

Rapport



Sweco Nederland B.V.
3e Binnenvestgracht 23K
2312 NR Leiden
The Netherlands
+31 (0)88 811 66 00
info@sweco.nl
www.sweco.nl

Project: Nieuwbouw Van der Valk

Locatie: Alkmaar, Nederland
Onderwerp: CFD simulaties - Onderzoek invloed nieuwbouw op Robonsbosmolen
Document: 51021067e002
Datum: 29 februari 2024

Status	Beschrijving	Auteur	Controle	Datum
1 ^e uitgave	CFD-rapport	MD,AL	RN	29-06-2023
Rev 1	Toevoeging: bouwhoogte 17m voor kantoor	DR	RN	24-10-2023
Rev 2	Toevoeging: Afgeronde Hoeken 23 m kantoor	DR	BA	29-02-2024

Project **Nieuwbouw Van der Valk**
Locatie Alkmaar, Nederland

Onderwerp **CFD simulaties - Onderzoek invloed nieuwbouw op Robonsbosmolen**
Document 51021067e002
Revisie 2
Datum 29 februari 2024
Status Definitief
Auteur D. Rutten
Controle door B.A. De Jong

Opdrachtgever **Van der Valk Hotel Alkmaar B.V**
Veluwezoom 45
1324 AK Almere
Nederland
Contact R. van der Valk

Uitgever **One Simulations BV**
3^e Binnenvestgracht 23K
2312 NR Leiden
Nederland
+31 (0)71 5680900
info@onesimulations.com
www.onesimulations.com

Inhoudsopgave

1	Introductie.....	4
2	Onderzoeksdoel en beoordelingsmethodiek.....	4
3	Uitgangspunten.....	5
3.1	Geometrie.....	5
3.2	Windklimaat.....	7
3.3	Windprofiel.....	8
3.4	CFD modellering.....	10
4	Resultaten.....	11
5	Conclusie.....	12
	Referenties.....	13
	Bijlages.....	14
	A – Huidige Situatie CFD-simulatieresultaten per windrichting.....	14
	B – Ontwikkeling (Kantoor 23m) CFD simulatieresultaten per windrichting.....	25
	C - Ontwikkeling (Kantoor 17m) CFD-simulatieresultaten per windrichting.....	36
	D - Ontwikkeling (Afgeronde Hoeken Kantoor 23m) CFD-simulatieresultaten per windrichting.....	47

1 Introductie

Aan de rand van Alkmaar bevindt zich een poldermolen genaamd de Robonsbosmolen. Deze historische molen is thans in gebruik als woning, maar is tevens beschermd als monument. Dit houdt in dat er volgens de normen binnen een aanzienlijke straal rond de molen rekening dient te worden gehouden met het realiseren van hindernissen zoals bebouwing, grondwerken, en beplanting.

Ten zuidoosten van de Robonsbosmolen, op een afstand van ruim 300 m, wordt een nieuwbouwontwikkeling gerealiseerd. Derhalve is op verzoek van Van der Valk Hotel Alkmaar B.V. middels Computational Fluid Dynamics (CFD) simulaties onderzocht of de nieuwbouwontwikkeling invloed zal hebben op de luchtaanstroom en werking van de Robonsbosmolen.

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 de onderhavige studie is om het effect van de nieuwbouwontwikkeling op de luchtstroming richting de wieken van de Robonsbosmolen te onderzoeken. De nieuwbouwontwikkeling bestaat uit een hotelontwikkeling en een losstaande kantoorontwikkeling. Het aantal uur waarbij de Robonsbosmolen operationeel kan zijn is voor zowel de huidige situatie als de situatie na realisatie van de ontwikkeling berekend. Voor de situatie na realisatie van de ontwikkeling zijn drie varianten van de kantoorontwikkelingen onderzocht. Namelijk, twee varianten met een bouwhoogte tot 23m hoogte (één *met* en één *zonder* afgeronde hoeken) en één variant met een bouwhoogte tot 17m hoogte.

Door middel van CFD-simulaties is nabij de wieken van de molen de windfactor berekend. De windfactor is een verhouding van de lokale windsnelheid ten opzichte van een referentiesnelheid. Hiermee wordt onafhankelijk van de luchtsnelheid het verschil in het aanstroomprofiel van de lucht inzichtelijk gemaakt.

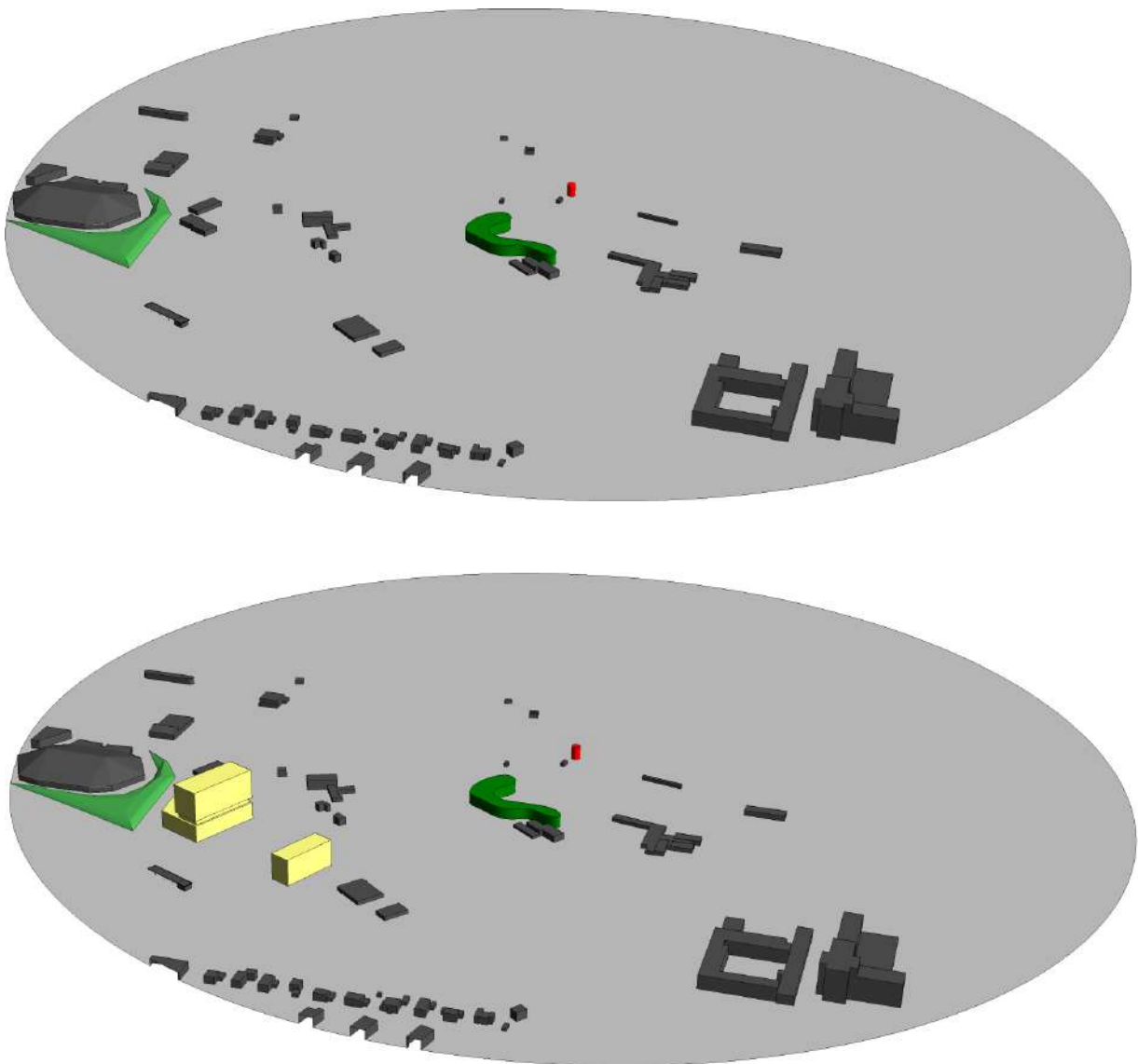
Middels de berekende windfactor is het aantal uur per jaar berekend waarbij de molen operationeel kan zijn. Voor de Robonsbosmolen is aangenomen dat een windsnelheid van 1,6 m/s (5,8 km/h of 2 Bf) of hoger vereist is om operationeel te kunnen zijn, wat in lijn ligt met andere historische windmolens waarvoor een vergelijkbaar onderzoek door ons is uitgevoerd. Als de windsnelheid 10,8 m/s (39 km/h of 6 Bf) is, zal de windsnelheid te hoog zijn en zullen de wieken van de molen moeten stoppen met draaien (1).

De nieuwbouwontwikkeling bevindt zich ten zuidoosten van de Robonsbosmolen en zal daarom alleen bij wind vanuit het zuiden en zuidoosten een invloed kunnen hebben op de Robonsbosmolen. Derhalve zijn voor vijf zuidzuidoostelijke windrichtingen (windrichting 140, 150, 160, 170, en 180) CFD-simulaties uitgevoerd voor zowel de bestaande als de drie mogelijke nieuwbouwsituaties (kantoorontwikkeling tot 23m, 17m, of 23m met afgeronde hoeken).

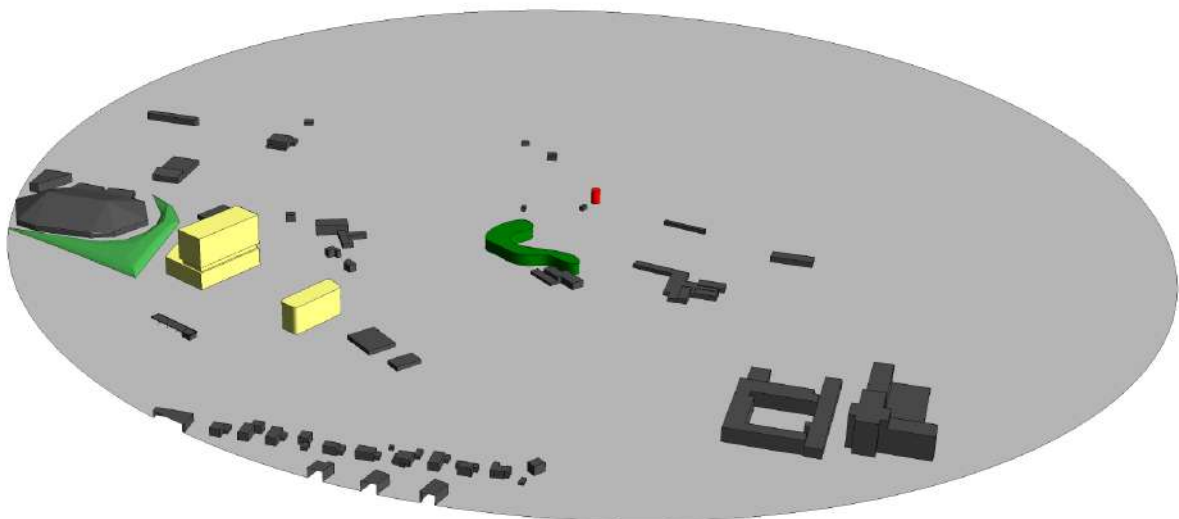
3 Uitgangspunten

3.1 Geometrie

De Robonsbosmolen (rood) bevindt zich aan de rand van Alkmaar in Noord-Holland. De nieuwbouwontwikkeling (geel) ligt ten zuidoosten van de molen en bestaat uit een hotelontwikkeling (links) en een losstaande kantoorontwikkeling (rechts). Het 3D CFD-model (Figuur 1 en Figuur 2) van zowel de huidige bebouwing als de nieuwe ontwikkelingen zijn gebaseerd op een door P.A.M. Teunissen Architectenbureau BV aangeleverde 3D SAT-model (1923_3D_windmolenonderzoek) en bouwtekening (2319_variant 1_23m_5200m2BVO_afgerond.pdf).



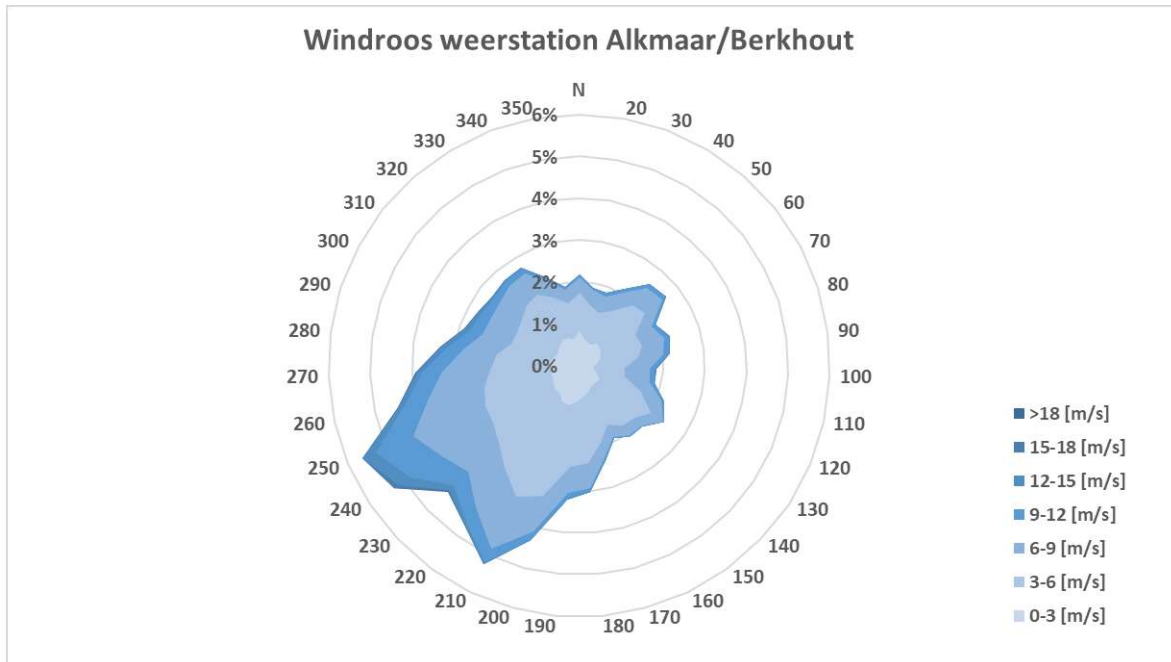
Figuur 1: Overzicht van het 3D CFD model met omliggende bebouwing in de huidige situatie (boven) en met de nieuwbouwontwikkeling (onder). De Robonsbosmolen is rood gekleurd, de nieuwbouw geel. Het kantoorgebouw (welke met hoogtes van 23m en 17m is gemodelleerd) is het rechter van de twee nieuwe gebouwen.



Figuur 2: Afgeronde hoeken variant: bouwtekening (boven) en 3D CFD model (onder)

3.2 Windklimaat

Het windklimaat is gebaseerd op uurgemiddelde windsnelheden voor het weerstation Alkmaar/Berkhout over de jaren 2003 – 2023. De winddata is verkregen via het KNMI (2). Het percentage dat een windrichting per jaar voorkomt staat weergegeven in de windroos in Figuur 3.



Figuur 3: Windroos weerstation Alkmaar/Berkhout, volgens NPR 6097.

De nieuwbouwontwikkeling ligt ten zuidoosten van de Robonsbosmolen. Derhalve zal de nieuwbouw alleen een invloed kunnen hebben op de molen bij wind vanuit het zuiden en zuidoosten. Daarom zijn er voor vijf zuidoostelijke windrichtingen (140, 150, 160, 170 en 180) simulaties uitgevoerd. Zoals valt af te lezen uit de windroos komt slechts 11% van de tijd van een jaar de wind uit deze windrichtingen.

Het aantal uren wind per windrichting en de windsnelheid hebben effect op het aantal operationele uren. Middels de in de CFD berekende windfactor (verhouding van de lokale windsnelheid ten opzicht van een referentiewindsnelheid) wordt het aantal operationele uren van de windmolen berekend.

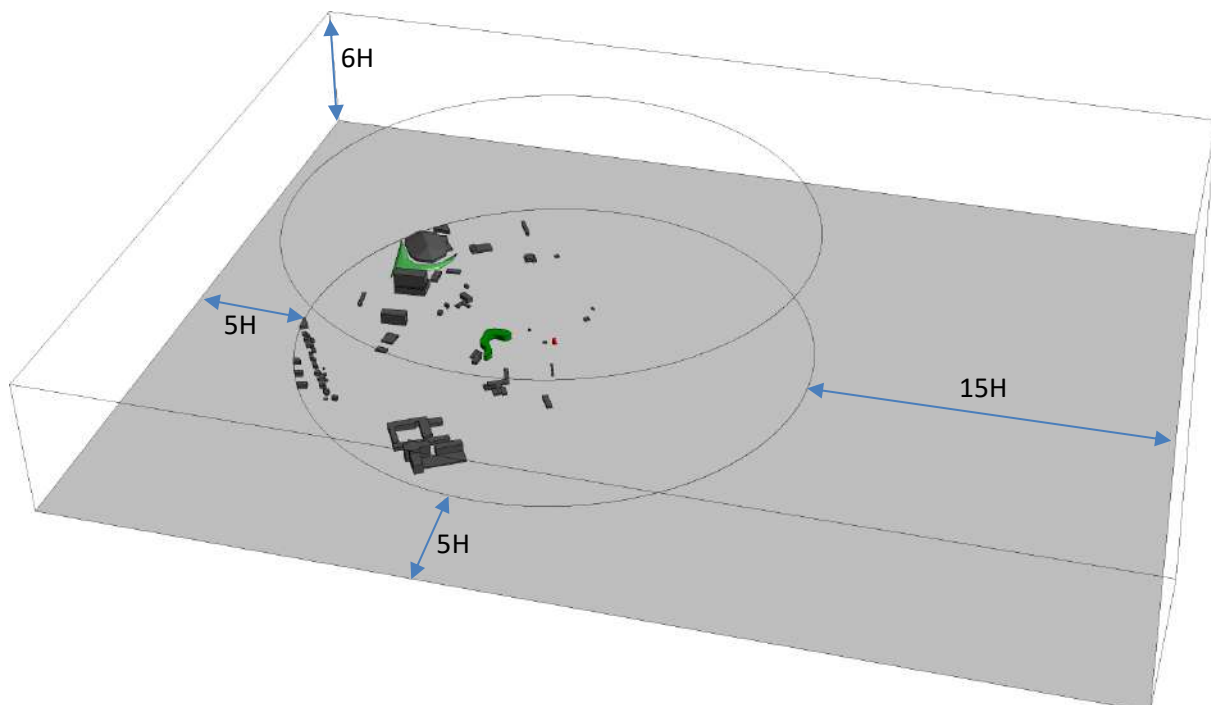
3.3 Windprofiel

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 (3). De ruwheidslengte voor het gebied rondom de Robonsbosmolen is vastgesteld 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.



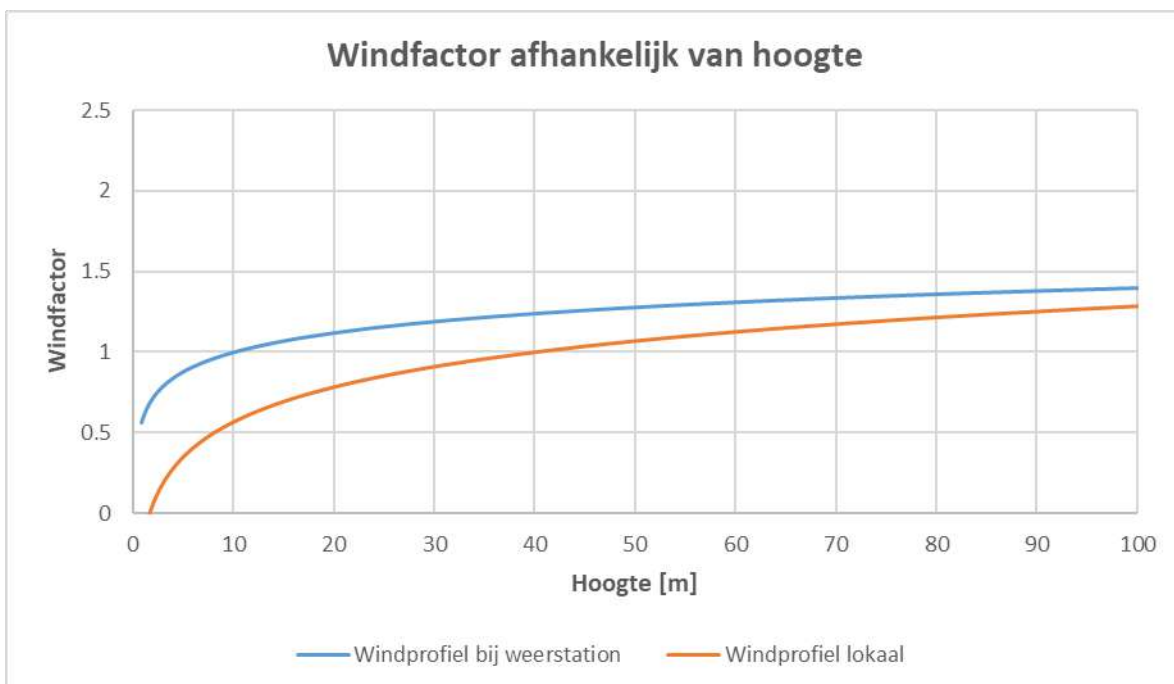
Figuur 4: Winddomein om het gemodelleerde gebied heen, ten behoeve van het windprofiel (digitale windtunnel).

Aan de hand van de referentiewindsnelheid, referentiehoogte en ruwheidslengte 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 (Alkmaar/Berkhout) en het gemodelleerde gebied met bijbehorende ruwheidslengte.

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

Waar,

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



Figuur 5: Toegepast windprofiel.

3.4 CFD modellering

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

Er is een 3D model gecreëerd van het gebied rondom de Robonsbosmolen. 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 1 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 10 m in het vrije volume
Aantal cellen	40,5 miljoen
Simulatie type	Steady state
Convergentie criteria	RMS maximaal $1 \cdot 10^{-4}$
Tijdstap	2,5 s
Aantal iteraties	1000
Fluidum	Lucht met constante eigenschappen
Turbulentiemodel	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
Bomen	Volumetrische weerstandscoefficiënt van $0,25 \text{ m}^{-1}$ (4) (conservatieve aanname)

Tabel 1: CFD modellering eigenschappen.

4 Resultaten

Voor vijf zuid- en zuidoostelijke windrichtingen is het aantal operationele uren van de Robonsbosmolen per jaar berekend voor de huidige situatie en de drie onderzochte nieuwbouw situaties (kantoorontwikkeling van 23m, 17m, of afgeronde hoeken 23m).

In bijlages A, B, C, en D zijn de resultaten per windrichting en situatie weergegeven in de vorm van afbeeldingen.

In Tabel 2 is het aantal operationele uren¹ per windrichting weergegeven voor alle drie onderzochte situaties. Tevens zijn de totale operationele uren over alle windrichtingen en het percentage verschil met de huidige situatie weergegeven.

Windrichting	Operationele Uren per jaar			
	Huidig (0m)	23m Bouw	17m Bouw	Afgeronde Hoeken 23m Bouw
140	95,7	87,6	83,6	88,2
150	106,4	85,2	88,2	84,1
160	142,4	104,5	126,8	137,1
170	197,6	197,1	199,5	198,2
180	209,7	204,2	205,9	203,0
Totaal (% verschil):	751,8 (0%)	678,5 (-9,7%)	703,9 (-6,4%)	710,6 (-5,5%)

Tabel 2: Simulatieresultaten

De resultaten in Tabel 2 laten zien dat de nieuwbouwontwikkeling zou zorgen voor een vermindering van de operationele uren van de Robonsbosmolen (bij zuid- en zuidoostelijke windrichtingen). In het geval van een ontwikkeling van 23m hoogte betreft het een vermindering van 73,3 operationele uren (9,7% vermindering); in het geval van 17m ontwikkeling een vermindering van 47,9 uren (6,4% vermindering); in het geval van een ontwikkeling met afgeronde hoeken tot 23m hoogte een vermindering van 41,2 uren (5,5% vermindering).

Hierbij moet in ogenschouw worden genomen dat de beschouwde windrichtingen in slechts 11% van een jaar voorkomen. Deze verminderingen zorgen dus *over alle windrichtingen* voor operationele verminderingen van 1,1% (bij 23m), 0,7% (bij 17m), of 0,6% (bij afgeronde hoeken 23m).

Wat windrichtingen betreft valt het te zien dat operationele uren voor de windrichtingen 150 en 160 het meest beïnvloed worden door de ontwikkeling. De andere richtingen (140, 170, 180) worden aanzienlijk minder beïnvloed. Bij overige windrichtingen wordt er geen invloed van de nieuwbouwontwikkeling verwacht.

¹ Netto Operationele Uren = Uren dat de molen kan draaien – Uren dat de molen moet stoppen

5 Conclusie

Aan de rand van Alkmaar bevindt zich een poldermolen genaamd de Robonsbosmolen. Deze historische molen is thans in gebruik als woning, maar is tevens beschermd als monument. Dit houdt in dat er volgens de normen binnen een aanzienlijke straal rond de molen rekening dient te worden gehouden met het realiseren van hindernissen zoals bebouwing, grondwerken en beplanting.

Ten zuidoosten van de Robonsbosmolen, op een afstand van ruim 300m, wordt een nieuwbouwontwikkeling gerealiseerd. Derhalve is op verzoek van Van der Valk Hotel Alkmaar B.V middels Computational Fluid Dynamics (CFD) simulaties onderzocht of de nieuwbouwontwikkeling invloed zal hebben op de luchtaanstroom en werking van de Robonsbosmolen.

Het doel van de onderhavige studie is om het effect van de nieuwbouwontwikkeling op de luchtstroming richting de wieken van de Robonsbosmolen te onderzoeken. De nieuwbouwontwikkeling bestaat uit een hotelontwikkeling en een losstaande kantoorontwikkeling. Het aantal uur waarbij de Robonsbosmolen operationeel kan zijn is voor zowel de huidige situatie als de situatie na realisatie van de ontwikkeling berekend. Voor de situatie na realisatie van de ontwikkeling zijn drie varianten van de kantoorontwikkelingen onderzocht. Namelijk, twee varianten met een bouwhoogte tot 23m hoogte (één *met* en één *zonder* afgeronde hoeken) en één variant met een bouwhoogte tot 17m hoogte.

Door middel van CFD-simulaties is nabij de wieken van de molen de windfactor berekend. Middels de berekende windfactor is het aantal uur per jaar berekend waarbij de molen operationeel kan zijn en er een windsnelheid voorkomt die binnen de operationele grenswaardes van de Robonsbosmolen ligt.

De nieuwbouwontwikkeling bevindt zich ten zuidoosten van de Robonsbosmolen en zal daarom alleen bij wind vanuit het zuiden en zuidoosten een invloed kunnen hebben op de Robonsbosmolen. Derhalve zijn voor vijf zuidzuidoostelijke windrichtingen (windrichting 140, 150, 160, 170 en 180) CFD-simulaties uitgevoerd voor zowel de bestaande als drie mogelijke nieuwbouwsituaties (kantoorontwikkelingen van 23m hoog, 17m hoog, en 23m hoog met afgeronde hoeken).

De resultaten laten zien dat de nieuwbouwontwikkeling zorgt voor een vermindering van operationele uren bij de vijf onderzochte zuid- en zuidoostelijke windrichtingen. De vermindering betreft 73,3 uur (-9,9%) in het geval van een ontwikkeling van 23m, 47,9 uur (-5,5%) in het geval van een ontwikkeling van 17m, of 41,2 uur (-5,5%) in het geval van een ontwikkeling met afgeronde hoeken tot 23m hoogte. De grootste verminderingen treden op in de windrichtingen van 150 en 160 graden. Doordat de beschouwde windrichtingen 11% van de tijd in een jaar voorkomen, zorgen deze verminderingen over alle windrichtingen voor totale operationele verminderingen van 1,1% (bij 23m), 0,7% (bij 17m), of 0,6% (bij afgeronde hoeken 23m). Bij overige windrichtingen wordt er geen invloed van de nieuwbouwontwikkeling verwacht.

Referenties

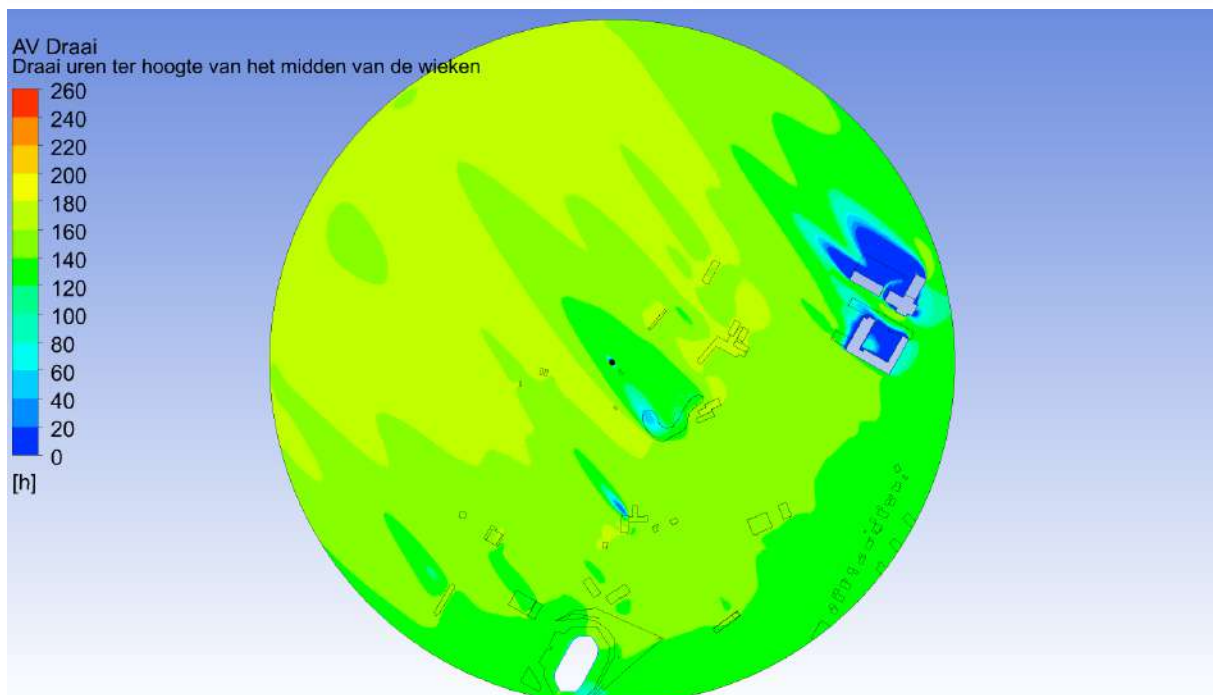
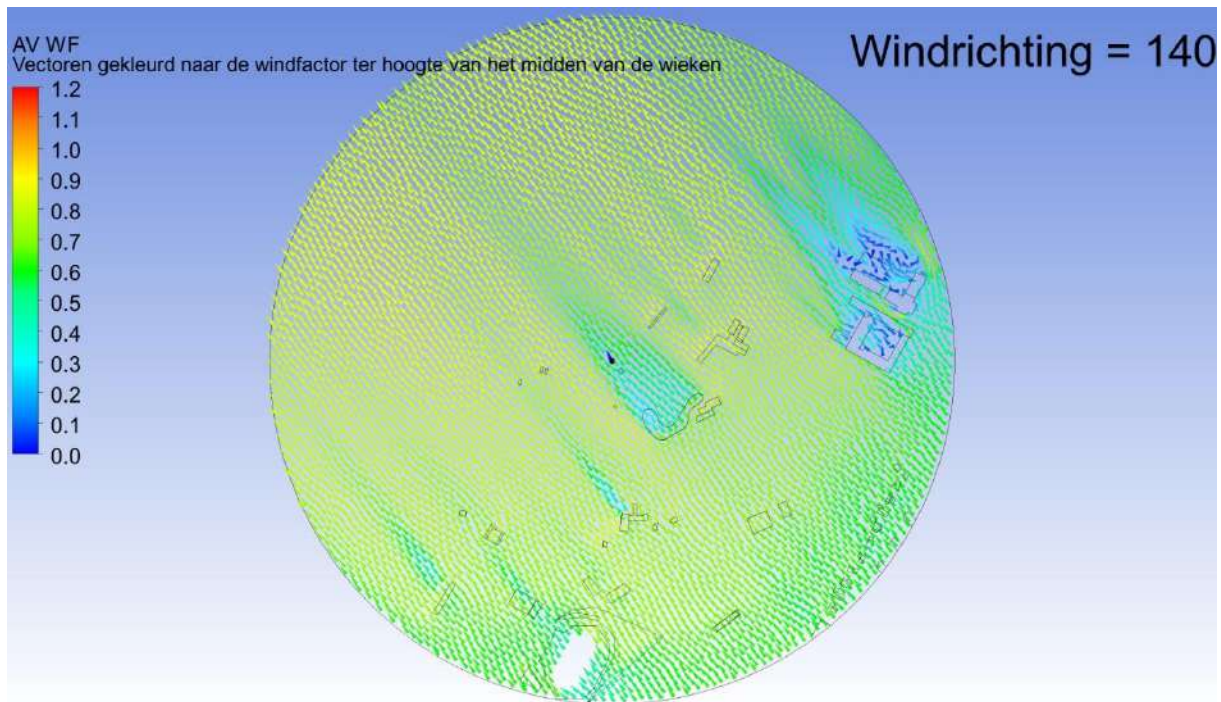
1. **Wind en Windrichting.** [Online] Stichting Molen de Doornboom.
<https://www.doornboom.nl/index.php/help-de-molenaar/wind-en-windrichting/>.
2. **Uurgegevens van het weer in Nederland.** [Online] KNMI. <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/uurgegevens>.
3. **Troen, Ib and Petersen, Erik Lundtang.** *Roughness Classes and Roughness Length Table in "European Wind Atlas"*. Risoe , Denmark : Risoe National Laboratory, 1991. ISBN 87-550-1482-8.
4. **Modeling vegetation in Wind Engineering wind tunnel studies.** Gromke, C. Shanghai, China : The Seventh International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics and Applications (BBAA7), 2012.

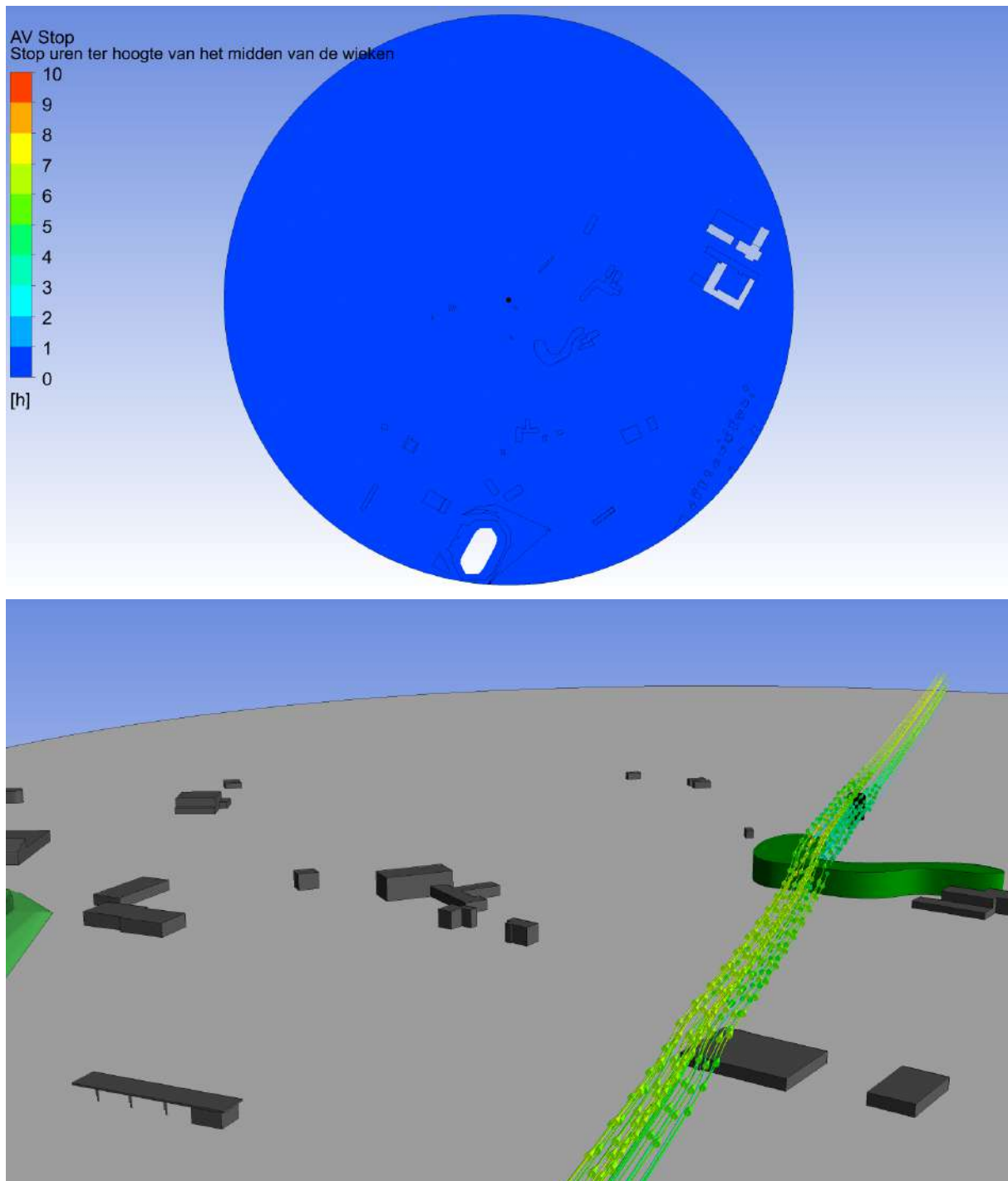
Bijlages

A – Huidige Situatie CFD-simulatieresultaten per windrichting

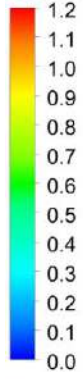
Op de volgende pagina's worden de CFD-simulatieresultaten per windrichting weergegeven. Voor elke onderzochte windrichting is het volgende weergegeven:

- Snelheidsvectoren gekleurd met windfactor
- Bovenaanzicht van een contour gekleurd met het aantal uren per jaar dat de molen kan draaien
- Bovenaanzicht van een contour gekleurd met het aantal uren per jaar dat de molen moet stoppen
- 3D aanzicht van stroomlijnen teruggetrokken vanaf de molen gekleurd naar de windfactor

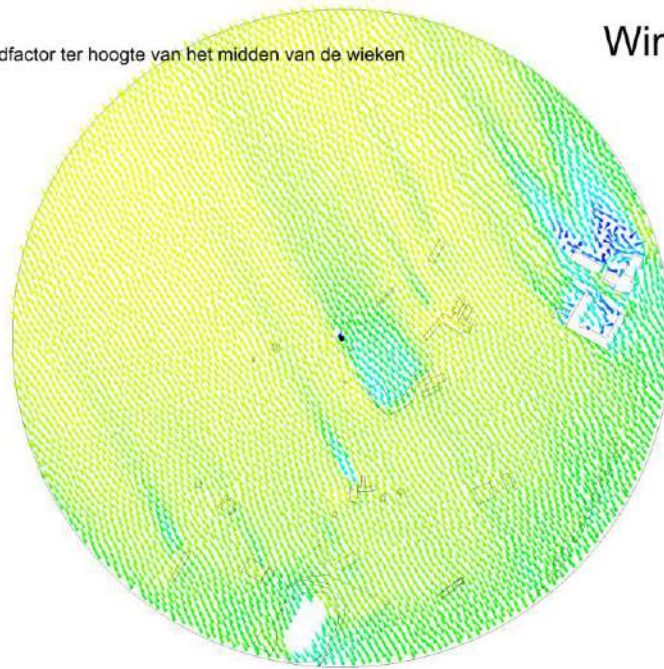




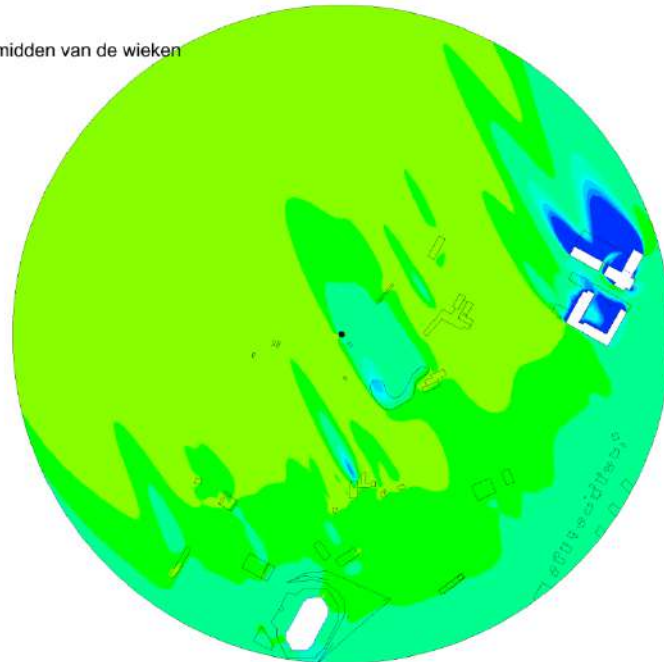
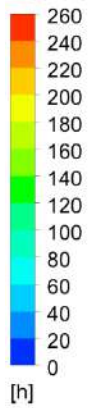
AV WF
Vectoren gekleurd naar de windfactor ter hoogte van het midden van de wieken

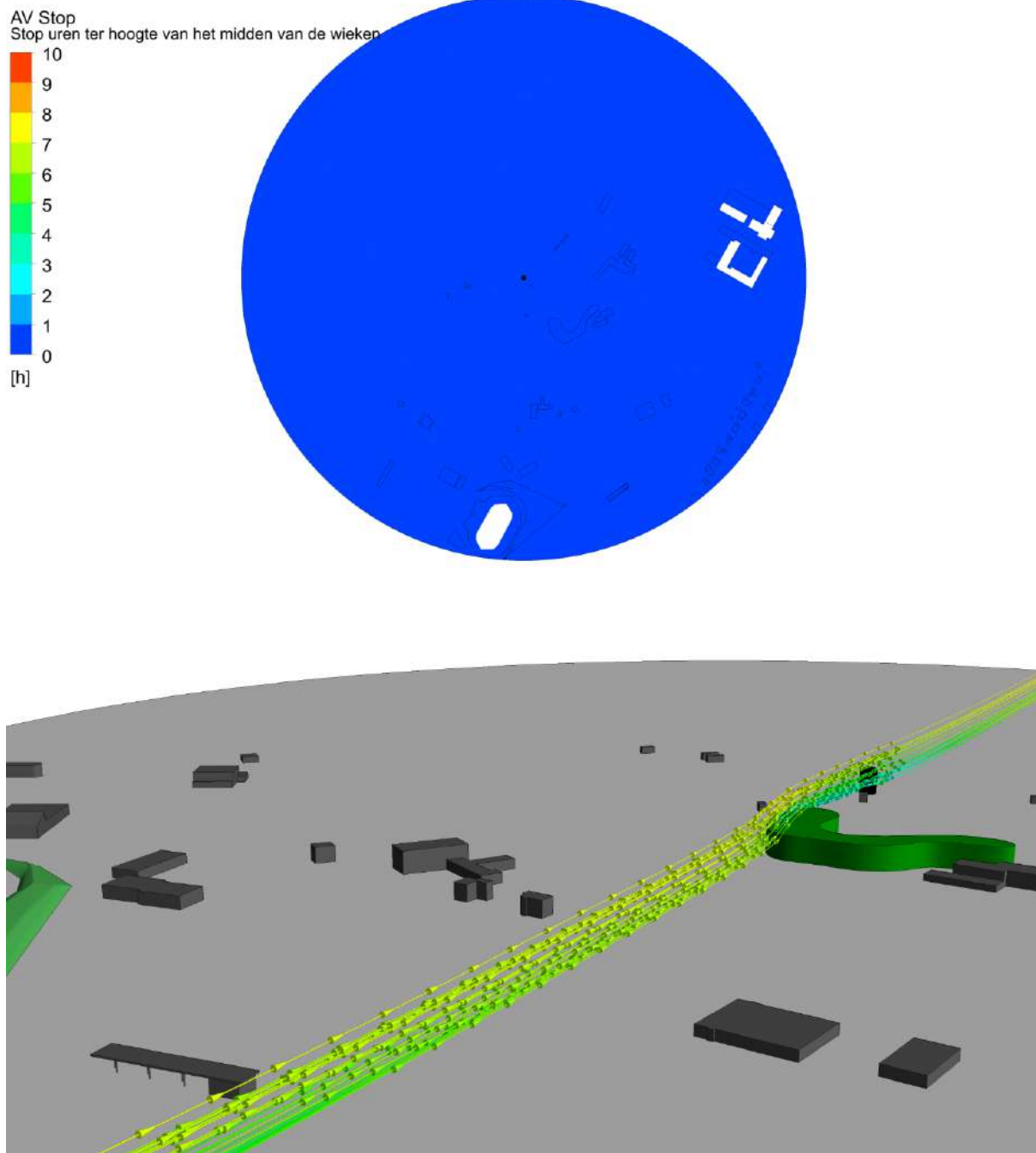


Windrichting = 150

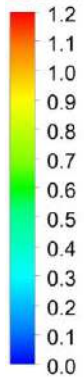


AV Draai
Draai uren ter hoogte van het midden van de wieken

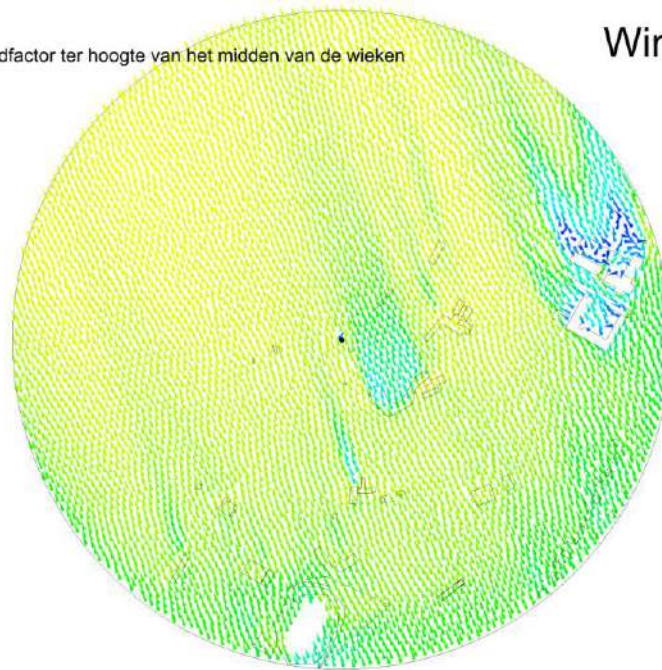




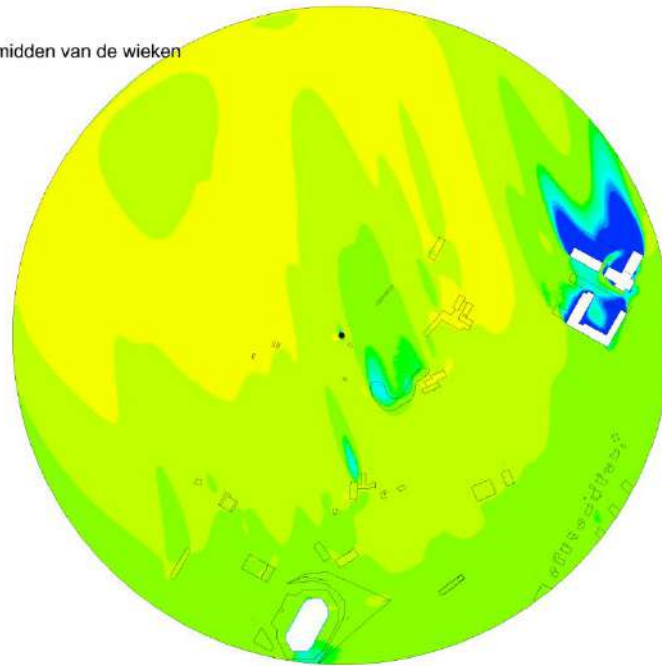
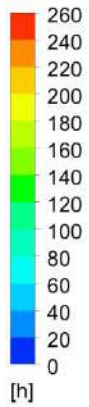
AV WF
Vectoren gekleurd naar de windfactor ter hoogte van het midden van de wieken

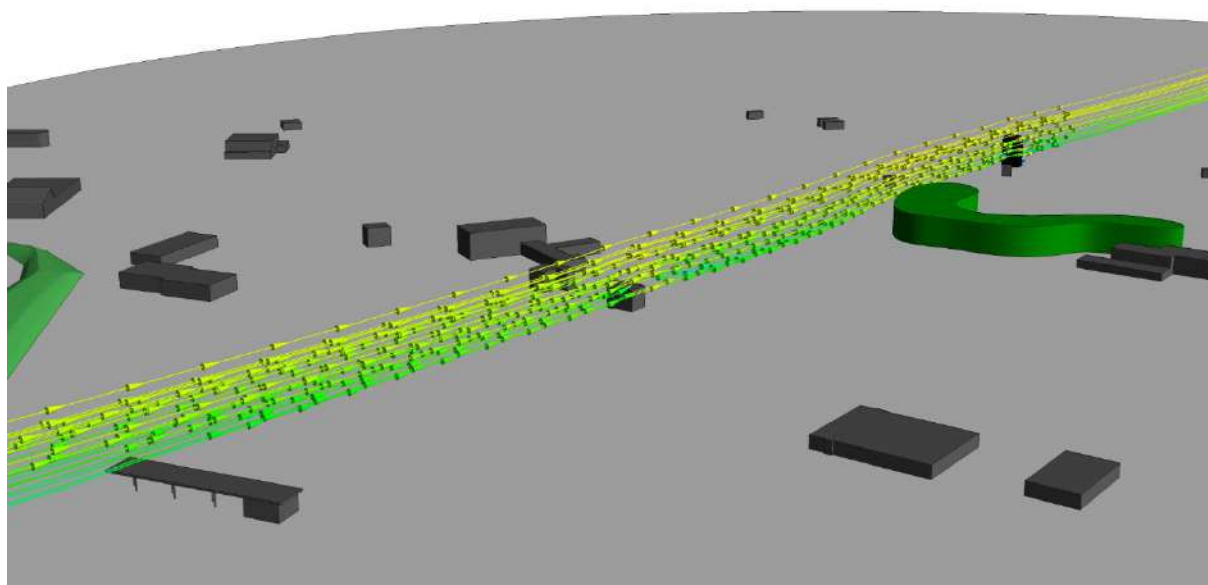
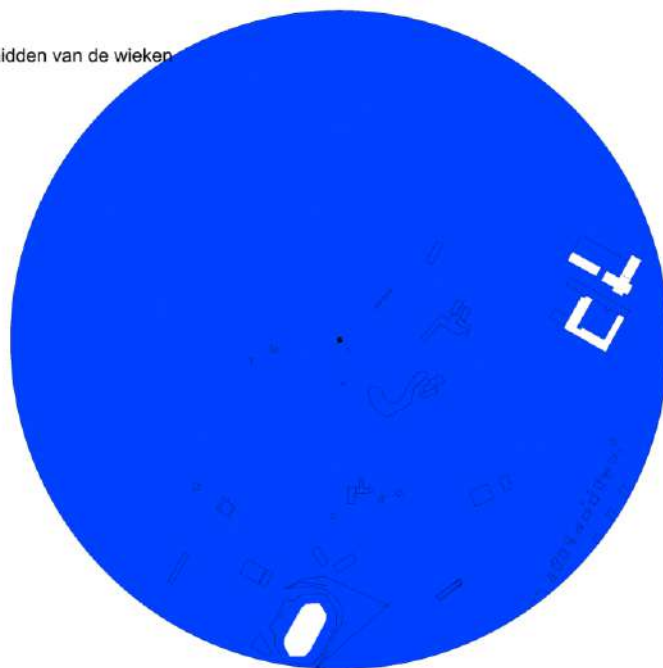
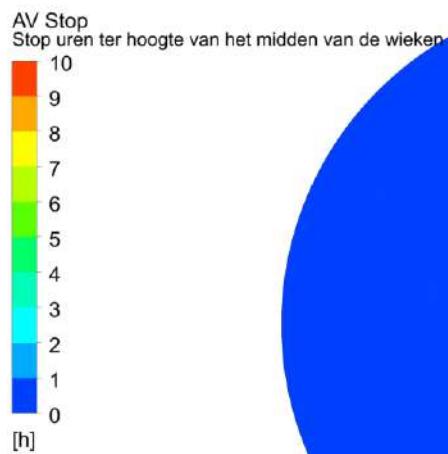


Windrichting = 160

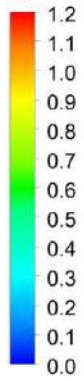


AV Draai
Draai uren ter hoogte van het midden van de wieken

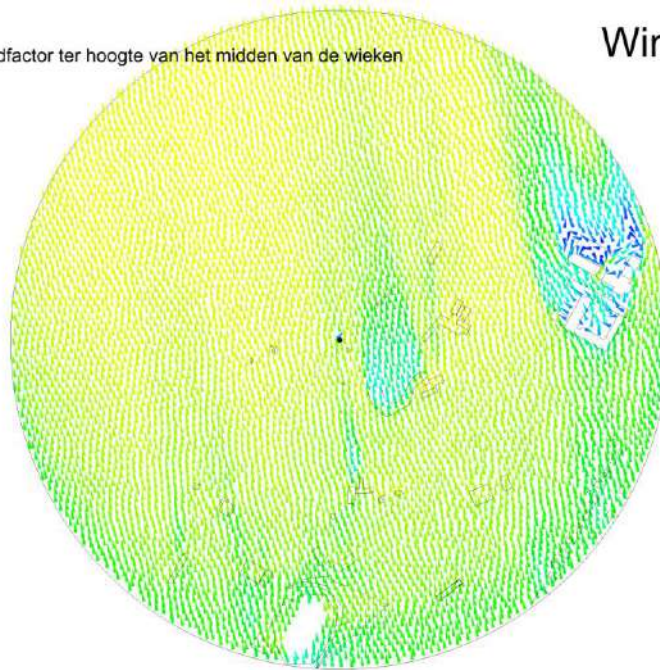




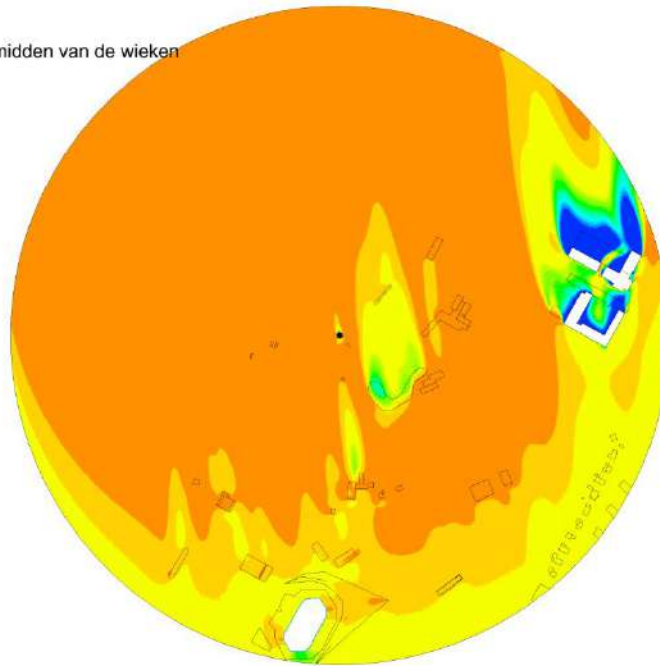
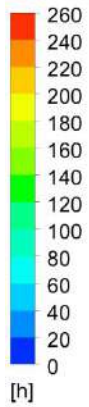
AV WF
Vectoren gekleurd naar de windfactor ter hoogte van het midden van de wieken

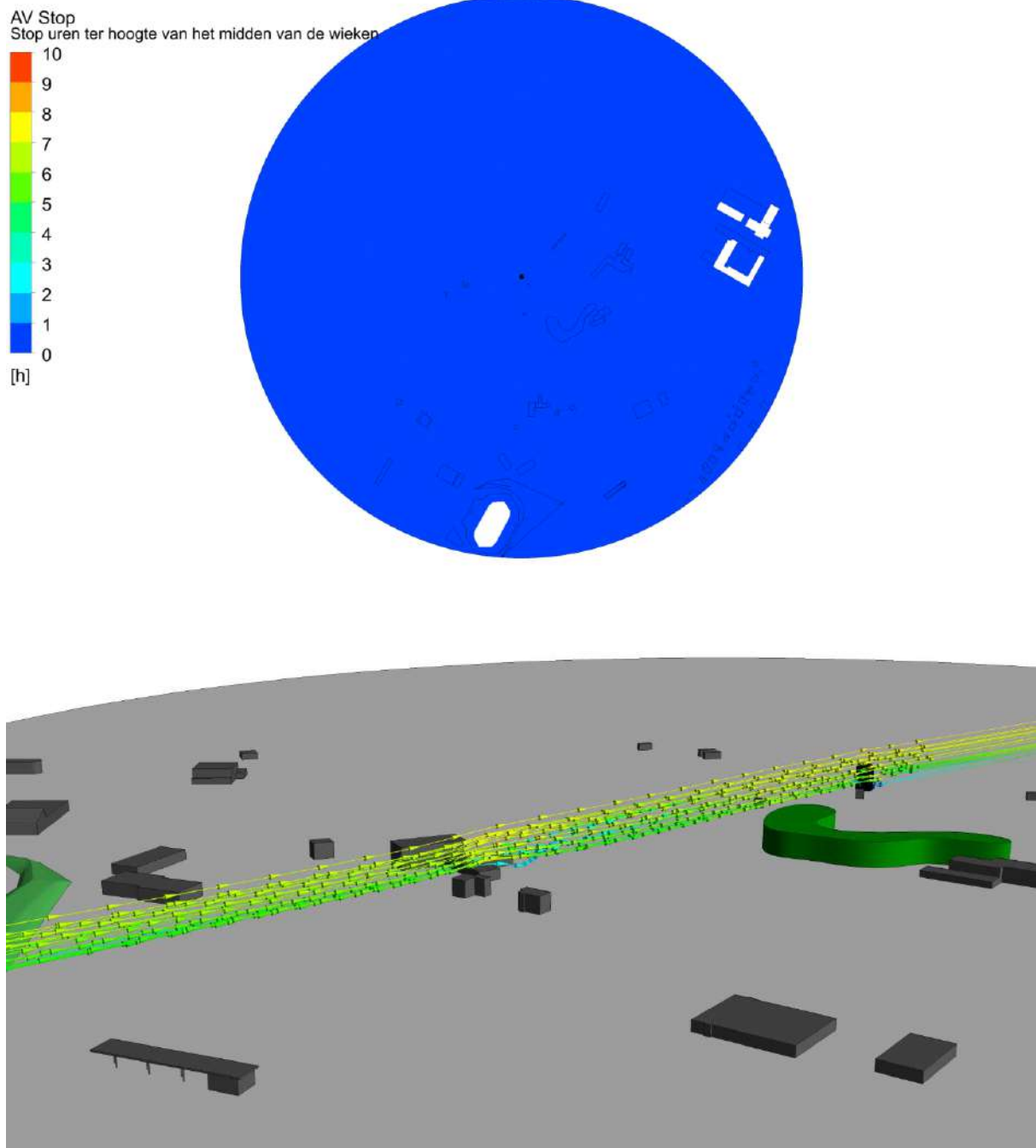


Windrichting = 170



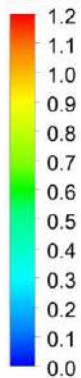
AV Draai
Draai uren ter hoogte van het midden van de wieken



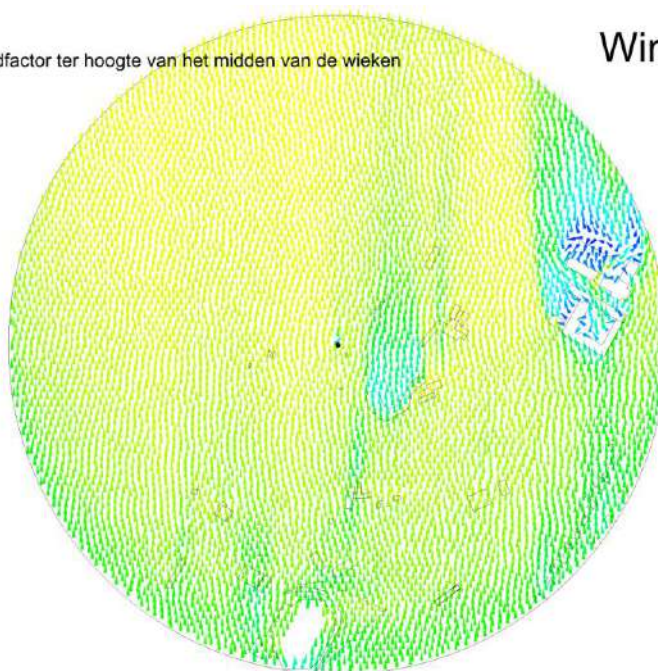


AV WF

Vectoren gekleurd naar de windfactor ter hoogte van het midden van de wieken

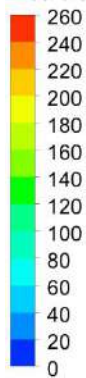


Windrichting = 180

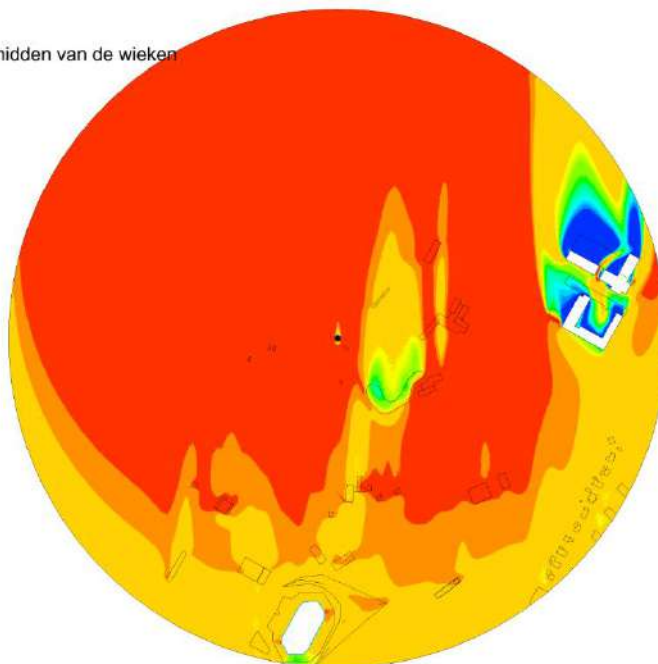


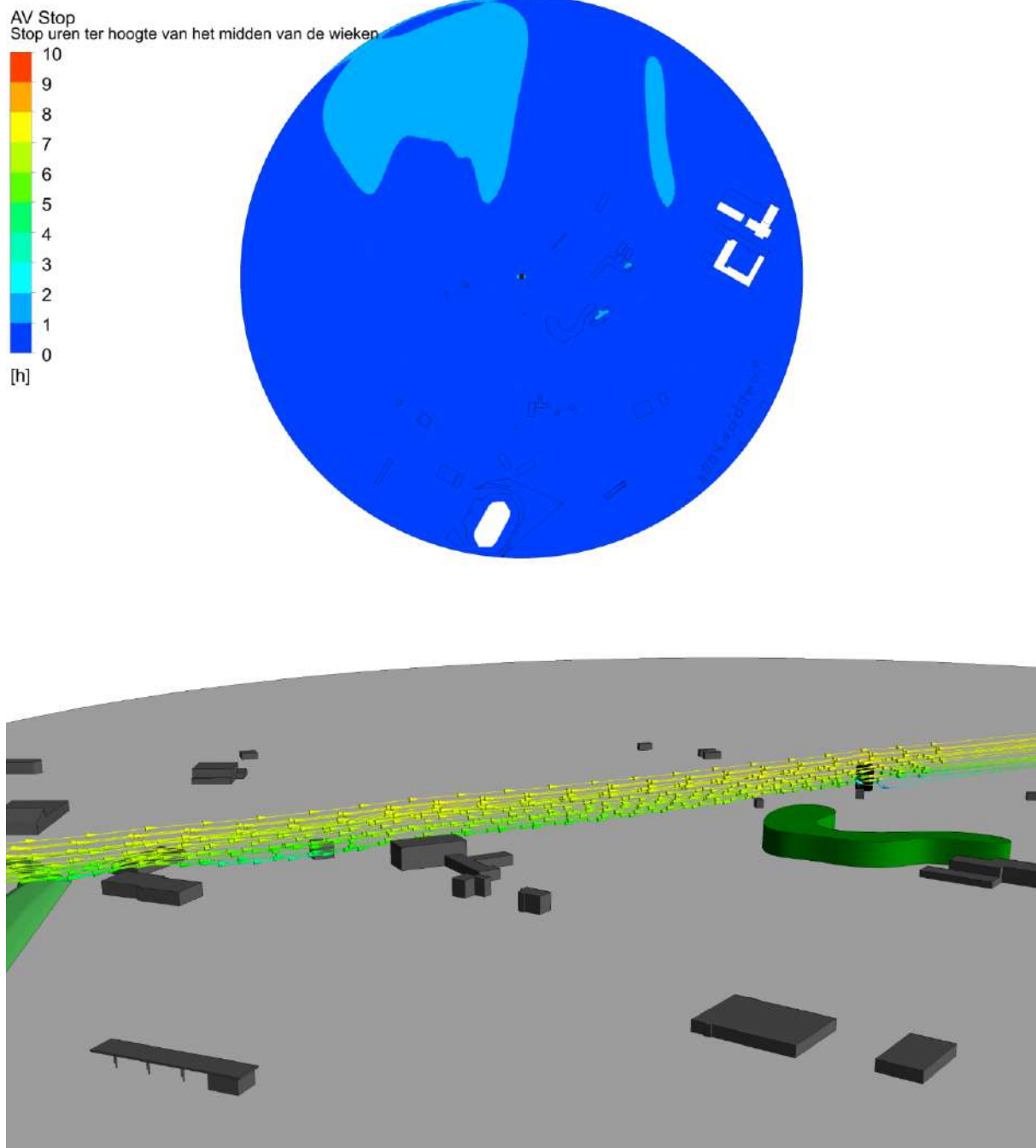
AV Draai

Draai uren ter hoogte van het midden van de wieken



[h]



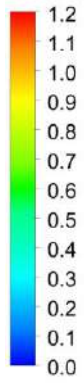


B – Ontwikkeling (Kantoor 23m) CFD simulatieresultaten per windrichting

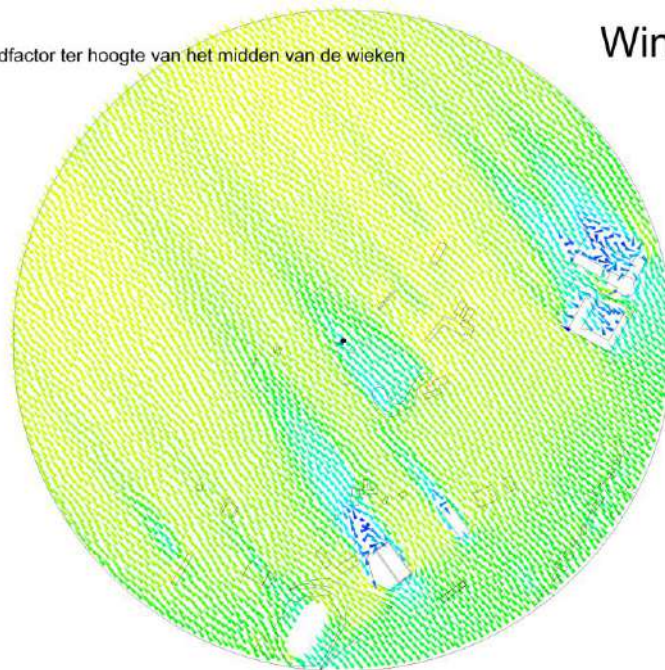
Op de volgende pagina's worden de CFD-simulatieresultaten per windrichting weergegeven. Voor elke onderzochte windrichting is het volgende weergegeven:

- Snelheidsvectoren gekleurd met windfactor
- Bovenaanzicht van een contour gekleurd met het aantal uren per jaar dat de molen kan draaien
- Bovenaanzicht van een contour gekleurd met het aantal uren per jaar dat de molen moet stoppen
- 3D aanzicht van stroomlijnen teruggetrokken vanaf de molen gekleurd naar de windfactor

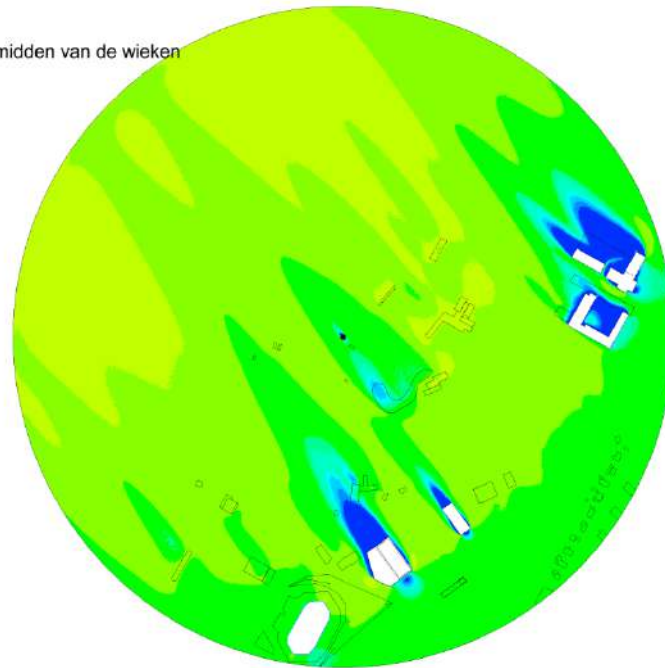
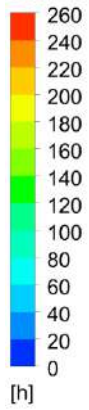
AV WF
Vectoren gekleurd naar de windfactor ter hoogte van het midden van de wieken



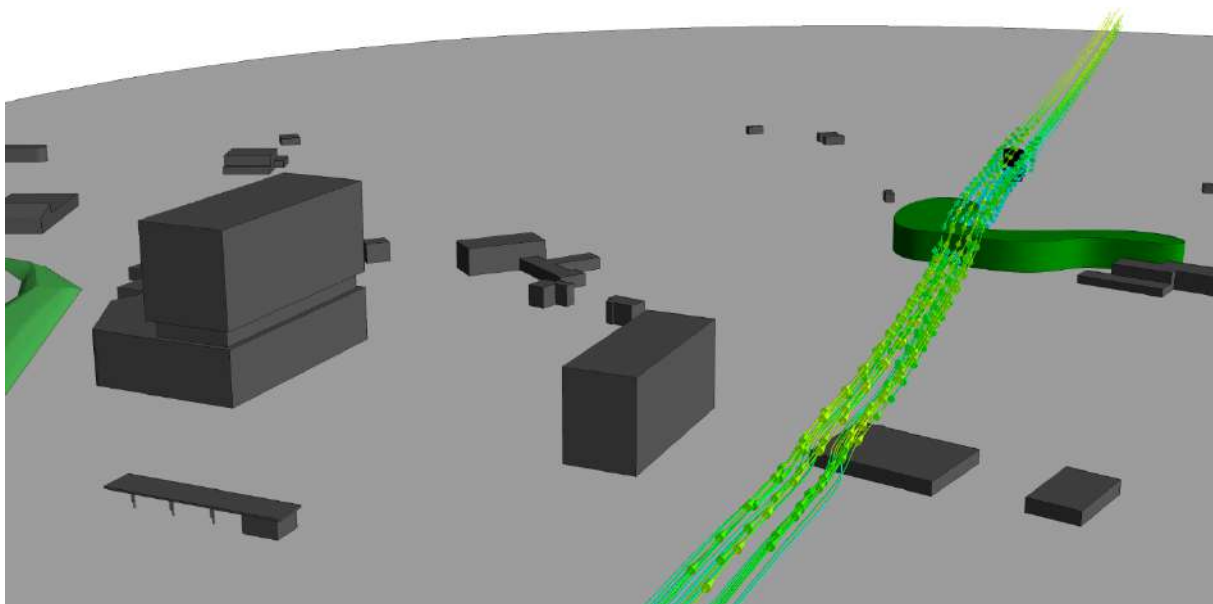
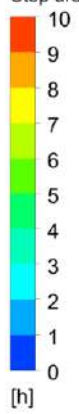
Windrichting = 140



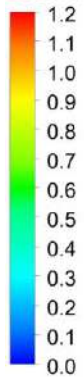
AV Draai
Draai uren ter hoogte van het midden van de wieken



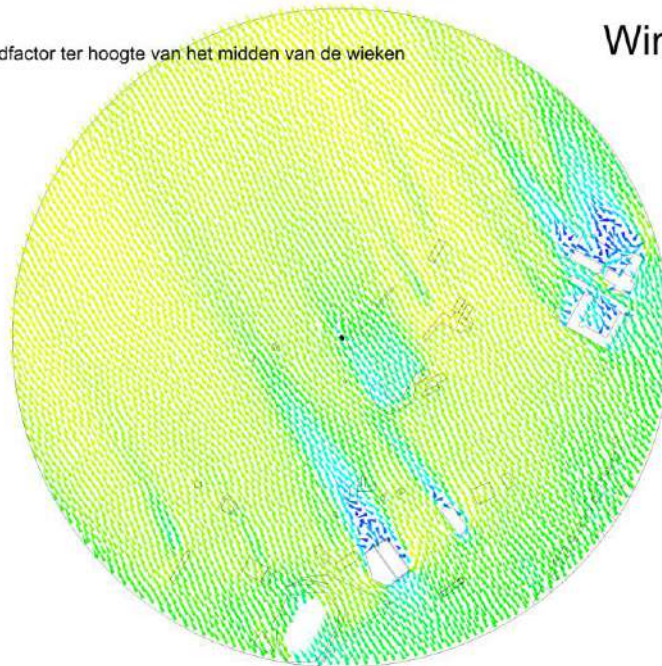
AV Stop
Stop uren ter hoogte van het midden van de wieken



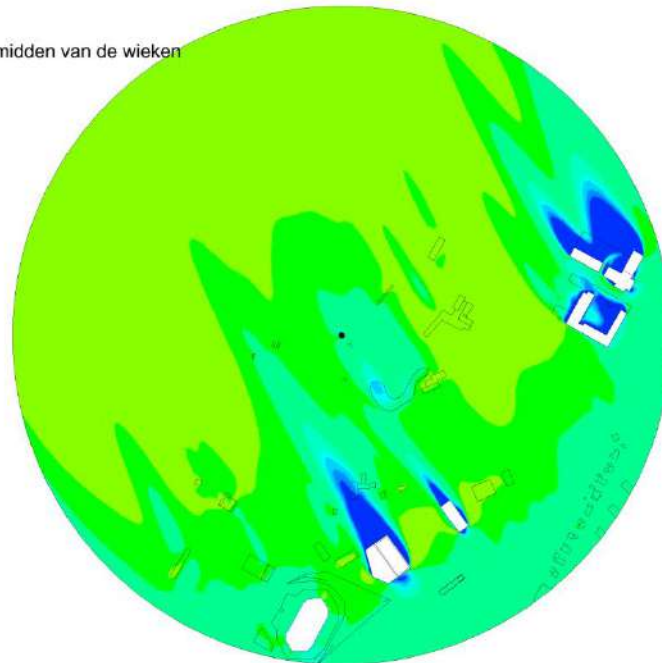
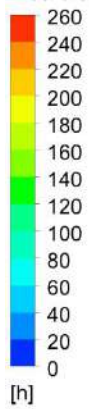
AV WF
Vectoran gekleurd naar de windfactor ter hoogte van het midden van de wieken

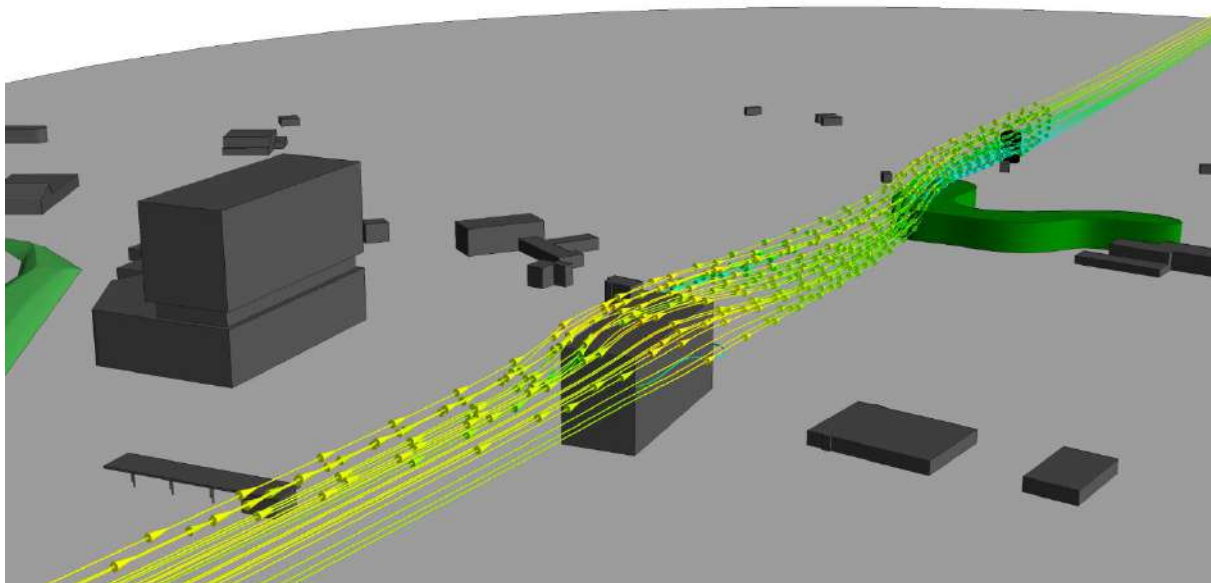
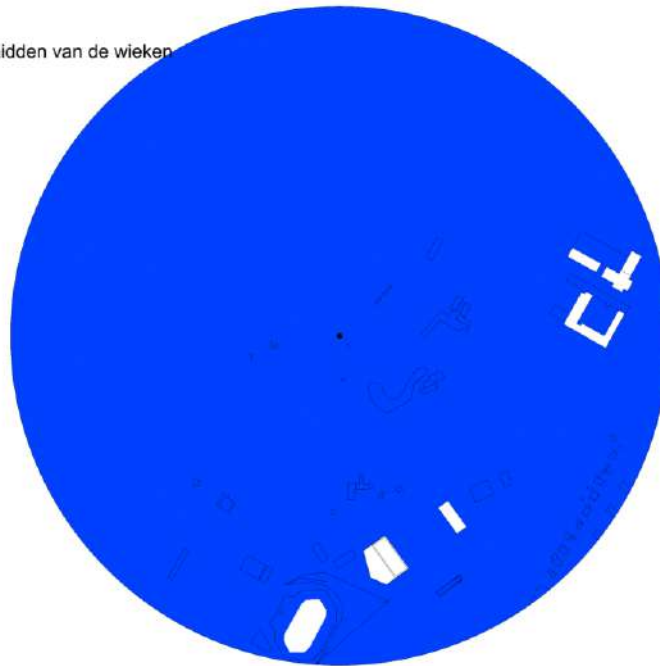
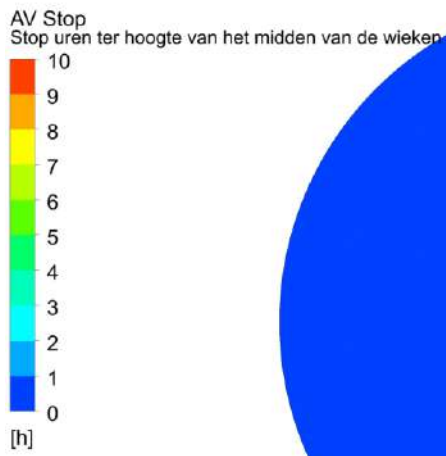


Windrichting = 150

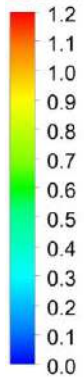


AV Draai
Draai uren ter hoogte van het midden van de wieken

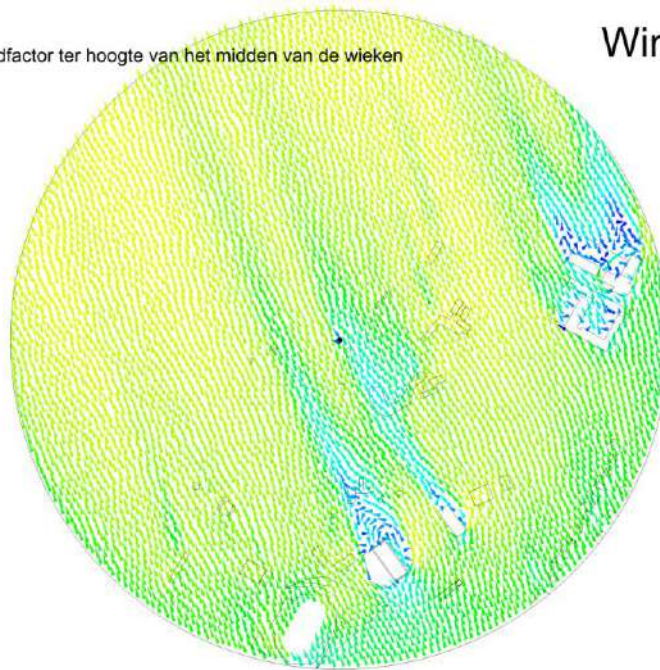




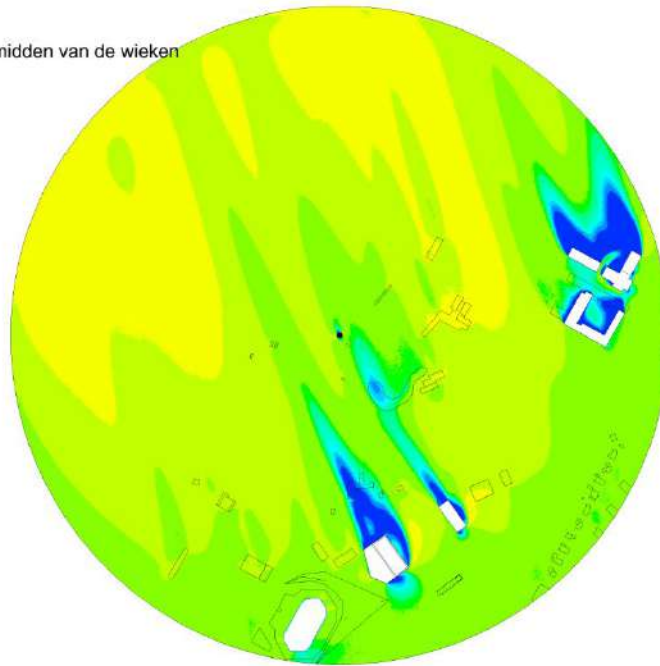
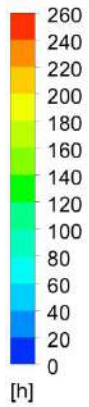
AV WF
Vectoren gekleurd naar de windfactor ter hoogte van het midden van de wieken

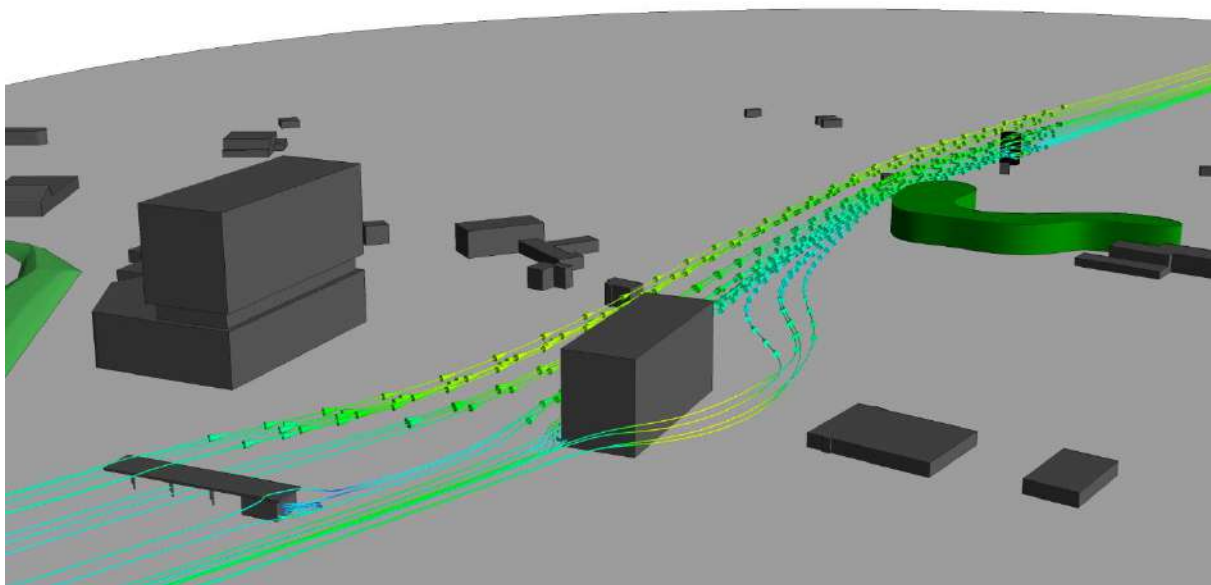
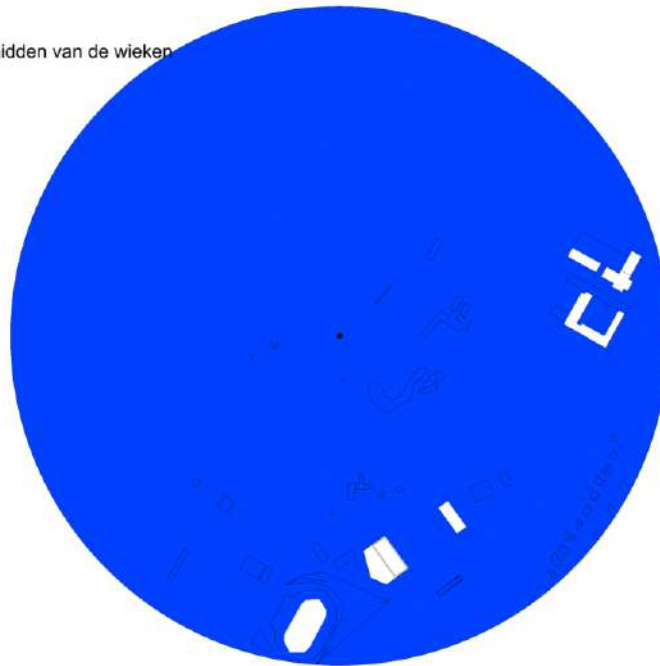
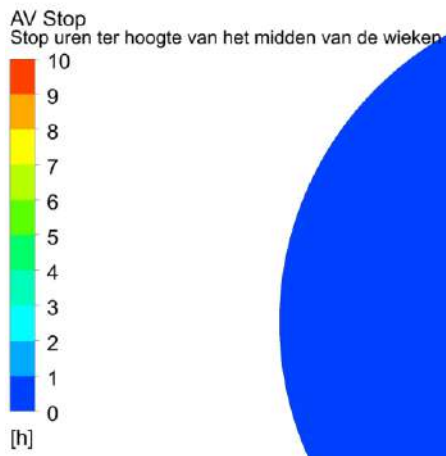


Windrichting = 160

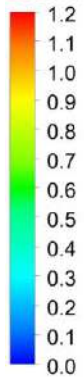


AV Draai
Draai uren ter hoogte van het midden van de wieken

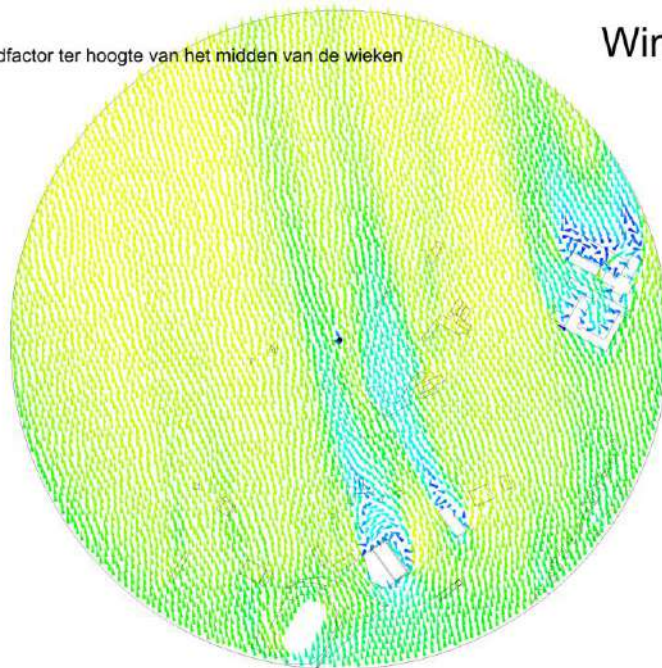




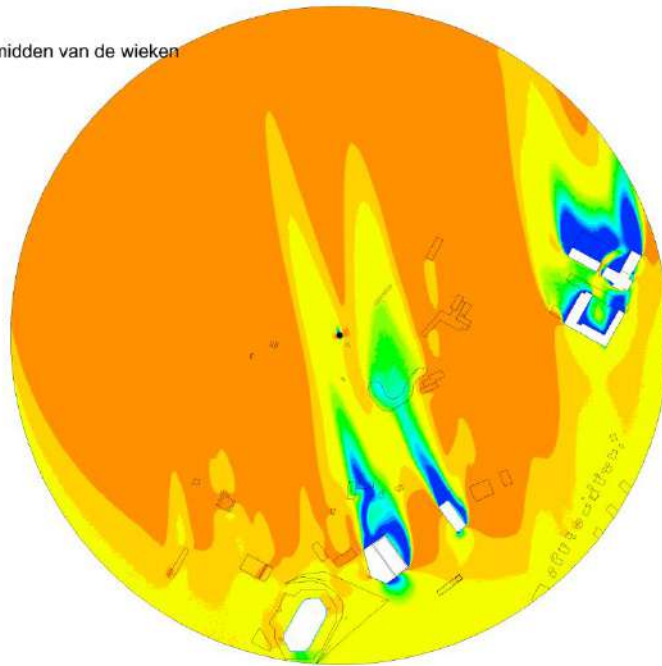
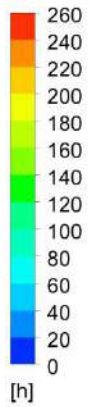
AV WF
Vectoren gekleurd naar de windfactor ter hoogte van het midden van de wieken

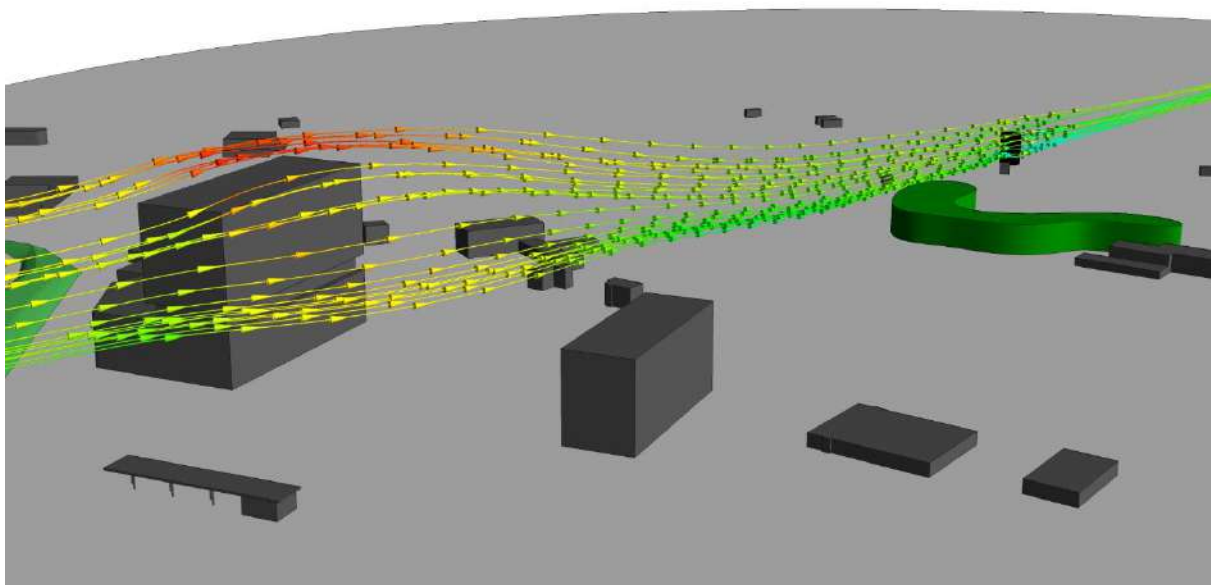
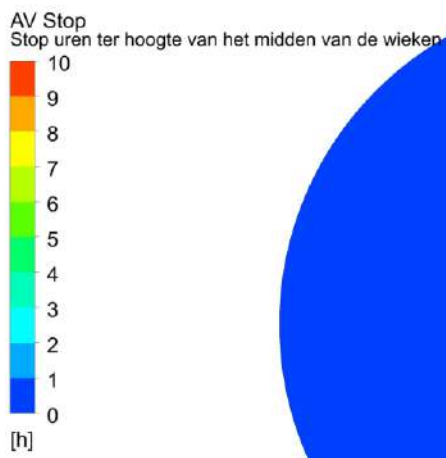


Windrichting = 170

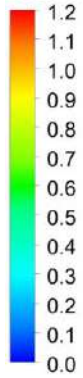


AV Draai
Draai uren ter hoogte van het midden van de wieken

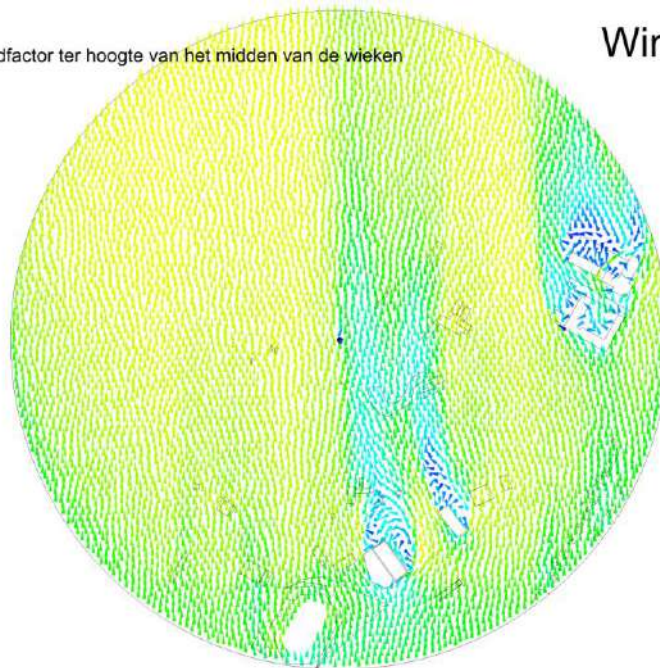




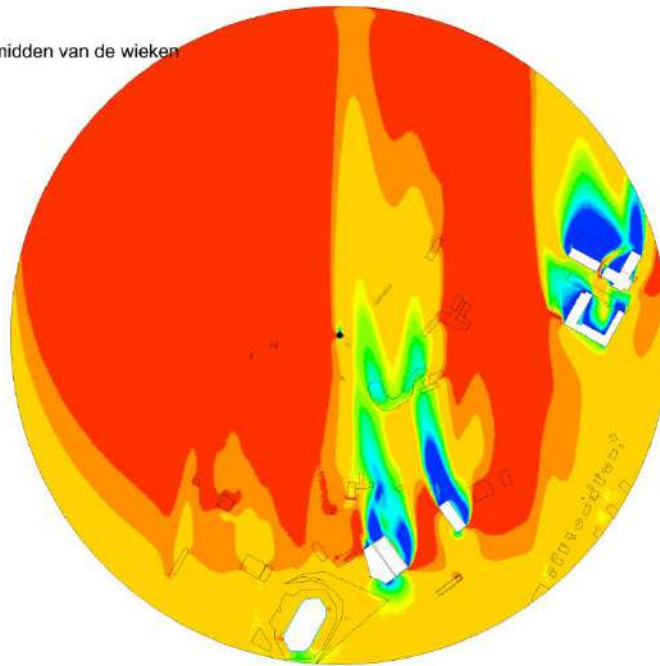
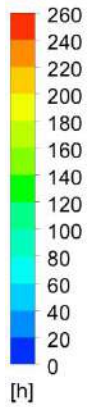
AV WF
Vectoran gekleurd naar de windfactor ter hoogte van het midden van de wieken

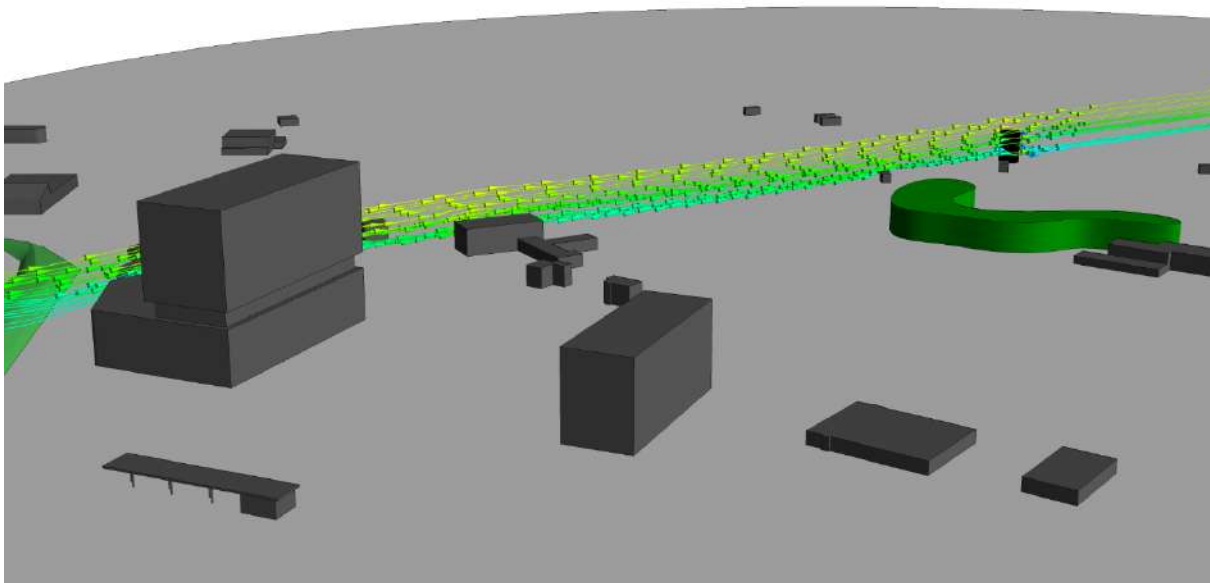
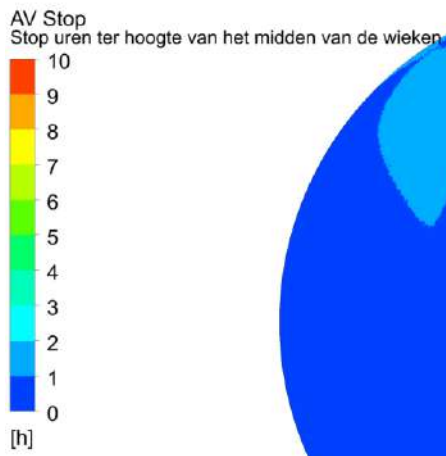


Windrichting = 180



AV Draai
Draai uren ter hoogte van het midden van de wieken



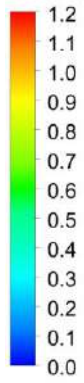


C - Ontwikkeling (Kantoor 17m) CFD-simulatieresultaten per windrichting

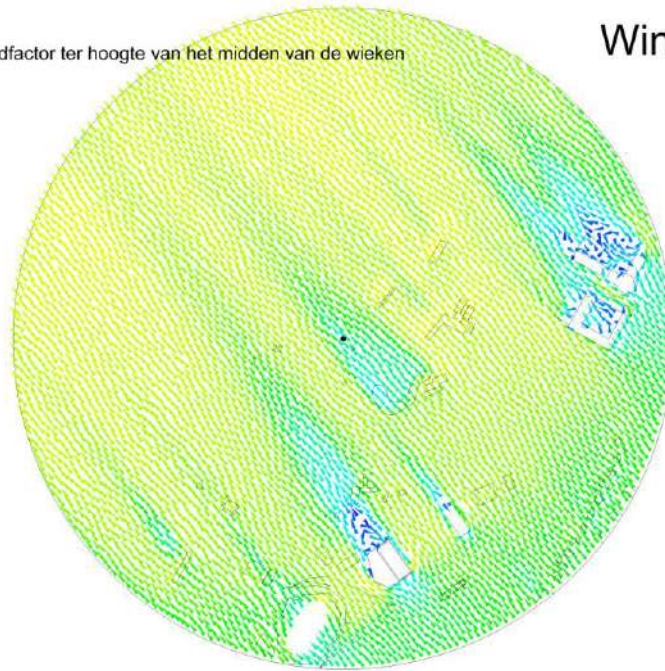
Op de volgende pagina's worden de CFD-simulatieresultaten per windrichting weergegeven. Voor elke onderzochte windrichting is het volgende weergegeven:

- Snelheidsvectoren gekleurd met windfactor
- Bovenaanzicht van een contour gekleurd met het aantal uren per jaar dat de molen kan draaien
- Bovenaanzicht van een contour gekleurd met het aantal uren per jaar dat de molen moet stoppen
- 3D aanzicht van stroomlijnen teruggetrokken vanaf de molen gekleurd naar de windfactor

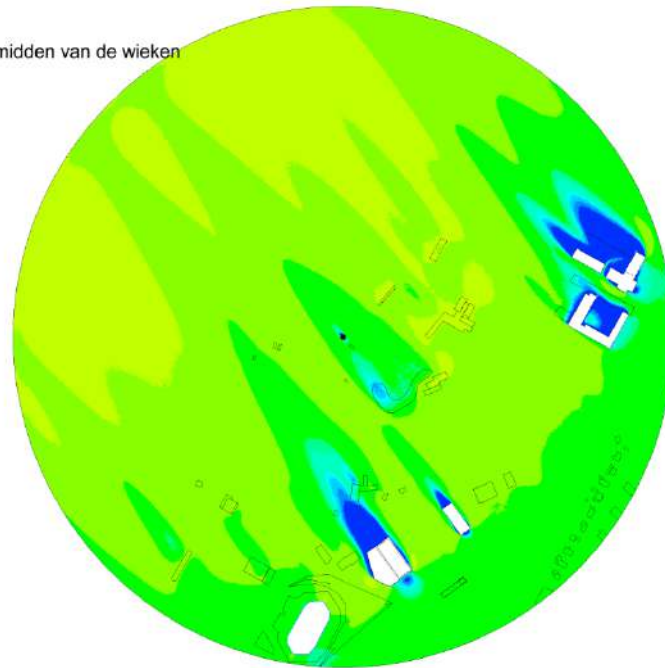
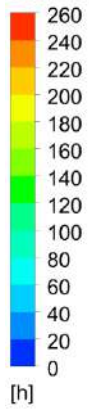
AV WF
Vectoren gekleurd naar de windfactor ter hoogte van het midden van de wieken

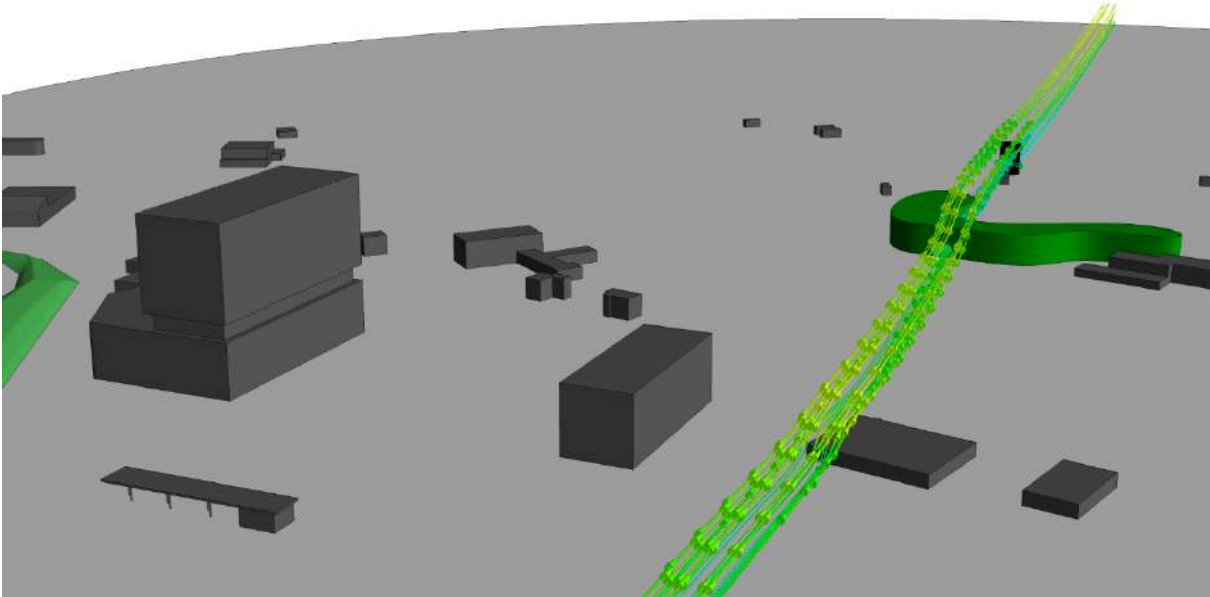
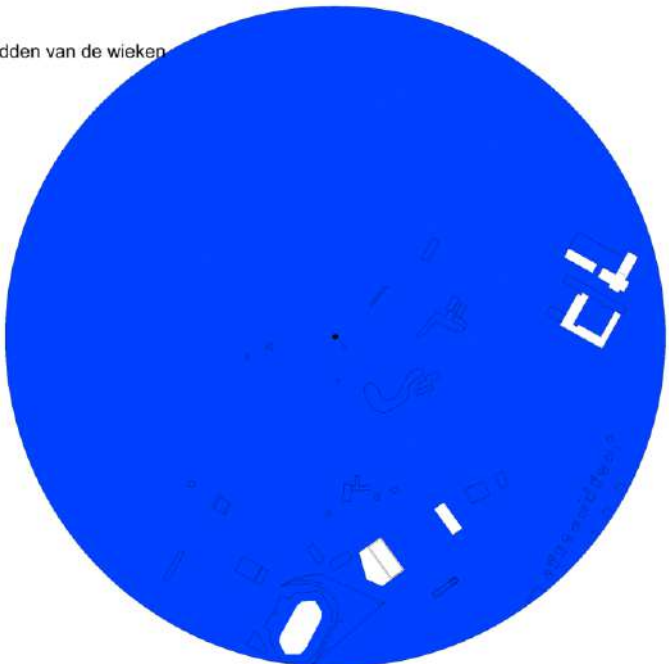


Windrichting = 140

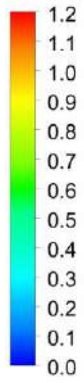


AV Draai
Draai uren ter hoogte van het midden van de wieken

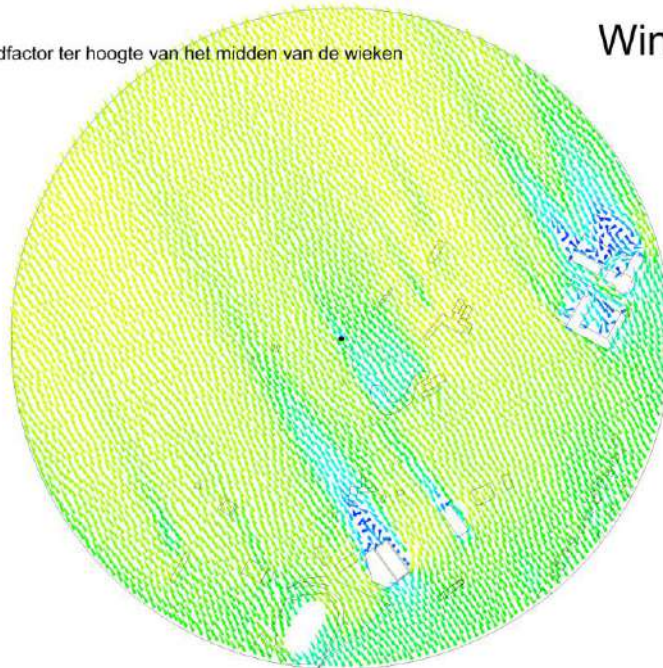




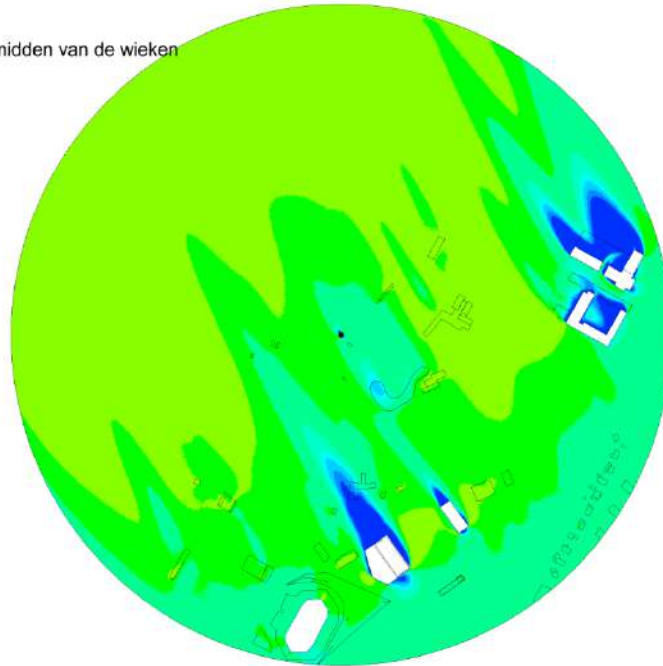
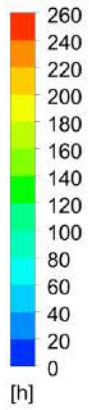
AV WF
Vectoren gekleurd naar de windfactor ter hoogte van het midden van de wieken

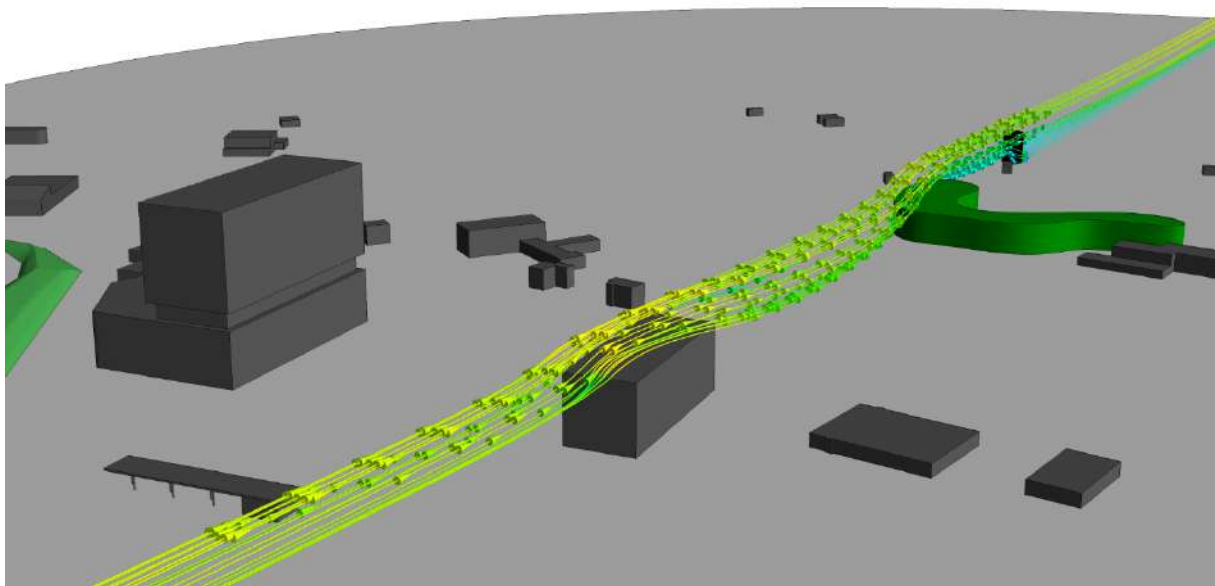


Windrichting = 150



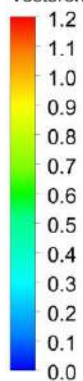
AV Draai
Draai uren ter hoogte van het midden van de wieken



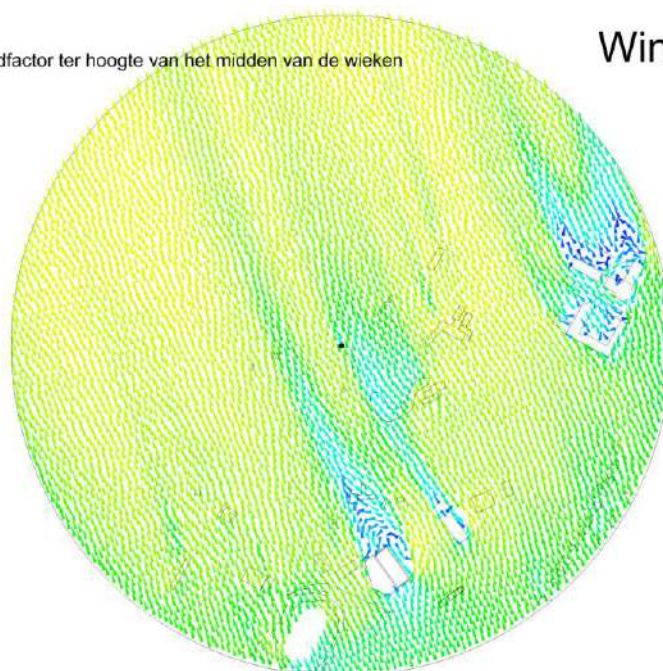


AV WF

Vectoren gekleurd naar de windfactor ter hoogte van het midden van de wieken

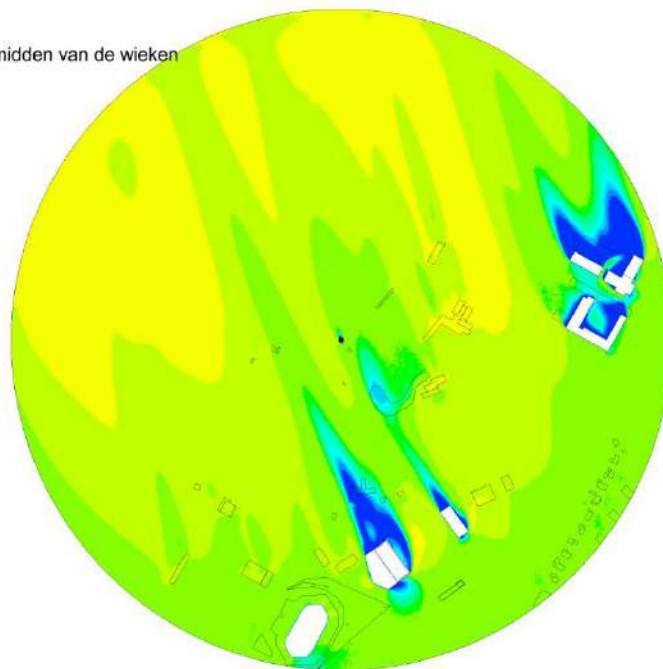
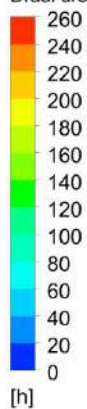


Windrichting = 160

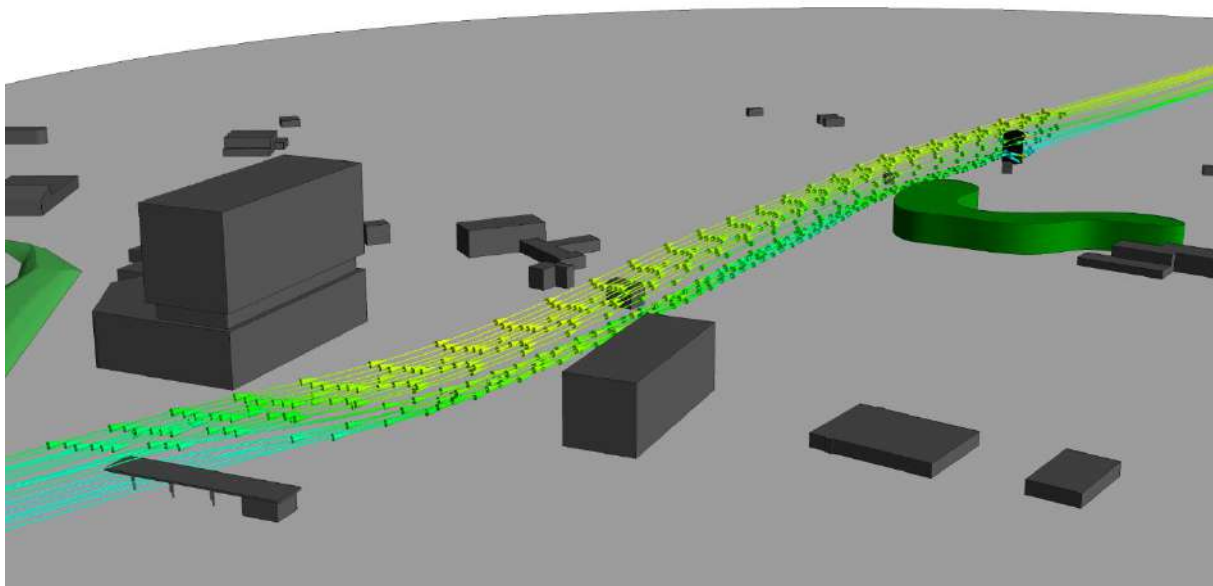
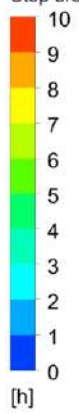


AV Draai

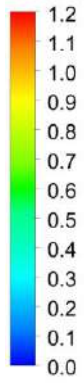
Draai uren ter hoogte van het midden van de wieken



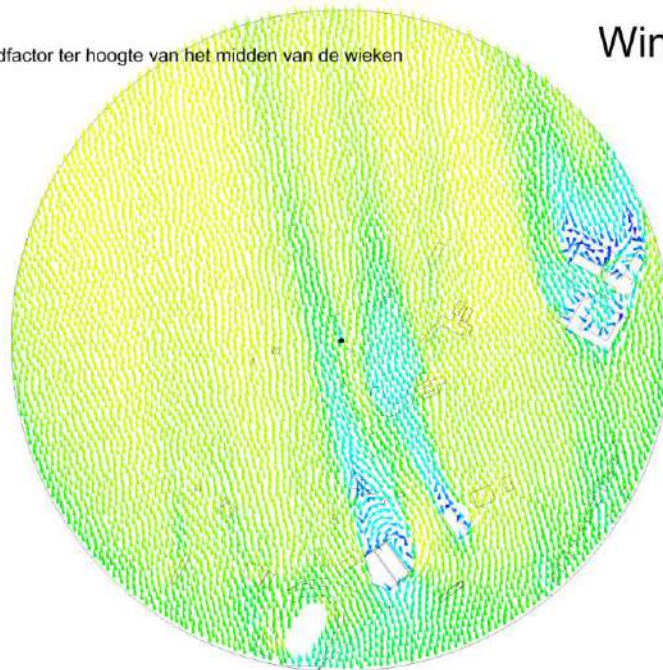
AV Stop
Stop uren ter hoogte van het midden van de wieken



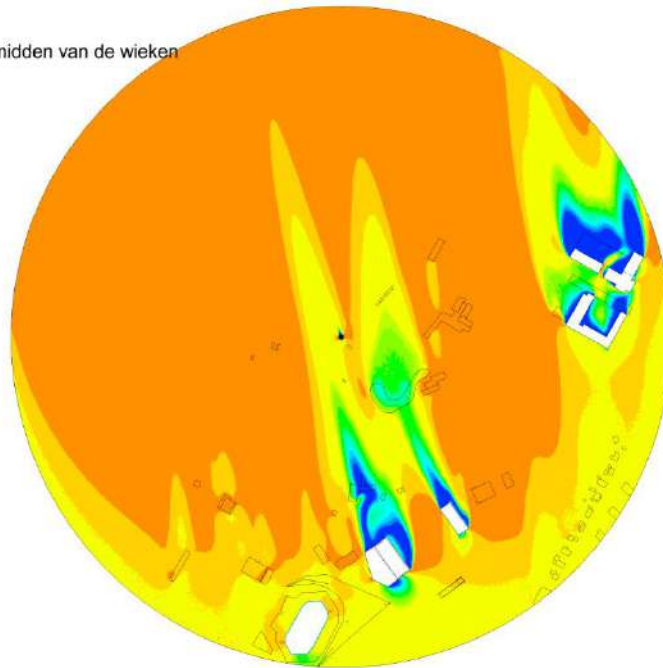
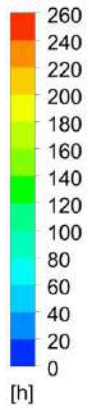
AV WF
Vectoren gekleurd naar de windfactor ter hoogte van het midden van de wieken

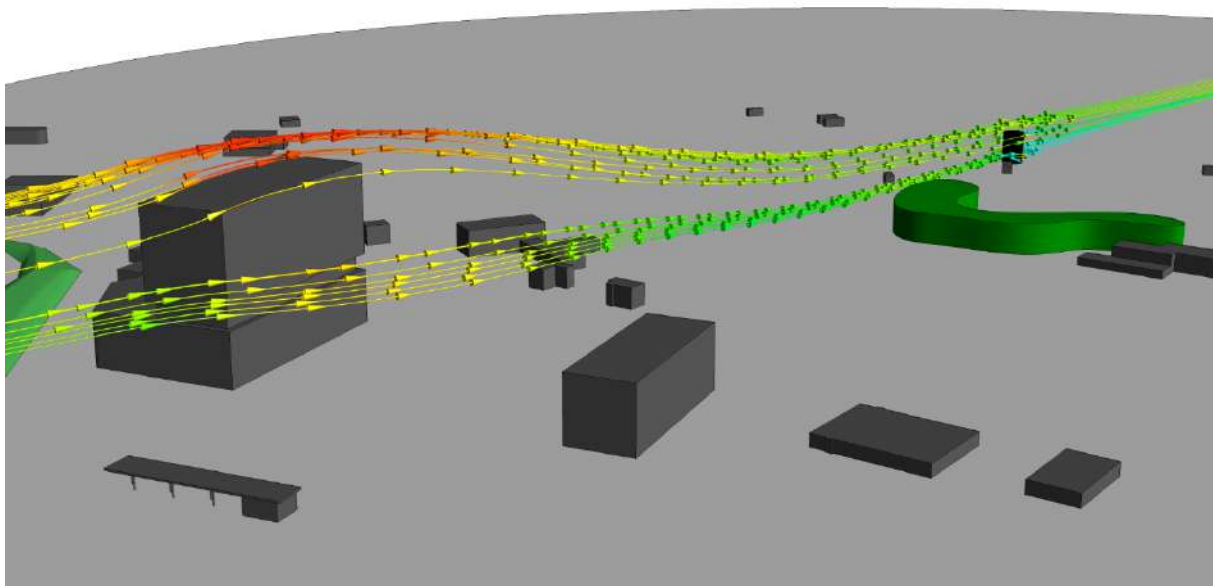
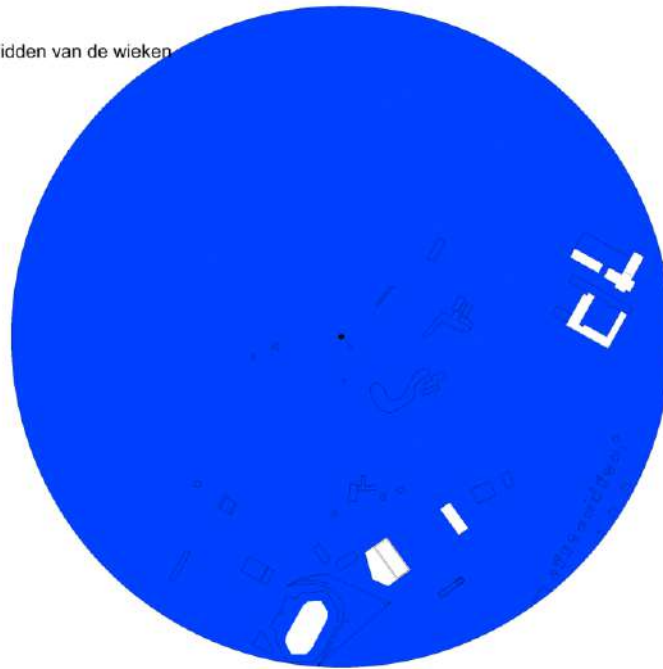
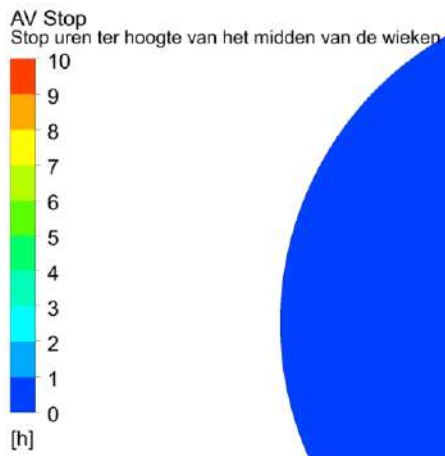


Windrichting = 170

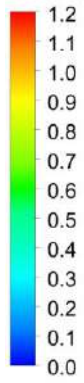


AV Draai
Draai uren ter hoogte van het midden van de wieken

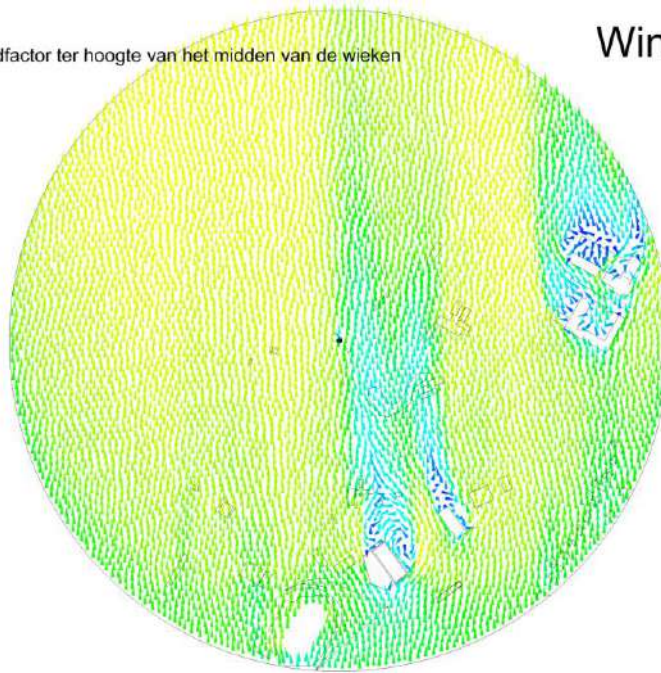




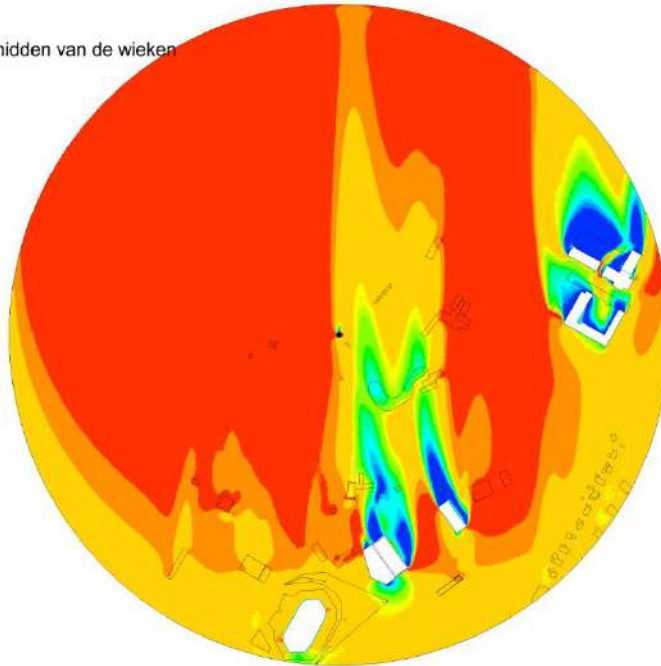
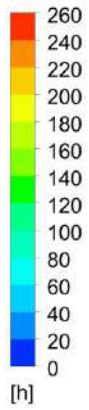
AV WF
Vectoren gekleurd naar de windfactor ter hoogte van het midden van de wieken

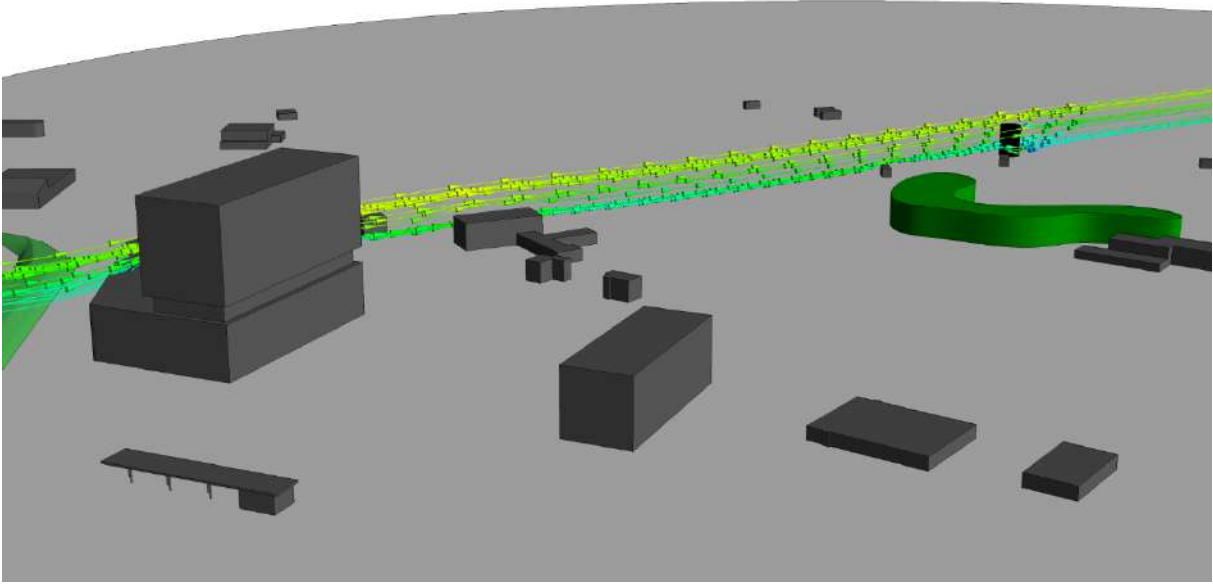
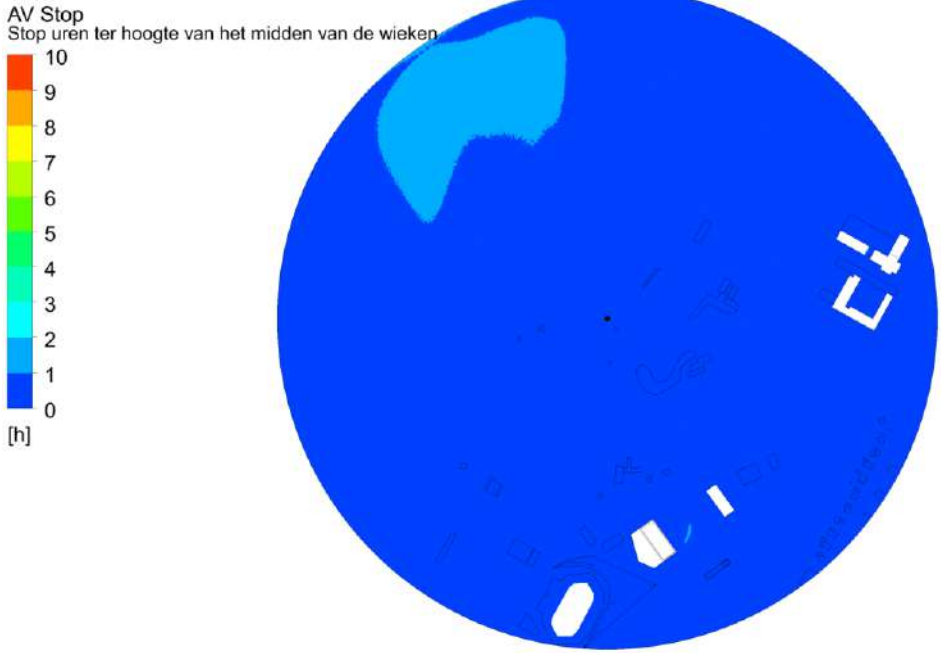


Windrichting = 180



AV Draai
Draai uren ter hoogte van het midden van de wieken





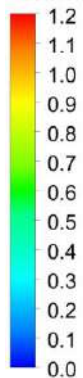
D - Ontwikkeling (Afgeronde Hoeken Kantoor 23m) CFD-simulatieresultaten per windrichting

Op de volgende pagina's worden de CFD-simulatieresultaten per windrichting weergegeven. Voor elke onderzochte windrichting is het volgende weergegeven:

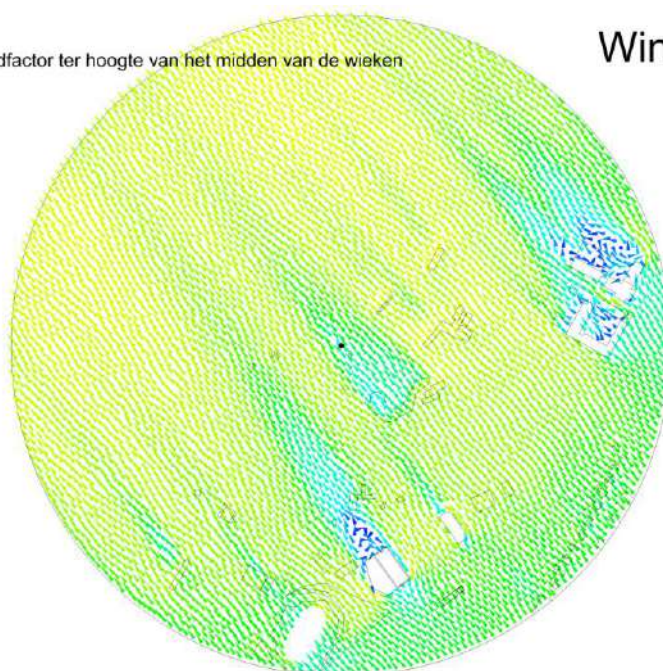
- Snelheidsvectoren gekleurd met windfactor
- Bovenaanzicht van een contour gekleurd met het aantal uren per jaar dat de molen kan draaien
- Bovenaanzicht van een contour gekleurd met het aantal uren per jaar dat de molen moet stoppen
- 3D aanzicht van stroomlijnen teruggetrokken vanaf de molen gekleurd naar de windfactor

AV WF

Vectoren gekleurd naar de windfactor ter hoogte van het midden van de wieken

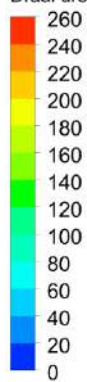


Windrichting = 140

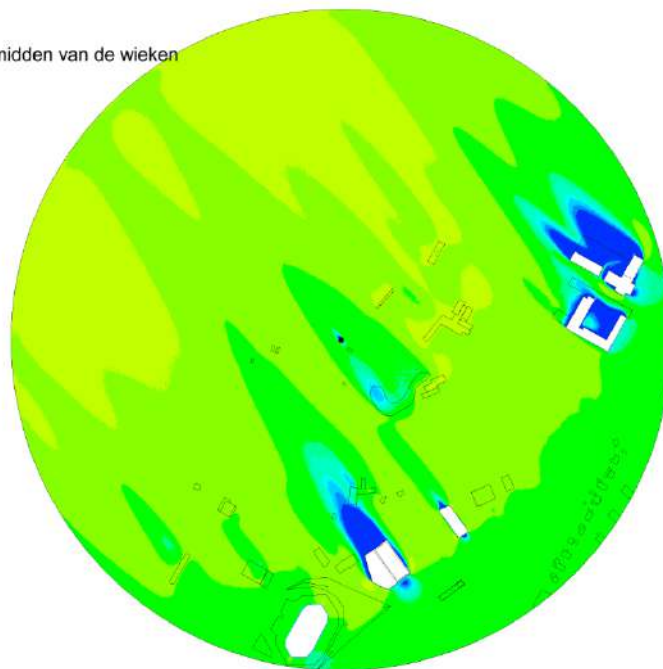


AV Draai

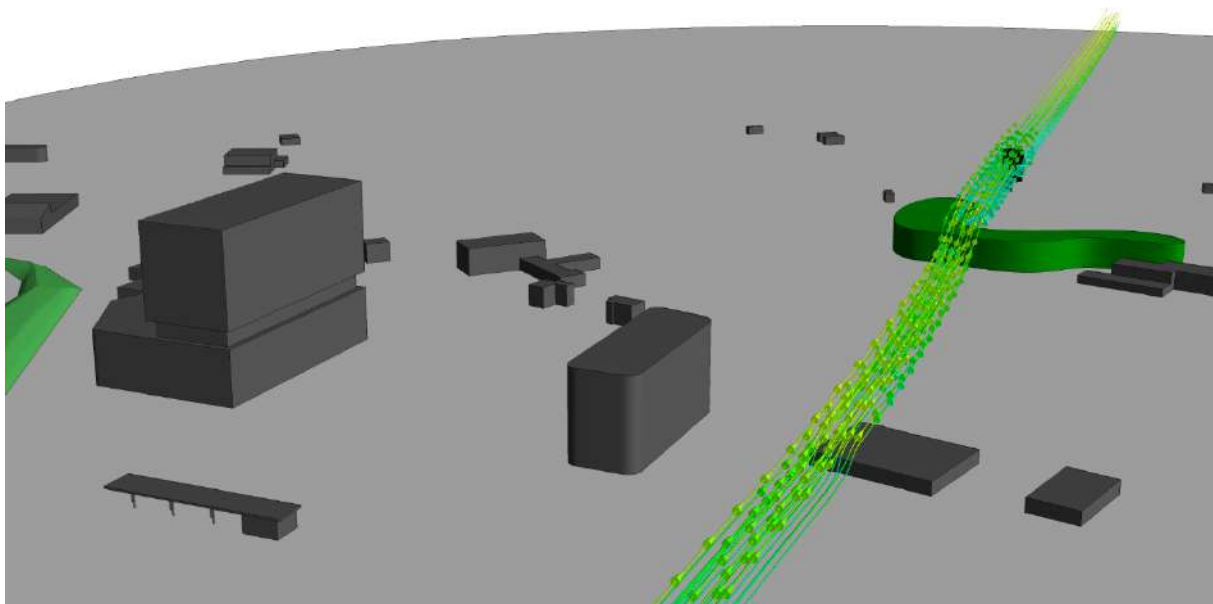
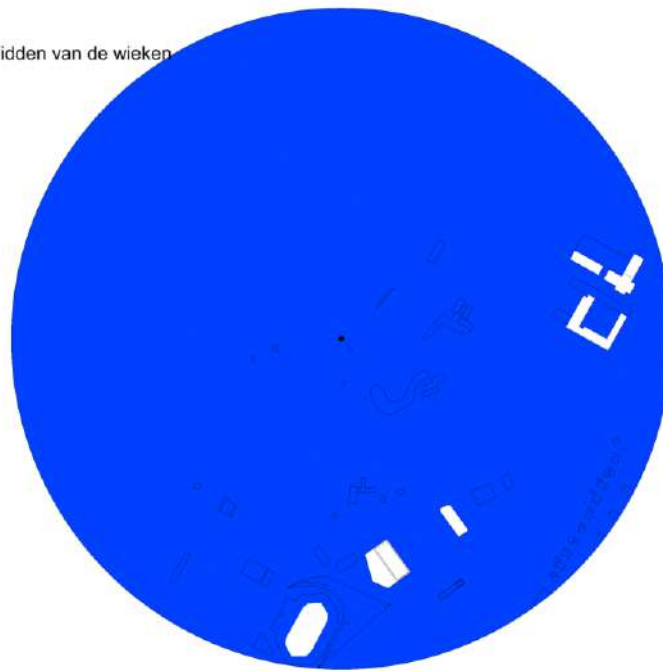
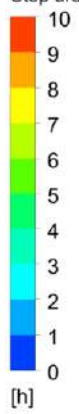
Draai uren ter hoogte van het midden van de wieken



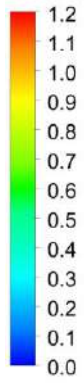
[h]



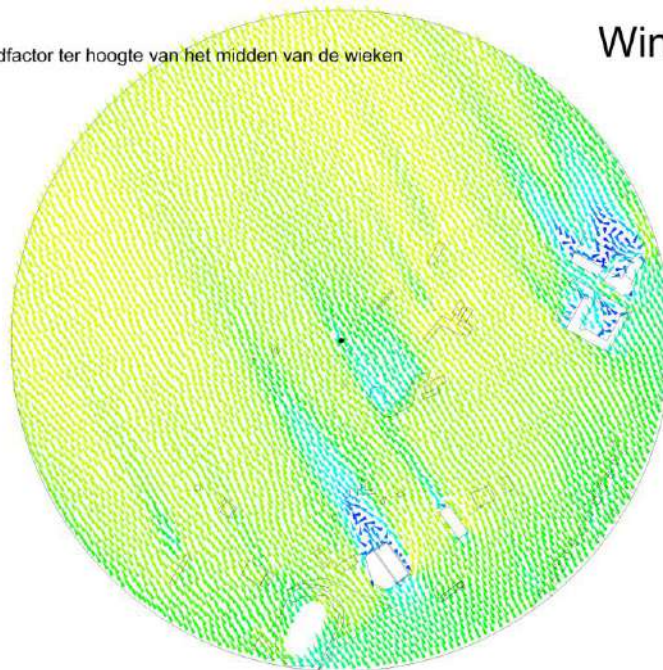
AV Stop
Stop uren ter hoogte van het midden van de wieken



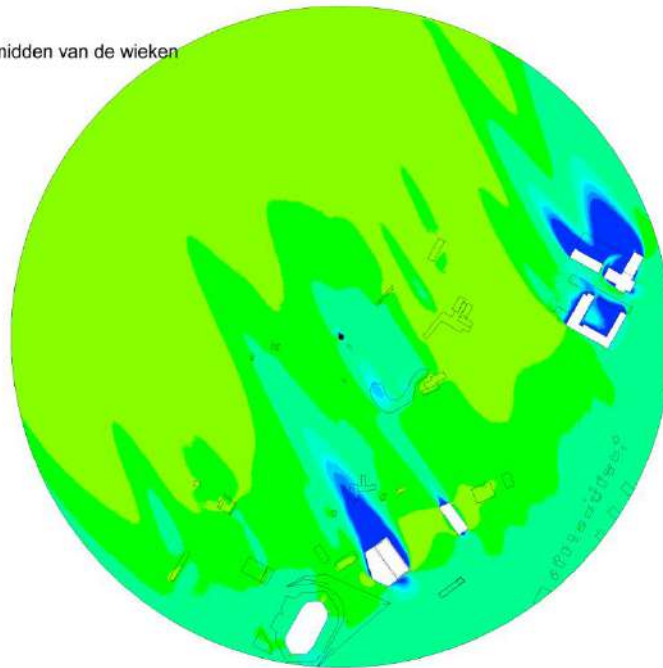
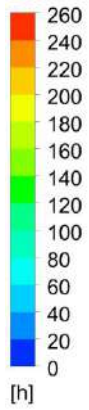
AV WF
Vectoren gekleurd naar de windfactor ter hoogte van het midden van de wieken



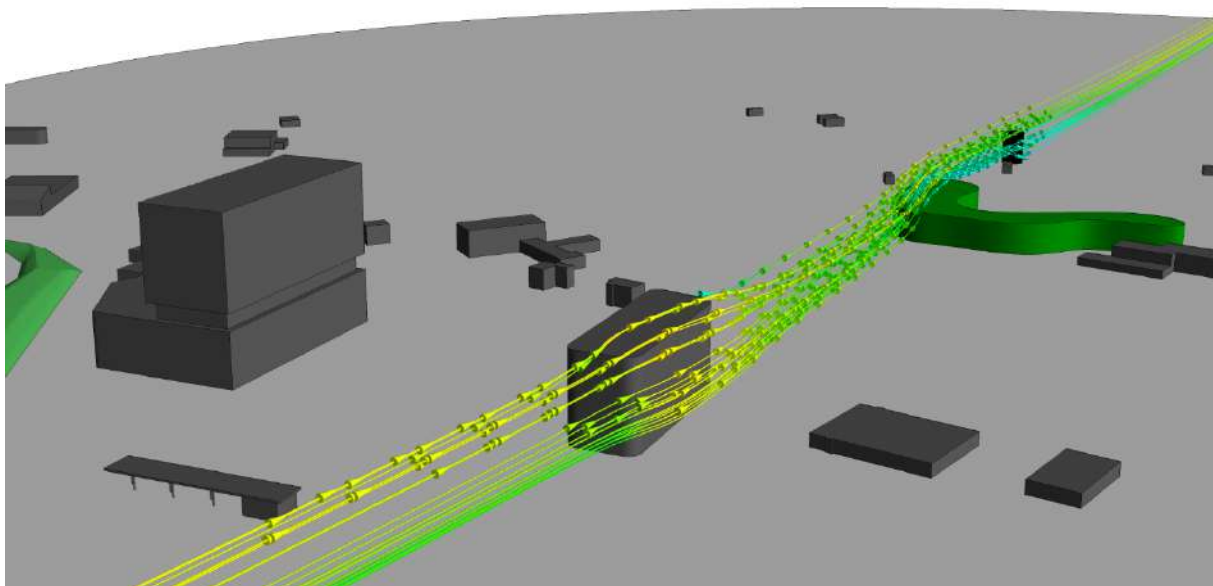
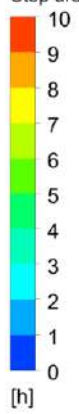
Windrichting = 150



AV Draai
Draai uren ter hoogte van het midden van de wieken

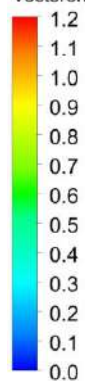


AV Stop
Stop uren ter hoogte van het midden van de wieken

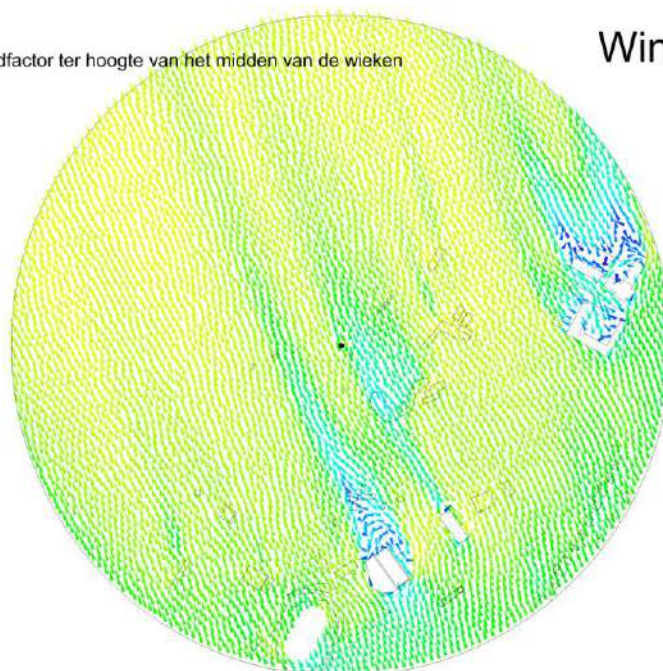


AV WF

Vectoren gekleurd naar de windfactor ter hoogte van het midden van de wieken

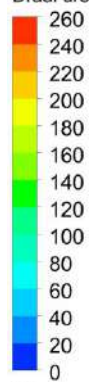


Windrichting = 160

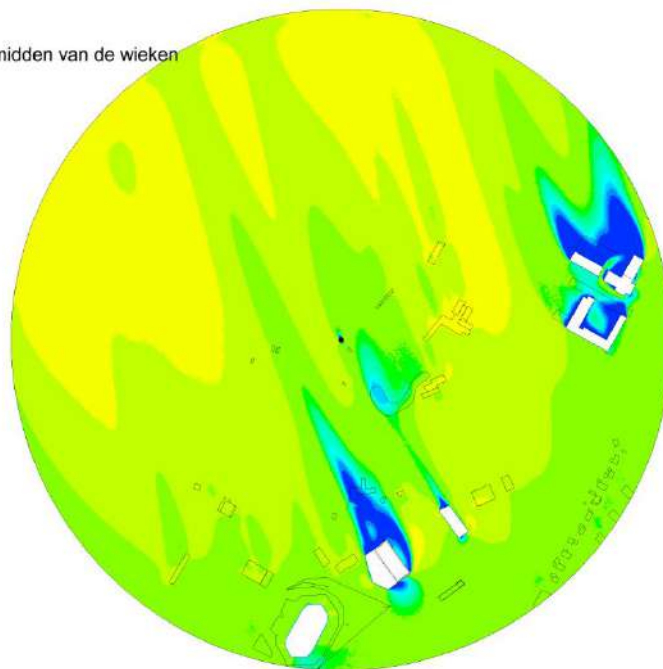


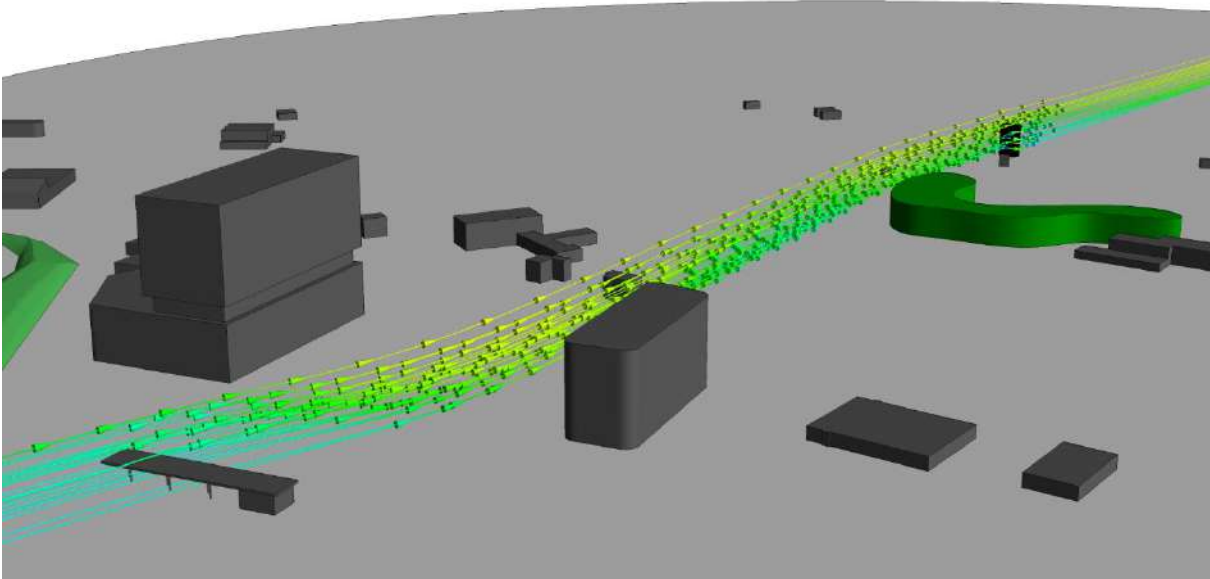
AV Draai

Draai uren ter hoogte van het midden van de wieken



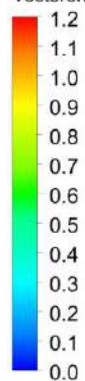
[h]



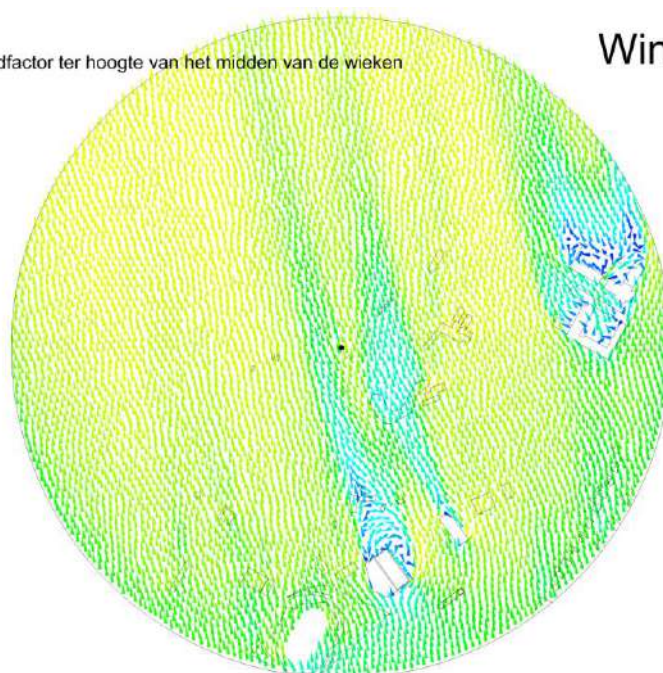


AV WF

Vectoren gekleurd naar de windfactor ter hoogte van het midden van de wieken

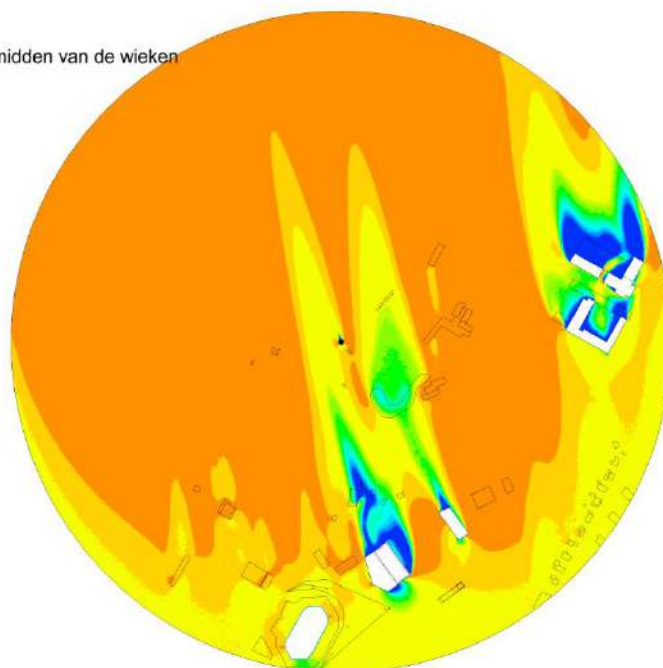
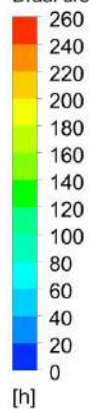


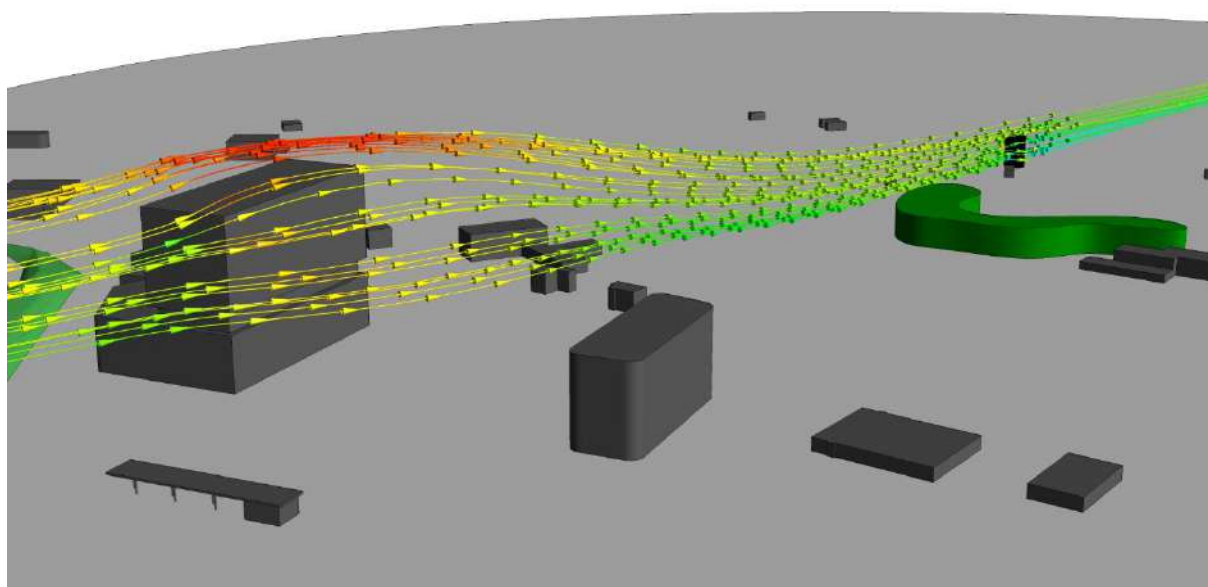
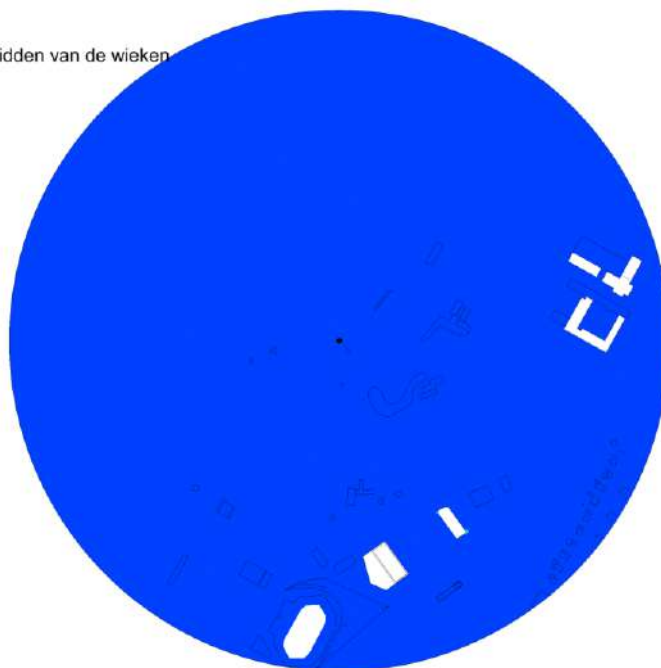
Windrichting = 170



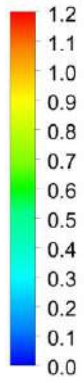
AV Draai

Draai uren ter hoogte van het midden van de wieken

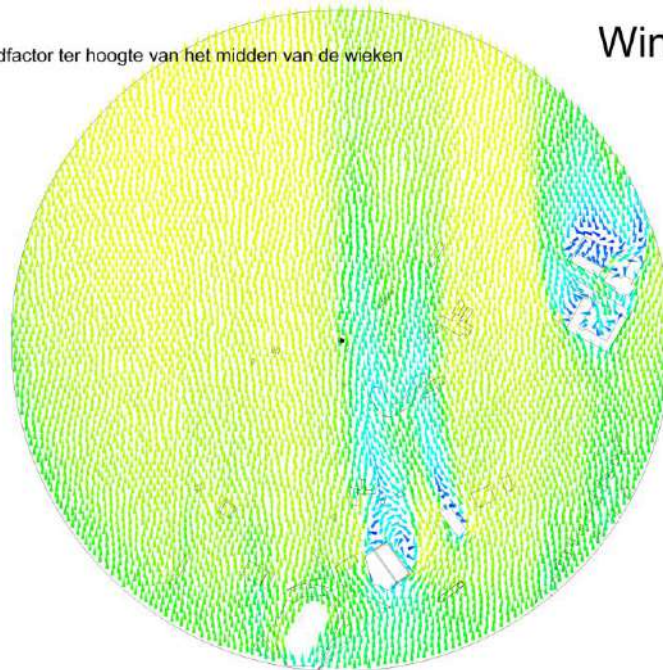




AV WF
Vectoren gekleurd naar de windfactor ter hoogte van het midden van de wieken



Windrichting = 180



AV Draai
Draai uren ter hoogte van het midden van de wieken

