

APRIL 2012  
PROCON DANMARK APS

# VINDSIMULERINGER AXELTORV 2



**COWI**



APRIL 2012  
PROCON DANMARK APS

# VINDSIMULERINGER AXELTORV 2

PROJEKTNR. A025047  
DOKUMENTNR. AT2\_vindklima\_002  
VERSION 2.0  
UDGIVELSESDATO 16.04.2012  
UDARBEJDET SAMI  
KONTROLLERET ALN  
GODKENDT JEHU



# INDHOLD

1	Indledning	7
1.1	Rapporthistorik	8
2	Sammenfatning	9
2.1	Model	9
2.2	Vindklima	9
2.3	Kriterier	10
2.4	Konklusioner	10
3	Baggrund og data	13
3.1	Projektet	13
3.2	Arkitekt- og bymodel	14
3.3	Modelusikkerhed	14
3.4	Vindforhold	15
4	Vindkomfort	17
5	Fremgangsmåde	19
5.1	Model	19
5.2	Model set-up	20
6	Resultater	22
6.1	3D strømningsbilleder	22
6.2	Vindforhold i gadeplan	25
6.3	Vindforhold mellem bygningerne	33
6.4	Vindforhold på tagterrasserne	36
7	Eksisterende vindforhold	48
7.1	Resultater	48

8	Virkning af beplantning	52
8.1	Generelt om beplantning som lægiver	53
8.2	Modellering af beplantningen	54
8.3	Resultater	55
9	Referencer	65

# 1 Indledning

I forbindelse med opførelsen af et nyt byggeri på grunden Axeltorv 2 (Scalagrunden) skal vindforholdene undersøges. COWI har lavet en foreløbig vurdering af vindforholdene omkring projektet, Ref. /1/, som i nærværende rapport udbygges og kvantificeres ved hjælp af CFD simuleringer af vindforholdene på stedet (CFD = Computational Fluid Dynamics).

Området er vist i Figur 1.1. Der fokuseres på mulighederne for udendørs ophold på Axeltorv, på det hævdede areal mellem de nye bygninger samt på tagterrasserne. Der sammenlignes med vindforholdene med den gamle Scalabygning samt hvilke forbedringer, der kan opnås med beplantning. Vindforholdene på Axeltorv sammenlignes endvidere med vindforholdene omkring SAS Royal hotel, specielt i Hammerichsgade.



Figur 1.1 Satellitbillede af Axeltorv og omgivelser.

## 1.1 Rapporthistorik

- > Version 1.0, dateret 26. marts 2012: Simuleringer af vindmiljøet for det nye byggeri uden beplantning. Denne version er kvalitetssikret.
- > Version 2.0, dateret 16. april 2012: Der er tilføjet simuleringer af vindmiljøet med den gamle Scalabygning samt af det nye byggeri MED beplantning.



## 2 Sammenfatning

Til brug for vurderingen af vindforholdene omkring Axeltorv 2 er udført CFD-simuleringer af tre hyppigt forekommende vindretninger.

Følgende situationer undersøges:

- > Vindforholdene for det nye byggeri
- > Vindforholdene med den gamle Scalabygning til sammenligning
- > Vindforholdene for det nye byggeri med beplantning.

### 2.1 Model

Simuleringerne er lavet ud fra L&T Arkitekters 3D model indeholdende de vigtigste nabobygninger også. Axeltorv 2 er ikke givet med helt de rigtige mål i modellen (der lader til at være en skalafejl i modellen): bygningerne er mellem 0-10% for høje, men det skønnes at have begrænset, og let konservativ, betydning for vurderingen af vindmiljøet. Sekundære elementer som træer, skilte, facadedetaljer, reklamer o.l. er ikke med i modellen (undtaget er simuleringerne med den foreslåede beplantning).

Beplantningen modelleres med simplificerede træer, hvis lævirkning grundet manglende gennemtrængelighed af kronerne vurderes at være let overdrevet.

### 2.2 Vindklima

Resultaterne af disse simuleringer er sammenholdt med det generelle vindklima for Danmark, som angivet i Vindatlas for Danmark. Det skal understreges, at de udførte simuleringer ikke giver et fuldstændigt billede af vindforholdene, da kun de mest hyppige vindretninger er simuleret. Sæsonvariationer er heller ikke inkluderet.

De tre valgte retninger repræsenterer en årlig hyppighed på omkring 50%, og for vindhastigheder over 5 m/s en årlig hyppighed på hele 74%.

## 2.3 Kriterier

Vindforholdene vurderes ud fra Lawsons komfortkriterier. Der fokuseres på to typer af aktiviteter:

- > Gang/slentren
- > Stillesiddende aktivitet

Og komforten vurderes i henhold til klassifikationen "tålelige forhold", hvilket defineres som:

*Man er bevidst om vinden men finder sig i forholdene, da det ikke opleves som noget, der sker særlig tit. Kræver ikke forebyggende foranstaltninger, men man kan vælge at gøre det, hvis økonomi og øvrige forhold taler for det.*

Og mere formelt er definitionen af en vindhastighed på 7,9 m/s ikke overskrides i mere end 4% af tiden.

## 2.4 Konklusioner

På baggrund af de udførte simuleringer konkluderes følgende for Axeltorv:

- > Vindforholdene på Axeltorv må forventes at blive forværret med de nye bygninger, hvis ikke der laves yderligere foranstaltninger
- > Vindforholdene i Hammerichsgade er værre end på Axeltorv, selv med det nye byggeri
- > Beplantning som foreslået af L&T Arkitekter ser ud til at kunne gøre vindforholdene på Axeltorv mindst lige så gode eller lidt bedre end de var med den gamle Scalabygning
- > Den smalle passage mellem Axeltorv 2 og de eksisterende bygninger har stærke vindgener for visse vindretninger. Det forbedres noget med beplantningen af de høje træer i arkitektens beplantningsmodel, men ikke meget. Da vinden i passagen ikke kun er en forstærket vind i fodgængerhøjde, men involverer hvirveldannelser, kræver en eventuel løsning af dette problem nøjere analyse.

For det centrale, hævede terrasseområde mellem bygningerne på Axeltorv 2 konkluderes følgende:

- > Vindforholdene er ikke velegnede til f.eks. udendørs servering ("stillesiddende aktivitet") uden yderligere læ
- > Det er sandsynligt, at med valg af passende beplantning (dækkende i lavere højde end den, der er brugt i simuleringerne, så man undgår speed-up under trækronerne som i modellen) kan området gøres egnet til stillesiddende aktiviteter.

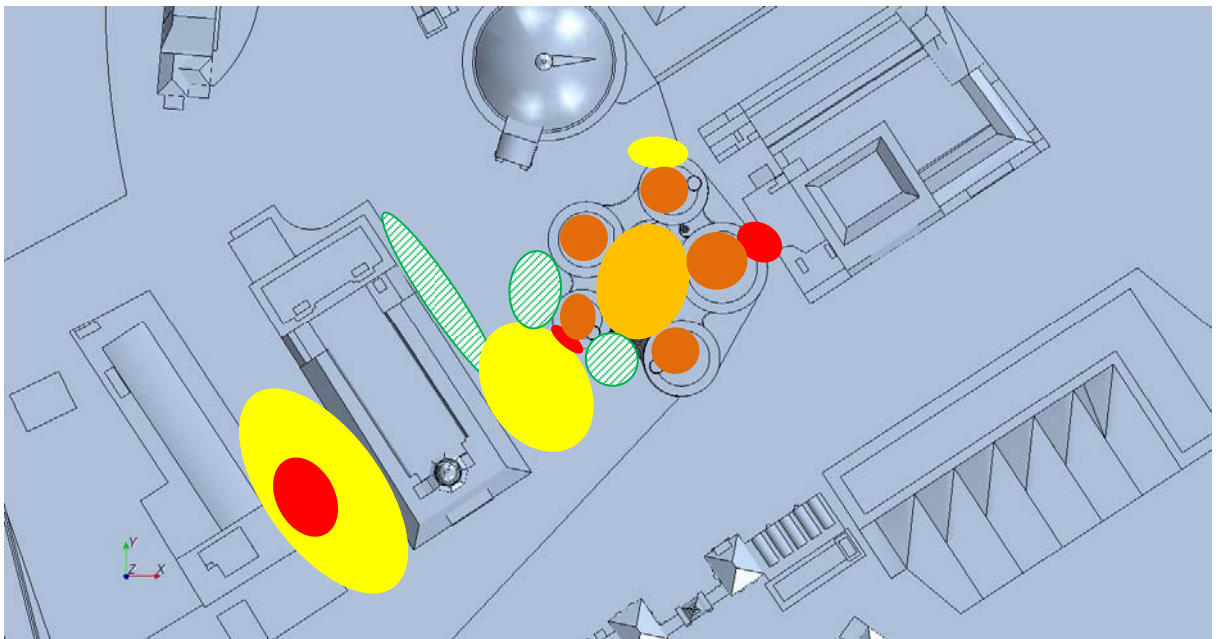
For de fem tagområder på Axeltorv 2 konkluderes:

- > Tagene er i sin nuværende form ikke egnet til udendørs stillesiddende ophold. Inddækning vil være nødvendigt for at opnå gode forhold her.

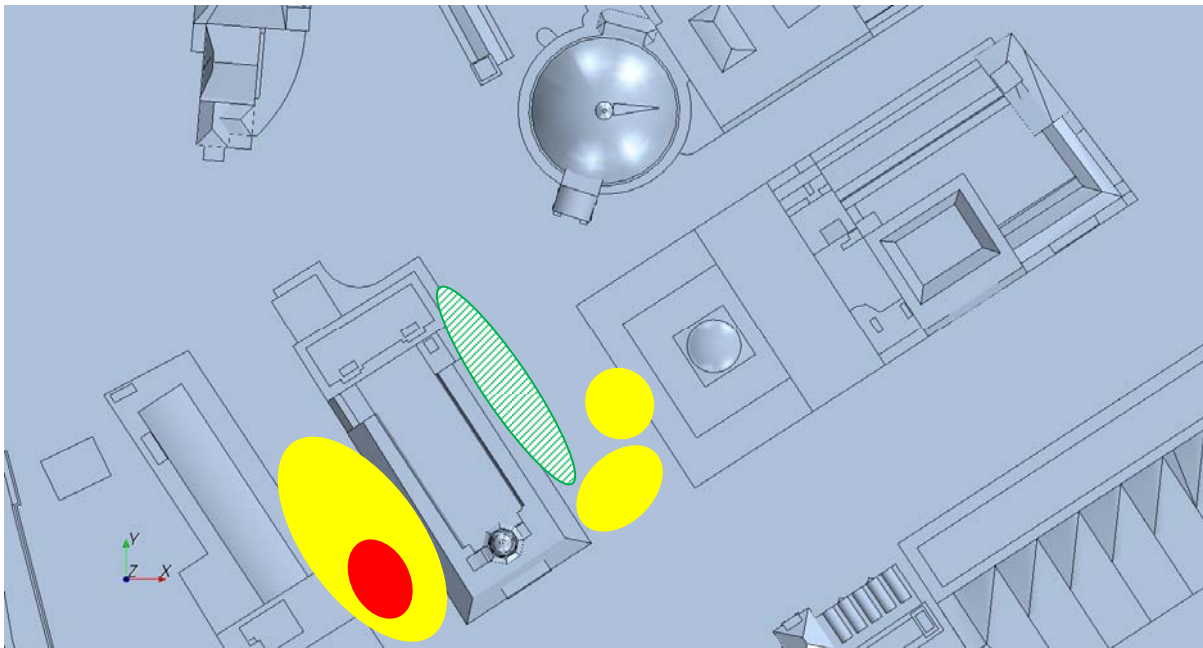
Disse konklusioner er illustreret i Figur 2.1. Til disse figurer knyttes følgende kommentarer:

Områder der ud fra de udførte simuleringer ser ud til at have helt uacceptable vindforhold for gående (og endda i Hammerichsgade også for cyklende) er markeret med rødt.

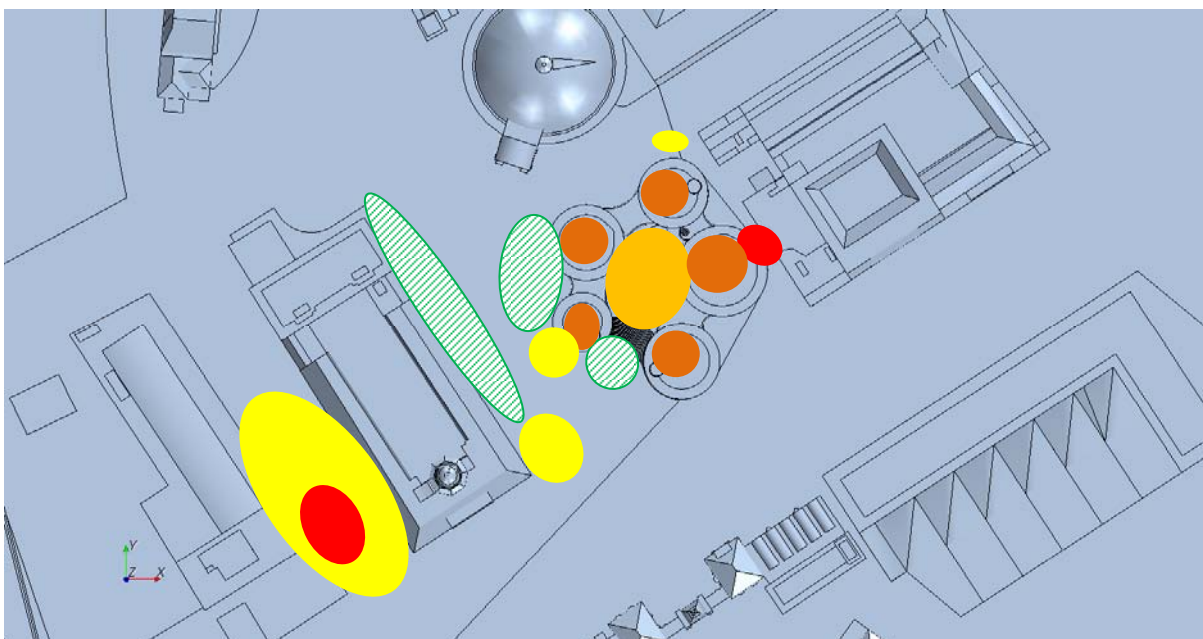
Områder, hvor komfortgrænserne for almindelig gang/slentren overskrides for de simulerede vindretninger, er markeret med gult. Da ikke alle vindretninger er simuleret er det mere usikkert at udpege områder med gode forhold for udendørs servering (stillesiddende aktivitet), men beregningerne tyder på, at områderne markeret med grøn skravering kunne have tilstrækkeligt læ.



*Figur 2.1* *Oversigt, gadeplan. Rød: områder med stærke vindgener. Gul: Områder hvor komfortgrænsen for gang/slentren overskrides. Grøn skravering: Områder med mulig god læ. Orange (1. sal niveau): mere læ ønskeligt, hvis det er tænkt som café-område. Mørk orange: Uegnet til ophold (tagniveau). UDEN BEPLANTNING.*



Figur 2.2 *Oversigt, gadeplan. Rød: områder med stærke vindgener. Gul: Områder hvor komfortgrænsen for gang/slentren overskrides. Grøn skravering: Områder med mulig god læ. GAMMEL SCALA.*



Figur 2.3 *Oversigt, gadeplan. Rød: områder med stærke vindgener. Gul: Områder hvor komfortgrænsen for gang/slentren overskrides. Grøn skravering: Områder med mulig god læ. Orange (1. sal niveau): her vil mere læ i form af lav beplantning eller læskærme i stedet for opstammede træer være egnet, hvis det er tænkt som café-område. Mørk orange: Uegnet til ophold (tagniveau). MED BEPLANTNING.*

## 3 Baggrund og data

### 3.1 Projektet

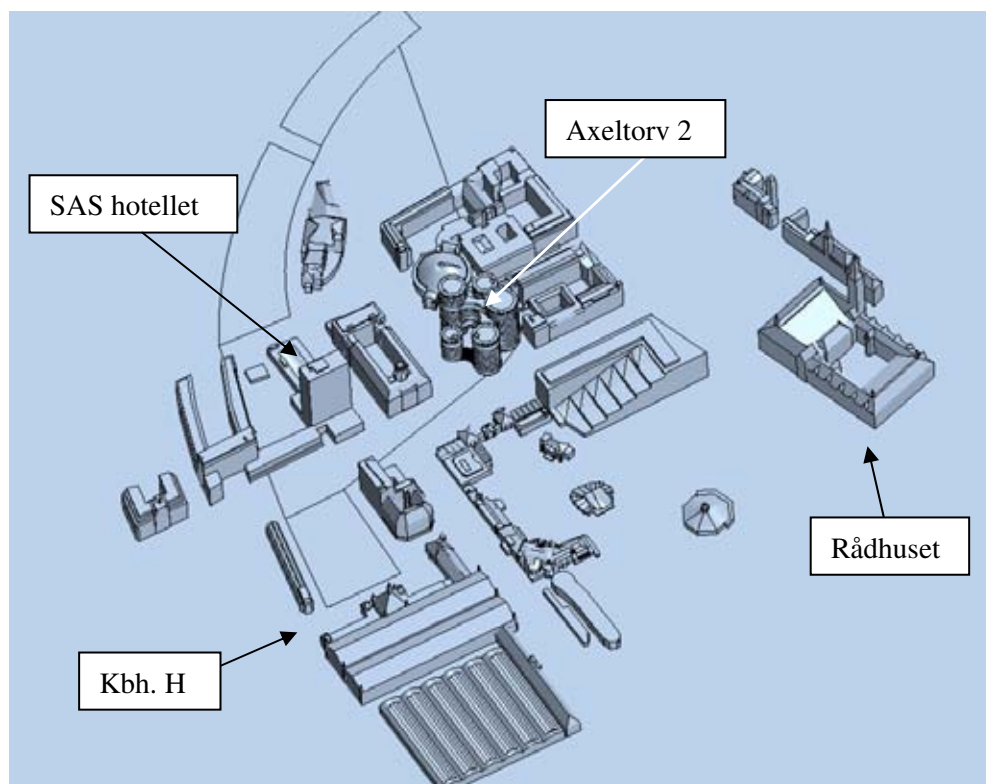
Axeltorv 2 projektet er vist i Figur 3.1 set fra sydvest. I forhold til denne figur er foretaget justeringer af bygningshøjder. De seneste bygningshøjder, som oplyst af L&T Arkitekter 19. marts 2012, er angivet på figuren. Bemærk at disse højder ikke helt svarer til de tidligere højder anvendt i den foreløbige vindvurdering, Ref. /1/.



Figur 3.1 Axeltorv 2, arkitektmodel, med angivelse af bygningshøjder pr. 19. marts 2012.

### 3.2 Arkitekt- og bymodel

For at kunne få et så realistisk et billede af vindmiljøet omkring Axeltorv byggeriet som muligt, skal også nabobygninger medtages i beregningsmodellen, da de kan have stor indvirkning på vindforholdene. Fra L&T Arkitekter er d. 13. marts 2012 derfor modtaget en 3D model til brug for simuleringerne, hvor både Axeltorv 2 og vigtige omkringliggende bygninger er inkluderet. Denne model er vist i Figur 3.2. Bemærk at banegravene ved hovedbanen og Vesterport station er lukkede i forhold til den modtagne model, hvor der blot var huller.



Figur 3.2 3D model, fra L&T Arkitekter.

Beplantning, belysning, skilte, springvand og andre sekundære genstande i bymiljøet er ikke medtaget i modellen.

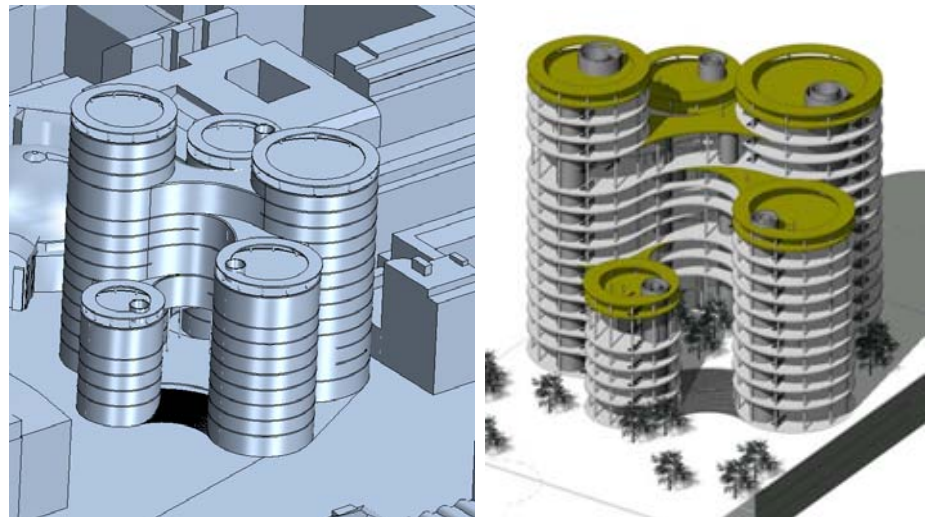
### 3.3 Modelusikkerhed

Rådhusårnet i den modtagne 3D model fra L&T Arkitekter havde en højde på ca 317 m. Da rådhusårnet kun er 105,6 m højt, er hele 3D modellen derfor skaleret med forholdet mellem modelhøjde og rigtig højde (faktor 0,3325). Ved en efterfølgende kontrol af modelhøjden på de 5 bygninger i Axeltorv 2 projektet, konstateredes højderne mellem 0 m og 3 m for store og diametrene mellem 0 m og 2 m for store. Havde skaleringen i stedet været udført med forholdet under antagelse af modellen var givet i fod (engelske eller danske), ville Axeltorv 2 være kommet tættere på de opgivne dimensioner (Figur 3.1), men til gengæld ville de omkringliggende bygninger været blevet for små (rådhusårnet ca 10 m for lavt). Det kunne tyde på et skalamisforhold mellem Axeltorv 2 og resten af bymodellen.

Det blev derfor besluttet at beholde skaleringen og modellen som den er, idet afvigelsen (op til 10%) i dimensioner antages at være konservative mht. vindforholdene på stedet.

Resultaterne af de udførte simuleringer af vindforholdene skal ses i lyset heraf.

Figur 3.3 viser 3D modellen fra L&T Arkitekter i nærbillede sammenholdt med arkitektmodellen.



Figur 3.3 Nærbillede af 3D model til venstre og visualisering til højre.

### 3.4 Vindforhold

Til vurderingen af vindforholdene bruges vindklimaet fra Vindatlas for Danmark, som også anvendt i den foreløbige vindvurdering. Dette antages at være repræsentativt for København, selvom der kan være regionale forskelle i vindklimaet i Danmark. Præcise regionale data har ikke været til rådighed. De data, der er tilgængelige fra Københavns lufthavn fra DMI rapporter, har en meget grov opløsning i vindhastigheder, og er derfor svære at bruge i kvantificerede vurderinger som her.

Resultaterne i denne rapport skal derfor ses i lyset af, at det lokale vindklima i København kan variere lidt fra det overordnede vindklima i Danmark samt at sæsonvariationer ikke er medtaget (nogle vindretninger er mere hyppige om vinteren end om sommeren, og har derfor mindre vægt i vurdering af egnetheden for udendørs servering).

Sandsynligheden  $p$  for at vindhastigheden  $V$  på lokaliteten overskrider en given værdi  $V_{ref}$  er givet ved

$$p(V > V_{ref}) = f \cdot \left[ 1 - \left[ 1 - \exp \left[ - \left( \frac{V_{ref}}{A} \right)^k \right] \right] \right]$$

hvor parametrene A, k og f findes af Tabel 3.1.

*Tabel 3.1 Frekvens f, eksponent k og middelværdi A (m/s) i Weibull fordelingen for mid-  
delvindhastighed, 10 m over terræn. Fra Vindatlas for Danmark, Ref. /3/.*

Sektor	0	1	2	3	4	5	6	7
Kompasretning	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
Frekvens f	0,068	0,097	0,127	0,126	0,160	0,180	0,166	0,076
Eksponent k	1,75	1,85	2,08	1,89	1,86	1,95	1,96	1,58
Middelværdi A	2,9	2,5	3,8	3,8	5,7	6,0	4,6	4,3



## 4 Vindkomfort

Komforten vurderes ud fra Lawsons kriterier (Ref. /2/). Disse er baseret på mange års erfaring opbygget på University of Bristol. De anvendtes i let modificeret form for London Docklands. Der eksisterer også en række andre kriterier for vindkomfort i litteraturen, af grundlæggende samme tilsnit men med vekslende grad af detaljering og med andre grænseværdier, men en samlet konsensus er endnu ikke etableret. Lawsons kriterier ligger nogenlunde i midten af gruppen af kriterier, og er således hverken særligt konservative eller særligt bløde.

Lawson opererer med tre niveauer:

- > Uacceptabelt. Forebyggende foranstaltninger er nødvendige.
- > Tåleligt. Man er bevidst om vinden men finder sig i forholdene, da det ikke opleves som noget, der sker særlig tit. Kræver ikke forebyggende foranstaltninger, men man *kan* vælge at gøre det, hvis økonomi og øvrige forhold taler for det.
- > Acceptabelt. Der føles intet ubehag.

For forskellige aktivitetsniveauer defineres grænserne til tålelige og uacceptable vindforhold for fodgængere som angivet i følgende skema, Tabel 4.1. Oprindeligt er disse kriterier angivet i Beaufort men er her omregnet til m/s ifølge DMI's oplysninger (derfor de skæve værdier). Skemaet bruges som følger:

For rask gang haves uacceptable forhold, hvis det blæser mere end 10,7 m/s i 2% af tiden (eller mere). Stillesiddende aktivitet i længere tid går fra acceptabelt til tåleligt, hvis det blæser mere end 3,3 m/s i 4% af tiden, og fra tåleligt til uacceptabelt hvis det blæser mere end 5,4 m/s i 1% af tiden (eller mere). Tålelige forhold (frem for acceptable) bruges ofte som kriterium for et givet byggeri, da tests og/eller beregninger ofte laves uden træer eller andre lignende elementer, som kan virke skjærmende. Forholdene kan derfor ofte i virkeligheden være lidt bedre end målt i forsøg/beregnet.

Dette er også tilfældet her.

Tabel 4.1 *Lawsons kriterier for fodgængerkomfort, Ref. /2/.*

Område/Aktivitet (forventet/foreskrevet)		Kriterium for vindhastighed og overskridelse	
Beskrivelse	Betegnelse	Uacceptabelt	Tåleligt
Veje, p-arealer	A	6% > 10,7 m/s	2% > 10,7 m/s
Rask gang med et formål, cykling	B	2% > 10,7 m/s	2% > 7,9 m/s
Gang, slentren	C	4% > 7,9 m/s	6% > 5,4 m/s
Stående	D	6% > 5,4 m/s	6% > 3,3 m/s
Indgangsområder, døre	E	6% > 5,4 m/s	4% > 3,3 m/s
Siddende	F	1% > 5,4 m/s	4% > 3,3 m/s

Vindhastighederne angives som den største værdi af middelvindhastigheden og den såkaldte "Gust equivalent mean wind speed", som tager hensyn til turbulensen i vinden. En relativt svag men meget turbulent vind kan godt føles ubehageligere end en stærkere men ikke særlig turbulent vind, og det tages der højde for på denne måde.

Til denne vindvurdering fokuseres på aktivitet af typerne siddende (F) samt gang/slentren (C).

## 5 Fremgangsmåde

Det kommercielle CFD software Star CCM+ (version 6.06) er anvendt til at simulere vindforholdene.

Tre vindretninger simuleres, se også Tabel 5.1, baseret på den foreløbige vindvurdering.

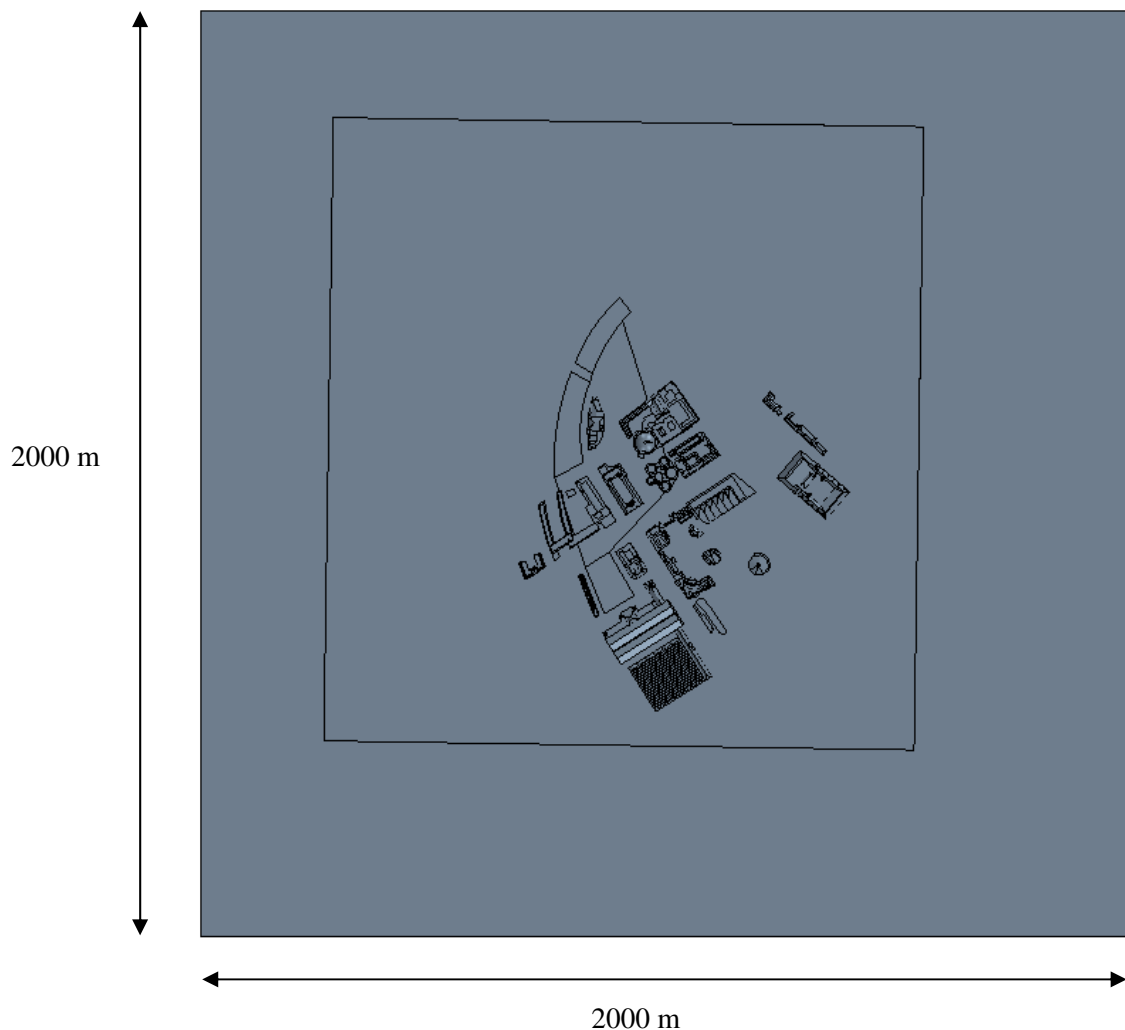
Tabel 5.1 Simulerede vindretninger og tilknyttede hyppigheder.

Vindretning	Årlig hyppighed
Syd	16,0%
Sydvest	18,0%
Vest	16,6%

Disse tre vindretninger repræsenterer således 50,6 % af alle hændelser på årsbasis. For vindhastigheder (i 10 m højde) over 5 m/s repræsenterer disse tre retninger 74 % af alle hændelser på årsbasis.

### 5.1 Model

Beregningsmodellen, hvis udstrækning er vist i Figur 5.1, har størrelsen 2000 m · 2000 m · 300 m (henholdsvis øst-vest, nord-syd og lodret).



Figur 5.1 Modeludstrækning, nord opad.

## 5.2 Model set-up

Simuleringerne er udført som tidsmidlede simuleringer af vind og turbulens.

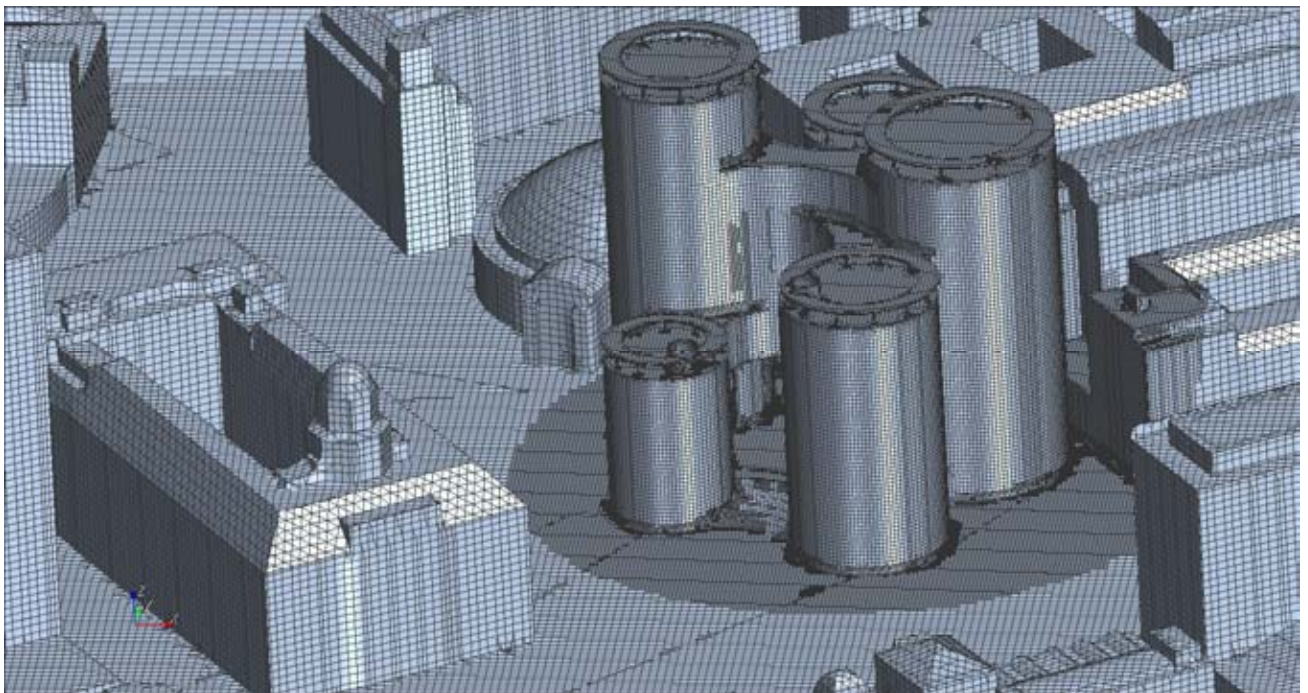
Turbulensmodellen er en  $k-\epsilon$  model (*realizable, two-layer model*). Luften modelleres under antagelse af konstant densitet ( $1,23 \text{ kg/m}^3$ ), dvs. uden temperaturlagdeling.

Der sættes logaritmiske profiler for vindhastighed og turbulensintensitet på randen svarende til ruhedsklasse III (vest) og II (syd og sydvest) og med en vindhastighed på  $10 \text{ m/s}$  i  $10 \text{ m}$  højde over terræn. De logaritmiske hastighedsprofiler er angivet nedenfor.

$$u(z) = v \cdot k_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{og} \quad I(z) = \frac{1}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$$

hvor  $k_t = 0,22$  (V) og  $k_t = 0,19$  (S og SV) ,  $z_0 = 0,3\text{m}$  (V) og  $z_0 = 0,05\text{m}$  (S og SV).  
 For  $z < 8$  hhv.  $4$  m anvendes værdierne for  $z = 8$  m og  $4$  m.

Det anvendte beregningsnet indeholder 4,2 millioner celler (hexaheder). Nettet er illustreret i Figur 5.2.



Figur 5.2      *Beregningsnet, bygningsoverflader.*

## 6 Resultater

Der ses i det følgende på forholdene ca 1,5 m over det givne niveau, det være sig gadeplanet, den hævede plads mellem bygningerne eller tageterrasserne.

For alle tre vindretninger vises "Gust equivalent mean wind speed", som omtalt i afsnit 4, som konturplots. Vektorer, der angiver vindens retning, vises også. Det skal bemærkes, at pilene angiver vindens projektion på vandret, og at vinden sagtens kan komme oppefra selvom det ikke tydeligt kan ses på figureerne.

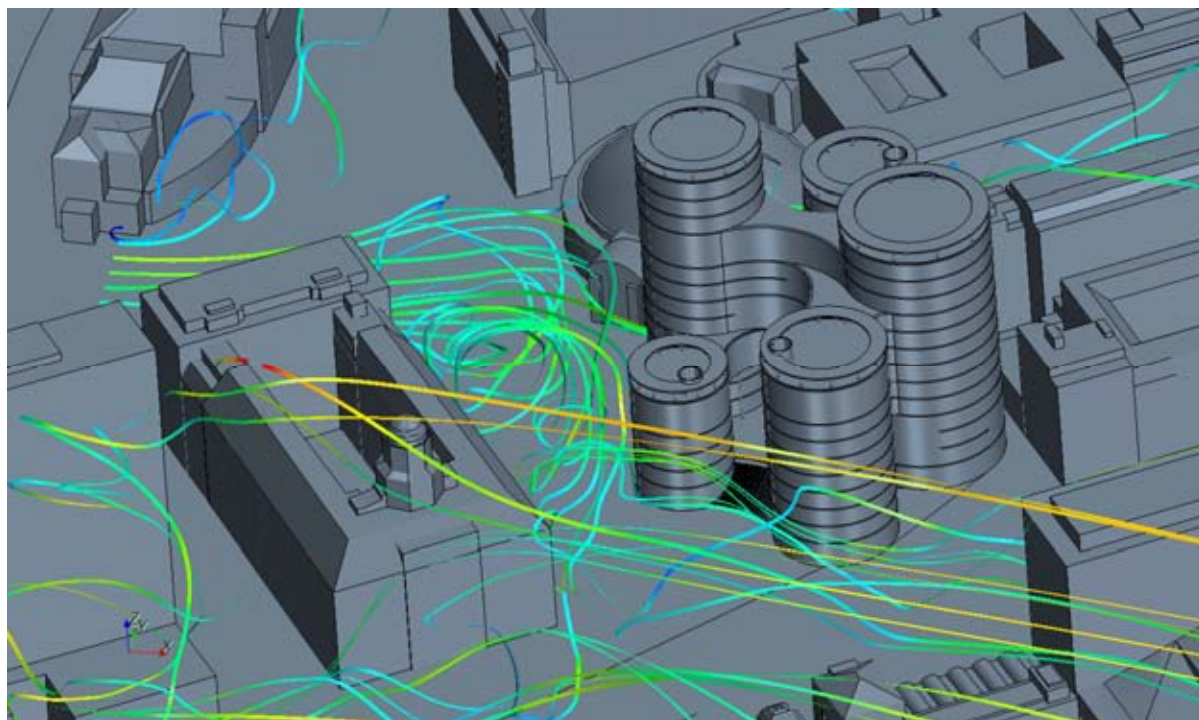
**Vindhastighederne er på konturplottene normeret med den uforstyrrede 10-minutters middelvindhastighed i 10 m højde (10 m/s).**

Det er således forstærkningen af vinden, der afbildes. En værdi på 1 betyder at vindhastigheden er lig den uforstyrrede vindhastighed i 10 m højde, mindre end 1 betyder at vindhastigheden er mindre, og større end 1 at den er højere end den uforstyrrede vindhastighed i 10 m højde.

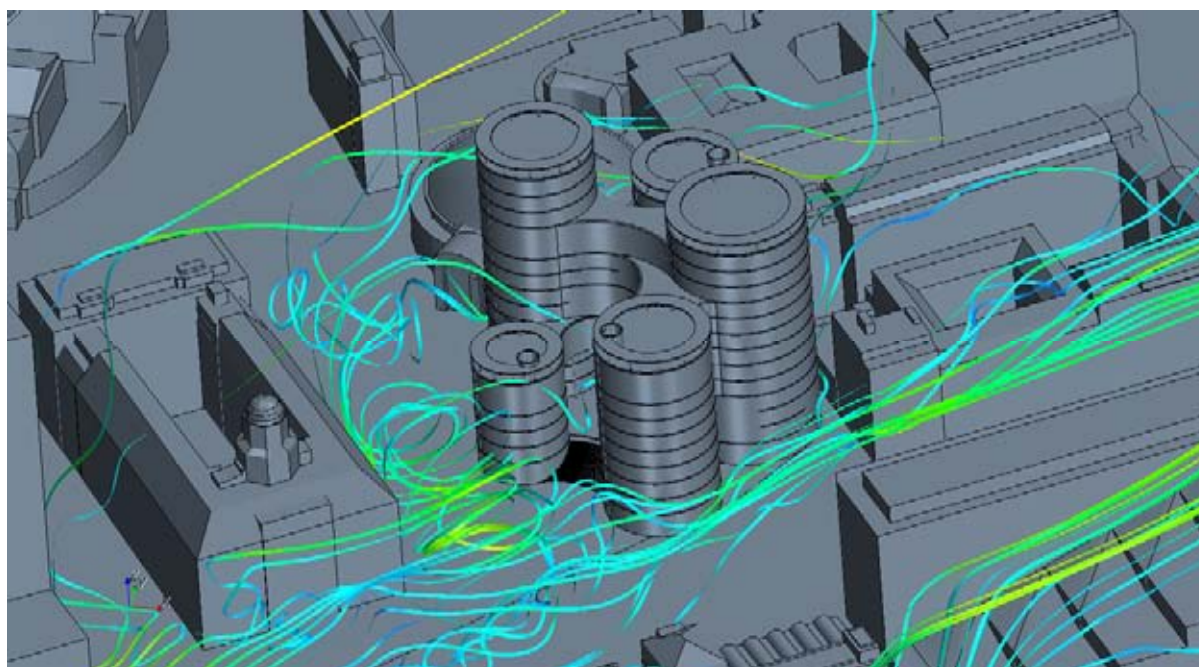
### 6.1 3D strømningsbilleder

Et indtryk af det meget tre-dimensionelle vindfelt for de tre undersøgte vindretninger fås ved at afbilde såkaldte strømmlinjer eller -rør, der følger luftpartiklernes vej. I dette tilfælde er 60-70 strømmlinjer "frigivet" langs en vandret linje i højde 2-3 m, over gadeplanet opstrøms. Strømmlinjerne er farvelagt efter vindens hastighed, blå farver er lave hastigheder, røde farver høje hastigheder.

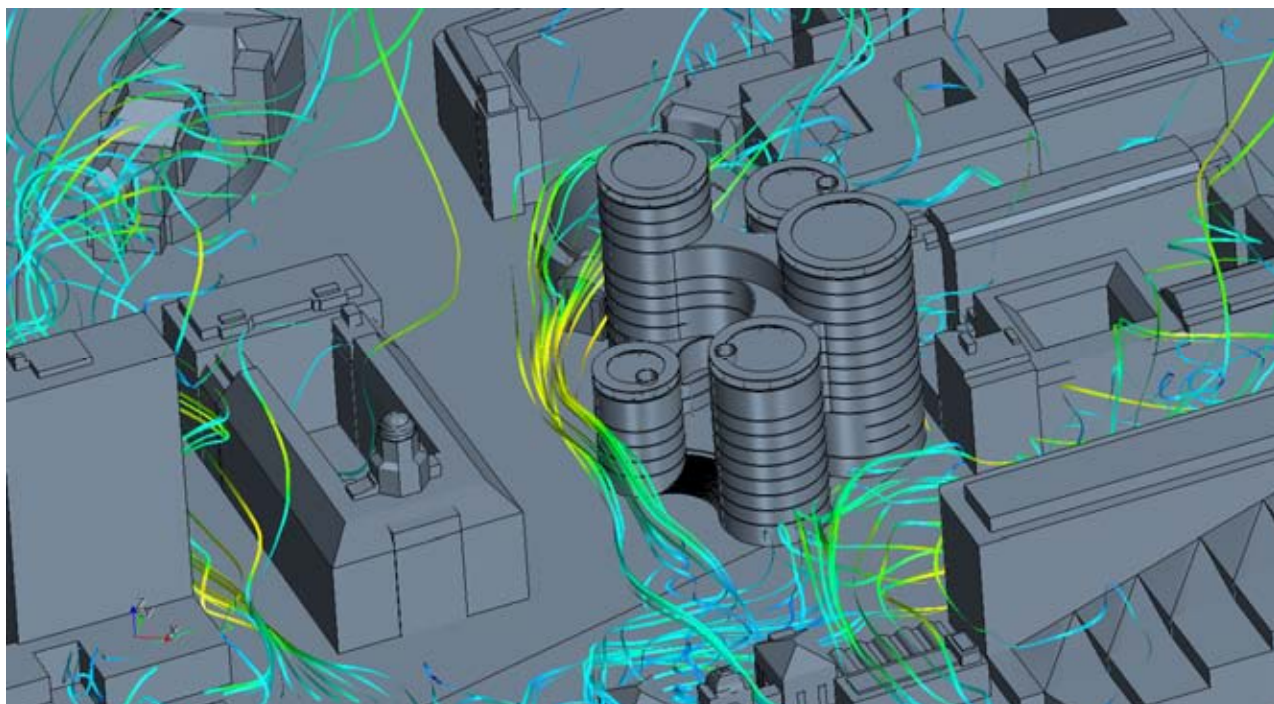
Det skal understreges, at der således kun vises et lille udsnit af alle mulige strømmlinjer, og at de følgende figurer derfor ikke viser det fuldstændige tre-dimensionelle vindfelt. Men de giver et indtryk af, hvor komplicerede strømningsmønstrene er i bymiljøer.



Figur 6.1 Strømlinjer. Vestenvind.



Figur 6.2 Strømlinjer. Sydvestenvind.



*Figur 6.3 Strømlinjer. Søndenvind.*



## 6.2 Vindforhold i gadeplan

Vindforholdene i en højde på 1,5 m over terræn giver erfaringsmæssigt et godt billede af påvirkningen af fodgængere og cyklister.

Konturplots for forstærkningsfaktoren ("gust equivalent mean wind speed" normeret med 10 m/s) med relative hastighedsvektorer er vist i de følgende figurer. Hastighedsvektorerne er vist projiceret på det vandrette plan. Farveskalaen går i alle tre plots fra 0 til 1,8 i spring på 0,1.

### 6.2.1 Vestenvind

Figur 6.4 viser forstærkningsfaktoren for området omkring Axeltorv samt SAS Royal. Figur 6.5 viser et nærbillede omkring Axeltorv.

De højeste forstærkningsfaktorer for vestenvind ses at være 1,8 i Hammerichsgade ved SAS Royal. På Axeltorv ses en forstærkning på op til 1,4 primært i den sydligste del af torvet. En ganske smal bræmme på nordsiden af den nordligste bygning i projektet viser en forstærkning på 1,6.

#### Gang/slentren

Grænsen for tålelige forhold for almindelig gang/slentren ses af Tabel 4.1 at være, at en vindhastighed på 7,9 m/s ikke overskrides i mere end 4% af tiden.

Fra Weibull-fordelingen findes, at  $7,9 / 1,4 = 5,6$  m/s overskrides for vinde fra vest i op til 3,8% af et helt år. I de mindre områder markeret med klart gult i figuren er vi altså tæt på at overskride komfortgrænsen for gang/slentren alene for vind fra vest. Det noget større område med forstærkning op til 1,2 giver tilsvarende en hyppighed på 2,2%.

#### Stillesiddende aktivitet

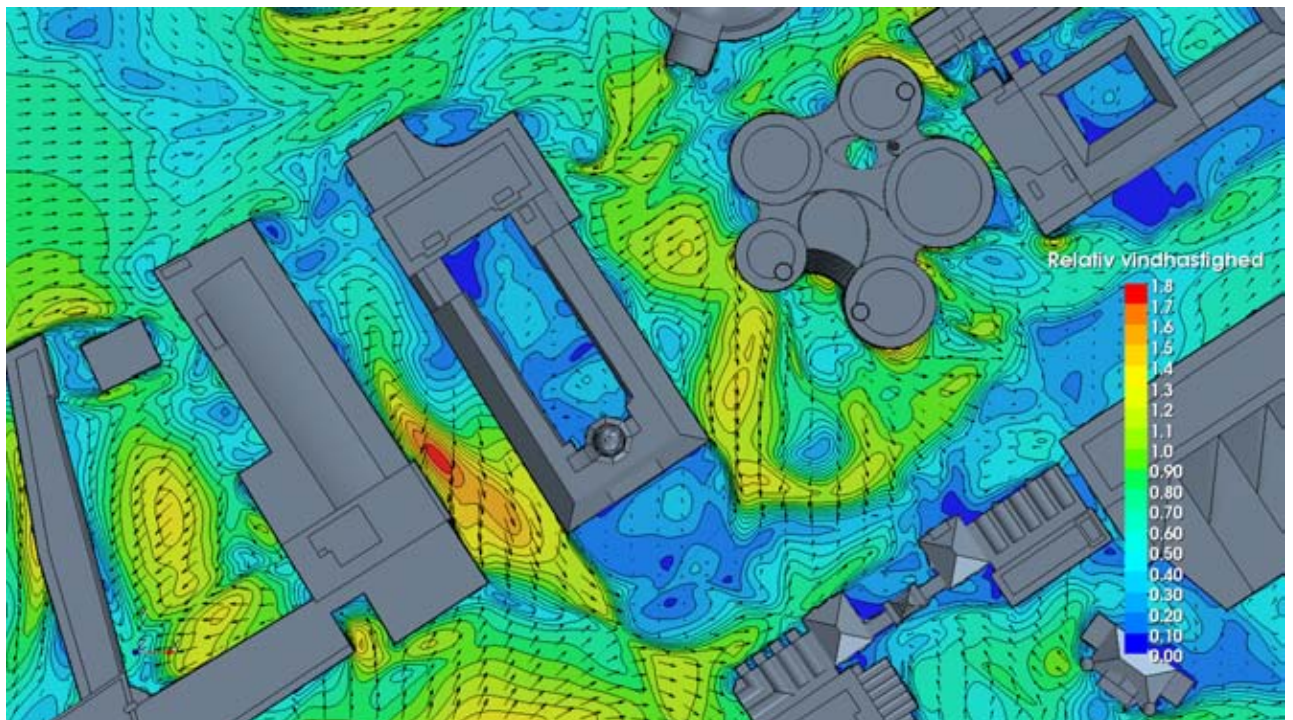
Grænsen for tålelige forhold for siddestillende aktivitet ses tilsvarende at være, at en vindhastighed på 5,4 m/s ikke overskrides i mere end 1% af tiden. 1% hyppighed svarer ifølge Weibull-fordelingen til en uforstyrret vindhastighed på 7,8 m/s i 10 m højde, og dette vil således tillade en forstærkningsfaktor i gadeniveau på  $5,4 \text{ m/s} / 7,8 \text{ m/s} = 0,7$ .

Dette svarer på Figur 6.5 til områder markeret med de blå samt de lavest grønne farvekategorier. Hertil vil komme eventuelle bidrag fra de øvrige vindretninger.

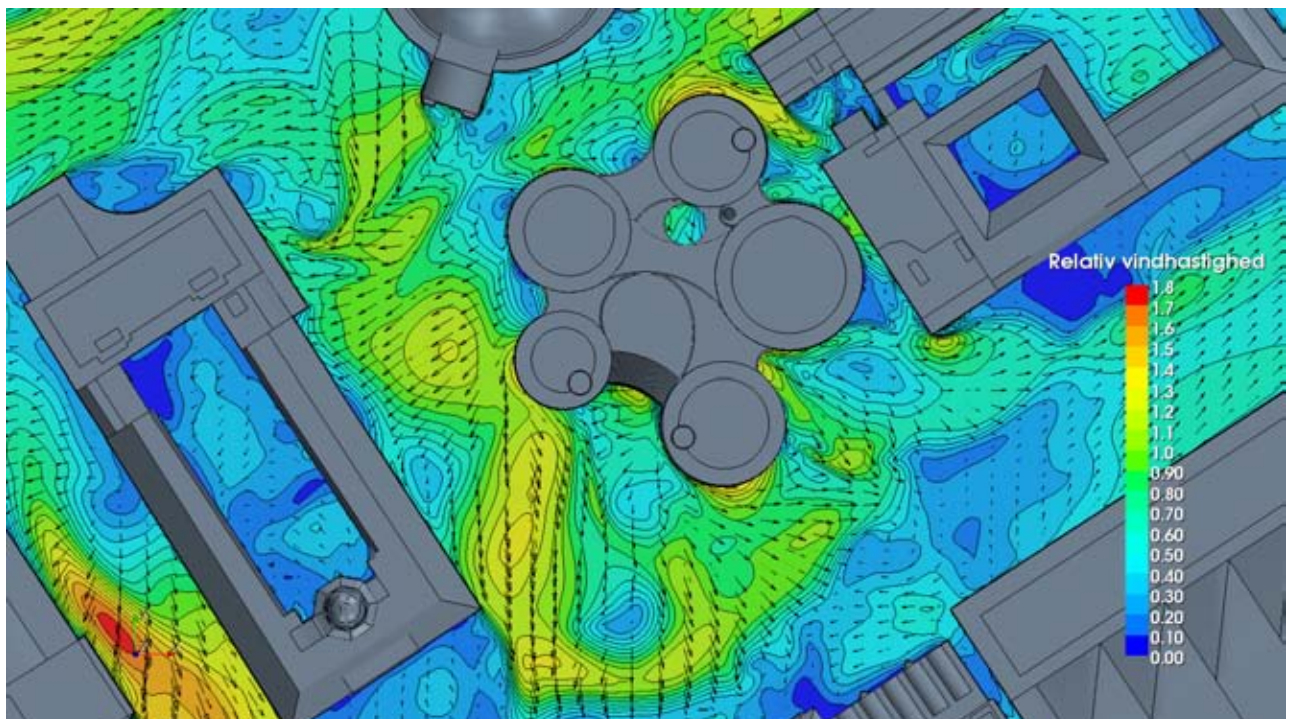
#### SAS Royal hotel

Det er meget tydeligt, at vindforholdene ved SAS Royal (Hammerichsgade, hotel-siden) er betydeligt værre for vestenvind end de er på Axeltorv. Hvis man ser på kategorien "rask gang med et formål/cykling", er grænsen til uacceptable forhold at

det blæser mere end 10,7 m/s i mere end 2% af tiden. Dvs. en uforstyrret vindhastighed på  $10,7 \text{ m/s} / 1,8 = 5,9 \text{ m/s}$  i 10 m højde. Det optræder i 3,2 % af tiden. Dette stemmer godt overens med den generelle opfattelse af stedet.

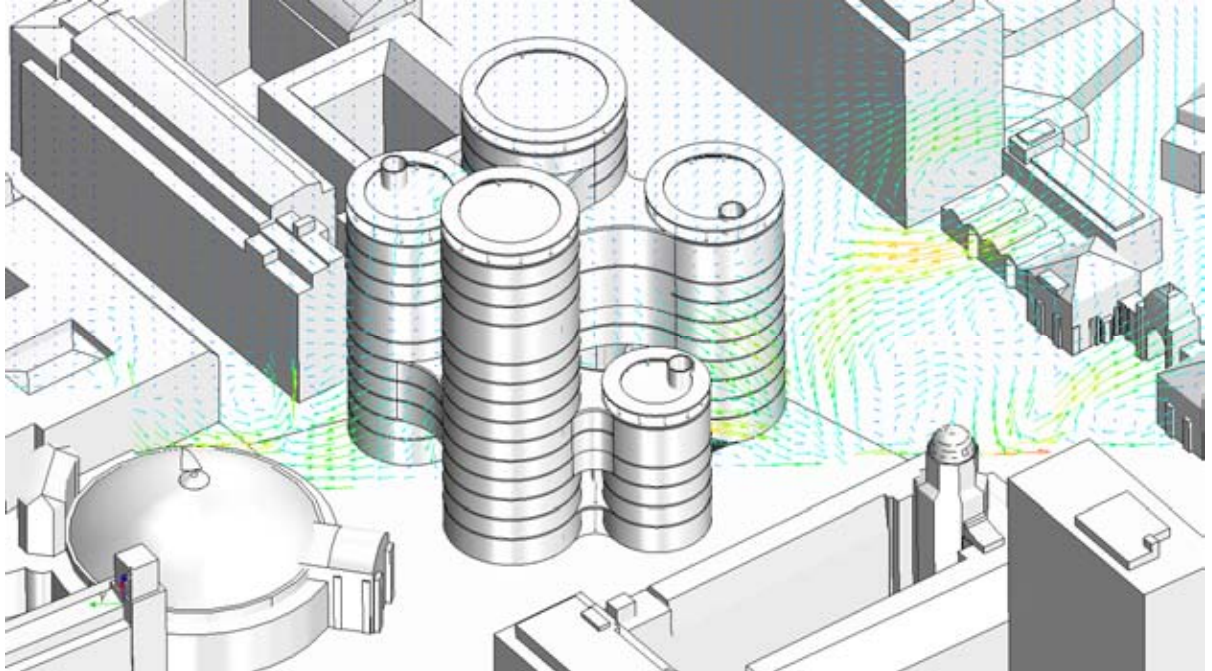


Figur 6.4 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Vestenvind. 1,5 m over gadeplan. Nord opad.



Figur 6.5 Nærbillede. Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Vestenvind. 1,5 m over gadeplan. Nord opad.

Figur 6.6 viser en illustration af at hvirveldannelsen i vinden i høj grad er tre-dimensionel. Her er lagt et snit gennem Axeltorv 2 hvorpå vindhastighederne er angivet som pile (projiceret på snitfladen). Bemærk hvirvlerne til højre for Axeltorv 2.



Figur 6.6 Vindhastigheder og -retninger i et lodret snitplan gennem Axeltorv 2. Vestenvind.

### 6.2.2 Sydvestenvind

Figur 6.7 viser forstærkningsfaktoren for heleområdet. Figur 6.8 viser et nærbillede omkring Axeltorv.

På Axeltorv ses den højeste forstærkning på op til 1,6 i et mindre område i den sydligste del af torvet samt langs randen af den nordligste af de fem bygninger på Axeltorv 2. SAS Royal giver ikke helt så store problemer, der ses at være nogenlunde samme forhold som på resten af Axeltorv.

#### Gang/slentren

Grænsen for tålelige forhold for almindelig gang/slentren ses af Tabel 4.1 at være, at en vindhastighed på 7,9 m/s ikke overskrides i mere end 4% af tiden.

Fra Weibull-fordelingen findes, at  $7,9 / 1,6 = 4,9$  m/s overskrides for vinde fra vest i op til 9% af et helt år. I det lille område markeret med orange i figuren er vi altså over komfortgrænsen for gang/slentren alene for vind fra sydvest. Det noget større, dominerende område med forstærkning op til 1,0 (mørk grøn) giver tilsvarende en hyppighed på 3,3%.

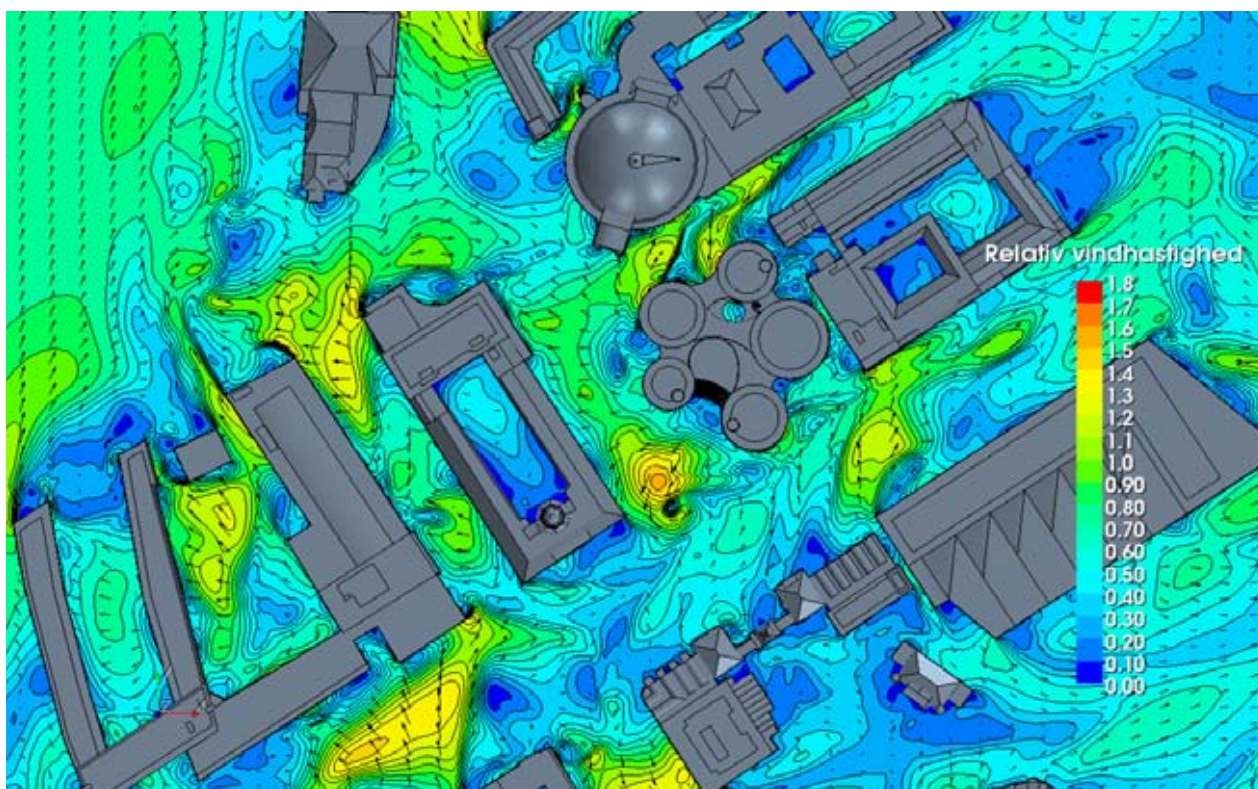
### Stillesiddende aktivitet

Grænsen for tålelige forhold for siddestillende aktivitet ses tilsvarende at være, at en vindhastighed på 5,4 m/s ikke overskrides i mere end 1% af tiden. 1% hyppighed svarer ifølge Weibull-fordelingen til en uforstyrret vindhastighed på 10,3 m/s i 10 m højde, og dette vil således tillade en forstærkningsfaktor i gadeniveau på 5,4 m/s / 10,3 m/s = 0.5.

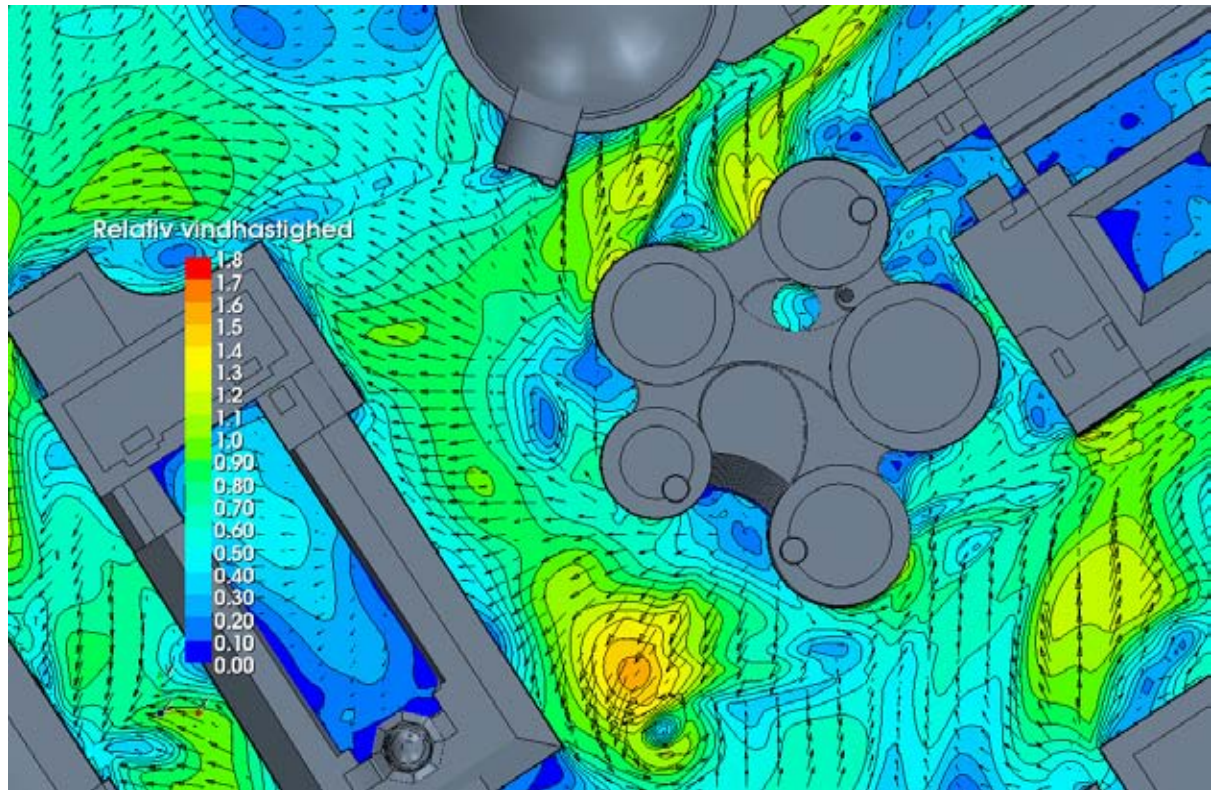
Dette svarer på Figur 6.5 til områder markeret med de blå farvekategorier. Hertil vil komme eventuelle bidrag fra de øvrige vindretninger.

### SAS Royal hotel

Gang/slentre i Hammerichsgade lader ikke til at være et stort problem for sydvestenvind, på nær i enden mod Paladsbygningen.

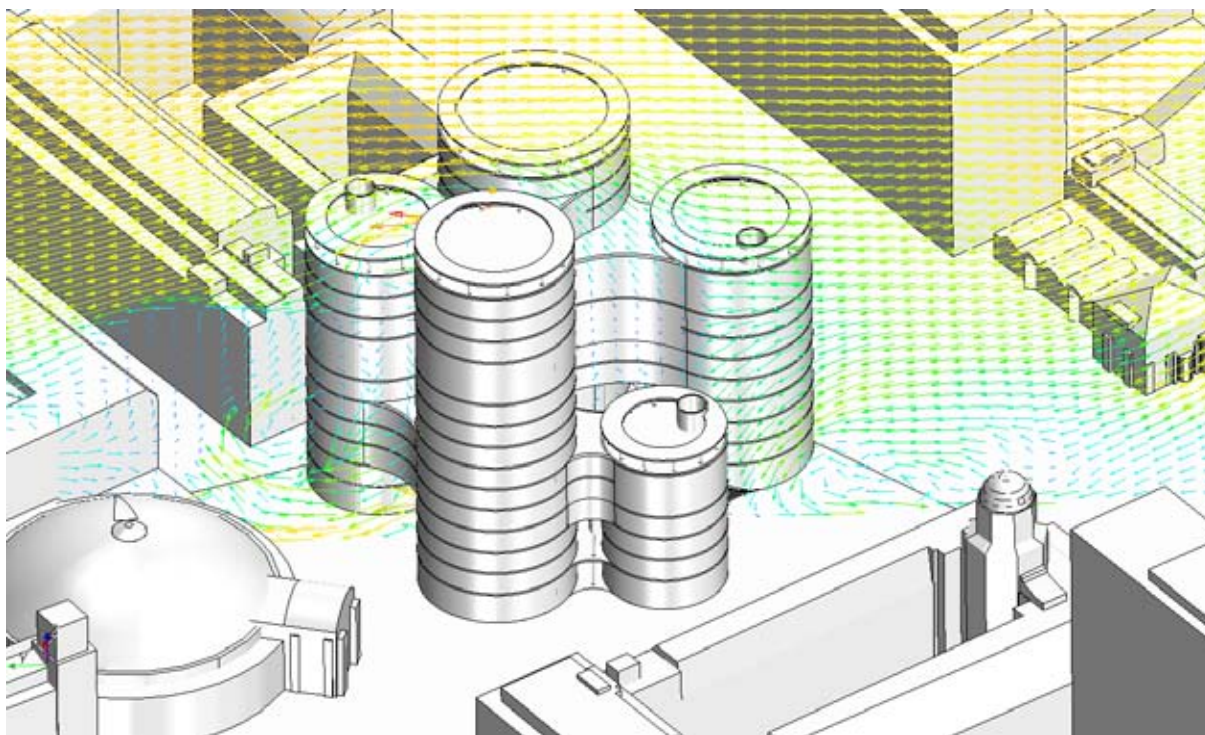


Figur 6.7 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Sydvestenvind. 1,5 m over gadeplan. Nord opad.



Figur 6.8 Nærbillede. Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Sydvesten-  
 vind. 1,5 m over gadeplan. Nord opad.

Figur 6.9 viser en illustration af at hvirveldannelsen i vinden i høj grad er tre-  
 dimensionel. Her er lagt et snit gennem Axeltorv 2 hvorpå vindhastighederne er  
 angivet som pile (projiceret på snitfladen). Bemærk hvirvlen til venstre for Axel-  
 torv 2.



Figur 6.9 Vindhastigheder og -retninger i et lodret snitplan gennem Axelortov 2. Sydvestvind.

### 6.2.3 Søndenvind

Figur 6.10 viser forstærkningsfaktoren for området omkring Axelortov samt SAS Royal hotel. Figur 6.11 viser et nærbillede omkring Axelortov.

Omkring Axelortov 2 ses der især to problematiske områder med meget høj forstærkning, nemlig i det smalle stræde mellem den næsthøjeste bygning og nabobygningen samt på Axelortovsiden af den laveste bygning. Her findes forstærkningsfaktorer minimum 1,8. Ude på Axelortov, i den sydlige halvdel, og i Hammerichsgade ved SAS Royal ses forstærkningsfaktorer på op til 1,5.

#### Gang/slentren

Grænsen for tålelige forhold for almindelig gang/slentren er at en vindhastighed på 7,9 m/s ikke overskrides i mere end 4% af tiden.

Fra Weibull-fordelingen findes, at  $7,9 / 1,8 = 4,4$  m/s overskrides for vinde fra vest i op til 8,6% af et helt år. I de små områder markeret med stærk rød i figuren er man langt over komfortgrænsen for gang/slentren alene for vind fra sydvest. Faktisk overskrides også helt uacceptable forhold for rask gang med formål/cykling.

De noget større områder med forstærkning op til 1,5 (gulorange) giver tilsvarende en hyppighed på 6,7%, også over komfortgrænsen.

#### Stillesiddende aktivitet

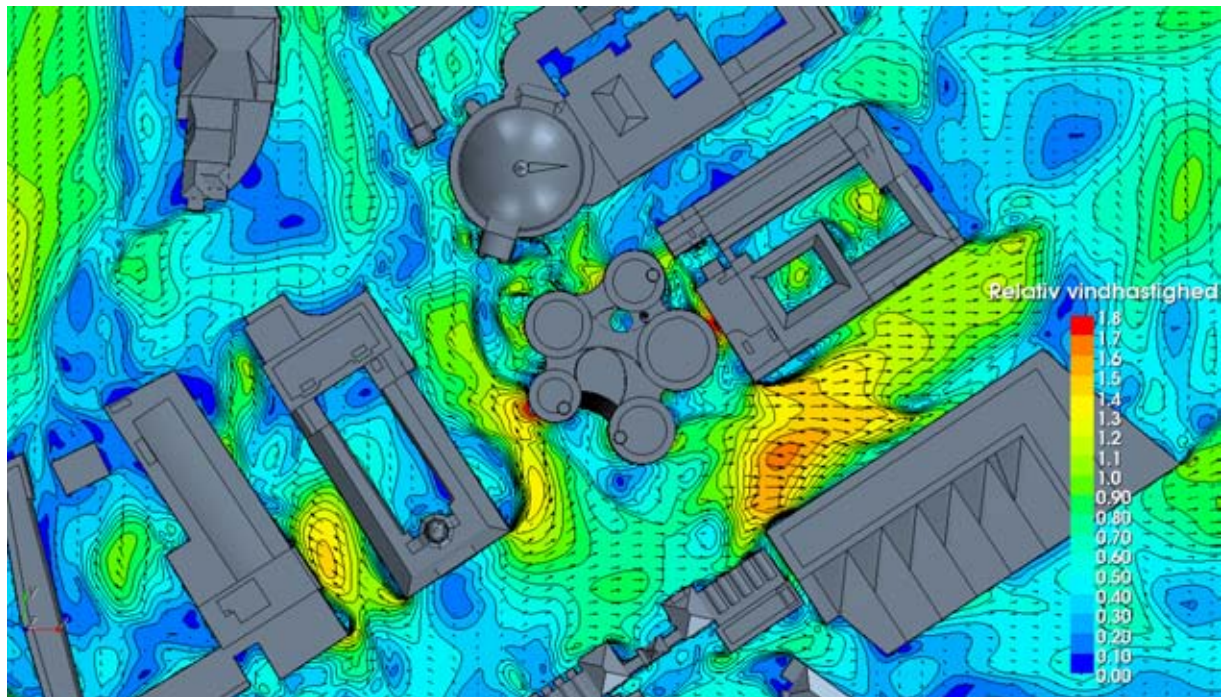
Grænsen for tålelige forhold for siddestillende aktivitet er som tidligere nævnt at en vindhastighed på 5,4 m/s ikke overskrides i mere end 1% af tiden. 1% hyppighed

svarer ifølge Weibull-fordelingen til en uforstyrret vindhastighed på 9,7 m/s i 10 m højde, og dette vil således tillade en forstærkningsfaktor i gadeniveau på 5,4 m/s / 9,7 m/s = 0.6.

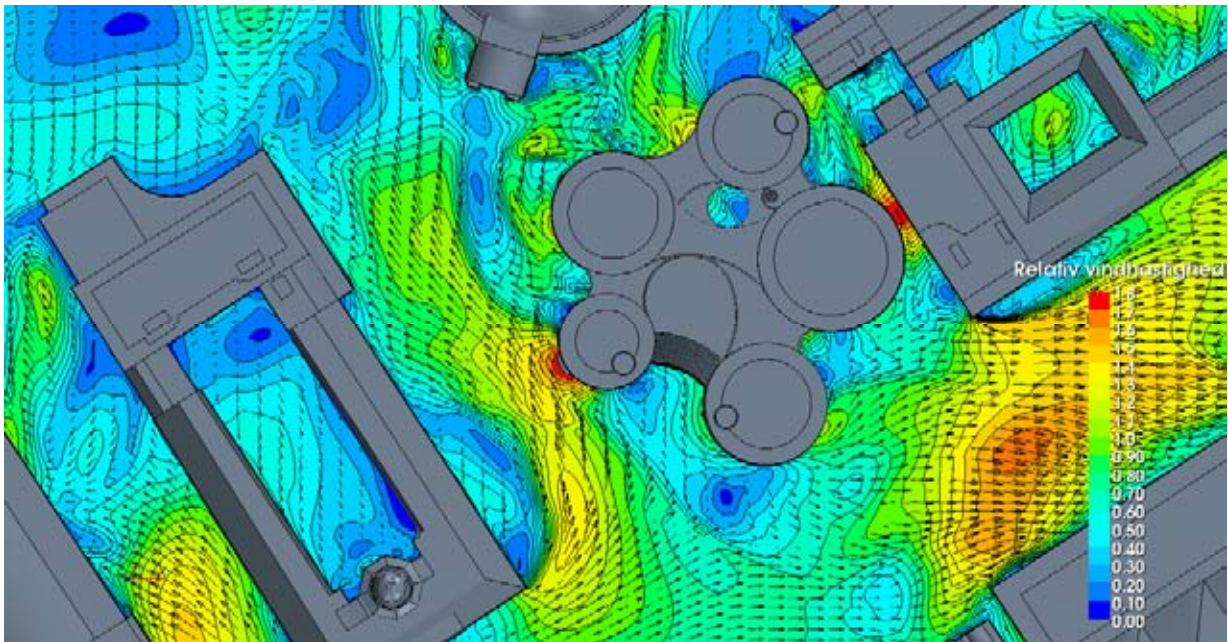
Dette svarer på Figur 6.5 til områder markeret med de blå/blågrønne farvekategorier. Hertil vil komme eventuelle bidrag fra de øvrige vindretninger.

#### SAS Royal hotel

For Hammerichsgade, forholdene svarer nogenlunde til den sydlige del af Axel-torv, men over et lidt større område.

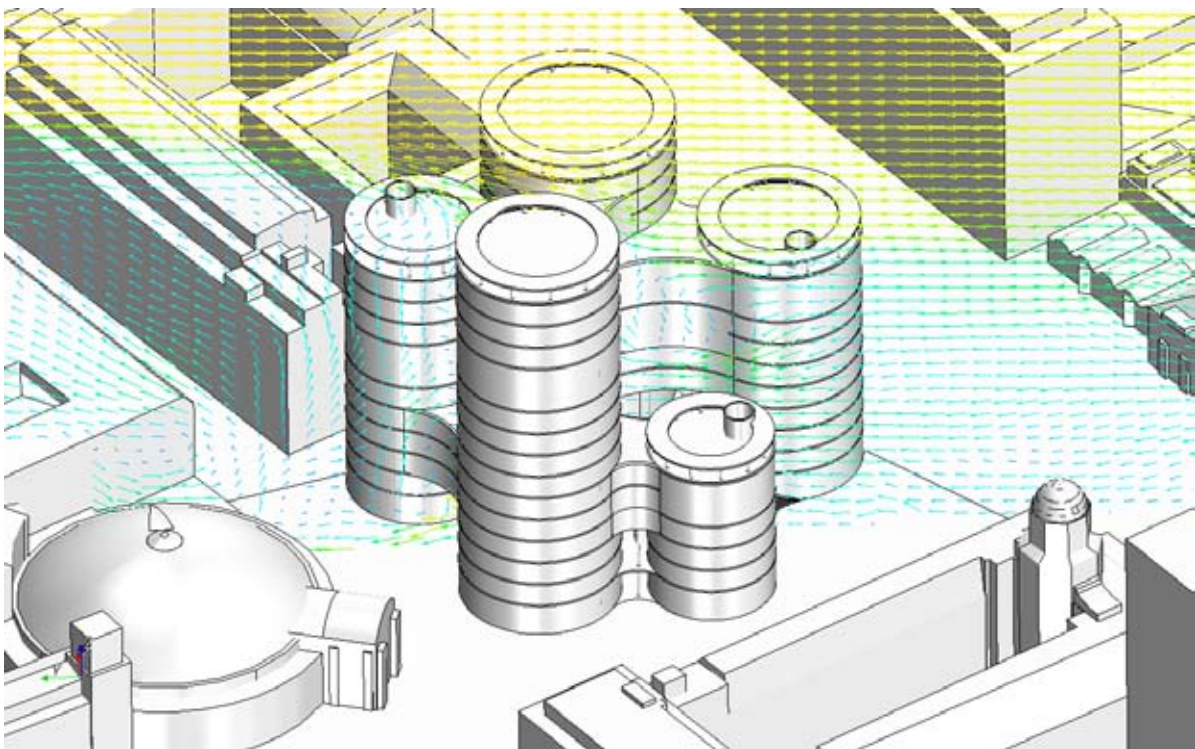


Figur 6.10 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Søndenvind. 1,5 m over gadeplan. Nord opad.



Figur 6.11 Nærbillede. Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Søndenvind. 1,5 m over gadeplan. Nord opad.

Figur 6.12 viser en illustration af at hvirveldannelsen i vinden i høj grad er tre-dimensionel. Her er lagt et snit gennem Axeltorv 2 hvorpå vindhastighederne er angivet som pile (projiceret på snitfladen).



Figur 6.12 Vindhastigheder og -retninger i et lodret snitplan gennem Axeltorv 2. Søndenvind.



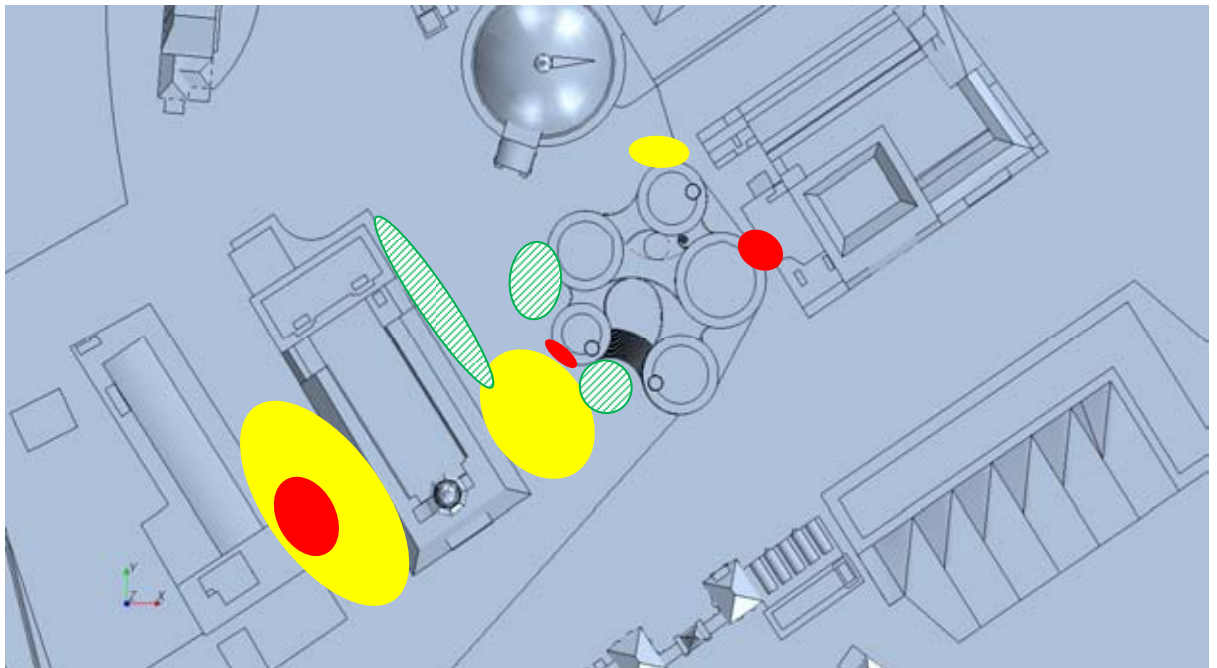
### 6.2.4 Samlet billede

Vindforholdene kan kort opsummeres som følger:

Områder der ud fra de udførte simuleringer har uacceptable vindforhold for gående/cyklende er markeret med rødt i Figur 6.13. Områder, hvor komfortgrænserne for almindelig gang/slentren overskrides for de simulerede vindretninger, er markeret med gult. Da ikke alle vindretninger er simuleret er det mere usikkert at udpege områder med gode forhold for udendørs servering (stillesiddende aktivitet), men beregningerne tyder på, at områderne markeret med grøn skravering kunne have tilstrækkeligt læ.

Det vurderes, at forholdene ude på Axeltorv *ikke* er væsentligt ændret i forhold til tidligere for de simulerede vindretninger. De røde områder rundt om Axeltorv 2 er derimod et resultat af bygningerne selv.

Vindforholdene i Hammerichsgade er overordnet set værre end på Axeltorv.



Figur 6.13 *Oversigt, gadeplan. Rød: områder med stærke vindgener. Gul: Områder hvor komfortgrænsen for gang/slentren overskrives. Grøn skravering: Områder med god læ.*

## 6.3 Vindforhold mellem bygningerne

For det hævdede terrasseområde mellem de fem bygninger fokuseres udelukkende på komforten for stillesiddende aktivitet (f.eks. cafémiljø). For bedre at kunne se området under broerne, er bygningerne vist delvist transparente. Alle snit er lagt ca. 1,5 m over terrasseniveauet.

Figur 6.14 til Figur 6.16 viser konturplottene for forstærkningsfaktoren med projicerede vindretninger for de tre undersøgte vindretninger.

Centralt i området haves forstærkningsfaktorer på op til 0,9 (vest) og 0,6 (sydvest og syd). Grænsen til tålelige forhold for siddestillende aktivitet er, at en vindhastighed på 5,4 m/s ikke overskrides i mere end 1% af tiden. Hermed fås for de tre vindretninger følgende:

Vest:  $5,4 \text{ m/s} / 0,9 = 6 \text{ m/s}$  uforstyrret, som har hyppighed 3,1 %.

Sydvest:  $5,4 \text{ m/s} / 0,6 = 9 \text{ m/s}$  uforstyrret, som har hyppighed 2 %

Syd:  $5,4 \text{ m/s} / 0,6 = 9 \text{ m/s}$  uforstyrret, som har hyppighed 1,5 %

Det ses at komfortkravet overstiges væsentligt, da de tre vindretninger giver 6,6 % samlet. Til sammenligning vil komforten for gang/slentren også være noget overskredet, idet vindhastigheder på 7,9 m/s overskrides i ca. 6,7% af tiden for de tre vindretninger (tilladt niveau < 4%).

Der ses dog at være områder, der giver mere læ end andre, hvis man ser på de tre figurer ses i alle tre tilfælde områder af en vis størrelse hvor forstærkningen ikke overstiger 0,5, dette vil give følgende:

Vest:  $5,4 \text{ m/s} / 0,5 = 10,8 \text{ m/s}$  uforstyrret, som har hyppighed 0,8 %.

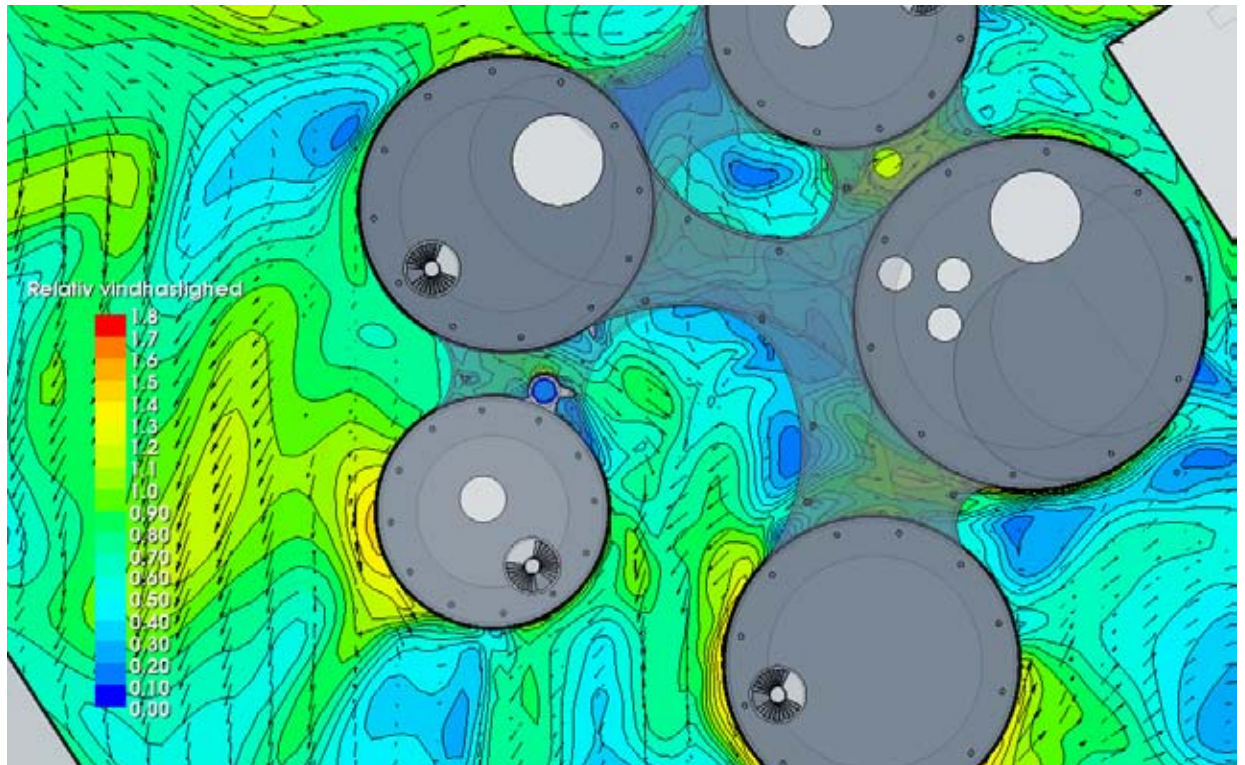
Sydvest:  $5,4 \text{ m/s} / 0,5 = 10,8 \text{ m/s}$  uforstyrret, som har hyppighed 0,8 %

Syd:  $5,4 \text{ m/s} / 0,5 = 10,8 \text{ m/s}$  uforstyrret, som har hyppighed 0,6 %

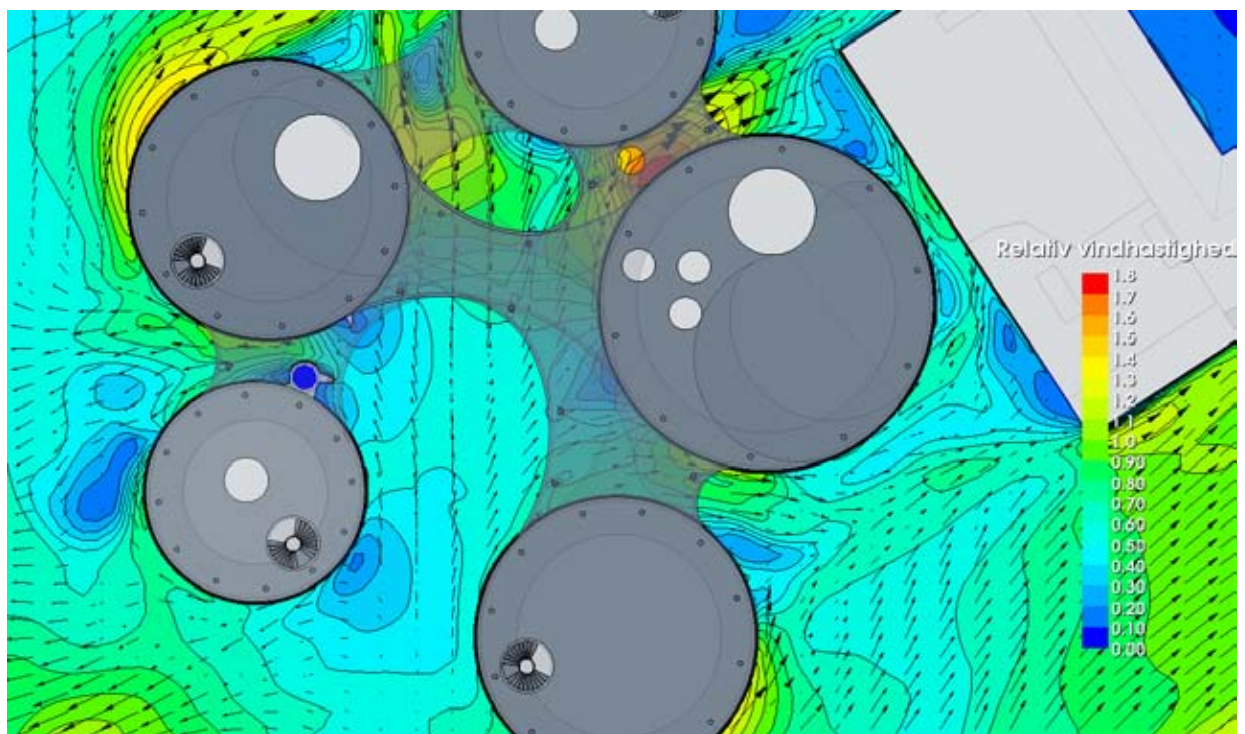
I alt 2% som stadig er over komfortgrænsen, men væsentligt lavere end for området som helhed.

Forholdene i de to smalle passager overfor den brede trappe ses umiddelbart at give væsentligt værre vindkomfort med forstærkninger på op til 1,8.

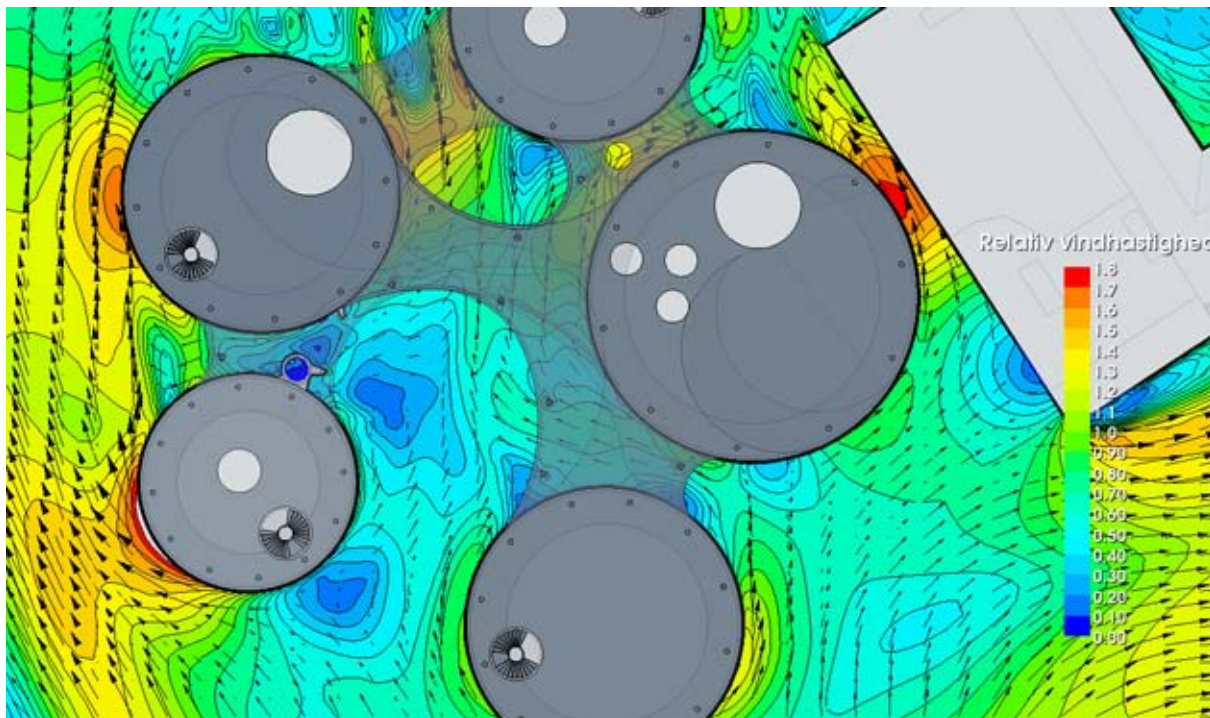
**Der synes derfor at være god grund til at forsøge at skabe mere læ mellem bygningerne, hvis formålet indbefatter café-miljø eller lignende.**



Figur 6.14 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Vestenvind. 1,5 m over det centrale terrasseområde mellem bygningerne. Nord opad.



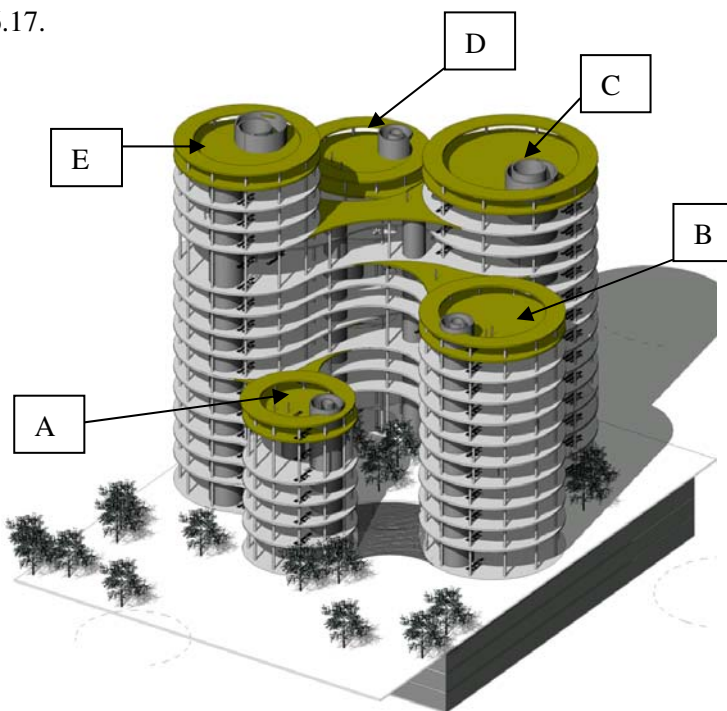
Figur 6.15 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Sydvestenvind. 1,5 m over det centrale terrasseområde mellem bygningerne. Nord opad.



Figur 6.16 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Søndenvind. 1,5 m over det centrale terrasseområde mellem bygningerne. Nord opad.

## 6.4 Vindforhold på tagterrasserne

Vindforholdene på de fem tagterrasser, uanset om de på nuværende tidspunkt er tænkt som rekreative arealer, vurderes på samme vis som terrasseområdet mellem bygningerne. For nemheds skyld navngives de fem tagterrasser som vist i Figur 6.17.



Figur 6.17 Navngivning af tagterrasser.

### 6.4.1 Terrasse A

Figur 6.18 til Figur 6.20 viser konturplottene for tagterrace A, den lavest beliggende af de fem. De mildeste forhold fås helt tydeligt for sydvestlige vinde, mens vestenvind ser ud til at være de dårligste forhold for de tre undersøgte vindretninger.

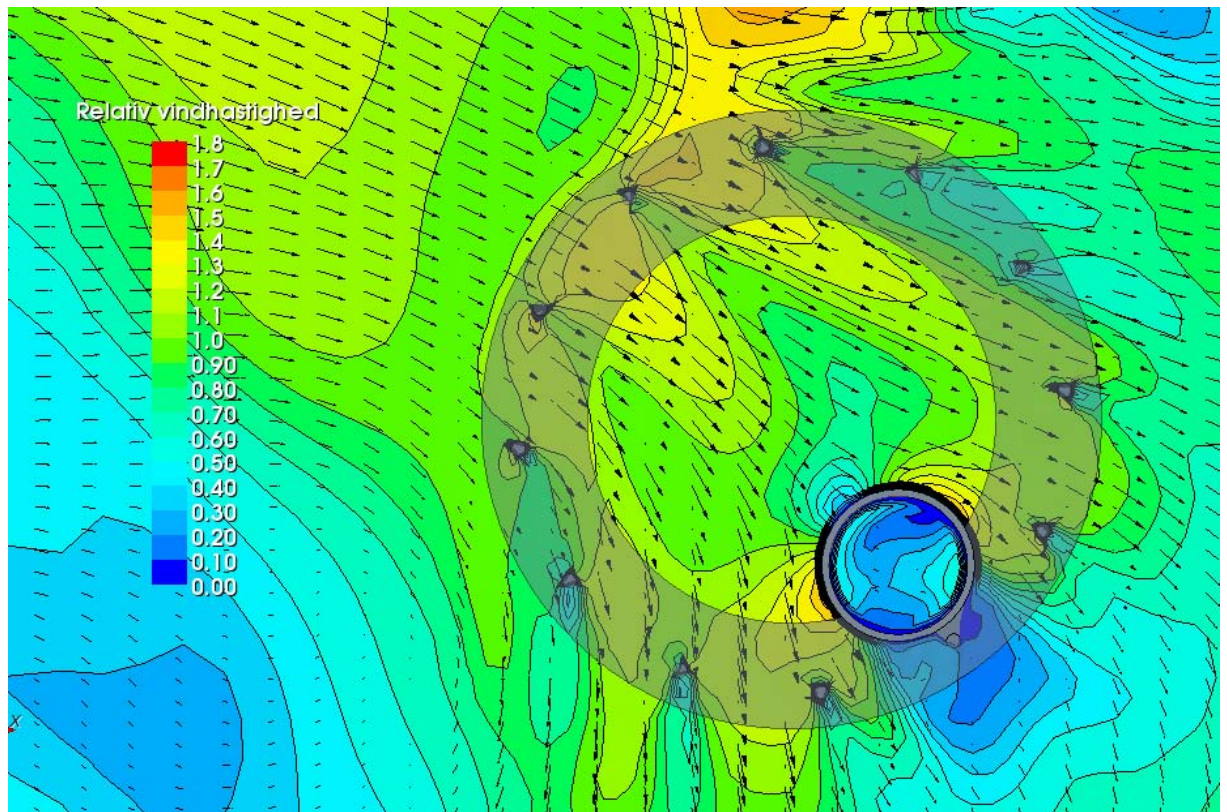
Centralt på terrassen (ude nær kanten er forholdene væsentligt værre) haves forstærkningsfaktorer på op til 1,2 (vest), 0,6 (sydvest) og 0,9 (syd). Grænsen til tålelige forhold for siddestillende aktivitet er, at en vindhastighed på 5,4 m/s ikke overskrides i mere end 1% af tiden. Hermed fås for de tre vindretninger følgende:

Vest:  $5,4 \text{ m/s} / 1,2 = 4,5 \text{ m/s}$  uforstyrret, som har hyppighed 6,4 %.

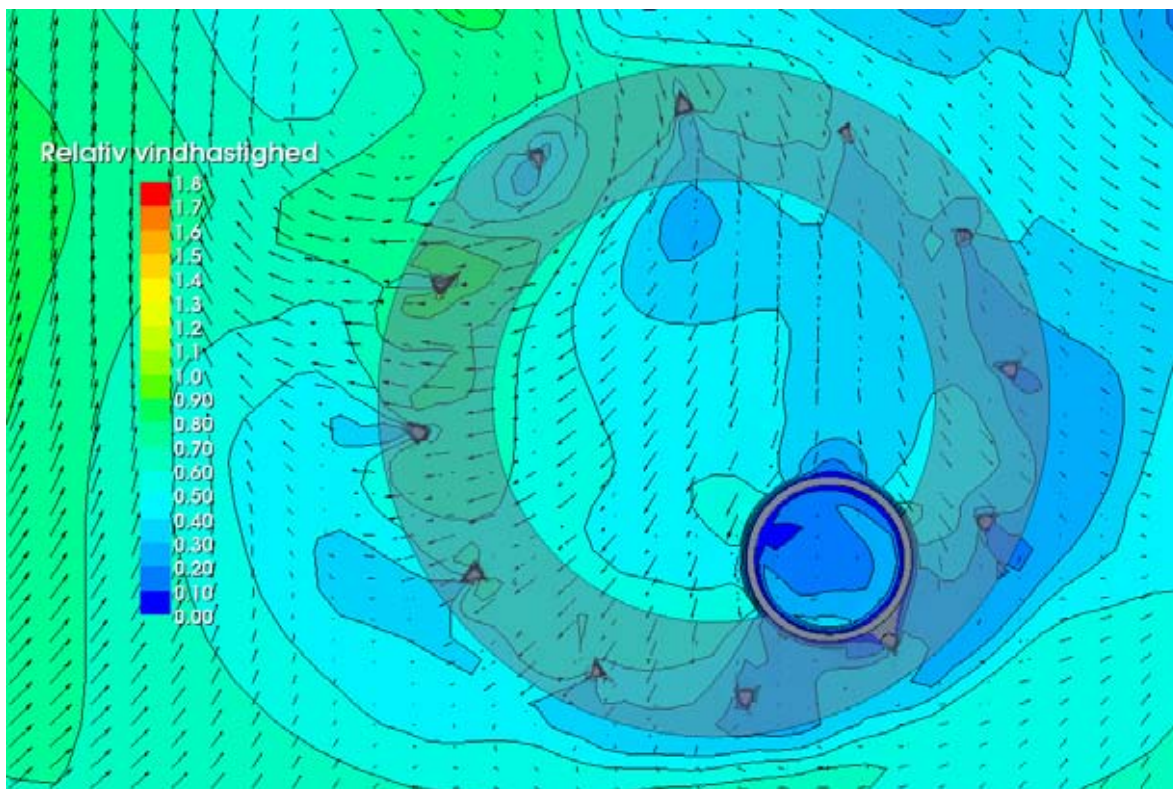
Sydvest:  $5,4 \text{ m/s} / 0,6 = 9 \text{ m/s}$  uforstyrret, som har hyppighed 2 %

Syd:  $5,4 \text{ m/s} / 0,9 = 6 \text{ m/s}$  uforstyrret, som har hyppighed 5,3 %

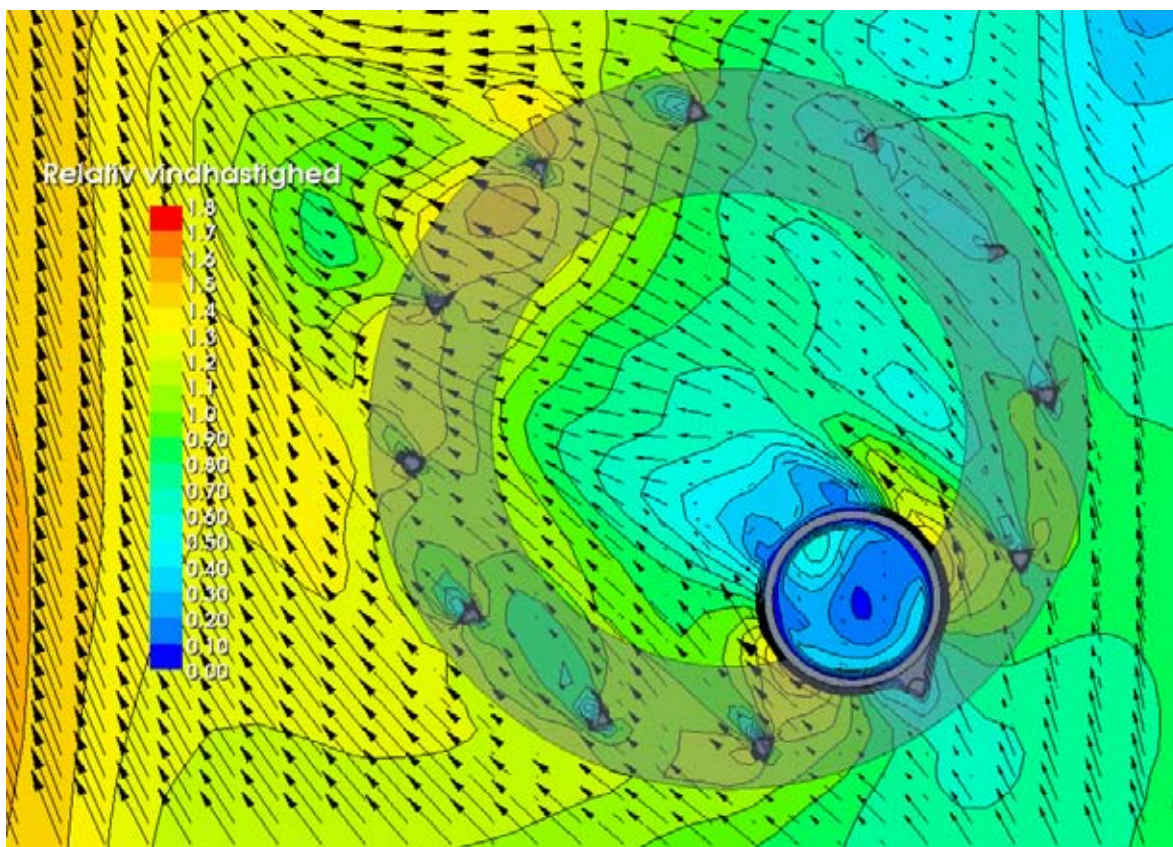
Det ses at komfortkravet overstiges væsentligt, da de tre vindretninger samlet giver 13,6 %. Hertil vil komme bidrag fra øvrige vindretninger.



Figur 6.18 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Terrasse A. Vestenvind. Nord opad.



Figur 6.19 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Terrasse A. Sydvesten-vind. Nord opad.



Figur 6.20 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Terrasse A. Søndenvind. Nord opad.

### 6.4.2 Terrasse E

Figur 6.21 til Figur 6.23 viser konturplottene for tagterrace E, den højest beliggende tagterrace. De mildeste forhold fås helt tydeligt igen for sydvestlige vinde ud af de tre undersøgte vindretninger.

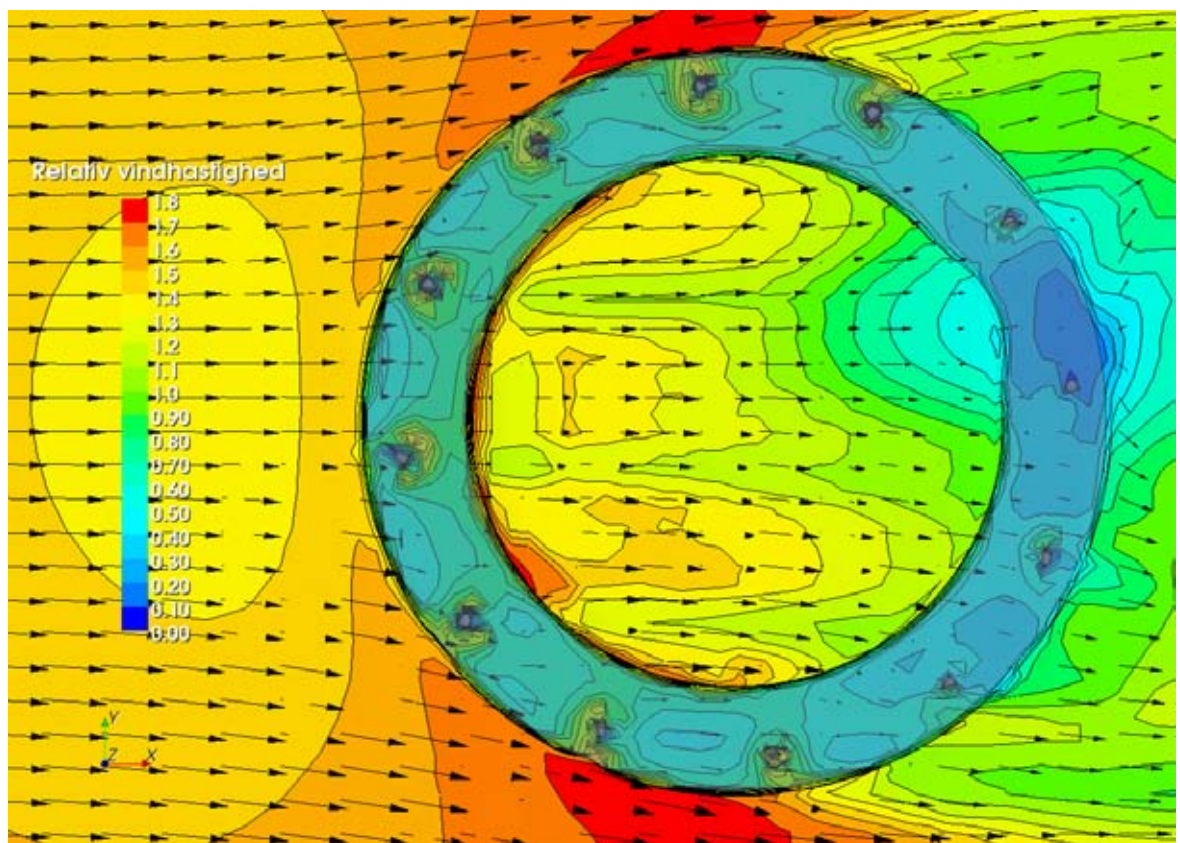
Der ses over store dele af terrassen forstærkningsfaktorer på op til 1,4 (vest), 0,9 (sydvest) og 1,4 (syd). Grænsen til tålelige forhold for siddestillende aktivitet er, at en vindhastighed på 5,4 m/s ikke overskrides i mere end 1% af tiden. Hermed fås for de tre vindretninger følgende:

Vest:  $5,4 \text{ m/s} / 1,4 = 3,9 \text{ m/s}$  uforstyrret, som har hyppighed 8,1 %.

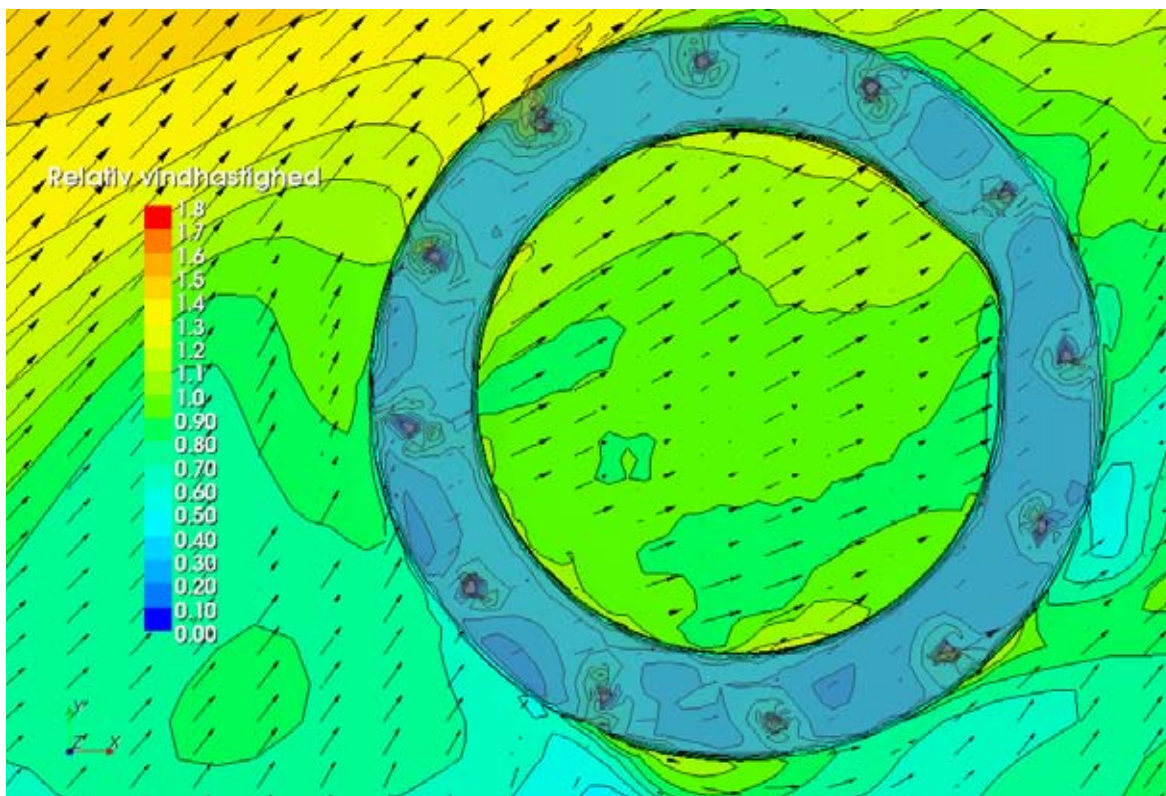
Sydvest:  $5,4 \text{ m/s} / 0,9 = 6 \text{ m/s}$  uforstyrret, som har hyppighed 6,6 %

Syd:  $5,4 \text{ m/s} / 1,4 = 3,9 \text{ m/s}$  uforstyrret, som har hyppighed 9,8 %

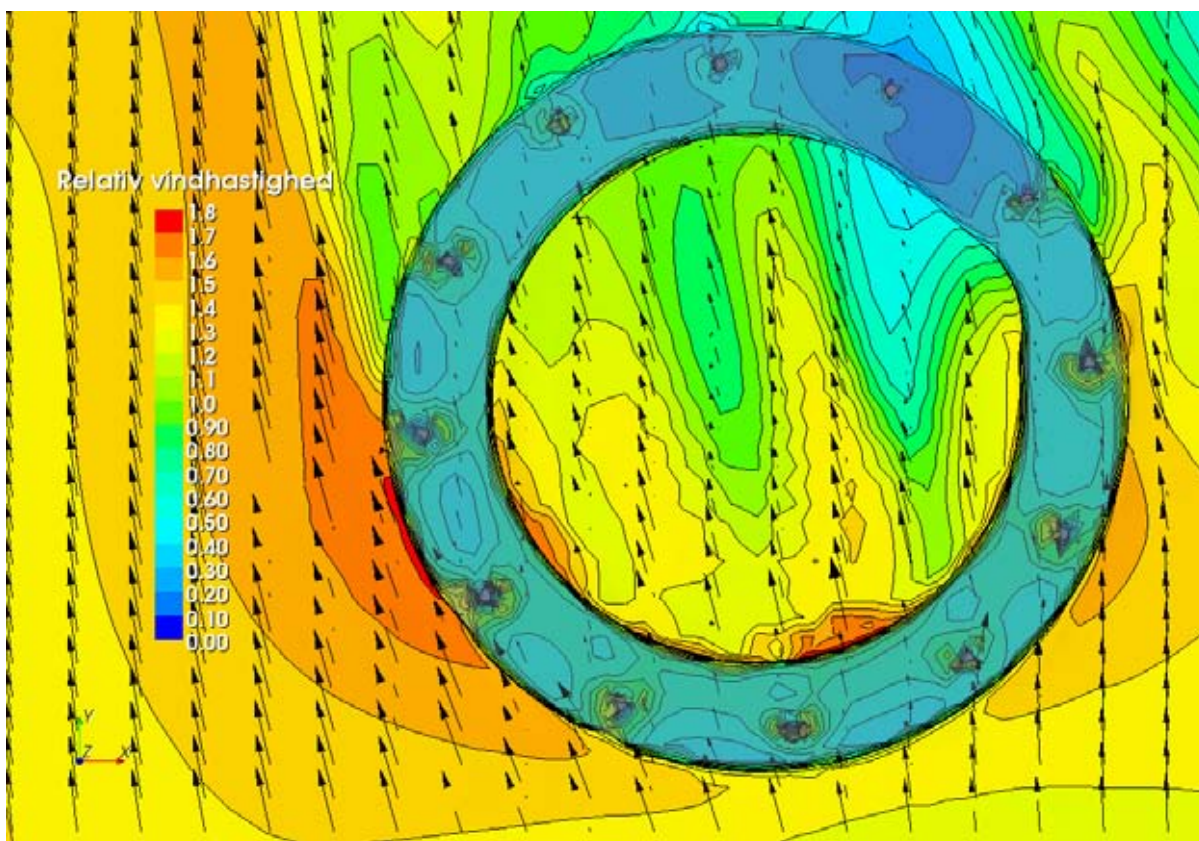
Det ses at komfortkravet overstiges væsentligt, da de tre vindretninger samlet giver 24,5 %. Hertil vil komme bidrag fra øvrige vindretninger.



Figur 6.21 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Terrasse E. Vestenvind. Nord opad.



Figur 6.22 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Terrasse E. Sydvestenvind. Nord opad.



Figur 6.23 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Terrasse E. Søndenvind. Nord opad.



### 6.4.3 Terrasse D

Figur 6.24 til Figur 6.26 viser konturplottene for tagterrace D. Af de tre undersøgte vindretninger fås nu de mildeste forhold for sydlige vinde og de værste forhold for vind fra sydvest.

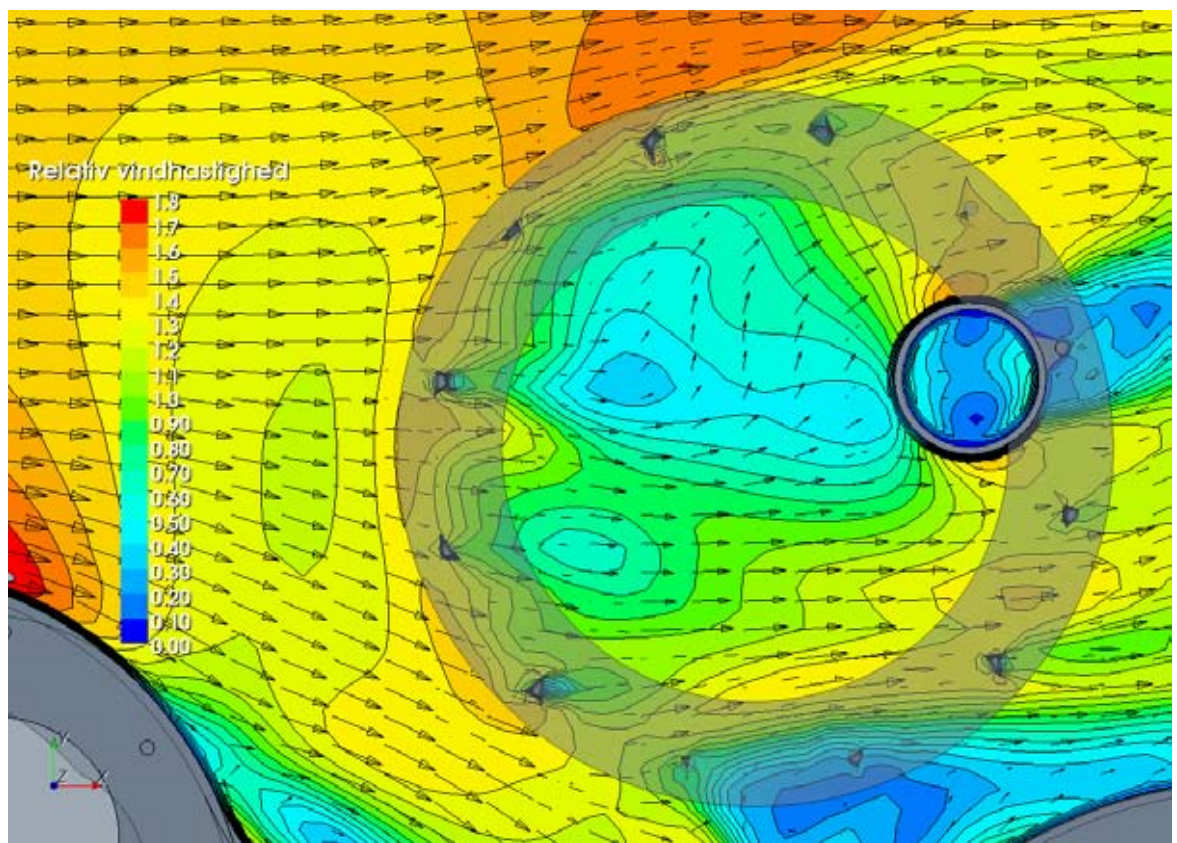
For de centrale dele af terrassen (forholdene er betydeligt værre tæt på kanten) ses forstærkningsfaktorer på op til 1,0 (vest), 1,6 (sydvest) og 1,0 (syd). Grænsen til tålelige forhold for siddestillende aktivitet er, at en vindhastighed på 5,4 m/s ikke overskrides i mere end 1% af tiden. Hermed fås for de tre vindretninger følgende:

Vest:  $5,4 \text{ m/s} / 1,0 = 5,4 \text{ m/s}$  uforstyrret, som har hyppighed 4,2 %.

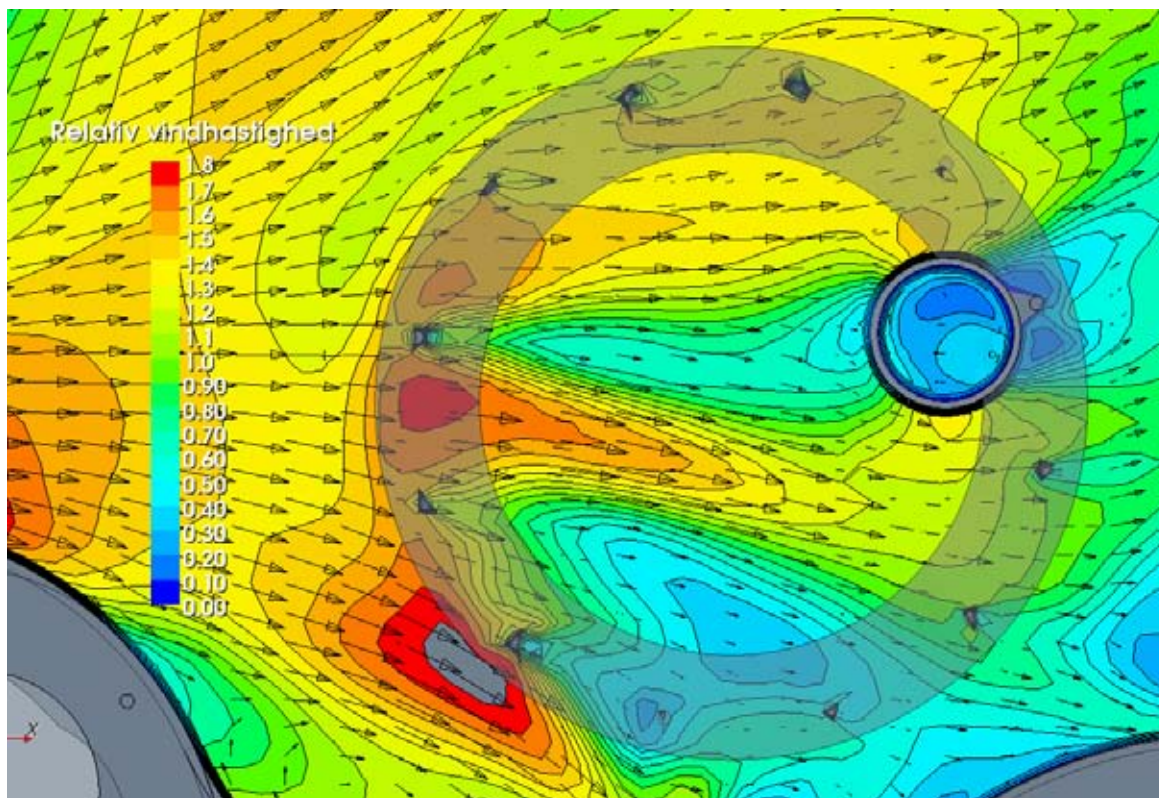
Sydvest:  $5,4 \text{ m/s} / 1,6 = 3,4 \text{ m/s}$  uforstyrret, som har hyppighed 12,9 %

Syd:  $5,4 \text{ m/s} / 1,0 = 5,4 \text{ m/s}$  uforstyrret, som har hyppighed 6,5 %

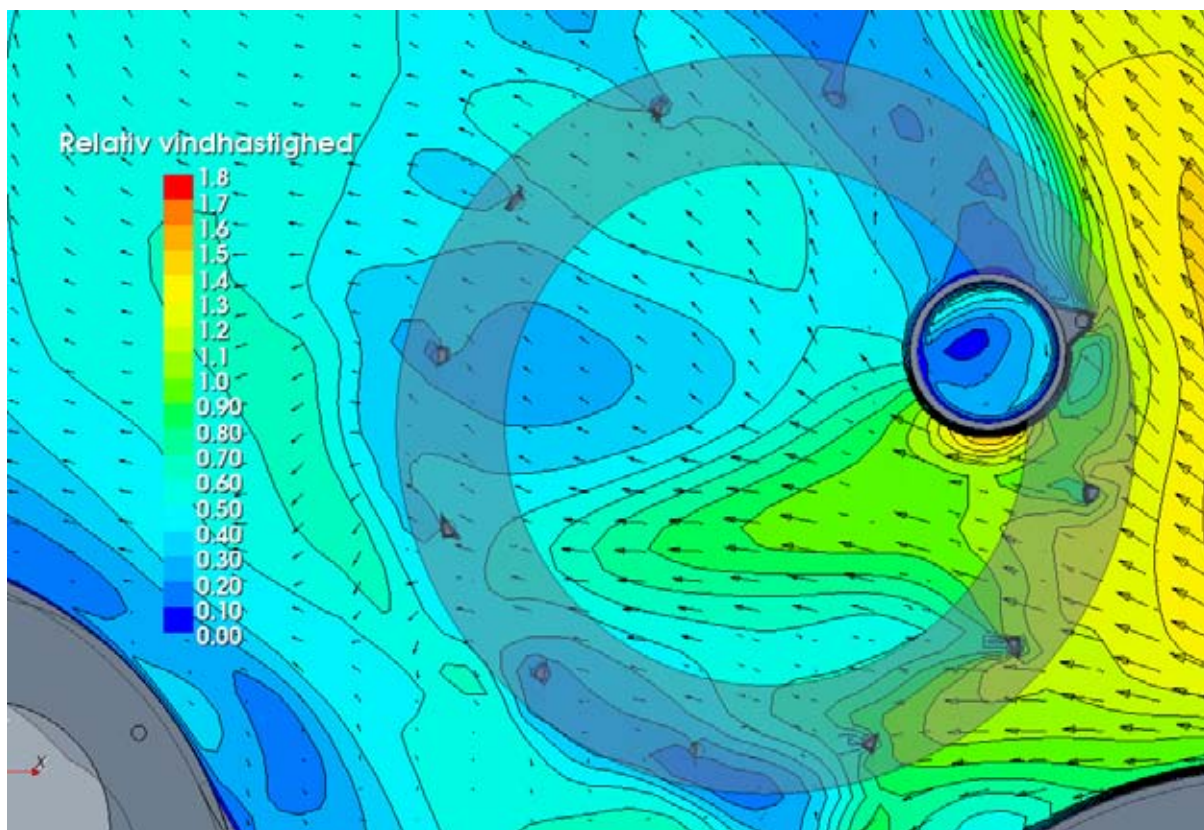
Det ses at komfortkravet overstiges væsentligt, da de tre vindretninger samlet giver 23,6 %. Hertil vil komme bidrag fra øvrige vindretninger.



Figur 6.24 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Terrasse D. Vestenvind. Nord opad.



Figur 6.25 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Terrasse D. Sydvestenvind. Nord opad.



Figur 6.26 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Terrasse D. Søndenvind. Nord opad.

#### 6.4.4 Terrasse C

Figur 6.27 til Figur 6.29 viser konturplottene for tagterrace C. Af de tre undersøgte vindretninger fås de mildeste forhold for sydvestenvind.

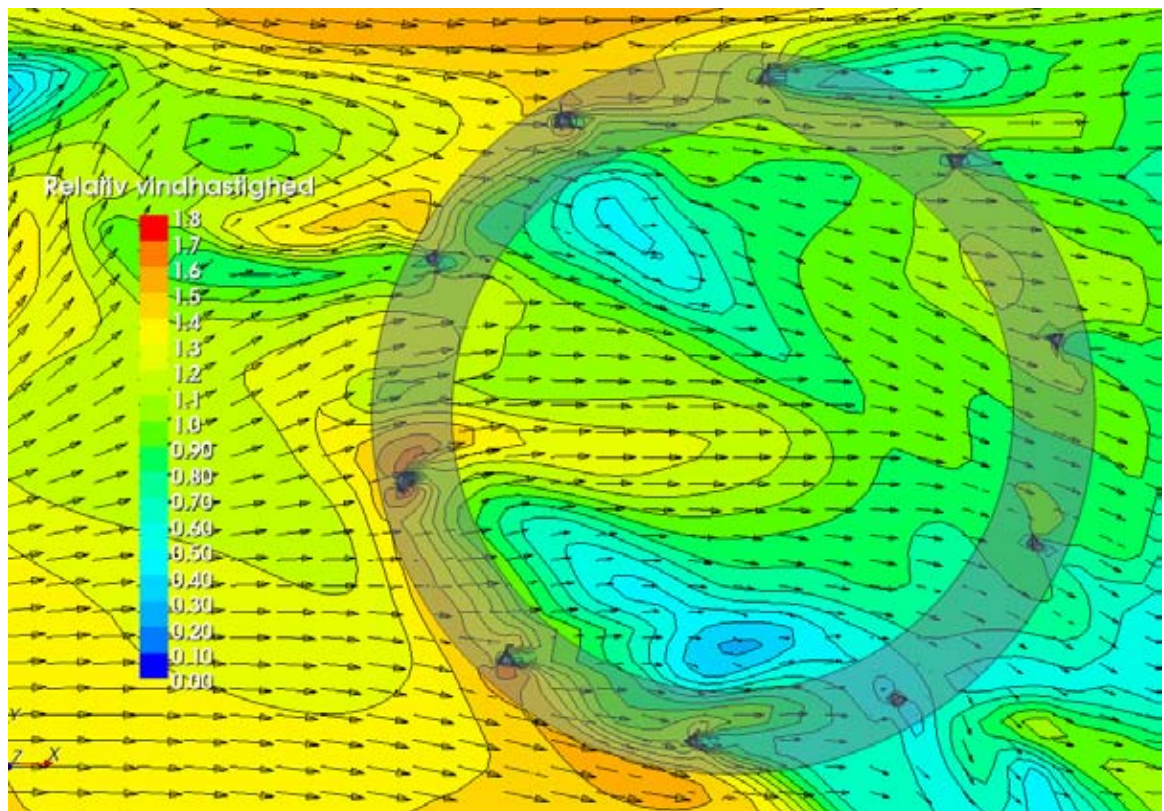
For de centrale dele af terrassen (forholdene er igen betydeligt værre tæt på kanten) ses forstærkningsfaktorer på op til 1,2 (vest), 1,0 (sydvest) og 1,4 (syd). Grænsen til tålelige forhold for siddestillende aktivitet er, at en vindhastighed på 5,4 m/s ikke overskrides i mere end 1% af tiden. Hermed fås for de tre vindretninger følgende:

Vest:  $5,4 \text{ m/s} / 1,2 = 4,5 \text{ m/s}$  uforstyrret, som har hyppighed 6,4 %.

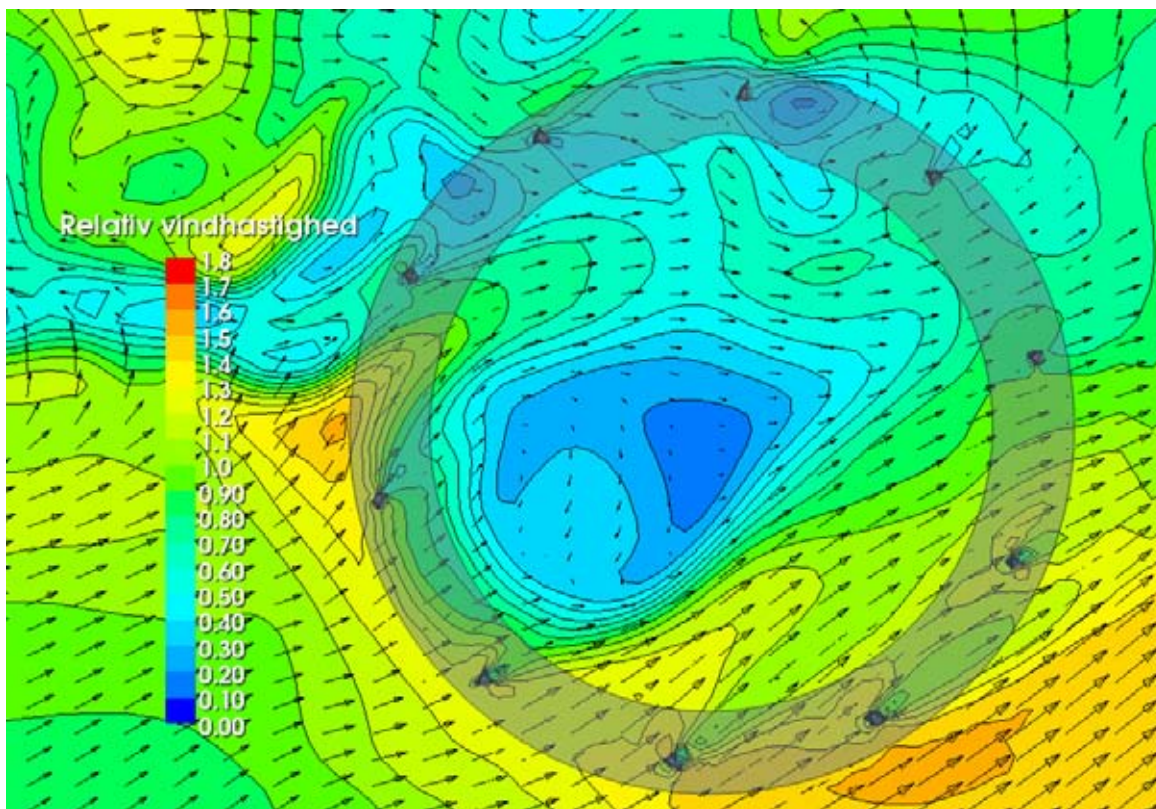
Sydvest:  $5,4 \text{ m/s} / 1,0 = 5,4 \text{ m/s}$  uforstyrret, som har hyppighed 8 %

Syd:  $5,4 \text{ m/s} / 1,4 = 3,9 \text{ m/s}$  uforstyrret, som har hyppighed 8 %

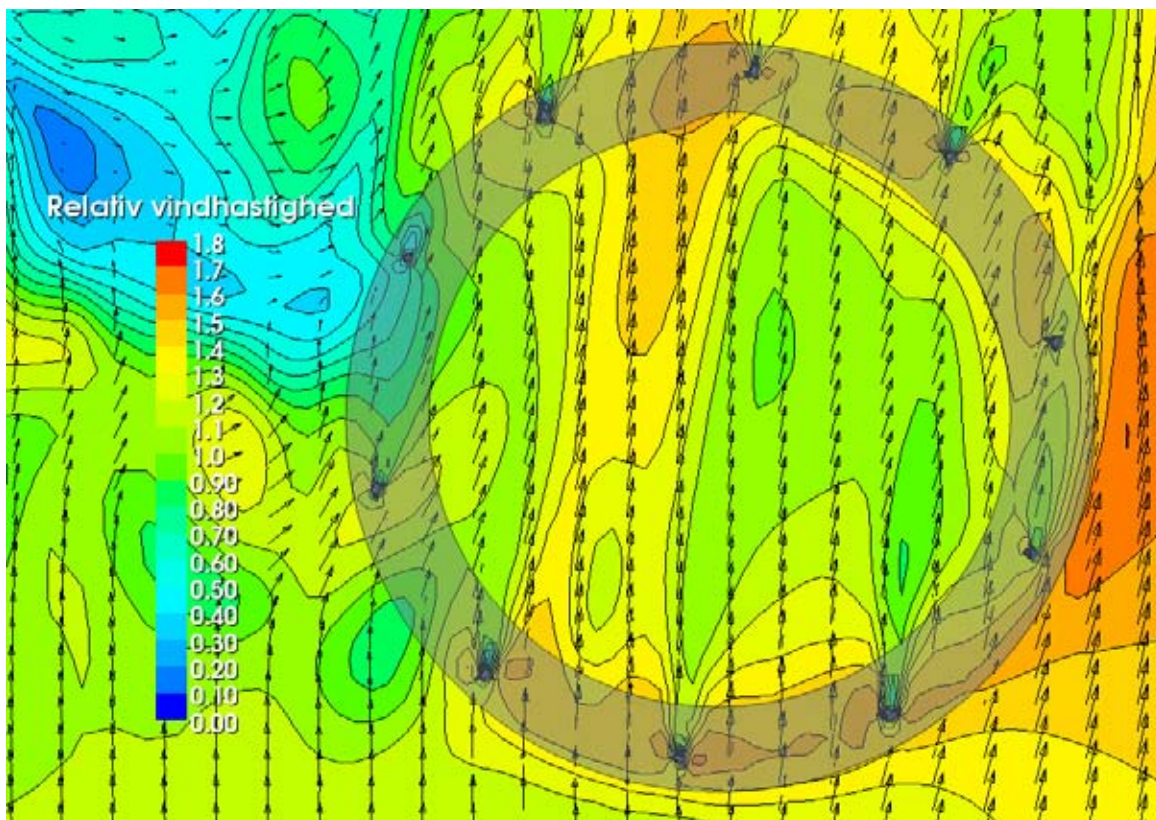
Det ses at komfortkravet overstiges væsentligt, da de tre vindretninger samlet giver 22,4 %. Hertil vil komme bidrag fra øvrige vindretninger.



Figur 6.27 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Terrasse C. Vestenvind. Nord opad.



Figur 6.28 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Terrasse C. Sydvestenvind. Nord opad.



Figur 6.29 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Terrasse C. Sødvind. Nord opad.

### 6.4.5 Terrasse B

Figur 6.30 til Figur 6.32 viser konturplottene for tagterrace B. Af de tre undersøgte vindretninger fås de mildeste forhold for søndenvind.

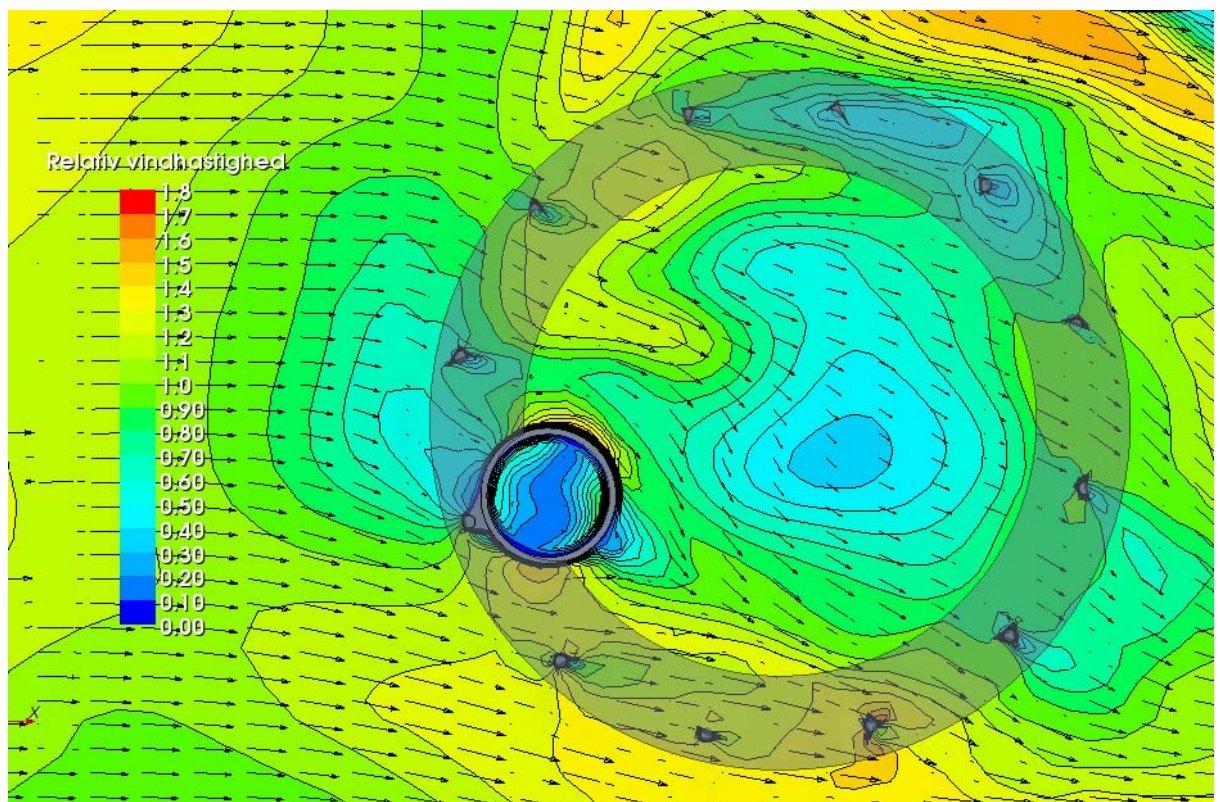
For de centrale dele af terrassen (forholdene er værst tæt på kanten) ses forstærkningsfaktorer på op til 0,9 (vest), 1,1 (sydvest) og 0,6 (syd). Grænsen til tålelige forhold for siddestillende aktivitet er, at en vindhastighed på 5,4 m/s ikke overskrides i mere end 1% af tiden. Hermed fås for de tre vindretninger følgende:

Vest:  $5,4 \text{ m/s} / 0,9 = 6 \text{ m/s}$  uforstyrret, som har hyppighed 3,1 %.

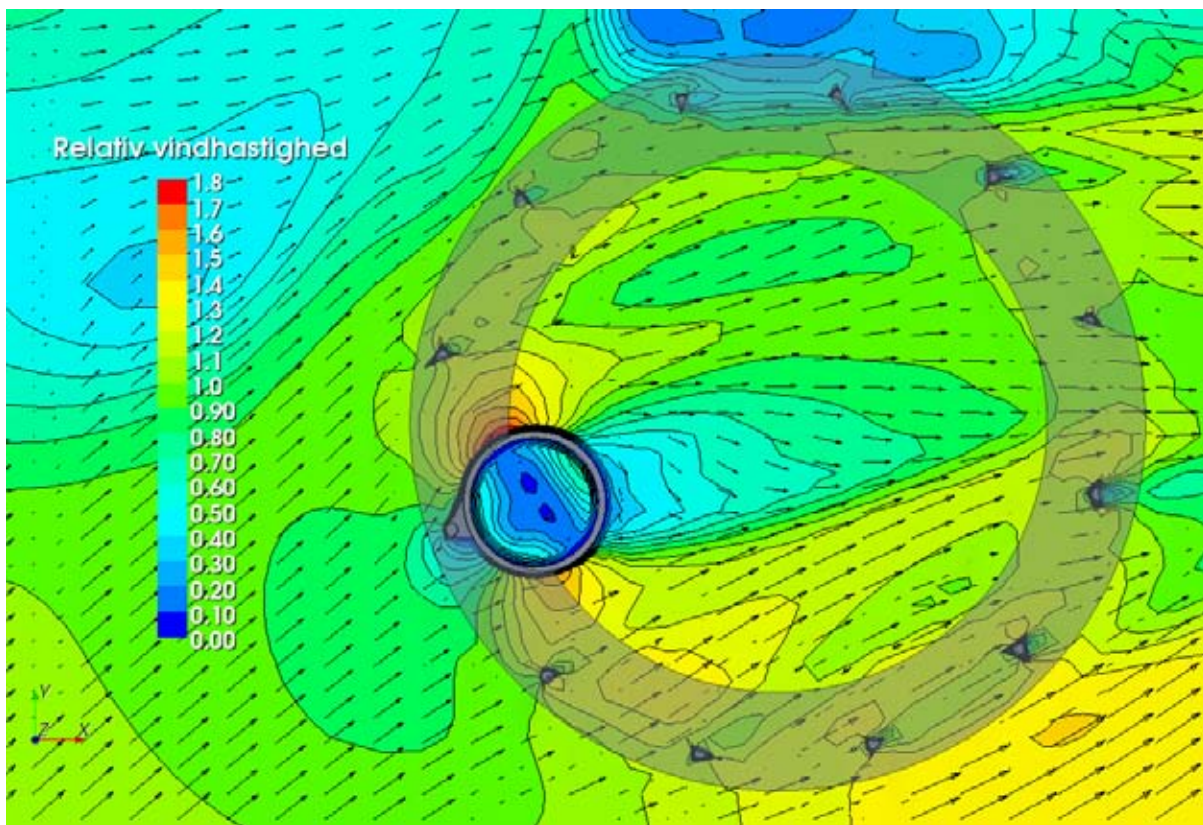
Sydvest:  $5,4 \text{ m/s} / 1,1 = 4,9 \text{ m/s}$  uforstyrret, som har hyppighed 9,2 %

Syd:  $5,4 \text{ m/s} / 0,6 = 9 \text{ m/s}$  uforstyrret, som har hyppighed 1,5 %

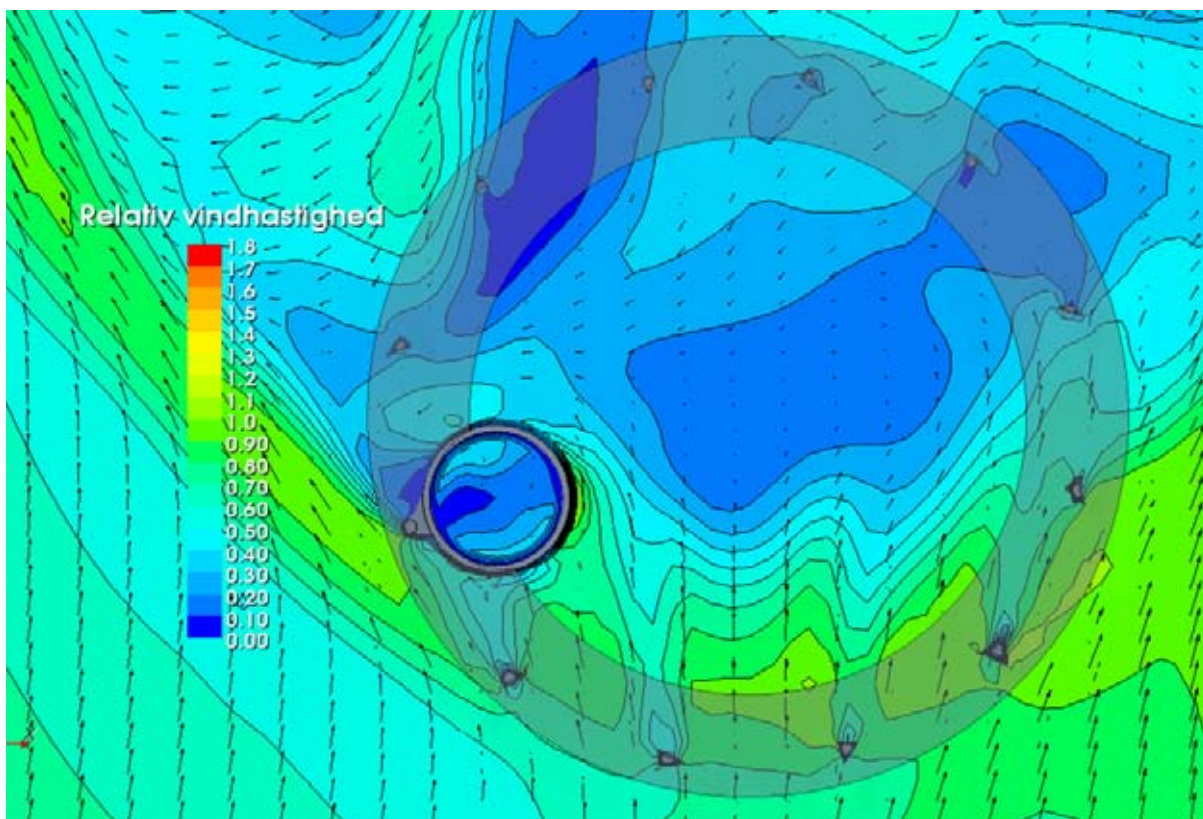
Det ses at komfortkravet overstiges væsentligt, da de tre vindretninger samlet giver 13,8 %. Hertil vil komme bidrag fra øvrige vindretninger.



Figur 6.30 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Terrasse B. Vestenvind. Nord opad.



Figur 6.31 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Terrasse B. Sydvestenvind. Nord opad.



Figur 6.32 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Terrasse B. Søndenvind. Nord opad.

#### 6.4.6 Samlet vurdering

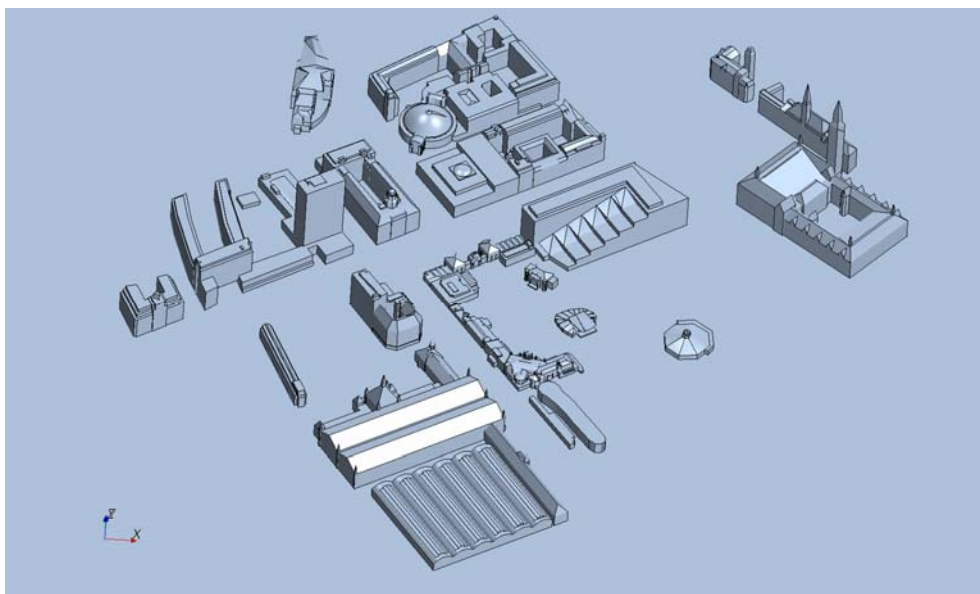
Samlet set viser de udførte simuleringer ikke overraskende, at vindforholdene på de fem tagterrasser ikke uden yderligere foranstaltninger egner sig til at sidde og nye udsigten på, uanset hvordan forholdene for de ikke-simulerede vindretninger måtte være. De to lavest beliggende tage er ikke overraskende de mindst dårlige af de fem tage.

Der ses også at være væsentlig forskel på vindforholdene mellem de tre simulerede vindretninger.

## 7 Eksisterende vindforhold

Det måske vigtigste spørgsmål at stille er: Hvordan bliver vindforholdene på Axel-torv med det nye byggeri sammenlignet med hvordan det var før, med den gamle Scalabygning?

For at kunne give et godt bud på dette er de samme tre vindretninger simuleret under helt de samme betingelser og med det samme modelsetup i øvrigt, blot med den gamle Scalabygning i stedet for de nye huse. Modellen kan ses i Figur 7.1.



Figur 7.1 3D model, fra L&T Arkitekter. Med den gamle Scalabygning.

Da den gamle Scalabygnings geometri er mindre kompliceret end de nye bygningers, reduceres antallet af celler i beregningsmodellen til 3,7 millioner med samme krav til cellestørrelser som før.

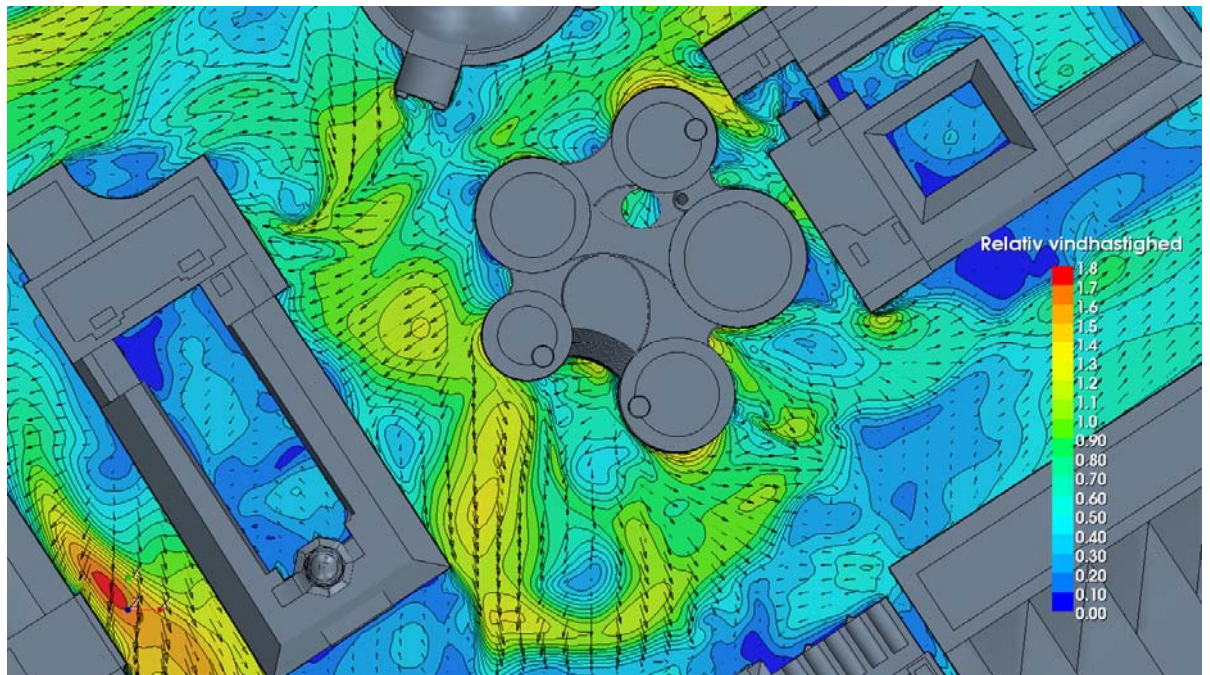
### 7.1 Resultater

Resultaterne vises på helt samme form som for simuleringerne med det nye byggeri. For overskuelighedens skyld er figurerne med det nye byggeri gentaget så sammenligning umiddelbart kan foretages.

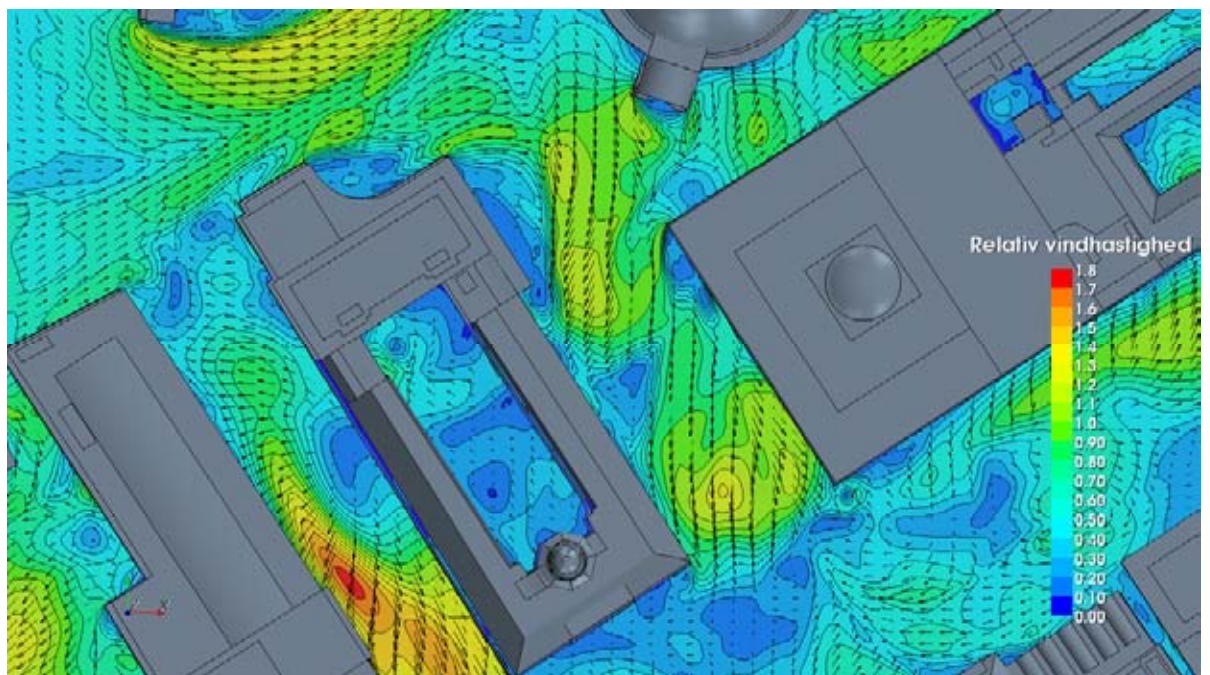


### 7.1.1 Vestenvind - gadeplan

Vindforholdene i gadeplan er vist i Figur 7.2 og Figur 7.3. Det ses umiddelbart at vindforholdene er noget bedre i den centrale del af Axeltorv med den gamle Scalabygning og en smule værre i den nordlige del af torvet. De maksimale vindhastigheder er de samme, men området med generende forhold for gang/slentren er større med det nye byggeri.



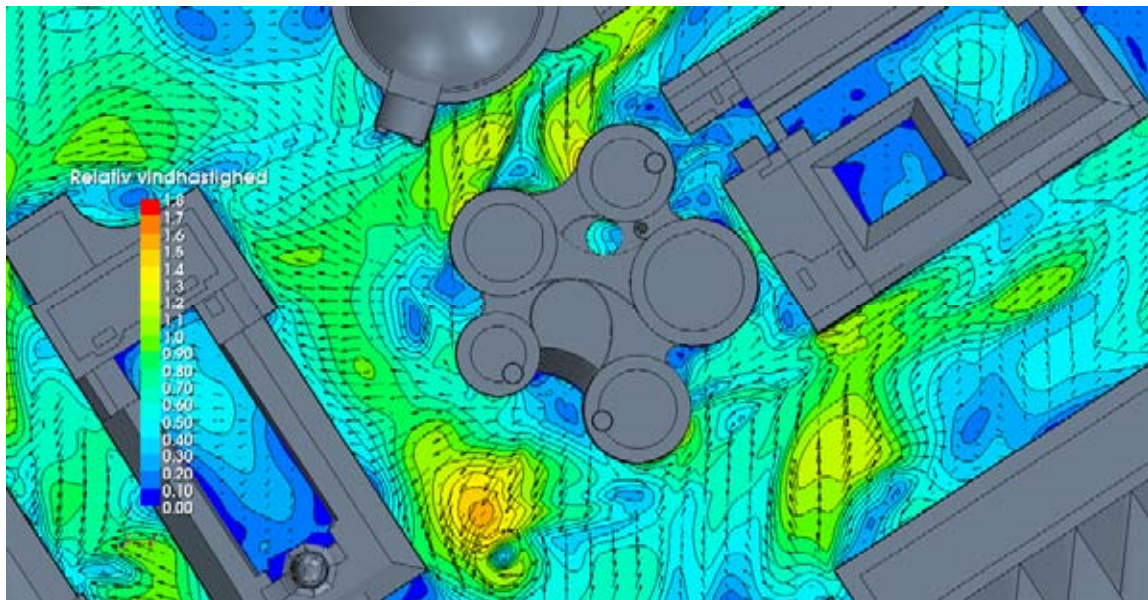
Figur 7.2 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Vestenvind. 1,5 m over gadeplan. Nord opad. Med nyt byggeri .



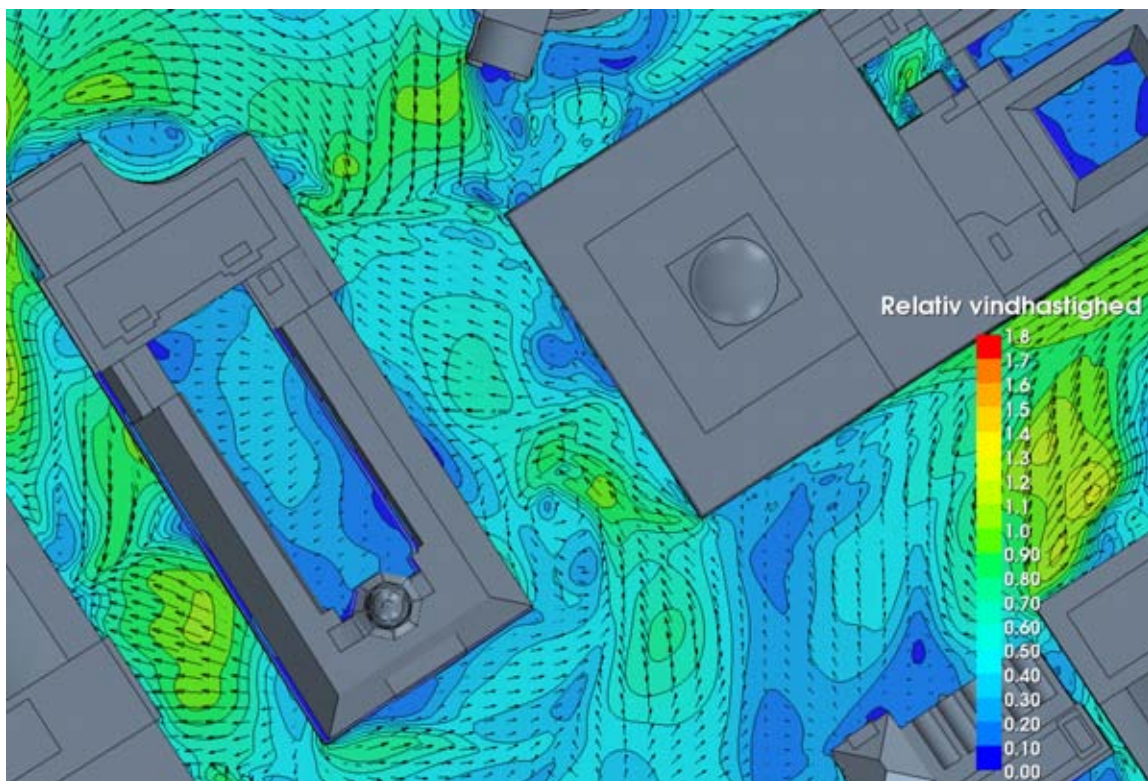
Figur 7.3 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Vestenvind. 1,5 m over gadeplan. Nord opad. Med den gamle Scalabygning.

### 7.1.2 Sydvestenvind - gadeplan

Vindforholdene i gadeplan er vist i Figur 7.4 og Figur 7.5. Det ses at vindforholdene bliver værre end før.



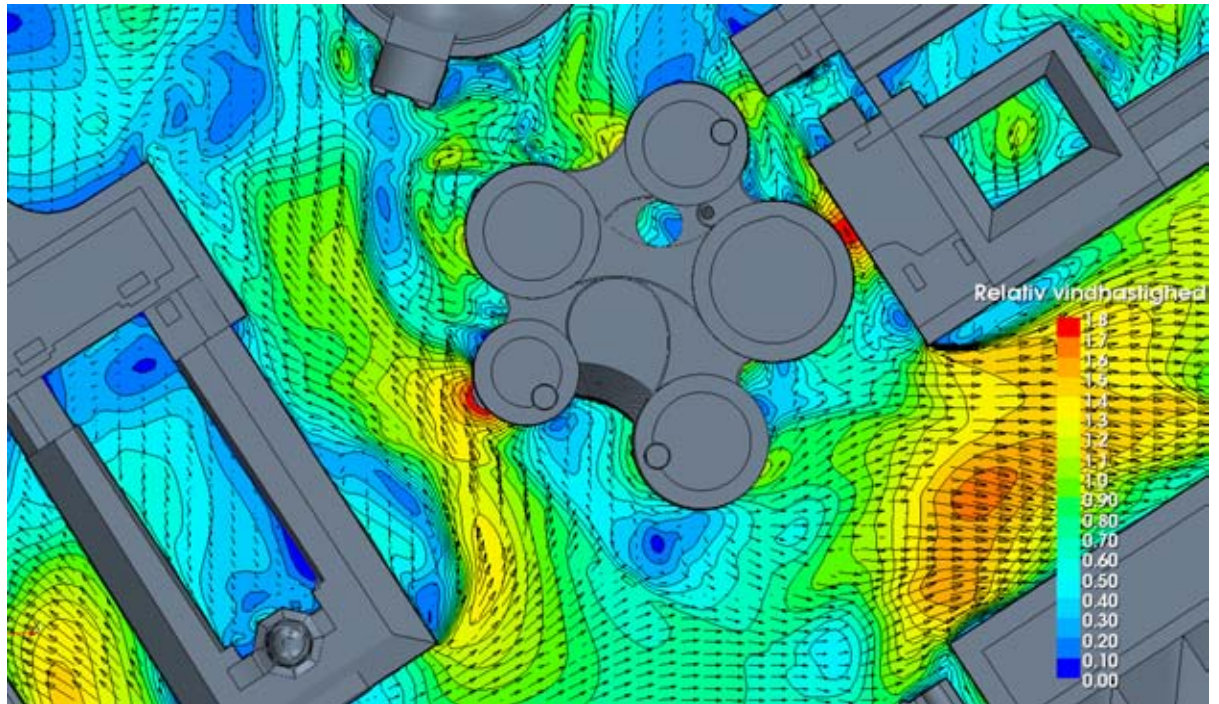
Figur 7.4 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Sydvestenvind. 1,5 m over gadeplan. Nord opad. Med nyt byggeri .



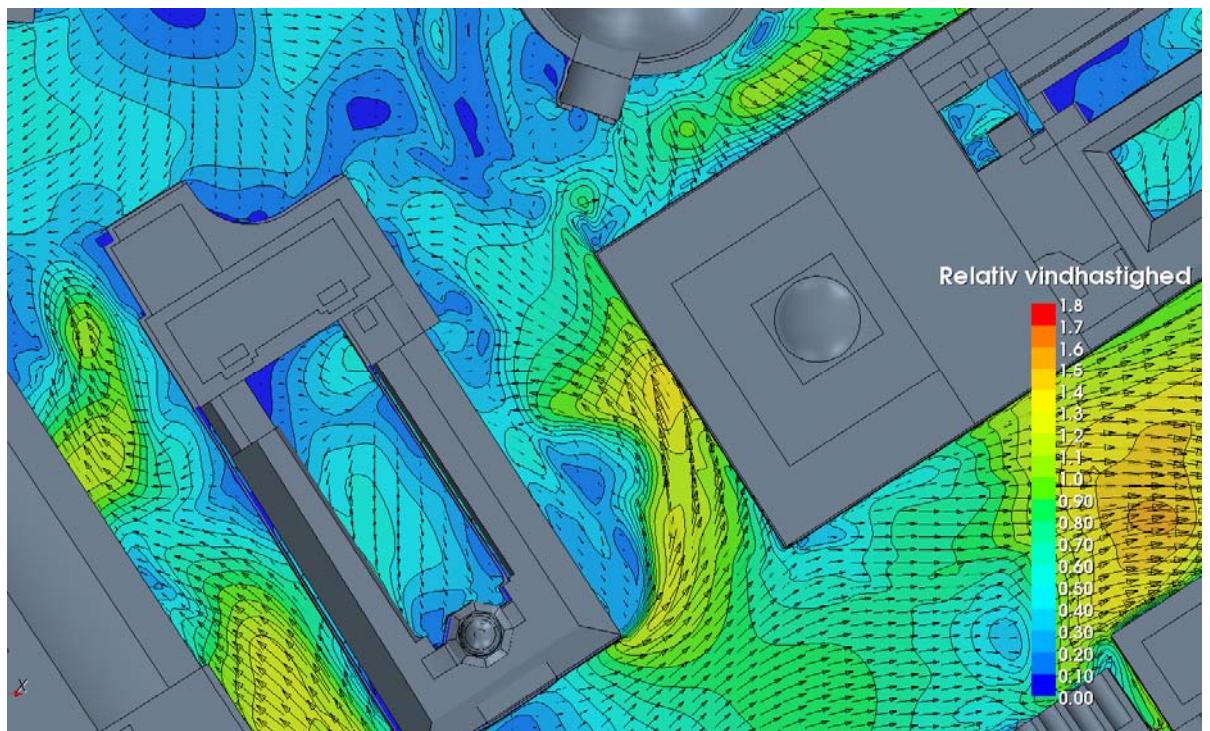
Figur 7.5 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Sydvestenvind. 1,5 m over gadeplan. Nord opad. Med den gamle Scalabygning.

### 7.1.3 Søndenvind - gadeplan

Vindforholdene i gadeplan er vist i Figur 7.6 og Figur 7.7. Det ses at vindforholdene er tydeligt værre end hidtil selvom der også på forsiden af den gamle Scalabygning opleves kraftig forstærkning for søndenvind.



Figur 7.6 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Søndenvind. 1,5 m over gadeplan. Nord opad. Med nyt byggeri .



Figur 7.7 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Søndenvind. 1,5 m over gadeplan. Nord opad. Med den gamle Scalabygning.

## 8 Virkning af beplantning

Af de foregående simuleringer er det fremgået klart, at vindforholdene på Axeltorv med det nye byggeri kan forventes at blive forværret. Hidtil har der ikke været væsentlig beplantning på torvet, og det ønskes undersøgt, om passende beplantning kan afhjælpe vindgenerne, og måske endda gøre det bedre end det har været hidtil.

L&T Arkitekter arbejder med et forslag til beplantning omkring Axeltorv som pr. 29. marts 2012 ser ud som vist i Figur 8.1 med de grønne signaturer. Det er ønsket at få en vurdering af læ-effekten af denne beplantning. Det gøres ved at gentage de foregående tre simuleringer, denne gang med beplantningen indlagt i CFD-modellen.



Figur 8.1 Forslag til beplantning pr. 29. marts, 2012. L&T Arkitekter. Beplantning vist med grønt.

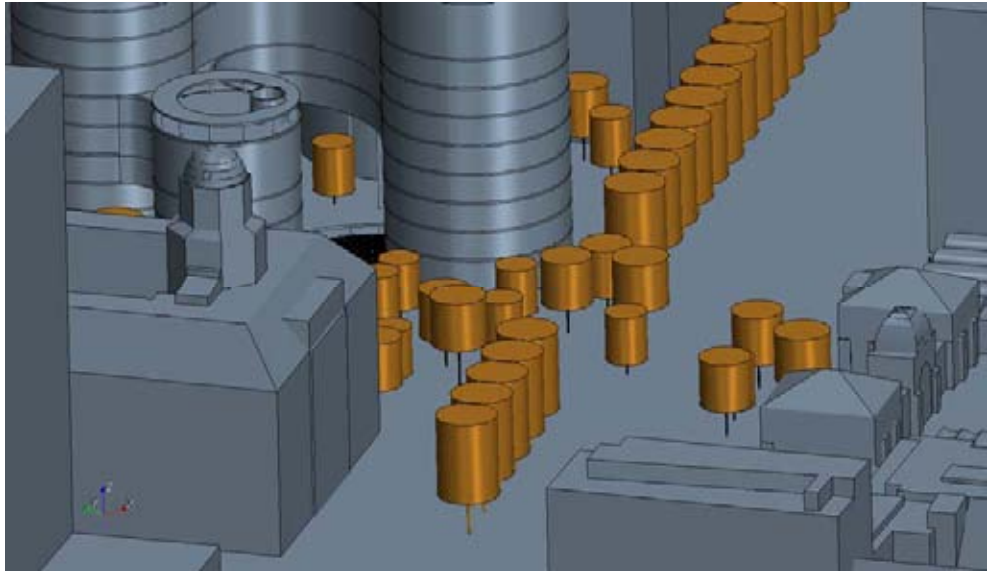
## 8.1 Generelt om beplantning som lægiver

Hvor god læeffekt man kan få ud af beplantning afhænger af typen og størrelsen af planterne. Man får ikke så meget effekt af et spinkelt løvfældende træ om vinteren, da tynde, bare grene ikke giver meget læ, men omvendt er det heller ikke altid en fordel med en meget tæt beplantning, da der så vil være en tendens til dannelse af bagsidehvirvler, som var det et solidt hegn. Ofte er det mest hensigtsmæssige at have en beplantning, der tillader en vist del af vinden at blæse igennem. Hermed bliver vindstrømningen mere diffus, der dannes ikke så stærke bagsidehvirvler og der hives energi ud af vinden til at bevæge blade og grene.

Det kan også være en fordel med beplantning af varierende størrelse. Udelukkende at bruge slanke træer med en højsiddende krone giver ofte ikke meget læ som ønsket i fodgængerniveau.

## 8.2 Modellering af beplantningen

Fra L&T Arkitekter er modtaget en CAD model af simplificeret beplantning, hvor træerne (som det er i dette tilfælde) er modelleret som slanke stammer med en cylindrisk krone, Figur 8.2.



*Figur 8.2 Modellering af træer som simple elementer.*

Denne CAD fil er skaleret med samme faktor som den overordnede model for at få størrelsesordenerne til at passe. Derudover er træerne manuelt flyttet på plads svarende til oversigten vist i Figur 8.1, idet der lader til at have været uoverensstemmelse mellem origo for bymodellen og træmodellen. Da træerne alligevel er simplificerede, og deres placering ikke er endelig fastlagt, vurderes det at være fuldt acceptabelt. Resultatet ses i Figur 8.3.



Figur 8.3 Plan over beplantningen som indlagt i CFD-modellen.

Som det ses af Figur 8.2 er modeltræernes kroner uigennemtrængelige for vind, hvilket ikke er tilfældet for rigtige træer. De vil derfor kunne give for meget læ i, men også omvendt danne hvirvler bagved, som ikke vil opstå, eller ikke i så høj grad, i virkeligheden. Den virkelige effekt af beplantningen vil derfor nok blive overdrevet i simuleringerne.

Med disse træer i modellen øges antallet af beregningsceller til 4,5 mio.

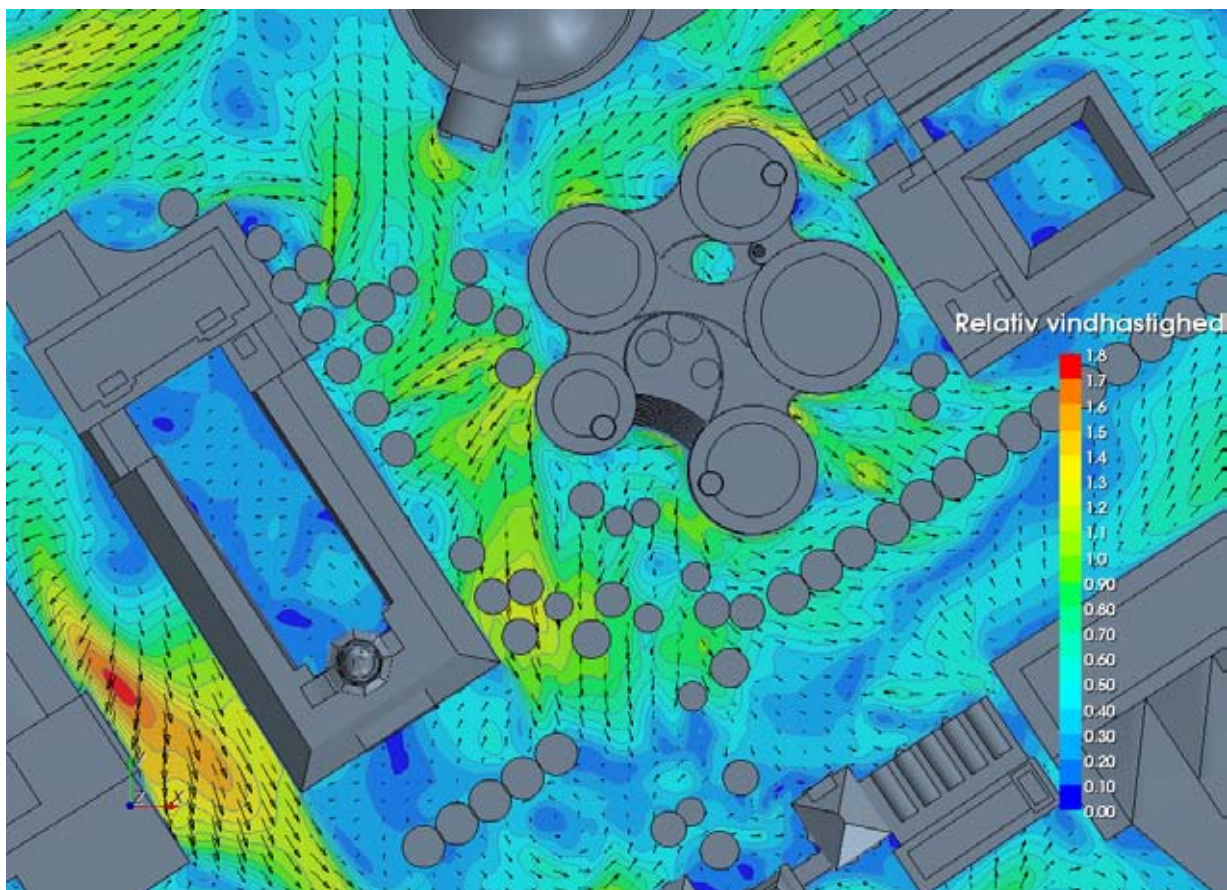
## 8.3 Resultater

Resultaterne vises på helt samme form som for simuleringerne uden træer. For overskuelighedens skyld er de tilsvarende figurer uden træer gentaget så sammenligning umiddelbart kan foretages.

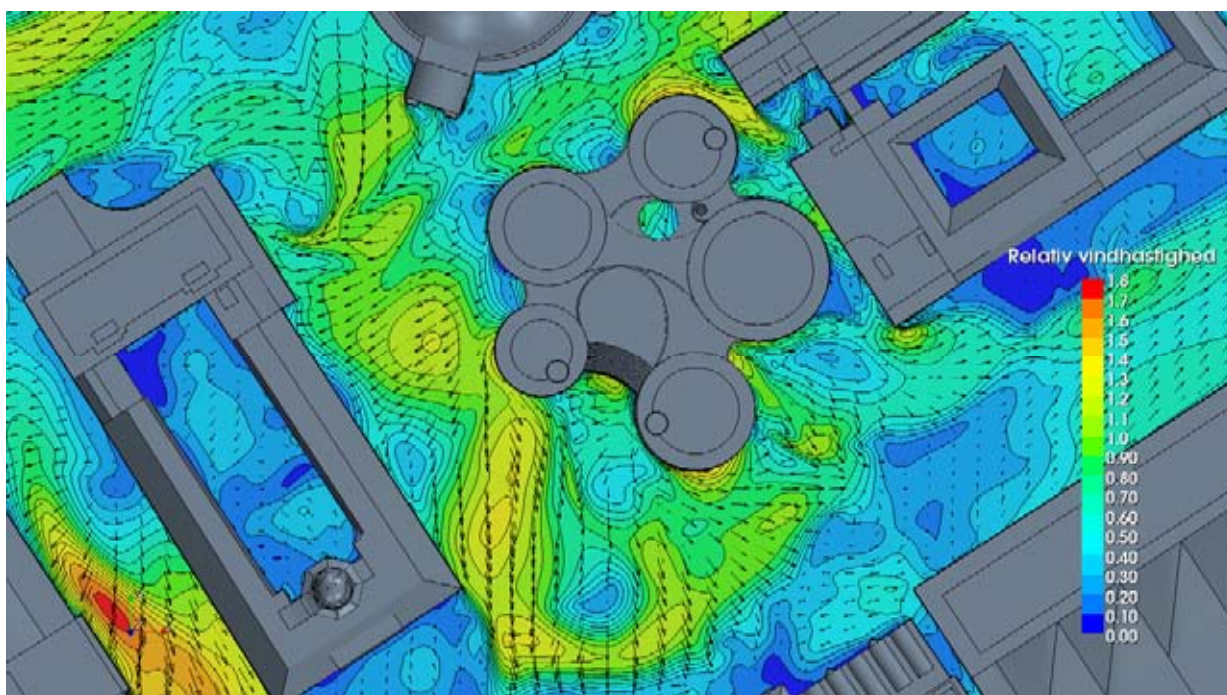
### 8.3.1 Vestenvind - gadeplan

Vindforholdene i gadeplan er vist i Figur 8.4 og Figur 8.5. Det ses umiddelbart at træerne forbedrer vindforholdene på Axeltorv. Det betyder grænsen for tålelige forhold for gang/slentren kun overskrides i ca. 1,5% af tiden i de lyse grønne områder, hvilket er acceptabelt.

Stillesiddende vil være tåleligt for denne vindretning i de blå og grønblå områder.



Figur 8.4 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Vestenvind. 1,5 m over gadeplan. Nord opad. Med træer.

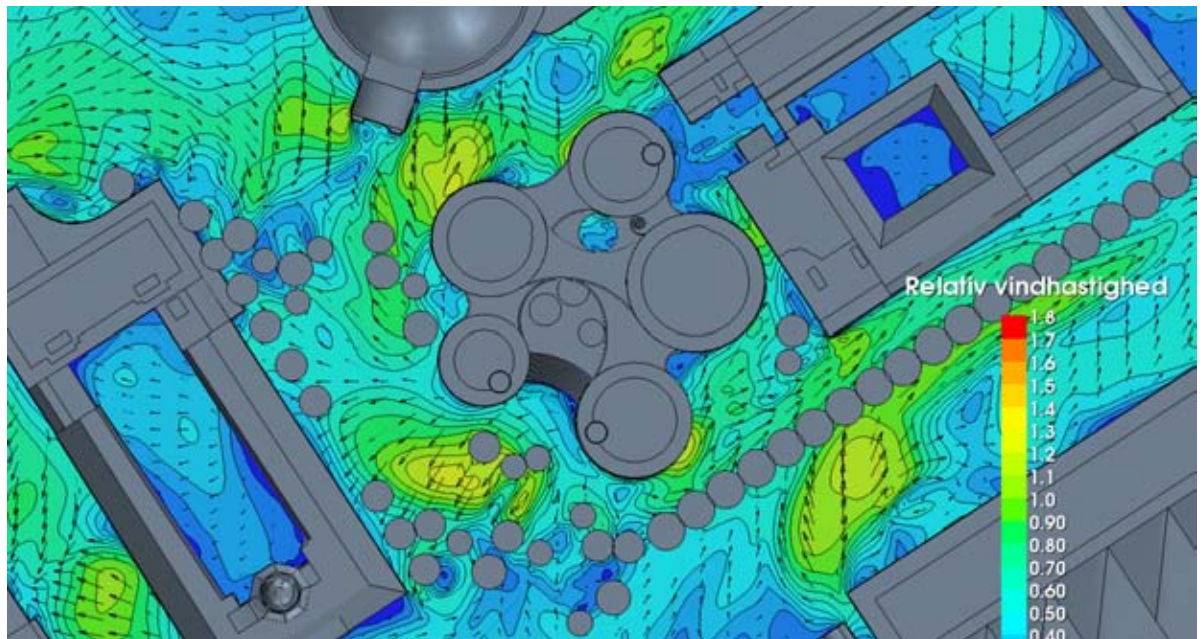


Figur 8.5 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Vestenvind. 1,5 m over gadeplan. Nord opad. Uden træer.

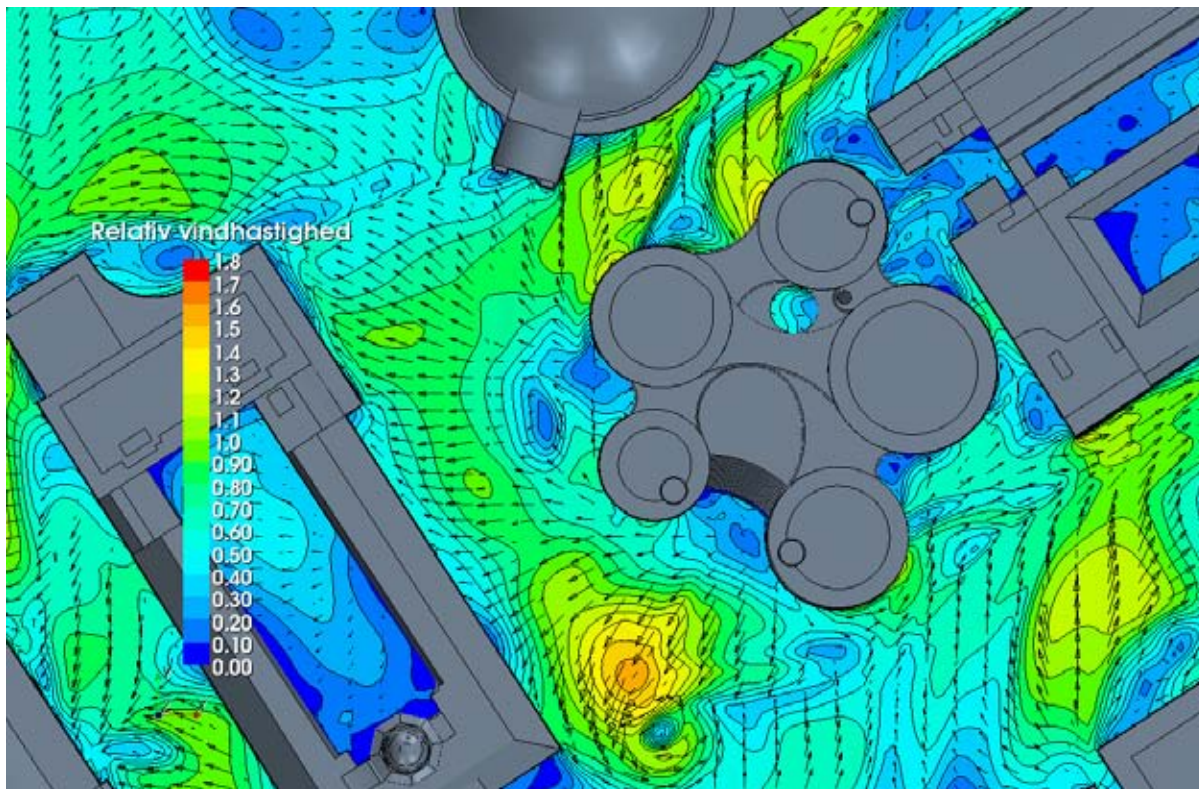


### 8.3.2 Sydvestenvind - gadeplan

Vindforholdene i gadeplan er vist i Figur 8.6 og Figur 8.7. Her ses en pæn forbedring over hele torvet, og i Axeltorvs sydlige ende, bliver store gule område mindre, og den maksimale vindhastighed formindskes. Forholdene for gang/slentren er gode, idet grænsen overskrides 2,2% af tiden, dog er man i det mindre gule område oppe på 7,5% hvilket er væsentligt over komfortgrænsen (krav: mindre end 4% totalt).



Figur 8.6 *Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Sydvestenvind. 1,5 m over gadeplan. Nord opad. Med træer.*

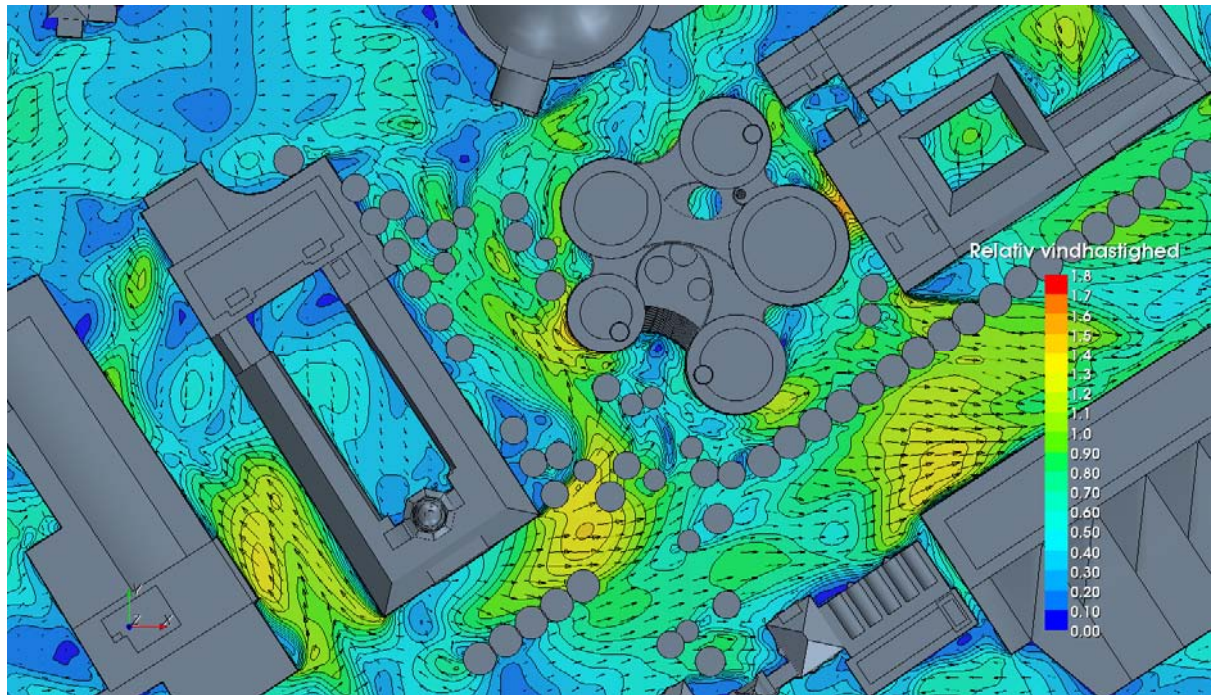


Figur 8.7 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Sydvestenvind. 1,5 m over gadeplan. Nord opad. Uden træer.

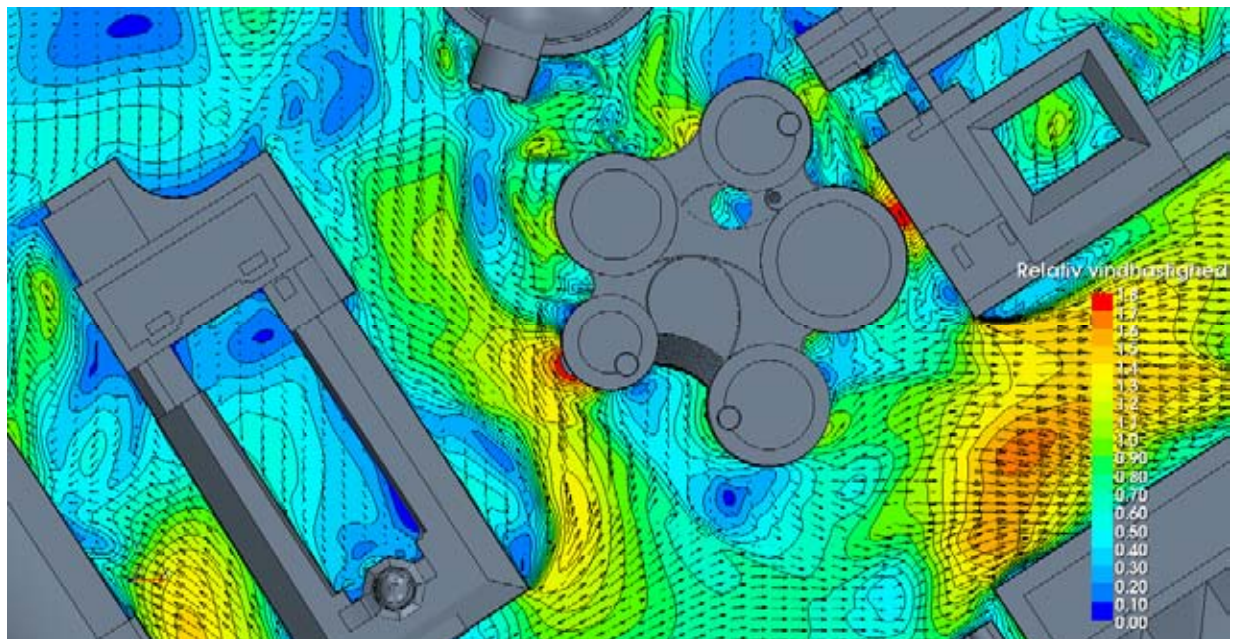
### 8.3.3 Søndenvind - gadeplan

Vindforholdene i gadeplan er vist i Figur 8.8 og Figur 8.9. Det ses, at forholdene i den smalle passage bag Axeltorv 2 forbedres, omend de stadig ikke er gode. Grænsen for tålelige forhold for gang/slentren overskrides, idet det skønnes at ske 7,5% af tiden der.

Ude på Axeltorv er forholdene for gang/slentren faldet under grænsen til tålelig forhold over større dele af pladsen.



Figur 8.8 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Søndenvind. 1,5 m over gadeplan. Nord opad. Med træer.



Figur 8.9 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Søndenvind. 1,5 m over gadeplan. Nord opad. Uden træer.

### 8.3.4 Samlet - gadeplan

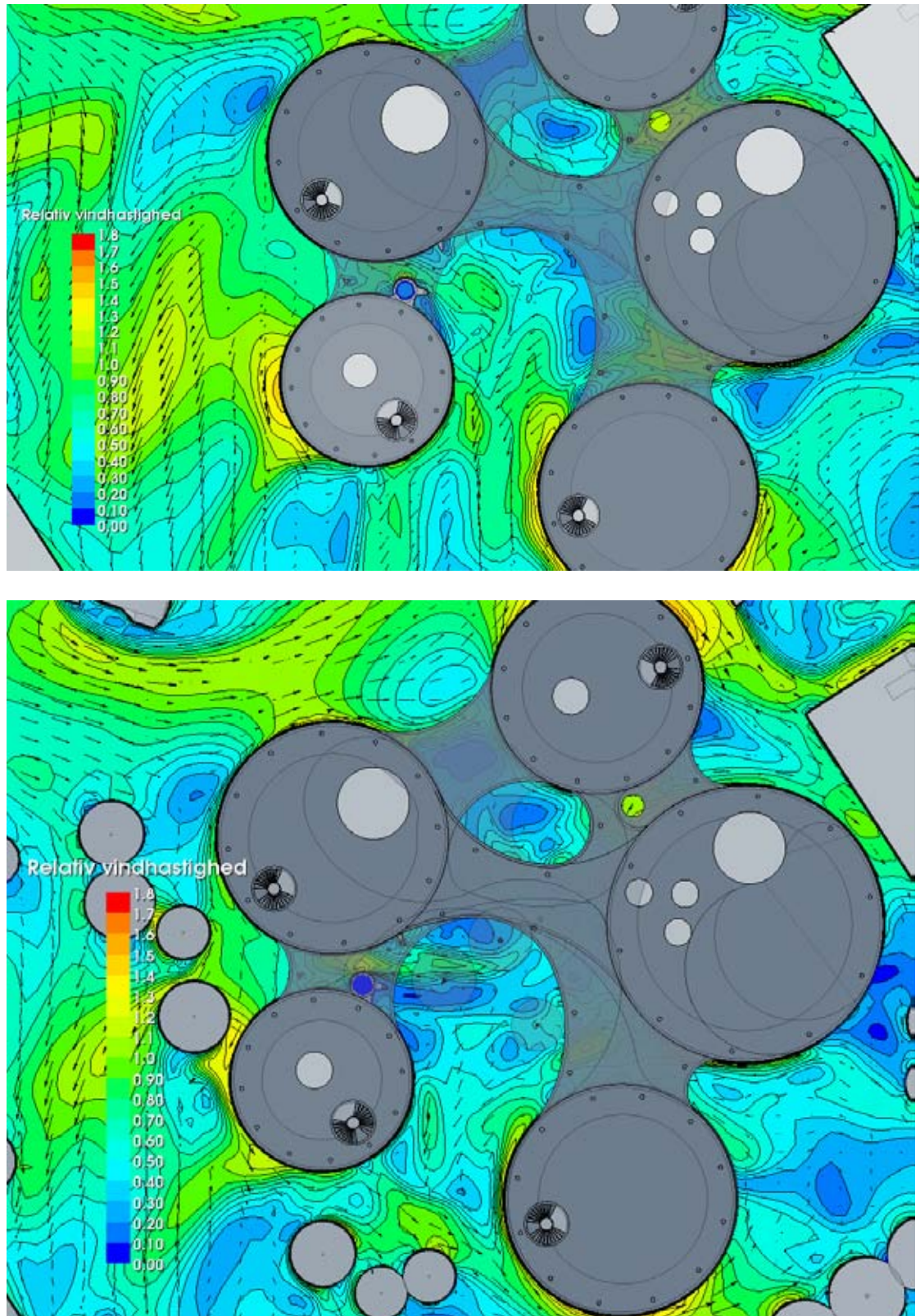
Ud fra de udførte simuleringer vurderes det, at den foreslåede beplantning kan forbedre vindkomforten for gang/slentren betydeligt. Passagen bag Axelatorv 2 er stadig vindomsust for sydlige vinde men der ses dog en reducerende effekt af træerne lige syd for. Det vil være svært helt at undgå i en så smal passage.

At beplantningen også ser ud til at give bedre vindkomfort på Axeltorv end med den gamle Scalabygning er en vigtig konklusion (her kan sammenlignes med figurerne i afsnit 7). Af de tre simulerede vindretninger giver kun sydvestenvind lidt dårligere vindkomfort selv med beplantning end tidligere, men ikke i problematisk omfang. Samlet set giver de tre vindretninger noget forbedret vindkomfort end tidligere. Dette forventes også at være tilfældet for de øvrige, knapt så hyppige vindretninger, da der også er væsentligt beplantning i arkitektforslaget i torvets nordlige ende.

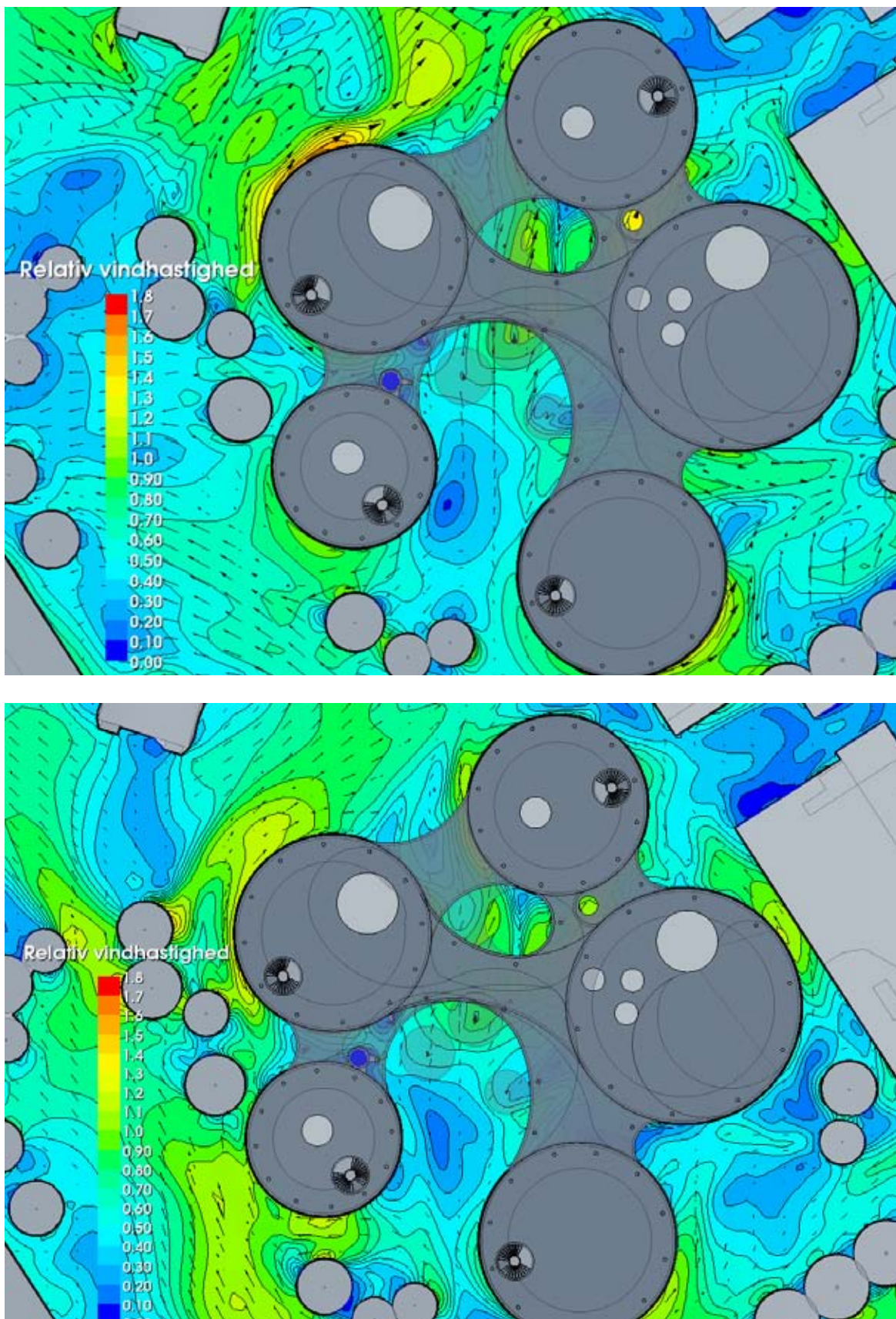
### 8.3.5 Vindforhold mellem bygningerne

For det hævede terrasseområde gælder igen at for bedre at kunne se området under broerne er bygningerne vist delvist transparente, derved bliver træerne på terrassen dog næsten usynlige.

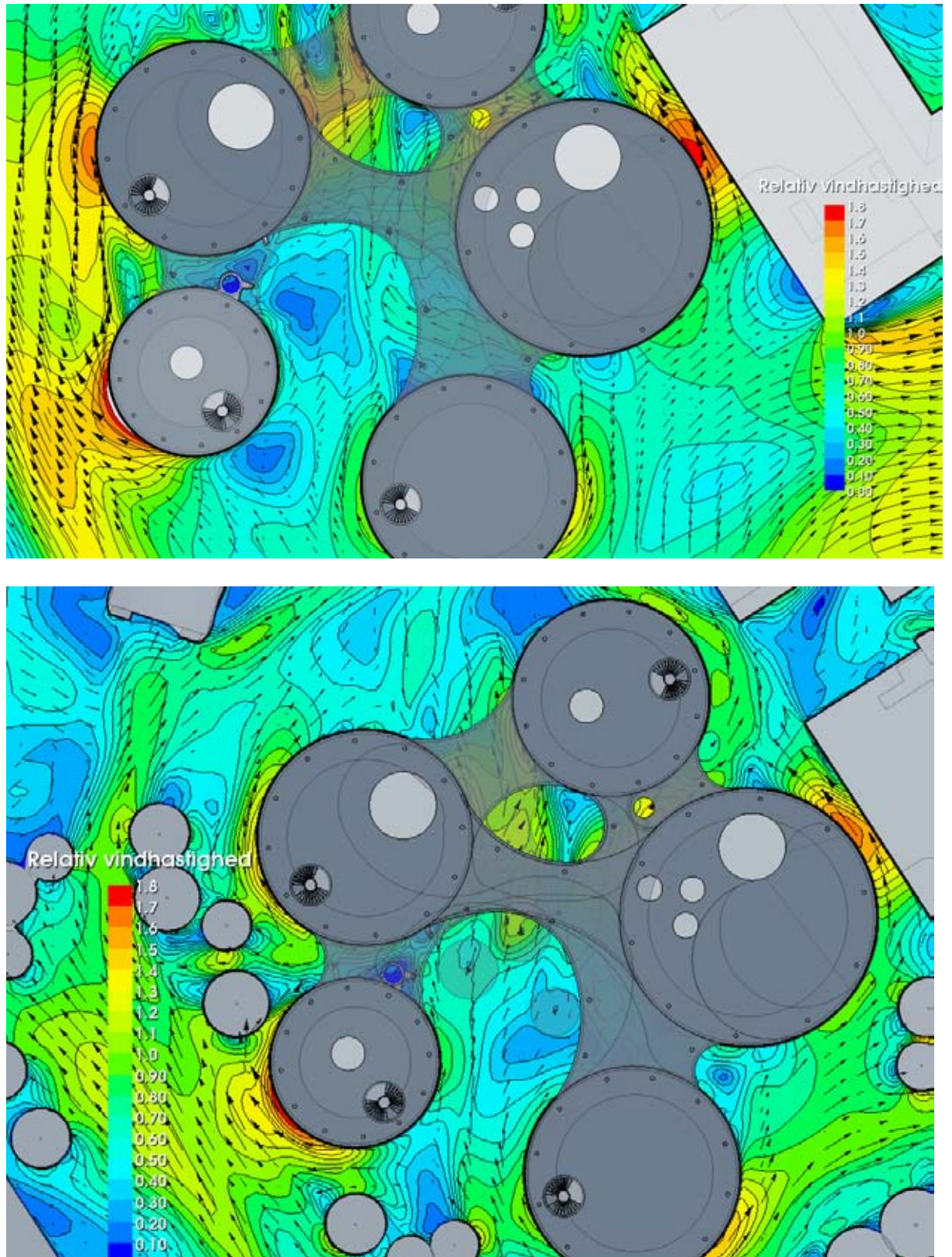
Figur 8.10 til Figur 8.12 viser konturplottene for forstærkningsfaktoren med projicerede vindretninger for de tre undersøgte vindretninger, med og uden træer.



Figur 8.10 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Vestenvind, 1,5 m over det centrale terrasseområde mellem bygningerne. Nord opad. Øverst: uden træer, nederst: med træer.



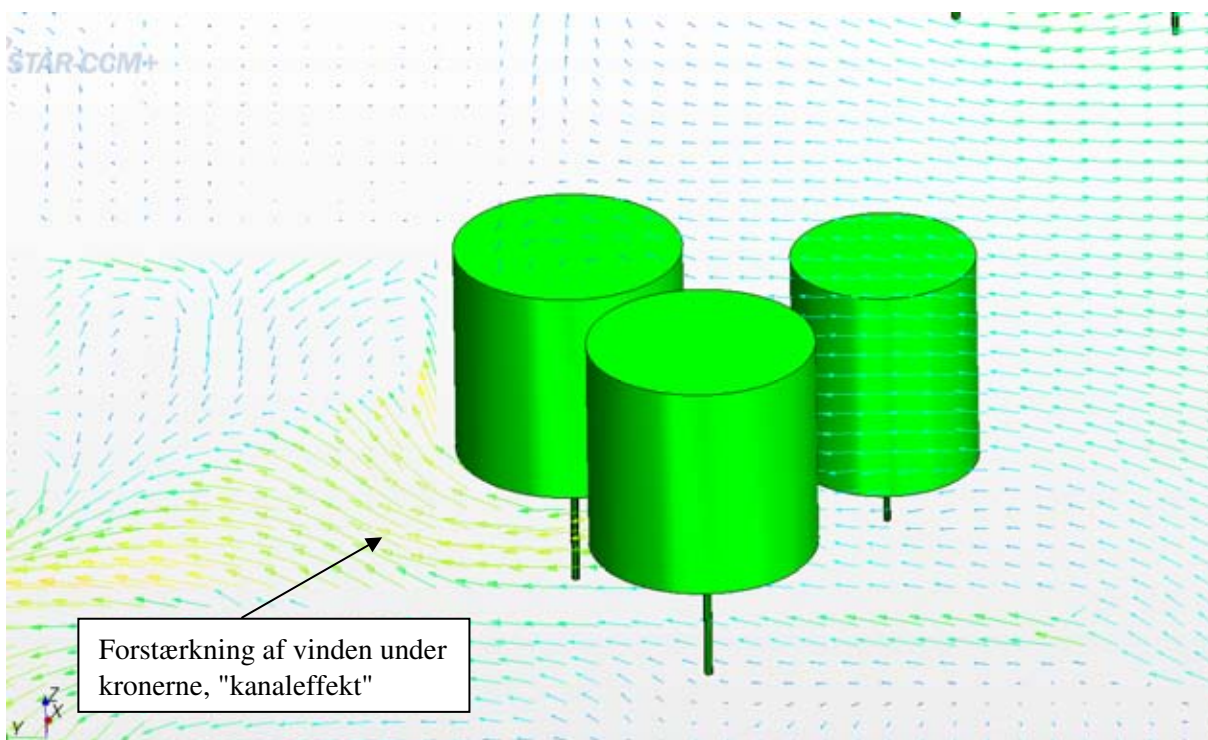
Figur 8.11 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Sydvestenvind. 1,5 m over det centrale terrasseområde mellem bygningerne. Nord opad. Øverst: uden træer, nederst: med træer.



Figur 8.12 Konturer for relativ gust equivalent mean wind speed. Søndenvind. 1,5 m over det centrale terrasseområde mellem bygningerne. Nord opad. Øverst: uden træer, nederst: med træer.

Forbedringen er mest markant for vind fra vest, og i mindre grad for vind fra syd og sydvest. For vestenvind ses forbedringerne i indgangsområdet og i passagerne mellem bygningerne. Helt så godt ser det ikke ud for søndenvind. Indgangsområdet er lidt mere udsat og mens de nordlige passager er noget forbedret er det ikke meget. Men som det ses af Figur 8.13, et snit gennem området og gennem det ene af træerne, så gør modeltræernes slanke stamme at vinden blot presses under kronen og forstærkes.

*I dette område vil et arrangement af lavere beplantning eller læskærme derfor med stor sandsynlighed give væsentligt bedre læ, da denne effekt undgås.*



Figur 8.13 Lodret snit gennem det centrale terrasseområde mellem bygningerne. Nord til venstre, syd (og trappen op) til højre.



## 9 Referencer

- /1/ COWI (2012). Vindklima, Axeltorv 2. Dok. nr. AT2\_vindklima\_001. 12. marts 2012.
- /2/ Lawson, T. (2001). Building Aerodynamics. Imperial College Press.
- /3/ Lundtang, E.P., Troen, I. og Frandsen, S.: Vindatlas for Danmark, RISØ, August 1980.