Rapport

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

Project: Van der Valk Hotel Zoetermeer

Locatie:	Zoetermeer, Nederland
Onderwerp:	CFD simulaties windhinderonderzoek
Document:	P94121873e100
Datum:	8 april 2021

Project	**Van der Valk hotel Zoetermeer**
Locatie	Zoetermeer, Nederland
Onderwerp	**CFD simulaties windhinderonderzoek**
Document	P94121873e100
Revisie	0
Datum	8 april 2021
Status	Definitief
Auteur	B.A. De Jong
Controle door	S. Stengewis
Opdrachtgever	**PAM Teunissen Architectenburo b.v.** Veurseweg 143 2251 AB Voorschoten Nederland
Contact	P. Teunissen
Uitgever	**ONE Simulations BV** 3e Binnenvestgracht 23K 2312 NR Leiden Nederland +31 (0)71 5680900 info@onesimulations.com www.onesimulations.com

Inhoudsopgave

1 Introductie 4
2 Onderzoeksdoel en beoordelingsmethodiek 4
3 Uitgangspunten 6
3.1 Geometrie 6
3.2 Windklimaat 7
3.3 Windprofiel 8
3.4 CFD modellering 11
4 Resultaten 12
4.1 Windhinder 12
4.2 Windgevaar 18
5 Samenvatting 20
Referenties 22
Bijlage A – CFD simulatieresultaten per windrichting 23
Bijlage B – Omschrijving software en validatielijst 48

1 Introductie

Op verzoek van P.A.M. Teunissen Architectenburo is een windhinderonderzoek uitgevoerd voor het nog te realiseren Van der Valk Hotel, te Zoetermeer.

Het windklimaat rond het Van der Valk hotel is inzichtelijk gemaakt met behulp van Computational Fluid Dynamics (CFD) simulaties aan de hand van de methodiek die omschreven staat in de NEN8100 (1). Er is inzicht verschaft in het windklimaat op straatniveau in de directe omgeving van de ontwikkeling.

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 en beoordelingsmethodiek

Het doel van het onderzoek is het lokale windklimaat op straatniveau in de directe omgeving van het Van der Valk hotel inzichtelijk te maken.

Het lokale windklimaat is inzichtelijk gemaakt aan de hand van de methode omschreven in de NEN8100. De NEN8100 maakt gebruik van een classificatie tabel waarbij de boordeling 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 de 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 nieuwbouwontwikkeling. 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 NEN8100.

De drempelwaarde voor windgevaar is in de NEN8100 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 NEN8100.

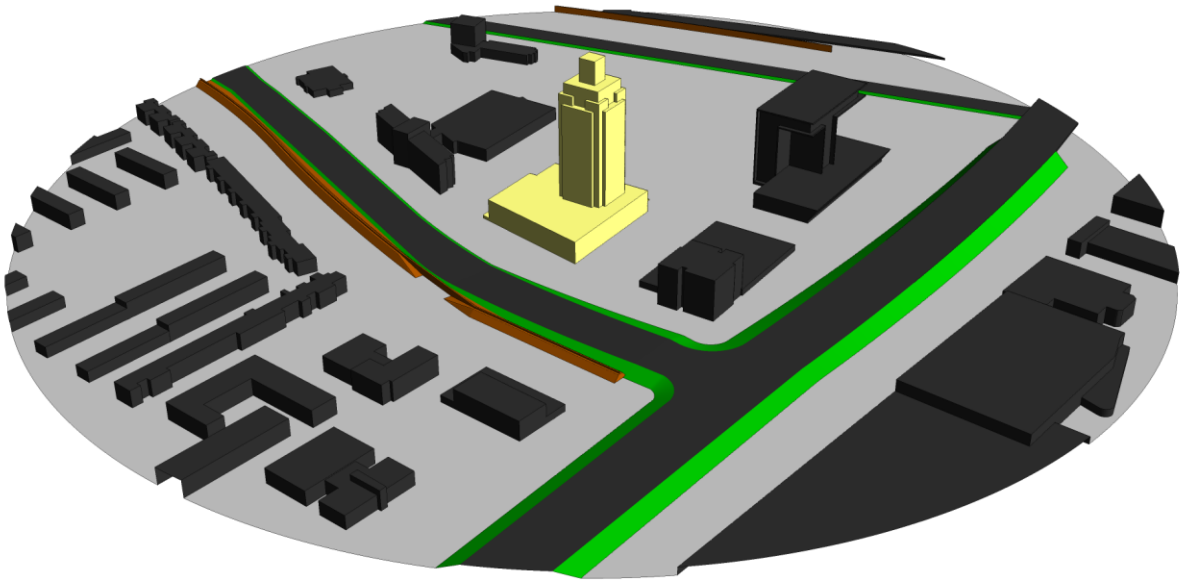
Situaties waarvoor een overschrijdingskans geldt van 0,05 < p < 0,30 mogen alleen worden geaccepteerd als deze vallen binnen de activiteitenklasse Doorlopen. Voor activiteitenklasse Slenteren en Langdurig zitten geldt de eis p ≤ 0,05. Situaties met een overschrijdingskans van p ≥ 0,30 zijn evident gevaarlijk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

3 Uitgangspunten

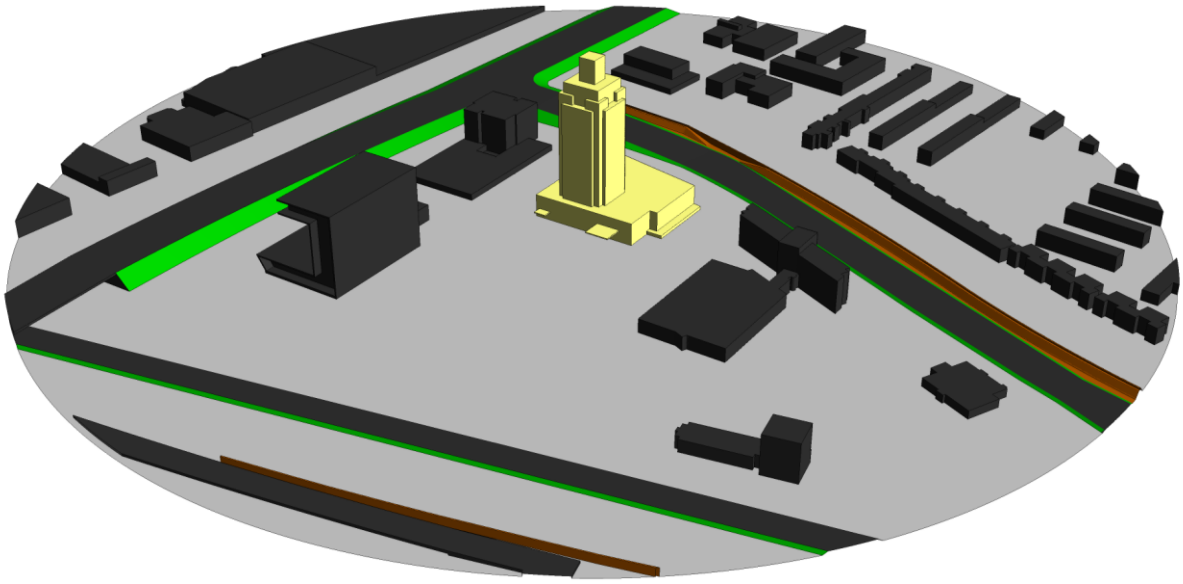
3.1 Geometrie

In Zoetermeer aan de Zilverstraat wordt een nieuw Van der Valk hotel gerealiseerd. Naast hotel kamers komen in hetzelfde gebouw een casino, restaurant en andere faciliteiten. Het gebouw bestaat uit een plint met een hoogte van 12,6 m en een toren met een hoogte van 90 m boven maaiveld.

Het CFD model is gebaseerd op het aangeleverde 3D model. Deze is vanuit twee verschillende aanzichten weergegeven in Figuur 1 en Figuur 2.



Figuur 1: Overzicht van het 3D CFD model met omliggende bebouwing gezien vanuit het zuiden.

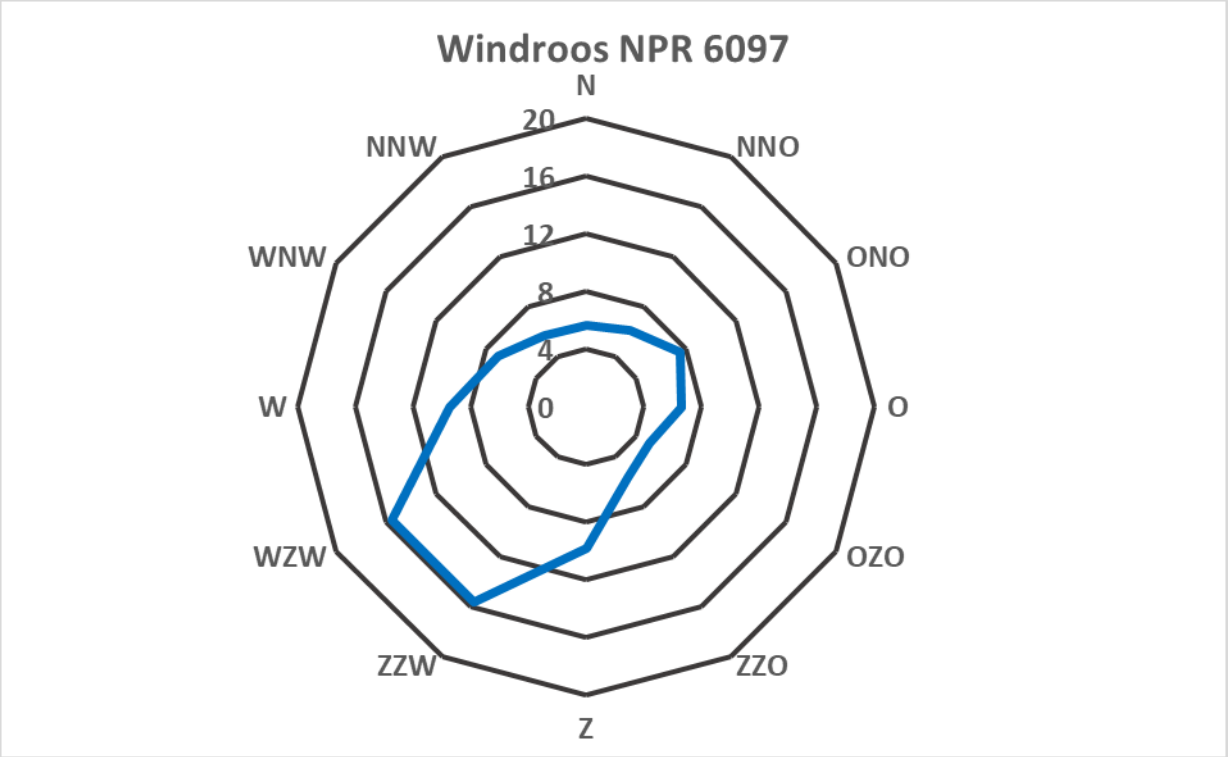


Figuur 2: Overzicht van het 3D CFD model met omliggende bebouwing gezien vanuit het noorden.

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.

De simulaties zijn uitgevoerd voor de 12 windrichtingen zoals aangegeven in de windroos, zie Figuur 3.



Figuur 3: Windroos Van der Valk hotel Zoetermeer 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	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]
0,0 – 0,9	16	12	11	12	13	13	12	14	18	17	16	15
1,0 – 1,9	54	46	39	37	37	39	43	49	55	54	56	51
2,0 – 2,9	76	68	65	55	59	61	74	81	86	77	77	69
3,0 – 3,9	88	85	79	71	70	75	94	110	116	97	87	81
4,0 – 4,9	80	82	86	77	66	78	105	133	137	105	88	77
5,0 – 5,9	70	74	93	84	63	70	104	149	154	101	79	66
6,0 – 6,9	50	63	80	71	50	55	99	141	152	91	61	52
7,0 – 7,9	32	44	64	54	36	36	81	135	144	80	53	37
8,0 – 8,9	17	28	45	40	26	27	69	127	127	59	36	24
9,0 – 9,9	8	18	36	30	15	18	57	106	107	46	26	15
10,0 – 10,9	5	10	26	21	6	11	39	91	80	33	17	8
11,0 – 11,9	2	5	15	12	3	7	29	77	62	25	10	4
12,0 – 12,9	1	3	11	7	2	3	21	52	48	18	6	3
13,0 – 13,9	1	1	7	5	1	1	14	39	30	13	2	1
14,0 – 14,9	0	1	4	2	0	1	9	25	21	7	1	1
15,0 – 15,9	0	0	1	1	0	0	5	17	13	5	1	0
16,0 – 16,9	0	0	0	1	0	0	3	10	7	3	0	0
17,0 – 17,9	0	0	0	0	0	0	2	6	4	2	0	0
18,0 – 18,9	0	0	0	0	0	0	1	3	2	1	0	0
19,0 – 19,9	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0
20,0 – 20,9	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
21,0 – 21,9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

Tabel 3: Overzicht van de jaargemiddelde frequentie van de windsnelheid per richting bij het Van der Valk Hotel volgens NPR 6097.

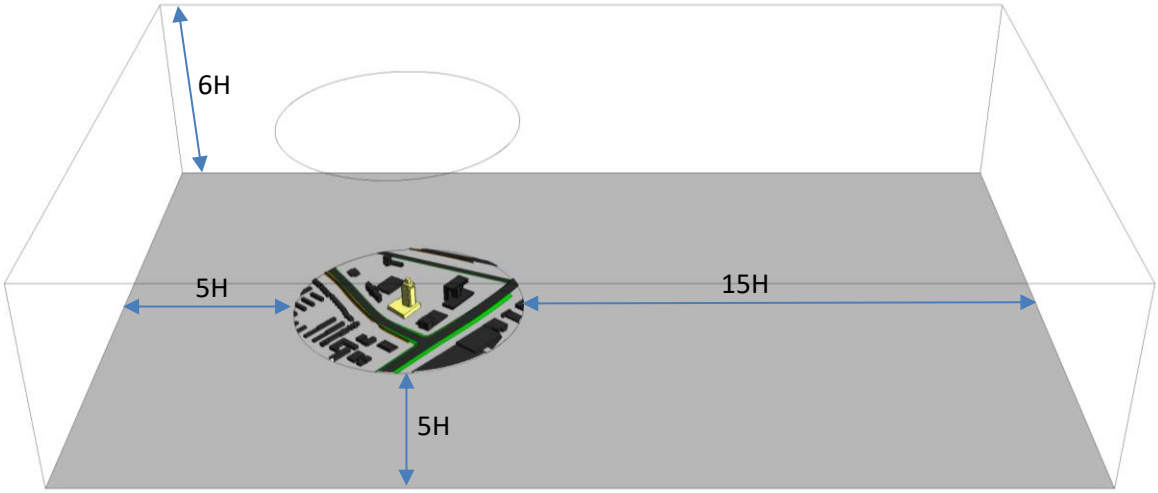
3.3 Windprofiel

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 (2). De ruwheidslengte voor het gebied rondom het Van der Valk hotel is vastgesteld door middel van de NPR 6097 (3) 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.



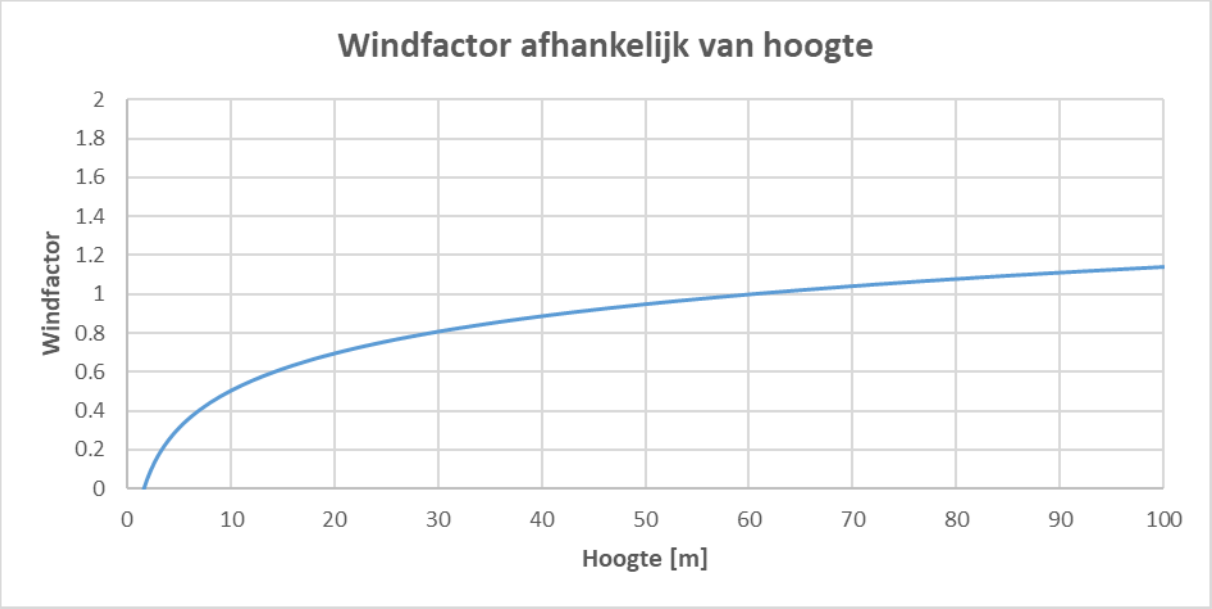
Figuur 4: Winddomein om het gemodelleerde gebied heen, ten behoeve van het windprofiel (digitale windtunnel).

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 2020 R2. Dit software pakket is geschikt voor vele toepassingen en in ruime mate gevalideerd. In Bijlage B staat een omschrijving van de software en validatielijst voor deze toepassing.

Er is een 3D model gecreëerd van het gebied rondom het Van de Valk hotel. 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 4 staan de belangrijkste toegepaste randvoorwaarden beschreven.

Parameter	Beschrijving
Cel type	Hybride, combinatie van hexaëders, tetraëders, piramides en prismalagen
Cel grootte	Dynamisch, variërend tussen 0,025 tot 1,0 m in de omgeving (vlakken) groeiend met een factor 1,2 tot maximaal 12 m in het vrije volume
Aantal cellen	17,7 miljoen
Simulatie type	Steady state
Convergentie criteria	RMS maximaal $1 \cdot 10^{-4}$
Tijdstap	2,5 s
Aantal iteraties	1000
Fluïde	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) Sandgrainroughness: - 0.050 m op straten
Randen winddomein	Snelheids- en turbulentieprofiel
Ruwheid winddomein	Gemodelleerd door toepassing van volumetrische bronnen voor momentum en turbulentie net boven het maaiveld

Tabel 4: 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) 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 NEN8100 op 1,75 m boven de grond. Figuur 7 toont dezelfde kwaliteitsklassen gefocust op het gebied rond het Van der Valk hotel.

In de woonwijk ten zuidwesten van de nieuwe toren wordt voornamelijk kwaliteitsklasse A behaald en in sommige gebieden kwaliteitsklasse B en C. Deze klassen worden volgens de NEN8100 gekwalificeerd als goed voor de activiteit doorlopen. Uit de figuren wordt duidelijk dat de nieuwe toren voor de bestaande woonwijken en de bedrijven ten zuidwesten geen hinder veroorzaakt. De voornaamste reden is dat een noordoost windrichting weinig voorkomt (zie ook de windroos in Figuur 3).

Er is een vrij lange strook met kwaliteitsklasse E in de figuren te zien op enige afstand van de nieuwbouw (ongeveer 150 m ten zuidoosten). Dit wordt veroorzaakt door de N470 vierbaanse weg, waar geen beschutting is en de wind daardoor kan versnellen. Deze weg loopt van het zuidwesten naar het noordoosten en loopt dus precies in de richting van de meest voorkomende windrichting. Toch zal hier geen hinder worden ervaren omdat de N470 geen ruimte biedt voor voetgangers en fietsers.

Aan de zuidwest gevel van het Van der Valk hotel wordt grotendeels klasse B gehaald. Aan de noordoostgevel wordt grotendeels klasse A behaald. Twee ingangen, met luifel, worden in deze gevel gerealiseerd. Bij de ingang nabij de oostelijke hoek van het gebouw wordt kwaliteitsklasse C behaald.

Er zijn drie locaties in de directe omgeving van het Van der Valk hotel waar kwaliteitsklasse E wordt behaald. De locaties zijn aangegeven in Figuur 7.

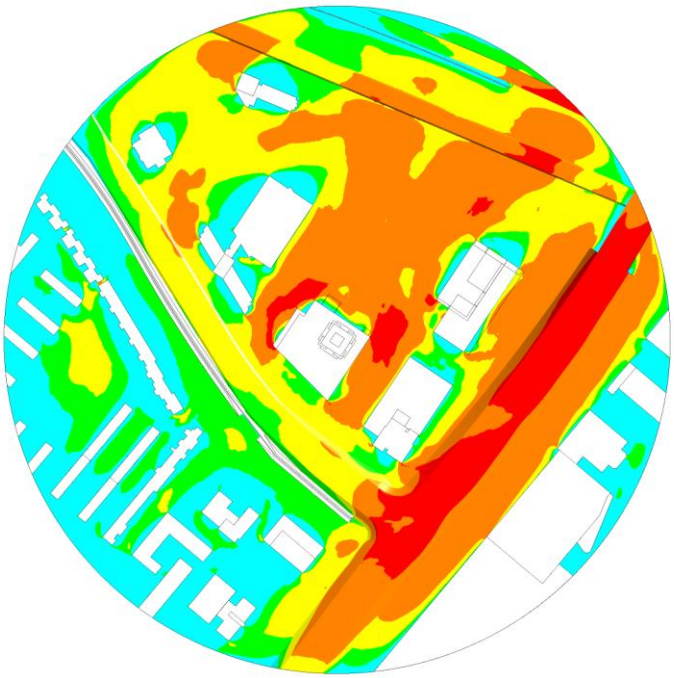
De eerste locatie is aan de noordwest zijde van het gebouw. Op deze locatie versnelt de lucht tussen de plint van het Van der Valk hotel en het naastgelegen gebouw. Dit gebeurd met name tijdens een zuidzuidwestelijke wind (windrichting 210). In Figuur 8 is dit inzichtelijk gemaakt door middel van stroomlijnen.

De tweede locatie is gelegen aan de oostpunt van het Van der Valk hotel. De grootste bijdrage aan de kwaliteitsklasse E in dit gebied is de westzuidwestelijke (windrichting 240). De wind staat dan loodrecht op de zuidwestelijke gevel van de plint. Door de scherpe zuidpunt van de plint ontstaat er bij deze windrichting een gebied van lage druk langs de oostgevel. De wind stroomt over plint heen en duikt in dit lage druk gebied waar het vervolgens versneld op straatniveau. Dit wordt getoond in Figuur 9.

De derde locatie is een klein gebied bij het gebouw ten noordoosten van het Van der Valk hotel. Door de 210 windrichting ontstaat er bij één van de hoekpunten van dit gebouw een gebied met een

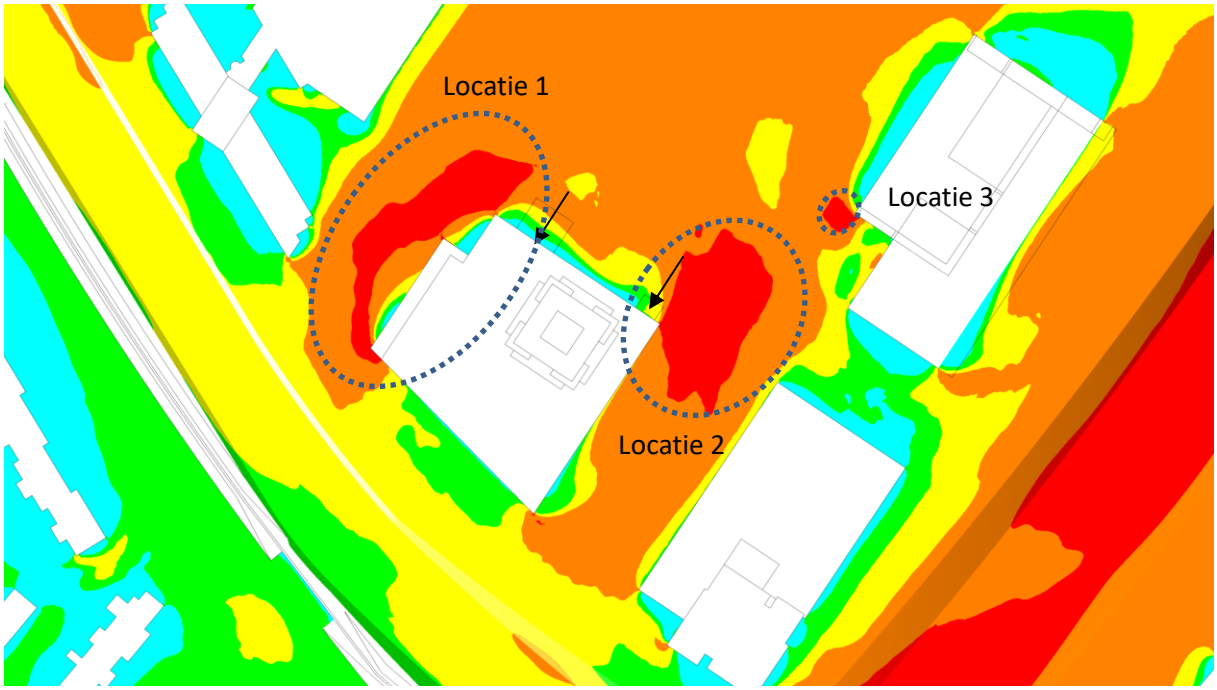
relatief hoog aantal uren windhinder. Dit is echter niet te wijten aan het Van der Valk hotel, zoals in Figuur 10 met stroomlijnen duidelijk is gemaakt.

De eerder genoemde eerste en tweede locatie met kwaliteitsklasse E worden met name veroorzaakt door vorm van de 12,6 m hoge plint van het Van der Valk hotel en niet door de 90 m hoge toren. De derde locatie wordt niet door het Van der Valk hotel gecreëerd, maar door het naastgelegen gebouw zelf. Het is dan ook aannemelijk dat kwaliteitsklasse E op deze locatie ook in de huidige situatie (zonder het Van der Valk hotel) bestaat.



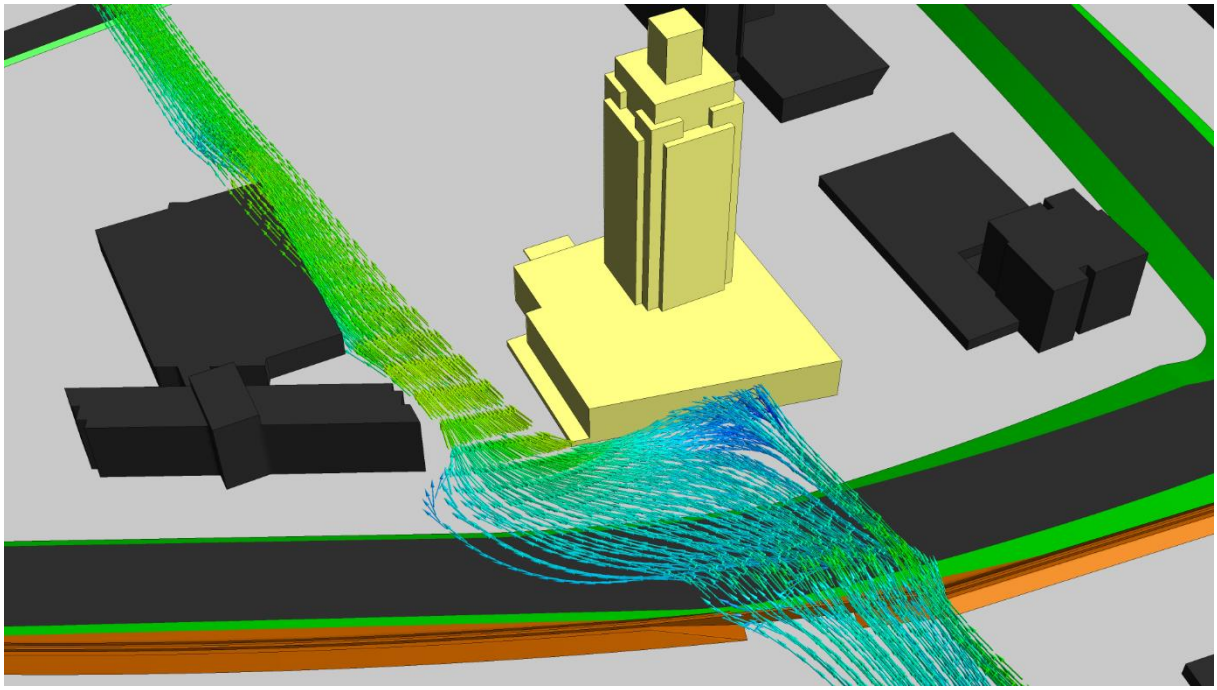
Overschrijdingskans In procenten van het aantal uren per jaar	Kwaliteitsklasse	Activiteiten		
		Doorlopen	Slenteren	Langdurig zitten
<2,5	A	Goed	Goed	Goed
2,5 – 5	B	Goed	Goed	Matig
5 – 10	C	Goed	Matig	Slecht
10 – 20	D	Matig	Slecht	Slecht
>20	E	Slecht	Slecht	Slecht

Figuur 6: Kwaliteitsklasse op 1,75 meter boven straatniveau volgens de NEN8100 rond de ontwikkeling.

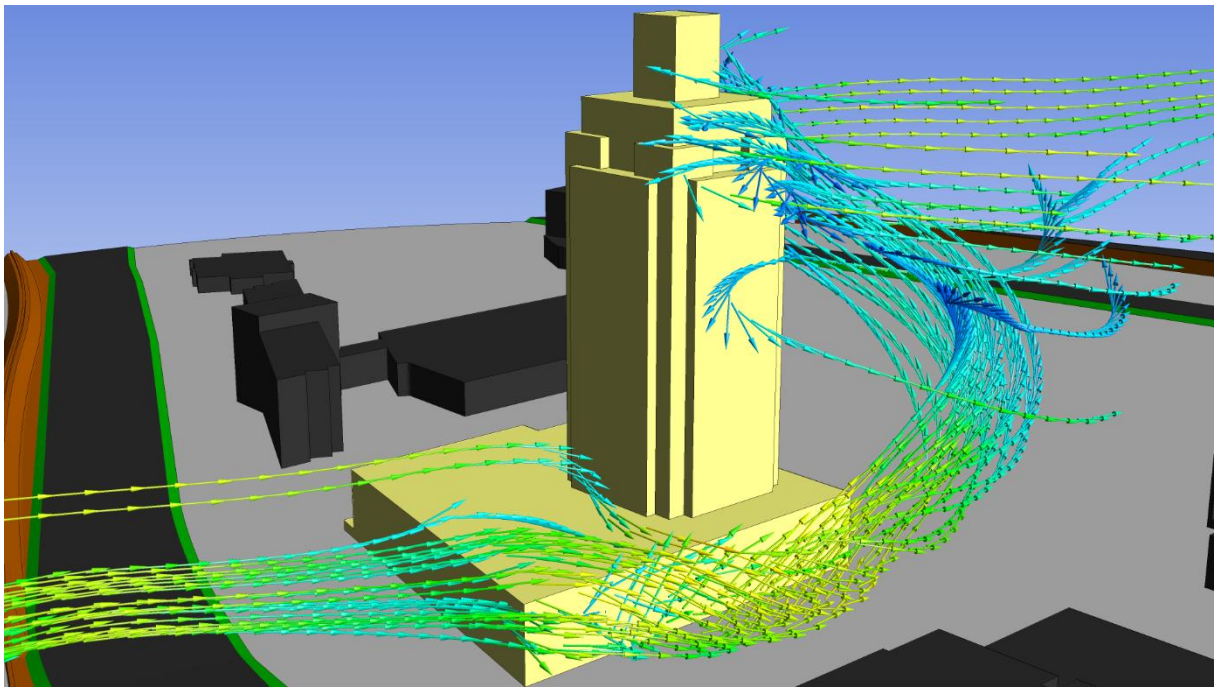


Overschrijdingskans In procenten van het aantal uren per jaar	Kwaliteitsklasse	Activiteiten		
		Doorlopen	Slenteren	Langdurig zitten
<2,5	A	Goed	Goed	Goed
2,5 – 5	B	Goed	Goed	Matig
5 – 10	C	Goed	Matig	Slecht
10 – 20	D	Matig	Slecht	Slecht
>20	E	Slecht	Slecht	Slecht

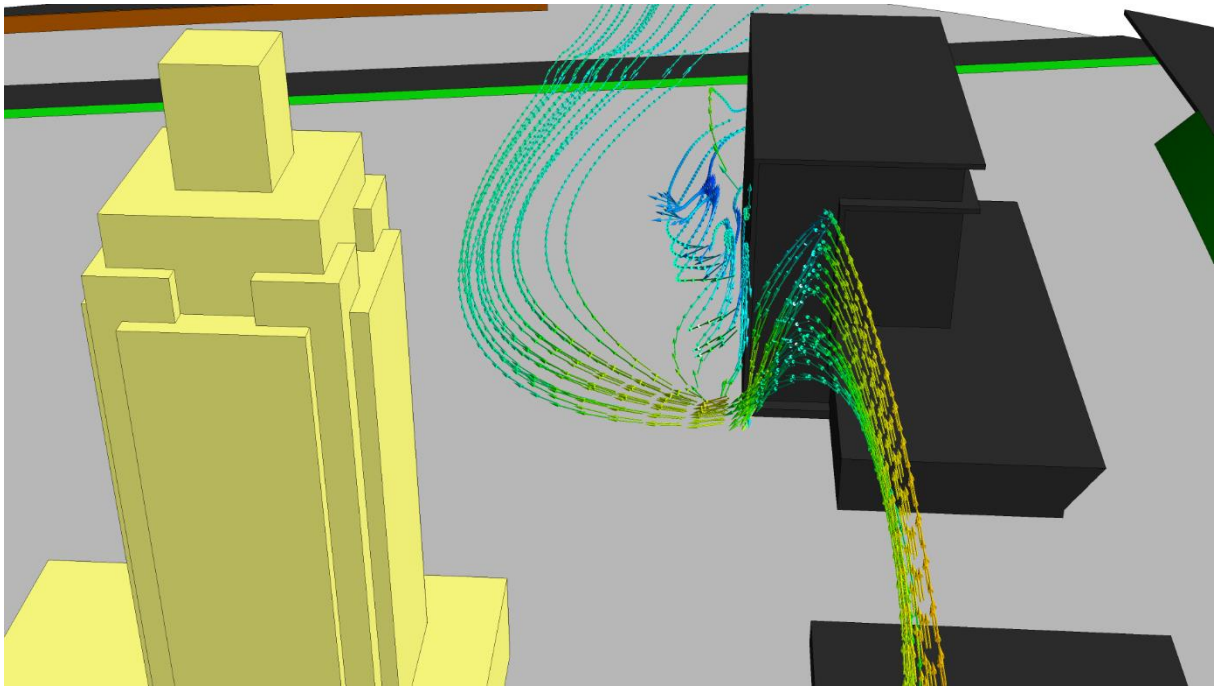
Figuur 7: Kwaliteitsklasse op 1,75 meter boven straatniveau volgens de NEN8100 rond de ontwikkeling. De pijlen geven de geplande ingangen aan voor het Van der Valk hotel. Omcirkeld zijn 3 locaties waar kwaliteitsklasse E wordt behaald.



Figuur 8: Stroomlijnen voor de 210 windrichting. De lucht versneld tussen het Van der Valk hotel en het naastgelegen gebouw.



Figuur 9: Stroomlijnen voor de 240 windrichting. De lucht duikt over de plint van het Van der Valk hotel en versneld hierbij op straatniveau.



Figuur 10: Stroomlijnen voor de 210 windrichting. De lucht stroomt bijna loodrecht op de gevel aan duikt vervolgens omlaag en versneld om het hoekpunt van het gebouw.

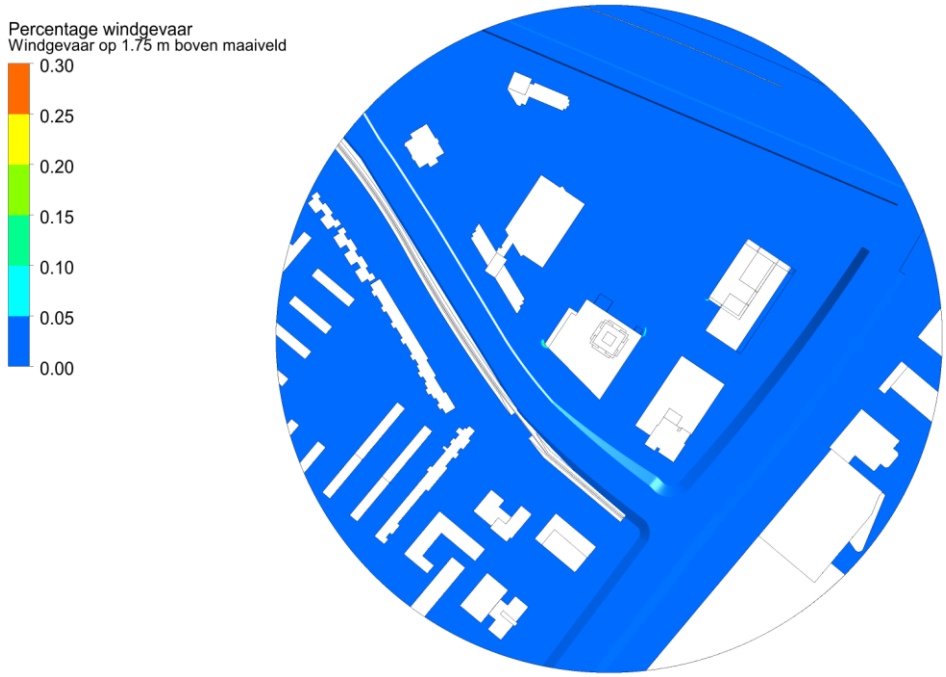
4.2 Windgevaar

In de NEN8100 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.

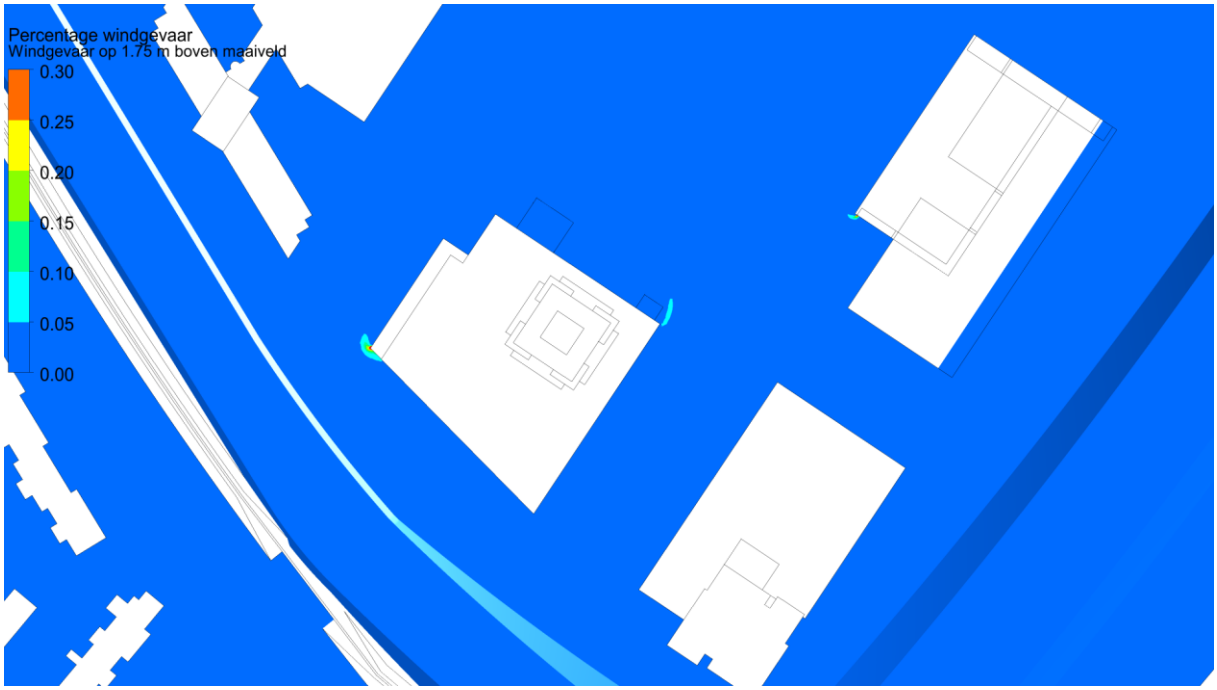
In Figuur 11 wordt het percentage overschrijding van windgevaar op 1,75 m boven het grondvlak op jaarbasis weergegeven volgens de boordeling uit de NEN8100. Figuur 12 toont hetzelfde gefocust op het gebied rond het Van der Valk hotel.

Bij de westelijke en oostelijke hoeken van het Van der Valk hotel ontstaat er meer dan 0,05% per jaar windgevaar. Bij de westelijke hoek is dit zeer lokaal meer dan 0,30% per jaar. Dit ontstaat met name tijdens een zuidelijke wind (windrichting 180) waarbij de wind om de scherpe hoeken van de plint heen versnelt.

Er is ook een klein gebied te zien bij een hoek van het gebouw ten noordoosten van het Van der Valk hotel waar ook een beperkt risico geldt. Echter dit wordt niet veroorzaakt door het Van der Valk hotel, zoals weergegeven in Figuur 10 van het hoofdstuk windhinder.



Figuur 11: Percentage windgevaar per jaar op 1,75 m boven het maaiveld voor de ontwikkeling.



Figuur 12: Percentage windgevaar per jaar op 1,75 m boven het maaiveld voor de ontwikkeling, ingezoomd op het gebied rond het Van der Valk hotel.

5 Samenvatting

Op verzoek van P.A.M. Teunissen Architectenburo is een windhinderonderzoek uitgevoerd voor het nog te realiseren Van der Valk Hotel, te Zoetermeer. Het windklimaat is inzichtelijk gemaakt met behulp van Computational Fluid Dynamics (CFD) simulaties aan de hand van de methodiek die omschreven staat in de NEN8100 (1). Aan de hand van de NEN8100 is inzicht verschaft in het windklimaat op straatniveau rond de ontwikkeling.

De CFD resultaten tonen dat de nieuwe toren voor de bestaande woonwijken en de bedrijven ten zuidwesten geen hinder veroorzaakt.

Aan de zuidwest gevel van het Van der Valk hotel wordt grotendeels klasse B gehaald. Aan de noordoostgevel wordt grotendeels klasse A behaald. Twee ingangen, met luifel, worden in deze gevel gerealiseerd. Bij de ingang nabij de oostelijke hoek van het gebouw wordt kwaliteitsklasse C behaald.

Er zijn drie locaties in de directe omgeving van het Van der Valk hotel waar kwaliteitsklasse E wordt behaald.

De eerste locatie is aan de noordwest zijde van het gebouw. Op deze locatie versnelt de lucht tussen de plint van het Van der Valk hotel en het naastgelegen gebouw. Dit gebeurd met name tijdens een zuidzuidwestelijke wind (windrichting 210).

De tweede locatie is gelegen aan de oostpunt van het Van der Valk hotel. De grootste bijdrage aan de kwaliteitsklasse E in dit gebied is de westzuidwestelijke (windrichting 240). De wind staat dan loodrecht op de zuidwestelijke gevel van de plint. Door de scherpe zuidpunt van de plint ontstaat er bij deze windrichting een gebied van lage druk langs de oostgevel. De wind stroomt over plint heen en duikt in dit lage druk gebied waar het vervolgens versneld op straatniveau.

De derde locatie is een klein gebied bij het gebouw ten noordoosten van het Van der Valk hotel. Door de 210 windrichting ontstaat er bij één van de hoekpunten van dit gebouw een gebied met een relatief hoog aantal uren windhinder. Dit is echter niet te wijten aan het Van der Valk hotel.

De eerder genoemde eerste en tweede locatie met kwaliteitsklasse E worden met name veroorzaakt door vorm van de 12,6 m hoge plint van het Van der Valk hotel en niet door de 90 m hoge toren. De derde locatie wordt niet door het Van der Valk hotel gecreëerd, maar door het naastgelegen gebouw zelf. Het is dan ook aannemelijk dat kwaliteitsklasse E op deze locatie ook in de huidige situatie (zonder het Van der Valk hotel) bestaat.

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 5: Kwaliteitsklassen volgens de NEN8100.

Bij de westelijke en oostelijke hoeken van het Van der Valk hotel ontstaat er meer dan 0,05% per jaar windgevaar. Bij de westelijke hoek is dit zeer lokaal meer dan 0,30% per jaar. Dit ontstaat met name tijdens een zuidelijke wind (windrichting 180) waarbij de wind om de scherpe hoeken van de plint heen versnelt.

Er is ook een klein gebied te zien bij een hoek van het gebouw ten noordoosten van het Van der Valk hotel waar ook een beperkt risico geldt. Echter dit wordt niet veroorzaakt door het Van der Valk hotel.

Referenties

1. **NEN 8100 Windhinder en windgevaar in de gebouwde omgeving. Delft : Nederlands Normalisatie-instituut, februari 2006.**

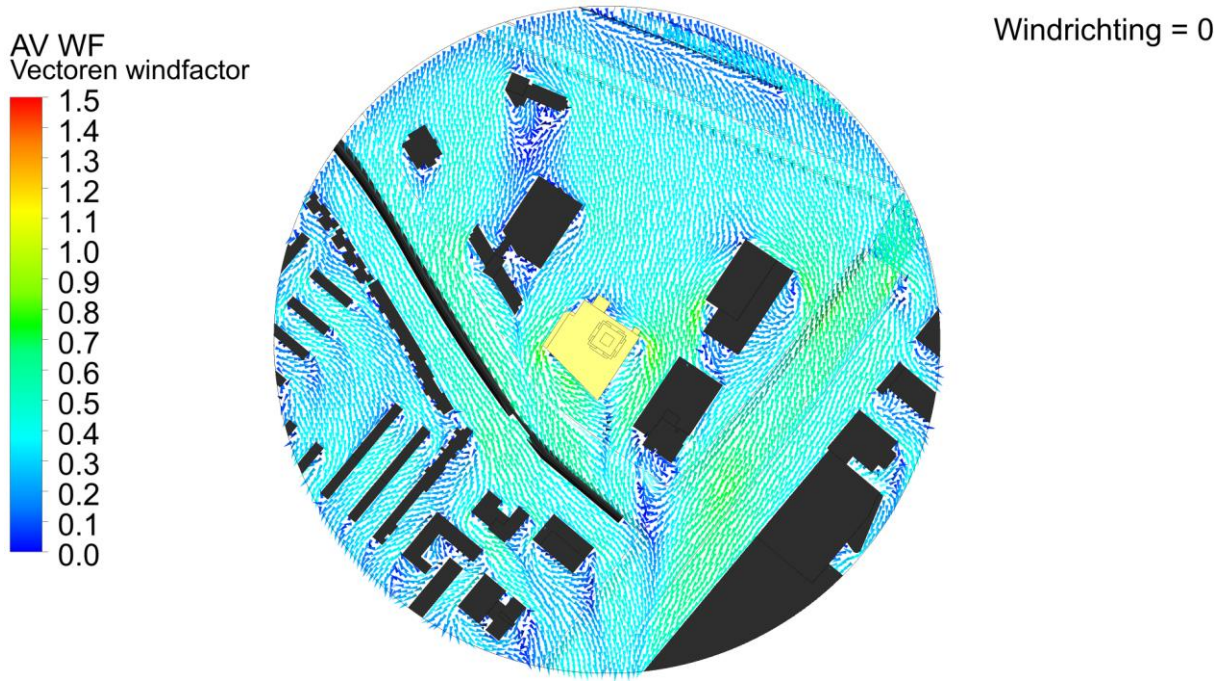
2. Troen, Ib and Petersen, Erik Lundtang. ***Roughness Classes and Roughness Length Table in "European Wind Atlas".*** **Risoe , Denmark : Risoe National Laboratory, 1991. ISBN 87-550-1482-8.**

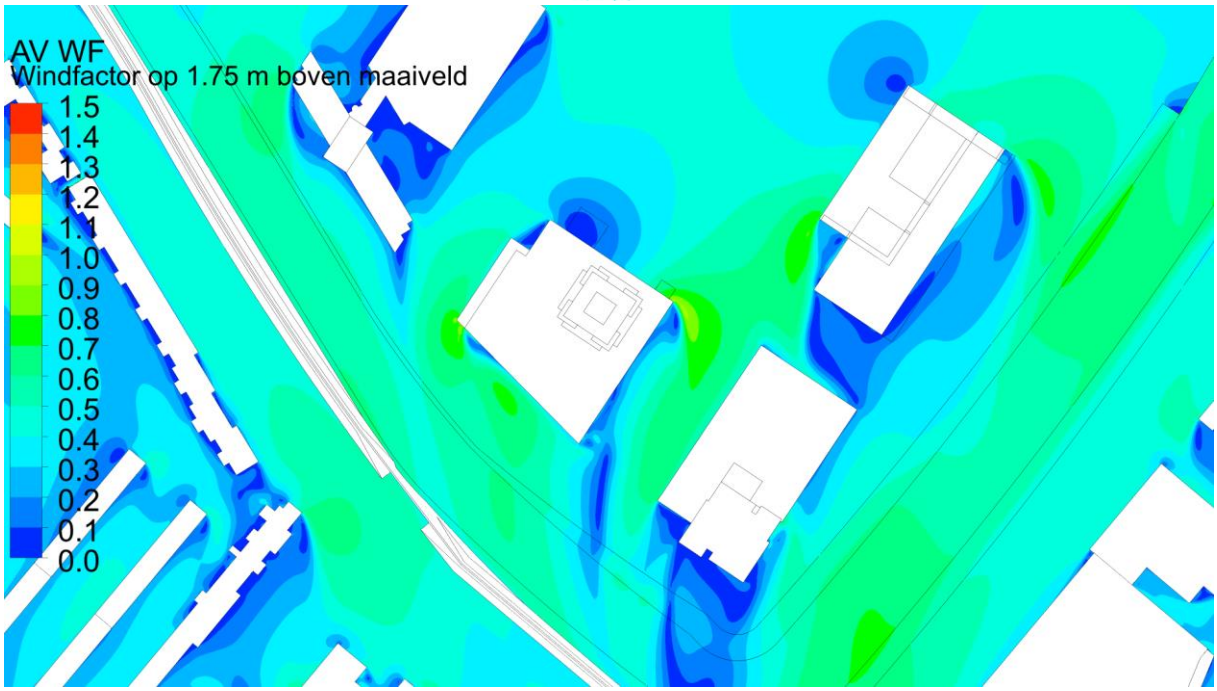
3. Nederlandse Normalisatie-instituut. ***Toepassing van de statistiek van de uurgemiddelde windsnelheden voor Nederland.*** **Delft : s.n., 2006. NPR 6097.**

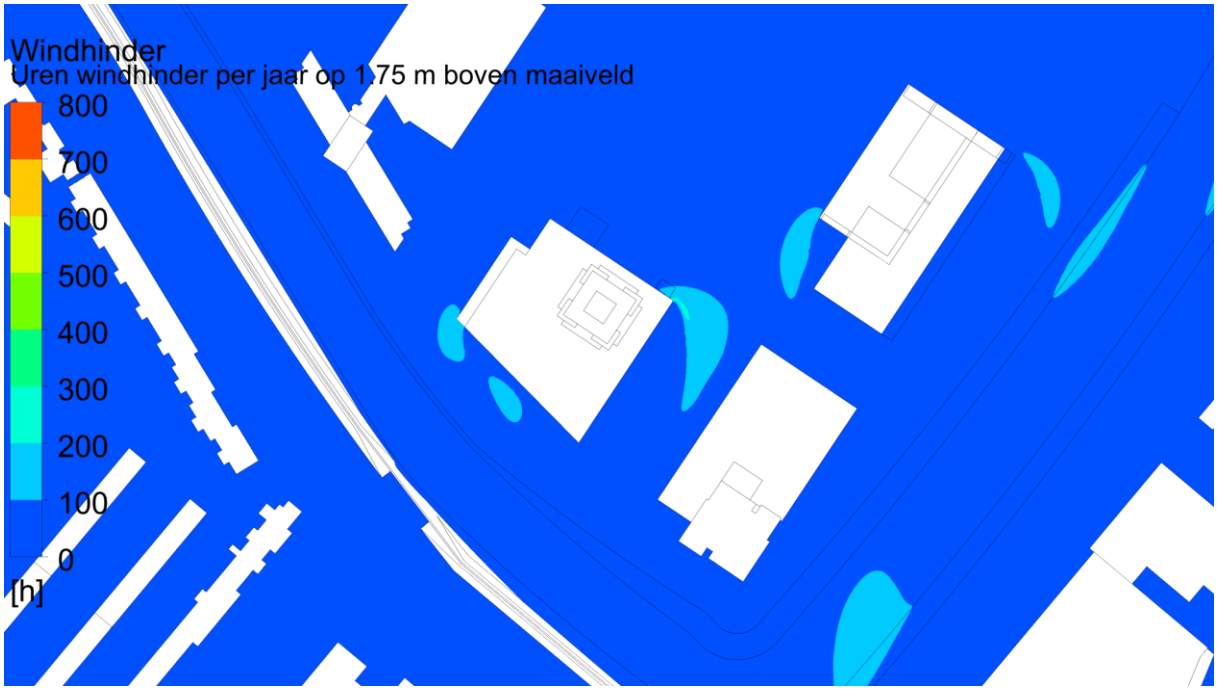
Bijlage A – CFD simulatieresultaten per windrichting

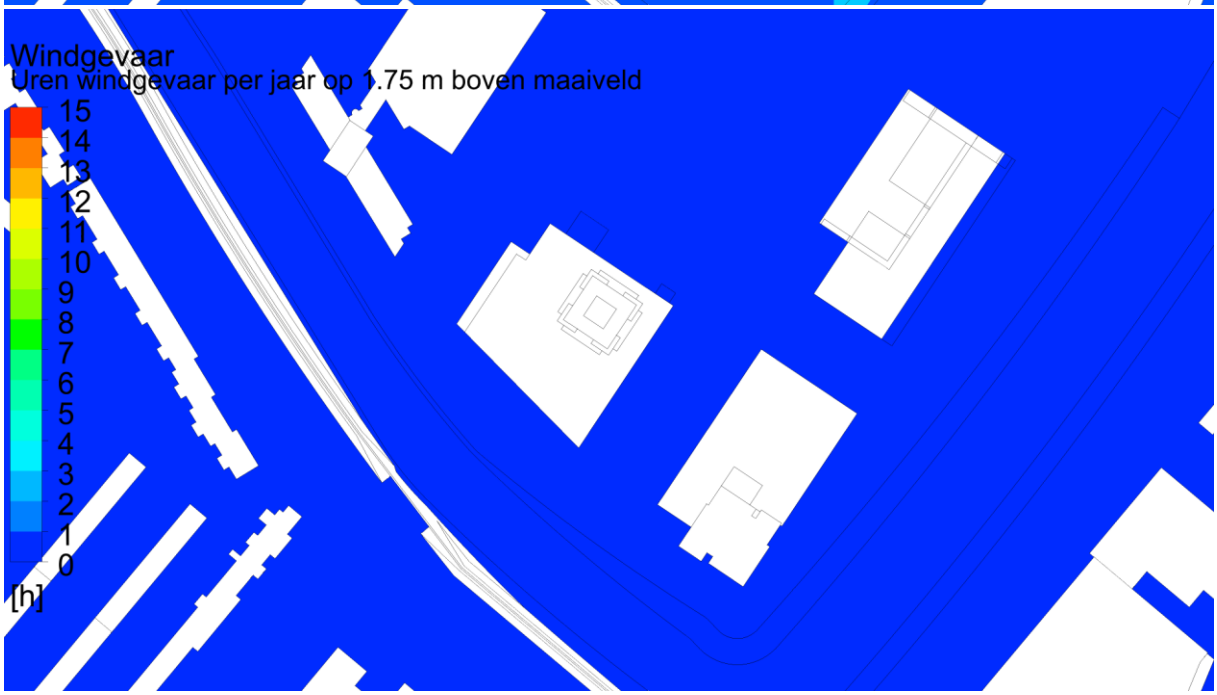
Op de volgende pagina's worden de CFD simulatieresultaten per windrichting weergeven op 1,75 m boven het grondvlak. Voor iedere windrichting is het volgende weergeven:

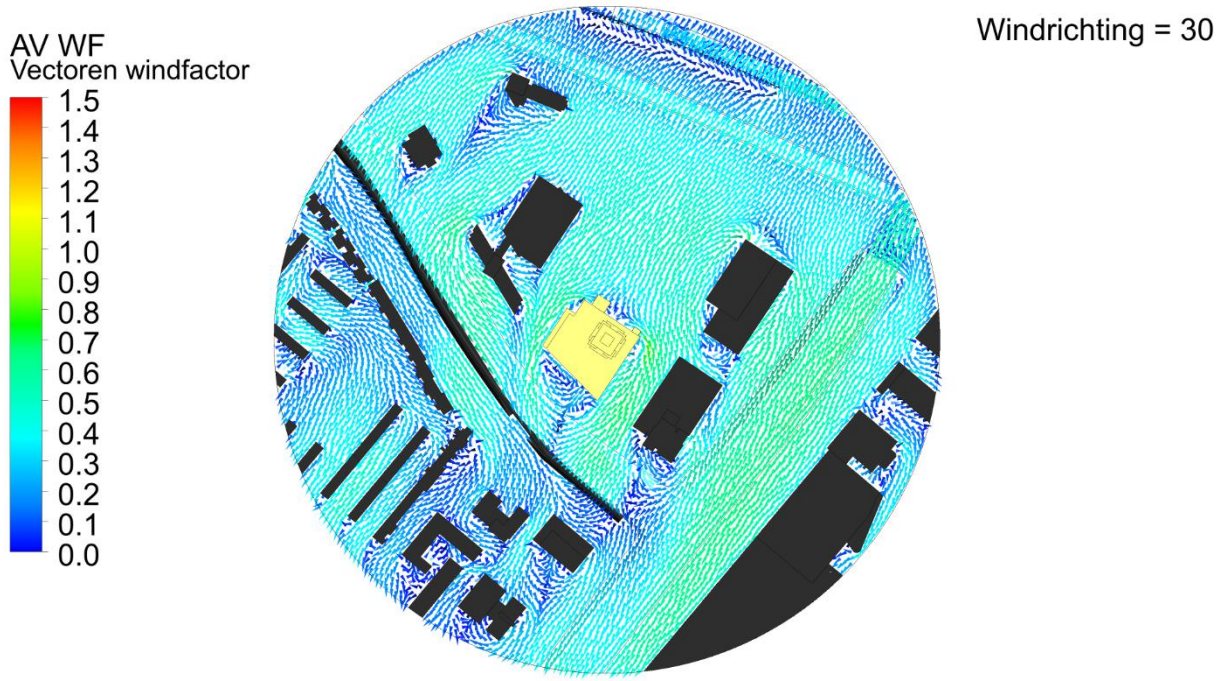
- Snelheidsvectoren gekleurd met windfactor
- Bovenaanzicht van een contour gekleurd met de windfactor
- Bovenaanzicht van een contour gekleurd met de uren windhinder per jaar
- Bovenaanzicht van een contour gekleurd met de uren windgevaar per jaar

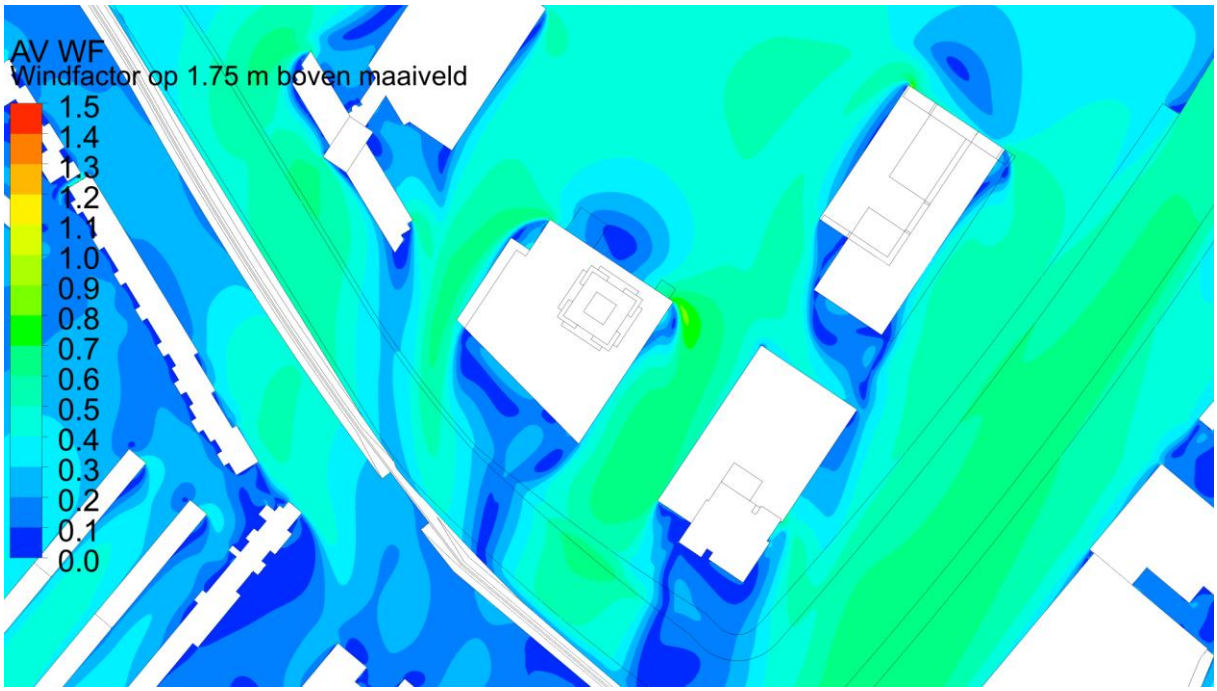

AV WF
Vectoren windfactor
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
Windrichting = 0

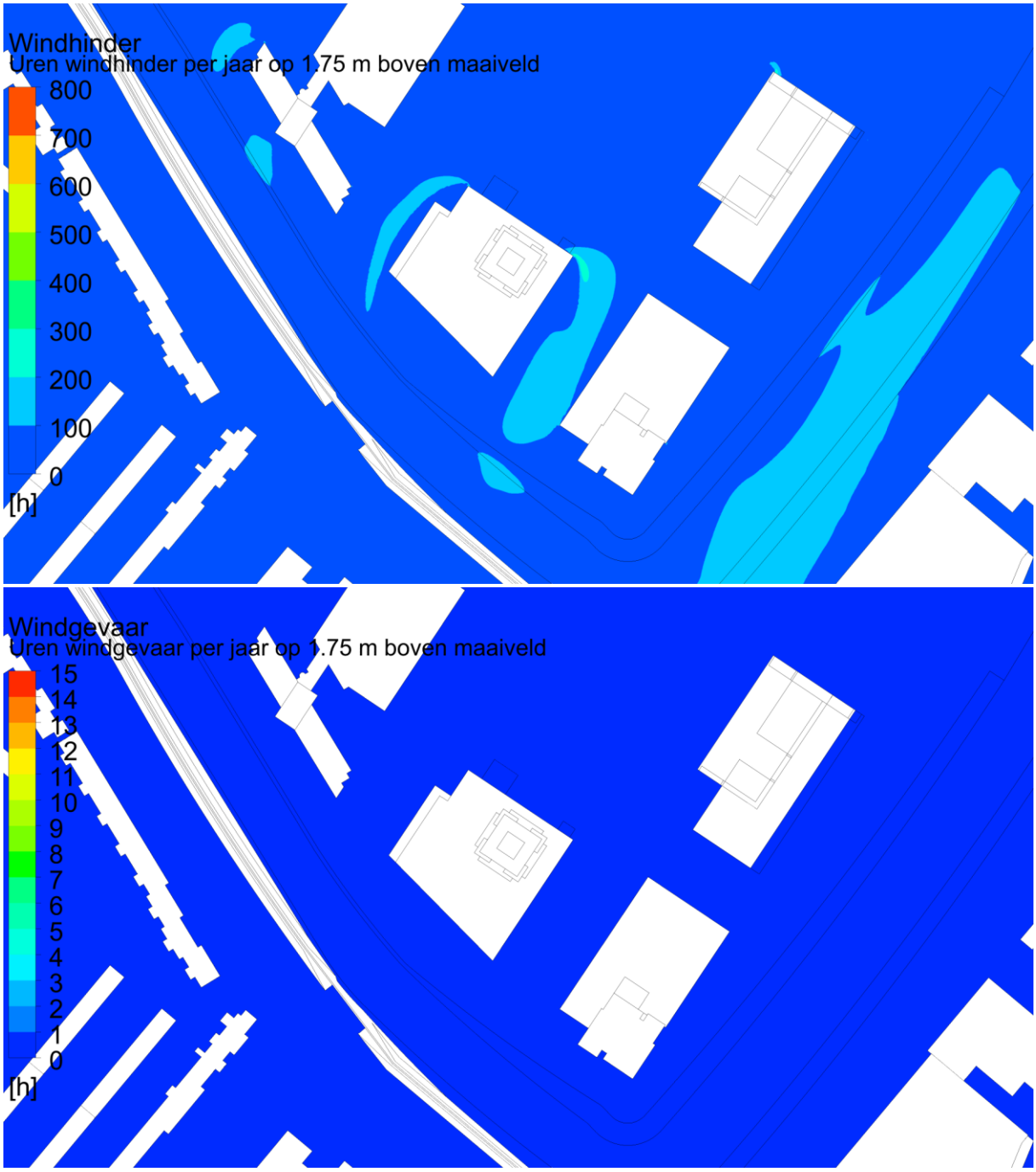

AV WF
Windfactor op 1.75 m boven maaiveld
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0

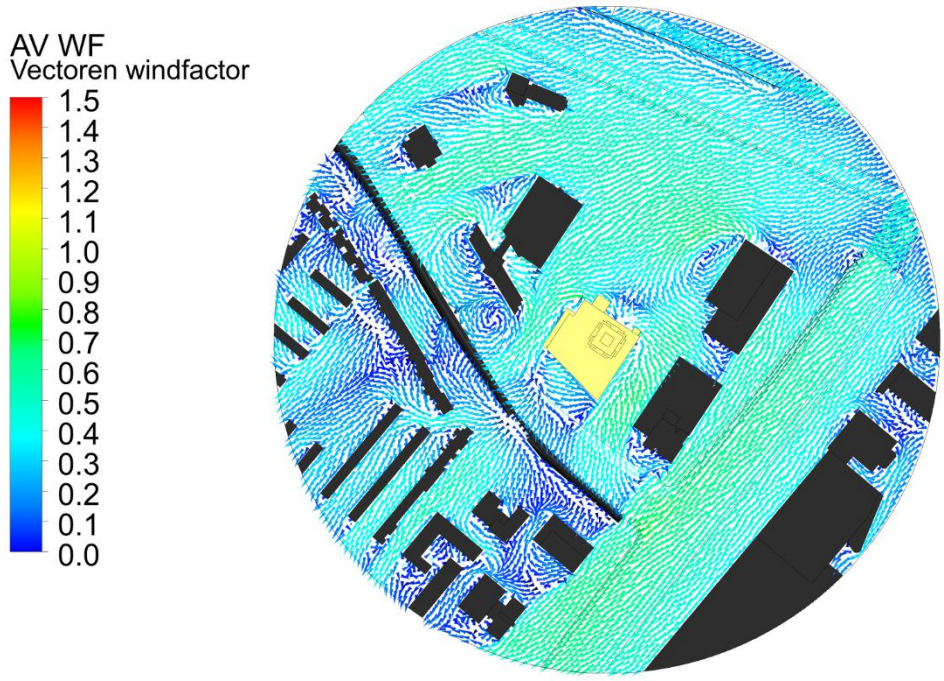

Windhinder
Uren windhinder per jaar op 1.75 m boven maaiveld
800
700
600
500
400
300
200
100
0
[h]

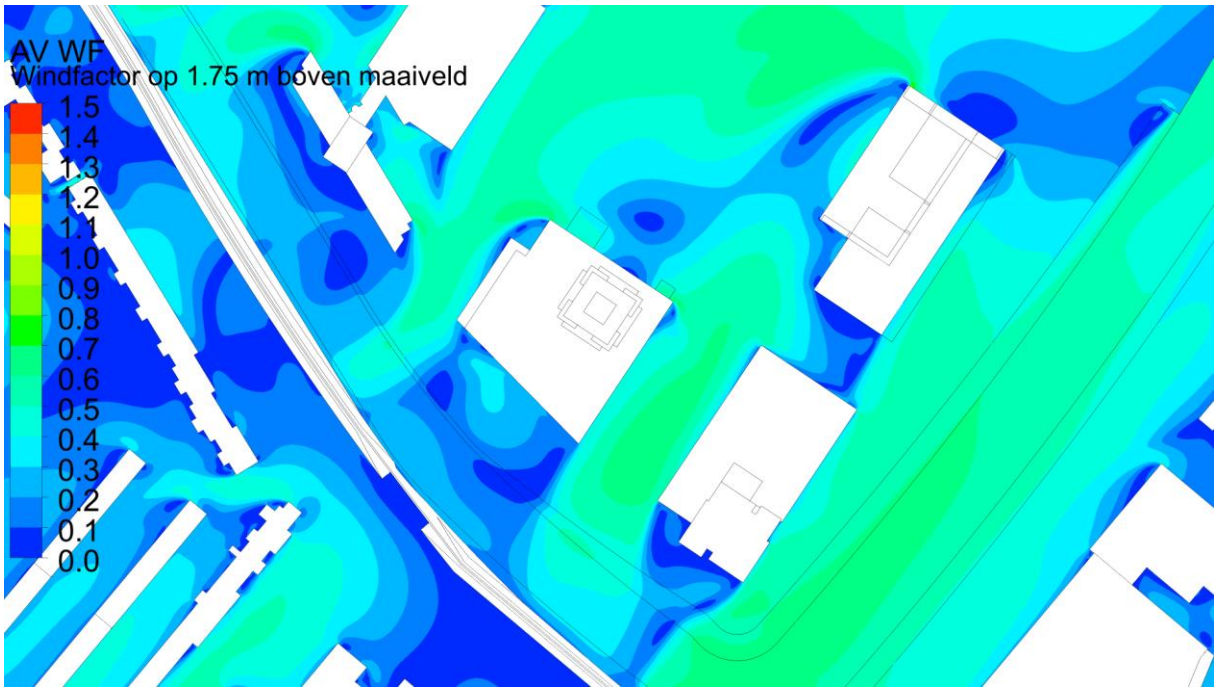

Windgevaar
Uren windgevaar per jaar op 1.75 m boven maaiveld
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
[h]

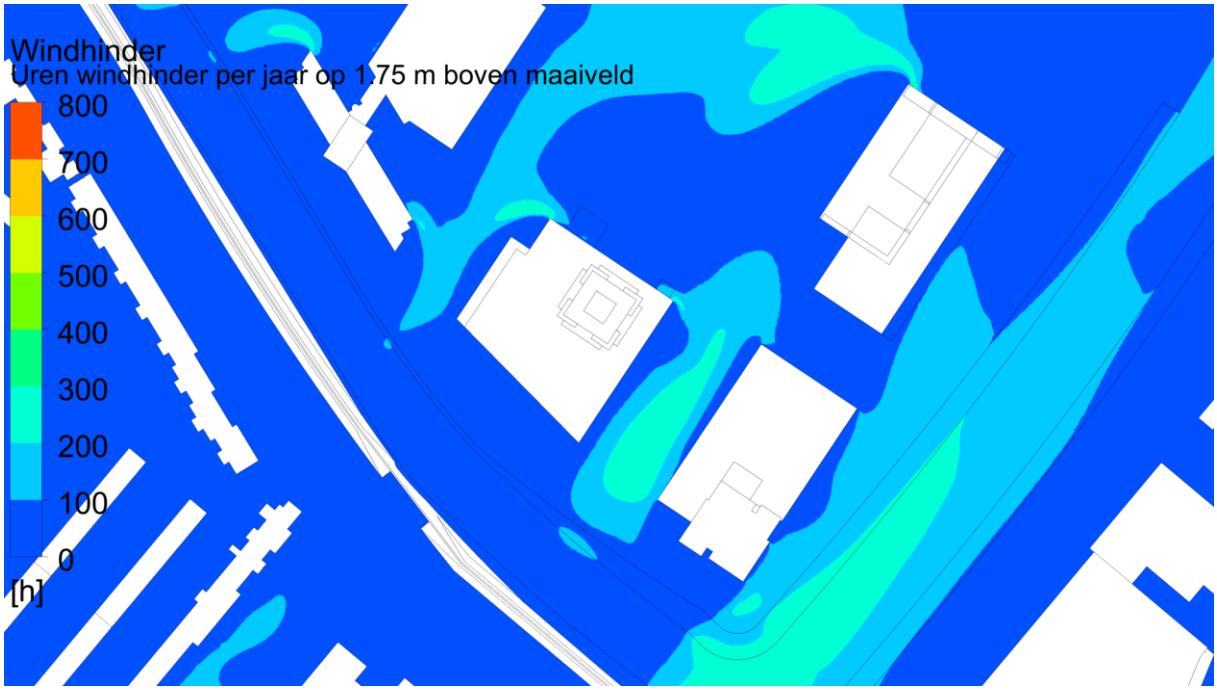

AV WF
Vectoren windfactor
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
Windrichting = 30

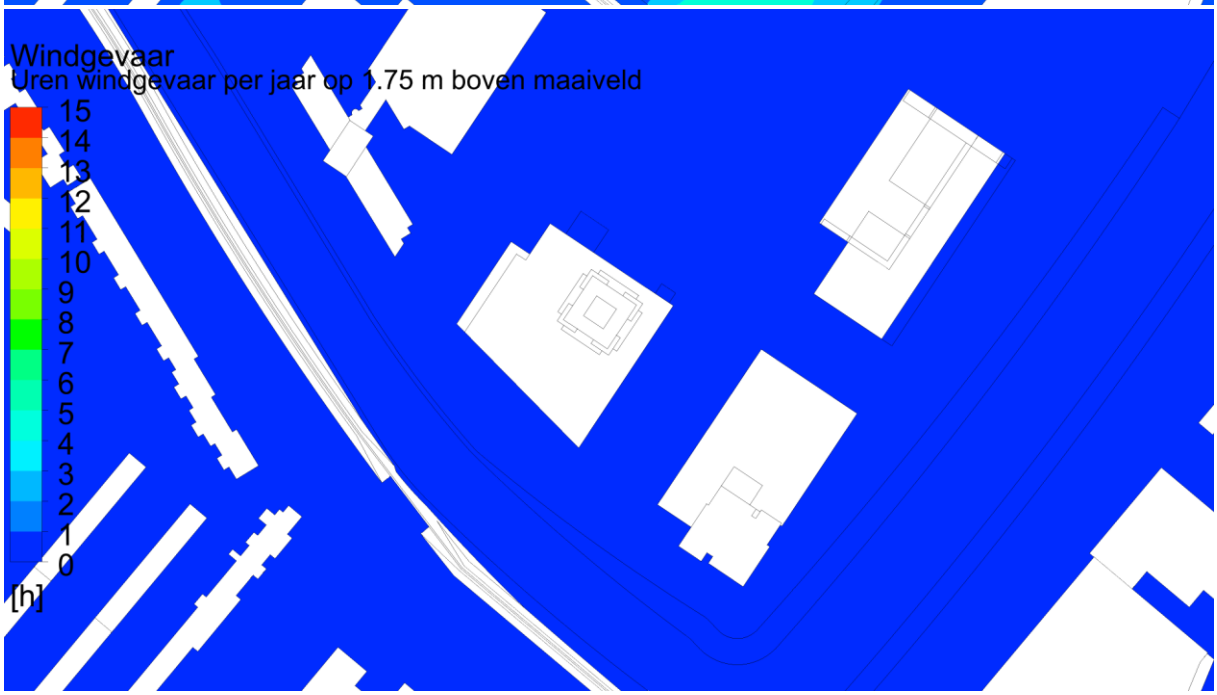

AV WF
Windfactor op 1.75 m boven maaiveld
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0

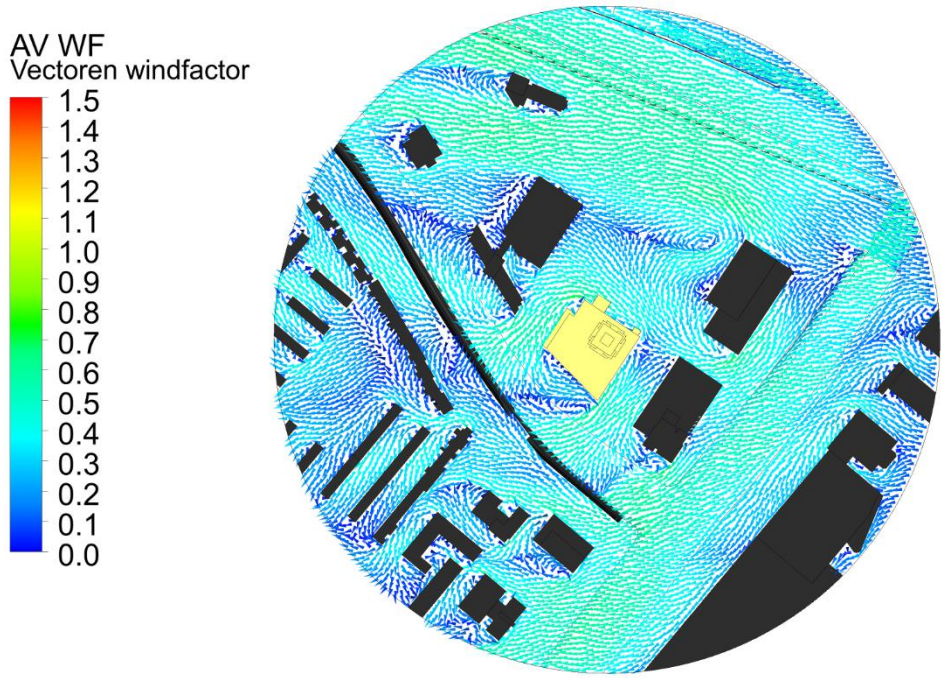

Windhinder
Uren windhinder per jaar op 1.75 m boven maaiveld
800
700
600
500
400
300
200
100
0
[h]
Windgevaar
Uren windgevaar per jaar op 1.75 m boven maaiveld
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
[h]

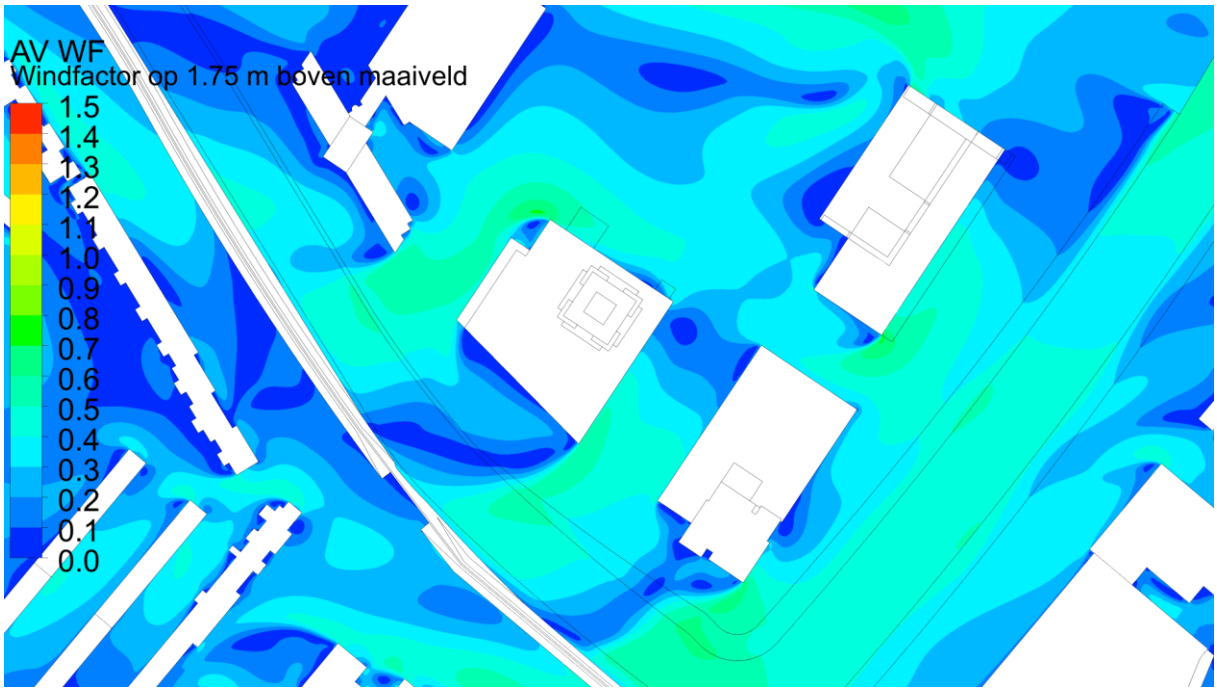

AV WF
Vectoren windfactor
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
Windrichting = 60

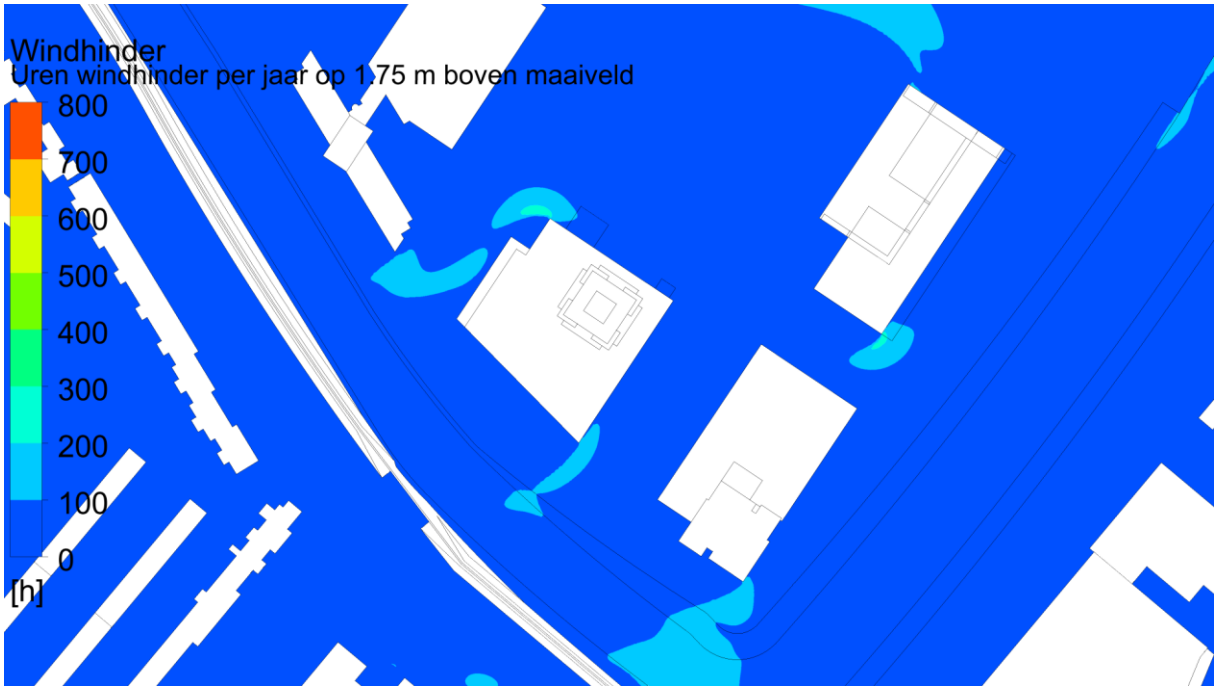

AV WF
Windfactor op 1.75 m boven maaiveld
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0

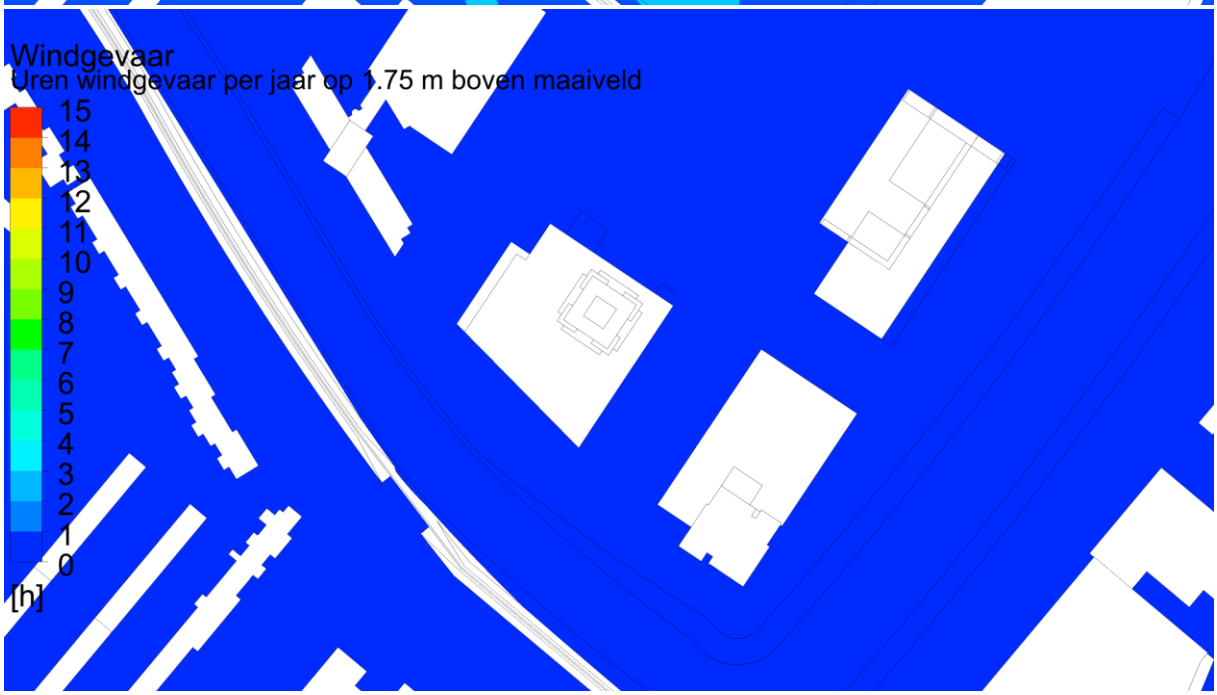

Windhinder
Uren windhinder per jaar op 1.75 m boven maaiveld
800
700
600
500
400
300
200
100
0
[h]

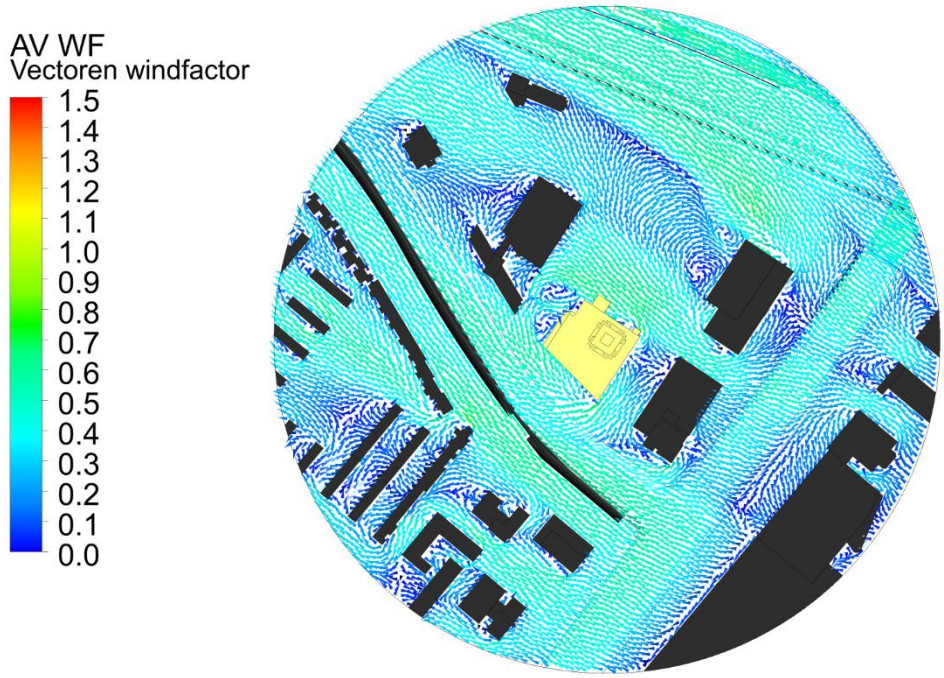

Windgevaar
Uren windgevaar per jaar op 1.75 m boven maaiveld
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
[h]

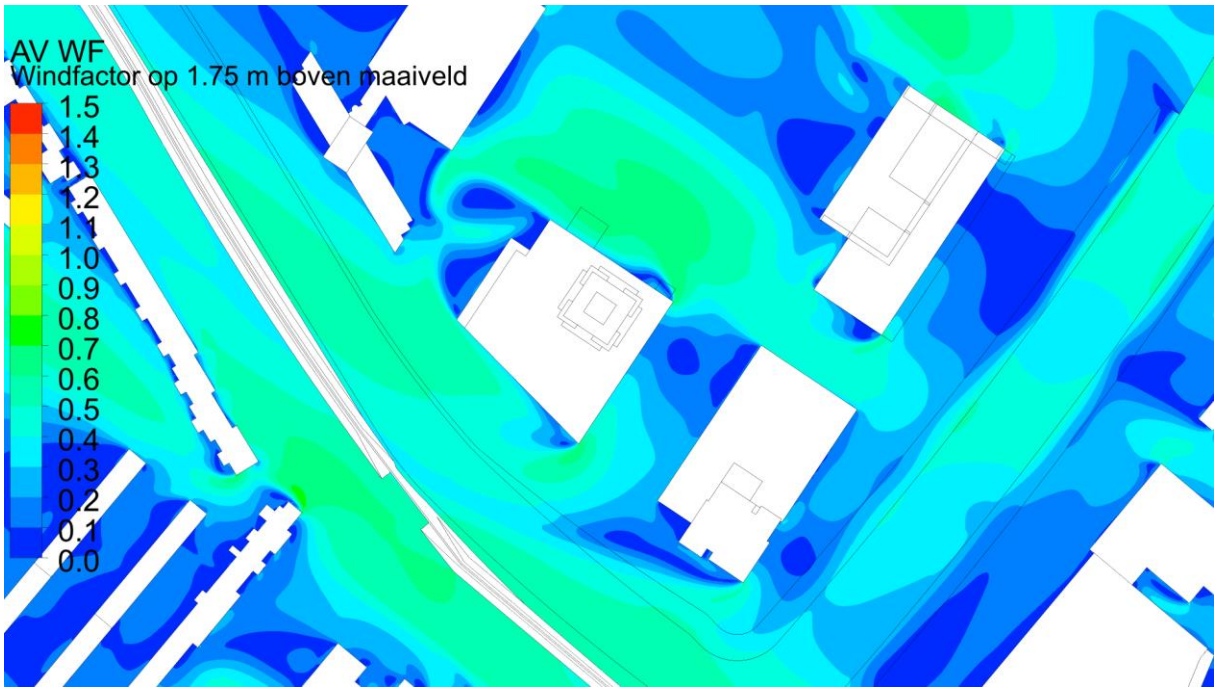

AV WF
Vectoren windfactor
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
Windrichting = 90

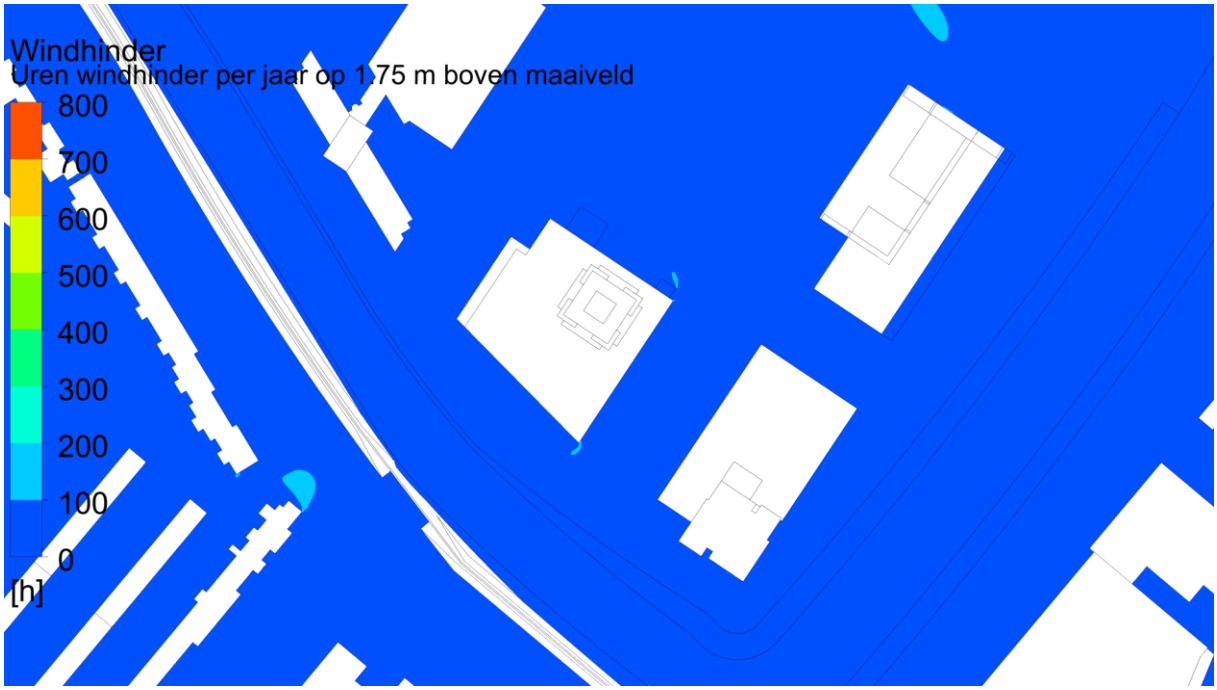

AV WF
Windfactor op 1.75 m boven maaiveld
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0

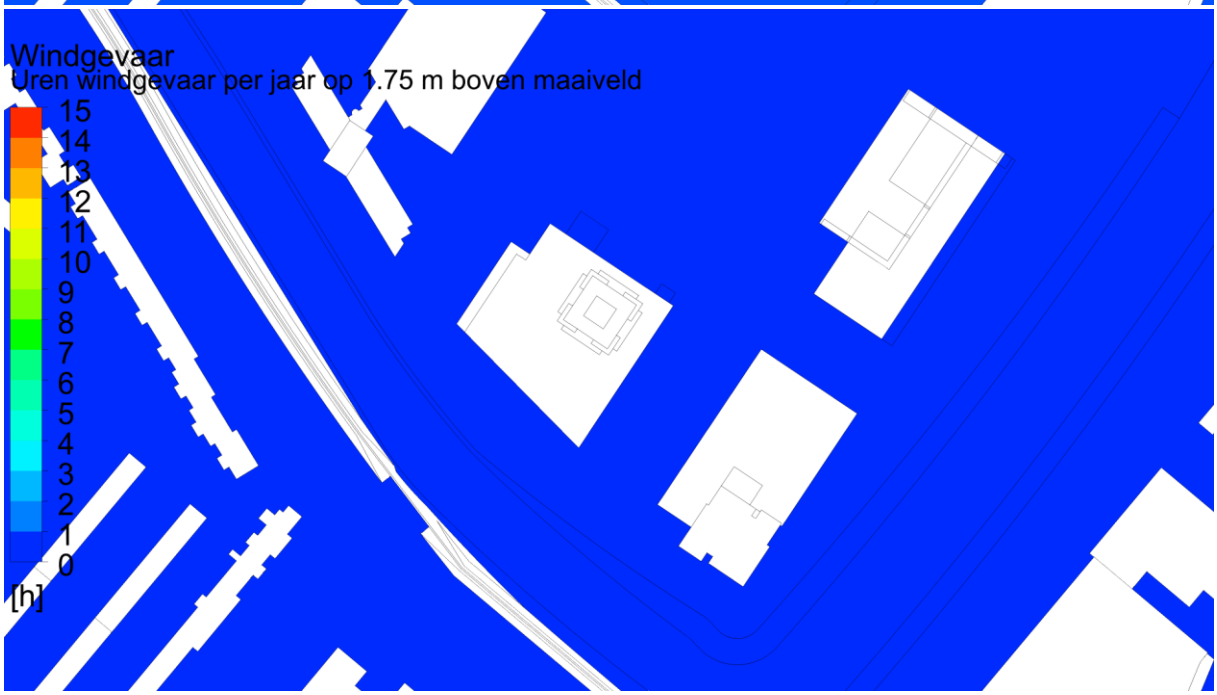

Windhinder
Uren windhinder per jaar op 1.75 m boven maaiveld
800
700
600
500
400
300
200
100
0
[h]

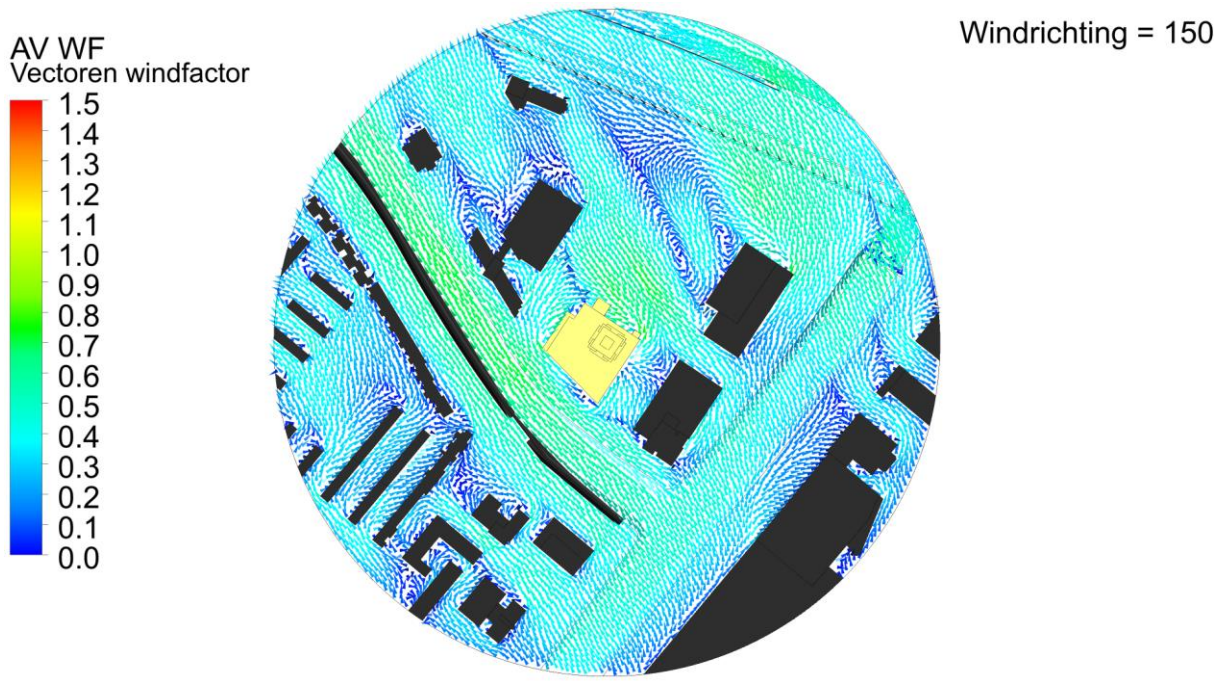

Windgevaar
Uren windgevaar per jaar op 1.75 m boven maaiveld
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
[h]

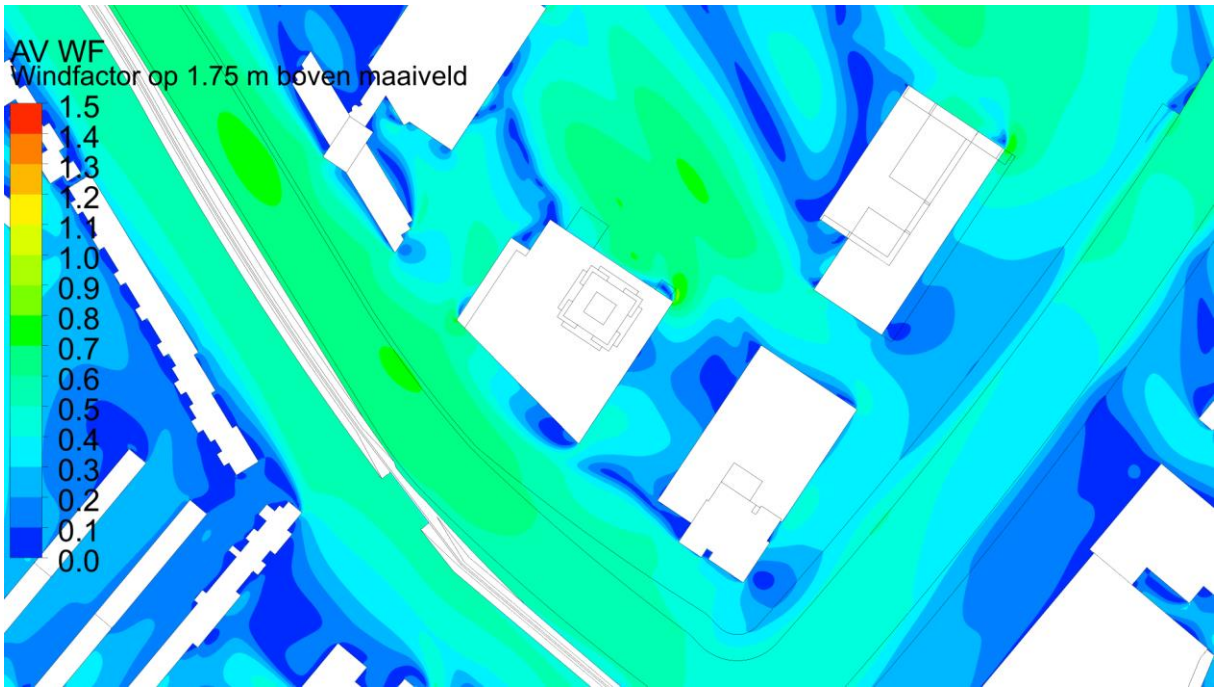

AV WF
Vectoren windfactor
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
Windrichting = 120

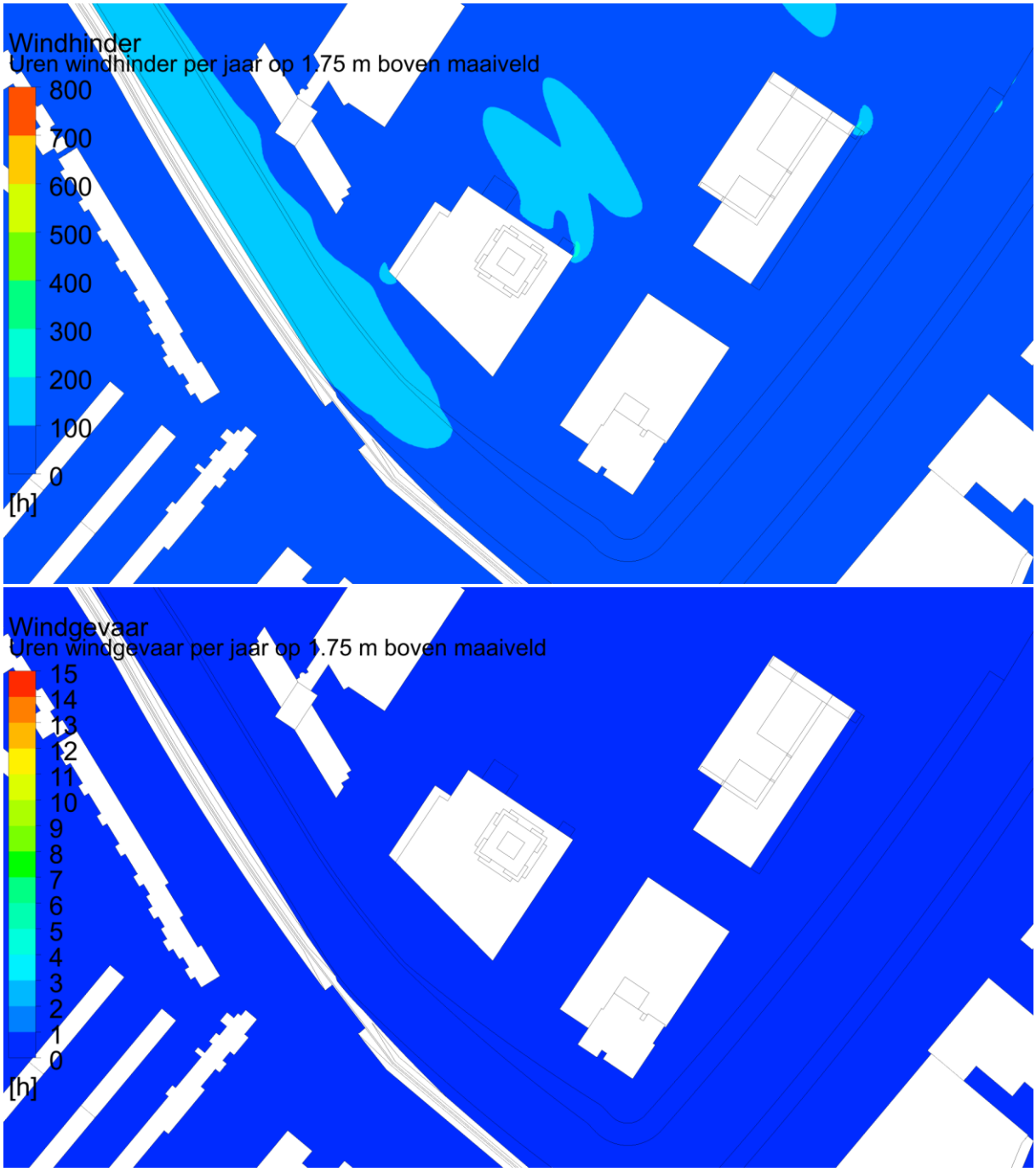

AV WF
Windfactor op 1.75 m boven maaiveld
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0

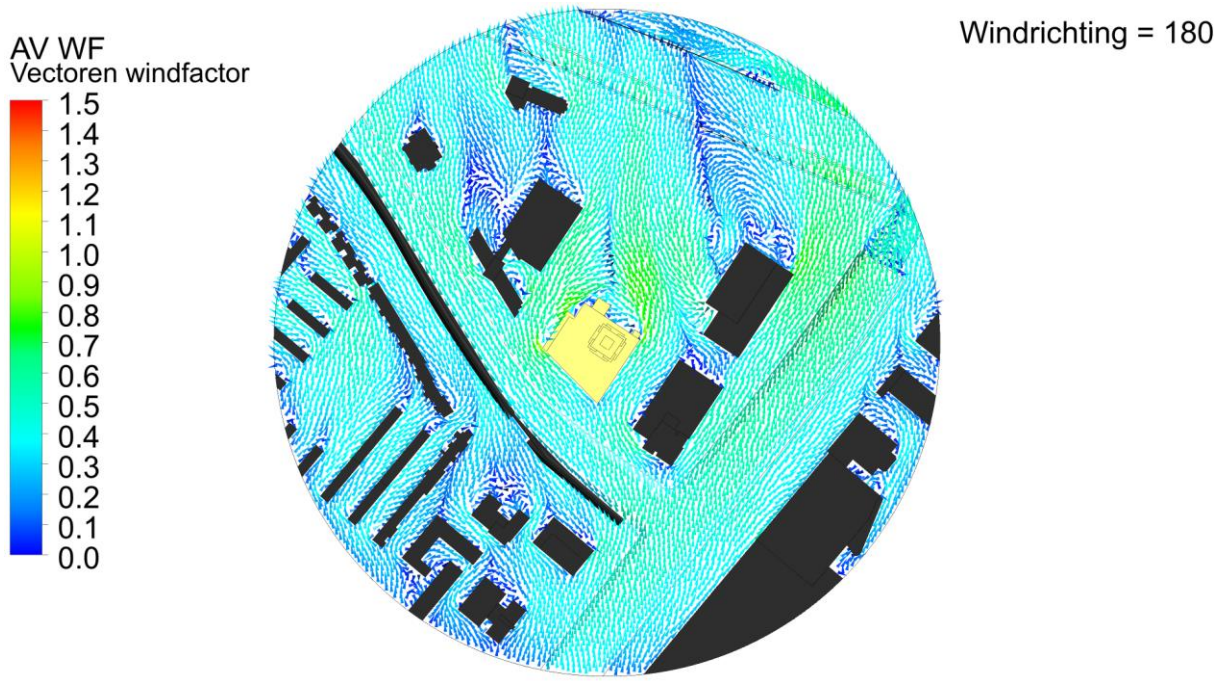

Windhinder
Uren windhinder per jaar op 1.75 m boven maaiveld
800
700
600
500
400
300
200
100
0
[h]

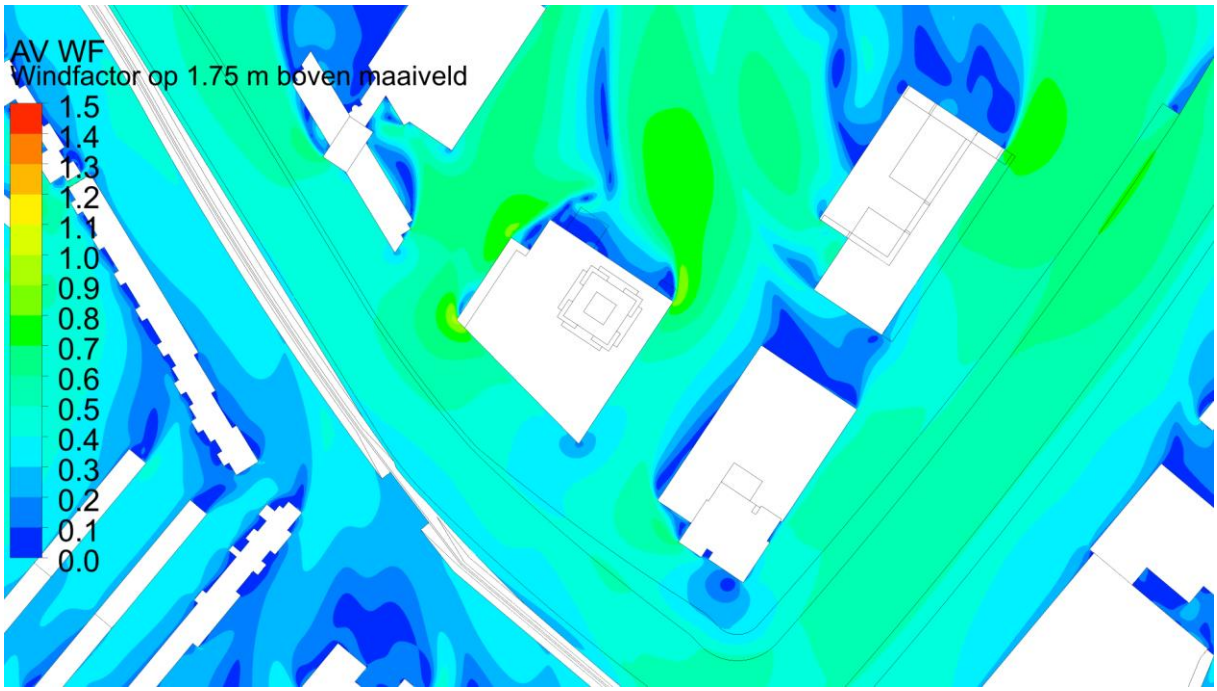

Windgevaar
Uren windgevaar per jaar op 1.75 m boven maaiveld
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
[h]

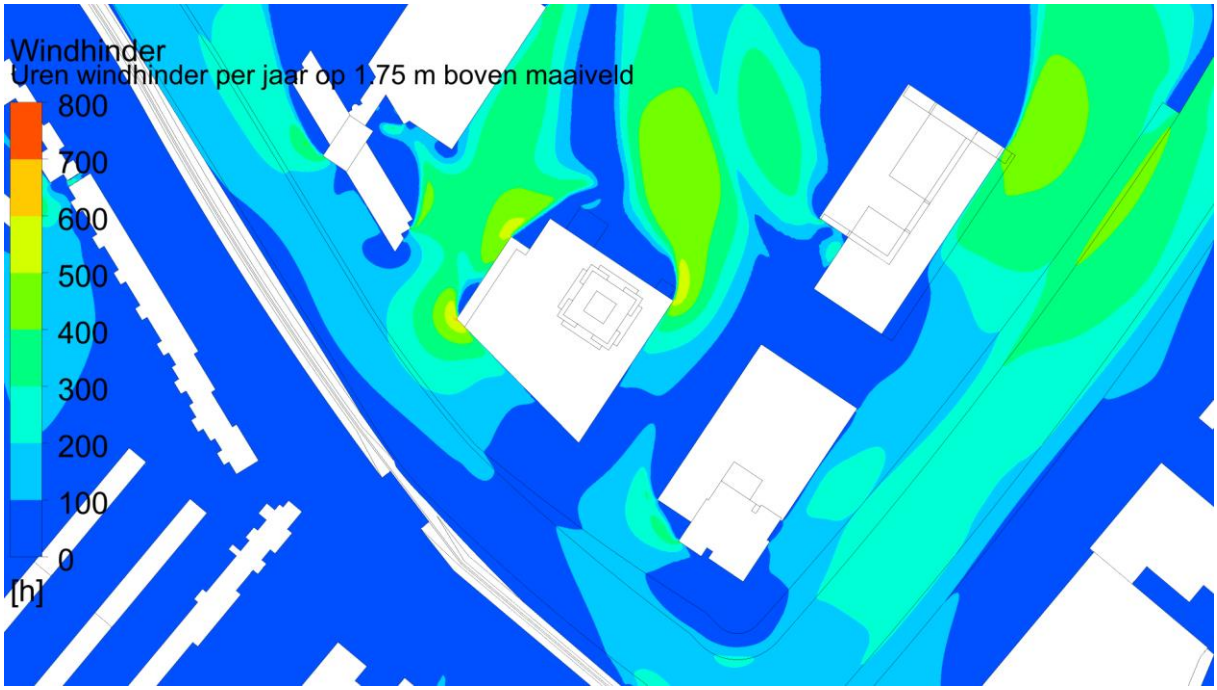

AV WF
Vectoren windfactor
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
Windrichting = 150

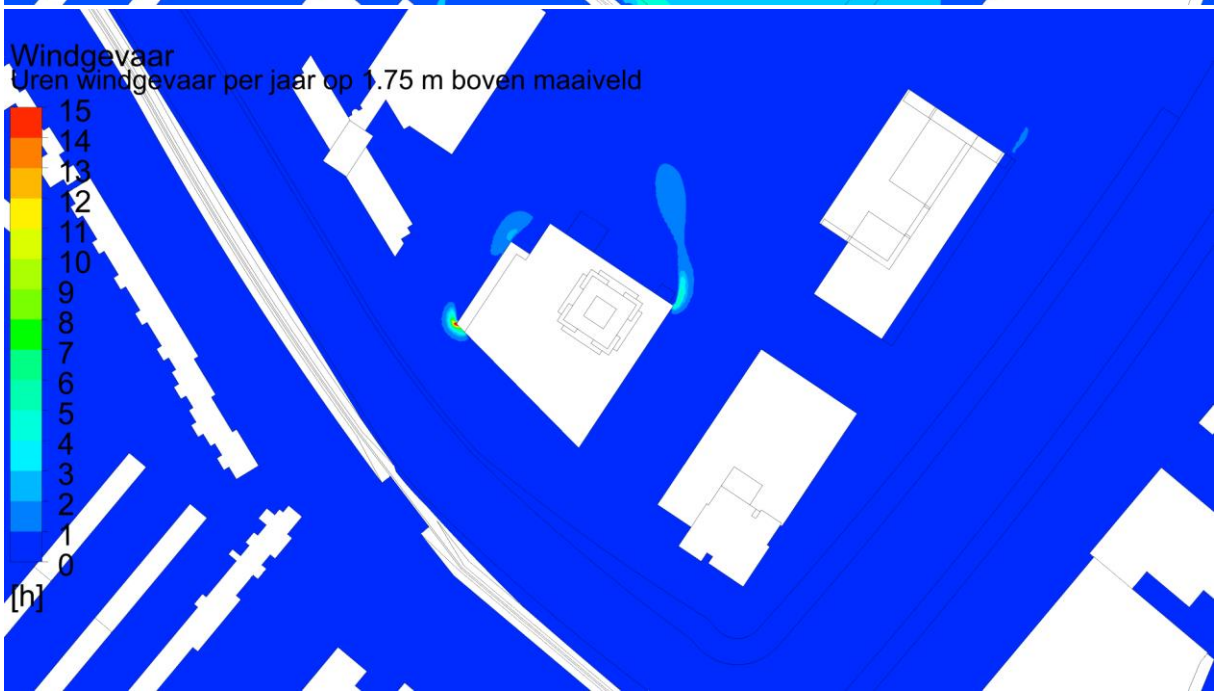

AV WF
Windfactor op 1.75 m boven maaiveld
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0

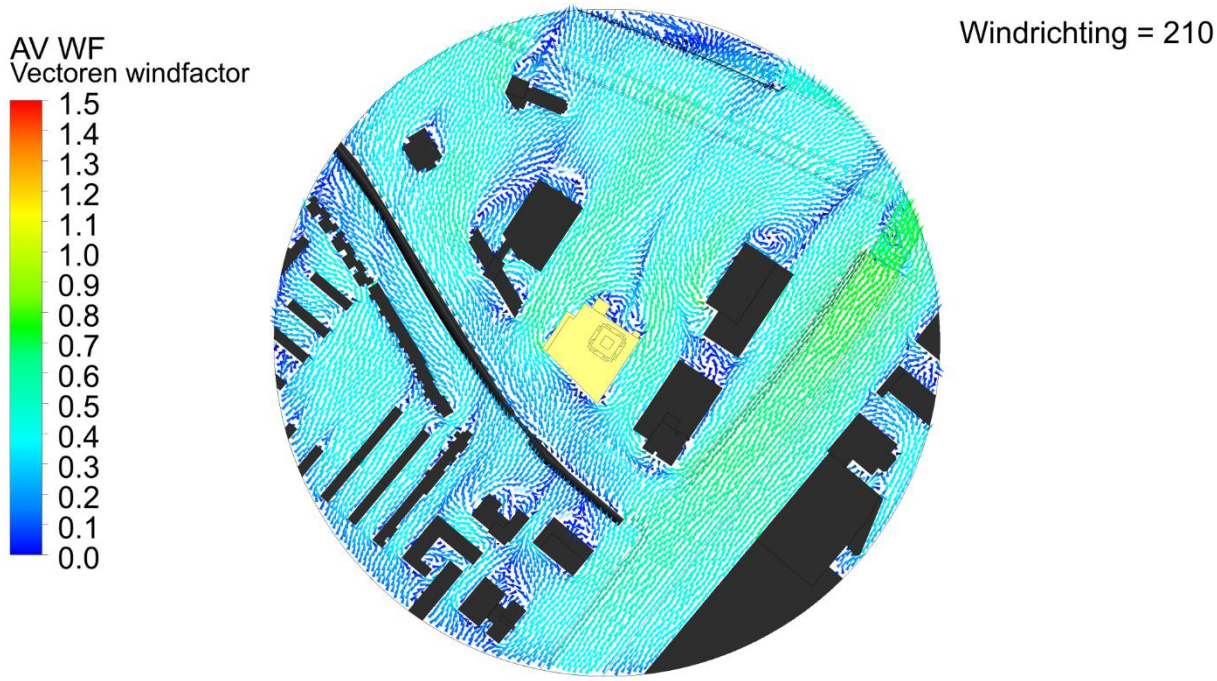

Windhinder
Uren windhinder per jaar op 1.75 m boven maaiveld
800
700
600
500
400
300
200
100
0
[h]
Windgevaar
Uren windgevaar per jaar op 1.75 m boven maaiveld
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
[h]

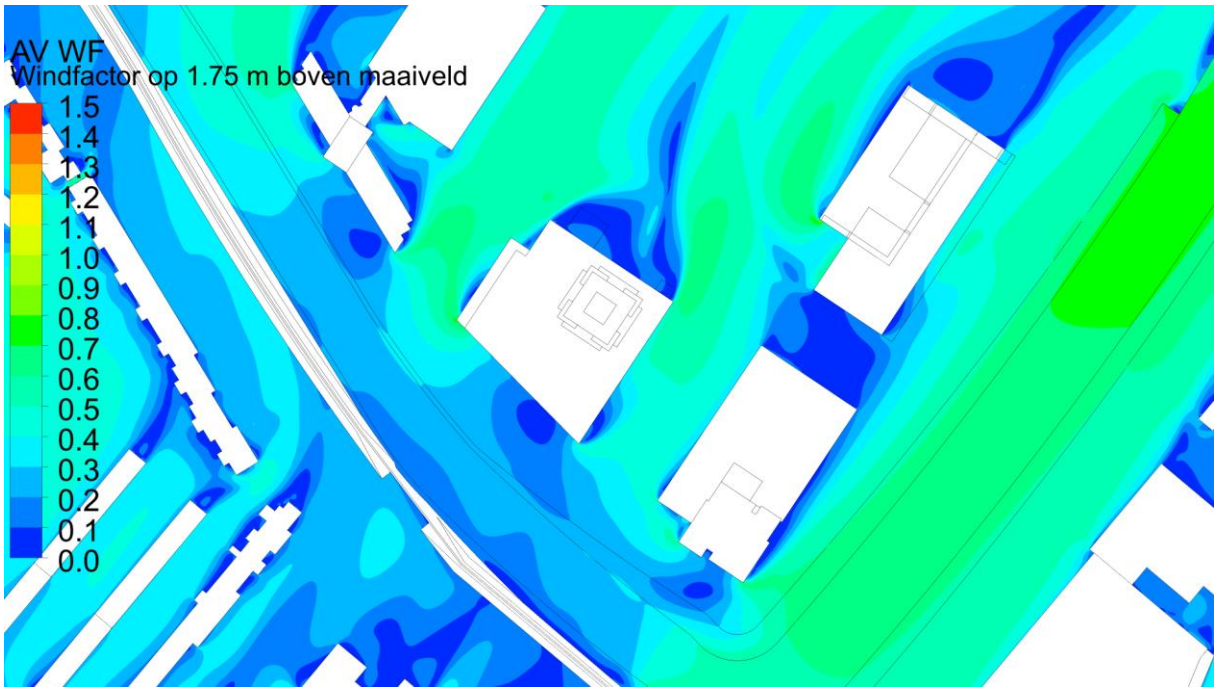

AV WF
Vectoren windfactor
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
Windrichting = 180

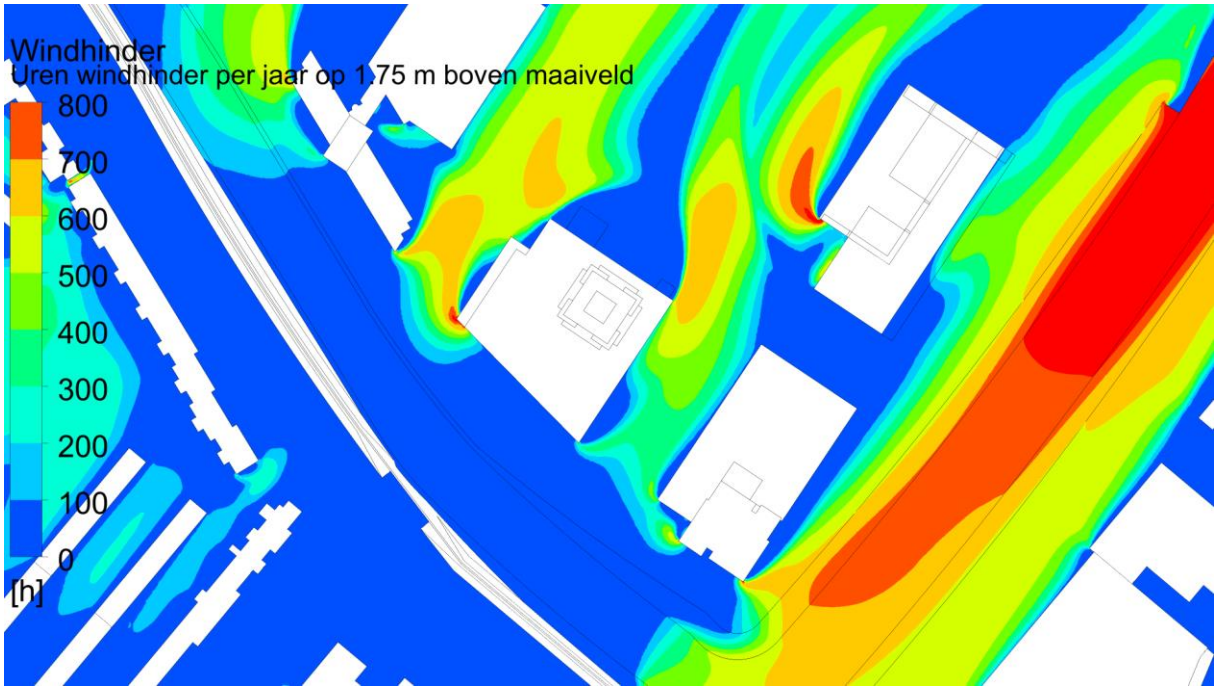

AV WF
Windfactor op 1.75 m boven maaiveld
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0


Windhinder
Uren windhinder per jaar op 1.75 m boven maaiveld
800
700
600
500
400
300
200
100
0
[h]

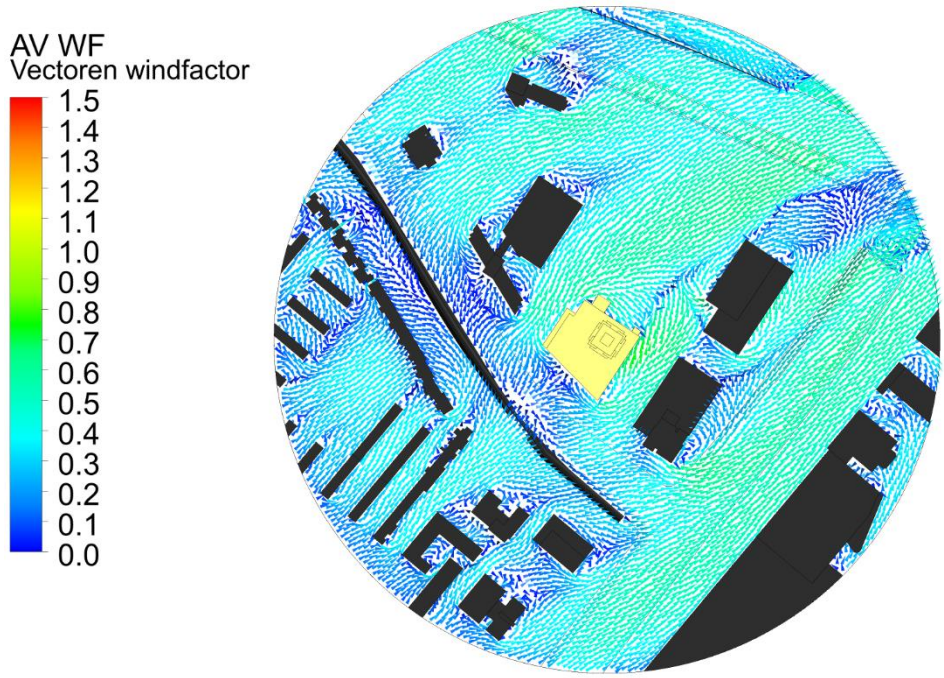

Windgevaar
Uren windgevaar per jaar op 1.75 m boven maaiveld
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
[h]

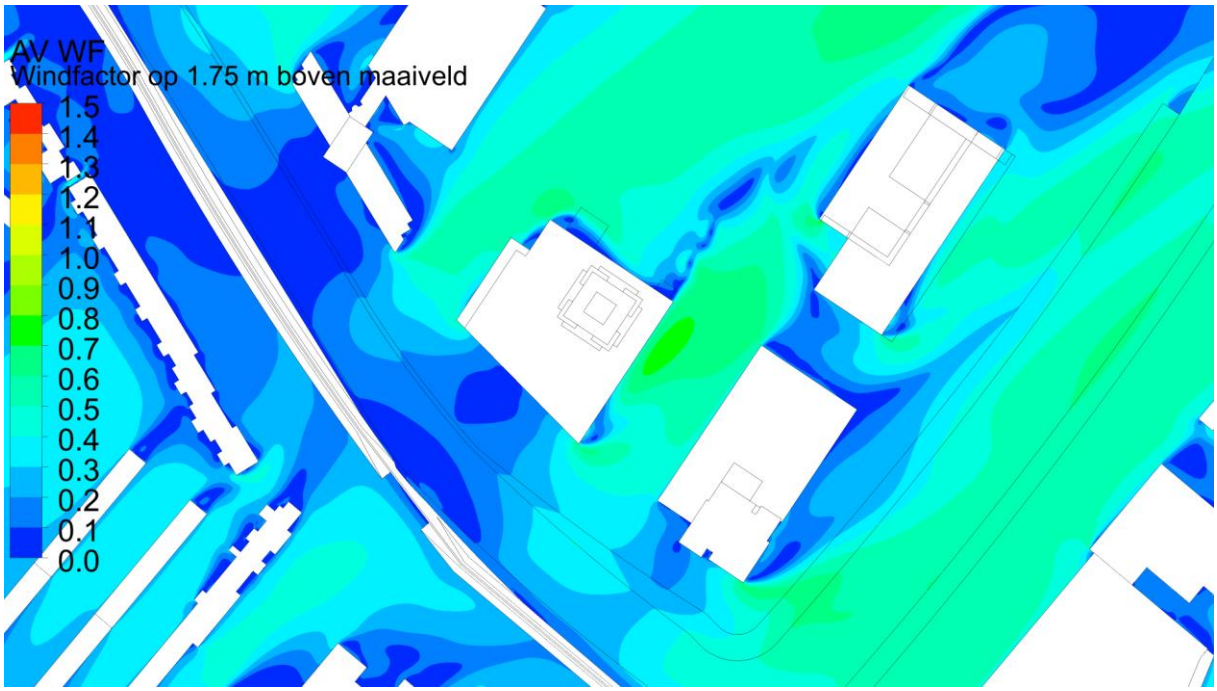

AV WF
Vectoren windfactor
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
Windrichting = 210

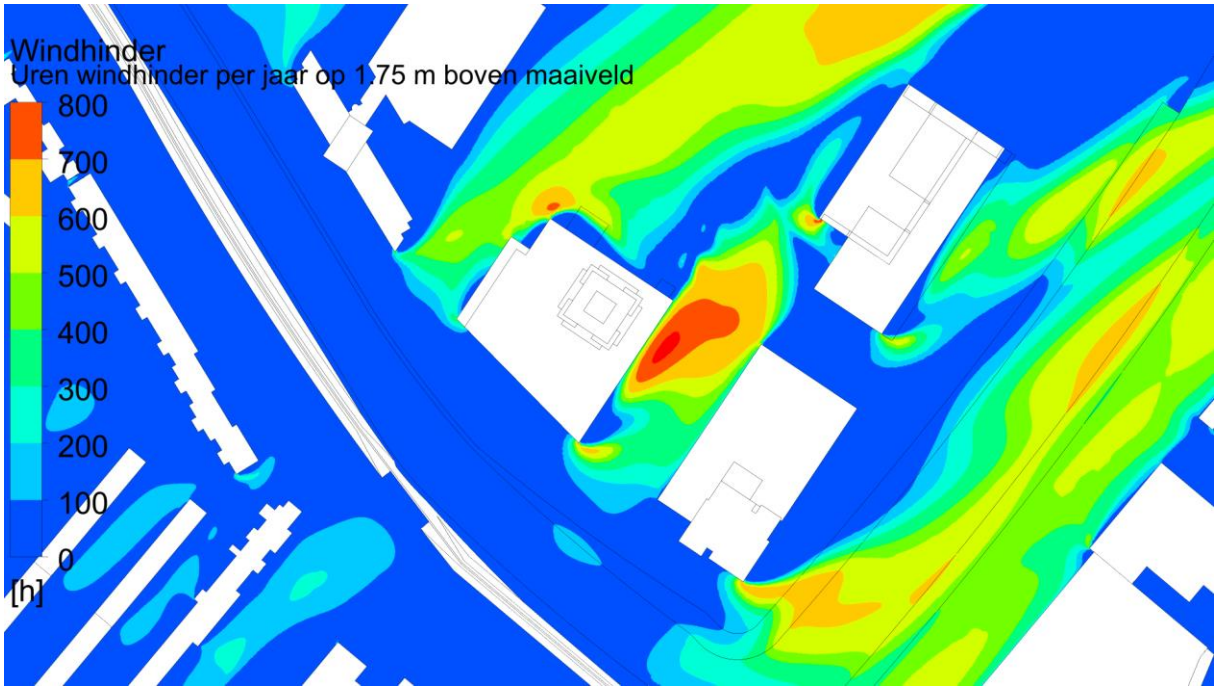

AV WF
Windfactor op 1.75 m boven maaiveld
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0


Windhinder
Uren windhinder per jaar op 1.75 m boven maaiveld
800
700
600
500
400
300
200
100
0
[h]

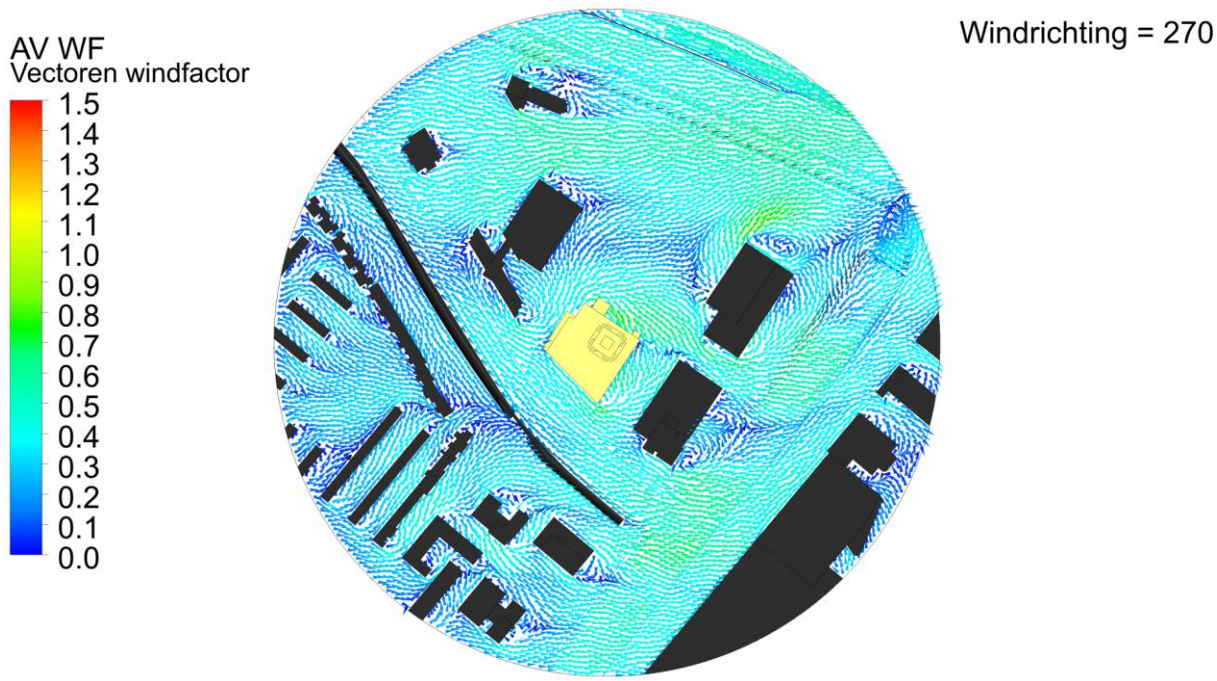

Windgevaar
Uren windgevaar per jaar op 1.75 m boven maaiveld
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
[h]

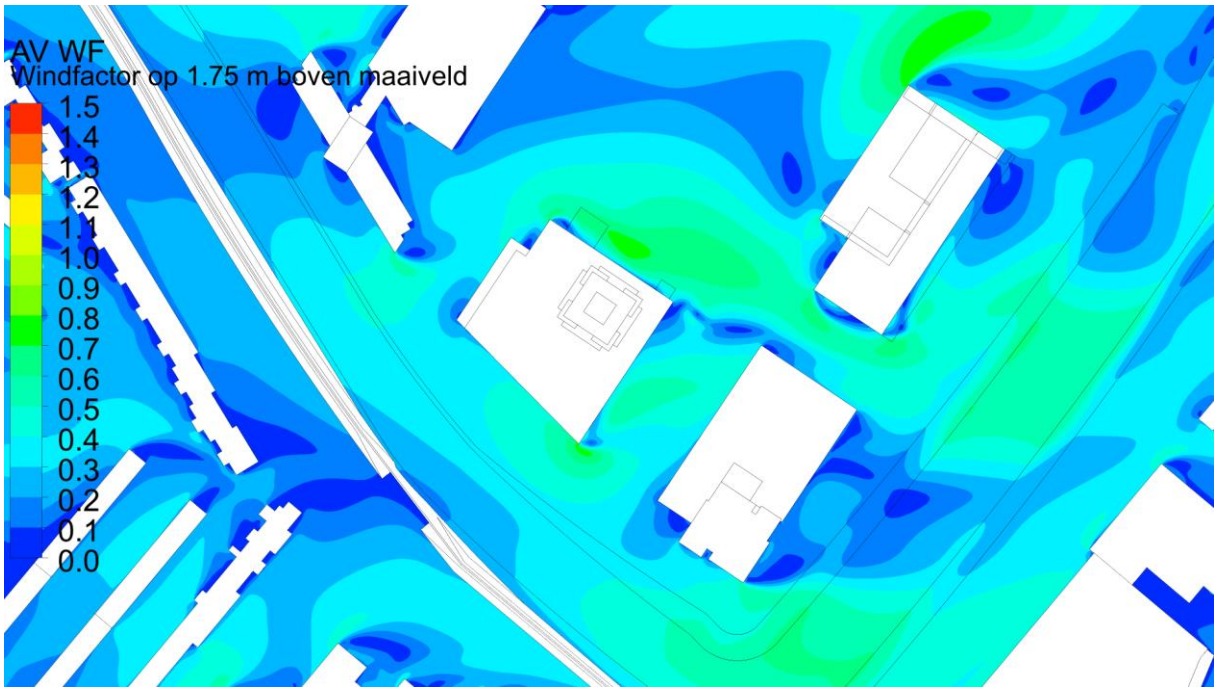

AV WF
Vectoren windfactor
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
Windrichting = 240

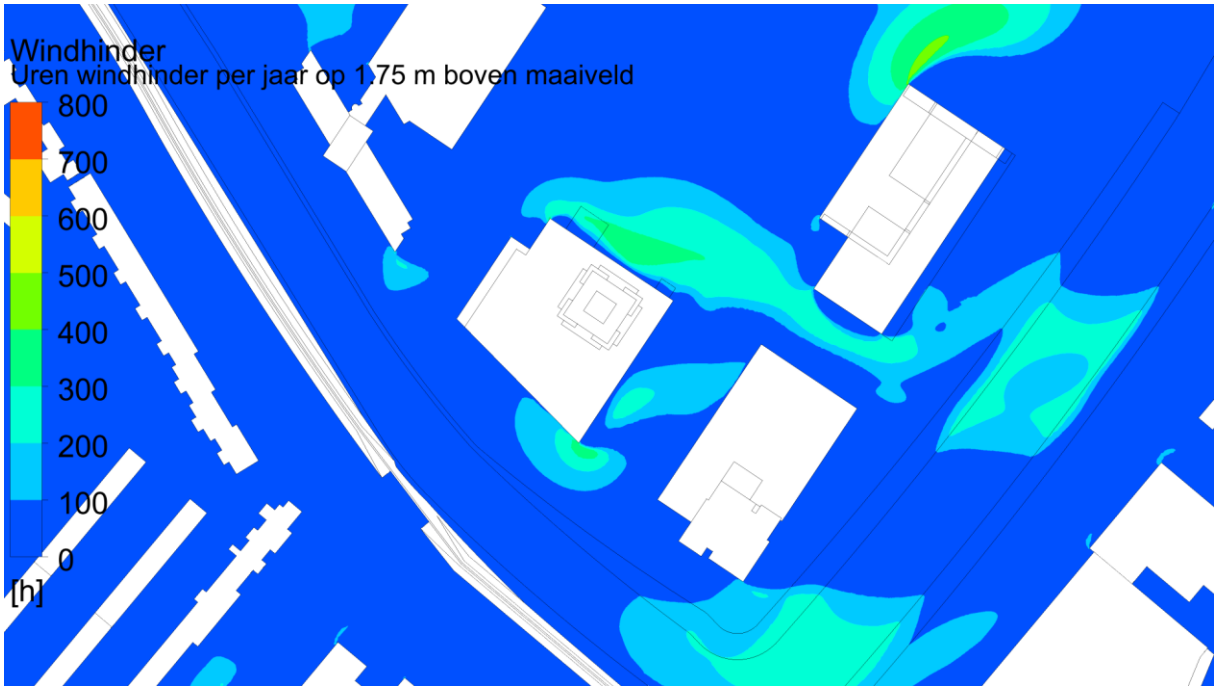

AV WF
Windfactor op 1.75 m boven maaiveld
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0

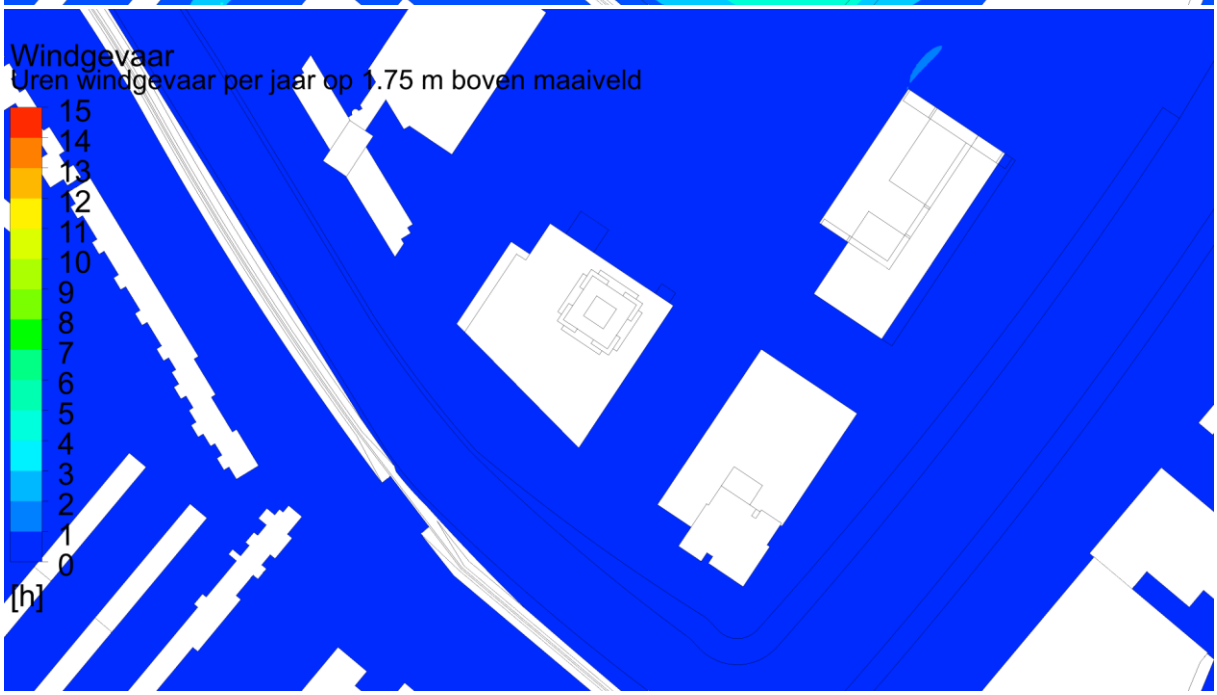

Windhinder
Uren windhinder per jaar op 1.75 m boven maaiveld
800
700
600
500
400
300
200
100
0
[h]

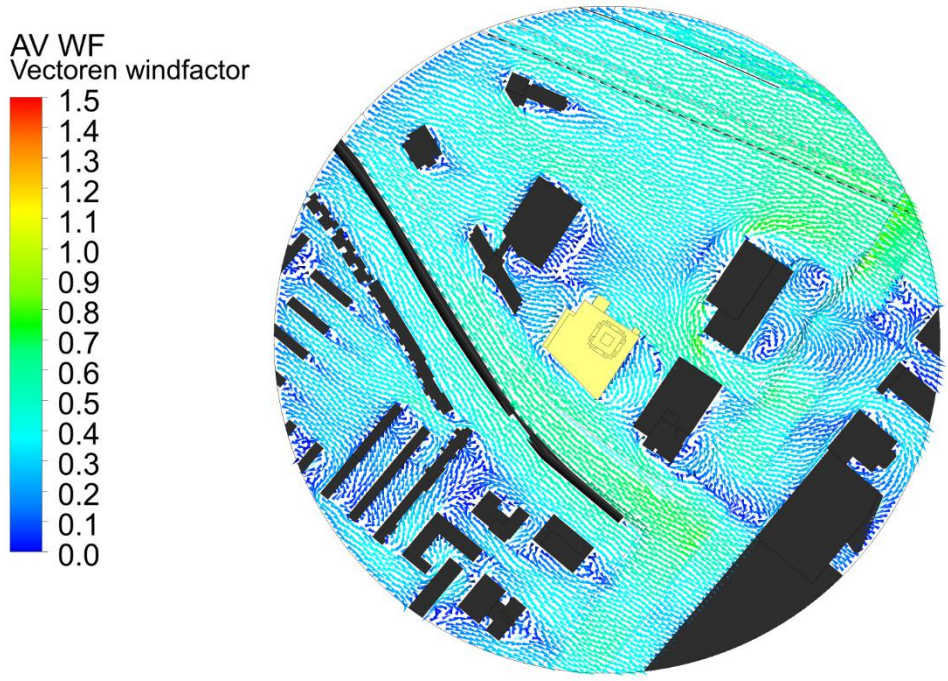

Windgevaar
Uren windgevaar per jaar op 1.75 m boven maaiveld
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
[h]

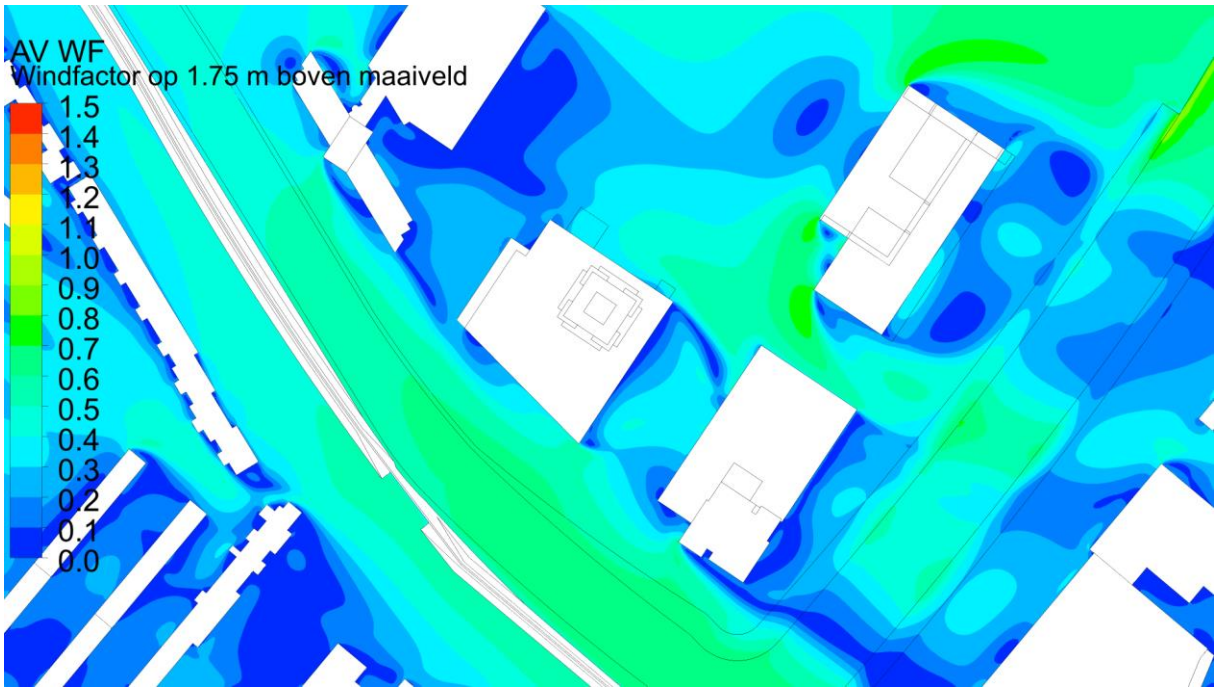

AV WF
Vectoren windfactor
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
Windrichting = 270

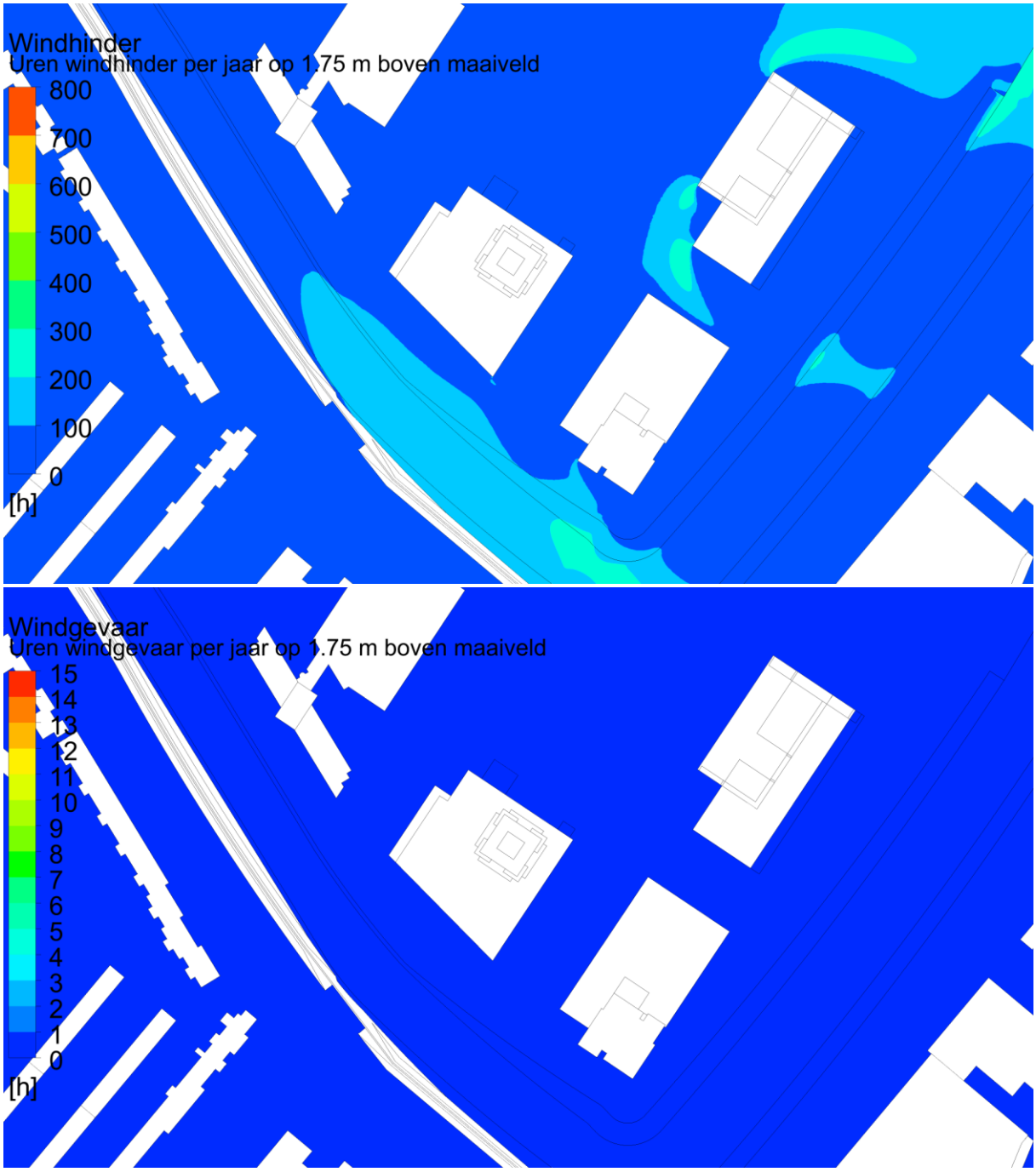

AV WF
Windfactor op 1.75 m boven maaiveld
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0

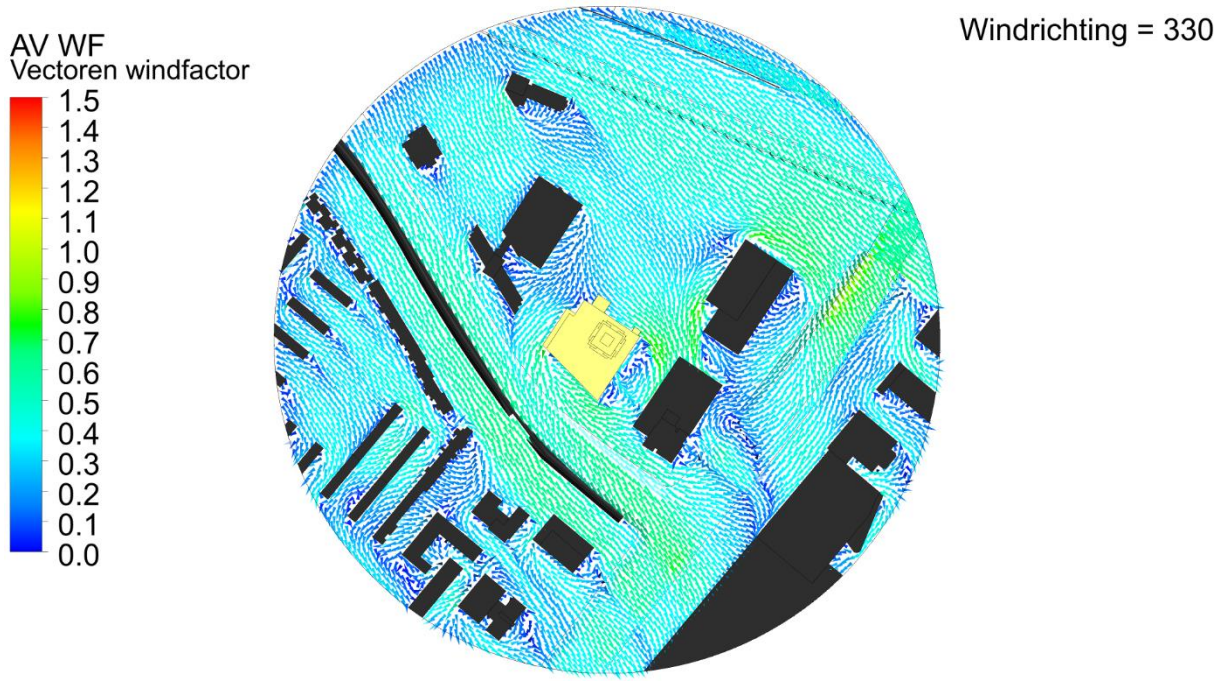

Windhinder
Uren windhinder per jaar op 1.75 m boven maaiveld
800
700
600
500
400
300
200
100
0
[h]

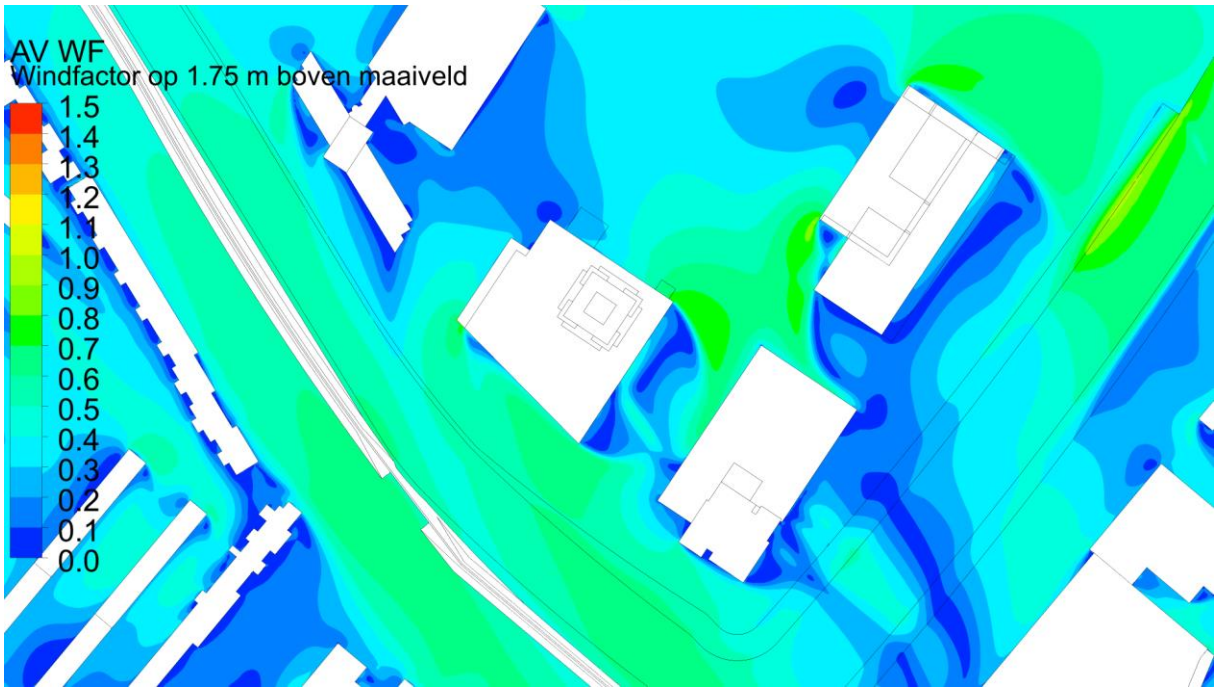

Windgevaar
Uren windgevaar per jaar op 1.75 m boven maaiveld
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
[h]

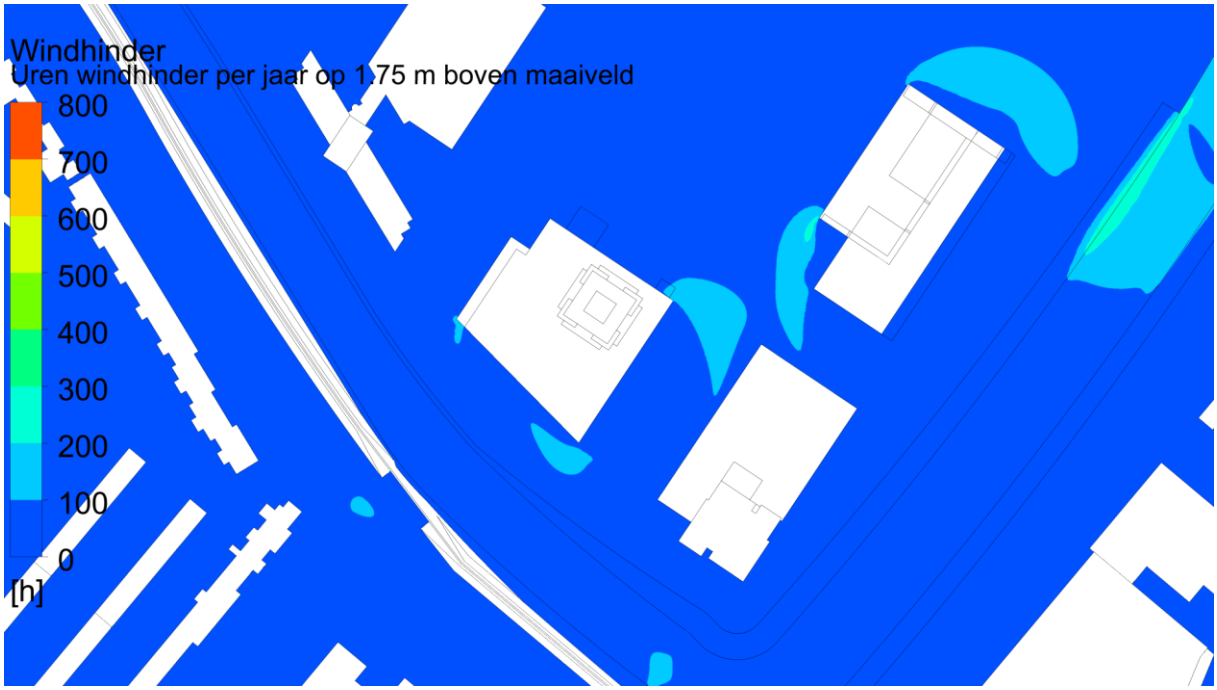

AV WF
Vectoren windfactor
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
Windrichting = 300

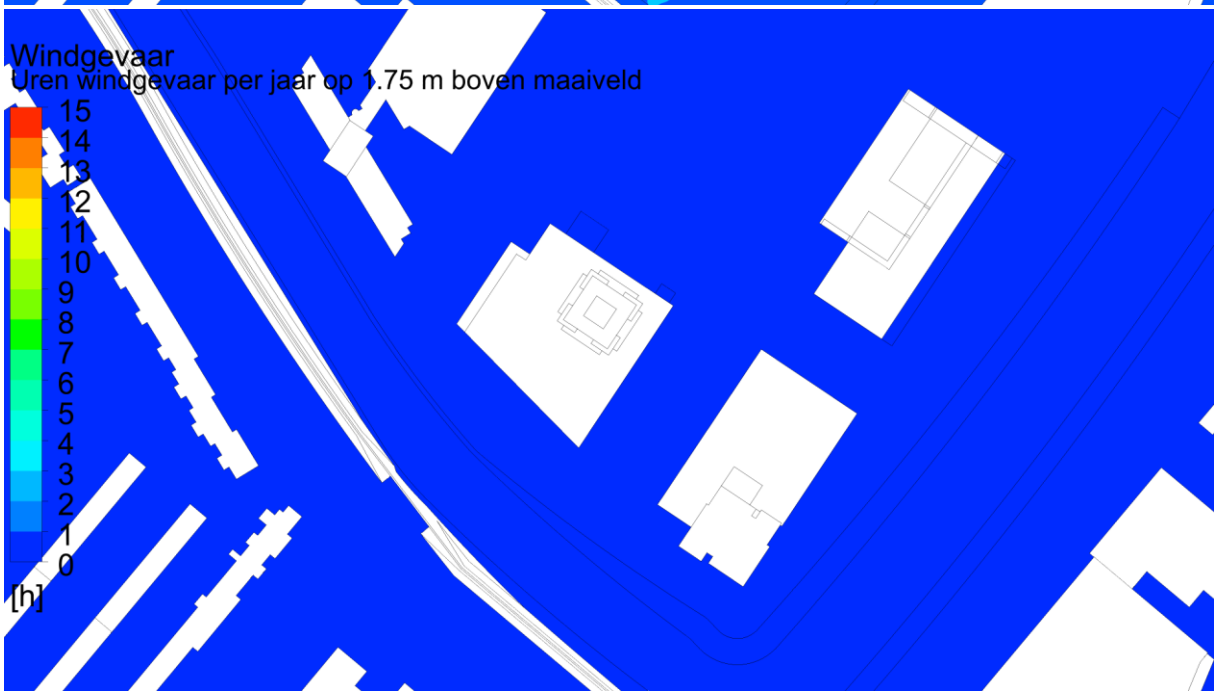

AV WF
Windfactor op 1.75 m boven maaiveld
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0


Windhinder
Uren windhinder per jaar op 1.75 m boven maaiveld
800
700
600
500
400
300
200
100
0
[h]
Windgevaar
Uren windgevaar per jaar op 1.75 m boven maaiveld
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
[h]


AV WF
Vectoren windfactor
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
Windrichting = 330


AV WF
Windfactor op 1.75 m boven maaiveld
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0


Windhinder
Uren windhinder per jaar op 1.75 m boven maaiveld
800
700
600
500
400
300
200
100
0
[h]


Windgevaar
Uren windgevaar per jaar op 1.75 m boven maaiveld
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
[h]

Bijlage B – Omschrijving software en validatielijst

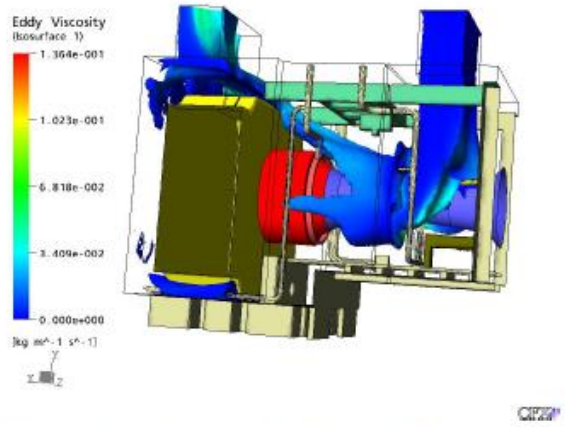


Figure 1: Ventilation and leaks in a turbine enclosure.

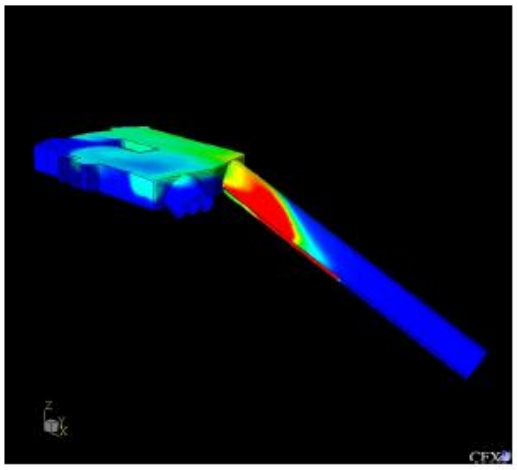


Figure 2: Forensic investigation of fire at King's Cross underground station. Wall temperature.

1 ANSYS' CFD Software in Safety, HVAC and Environment

ANSYS develops, sells and consults with its own CFD (Computational Fluid Dynamics) software packages named FLUENT and CFX. Other packages relevant to safety are AutoReaGas and AUTODYN. This document focuses on CFX. The software offers automatic, unstructured meshing, a coupled solver, and efficient performance in parallel. CFX is being actively used for the modelling of safety-related flows. This includes:

- Smoke movement calculations, and the so-called field modelling of fire, including the effects of ventilation and fire growth
- Jet and Pool fire calculations, to assess the effects of the flames upon neighbouring structures and the dispersion of products.
- Dispersion outdoors and indoors, to determine whether or not there may be a build up of toxic or flammable gases.
- Pressure and smoke concentration levels for the external flow around Temporary Refuges on offshore installations, to quantify smoke ingress into the refuge.

Sometimes, fire is modelled as a source of heat and combustion products, within an inert gas, when the fire engineer has some idea of these quantities for the scenario of interest. With the CFX software it is also possible to include the effects of combustion by computing the chemical reactions explicitly. Radiation can also be computed, as well as the influence of ventilation, whether by natural or active means (including wind effects). Modelling of deflagrations in confined regions, for application to industrial process plant safety, is usually done with AutoReaGas, and AUTODYN is normally used for blast phenomena.

2 ANSYS Europe's Track Record for Dispersion, HVAC and Fire

There are many organisations which use CFX for these topics. ANSYS Europe Ltd. itself has carried out a substantial number of studies on ventilation, gas dispersion, fire and environmental flows on behalf of customers. The most important of these was the work carried out in the late 1980s by ANSYS Europe at Harwell (in the UK) to investigate the reason for the rapid spread of the fire within King's Cross Underground Station in London. The team was then part of AEA Technology. The ANSYS work demonstrated that there was a 'new' phenomenon, the trench effect, which was responsible for the rapid fire spread. The work began with consideration of an inert, buoyant flow and later included combustion and radiation. The CFX predictions were confirmed by a series of experiments in a one-third scale model of the underground station, and were accepted in the official Fennel enquiry report as the correct explanation for the rapid fire spread. Despite the age of this work, it still arouses popular interest. For example, it was the subject of a documentary entitled 'Blaze' on the UK's Channel 4, and the Canadian Discovery Channel filmed material about it in December 2003.

Since the enquiry, the modelling has been enhanced and applied in diverse industrial sectors. CFX is of course also being used by our colleagues in other ANSYS offices, and by our clients.

A selection of ANSYS Europe Ltd. projects is shown below. The customer is given in brackets, although in some cases it is not possible to identify the customer due to confidentiality requirements.

- LNG fires (large gas company).
- HVAC in buildings and web-enabled CFD (ABB Ventilation Systems & Fläkt Woods).
- Ventilation and gas dispersion at gas-fired plant. Work has been carried out for National Power (Killingholme, Didcot, and others), HEPS, Powergen, Turbogas, Transco, BP, PGT, NEL Power, ABB, Alstom, Siemens, Costain, HSE.
- Wind-driven draughts in buildings (Royal Bank of Scotland).
- NOx dispersion in subway stations, allowing for train movement (Buro Happold).
- Ventilation and safety in the Greenwich Millennium Dome (Buro Happold and NMEC).
- Ventilation and thermal performance in the New Scottish (air traffic control) Centre, Prestwick.
- Diesel exhaust dispersion and wind loading at railway stations (Halcrow, Wates).
- Ventilation and toxicity assessment at an indoor sewage plant (Earthtec).
- Flow and heat transfer in window facades, including radiation and conjugate heat transfer (consulting engineers).
- Explosion risks from foam aerosol dispensers.
- Fire modelling (Brandskyddslaget & Brandkonsulten).
- Investigation of the fire at King's Cross, for the HSE. Presented in the Fennell Report.
- Follow-up to the King's Cross analyses (London Underground).
- Fires in tunnels (large international construction company).
- Fires on the HGV shuttle (HSE).

- Fires on the HGV shuttle, explosions and parallel processing (European Commission).
- Fire suppression & water spray interactions (UK Government).
- Validation for jet compartment fires, as part of the Blast and Fire Engineering for Topside Structures Phase 2 (managed by the Steel Construction Institute).
- Validation for 2-D heavy-gas dispersion (Shell).
- Validation for dispersion of buoyant plumes, fires in long structures, response of risers to nearby jet fires (large international oil companies).
- Fires on offshore platforms (European Commission).
- Fire and smoke movement on offshore platforms (large international oil companies).
- Marine oil dispersion and sea fires (Mobil North Sea Ltd.).
- Ingress of foreign bodies into turbomachinery (large power company).
- Ventilation of large compartment fires (Home Office).
- Ventilation, gas dispersion and remediation at a gas-fired power station (Hydro-Electric Production Services, Keadby). ANSYS' work in this area was shortlisted for the "TCE Excellence in Safety & Environment Awards 1998", organised by the UK's Institution of Chemical Engineers.
- Wind conditions at an airfield (Ferguson McIlveen).
- Heavy gas dispersion in a ventilated room (Gaz de France).
- LNG dispersion subject to wind (Gaz de France).
- Sea- and freshwater mixing at the Cardiff Bay barrage (Hyder Environmental).

Some versions of the computational fluid dynamics (CFD) software owned by ANSYS and referred to in this document or in the listed articles are now known as CFX-4



ANSYS UK Ltd.
April 2009

CFX VALIDATION - A SAMPLE LIST RELEVANT TO FIRE, HVAC & ENVIRONMENT

1. Burns A D and Jones I P, "Numerical predictions of turbulent three-dimensional jet flows in rectangular enclosures", AERE-R 11892, 1986.

2. Jayanti S and Hewitt G F, "Turbulent flow through a 90° bend of square cross-section", Proceedings of the Conference on Numerical Methods in Laminar and Turbulent Flow, STANFORD, pages 255-265, Pineridge Press, 1991. See also S J Dewhurst, S R Martin, S Jayanti and G Costigan, "Flow measurements in a square section 90° bend", HTFS RS860, pages 457-467, 1990.

3. Witlox H W M, "Mathematical modelling of three-dimensional dense-gas dispersion problems", Proceedings of the Third I.M.A. Conference on Stably Stratified Flows, LEEDS, UNITED KINGDOM, pages 363-394, 1989.

4. Ciofalo M and Collins M W, "Predictive study of heat transfer to an incompressible fluid past a double symmetric flat duct expansion", Second United Kingdom National Heat Transfer Conference, pages 1057-1074, GLASGOW, SCOTLAND. 1988.

5. Ciofalo M and Collins M W, "Predictive study of heat transfer to an incompressible fluid past a downstream-facing step in turbulent flow", International Journal of Heat and Technology, Volume 6, pages 8-33, 1988.

6. Hawkins I R, Honecker A, Krus H, Shaw C T and Simcox S, "Numerical studies of vehicle aerodynamics", Proceedings of Fisita Conference, TURIN, ITALY, 1990. Also AERE CSS240.

7. Wilkes N S, Alderton J H and Macintosh L M, "A comparison of predictions with experimental data for a fire in a hospital ward. 1: Preliminary predictions", AERE-M3712, 1988.

8. Awoleski S T & Kokkalis A, "A Case Study on the Application of Measurements and Computer Simulation to the Ventilation and Airborne Contaminants Control Within a Workshop", Proc. BEPAC Conference, 1991.

9. Simcox S, Wilkes N S and Jones I P, "Fire at King's Cross Underground Station, 18 November 1987: Numerical simulation of the buoyant flow and heat transfer", Report No. AERE-G 4782, Harwell Laboratory, Harwell, UK, 1988.

10. Simcox S, Wilkes N S & Jones I P, "Computer Simulation of the Flows of Hot Gases from the Fire at King's Cross Underground Station", Fire Safety Journal, Vol.18, pp 49-73, 1992.

11. Hiley R A, "CFD Investigation of Wind Pressure on Buildings", AEA-InTec-0993, 1992.

12. McCaughey M and Fletcher D F, "Calculations of wind-induced pressure distribution on a model building", Fire Safety Journal, Vol 20, pages 189-205, 1993.
13. Ergin-Ozkan S, Mokhtarzadeh-Dehghan M R and Reynolds A J, "Two and three-dimensional finite volume predictions of flow in a stairwell and comparison with experiment", International Symposium on Room Air Convection and Ventilation Effectiveness, TOKYO, JAPAN, July 1992.
14. Sinai Y L, Owens M P, Askari A and Fry C J, "Field modelling of fire and smoke movement", Proceedings Offshore Structural Design against Extreme Loads, LONDON, UNITED KINGDOM, 3-4 November, 1993, ERA.
15. Johnson A E, Saunders C J & Fletcher B, "Measured and predicted flows in fume cupboards", Staub-Reinhaltung der Luft, Vol. 55, pp 417-422, 1995.
16. Sinai Y L and Owens M P, "Validation of CFD modelling of unconfined pool fires with cross-wind: Flame geometry", Fire Safety Journal, Vol. 24, pp 1-34, 1995. See also Sinai Y L and Owens M P, "CFD simulation of large-scale pool fires", Second Seminar European Research in Industrial Fires, CADARACHE, FRANCE, 16-19 May 1994, CEC, and Owens M P and Sinai Y L, "Comments on CFD modelling of pool fires", Proceedings Tenth International Heat Transfer Conference, SOUTHAMPTON, UNITED KINGDOM, 14-18 August 1994, I.Chem.E..
17. Fry C J, "The Use of CFD for Modelling Pool Fires", presented at the 11th International Conference on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials (PATRAM 95), LAS VEGAS, USA, 1995.
18. Rhodes N, "CFD Prediction of Memorial Tunnel Fire Test No. 614", Proc. Second International Conference on Safety in Road and Rail Tunnels, GRANADA, University of Dundee & ITC.
19. Biollay H, "Project Eureka 499: Simulations Numeriques de L'essai D'Heptane H32", Journee de presentation de resultats de recherche a l'Arche de la defence, Paris, January 1996.
20. Zhou X & Lea CJ, "Applications of CFX for assessment of process hazards", Proc. Third CFX International Users' Conference, Latimer House, CHESHAM, UNITED KINGDOM, pp 199-224, October/November 1996.
21. Owczarek E, "Fires in tunnels: Study of the impact of various parameters on the critical ventilation speed (partial results)", Proc. Third CFX International Users' Conference, Latimer House, CHESHAM, UNITED KINGDOM, pp 225-244, October/November 1996.
22. Rhodes N, "Computer-aided analysis for fire safety in subways", Proc. Third CFX International Users' Conference, Latimer House, CHESHAM, UNITED KINGDOM, pp 191-198, October/November 1996.
23. Pritchard D K, Freeman D J & Guilbert P W, Prediction of Explosion Pressures in Confined Spaces, J. Loss Prev. Process Ind. Vol. 9 No. 3, pp 205-215, 1996.
24. Johnson A D, Ebbinghaus A, Imanari T, Lennon S P & Marie N, "Large-scale free and impinging turbulent jet flames - modelling and experiments", Trans. IChemE, Vol. 75, 1997.

25. Ungut A, Johnson A D, Phillips L & Berkel A I, "CFD calculation of combustion and radiation for a sonic syngas jet fire using a premixed flamelet turbulent combustion model", ICHMT International Symposium on Radiative Transfer, KUSADAI, TURKEY, 21-25 Jul 1997.
26. Lea C J, Owens M P & Jones I P, "Computational Fluid Dynamics Modelling of Fire on a One-Third Scale Model of a Channel Tunnel Heavy Goods Vehicle Shuttle", presented at 9th International Symposium Aerodynamics & Ventilation of Vehicle Tunnels", 6-8 October 1997, AOSTA, ITALY.
27. Lea C J, Hambleton R T, Hawksworth S J, Sinai Y L and Owens M P, "Assessment of Gas Dispersion in CCGT Enclosures: Measurement and CFD Modelling Using the CFX Software", presented at "Prevention & Control of Gas Explosions in CCGT and Steam Plants", IMechE HQ, LONDON, UNITED KINGDOM, 8 October 1997.
28. Guilbert P W, Jones I P, Owens M P & Sinai Y L, "Advances in Hazard Analysis Using CFD", Proc. HAZARDS XIII Symposium, UMIST, MANCHESTER, UK, 22-24 April 1997, IChemE Symposium Series No. 141, IChemE.
29. Montavon C, "Validation of a non-hydrostatic numerical model to simulate stratified wind fields over complex topography", Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, Vol. 74-76, pp 273-282, 1998.
30. Hagglund B, Werling P & Bengtson S, "An experimental study of the smoke spread in a two-plane compartment", Proc. "Third Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology", SINGAPORE, 10-12 June 1998.
31. Steel Construction Institute, Proceedings "Blast and Fire Engineering For Topside Structures, Phase 2", 18-19 February 1998, LONDON, UNITED KINGDOM, Section II p 26, SCI Publication Number 253, 1998. This deals with blind validation of CFX by AEA Technology and DNV for a compartment jet fire. See also FABIG Newsletter Issue No. 23, article R333 by A Huser, Y Sinai & R Wighus, pp 11-14, October 1998, for correspondence on this validation.
32. Wen J X, Huang L Y, Amin E M & Nolan P, "Modelling of sooting jet fires in a large-scale offshore compartment", Proc. 27th International Symposium on Combustion, BOULDER, USA, 1998.
33. Wright N G & Easom G J, "Comparison of several computational turbulence models with full-scale measurements of flow around a building", Wind and Structures, Vol. 2, No. 4, pp 305-323, 1999.
34. Wright N G, Easom G J & Hoxey R, "Improved computational models for wind engineering", Proc. Tenth International Conference on Wind Engineering, Ed. A Larsen et al, COPENHAGEN, DENMARK, 21-24 June 1999, pp 1359-1365, A A Balkema, 1999.
35. Miles S, "A study of the operation of a novel naturally ventilated building using computational fluid dynamics", Proc. CIBSE National Conference, pp 338-345, CIBSE, 1999.

36. Jia F, Galea E R & Patel M K, "The numerical simulation of enclosure fires using a CFD field model coupled with a pyrolysis based solid fuel combustion submodel - a first approximation", Journal of Fire Protection Engineering, Vol. 9 No. 4, pp 1-17, 1999.
37. Jia F, Galea E R & Patel M K, "The numerical simulation of fire spread within a compartment using an integrated gas and solid phase combustion model", Journal of Applied Fire Science, Vol. 8 No. 4, pp 327-352, 1999.
38. Huang L Y & Wen J X, "Field modelling of large-scale compartment jet fires by constrained equilibrium method", Proc. 6th International Symposium on Fire Safety Science, POITIERS, FRANCE, July 1999.
39. Sinai Y L, "Comments on the role of leakages in field modelling of under-ventilated compartment fires", Fire Safety Journal, Vol 33, pp 11-20, 1999.
40. Ribot B, Chasse P, Gay B & Rhodes N, "Numerical simulation of smoke extraction by roof vents in a tunnel: Comparison with experimental tests – analysis of physical phenomena", Proc. International Conference on Tunnel Fires and Escape from Tunnels, Lyon, France, 5-7 May 1999, pp 169-179, ITC, 1999.
41. Ingason H, Hagglund B & Werling P, "Effects of ventilation on smoke spread in tunnels", Proc. International Conference on Tunnel Fires and Escape from Tunnels, LYON, FRANCE, 5-7 May 1999, pp 407-416, ITC, 1999.
42. Hagglund B, Walmerdahl P, Delin M & Lundquist M, "Applied engineering calculations of smoke spread by zone- and CFD-models", FOA-R-00-01409-311-SE, January 2000, FOA, (in Swedish).
43. Klein R & Rehm W, "Models and Criteria for Prediction of Deflagration-to-Detonation Transition in Hydrogen-Air-Steam Systems under Severe Accident Conditions, Energy Technology Volume 9, Schriften des Forschungszentrums Julich, 2000.
44. Santon R C, Lea C J, Lewis M J, Pritchard D K, Thyer A M & Sinai Y L, "Studies into the role of ventilation and the consequences of leaks in gas turbine power plant acoustic enclosures and turbine halls", Trans. IChemE, Vol. 78, Part B, pp 175-182, May 2000. Also Proc. HAZARDS XV, UMIST, MANCHESTER, UK, 4-6 April 2000, IChemE.
45. Ammerman C N, Bernardin J D, Gregory W S, Hopkins S M & Zygmunt S P, "Thermal analysis of the thermally cooled vault within the Los Alamos nuclear materials storage facility", Proc. ASME FEDSM'00, ASME 2000 Fluids Engineering Division Summer Meeting, 11-15 June 2000, Boston, Massachusetts, USA.
46. Rota R, Canossa L & Nano G, "Analysis of Air Draught Influence on the Local Ventilation Efficiency Through CFD Modelling", Proc. Ventilation 2000, 4-7 June 2000, Helsinki, pp 77-79, 2000, Finnish Institute of Occupational Health.
47. Sinai Y L, "Exploratory CFD modelling of pool fire instabilities without cross-wind", Fire Safety Journal, Vol. 35 No. 1, pp 51-61, July 2000.

48. Koskela H, "CFD Modelling of Active Displacement Air Distribution", ROOMVENT 2000, Proc. Seventh International Conference on Air Distribution in Rooms, READING, UK, 9-12 July 2000, Vol. 1, pp 577-582, Elsevier, 2000.
49. Nilsson H, Holmer I, Holmberg S & Sandberg M, "Thermal Climate Assessment in Office Environment – CFD Calculations and Thermal Manikin Measurements", ROOMVENT 2000, Proc. Seventh International Conference on Air Distribution in Rooms, READING, UK, 9-12 July 2000, Vol. 1, pp 107-112, Elsevier, 2000.
50. Hyun S & Kleinstreuer C, "Computational Exposure and Dose Assessment Analyses for Transient Turbulent Flow and Gaseous Pollutant Transport", ROOMVENT 2000, Proc. Seventh International Conference on Air Distribution in Rooms, READING, UK, 9-12 July 2000, Vol. 1, pp 119-124, Elsevier, 2000.
51. Ungut A, Bradley D, Gaskell P H & Gu X J, "Flamelet Simulation of a Large Propane Jet Fire and its Radiative Emission", presented Third International Symposium on Fire & Explosion Hazards, WINDERMERE, UK, 10-14 April 2000, University Central Lancashire, UK.
52. Koskela H, "Modelling of Active Displacement Air Distribution in Heating and Cooling Conditions – A Case Study", Proc. Sixth International Symposium on Ventilation and Contaminant Control, HELSINKI, FINLAND, November 2000, Vol. 1, pp 35-38, Finnish Institute of Occupational Health, 2000.
53. Sinai Y L, Stopford P J, Edwards M & Watkins S, "CFD Modelling of Fire Suppression by Water Spray: A Feasibility Study Examining a Pool Fire in a Simple Enclosure". Proc. Interflam 2001, 17-19 September 2001, Edinburgh, Vol. 2, pp 1445-1451, Interscience, 2001.
54. Saunders J, Ivings M, Johnson A, Fletcher B, Lea C & Connolly S, "A study of the natural ventilation of offshore modules using CFD modelling and on-site measurements", Paper 4.3, Proc. Major Hazards Offshore, London, 27-28 November 2001, ERA.
55. Koskela H & Heikkinen J, "Calculation of Thermal Comfort from CFD-Simulation Results", INDOOR AIR 2002, Proc. Ninth International Conference on Indoor Air Quality and Climate, MONTEREY, USA, 2002.
56. Cook M J, Ji Y & Hunt G R, "CFD Modelling of Natural Ventilation: Combined Wind and Buoyancy Forces", Int. Journal of Ventilation, Vol. 1 No. 3, pp 169-180, 2003.
57. Sinai Y L, "Field Modelling of a Steckler Experiment: An Example of the Relationship Between the Level of Modelling and Accuracy", presented Fourth International Seminar on Fire & Explosion Hazards, Londonderry, UK, 8-12 September 2003, University of Belfast, 2003.
58. Sklavounos S & Rigas F, "Validation of turbulence models in heavy gas dispersion over obstacles", Journal of Hazardous Materials, A108, pp 9-20, 2004.
59. Horvat, A., Sinai, Y., "Validation of CFD Predictions of a Forced Convection Jet and Buoyant Plume", Proc. 8th UK National Heat Transfer Conference in Oxford, UK, 2004.

60. Liu, Y., Moser, A. and Sinai, Y., "Comparison of a CFD Fire Model Against a Ventilated Fire Experiment in an Enclosure", International Journal of Ventilation, Vol. 3 No. 2, pp 169-182, 2004.
61. Gobeau N, Kelsey A, Saunders J & Sinai Y, "Thermal effects on the dispersion of a gaseous contaminant in a naturally-ventilated building", Proc. ROOMVENT 2004, Coimbra, Portugal, 5-8 September 2004.
62. Sinai Y L, Sykes N, Everitt P, Danielsson N, "Validation of a CFD model for several displacement ventilation geometries", Proc. ROOMVENT 2004, Coimbra, Portugal, 5-8 September 2004.
63. Ledin H S, Allen J T, Ivings M J & Bettis R J, "Evaluation of CFD modelling of smoke movement in complex spaces – Production of small-scale experimental data and assessment of CFD", CM/01/18, Health & Safety Laboratory, UK, 2002.
64. Dahlsveen J & Johnsen R, "LNG accident consequence modelling – a comparison study between simple models and CFD", Proc. Major Hazards Offshore & Onshore", London 2004, ERA Report 2004-0610, ERA, 2004.
65. Galgano A., Di Blasi C., Horvat A. & Sinai Y., "Experimental Validation of a Coupled Solid- and Gas-Phase Model for Combustion and Gasification of Wood Logs", Energy & Fuel, Vol. 20, No. 5, pp 2223-2232, 2006.
66. Deevey M. & Gobeau N., "CFD Modelling of Benchmark Test Cases for Flow Around a Computer Simulated Person", Health & Safety Laboratory Report CM/06/06, May 2006.
67. Horvat A. & Sinai Y.L., "Numerical simulation of backdraft phenomena", Fire Safety Journal, Vol. 42, pp 200-209, 2007.
68. Sinai Y., Staples C., Edwards M. & Smerdon M., "CFD modelling of fire suppression by water mist", Proc. Interflam 2007, Vol. 1, pp 323-333, Interscience Communications, 2007.
69. Deevey M., Sinai Y., Everitt P., Voigt L. & Gobeau N., "Modelling the effect of an occupant on displacement ventilation with computational fluid dynamics", Energy and Buildings, Vol. 40, pp 255-264, 2008.
70. Horvat A., Sinai Y., Gojkovic D. & Karlsson B., "Numerical and Experimental Investigation of Backdraft", Combustion Science and Technology, Vol. 180, Issue 1, pp 45-63, 2008.
71. Horvat A., Sinai Y. and Tofilo P., "Semi-Analytical Treatment of Wall Heat Transfer Coupled to a Numerical Simulation Model of Fire", Numerical Heat Transfer, Part A, Volume 55 Issue 6, pp 517 – 533, 2009.