

Windhinderonderzoek Equinix te Amsterdam

Onderzoek NEN8100 windhinder en windgevaar

Equinix b.v.

17 juni 2014

Definitief rapport

BC7234

Barbarossastraat 35

Postbus 151

6500 AD Nijmegen

+31 24 328 42 84 Telefoon

Fax

info@nijmegen.royalhaskoning.com E-mail

www.royalhaskoningdhv.com Internet

Amersfoort 56515154 KvK

Documenttitel Windhinderonderzoek Equinix te Amsterdam
Onderzoek NEN8100 windhinder en
windgevaar
Verkorte documenttitel Windhinderonderzoek Equinix
Status Definitief rapport
Datum 17 juni 2014
Projectnaam Equinix nieuwbouw
Projectnummer BC7234
Opdrachtgever Equinix b.v.
Referentie BC7234-100-100/R00001/GPDK/SP/Nijm

Auteur(s) C. Witteman-Tesauro

S. de Graaf

Datum/paraaf  17/06

Vrijgegeven door G.P. de Kruijf

Datum/paraaf

SAMENVATTING

In opdracht van Equinix is een windhinderonderzoek uitgevoerd ten behoeve van het nieuwbouwproject Datacentrum AM4 op het Science Park te Amsterdam.

Om het windklimaat in de toekomstige situatie te bepalen, zijn het geplande gebouw AM4 en de bestaande bebouwing in de omgeving ingevoerd in het CFD rekenprogramma.

Uitgangssituatie voor de modellering is de situatie zoals beschreven in het document 'Masterplan Science Park, versie november 2013', waarbij Equinix hoogbouw 30.6 x 61.2 m en 72 m hoog is.

De uitkomsten van de stromingsberekeningen, gecombineerd met de NPR6097 windstatistiek, geven een beeld van het windklimaat op looppniveau.

Voor de beoordeling van het lokale windklimaat zijn in de Nederlandse Norm 8100 'Windhinder en windgevaar in de bebouwde omgeving' drie activiteitscategorien geclassificeerd (doorlopen, slenteren en langdurig zitten) waaraan toetsingscriteria zijn gekoppeld. De activiteiten in het gebied rondom de nieuwbouwlocatie vallen in de categorie doorlopen.

Op basis van toetsing van de berekende resultaten wordt geconcludeerd dat het op looppniveau te verwachten windklimaat op de locaties rond de nieuwbouwlocatie als goed aangemerkt kan worden. Er is geen kans op windgevaar.

Het eindresultaat van het onderzoek is gevisualiseerd door middel van kaarten waarop de kans op windhinder en windgevaar inzichtelijk is gemaakt. Deze kaarten zijn terug te vinden in bijlagen B en C.

INHOUDSOPGAVE

	Blz.
1 INLEIDING	1
2 UITGANGSPUNTEN	2
2.1 Toetsingscriteria	2
2.2 Berekeningen	3
3 RESULTATEN	9
3.1 Windhinder	9
3.2 Windgevaar	11
4 CONCLUSIES	12
Een geen kans op windgevaar.	12

Bijlagen:

- Bijlage A : Technische gegevens
- Bijlage B : Windhinderkaart
- Bijlage C : Windgevaarkaart
- Bijlage D : Modellen
- Bijlage E : Toelichting CFD

1 INLEIDING

Het nieuwbouwplan Equinix vormt onderdeel van de invulling van het Masterplan Sciencepark te Amsterdam.

Om de gevolgen van de realisatie van een geplande nieuwbouw voor het windklimaat inzichtelijk te maken, heeft Royal HaskoningDHV een CFD onderzoek uitgevoerd. Voor deze studie is gebruikt gemaakt van de windstatistiek van Amsterdam die is bepaald uit de rekenmethodiek NPR6097:2006.

Het onderzoek is uitgevoerd met behulp van Computational Fluid Dynamics (CFD). Hierbij wordt een grafisch 3D model van de nieuwe gebouwen en de omgeving opgezet in het CFD programma. Vervolgens wordt gedetailleerd de windsnelheid rond de ingevoerde gebouwen berekend. Na koppeling van de resultaten aan de NPR6097 windklimaatstatistiek wordt een windhinderkaart gegenereerd waarop het windklimaat voor het looppniveau inzichtelijk wordt gemaakt.

De uitkomsten van de berekeningen zijn getoetst aan het gestelde in de norm NEN8100. Vanuit deze toetsing is vervolgens een kwalitatief advies gegeven op basis van de uitkomsten van het onderzoek en de expertise van Royal HaskoningDHV. In voorliggend rapport worden de resultaten van dit onderzoek gepresenteerd.

2 UITGANGSPUNTEN

2.1 Toetsingscriteria

Windhinder

Van windhinder kan volgens de NEN 8100 sprake zijn bij onder meer wapperende kleding, verwaaide haren en gehinderd worden bij het lopen. De mate van windhinder wordt uitgedrukt in de vorm van een oordeel over het lokale windklimaat: een goed windklimaat betekent weinig hinder, een slecht windklimaat betekent veel hinder.

Het lokale windklimaat wordt beoordeeld op basis van (1) de kans op het vóórkomen van een uurgemiddelde windsnelheid hoger dan 5 m/s, ofwel de overschrijdingskans, en (2) het soort activiteit dat op de betreffende locatie wordt verricht. De norm onderscheidt vijf kwaliteitsklassen: A tot en met E. Klasse A komt overeen met de kleinste overschrijdingskans, klasse E met de grootste overschrijdingskans. Een overzicht van de beoordelingscriteria is weergegeven in tabel 2-1.

Tabel 2-1: *Criteria voor de beoordeling van het lokale windklimaat op windhinder*

Overschrijdingskans p in % van het aantal uren per jaar	Kwaliteitsklasse	Activiteit		
		I. Doorlopen	II. Slenteren	III. Langdurigzitten
<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

Voor een doorloopgebied wordt een overschrijdingskans van een lokale uurgemiddelde windsnelheid van 5 m/s tot 10% van het aantal uren per jaar acceptabel geacht. Is de overschrijdingskans bijvoorbeeld 7% (kwaliteitsklasse C), dan zal de ruimte rond het gebouw minder geschikt zijn om te worden bestemd als slentergebied, terwijl langdurig verblijven in de nabijheid van het gebouw moet worden afgeraden.

Windgevaar

Van windgevaar kan volgens NEN 8100 worden gesproken bij het 'optreden van een zodanig hoge windsnelheid dat bij personen in ernstige mate problemen optreden bij het lopen'. De referentiesnelheid voor windgevaar is 15 m/s (vgl. 5 m/s voor windhinder). Op basis van de overschrijdingskans van deze windsnelheid zijn in de norm twee criteria voor windgevaar geformuleerd. Deze zijn weergegeven in tabel 2-2.

Tabel 2-2: *Criteria voor de beoordeling van het lokale windklimaat op windgevaar*

Overschrijdingskans p in % van het aantal uren per jaar	Kwalificatie
$0,05 < p < 0,30$	Beperkt risico
$p \geq 0,30$	Gevaarlijk

Een beperkt risico op windgevaar is slechts toelaatbaar bij activiteiten die te scharen zijn onder de klasse 'doorlopen'. Voor de activiteitenklassen 'slenteren' en 'langdurig zitten' is zelfs een beperkt risico niet toelaatbaar.

Situaties met een overschrijdingskans p groter dan 0,30% zijn in geen geval toelaatbaar en moeten vermeden worden.

2.2 Berekeningen

Programmatuur

Ter bepaling van de kans op windhinder en windgevaar zijn berekeningen gemaakt met behulp van CFD software (*Computational Fluid Dynamics*). Het gebruikte rekenpakket is Simulation CFD, versie 2014. Voor technisch-inhoudelijke informatie over de CFD-berekening wordt verwezen naar bijlage A. Een uitleg over CFD en de numerieke methodes om stromingen met de computer te simuleren is weergegeven in bijlage D.

Ingevoerde objecten

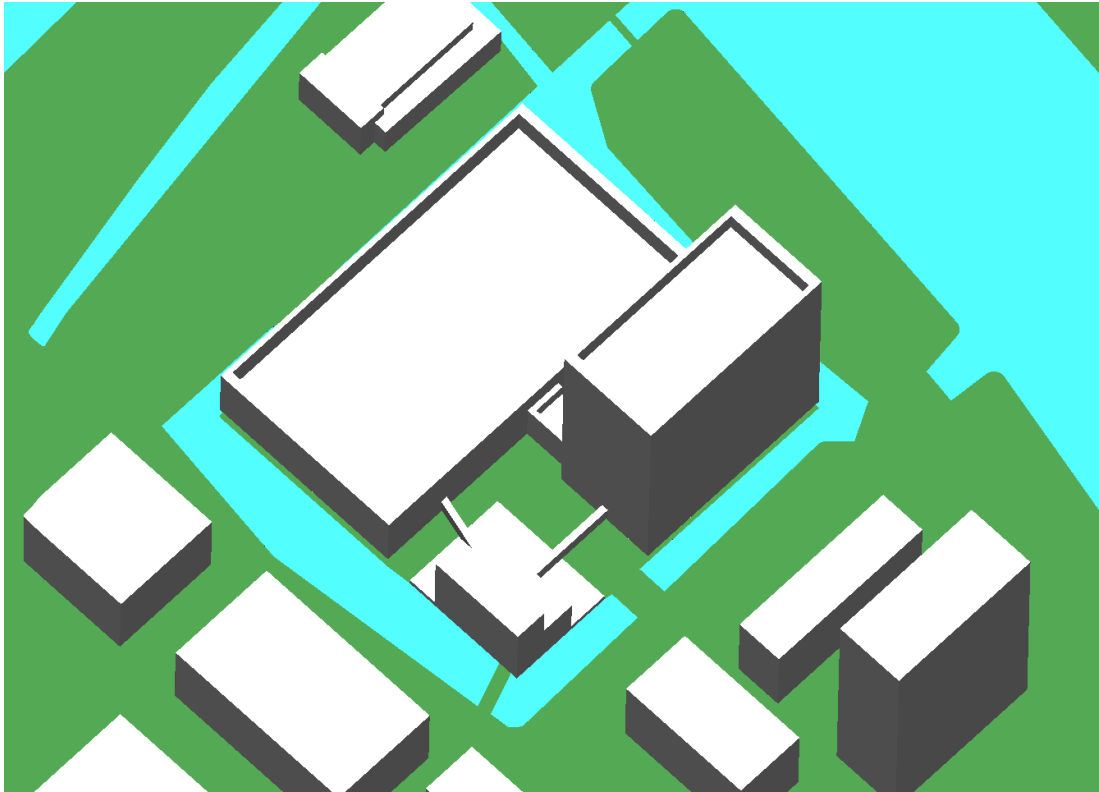
Bij invoer van het model van het datacenter is gebruik gemaakt van tekeningen van de architect, [zie bijlage D](#). Conform de norm NEN 8100 zijn de gebouwen die zich op minder dan 550 meter afstand van de nieuwbouw bevinden opgenomen in het rekenmodel.

Verder is bij de opzet van het rekenmodel gebruik gemaakt van een 3D kaart van de omgeving die is aangepast naar de laatst bekende situatie zoals beschreven in het document 'Masterplan Science Park, november 2013'. De sloot en de dijk van de ringvaart ten noorden van het datacenter zijn ingevoerd in het model.

De nauwkeurigheid van de maatvoering en het detailniveau van de ingevoerde geometrie zijn afgestemd op het niveau waarmee een waarheidsgetrouwe simulatie van de rond de nieuwbouwlocatie optredende luchtstroming kan worden berekend. Een overzicht van de ingevoerde gebouwen is weergegeven in afbeelding 2.1.



Afbeelding 2.1: Overzicht van de ingevoerde geometrie

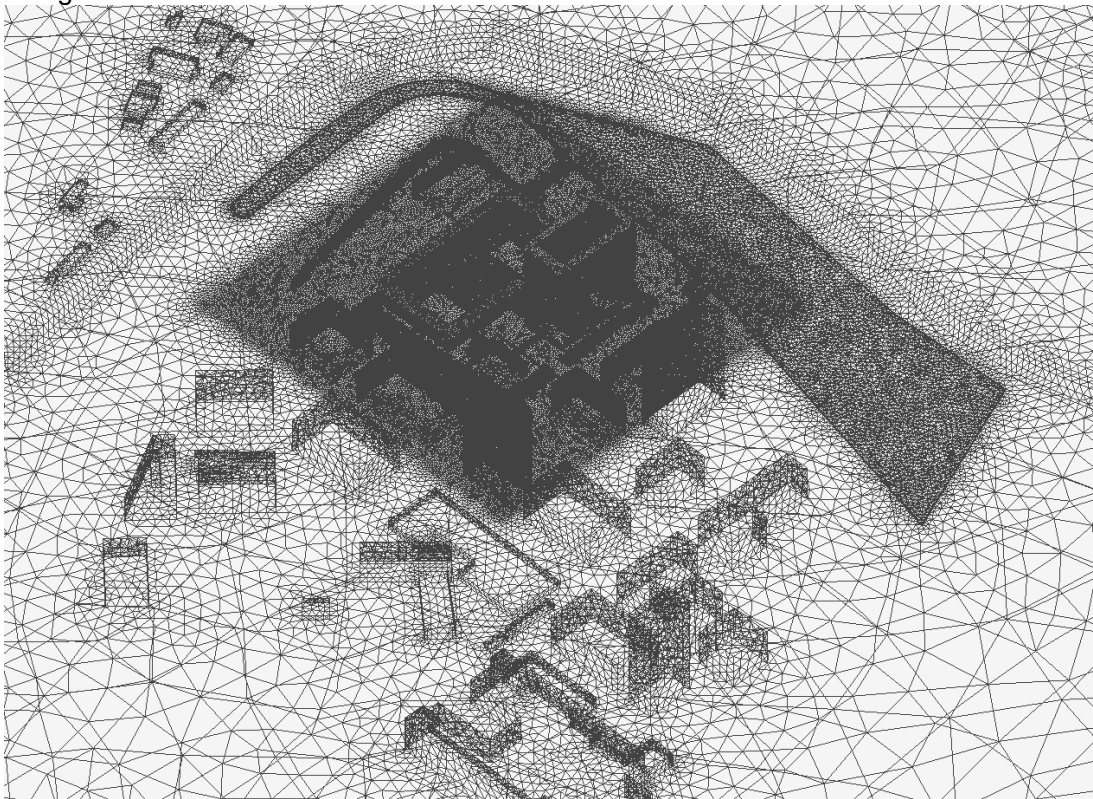


Afbeelding 2.2: Detail van de ingevoerde geometrie

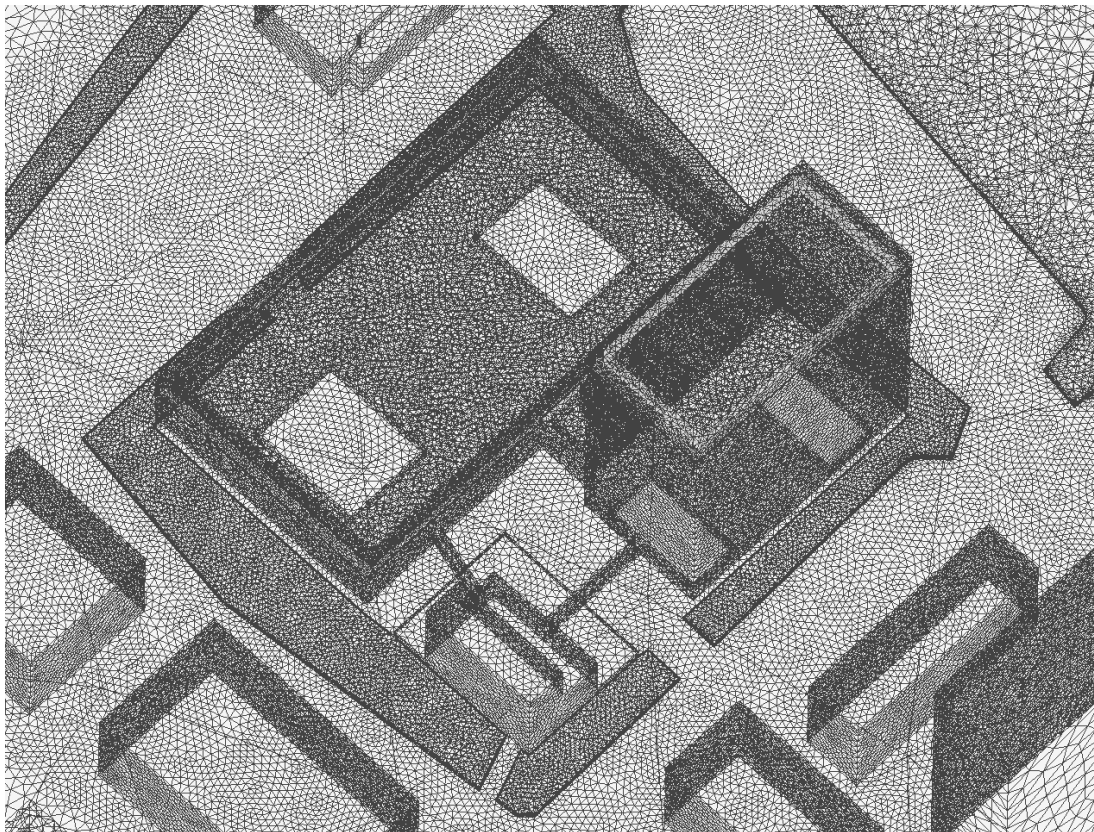
Afbeelding 2.2: toont een detail van de ingevoerde geometrie van de nieuwbouw bij Equinix. Voor meer informatie over de geometrische eigenschappen van het model wordt verwezen naar bijlage A.

Berekeningen

Rondom de ingevoerde geometrie wordt een gedetailleerd raster van rekenpunten gemodelleerd welke afhankelijk van de modelgeometrie en het interessegebied (loopgebied) verdichtingen kent in het aantal rekenpunten. Een door vier rekenpunten omsloten gebied wordt een element genoemd. Het rekenrooster is weergegeven in afbeelding 2.3, waarbij goed het onderscheid tussen de kleinere elementen rond de nieuwbouw en de grotere elementen in het achterland te zien is. Afbeelding 2.4 geeft de details van het rekenrooster aan de zuidwestkant van de plot, waarbij een impressie wordt gegeven van de grote hoeveelheid elementen die zijn opgenomen (circa 15 miljoen). Er is voor een tetragonale vorm van de elementen gekozen omdat hiermee de complexe vormen van de gebouwen nauwkeuriger gevolgd kunnen worden dan met octagonale elementen.



Afbeelding 2.3: Rekenrooster



Afbeelding 2.4: Detail van het rekenrooster (zuidwestkant Equinix plot)

In het CFD programma wordt voor elk element in het domein de lokale windsnelheid bij 12 verschillende windrichtingen (volgens NEN8100) berekend.

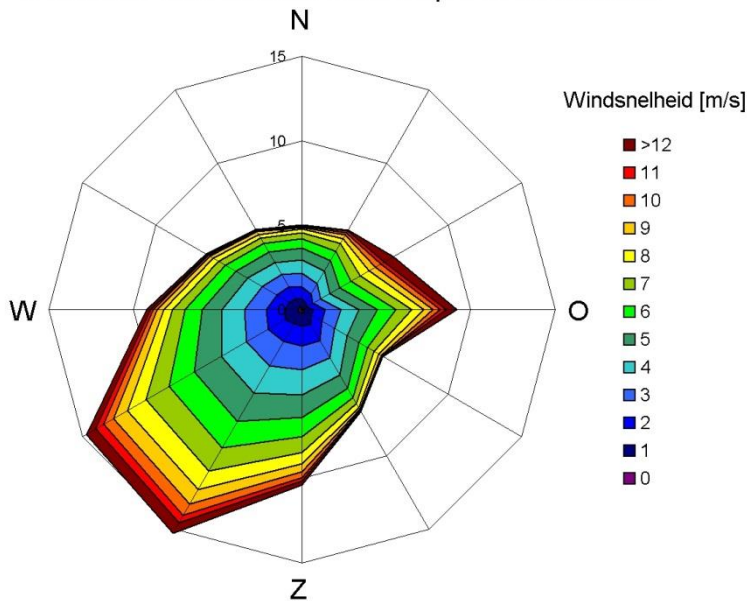
Het bovenwindse snelheids- en turbulentieprofiel dat gebruikt wordt voor de berekeningen komt overeen met dat in de atmosferische grenslaag behorend bij de stedelijke omgeving. Voor informatie over het toegepaste bovenwindse snelheidsprofiel wordt verwezen naar bijlage A.

Wind en windstatistiek

De gebruikte windstatistiek is afkomstig van het KNMI. In dit geval is gebruik gemaakt van de gegevens berekend met behulp van de rekenmethodiek NPR6097:2006 “toepassing van de statistiek van de uurgemiddelde windsnelheden van Nederland”. Om de windstatistiek van de gewenste locatie te kunnen genereren, worden als basis de windgegevens van de KNMI-meetstations in Nederland gebruikt. Uit deze gegevens, samen met de landgebruikskaart¹ van Nederland, wordt de ruwheid van het terrein berekend. Als laatste stap wordt de windstatistiek op de gewenste locatie bepaald met behulp van het meteorologische model. De windstatistiek voor de locatie Amsterdam is weergegeven in tabel 2-3.

¹ Op de landgebruikskaart is voor elke locatie in Nederland informatie te vinden over het soort terrein (zout of zoet water, steden, bossen en vegetatie, wegen, industrie terrein, etc.)

Windroos voor locatie Sciencepark Amsterdam



Afbeelding 2.5: Windroos van het Sciencepark te Amsterdam.

De windstatistiek geeft een overzicht van de te verwachten windsterkte en -richting. Uit de windstatistiek kan een windroos worden afgeleid, welke is weergegeven in afbeelding 2.5. De windroos vermeldt voor 12 windrichtingen de kans dat een bepaalde windsnelheid optreedt. Uit de windroos blijkt dat wind met een hoge snelheid meestal uit het zuidwest waait.

Door de statistische gegevens over de lokale windsnelheid te combineren met de berekende windsnelheden (CFD) kan voor elke windrichting en voor elk rekenpunt de lokale windstatistiek worden bepaald. Door alle windrichtingen te combineren wordt een overzicht verkregen waarin de overschrijdingskansen van de windhinder en het windgevaar worden weergegeven.

Tabel 2-3: Windstatistiek van Amsterdam volgens de NPR6097

freq. distr. rel - X125253 Y485560.txt

Page 1

FREQUENTIETABEL VAN DE 60 METER WINDSNELHEID DISTRIBUTIEF RELATIEF													
X125253 Y485560 Jaar 1963-2002													
Windsnelheid (m/s)	Windrichting (*10 graden)												Cum.
	35-01	02-04	05-07	08-10	11-13	14-16	17-19	20-22	23-25	26-28	29-31	32-34	
Distributief in percentages													
0,0 - 0,9	0.13	0.10	0.07	0.15	0.17	0.23	0.21	0.22	0.25	0.24	0.20	0.19	2.15
1,0 - 1,9	0.49	0.37	0.25	0.50	0.47	0.73	0.75	0.74	0.87	0.78	0.65	0.57	7.18
2,0 - 2,9	0.71	0.57	0.42	0.72	0.75	1.14	1.19	1.22	1.21	1.08	0.87	0.77	10.66
3,0 - 3,9	0.83	0.75	0.50	0.94	0.85	1.19	1.42	1.64	1.48	1.28	1.00	0.84	12.71
4,0 - 4,9	0.79	0.84	0.63	1.07	0.85	1.19	1.50	1.90	1.74	1.36	1.01	0.83	13.70
5,0 - 5,9	0.69	0.71	0.70	1.07	0.79	0.90	1.33	1.93	1.84	1.16	0.82	0.70	12.65
6,0 - 6,9	0.53	0.65	0.73	1.12	0.60	0.62	1.13	1.79	1.72	1.02	0.68	0.58	11.19
7,0 - 7,9	0.36	0.52	0.69	0.94	0.45	0.41	0.92	1.59	1.56	0.74	0.50	0.40	9.09
8,0 - 8,9	0.22	0.36	0.57	0.71	0.31	0.27	0.68	1.28	1.29	0.51	0.36	0.25	6.81
9,0 - 9,9	0.11	0.24	0.43	0.55	0.17	0.15	0.47	0.99	0.93	0.37	0.21	0.18	4.81
10,0 - 10,9	0.06	0.16	0.34	0.43	0.07	0.08	0.33	0.75	0.70	0.25	0.11	0.08	3.36
11,0 - 11,9	0.04	0.09	0.27	0.34	0.03	0.04	0.20	0.52	0.51	0.16	0.07	0.05	2.31
12,0 - 12,9	0.02	0.05	0.23	0.23	0.01	0.01	0.11	0.34	0.28	0.10	0.03	0.03	1.43
13,0 - 13,9	0.01	0.03	0.15	0.14	0.01	0.01	0.06	0.19	0.19	0.06	0.01	0.01	0.86
14,0 - 14,9	0.01	0.02	0.09	0.10	0.00	0.00	0.03	0.10	0.09	0.03	0.01	0.01	0.48
15,0 - 15,9	0.00	0.01	0.06	0.08	0.00	-	0.01	0.05	0.05	0.01	0.00	0.00	0.28
16,0 - 16,9	-	0.00	0.04	0.04	0.00	-	0.01	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.16
17,0 - 17,9	-	0.00	0.03	0.02	-	-	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	-	0.09
18,0 - 18,9	-	-	0.01	0.01	-	-	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	-	0.04
19,0 - 19,9	-	-	0.01	0.00	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.02
20,0 - 20,9	-	-	0.00	0.00	-	-	-	-	0.00	0.00	-	-	0.00
21,0 - 21,9	-	-	0.00	0.00	-	-	-	-	0.00	0.00	-	-	0.00
22,0 - 22,9	-	-	0.00	-	-	-	-	0.00	0.00	-	-	-	0.00
23,0 - 23,9	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	0.00
24,0 - 24,9	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	0.00

3 RESULTATEN

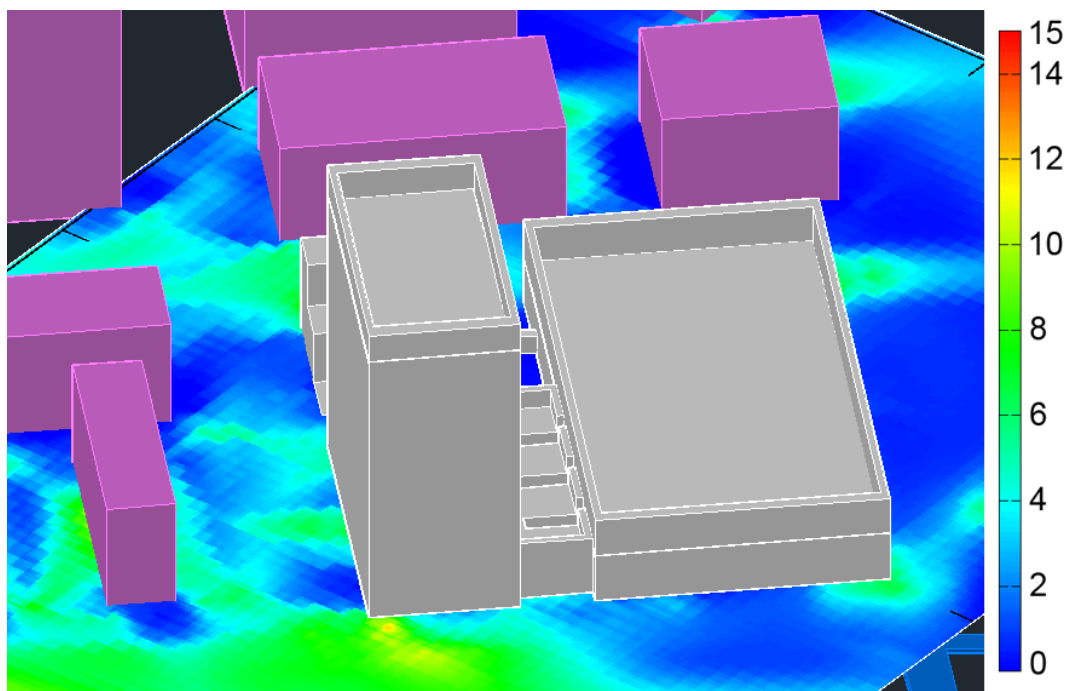
3.1 Windhinder

Op basis van de berekende lokale windsnelheden is met behulp van de door Royal HaskoningDHV ontwikkelde software 'Winco2014' een windhinderkaart gegenereerd. Deze windhinderkaart legt een relatie tussen de statistisch bepaalde kans dat bepaalde windrichtingen en windsnelheden voorkomen en leidt daaruit af de procentuele kans dat een bepaalde windsnelheid op een bepaalde locatie overschreden zal worden.

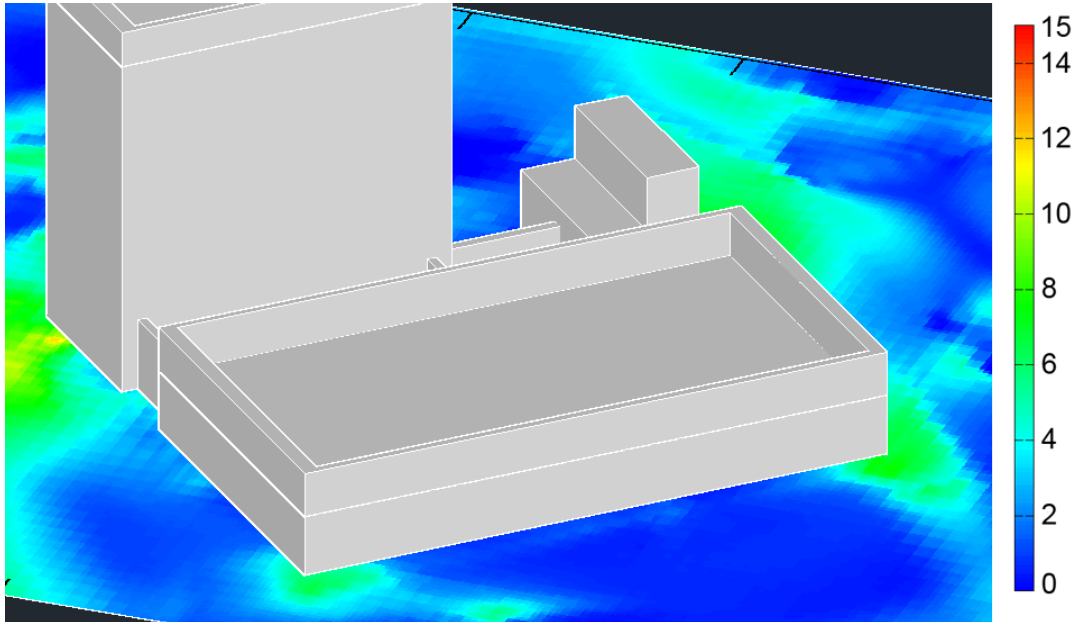
In bijlage B1 zijn de windhinderkaarten opgenomen met daarop aangegeven de procentuele kans op overschrijding van een uurgemiddelde windsnelheid van 5 m/s op 1,75 meter hoogte. In afbeelding 3.1, afbeelding 3.2 en afbeelding 3.3 zijn details van de windhinderkaart weergegeven. Uit de windhinderkaarten is af te leiden dat in de onmiddellijke omgeving van de bestaande en de nieuwbouw op loopniveau de kans op windhinder maximaal 10% is. Bij de zuidhoek van het torengebouw is de kans op windhinder ongeveer 15%, maar dit gebied valt boven het water.

Voor de beoordeling van het windklimaat om de bestaande en de nieuwbouw volgens NEN8100 wordt gebruik gemaakt van de in de norm beschreven classificatie van activiteiten om het gebouw. Klanten en personeel die zich van en naar de hoofdingang begeven worden geclassificeerd als activiteit doorlopen.

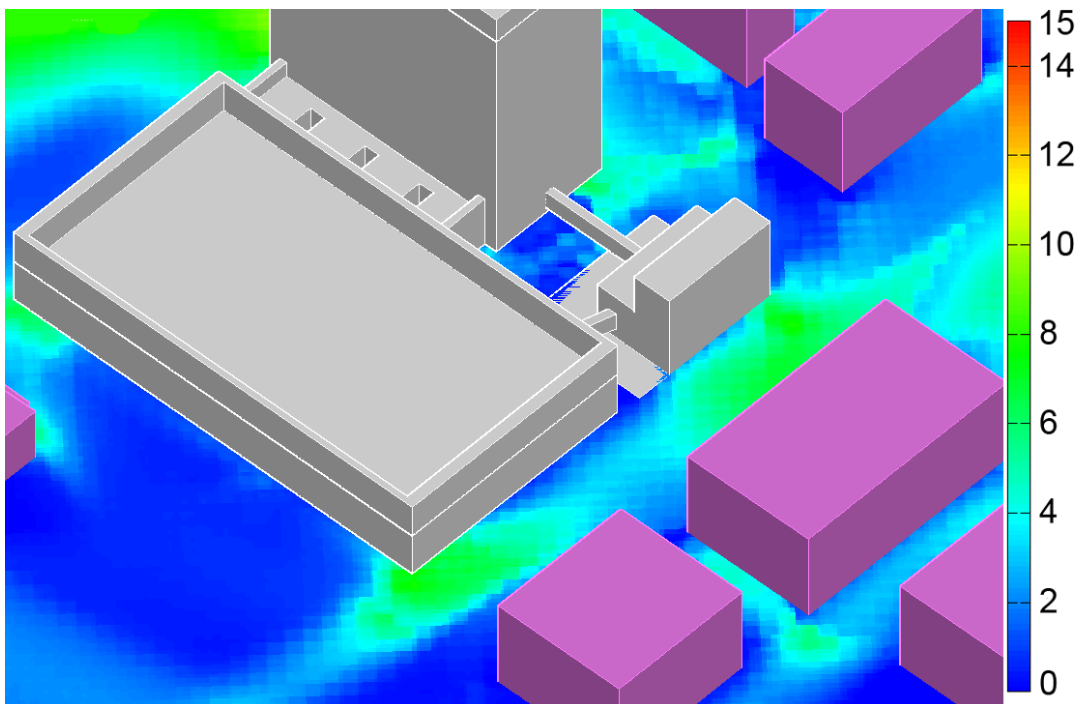
Het windklimaat aan de zuidkant wordt geclassificeerd als *goed* (kwaliteitsklasse C volgens de NEN8100, zie tabel 2-1). Op de zuidhoek van het torengebouw AM4 wordt het windklimaat geclassificeerd als *matig* (kwaliteitsklasse D). Deze kwaliteitsklasse betekent dat men geen overmatige windhinder ondervindt en het merendeel van het publiek geen last heeft van windhinder bij het lopen.



Afbeelding 3.1: Grafische weergave van de kans op windhinder gezien vanuit het zuidoosten.



Afbeelding 3.2: Grafische weergave van de kans op windhinder gezien vanuit het noordoosten.

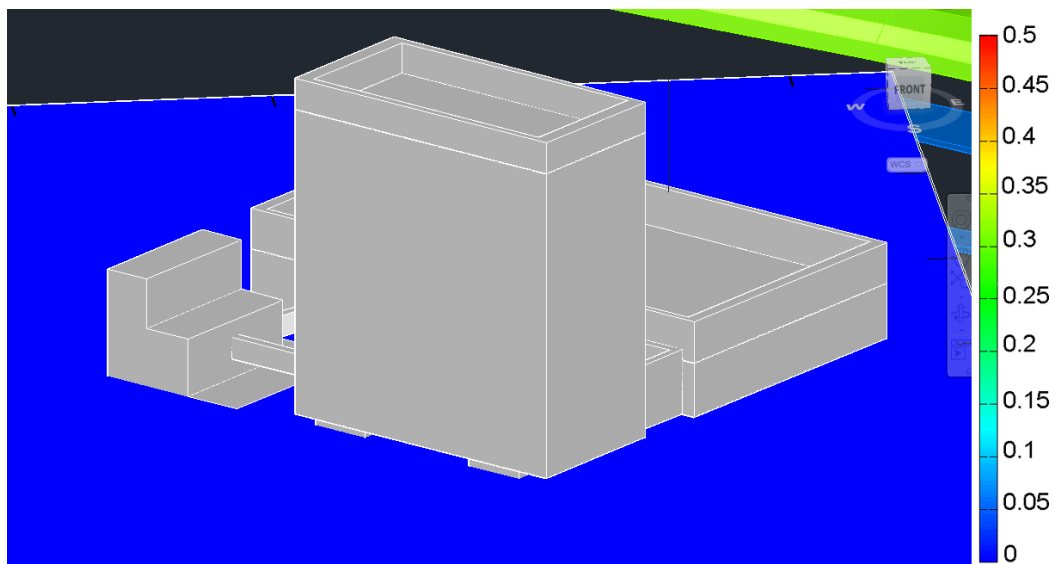


Afbeelding 3.3: Grafische weergave van de kans op windhinder gezien vanuit het noorden.

3.2 Windgevaar

Waar de lokale uurgemiddelde windsnelheid een waarde van 15 m/s overschrijdt bestaat er een kans op windgevaar. De berekende windsnelheden zijn gekoppeld aan de lokale windstatistiek om vast te stellen of er bij de nieuwbouw kans is op windgevaar. De procentuele kans dat windgevaar optreedt, is weliswaar klein, maar bij windgevaar is sprake van ernstige problemen bij het lopen. De NEN8100 bedoelt hiermee evenwichtsverlies, waardoor het voor mensen onmogelijk wordt zich staande te houden.

De resultaten zijn weergegeven in de windgevaarkaart in bijlage C met daarop aangegeven de procentuele kans op overschrijding van een uurgemiddelde windsnelheid van 15 m/s op een hoogte van 1,75 meter boven straatniveau. Deze procentuele kans is weergegeven in een kleurmarkering die is terug te vinden op de kaart (0% komt daarmee overeen met een windsnelheid van ten hoogste 15 m/s die op geen enkel moment zal worden overschreden).



Afbeelding 3.4: Grafische weergave van de kans op windgevaar aan de zuidkant.

In afbeelding 3.4 is een detail van de windgevaarkaart weergegeven. Uit de windhinderkaarten is af te leiden dat in de onmiddellijke omgeving van de nieuwbouw op loopniveau de kans op windgevaar overal 0% is. Er is daarom geen kans op windgevaar.

4 CONCLUSIES

De Nederlandse norm 8100 'Windhinder en windgevaar in de gebouwde omgeving' geeft richtlijnen voor de realisatie van buitengebieden met een goed windklimaat (paragraaf 2.1). Tevens mag zich in dergelijke gebieden volgens deze norm slechts een beperkt risico op windgevaar voordoen.

De norm stelt dat de overschrijdingskans van de drempelsnelheid van de wind (5,0 m/s) bepaalt in welke kwaliteitsklasse het lokale windklimaat valt. De combinatie van kwaliteitsklasse en de activiteiten die rond het gebouw plaatsvinden, levert een bepaalde waardering van dit windklimaat op. De activiteiten in het gebied om de bestaande en de nieuwbouw vallen in de categorie doorlopen.

Op basis van toetsing van de berekende resultaten wordt geconcludeerd dat het op loopniveau te verwachten windklimaat vlakbij de bestaande en de nieuwbouw als "goed" aangemerkt kan worden (kwaliteitsklasse C).

Geen kans op windgevaar.

Bijlage A

Technische gegevens

Project	Projectgegevens
Projectnaam	Nieuwbouw Equinix te Amsterdam Onderzoek NEN 8100 windhinder en windgevaar
Opdrachtgever	Equinix Netherlands b.v..
Projectleider	C. Witteman (Royal HaskoningDHV)
Datum	17 juni 2014
Model	Algemene gegevens van het model
Omvang gemodelleerd gebied	
Kerngebied	∅ 1100 m × 400 m
Omgeving	4000 × 1500 × 400 m
Afmetingen model	450 × 450 m, max. hoogte 72 m
Blokkeringsgraad	< 5%
Gemodelleerd groen	Geen
Onderzochte windrichtingen (minimaal 12 over de windroos)	12
Onderzochte configuraties	1
Computeropstelling	Specifieke gegevens van gebruikte programmatuur
Programmatuur	<input type="checkbox"/> FVM (eindige volume methode) <input type="checkbox"/> anders <input checked="" type="checkbox"/> FEM (eindige elementen methode) Programmatuur: SIMULATION CFD Versie: 2014
Algemeen	<input checked="" type="checkbox"/> driedimensionaal <input checked="" type="checkbox"/> tijdsafhankelijk <input checked="" type="checkbox"/> isothermisch <input type="checkbox"/> passieve scalars <input type="checkbox"/> tweedimensionaal <input type="checkbox"/> tijdsafhankelijk <input type="checkbox"/> thermisch <input type="checkbox"/> actieve scalars
Rekenrooster	Niet-gestructureerd; > 14 × 10 ⁶ elementen
Turbulentiemodellering	kε-realizable-model
Convectieve schema's	Snelheidscomponenten: ADV1 Turbulentiegrootheden: ADV1 Scalaire variabelen: ADV1
Randvoorwaarden	Gebruikte randvoorwaarden
Instroomprofiel	$U(z) = 1/0.42 \times u^* \times \ln(z+1/1)$
Uitlaat	Standaard uitstroomrandvoorwaarde
Boven-/zijwanden	Symmetrie
Vloer/bodem	Wand
Overige	Wand

(zie ook volgende pagina)

(vervolg)

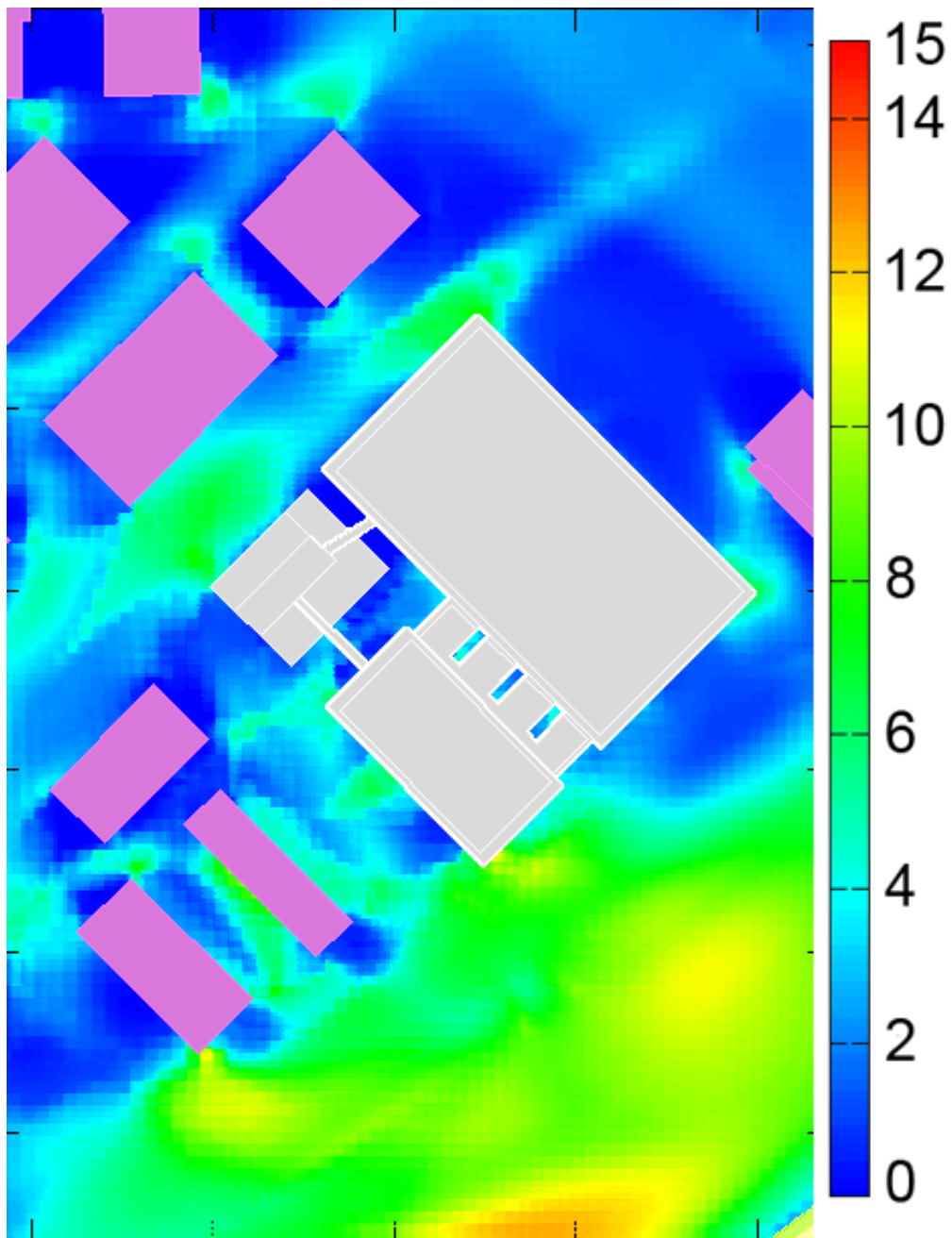
Gegevensverwerking en -beoordeling	Informatie voor locatie en berekening windklimaat			
Amersfoortse coördinaten van de locatie	(125987,485257)			
Toegepaste eisen	V_{DR} in m/s	Kwaliteitsklasse	Overschrijdings kans in %	Beoordeling
Voor comfort			$p(V_{LOK} > V_{DR:H})$	
Doorlopen	5,0	C	5–10	Goed
Voor gevaar			$p(V_{LOK} > V_{DR:G})$	
	15	n.v.t.	$p < 0,05$	Geen risico
Gepresenteerde resultaten	Windhinderkaart, Windgevaarkaart			
Opmerkingen en eventuele conclusies van proefoverschrijdend belang				

Bijlage B

Windhinderkaart

Windhinderkaart

De legenda van de afbeelding beschrijft de procentuele kans op overschrijding van een uurgemiddelde windsnelheid van 5 m/s op 1,75 meter boven looppniveau.

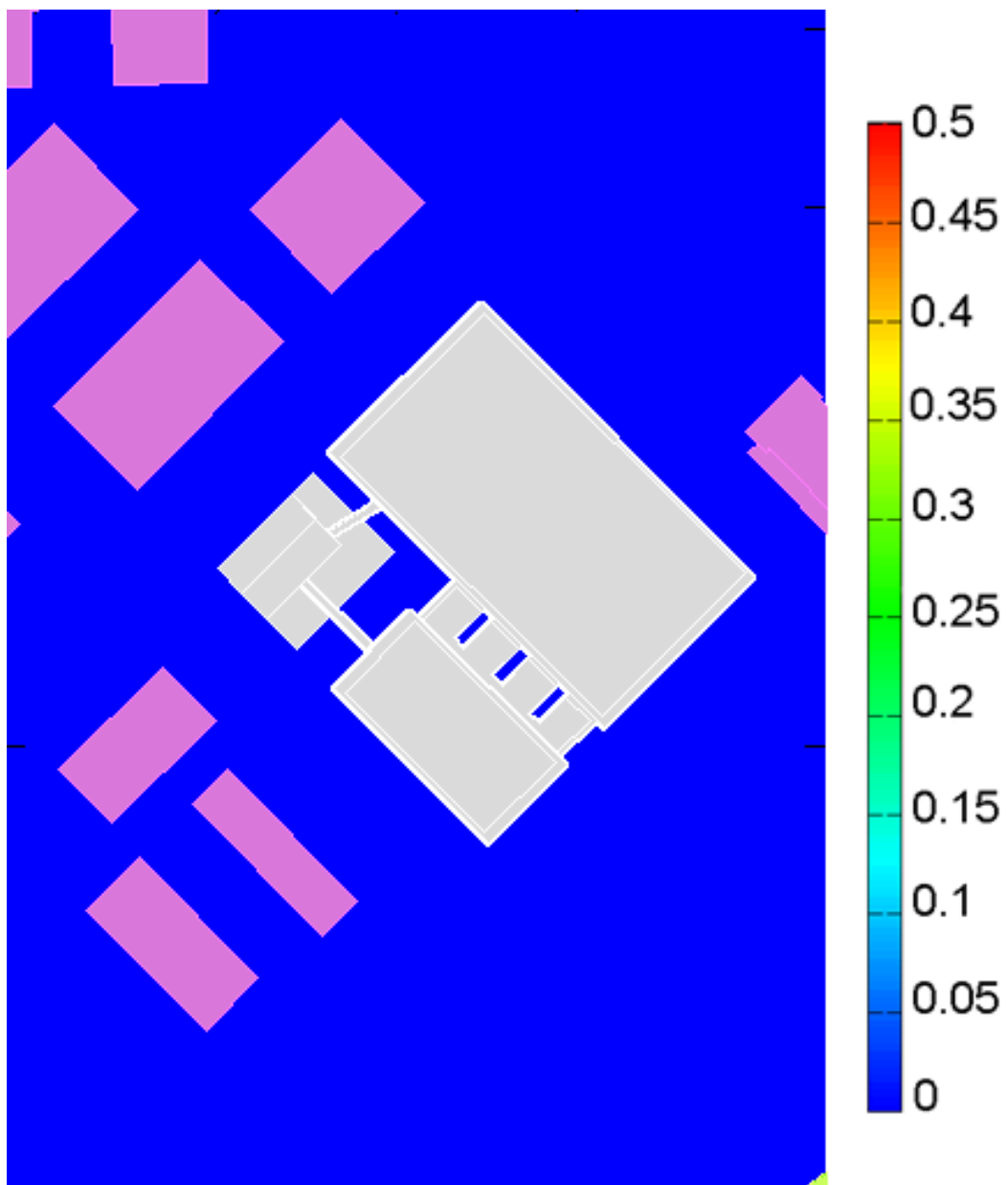


Bijlage C

Windgevaarkaart

Windgevaarkaart

De legenda van de afbeelding beschrijft de procentuele kans op overschrijding van een uurgemiddelde windsnelheid van 15 m/s op een hoogte van 1,75 meter boven looppniveau.



Bijlage D Modellen

Voor het vervaardigen van het CFD model van het datacenter is gebruik gemaakt van de volgende gegevens:

- Masterplan Science Park, versie november 2013
- 752SO-20140304_supervisie.ppt
- 601BA-AGE03.dwg
- 601BA-BGE01.dwg
- 601BA-BGE02.dwg
- 601BA-BGE03.dwg
- 601BA-BGE04.dwg
- 601BA-SI00.dwg
- Actueel hoogtebestand Nederland

De omgeving van het datacenter is gemodelleerd op basis van een 3D kaart die is aangekocht bij een externe leverancier. De 3D kaart is aangepast naar de laatst bekende situatie.

Bijlage E

Toelichting CFD

Toelichting CFD

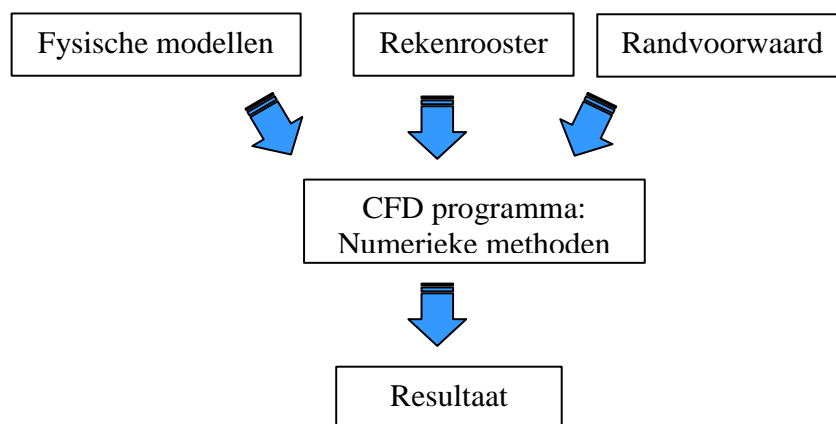
Alle bewegende vloeistoffen en gassen zoals lucht, rook en natuurlijk water zijn voorbeelden van stromingen. CFD (voluit Computational Fluid Dynamics, in het Nederlands numerieke stromingsleer) is dé methode om stromingen met de computer te simuleren.

Het vakgebied CFD is behoorlijk omvangrijk: van langzaam kruipende zeer viskeuze stromingen tot samendrukbare stromingen ('hoge snelheids aërodynamica').

Toepassingen van numerieke stromingsleer zijn er bijvoorbeeld in

- de werktuigbouwkunde (pompen en ventilatoren, warmtewisselaars en koelingselementen),
- de proces- en chemische industrie (stromingen door leidingen, apparaten en ventielen, mengen en roeren, verblijftijdspreiding en afscheiden van deeltjes, ontwikkeling van cyclonen),
- brandonderzoek: gevolgen van brand (temperatuur en rookverspreiding),
- onderzoek naar het binnenklimaat (o.a. thermische convectie, cleanrooms en verspreiding van uitlaatgassen in parkeergarages),
- studies naar windhinder.

Een CFD programma gebruikt fysische modellen, randvoorwaarden en een rekenrooster om de stroming te kunnen simuleren.



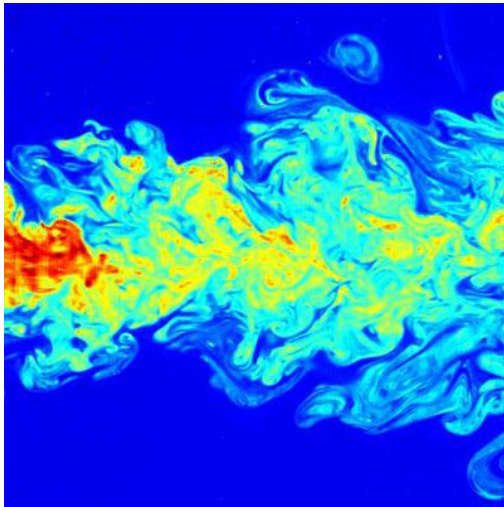
Afbeelding D.1 – “Schema van het CFD proces”

Fysische modellen

Voor vloeistoffen in beweging gelden de Navier-Stokes vergelijkingen. Dit zijn niet-lineaire partiële differentiaalvergelijkingen. De vergelijkingen zelf zien er eenvoudig uit, maar de numerieke oplossing ervan vereist veel rekenwerk.

Samen met de Navier-Stokes vergelijkingen wordt ook een continuïteitsvergelijking opgelost, eventueel, met energie- en scalaire transportvergelijkingen.

Wanneer de snelheid klein is, wordt de stroming laminair genoemd. En laminaire stroming heeft als kenmerk dat de vloeistofdeeltjes in een nette laag in de richting van de stroom bewegen. Als de snelheid hoog is, dan wordt de stroming turbulent. Turbulente stromingen hebben een wervelend karakter; vele vloeistofdeeltjes lopen niet meer in de richting van de stroom, maar loodrecht op de hoofdstroom.



Afbeelding D.2 – “Turbulente stroming (bron: wikipedia)”.

Het is noodzakelijk om bij het modelleren van een turbulente stroming een specifiek model, het zogenaamde turbulentiemodel te gebruiken. Het doel van een turbulentiemodel is de effecten van de snelheidsfluctuaties in rekening te brengen. Welk type turbulentiemodel gebruikt wordt hangt mede af van het probleem. De laatste jaren is het aantal turbulentiemodellen gestegen. Mogelijke turbulentiemodellen zijn isotrope standaard $k-\varepsilon$ modellen, met of zonder "ReNormalization Group" (RNG) termen, anisotrope niet-lineaire modellen, of de zogenaamde "full Reynolds Stress Models" (RSM).

Een turbulentiemodel is niet compleet zonder een wandmodel. Direct naast de wand, in de grenslaag (een zeer dunne laag), zijn de aannames welke gelden voor het buitengebied van het turbulentiemodel niet meer geldig. Daarnaast neemt de snelheid zeer snel af tot nul aan de wand. Indien men deze snelheidsprofielen zou willen berekenen zouden zeer fijne rekenroosters en dus zeer grote computercapaciteit nodig zijn. Daarom wordt een universele wandwet ("law-of-the-wall") gebruikt die een standaard grenslaag langs een vlakke plaat beschrijft.

Rekenroosters

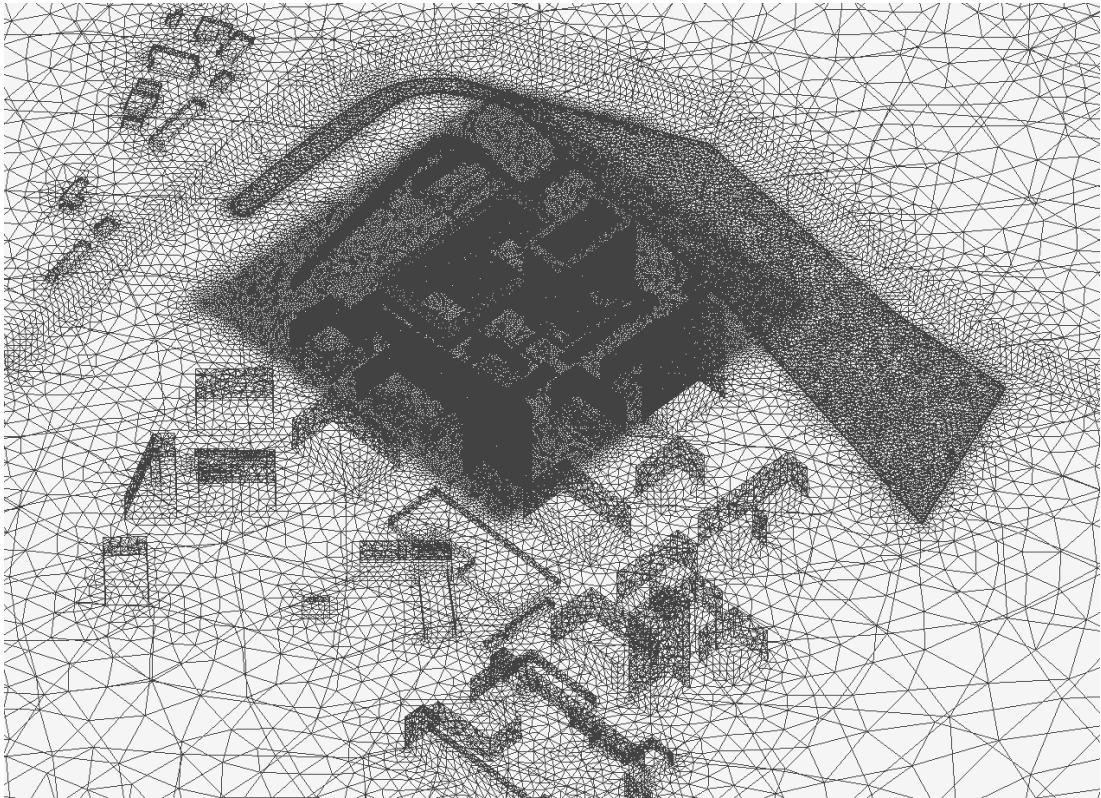
Voordat er gerekend kan worden dient een rekenrooster gemaakt te worden (meestal worden ook de Engelse termen "mesh" of "grid" gebruikt).

Voor het maken van een rekenrooster wordt een 3D model geïmporteerd in de gridgenerator. Rondom de ingevoerde geometrie wordt vervolgens een gedetailleerd raster van rekenpunten gemodelleerd. Een door vier of meer rekenpunten omsloten gebied wordt element genoemd. Rekenroosters kunnen uniform en niet-uniform, gestructureerd en ongestructureerd (zie afbeelding D.3) zijn.

De modelgeometrie en het interessegebied zijn bepalend voor het type en de resolutie van het rekenrooster dat gemodelleerd wordt. De nauwkeurigheid van het rekenrooster neemt toe als de afmetingen van de elementen kleiner worden. Meer elementen betekent meer nauwkeurigheid, maar ook meer rekentijd.

Voor de bepaling van de windhinder in de directe omgeving van een gebouw is het noodzakelijk dat het rekenrooster in de directe omgeving van het gebouw nauwkeurig

genoeg is om de wervels die door het gebouw gegenereerd worden op te kunnen lossen. Verder weg van het interessegebied is een minder hoge nauwkeurigheid nodig.



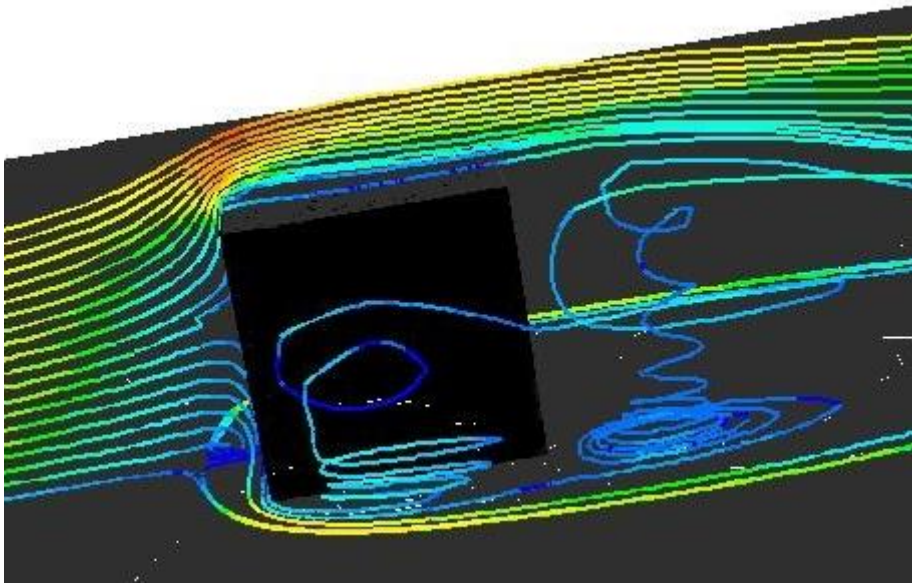
Afbeelding D.3 – “Rekenrooster van gebouwde omgeving”

Randvoorwaarden

Nadat het rekenrooster gemaakt is kunnen de randvoorwaarden opgelegd worden. De randvoorwaarden hebben een fysieke betekenis, zoals bijvoorbeeld een wand waar de snelheid nul is, of een inlaat waar de wind instroomt volgens een bepaald profiel.

Berekeningen

Als alle invoergegevens gereed zijn dan kan er gerekend worden. Het computerprogramma lost de Navier-Stokes vergelijkingen op waarmee de stroming van de wind rond de gebouwen wordt gesimuleerd. Met de berekende waarden kunnen visualisaties van de stroming door middel van contouren, stroomlijnen of vectoren gemaakt worden.



Afbeelding D.5 – “Stroming rond een kubus. De kleuren geven de snelheid”