

Aafje Schiehoven te Rotterdam

CFD-onderzoek naar windhinder en windgevaar

Inhoudsopgave

1. Introductie	4	A Inlegvel NEN 8100:2006	16
2. Normstelling	5	B Situatie bladdragend en bladloze vegetatie, en jaargemiddeld	17
2.1 Windhinder en windgevaar		C Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen	19
2.2 Classificatie en beoordeling van windhinder en windgevaar			
3. Opzet van de berekening	7		
3.1 3D-Model en rekenrooster			
3.2 Vegetatie			
3.3 Windonderzoek methodiek			
3.4 Software			
3.5 Aannames en randvoorwaarden			
4. Resultaten	10		
5. Conclusie	15		

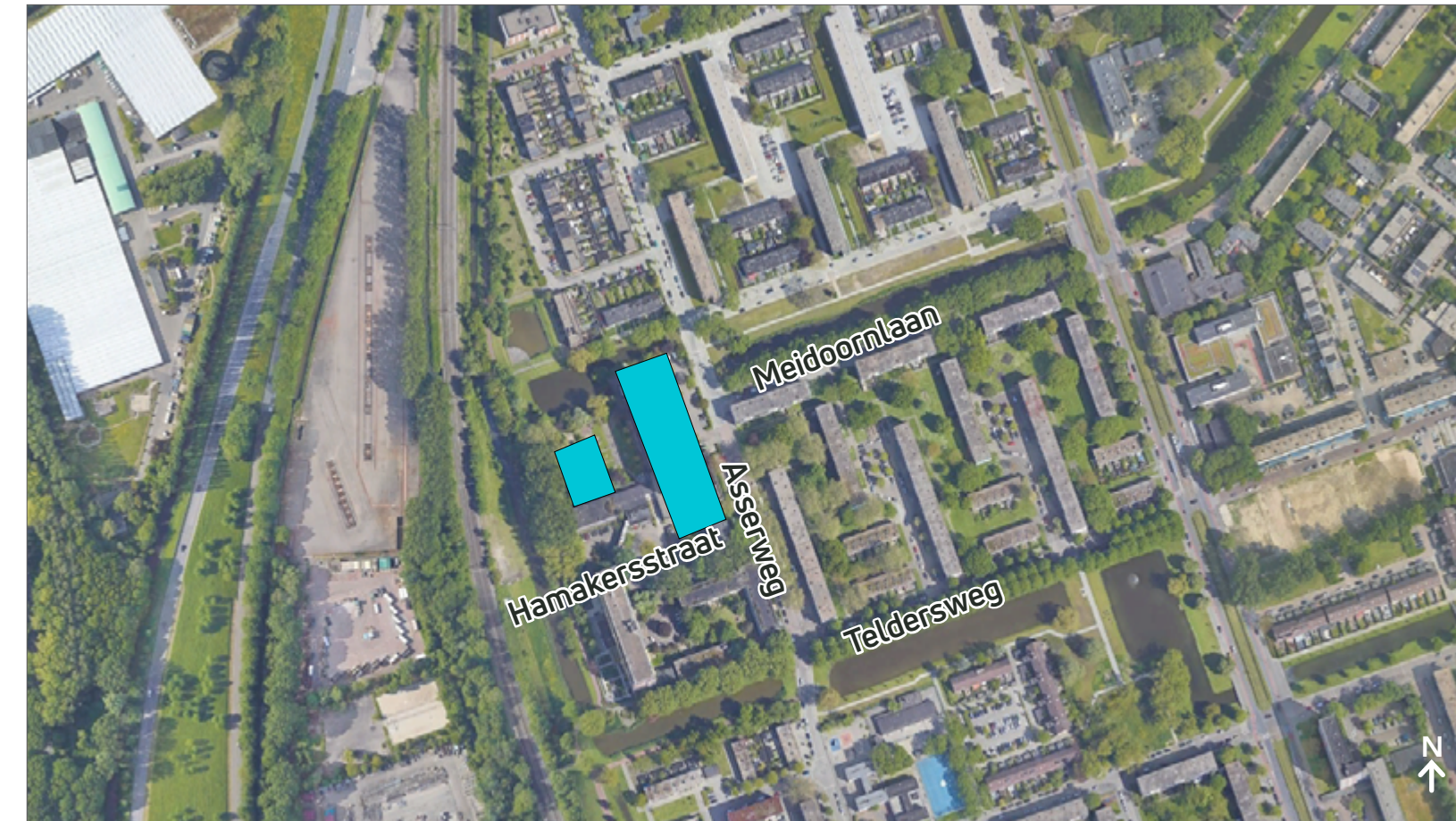
1 Introductie

Voorliggende rapportage omschrijft een windonderzoek, uitgevoerd door [Actiflow](#) in opdracht van AVB. Dit onderzoek is uitgevoerd voor de ontwikkeling van het project Aafje Schiehoven te Rotterdam.

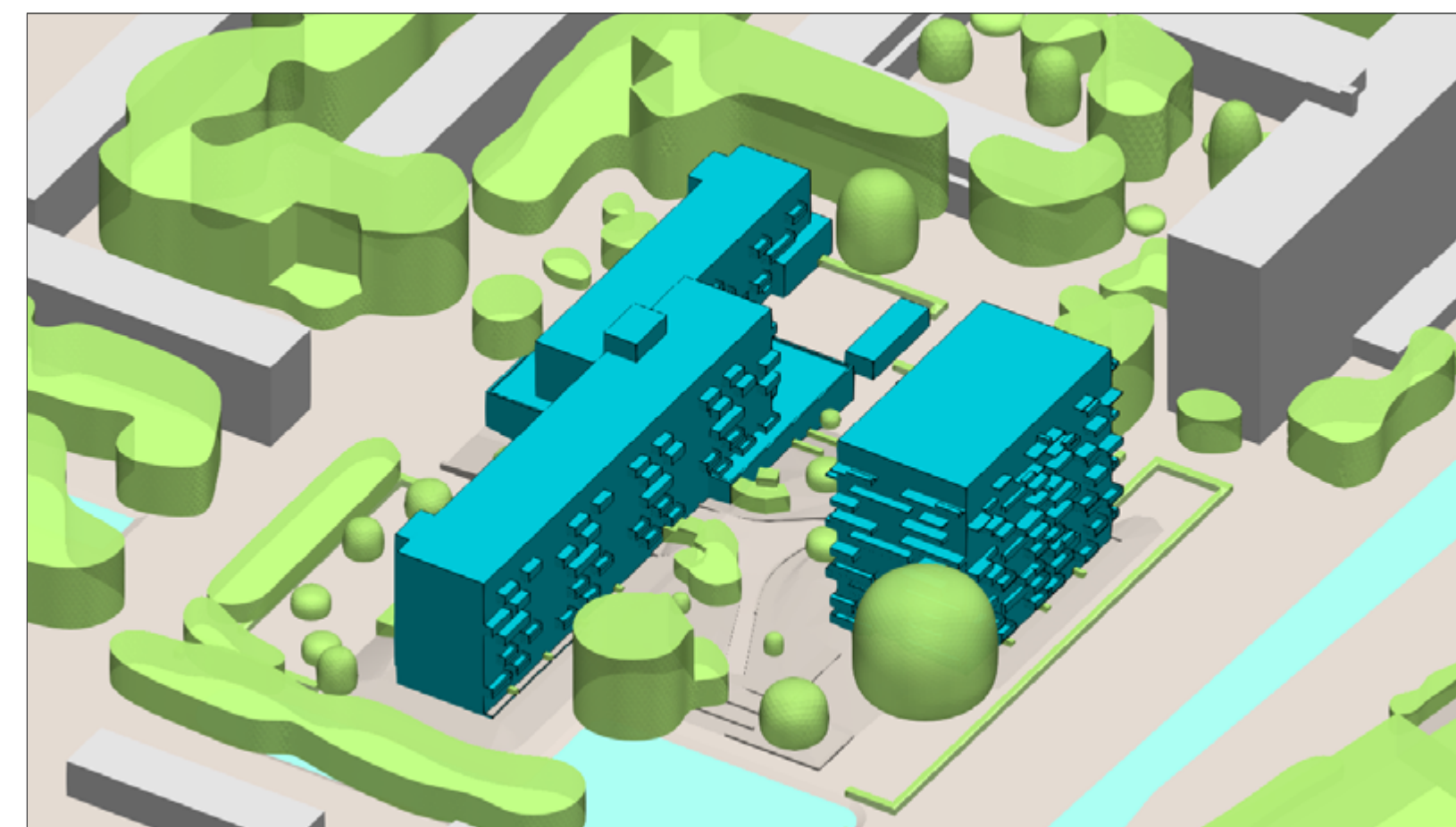
Het plangebied bevindt zich ten noorden van het centrum van Rotterdam. Het plangebied (blauw in figuur 1.1) wordt in het noorden, oosten en zuiden omgeven door een woonwijk met middelhoge appartementengebouwen en laagbouw. Verder in het oosten liggen de Bergse Plassen. Ten westen van het plan ligt een spoorlijn, gevolgd door een industriegebied met daarachter het vliegveld 'Rotterdam - the Hague Airport'.

De ontwikkeling omvat de vervangende nieuwbouw van een bouwvolume met een hoogte van circa 33 m. Deze is geplaatst op een podium, welke is verbonden met twee bestaande, gekoppelde volumes. Realisatie van de nieuwbouw zal leiden tot veranderingen in het windklimaat. Deze rapportage geeft inzicht in het risico op veranderingen in dit klimaat voor voetgangers in het openbaar gebied nabij de nieuwbouw.

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 weergegeven en uitgelegd in hoofdstuk 4. Ten slotte volgen de conclusies in hoofdstuk 5.



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



Figuur 1.2:
Impressie van het model van de toekomstige situatie
Zicht vanuit het noordwesten.

2 Normstelling

2.1 Windhinder en windgevaar

De normstelling betreffende het windklimaat in de openbare ruimte vindt haar oorsprong in NEN 8100:2006. In deze norm wordt onderscheid gemaakt tussen windhinder en windgevaar. De definitie van windhinder is het ondervinden van hinder door wind. In de norm wordt verondersteld dat dit bij een gemiddeld persoon zal optreden wanneer de lokale uurgemiddelde windsnelheid meer dan 5 m/s bedraagt. Aan de hand van de activiteit die op een bepaalde locatie wordt uitgevoerd kan deze periode van hinder beoordeeld worden. Zo zal in een gebied waar voetgangers enkel doorheen lopen een relatief lange periode van hinder geaccepteerd kunnen worden. Daarentegen zal het windklimaat in bijvoorbeeld een winkelstraat, bushalte of speeltuin pas acceptabel zijn wanneer de tijdsduur van windhinder beperkt is.

Aangenomen wordt dat windgevaar optreedt wanneer de uurgemiddelde lokale windsnelheid meer dan 15 m/s bedraagt. Windgevaar is het optreden van een zeer hoge windsnelheid, waardoor problemen optreden bij het lopen, zoals evenwichtsverlies. Ook hier kan een klein risico op windgevaar geaccepteerd worden bij minder kritische activiteiten, echter een groot risico op windgevaar is in alle voetgangersgebieden onacceptabel.

Figuren 2.1 en 2.2 tonen voorbeelden van windhinder en windgevaar voor voetgangers.



Figuur 2.1:
Verbeelding situatie van windhinder



Figuur 2.2:
Verbeelding situatie van windgevaar

2.2 Classificatie en beoordeling van windhinder en windgevaar

NEN 8100:2006 geeft de indeling voor windhinder in kwaliteitsklassen. Zowel windhinder als windgevaar worden hierbij op hoofdhoogte van een staande persoon, te weten 1,75 m boven het grondoppervlak, beoordeeld. De indeling in windhinderklassen is weergegeven in tabel 2.1. Aan de hand van de kans op overschrijdingsduur van de grenswaarde voor windhinder wordt bepaald in welke klasse een locatie valt. Afhankelijk van het gebruiksdoel van of activiteit op een specifieke locatie wordt een bepaalde klasse vervolgens beoordeeld als goed, matig of slecht:

- “Goed” betekent dat mensen zich comfortabel voelen en dat de wind nauwelijks voelbaar is.
- “Matig” betekent dat mensen de wind regelmatig zullen opmerken, maar niet vaak genoeg om storend te zijn voor de voorziene activiteit.
- “Slecht” betekent dat de wind vaak voelbaar is en hinderlijk is voor de voorziene activiteit. “Slecht” betekent niet dat de situatie onveilig is.

Tabel 2.1: Classificatie en beoordeling van het lokale windklimaat voor windhinder

Overschrijdingskans (Lokaal windsnelheid > 5 m/s) (% van het aantal uren per jaar)	Windhinderklasse	Beoordeling per activiteit		
		Doorlopen	Slenteren	Langdurig zitten ^a
< 2,5 % (< 219 uren)	A	Goed	Goed	Goed
2,5 - 5 % (219-438 uren)	B	Goed	Goed	Matig
> 5 - 10 % (> 438-876 uren)	C	Goed	Matig	Slecht
> 10 - 20 % (> 876-1752 uren)	D	Matig	Slecht	Slecht
> 20 % (1752 uren)	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 toont de indeling en beoordeling van de kans op windgevaar. Bij de beoordeling wordt niet direct onderscheidt gemaakt in activiteiten, echter wordt in NEN8100:2006 opgemerkt dat voor activiteitenklassen ‘Slenteren’ en ‘Langdurig zitten’ zelfs een beperkt risico al onacceptabel is. Dit betekent dat voor deze activiteitenklassen geldt dat enkel $p \leq 0,05$ acceptabel is. Een gevaarlijk windklimaat moet in elk voetgangersgebied worden vermeden.

Tabel 2.2: Classificatie en beoordeling van het lokale windklimaat voor windgevaar

Overschrijdingskans (Lokaal windsnelheid > 15 m/s) (% van het aantal uren per jaar)	Beoordeling
< 0,05 % (< 4,5 uren)	Geen risico
0,05 - 0,30 % (4,5-26 uren)	Beperkt risico
> 0,30 % (> 26 uren)	Gevaarlijk

3 Opzet van de berekening

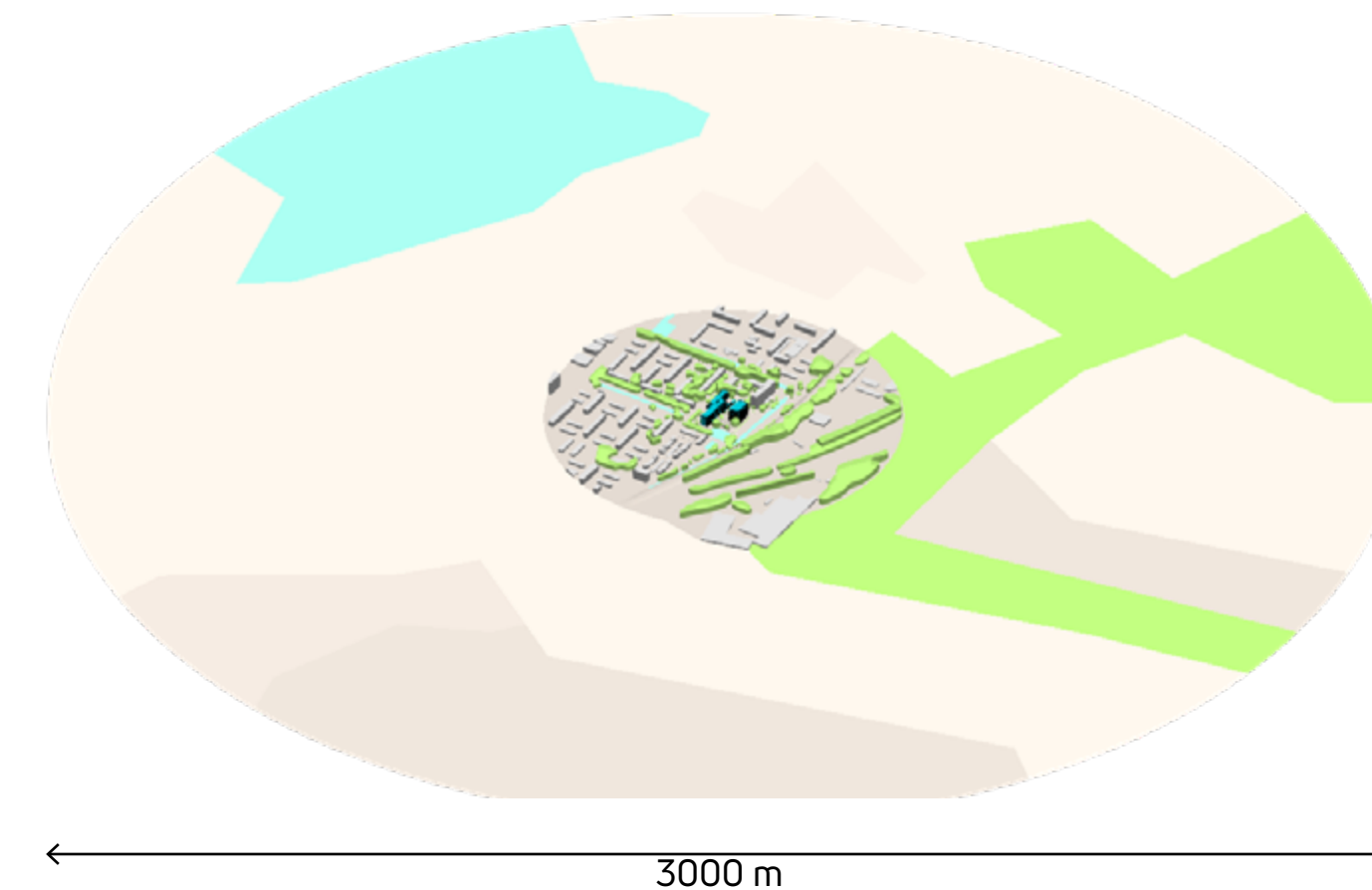
Het windonderzoek is uitgevoerd aan de hand van de richtlijnen in NEN8100:2006. Hierbij hanteert Actiflow een 'Kwaliteitsrapport', zoals dit ook benoemd wordt in NEN8100:2006. Hiermee wordt de kwaliteit van ons onderzoek de betrouwbaarheid van de resultaten gewaarborgd. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste elementen voor de opzet van de berekeningen weergegeven.

3.1 3D-Model en rekenrooster

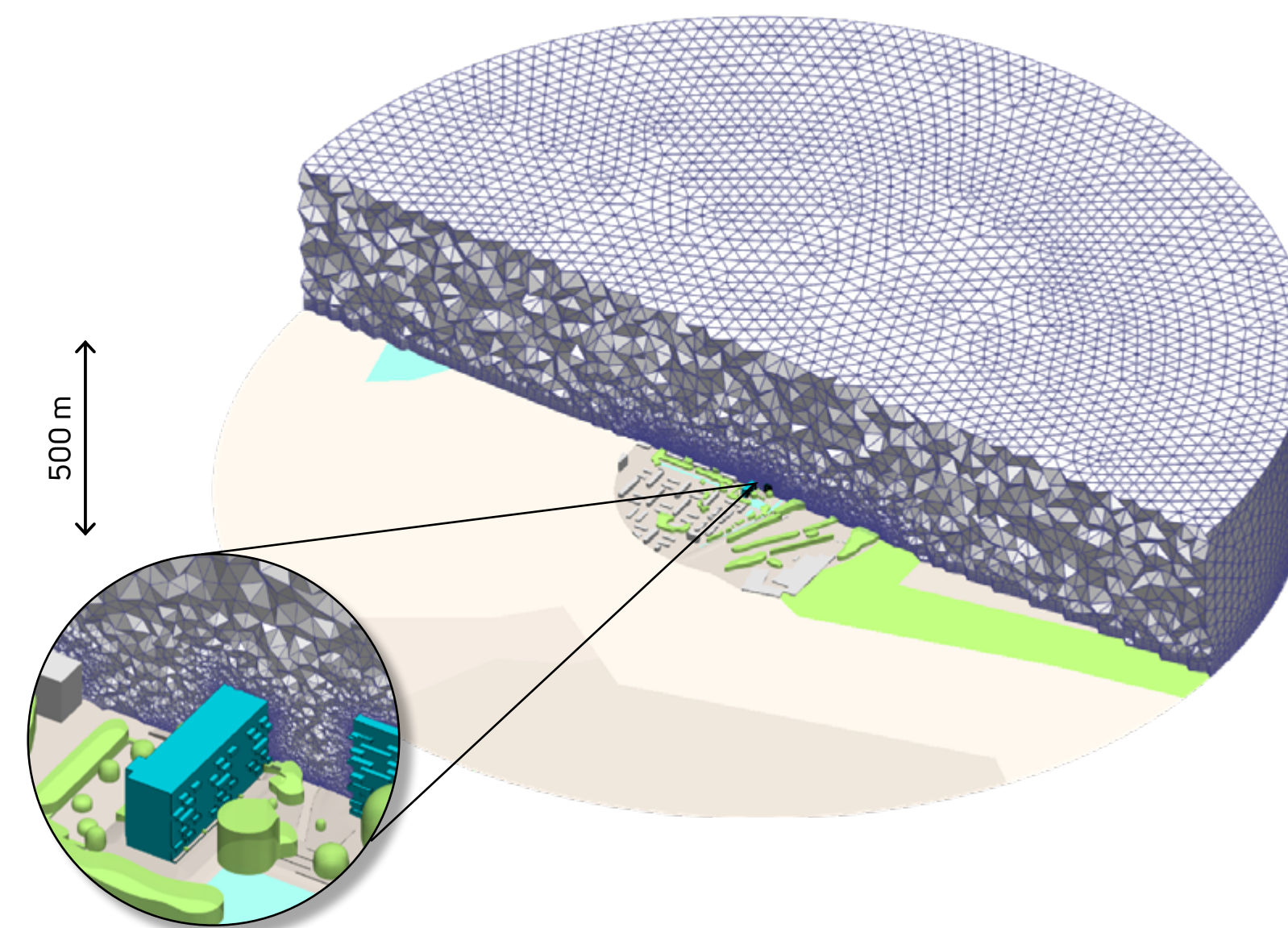
De geometrie van de model is gebaseerd op de verkregen tekeningen van de opdrachtgever. Het model omvat alle gebouwen binnen een straal van minimaal 300 m. Dit betreft de toekomstige situatie na toevoeging van de nieuwbouw in figuur 3.1.

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, dat 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 deze situatie (figuur 3.2). Dit rooster bestaat uit 24 905 280 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
Zicht vanuit het noordwesten.



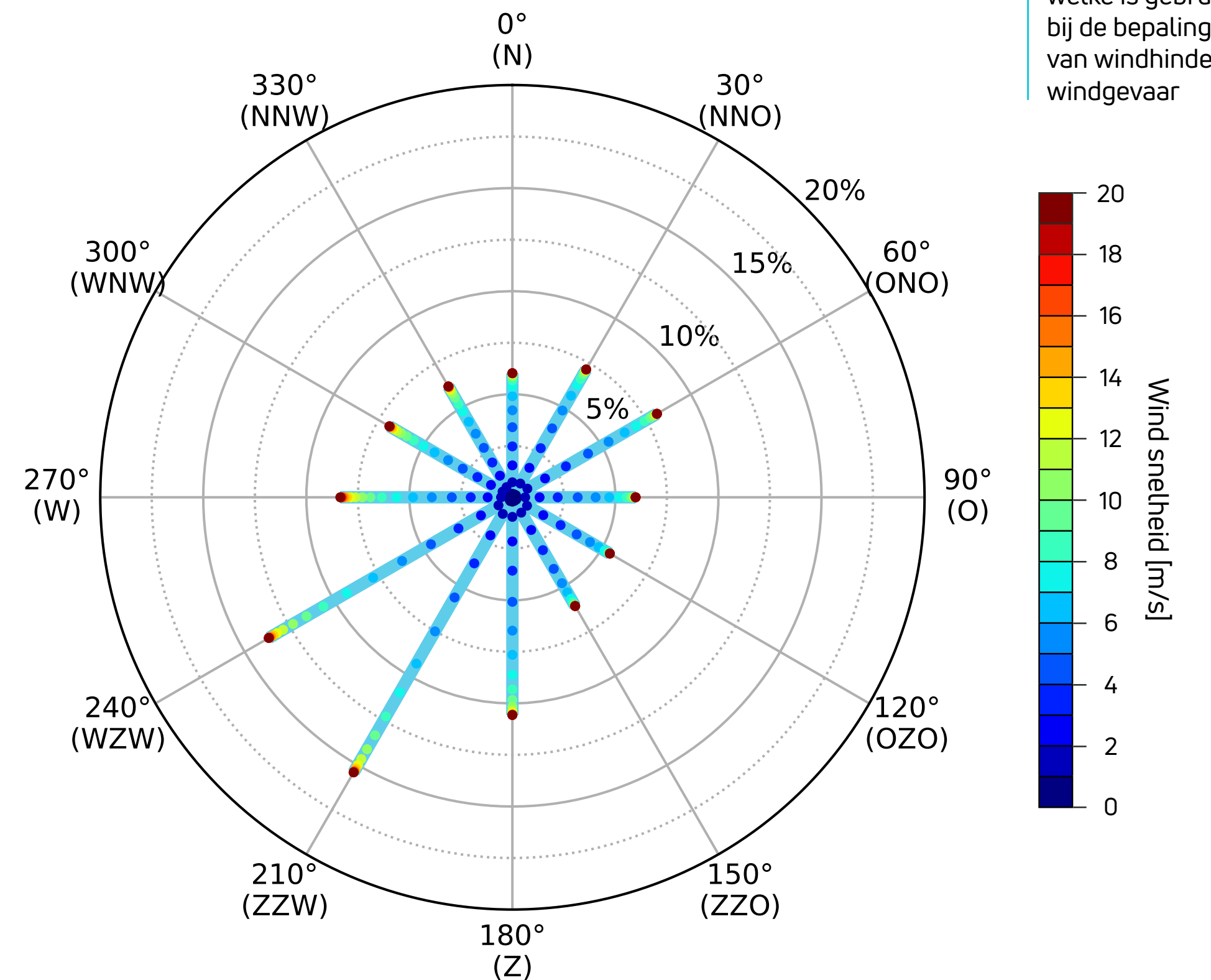
Figuur 3.2:
Doorsnede van het rekenrooster
Zicht vanuit het noordwesten.

3.2 Vegetatie

Vegetatie heeft een relevante invloed op het windklimaat en is daarom rondom het plangebied en op het eigen perceel opgenomen. Deze invloed verandert echter in de loop van het jaar, afhankelijk van het seizoen en het type vegetatie. Tegelijkertijd verschillen ook de windomstandigheden in de loop van het jaar. Op dit moment zijn windstatistieken niet voor elke maand of seizoen apart beschikbaar. Om een zo realistisch mogelijk beeld van het windklimaat te krijgen is daarom een vereenvoudiging nodig. In het bijzonder worden twee verschillende simulatiesets uitgevoerd voor het hele jaar: één met bladdragende vegetatie (vegetatietoestand in de zomer) en één met bladloze vegetatie (vegetatietoestand in de winter). De groenblijvende bomen, hagen en struiken worden in beide studies beschouwd als bladdragend. Het gemiddelde tussen de twee resultaten wordt vervolgens berekend om een overzicht te krijgen van het windklimaat over het hele jaar. De jaargemiddelde resultaten worden gerapporteerd en besproken in hoofdstuk 4 conform NEN8100:2006, terwijl de afzonderlijke resultaten voor het geval met bladdragende vegetatie en bladloze vegetatie worden gerapporteerd in bijlage B.

3.3 Windonderzoek methodiek

Om inzicht te krijgen in het windklimaat is de gehele windroos doorgerekend, te weten 12 windrichtingen. Voor elke windrichting die in beschouwing is 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

3.4 Software

De berekeningen zijn uitgevoerd met behulp van OpenFOAM v2206, 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 Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) vergelijkingen voor incompressibele vloeistoffen en houdt rekening met turbulentie. Voor de modellering van turbulentie is gebruik gemaakt van het SST $k-\omega$ model.

3.5 Aannames en randvoorwaarden

Voor de berekeningen is een referentie-windsnelheid van 5 m/s op een hoogte van 60 m opgegeven. Hierbij is een atmosferisch grenslaagprofiel toegepast. Er is aangenomen dat de atmosferische grenslaag een snelheidsprofiel heeft volgens vergelijking 3.1 en 3.2. 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 is κ de constante van von Kármán en die is gelijk aan 0,41. Deze empirische constante is gerelateerd aan het modelleren van grenslagen. 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 (SST $k-\omega$).

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

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

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

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

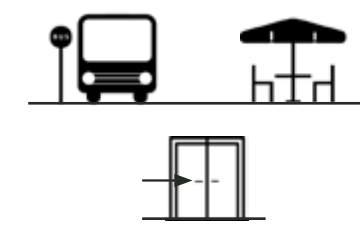
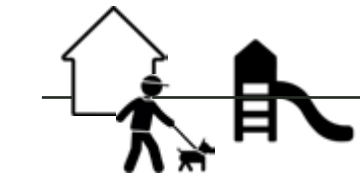

4 Resultaten

In deze sectie 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.

Figuren 4.1, 4.2 en 4.3 tonen de resultaten van de openbare buitenruimte. In figuur 4.2 worden de resultaten getoond voor de diverse activiteiten die benoemd worden in NEN8100:2006. Figuur 4.2a en b tonen de jaargemiddelde resultaten voor de activiteiten doorlopen en slenteren. Figuur 4.2c toont het resultaat voor de activiteit langdurig zitten. Deze activiteit vindt, in tegenstelling tot de andere activiteiten, typisch plaats tijdens dagen die een aangener klimaat kennen. Deze dagen zijn veelal gelegen in de lente- en zomermaanden, wanneer de aanwezige vegetatie volledig in het blad staat. Het hier getoonde resultaat is dan ook die van de berekeningen met al de vegetatie bladdragend.

Als richtwaarden voor de gewenste windhinderklassen wordt tabel 4.1 aangehouden.

Tabel 4.1: Richtwaarden van de windhinderklassen per activiteit

		Goed	Matig	Slecht
	<i>Langdurig zitten</i> en voetgangersactiviteiten ter plaatse van gebouwentrees, etc.	A	B	C, D en E
	<i>Slenteren</i> en op locaties die gezien kunnen worden als verblijfsgebied voor voetgangers	A en B	C	D en E
	<i>Doorlopen</i> op locaties met voor voetgangers louter een verkeersfunctie en geen verblijfsfunctie	A, B en C	D	E
Windgevaar dient bij voorkeur voorkomen te worden. Een beperkt risico kan lokaal geaccepteerd worden				

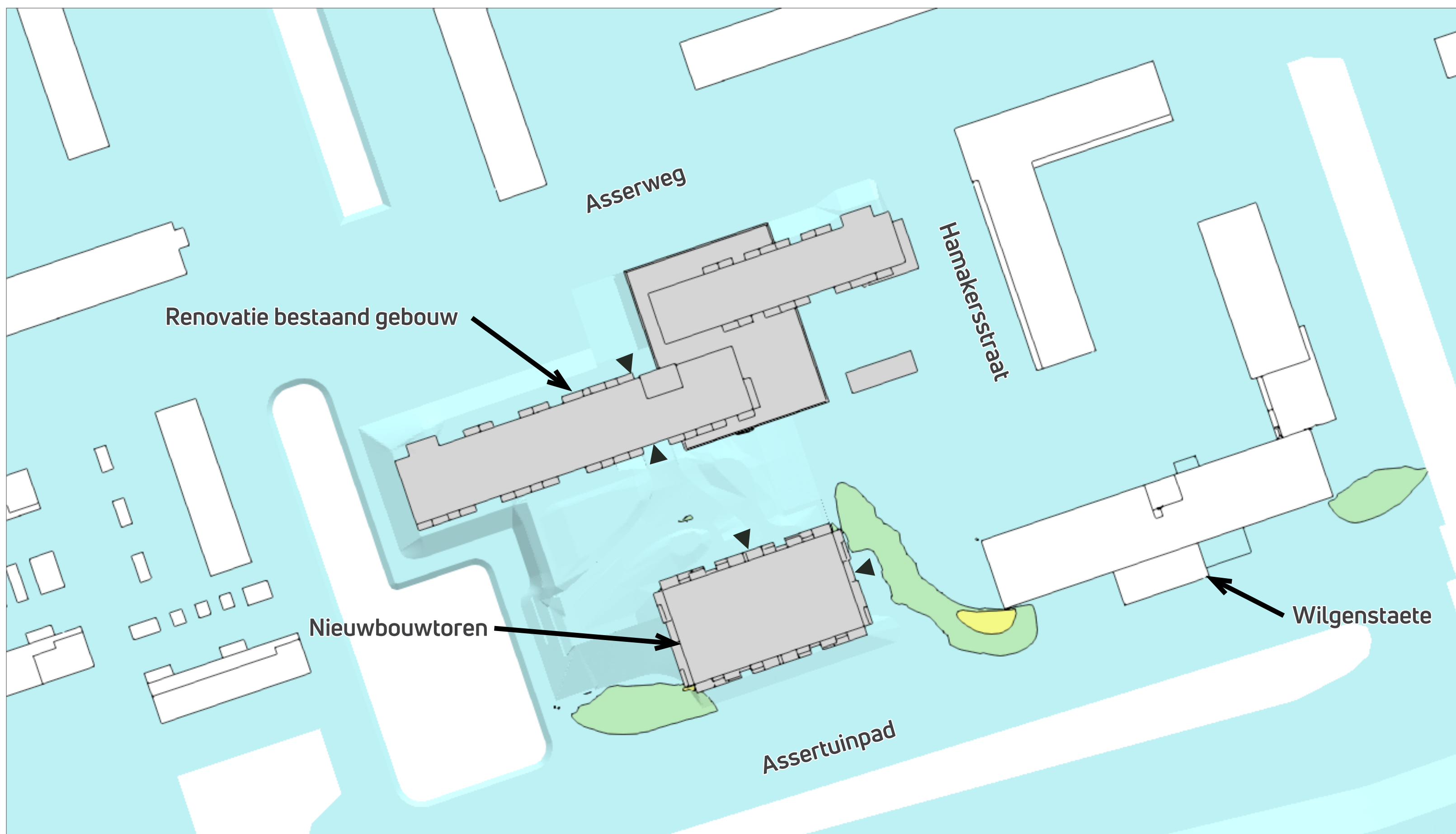
Het windklimaat in de openbare buitenruimte rond de nieuwbouw varieert van windhinderklasse A en B (matig tot goed voor iedere activiteit) tot windhinderklasse C (matig geschikt voor slenteren, goed geschikt voor de activiteit doorlopen), zie figuur 4.1.

Het windklimaat rond de bestaande bouwvolumes is te beschrijven als windluw. Hier komt enkel windhinderklasse A voor, wat het geschikt maakt voor iedere activiteit. De gebouw-entrees liggen hiermee ook in windhinderklasse A, welke een goed klimaat biedt voor deze functie.

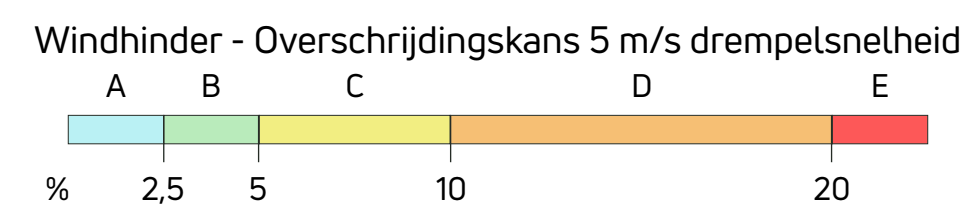
Het windklimaat rond de nieuwbouw is te beschrijven als windluw, met vooral windhinderklasse A en B (matig tot goed voor iedere activiteit), en een verwaarloosbaar kleine zone in de noordwesthoek van het gebouw met windhinderklasse C (matig geschikt voor slenteren, goed geschikt voor de activiteit doorlopen). In het zuiden van de nieuwbouwtoren is een zone met windhinderklasse B, welke oploopt tot windhinderklasse C aan de noordwesthoek van het gebouw "de Wilgenstaete". Deze zone met windhinderklasse C, wordt veroorzaakt door de wind die vanuit het zuidzuidwesten en westzuidwesten tegen het gebouw "de Wilgenstaete" aanstroomt. Deze wind stroomt vervolgens richting met maaiveld en krijgt nabij de hoek een versnelling mee door stroming rondom de hoek. Windhinderklasse C is matig geschikt voor slenteren en goed geschikt voor de activiteit doorlopen, zoals ook beschreven staat in tabel 4.1. Deze zone ligt in een park naast het gebouw "de Wilgenstaete", waar geen voetgangers activiteiten worden verwacht, waardoor deze windhinderklasse hier kan worden geaccepteerd.

Bij de nieuwbouw liggen de gebouw-entrees in windhinderklasse A, welke een goed klimaat biedt voor deze functie.

Er is geen beperkt risico of windgevaar in de directe omgeving van het gebouw.



Figuur 4.1:
Windhinder op voetgangersniveau



Figuur 4.2:
Windhinder op
voetgangsniveau
voor drie
verschillende
activiteiten



(a)
Beoordeling activiteit doorlopen



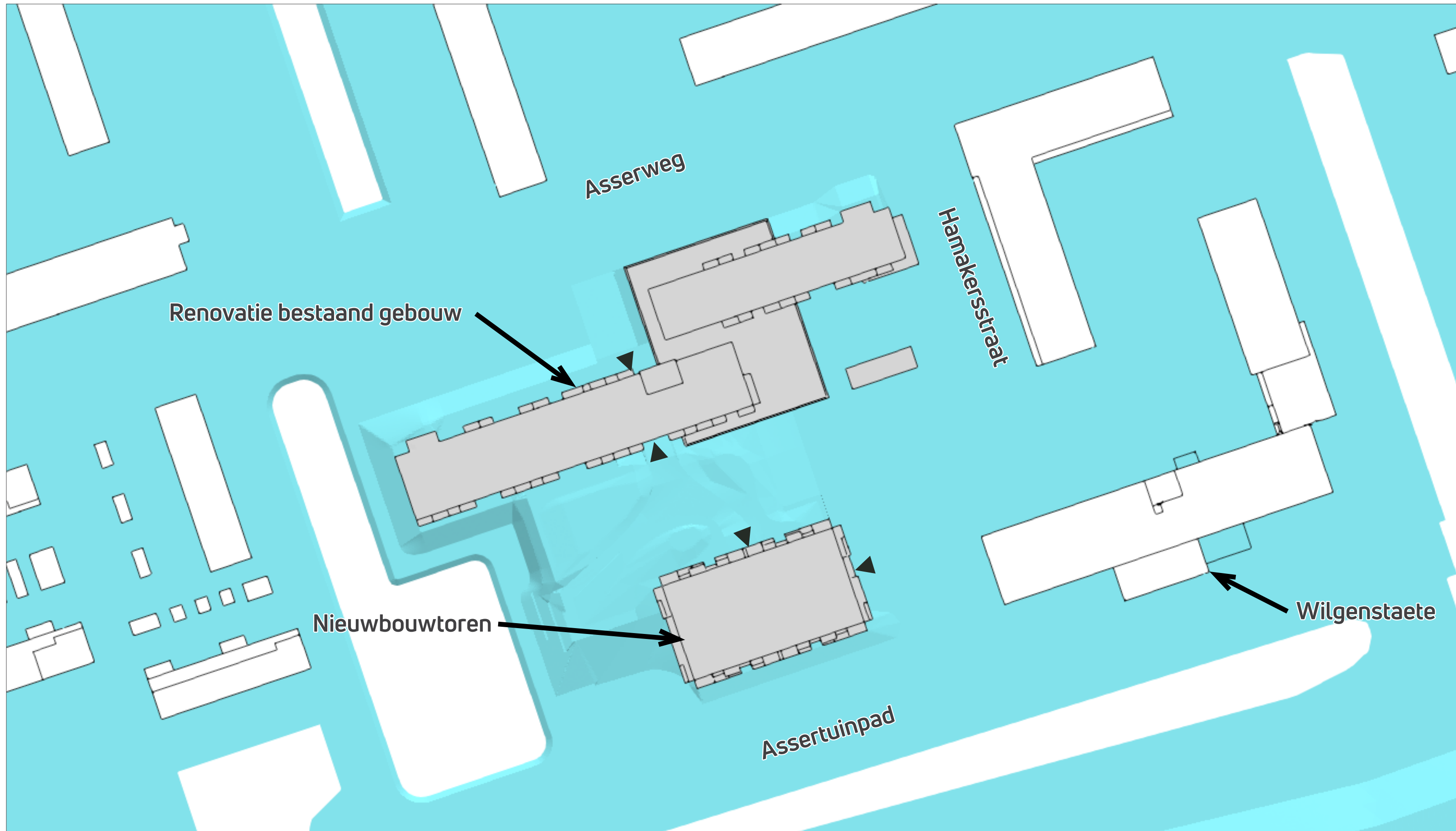
(b)
Beoordeling activiteit slenteren



(c)
Beoordeling activiteit lang zitten (situatie bladdragend)

N ←





Figuur 4.3:
Windgevaar op
voetgangsniveau



5 Conclusie

Dit rapport beschrijft een windonderzoek uitgevoerd door [Actiflow](#) voor het project Aafje Schiehoven te Rotterdam. Door de plaatsing van de nieuwbouw zal het lokale windklimaat beïnvloed worden. [Actiflow](#) is gevraagd een onderzoek uit te voeren op basis van de Nederlandse norm "NEN 8100:2006: Windhinder en windgevaar in de gebouwde omgeving". Hierbij is een geometrisch model van het gebouw en zijn omgeving opgesteld. Een rekenrooster met hoge resolutie is rond deze geometrie opgetrokken als basis voor Computational Fluid Dynamics (CFD)-simulaties van de windstroming.

Het windonderzoek laat het volgende zien:

- Het heersende windklimaat in het projectgebied varieert van windhinderklasse A (geschikt voor alle activiteiten) tot C (matig geschikt voor slenteren, goed geschikt voor de activiteit doorlopen).
- De zones met windhinderklasse C bevinden zich op locaties waar geen voetgangersactiviteiten worden verwacht, en zullen daardoor geen hinder veroorzaken.
- De gebouw-entrees ondervinden een geschikte windhinderklasse voor het gebruik van de entrees.
- Er is geen risico of beperkt risico op windgevaar gevonden in het plangebied.

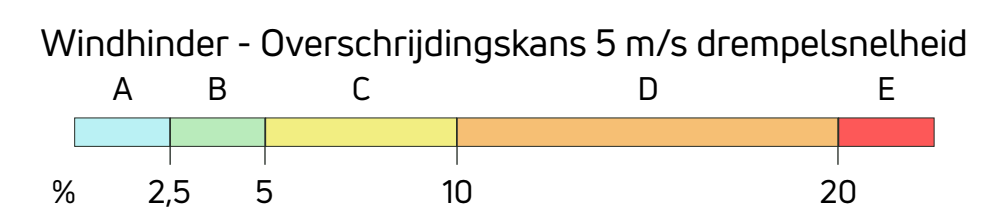
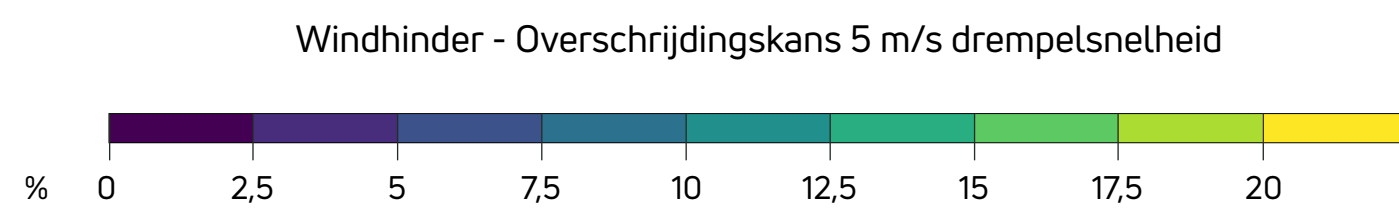
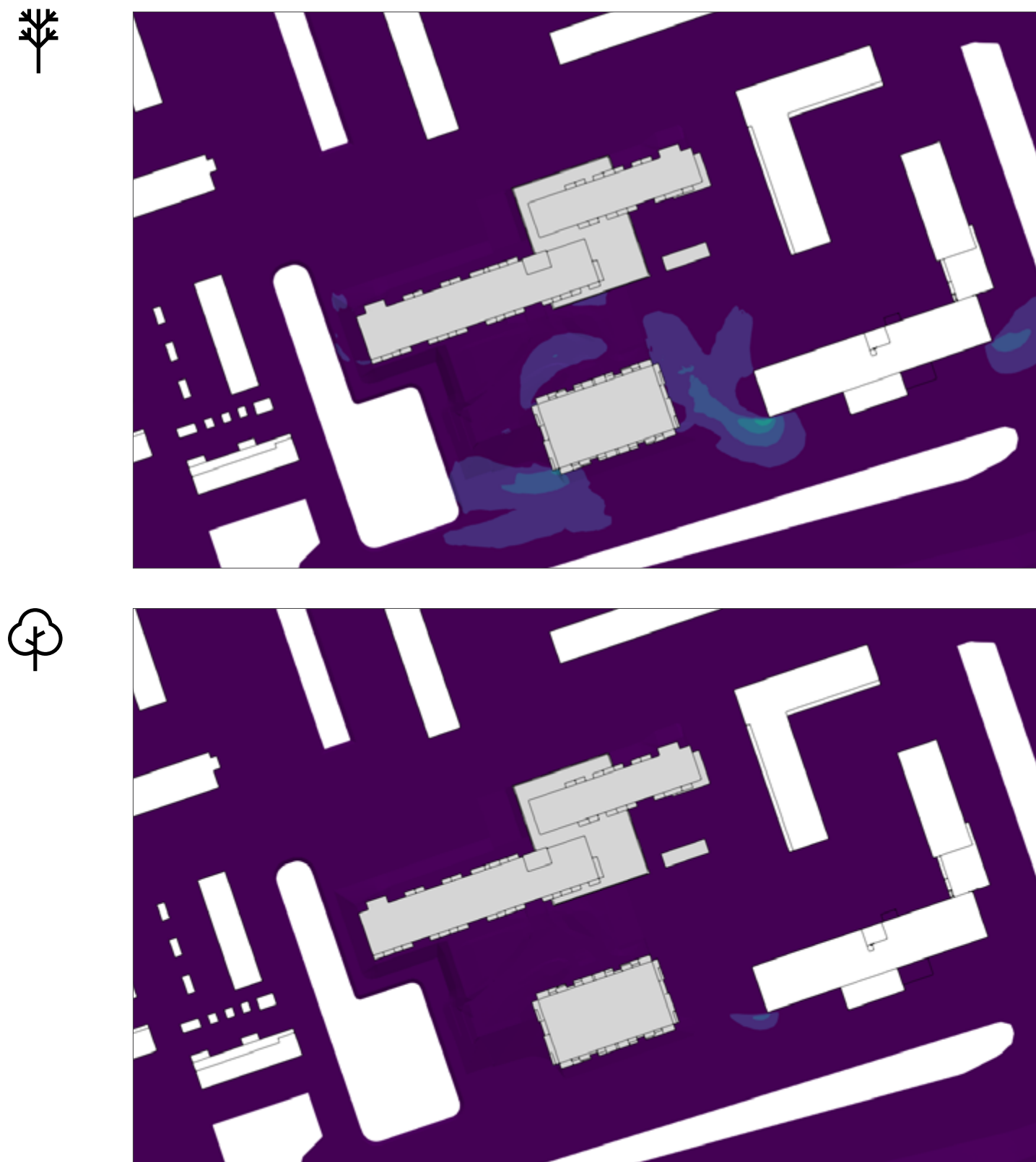
Wij concluderen dan ook dat de invloed van de nieuwbouw op het windklimaat beperkt is en dat er na realisatie een acceptabel windklimaat zal heersen.

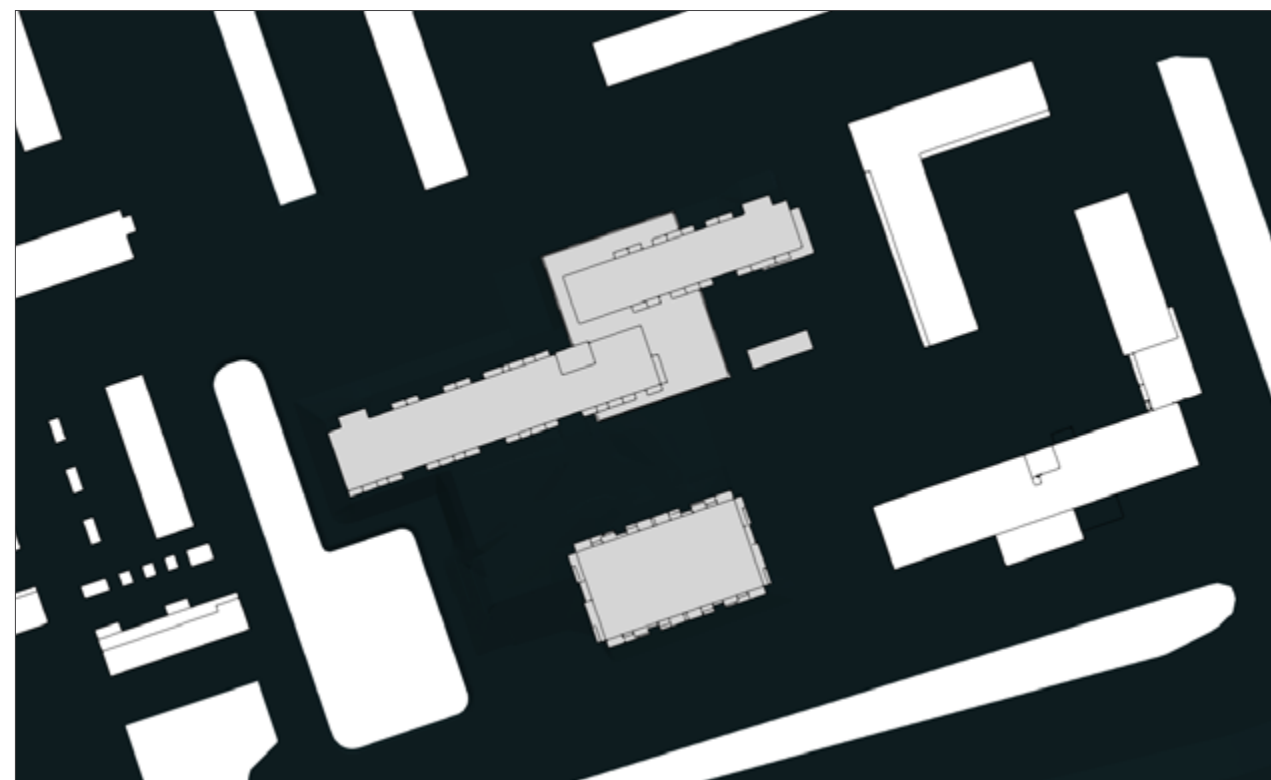
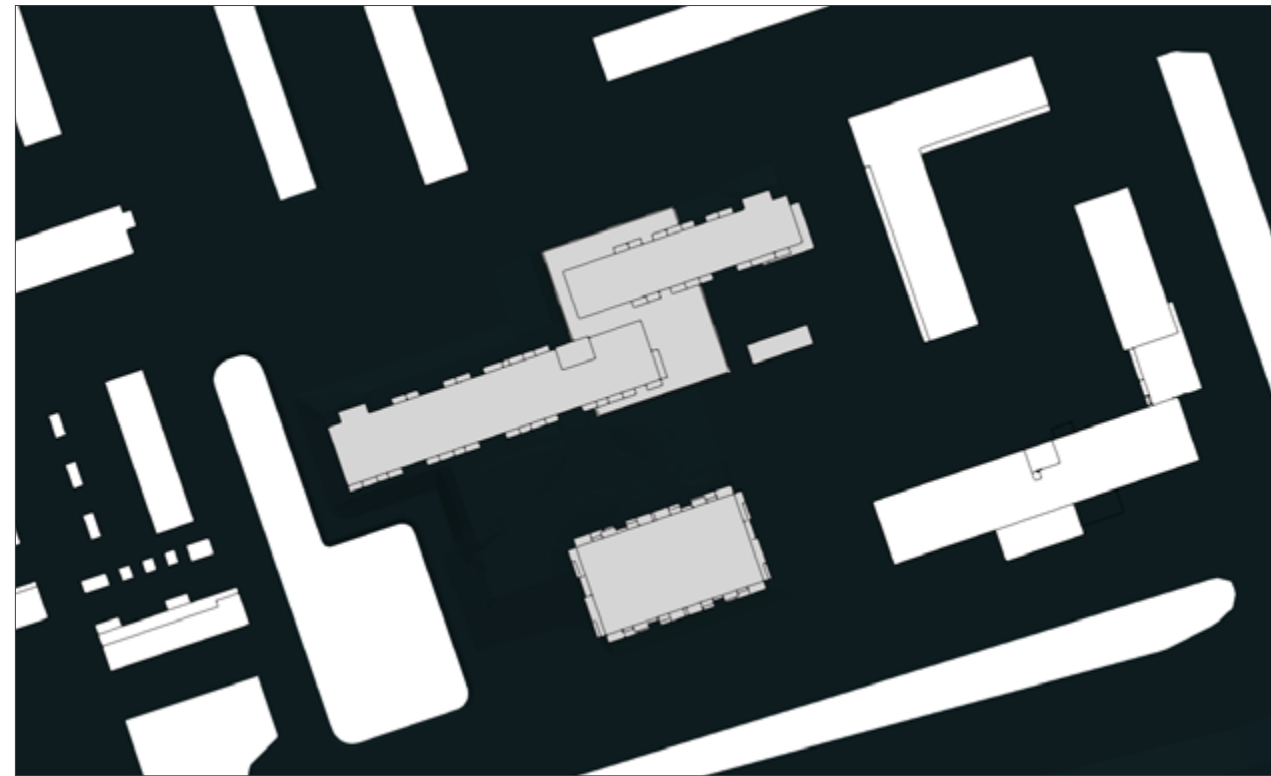
A Inlegvel NEN 8100:2006

Project	Projectgegevens
Projectnaam	Aafje Schiehoven
Opdrachtgever	AVB
Projectleider Actiflow	■■■■ ■■■■
Datum	10-02-2023
Model	Algemene gegevens van het model
Omvang gemodelleerd gebied	Bebouwing binnen 300m rondom projectgebouw
Kerngebied	Nieuwbouw en de directe omgeving
Omgeving	Gemodelleerd als eenvoudige volumes
Afmetingen model	Rond met straal 1.500 m en hoogte 500 m
Blokkeringsgraad	Maximaal 3 %
Gemodelleerd groen	Bomen en struiken: poreuze zone, struiken ook bladdragend in de winter.
Onderzochte windrichtingen (minimaal 12 over de windroos)	12 (rondom in stappen van 30 graden)
Onderzochte configuraties	1 configuratie: nieuwbouw in bestaande omgeving
Computeropstelling	Specifieke gegevens van gebruikte programmatuur
Programmatuur	<input checked="" type="checkbox"/> FVM (eindige volume methode) <input type="checkbox"/> FEM (eindige elementen methode) <input type="checkbox"/> anders Programmatuur: OpenFOAM Versie: of2206
Algemeen	<input checked="" type="checkbox"/> drie-dimensionaal <input type="checkbox"/> tijd-onafhankelijk <input checked="" type="checkbox"/> isothermisch <input type="checkbox"/> passieve scalars <input type="checkbox"/> twee-dimensionaal <input type="checkbox"/> tijd-afhankelijk <input type="checkbox"/> thermisch <input type="checkbox"/> actieve scalars Overige:
Rekenrooster	Hybride ongestructureerd: tetraëders met prismalaag Basis: 24.905.280 cellen
Turbulentiemodellering	SST k- ω
Convectieve differentieschema's	Snelheidscomponenten: linearUpwindV cellLimited leastSquares 1 Turbulente grootheden: limitedLinear 1 Scalaire variabelen: n.v.t.
Randvoorwaarden	Gebuurde randvoorwaarden
Instroomprofiel	Logaritmische atmosferische grenslaag, $z_0 = 1,6m$
Uitlaat	Druk-uitlaat
Boven-/Zijwanden	Slipwanden
Vloer/bodem	No-slip, ruwe wand
Overige	No-slip, ruwe wand/gladde wand

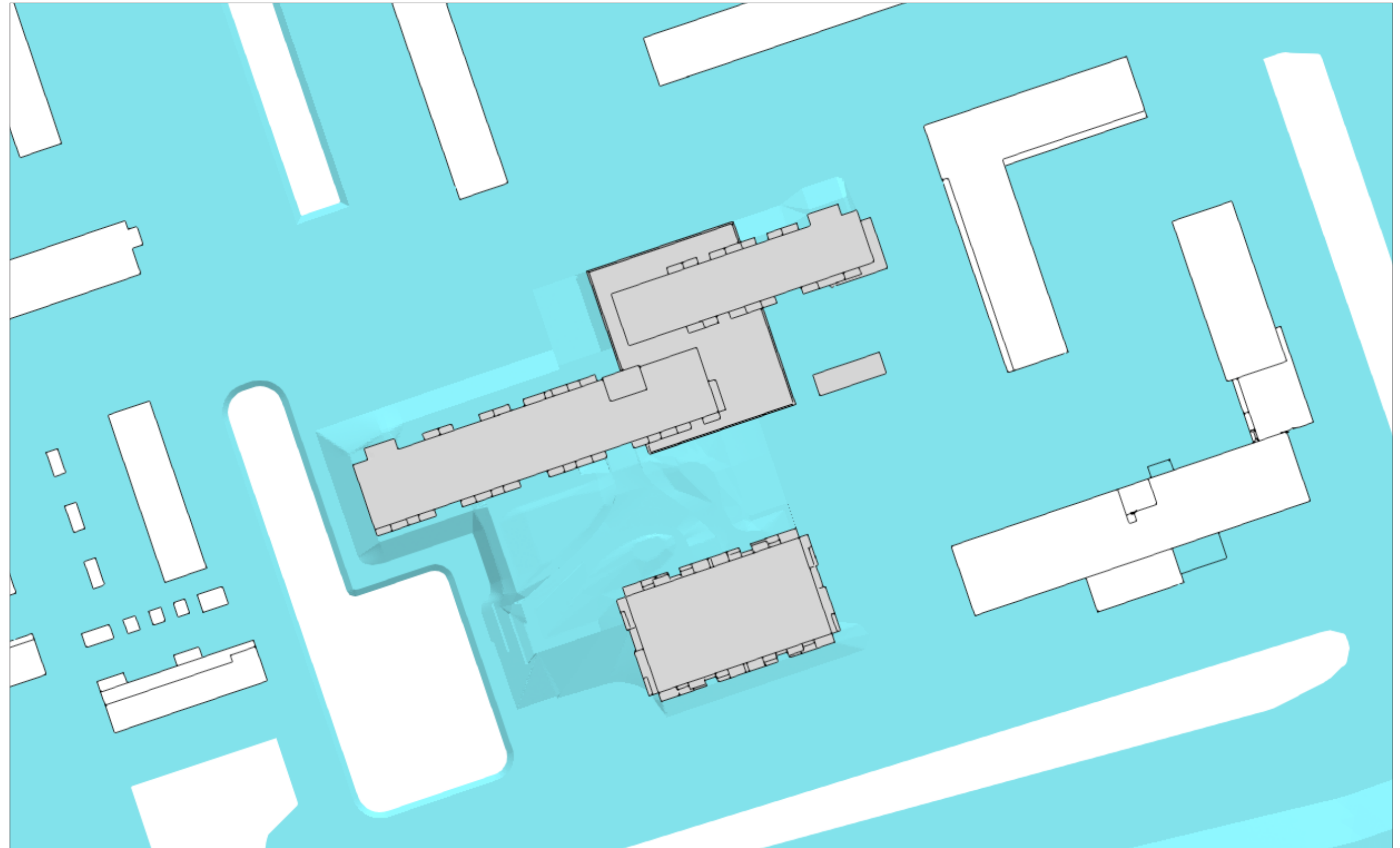
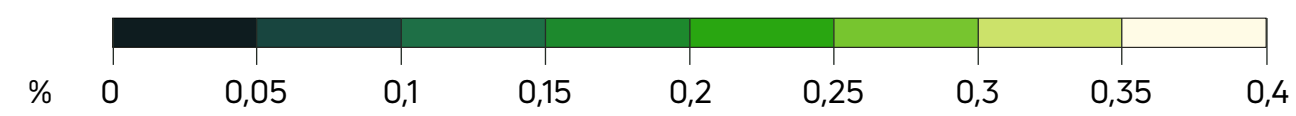
Gegevensverwerking en beoordeling	Informatie voor locatie en berekening windklimaat			
Amersfoortse coördinaten van de locatie	X: 091556		Y: 440855	
Toegepaste eisen	V_{DR} m/s	Gewenste kwaliteits-klasse	Overschrijdings-kans % $p(V_{LOK} > V_{DR,H})$	Beoordeling
Voor comfort				
Doorlopen	5,0	A,B,C	$p < 10$	Goed
Slenteren	5,0	A,B	$p < 5$	Goed
Zitten	5,0	A	$p < 2,5$	Goed
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	$p \geq 0,3$	gevaarlijk
Gepresenteerde resultaten	Windhinder contouren en klassenindeling, windgevaar gevulde contour			
Opmerkingen en eventuele conclusies van proefoverschrijdend belang	Geen			

B Situatie bladdragend en bladloze vegetatie, en jaargemiddeld

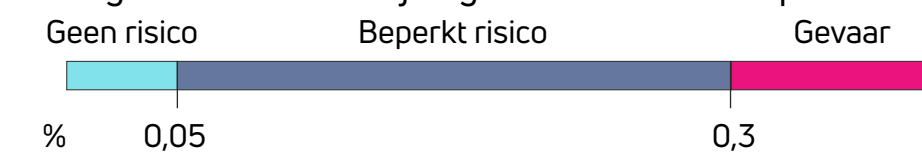




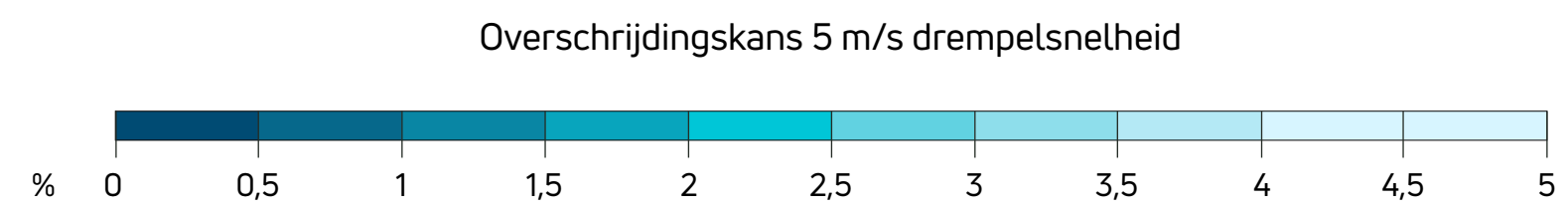
Windgevaar - Overschrijdingskans 15 m/s drempelsnelheid (%)



Windgevaar - Overschrijdingskans 15 m/s drempelsnelheid

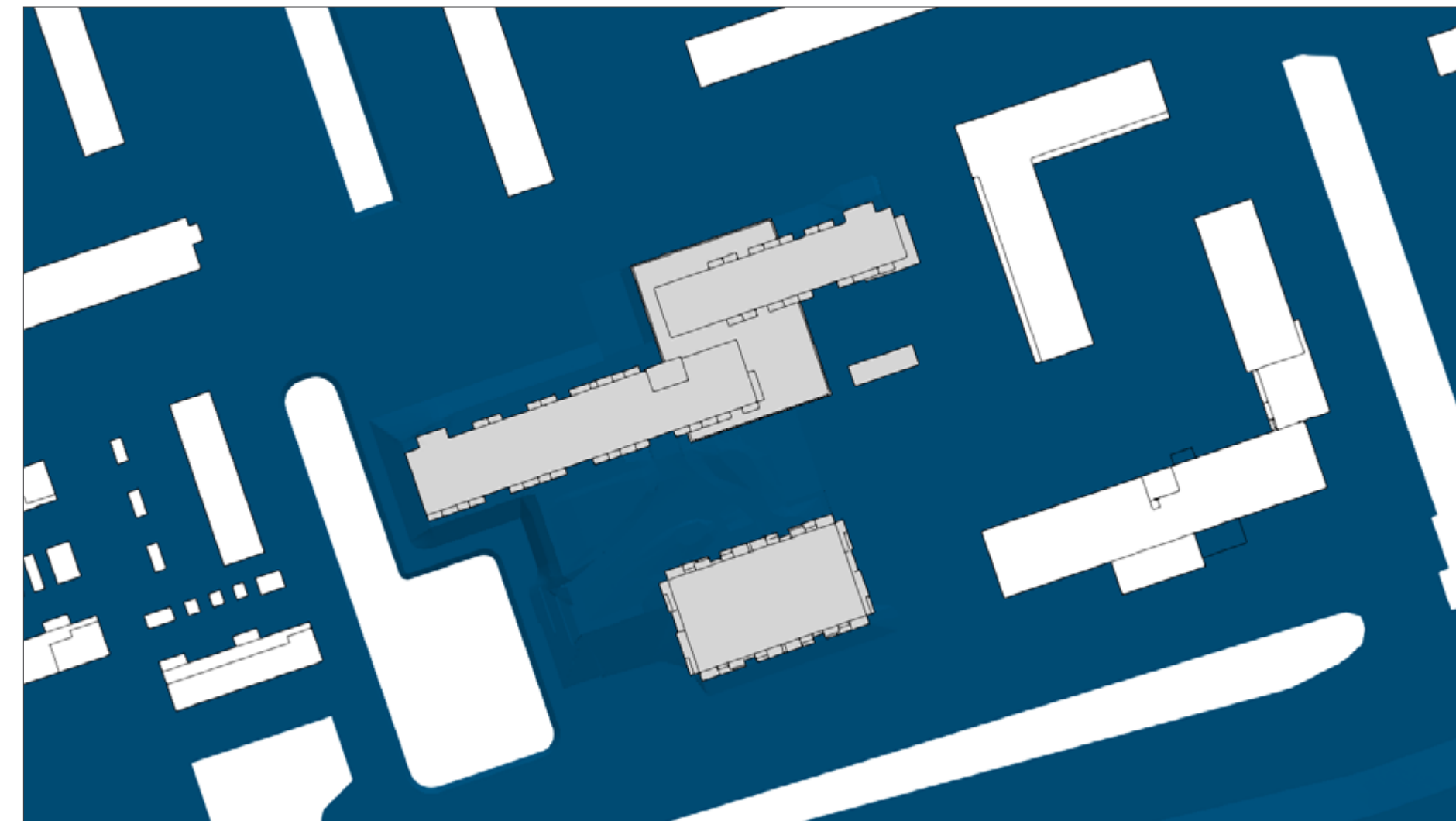
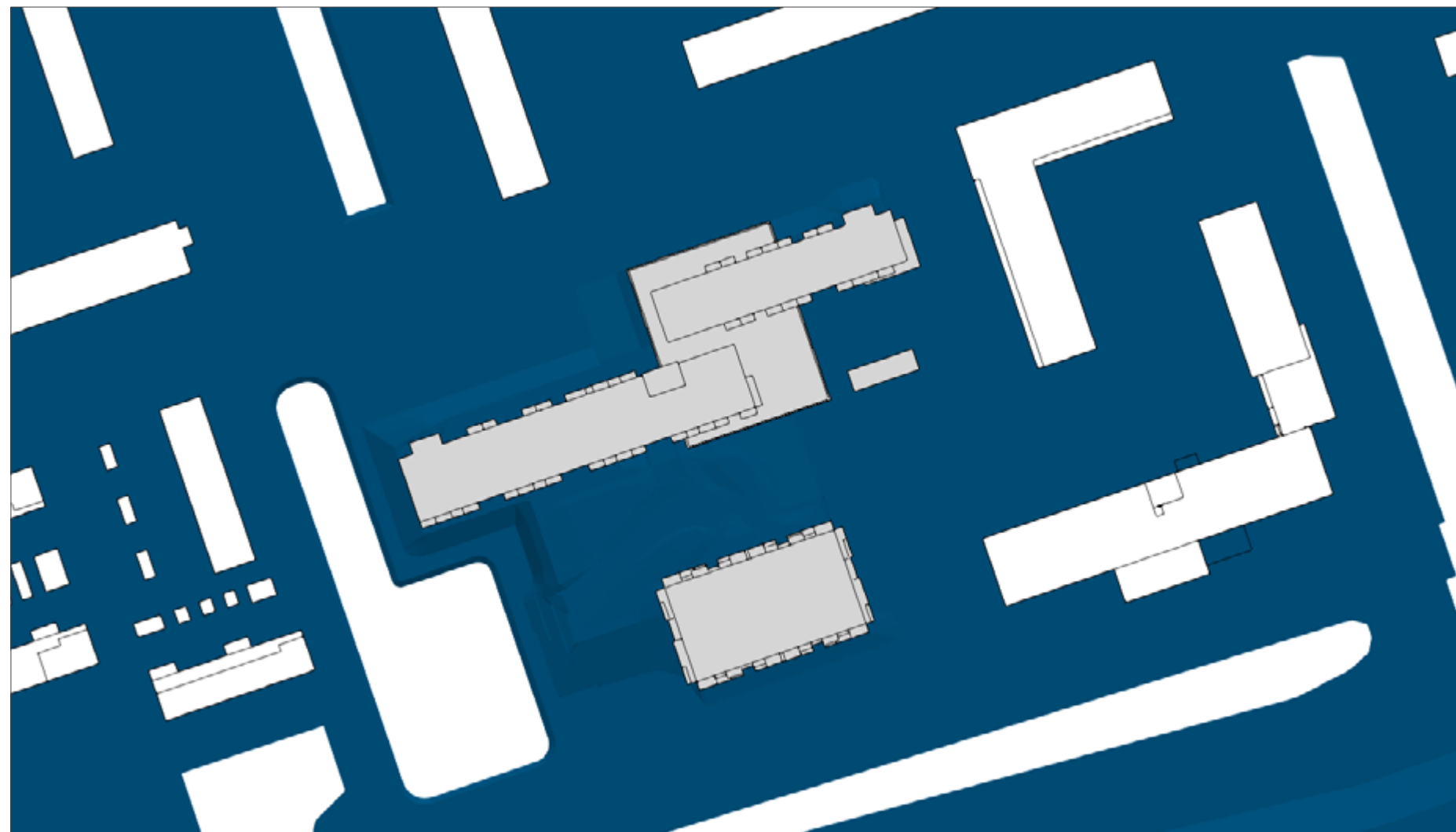


C Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen

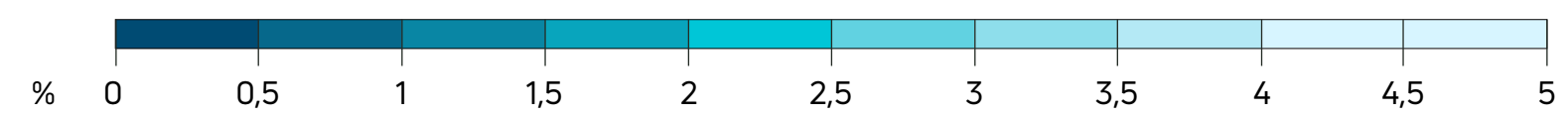


Wind
←

Wind
←

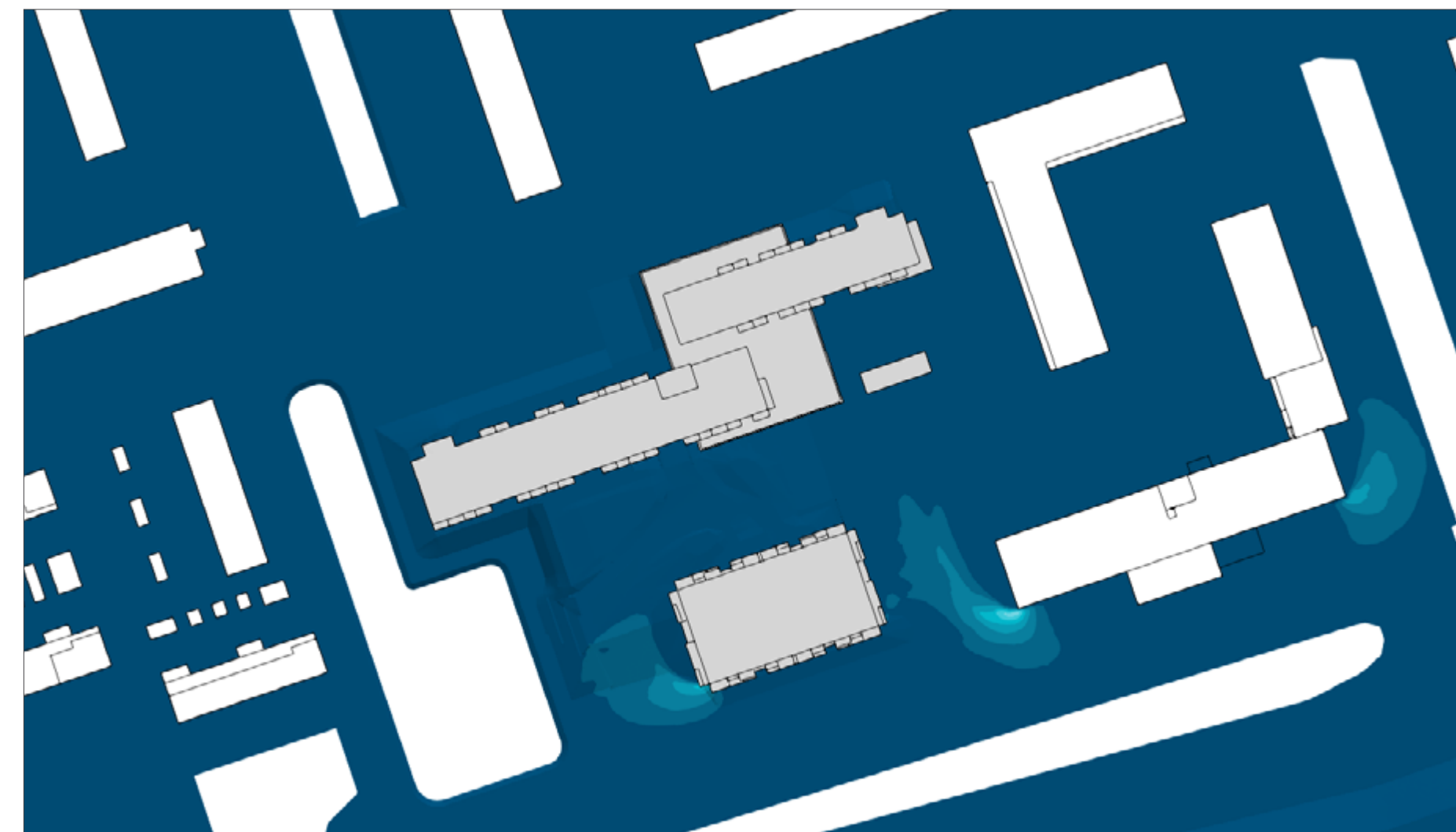
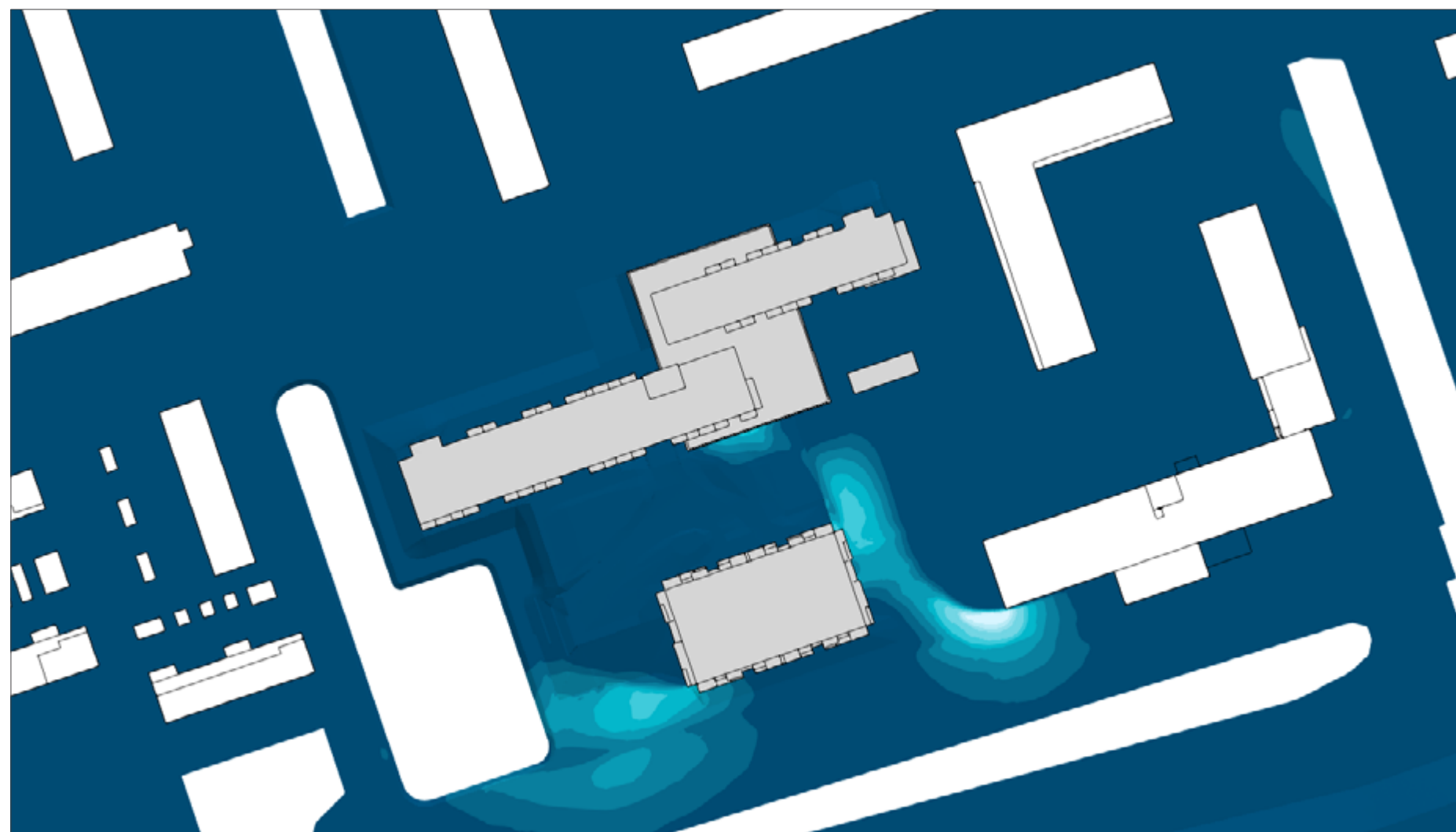


Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid

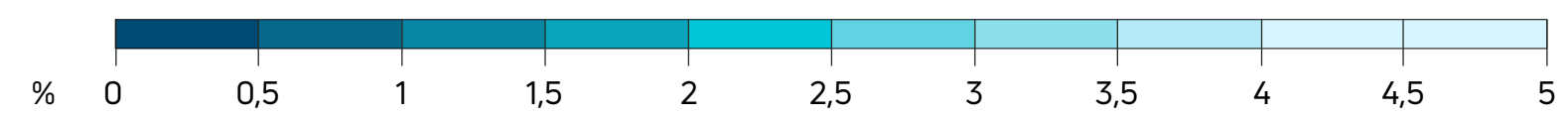


Wind
↙

Wind
↙

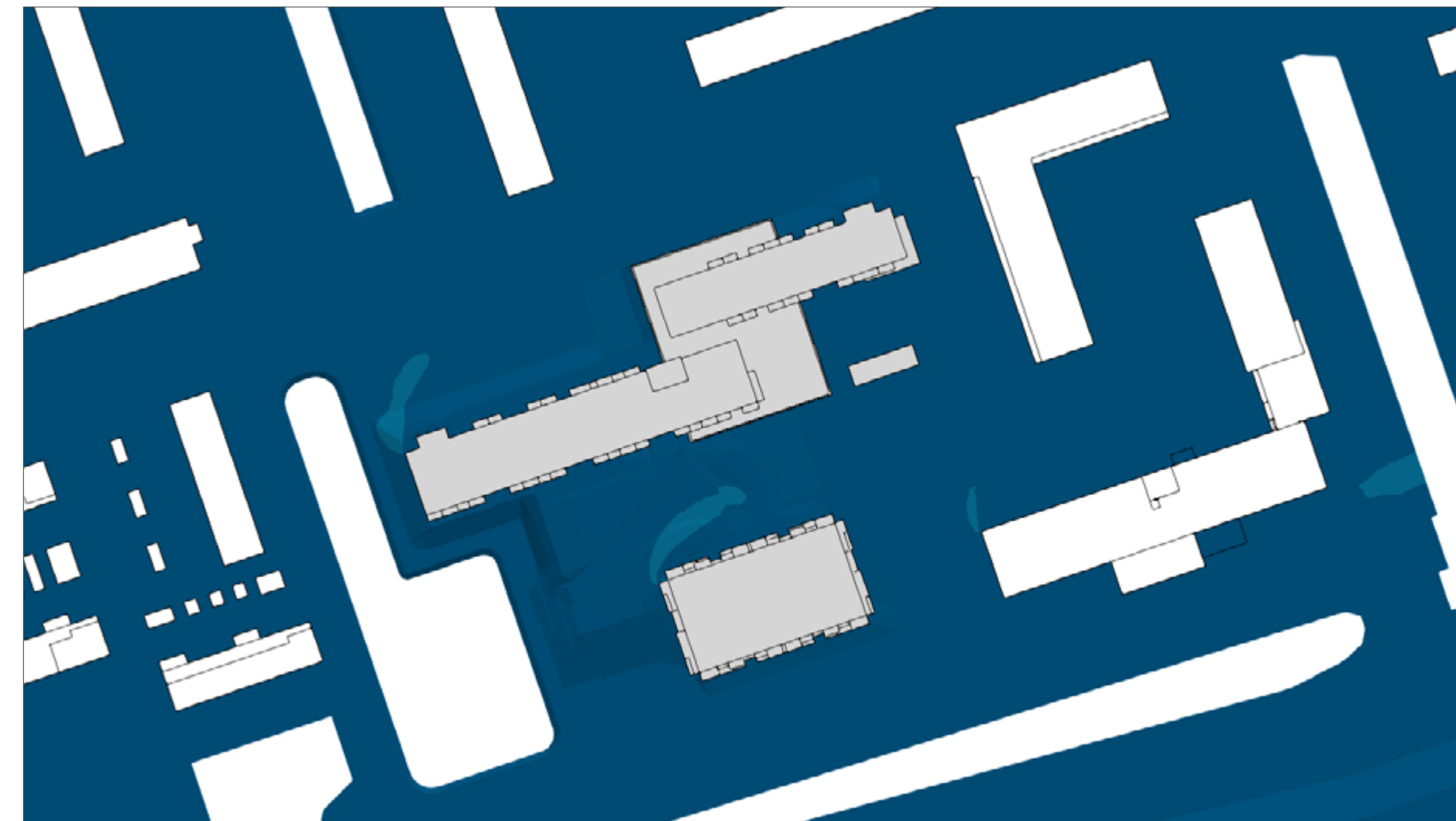
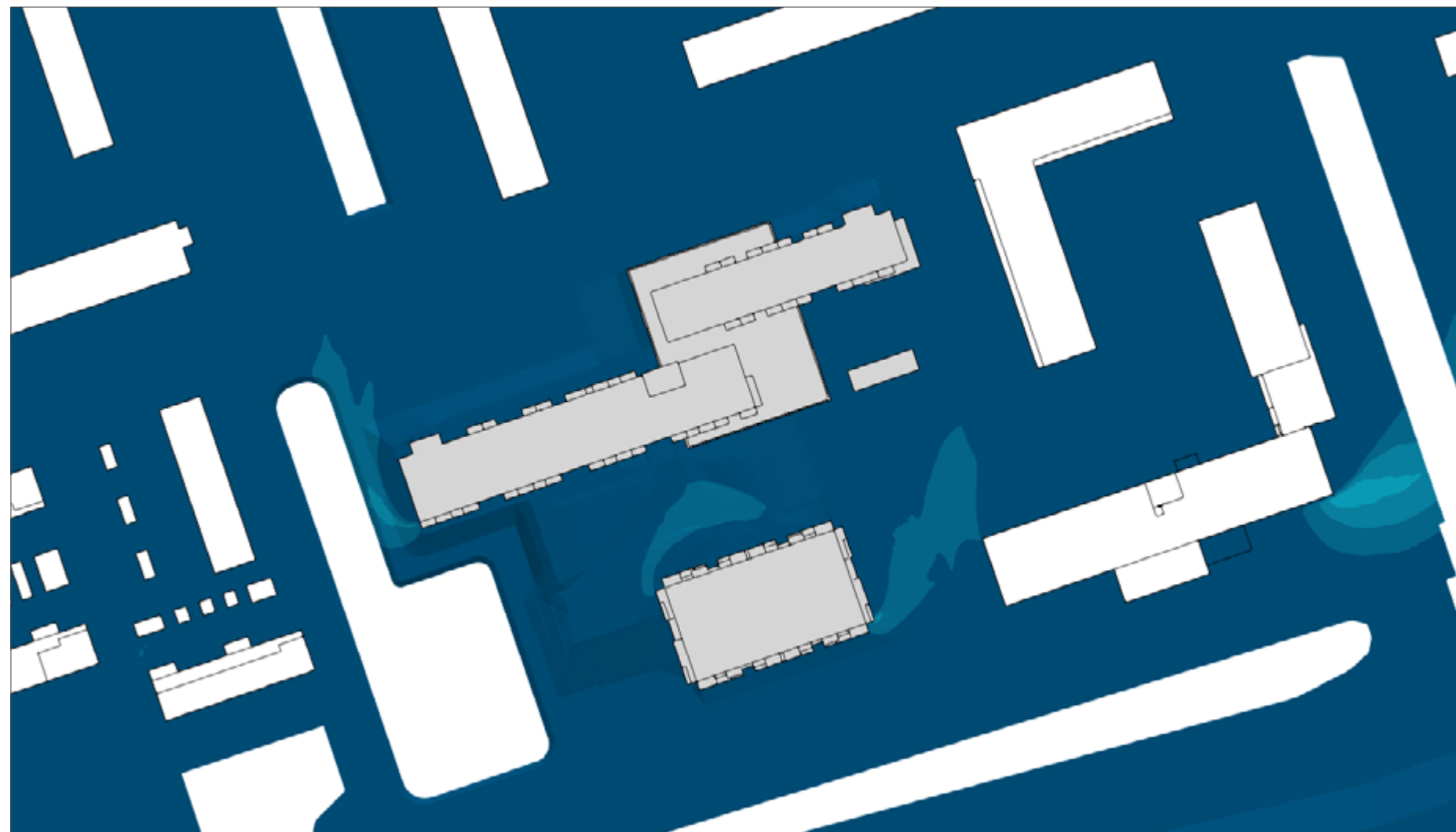


Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid



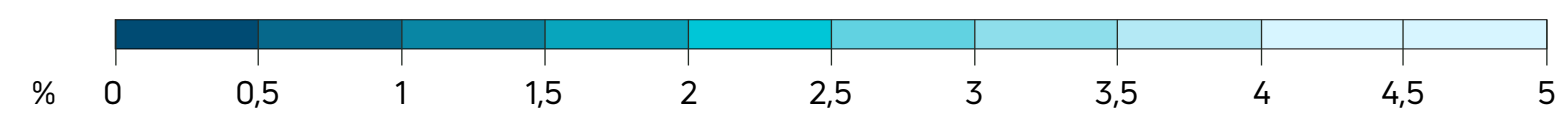
Wind
↑

Wind
↗



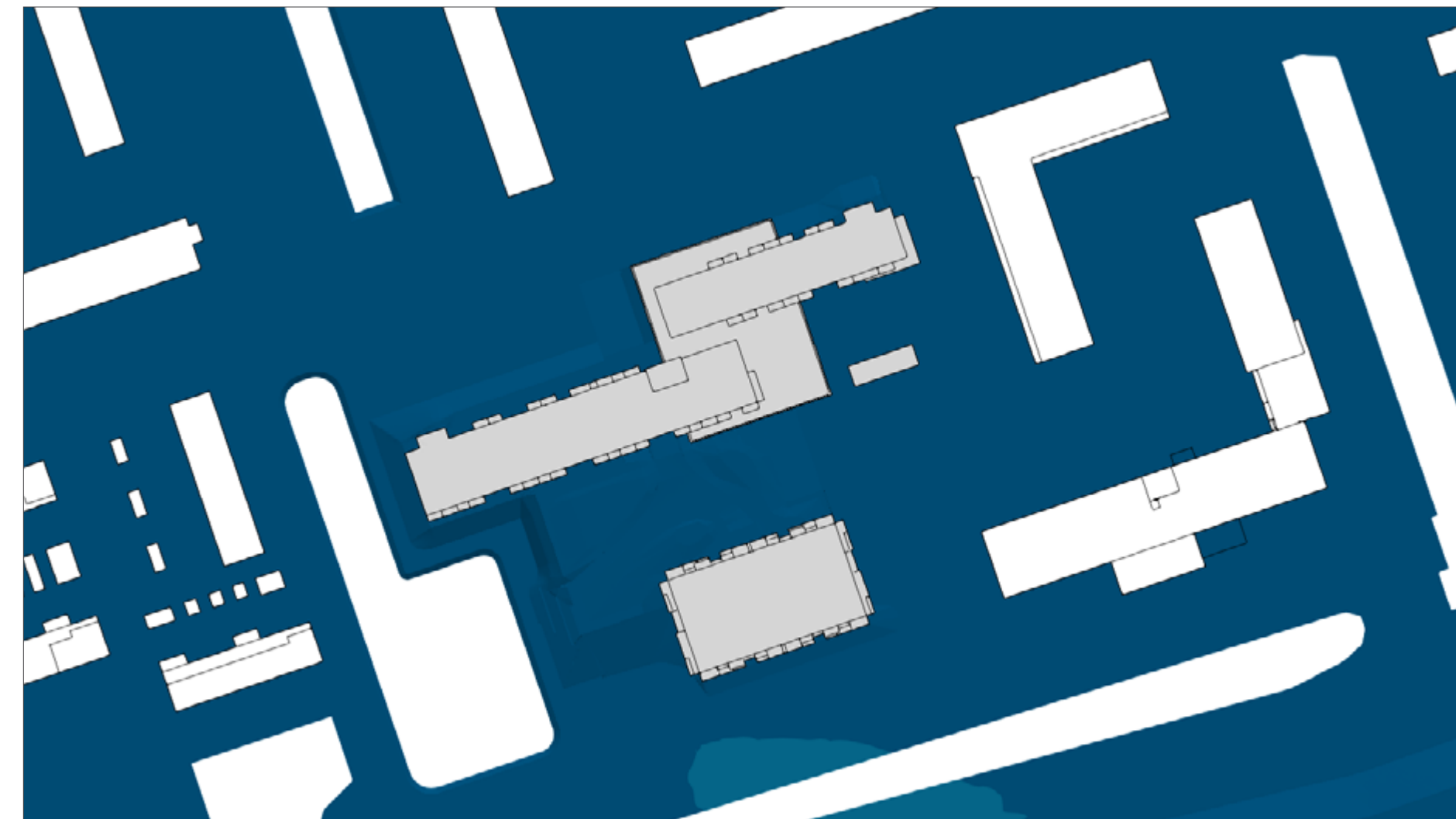
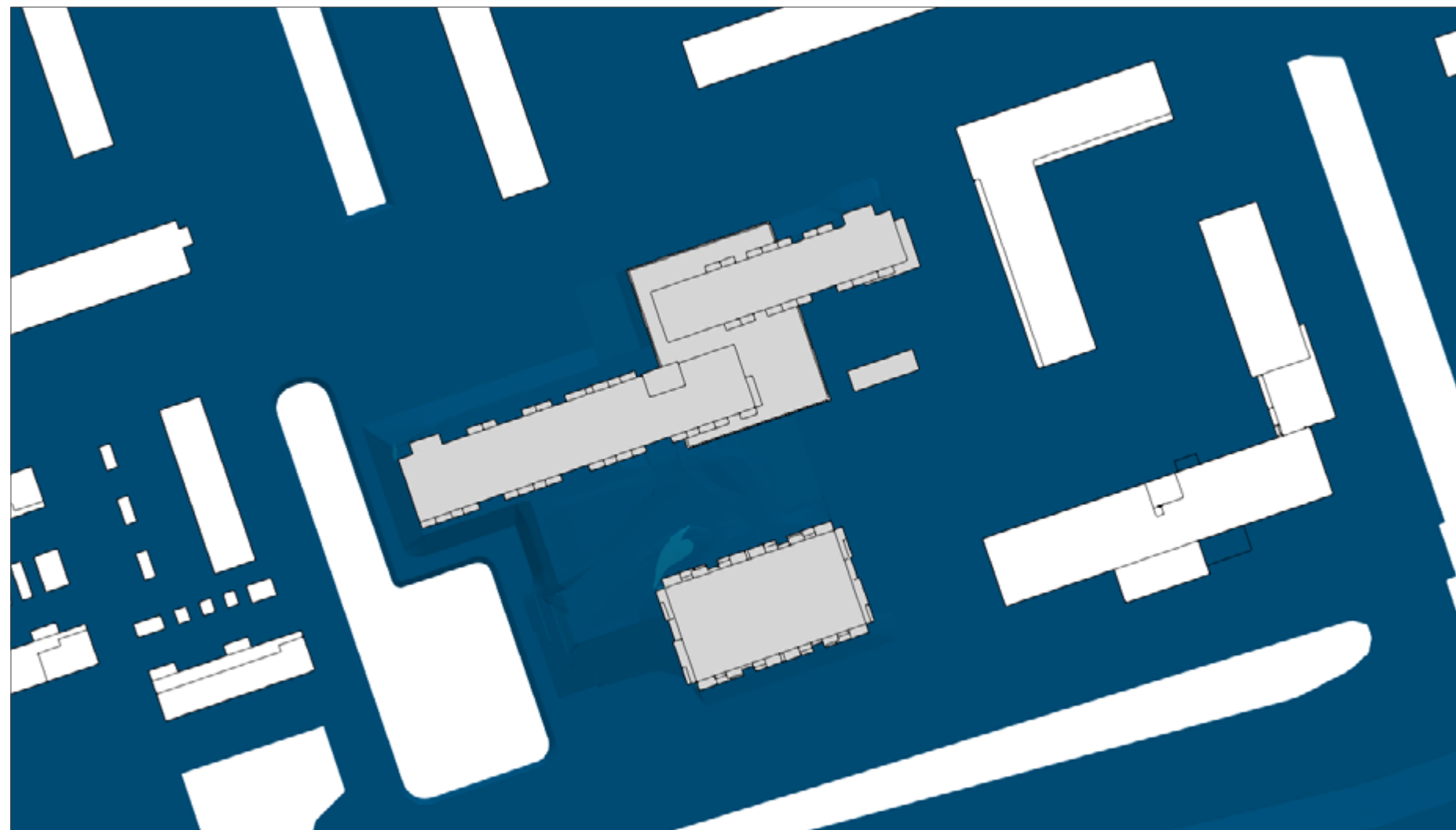
N←

Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid



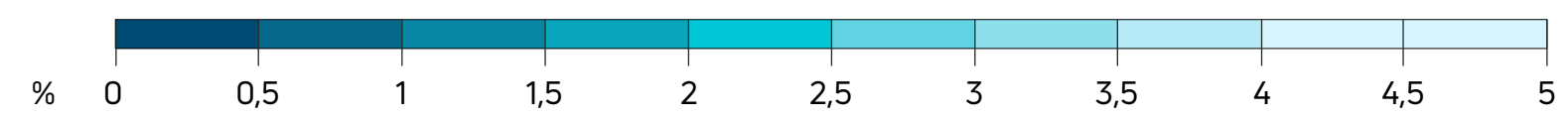
Wind
➔

Wind
➔



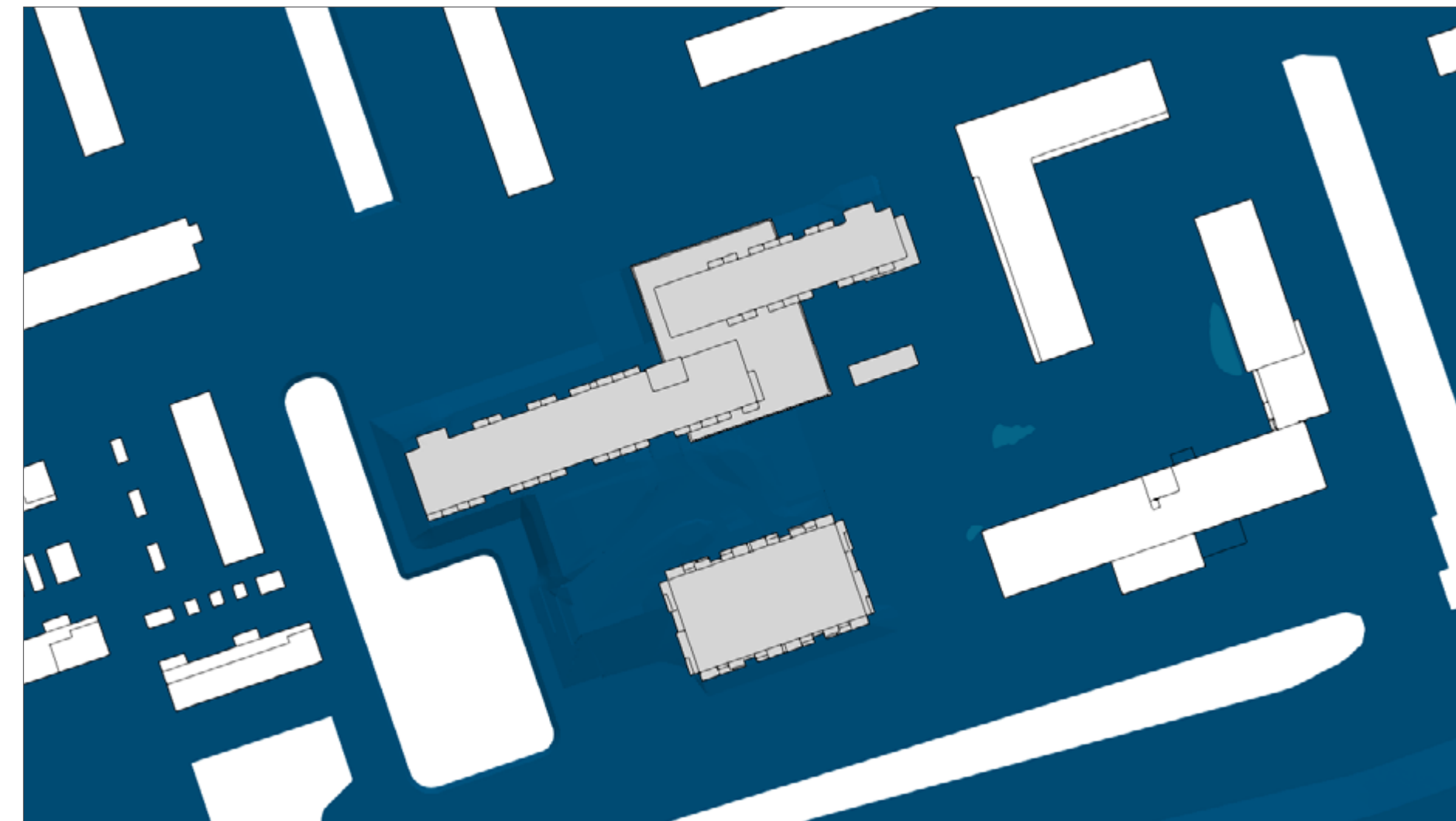
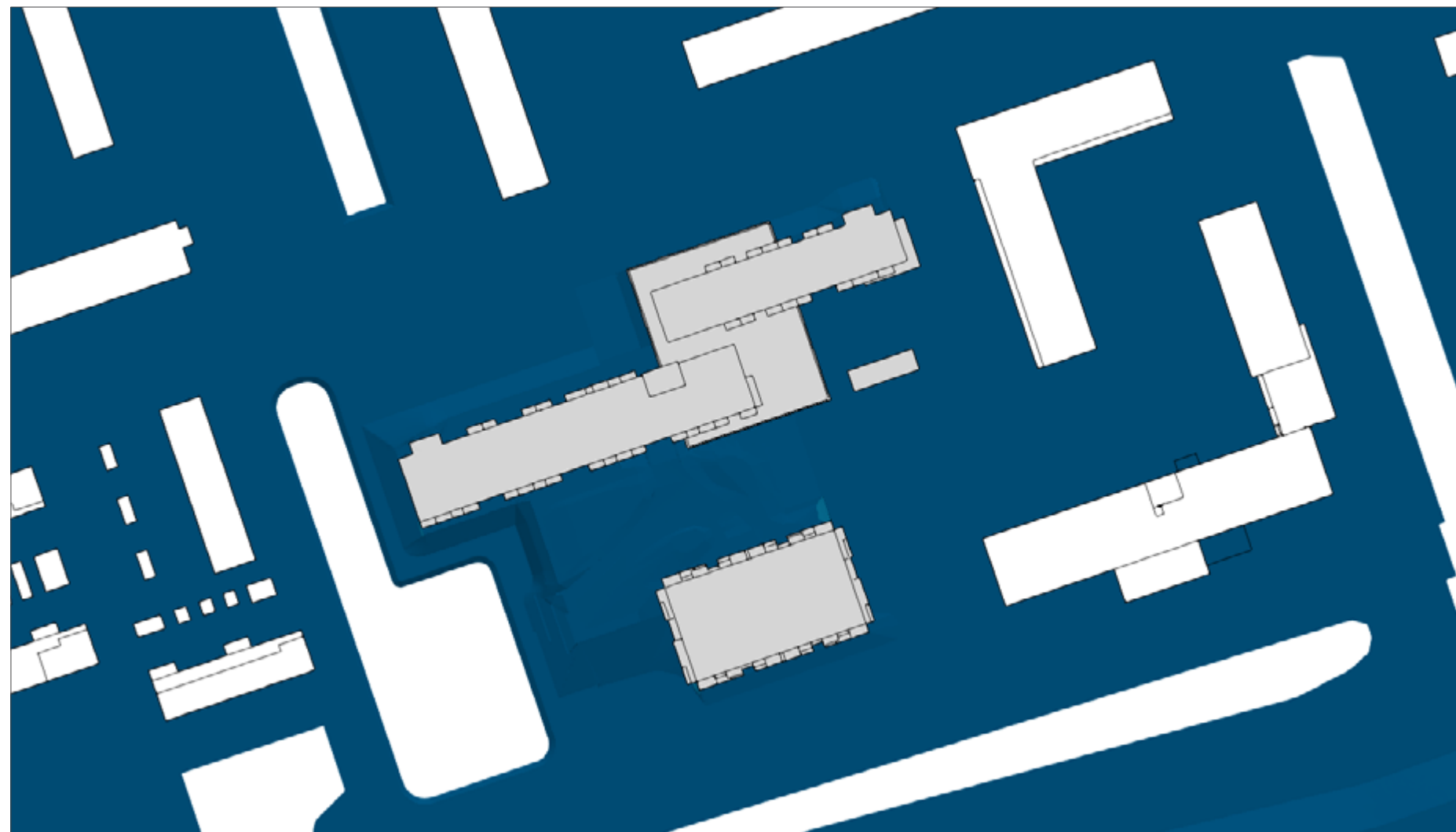
N←

Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid

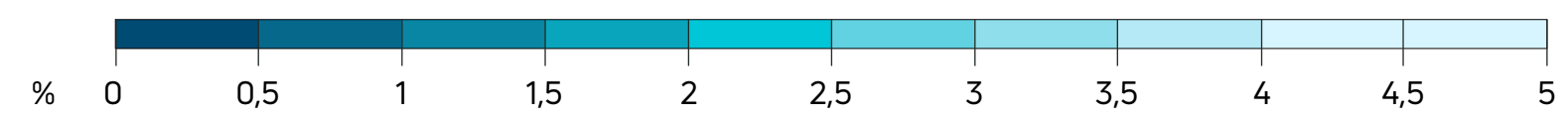


Wind
↙

Wind
↙



Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid





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