

Faculteit Bouwkunde
Unit Building Physics and Services

Den Dolech 2, 5612 AZ Eindhoven
Postbus 513, 5600 MB Eindhoven
Intern adres: Vertigo VRT 6.30
www.urbanphysics.net

Onderwerp
Onderzoek windhinder District E
Ontwerp 19

Datum
07/05/2020

Contact
Prof.dr.ir. Bert Blocken
T +31 40 247 2138
b.j.e.blocken@tue.nl

Onderzoek windhinder District E: Ontwerp 19

Met behulp van Computational Fluid Dynamics (CFD) is de mogelijke windhinder rondom de geplande nieuwbouw 'District E' bepaald. De nieuwbouw zal gebouwd worden op het stationsplein te Eindhoven en behelst onder meer de nieuwbouw van drie torens van 90, 120 en 170 meter hoog in het stationsgebied. Het windklimaat rondom de geplande nieuwbouw is beoordeeld volgens de Nederlandse norm voor windhinder en windgevaar NEN 8100.

De door de TU/e uitgevoerde analyse door numerieke simulatie met CFD houdt rekening met de gebouwde en te bouwen omgeving en de windstatistiek op de betreffende locatie. Uit de berekende windsnelheden en de windstatistiek voor de bouwlocatie zijn vervolgens de overschrijdingskansen voor windhinder volgens NEN 8100 bepaald.

In het voorgaande rapport (ontwerp 18) was een enorme verbetering gemaakt wat betreft de aanwezigheid van slecht beoordeelde gebieden ten opzichte van het basisontwerp. Op ontwerp 18 zijn in dit vervolgrapport maatregelen toegepast; verticale schermen en het verhogen van reeds aanwezige balustrades. Het ontwerp in dit rapport zal beschouwd worden als ontwerp 19.

Ook in ontwerp 19 is de grootte van de gebieden met de ongewilde kwaliteitsklassen D en E sterk afgenomen ten opzichte van het basisontwerp. Deze gebieden zijn echter nog steeds aanwezig en zijn te vinden in de hoekstromingen rondom de drie torens en in de passages tussen de gebouwen. Dit zijn gebieden die vaker windhinder veroorzaken in de gebouwde omgeving. Voornamelijk betreft het hier gebieden met kwaliteitsklasse D. Ten opzichte van ontwerp 18 zijn deze gebieden bij de entrees van de zuidtoren wat in grootte afgenomen. Daarentegen zijn deze gebieden iets groter geworden op de noordelijke hoeken van het plangebied. In de passage tussen de oost- en westtoren is een daarnaast nog een klein gebied met de slechtste kwaliteitsklasse E zien.

Datum
07/05/2020

Pagina
2 / 18

Inhoud

1 Onderzoek windhinder en windgevaar	3
1.1 NEN 8100	3
2 Situatie	5
2.1 Basisontwerp	5
2.1.1 Raster	5
2.2 Randgebied	6
2.3 Randvoorwaarden	8
2.4 Ontwerpen	10
2.4.1 Ontwerp 19	10
3 Resultaten:	11
3.1 Windsnelheid	11
3.2 Beoordeling windhinder	15
3.3 Beoordeling windgevaar	16
4 Conclusie	17

Datum
07/05/2020

Pagina
3 / 18

1 Onderzoek windhinder en windgevaar

1.1 NEN 8100

In Nederland is de boordeling van het windklimaat vastgelegd in de norm NEN 8100. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende typen activiteiten, daar de gevoeligheid voor windhinder van de mens hiervan sterk afhankelijk is. Omdat windhinder bij bepaalde weersomstandigheden nooit helemaal voorkomen kan worden, beoordeelt NEN 8100 het windklimaat op basis van de kans P op windhinder, waarvoor een gemiddelde windsnelheid van $U > 5$ m/s is aangenomen. Hoe kleiner de kans op overschrijding van deze drempelwaarde hoe hoger de kwaliteitsklasse van de plek is en dus des te beter het windklimaat voor diverse activiteiten. In onderstaande tabel is het beoordelingskader met betrekking tot windhinder uit NEN 8100 weergegeven.

Tabel 1. Beoordelingskader windhinder volgens NEN 8100.

Overschrijdingskans $P(U > 5 \text{ m/s})$ in procenten van het aantal uren per jaar.	Kwaliteitsklasse	Activiteit		
		I. Doorlopen	II. Slenteren	III. Langdurig zitten
< 2,5	A	Goed	Goed	Goed
2,5 – 5	B	Goed	Goed	Matig
5 – 10	C	Goed	Matig	Slecht
15 – 20	D	Matig	Slecht	Slecht
> 20	E	Slecht	Slecht	Slecht

NEN 8100 geeft uitleg bij de begrippen goed, matig en slecht:

- 'Bij een goed windklimaat ondervindt men geen overmatige windhinder. In een situatie zonder overmatige windhinder heeft het merendeel van het publiek geen last van windhinder.
- Bij een matig windklimaat ervaart men af en toe overmatige windhinder.
- In een slecht windklimaat ervaart men regelmatig overmatige windhinder. In een dergelijke situatie heeft het merendeel van het publiek last van windhinder'.

Om de jaarlijkse overschrijdingskans van windhinder te bepalen worden de resultaten van de CFD-simulaties gecombineerd met de windstatistiek van Eindhoven en de drempelwaarde voor windhinder.

In de NEN 8100 staat voorgeschreven dat de windstatistiek zoals deze door de NPR 6097 (Nederlandse praktijkrichtlijn) wordt bepaald, dient te worden gebruikt (zie Tabel 2). De tabel toont dat bij met name de windrichtingen 210° (ZZW) en 240° (WZW) hoge windsnelheden voorkomen. Daarnaast komen deze windrichtingen relatief vaak voor.

Datum
07/05/2020

Pagina
4 / 18

Tabel 2: Cumulatieve relatieve frequentietabel van de 60 meter windsnelheid (U60m) in Eindhoven (coördinaten Rijksdriehoekstelsel X162239 Y384522) jaren 1963-2002 (bron: NPR 6097)

Windsnel- heid (m/s)	Windrichting (°)											
	350- 10	20- 40	50- 70	80- 100	110- 130	140- 160	170- 190	200- 220	230- 250	260- 280	290- 310	320- 340
0,0 - 0,9	0,22	0,21	0,24	0,20	0,23	0,27	0,29	0,29	0,29	0,27	0,27	0,25
1,0 - 1,9	0,85	0,84	0,96	0,79	0,89	1,03	1,27	1,34	1,18	1,08	1,05	0,94
2,0 - 2,9	1,66	1,76	1,99	1,65	1,85	2,12	2,59	2,83	2,52	2,25	2,03	1,80
3,0 - 3,9	2,48	2,82	3,15	2,63	2,80	3,20	4,10	4,83	4,23	3,51	3,11	2,66
4,0 - 4,9	3,21	3,87	4,44	3,65	3,61	4,18	5,61	7,09	6,11	4,84	4,02	3,42
5,0 - 5,9	3,80	4,79	5,60	4,47	4,20	4,87	6,95	9,23	8,02	5,96	4,79	3,96
6,0 - 6,9	4,24	5,53	6,45	5,09	4,59	5,33	8,04	11,12	9,77	6,92	5,42	4,34
7,0 - 7,9	4,48	6,08	7,09	5,56	4,84	5,65	8,87	12,80	11,27	7,66	5,85	4,59
8,0 - 8,9	4,60	6,45	7,54	5,87	4,96	5,82	9,48	14,17	12,49	8,17	6,11	4,76
9,0 - 9,9	4,66	6,67	7,86	6,06	5,01	5,91	9,88	15,18	13,37	8,54	6,28	4,82
10,0 - 10,9	4,70	6,80	8,05	6,17	5,03	5,95	10,12	15,88	14,03	8,78	6,37	4,86
11,0 - 11,9	4,72	6,87	8,16	6,22	5,03	5,97	10,24	16,34	14,43	8,95	6,41	4,88
12,0 - 12,9	4,73	6,90	8,22	6,26	5,04	5,97	10,31	16,61	14,67	9,05	6,43	4,90
13,0 - 13,9	4,73	6,92	8,25	6,27	5,04	5,98	10,34	16,76	14,82	9,11	6,44	4,90
14,0 - 14,9	-	6,92	8,25	6,28	-	-	10,35	16,83	14,90	9,14	6,44	4,90
15,0 - 15,9	-	6,92	8,26	6,28	-	-	10,36	16,88	14,94	9,16	6,45	4,90
16,0 - 16,9	-	-	8,26	-	-	-	10,37	16,90	14,96	9,17	6,45	-
17,0 - 17,9	-	-	-	-	-	-	10,37	16,91	14,97	9,18	6,45	-
18,0 - 18,9	-	-	-	-	-	-	-	16,91	14,97	9,18	6,45	-
19,0 - 19,9	-	-	-	-	-	-	-	16,92	14,97	9,18	6,45	-
20,0 - 20,9	-	-	-	-	-	-	-	16,92	14,98	9,18	6,45	-
21,0 - 21,9	-	-	-	-	-	-	-	16,92	14,98	9,18	6,45	-
22,0 - 22,9	-	-	-	-	-	-	-	16,92	14,98	9,18	-	-
23,0 - 23,9	-	-	-	-	-	-	-	-	14,98	-	-	-

Voor windgevaar wordt een drempelwaarde van $U > 15$ m/s aangenomen. De overschrijdingskansen en het bijbehorende beoordelingskader zijn te vinden in tabel 3.

Tabel 3. Beoordelingskader windgevaar volgens NEN 8100.

Overschrijdingskans $P(U > 15 \text{ m/s})$ in procenten van het aantal uren per jaar.	Beoordeling windgevaar
< 0,05 %	Geen gevaar
0,05 tot 0,30 %	Beperkt risico
> 0,30 %	Gevaarlijk

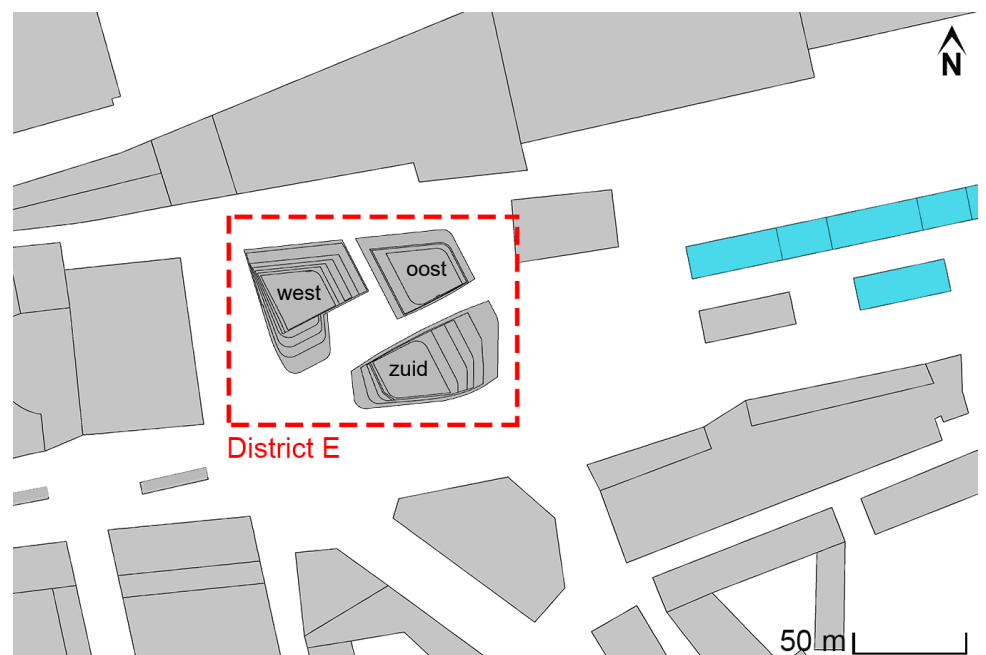
Datum
07/05/2020

Pagina
5 / 18

2 Situatie

2.1 Basisontwerp

Het basisontwerp (zie Fig. 1) voor 'District E' behelst onder meer de nieuwbouw van drie torens van 90 (westoren), 120 (oostoren) en 170 (zuidoren) meter hoog in het stationsgebied in Eindhoven. Door de hoogte van de torens ten opzichte van de gebouwde omgeving wordt windoverlast op voetgangersniveau verwacht. Ter verbetering van het windcomfort zijn door de opdrachtgever verschillende varianten op het basisontwerp voorgesteld. Deze ontwerpen zijn behandeld in voorgaande rapporten. Hierop volgend is een nieuwe variant ontworpen: Ontwerp 19. Dit ontwerp wordt besproken in hoofdstuk 2.4. In alle ontwerpvarianten is de geplande nieuwbouw ten oosten van het plan (blauw gemarkeerd in Figuur 1) meegenomen in het raster voor de CFD simulaties. Dit is niet het geval bij het basisontwerp.



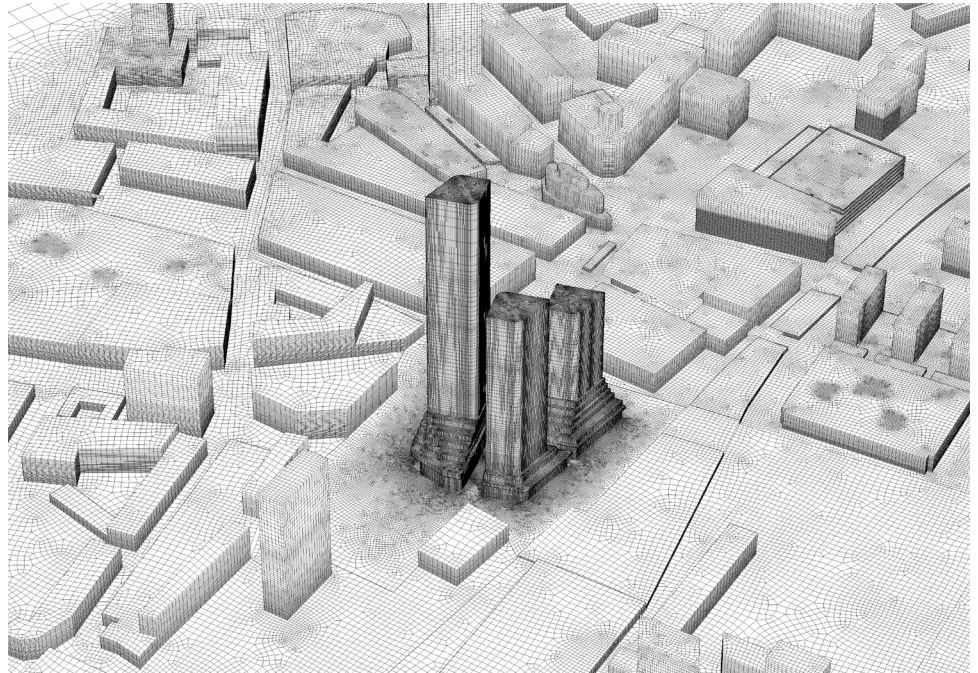
Figuur 1: Bovenaanzicht van het plangebied.

2.1.1 Raster

Het rekendomein van het basisontwerp, dit is het luchtvolume rondom de objecten, is gediscrètiseerd met een hoge-resolutieraster bestaande uit 25.757.236 cellen (zie Fig. 2). Het raster is gegenereerd met behulp van de rastergeneratietechniek zoals gepresenteerd door van Hooff & Blocken (2010), en volgens de Best Practice-richtlijnen van Franke et al. (2007), Tominaga et al. (2008) en Blocken (2015). Een niet-conform raster is toegepast om te kunnen voldoen aan Vergelijking 5 ten behoeve van een neutraal gestratificeerd, horizontaal homogeen windprofiel.

Datum
07/05/2020

Pagina
6 / 18



Figuur 2: Deel van rekenraster voor het basisontwerp met in totaal 25.757.236 cellen.

2.2 Randgebied

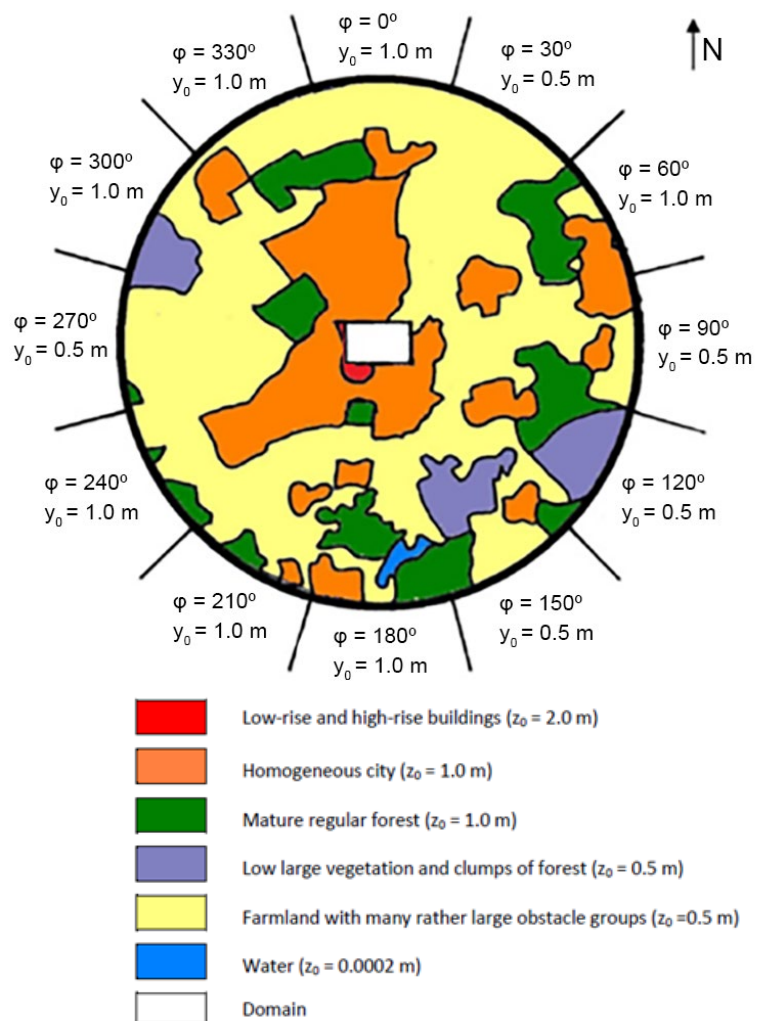
De ruwheid van de omgeving van het expliciet gemodelleerde gebied wordt gekarakteriseerd door de aerodynamische ruwheidslengte y_0 , die bepaald wordt aan de hand van de ruwheidsclassificatie van Wieringa (1992) (zie Tabel 4). De omgevingsruwheid is grafisch weergegeven in Figuur 3.

Tabel 4: Davenport classificatie van effectieve terreinruwheid aangepast door Wieringa (1992)

y_0 (m)	Landscape description
0.0002 "Sea"	Open sea or lake (irrespective of the wave size), tidal flat, snow-covered flat plain, featureless desert, tarmac and concrete, with a free fetch of several kilometers.
0.005 "Smooth"	Featureless land surface without any noticeable obstacles and with negligible vegetation; e.g. beaches, pack ice without large ridges, morass, and snow-covered or fallow open country.
0.03 "Open"	Level country with low vegetation (e.g. grass) and isolated obstacles with separations of at least 50 obstacle heights; e.g. grazing land without windbreaks, heather, moor and tundra, runway area of airports.
0.10 "Roughly open"	Cultivated area with regular cover of low crops, or moderately open country with occasional obstacles (e.g. low hedges, single rows of trees, isolated farms) at relative horizontal distances of at least 20 obstacle heights.
0.25 "Rough"	Recently-developed "young" landscape with high crops or crops of varying height, and scattered obstacles (e.g. dense shelterbelts, vineyards) at relative distances of about 15 obstacle heights.
0.5 "very rough"	"Old" cultivated landscape with many rather large obstacle groups (large farms, clumps of forest) separated by open spaces of about 10 obstacle heights. Also low large vegetation with small interspaces, such as bushland, orchards, young densely-planted forest.
1.0 "closed"	Landscape totally and quite regularly covered with similar-size large obstacles, with open spaces comparable to the obstacle heights; e.g. mature regular forests, homogeneous cities or villages.
≥ 2 "chaotic"	Centres of large towns with mixture of low-rise and high-rise buildings. Also irregular large forests with many clearings.

Datum
07/05/2020

Pagina
7 / 18



Figuur 3: Ruwheidslengtes in een straal van 10 km buiten het interessegebied met de classificatie volgens de 'revised Davenport roughness classification' (Blocken et. al, 2012).

Datum
07/05/2020

Pagina
8 / 18

2.3 Randvoorwaarden

De simulaties worden uitgevoerd met de Reynoldsgemiddelde Navier-Stokesvergelijkingen, aangevuld met het realizable k-ε turbulentiemodel (Shih et al., 1995). De inlaatrandvoorwaarden voor gemiddelde snelheid worden beschreven door het logaritmisch windprofiel (Vergelijking 1) met een aerodynamische ruwheidslengte $y_0 = 0.5$ m of $y_0 = 1$ m, afhankelijk van de ruwheidslengte voor de te simuleren windrichting ϕ (zie Fig. 1).

$$U(y) = \frac{u_{ABL}^*}{\kappa} \ln \left(\frac{y + y_0}{y_0} \right) \quad (1)$$

Hierin is y de hoogtecoördinaat, κ de von Karman constante (0.42), en u_{ABL}^* de wrijvingsnelheid:

$$u_{ABL}^* = \kappa \frac{U_{ref}}{\ln \left(\frac{y + y_0}{y_0} \right)} \quad (2)$$

De turbulente kinetische energie k wordt berekend door middel van:

$$k(y) = \frac{u_{ABL}^{*2}}{\sqrt{C_\mu}} \quad (3)$$

met $C_\mu = 0.09$. Het profiel van de turbulente dissipatiesnelheid ε wordt berekend met de volgende formule:

$$\varepsilon(y) = \frac{u_{ABL}^{*3}}{\kappa(y + y_0)} \quad (4)$$

Aan de uitlaat is de relatieve statische druk gelijk aan nul gesteld. De bovenzijde van het rekendomein is als symmetrievlak gemodelleerd. Voor het grondvlak en de gebouwvlakken zijn de standaard wandfuncties van Launder & Spalding (1974) gebruikt, met ruwheidsmodificatie volgens Cebeci & Bradshaw (1977).

Voor het stroomopwaartse en stroomafwaartse gebied zijn de vereiste parameters voor de wandfuncties, namelijk de ruwheidshoogte k_s en de ruwheidsconstante C_s , bepaald aan de hand van de aerodynamische ruwheidslengte y_0 en de volgende formule (zie Blocken et al., 2007):

$$k_s = \frac{9.793 y_0}{C_s} \quad (5)$$

Datum
07/05/2020

Pagina
9 / 18

Binnen het domein zijn wanden met verschillende ruwheden te onderscheiden. De gebouwen zijn gekarakteriseerd met $k_s = 0.10$ m en $C_s = 0.5$. Het straatwerk is gegeven met $y_0 = 0.02$ m, $k_s = 0.10$ m en $C_s = 2$. De berekeningen zijn uitgevoerd met tweede-orde discretisatieschema's en druk-snelheidskoppeling is verwezenlijkt met het SIMPLE-algoritme.

De effecten door aanwezige vegetatie op de luchtstroming worden in acht genomen door termen toe te voegen aan de vergelijkingen betreffende momentum (Vergelijking 6), turbulente kinetische energie (Vergelijking 7) en turbulente dissipatiesnelheid (Vergelijking 8) in de cellen waar vegetatie aanwezig is (Green, 1992; Gromke et al., 2015).

$$S_{u_i} = -\rho C_d LAD U_i \mathbf{U} \quad (6)$$

$$S_k = \rho C_d LAD (\beta_p \mathbf{U}^3 - \beta_d \mathbf{U} k) \quad (7)$$

$$S_\varepsilon = \rho C_d LAD \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 4} \beta_p \mathbf{U}^3 - C_{\varepsilon 5} \beta_d \mathbf{U} k) \quad (8)$$

Hierin is ρ de dichtheid van de lucht, $C_d = 0.2$ de weerstandscoefficient, $LAD = 2$ m²/m³ de dichtheid van het bladoppervlak in het volume, U_i de snelheidscomponent in richting i , $\mathbf{U}$ de grootte van de driedimensionale snelheidsvector, $\beta_p = 1.0$ de fractie gemiddelde kinetische energie die omgezet wordt naar turbulente kinetische energie in het zog, $\beta_d = 5.1$ de coefficient verantwoordelijk voor de wervelcascade. $C_{\varepsilon 4} = 0.9$ en $C_{\varepsilon 5} = 0.9$ zijn experimenteel bepaalde coëfficiënten. De berekeningen zijn uitgevoerd met tweede-orde discretisatieschema's en druk-snelheidskoppeling is verwezenlijkt met het SIMPLE-algoritme.

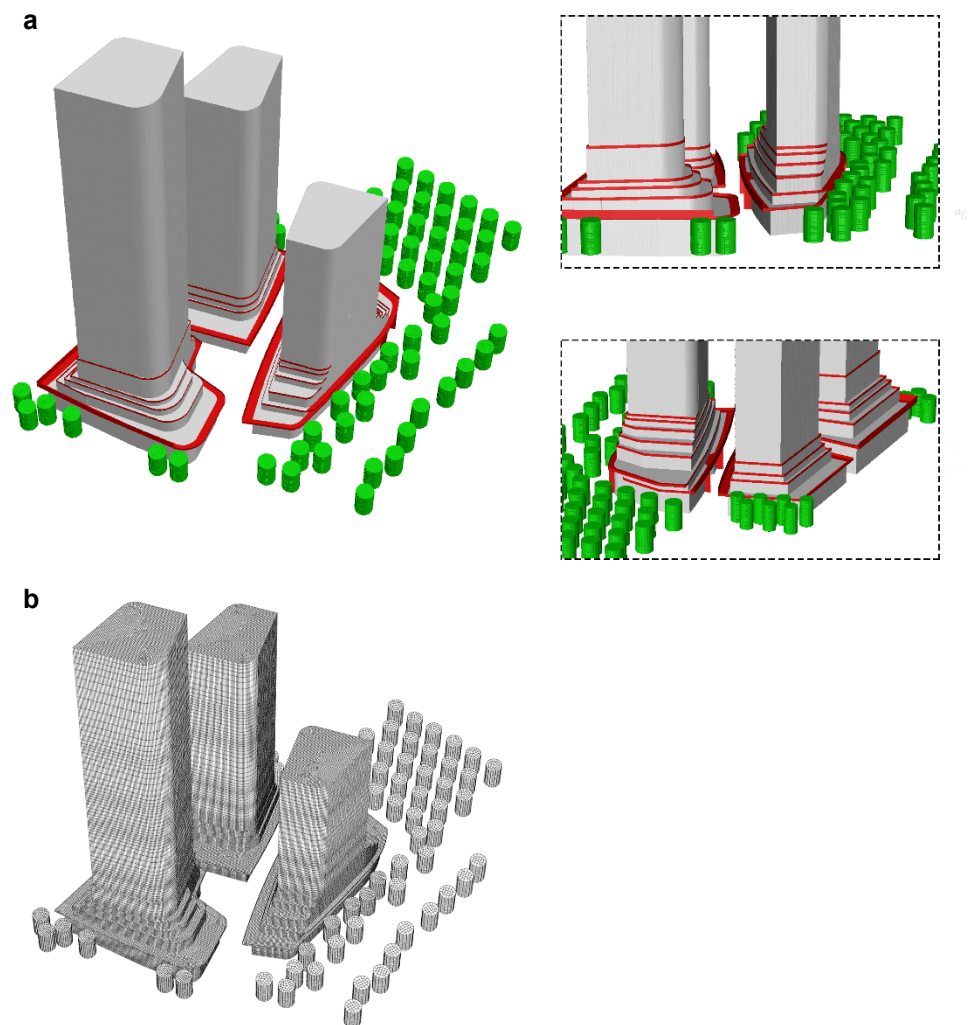
Datum
07/05/2020

Pagina
10 / 18

2.4 Ontwerpen

2.4.1 Ontwerp 19

Figuur 4 geeft de situatie in ontwerp 19. Overstekken en borstweringen zijn toegevoegd en met rood gemarkeerd. Rondom de 3 gebouwen is vegetatie geplaatst (groen gemarkeerd). De bomen zijn gedefinieerd als aparte zones waarin de extra termen voor vegetatie (zie 2.3) zijn toegevoegd. Veranderingen ten opzichte van het basisontwerp bedragen onder meer het verwisselen van de hoogten van de zuid- en westtoren. Ten opzichte van het vorige ontwerp (ontwerp 18) zijn borstweringen toegevoegd en verhoogd. Daarnaast zijn 2 verticale schermen toegepast aan zowel de zuid- als noordzijde van de zuidtoren.



Figuur 4: (a) Geometrie met details en (b) raster van ontwerp 19. Overstekken, verticale schermen en borstweringen gemarkeerd in rood en vegetatie gemarkeerd in groen.

Datum
07/05/2020

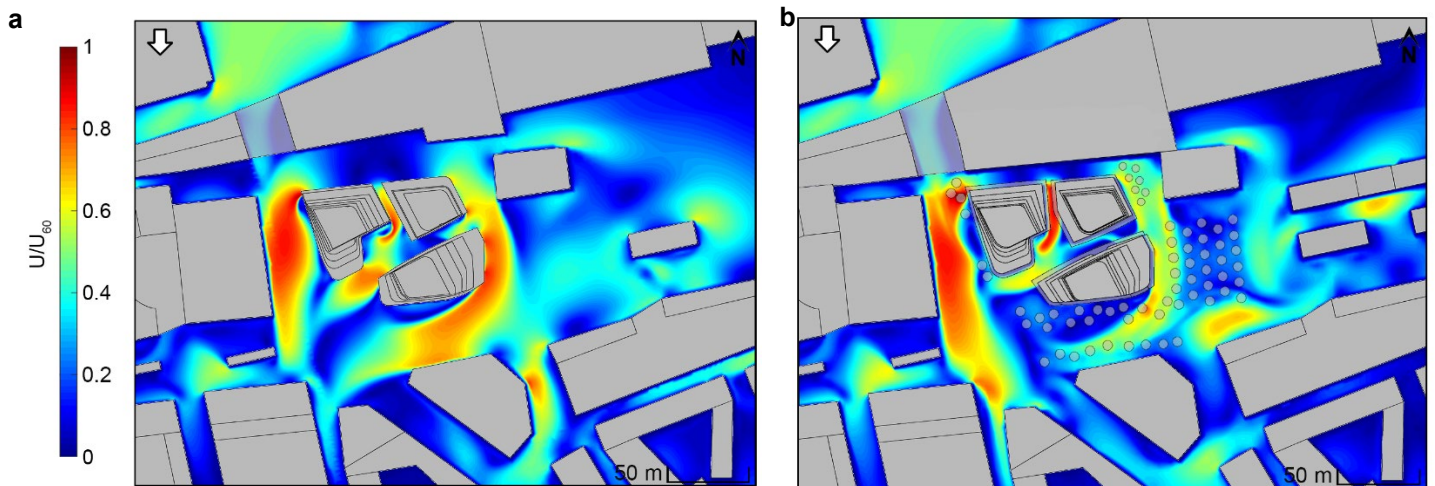
Pagina
11 / 18

3 Resultaten:

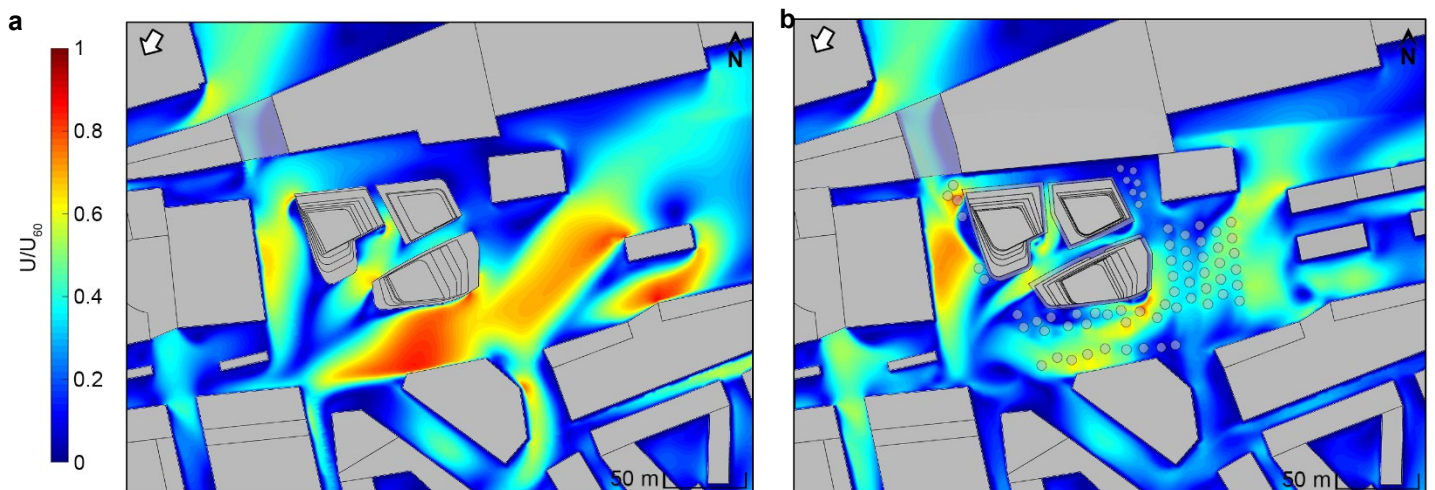
Voor het basisontwerp en ontwerp 19 zijn de resultaten voor 12 windrichtingen beschikbaar, benodigd voor de complete beoordeling van windhinder en windgevaar. De resultaten uit de CFD-simulaties zijn gecombineerd met de windstatistiek van Eindhoven. Zoals door NEN 8100 omschreven zijn deze windstatistieken verkregen door middel van NPR 6097:2006.

3.1 Windsnelheid

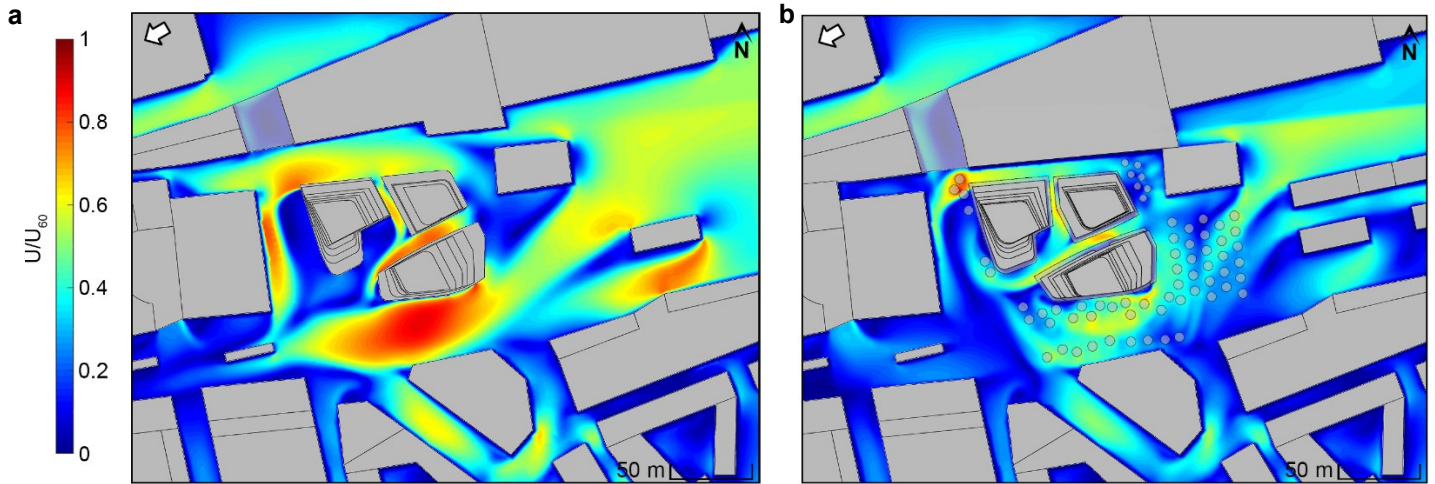
Figuren 5 t/m 16 geven de windsnelheid op voetgangersniveau ($y = 1.75$) genormaliseerd met de windsnelheid op 60 m hoogte (U_{60}). De figuren in de linker kolom (a) geven de resultaten voor het basisontwerp. De resultaten van ontwerp 19 worden gepresenteerd in de rechterkolom (b).



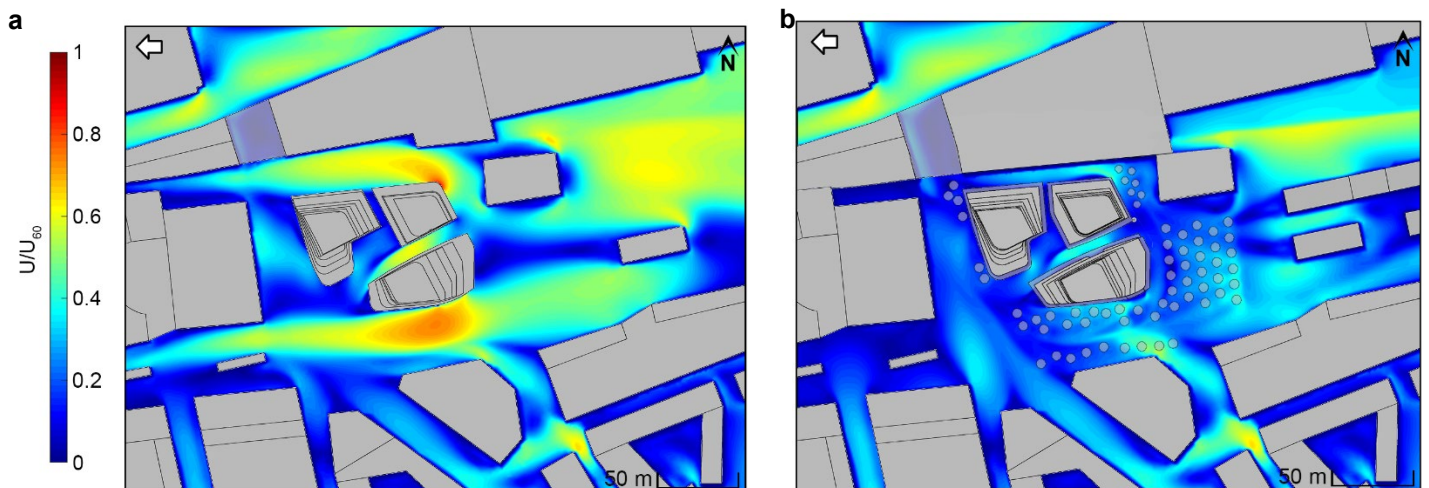
Figuur 5: Contouren op voetgangersniveau ($y = 1.75$ m) van de genormaliseerde windsnelheid U/U_{60} voor $\phi = 0^\circ$, voor (a) het basisontwerp en (b) ontwerp 19.



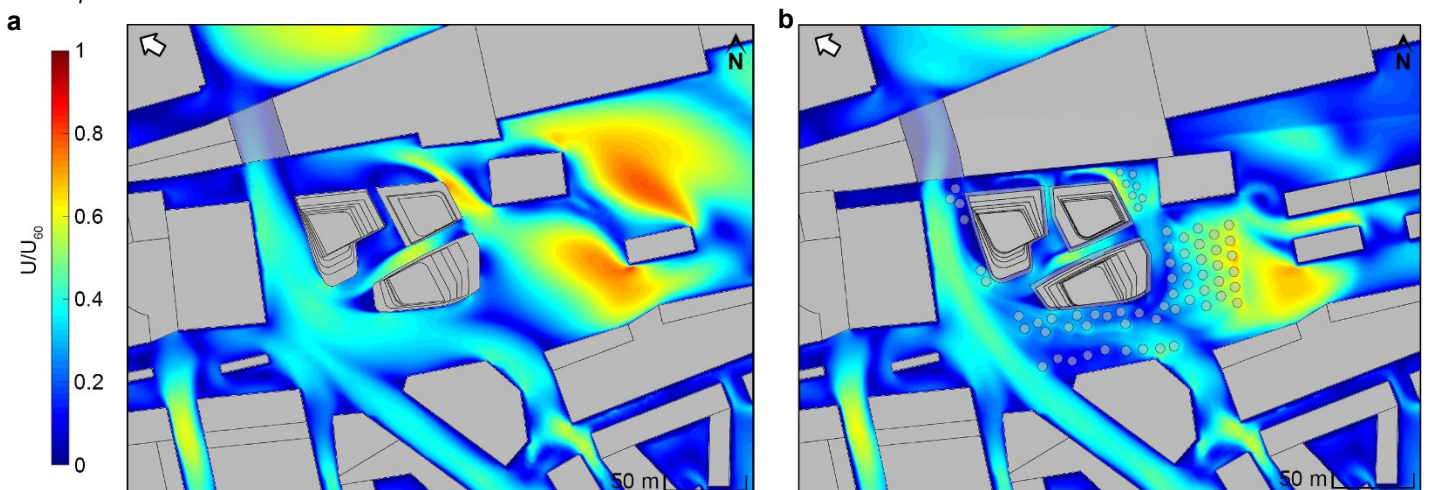
Figuur 6: Contouren op voetgangersniveau ($y = 1.75$ m) van de genormaliseerde windsnelheid U/U_{60} voor $\phi = 30^\circ$, voor (a) het basisontwerp en (b) ontwerp 19.



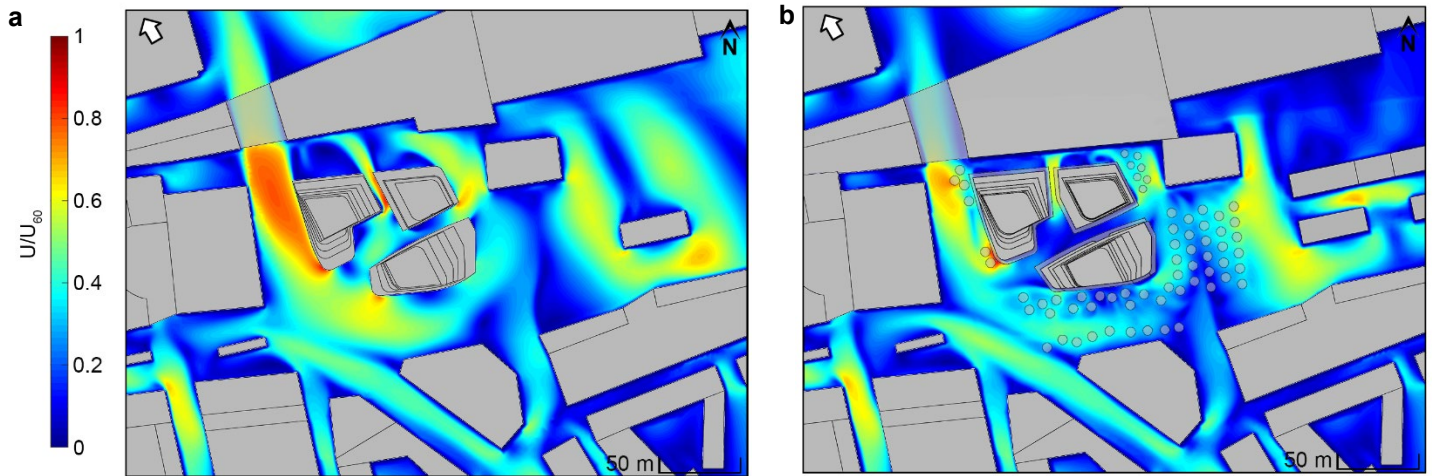
Figuur 7: Contouren op voetgangersniveau ($y = 1.75$ m) van de genormaliseerde windsnelheid U/U_{60} voor $\phi = 60^\circ$, voor (a) het basisontwerp en (b) ontwerp 19.



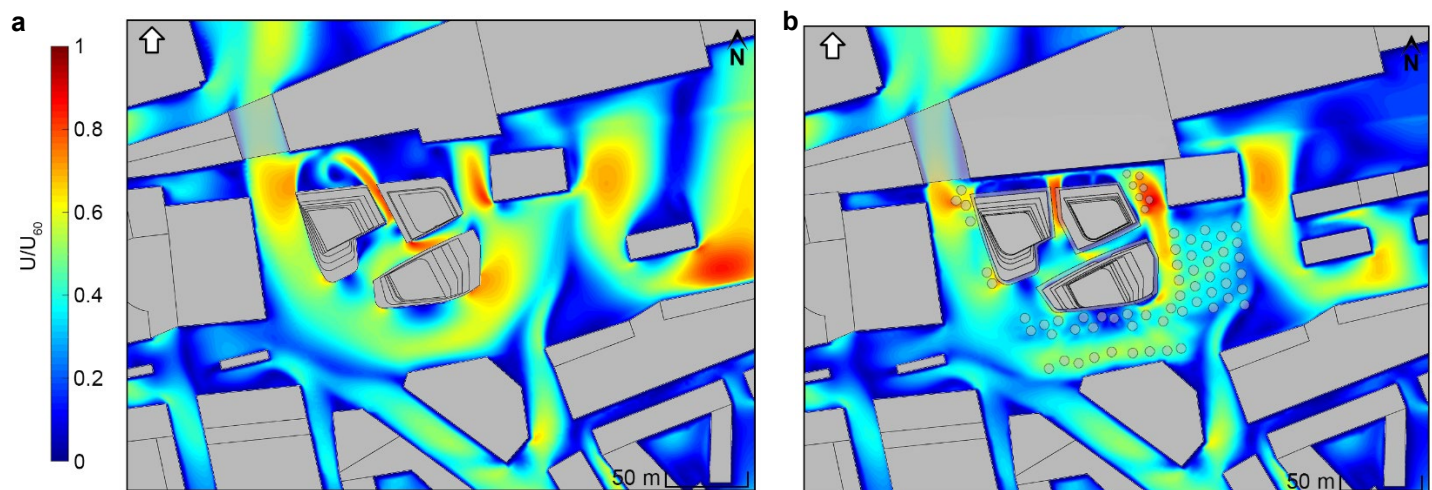
Figuur 8: Contouren op voetgangersniveau ($y = 1.75$ m) van de genormaliseerde windsnelheid U/U_{60} voor $\phi = 90^\circ$, voor (a) het basisontwerp en (b) ontwerp 19.



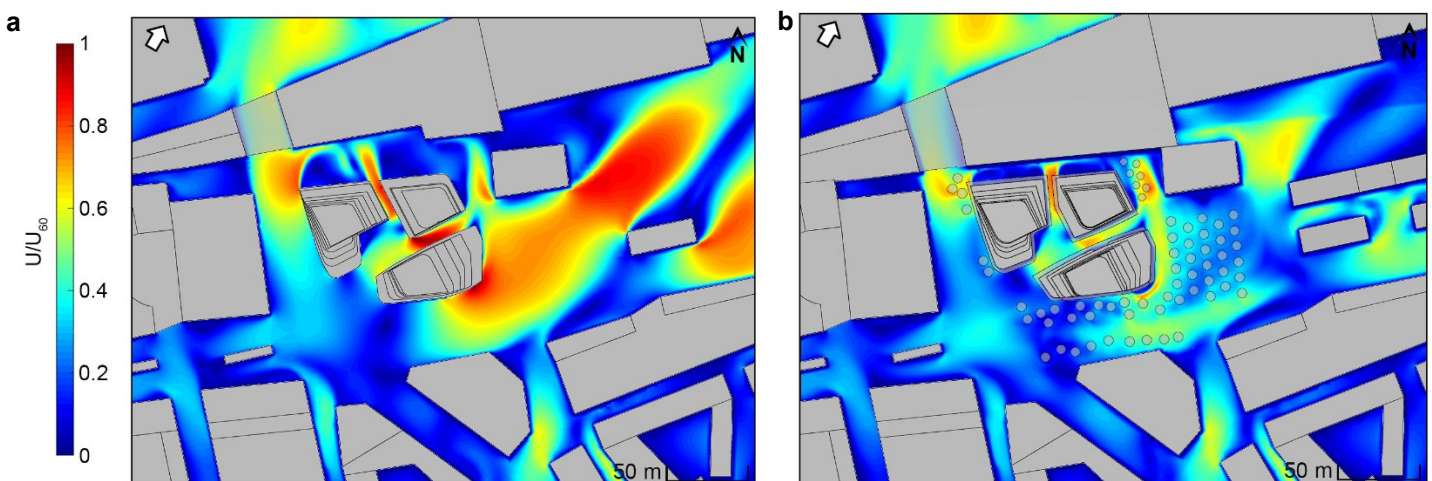
Figuur 9: Contouren op voetgangersniveau ($y = 1.75$ m) van de genormaliseerde windsnelheid U/U_{60} voor $\phi = 120^\circ$, voor (a) het basisontwerp en (b) ontwerp 19.



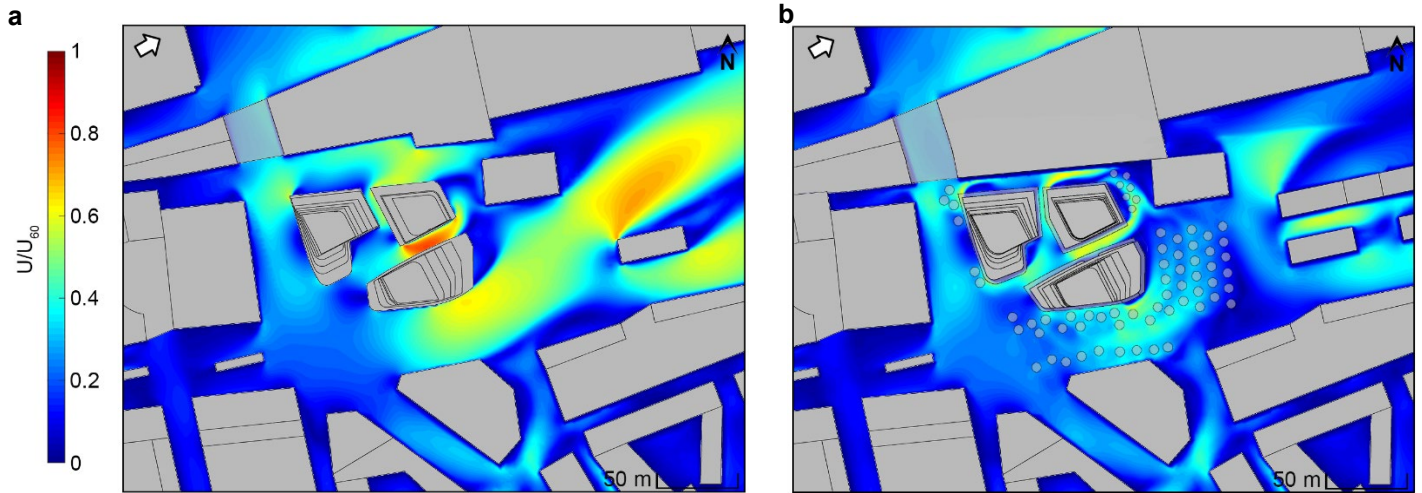
Figuur 10: Contouren op voetgangsniveau ($y = 1.75$ m) van de genormaliseerde windsnelheid U/U_{60} voor $\varphi = 150^\circ$, voor (a) het basisontwerp en (b) ontwerp 19.



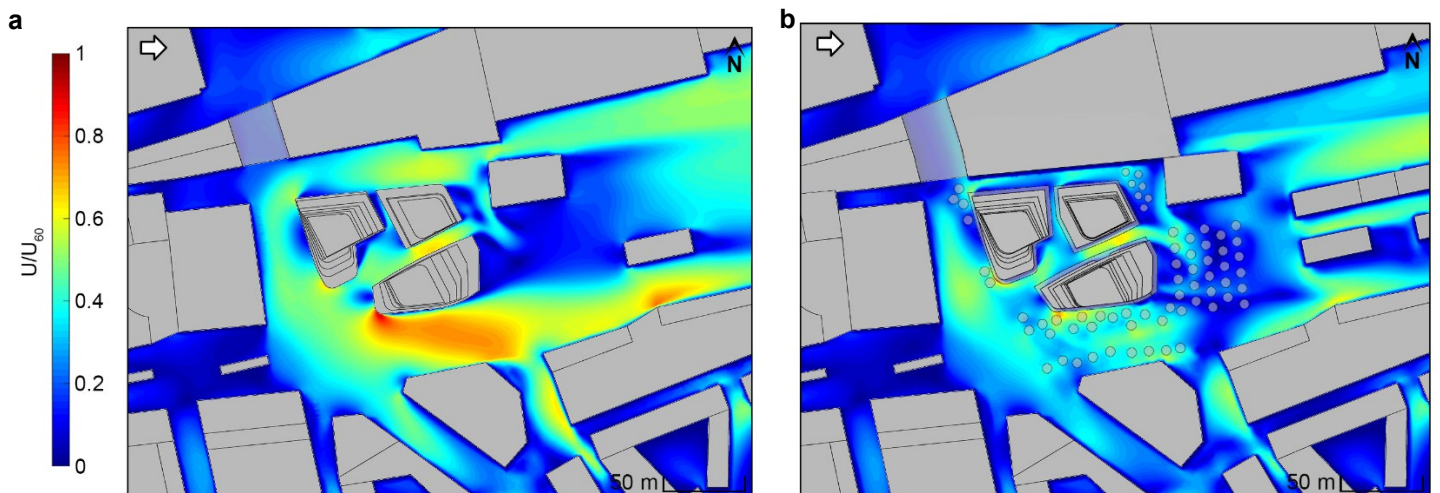
Figuur 11: Contouren op voetgangsniveau ($y = 1.75$ m) van de genormaliseerde windsnelheid U/U_{60} voor $\varphi = 180^\circ$, voor (a) het basisontwerp en (b) ontwerp 19.



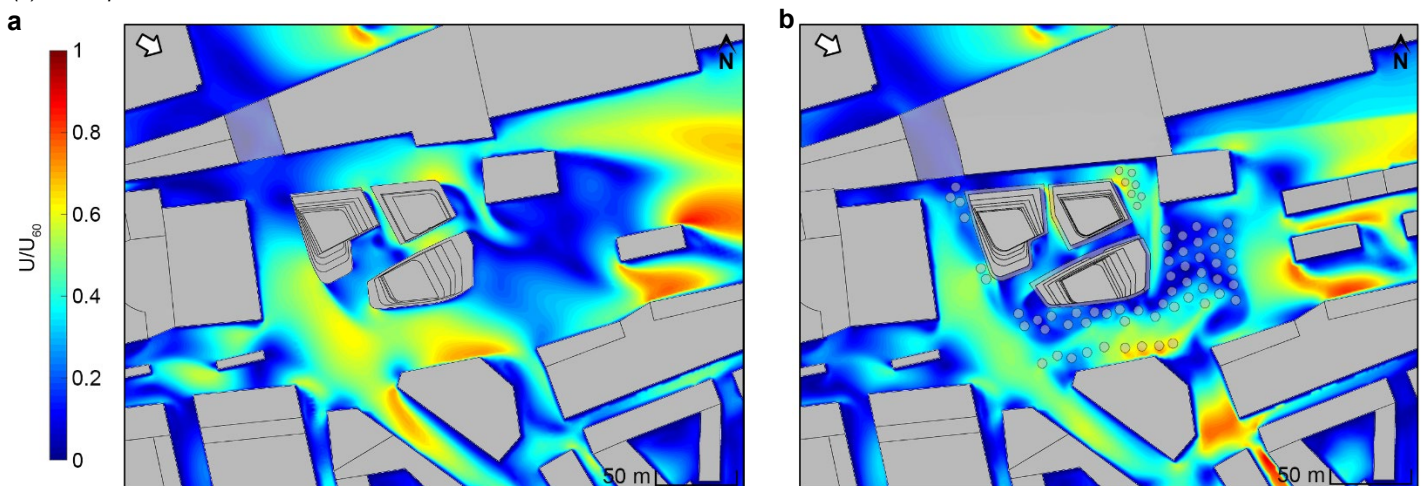
Figuur 12: Contouren op voetgangsniveau ($y = 1.75$ m) van de genormaliseerde windsnelheid U/U_{60} voor $\varphi = 210^\circ$, voor (a) het basisontwerp en (b) ontwerp 19.



Figuur 13: Contouren op voetgangersniveau ($y = 1.75$ m) van de genormaliseerde windsnelheid U/U_{60} voor $\varphi = 240^\circ$, voor (a) het basisontwerp en (b) ontwerp 19.

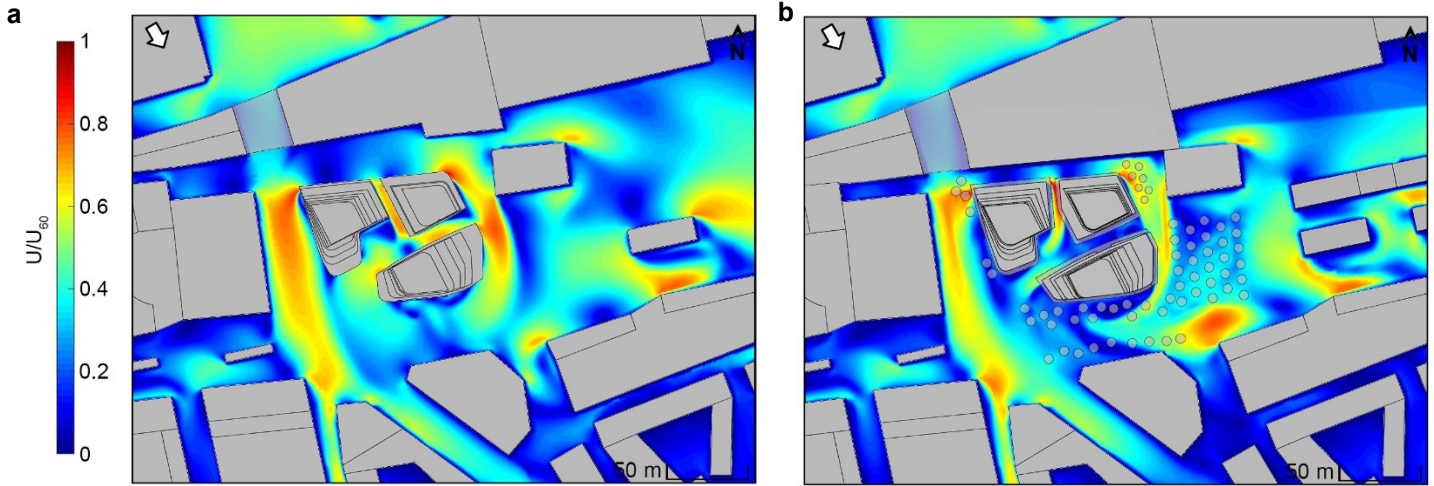


Figuur 14: Contouren op voetgangersniveau ($y = 1.75$ m) van de genormaliseerde windsnelheid U/U_{60} voor $\varphi = 270^\circ$, voor (a) het basisontwerp en (b) ontwerp 19.



Figuur 15: Contouren op voetgangersniveau ($y = 1.75$ m) van de genormaliseerde windsnelheid U/U_{60} voor $\varphi = 300^\circ$, voor (a) het basisontwerp en (b) ontwerp 19.

Datum
07/05/2020

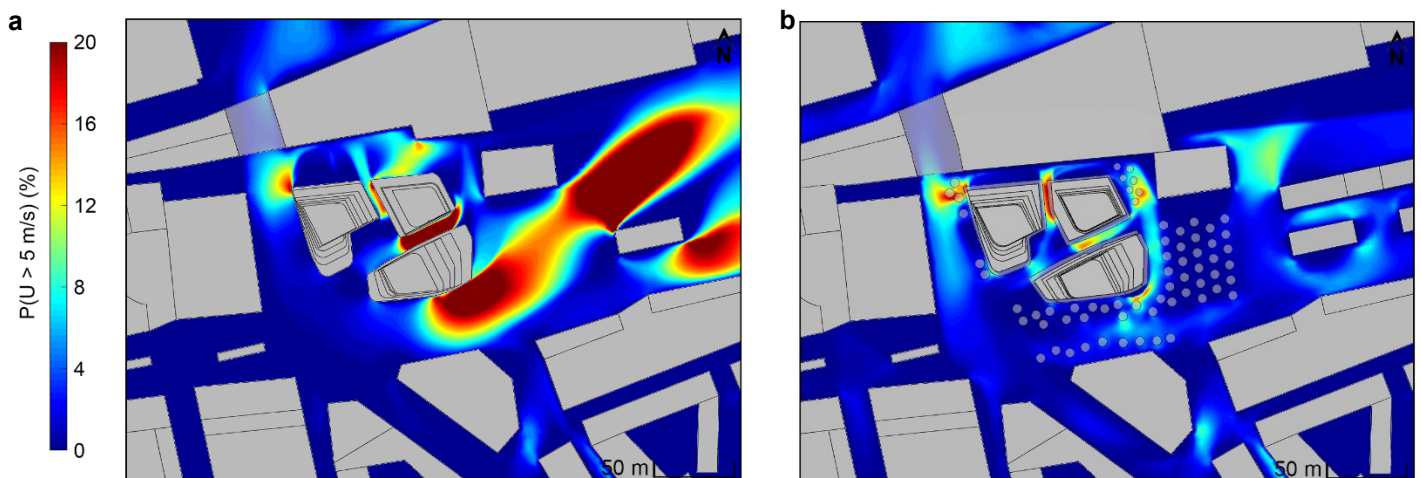


Figuur 16: Contouren op voetgangersniveau ($y = 1.75$ m) van de genormaliseerde windsnelheid U/U_{60} voor $\varphi = 330^\circ$, voor (a) het basisontwerp en (b) ontwerp 19.

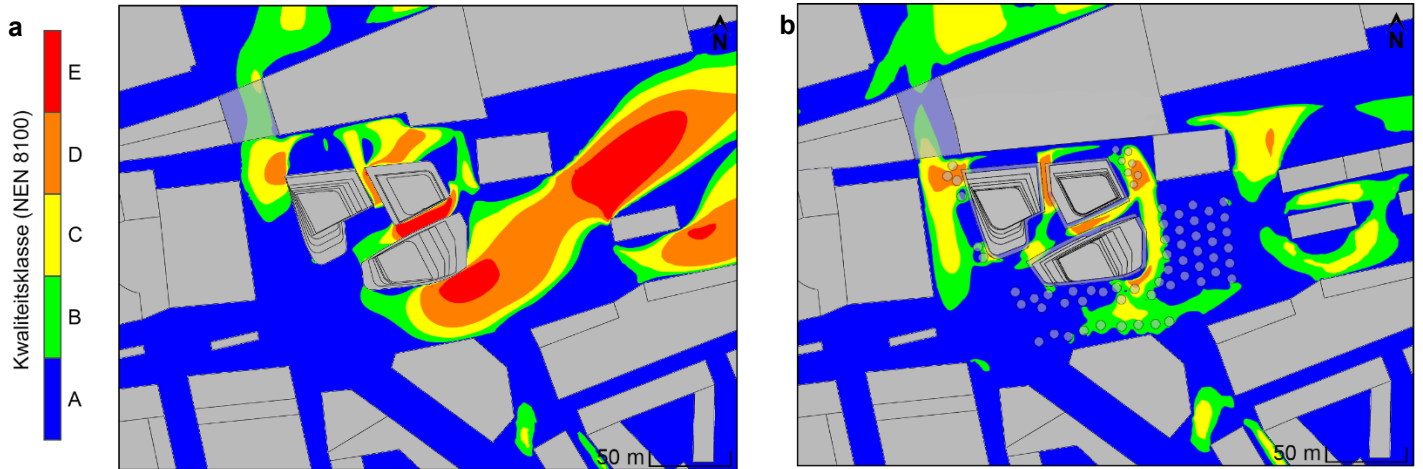
3.2 Beoordeling windhinder

De resultaten uit de CFD-simulaties zijn gecombineerd met de windstatistiek van Eindhoven. De gepresenteerde resultaten zijn een som van de overschrijdingskansen voor windhinder voor alle 12 windrichtingen. De figuren in de linker kolom (a) geven de resultaten voor het basisontwerp. De resultaten van ontwerp 19 worden gepresenteerd in de rechterkolom (b).

Ten opzichte van het basisontwerp zijn de gebieden met kwaliteitsklasse E zo goed als verdwenen. Dit geldt ook voor de gebieden bij de entrees van de zuidtoren. Enkel in de passage tussen de oost- en westtoren is een klein gebied met klasse E aanwezig onder de overstek van de oosttoren. Bij de hoeken en in de oost- en noord passage zijn nog wel enkele regio's met klasse D aanwezig. Deze zijn daarentegen sterk verminderd in grootte ten opzichte van het basisontwerp (zie Fig. 18a vs. Fig. 18b).



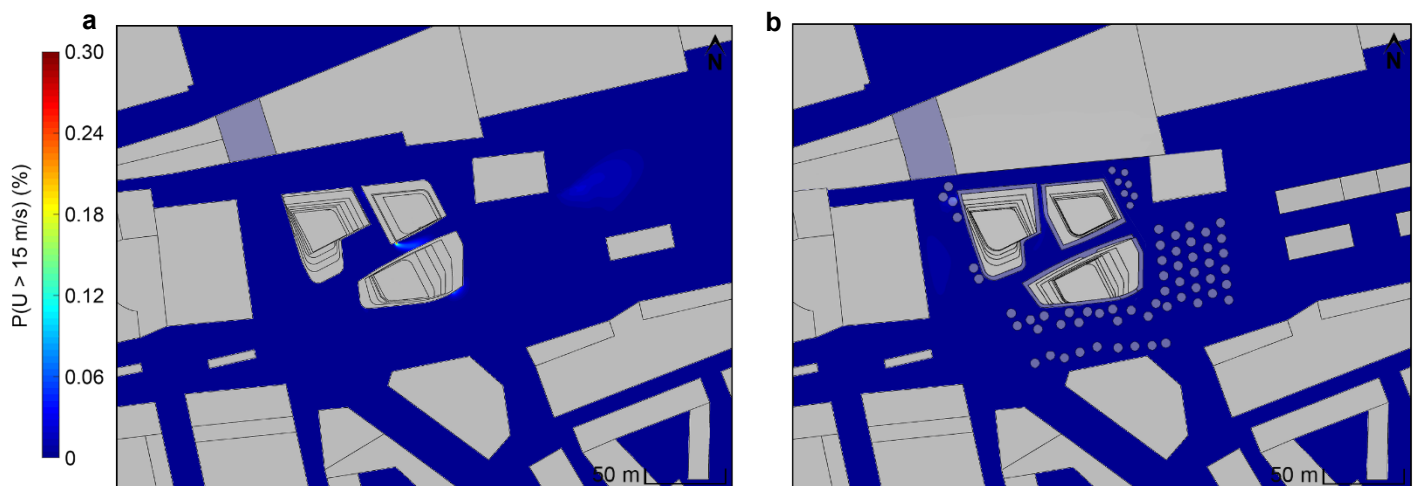
Figuur 17: Contouren op voetgangersniveau ($y = 1.75$ m) van de jaarlijkse totale overschrijdingskansen voor ($U > 5$ m/s) voor (a) het basisontwerp en (b) ontwerp 19.



Figuur 18: Contouren op voetgangersniveau ($y = 1.75$ m) van de kwaliteitsklassen zoals bepaald door NEN 8100 voor (a) het basisontwerp en (b) ontwerp 19.

3.3 Beoordeling windgevaar

In de hoekstroming ten noordwesten van het plangebied (zie Figuur 19b), is een risico op windgevaar aanwezig.



Figuur 19: Contouren op voetgangersniveau ($y = 1.75$ m) van de jaarlijkse totale overschrijdingskans voor ($U > 15$ m/s) voor (a) het basisontwerp en (b) ontwerp 19.

Datum
07/05/2020

Pagina
17 / 18

4 Conclusie

Als toevoeging op ontwerp 18 zijn in ontwerp 19 verticale schermen geplaatst nabij de entrees van de zuidtoren. Daarnaast zijn enkele balustrades op de overstekken verhoogd tot 3 meter. Deze extra maatregelen hebben een kleine invloed op het resultaat.

Ook in ontwerp 19 bevinden de gebieden met de ongewilde kwaliteitsklassen D en E zich voornamelijk in de passages (oost- en noord passage) en nabij de hoeken van het plangebied. Ten opzichte van ontwerp 18 zijn de gebieden met kwaliteitsklasse D bij de entrees van de zuidtoren wat in grootte afgenomen. Daarentegen zijn deze gebieden iets groter geworden op de noordelijke hoeken van het plangebied. Passages en gebieden nabij hoeken van gebouwen zijn gebieden die vaker windhinder veroorzaken in de gebouwde omgeving. Activiteiten die vallen onder 'slenteren' of 'langdurig zitten' zouden in deze gebieden het best vermeden kunnen worden.

In ontwerpen 18 (zie voorgaand rapport) en 19 zijn door het toevoegen van vegetatie, overstekken, verticale schermen en borstweringen, en het aanpassen van de gebouwhoogten en -geometrieën is geprobeerd de aanwezigheid en grootte van de gebieden met windhinder te beperken. Ten opzichte van het basisontwerp is hierin een enorme verbetering gemaakt.

Datum
07/05/2020

Pagina
18 / 18

Referenties

- Franke J, Hellsten A, Schlünzen H, Carissimo B, 2007. Best practice guideline for the CFD simulation of flows in the urban environment. COST 732: Quality Assurance and Improvement of Microscale Meteorological Models
- Tominaga Y, Mochida A, Yoshie R, Kataoka H, Nozu T, Yoshikawa M, Shirasawa T, 2008. AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 96(10-11): 1749-1761.
- Blocken B, 2015. Computational Fluid Dynamics for Urban Physics: Importance, scales, possibilities, limitations and ten tips and tricks towards accurate and reliable simulations. *Building and Environment* 91: 219-245
- Wieringa J (1992) Updating the Davenport roughness classification. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 41: 357-368.
- Blocken B, Janssen W, van Hooff T (2012) CFD simulation for pedestrian wind comfort and wind safety in urban areas : general decision framework and case study for the Eindhoven University campus. *Environmental Modelling and Software* 30: 15-34
- van Hooff T, Blocken B, 2010. Coupled urban wind flow and indoor natural ventilation modelling on a high-resolution grid: a case study for the Amsterdam ArenA stadium. *Environmental Modelling & Software* 25(1): 51-65.
- Shih TH, Liou WW, Shabbir A, Zhu J, 1995. A new $k-\epsilon$ eddy-viscosity model for high Reynolds number turbulent flows – model development and validation. *Computers and Fluids*, 24(3), 227-238.
- Launder BE, Spalding DB, 1974. The numerical computation of turbulent flows, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* 3: 269-289.
- Cebeci T, Bradshaw P, 1977. Momentum transfer in boundary layers, Hemisphere Publishing Corporation, New York.
- Blocken B, Stathopoulos T, Carmeliet J, 2007. CFD simulation of the atmospheric boundary layer: wall function problems. *Atmospheric Environment* 41(2): 238-252.
- Green S.R. (1992) Modelling turbulent air flow in a stand of widely-spaced trees. *Phoenix Journal computational fluid dynamics and its applications*, 5: 294-312.
- Gromke C., Blocken B., Janssen W., Merema B., van Hooff T., Timmermans H. (2015) CFD analysis of transpirational cooling by vegetation: Case study for specific meteorological conditions during a heat wave in Arnhem, Netherlands. *Building and Environment*, 83: 11-26.