



**AALBORG UNIVERSITY**  
DENMARK

**Aalborg Universitet**

## **Analyse af vindklima ved Navitas Park**

Rasmussen, Michael R.; Lauridsen, Thomas Bank

*Publication date:*  
2010

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Rasmussen, M. R., & Lauridsen, T. B. (2010). *Analyse af vindklima ved Navitas Park*. Department of Civil Engineering, Aalborg University. DCE Technical reports Nr. 99

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

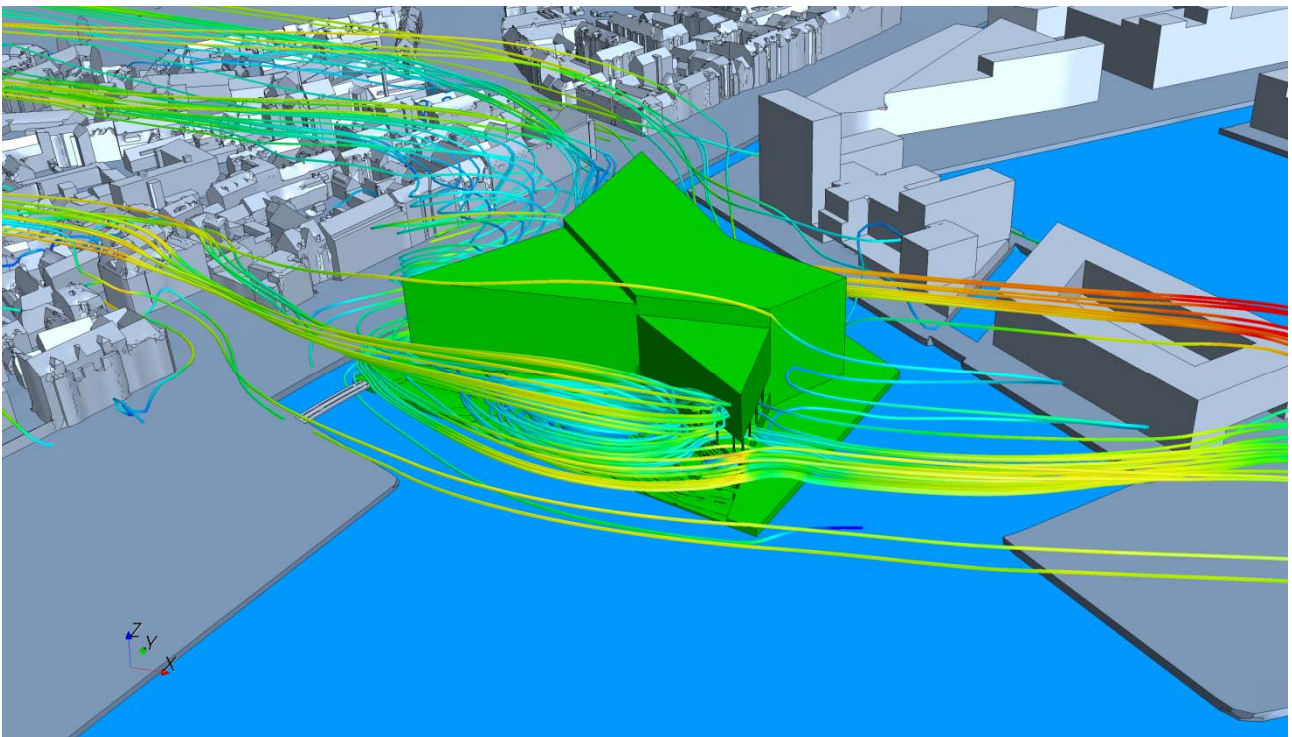
- ? Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- ? You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- ? You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Analyse af vindklima ved Navitas Park

Michael R. Rasmussen  
Thomas Bank Lauridsen



ISSN 1901-726X

DCE Technical Report No. 99



Aalborg Universitet  
Institut for Byggeri og Anlæg  
Vand og jord

**DCE Technical Report No. 99**

# **Analyse af vindklima ved Navitas Park**

Michael R. Rasmussen  
Thomas Bank Lauridsen

August 2010

© Aalborg Universitet

## Videnskabelige publikationer ved Institut for Byggeri og Anlæg

**Technical Reports** anvendes til endelig afrapportering af forskningsresultater og videnskabeligt arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg på Aalborg Universitet. Serien giver mulighed for at fremlægge teori, forsøgsbeskrivelser og resultater i fuldstændig og uforkortet form, hvilket ofte ikke tillades i videnskabelige tidsskrifter.

**Technical Memoranda** udarbejdes til præliminær udgivelse af videnskabeligt arbejde udført af ansatte ved Institut for Byggeri og Anlæg, hvor det skønnes passende. Dokumenter af denne type kan være ufuldstændige, midlertidige versioner eller dele af et større arbejde. Dette skal holdes in mente, når publikationer i serien refereres.

**Contract Reports** benyttes til afrapportering af rekvireret videnskabeligt arbejde. Denne type publikationer rummer fortroligt materiale, som kun vil være tilgængeligt for rekvirenten og Institut for Byggeri og Anlæg. Derfor vil Contract Reports sædvanligvis ikke blive udgivet offentligt.

**Lecture Notes** indeholder undervisningsmateriale udarbejdet af undervisere ansat ved Institut for Byggeri og Anlæg. Dette kan være kursusnoter, lærebøger, opgavekompendier, forsøgsmanualer eller vejledninger til computerprogrammer udviklet ved Institut for Byggeri og Anlæg.

**Theses** er monografier eller artikelsamlinger publiceret til afrapportering af videnskabeligt arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg som led i opnåelsen af en ph.d.- eller doktorgrad. Afhandlingerne er offentligt tilgængelige efter succesfuldt forsvar af den akademiske grad.

**Latest News** rummer nyheder om det videnskabelige arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg med henblik på at skabe dialog, information og kontakt om igangværende forskning. Dette inkluderer status af forskningsprojekter, udvikling i laboratorier, information om samarbejde og nyeste forskningsresultater.

Udgivet 2010 af  
Aalborg Universitet  
Institut for Byggeri og Anlæg  
Sohngårdsholmsvej 57,  
DK-9000 Aalborg, Danmark

Trykt i Aalborg på Aalborg  
Universitet

ISSN 1901-726X  
DCE Technical Report No. 99

# Indhold

<b>1 Indledning</b>	<b>6</b>
1.1 Omkringliggende områder . . . . .	7
1.2 Vindens effekt på komfort og sikkerhed . . . . .	7
<b>2 Anvendte metoder</b>	<b>8</b>
2.1 Komfort- og sikkerhedskriterier . . . . .	8
2.1.1 Komfortkriteriet . . . . .	8
2.1.2 Sikkerhedskriteriet . . . . .	9
2.2 Beregningsområdet . . . . .	9
2.3 Beregningsnet . . . . .	10
2.4 Vindstatistik . . . . .	12
2.5 Randbetingelser . . . . .	12
<b>3 Resultater</b>	<b>14</b>
3.1 Vindfænomener omkring byggeriet . . . . .	14
3.1.1 Indsnævring af vindstrøm . . . . .	14
3.1.2 Høj bygning bag lavere byggeri . . . . .	14
3.1.3 Hjørnestrømning . . . . .	15
3.2 Komfortkriteriet . . . . .	16
3.3 Sikkerhedskriteriet . . . . .	19
3.4 Evaluering efter SBI-anvisning 128 . . . . .	22
3.5 Opfølgning . . . . .	23
<b>4 Konklusion</b>	<b>25</b>
<b>Litteratur</b>	<b>26</b>
<b>Bilag</b>	<b>27</b>

# 1 Indledning

At analysere vindforhold om et eksisterende eller kommende byggeri kan tjene flere forskellige formål. Dels at afklare årsagen til eventuelt udsatte zoner og mulige tiltag til forbedring heraf, og dels at fastlægge om nye bygninger skaber forhold der er ukomfortable eller direkte farlige. Ved vindundersøgelser foretaget ved Aalborg Universitet skelnes der mellem en vindscreening og en analyse af vindklima. En vindscreening er en overslagsberegning med det formål at identificere zoner hvor vinden enten er forstærket eller hvor der skabes gode læforhold. Metoden er et godt værktøj til planlægning af forskellige zoners brug, ligesom den kan give et billede af hvor der eventuelt er brug for afskærmning. Til beregningen benyttes en model med mindre udstrækning og med grovere opløsning end ved en vindklimaanalyse. Samtidig benyttes otte vindretninger med en forsimplet behandling af vindstatistikken.

En vindklimaanalyse har større fokus på, om komforten og sikkerheden i et område er overskredet i et større tidsrum, end det kan accepteres. For at svare på det, er der behov for en mere detaljeret og større model samt en mere detaljeret behandling af vindstatistikken. Ved en vindklimaanalyse regnes der med vind fra 12 forskellige retninger.

Formålet med denne undersøgelse er at afklare, hvorvidt opførelsen af Navitas Park på Århus Havn vil medføre u hensigtsmæssige eller farlige vindforhold for fodgængere i området omkring bygningen, og der er derfor tale om en vindklimaanalyse.

figur 1 viser placeringen af Navitas Park på havnefronten. Bygningen har en højde på knap 35 m med topkote i 37 m.



**Figur 1** Placering af Navitas Park på Århus havnefront. ([www.debynaerehavnearealer.dk](http://www.debynaerehavnearealer.dk))

## 1.1 Omkringliggende områder

Bygningen ligger ud mod vandet og kan derfor være udsat for direkte vind fra nord-øst til syd-øst. Mod vest ligger Århus centrum hvilket kan have en lægivende effekt for de hyppigere og kraftigere vinde.

## 1.2 Vindens effekt på komfort og sikkerhed

Opførelsen af høje bygninger kan fremkalde vindforhold, der kan være ukomfortable eller direkte farlige. Litteraturen angiver eksempler, hvor vindforholdene har betydet begrænset succes for nye bygninger (Blocken og Carmeliet 2004).

Vindforholdene skal dog indtænkes i en relativ sammenhæng, da vindeffekterne kan stamme fra andre bygninger eller bygningskonstellationer end de nyopførte. Derfor medtages en række omkringliggende bygværker i beregningen.

Vindforholdene bestemmes ved Computational Fluid Dynamics (CFD), der er et computerbaseret alternativ til vindtunnelforsøg. Fremskridt i numeriske beregningsmetoder har gjort denne metode lige så pålidelig. CFD kan betragtes som en virtuel vindtunnel.



## 2 Anvendte metoder

Bestemmelse af vindforholdene i området ved brug af CFD-modeller afhænger af flere parametre som; størrelse på beregningsdomænet, opløsningen af beregningsnettet i beregningsmodellen og modellens randbetingelser.

Metoden går ud på at bestemme vindforholdene 1.7 m over terræn svarende til hovedhøjde af en gennemsnitlig fodgænger. Ved at tage hensyn til vindretning og hastighed kan det statistisk forudsiges, hvor ofte en given kritisk vindhastighed optræder i fodgænger-niveau.

### 2.1 Komfort- og sikkerhedskriterier

For at kunne evaluere vindforholdene i et givet område opstilles overskridelseskriterier, der er et udtryk for komforten eller sikkerheden for at færdes i området. Disse kriterier anvendes på middelvindhastigheden og turbulensen i 1.7 m højde, svarende til den gennemsnitlige hovedhøjde for fodgængere.

Det mest omfattende studie af menneskers komfort og sikkerhed i vindstrømninger er gennemført af Hunt, Poulton og Mumford (1976). På basis af dette studie er følgende kriterier opstillet:

$$U_{\text{ækv, komfort}} = U + \sigma_u \geq 6 \text{ m/s} \quad (1)$$

$$U_{\text{ækv, fare}} = U + 3\sigma_u \geq 20 \text{ m/s} \quad (2)$$

Hvor  $\sigma_u$  [m/s] er standardafvigelsen på hastigheden, hvilket er et udtryk for turbulensen, og  $U$  [m/s] er middelhastigheden. Middelhastigheden og standardafvigelsen giver dermed tilsammen en ækvivalent hastighed. Turbulensen har større indflydelse på sikkerheden end på komforten, og af denne grund vægtes den højere i sikkerhedskriteriet end i komfortkriteriet.

#### 2.1.1 Komfortkriteriet

Da følelsen af komfort afhænger af den aktivitet, der udføres imens en person påvirkes af vinden, inddeles komfortkriteriet i flere niveauer, efter hvor ofte kriteriet er overskredet.

Der findes intet dansk normgrundlag for fastsættelsen af disse komfortniveauer, men der findes en SBI-anvisning nr. 128 (Bjerregaard og Nielsen 1981). SBI-anvisningen baserer sig på en overskridelse af 5 m/s, men tager ikke højde for vindstød.

SBI-anvisningen angiver, at der bør foretages forbedringer hvis 5 m/s er overskredet mere end 20 % af tiden. Kriterierne fra den hollandske norm NEN 8100, som er baseret på nyere forskning, vurderes at repræsentere de faktiske vindforhold bedre. Disse kriterier fremgår af tabel 1.

---

**Tabel 1** Inndeling af klasser for komforten i et givent område efter overskridelses-sandsynlighed (%) i den hollandske vindkomfortnorm (efter Blocken og Persoon 2009).

Aktivitet		Hurtig gang	Spadsere	Sidde
<2.5	A	God	God	God
2.5-5.0	B	God	God	Moderat
5.0-10.0	C	God	Moderat	Dårlig
10-20	D	Moderat	Dårlig	Dårlig
>20	E	Dårlig	Dårlig	Dårlig

### 2.1.2 Sikkerhedskriteriet

Sikkerhedskriteriet er blevet inddelt i tre niveauer; områder, der ved stærk vind, ikke kan betragtes som usikkert at færdes i, områder med begrænset sikkerhed, og områder hvor det er usikkert at færdes i ved stærk vind.

Som for komfortkriteriet bygger niveauinddelingen på, hvor tit sikkerhedskriteriet, givet ved formel (2), er overskredet. SBI-anvisningen anvender ikke et selvstændigt sikkerhedskriterie, men angiver at hvis 5 m/s er overskredet mere end 53 % af tiden er det „meget ubehageligt til farligt“. Den hollandske norm 8100 angiver niveauinddelingerne, der fremgår af tabel 2.

**Tabel 2** Oversigt over niveauer for sikkerhedsklasser efter overskridessandsynlighed-er (%) i den hollandske vindkomfortnorm (efter Blocken og Persoon 2009).

Sikkert	Begrænset sikkerhed	Usikkert
<0.05 %	0.05 % – 0.3 %	>0.3 %

Ud fra ovenstående kriterier for overskridessandsynligheder og en vindstatistik for området kan der for hele området beregnes, hvor tit kriterierne overskrides. Ud fra dette kan områderne niveauinddeles efter kategorierne.

## 2.2 Beregningsområdet

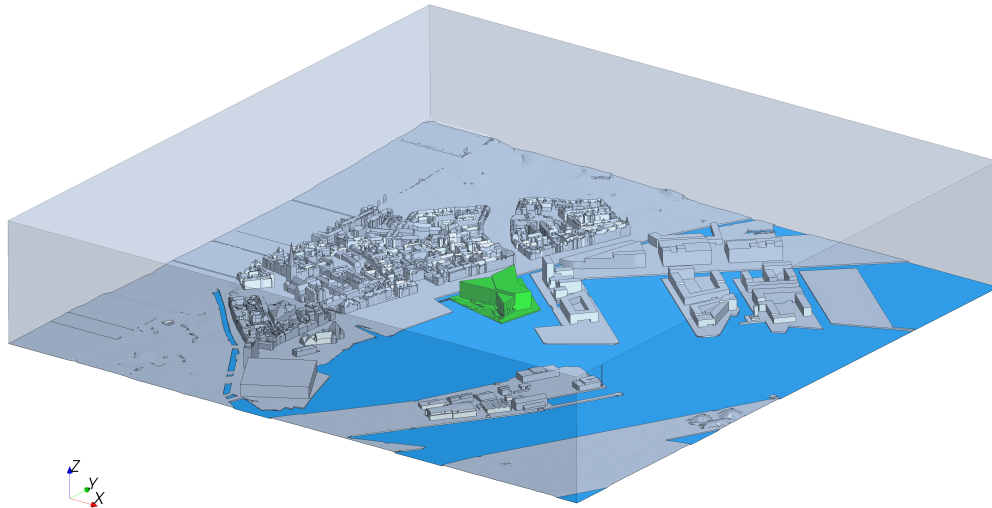
Beregningsområdet modelleres som et område med størrelsen 1300 m × 1300 m, hvor Navitas park er placeret centralt. Dermed er der ca. 650 m ud til randen af området fra bygningen. Det vurderes, at dette er tilstrækkeligt for at kunne beregne vindforholdene i området korrekt.

Beregningsområdets øvre rand ligger 250 m over havoverfladen. Det er eftervist, at beregningsområdet er tilstrækkeligt stort til at undgå interaktion fra randene med strømmingen omkring bygningen.

Modellen består af forholdsvis detaljerede beskrivelser af konstruktioner og terræn i området. Detaljeringsgraden er størst omkring Navitas Park og den tilhørende pier og mindre ud mod områdets rande. Dette er en følge af, at objekter langt fra bygningen har mindre effekt end de nærmeste objekter.

Alt der er længere væk end de 650 m, som beregningsdomænet indeholder, bliver modelleret ved en ruhed ved domænets indløb. Denne ruhed afhænger af terrænet og bygningstætheden udenfor beregningsdomænet. Jo mere bebygget eller bevokset område, des større ruhed. Dette er yderligere beskrevet i afsnit 2.5.

Det anvendte beregningsområde fremgår af figur 2, hvor Navitas Park er afbilledet med grøn i centrum af beregningsmodellen.



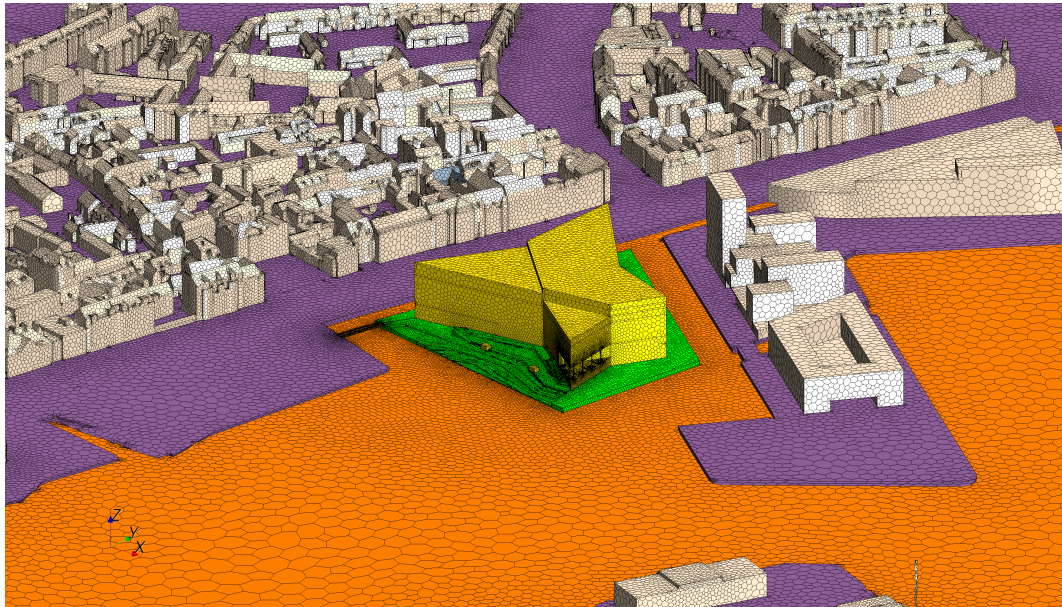
**Figur 2** Overblik over beregningsområdet, der benyttes i CFD-beregningerne.

## 2.3 Beregningsnet

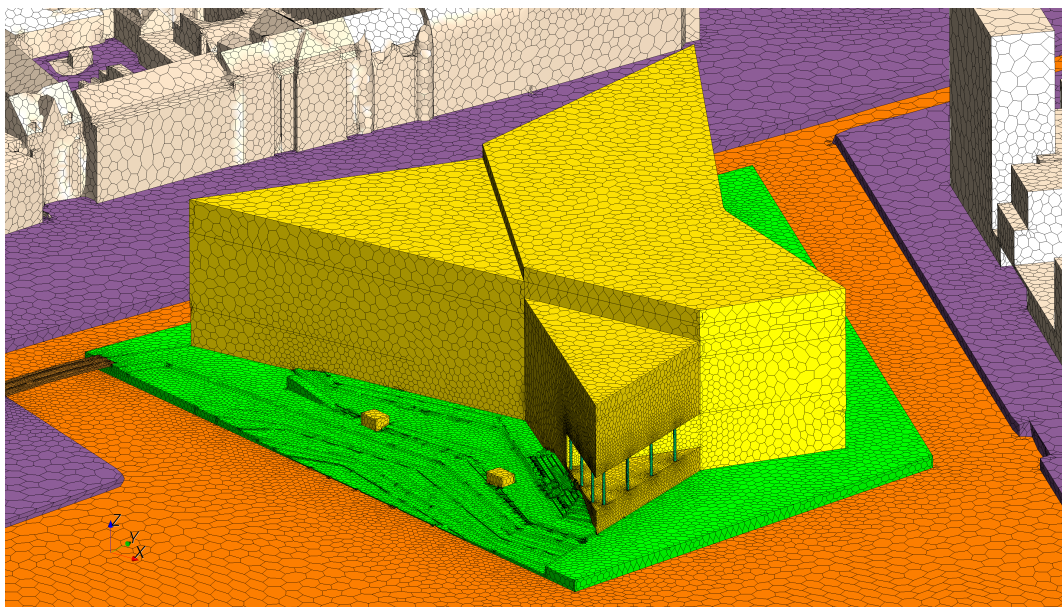
For hver enkelt vindretning er beregningsområdet opdelt i et beregningsnet bestående af omtrent 3 200 000 celler. Størrelsen af de enkelte beregningsceller afhænger af, hvor detaljeret resultaterne ønskes. Det er eftervist, at opløsningen er tilstrækkelig til det givne formål.

Flest celler er anvendt omkring Navitas Park og den tilhørende pier, mens størrelsen på cellerne længere væk fra interesseområdet gradvist forøges.

På terrænet er der yderligere anvendt prismatiske celler indtil en højde på 2 m for bedre at kunne opløse grænselaget, hvori fodgængere befinder sig. Illustrationer af det anvendte beregningsnet fremgår af figur 3 og 4.



**Figur 3** Illustration af beregningsnet for beregningsområdet.



**Figur 4** Illustration af beregningsnet ved Navitas Park.

## 2.4 Vindstatistik

Metoden er baseret på en kobling mellem vindstatistik og gennemregningerne af vindforholdene i den virtuelle vindtunnel. Den anvendte vindstatistik er fra den nærmeste meteorologiske station, som er placeret i Tirstrup Lufthavn.

Der laves beregninger for 12 vindretninger, og for hver af disse er der opstillet en 2-parameter Weibull fordeling, som beskriver sandsynligheden for en given vindhastighed. Fordelingen ser ud som følger:

$$P(U > U_{\text{kritisk}}) = \exp\left(-\left(\frac{U_{\text{kritisk}}}{A}\right)^k\right) \quad (3)$$

Hvor  $U$  [m/s] er den fundne hastighed,  $U_{\text{kritisk}}$  [m/s] er den kritiske vindhastighed, som det ønskes at finde en overskridelsessandsynlighed for.  $A$  [m/s] og  $k$  [-] er Weibullparametrene.

For Tirstrup Lufthavn angiver Troen (1989) Weibullparametrene. Disse parametre er et estimat for det regionale vindklima. Parametrene gælder for et fladt, ensartet terræn, der er forholdvist åbent.

De lokale vindforhold er influeret af et langt mere ru landskab. Der er derfor korrigeret for ruhederne angivet på figur 5 og figur 6 efter en to-lags atmosfærisk model af Wieringa (1986). Dermed er parametrene angivet i tabel 3 anvendt.

**Tabel 3** Parametre for vindklima 10 meter over jordniveau ved Århus havn.

Sektor	Frekvens	$A$	$k$
0	4.09	2.66	1.42
30	4.95	3.37	1.65
60	5.49	6.23	1.66
90	6.79	5.38	1.51
120	7.62	5.16	1.62
150	9.73	4.58	1.60
180	10.2	3.39	1.62
210	9.37	3.22	1.74
240	11.5	3.29	1.88
270	13.2	3.60	1.88
300	10.9	3.68	1.85
330	6.16	3.07	1.51

Weibullfordelingerne giver, sammen med frekvensen, sandsynligheden for, at en given vindstyrke og vindretning optræder. Gennemregningerne i den virtuelle vindtunnel angiver, hvordan vinden lokalt strømmer omkring bygningerne.

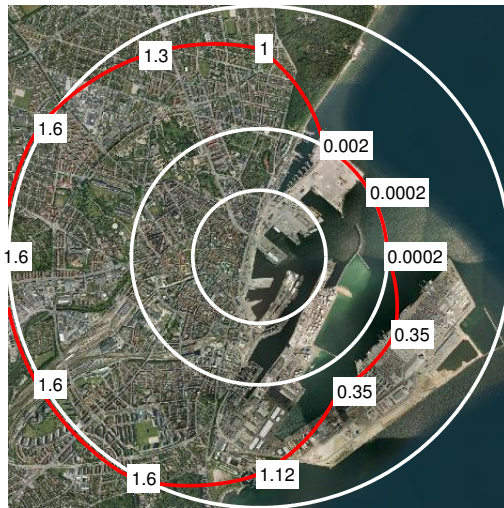
## 2.5 Randbetingelser

Til den virtuelle vindtunnel skal der angives et strømningsprofil for indløbet. I den uforstyrrede strømning er hastighedsprofilen logaritmisk:

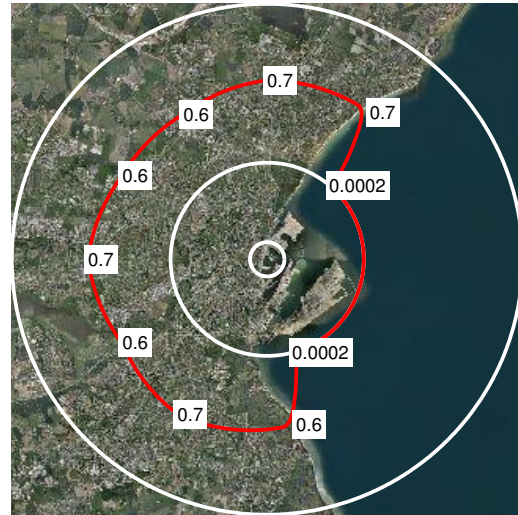
$$U(z) = \frac{U_*}{\kappa} \ln\left(\frac{z-d}{z_0}\right) \quad (4)$$

Hvor  $U_*$  [m/s] er friktionshastigheden,  $\kappa$  [-] er von Karmans konstant,  $z$  [m] er højden over terræn,  $z_0$  [m] er ruhedshøjden, og  $d$  [m] er en afstand, hvormed hastighedsprofilen løftes. I beregningerne er  $d$  sat til tre gange ruhedshøjden.

Ruhedshøjden  $z_0$  er bestemt ud fra de orthofotos og klassifikationen angivet af Wieringa (1992). De anvendte ruheder fremgår af figur 5.



**Figur 5** Den lokale ruhed afhængig af vindretning.



**Figur 6** Den regionale ruhed afhængig af vindretning.

I vindtunnelen er der anvendt SST  $k$ - $\omega$ -modellen efter Menter (1994) og Yang m.fl. (2008) til at beregne turbulensen. Indløbsprofilerne for den turbulente kinetiske energi  $k$  og den specifikke dissipationsrate  $\omega$  er bestemt efter profilerne angivet af Yang et al. (2009) og Yang m.fl. (2008):

$$k(z) = \frac{U^*}{\sqrt{c_\mu}} \sqrt{c_1 \ln\left(\frac{z-d}{z_0}\right) + c_2} \quad (5)$$

$$\omega(z) = \frac{U^{*3}}{\kappa \sqrt{c_\mu}} \frac{1}{z-d} \quad (6)$$

Hvor  $c_\mu$ ,  $c_1$  og  $c_2$  er konstanter, der hhv. antager værdierne 0,04, -0,25 og 2,32.

Der er anvendt en terrænmodel som nedre grænse sammen med bygningsmodellen. Terrænet er påført en ruhed svarende til  $z_0 = 0.03$  m. Bygningerne betragtes som glatte overflader, og på de frie rande er der anvendt symmetri.

## 3 Resultater

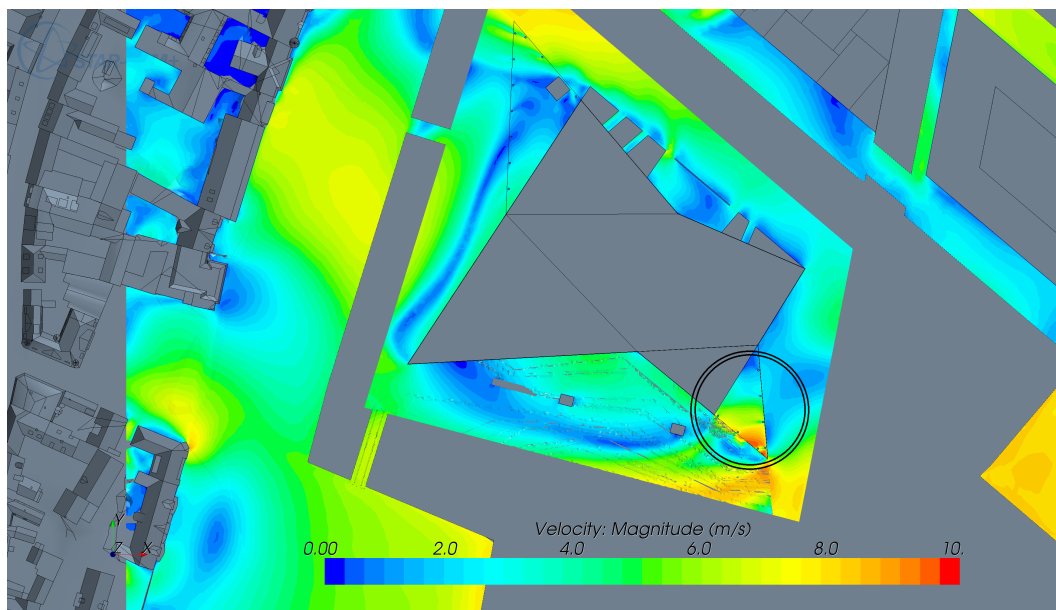
For at evaluere komfort og sikkerhed i området er der udført beregninger af de lokale vindforhold for de 12 retninger, som er opgivet i tabel 3. Ud fra disse 12 beregninger kan den samlede overskridelsessandsynlighed i et givet punkt findes ved at summere den beregnede overskridelsessandsynlighed i punktet fra hver retning.

### 3.1 Vindfænomener omkring byggeriet

I forbindelse med etableringen af Navitas Park opstår nogle vindfænomener lokalt kan betyde en forstærkning af vindhastigheden. I det følgende vil disse blive evalueret og forklaret.

#### 3.1.1 Indsnævring af vindstrøm

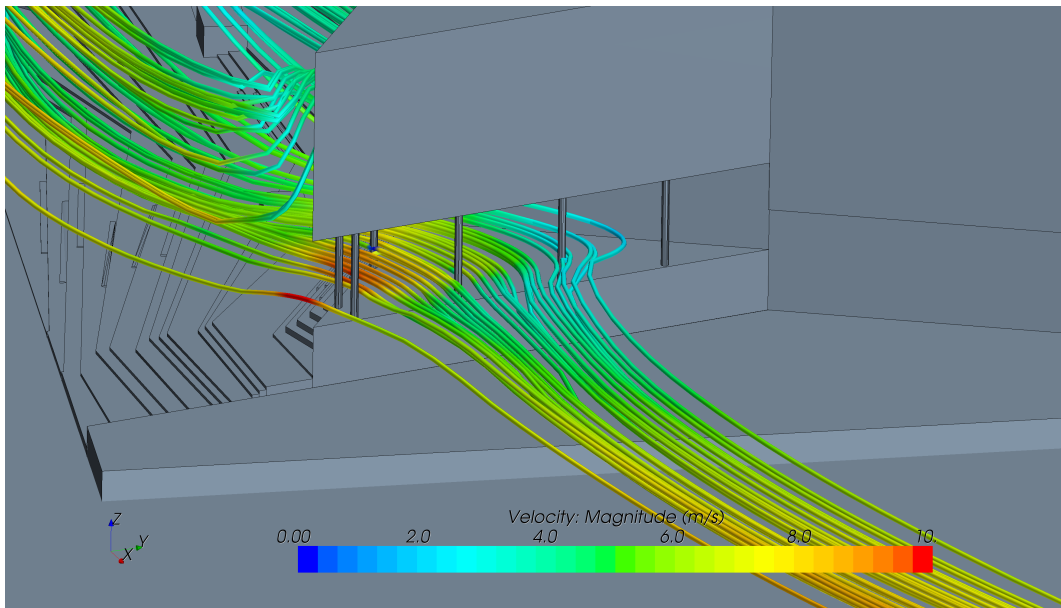
I bygningens syd-østlige hjørne findes en hævet platform med udkragede etager ovenover. Vind fra øst vil derfor skulle passere et mindre areal med forøget vindhastighed som følge. Vindhastigheden er illustreret på figur 7 og vindens forløb kan ses på figur 8.



**Figur 7** Vindhastighed omkring Navitas Park med vind fra øst. Hastighedsforøgelsen grundet den hævede platform er markeret med en sort ring.

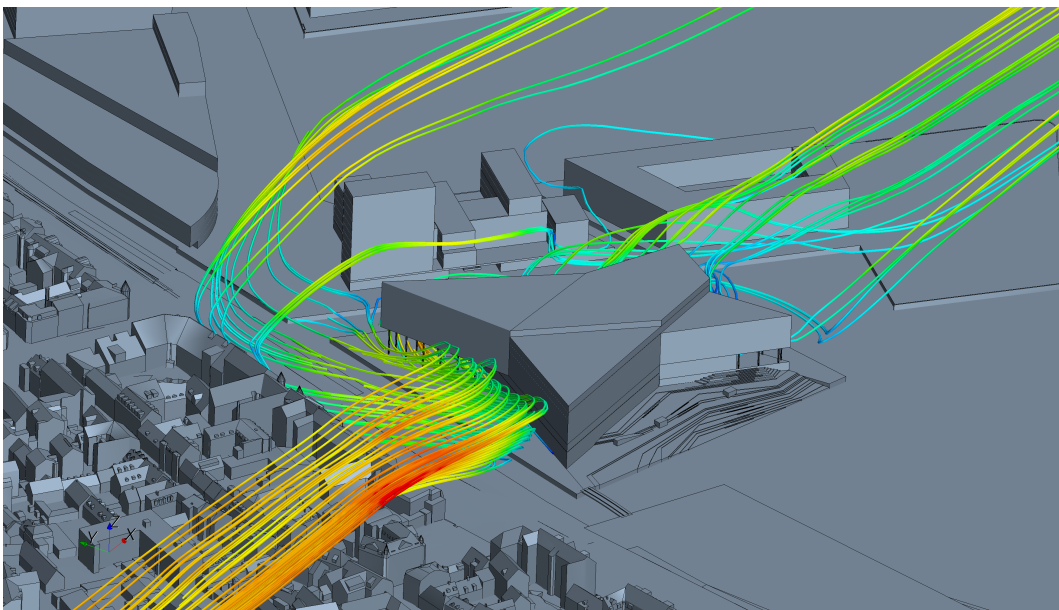
#### 3.1.2 Høj bygning bag lavere byggeri

Navitas Park er højere end en del af byggeriet mod vest. Den fri vindstrøm henover de lavere bygninger vil derfor ramme facaden på Navitas Park. En del af vinden vil herfra fortsætte henover taget, mens en del vil afbøjes nedad og øge vindhastigheden på



**Figur 8** Strømlinier ved hævet platform med vind fra øst.

fodgængerniveau. Da højdeforskellen ikke er markant giver dette fænomen dog ikke anledning til uacceptable stigninger af vindhastigheden. Fænomenet er illustreret på figur 9.



**Figur 9** Strømlinier ved vind fra vest. Vinden rammer bygningens facade og en del af vinden afbøjes nedad og øger vindhastigheden på fodgængerniveau.

### 3.1.3 Hjørnestrømning

Omkring bygningens hjørner skal vinden ligesom ved indsnævringen passere et mindre areal. Den øgede vindhastighed vil derfor lokalt mindske komforten og sikkerheden.

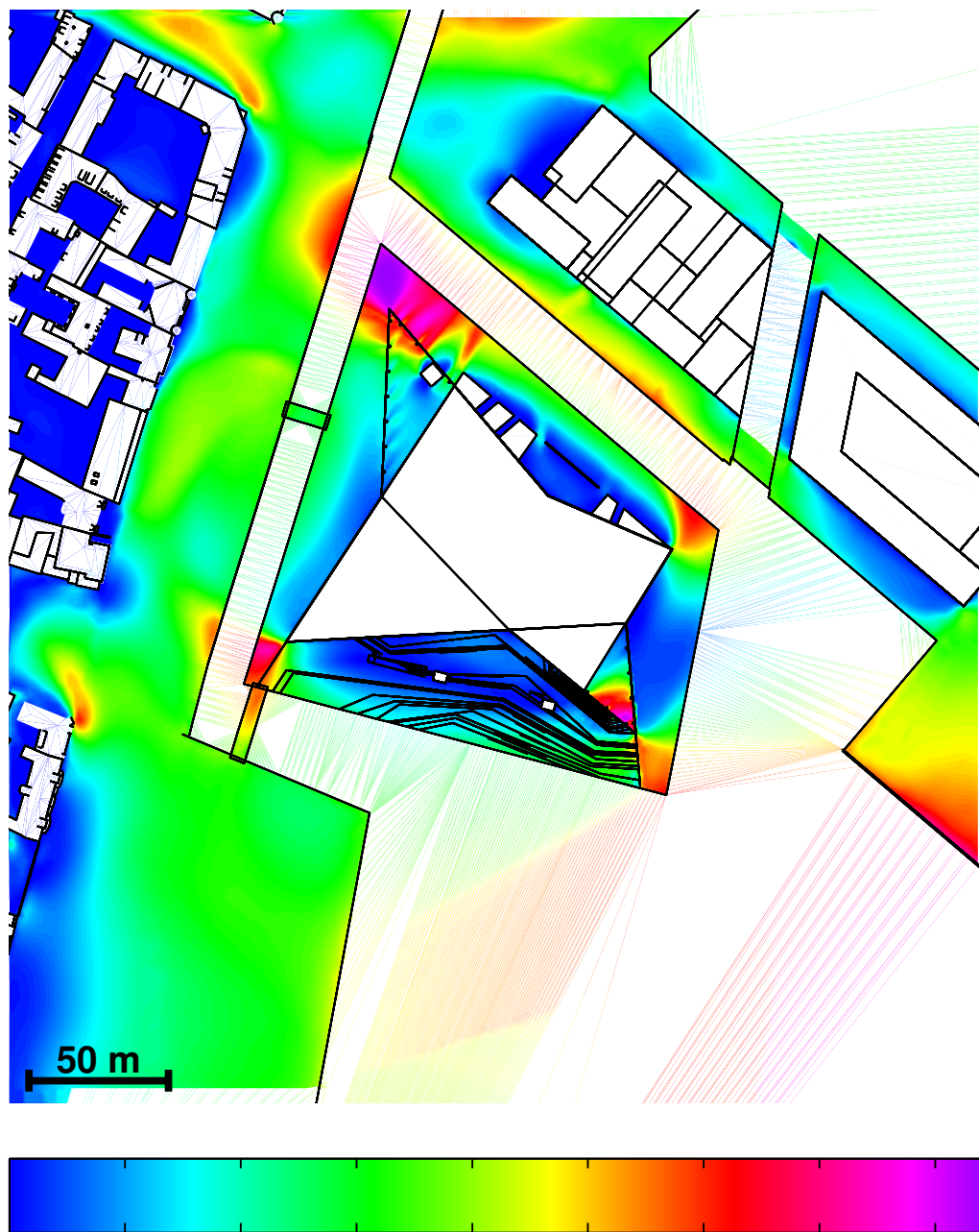


Fænomenet er tæt på uundgåeligt og vil i større eller mindre grad være til stede for alle vindretninger.

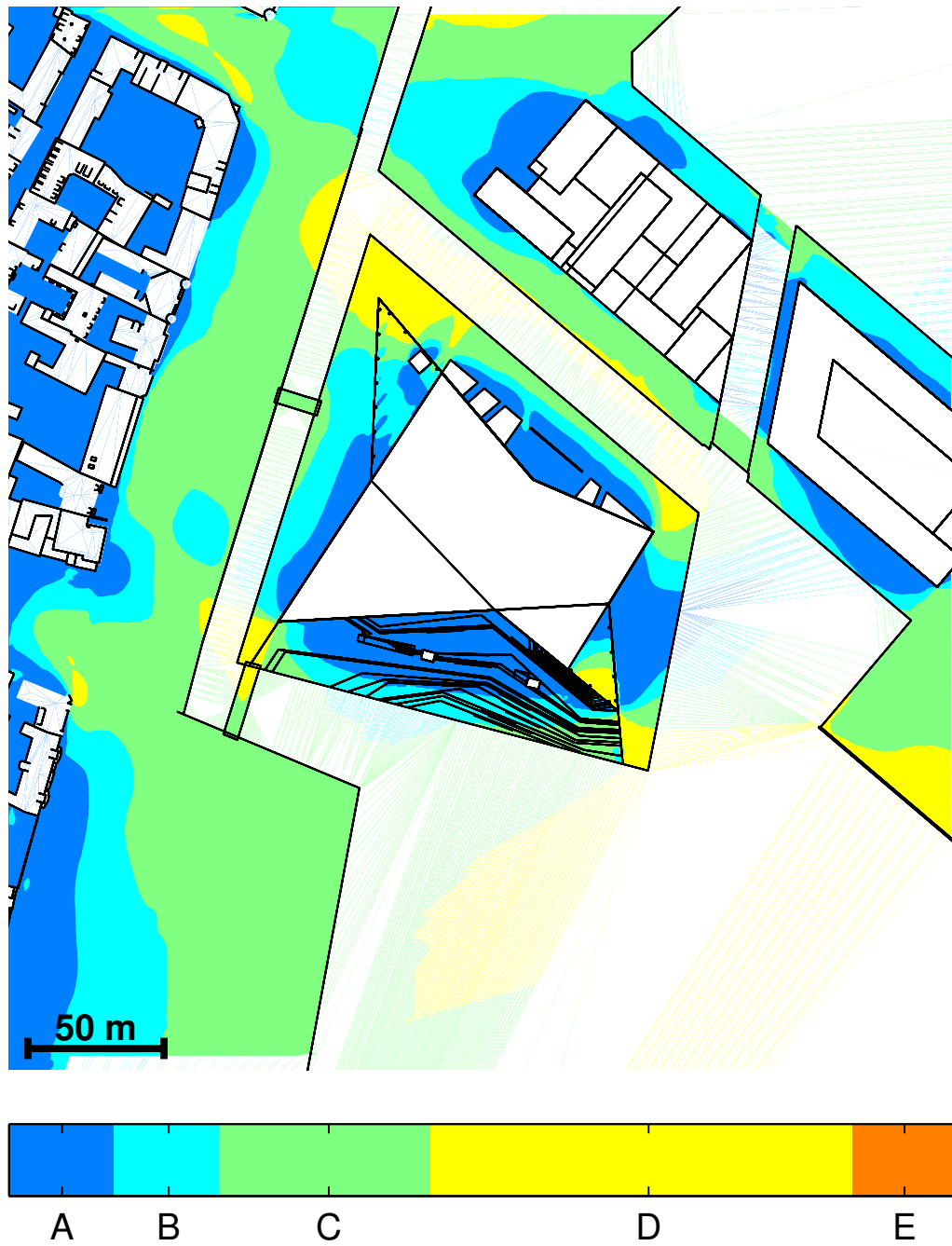
## 3.2 Komfortkriteriet

Analysen for de 12 vindretninger resulterer i et konturplot af overskridelsessandsynligheden af komfortkriteriet. Dette er vist i figur 10 og inddelt i farver som svarende til de opstillede kriterier i afsnit 2.1 på figur 11.

Den hyppigste overskridelse af formel (1) er på ca. 17 % og findes på den nordligste del af den tilhørende pier. De tre andre hjørner af den tilhørende pier er dog også udsat for hyppigere overskridelser end resten af området. Overskridelsen er hovedsageligt forårsaget af hjørnestrømninger. Hjørnestrømningerne opstår ikke ved alle fire hjørner på samme tid uanset vindretningen. Se evt. bilaget for afbildning af relative vindhastigheder ved forskellige retninger.



**Figur 10** Konturplot af tidslig overskridelse af komfortkriteriet i % i området omkring Navitas Park.

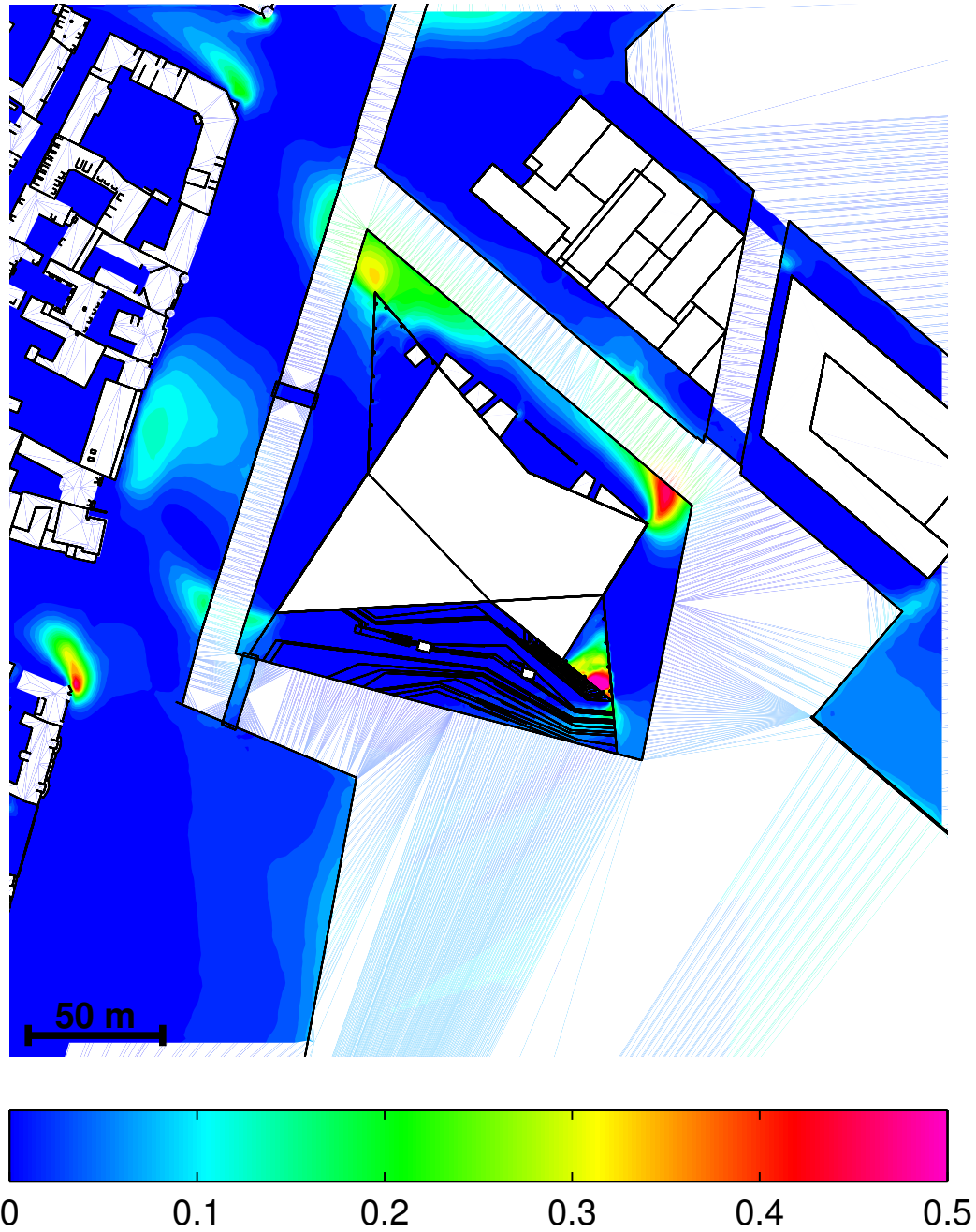


**Figur 11** Komfortniveauer for området omkring Navitas Park inddelt i kategorier.

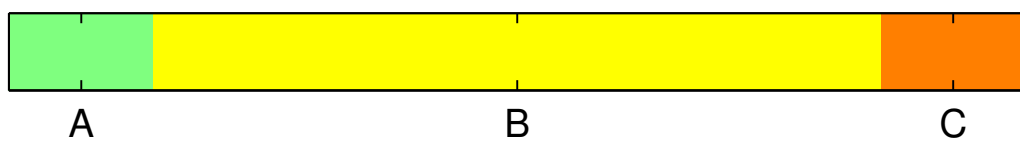
---

### 3.3 Sikkerhedskriteriet

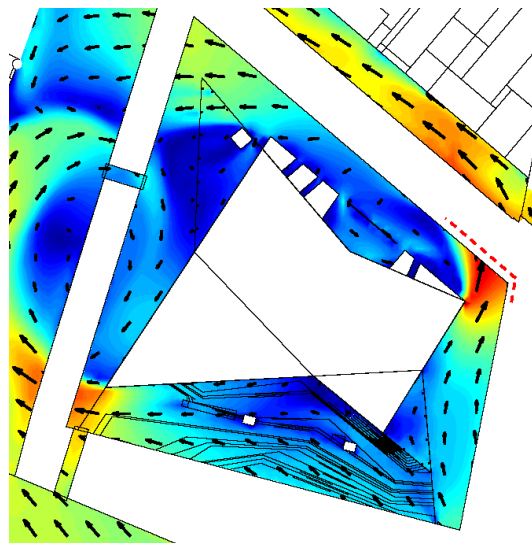
På figur 12 ses et konturplot af overskridelsen af sikkerhedskriteriet. På figur 13 er området inddelt i farvekoder svarende til kriterierne i afsnit 2.1. Igen er det værd at bemærke at områderne ud for bygningens hjørner oftere er udsat for vinde der overskrider kriteriet givet i formel (2). Da hjørnestørmningen ved bygningens østlige hjørne kan være kombineret med en vind fra syd kan det være nødvendigt at opsætte et gelænder sådan at forgænger ikke kan falde i vandet. Forslag til placering af gelænder er markeret i figur 14 med en stiblet rød linie.



**Figur 12** Konturplot for tidlig overskridelse i % af sikkerhedskriteriet.



**Figur 13** Sikkerhedsniveauer for området omkring Navitas Park inddelt i kategorier.



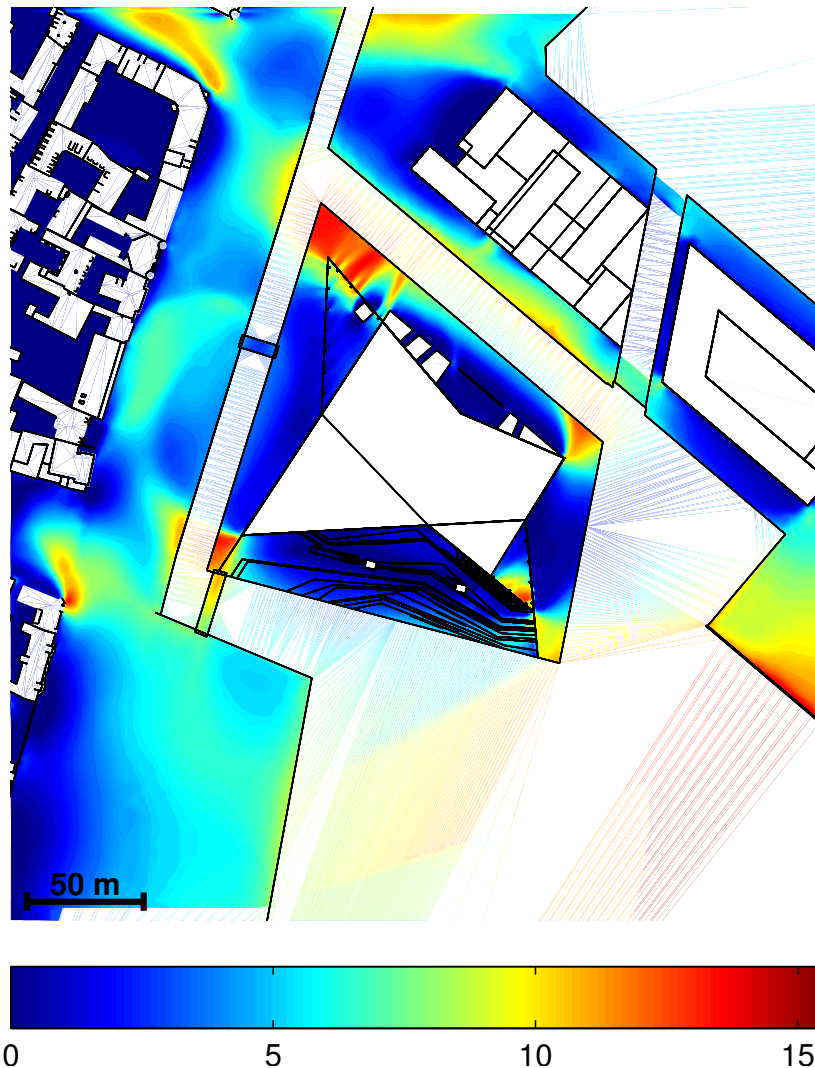
**Figur 14** Forslag til placering af gelænder markeret med stiblet rød linie. Den viste vindhastighed er relativ og svarer til vind fra  $150^\circ$  i forhold til nord.

### 3.4 Evaluering efter SBI-anvisning 128

De anvendte komfort- og sikkerhedskriterier, der er baseret på nyere forskning, anses som den bedste vurdering af et områdes vindforhold. I det følgende er området evalueret efter SBI-anvisning 128.

Evalueringen er baseret på de samme beregningsmetoder, men der tages ikke højde for vindstød, og det er således sandsynligheden for, at middelvinden overskrider 5 m/s, der er angivet i figur 15.

Det fremgår, at sandsynligheden for at middelvinden overskrider 5 m/s ikke når hverken 53 % som SBI-anvisningen angiver som „meget ubehageligt til farligt“, eller 20 % som bør give anledning til forbedringer.



**Figur 15** Vindforhold evalueret efter 5 m/s-kriteriet angivet i SBI-anvisning 128.

### 3.5 Opfølgning

Som beskrevet tidligere er der i Danmark ikke et egentligt normgrundlag for hvor meget vind der er hensigtsmæssigt ved nye bygninger. Der er ingen tvivl om at der i sagens natur må accepteres mere vind omkring bygningerne, hvis man samtidigt ønsker markante bygninger i bylandskabet. Det er derfor vigtigt at man forholder sig til muligheder for at nedbringe de uheldige effekter af kraftig vind omkring bygninger.

Overskridelsen af kriterierne skal selvfølgelig ses i forhold til områdernes anvendelse sådan at stillesiddende aktivitet hovedsageligt placeres i områder i kategori A og at sikkerhedsmæssige kritiske zoner ikke er sammenfaldende med andre risici som f.eks. fodgængerfelter eller cykelstier.

Et af de steder hvor dårlige vindforhold forventes, er ved hjørnerne på bygninger, hvilket undersøgelsen i dette tilfælde også viser. Alle steder omkring bygningen falder vindfor-



holdene indenfor komfortkriteriets kategorierne A til D, hvilket må betragtes som acceptabelt.

Hjørnestrømningerne betyder at der opstår mindre zoner hvor sikkerhedskriteriet falder indenfor kategori C. Zonerne har dog en meget begrænset udstrækning kun en mindre overskridelse der er af en størrelsesorden der ligger indenfor metodens usikkerhed.

Uden at foretage større ændringer kan den sydlige bro flyttes længere mod øst for at undgå sammenfald med hjørnestrømningen i bygningens syd-vestlige hjørne. Derudover kan der opsættes gelænder ved det nord-østlige hjørne af den tilhørende pier.

---

## 4 Konklusion

Beregningerne viser, at bygningen hverken skaber større komfort- eller sikkerhedsmæssige problemer. De anvendte kriterier stammer fra de Hollandske normer, da der ikke eksisterer tilsvarende normer tilpasset til danske forhold.

Evalueret efter den danske SBI-anvisning 128 angiver at området ikke er nødvendigt at der laves yderligere tiltag til forbedring af vindforholdene. Denne evaluering tager dog ikke højde for vindstød.

De kraftigste vinde opstår hovedsageligt som et resultat af hjørnestrømninger som kan være svære at undgå. Man bør derfor undgå at skabe opholdsarealer i disse zoner. Man kan derfor med fordel placere den sydlige bro længere mod øst.

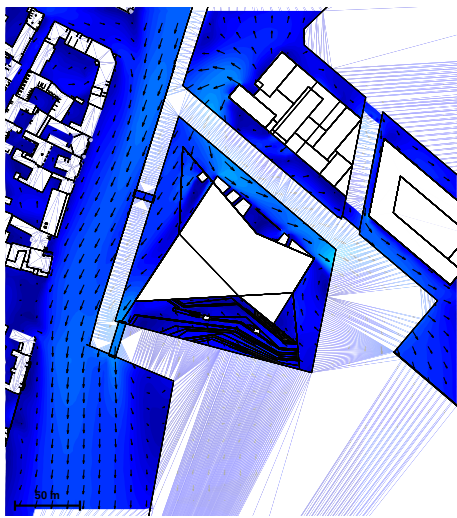
## Litteratur

- Bjerregaard, E. og F. Nielsen (1981). *SBI-Anvisning 128: Vindmiljø omkring bygninger*. In Danish. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Blocken, B. og J. Carmeliet (2004). „Pedestrian wind environment around buildings: Literature review and practical examples“. I: *Journal of Building Physics* 28.2, s. 107.
- Blocken, B. og J. Persoon (2009). „Pedestrian wind comfort around a large football stadium in an urban environment: CFD simulation, validation and application of the new Dutch wind nuisance standard“. I: *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 97.5-6, s. 255–270.
- Hunt, J., E. Poulton og J. Mumford (1976). „The effects of wind on people: new criteria based on wind tunnel experiments“. I: *Building and Environment* 11.1, s. 15–28.
- Menter, F. (1994). „Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications“. I: *AIAA journal* 32.8, s. 1598–1605.
- Troen, I. (1989). *European wind atlas*. Risø National Laboratory.
- Wieringa, J. (1986). „Roughness-dependent geographical interpolation of surface wind speed averages“. I: *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 112.473, s. 867–889.
- (1992). „Updating the Davenport roughness classification“. I: *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 41.1-3, s. 357–368.
- Yang, W., Y. Quan, X. Jin, Y. Tamura og M. Gu (2008). „Influences of equilibrium atmosphere boundary layer and turbulence parameter on wind loads of low-rise buildings“. I: *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 96.10-11. 4th International Symposium on Computational Wind Engineering, s. 2080–2092.
- Yang, Y., M. Gu, S. Chen og X. Jin (2009). „New inflow boundary conditions for modelling the neutral equilibrium atmospheric boundary layer in computational wind engineering“. I: *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics* 97.2, s. 88–95.

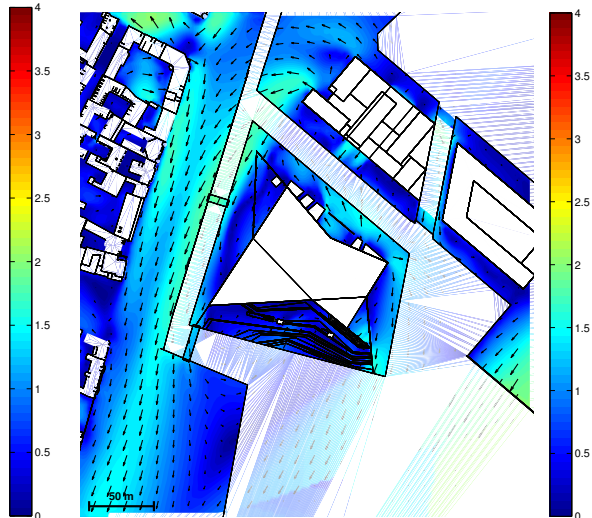
---

## Bilag

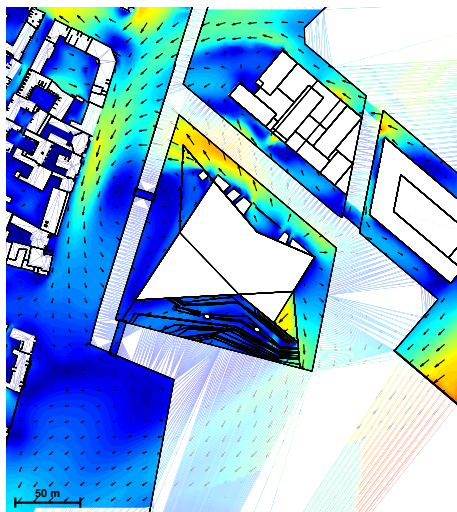
I det følgende forefindes vektor- og konturplots af vindstrømningerne. Farverne angiver den hyppigst forekommende vandrette vindhastighed svarende til den givne retning. Alle enheder er i m/s. For hver retning er den hyppigst forekommende vindhastighed i 10 meters højde angivet som  $U_{ref,10}$ .



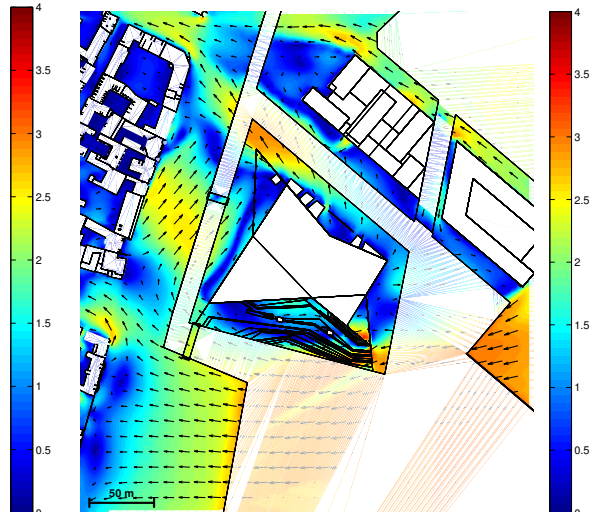
**Figur 16** Vindhastigheder ved vind fra  $0^\circ$  i forhold til nord.  $U_{ref,10} = 1.13$  m/s



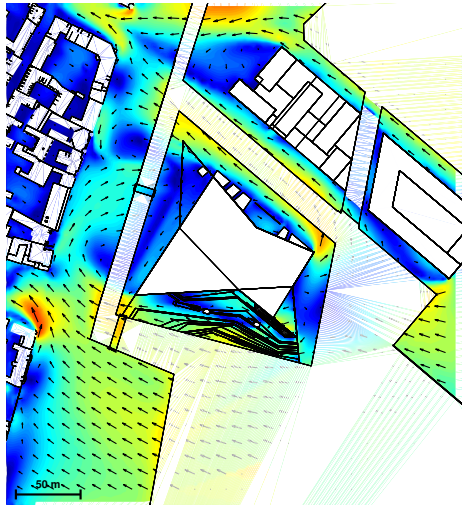
**Figur 17** Vindhastigheder ved vind fra  $30^\circ$  i forhold til nord.  $U_{ref,10} = 1.91$  m/s



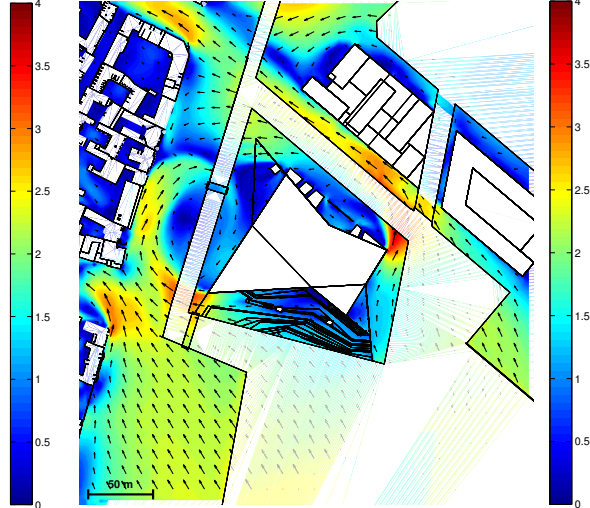
**Figur 18** Vindhastigheder ved vind fra  $60^\circ$  i forhold til nord.  $U_{ref,10} = 3.57$  m/s



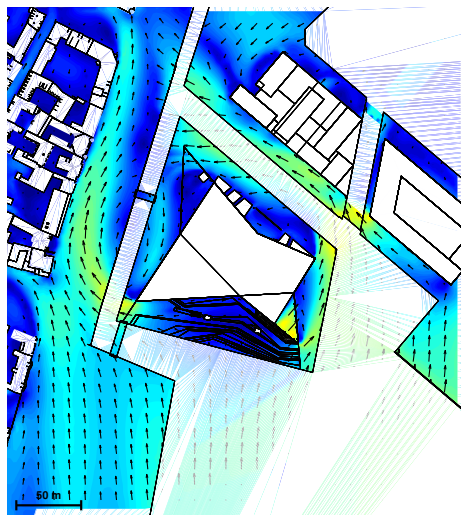
**Figur 19** Vindhastigheder ved vind fra  $90^\circ$  i forhold til nord.  $U_{ref,10} = 2.62$  m/s



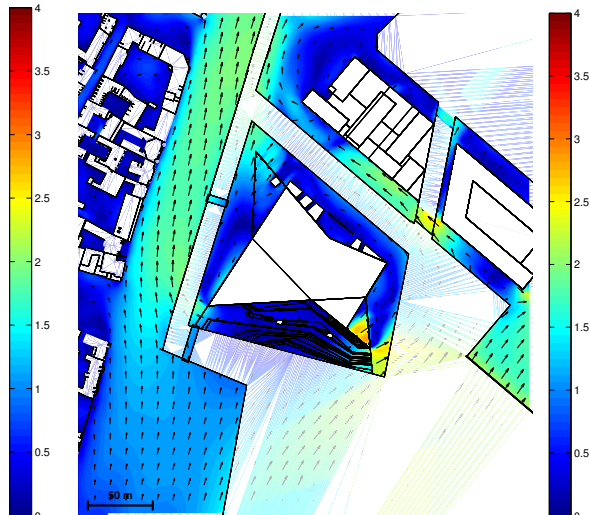
**Figur 20** Vindhastigheder ved vind fra  $120^\circ$  i forhold til nord.  $U_{ref,10} = 2.85$  m/s



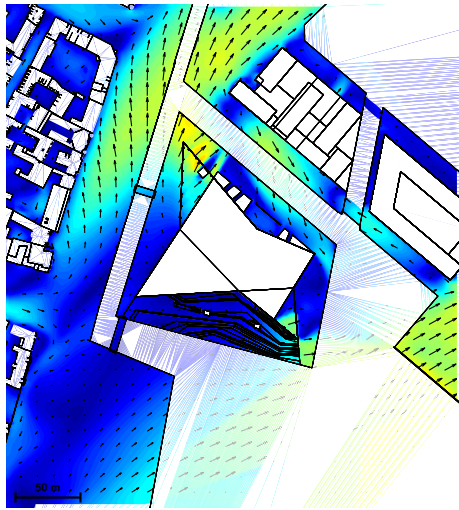
**Figur 21** Vindhastigheder ved vind fra  $150^\circ$  i forhold til nord.  $U_{ref,10} = 2.49$  m/s



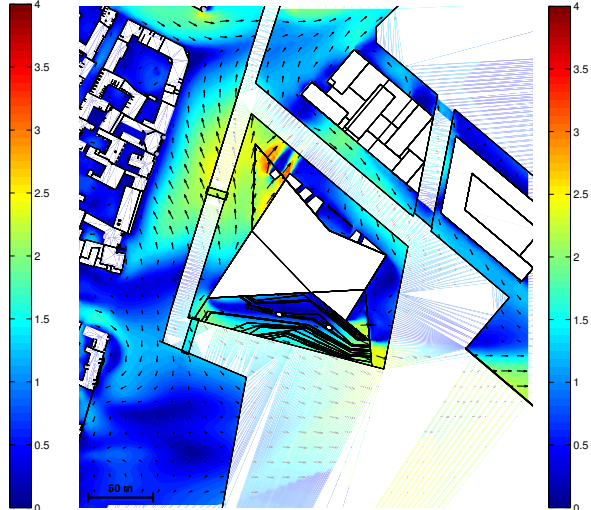
**Figur 22** Vindhastigheder ved vind fra  $180^\circ$  i forhold til nord.  $U_{ref,10} = 1.88$  m/s



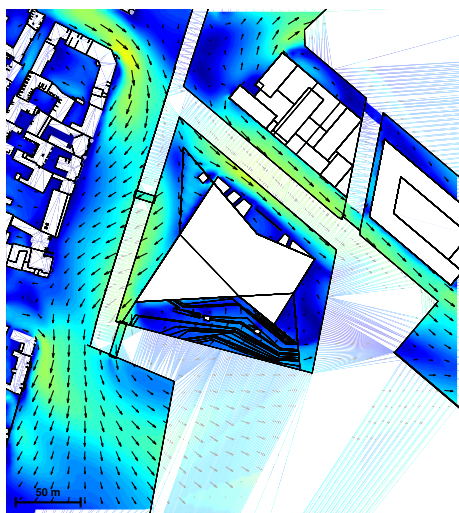
**Figur 23** Vindhastigheder ved vind fra  $210^\circ$  i forhold til nord.  $U_{ref,10} = 1.97$  m/s



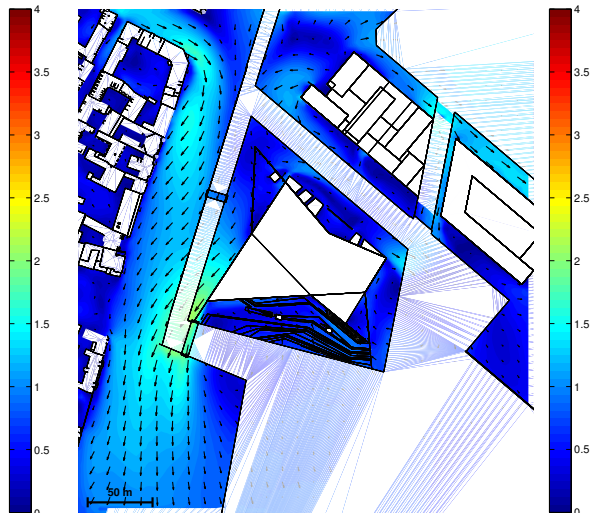
**Figur 24** Vindhastigheder ved vind fra 240° i forhold til nord.  $U_{ref,10} = 2.19$  m/s



**Figur 25** Vindhastigheder ved vind fra 270° i forhold til nord.  $U_{ref,10} = 2.41$  m/s



**Figur 26** Vindhastigheder ved vind fra 300° i forhold til nord.  $U_{ref,10} = 2.42$  m/s



**Figur 27** Vindhastigheder ved vind fra 330° i forhold til nord.  $U_{ref,10} = 1.50$  m/s



## **Seneste udgivelser i DCE Technical Report serien**

Analyse af vindforhold på Viborgvej/Bredskiftevej. Rasmussen, M. R., Lauridsen, T. B., Kjemtrup, I-M., Hjul, J. 2010 Aalborg : Aalborg Universitet. Institut for Byggeri og Anlæg. 42 s. (DCE Technical Reports; 84).

Analyse af vindforhold omkring Isbjerget og Fantomet. Rasmussen, M. R. 2008 Aalborg : Aalborg Universitet. Institut for Byggeri og Anlæg. 25 s. (DCE Technical Reports; 43).

Analyse af vindkomfort og sikkerhed omkring Boliger, Centralværkstedet, Århus. Rasmussen, M. R. 2006 Aalborg : Aalborg University. Institut for Byggeri og Anlæg. 15 s. (DCE Technical Report; 1).



