

Analyse af vindforhold på Viborgvej/Bredskiftevej

Rasmussen, Michael R.; Lauridsen, Thomas Bank; Kjemtrup, Inge-Mette; Hjul, Jonatan

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., Kjemtrup, I.-M., & Hjul, J. (2010). *Analyse af vindforhold på Viborgvej/Bredskiftevej*. Department of Civil Engineering, Aalborg University. DCE Technical reports Nr. 84

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.

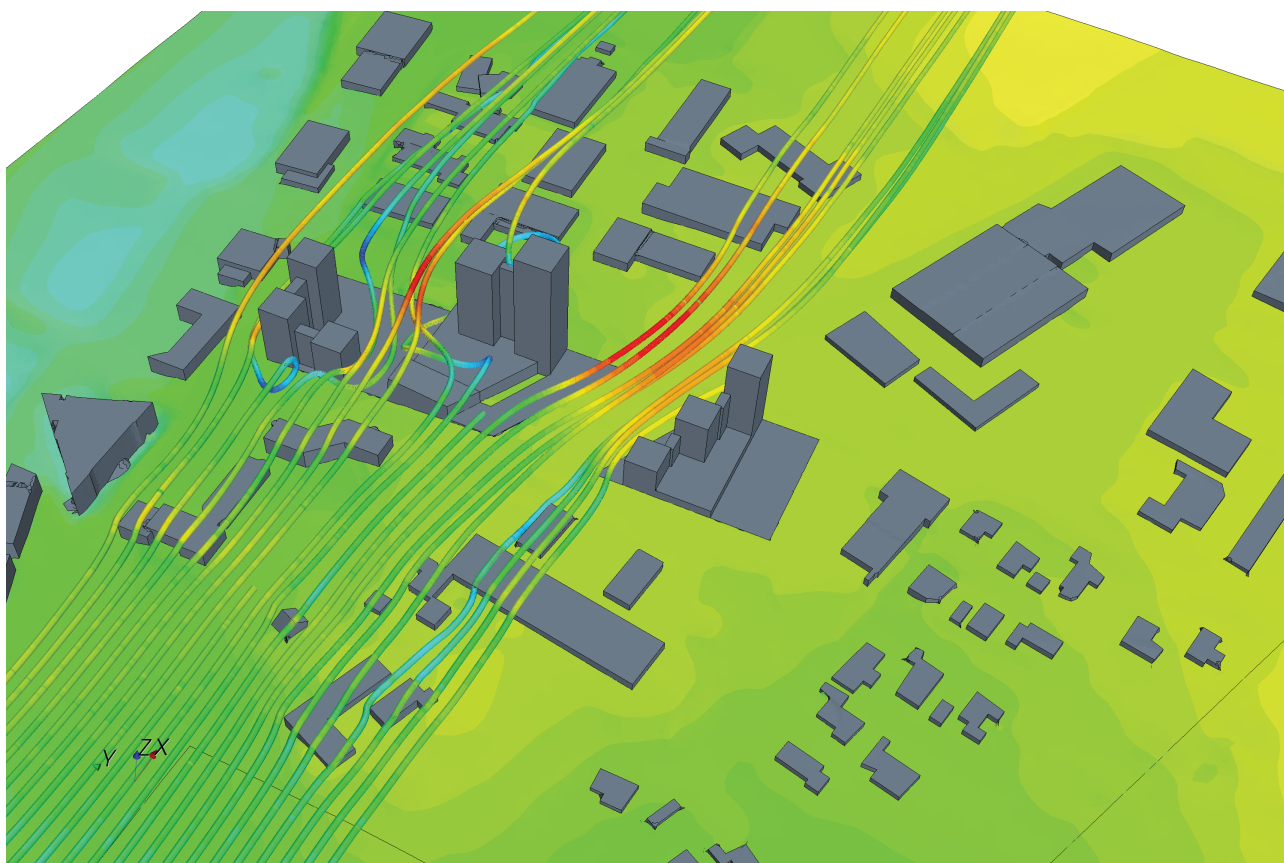
- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in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

Take down policy

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

Analyse af vindforhold på Viborgvej/Bredskiftevej

Michael R. Rasmussen
Thomas Bank Lauridsen
Inge-Mette Kjemtrup
Jonatan Hjul



Aalborg Universitet
Institut for Byggeri og Anlæg
Vand og jord

DCE Technical Report No. 84

Analyse af vindforhold på Viborgvej/Bredskiftevej

Michael R. Rasmussen
Thomas Bank Lauridsen
Inge-Mette Kjemtrup
Jonatan Hjul

Juni 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. 84

Indhold

1 Indledning	6
1.1 Omkringliggende områder	7
1.2 Vindens effekt på komfort og sikkerhed	7
2 Anvendte metoder	9
2.1 Komfort- og sikkerhedskriterier	9
2.1.1 Komfortkriteriet	9
2.1.2 Sikkerhedskriteriet	10
2.2 Beregningsområdet	10
2.3 Beregningsnet	11
2.4 Vindstatistik	13
2.5 Randbetingelser	13
3 Resultater	15
3.1 Vindfænomener grundet de nye højhuse	15
3.2 Komfortkriteriet	16
3.3 Sikkerhedskriteriet	19
3.4 Evaluering efter SBI-anvisning 128	22
3.5 Ideer til forbedring af vindforhold	24
3.5.1 Åbning mellem tårn A1 og A2	24
4 Konklusion	27
Litteratur	28
Bilag	29
Model uden nye højhuse	29
Model med original geometri	32
Model med åbning mellem tårn A1 og A2	36

1 Indledning

Formålet med denne undersøgelse er at afklare, hvorvidt opførelsen af højhuse ved krydset Viborgvej/Bredskiftevej i Århus V medfører uhensigtsmæssige eller farlige vindforhold for fodgængere og cyklister i området omkring de høje bygninger.

figur 1 viser den foreslåede bebyggelsesplan, der inkluderer opførelsen af otte højhuse, hvoraf det højeste kommer til at række 140 m op over havets overflade og bliver ca. 70 m højt. De andre syv vil være lavere bygninger, men dog af betragtelig højde. Bygningerne kommer til at rumme et hotel- og kongrescenter.



Figur 1 Bebyggelsesplan for det nye hotel- og kongrescenter ved Viborgvej i Århus.

På bebyggelsesplanen kan det ses, at de otte nye bygninger, der er optegnet som de mørkegrå områder på tegningen, gennemskæres af Viborgvej, som gennemkrydser området i øst-vest retning. En illustration af udsigten set fra vest ad Viborgvej og op til hotel- og kongrescenteret fremgår af figur 2.



Figur 2 Illustration af udsigten til det kommende hotel- og kongrescenter set fra vest.

1.1 Omkringliggende områder

De nye bygninger bliver opført på en bakketop, og nord for Viborgvej skal fem af de otte bygninger opføres.

Det omkringliggende område nord for Viborgvej er præget af forretningsdomiciler. Lige nord for disse domiciler ligger et rekreativt område med søer, gangstier og marker. Mod øst ligger der forretninger og lettere industri.

Syd for Viborgvej er området præget af enkelte industribygninger mod øst, men er overvejende præget af et villakvarter, som strækker sig over et større område i sydlig retning.

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 σ_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 hvis 5 m/s er overskredet mere end 20 % af tiden bør der foretages forbedringer. Kriterierne fra den hollandske norm NEN 8100, der 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 overskridelsessandsynlighed (%) 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 overskridelsessandsynlighed (%) 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 overskridelsessandsynligheder 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 760 m × 760 m, hvor højhusene ligger i midten af dette domæne. Dermed er der ca. 380 m ud til randen af området fra højhusene. Det vurderes, at dette er tilstrækkeligt for at kunne beregne vindforholdene i området korrekt.

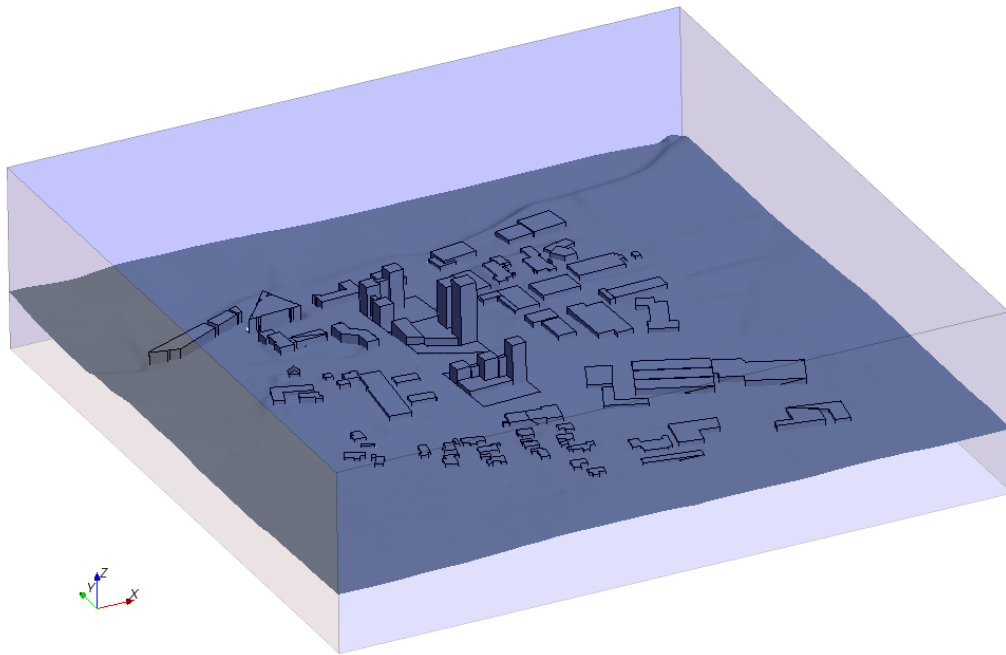
Beregningsområdets øvre rand ligger 150 m over terrænet. Det er eftervist, at beregningsområdet er tilstrækkeligt stort til at undgå interaktion fra randene med strømmingen omkring højhusene.

Modellen består af forholdsvis detaljerede beskrivelser af konstruktioner og terræn i området. Detaljeringsgraden er størst ved højhusene og mindre ud mod områdets rande. Dette er en følge af, at objekter langt fra højhusene har mindre effekt end de nærmeste objekter.

Alt der er længere væk end de 380 m, som beregningsdomænet indeholder fra højhusene, bliver modelleret ved en ruhed ved domænets indløb. Denne ruhed afhænger af, hvilken

retning strømmingen har. Jo mere bebygget eller bevokset område, des større ruhed. Dette er yderligere beskrevet i afsnit 2.5.

Det anvendte beregningsområde fremgår af figur 3, hvor højhusene kan ses i centrum af beregningsmodellen.



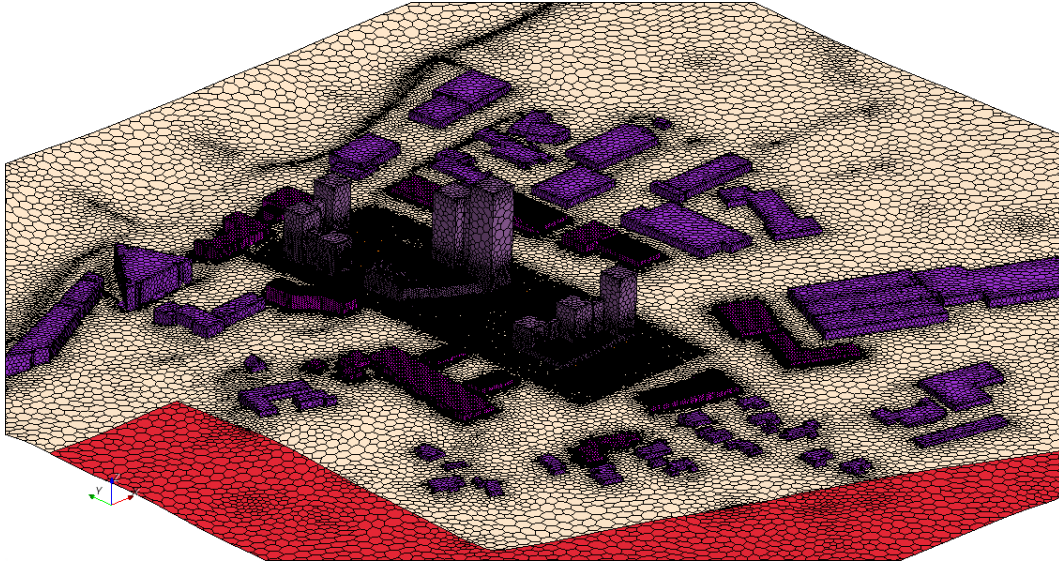
Figur 3 Overblik over beregningsområdet, der benyttes i CFD-beregningerne.

2.3 Beregningsnet

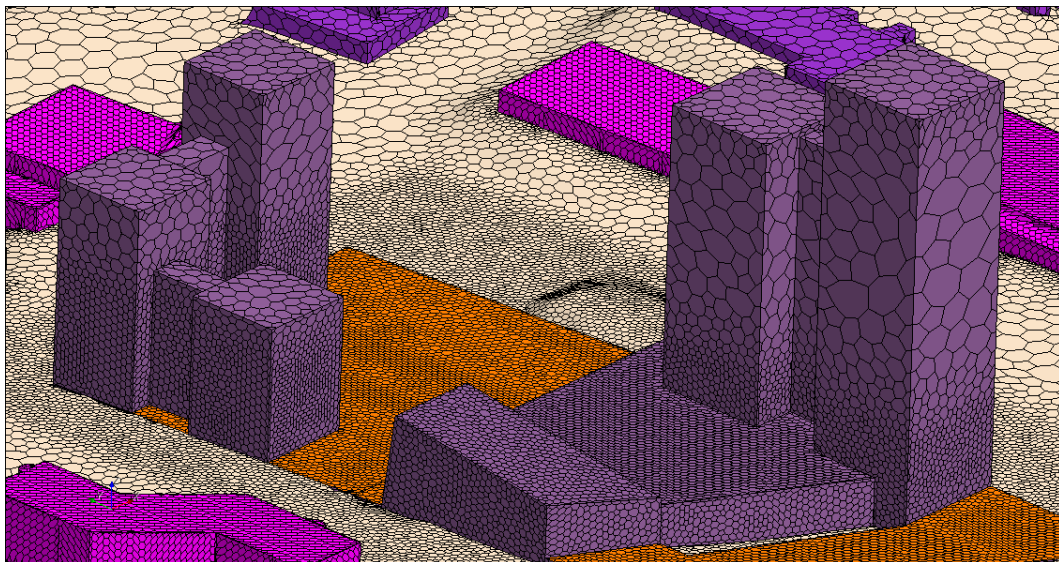
For hver enkelt vindretning er beregningsområdet opdelt i et beregningsnet bestående af omtrent 2000000 celler. Størrelsen af de enkelte beregningsceller afhænger af, hvor detaljeret resultaterne ønskes. Det er eftervist, at opløsningen er tilstrækkelig.

De fleste celler er anvendt omkring højhusene, hvor cellestørrelsen er mindre i de ned-erste 20 m. De nærmeste bygninger er forfinet, mens størrelsen på cellerne længere væk fra interesseområdet gradvist forøges.

På jorden 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 4 og 5.



Figur 4 Illustration af beregningsnet for beregningsområdet.



Figur 5 Illustration af beregningsnet på højhusene.

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_{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 6 og figur 7 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 for Viborgvej/Bredskiftevej.

Sektor	Frekvens	A	k
0	4.46	3.69	1.47
30	4.87	3.64	1.70
60	5.45	3.65	1.66
90	7.64	2.78	1.64
120	8.15	3.21	1.61
150	8.20	3.39	1.61
180	8.26	3.24	1.59
210	9.34	3.58	1.72
240	11.7	4.26	1.87
270	14.4	4.25	1.87
300	11.4	4.78	1.81
330	6.14	3.58	1.47

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, κ [-] 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 6.



Figur 6 De lokale ruheders afhængighed af vindretning.



Figur 7 De regionale ruheders afhængighed af vindretning.

I vindtunnelen er der anvendt SST k - ω -modellen efter Menter (1994) og Yang et al. (2008) til at beregne turbulensen. Indløbsprofilerne for den turbulente kinetiske energi k og den specifikke dissipationsrate ω er bestemt efter profilerne angivet af Yang et al. (2009) og Yang et al. (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_μ , 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 undtagen i området sydvest for byggeriet, som fremgår af figur 4, hvor der anvendt en ruhed svarende til $z_0 = 1$ m for at simulere parcelhuskvarteret. Bygningerne betragtes som glatte overflader, og på de frie rande er der anvendt symmetri.

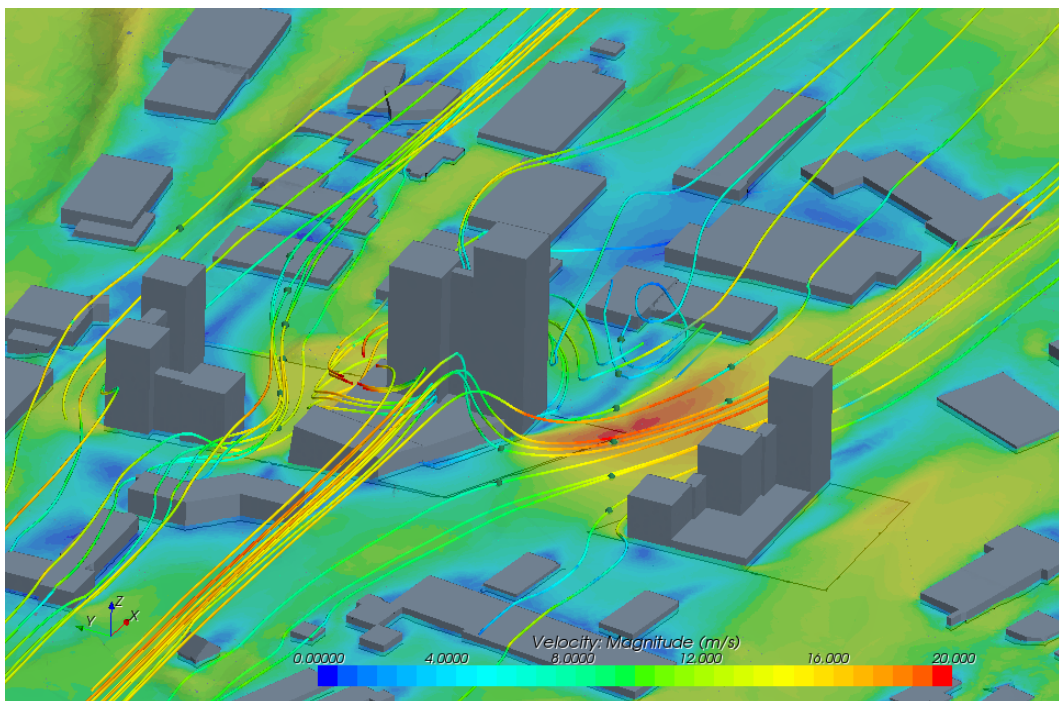
3 Resultater

For at evaluere komfort og sikkerhed i området er der lavet to beregninger for hver af kriterierne; en beregning uden de nye højhuse, og en beregning med højhusene. Dette er for at se om de nye bygninger i sig selv påvirker området, eller om der evt. hele tiden har været problemer med vindforholdene i området.

Disse beregninger er udført 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 grundet de nye højhuse

I forbindelse med etableringen af de nye højhuse opstår nogle vindfænomener, som i det følgende vil blive evalueret og forklaret. Til forklaringen af vindfænomenerne er strøm-linier plottet med vind fra vest. Dette kan ses på figur 8.



Figur 8 Strøm-linier omkring højhusene ved Viborgvej. Vind fra Vest. Det farvede plan i bunden svarer til evalueringshøjde.

Ved de to højeste bygninger ses det, at vinden fra vest rammer direkte ind i højhusene. Vinden er derfor tvunget til at strømme rundt om hjørnerne af de to bygninger. Dermed accelereres vinden op omkring hjørnet i en hjørnestrømning. Grundet de høje bygninger er hjørnestrømningen mere udtalt end ved lave bygninger, da vinden i disse tilfælde har lettere ved også at komme over bygningen.

3.2 Komfortkriteriet

For komfortkriteriet kan resultatet for beregningen udført med områdets nuværende udformning ses på figur 9, mens resultatet med de kommende højhuse inkluderet kan ses på figur 10.

På figurerne kan ses en inddeling i farver som følger de opstillede kriterier i afsnit 2.1.

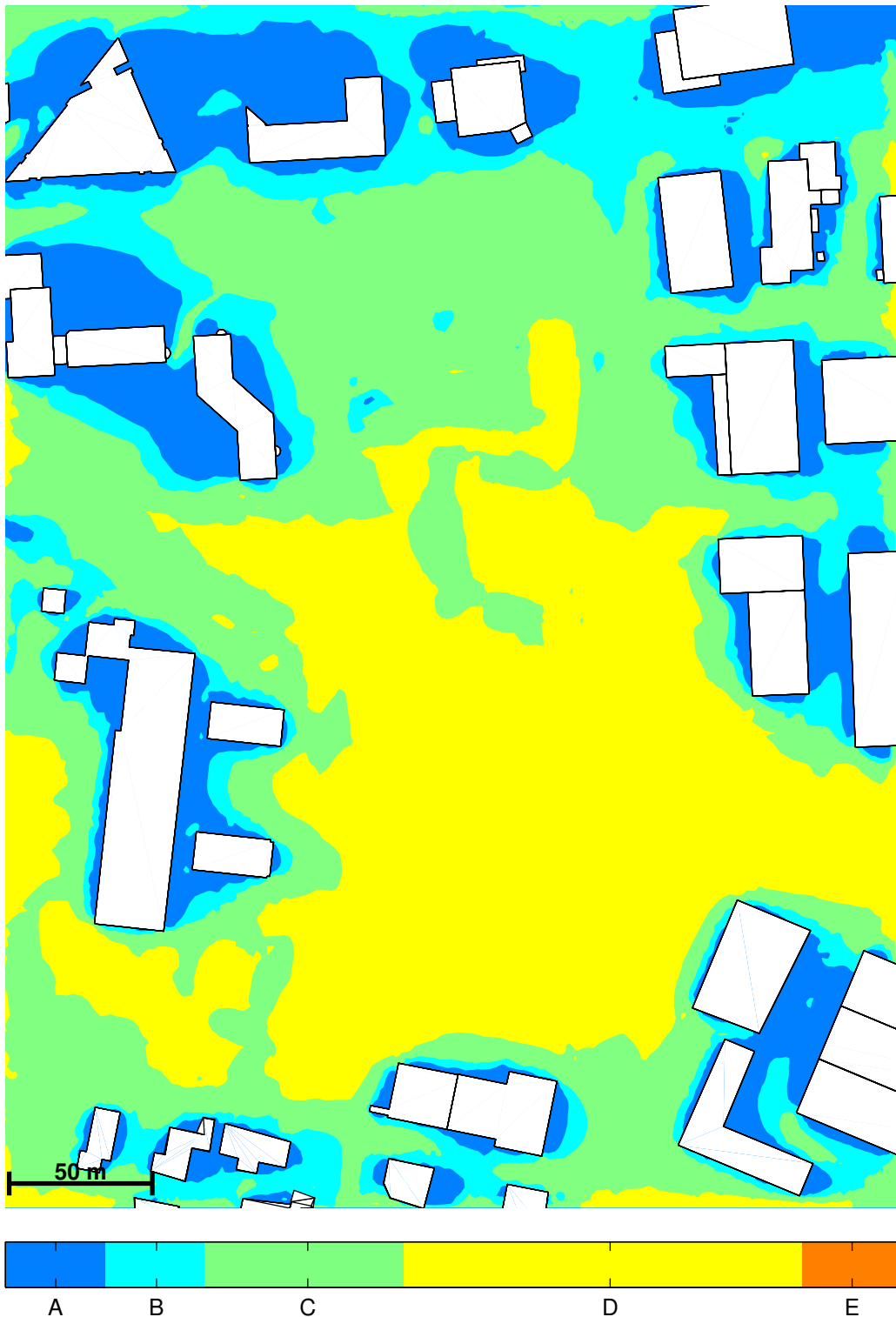
Det analyserede område inddeles i to områder; et område nord for Viborgvej og området syd for Viborgvej.

Beskrives først området nord for Viborgvej fremgår det af figur 9 og 10, at hele området er påvirket af højhusene. Specielt ses det, at der ved hjørnet af de to største bygninger, A1 og A2, er områder, hvor komforten ligger i kategori E, som er det laveste niveau for komfort.

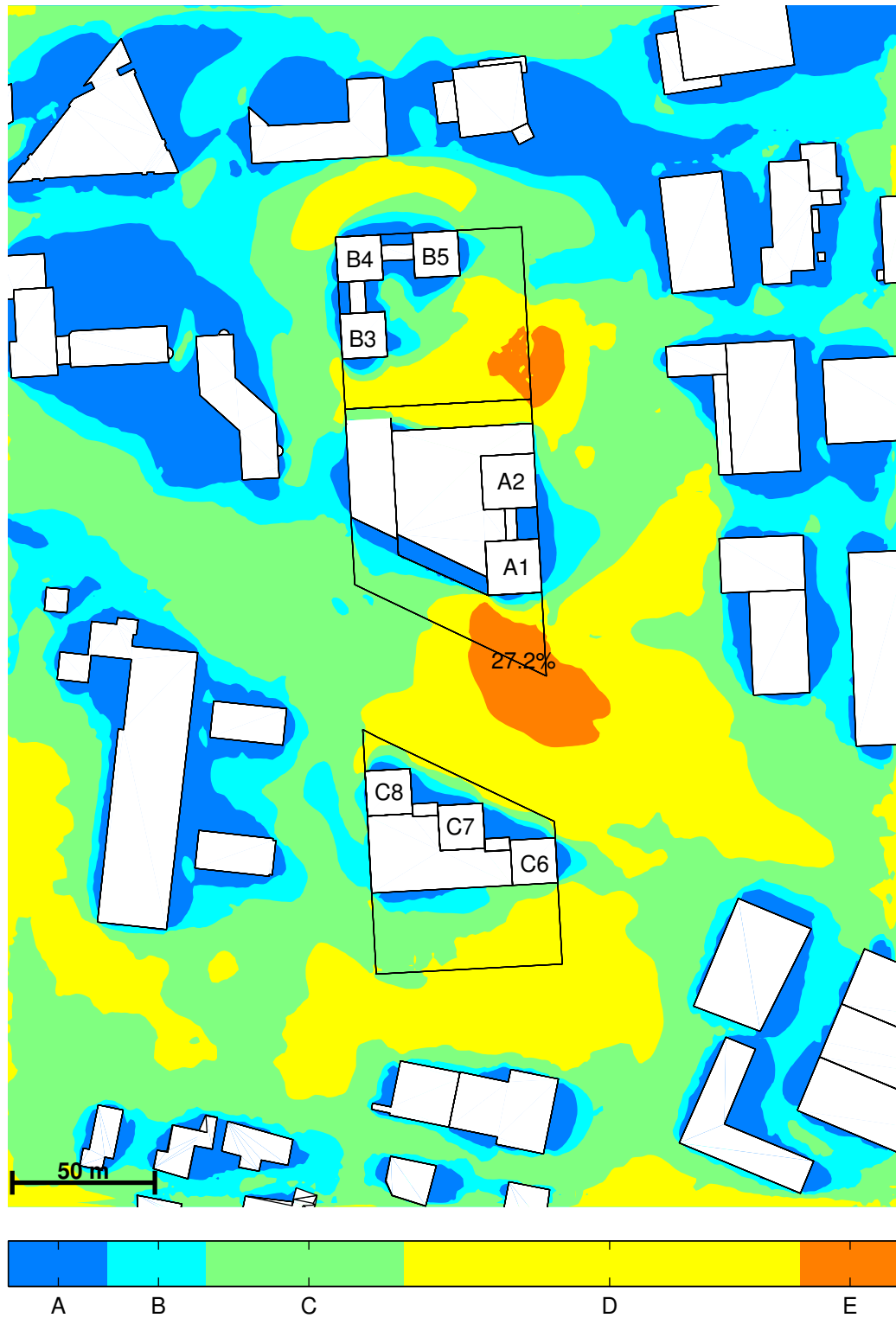
Yderligere kan det ses, at større områder nu er kommet til at ligge i kategori D, hvormed det kan konkluderes, at vindkomforten i området generelt er blevet forværret. Dette anses dog ikke for problematisk, da de områder som er blevet forværret er områder med parkering eller vej, hvor det må antages, at folk ikke opholder sig i længere tid, og typisk bare bevæger sig fra A til B.

Det kan også ses, at det rekreative område, som ligger nord for forretningsdomicilerne, er minimalt påvirket af de nye højhuse.

Syd for Viborgvej er der ingen områder, som kommer helt op i kategori E, men dog et større område i kategori D. Igen er det område, hvor vindforholdene er mest påvirkede af højhusene, et område med parkeringspladser.



Figur 9 Komfortniveauer for området omkring Viborgvej/Bredskiftevej før opførelse af højhusene.



Figur 10 Komfortniveauer for området omkring Viborgvej/Bredskiftevej efter opførsel af højhusene.

3.3 Sikkerhedskriteriet

På figur 11 ses et konturplot for området før højhusene bliver opført, og på figur 12 et konturplot for området efter højhusene er opført.

Igen startes der med at se på den nordlige side af Viborgvej. Det kan igen ses, at der er hjørnestrømninger, som opstår på hver side af bygning A1 og A2. Disse områder ligger i kategori C. Alle områder markeret med orange anses derfor som uacceptable, hvad angår vindforholdene.

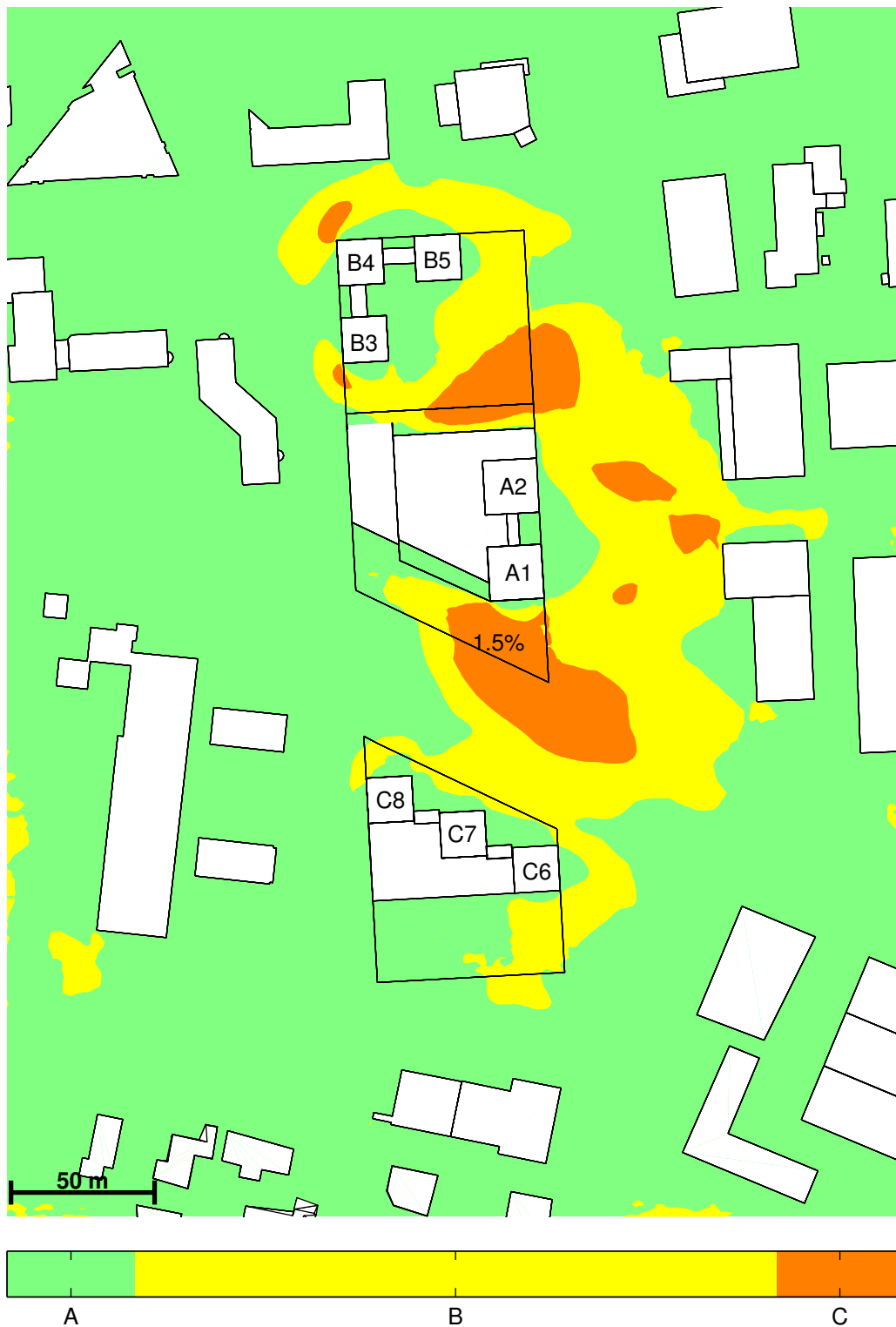
Det er specielt problematisk med den hjørnestrømning, som giver anledning til kraftig vind i det sydligste område nord for Viborgvej. Dette område ligger ud til Viborgvej, og dækker derfor et område, hvor der er både cykelsti og fortov og desuden et lyskryds.

Syd for Viborgvej er der ingen områder, som giver anledning til problematiske situationer, men dog er et større område i kategori B.

Alle områder, som ligger i kategori C, er problematiske, og det kan derfor være en mulighed at se på løsningsforslag, som kan nedsætte vinden i de områder, som er påvirket af de nye bygninger.



Figur 11 Konturplot for sikkerhedskriteriet, som det ser ud inden højhusene opføres.



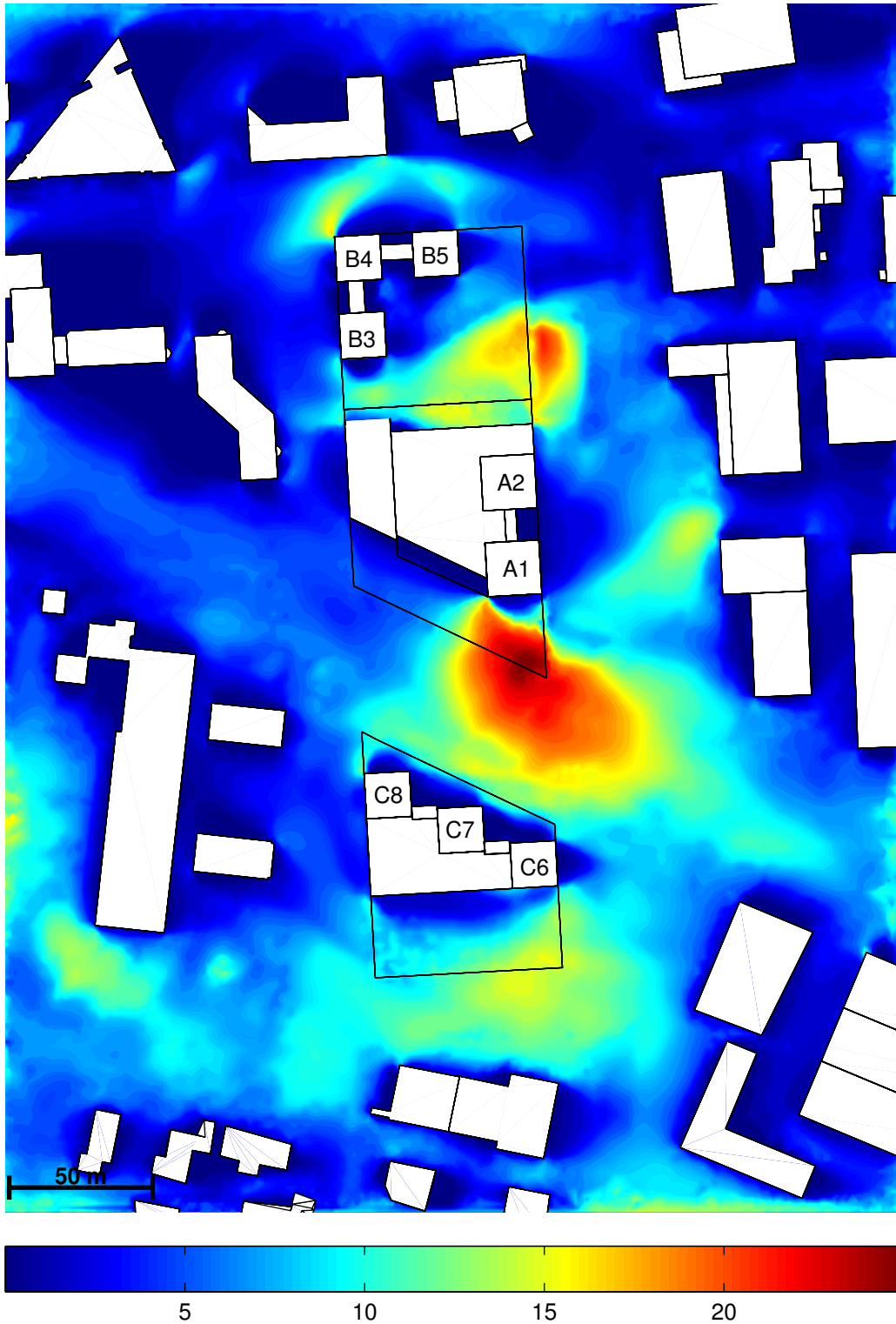
Figur 12 Konturplot over sikkerhedskriteriet, efter højhusene er opført.

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 13.

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



Figur 13 Vindforhold evalueret efter 5 m/s-kriteriet angivet i SBI-anvisning 128.

3.5 Ideer til forbedring af vindforhold

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 som er dokumenteret i det forudgående.

Beregningsresultaterne viser to ting: Vindhastighederne og hyppighederne af disse vindhastigheder. At der opstår kraftig vind – endog farlig vind gælder alle steder i bebyggede områder. Beregningerne viser at der her opstår kraftig vind hyppigere end andre steder i området og at det skyldes den markante arkitektur.

En række principielle muligheder for at forbedre vindkomforten og sikkerheden omkring specielt bygning A1 og A2 er listet her:

1. Åbning eller delvis åbning af passagen mellem tårnene A1 og A2.
2. Ændring af det geometriske layout af hele komplekset (bebyggelsesplanen) for at forbedre vindforholdene.
3. Anvendelse af læskærme og beplantning i området.

Det er klart at mulighed 2 kræver en meget omfattende og omkostningsfuld proces, der grundlæggende kræver at man starter helt forfra med at tegne bygningskomplekset med en ny bebyggelsesplan. Det vil derfor af praktiske og økonomiske årsager være ønskeligt hvis en kombination af mulighed 1) og 3) blev gennemtænkt først. Der er derfor gennemført beregninger for at se hvad en åbning af området mellem tårn A1 og A2 vil give af ændringer i forhold til det oprindelige design.

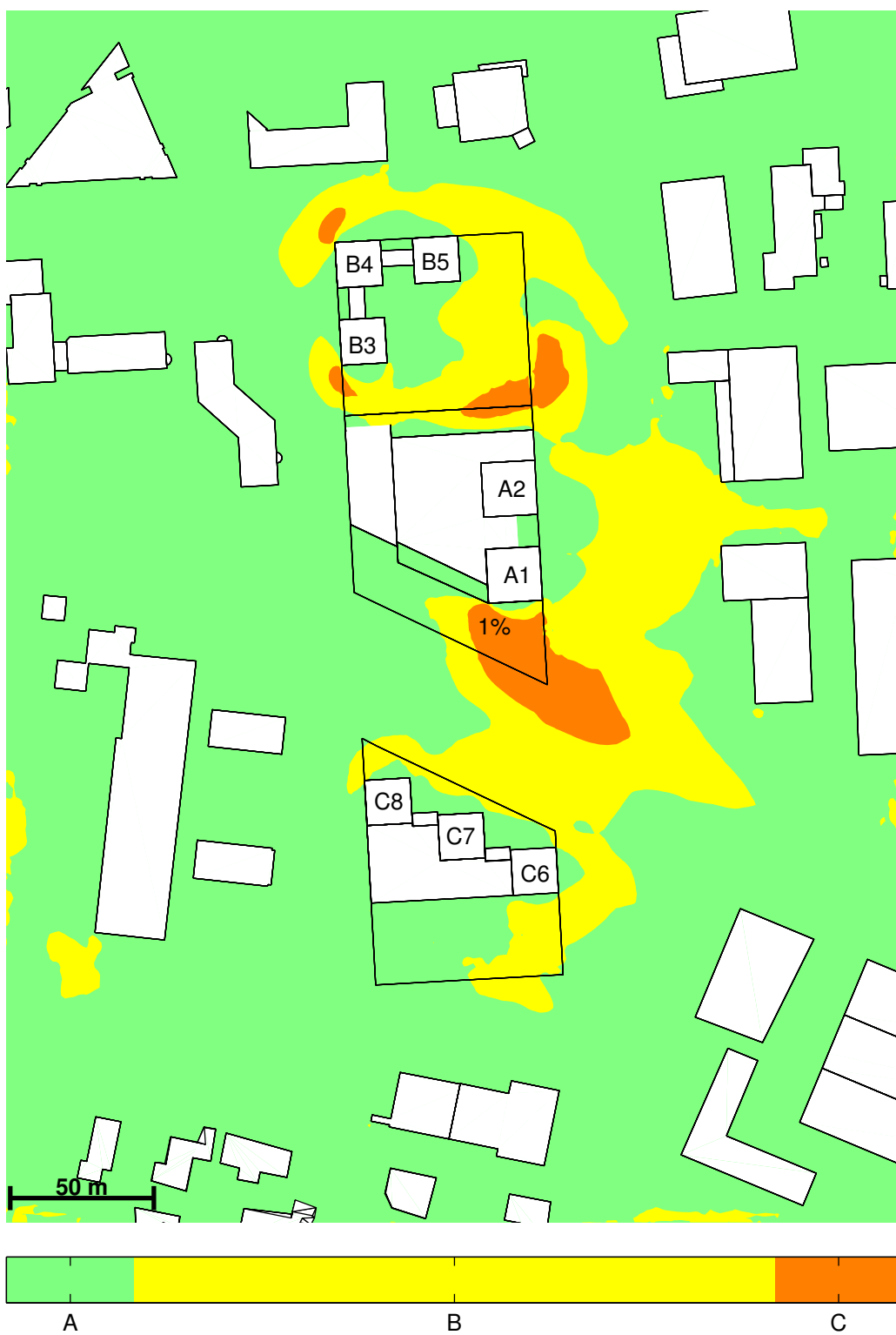
3.5.1 Åbning mellem tårn A1 og A2

Evalueringen er foretaget på samme måde som referencemodellen. Den eneste forskel er, at passagen mellem tårnene A1 og A2 er fuldstændigt åben. Niveauinddelingen for komfort og sikkerhed fremgår af figur 14 og 15. Det er absolut muligt at der kan opnås samme resultater med en delvis åbning mellem tårnene, men af praktiske årsager er den fulde åbning undersøgt her.

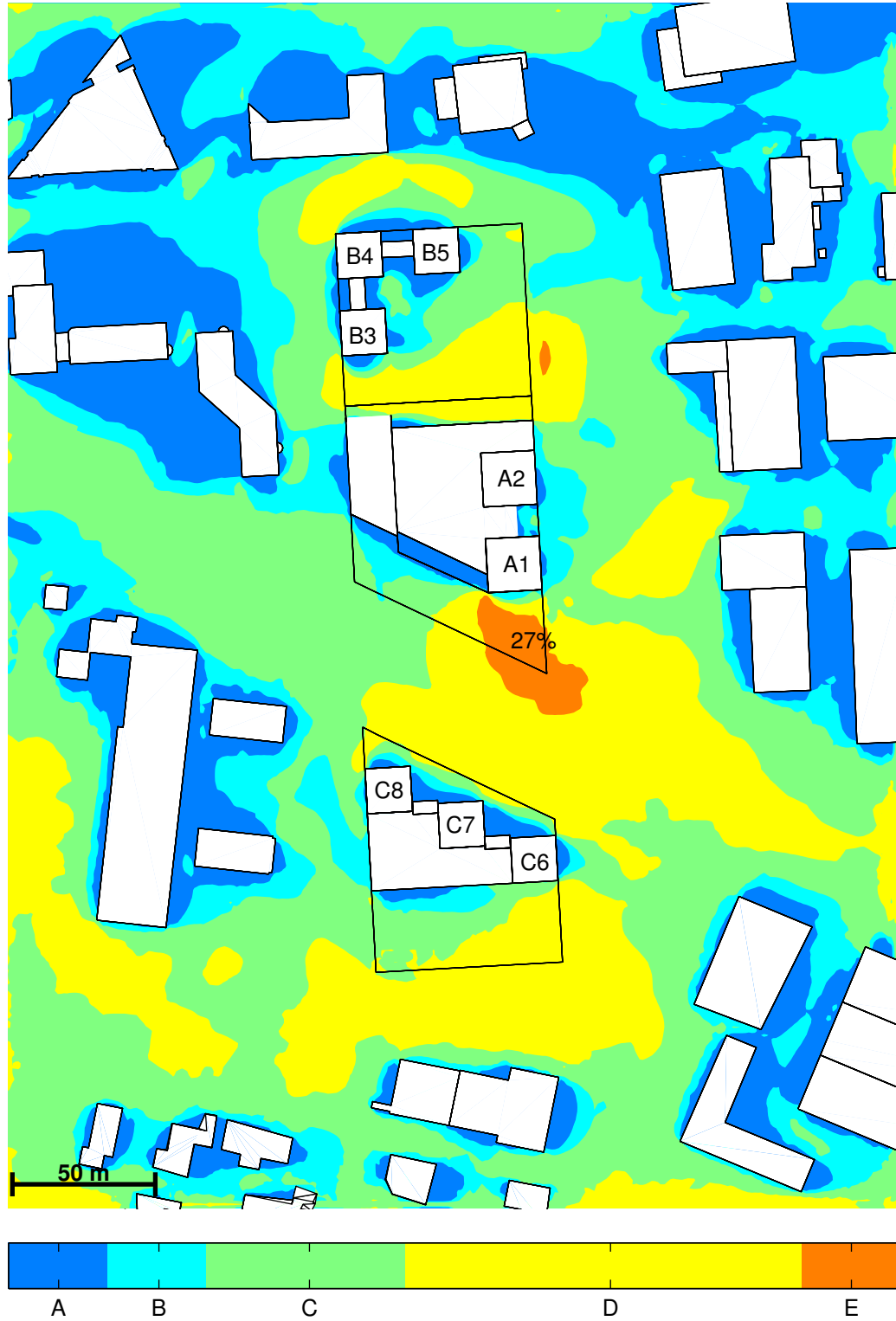
Det fremgår at åbningen mellem tårn A1 og A2, mindskes overskridelses sandsynligheden markant. Det er ikke alene nok til at gå fra niveau E til D alle steder. Området øst for tårnene A1 og A2 er ikke længere i sikkerhedskategori C, og omfanget af hjørnestrømningerne ved tårnene bliver mindre. Ligeledes kan det ses at der omkring indgangsområdet til kompleks (Nord) er en væsentlig forbedring af vindforholdene.

Yderligere tiltag er anbefalelsesværdige for at undgå problemer med kraftig vind. Der kan med fordel arbejdes kreativt med læskærme og beplantning. Sekundært kan bebyggelsesplanen justeres.

I bilaget findes kontur- og vektorplots af vindhastigheder for modellen uden nye bygninger, med nye bygninger, samt forslaget med åbning af passagen mellem A1 og A2. Dette er angivet for hver af de 12 vindretninger.



Figur 14 Sikkerhedsniveauer ved åbning mellem tårn A1 og A2.



Figur 15 Komfortniveauer ved åbning mellem tårn A1 og A2.

4 Konklusion

Beregningerne viser, at hverken komfort eller sikkerhedskriteriet er helt opfyldt med den oprindelige bygningsgeometri hvor tårn A1 og A2 er helt sammenbygget. De anvendte kriterier stammer fra de Hollandske normer, da der ikke eksisterer tilsvarende normer tilpasset til danske forhold.

Evaluering efter den danske SBI-anvisning 128 angiver at området ikke når niveauet for „meget ubehageligt til farligt“, men at der bør foretages forbedringer. Denne evaluering tager dog ikke højde for vindstød.

Ved at bryde gennem sammenbygningen mellem tårn A1 og A2 og tillade at luften slipper igennem mellem tårnene sker der en forbedring af komfort og sikkerhedsniveauerne.

For at nedbringe vindeffekterne yderligere kan der arbejdes med at lave læskabende foranstaltninger. Alternativt kan bebyggelsesplanen justeres.

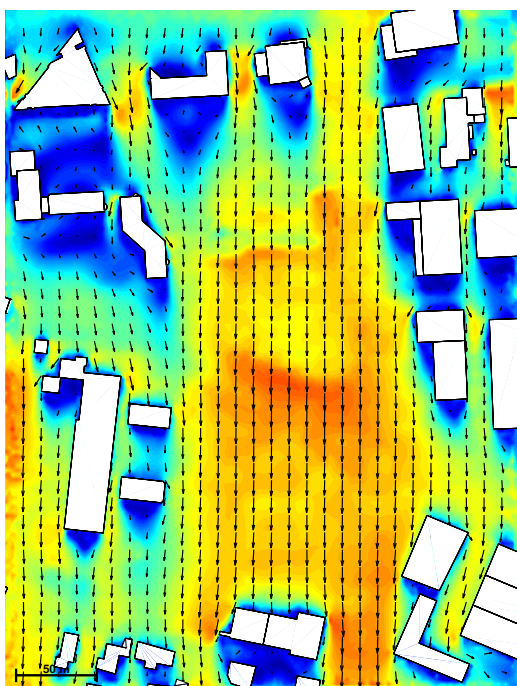
Litteratur

- 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.

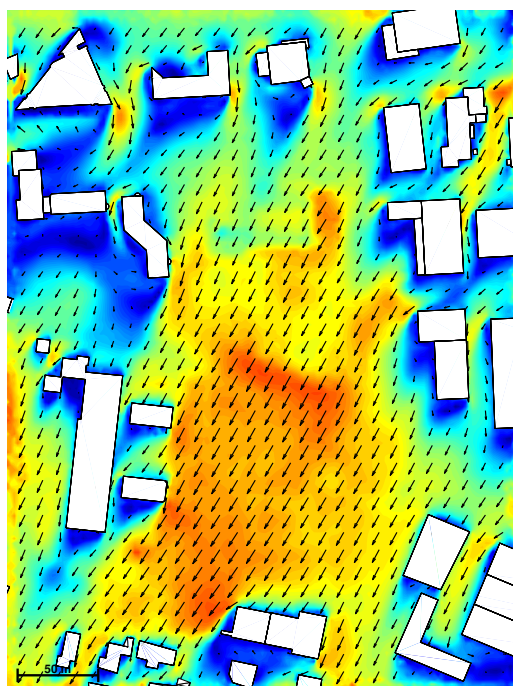
Bilag

I det følgende forefindes vektor- og konturplots af vindstrømningerne. Farverne angiver den vandrette vindhastighed.

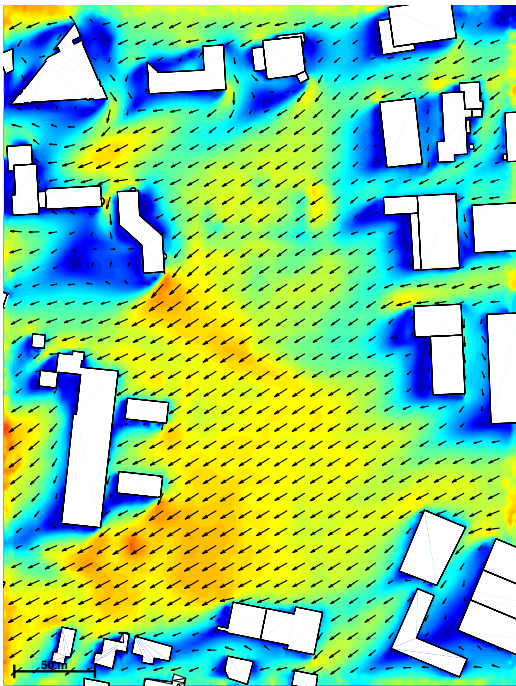
Model uden nye højhuse



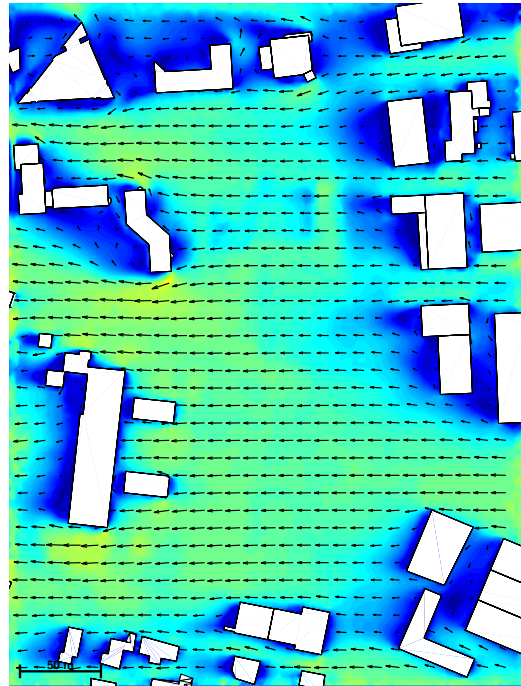
Figur 16 Vektorplot af vind fra 0° i forhold til nord.



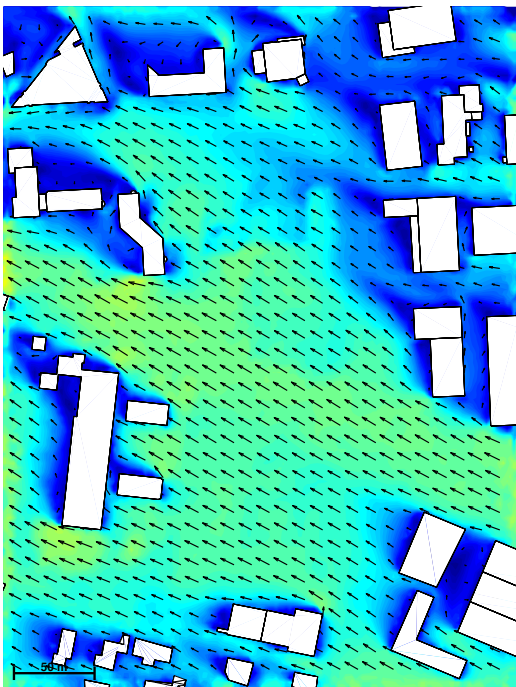
Figur 17 Vektorplot af vind fra 30° i forhold til nord.



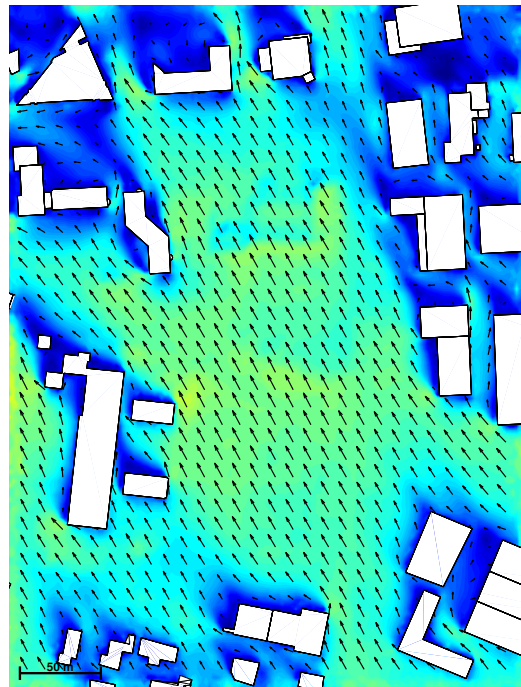
Figur 18 Vektorplot af vind fra 60° i forhold til nord.



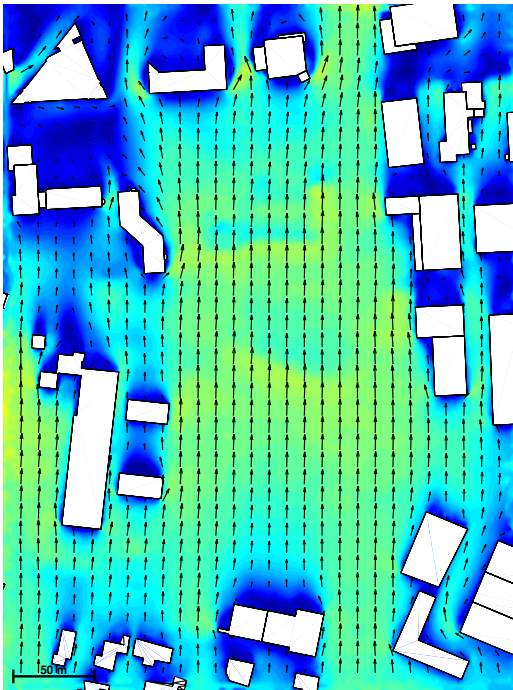
Figur 19 Vektorplot af vind fra 90° i forhold til nord.



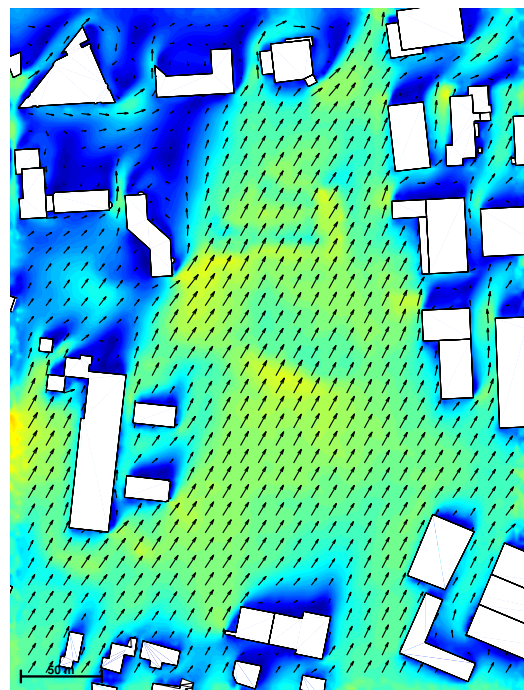
Figur 20 Vektorplot af vind fra 120° i forhold til nord.



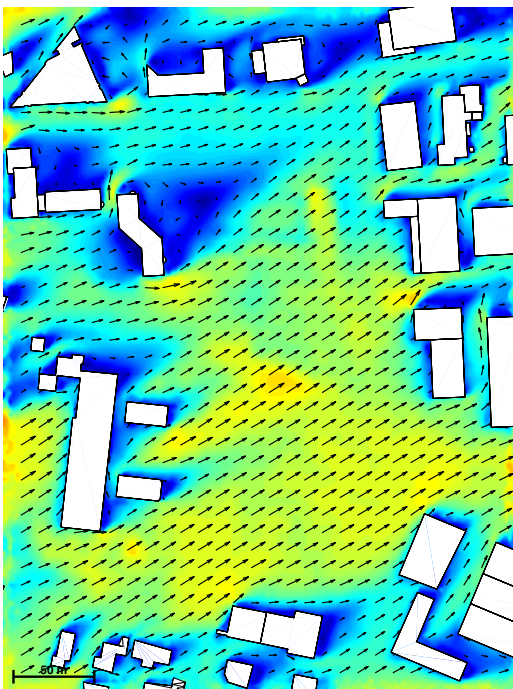
Figur 21 Vektorplot af vind fra 150° i forhold til nord.



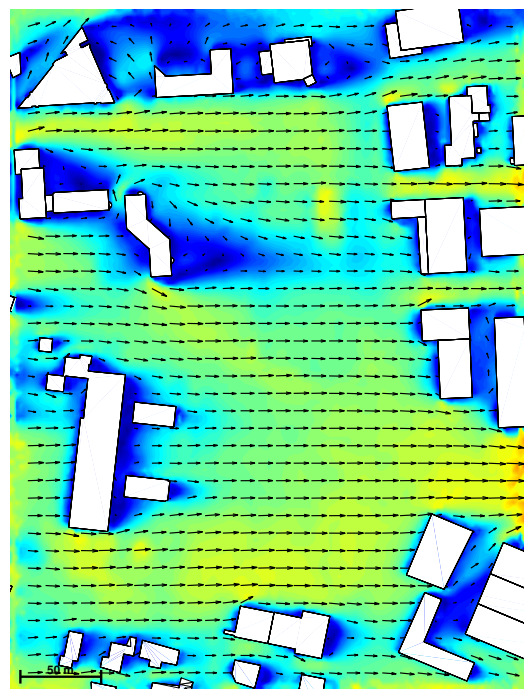
Figur 22 Vektorplot af vind fra 180° i forhold til nord.



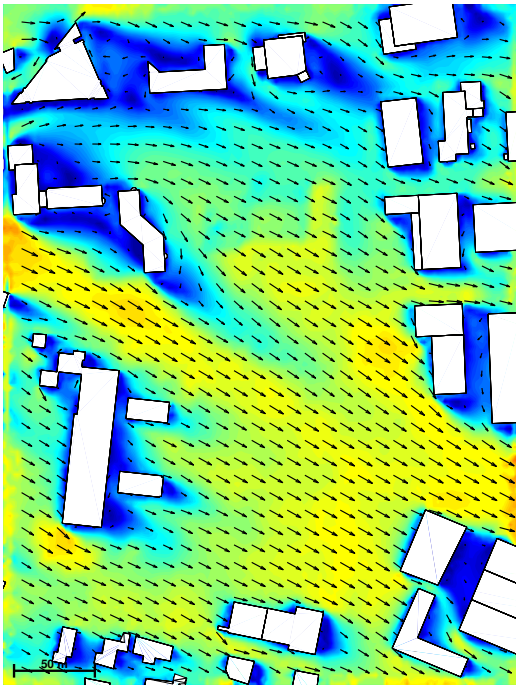
Figur 23 Vektorplot af vind fra 210° i forhold til nord.



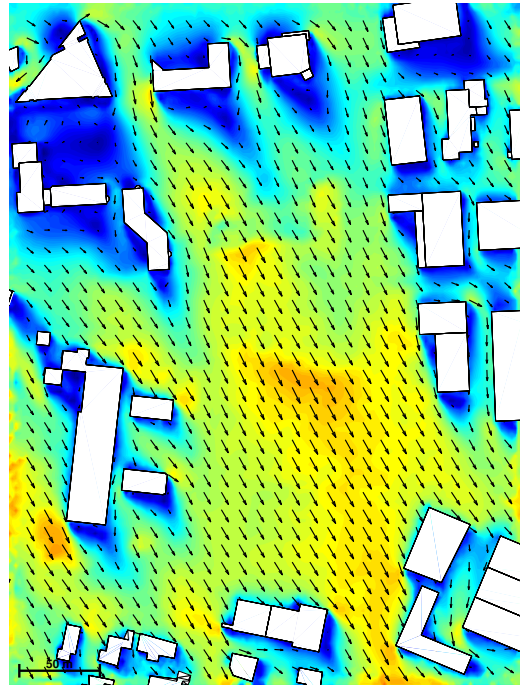
Figur 24 Vektorplot af vind fra 240° i forhold til nord.



Figur 25 Vektorplot af vind fra 270° i forhold til nord.

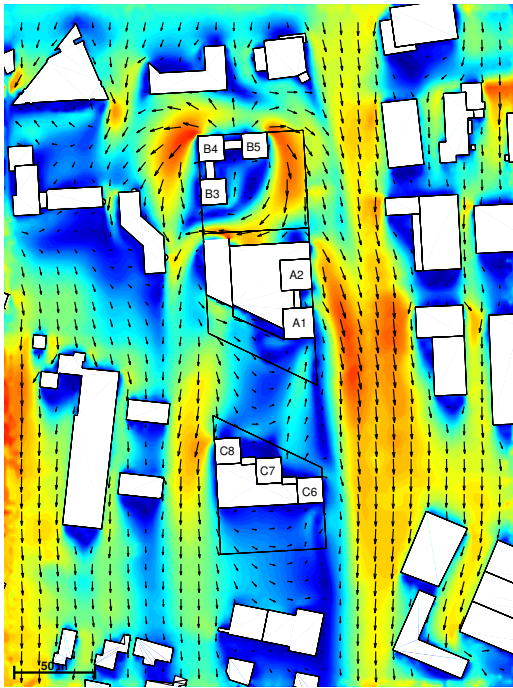


Figur 26 Vektorplot af vind fra 300° i forhold til nord.

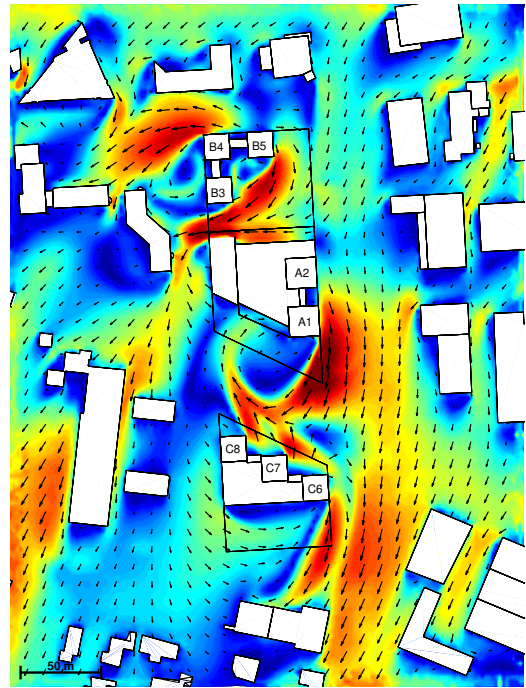


Figur 27 Vektorplot af vind fra 330° i forhold til nord.

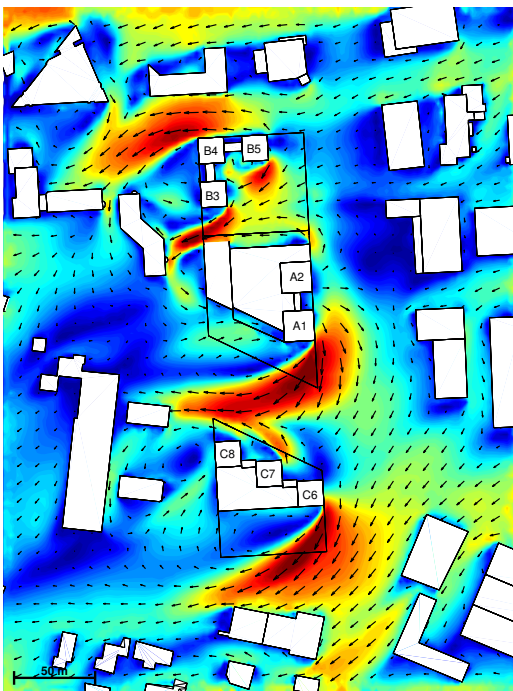
Model med original geometri



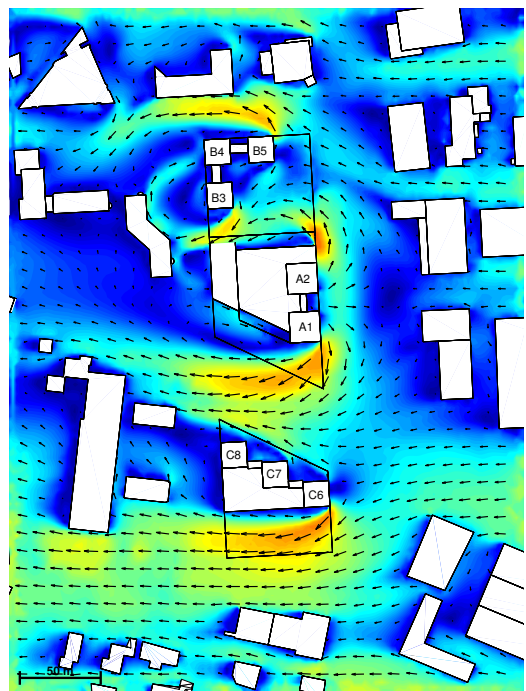
Figur 28 Vektorplot af vind fra 0° i forhold til nord.



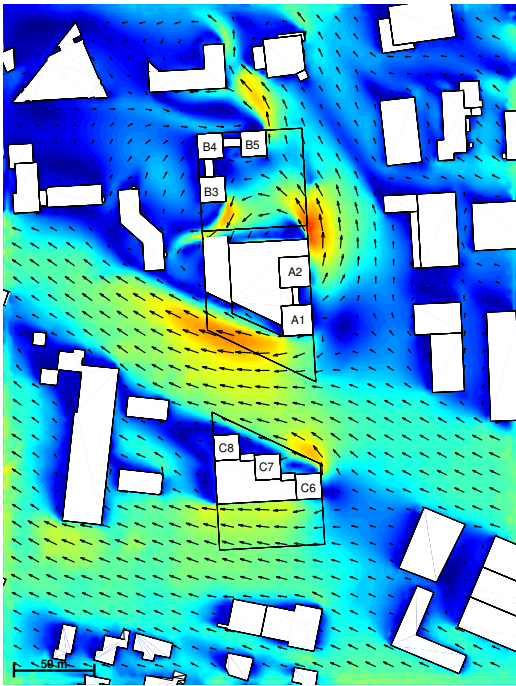
Figur 29 Vektorplot af vind fra 30° i forhold til nord.



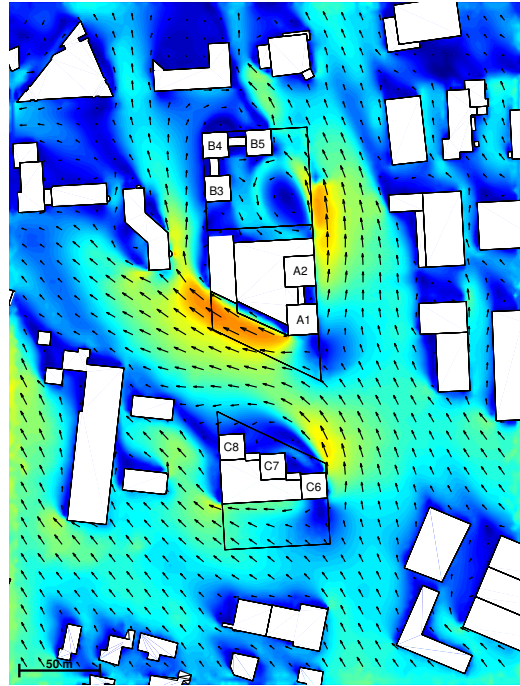
Figur 30 Vektorplot af vind fra 60° i forhold til nord.



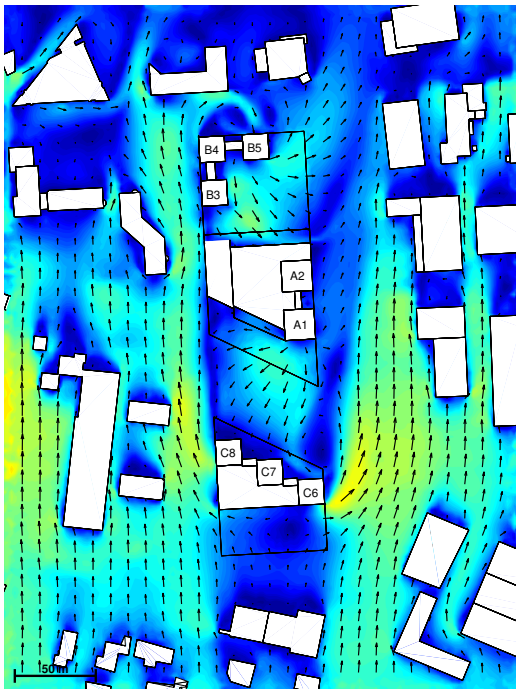
Figur 31 Vektorplot af vind fra 90° i forhold til nord.



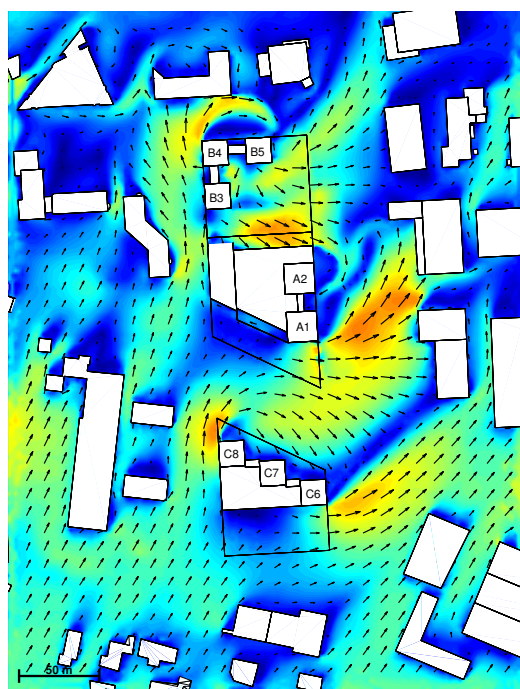
Figur 32 Vektorplot af vind fra 120° i forhold til nord.



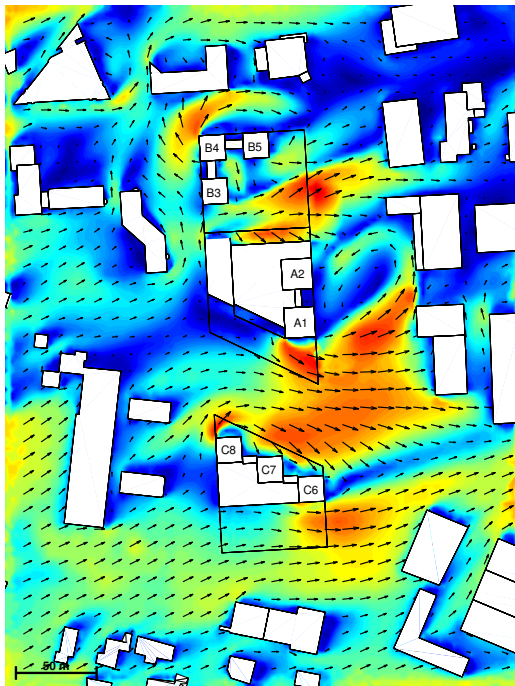
Figur 33 Vektorplot af vind fra 150° i forhold til nord.



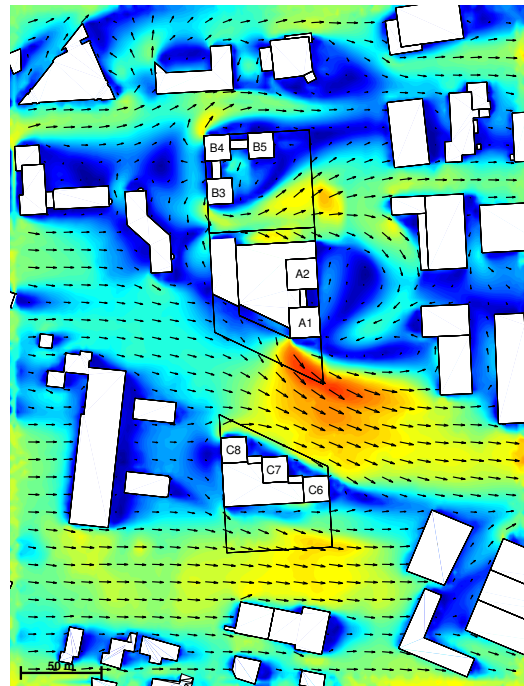
Figur 34 Vektorplot af vind fra 180° i forhold til nord.



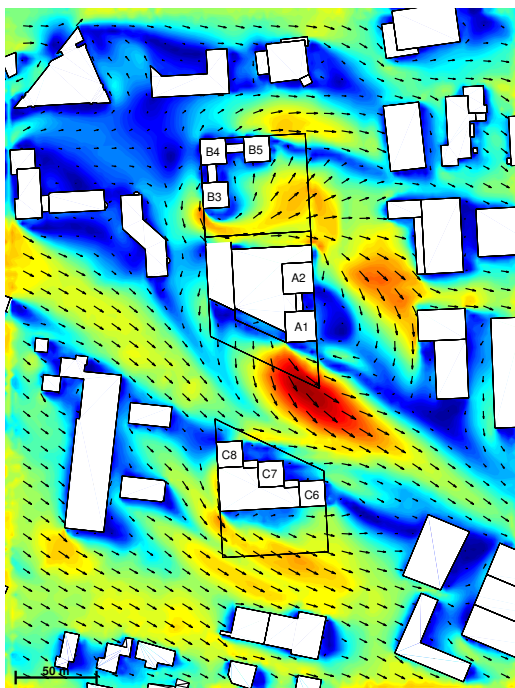
Figur 35 Vektorplot af vind fra 210° i forhold til nord.



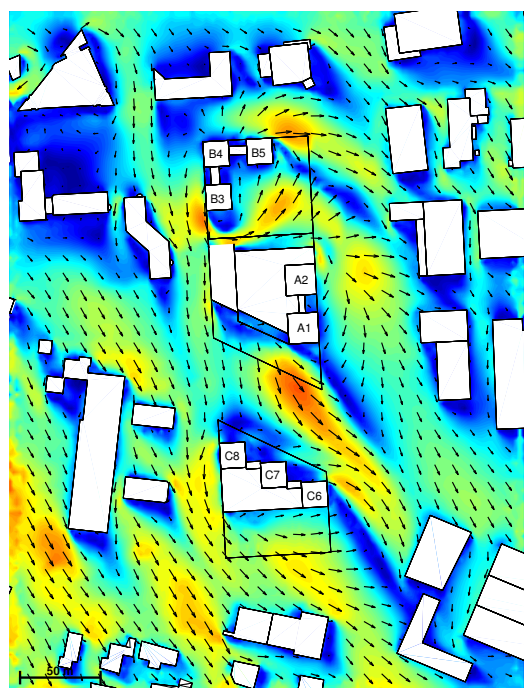
Figur 36 Vektorplot af vind fra 240° i forhold til nord.



Figur 37 Vektorplot af vind fra 270° i forhold til nord.

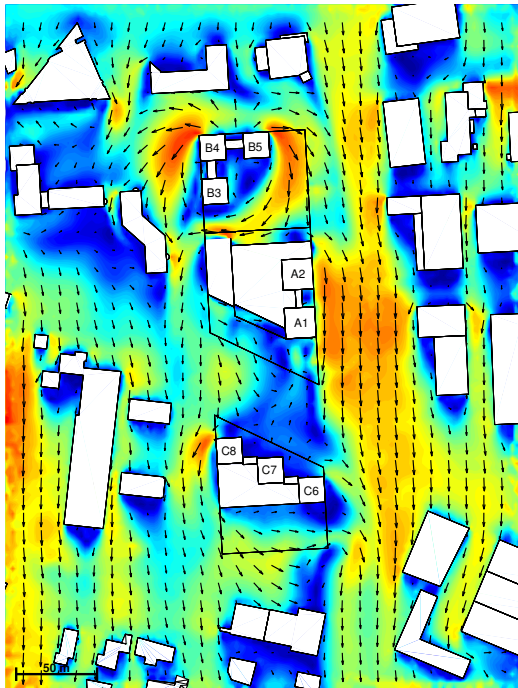


Figur 38 Vektorplot af vind fra 300° i forhold til nord.

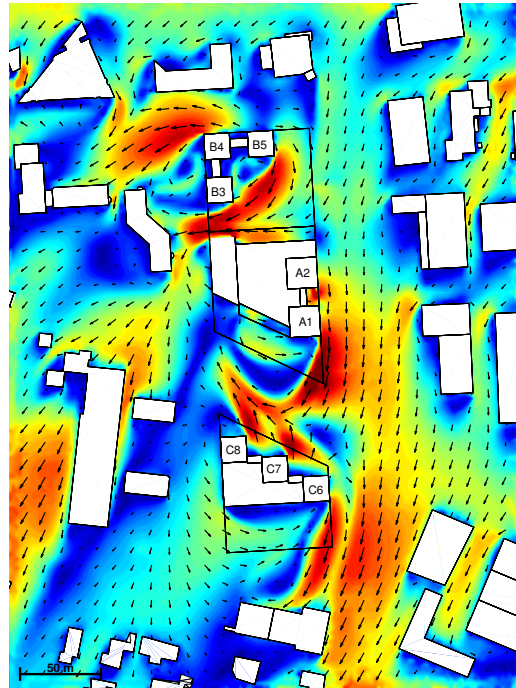


Figur 39 Vektorplot af vind fra 330° i forhold til nord.

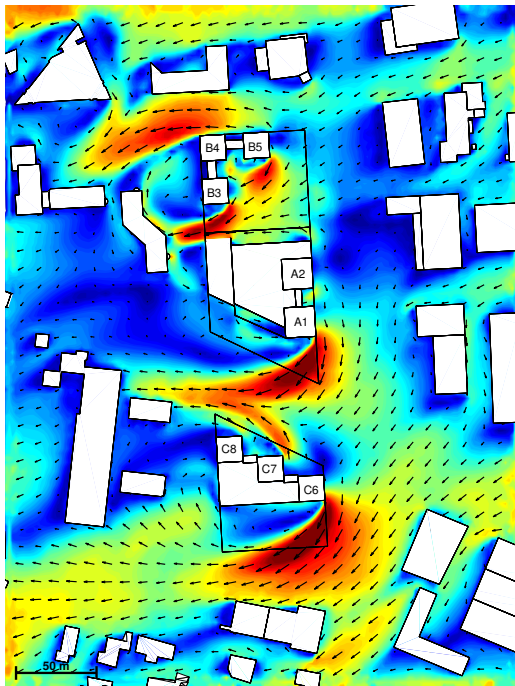
Model med åbning mellem tårn A1 og A2



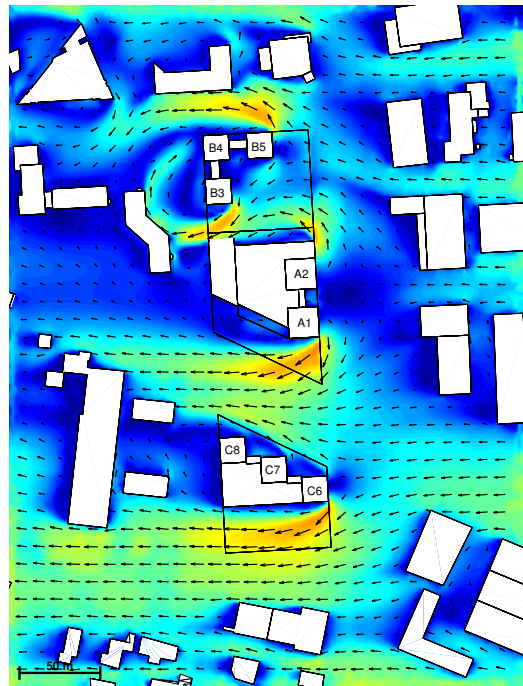
Figur 40 Vektorplot af vind fra 0° i forhold til nord.



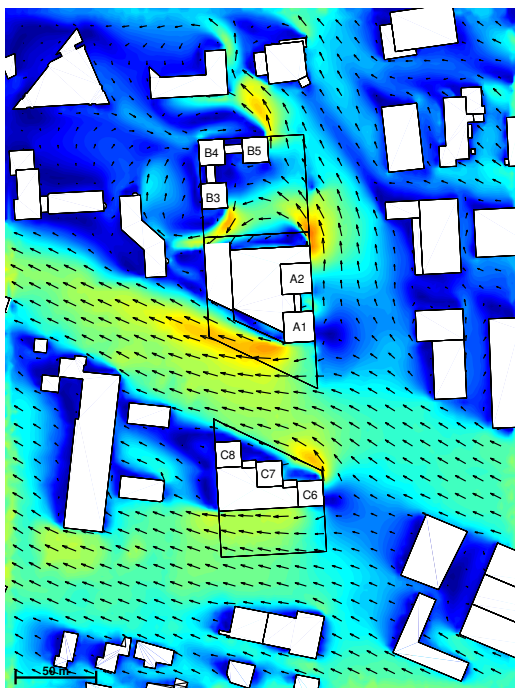
Figur 41 Vektorplot af vind fra 30° i forhold til nord.



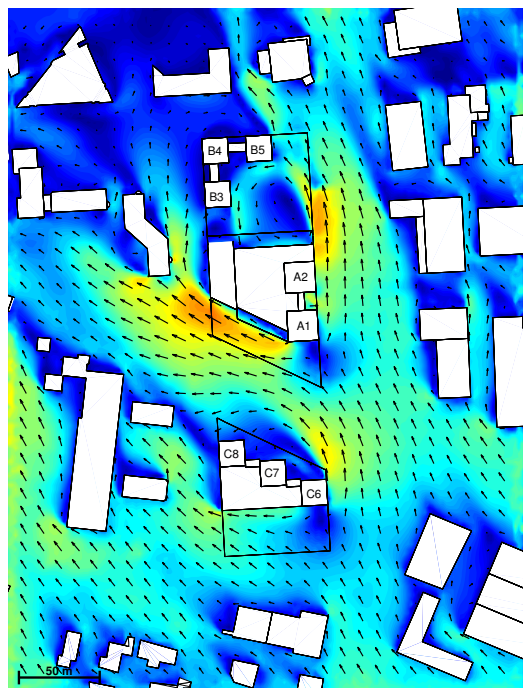
Figur 42 Vektorplot af vind fra 60° i forhold til nord.



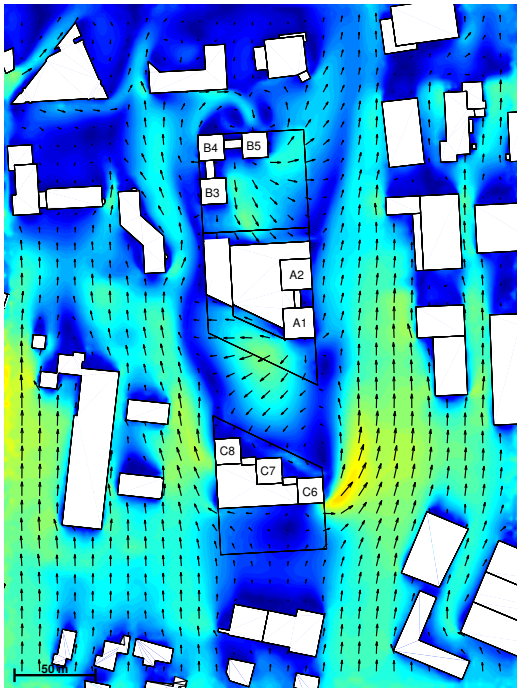
Figur 43 Vektorplot af vind fra 90° i forhold til nord.



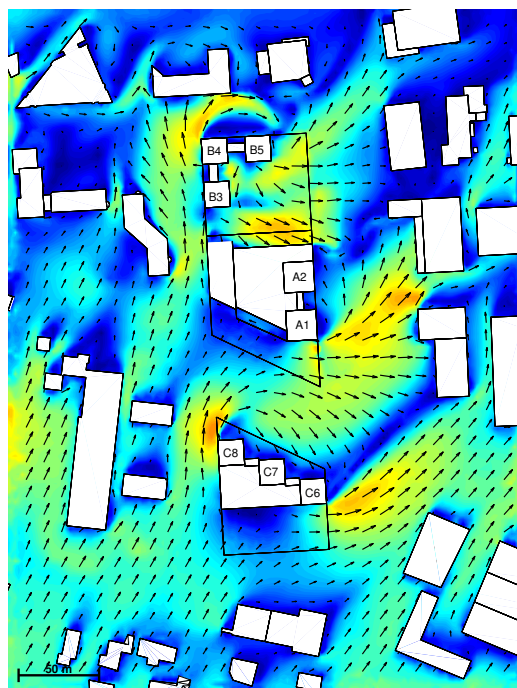
Figur 44 Vektorplot af vind fra 120° i forhold til nord.



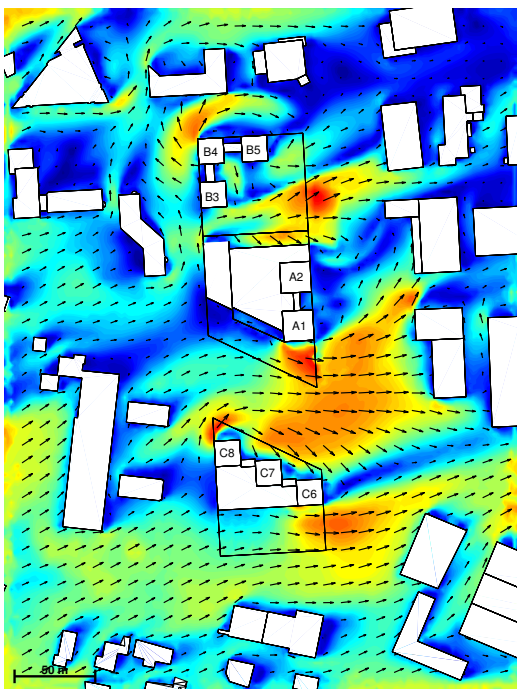
Figur 45 Vektorplot af vind fra 150° i forhold til nord.



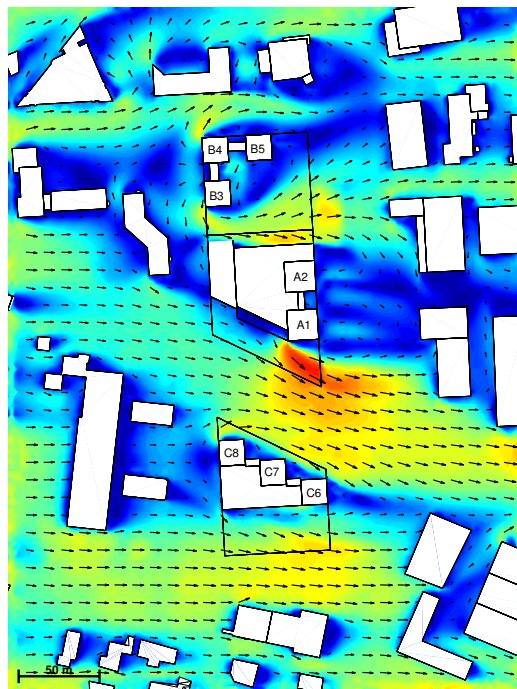
Figur 46 Vektorplot af vind fra 180° i forhold til nord.



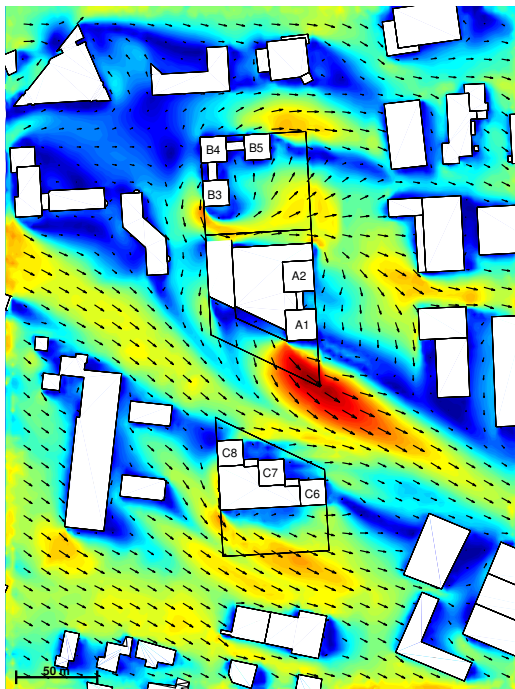
Figur 47 Vektorplot af vind fra 210° i forhold til nord.



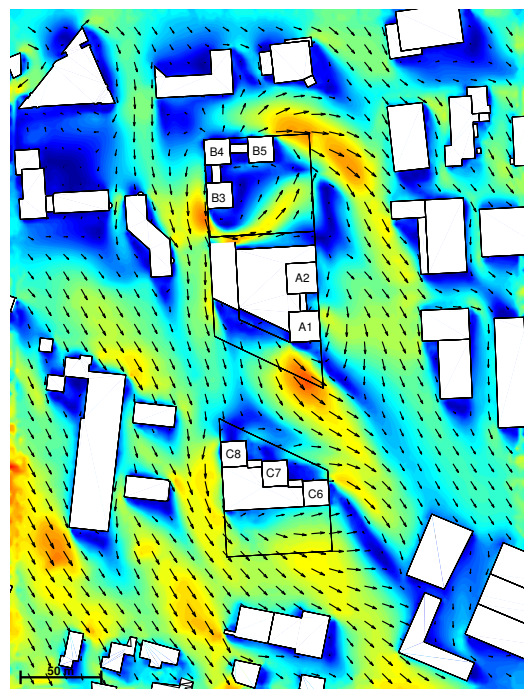
Figur 48 Vektorplot af vind fra 240° i forhold til nord.



Figur 49 Vektorplot af vind fra 270° i forhold til nord.



Figur 50 Vektorplot af vind fra 300° i forhold til nord.



Figur 51 Vektorplot af vind fra 330° i forhold til nord.

Seneste udgivelser i DCE Technical Report serien

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).

