



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Analyse af vindkomfort og sikkerhed omkring Boliger, Centralværkstedet, Århus

Rasmussen, Michael Robdrup

Publication date:
2006

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Rasmussen, M. R. (2006). Analyse af vindkomfort og sikkerhed omkring Boliger, Centralværkstedet, Århus. Aalborg: Department of Civil Engineering, Aalborg University. (DCE Technical Reports; Nr. 1).

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.

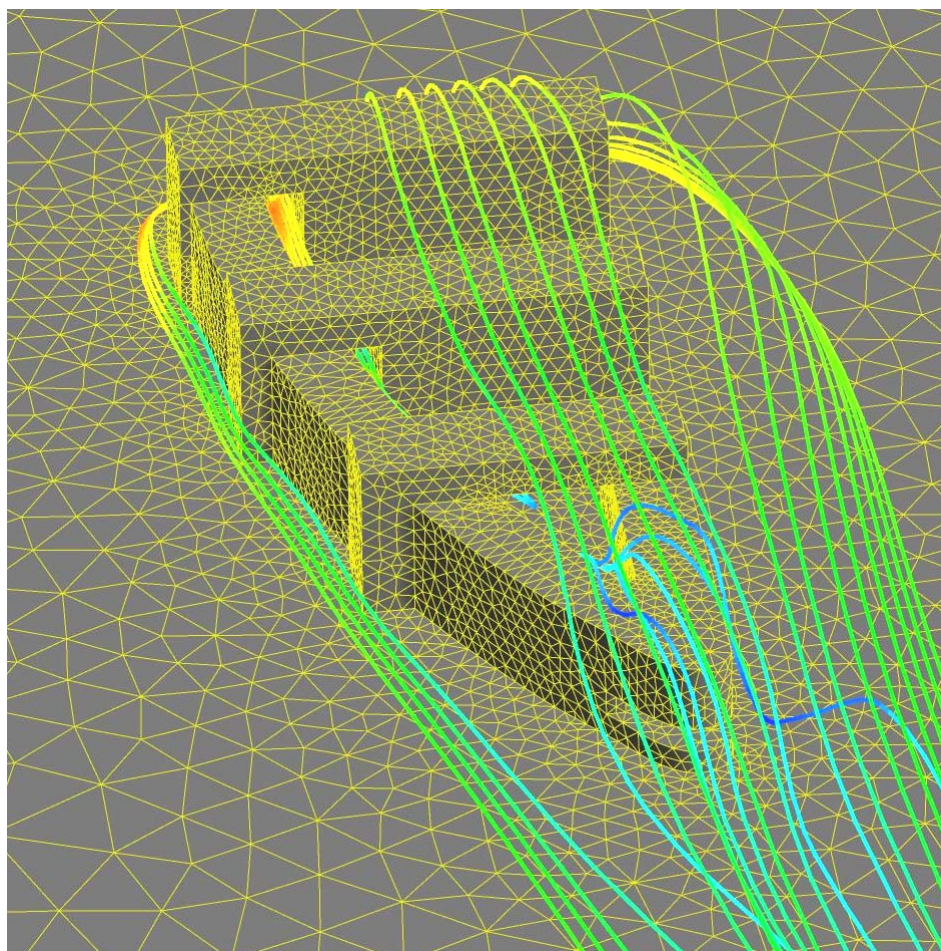
- ? Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- ? You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- ? You may freely distribute the URL identifying the publication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

Michael R. Rasmussen



Aalborg Universitet
Institut for Byggeri og Anlæg
Vand og Jord

DCE Technical Report No. 1

Analyse af vindkomfort og sikkerhed omkring Boliger, Centralværkstedet, Århus

af

Michael R. Rasmussen

September 2006

© Aalborg Universitet

Scientific Publications at the Department of Civil Engineering

Technical Reports are published for timely dissemination of research results and scientific work carried out at the Department of Civil Engineering (DCE) at Aalborg University. This medium allows publication of more detailed explanations and results than typically allowed in scientific journals.

Technical Memoranda are produced to enable the preliminary dissemination of scientific work by the personnel of the DCE where such release is deemed to be appropriate. Documents of this kind may be incomplete or temporary versions of papers—or part of continuing work. This should be kept in mind when references are given to publications of this kind.

Contract Reports are produced to report scientific work carried out under contract. Publications of this kind contain confidential matter and are reserved for the sponsors and the DCE. Therefore, Contract Reports are generally not available for public circulation.

Lecture Notes contain material produced by the lecturers at the DCE for educational purposes. This may be scientific notes, lecture books, example problems or manuals for laboratory work, or computer programs developed at the DCE.

Theses are monographs or collections of papers published to report the scientific work carried out at the DCE to obtain a degree as either PhD or Doctor of Technology. The thesis is publicly available after the defence of the degree.

Latest News is published to enable rapid communication of information about scientific work carried out at the DCE. This includes the status of research projects, developments in the laboratories, information about collaborative work and recent research results.

Published 2006 by
Aalborg University
Department of Civil Engineering
Sohngaardsholmsvej 57,
DK-9000 Aalborg, Denmark

Printed in Denmark at Department of Civil
Engineering
ISSN 1901-726X
DCE Technical Report No. 1

Recent publications in the DCE Technical Report Series

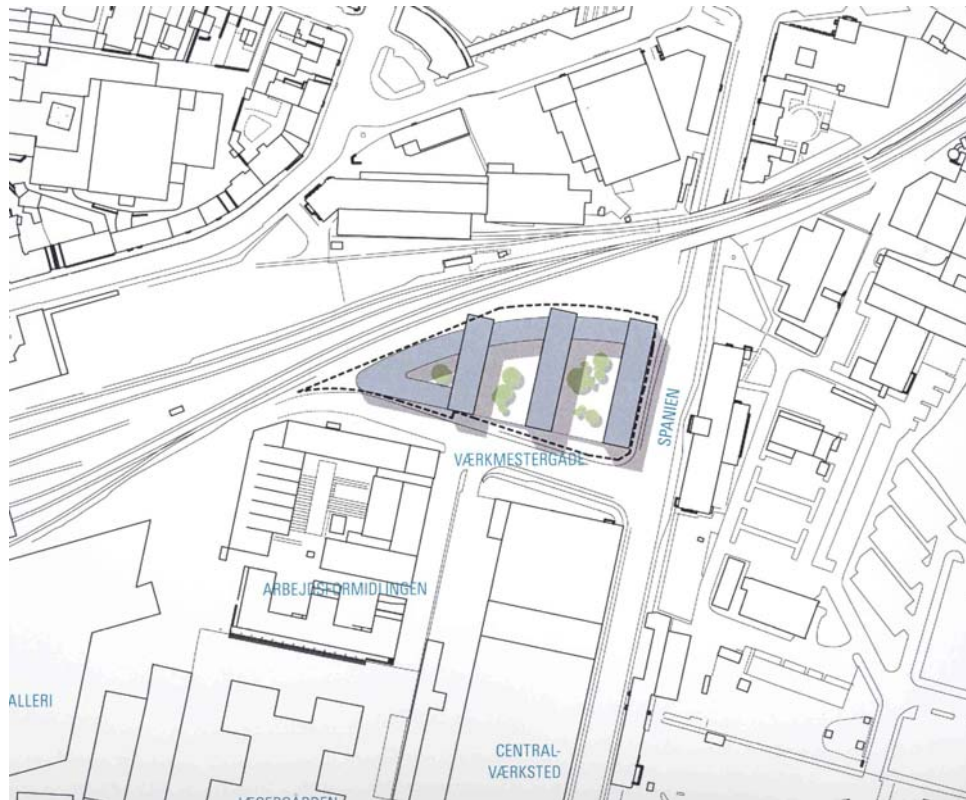
Indholdsfortegnelse

side

1.	Baggrund for undersøgelse.....	6
2.	Kort om metoden.....	7
	2.1 Beregningsområdet.....	7
	2.2 Vindstatistik.....	8
	2.3 Randbetingelser.....	9
	2.4 Beregningsgrid.....	10
	2.5 Kriterier for komfort og sikkerhed.....	10
3.	Resultater.....	11
4.	Konklusion.....	14
5.	Referencer.....	15

1. Baggrund for undersøgelse

Denne undersøgelse er foranlediget af Kuben. Formålet er at undersøge, hvorvidt etablering af nye boliger på et område mellem Værkmestergade og Spanien i Århus vil fremkalde u hensigtsmæssige vindpåvirkninger i området. Her tænkes specielt på opholdskomfort og sikkerhed for fodgængere, cyklister etc.



Figur 1 Placering af boliger på området (Kuben og Arkitema, 2005)

Figur 1 viser den foreslåede grundplan i relation til omliggende bygninger. Det bemærkes at nordsiden af bygningen er placeret tæt på jernbanen, og at der i forbindelse med denne undersøgelse ikke forventes at være offentligt ophold i denne del af området. Vindpåvirkningerne er således kun relevant for området langs Værkmestergade og Spanien.

Boligernes udformning og specielt højde gør det relevant at undersøge vindpåvirkningerne. Det er kendt, at specielt høje bygninger kan fremkalde ugunstigt vindklima omkring sig. Bygningen når kote 27, hvor terrænet befinder sig i en kote 3-6. Denne højde får bygningen til at rejse sig over de omkringliggende bygninger. Principielt kan høje bygninger fremkalde vindforhold, der kan være særdeles ukomfortable og i særlige situationer direkte farlige. Her tænkes specielt på svage og dårligt gående personer. De ændrede forhold skal dog tænkes ind i en relativ sammenhæng, da ubehagelige vindstød og kraftige vindhastigheder i en by kan stamme fra andre bygninger eller konstellationer af bygninger, som ikke har noget at gøre med det undersøgte område. Det er derfor nødvendigt at medtage en række af de omkringliggende bygninger i beregningerne for at få et realistisk billede af forholdene.

Kritiske vindhastigheder er bestemt ved hjælp af *Computational Fluid Dynamics* (CFD), som er almindeligt anvendt i denne slags undersøgelser. Denne type model kan på baggrund af en detaljeret geometrisk beskrivelse af terræn, bygninger og vindklima beregne de lokale vindeffekter. Disse

hastigheder er i denne undersøgelse sammenlignet med internationalt anerkendte kriterier for vindkomfort og sikkerhed.

2. Kort om metoden

Undersøgelser af denne type kan typisk foretages enten gennem vindtunneltest eller gennem numeriske beregninger. Fremskridt i numeriske beregningsmetoder har gjort disse metoder ligeså pålidelige som fysiske vindtunneltests.

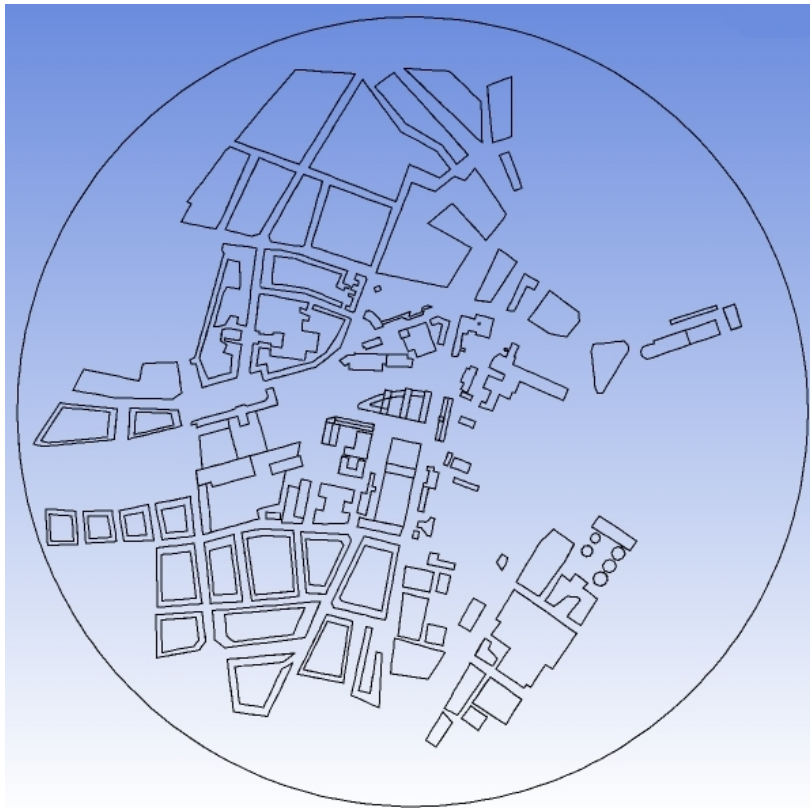
Metoden går ud på at beregne vindhastighederne omkring bygningen i en højde af 1,75 m. Det svarer til en gennemsnitlig fodgængers hovedhøjde. Ved at tage hensyn til at vindretning og vindhastighed varierer med tiden, kan det statistisk forudses, hvor ofte en given kritisk vindhastighed vil optræde i et givet punkt. Hvis denne hastighed optræder oftere end kriteriet, vil vindklimaet være uacceptabelt. For at kunne etablere en sammenhæng mellem lokale vindhastigheder og den generelle vindstatistik for området skal der foretages omfattende beregninger. I det konkrete tilfælde skal omkring 6 milliarder ligninger løses, før det statistiske grundlag er tilfredsstillende.

2.1 Beregningsområdet.

Af praktiske hensyn er det her valgt at modellere strømningerne omkring bygningen i en radius af 700 m fra bygningen. Dermed får man alle de relevante interaktioner med resten af byen med, uden at skulle modellere strømninger for alle bygninger i Århus midtby.

En digital model af Århus midtby er stillet til rådighed af Århus Kommune. Modellen består af detaljeret beskrivelser af terræn-, væg- og tagoverflader. Desværre er denne model i et sådant format, at det ikke kan bruges i CFD modellen. Her kræves volumenbeskrivelse frem for den anvendte overfladebeskrivelse. Det har medført en omfattende re-digitalisering af området med henblik på CFD modellering. Af hensyn til at reducere tidsforbruget er bygningerne længere væk fra den undersøgte bygning kun digitaliseret groft, mens bygninger tættere på er digitaliseret med flere detaljer. Det skyldes, at des længere bort man kommer fra den undersøgte bygning, des mindre effekt har de øvrige bygninger på vindforholdene. Derfor er en radius på 700 meter valgt som den længste afstand fra boligerne, hvor bygninger medtages. Længere væk medtages effekten af bygninger blot som en forøget ruhed og en forskydning af hastighedsprofilet.

Figur 2 viser grundplanet af det digitaliserede område omkring boligerne.



Figur 2 Grundplan omkring boliger der er medtaget i modellen (Diameter = 1.400 m.)

Modellen er konfigureret således at vinden kan komme fra 12 forskellige retninger: 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, og 330 grader.

2.2 Vindstatistik.

Nærmeste meteorologiske station er Tirstrup Lufthavn. Her er der opstillet en vindmåler i 10 meters højde, der over 8 år har indsamlet vinddata, der danner grundlag for beregningen. For hver af de 12 retninger er der opstillet en 2 parameter Weibull fordeling, der beskriver, hvor sandsynlige forskellige vindhastigheder er fra denne retning:

$$P(U > U_{kritisk}) = 100\% \cdot \exp\left(-\left(\frac{U_{kritisk}}{A}\right)^k\right) \quad (1)$$

Hvor U [m/s] er den undersøgte hastighed, $U_{kritisk}$ [m/s] er den hastighed, hvorfra overskridelsessandsynligheden ønskes, A [m/s] og k [-] er Weibull parametre.

Dette skal kombineres med frekvensen for denne retning, således at man kan beregne, hvor ofte en given vindhastighed optræder fra en given retning. Data fra Tirstrup lufthavn er taget fra det europæiske vindatlas (Troen og Lundtang, 1989), tabel 1.

Tabel 1 Weibull parametre for Tirstrup Lufthavn, (Troen og Lundtang, 1989)

Sektor	Frekvens	A	k
0	4,6	4,2	1,49
30	4,8	4,3	1,51
60	5,6	5,0	1,63
90	6,9	5,2	1,72
120	9,1	4,9	1,69
150	7,8	3,7	1,40
180	8,8	3,5	1,47
210	10,9	3,8	1,66
240	13,0	4,2	1,77
270	15,0	5,6	1,75
300	9,6	5,7	1,63
330	4,1	3,5	1,22
Samlet	100,0	4,6	1,56

2.3 Randbetingelser.

I forbindelse med numeriske beregninger er randbetingelser ofte meget vigtige. I dette tilfælde er det vigtigt at opnå strømhastigheder, som er realistiske i denne afstand fra bygningen. I en uforstyrret strømning vil strømningsprofilen blive logaritmisk:

$$U = \frac{U_*}{\kappa} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (2)$$

Hvor U_* [m/s] er friktionshastigheden, κ [-] er von Karmans tal, z [m] er højden og z_0 [m] er ruhedslængden.

I litteraturen omkring vindkomfort findes ofte en mere anvendt randbetingelse i form af en simplere potenshastighedsfordeling:

$$U = U_{10} \left(\frac{z}{10}\right)^p \quad (3)$$

Hvor U_{10} er hastigheden målt i 10 meters højde ved den metrologiske station, og p er en profilafhængig faktor.

Formel (3) har den store fordel, at den let forbinder den målte hastighed ved den metrologiske station til hastighedsprofilen. Ulempen er en lidt mindre fysisk korrekt randbetingelse.

Da en korrekt bestemmelse af U_* og z_0 involvere omfattende lokale målinger er det vurderet at formel (3) ikke giver anledning til større usikkerheder i beregningen end formel (2). Ligeledes kan formel (2) og (3) bringes til at være meget tæt ved et korrekt valg af z_0 og p .

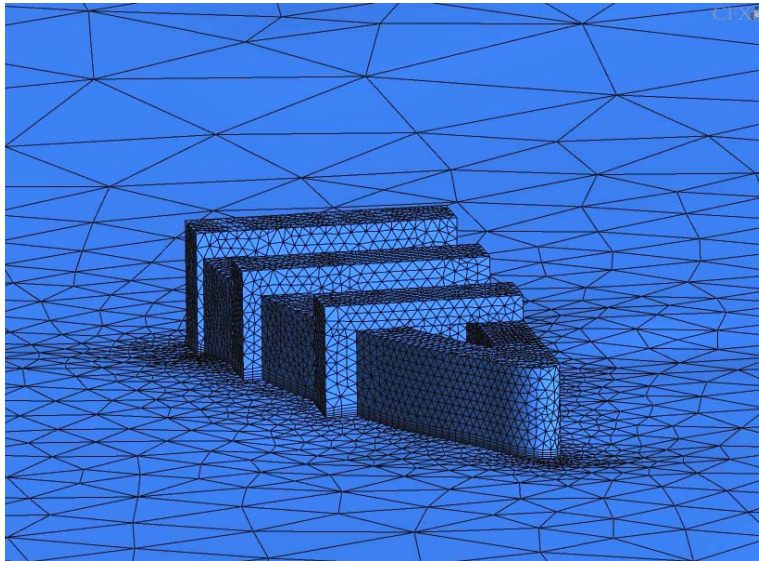
I den gennemførte beregning er p sat til 0,25 (Wang et al., 2004).

For at undgå at skulle modellere hele midtbyen er hastighedsprofilen løftet displacementhøjden svarende til omkringliggende bygninger (Lundtang et al, 1980).

En terrænmodel for jordoverfladen byen er lagt ind som en fast overflade, mens den øvre del af atmosfæren er modelleret som en fri overflade 150 meter over byen .

2.4 Beregningsnet.

Efter at området er digitaliseret etableres der et beregningsnet. Den geometriske opløsning afhænger af, hvor detaljeret man ønsker sine resultater. Omkring den undersøgte bygning bruges ofte en højere geometrisk opløsning end langt væk fra bygningen. Figur 3 viser den anvendte opløsning på bygningen.



Figur 3 Beregningsnet omkring bygning

Som det kan ses af figur 3, er der tale om tetraeder som grundfigur for gridgenereringen. Laget tættest på jordoverfladen er imidlertid nettet med prismer for bedre at kunne opløse grænselaget her. Det er specielt vigtigt, da fodgængere opholder sig i denne højde. Dette kan ses af figur 3 som et lag af rektangulære geometrier på bygningen tæt på jorden.

2.5 Kriterier for komfort og sikkerhed.

Fastlæggelse af kriterier for komfort og sikkerhed er forbundet med visse usikkerheder. For det første opleves vind meget forskelligt fra individ til individ, for det andet afhænger det af alder og fysisk formåen. Der opereres generelt med et komfortkriterium og et sikkerhedskriterium. Bottema, (2000) har lavet et omfattende studium af disse kriterier og er kommet frem til 2 operative niveauer:

$$\text{Komfort: } U + \sigma_u > 6 \text{ m/s}, P_{\max} = 15\% \quad (1314 \text{ timer om året}) \quad (4)$$

$$\text{Sikkerhed: } U + 3\sigma_u > 20 \text{ m/s}, P_{\max} = 0,18\% \quad (16 \text{ timer om året}) \quad (5)$$

Hvor σ_u er spredning på hastigheden (turbulens) og P_{\max} er den maksimale tilladelige overskridelse af kriteriet.

Turbulensen kan være meget svær at bestemme helt generelt. Undersøgelser fra Risø angiver en simpel sammenhæng med middelhastigheden for en metrologisk station (Larsen et al., 1999):

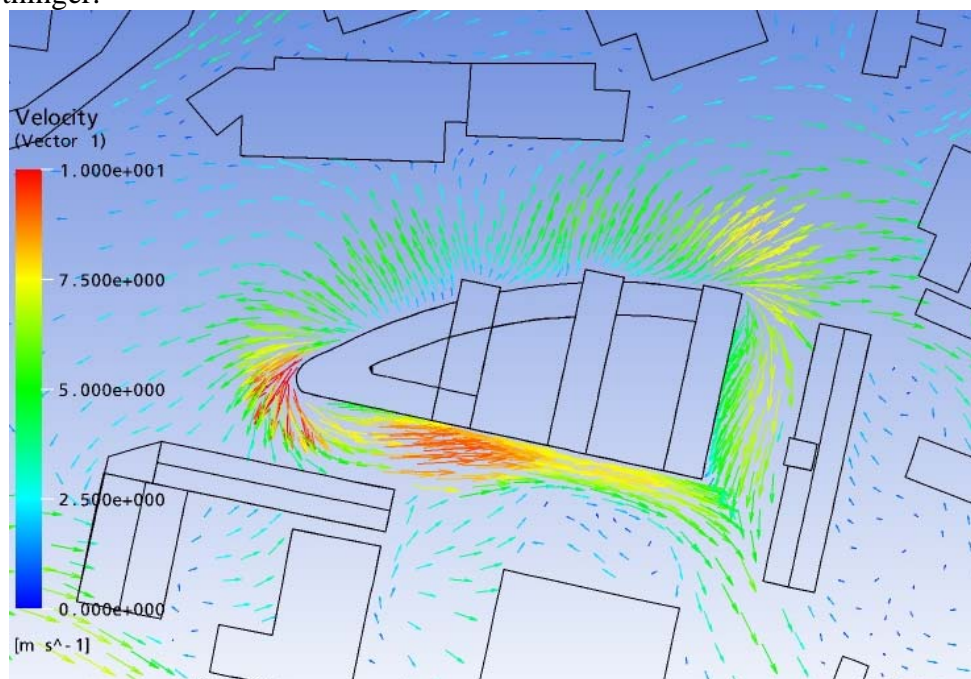
$$\sigma_{u,10} = 0,151 \cdot U_{10} + 0,119 \quad (6)$$

Det antages i denne sammenhæng, at forholdet mellem spredning og middelhastighed vil være det samme i 10 meters højde som på gadeplan.

Dette giver spredning på vindhastigheden omkring 1 m/s og 2 m/s for hhv. komfort og sikkerhed.

3. Resultater

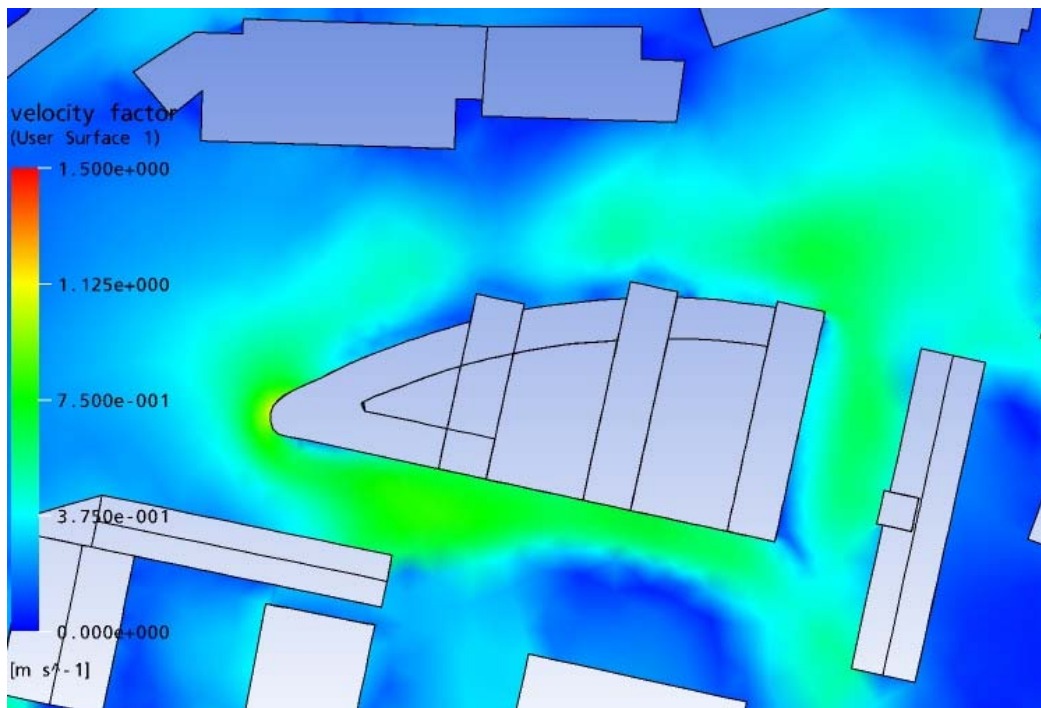
Figur 4 viser et eksempel på, hvordan hastigheden vil være fordelt i fodgængerhøjde ved en hård nordlig vind. Som det kan ses ud af figuren, er strømningsmønsteret domineret af hastigheder i uventede retninger.



Figur 4 Hastighedsvektorer i en højde af 1.75 m over jordoverflade. Nordlig vind.

Det er specielt på den nordlige del af bygningen, hvor vinden vil være rettet mod nord – diametralt modsat den fremherskende vindretning. Forklaringen er, at vinden rammer bygningen længere oppe og føres ned langs siden, indtil den møder jorden og føres væk fra bygningen. Bygninger på den anden side af jernbanen er ligeledes stærkt medvirkende til, at der dannes en recirkulations boble på den nordlige del af bygningen.

Figur 5 viser et fladekort af forstærkningen af vinden. Forstærkningsfaktoren er beregnet som forholdet mellem vindhastigheden i 1,75 meters højde i forhold til den korresponderende vindhastighed i 10 meters højde ved den metrologiske station. Dette bruges til at knytte vindstatistikken ved den metrologiske station til vindstatistikken ved bygningen.

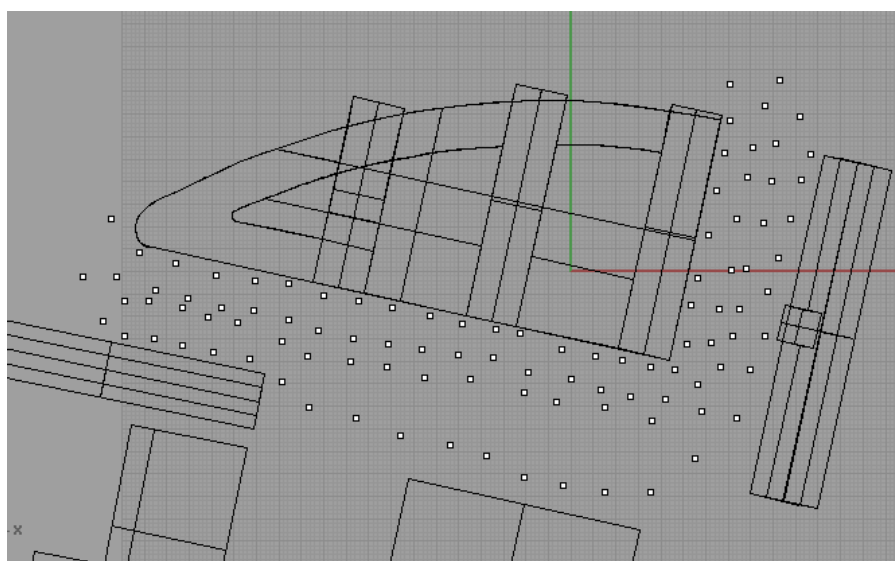


Figur 5 Forstærkningsfaktor omkring bygningen. Nordlig vind.

Det kan ses, at der ved denne vindretning er et område ved den vestlige del af bygningen, hvor forstærkningsfaktoren når omkring 1.

Det er i sig selv ikke et problem, da området er mindre udsat ved andre vindretninger.

Figur 6 viser placeringen af 100 "målepunkter", der er placeret i beregningen. I disse punkter udtages information om vindhastighed, der bruges til beregning af overskridelseshyppigheder. Punkterne er forsøgt placeret på en sådan måde, at de områder der kunne tænkes påvirket af bygningen er dækket.



Figur 6 Placering af punkter, hvor vindpåvirkning beregnes.

Som det kan ses af Tabel 3 er den tilladelige vindhastighed for komfort kun overskredet i maksimalt i 412 timer. Gennemsnitligt for alle punkter vil det kun dreje sig om 175 timer hvor kriteriet overskrides. Da grænsen er 1314 timer (formel 4), vil der ikke være komfortproblemer omkring bygningen.

Tabel 2 Timer for overskridelse af kriteriet for komfortabel vind i 100 udvalgte punkter.

punkt	timer	punkt	timer	punkt	timer	punkt	timer
1	53	26	26	51	193	76	245
2	35	27	228	52	175	77	245
3	61	28	44	53	245	78	219
4	44	29	237	54	219	79	263
5	105	30	105	55	237	80	219
6	79	31	201	56	70	81	280
7	149	32	149	57	166	82	219
8	105	33	166	58	61	83	280
9	193	34	201	59	158	84	210
10	131	35	61	60	79	85	289
11	254	36	210	61	210	86	201
12	166	37	88	62	96	87	298
13	298	38	166	63	166	88	201
14	70	39	315	64	105	89	307
15	228	40	166	65	149	90	228
16	18	41	412	66	114	91	298
17	219	42	210	67	307	92	219
18	0	43	350	68	307	93	307
19	201	44	263	69	254	94	219
20	0	45	307	70	228	95	219
21	193	46	298	71	245	96	193
22	18	47	280	72	193	97	158
23	210	48	272	73	254	98	149
24	26	49	237	74	201	99	123
25	210	50	210	75	254	100	219

Kravet til sikkerhed er væsentlig strengere. Tabel 3 viser overskridelsessandsynligheden, for at vindhastigheden ikke er et sikkerhedsmæssigt problem. Det kan her ses, at der optræder farlige hastigheder mindre en én time om året. Dette er naturligvis mindre end de 16 timer som kriteriet tillader (formel 5)

Tabel 3 Timer for overskridelse af kriteriet for farlig vind i 100 udvalgte punkter.

punkt	timer	punkt	timer	punkt	timer	punkt	timer
1	0	26	0	51	0	76	0
2	0	27	0	52	0	77	0
3	0	28	0	53	0	78	0
4	0	29	0	54	0	79	0
5	0	30	0	55	0	80	0
6	0	31	0	56	0	81	0
7	0	32	0	57	0	82	0
8	0	33	0	58	0	83	0
9	0	34	0	59	0	84	0
10	0	35	0	60	0	85	0
11	0	36	0	61	0	86	0
12	0	37	0	62	0	87	0
13	0	38	0	63	0	88	0
14	0	39	0	64	0	89	0
15	0	40	0	65	0	90	0
16	0	41	0	66	0	91	0
17	0	42	0	67	0	92	0
18	0	43	0	68	0	93	0
19	0	44	0	69	0	94	0
20	0	45	0	70	0	95	0
21	0	46	0	71	0	96	0
22	0	47	0	72	0	97	0
23	0	48	0	73	0	98	0
24	0	49	0	74	0	99	0
25	0	50	0	75	0	100	0

4. Konklusion

De strømningsmæssige beregninger viser at der kan bygges boliger på området mellem Værkmestervej og Spanien i den foreslåede udformning, uden at det skaber et ukomfortabelt eller farligt vindklima i området.

4. Referencer

Bottema, M., A method for optimisation of wind discomfort criteria, *Buildings and Environment*, 35, 2000.

Kuben og Arkitema, Projektforslag, 2005.

Larsen, G. C., Ronold, K., Jørgensen, H. E., Argyriadis, K., Jaap de Boer, Ultimate loading of wind turbines, Risø, 1999.

Troen, Ib. Petersen, Erik Lundtang, Sten Frandsen, Vindatlas for Danmark, Risø, 1980.
ISBN 87-550-0702-3

Troen, Ib. Petersen, Erik Lundtang. European Wind Atlas. Roskilde, Denmark:
Risø National Laboratory, 1989. ISBN 87-550-1482-8.

Wang, B.M., Liu, H.Z., Chen, K., Sang, J. C., Woo, G. C., Zhang, B. Y., Evaluation of pedestrian winds around tall buildings by numerical approach, *Meteorol, Atmos, Phys*, 87, 2004.