

Aalborg Universitet



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Analyse af vindforhold omkring Isbjerget og Fantomet

Rasmussen, Michael R.

Publication date:
2008

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Rasmussen, M. R. (2008). *Analyse af vindforhold omkring Isbjerget og Fantomet*. Department of Civil Engineering, Aalborg University. DCE Technical reports Nr. 43

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.

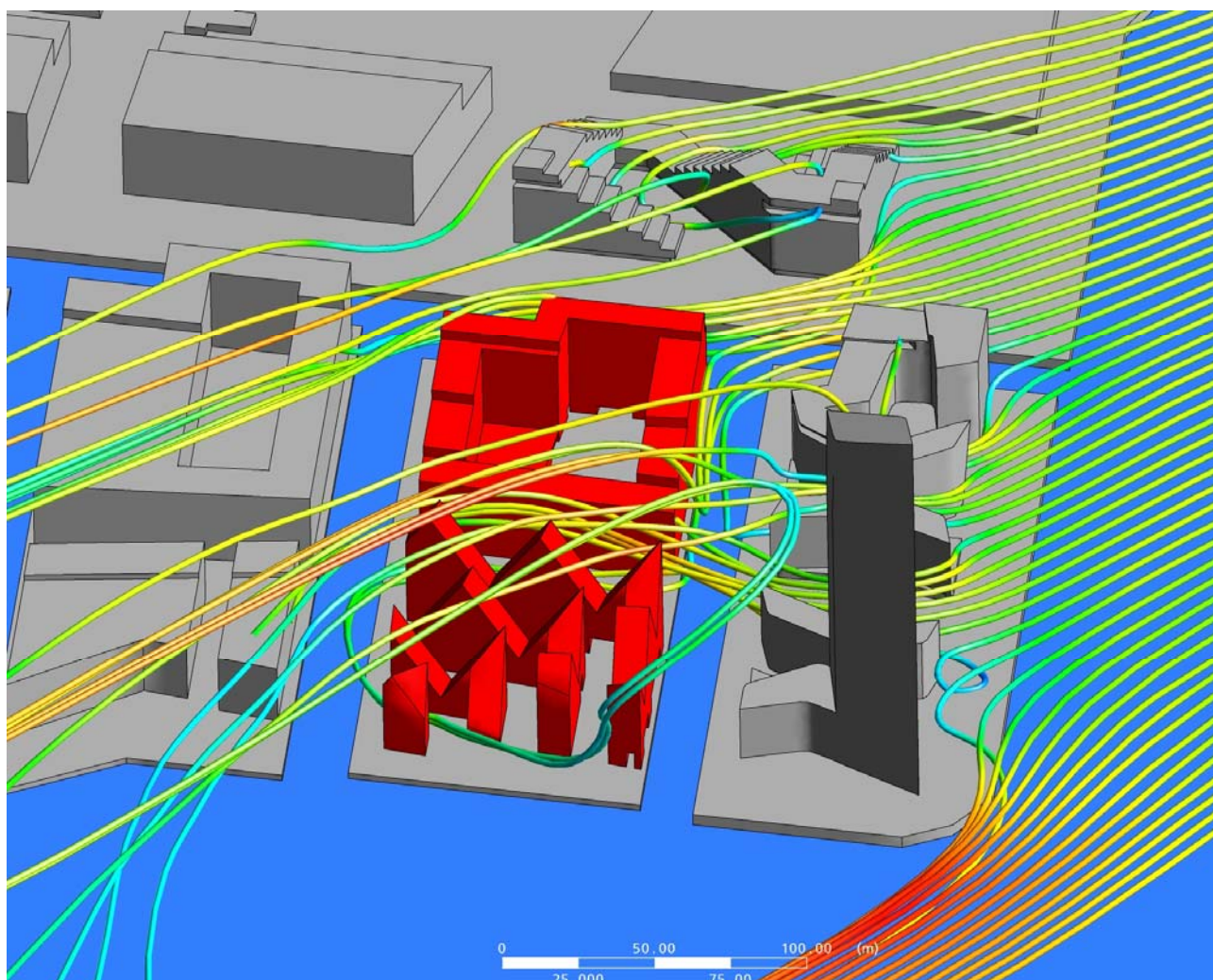
- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in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

Michael R. Rasmussen



Aalborg Universitet
Institut for Byggeri og Anlæg
Vand og Jord

DCE Technical Report No. 43

Analyse af vindforhold omkring Isbjerget og Fantomet

af

Michael R. Rasmussen

Juli 2008

© 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 2007 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. 43

Recent publications in the DCE Technical Report Series

[Introduction to Single Piles under Lateral Loading.](#) / [Augustesen, Anders](#) ; [Ibsen, Lars Bo](#). Aalborg : Aalborg University : Department of Civil Engineering, 2008. 37 s. (DCE Technical Report; 41).

[BSim Modeler Report : Comparative Validation of Building Simulation Software.](#) / [Kalyanova, Olena](#) ; [Heiselberg, Per](#). Aalborg : Aalborg University : Department of Civil Engineering, 2007. 17 s. (DCE Technical Report; 25).

[BSim Modeler Report : Empirical Validation of Building Simulation Software : Technical Report IEA ECBCS Annex43/SHC Task 34 Validation of Building Energy Simulation Tools : Subtask E.](#) / [Kalyanova, Olena](#) ; [Heiselberg, Per](#). Aalborg : Aalborg University : Department of Civil Engineering, 2007. 17 s. (DCE Technical Report; 29).

[Comparative Test Case Specification.](#) / [Kalyanova, Olena](#) ; [Heiselberg, Per](#). Aalborg : Aalborg University : Department of Civil Engineering, 2007. 64 s. (DCE Technical Report; 28).

[Comparative Validation of Building Simulation Software : Modeling of Double Facades : Final Report.](#) / [Kalyanova, Olena](#) ; [Heiselberg, Per](#). Aalborg : Aalborg University : Department of Civil Engineering, 2007. 241 s. (DCE Technical Report; 24).

[Co-ordination Action on Ocean Energy \(CA-OE\) : WP1: Modelling of Ocean Energy Systems {Conclusion of WorkPackage}.](#) / [Tedd, James](#) ; [Frigaard, Peter](#). Aalborg : Aalborg University : Department of Civil Engineering, 2007. 17 s. (DCE Technical Report; 38).

[Development of a Generic Power Simulation Tool for Overtopping Based WEC.](#) / [Bogarino, Bruno](#) ; [Kofoed, Jens Peter](#) ; [Meinert, Palle](#). Aalborg : Aalborg University : Department, 2007. 33 s. (DCE Technical Report; 35).

[Empirical Validation of Building Simulation Software : Modelling of Double Facades.](#) / [Kalyanova, Olena](#) ; [Heiselberg, Per](#). Aalborg : Aalborg University : Department of Civil Engineering, 2007. 141 s. (DCE Technical Report; 30).

[Estimation of wave conditions at Liseleje location.](#) / [Bogarino, Bruno](#) ; [Brorsen, Michael](#). Aalborg : Aalborg University : Department of Civil Engineering, 2007. 21 s. (DCE Technical Report; 23).

[Experimental Overtopping Investigation for the Wave Dragon : Effects of Reflectors and their Attachments.](#) / [Bogarino, Bruno](#) ; [Kofoed, Jens Peter](#) ; [Tedd, James](#). Aalborg : Aalborg Universitet : Department of Civil Engineering, 2007. 18 s. (DCE Technical Report; 37).

[Experimental Set-up and Full-scale measurements in the 'Cube'.](#) / [Kalyanova, Olena](#) ; [Heiselberg, Per](#). Aalborg : Aalborg University : Department of Civil Engineering, 2007. 59 s. (DCE Technical Report; 34).

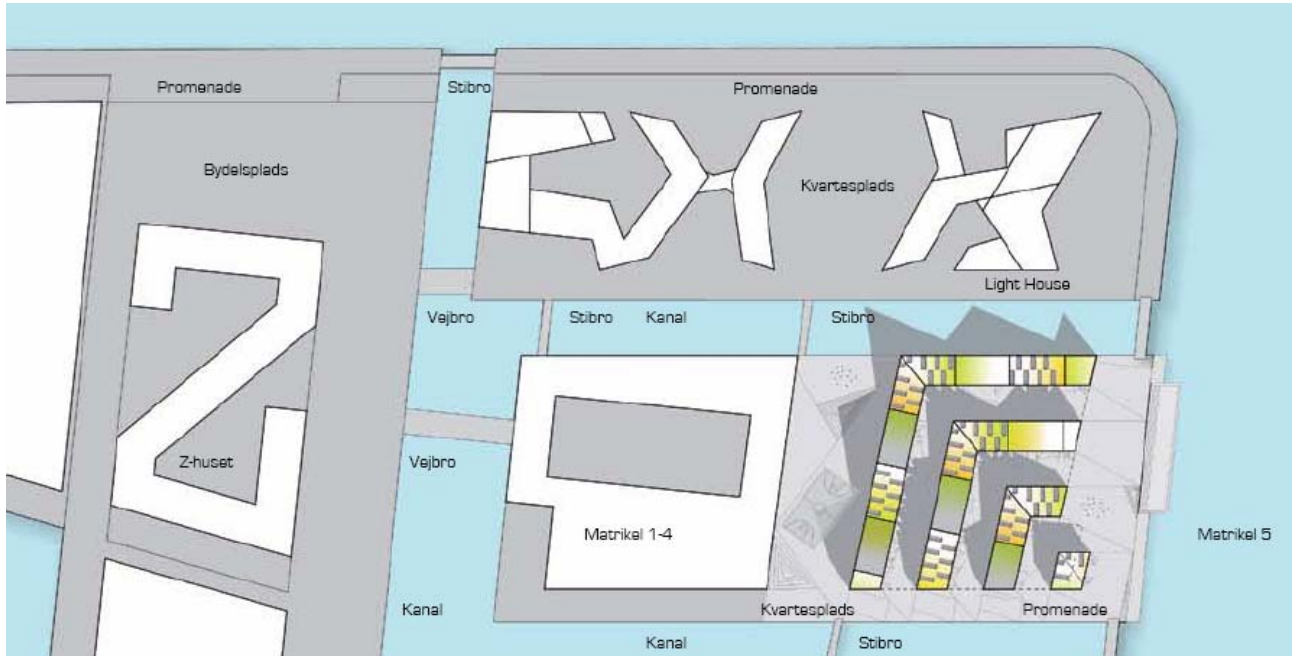
[Final Empirical Test Case Specification : Modeling of Double Facades : Test Case DSF200 e and DSF100 e IEA ECBCS Annex43/SHC Task 34 : Validation of Building Energy Simulation Tools.](#) / [Kalyanova, Olena](#) ; [Heiselberg, Per](#). Aalborg : Aalborg University : Department of Civil Engineering, 2007. 116 s. (DCE Technical Report; 33).

Indholdsfortegnelse

	side
1. Baggrund for undersøgelse.....	6
2. Baggrund for metoden.....	7
2.1 Beregningsområdet.....	7
2.2 Vindstatistik.....	8
2.3 Randbetingelser.....	9
2.4 Beregningsnet.....	10
2.5 Kriterier for komfort og sikkerhed.....	11
3. Resultater.....	11
4. Konklusion.....	18
5. Referencer.....	19
6. Bilag.....	20

1. Baggrund for undersøgelse

Formålet med denne undersøgelse er at afklare, hvorvidt etablering af høje bygninger på havneområdet vil fremkalde u hensigtsmæssige vindpåvirkninger i området. Her tænkes specielt på opholdskomfort og sikkerhed for fodgængere, cyklister etc.



Figur 1 Placering af Isbjerget og Fantomet på Ø2 området. (Tækker Group, Brabrand Boligforening, SeARCH, Louis Paillard, JDS Architects, CEBRA, Tækker Rådgivende Ingeniører, 2008)

Figur 1 viser det foreslåede grundplan i relation til omliggende bygninger og havneområdet. De undersøgte huse befinder sig på Ø2, som udgøres af matrikel 1-4 og 5. bygningen på matrikel 1-4 er ikke designet endeligt og kommer i denne rapport til at fremstå som "Fantomet". På den østlige del af Ø2 er bygningskomplekset "Isbjerget" placeret. Husenes udformning og specielt højde gør det relevant at undersøge vindpåvirkningerne. Det er kendt, at specielt høje bygninger kan fremkalde ugunstigt vindklima omkring sig. Huset befinder sig på en central plads i området, hvor der kan forventes mange gående personer.

Principielt kan høje bygninger fremkalde vindforhold, der kan være særdeles ukomfortable og i særlige situationer direkte farlige. Her tænkes specielt på svage og gangbesværede 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. Det skal i denne anledning bemærkes at Light*House komplekset indeholder et 145 m højt tårn. Foruden Danmarks højeste tårn, vil konfigurationen af vinkelformede bygninger på en vindeksponeret plads være en særlig udfordring. Beregningerne kommer således til at indeholde effekter fra bygningerne på Ø2 – men også afledte effekter fra omkringliggende bygninger – såsom Light*House.

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. Baggrund for 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 31 milliarder ligninger løses, før det statistiske grundlag er tilfredsstillende.

Foruden den kombinerede analyse med CFD og vindstatistik, vil bygningens effekt på nærliggende bygninger, opholdsområder og lystbådehavnen også blive vurderet kvalitativt.

2.1 Beregningsområdet.

Af praktiske hensyn er der her valgt at modellere strømningerne omkring bygningen i en radius af ca 1000 m fra bygningen. Dermed får man alle de relevante interaktioner med, det omgivende terræn, byen og havet, uden at skulle modellere strømninger for samtlige strukturer i området.

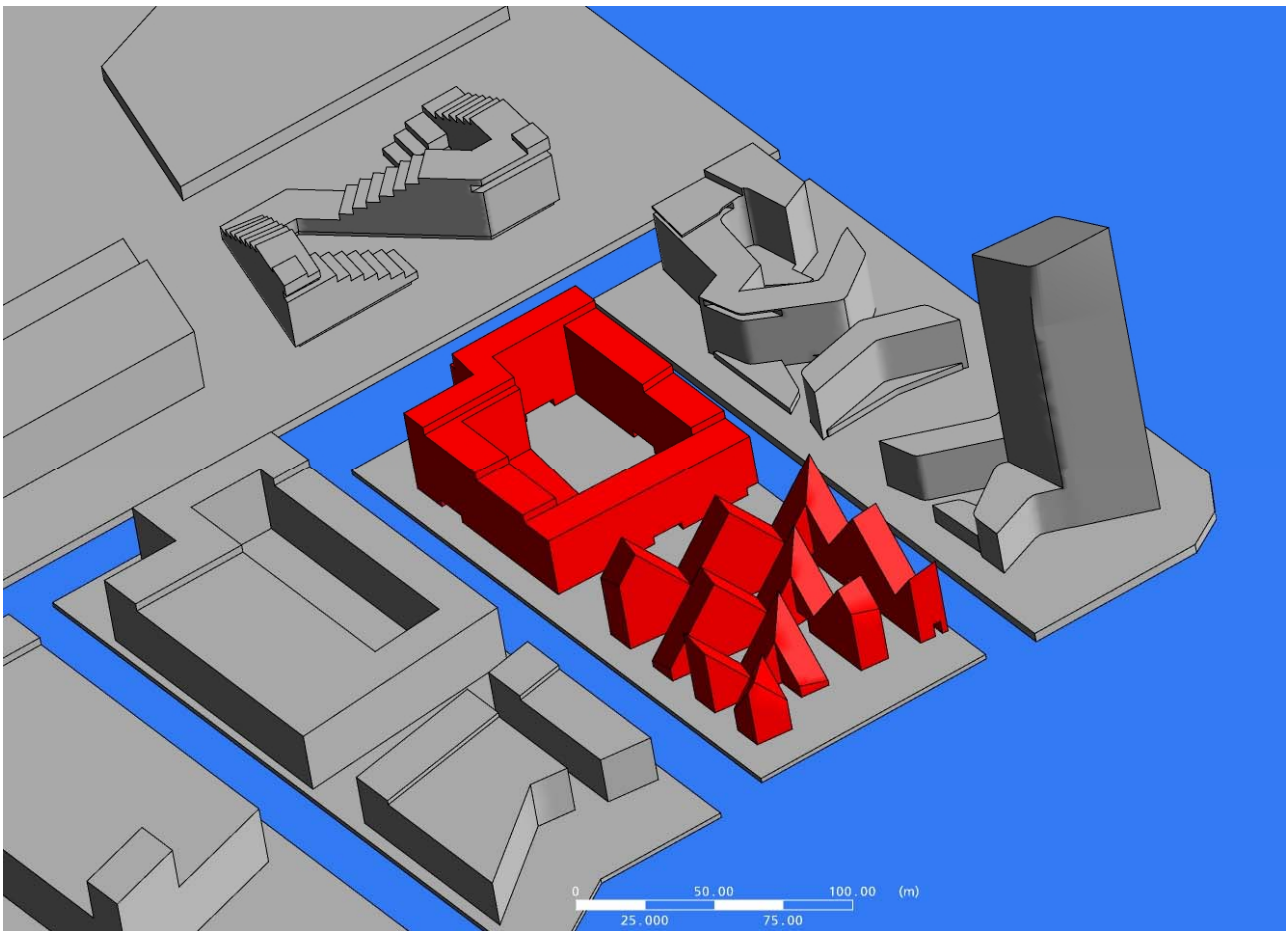
På grund af bygningens beliggenhed i forbindelse med Århusbugten, vil der fra den retning være begrænset lævirkning. Fra vestlige retninger kan man forvente at terræn og bygninger samlet vil påvirke strømningerne omkring bygningerne.

En digital model af Århus midtby danner baggrund for den geometriske opbygning af CFD modellen. De digitale modeller for Isbjerget og Fantomet og de kontekstuelle huse omkring bygningen er leveret af CEBRA, Århus. De øvrige huse, som er medtaget, er beskrevet skitse-mæssigt, idet konkrete tegninger for disse bygninger ikke eksisterer. De eneste undtagelse er Z-Huset og Light*House som på nuværende tidspunkt foreligger som digital model. Da Z-huset ved vestlige vindretninger kan formodes at påvirke strømningerne omkring Isbjerget og Fantomet, er dette medtaget i beregningerne. Ligeledes er Light*House komplekset taget med, da det vil påvirke strømningerne ved nordlige vindretninger.

Modellen består af detaljerede beskrivelser af terræn-, væg- og tagoverflader. Desværre er denne model i et sådan format, at det ikke kan bruges direkte 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. For 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 det besluttet, at en bygning kun medtages, hvis den ligger under en radius af 1000 meter fra Isbjerget og Fantomet. Længere væk medtages effekten af bygninger blot som en forøget ruhed og en

forskydning af hastighedsprofilen. Landområder beregnes med en ækvivalent ruhed på 5 meter, mens havet antages at have en ruhed på 1 meter (som følge af bølger).

Figur 2 viser en oversigt over det digitaliserede område omkring Ø2.



Figur 2 Oversigt over bygninger omkring Ø2 som er medtaget i modellen.

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:

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

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:

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

Hvor U_* [m/s] er friktionshastigheden, κ [-] er von Karman's tal, z [m] er højden og z_o [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. Dette imødegås ved at placere randbetingelsen langt væk fra det undersøgte område.

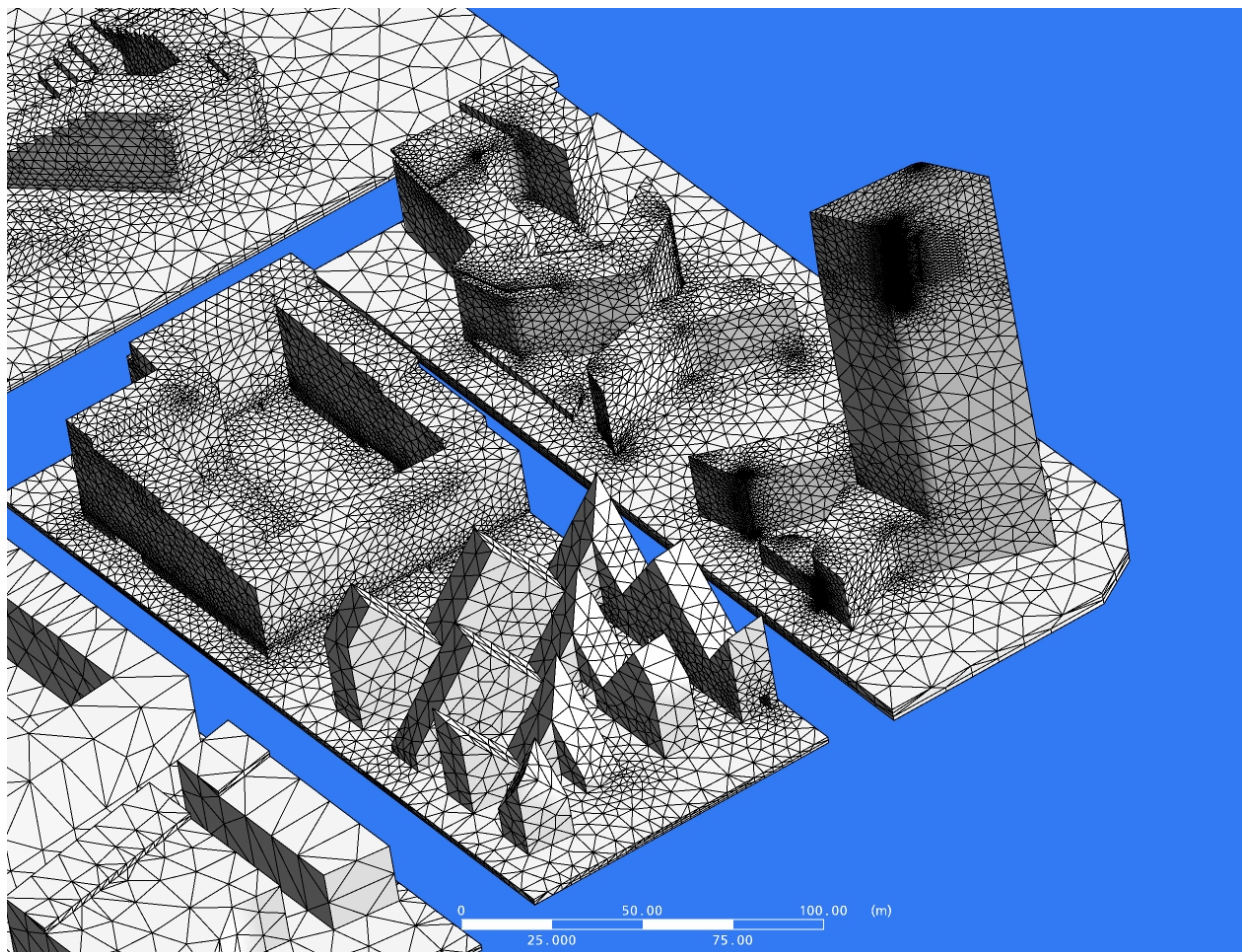
Da en korrekt bestemmelse af U^* og z_0 involverer omfattende lokale målinger er det vurderet at formel (3) ikke giver anledning til større usikkerhed i beregningen end formel (2). Ligeledes kan formel (2) og (3) bringes til at være meget tæt ved et korrekt valg af z_0 og p .

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

En terrænmodel for jordoverfladen byen er lagt ind som en fast overflade nederst i modellen, mens den øvre del af atmosfæren er modelleret som en fri overflade 500 meter over jordoverfladen. Denne højde er valgt for at være sikker på at undgå interaktion med det 145 meter høje Light*House tårn.

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 (uden *inflationlayer* tæt på overfladerne).

Som det fremgår af figur 3, er der tale om tetraeder som grundfigur for netgenereringen. 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 fremgår 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:

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

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

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):

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

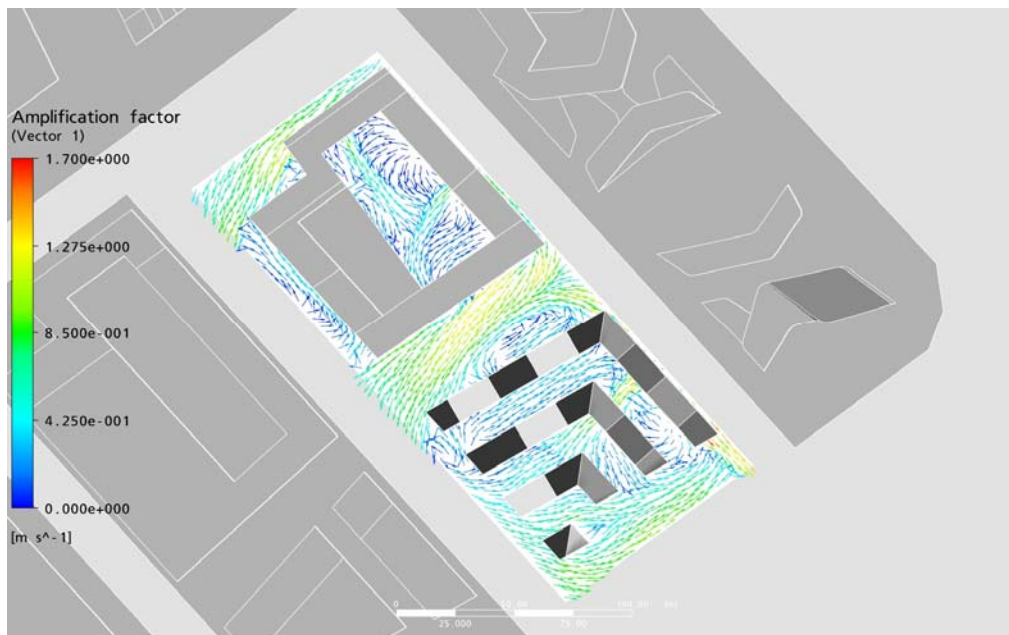
Det antages i denne sammenhæng, at forholdet mellem spredning og middelhastighed vil være det samme i 10 meters højde som på gadeplan.

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

3. Resultater

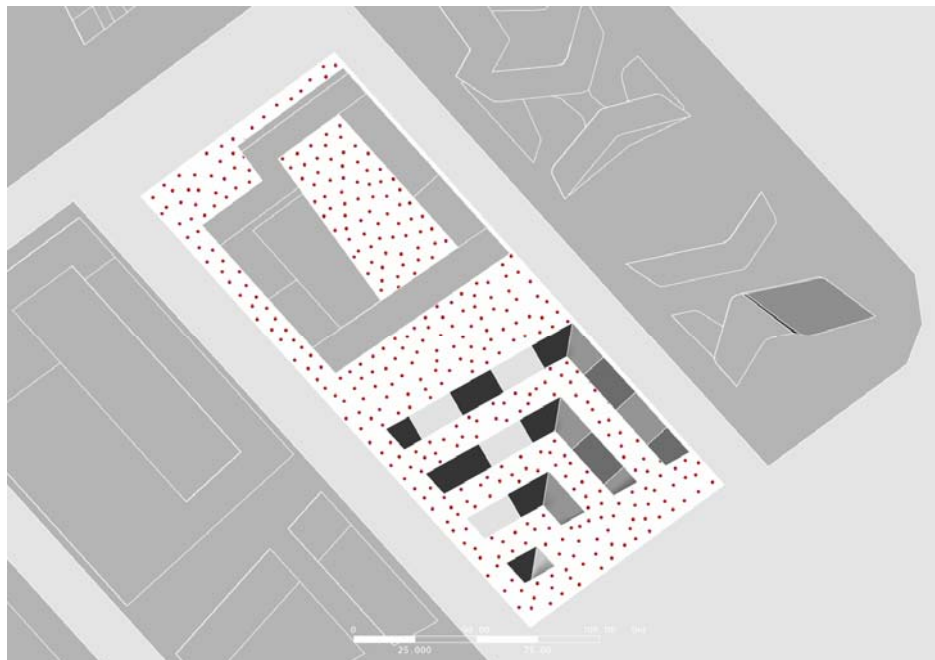
Figur 4 viser et eksempel på, hvordan hastigheden vil være fordelt i fodgængerhøjde ved en hård nordlig vind. Som det fremgår af figuren, er strømningsmønsteret domineret af større hastigheder mellem bygningerne og omkring tårnet. Vindforholdene omkring disse bygninger bør derfor undersøges nærmere, når denne del af havnearealet skal udbygges.

I Bilag 1 er samtlige 12 vindretninger vist.



Figur 4 Hastighedsvektorer i en højde af 1.75 m over jordoverfladen. Nordlig vind. *Amplification factor* angiver forholdet mellem lokal hastighed og vindhastigheden i 10 meters højde ved den meteorologiske station.

Figur 5 viser placeringen af 477 "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. Punkterne er placeret i 1,75 meters højde for at bestemme vindeffekter i hovedhøjde.



Figur 5 Placering af punkter, hvor vindpåvirkning beregnes.

Som det fremgår af Tabel 2 er den tilladelige vindhastighed for komfort overskredet i maksimalt i 1073 timer. I gennemsnit (for alle punkter) vil kriteriet kun blive overskredet i 290 timer. Da grænsen er 1314 timer (formel 4), vil der ikke være overskridelse af sikkerhedsniveauet..

Tabel 2 Timer for overskridelse af kriteriet for komfortabel vind i 477 udvalgte punkter.

Punkt	Timer	Punkt	Timer	Punkt	Timer	Punkt	Timer
1	142	61	168	121	214	181	617
2	143	62	270	122	748	182	359
3	106	63	35	123	456	183	101
4	97	64	267	124	190	184	424
5	87	65	243	125	321	185	312
6	121	66	236	126	43	186	511
7	163	67	199	127	137	187	581
8	103	68	485	128	195	188	620
9	108	69	542	129	276	189	623
10	81	70	39	130	2	190	866
11	69	71	364	131	559	191	850
12	30	72	167	132	646	192	650
13	31	73	212	133	58	193	557
14	22	74	164	134	100	194	114
15	48	75	198	135	145	195	576
16	75	76	205	136	65	196	378
17	44	77	171	137	33	197	405
18	204	78	124	138	35	198	390
19	141	79	110	139	890	199	420
20	70	80	214	140	622	200	562
21	244	81	203	141	294	201	542
22	155	82	326	142	94	202	494
23	18	83	65	143	62	203	636
24	29	84	160	144	151	204	883
25	1	85	93	145	245	205	699
26	6	86	51	146	225	206	893
27	66	87	316	147	545	207	766
28	59	88	230	148	634	208	694
29	130	89	365	149	206	209	803
30	230	90	243	150	180	210	511
31	107	91	744	151	36	211	424
32	68	92	580	152	24	212	287
33	20	93	26	153	146	213	253
34	428	94	322	154	206	214	338
35	193	95	198	155	224	215	347
36	174	96	167	156	137	216	437
37	1	97	123	157	176	217	517
38	354	98	219	158	252	218	495
39	162	99	205	159	371	219	960
40	66	100	102	160	320	220	729
41	154	101	53	161	248	221	924
42	169	102	139	162	503	222	917
43	78	103	246	163	704	223	970
44	161	104	269	164	680	224	543
45	120	105	222	165	135	225	474
46	107	106	30	166	696	226	198
47	195	107	151	167	624	227	193
48	385	108	228	168	382	228	241
49	219	109	552	169	140	229	205
50	73	110	371	170	127	230	302
51	236	111	137	171	259	231	227
52	136	112	631	172	420	232	181
53	49	113	66	173	632	233	291
54	339	114	102	174	743	234	443
55	257	115	33	175	707	235	513
56	118	116	31	176	831	236	381
57	164	117	73	177	934	237	1001
58	157	118	190	178	326	238	904
59	159	119	104	179	840	239	907
60	146	120	0	180	931	240	510

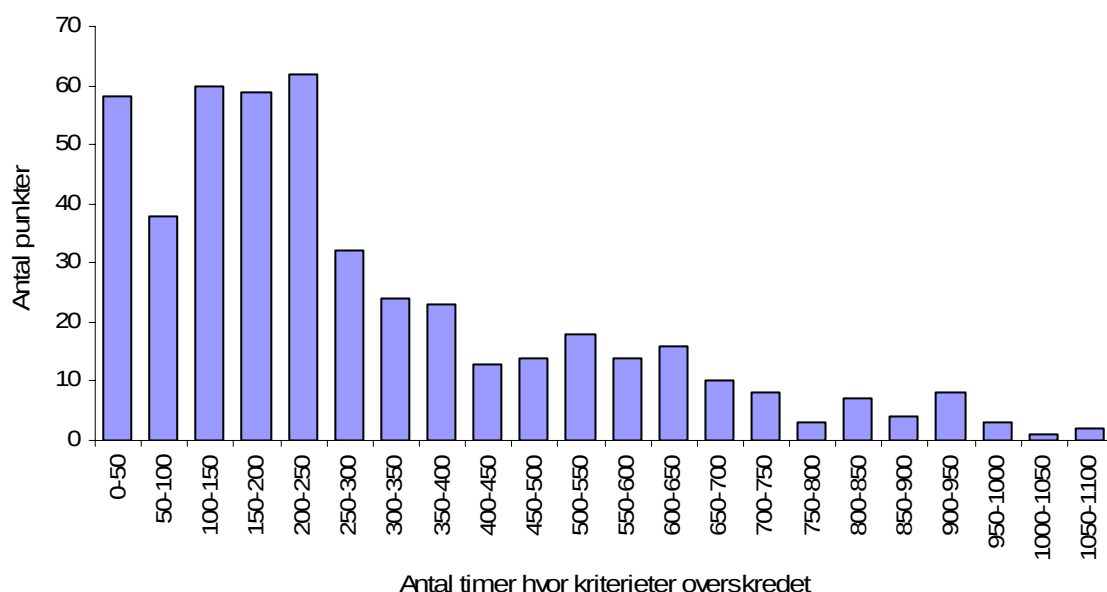
Punkt	Timer	Punkt	Timer	Punkt	Timer	Punkt	Timer
241	640	301	309	361	298	421	226
242	167	302	423	362	223	422	169
243	206	303	63	363	510	423	306
244	243	304	198	364	206	424	133
245	148	305	601	365	652	425	249
246	105	306	325	366	197	426	390
247	109	307	178	367	75	427	276
248	273	308	0	368	14	428	63
249	372	309	11	369	110	429	402
250	700	310	258	370	21	430	458
251	374	311	283	371	8	431	216
252	927	312	56	372	329	432	223
253	988	313	34	373	142	433	302
254	565	314	48	374	331	434	234
255	683	315	136	375	127	435	231
256	100	316	186	376	790	436	252
257	134	317	210	377	223	437	174
258	131	318	1	378	268	438	130
259	39	319	450	379	152	439	285
260	209	320	249	380	10	440	175
261	296	321	45	381	0	441	310
262	695	322	30	382	367	442	270
263	562	323	42	383	377	443	179
264	1073	324	94	384	259	444	0
265	704	325	120	385	82	445	234
266	815	326	216	386	60	446	246
267	184	327	343	387	482	447	362
268	411	328	5	388	339	448	413
269	352	329	16	389	238	449	213
270	44	330	498	390	139	450	237
271	438	331	258	391	15	451	261
272	656	332	30	392	13	452	234
273	541	333	59	393	284	453	253
274	549	334	35	394	522	454	205
275	1070	335	165	395	284	455	165
276	819	336	502	396	594	456	29
277	196	337	111	397	107	457	287
278	395	338	470	398	188	458	127
279	588	339	9	399	112	459	235
280	754	340	20	400	600	460	290
281	813	341	386	401	242	461	225
282	467	342	261	402	55	462	194
283	545	343	23	403	99	463	236
284	311	344	78	404	296	464	231
285	577	345	46	405	182	465	146
286	929	346	66	406	611	466	117
287	311	347	156	407	378	467	50
288	579	348	134	408	347	468	67
289	590	349	190	409	220	469	122
290	648	350	141	410	102	470	230
291	144	351	301	411	194	471	223
292	695	352	210	412	460	472	187
293	180	353	14	413	75	473	213
294	510	354	54	414	191	474	144
295	462	355	15	415	152	475	106
296	286	356	696	416	391	476	172
297	460	357	171	417	215	477	193
298	378	358	34	418	168		
299	146	359	48	419	217		
300	20	360	86	420	502		

Tabel 3 Timer for overskridelse af kriteriet for farlig vind i 477 udvalgte punkter.

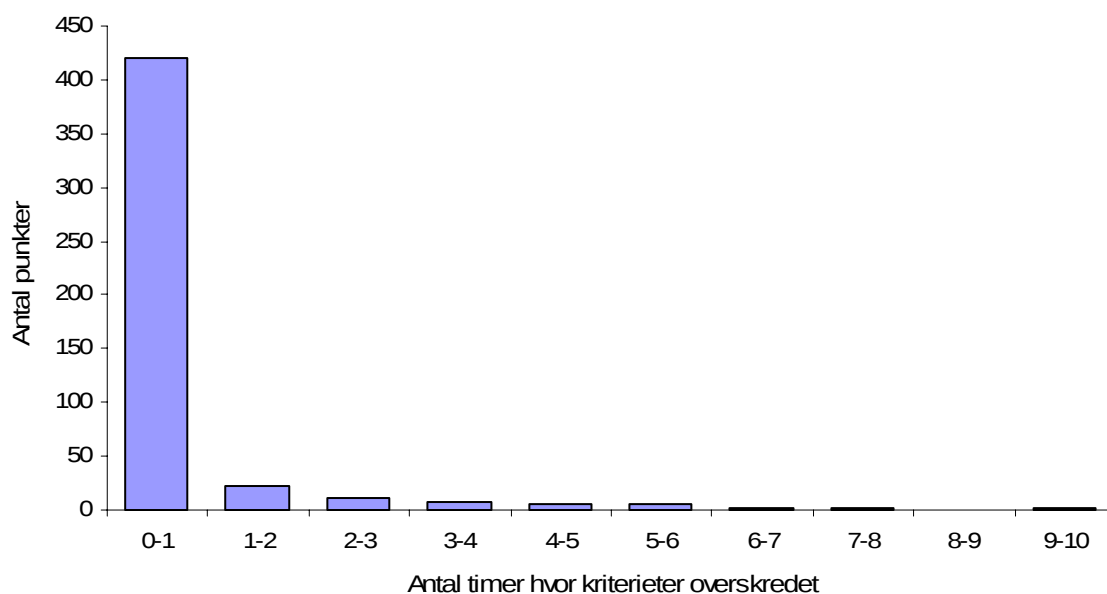
Punkt	Timer	Punkt	Timer	Punkt	Timer	Punkt	Timer
1	0	61	0	121	0	181	0
2	0	62	0	122	1	182	0
3	0	63	0	123	0	183	1
4	0	64	0	124	1	184	1
5	0	65	0	125	0	185	0
6	0	66	0	126	0	186	1
7	0	67	0	127	0	187	1
8	0	68	0	128	1	188	0
9	0	69	1	129	0	189	0
10	0	70	0	130	0	190	0
11	0	71	0	131	1	191	0
12	0	72	0	132	1	192	0
13	0	73	0	133	0	193	0
14	0	74	0	134	0	194	6
15	0	75	0	135	0	195	1
16	0	76	0	136	0	196	5
17	0	77	0	137	0	197	5
18	0	78	0	138	0	198	0
19	0	79	0	139	1	199	1
20	0	80	0	140	1	200	5
21	0	81	0	141	0	201	0
22	0	82	0	142	0	202	0
23	0	83	0	143	0	203	0
24	0	84	0	144	0	204	0
25	0	85	0	145	0	205	0
26	0	86	0	146	0	206	2
27	0	87	0	147	1	207	3
28	0	88	0	148	1	208	2
29	0	89	0	149	0	209	1
30	0	90	0	150	0	210	4
31	0	91	1	151	0	211	2
32	0	92	1	152	0	212	0
33	0	93	0	153	0	213	0
34	1	94	0	154	0	214	0
35	0	95	0	155	0	215	0
36	0	96	0	156	0	216	0
37	0	97	0	157	0	217	1
38	0	98	0	158	0	218	0
39	0	99	0	159	0	219	2
40	0	100	0	160	0	220	1
41	0	101	0	161	0	221	0
42	0	102	0	162	1	222	0
43	0	103	0	163	0	223	0
44	0	104	1	164	1	224	2
45	0	105	1	165	0	225	1
46	0	106	0	166	0	226	2
47	0	107	1	167	0	227	0
48	2	108	0	168	1	228	1
49	0	109	1	169	0	229	4
50	0	110	0	170	0	230	0
51	0	111	0	171	1	231	0
52	0	112	1	172	1	232	0
53	0	113	0	173	0	233	0
54	0	114	0	174	0	234	0
55	0	115	0	175	0	235	1
56	0	116	0	176	0	236	1
57	0	117	0	177	0	237	1
58	0	118	0	178	0	238	0
59	0	119	0	179	1	239	2
60	0	120	0	180	1	240	1

Punkt	Timer	Punkt	Timer	Punkt	Timer	Punkt	Timer
241	1	301	0	361	0	421	0
242	0	302	0	362	0	422	0
243	0	303	0	363	0	423	0
244	0	304	0	364	1	424	0
245	1	305	3	365	2	425	0
246	0	306	0	366	0	426	5
247	0	307	0	367	0	427	0
248	0	308	0	368	0	428	0
249	0	309	0	369	0	429	0
250	0	310	0	370	0	430	0
251	0	311	0	371	0	431	0
252	2	312	0	372	0	432	0
253	2	313	0	373	0	433	0
254	0	314	0	374	0	434	0
255	1	315	0	375	0	435	0
256	0	316	0	376	6	436	0
257	0	317	0	377	0	437	0
258	0	318	0	378	0	438	0
259	0	319	0	379	0	439	0
260	0	320	0	380	0	440	0
261	0	321	0	381	0	441	3
262	0	322	0	382	0	442	0
263	0	323	0	383	1	443	0
264	4	324	0	384	0	444	0
265	0	325	0	385	0	445	0
266	1	326	0	386	0	446	0
267	0	327	0	387	2	447	0
268	0	328	0	388	0	448	0
269	0	329	0	389	0	449	0
270	0	330	1	390	0	450	0
271	0	331	0	391	0	451	0
272	1	332	0	392	0	452	0
273	0	333	0	393	0	453	0
274	0	334	0	394	4	454	0
275	6	335	0	395	0	455	0
276	1	336	6	396	7	456	0
277	0	337	0	397	0	457	0
278	0	338	2	398	0	458	0
279	0	339	0	399	0	459	0
280	1	340	0	400	10	460	0
281	1	341	0	401	0	461	0
282	1	342	0	402	0	462	0
283	1	343	0	403	0	463	0
284	0	344	0	404	0	464	0
285	0	345	0	405	0	465	0
286	4	346	0	406	6	466	0
287	0	347	0	407	1	467	0
288	0	348	0	408	2	468	0
289	0	349	0	409	0	469	0
290	0	350	0	410	0	470	0
291	0	351	0	411	0	471	0
292	0	352	0	412	5	472	0
293	0	353	0	413	0	473	0
294	3	354	0	414	0	474	0
295	0	355	0	415	0	475	0
296	0	356	1	416	0	476	0
297	3	357	0	417	0	477	0
298	0	358	0	418	0		
299	0	359	0	419	0		
300	0	360	0	420	3		

Som det fremgår af Tabel 3 er den tilladelige vindhastighed for komfort overskredet i maksimalt i 10 timer. I gennemsnit (for alle punkter) vil kriteriet kun blive overskredet en $\frac{1}{2}$ time. Da grænsen er 16 timer (formel 5), vil der ikke være overskridelse af sikkerhedsniveauet.



Figur 6 Fordeling af punkter der overskrider komfortkriteriet. Den gennemsnitlige overskridelses tid er 290 timer.



Figur 7 Fordeling af punkter der overskrider sikkerhedskriteriet. Den gennemsnitlige overskridelses tid er 0,5 time.

Betragtes fordelingen af punkter hvor kriteriet overskrides i et antal timer (figur 6 og 7), ses det at den gennemsnitlige overskridelse er langt under kravet for både komfort og sikkerhed. Det viser at det kun er ganske få områder hvor man nærmer sig kriterierne, men langt de fleste områder vil være væsentlig bedre forhold end hvad maksimal værdien antyder.

Betragtes vindmønstrene i bilag 1 kan det ses at de to bygninger interagerer med hinanden og med Light*House komplekset. I området mellem bygningerne i dette strøg er der fri gennemgang ud til vandet og ved nordlige vindretninger accelereres vinden gennem denne kanal. Det er dog ikke på nogen måde kritisk. Det kan dog være gavnlig i forbindelse med projekteringen af de mellemliggende arealer at overveje lokale lægivere. Der er imidlertid ikke tvivl om at denne vindgennemgang bør gentages for de efterfølgende bygninger, der de projekteres, da interaktionen mellem bygningerne er fremtrædende.

For Isbjergets vedkommende er de enkelte bygningers vinkel i forhold til hinanden gavnlig for vindklimaet mellem bygningerne. Der er generelt meget gode vindforhold for gående mellem bygningerne. Det ses ved N og NNØ vindretninger (0 og 30 grader, bilag 1) at gennemskæringen af bygningen genererer et lokalt vindfelt ved åbningen som kan virke generende. Dette er forstærket af at Light*House tårnet og den tilkoblede bygning vil accelerere vinden mod åbningen ved denne vindretning. Igen er der tale om en meget sjælden situation, som ikke vurderes til at være kritisk.

For Fantomets vedkommende er den centrale gård godt skærmet fra vinden. Det kan ikke afvises at der i forbindelse med åbningerne i bygningen ved jordniveau kan opstå lidt højere vindhastigheder end gennemsnittet. Men generelt ligger bygningen i læ fra de omgivende bygninger: Z-huset, Light*House og fra Isbjerget.

For begge bygningskompleksers vedkommende er der tale om gode vindforhold, der ikke har negativ effekt på det omgivende vindklima.

4. Konklusion og anbefalinger

Beregningerne viser at Isbjerget og Fantomet ikke vil påvirke omgivelserne i forhold til komfort eller sikkerhed.

Der er ingen områder omkring bygningerne som i disse beregninger overskrider det specificerede omfang af farlige vindhastigheder. Det gælder både omkring bygninger i de indre områder af bygningerne.

Det anbefales, at der foretages yderligere vindberegninger når havneområdet udbygges de kommende år. Samspillet mellem bygningerne i området kan påvirke vindklimaet i både positiv og negativ retning. Dette kan dog ikke bringes i anvendelse i forhold til Isbjerget eller Fantomet, da kun den yderste del af havnen er under konkret planlægning.

Den samlede konklusion er at Isbjergets og Fantomets påvirkning af det omgivende vindklima ikke overskrider de anvendte kriterier for farlighed og komfort.

4. Referencer

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

Tækker Group, Brabrand Boligforening, SeARCH, Louis Paillard , JDS Architects, CEBRA, Tækker Rådgivende Ingeniører, 2008, Præsentation, 2008.

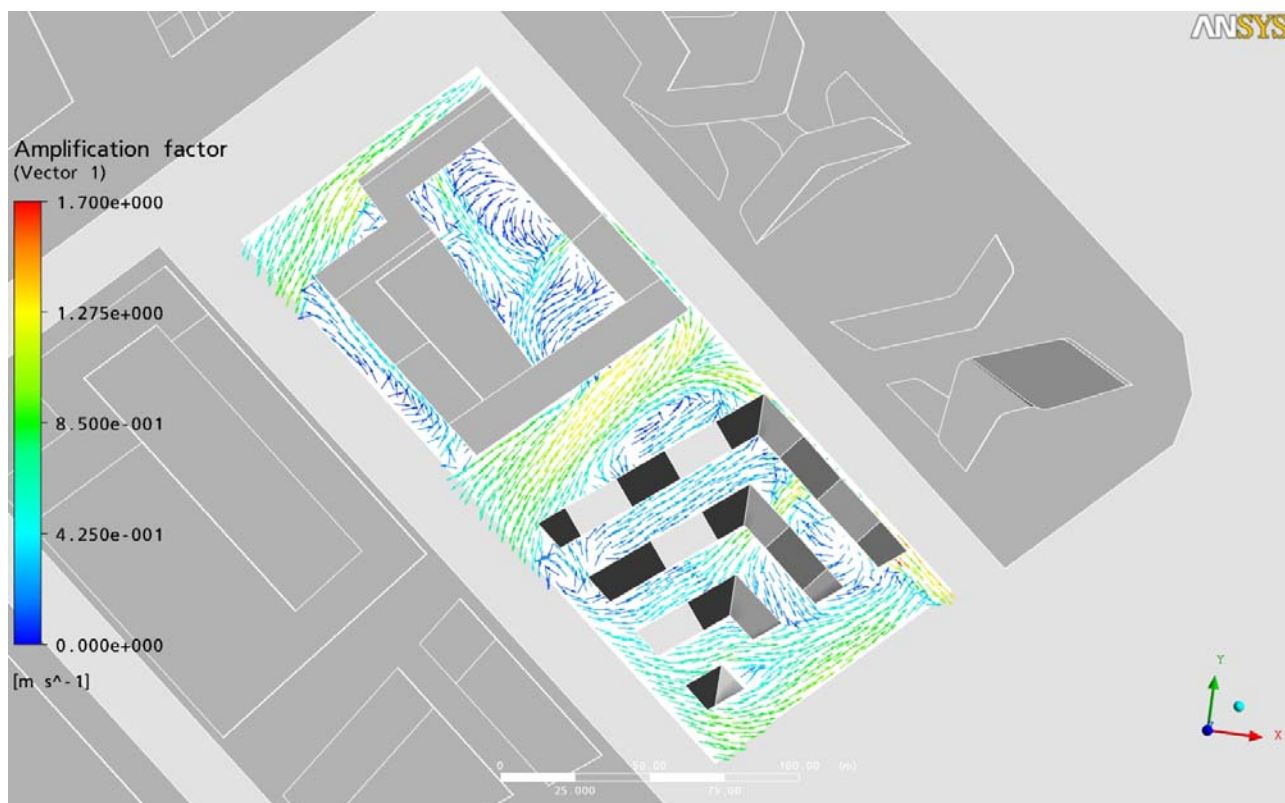
Larsen, G. C., Ronold, K., Jørgensen, H. E., Argyriadis, K., Jaap de Boer, Ultimate loading of wind turbines, Risø, 1999.

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

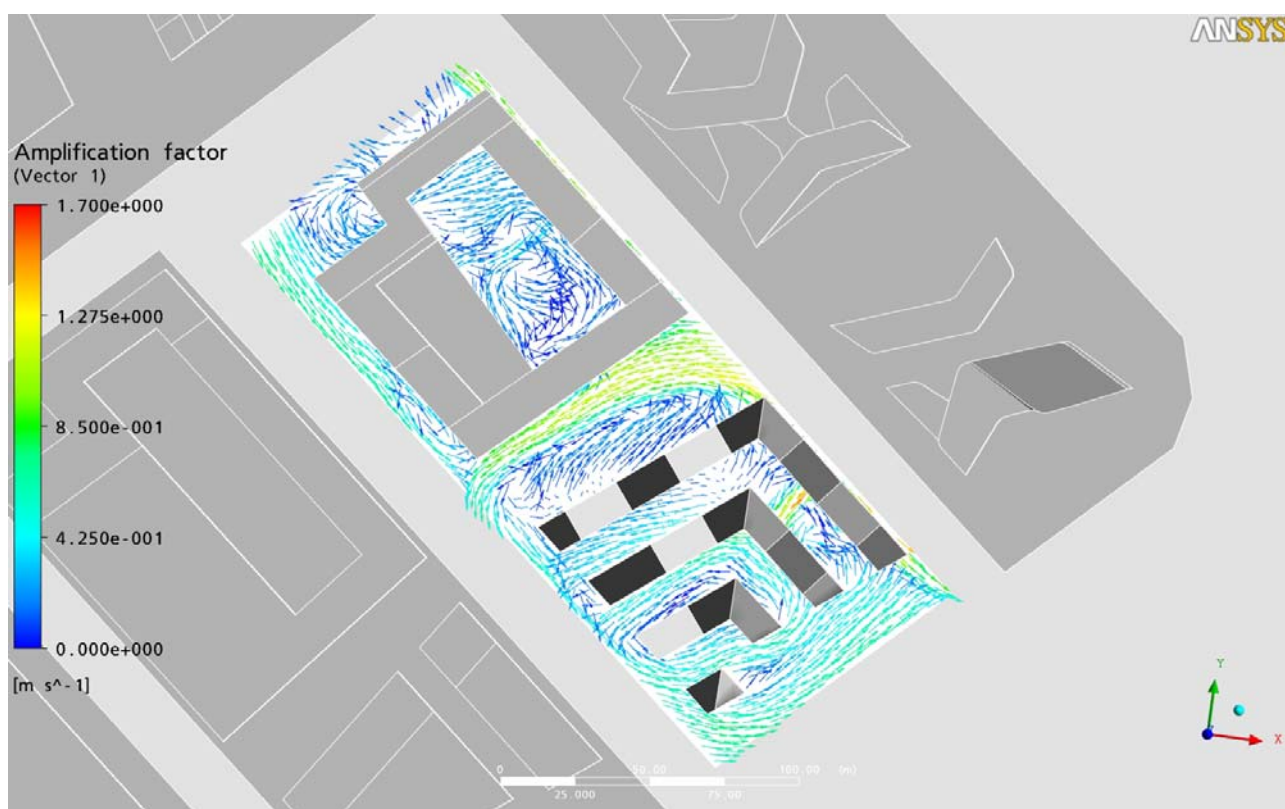
Troen, Ib. Petersen, Erik Lundtang. European Wind Atlas. Roskilde, Denmark: Risø National Laboratory, 1989. ISBN 87-550-1482-8.

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.

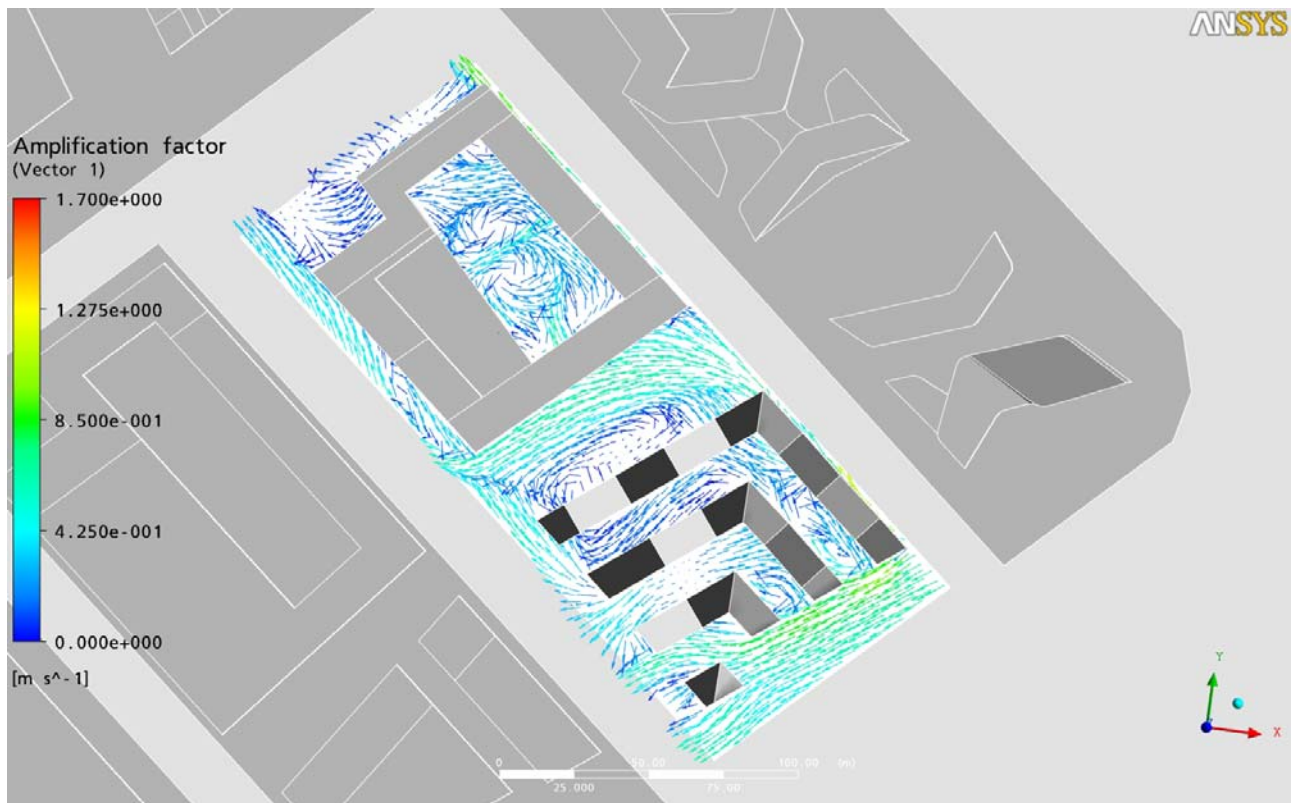
Bilag 1



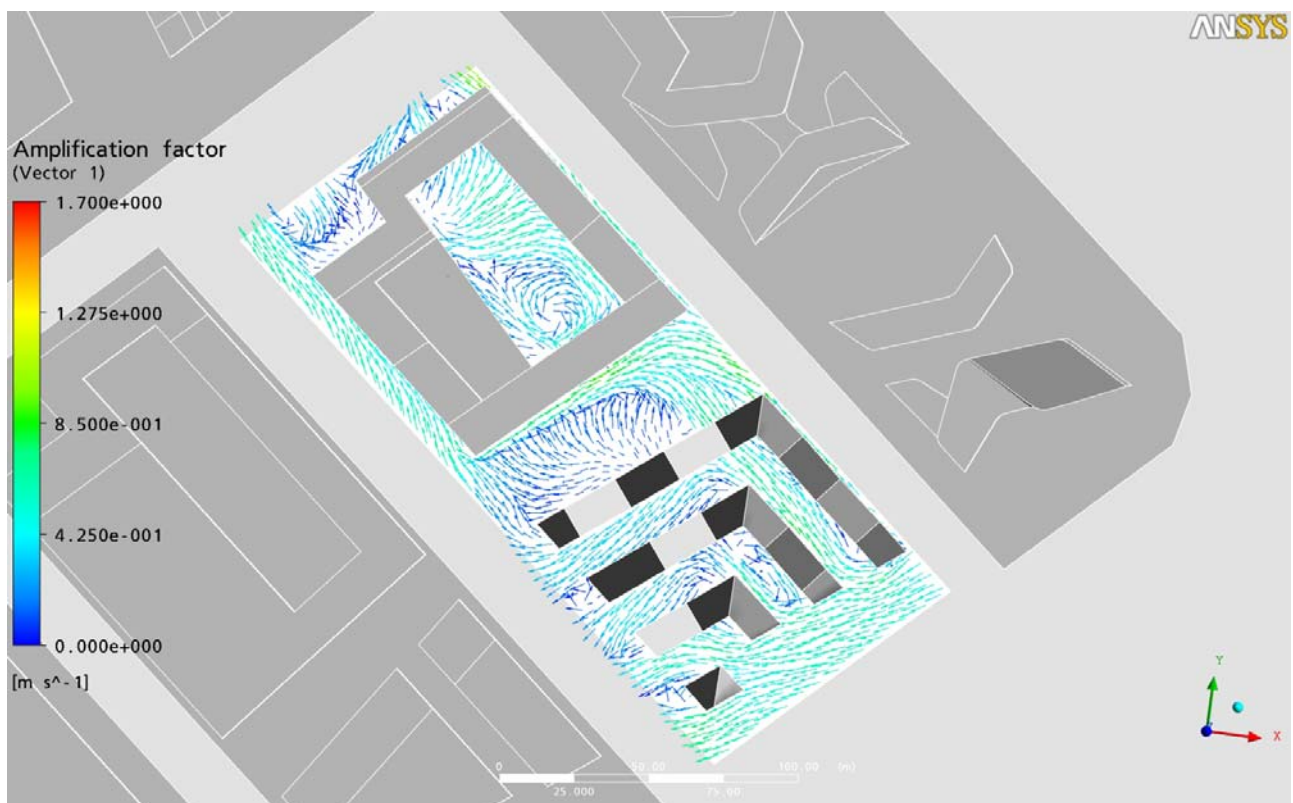
B1 Vind fra 0 grader



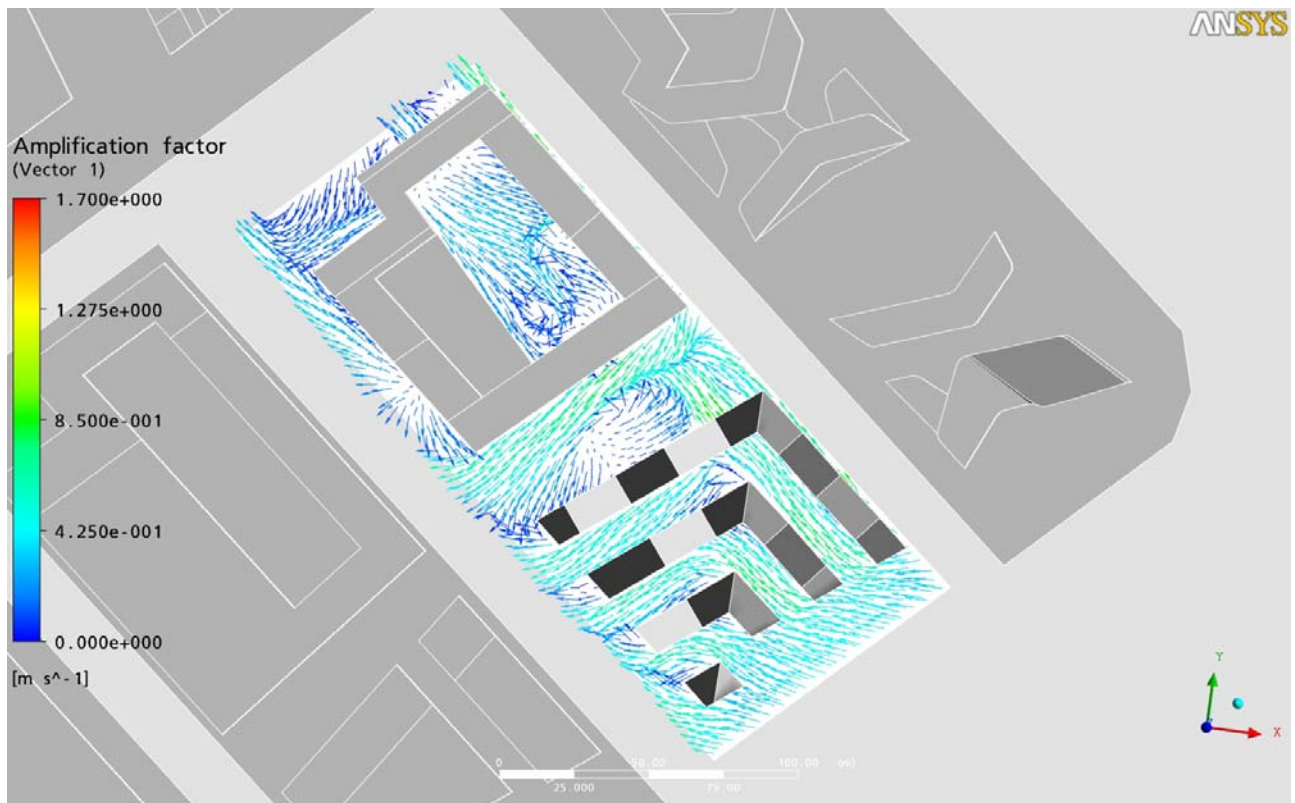
B2 Vind fra 30 grader



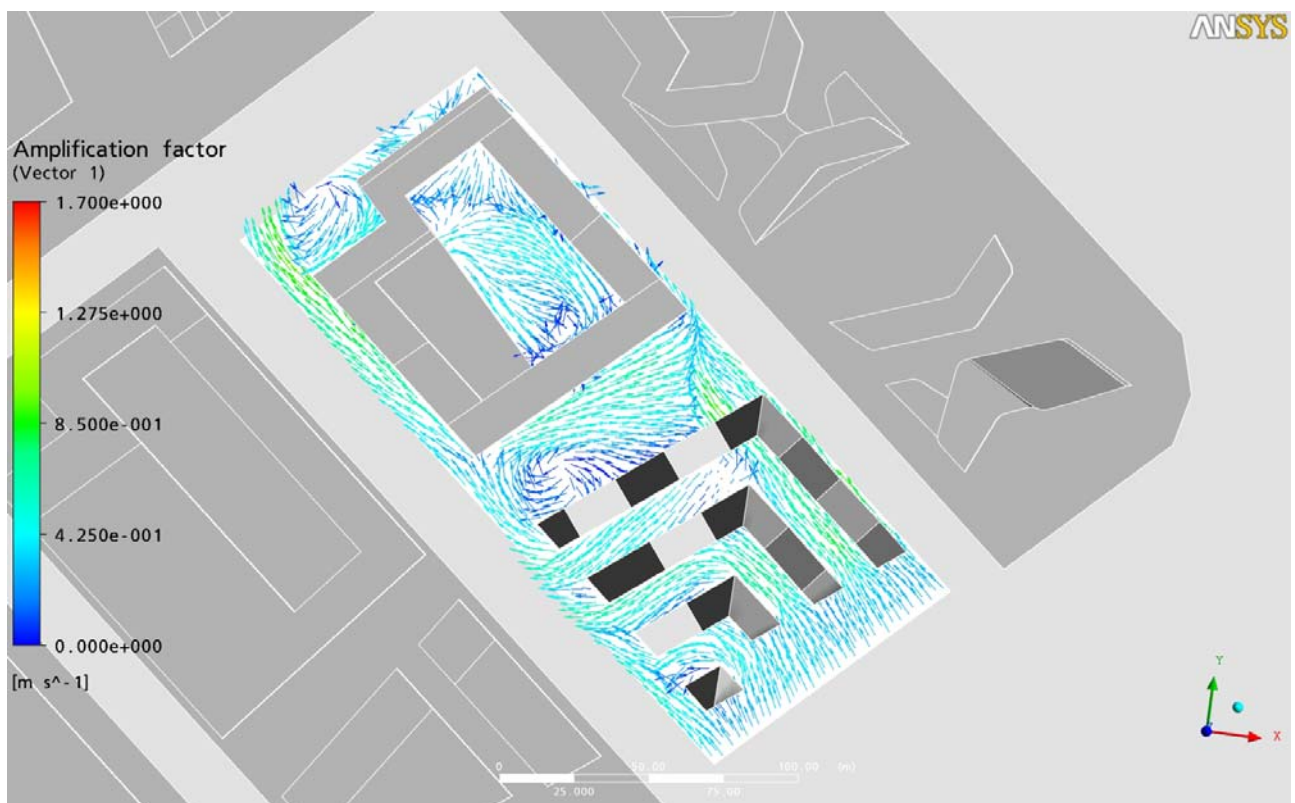
B3 Vind fra 60 grader



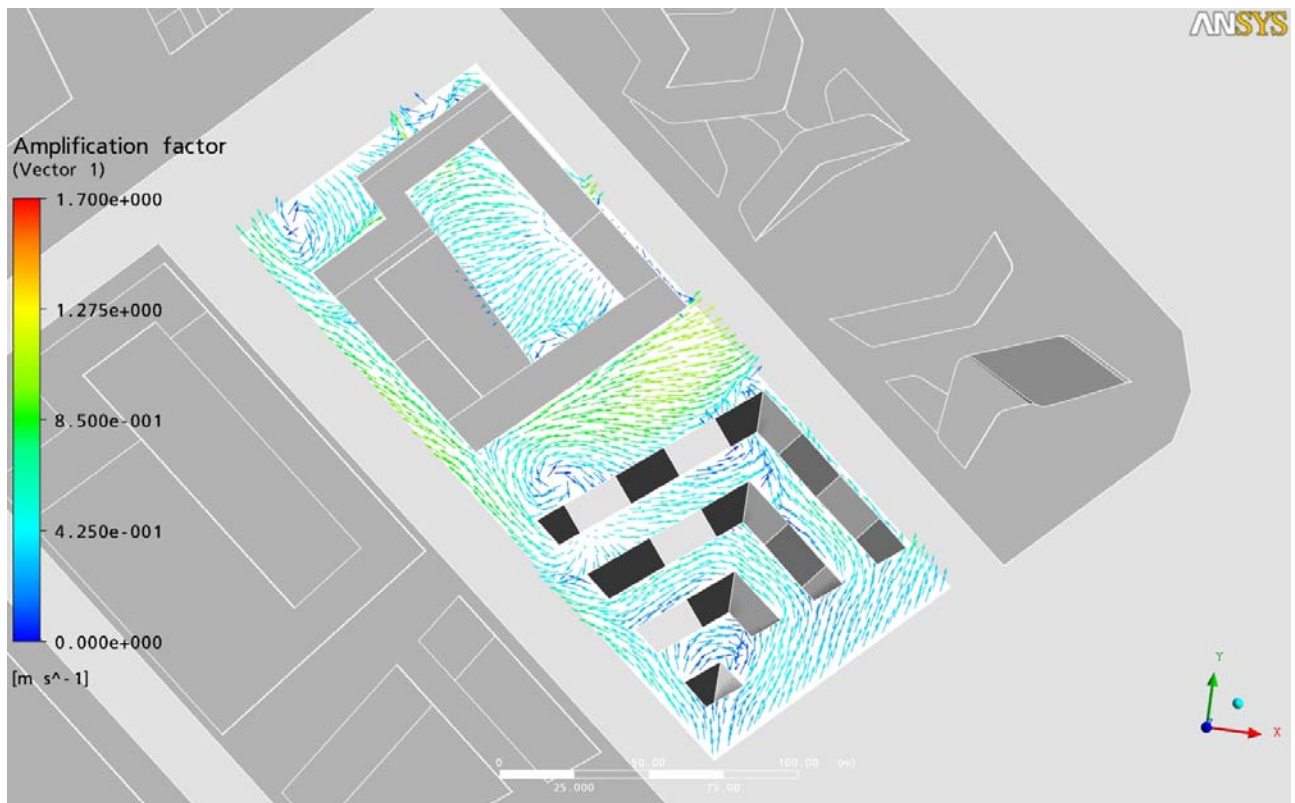
B4 Vind fra 90 grader



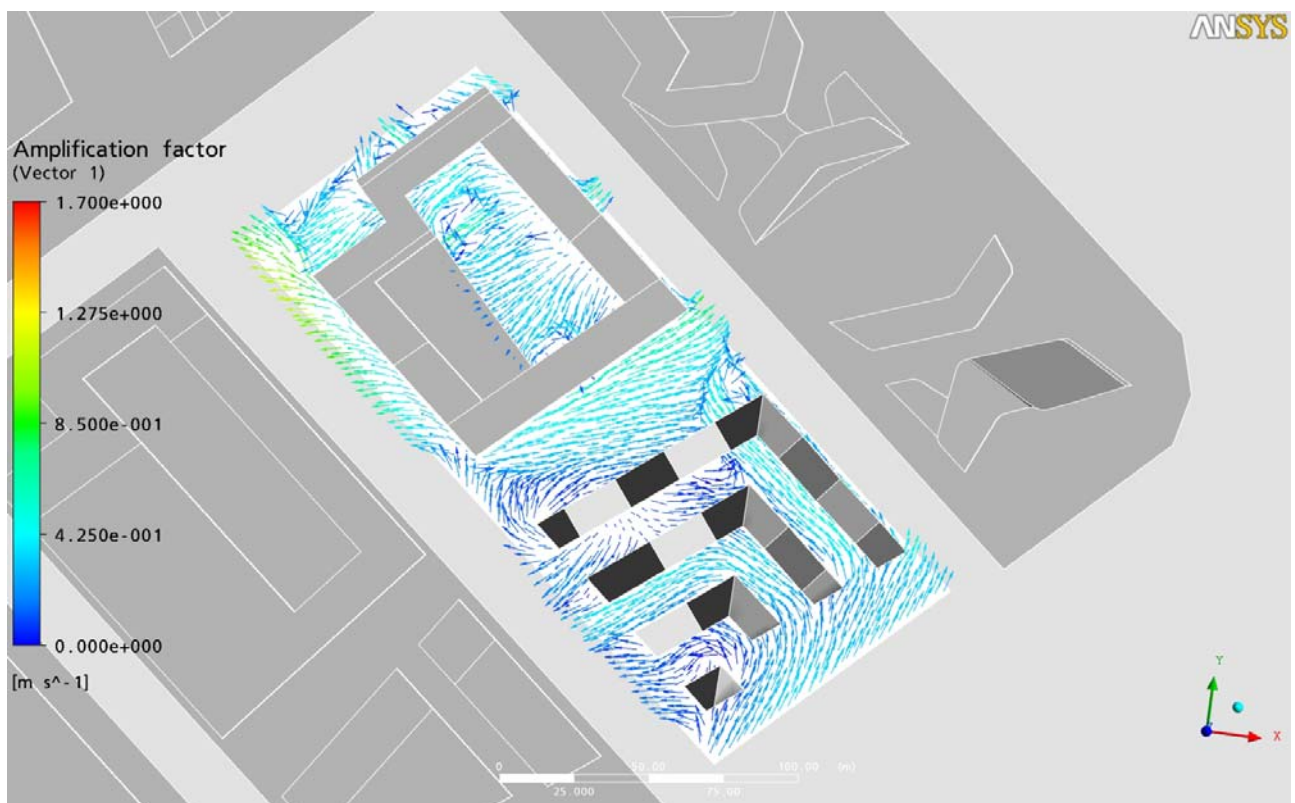
B5 Vind fra 120 grader



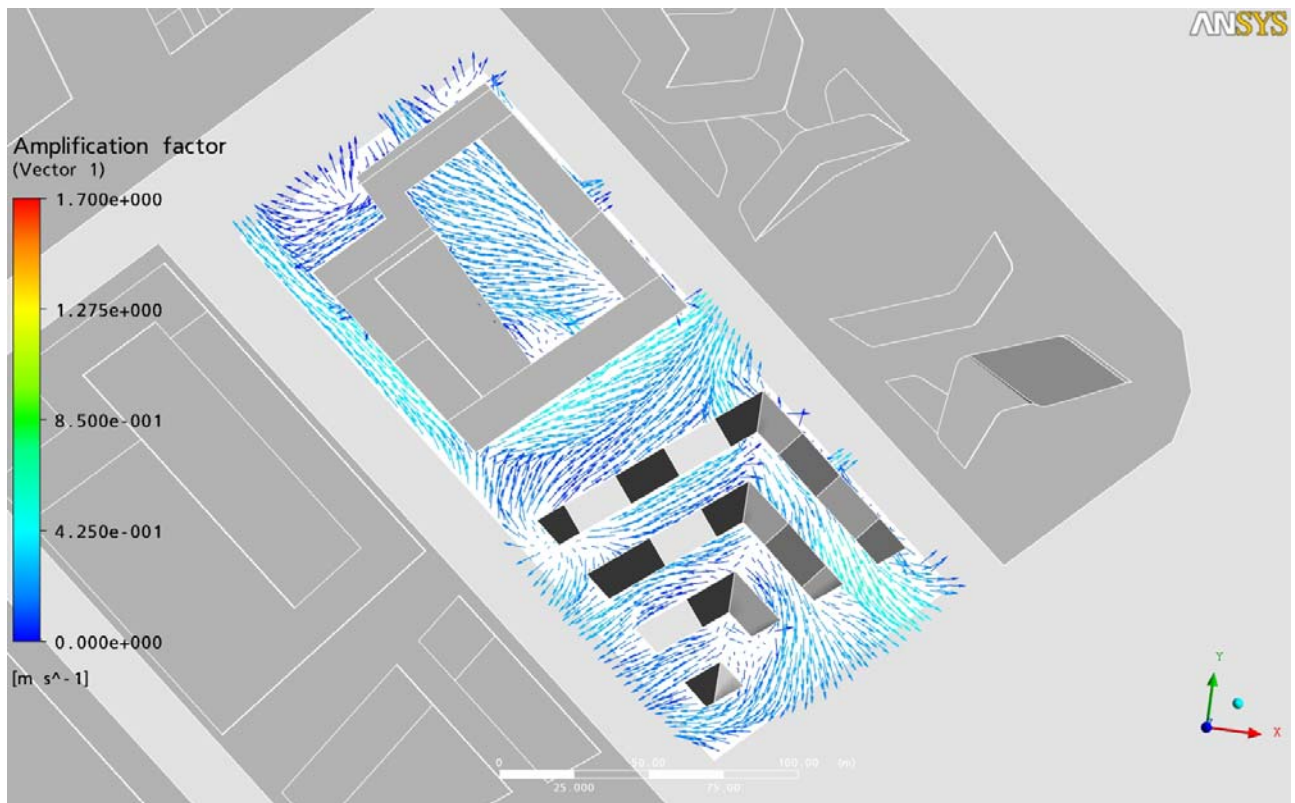
B6 Vind fra 150 grader



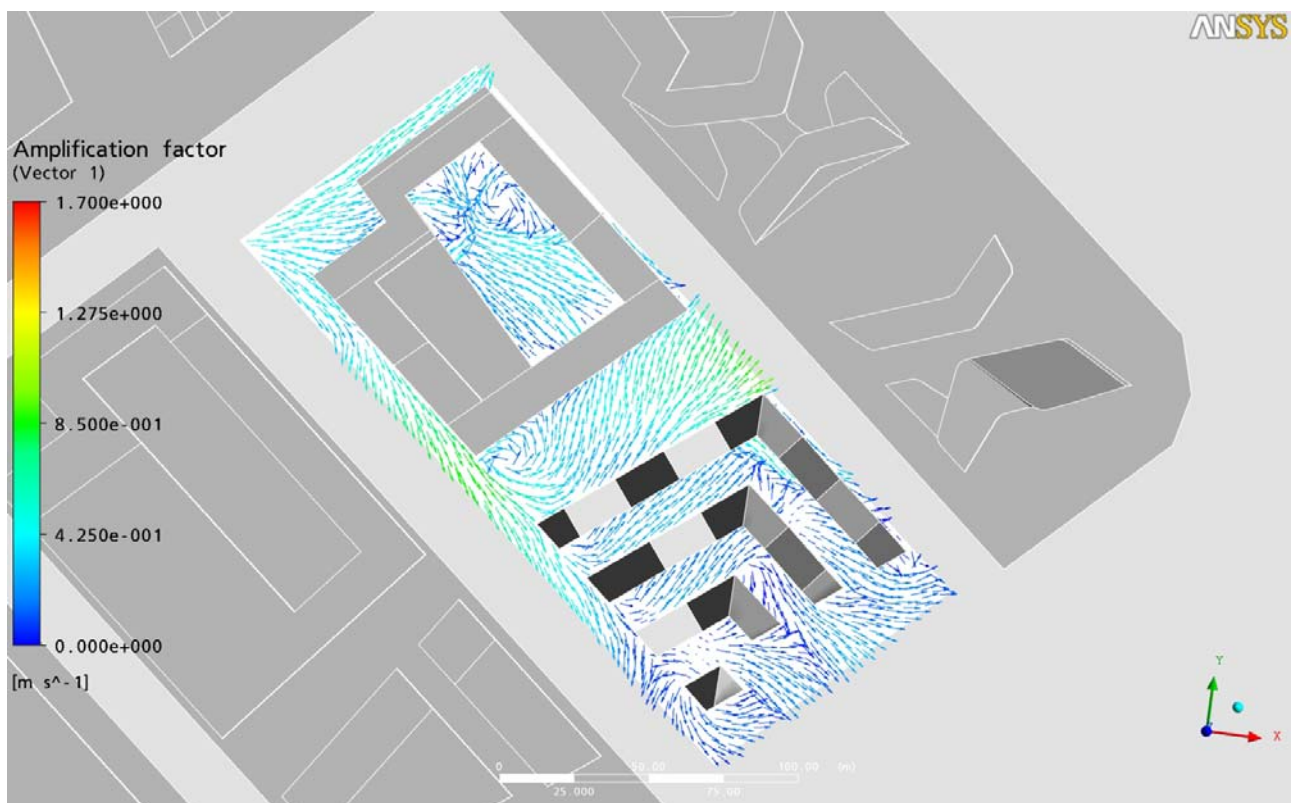
B7 Vind fra 180 grader



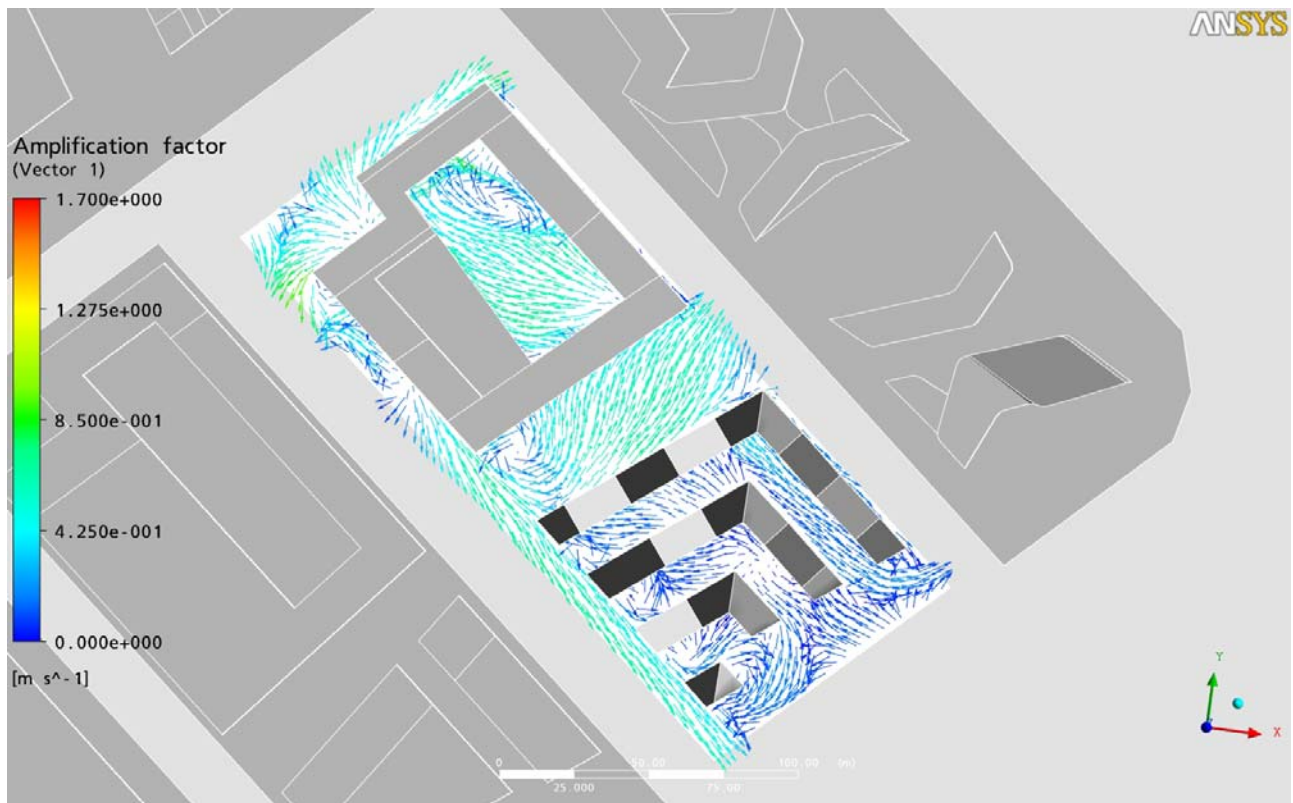
B8 Vind fra 210 grader



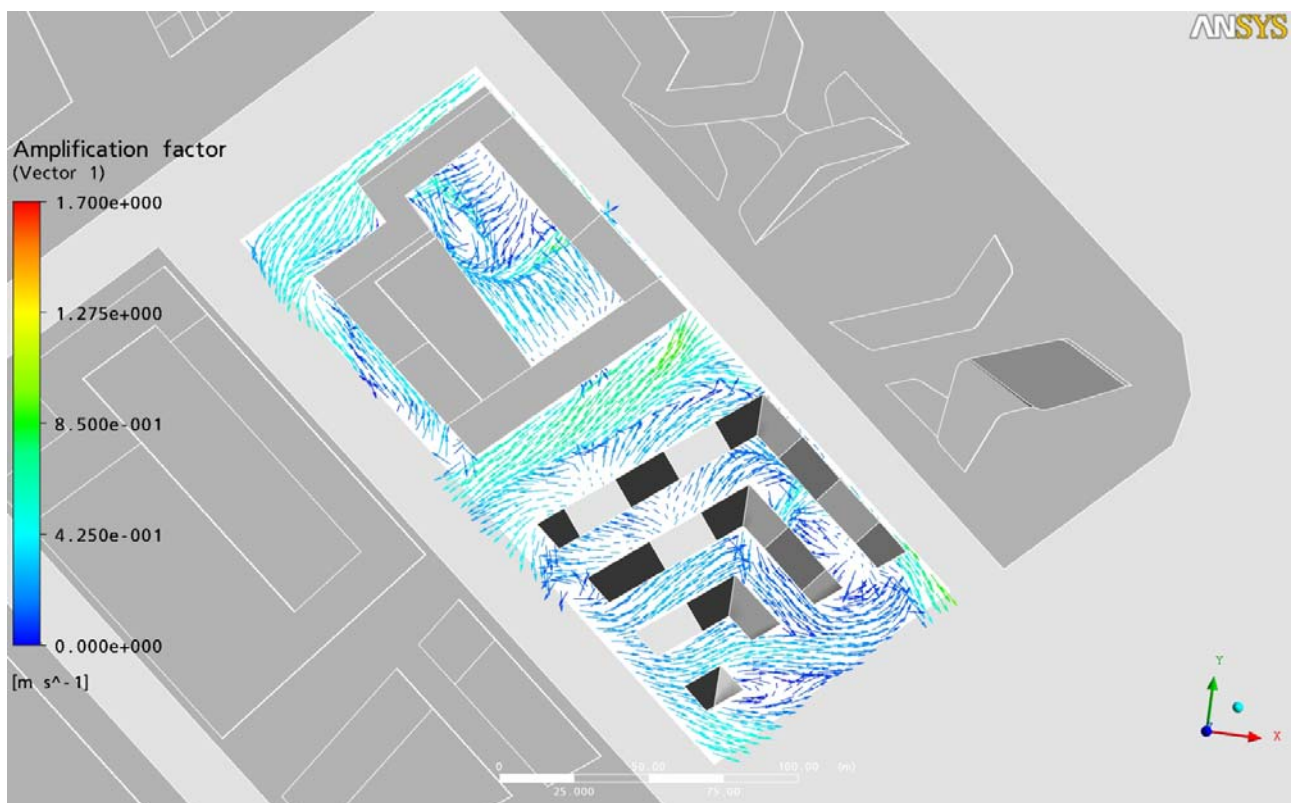
B9 Vind fra 240 grader



B10 Vind fra 270 grader



B11 Vind fra 300 grader



B12 Vind fra 330 grader