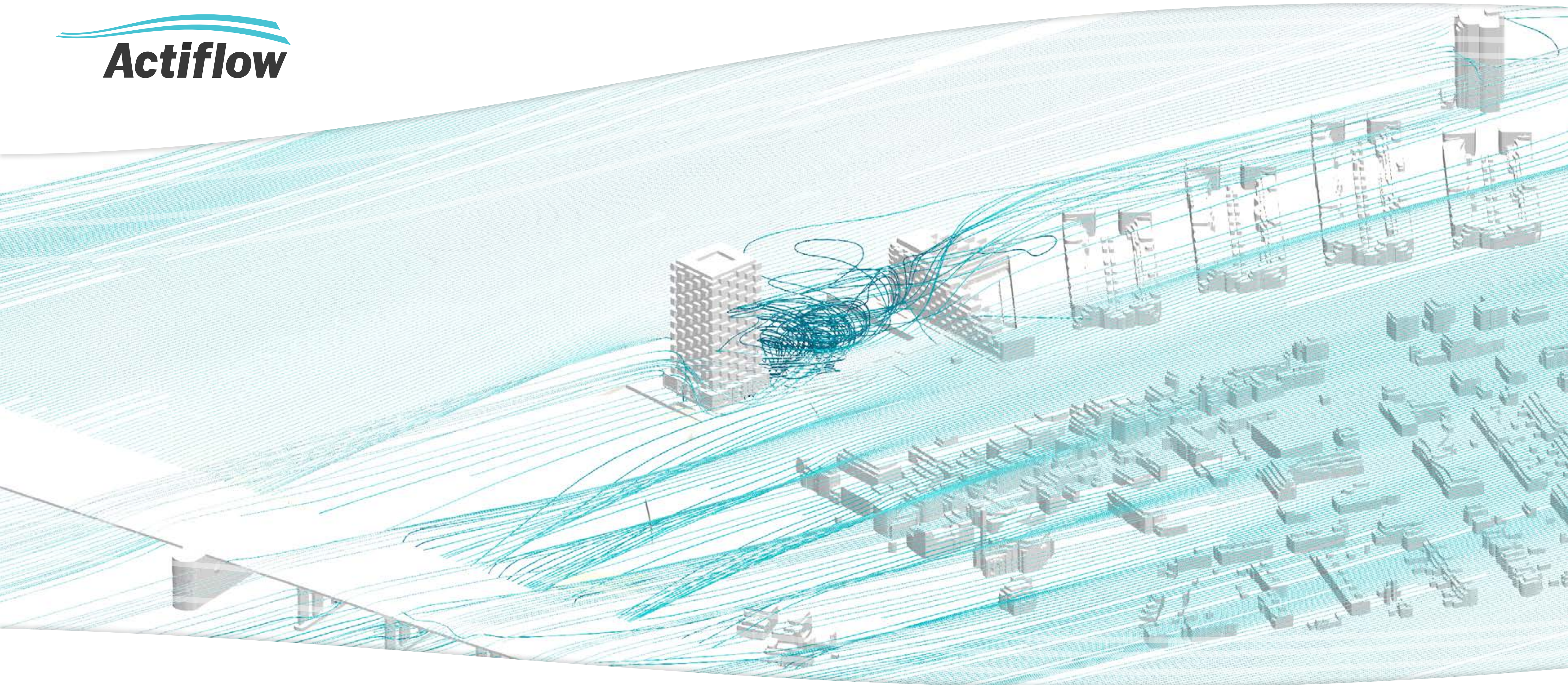




Waterside III te Rotterdam

CFD-studie windhinder en windgevaar

Auteur(s): ir. Shirin Masoudi
Controlleur: ir. Roland Broers
Datum: 01/12/2021

AFR - 7111
Versie 2.0
©2021 Actiflow BV

Inhoudsopgave

- 1 Introductie
- 2 Normstelling
 - 2.1 Windhinder en windgevaar
- 3 Opzet van de berekening
 - 3.1 Software
 - 3.2 Geometrie en rekenrooster
 - 3.3 Aannames en randvoorwaarden
- 4 Resultaten
 - 4.1 Windhinder en windgevaar
 - 4.2 Aanbevelingen
- 5 Conclusies

- A Inlegvel NEN 8100:2006
- B Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele wind-richtingen

1 Introductie

Voorliggende rapportage geeft een beschrijving van de resultaten van een studie uitgevoerd door **Actiflow** in opdracht van BRO. Het betreft een windstudie ten behoeve van de nieuwbouw van Waterside III te Rotterdam.

De geplande nieuwbouw voor de locatie Waterside bestaat uit de realisatie van twee volumes gelegen aan de Oostdijk aan de zuidzijde en de Nieuwe Maas aan de noordzijde. In de huidige situatie ligt de oostzijde van het perceel braak en is op de westzijde een bedrijfswoning aanwezig. In de nieuwe situatie zijn twee bouwvolumes voorzien: Waterside III met een hoogte van maximaal 70 m en Waterside II met een hoogte van maximaal 10 bouwlagen. Waterside I is de bestaande wijk ten oosten van Waterside II. De voorliggende studie beschouwd enkel Waterside III, de bouwlocatie is weergegeven in figuur 1.1. Figuur 1.2 geeft een impressie van de nieuwbouw.

Het inpassen van de nieuwbouw zal leiden tot een wijziging van het lokale windklimaat. Dit kan zorgen voor een situatie die als onprettig of gevaarlijk wordt ervaren, waarbij de ligging in relatief open gebied kan zorgen voor hoge windsnelheden. Daarnaast vraagt de functie van het gebouw en het verwachte gebruik van de openbare buitenruimte om een acceptabel comfortniveau ten aanzien van wind. Het is dan ook noodzakelijk het windklimaat inzichtelijk te maken, zodat mogelijke knelpunten kunnen worden aangepakt en een goede onderbouwing kan worden gewaarborgd.

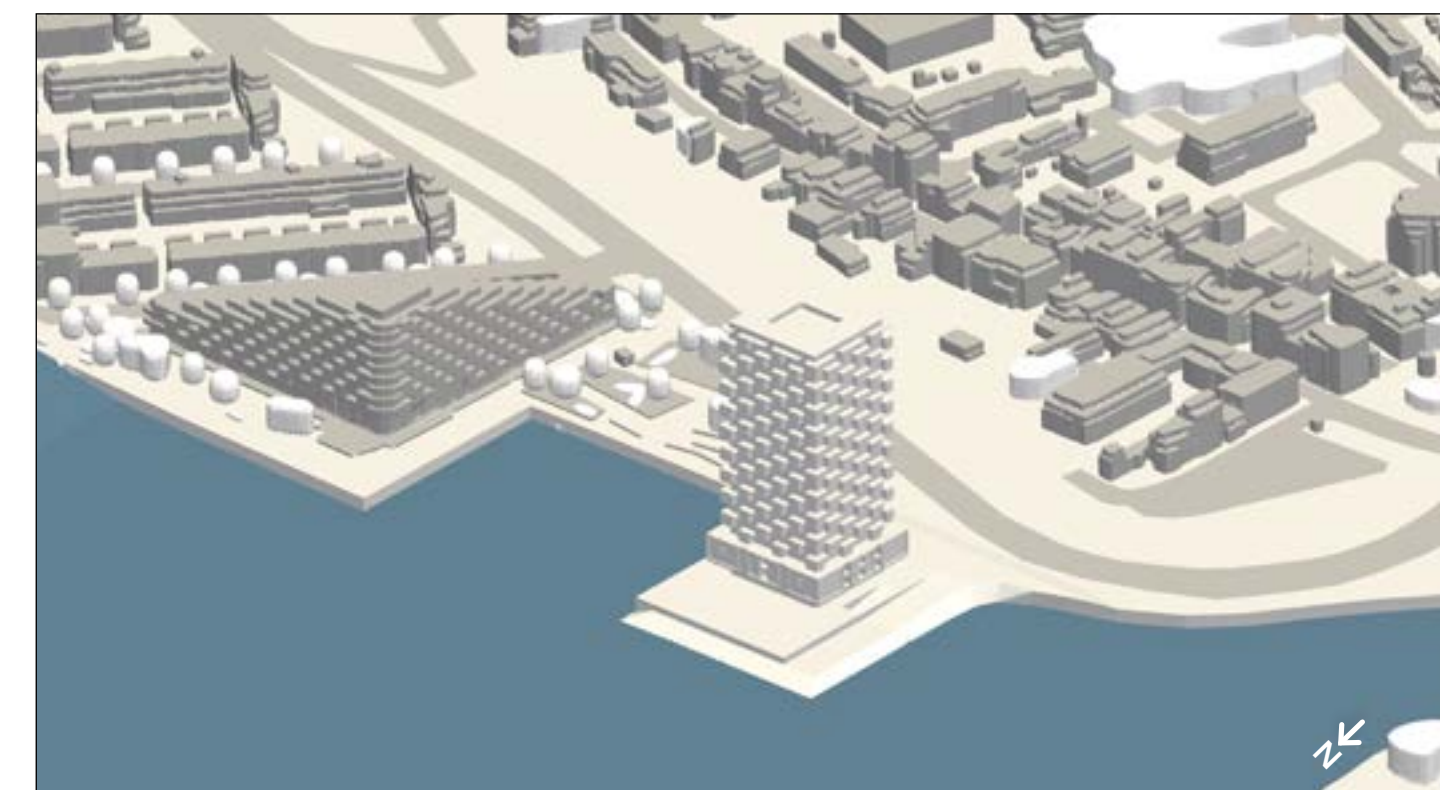
Actiflow is gevraagd om een dergelijke windstudie uit te voeren waarin het resulterende windklimaat wordt beoordeeld. Bij deze studie is gebruik gemaakt van de normstelling omtrent windhinder en windgevaar, de Nederlandse norm NEN 8100:2006 'windhinder en windgevaar in de gebouwomgeving'.

Onderhavige rapportage beschrijft de studie en de resultaten hiervan. Hoofdstuk 2 gaat in op de gebruikte normstelling waaraan getoetst is. De gebruikte

geometrie van het gebouw, de omgeving, het rekendomein en de bijbehorende randvoorwaarden zijn weergegeven in hoofdstuk 3. De resultaten van de berekeningen worden besproken in hoofdstuk 4, waarna de conclusies volgen in hoofdstuk 5.



Figuur 1.1
Impressie van de locatie
van het nieuwbouwproject
(Bron: Google Earth)



Figuur 1.2
Impressie van de
nieuwbouw

2 Normstelling

2.1 Windhinder en windgevaar

In onderhavige windstudie wordt het windklimaat ter plaatse van de openbare buitenruimte in kaart gebracht.

De toetsing hiervan vindt plaats aan de hand van de normstelling uit NEN 8100:2006. In de norm wordt onderscheid gemaakt tussen windhinder en windgevaar. De definitie van windhinder is het ondervinden van hinder door wind. Dit zal bij een gemiddeld persoon gebeuren wanneer de lokale uurgemiddelde windsnelheid meer dan 5 m/s bedraagt.

Windgevaar is het optreden van een dergelijk hoge windsnelheid waarbij in ernstige mate problemen optreden bij het lopen, zoals evenwichtsverlies, waardoor het onmogelijk wordt zich staande te houden of zich lopend voort te bewegen. Windgevaar vindt vooral tijdens vlagen plaats. Dit fenomeen wordt vanwege de benodigde rekenkracht en conform de norm, niet gemodelleerd in een tijdsafhankelijke berekening, maar in een aanvulling op de statistische windhinderanalyse. Hier wordt aangenomen dat windgevaar optreedt als de uurgemiddelde lokale windsnelheid meer dan 15 m/s bedraagt.

NEN 8100:2006 geeft een indeling voor windhinder naar kwaliteitsklassen. Deze indeling is terug te vinden in tabel 2.1. Aan de hand van de kans op overschrijding van de grenswaarde voor windhinder wordt bepaald in welke klasse een locatie valt. Afhankelijk van het gebruiksdoel van de locatie wordt een bepaalde klasse gekarakteriseerd als goed, matig of slecht. De norm geeft hierbij niet aan wanneer het windklimaat acceptabel is of niet. Dit is ter interpretatie van de windexpert.

Tabel 2.2 toont de indeling en kwalificatie voor de kans op windgevaar op vergelijkbare wijze als voor windhinder wordt gedaan. Hierbij dient te worden opgemerkt dat voor activiteitsklassen 'Slenteren' en 'Langdurig zitten' zelfs een

beperkt risico al onacceptabel is. Voor deze activiteitsklassen geldt dat enkel $p < 0,05$ acceptabel is. Een gevaarlijk windklimaat moet te allen tijde worden vermeden. De norm geeft hierbij aan dat een gevaarlijk windklimaat moet worden vermeden in voetgangersgebieden. Toetsing voor zowel windhinder als windgevaar vindt plaats op een hoogte van 1,75 m boven het grondoppervlak, conform NEN 8100.

Tabel 2.1: Criteria voor de beoordeling van het lokale windklimaat voor windhinder

Overschrijdingskans (%) (Lokaal windsnelheid > 5 m/s) (van het aantal uren per jaar)	Kwaliteitseis	Activiteiten		
		Doorlopen	Slenteren	Langdurig zitten ^a
<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

^a Dit geldt conform de norm voor een bankje in het park, voor horeca terrassen of private buitenruimtes is zwaardere normstelling nodig om het gewenste comfort te behalen.

Tabel 2.2: Criteria voor de beoordeling van het lokale windklimaat voor windgevaar

Overschrijdingskans (%) (Lokaal windsnelheid > 15 m/s) (van het aantal uren per jaar)	Kwaliteitseis
0.05 - 0.30 %	Beperkt risico
> 0.30%	Gevaarlijk

3 Opzet van de berekening

Voor een overzicht van de instellingen bij de berekening wordt verwezen naar het inlegvel uit de NEN 8100:2006, welke is toegevoegd in bijlage A.

3.1 Software

De berekening is uitgevoerd met behulp van OpenFOAM v2106, een softwarepakket dat bedoeld is voor het oplossen van problemen in de continuüm mechanica en thermodynamica. Voor dit project is "simpleFoam" gebruikt; deze solver is gebaseerd op de incompressibele Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) vergelijkingen en houdt rekening met turbulentie. Voor de modellering van turbulentie is gebruik gemaakt van het SST k- ω model.

3.2 Geometrie en rekenrooster

De geometrie van het model is gebaseerd op de verkregen tekeningen en modellen van de opdrachtgever. Het 3D-model is weergegeven in figuur 3.1. Het model omvat alle gebouwen binnen een straal van minimaal 300 meter.

De omliggende bebouwing is als eenvoudige massa's weergegeven. Rond dit gebied is een cilindervormig domein geplaatst met een doorsnede van 3000 m en een hoogte van 500 m. Het plangebied is centraal in dit domein geplaatst, zodat hier verschillende windrichtingen op kunnen worden toegepast zonder dat het voor- of achtergebied te klein wordt. De ruwheid van het voorland is afgestemd op de werkelijke situatie conform NPR 6097:2006.

Het luchtvolume in de hierboven omschreven geometrie is vervolgens opgedeeld in een groot aantal kleine volumecellen. Deze cellen tezamen vormen het rekenrooster voor de beschouwde situatie (figuur 3.2). Dit rooster bestaat uit 48 854 718 cellen. Over het grondoppervlak en de bebouwing zijn vijf lagen prisma's geplaatst. Deze prismalaag zorgt voor een betere berekening van de snelheidsgradiënt in de atmosferische grenslaag.

Figuur 3.1:
Impressie van het
model



(a)
Nieuwbouw en directe
omgeving



(b)
Close-up

3.3 Aannames en randvoorwaarden

Om inzicht te krijgen in het windklimaat is de gehele windroos doorgerekend, te weten 12 windrichtingen. Er is aangenomen dat de atmosferische grenslaag een snelheidsprofiel heeft volgens vergelijking 3.1 en 3.2 op de volgende pagina. Hierin is U_n de horizontale windsnelheid, z de hoogte vanaf het maaiveld, en z_0 een ruwheidslengte. De ruwheidslengte is een maat voor de ruwheid van het terrein. Verder geldt dat $\kappa = 0,41$. Deze empirische constante is gerelateerd aan het modelleren van grenslagen.

$$U_n(z) = \left(\frac{U^*}{\kappa} \right) \ln \left(\frac{z + z_0}{z_0} \right) \quad (3.1)$$

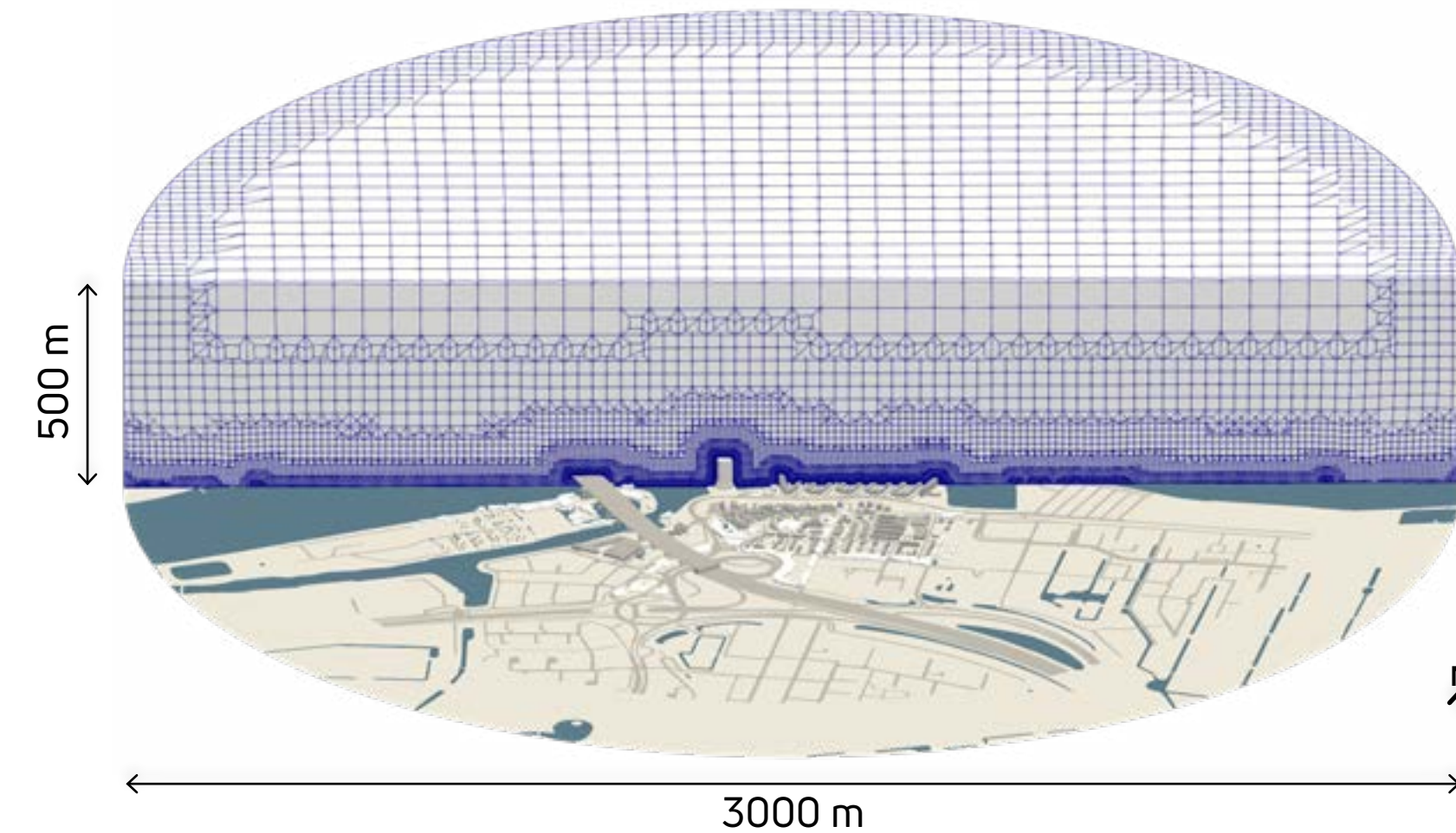
$$U^*(z_0, U_{ref}, z_{ref}) = \frac{\kappa \cdot U_{ref}}{\ln \left(\frac{z_{ref} + z_0}{z_0} \right)} \quad (3.2)$$

$$k(z) = \frac{U^{*2}}{\sqrt{C_\mu}} \quad (3.3)$$

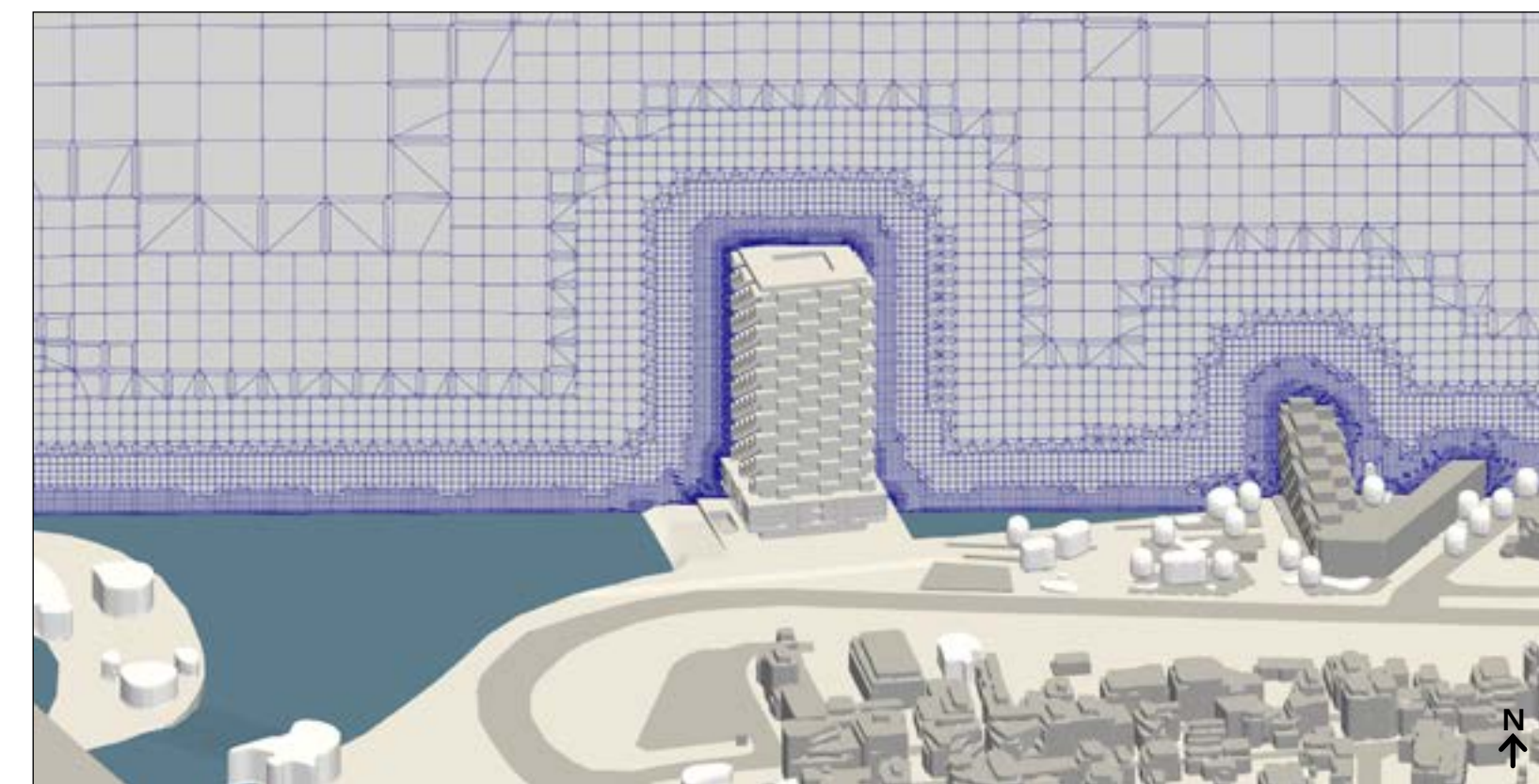
$$\omega(z) = \frac{U^*}{\kappa(z - z_{ground} + z_0)\sqrt{C_\mu}} \quad (3.4)$$

Ook de turbulente grootheden k en ω verlopen volgens een voorgeschreven profiel, zoals aangegeven in vergelijking 3.3 en vergelijking 3.4. Hierin heeft C_μ de waarde 0,09. Deze empirische constante komt voort uit het gebruikte turbulentiemodel (k - ω SST).

Figuur 3.2:
Impressie rekengrid



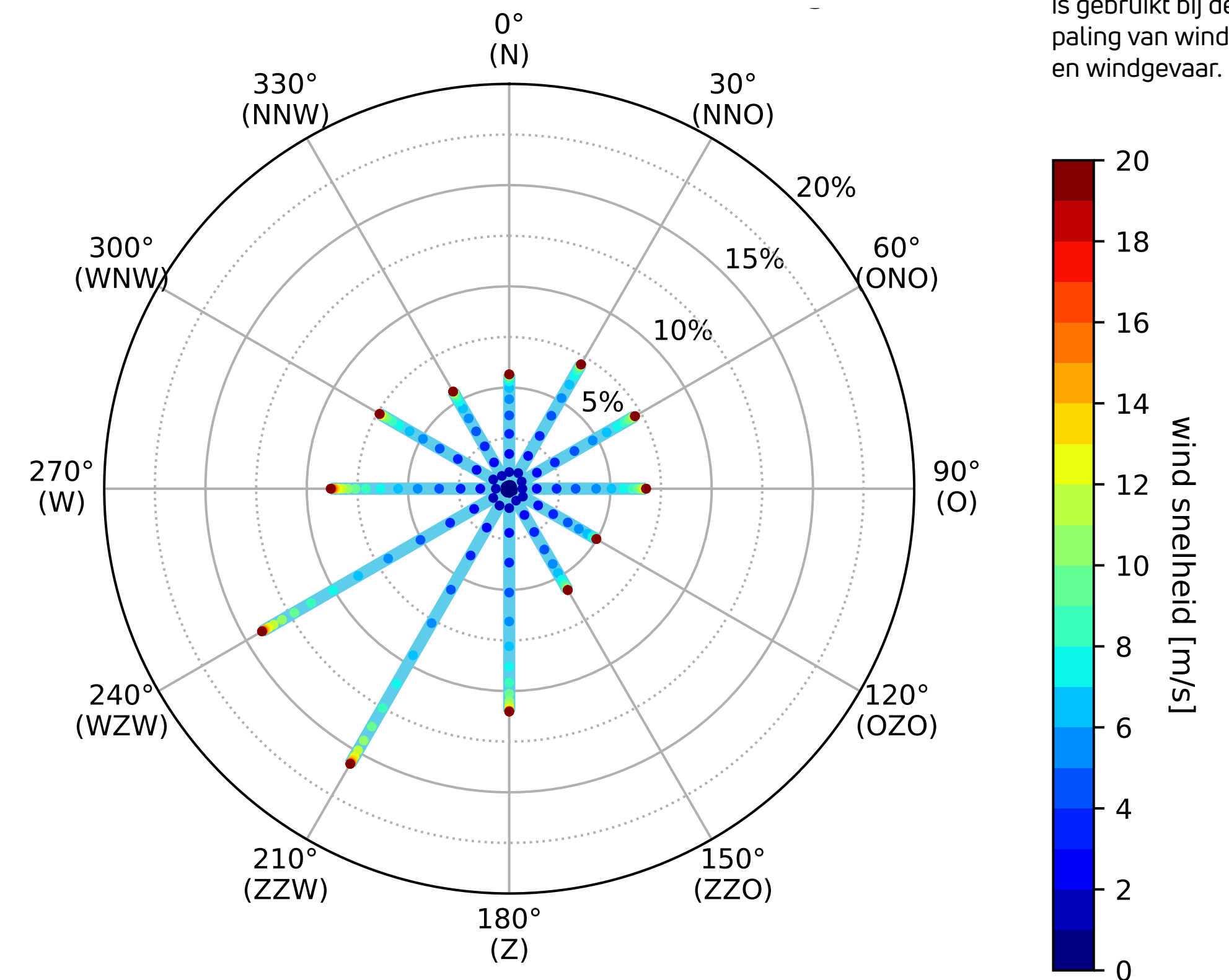
(a)
Doorsnede van het
rekengrid



(b)
Doorsnede van het
rekengrid - ingezoomd

Voor de berekeningen is een windsnelheid van 5 m/s op een hoogte van 60m opgegeven. Hierbij is een atmosferisch grenslaagprofiel toegepast. Deze windsnelheid is gekozen omdat deze overeenkomt met de gemiddelde windsnelheid en daardoor goed geschikt is als basis van de versterkingsfactor over het gehele windbereik. Voor de 12 windrichtingen die in beschouwing zijn genomen wordt een resulterend snelheidsveld bepaald. Hiermee is voor elke locatie per windrichting de versterkingsfactor ten opzichte van de opgelegde windsnelheid vastgelegd.

Vervolgens wordt de windstatistiek conform NPR 6097:2006 gecombineerd met de berekende versterkingsfactor, zodat voor elke windsnelheid op een locatie een overschrijdingskans kan worden bepaald van verschillende windsnelheden. Deze overschrijdingskans wordt vervolgens getoetst aan de gewenste kwaliteitsklasse om te bepalen of er een comfortabel windklimaat kan zijn. Een visualisatie van de lokale windstatistiek als windroos en als frequentieverdeling van de windsnelheid op 60 m hoogte is weergegeven in figuur 3.3.



Figuur 3.3:
Visualisatie van de windstatistiek welke is gebruikt bij de bepaling van windhinder en windgevaar.

4 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten voor windhinder en windgevaar ter plaatse van de openbare buitenruimte weergegeven conform NEN 8100:2006. De resultaten van de openbare buitenruimte worden weergegeven op horizontale doorsneden op 1,75 m boven maaiveld.

Zoals aangegeven in hoofdstuk 2 geeft de norm NEN8100:2006 niet aan wanneer het windklimaat acceptabel is of niet. Het is dan ook aan de wind-expert om hier een oordeel over te vellen. Hierbij hanteren wij als richtwaarden het volgende voor onderhavige locatie:

- Op locaties met voor voetgangers louter een verkeersfunctie en geen verblijfs-functie dient windhinder bij voorkeur klasse A, B of C te zijn. Klasse D biedt een matig niveau. Klasse E biedt een slecht niveau en dient vermeden te worden.
- Op locaties die gezien kunnen worden als verblijfsgebied voor voetgangers dient windhinder bij voorkeur klasse A of B te zijn. Klasse C biedt een matig niveau en klassen D en E bieden een slecht niveau. Deze twee hoogste klassen dienen op deze locaties vermeden te worden.
- Ter plaatse van gebouwentrees dient bij voorkeur klasse A of B behaald te worden. Klasse C biedt een matig niveau. Klassen D en E bieden een slecht niveau en dienen vermeden te worden op deze locaties.
- Windgevaar dient bij voorkeur voorkomen te worden. Een beperkt risico kan lokaal geaccepteerd worden.

4.1 Windhinder en windgevaar

Figuur 4.1a toont de jaargemiddelde windhinderklassen voor de toekomstige situatie. In figuur 4.1b-d is dit uitgewerkt naar de beoordeling per activiteit, zoals aangegeven in tabel 2.1. De jaargemiddelde kans op het ontstaan van windgevaar wordt getoond in figuur 4.2.

De resultaten laten zien dat het windklimaat als 'windrijk' is te omschrijven (zie

figuur 4.1a), met nabij de nieuwbouw windhinderklassen A tot en met E. De ligging aan het water van de Nieuwe Maas draagt bij aan het verhogen van de lokale windsnelheden en daarmee tot het optreden van de hogere windklassen.

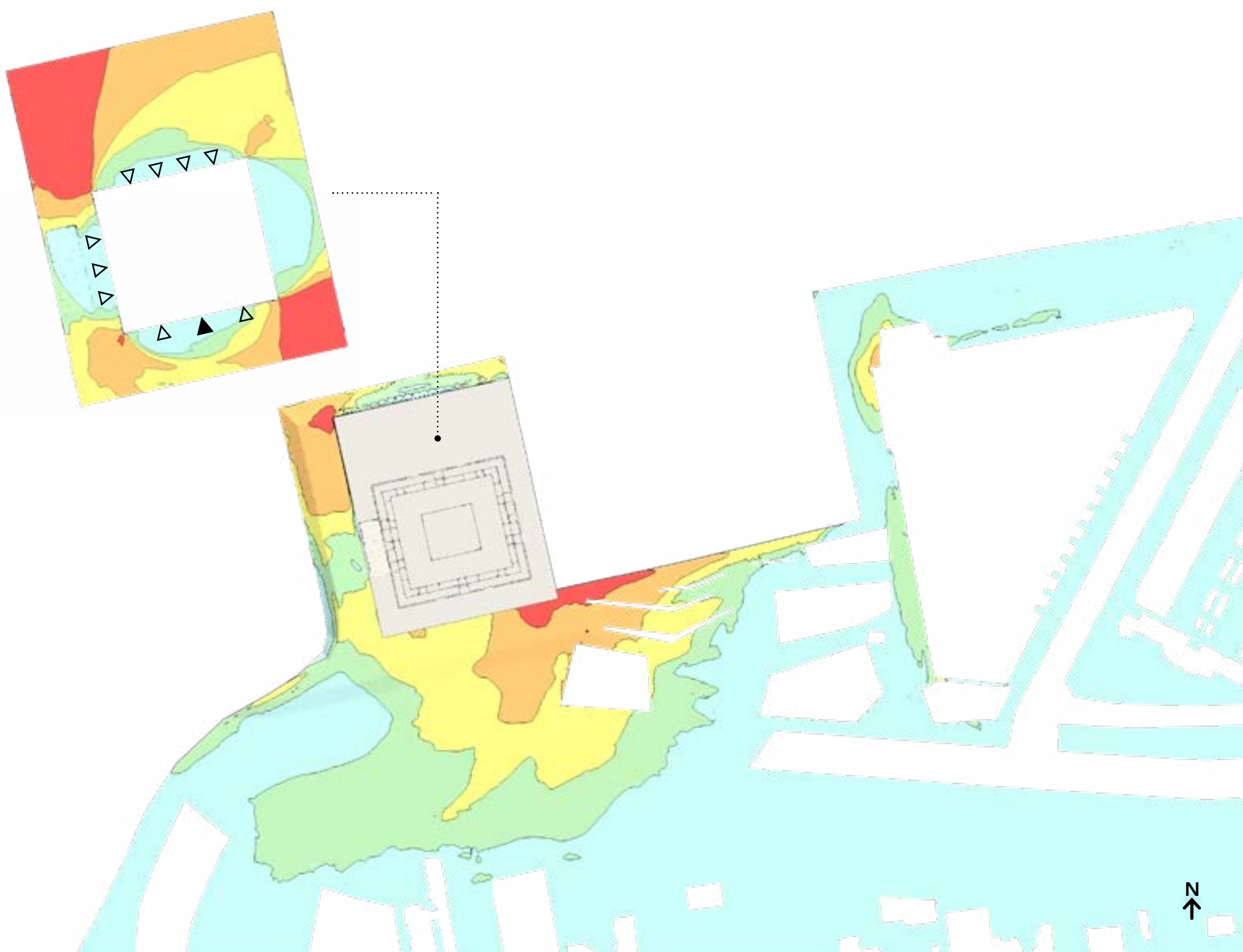
De hoogste windklasse treedt op bij de gebouwhoeken zuidoost, noordwest een zuidwest; de laagste windklasse aan direct aan de gevels maar op afstand van de gebouwhoeken. Het rustige windklimaat langs de gevels is geschikt voor de ingangen aan de zuid-, west- en noordzijde van de toren.

De meeste overschrijding van de 5 m/s jaargemiddelde windsnelheid vindt plaats bij zuidwestenwind, zie appendix B, maar ook bij noordoostenwind vindt er een aanzienlijke overschrijding plaats. Zuidwestenwind komt overeen met de lokaal meest voorkomende windrichting, zie ook figuur 3.3. Ook noordoostenwind is een vaker optredende windrichting, waarbij het effect versterkt wordt door de relatief ongestoorde aanstroming van de wind over de Nieuwe Maas.

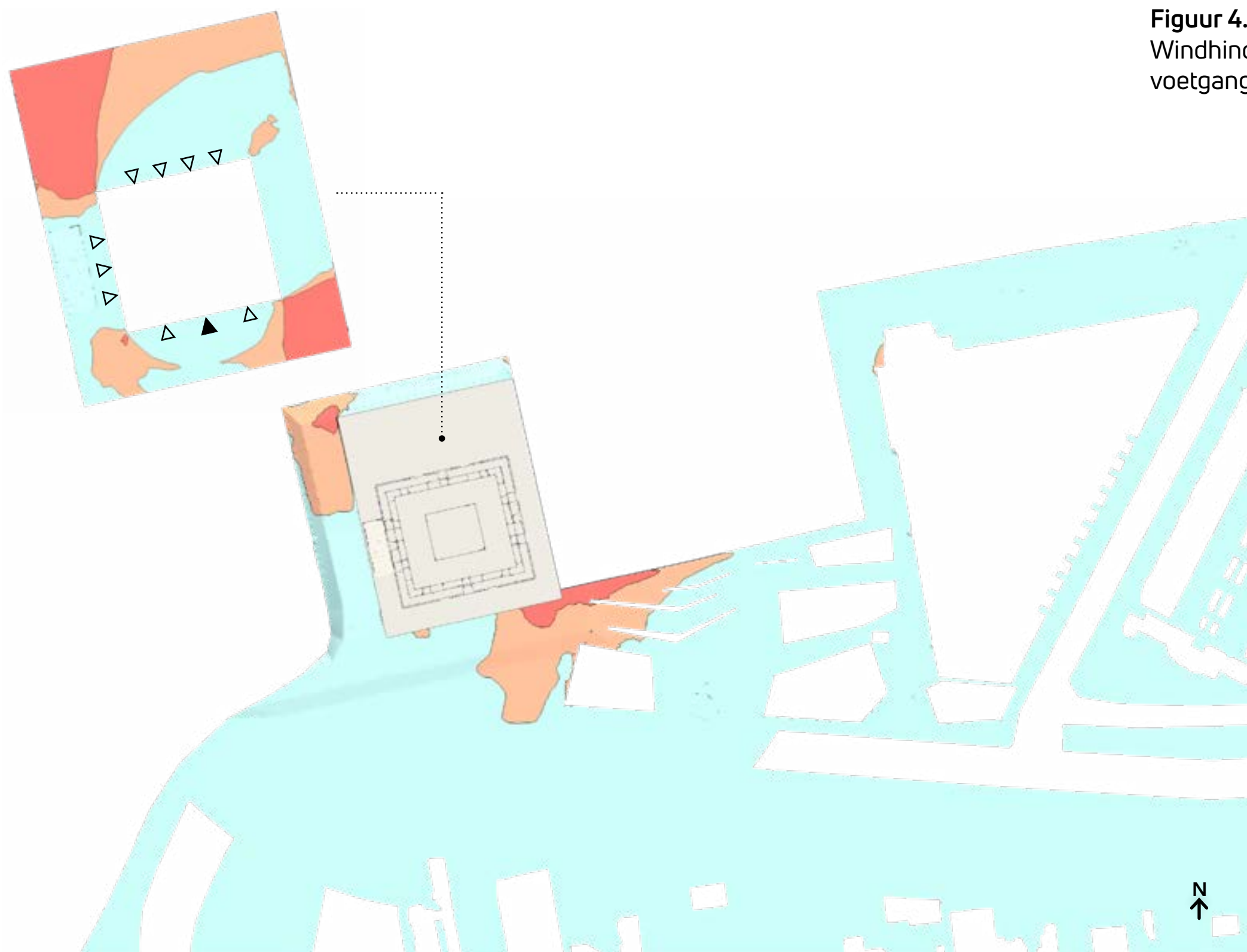
De beoordeling rond de nieuwbouw voor de activiteit 'doorlopen' is 'goed' (zie figuur 4.1b), behalve in de zones nabij de noordwest-, zuidwest- een zuidoosthoek van de nieuwbouw, waar de beoordeling 'matig' of 'slecht' is.

Voor de activiteit 'slenteren' breiden de 'matige' en 'slechte' zones zich uit naar de zuidzijde, de westzijde en de noordwestzijde van de nieuwbouw (zie figuur 4.1c).

De activiteit 'langdurig zitten' laat grotendeels de beoordelingen 'matig' en 'slecht' zien (figuur 4.1d), met enkel direct aan een portie van de west-, zuid- en oostgevels van de toren, de beoordeling 'goed'.

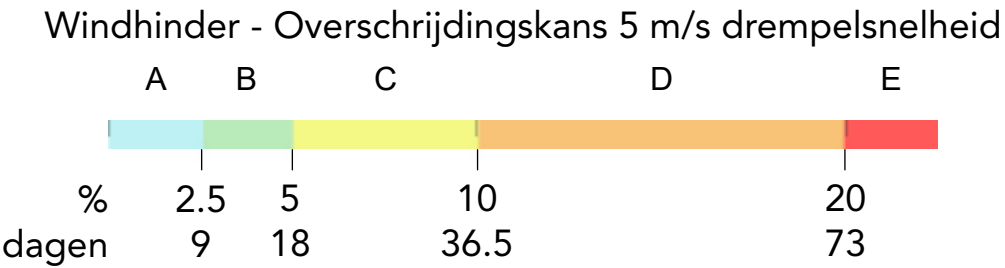


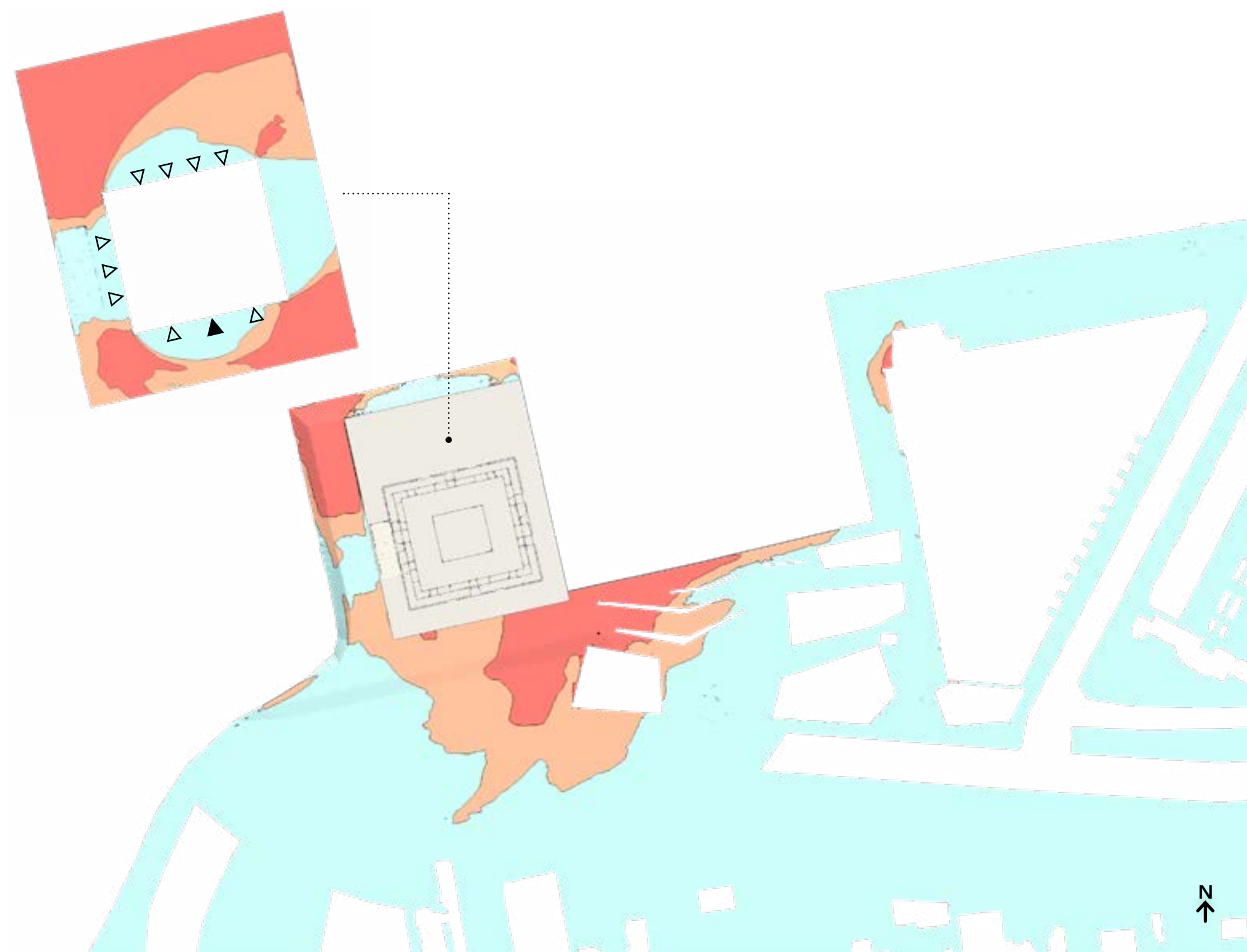
(a) Windhinder



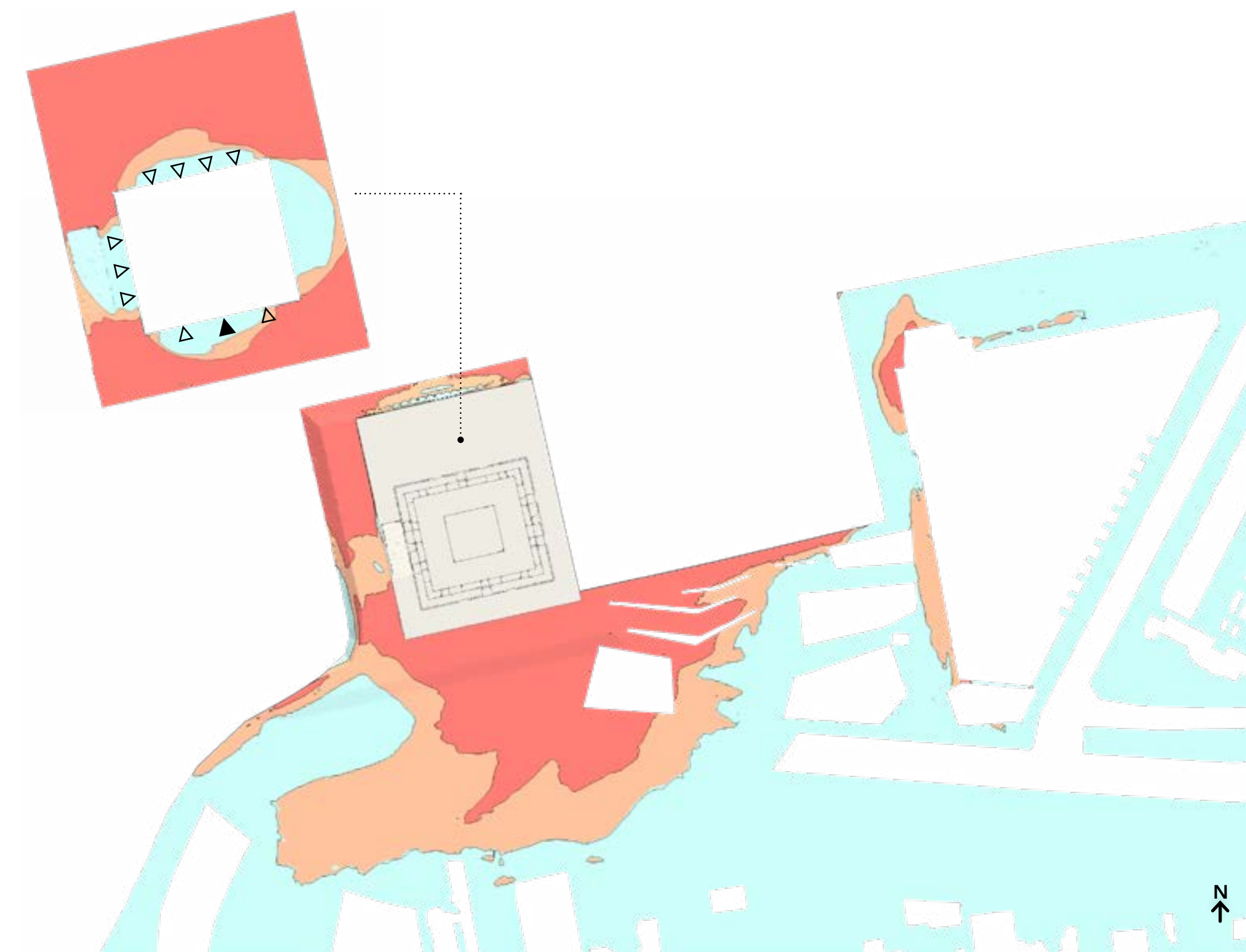
(b) Windhinder - Beoordeling activiteit doorlopen

Figuur 4.1:
Windhinder op
voetgangsniveau





(c) Windhinder - Beoordeling activiteit slenteren



(d) Windhinder - Beoordeling activiteit lang zitten

Goed Matig Slecht

Figuur 4.2 toont dat beperkt risico aanwezig is nabij de noordwest- en zuidwesthoeken van de toren.

Om de oorzaken van het slechte windklimaat te begrijpen, is het windpatroon gevisualiseerd met behulp van stroomlijnen die laten zien hoe de wind zich gedraagt nabij de meest kritische punten. Op deze manier kunnen doeltreffende mitigerende maatregelen worden voorgesteld om het windklimaat rond het projectgebouw te verbeteren. Figuur 4.3 toont stroomlijnen die bij zuidzuidwestelijke windrichting door de aanwezigheid van de toren in neerwaartse richting worden afgebogen en vervolgens versnellen nabij grondniveau en zo op de noordwestelijke en zuidoostelijke hoekpunten van de plint bijdragen aan een verslechtering van het lokale windklimaat.

Verder laat figuur 4.3b zien hoe de wind ook onder het uitstekende deel van het gebouw doorstroomt en om de hoeken van de toren versnelt.

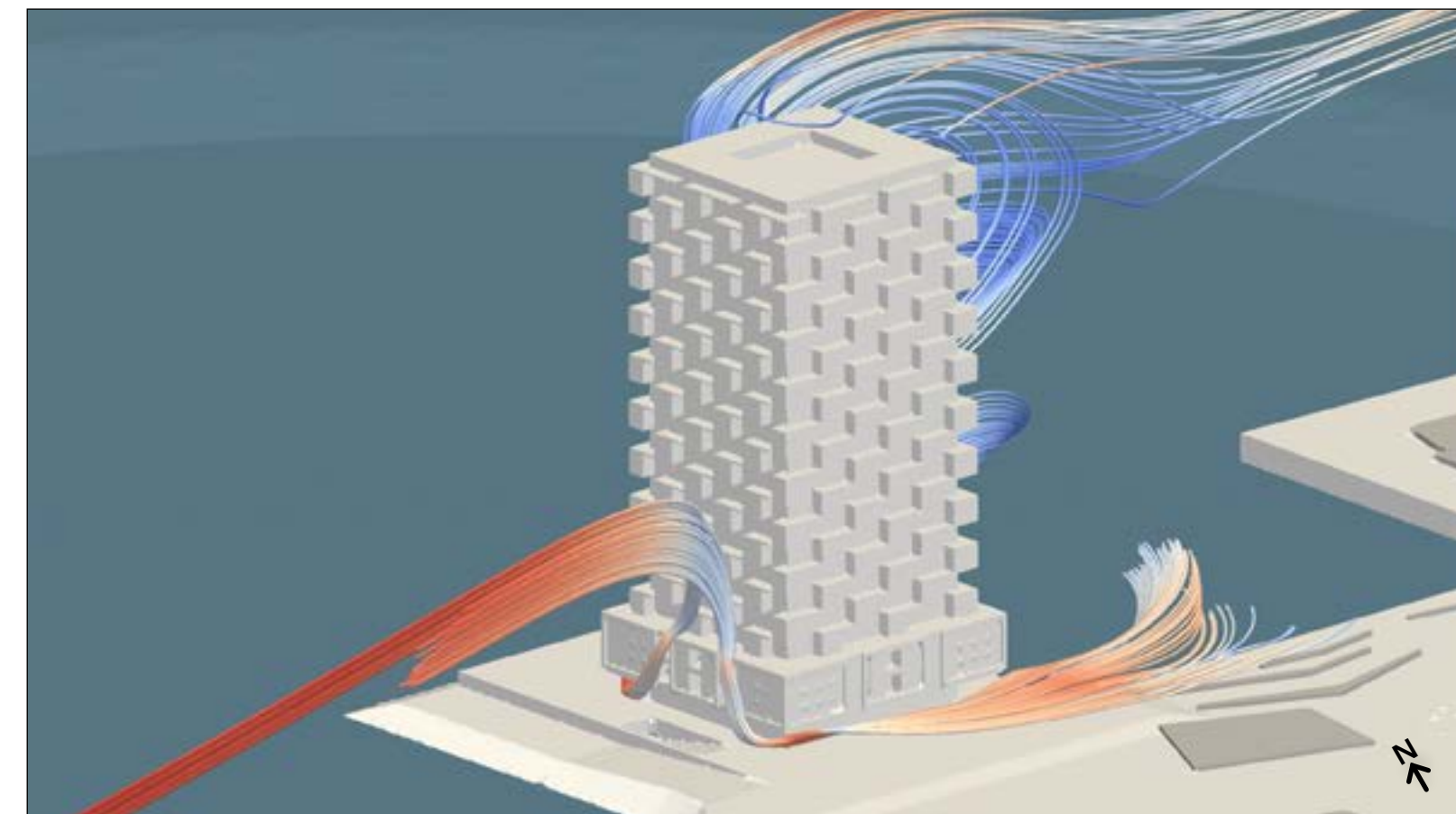
Figuur 4.4 laat zien hoe de wind uit west-zuidwestelijke richting de westgevel van de toren raakt en naar het maaiveld wordt teruggeleid (downwash-effect). Het uitstekende volume van het gebouw is niet groot genoeg om de wind te breken en te sturen. Hierdoor is het mogelijk voor de wind om het maaiveld te bereiken. Deze wind versnelt vervolgens rond de zuidwestelijke en noordwestelijke hoeken van de toren (corner stream effect).

Figuur 4.2:
Windgevaar op
voetgangsniveau

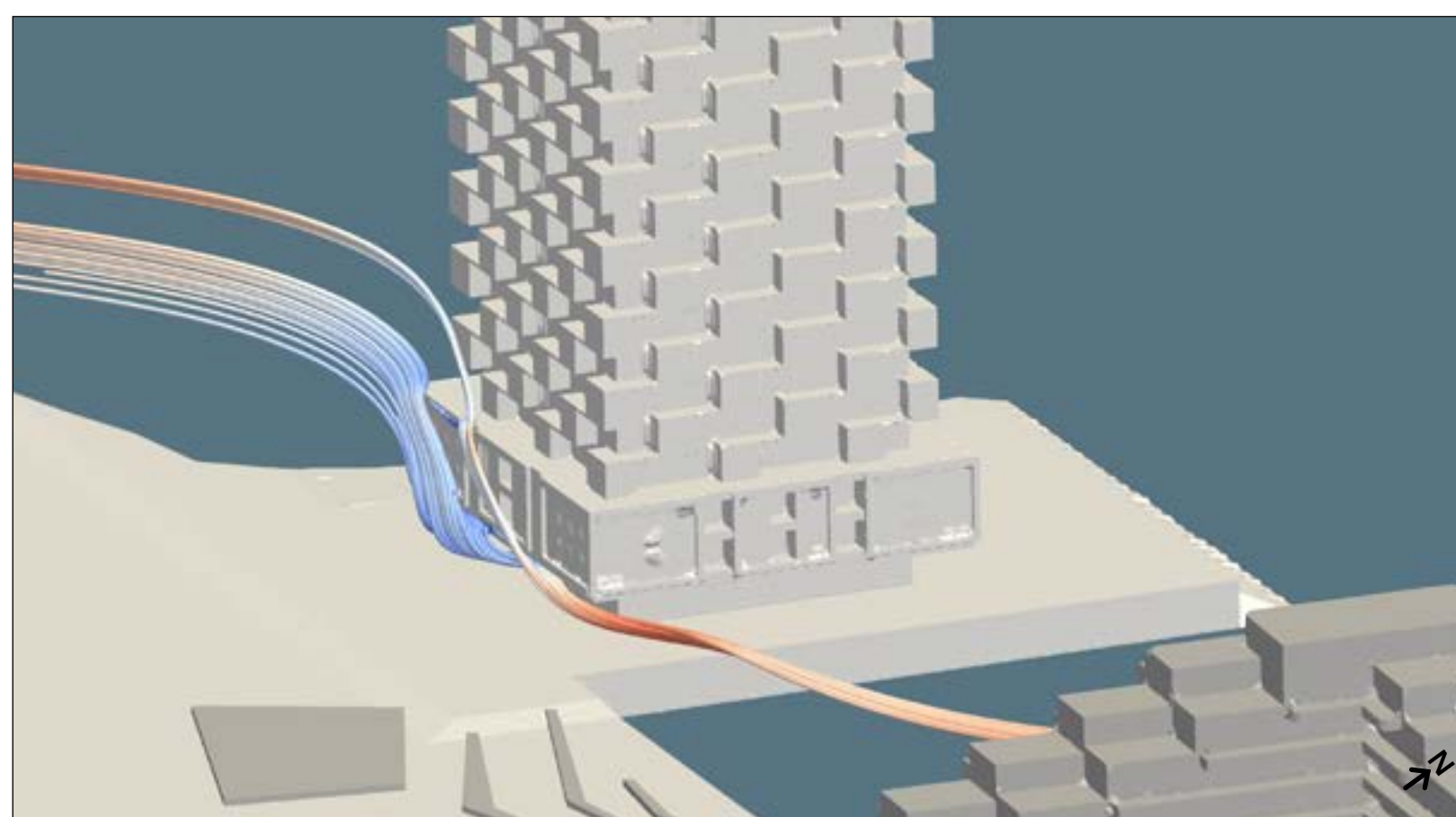




Figuur 4.3a:
Stroomlijnen nabij
de zuidoost- en
noordwestkant van de
nieuwbouw
voor de windrichting
zuidzuidwest.



Figuur 4.4:
Stroomlijnen nabij
de noordwest- en
zuidwestkant van de
nieuwbouw
voor de windrichting
westzuidwest.



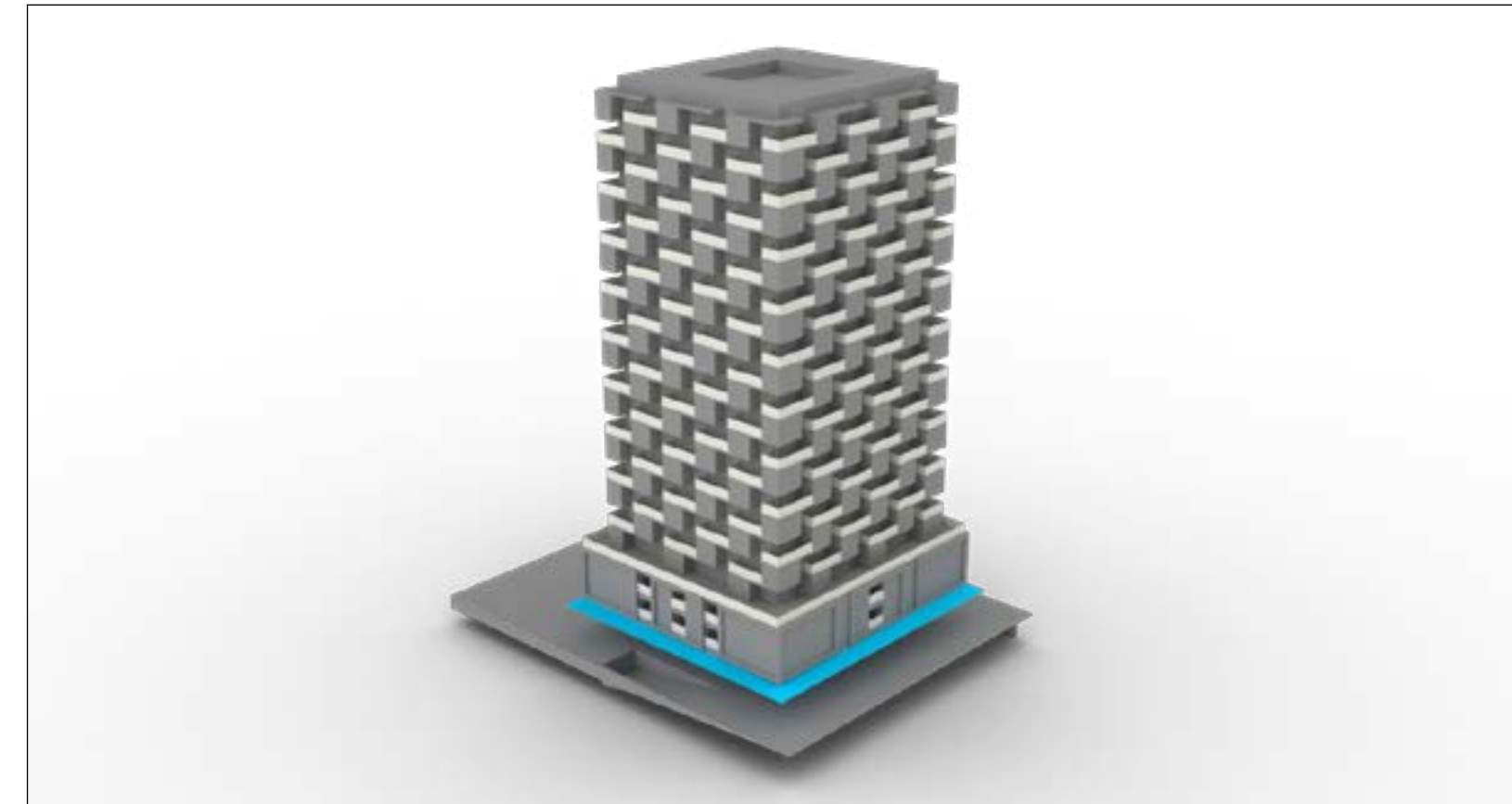
Figuur 4.3b:
Stroomlijnen nabij
de zuidoostkant van
de nieuwbouw
voor de windrichting
de zuidzuidwest.



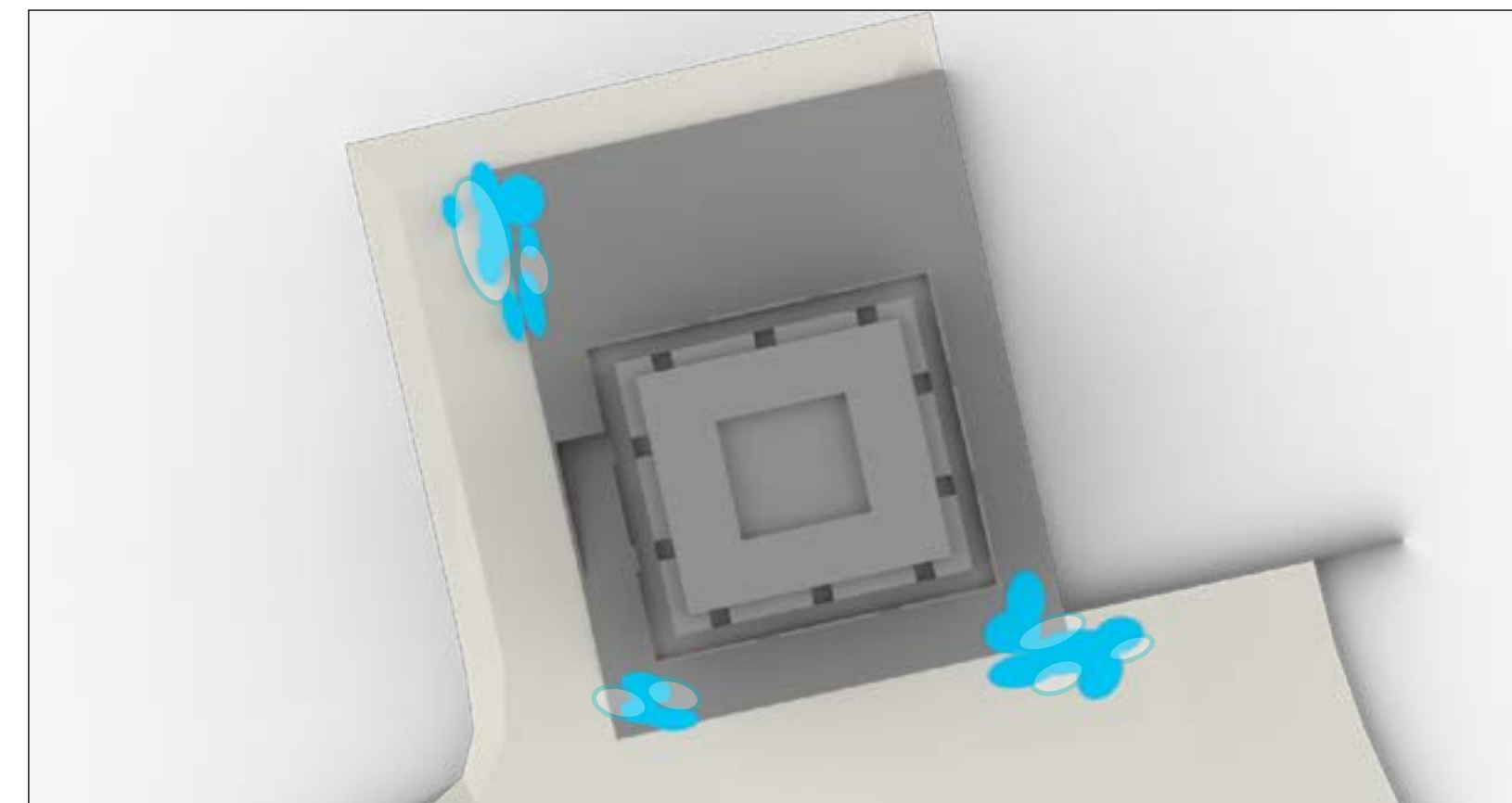
4.2 Aanbevelingen

In deze paragraaf worden enkele ontwerpaanpassingen aangedragen om het windklimaat te verbeteren op de locaties die in de vorige paragraaf zijn besproken.

Het is essentieel om het effect van downwash op de west- en zuidgevel op het windklimaat ten noordwesten, zuidwesten en zuidoost van de nieuwbouw te verminderen. Aangezien het hier niet mogelijk is om het bouwvolume te veranderen, kan het doel worden bereikt door een luifel toe te voegen langs de west- en zuidkant van de toren (figuur 4.4). Daarnaast kan vegetatie een rol spelen om het windklimaat te verbeteren. Figuur 4.5 toont waar de vegetatie moet worden geplaatst om de wind te vertragen.



Figuur 4.4:
Ontwerpoptie om het windklimaat op de noordwest-, zuidwest- en zuidoostkant te verbeteren.



Figuur 4.7:
Positie van de vegetatie om het windklimaat rond de toren te verbeteren.

5 Conclusies

Dit rapport beschrijft een studie uitgevoerd door [Actiflow](#) naar de nieuwbouw ter plaatste van Waterside III te Rotterdam. Deze studie heeft als doel het windklimaat in de directe omgeving van de nieuwbouw inzichtelijk te maken in het kader van de ruimtelijke onderbouwing.

De analyse is uitgevoerd met behulp van CFD-simulaties waarbij de Nederlandse norm NEN8100:2006 'Windhinder en windgevaar in de gebouwde omgeving' is gebruikt. Er zijn simulaties uitgevoerd voor 12 windrichtingen, waarbij resultaten met volledige vegetatie en met gereduceerde vegetatie zijn gebruikt voor het bepalen van het jaargemiddelde niveau van windhinder en windgevaar. De resultaten laten zien dat:

- Het windklimaat in de geplande situatie als relatief 'windrijk' is te omschrijven. Het windklimaat is niet overal aangenaam om te wandelen, aangezien aanzienlijke delen van het voetgangersniveau zijn ingedeeld in windklasse E;
- De meeste overschrijding van de 5 m/s jaargemiddelde windsnelheid plaats vindt bij zuidwestenwind en (in mindere mate) bij noordoostenwind;
- In de geplande situatie er beperkt risico optreedt tot windgevaar.

Er zijn meerdere redenen voor het ongunstige windklimaat. Ten eerste, het gebouw is aanzienlijk hoger dan de omliggende gebouwen. Ten tweede, de projectlocatie is gelegen direct aan de Nieuw Maas dit zorgt voor een windrijk windklimaat aan de noordwesten zuidoostpunt van de beoogde nieuwbouw.

Om het windklimaat te verbeteren stellen we verschillende mitigerende maatregelen voor, die met de volgende punten kunnen worden samengevat:

- Toepassen van bouwkundige obstructies en afscherming;
- Toepassen van vegetatie.

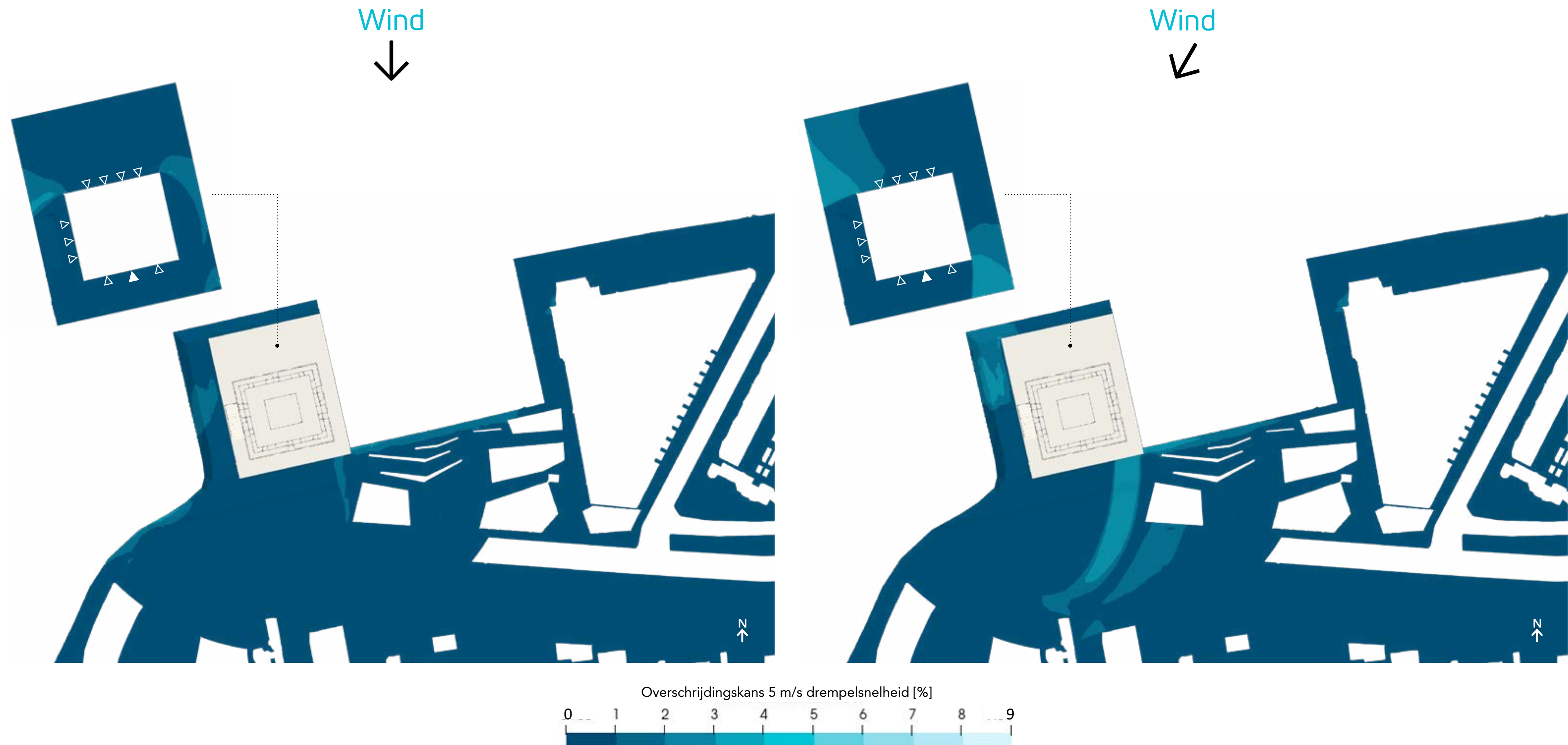
Bij de keuze voor verdere maatregelen die genomen dienen te worden en het beoordelen van hun effectiviteit kan [Actiflow](#) geraadpleegd worden.

A Inlegvel NEN 8100:2006

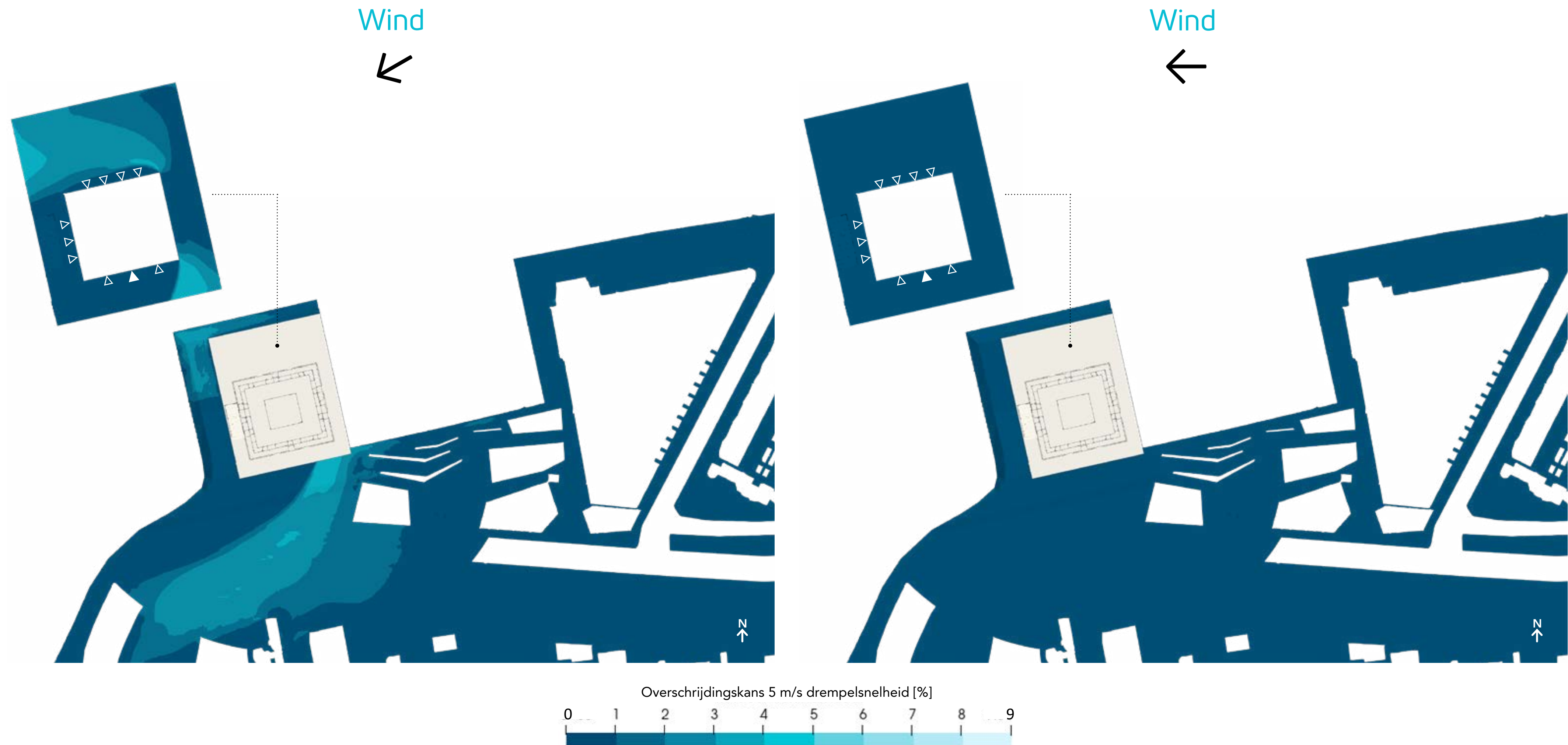
Project	Projectgegevens
Projectnaam	Waterside III te Rotterdam
Opdrachtgever	BRO
Projectleider	Ir. Shirin Masoudi
Datum	19-11-2021
Model	Algemene gegevens van het model
Omvang gemodelleerd gebied	Bebouwing binnen ca. 300 m rondom de kerngebied
Kerngebied	Nieuwe gebouw
Omgeving	Omgeving in massa's, gedetailleerd nabij het kerngebied
Afmetingen model	Rond met straal 1 500 m en hoogte 500 m
Blokkeringsgraad	Maximaal 4 %
Onderzochte windrichtingen (minimaal 12 over de windroos)	12
Onderzochte configuraties	Windhinder en windgevaar voor bestaande en geplande situatie
Computeropstelling	Specifieke gegevens van gebruikte programmatuur
Programmatuur	■FVM (eindige volume methode) □FEM (eindige elementen methode) □anders Programmatuur: OpenFOAM v2106
Algemeen	■drie-dimensionaal ■tijd-onafhankelijk ■isothermisch □passieve scalars □twee-dimensionaal □tijd-afhankelijk □thermisch □actieve scalars Overige:
Rekenrooster	Hybride ongestructureerd: hexaëders met prismalaag Geplande situatie: 48 854 718 cellen
Turbulentiemodellering	k-omega SST
Convectieve differentieschema's	Snelheidscomponenten: linearUpwindV Turbulente grootheden: limitedLinear 1.0 Scalaire variabelen: n.v.t.
Randvoorwaarden	Gebruikte randvoorwaarden
Instroomprofiel	Logaritmische atmosferische grenslaag: wind stedelijk gebied, z0 = 1.6 m
Uitlaat	Druk-uitlaat
Boven-/Zijwanden	Slip-wanden
Vloer/bodem	No-slip, ruwe wand
Overige	No-slip, ruwe wand

Gegevensverwerking en beoordeling	informatie voor locatie en berekening windklimaat			
Amersfoortse coördinaten van de locatie	X: 097226 Y: 435130			
Toegepaste eisen	V _{DR} (m/s)	Gewenste kwaliteits-klasse	Overschrijdings-kans (%)	Beoordeling
Voor comfort			p (V _{LOK} > V _{DR,H})	
Doorlopen	5,0	A, B, C, D	< 20	Matig
Slenteren	5,0	A, B, C	< 10	Matig
Zitten	5,0	A, B	< 5	Matig
Regionale correctie	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Voor gevaar				
	15	n.v.t.	0,05 < p < 0,30	beperkt risico
	15	n.v.t.	p ≥ 0,3	gevaarlijk
Gepresenteerde resultaten	Windhindercontouren en klassenindeling, windgevaarcontouren			
Opmerkingen en eventuele conclusies van proefoverschrijdend belang				

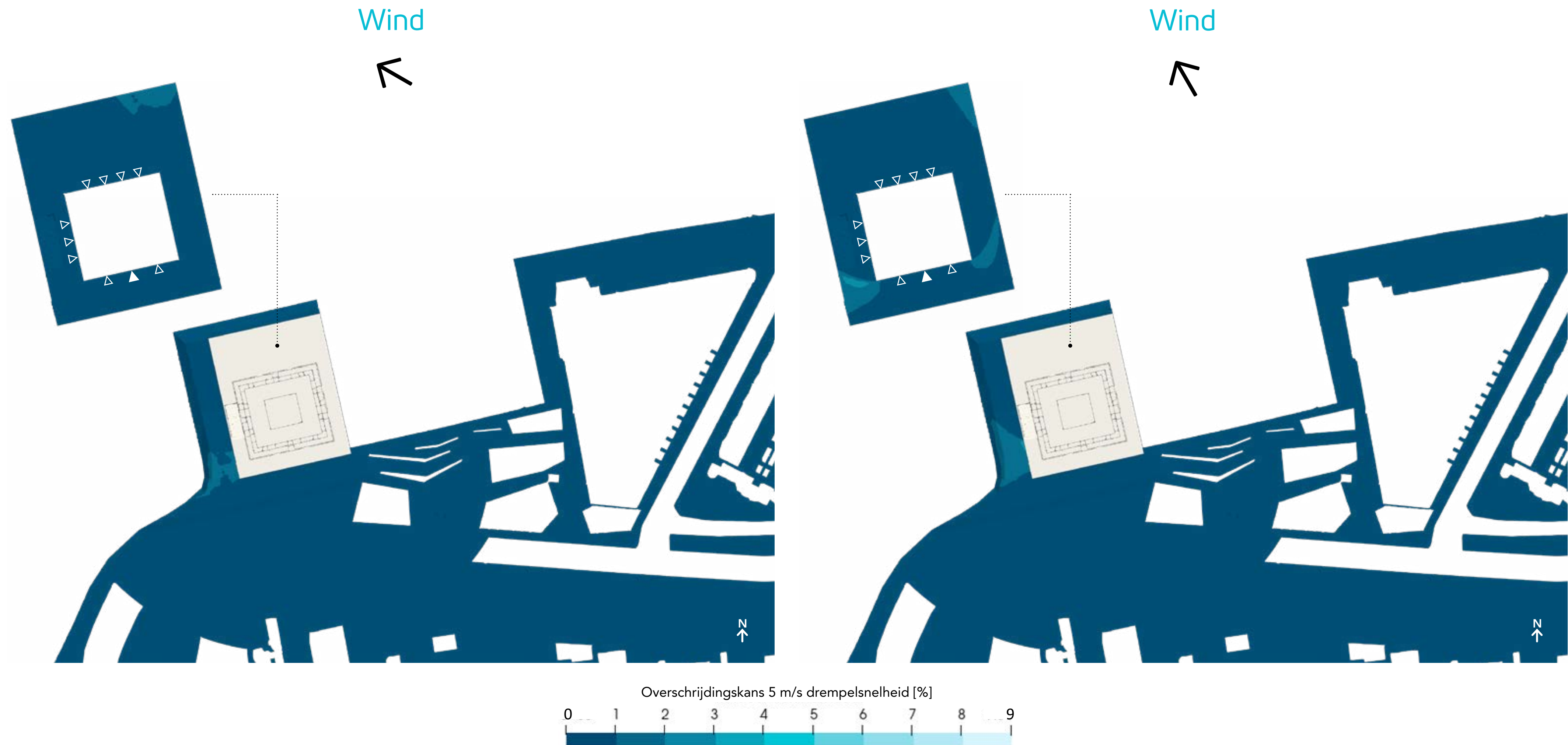
B Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen



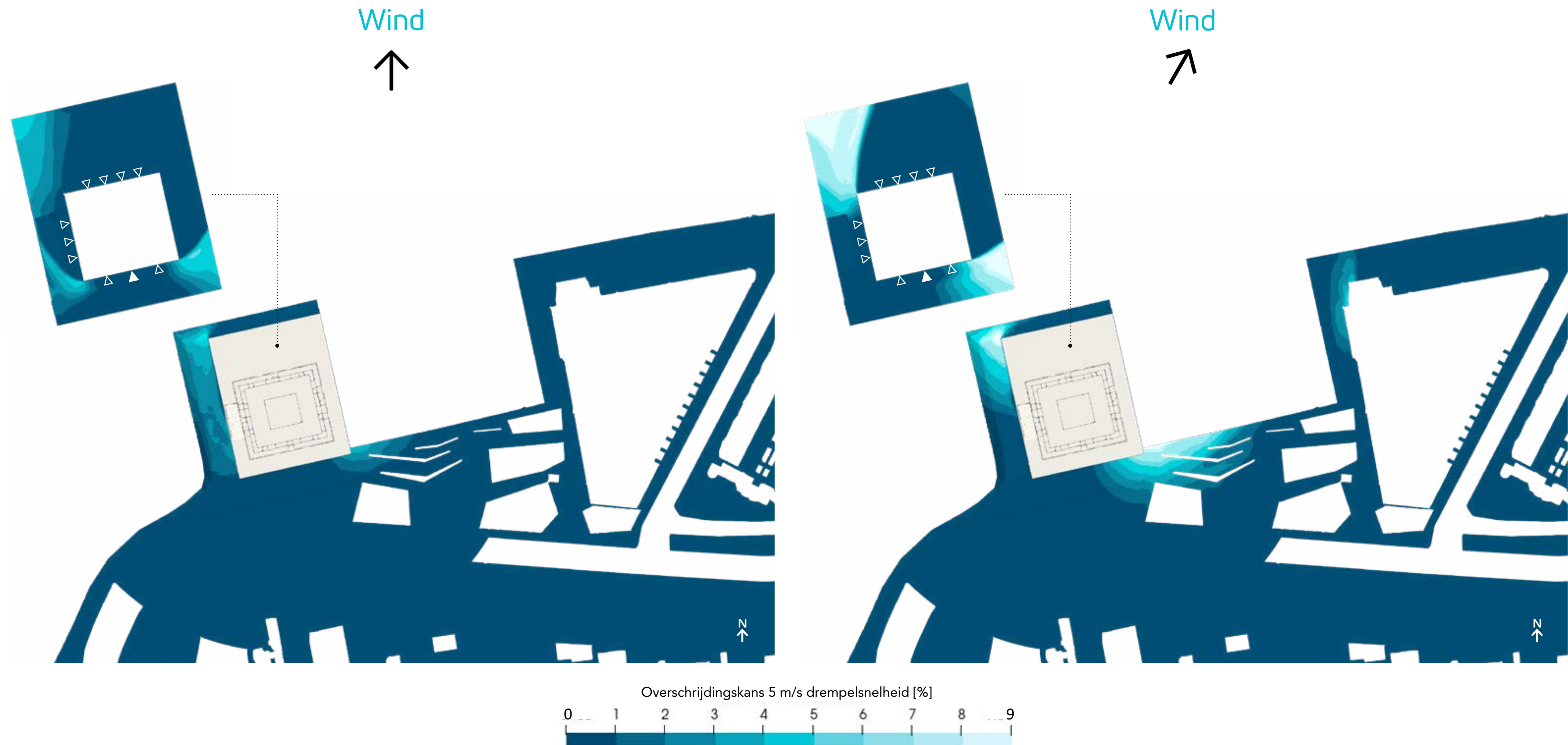
B Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen



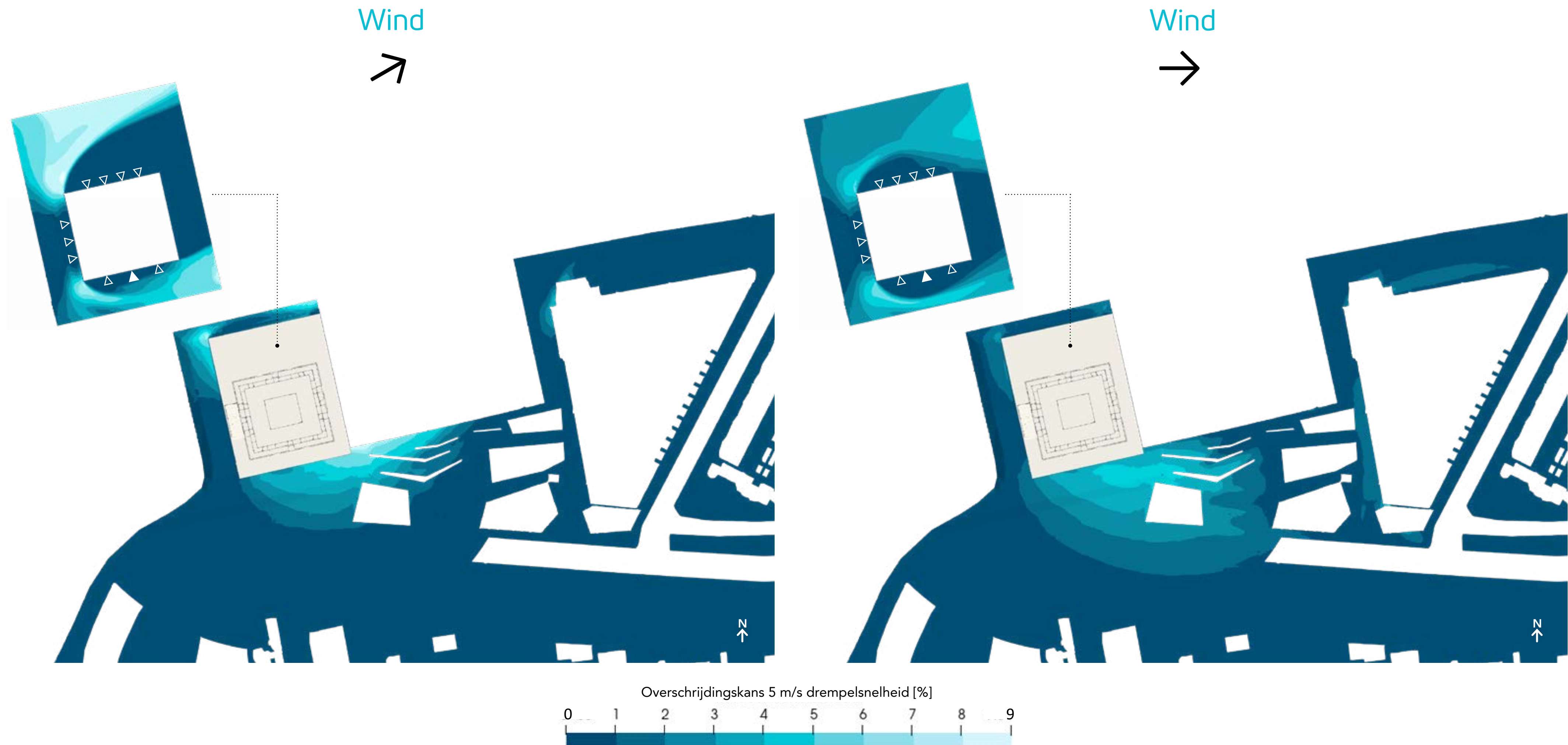
B Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen



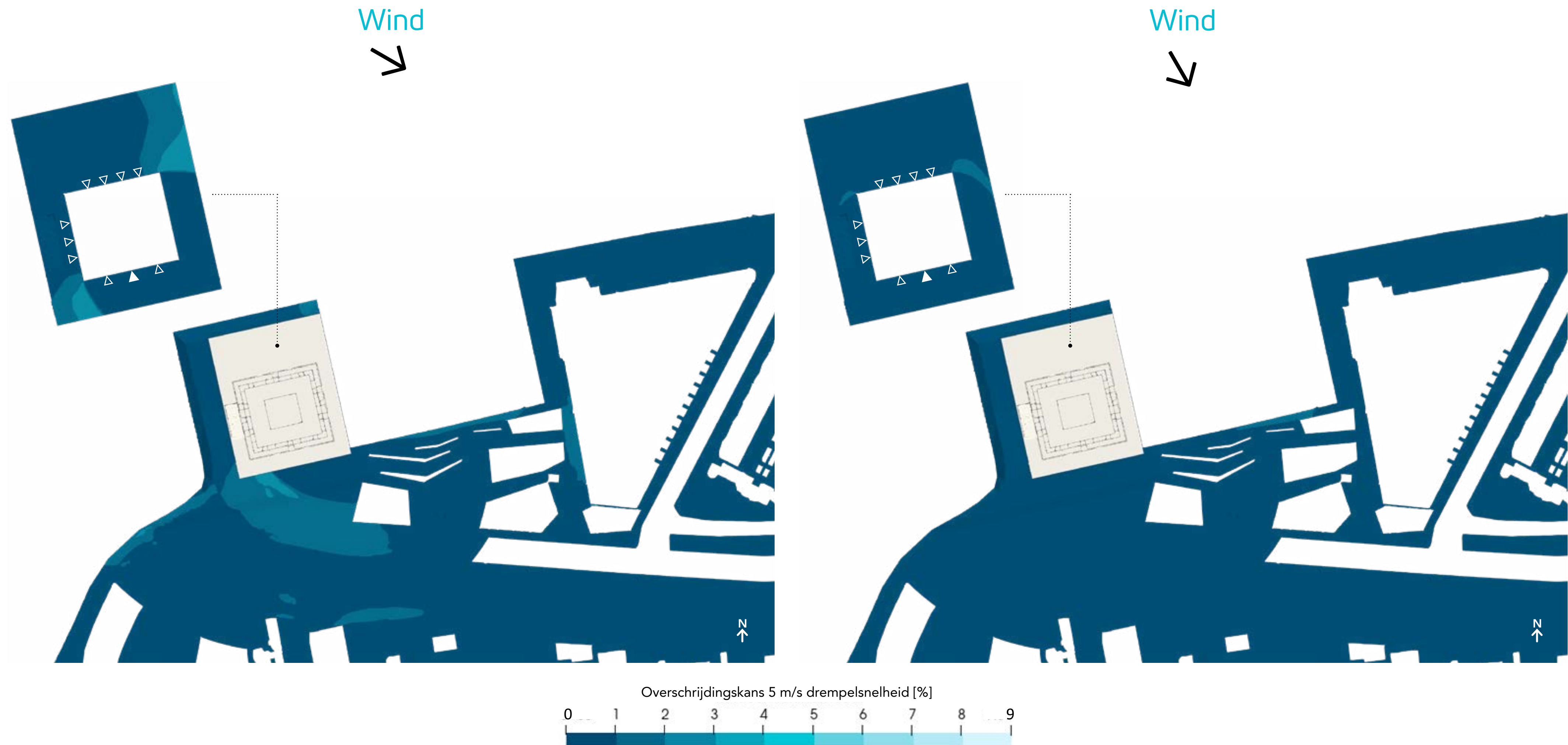
B Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen



B Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen



B Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen





Actiflow BV
Tramsingel 1
4814 AB Breda
+31 (0)76 5422 220
contact@actiflow.com
www.actiflow.nl