

Project: **Gebiedsontwikkelingen PSV-laan Eindhoven**

Locatie: Eindhoven, Nederland

Onderwerp: Windhinderonderzoek

Document: P72719538e102

Datum: 23 februari 2021



ONE Simulations BV
3^e Binnenvestgracht 23 K
2312 NR Leiden
Nederland

+31 (0)71 56 80 900
info@onesimulations.com
www.onesimulations.com

2

Inhoudsopgave

1	Introductie.....	4
2	Onderzoeksdoel.....	5
3	Beoordelingsmethodiek	6
4	Uitgangspunten	7
4.1	Geometrie	7
4.2	Windklimaat	10
4.3	Windprofiel.....	12
4.4	CFD modellering	14
5	Resultaten	15
5.1	Windhinder.....	15
5.2	Windgevaar	19
6	Samenvatting.....	22
	Referenties	24
	Bijlage A – CFD resultaten huidige situatie	25
	Bijlage B - CFD resultaten nieuwe situatie	38
	Bijlage C - Software beschrijving en validatie lijst	51

1 Introductie

Het gebied ten westen van het PSV stadion te Eindhoven wordt stedenbouwkundig ontwikkeld. Op een momenteel braakliggend perceel wordt Hartje Eindhoven, bestaande uit 3 woonblokken met commerciële ruimtes in de plint, gerealiseerd. Daarnaast wordt het kantoorpand direct grenzend aan het PSV-stadion gesloopt en vervangen door een woontoren genaamd Eurostaete.

Op verzoek van Aveco de Bondt is een windhinderonderzoek uitgevoerd voor de huidige situatie en de nieuw te realiseren situatie. Aan de hand van de NEN 8100 wordt het windklimaat op straatniveau voor de huidige en nieuwe situatie getoetst. De huidige rapportage concentreert zich met name op het windklimaat rond Eurostaete.

Het windklimaat wordt inzichtelijk gemaakt met behulp van Computational Fluid Dynamics (CFD) simulaties aan de hand van de methodiek die omschreven staat in de NEN 8100 (1). 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 rond de gebiedsontwikkeling op straatniveau rond Eurostaete inzichtelijk te maken. Het lokale windklimaat voor de nieuwe situatie wordt vergeleken met de huidige situatie. Aan de hand hiervan kan worden beoordeeld of er maatregelen genomen moeten worden genomen wanneer een gevaarlijk windklimaat ontstaat.

Het berekende windklimaat wordt vervolgens getoetst aan de beleidsregel gemeentelijke normen windhinder van de gemeente Eindhoven (2). Hierin worden een aantal punten genoemd, welke hieronder zijn samengevat:

- Openbare ruimten moeten voldoen aan de kwalificatie goed
- Kwalificatie matig kan eventueel na bestuurlijke afweging worden geaccepteerd
- Slecht is niet toegestaan, maar hiervan kan door B&W worden afgeweken
- Hoofdentree moet voldoen aan de kwalificatie goed voor activiteit slenteren
- Bij windgevaar moet de kwalificatie gevaarlijk te allen tijde worden vermeden

Voor de beoordeling van windklimaat wordt de classificatietabel uit de NEN 8100 toegepast.

3 Beoordelingsmethodiek

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) wordt overschreden. De drempelwaarde voor windhinder is vastgesteld op 5 m/s. In Tabel 1 is deze classificatie weergegeven. Er worden voor beide situaties 12 windrichtingen gesimuleerd waarbij de som van het aantal uren dat de drempelwaarde wordt overschreden de kwaliteitsklasse bepaald. De beoordeling wordt uitgevoerd op 1,75 m boven 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 windklimaat 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 In procenten van het aantal uren per jaar	Kwalificatie
0,05 < 0,30	Beperkt risico
> 0,30	Gevaarlijk

Tabel 2: Kwalificatietabel windgevaar conform NEN8100.

Het lokale windklimaat voor de nieuwe situatie wordt vergeleken met de huidige situatie en beoordeeld volgens de methode omschreven in de NEN 8100 (1).

4 Uitgangspunten

4.1 Geometrie

De nieuwe woontoren Eurostaete zal circa 96 m boven het maaiveld uitkomen. Dit is significant hoger dan het huidige gebouw van circa 37 m. De locatie van Hartje Eindhoven is momenteel een braakliggend perceel. Hier zullen drie woonblokken gerealiseerd worden, waarvan de hoogste 37 m boven het maaiveld uitsteekt. De balkons van de drie woonblokken en het geluidscherm tussen de woonblokken zijn ook meegenomen in het model.

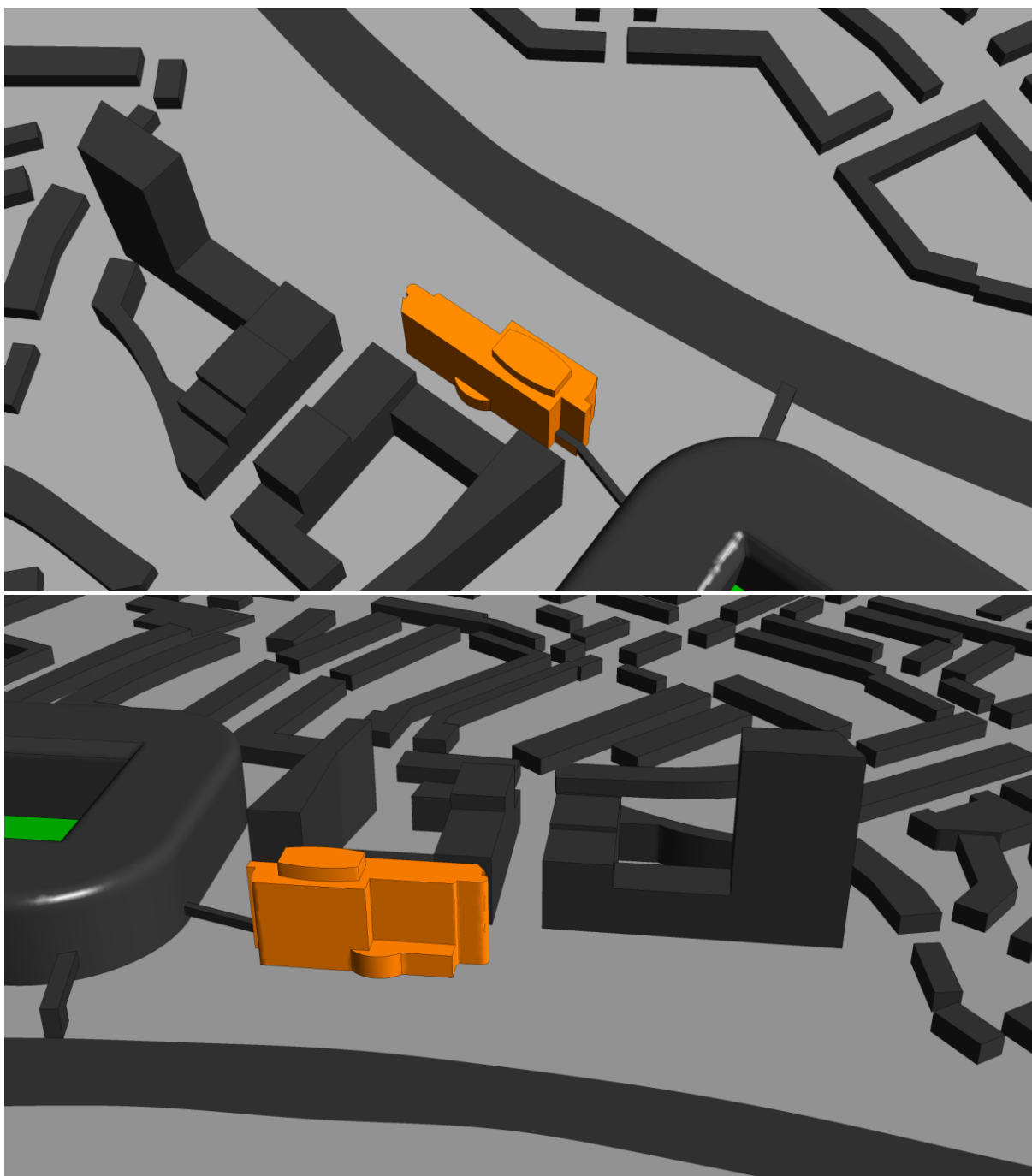
Het 3D CFD model van de nieuwe situatie is gebaseerd op de aangeleverde modellen samengevat in Tabel 3.

Model	Omschrijving
0966_ADB_EUROBUILDING_BOUWDEEL 1&2_20190304.ifc	3D model Eurostaete deel 1
0966_ADB_EUROBUILDING_BOUWDEEL 1&2_20190304.ifc	3D model Eurostaete deel 2
1531_190318 Hartje Eindhoven VO MODEL.skp	3D model Hartje Eindhoven

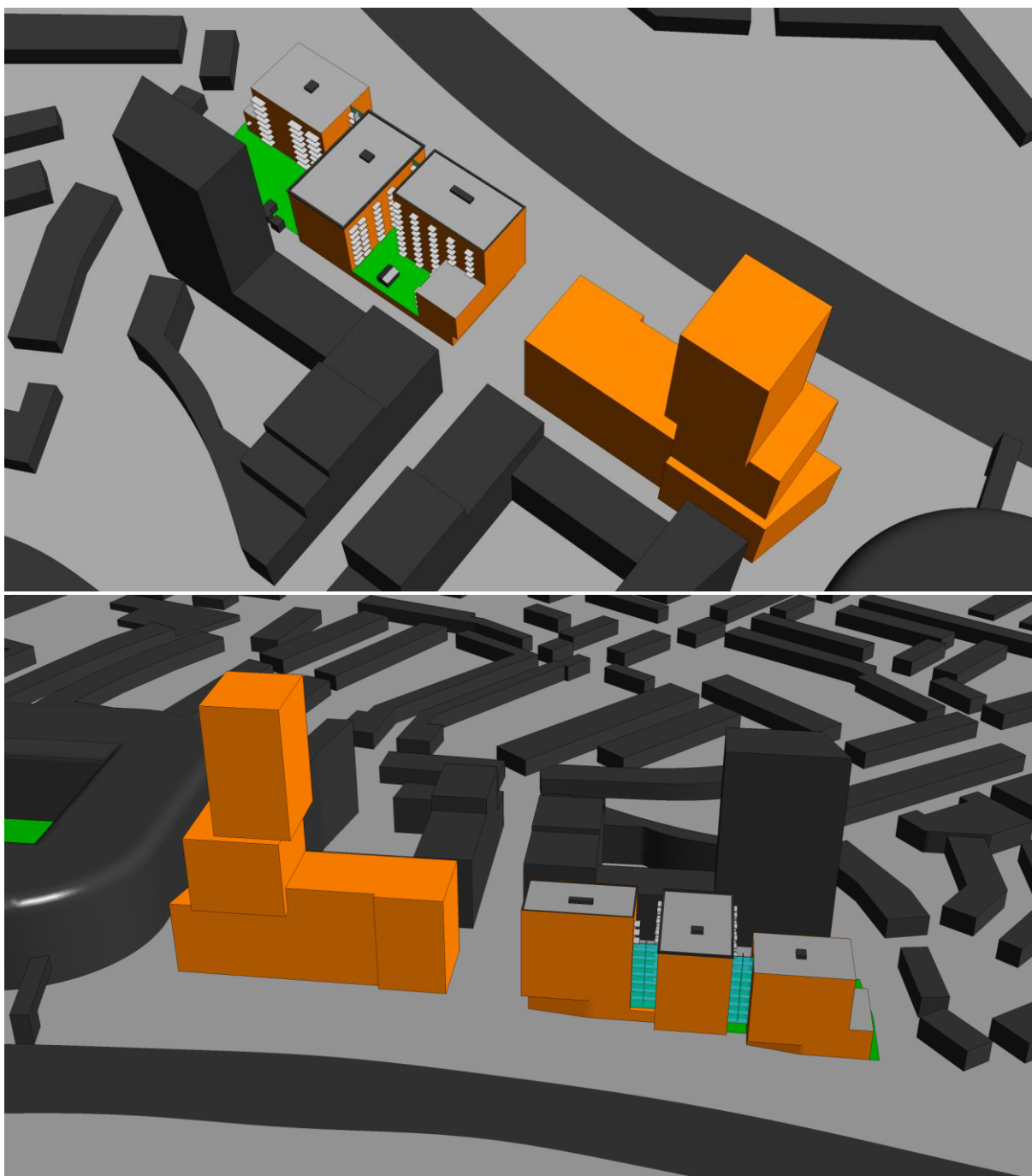
Tabel 3: Overzicht aangeleverde modellen gebruikt voor de CFD analyse.

De omgeving is gereconstrueerd aan de hand van Google Earth Pro.

Figuur 1 toont het 3D CFD model van de huidige situatie gezien vanuit het zuiden (bovenste afbeelding) en het noorden (onderste afbeelding). Figuur 2 toont het 3D CFD model van de nieuwe situatie gezien vanuit het zuiden (bovenste afbeelding) en het noorden (onderste afbeelding).



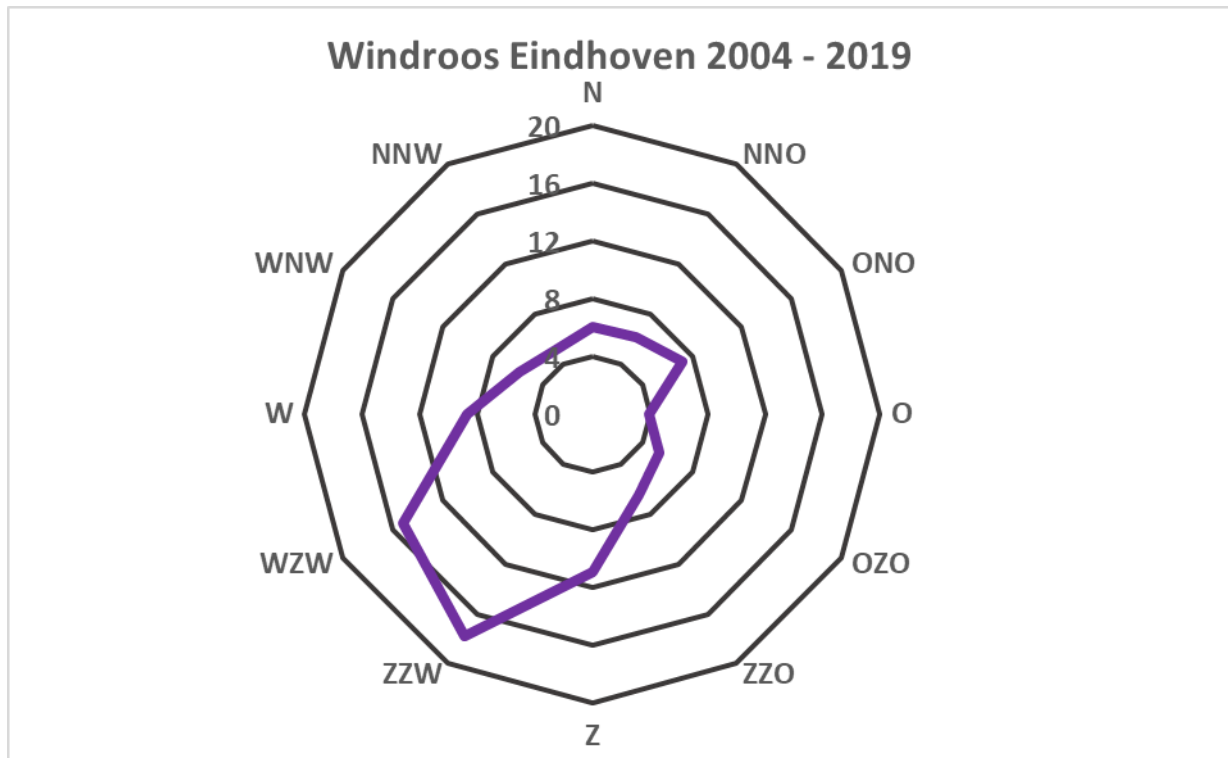
Figuur 1: 3D CFD model van de huidige situatie gezien vanuit het zuiden (bovenste afbeelding) en het noorden (onderste afbeelding).



Figuur 2: 3D CFD model van de nieuwe situatie gezien vanuit het zuiden (bovenste afbeelding) en het noorden (onderste afbeelding).

4.2 Windklimaat

Voor de analyse van het windklimaat is de weerdata van het KNMI over de jaren 2004 - 2019 van weerstation Eindhoven gebruikt. In Figuur 3 is het percentage uren per windrichting over 15 jaar weergegeven. De simulatie is uitgevoerd voor de twaalf windrichtingen zoals aangegeven in de windroos.



Figuur 3: Windroos te Eindhoven, percentage uren over 15 jaar.

De hiervoor omschreven klimaatdata liggen ten grondslag aan de windklimaatanalyse. Het aantal uren wind per windrichting en windsnelheid hebben effect op het windklimaat.

Middels de in de CFD berekende windfactor (verhouding van de lokale windsnelheid ten opzicht van 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 geanalyseerde periode.

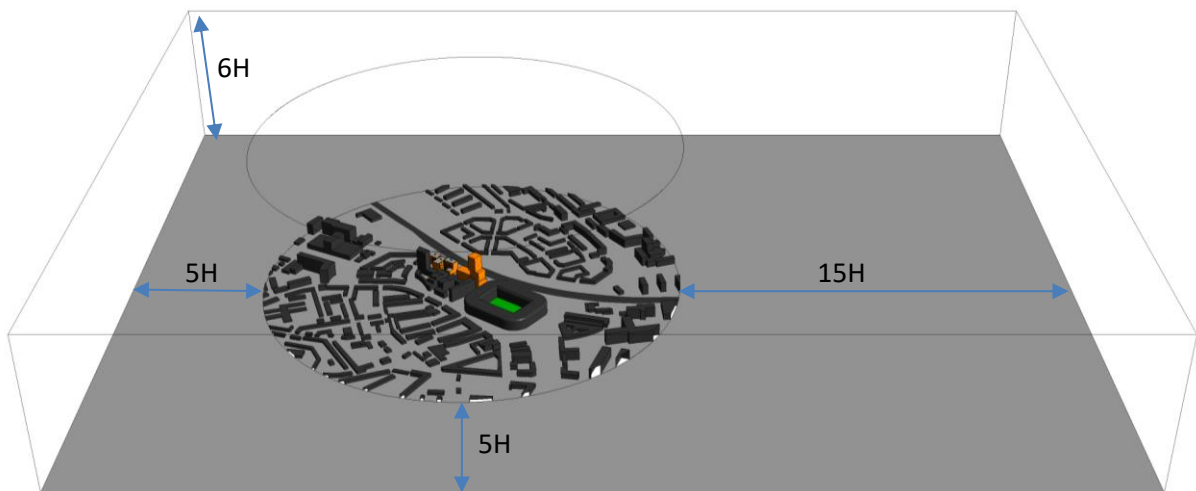
Richting	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	Var.
Snelheid	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]	[uur]
0	76	2	2	1	2	3	3	5	9	4	2	4	5
1	141	48	29	38	68	96	98	110	99	60	63	69	67
2	102	101	101	94	147	151	165	202	167	170	131	102	27
3	101	127	153	101	136	171	222	245	221	156	110	92	2
4	77	111	137	57	70	82	193	253	198	126	83	75	0
5	52	77	97	29	32	38	123	241	189	100	61	57	0
6	28	40	58	11	11	15	78	199	156	66	34	31	0
7	13	18	31	3	3	5	40	129	115	37	17	14	0
8	5	9	17	3	0	2	17	80	77	19	5	5	0
9	1	2	4	0	0	0	5	44	46	10	3	1	0
10	0	1	0	0	0	0	3	19	22	3	1	0	0
11	0	0	0	0	0	0	1	9	13	2	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	5	6	1	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 4: Overzicht van de jaargemiddelde frequentie van de windsnelheid per richting.

4.3 Windprofiel

Het simulatiemodel is aan de randen, van waaruit de wind het model instroomt, voorzien van een windprofiel. De windsnelheid is dicht bij het maaiveld lager door de invloed van bijvoorbeeld bebouwing en begroeiing. De mate van invloed wordt beschreven door de ruwheidslengte (3). De ruwheidslengte voor het gebied rondom de gebiedsontwikkeling is vastgesteld op 0,8 m (stedelijk gebied). Bij het definiëren van het windprofiel is rekening gehouden met de verandering van de omgeving van het KNMI weerstation naar het gebied van interesse.

Om de windstroom realistisch te kunnen simuleren is om de gemodelleerde bebouwing een winddomein geplaatst waar ook lucht doorheen kan stromen. 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 en de hoogte van het domein is 6H. Stroomopwaarts is het domein eveneens 5H lang en stroomafwaarts 15H. In dit winddomein wordt het windprofiel behouden door volumetrische bronnen afgestemd op de betreffende ruwheidslengte. Het winddomein om het gemodelleerde gebied heen is weergegeven in Figuur 4. Het winddomein kan gezien worden als een digitale windtunnel.



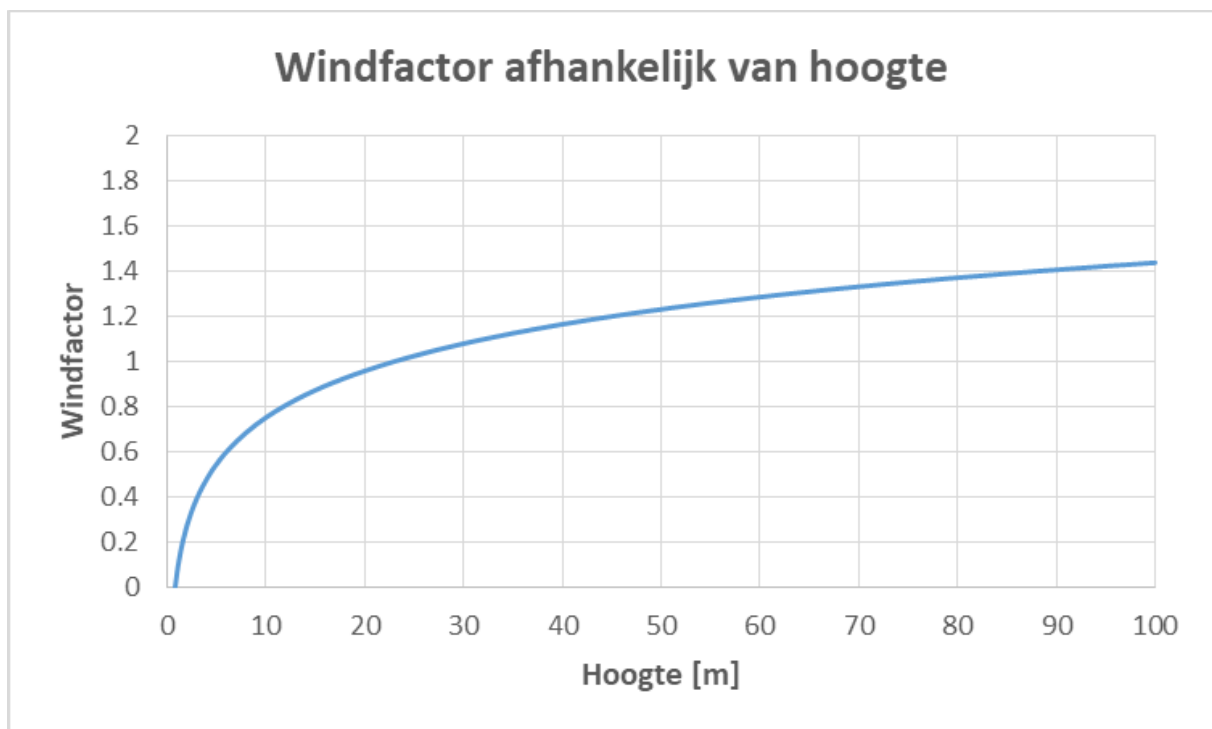
Figuur 4: Winddomein om het gemodelleerde gebied heen, ten behoeve van het windprofiel (digitale windtunnel).

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. Let op dat in het windprofiel al rekening is gehouden met het verschil in omgeving tussen de data van het meetstation (Eindhoven) en het gemodelleerd gebied.

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

Waarin,

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.

4.4 CFD modellering

De simulatie is uitgevoerd met behulp van het software pakket ANSYS CFX versie 2019 R1. Dit software pakket is geschikt voor vele toepassingen en in ruime mate gevalideerd.

Er is een 3D model gecreëerd van Eurostaete en Hartje Eindhoven gebaseerd op de aangeleverde modellen. De omgeving is gebaseerd op gegevens van Google Earth Pro. 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.

Parameter	Beschrijving
Cel type	Hybride, combinatie van hexaëders, tetraëders, piramides en prismalagen
Cel grootte	Dynamisch, variërend tussen 0,025 tot 2,0 m in de omgeving (vlakken) groeiend met een factor 1,05 tot maximaal 16 m in het vrije volume
Aantal cellen	24,6 miljoen
Simulatie type	Steady state
Convergentie criteria	RMS maximaal $1 \cdot 10^{-4}$
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)
Randen winddomein	Snelheids- en turbulentieprofiel
Ruwheid winddomein	Gemodelleerd door toepassing van volumetrische bronnen voor momentum en turbulentie net boven het maaiveld

Tabel 5: CFD modellering eigenschappen.

5 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 van de nieuwe situatie zijn vervolgens vergeleken met de huidige situatie. De resultaten per windrichting voor de huidige situatie zijn bijgevoegd in Bijlage A en voor de nieuwe situatie in Bijlage B.

5.1 Windhinder

Figuur 6 toont het CFD resultaat voor de huidige en nieuwe situatie gekleurd naar de kwaliteitsklasse zoals gedefinieerd in de NEN 8100 in directe omgeving van de ontwikkeling. Ter verduidelijking en interpretatie van het resultaat is in deze figuur de tabel met kwaliteitsklassen weergegeven (in overeenkomstige kleuren). Het percentage overschrijding op jaarbasis is weergegeven in Figuur 7 voor de huidige situatie en in Figuur 8 voor de nieuwe situatie.

In de huidige situatie is het percentage overschrijding in het gebied van interesse kleiner dan 20% en wordt overall maximaal kwaliteitsklasse D (matig bij doorlopen) gehaald.

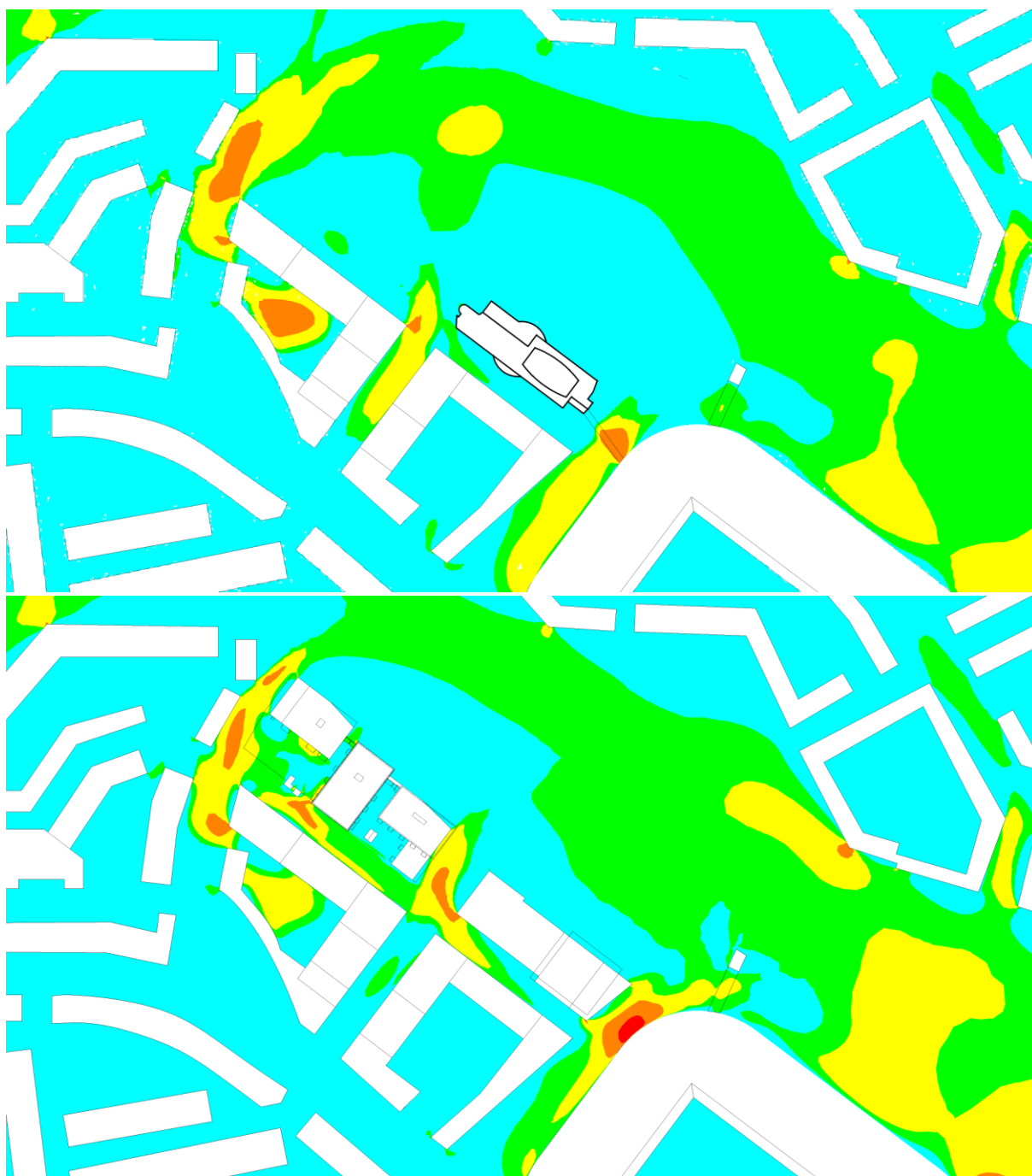
In de nieuwe situatie, nabij de hoeken van de woontoren, treedt op twee plaatsen een matig tot slecht windklimaat op. Dit zijn bekende onvermijdelijke knelpunten bij torens.

Bij de westelijke punt van het gebouw is een gebied met matig windklimaat voor slenteren (klasse D). In dit gebied ligt de kruising van de Gerard Philipslaan en de Anton Philipslaan en hier zullen dus voornamelijk auto's rijden. Er zijn op deze kruising geen stoplichten of zebrapaden, waardoor verwacht wordt dat hier de activiteit doorlopen geldt. Hierdoor wordt gesteld dat er niet veel hinder door voetgangers wordt ervaren. Daarbij wordt in de huidige situatie in dit gebied ook windklasse D behaald, dus is er geen verslechtering op het trottoir.

Bij de oostelijke punt wordt in een klein gebied een slecht windklimaat behaald. Echter, in dit gebied ligt een kleine, met hekwerk afgesloten, parkeerlocatie. Het is daarom niet te verwachten dat hier veel hinder wordt ervaren. In de oorspronkelijke situatie wordt hier al een matig windklimaat behaald.

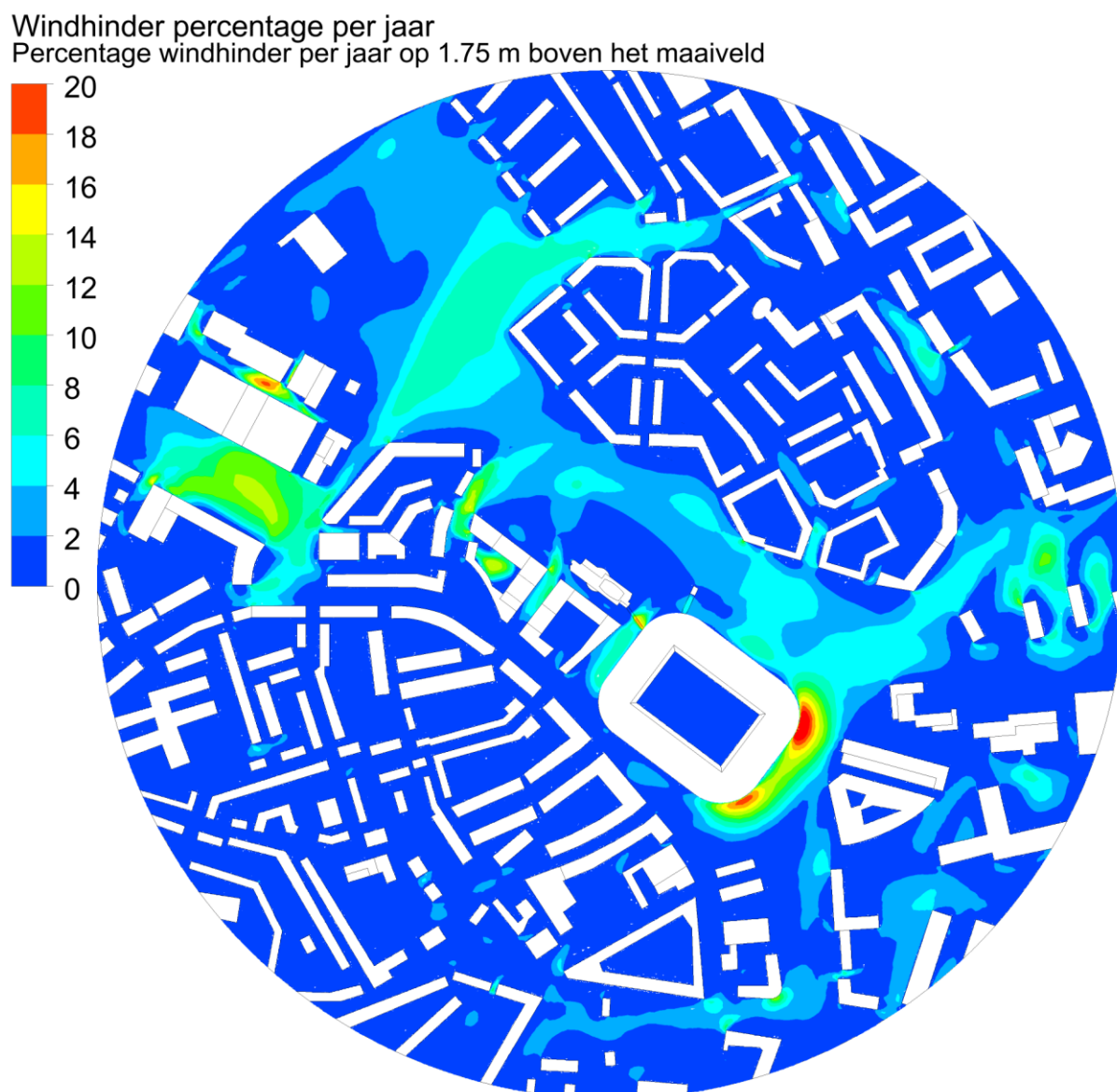
Langs de gehele noordoost gevel van de gebiedsontwikkeling wordt windklasse A behaald. Dit geldt ook voor de hoofdentree van de Eurostaete woontoren gelegen aan deze gevel.

In de directe omgeving wordt voldaan aan de punten genoemd in de beleidsregel gemeentelijke normen windhinder.



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

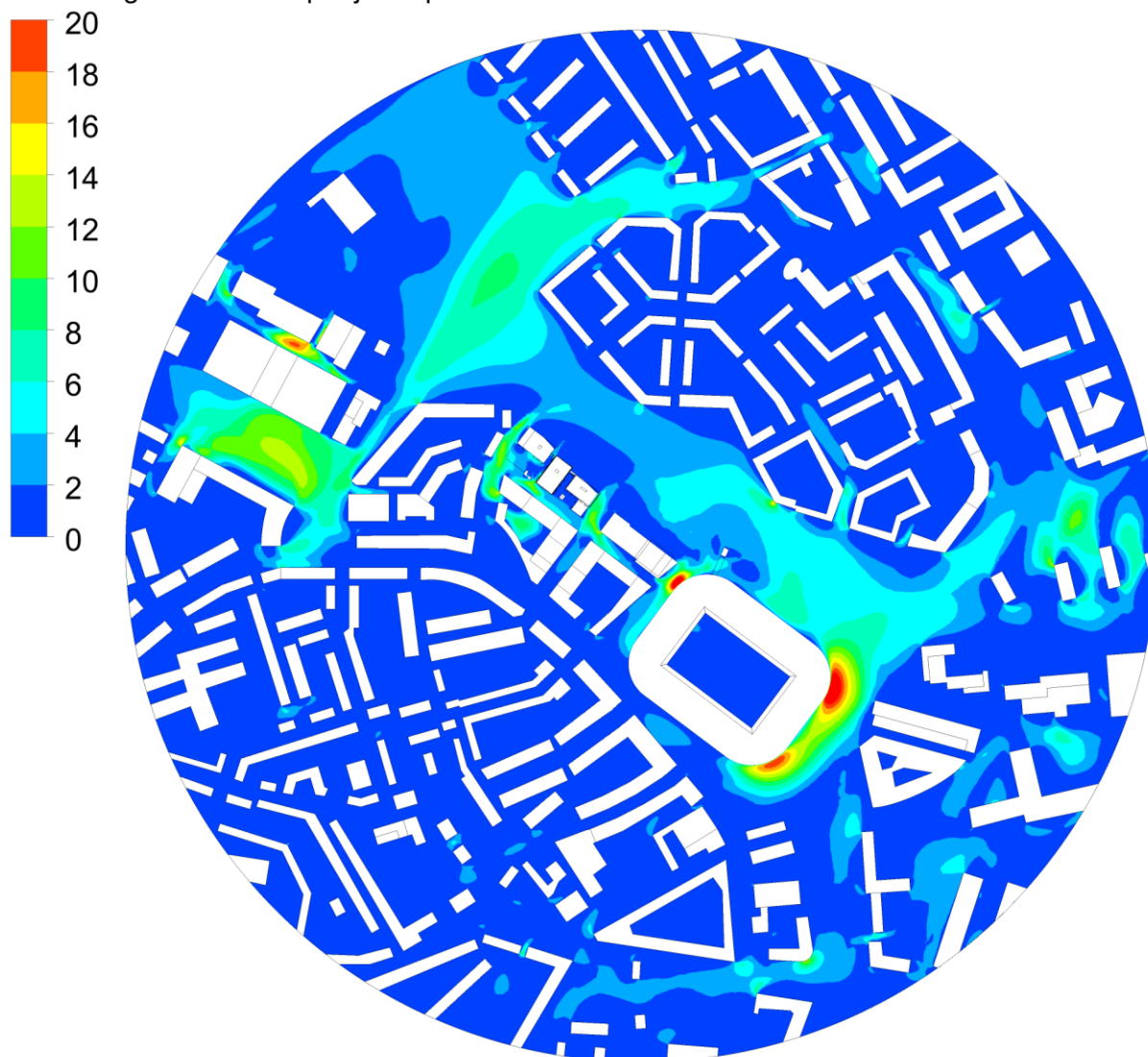
Figuur 6: Kwaliteitsklasse zoals omschreven in de NEN8100 voor de huidige situatie (boven) en de nieuwe situatie (onder) ingezoomd op het gebied van interesse.



Figuur 7: Percentage windhinder per jaar voor de huidige situatie.

Windhinder percentage per jaar

Percentage windhinder per jaar op 1.75 m boven het maaiveld



Figuur 8: Percentage windhinder per jaar voor de nieuwe situatie.

5.2 Windgevaar

De windgevaar overschrijdingsuren per windrichting zijn voor zowel de huidige en nieuwe situatie op voetgangersniveau (1,75 m boven maaiveld) berekend. Vervolgens zijn deze voor de 12 gesimuleerde windrichtingen gesommeerd.

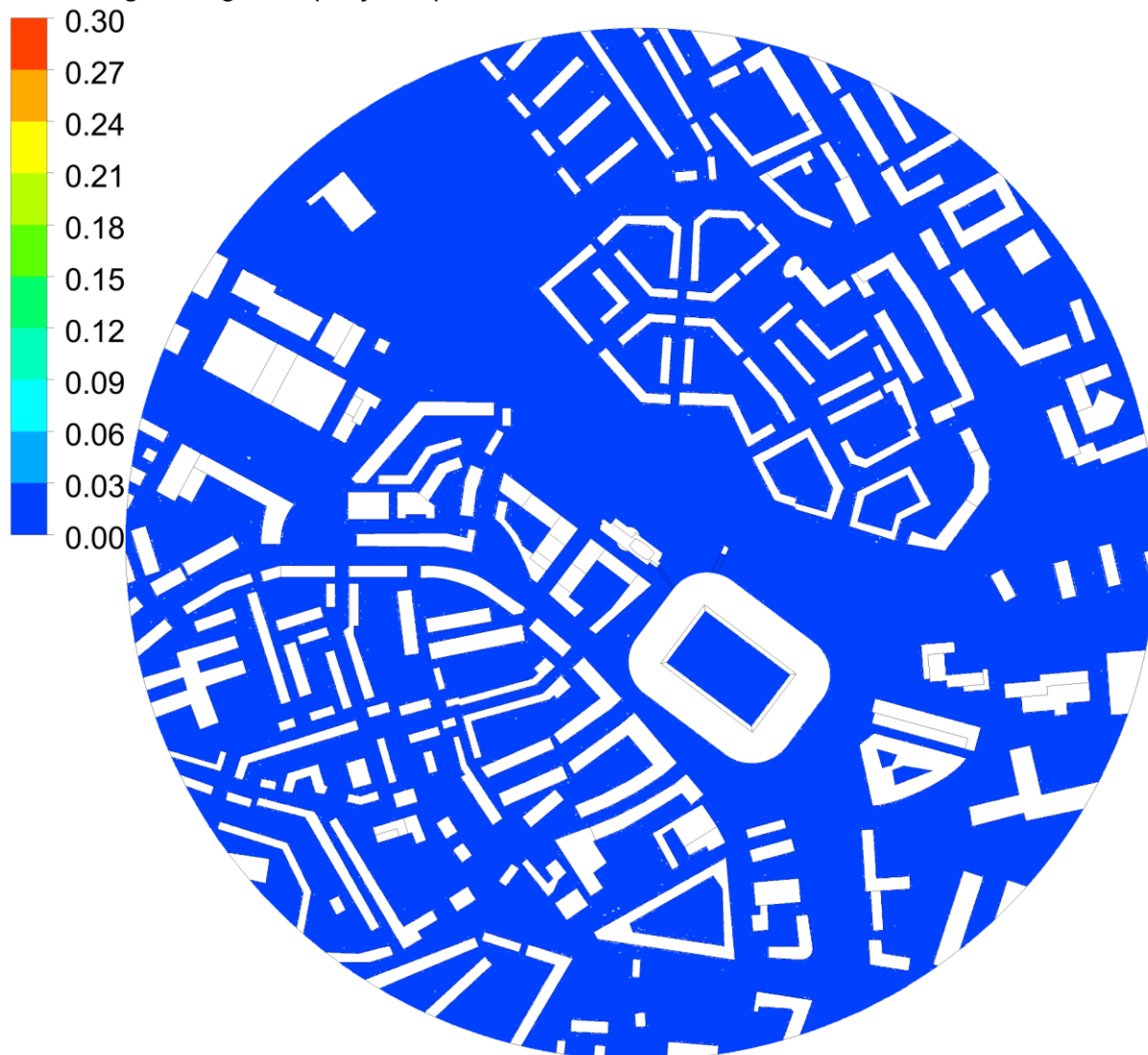
Een gebied waarbinnen de overschrijdingskans van de 15 m/s drempelwaarde hoger is dan 0,05%, wordt in de NEN 8100 gekwalificeerd als beperkt risico. Een overschrijdingskans hoger dan 0,3% wordt gekwalificeerd als gevaarlijk.

Figuur 9 toont het resultaat in percentage overschrijding op jaarbasis voor de huidige situatie en Figuur 10 voor de nieuwe situatie.

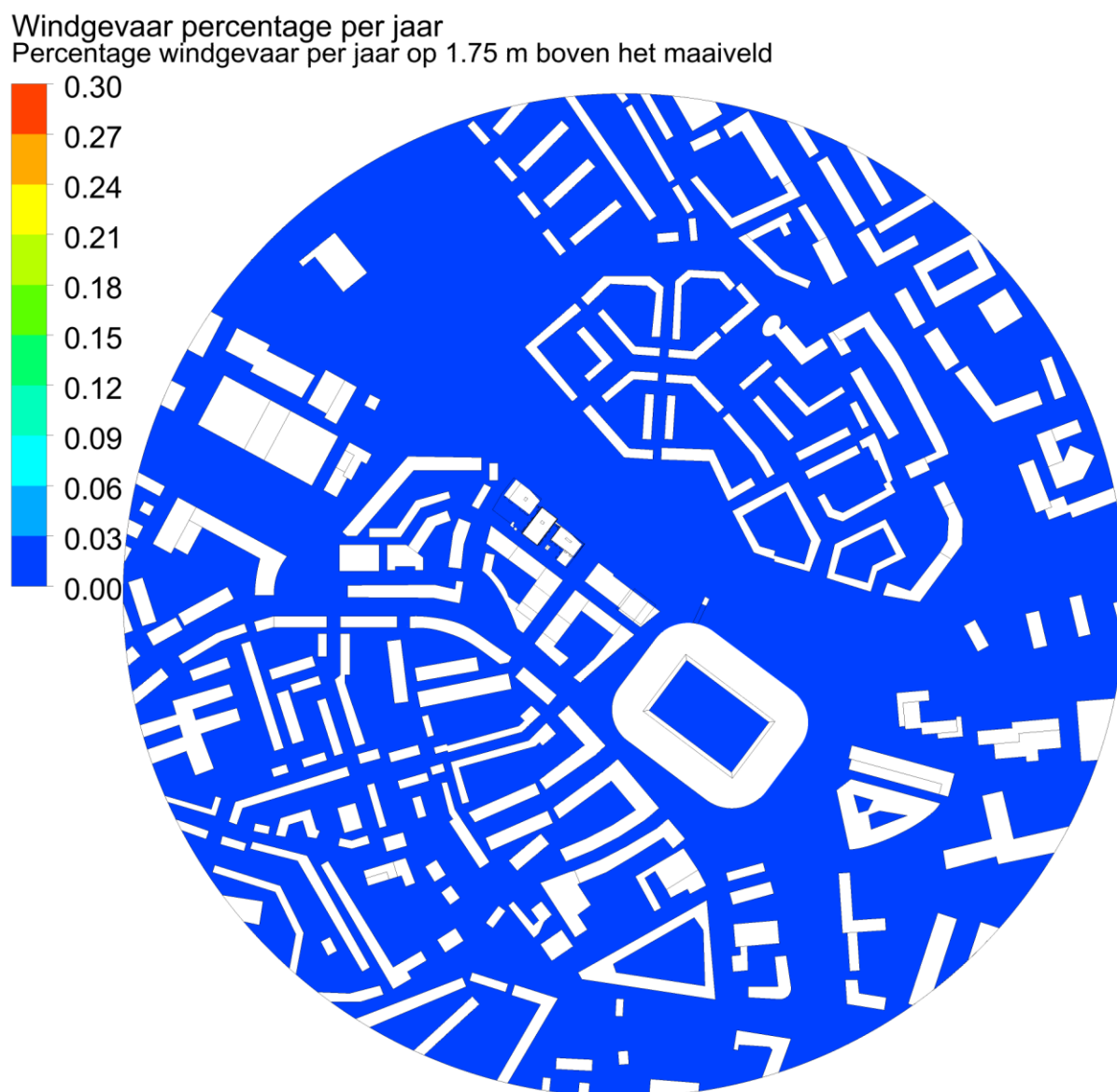
In beide situaties is de overschrijdingskans kleiner dan 0,03 % en is er volgens de NEN 8100 geen sprake van windgevaar.

Hiermee wordt voldaan aan de beleidsregel gemeentelijke normen windhinder.

Windgevaar percentage per jaar
Percentage windgevaar per jaar op 1.75 m boven het maaiveld



Figuur 9: Percentage windgevaar per jaar voor de huidige situatie.



Figuur 10: Percentage windhinder per jaar voor de nieuwe situatie.

6 Samenvatting

Het gebied ten westen van het PSV stadion te Eindhoven wordt stedenbouwkundig ontwikkeld. Op verzoek van Aveco de Bondt is een windhinderonderzoek uitgevoerd voor de huidige situatie en de nieuw te realiseren situatie. Aan de hand van de NEN 8100 wordt het windklimaat op straatniveau voor de huidige en nieuwe situatie getoetst. De huidige rapportage concentreert zich met name op het windklimaat rond Eurostaete.

Het doel van het onderzoek is het lokale windklimaat op straatniveau rond de gebiedsontwikkeling inzichtelijk te maken. Het lokale windklimaat voor de nieuwe situatie wordt vergeleken met de huidige situatie. Aan de hand hiervan kan worden beoordeeld of er maatregelen genomen moeten worden genomen wanneer een gevaarlijk windklimaat ontstaat.

Het berekende windklimaat wordt vervolgens getoetst aan de beleidsregel gemeentelijke normen windhinder van de gemeente Eindhoven (2). Hierin worden een aantal punten genoemd, welke hieronder zijn samengevat:

- Openbare ruimten moeten voldoen aan de kwalificatie goed
- Kwalificatie matig kan eventueel na bestuurlijke afweging worden geaccepteerd
- Slecht is niet toegestaan, maar hiervan kan door B&W worden afgeweken
- Hoofdentree moet voldoen aan de kwalificatie goed voor activiteit slenteren
- Bij windgevaar moet de kwalificatie gevaarlijk te allen tijde worden vermeden

Voor de beoordeling van windklimaat wordt de classificatietabel uit de NEN 8100 toegepast.

In de huidige situatie is het percentage overschrijding in het gebied van interesse kleiner dan 20% en wordt overal maximaal kwaliteitsklasse D (matig bij doorlopen) gehaald.

In de nieuwe situatie, nabij de hoeken van de woontoren, treedt op twee plaatsen een matig tot slecht windklimaat op. Dit zijn bekende onvermijdelijke knelpunten bij torens.

Bij de westelijke punt van het gebouw is een gebied met matig windklimaat voor slenteren (klasse D). In dit gebied ligt de kruising van de Gerard Philipslaan en de Anton Philipslaan en hier zullen dus voornamelijk auto's rijden. Er zijn op deze kruising geen stoplichten of zebrapaden, waardoor verwacht wordt dat hier de activiteit doorlopen geldt. Hierdoor wordt gesteld dat er niet veel hinder door voetgangers wordt ervaren. Daarbij wordt in de huidige situatie in dit gebied ook windklasse D behaald, dus is er geen verslechtering op het trottoir.

Bij de oostelijke punt wordt in een klein gebied een slecht windklimaat behaald. Echter, in dit gebied ligt een kleine, met hekwerk afgesloten, parkeerlocatie. Het is daarom niet te verwachten dat hier veel hinder wordt ervaren. In de oorspronkelijke situatie wordt hier al een matig windklimaat behaald.

Langs de gehele noordoost gevel van de gebiedsontwikkeling wordt windklasse A behaald. Dit geldt ook voor de hoofdentree van de Eurostaete woontoren gelegen aan deze gevel.

In beide situaties is de overschrijdingskans kleiner dan 0,03 % en is er volgens de NEN 8100 geen sprake van windgevaar.

In de directe omgeving wordt voldaan aan de punten genoemd in de beleidsregel gemeentelijke normen windhinder.

Referenties

1. NEN 8100 Windhinder en windgevaar in de gebouwde omgeving. Delft : Nederlands Normalisatie-instituut, februari 2006.
2. Gemeente Eindhoven. Overheid.nl. [Online] 04 06 2020.
<https://zoek.officielebekendmakingen.nl/gmb-2020-141113.html>. Gemeenteblad 2020, 141113.
3. Troen, Ib en Petersen, Erik Lundtang. *Roughness Classes and Roughness Length Table in "European Wind Atlas"*. Risoe , Denmark : Risoe National Laboratory, 1991. ISBN 87-550-1482-8.

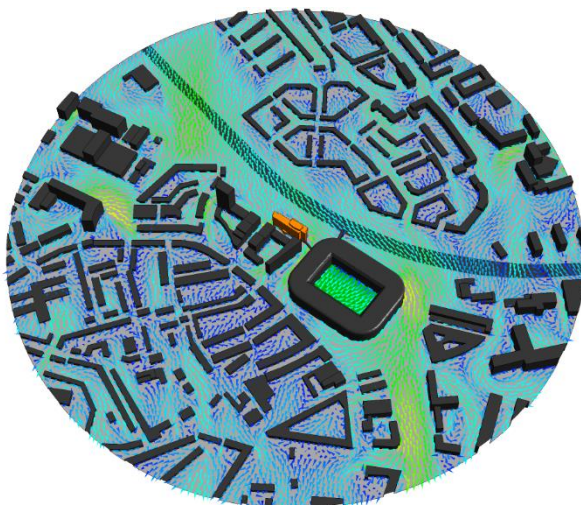
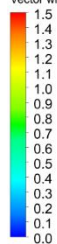
Bijlage A – CFD resultaten huidige situatie

Voor de huidige situatie voor 12 windrichtingen worden op de komende pagina's de volgende resultaten gepresenteerd:

1. Snelheidsvectoren op 1,75 m boven het maaiveld, gekleurd met de windfactor
2. Uren windhinder op 1,75 m boven het maaiveld
3. Uren windgevaar op 1,75 m boven het maaiveld

Windrichting 000

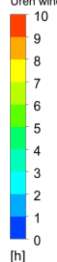
AV WF
Vector windfactor op 1.75 m boven maaiveld



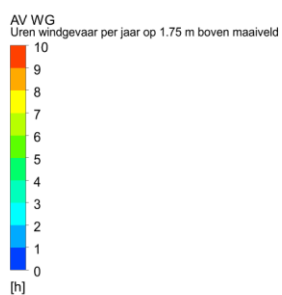
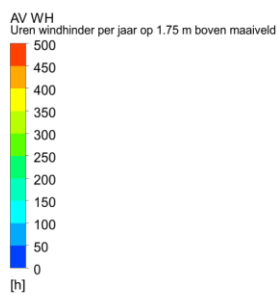
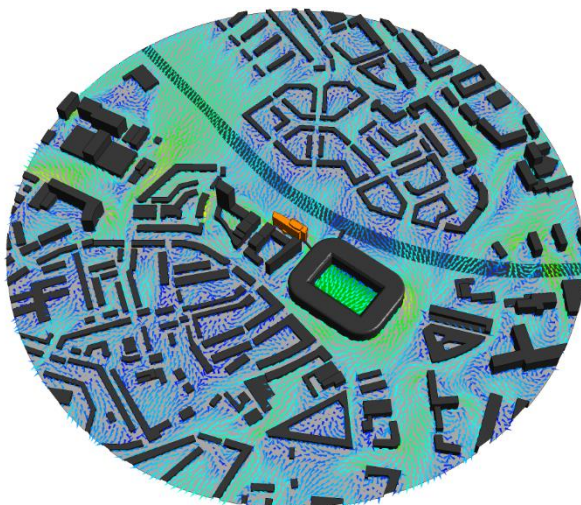
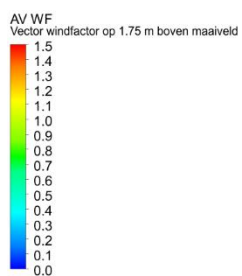
AV WH
Uren windhinder per jaar op 1.75 m boven maaiveld



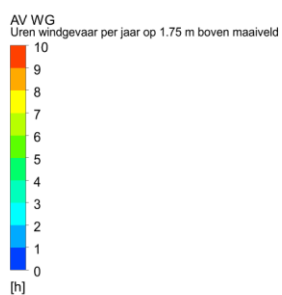
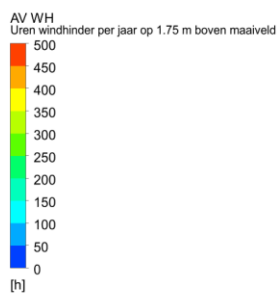
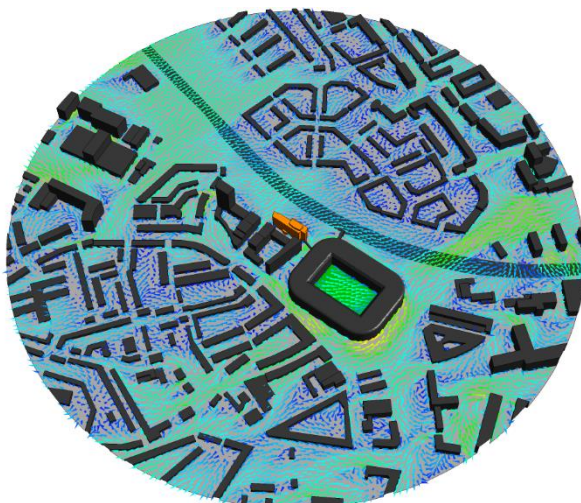
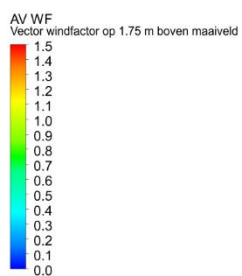
AV WG
Uren windgevaar per jaar op 1.75 m boven maaiveld



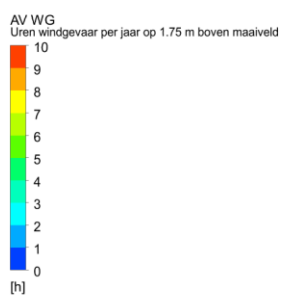
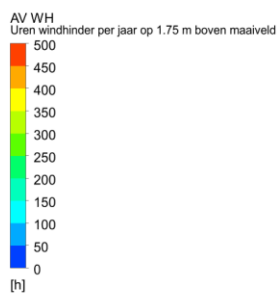
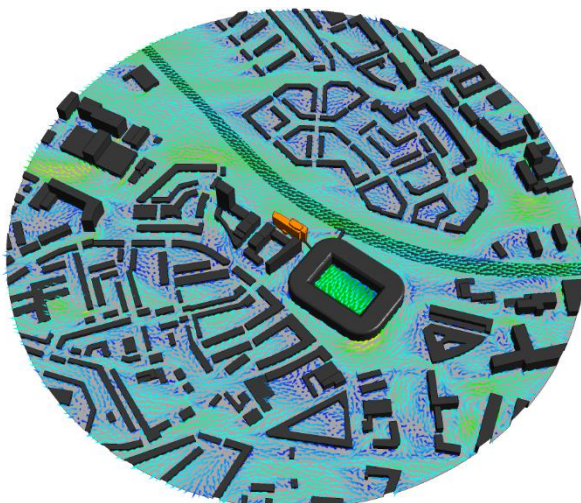
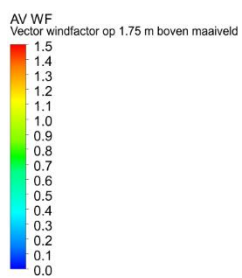
Windrichting 030



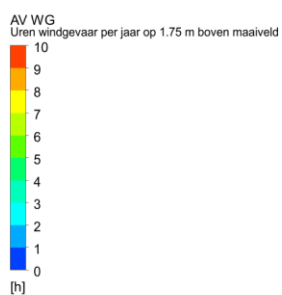
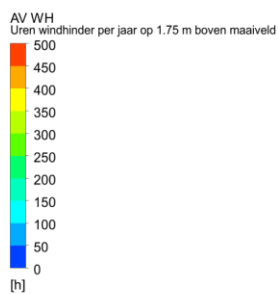
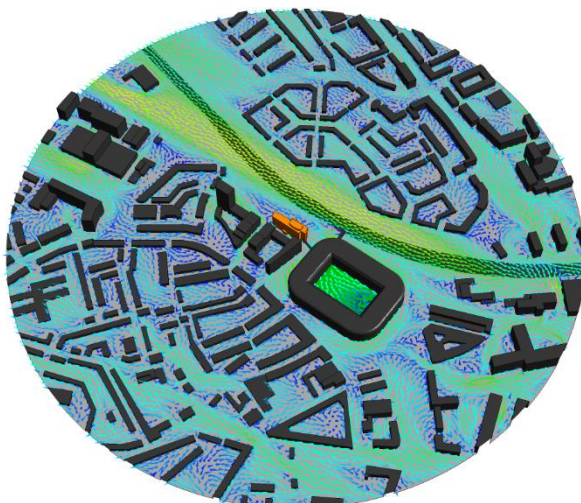
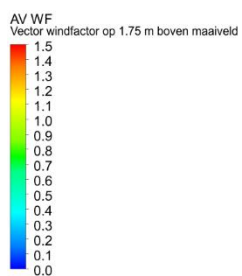
Windrichting 060



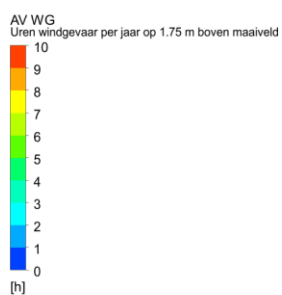
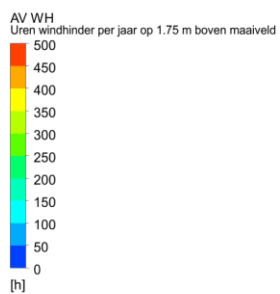
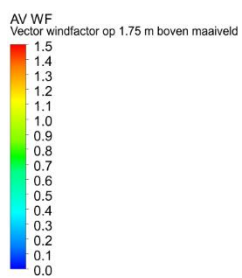
Windrichting 090



Windrichting 120

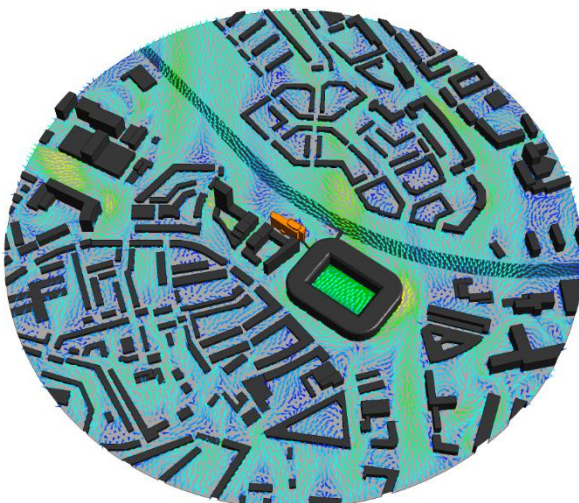
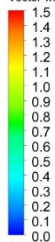


Windrichting 150



Windrichting 180

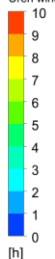
AV WF
Vector windfactor op 1.75 m boven maaiveld



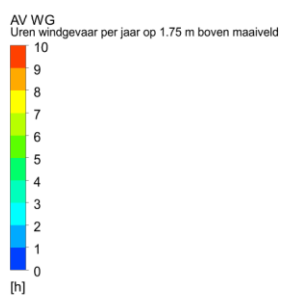
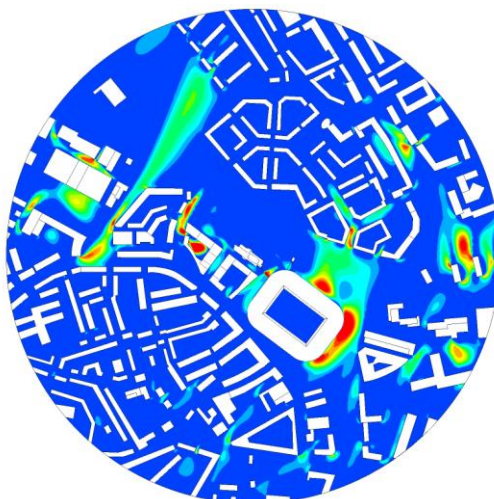
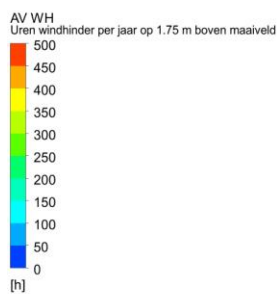
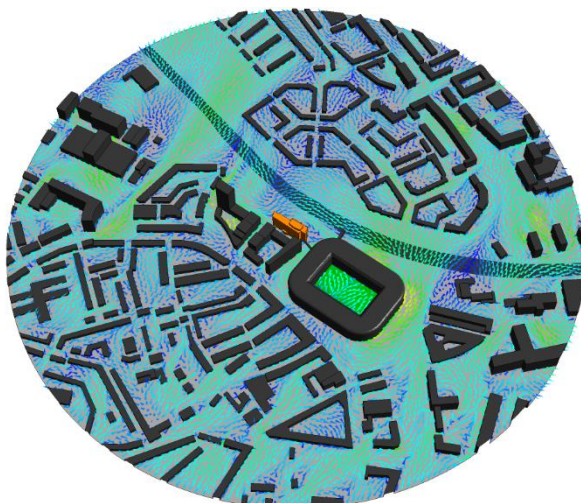
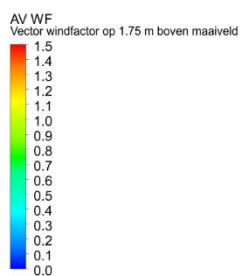
AV WH
Uren windhinder per jaar op 1.75 m boven maaiveld



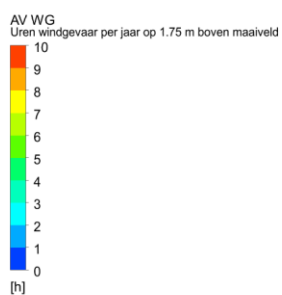
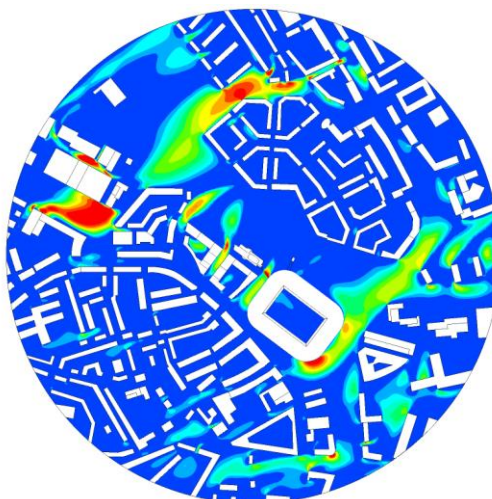
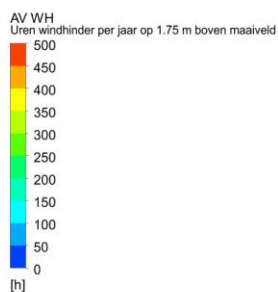
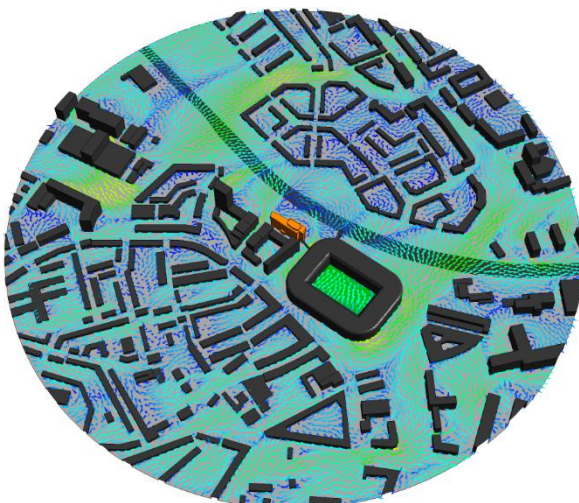
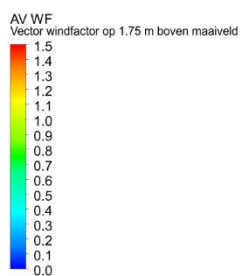
AV WG
Uren windgevaar per jaar op 1.75 m boven maaiveld



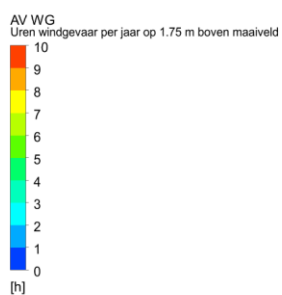
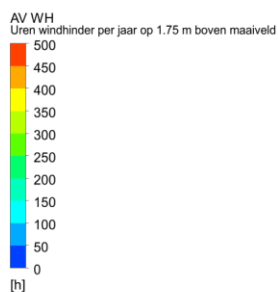
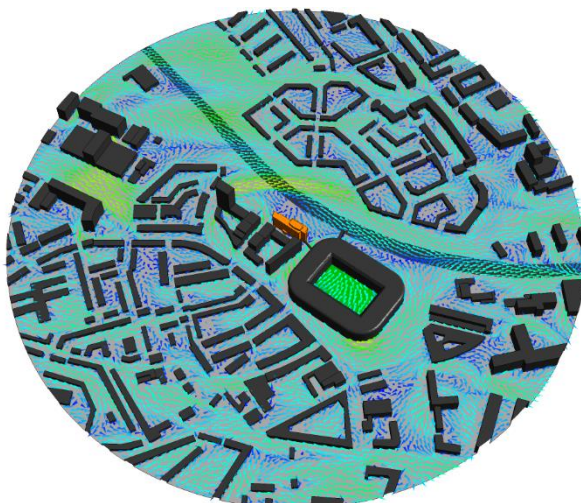
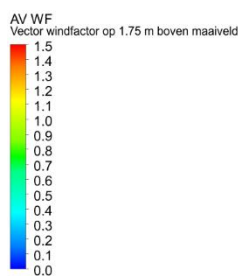
Windrichting 210



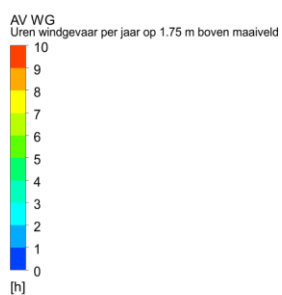
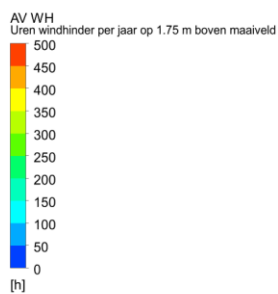
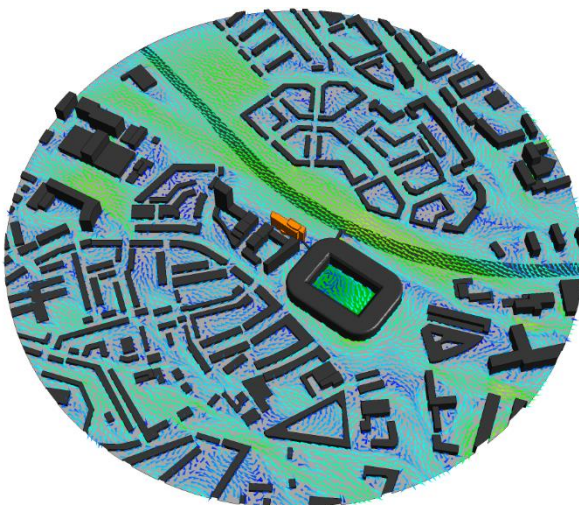
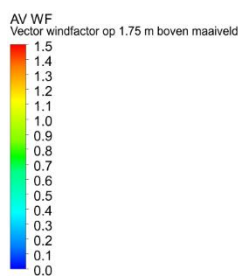
Windrichting 240



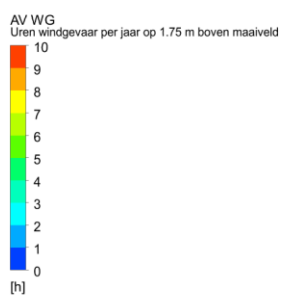
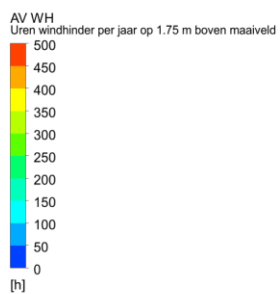
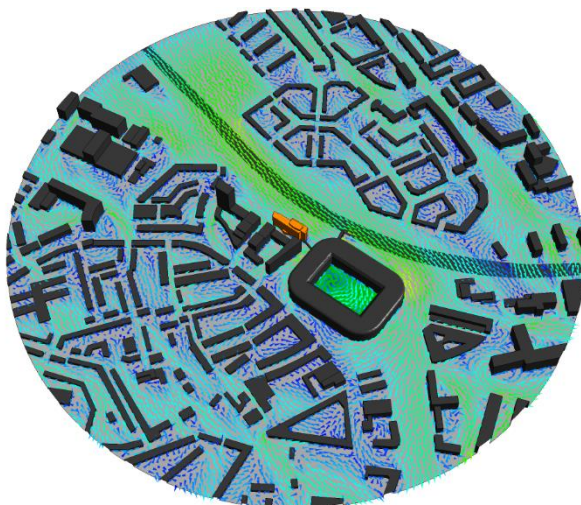
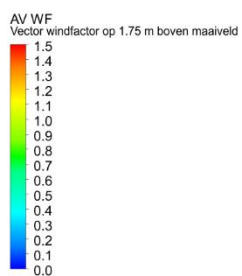
Windrichting 270



Windrichting 300



Windrichting 330



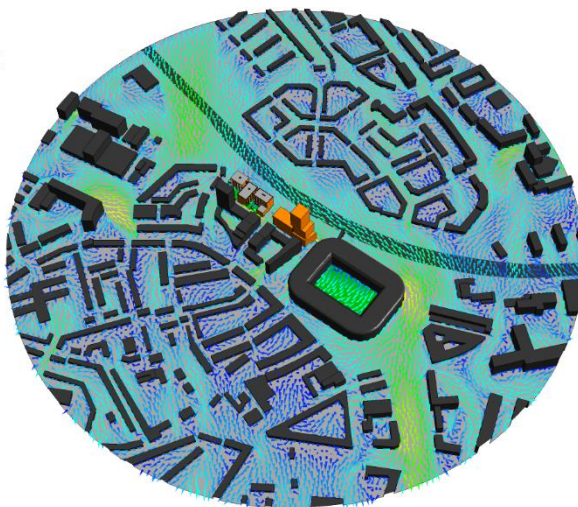
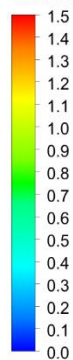
Bijlage B - CFD resultaten nieuwe situatie

Voor de nieuwe situatie voor 12 windrichtingen worden op de komende pagina's de volgende resultaten gepresenteerd:

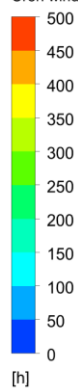
1. Snelheidsvectoren op 1,75 m boven het maaiveld, gekleurd met de windfactor
2. Uren windhinder op 1,75 m boven het maaiveld
3. Uren windgevaar op 1,75 m boven het maaiveld

Windrichting: 0

AV WF
Vector windfactor op 1.75 m boven maaiveld



AV WH
Uren windhinder per jaar op 1.75 m boven maaiveld

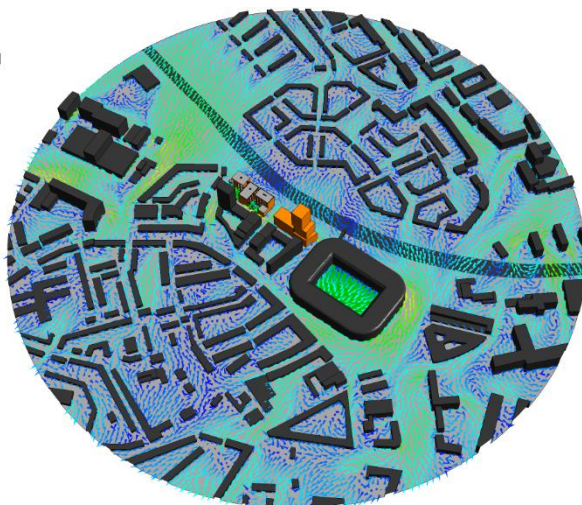
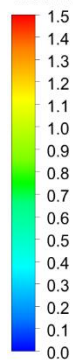


AV WG
Uren windgevaar per jaar op 1.75 m boven maaiveld

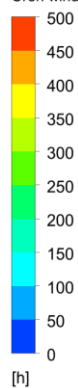


Windrichting: 30

AV WF
Vector windfactor op 1.75 m boven maaiveld



AV WH
Uren windhinder per jaar op 1.75 m boven maaiveld

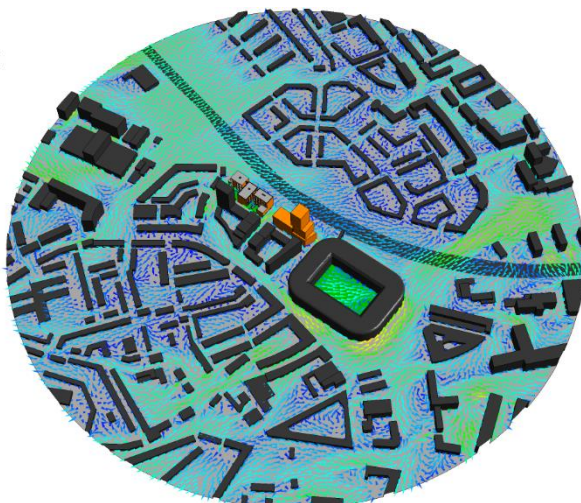
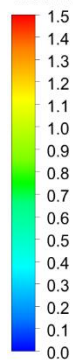


AV WG
Uren windgevaar per jaar op 1.75 m boven maaiveld

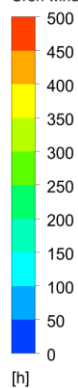


Windrichting: 60

AV WF
Vector windfactor op 1.75 m boven maaiveld



AV WH
Uren windhinder per jaar op 1.75 m boven maaiveld

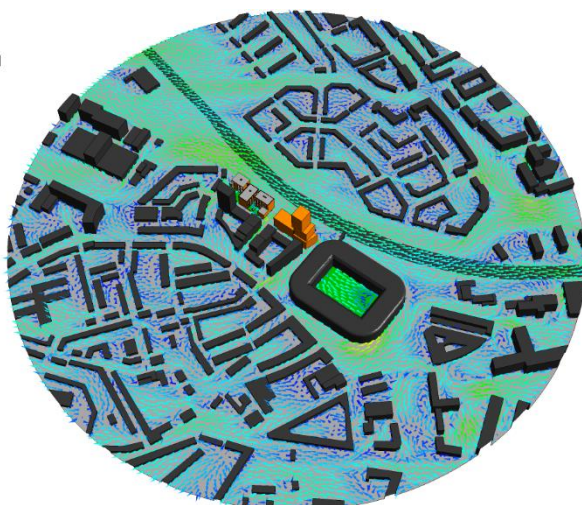
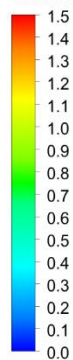


AV WG
Uren windgevaar per jaar op 1.75 m boven maaiveld

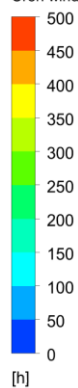


Windrichting: 90

AV WF
Vector windfactor op 1.75 m boven maaiveld



AV WH
Uren windhinder per jaar op 1.75 m boven maaiveld

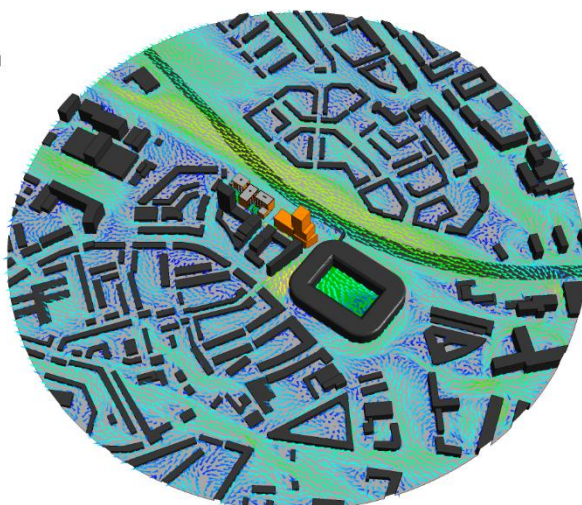
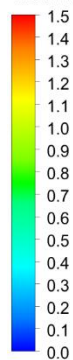


AV WG
Uren windgevaar per jaar op 1.75 m boven maaiveld

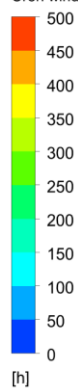


Windrichting: 120

AV WF
Vector windfactor op 1.75 m boven maaiveld



AV WH
Uren windhinder per jaar op 1.75 m boven maaiveld

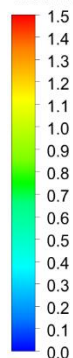


AV WG
Uren windgevaar per jaar op 1.75 m boven maaiveld

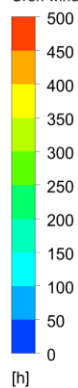


Windrichting: 150

AV WF
Vector windfactor op 1.75 m boven maaiveld



AV WH
Uren windhinder per jaar op 1.75 m boven maaiveld

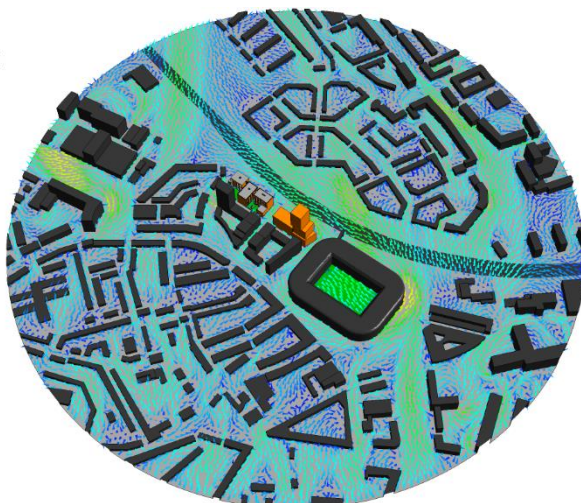
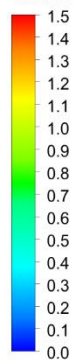


AV WG
Uren windgevaar per jaar op 1.75 m boven maaiveld

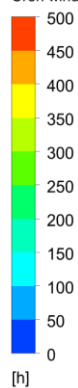


Windrichting: 180

AV WF
Vector windfactor op 1.75 m boven maaiveld



AV WH
Uren windhinder per jaar op 1.75 m boven maaiveld

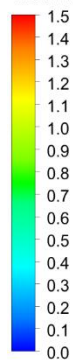


AV WG
Uren windgevaar per jaar op 1.75 m boven maaiveld

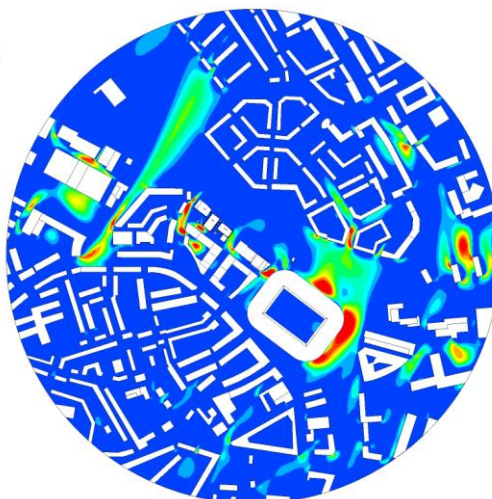


Windrichting: 210

AV WF
Vector windfactor op 1.75 m boven maaiveld



AV WH
Uren windhinder per jaar op 1.75 m boven maaiveld

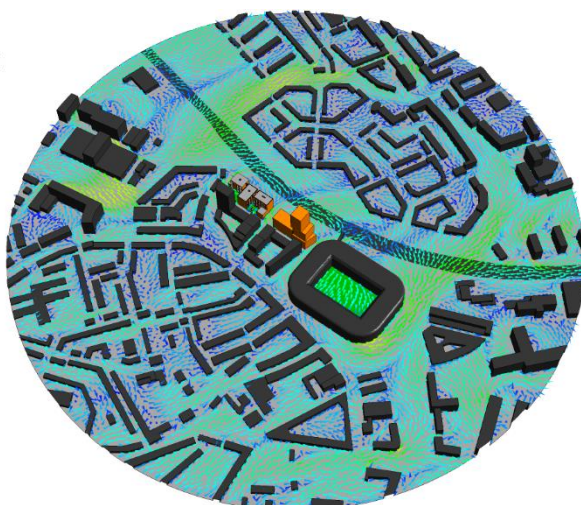
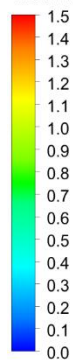


AV WG
Uren windgevaar per jaar op 1.75 m boven maaiveld

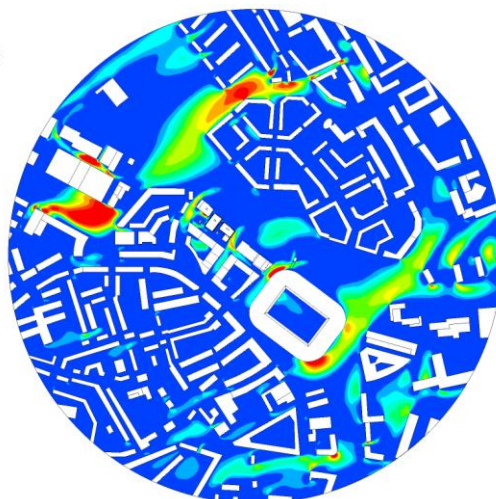


Windrichting: 240

AV WF
Vector windfactor op 1.75 m boven maaiveld



AV WH
Uren windhinder per jaar op 1.75 m boven maaiveld

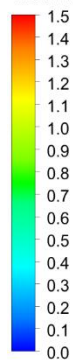


AV WG
Uren windgevaar per jaar op 1.75 m boven maaiveld

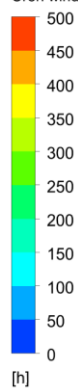


Windrichting: 270

AV WF
Vector windfactor op 1.75 m boven maaiveld



AV WH
Uren windhinder per jaar op 1.75 m boven maaiveld

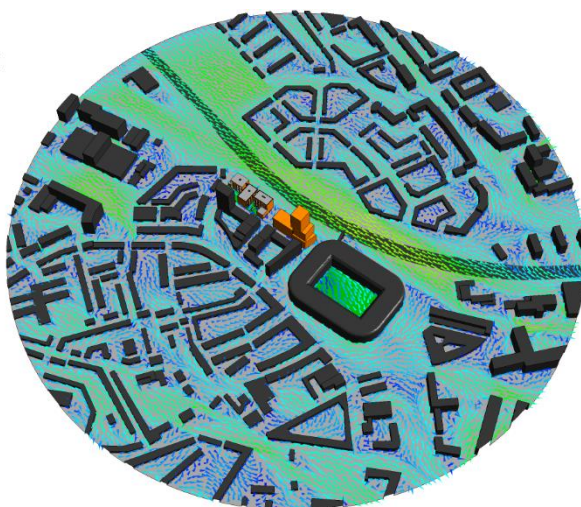
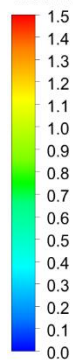


AV WG
Uren windgevaar per jaar op 1.75 m boven maaiveld

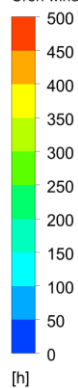


Windrichting: 300

AV WF
Vector windfactor op 1.75 m boven maaiveld



AV WH
Uren windhinder per jaar op 1.75 m boven maaiveld

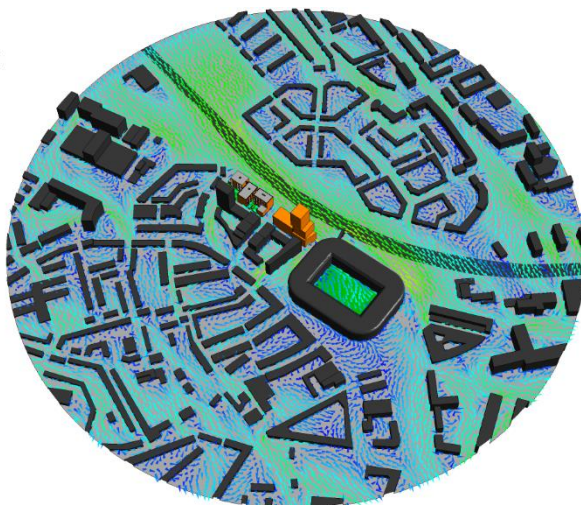
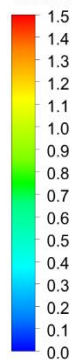


AV WG
Uren windgevaar per jaar op 1.75 m boven maaiveld

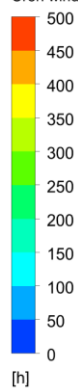


Windrichting: 330

AV WF
Vector windfactor op 1.75 m boven maaiveld



AV WH
Uren windhinder per jaar op 1.75 m boven maaiveld



AV WG
Uren windgevaar per jaar op 1.75 m boven maaiveld



Bijlage C - Software beschrijving en validatie lijst

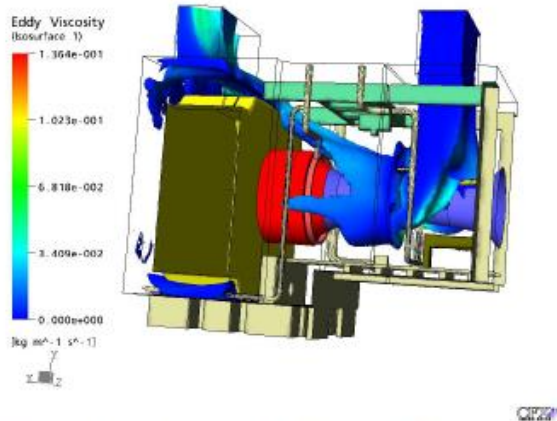


Figure 1: Ventilation and leaks in a turbine enclosure.

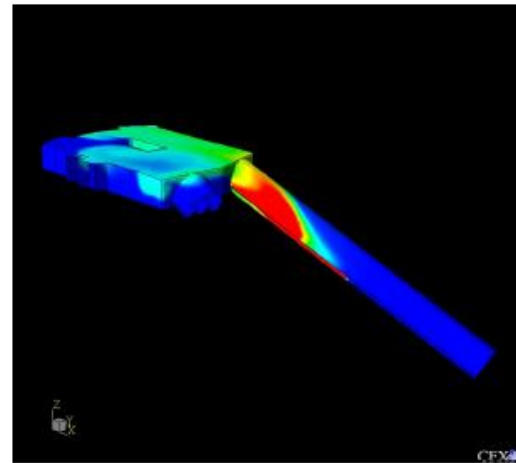


Figure 2: Forensic investigation of fire at King's Cross underground station. Wall temperature.

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 Fennell 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).
- NO_x 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).

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, IChemE..
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 C J, "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.