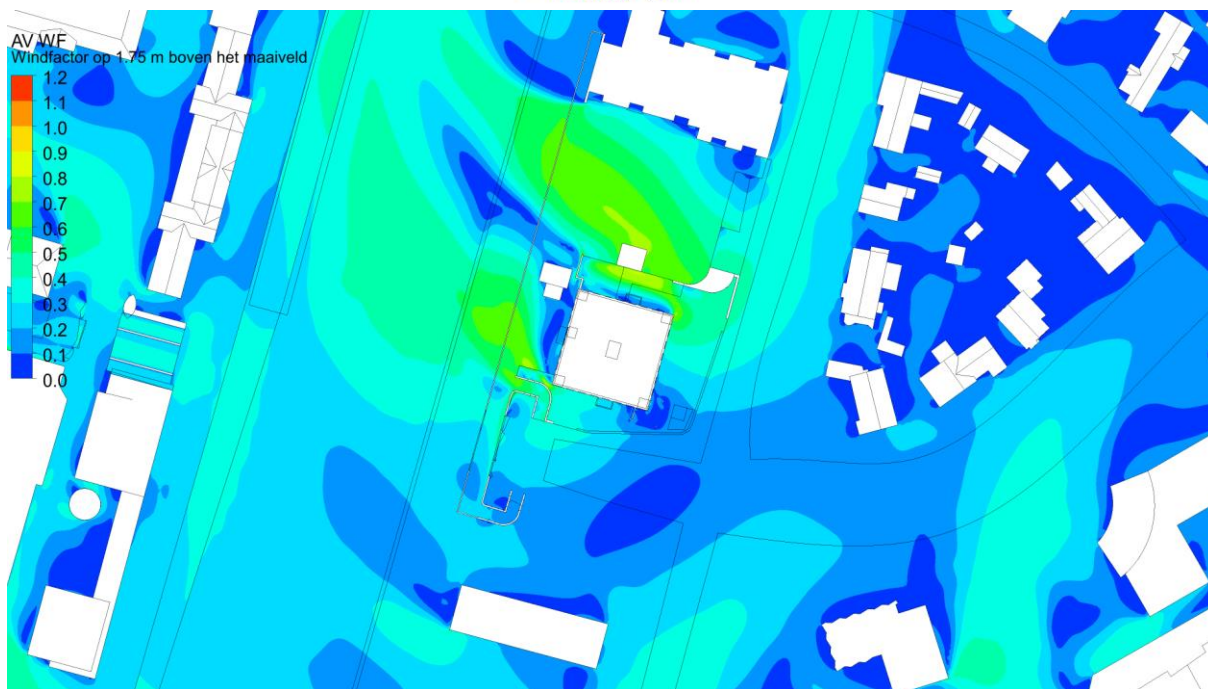


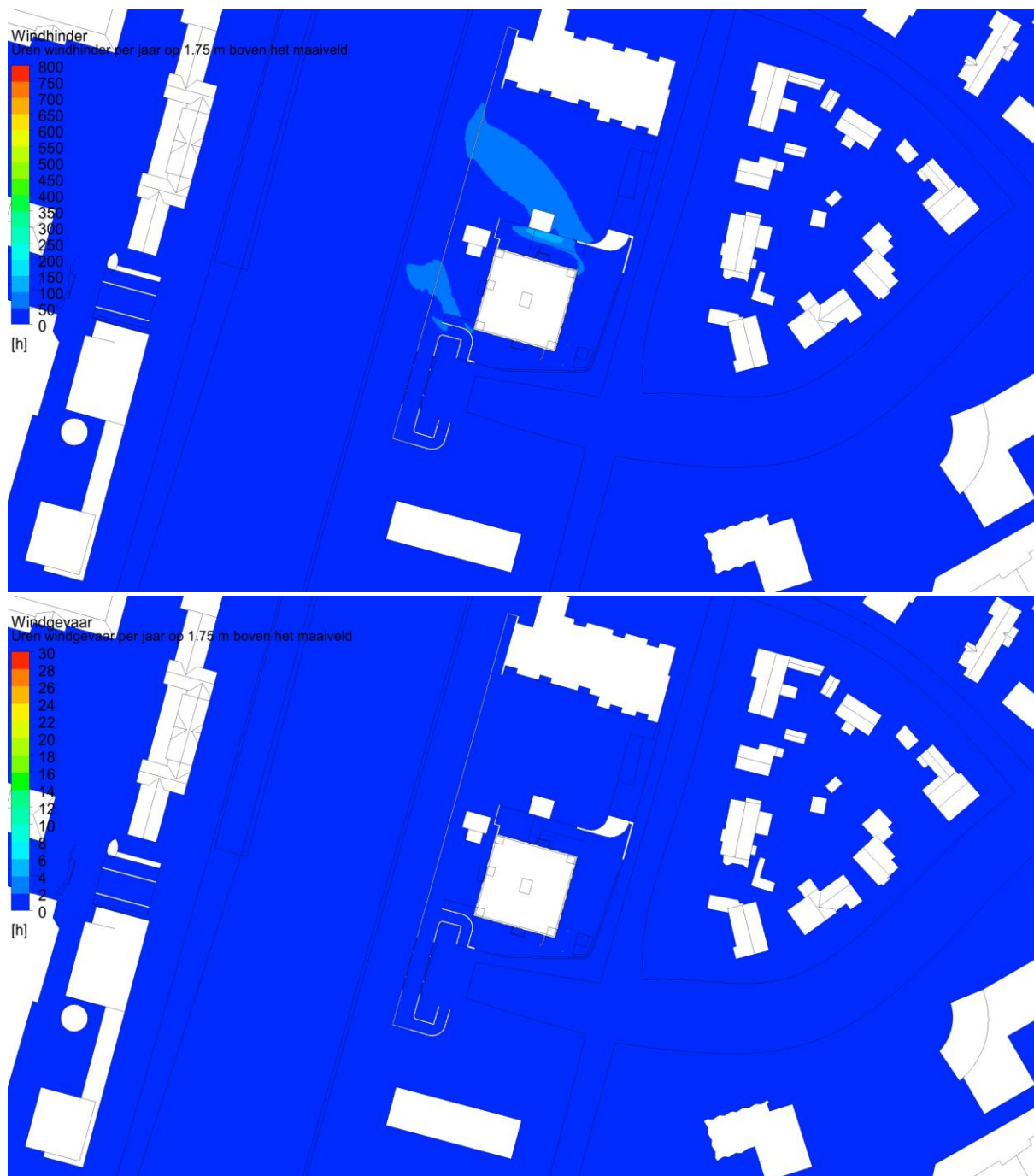


AV WF
Vectoren windfactor op 1.75 m boven het maaiveld

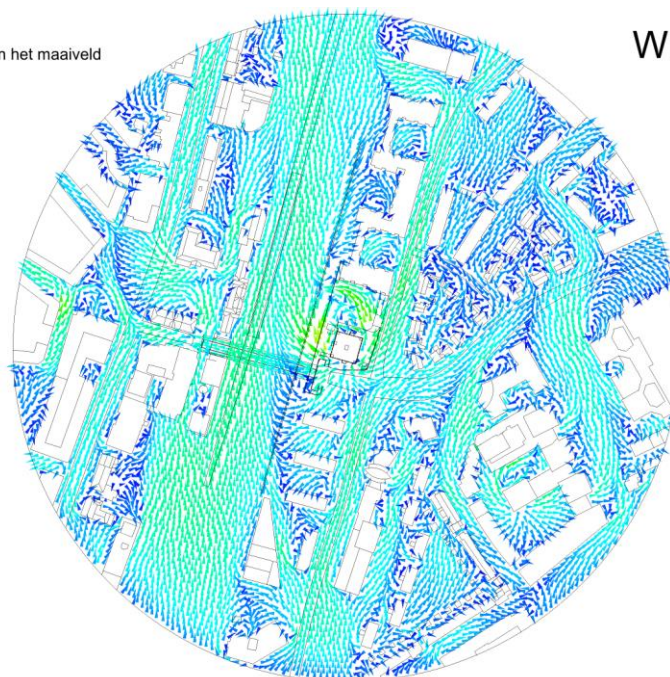
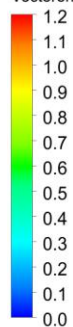


Windrichting = 150

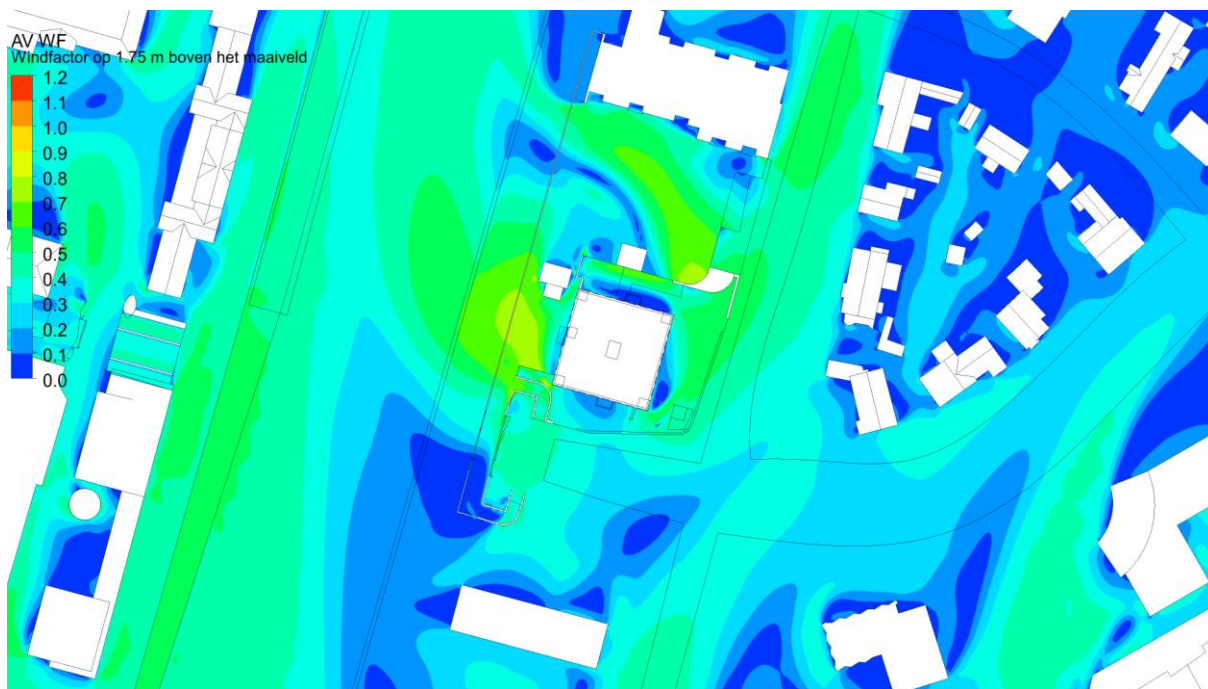


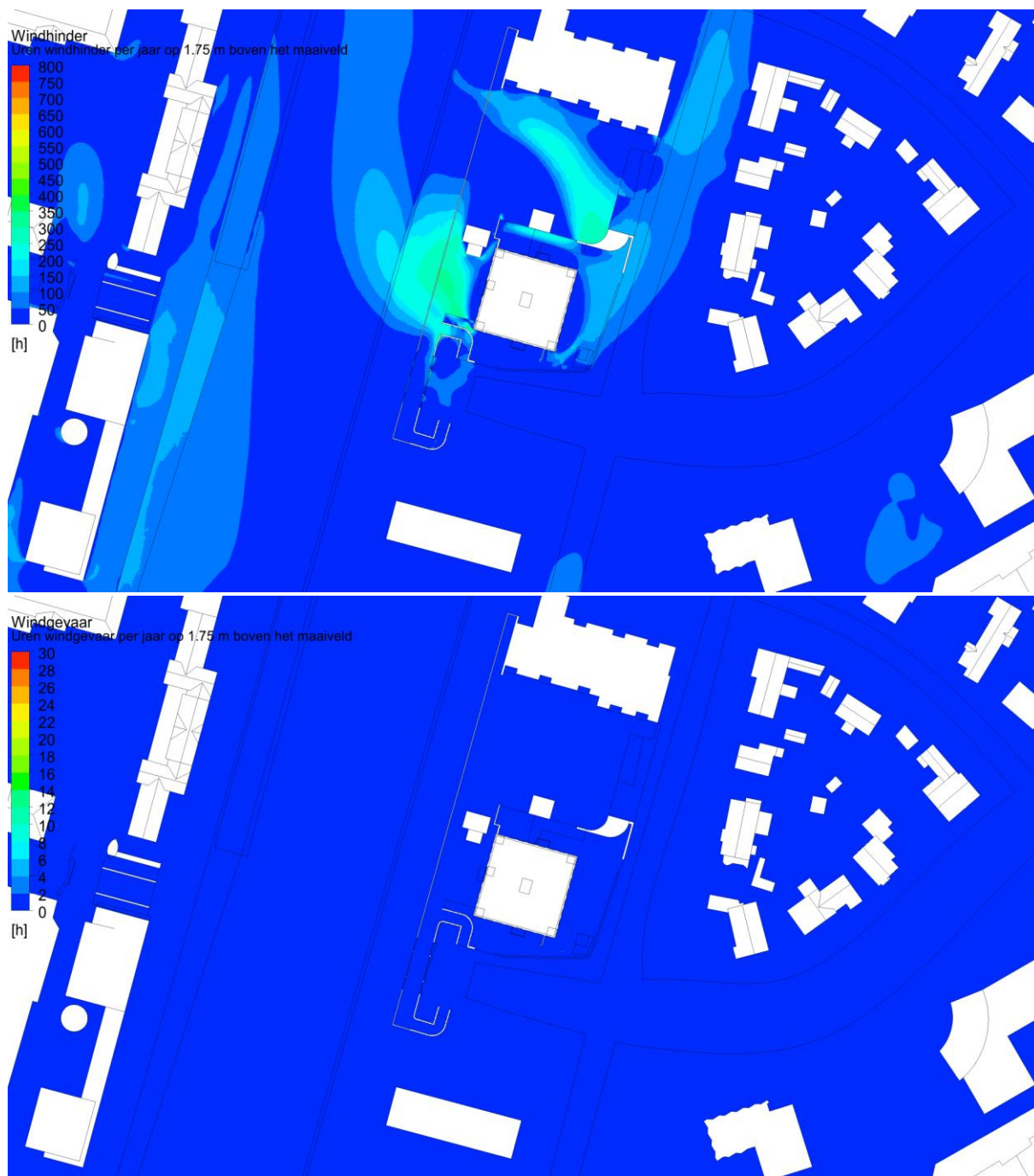


AV WF
Vectoren windfactor op 1.75 m boven het maaiveld

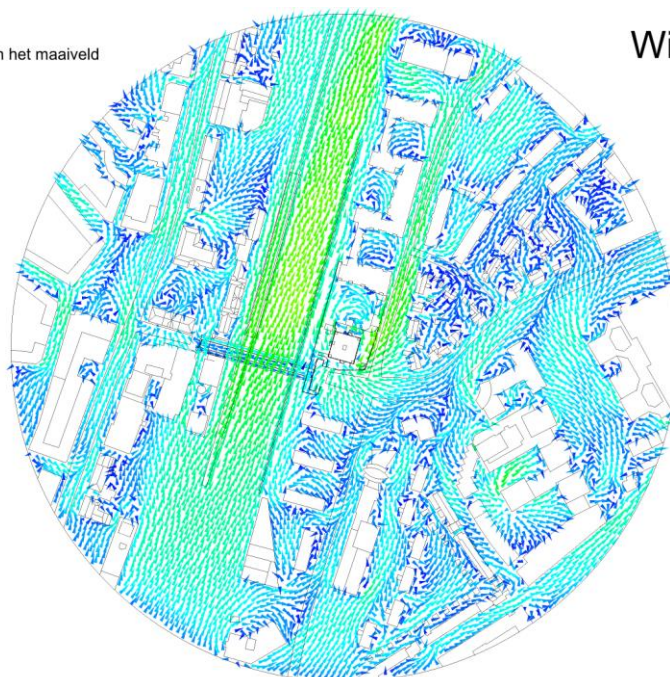
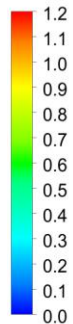


Windrichting = 180

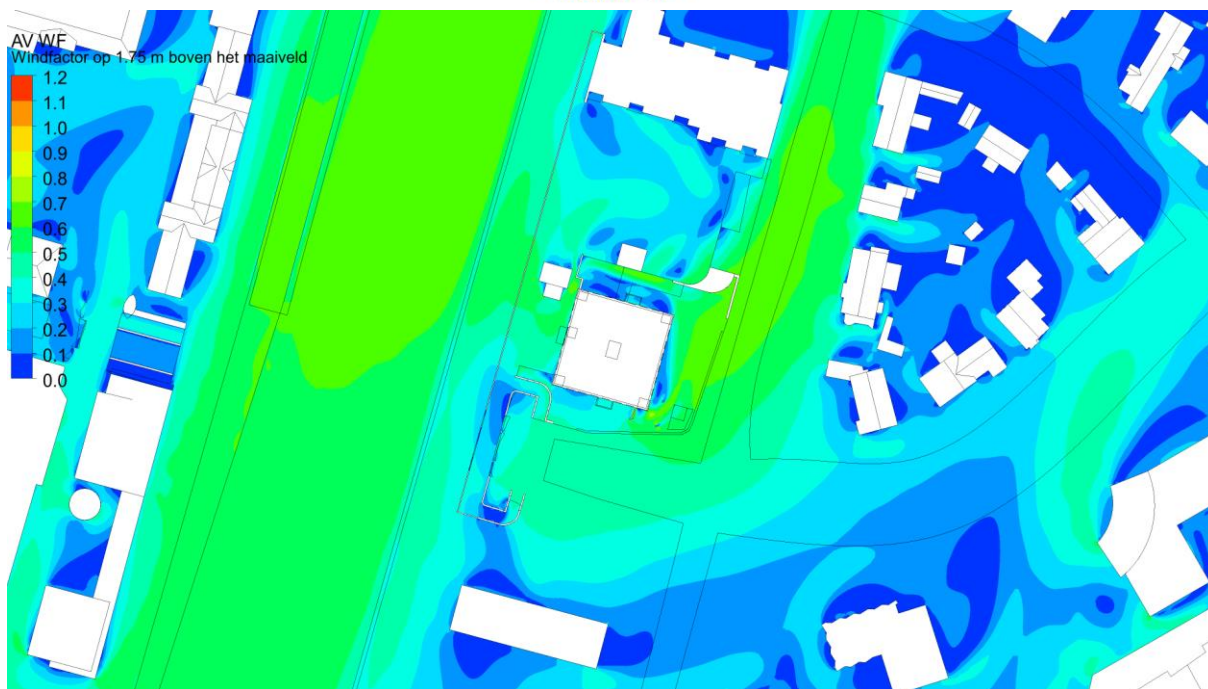


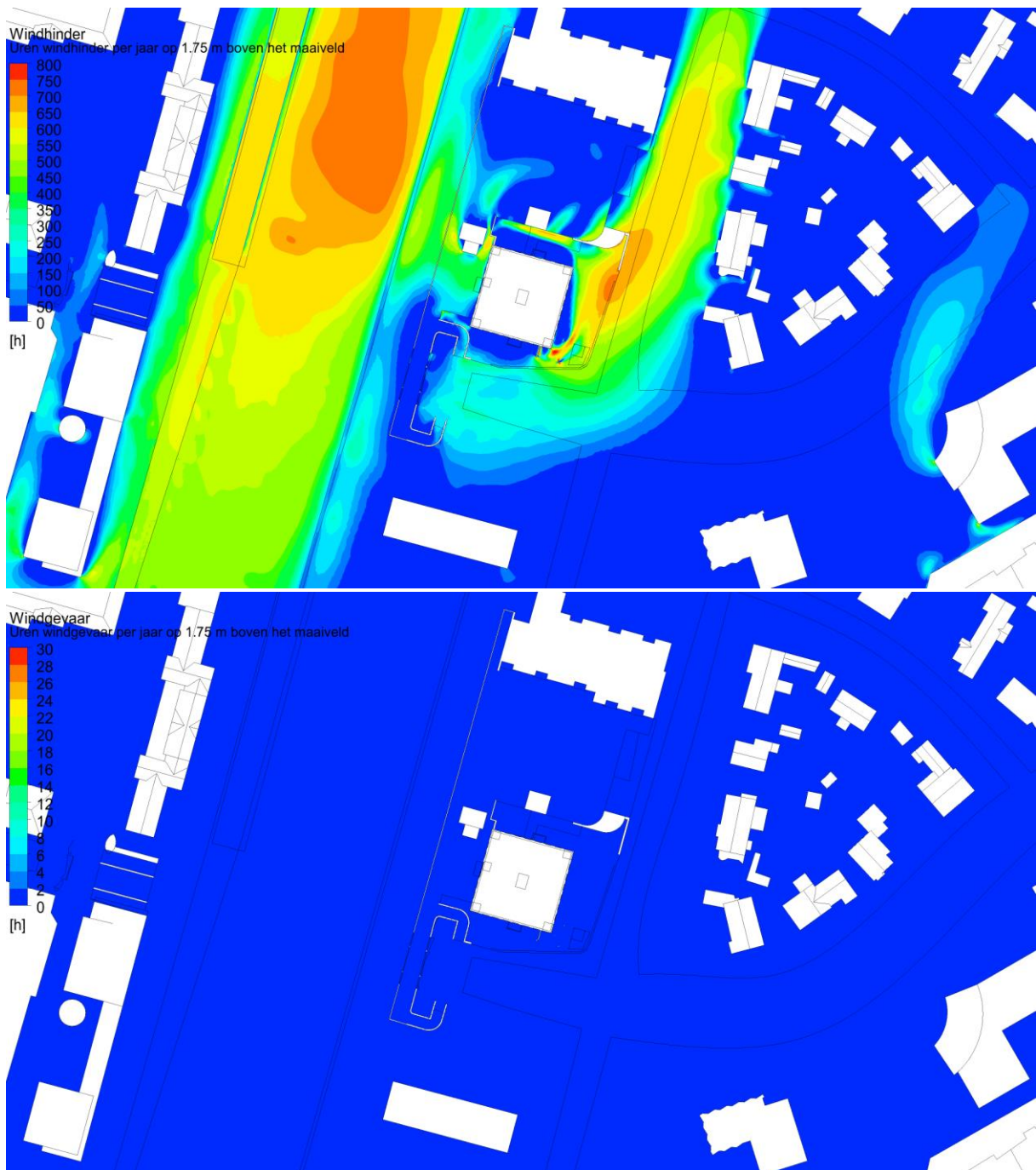


AV WF
Vectoren windfactor op 1.75 m boven het maaiveld

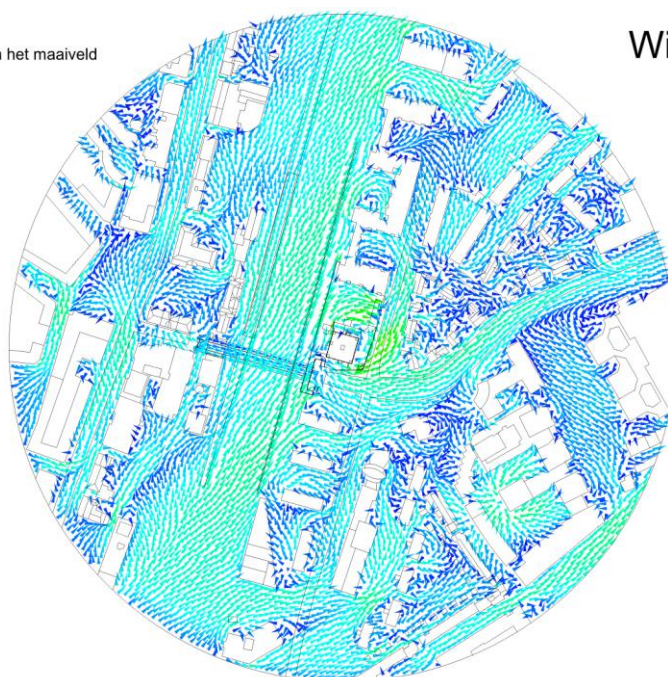
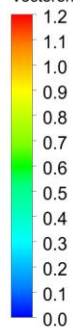


Windrichting = 210

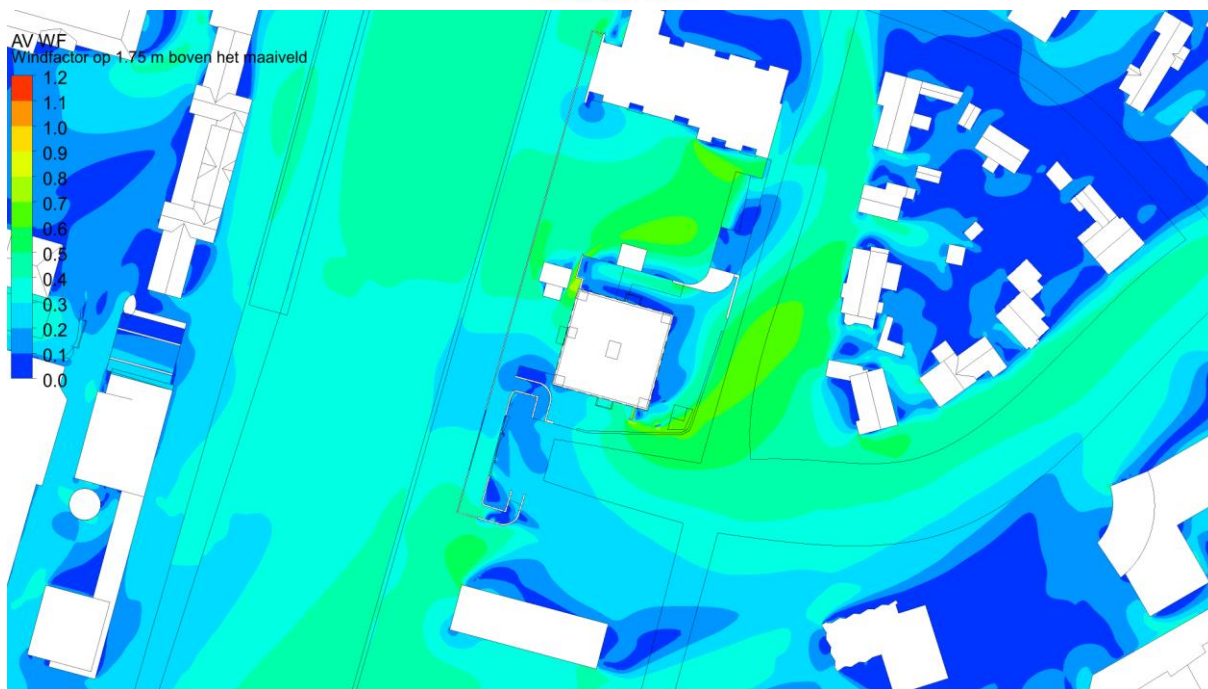


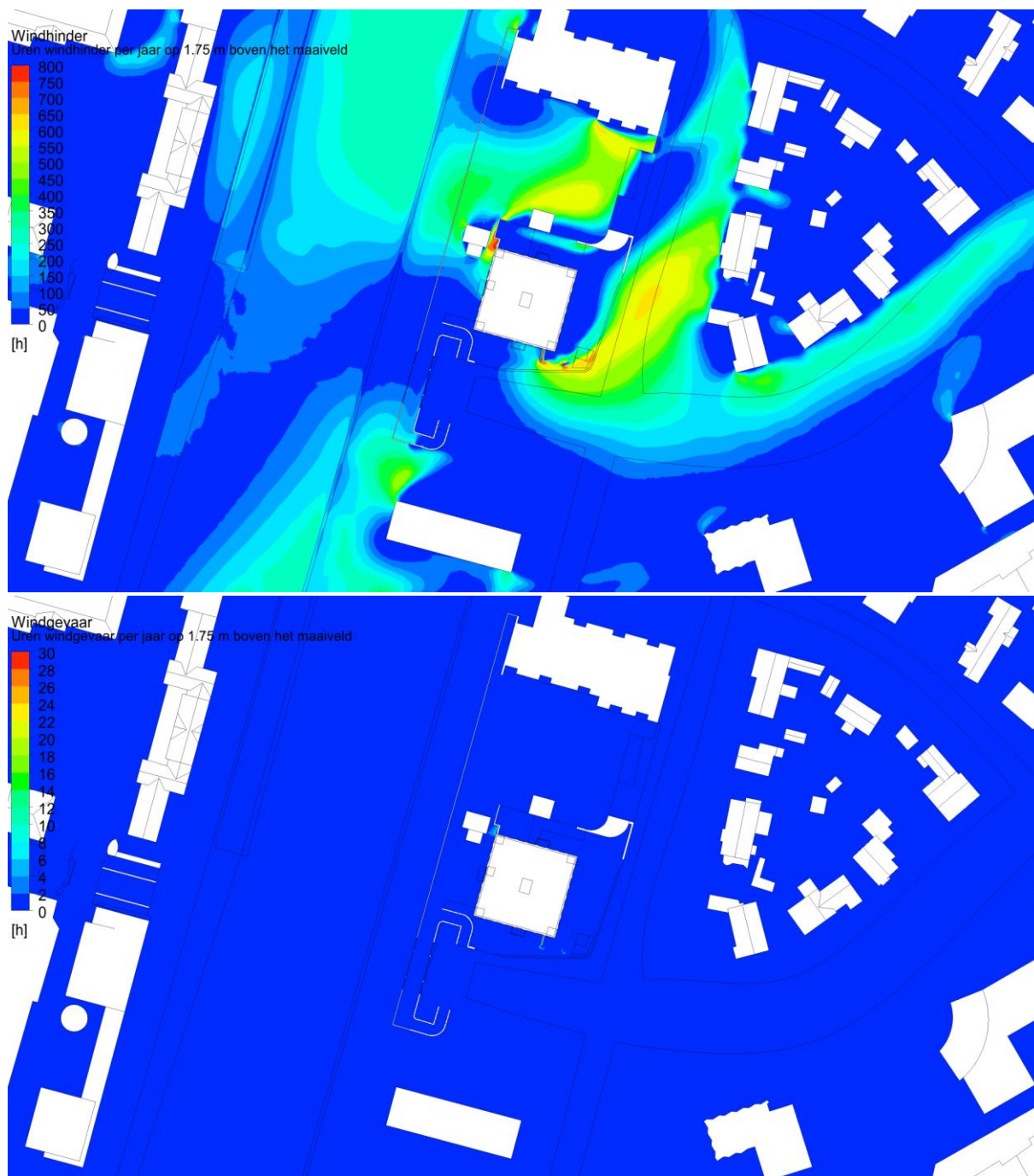


AV WF
Vectoren windfactor op 1.75 m boven het maaiveld

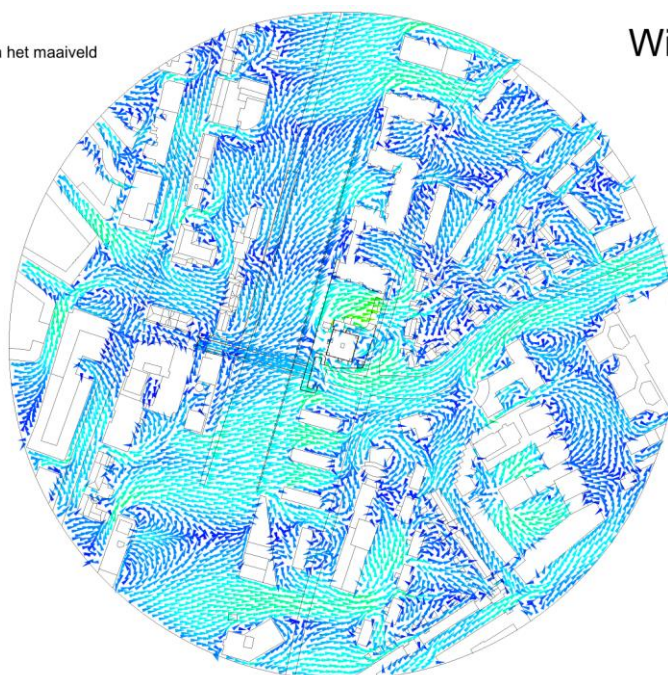
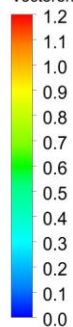


Windrichting = 240

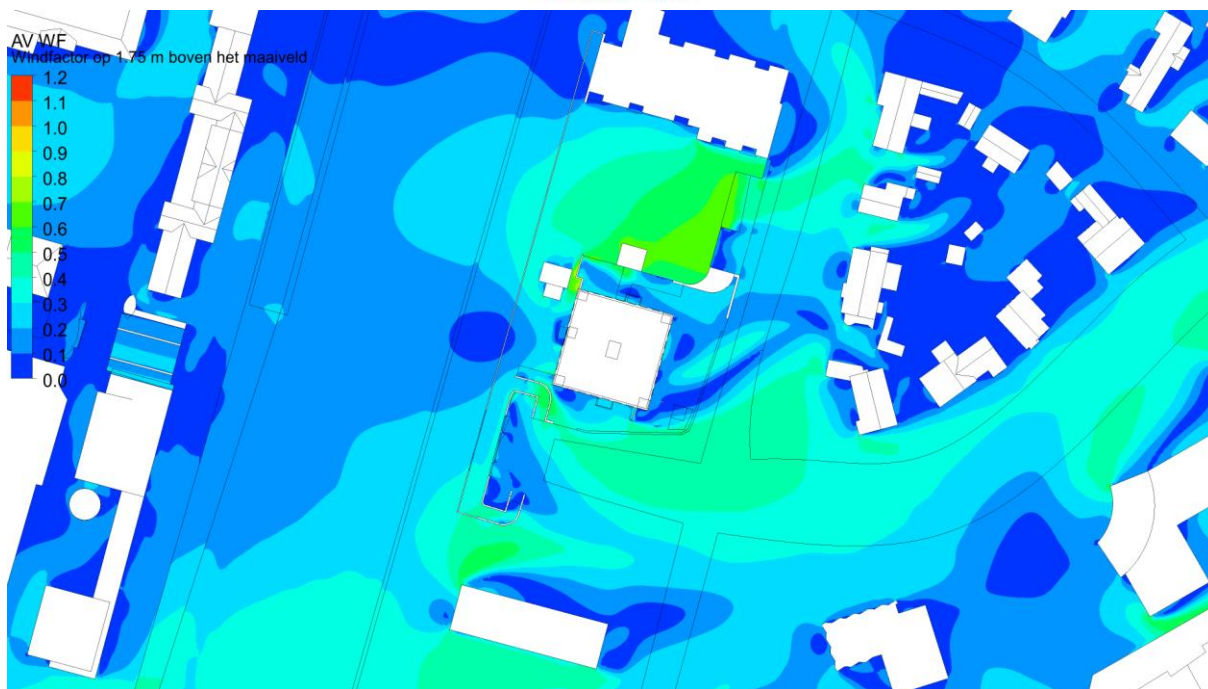


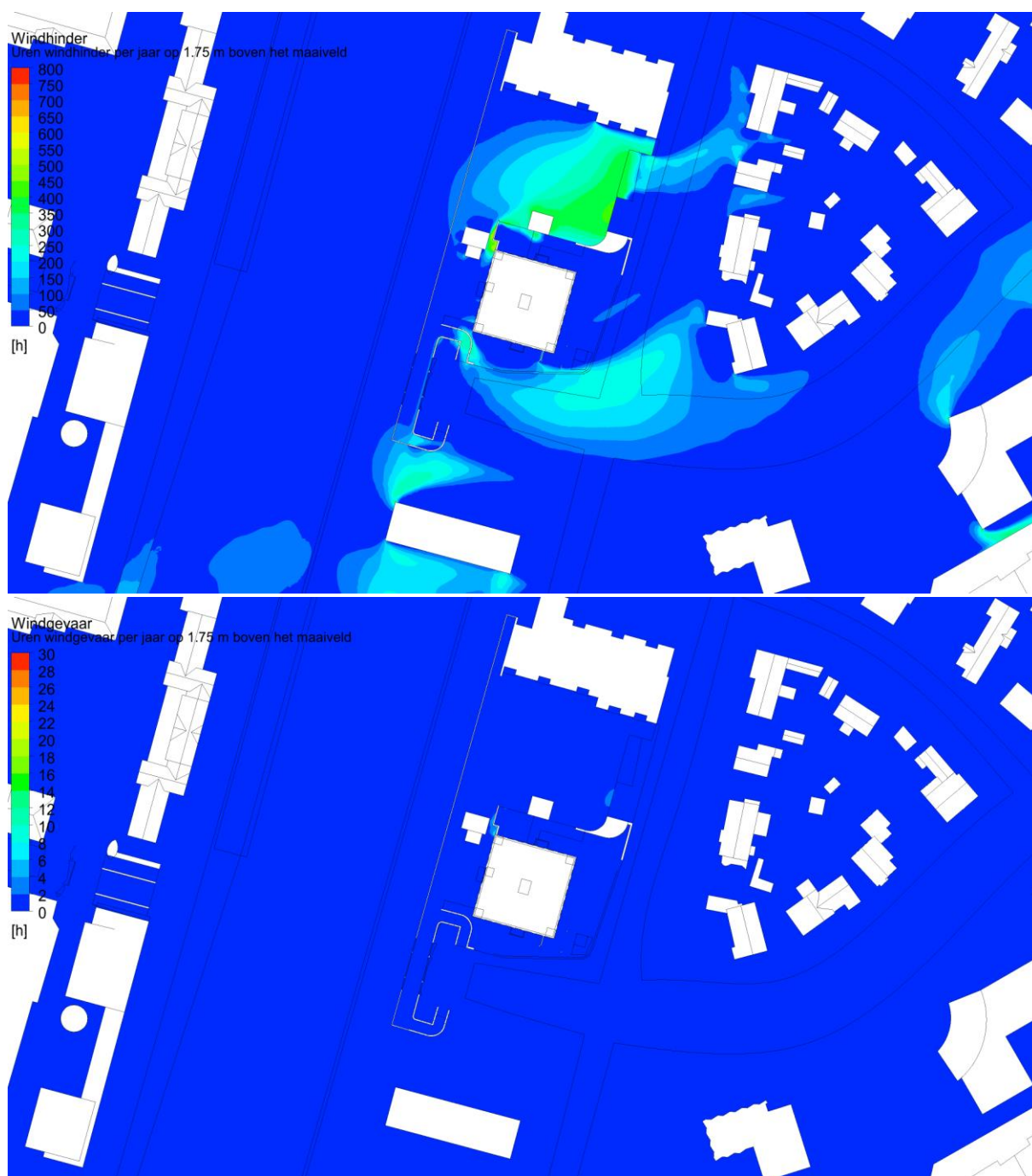


AV WF
Vectoren windfactor op 1.75 m boven het maaiveld

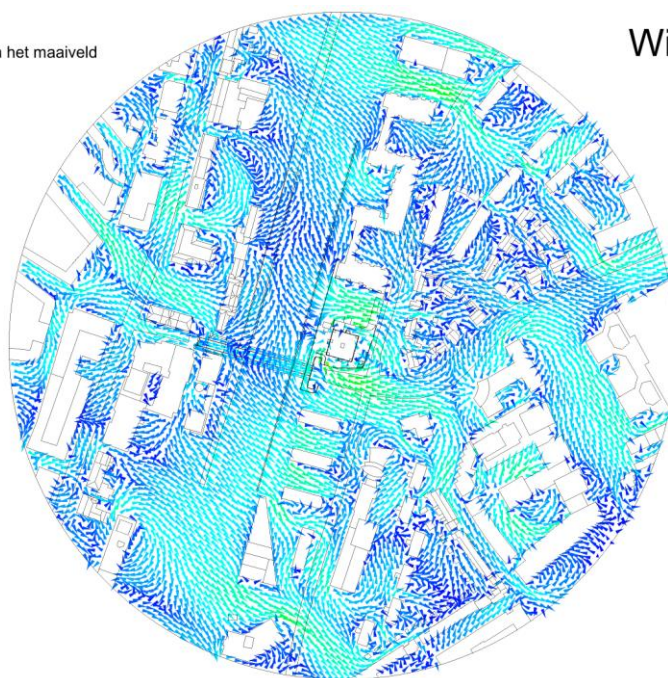
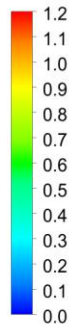


Windrichting = 270

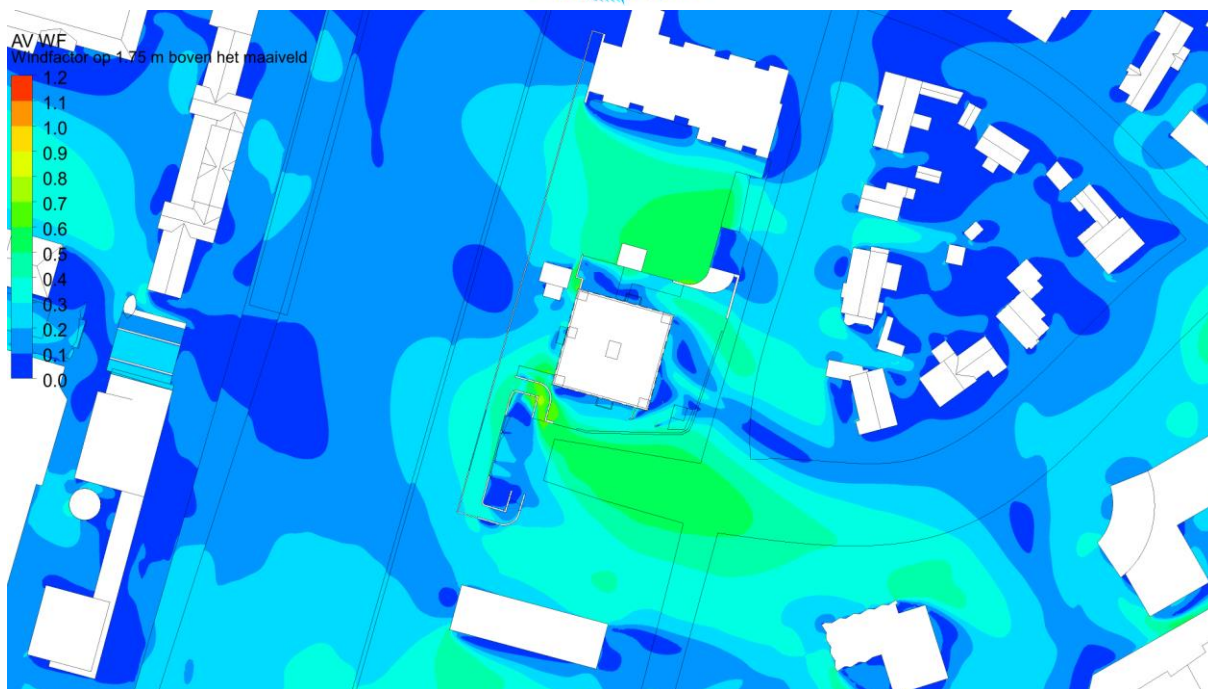


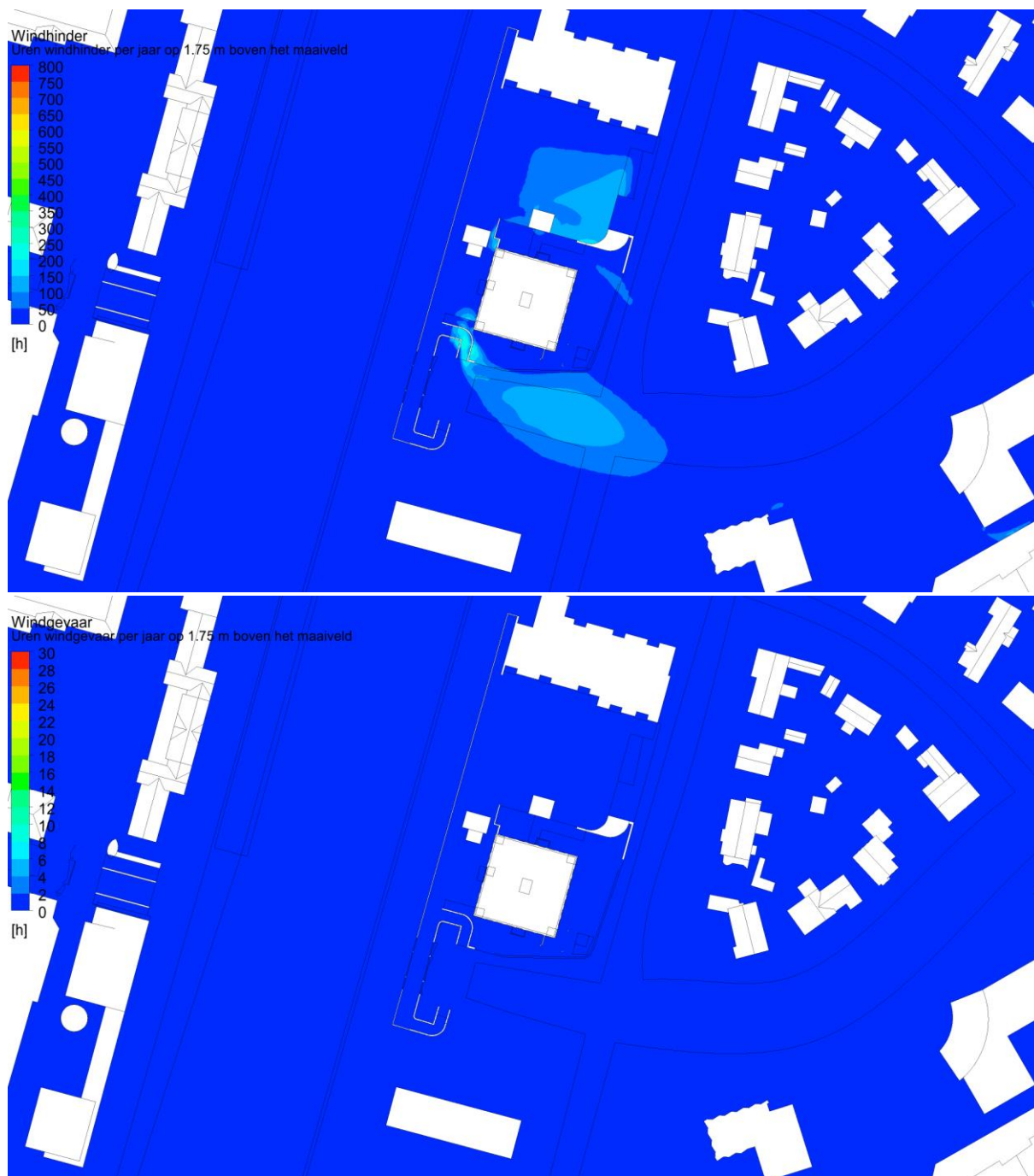


AV WF
Vectoren windfactor op 1.75 m boven het maaiveld

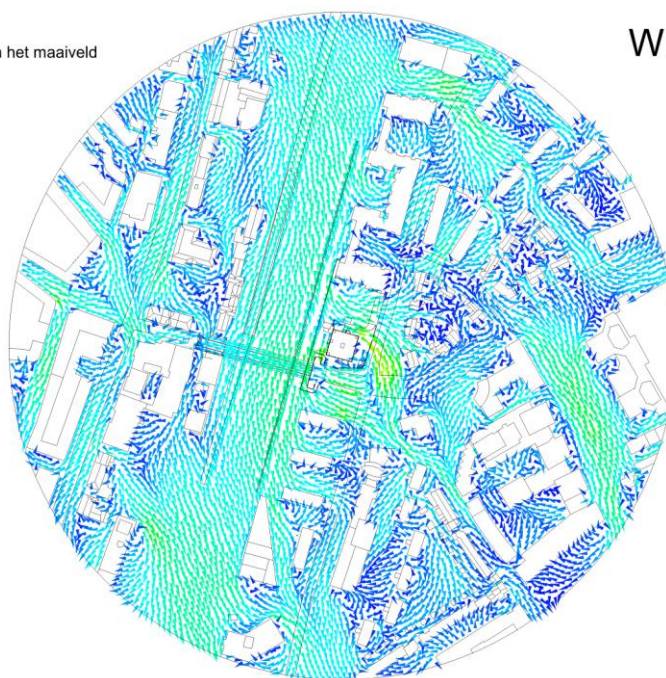
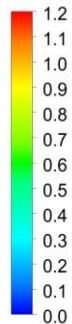


Windrichting = 300

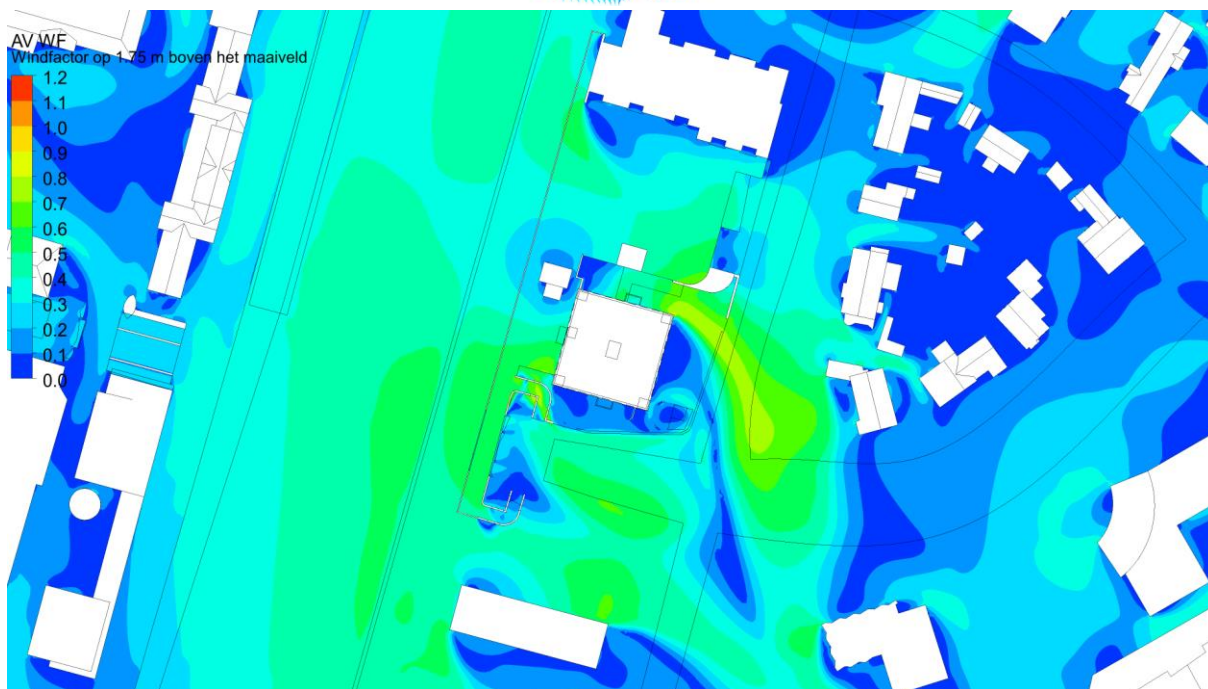


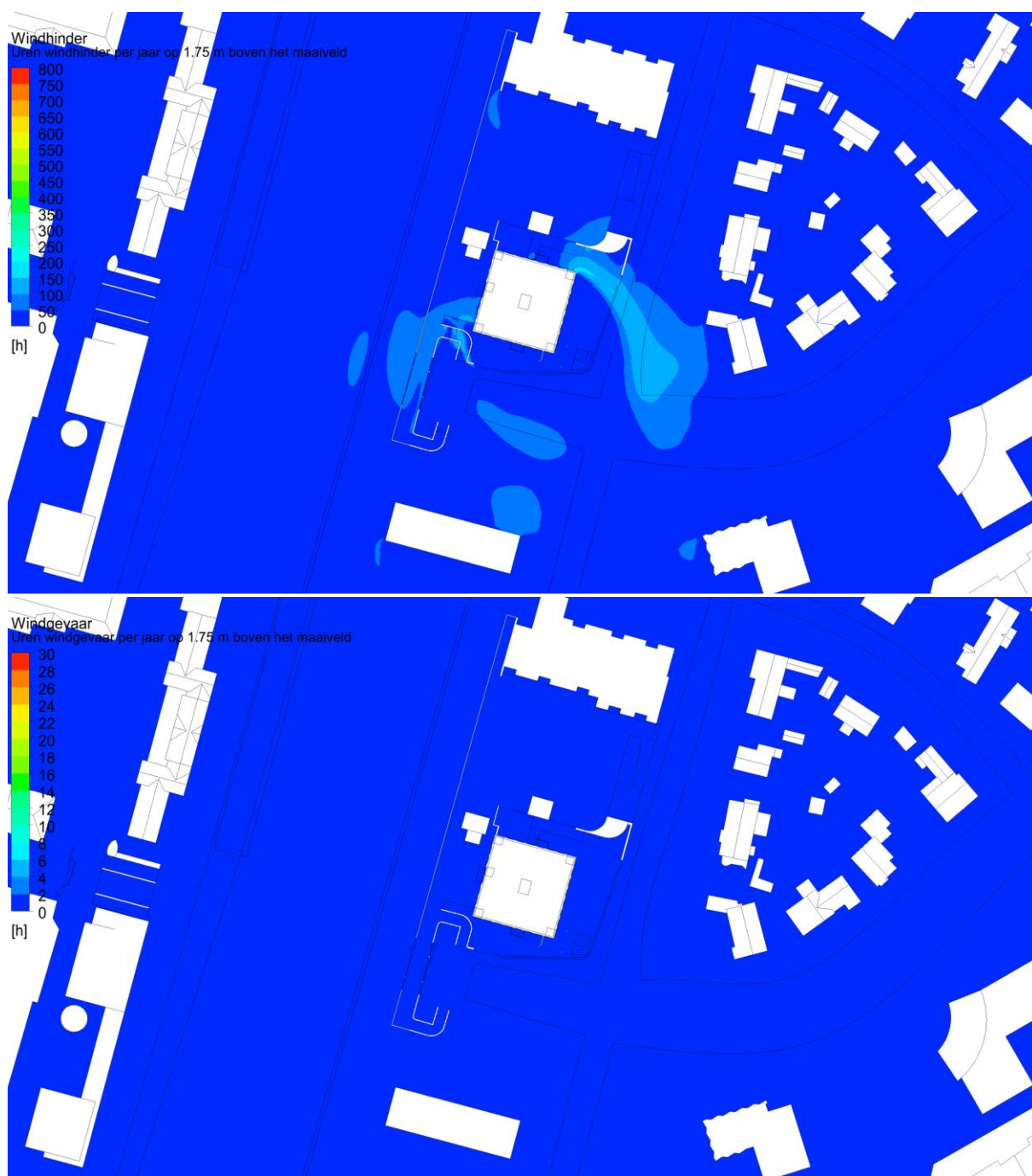


AV WF
Vectoren windfactor op 1.75 m boven het maaiveld



Windrichting = 330





Bijlage B – Technisch inlegvel numerieke simulatie

Project	Projectgegevens
Projectnaam	Windonderzoek Roertoren
Opdrachtgever	Aveco de Bondt
Datum	4 april 2023
Model	Algemene gegevens
Omvang gemodelleerd gebied	300 m
Afmetingen model	1960x1280x410m
Blokkeringsgraad	<5 %
Gemodelleerd groen	Volumetrische weerstandscoefficiënt van 0,25 m ⁻¹
Aantal windrichtingen	12
Onderzochte configuraties	Nieuwbouw
Computeropstelling	Specifieke gegevens van gebruikte programmatuur
Programmatuur	☒ FVM ☐ FEM ☐ anders Ansys CFX 2023 R1
Algemeen	☒ drie-dimensionaal ☒ tijd-onafhankelijk ☐ isothermisch ☐ passieve scalairs ☐ twee-dimensionaal ☐ tijd-afhankelijk ☐ thermisch ☐ actieve scalairs Overige:
Rekenrooster	Hybride, combinatie van hexaëders, tetraëders, piramides en prismalagen Aantal elementen: 66 miljoen
Turbulentiemodellering	RNG κ - ϵ
Convectieve differentieschema's	Snelheidscomponenten: High Resolution (Upwind) Turbulentie grootheden: First order Upwind
Randvoorwaarden	Gebruikte randvoorwaarden
Instroomprofiel	Atmosferische grenslaag stedelijk gebied Ruwheid: 1,6 m Snelheid: 5 m/s op 10 m hoog
Uitlaat	Uitlaat met relatieve druk 0 Pa
Boven-/zijwanden	Opgelegd windprofiel
Vloer/bodem	Ruwheid gemodelleerd door toepassing van volumetrische bronnen voor momentum en turbulentie
Overige	Binnen gemodelleerd gebied Wanden: Glad met stilstaande lucht (no slip)
Gegevensverwerking en beoordeling	Informatie voor locatie en berekening windklimaat
RD-coördinaten	X 197510, Y 356025