

# VINDMILJØVURDERING – SMEDELAND 6

## INDHOLD

1	Baggrund	1
2	Vindkomfort	2
3	Datagrundlag og forudsætninger	3
3.1	Området og bebyggelsen	3
3.2	Vindklimaet i København	5
3.3	Weibull-fit, DMI Frie Data	6
4	Vindvurdering	8
4.1	Simuleringer	8
4.2	Resultater	9
5	Konklusion	11
6	Referencer	12

### 1 Baggrund

Dette notat indeholder en vurdering af de fremtidige vindmæssige forhold i gadeniveau for Smedeland 6, Hersted udenfor København. Vurderingen er baseret på 3D-simuleringer af vindforholdene for udvalgte vindretninger.

Simuleringerne er lavet for en 3D CAD-model af Smedeland med omkringliggende *fremtidige* bygninger modtaget august 2022.

Som grundlag for vindvurderingen er anvendt allerede analyserede vinddata fra DMI Frie Data – Observationsdata ([Observationer | DMI](#)), Kastrup Lufthavn.

PROJEKTNR.

A224739

DOKUMENTNR.

VERSION

1.0

UDGIVELSESDATO

7.september 2022

BESKRIVELSE

UDARBEJDET

SAMI

KONTROLLERET

ALN

GODKENDT

JWJ

## 2 Vindkomfort

Vindkomforten for personer i gadeniveau kan vurderes med basis i de oprindelige Lawson-kriterier (Ref. /1/). Disse er baseret på mange års erfaring opbygget på University of Bristol.

Det skal indskydes, at der kan være store forskelle i, hvad der betragtes som gode og dårlige vindforhold afhængigt af det lokale klima. I et meget varmt klima – eller af hensyn til forurening - ønskes ofte god vindgennemstrømning, mens man i et koldere klima som f.eks. i Danmark har ønske om mildere vindforhold, da det føles mest behageligt (på nær under hedeølger).

Dette blot for at understrege, at god vindkomfort ikke altid er en entydig størrelse.

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 Tabel 2.1. Skemaet bruges som følger:

For rask gang fås 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.

*Tåleligt (frem for acceptabelt) bruges ofte som kriterium, da forsøg og/eller simuleringer laves uden træer eller andre mindre elementer, som kan virke skærmende.*

Ses f.eks. på årsvindklimaet, skal "tiden" i ovenstående forstås som et år.

Tabel 2.1 Lawsons kriterier for fodgængerkomfort, Ref. /1/.

Område/Aktivitet (forventet/foreskrevet)		Kriterium for vindhastighed og overskridelse	
Beskrivelse	Beteg- nelse	<b>Grænse ml. tåle- ligt og uaccepta- belt</b>	Grænse ml. ac- ceptabelt og tåle- ligt
Veje, p-arealer	A	<b>6% &gt; 10,7 m/s</b>	2% > 10,7 m/s
Rask gang med et formål, cykling	B	<b>2% &gt; 10,7 m/s</b>	2% > 7,9 m/s
Gang, slentren	C	<b>4% &gt; 7,9 m/s</b>	6% > 5,4 m/s
Stående	D	<b>6% &gt; 5,4 m/s</b>	6% > 3,3 m/s
Indgangsområder, døre	E	<b>6% &gt; 5,4 m/s</b>	4% > 3,3 m/s
Siddende	F	<b>1% &gt; 5,4 m/s</b>	4% > 3,3 m/s

Vindhastighederne bør inkludere et hensyn til turbulensniveauet i vinden. En relativt svag, men meget turbulent vind, kan godt føles ubehageligere end en stærkere men ikke særlig turbulent vind.

Derfor angives vindhastighederne som den største værdi af middelvindhastigheden og den såkaldte "gust equivalent mean wind speed", som tager hensyn til turbulensniveauet i vinden. "Gust equivalent mean wind speed"  $U_{eq}$  beregnes som den største værdi af 10 min. middelvinden  $U_{10}$  eller 3 sek. vindstød  $U_g$  /1,85.

Vindkomfort er, som mange andre menneskelige faktorer, ikke en absolut størrelse; men afhængig af lokale forhold. Ofte er beboere i områder, der generelt er blæsende (åbne landområder), mindre følsomme for vind end beboere i relativt stille områder (byområder), ligesom temperaturen spiller en meget stor rolle.

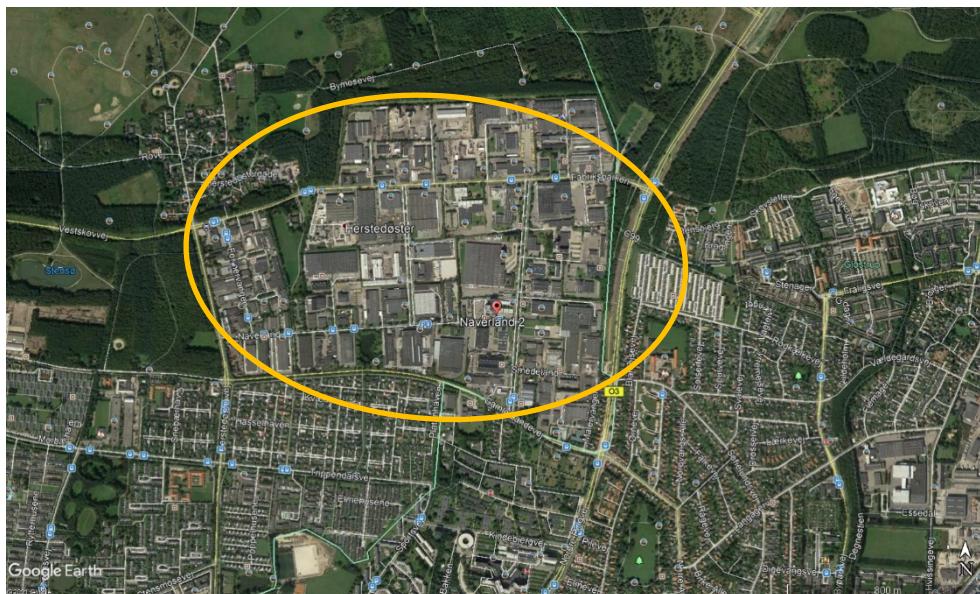
Der ses her på to typer aktiviteter, hvor grænsen mellem tålelige og uacceptable forhold er som angivet nedenfor:

- > **Siddende** (aktivitet F): vindhastigheden på stedet må ikke overskride 5,4 m/s i mere end 1% af tiden,
- > **Gang/slentre** (aktivitet C): vindhastigheden på stedet må ikke overskride 7,9 m/s i mere end 4% af tiden.

### 3 Datagrundlag og forudsætninger

#### 3.1 Området og bebyggelsen

Figur 3.1 viser satellitfoto over Hersted Industripark og omgivelser, hvoraf Smedeland 6 er en del. Området kan betegnes som almindelig bymæssig bebyggelse.



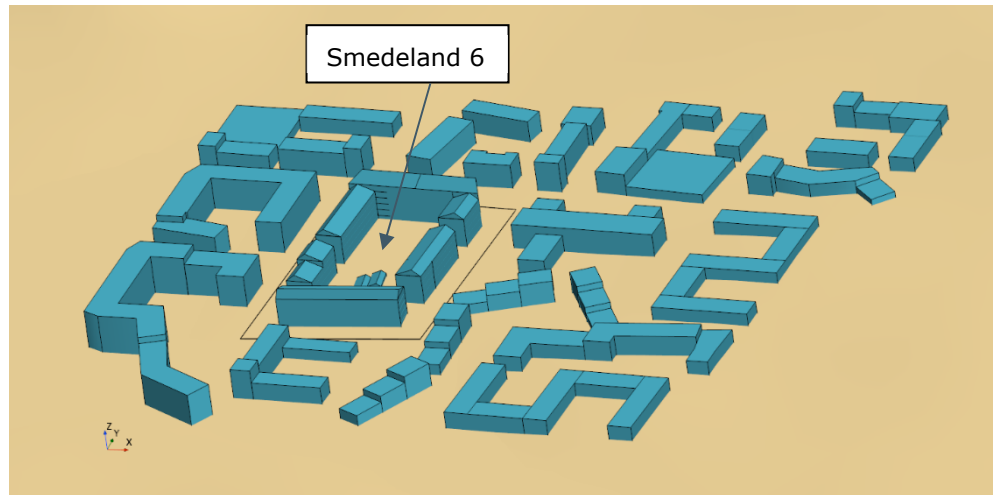
Figur 3.1 Satellitfoto Hersted Industripark.

Figur 3.2 viser et nærbillede af området omkring Smedeland 6, som er markeret i det gule felt. Det skal bemærkes, at figuren viser den fremtidige bebyggelse omkring Smedeland 6, som også anvendt i simuleringerne.



Figur 3.2 Smedeland 6 og omgivelser.

Figur 3.3 viser 3D CAD-modellen svarende til ovenstående figur. For nærværende formål anses denne model at være rimelig i udstrækning, for at kunne give en kvalificeret analyse af det udvalgte område.



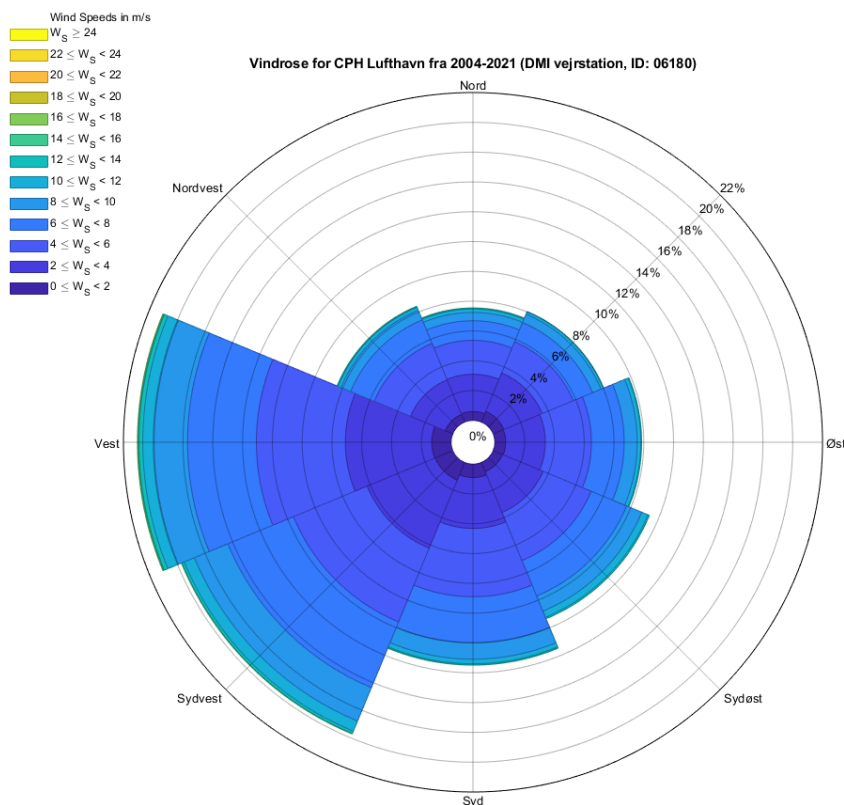
Figur 3.3 3D CAD-model af Smedeland 6 og omgivelser. Set fra sydøstlig retning.

## 3.2 Vindklimaet i København

Vinddata til brug for vindmiljøanalysen er hentet fra DMI Frie Data – Observationsdata ([Observationer | DMI](#)) for Kastrup Lufthavn, for perioden 2004-2021, altså over en periode på 18 år. Vindhastighederne er givet som kontinuerte 10-minutters middelværdier (dvs. 6 værdier pr. time) i højden 5 m over terræn. Dataene er anført som ikke-kvalitetssikrede, men ved sammenligning med ældre vindroser fra Avedøre og Roskilde foretaget som del af vindvurderingen af hele Hersted Industripark, [2], ses god overensstemmelse i de dominerende vindretninger.

### 3.2.1 DMI Frie Data 2004-2021

Figur 3.4 viser vindrosen svarende til de 18 års vinddata i Kastrup lufthavn for en retningsopløsning på 45°.



Figur 3.4 Vindrose, hele året. DMI Frie Data 2004-2021. Retningsopløsning for komfortanalysen. Højde over terræn 5 m.

### 3.2.2 Sæsonvariationer

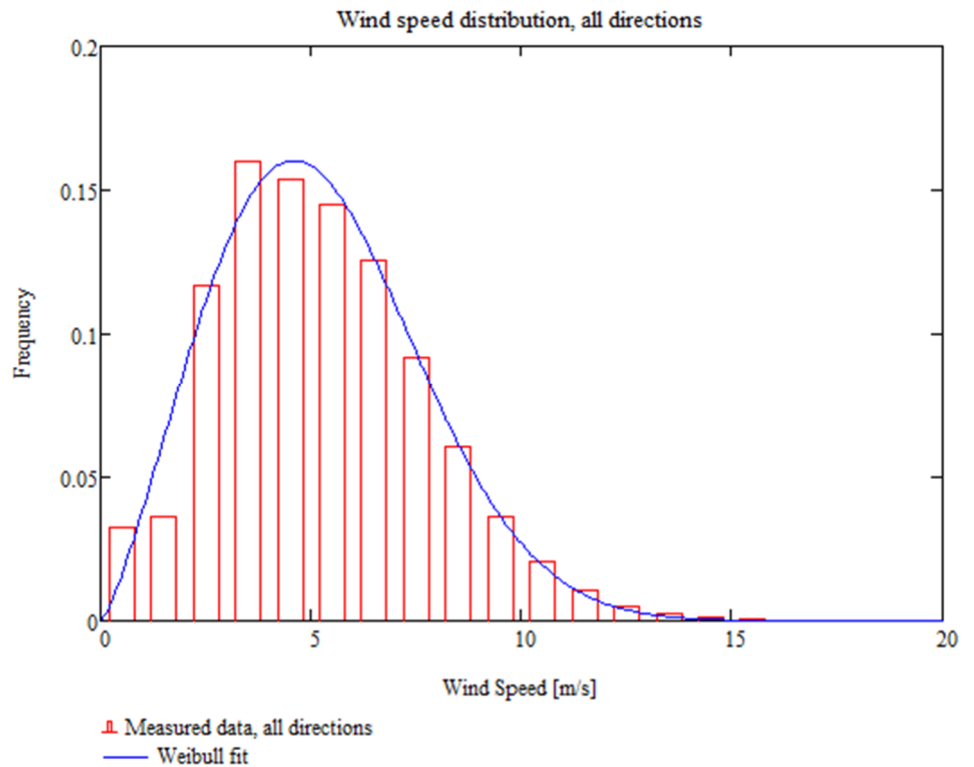
Afhængig af et byområdes karakter og brug, kan sæsonvariationer være af stor betydning: om sommeren lægges ofte vægt på udeophold og der ønskes derfor gode forhold for cafeer, udendørs shoppingområder, legepladser og lignende. Især i Nordeuropa vil meget vind her reducere komforten (under meget varme forhold kan vind derimod være velkommen). Om vinteren kan vind føles bidende kold, og fokus er ofte i højere grad på områder med rask gang, frem for mere rekreative områder.

Typisk for Københavnsområdet vil vinde fra vest og sydvest være mere dominerende i vinterhalvåret sammenlignet med hele året.

### 3.3 Weibull-fit, DMI Frie Data

For at kunne kvantificere vindkomforten, er årsvindklimaet fra Kastrup Lufthavn analyseret og fittet (tilpasset) til Weibull-fordelinger. Fittene er lavet for vindhastigheder i 1 m/s-intervaller og vindretninger i 45°-intervaller. Resultatet fremgår af Tabel 3.1.

Figur 3.5 viser Weibull-fittet for alle vindretningerne samlet.



Figur 3.5 Weibull-fit for vind fra alle vindretninger. Kastrup Lufthavn, 5 m over terræn.

Tabel 3.1 Weibull-parametre for Kastrup Lufthavn, hele året. Baseret på data hentet fra DMI Frie Data, 2004-2021. Højde over terræn 5 m.

vindretning	parameter A (m/s)	faktor k	hyppighed f (%)
0°	5,39	2,22	7,8
45°	5,28	2,12	8,1
90°	5,84	2,37	9,9
135°	6,01	2,39	11,4
180°	5,85	2,58	13,6
225°	6,33	2,27	19,8
270°	6,03	2,23	21,2
315°	5,62	2,37	8,5

Med kendskab til Weibull-parametrene er det muligt at estimere hyppigheden af overskridelser af en bestemt vindhastighed, f.eks. U, fra en given vindretning ved brug af følgende udtryk:

$$h(V > U) = f \left[ 1 - \left[ 1 - \exp \left[ - \left( \frac{U}{A} \right)^k \right] \right] \right] \quad (1)$$

Ovenstående udtryk gælder for én vindretning, for hvilken Weibull-parametrene er kendt. Når den samlede hyppighed for flere vindretninger ønskes, summeres hyppighederne et samlet billede.

## 4 Vindvurdering

På basis af det ovenfor beskrevne overordnede vindklima, er tre dominerende vindretninger udvalgt og simuleret med en 3D beregningsmodel, og der etableres et kort over den forventede vindkomfort i gadeniveau for disse tre retninger. Det drejer sig om vind fra V, SV og SØ. Tilsammen udgør disse tre vindretninger 52% af det samlede, gennemsnitlige årsvindklima i København.

### 4.1 Simuleringer

Vindsimuleringerne er lavet med det kommercielle CFD-software Star CCM+ (version 2022.01) fra Siemens. CFD = Computational Fluid Dynamics.

#### 4.1.1 Model

3D CAD-modellen fra februar 2022 danner udgangspunkt for simuleringmodellen. Denne model indeholder en geometrisk model af Smedeland 6 og omkringliggende bygninger samt det lokale terræn. Udenom denne model er terrænet forlænget i alle retninger (uden bygninger) af modeltekniske grunde.

Hele beregningsmodellen har størrelsen 1800 m x 1100 m x 400 m (henholdsvis øst-vest, nord-syd og opad).

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 (1,25 kg/m<sup>3</sup>), dvs. uden temperaturlagdeling.

Randbetingelserne gives direkte som profiler af den turbulente kinetiske energi  $k$ , den turbulente kinetiske dissipation  $\epsilon$  samt et logaritmisk profil for vindhastigheden  $U$ . Disse er baseret på en terrænrøthed svarende til terrænklasse II, dvs.  $z_0 = 0,05$  der vurderes at være den typiske terrænklasse for Smedeland.

Vindhastigheden på modellens indløbsrand(e) sættes lig 10 m/s i 10 m højde over terræn, og det er også den hastighed, der bruges som referencehastighed i vindanalysen. Alle vindhastigheder præsenteret i gadeniveau i det følgende er vist relativt til referencehastigheden, dvs. som

$$U_{\text{relativ}} = \frac{U_{\text{simuleret}}}{U_{\text{reference}}} = \frac{U_{\text{simuleret}}}{10\text{m/s}}$$

Dette betyder, at værdier over 1 viser, at vindhastigheden det pågældende sted er større end referencehastigheden på 10 m/s i 10 m højde, mens værdier under 1 betyder at vindhastigheden er mindre end 10 m/s.

Da Weibull-parametrene i Tabel 3.1 svarer til vinddata i 5 m højde, skal der i beregningen af hyppighederne i udtrykket (1) korrigeres for denne højdeforskel, idet den uforstyrrede vindhastighed i 5 m højde er lavere end i 10 m højde. Korrektionsfaktoren beregnes til

$$c = \frac{U(z=10m)}{U(z=5m)} = \frac{\ln\left(\frac{10}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{5}{z_0}\right)} = 1,15$$

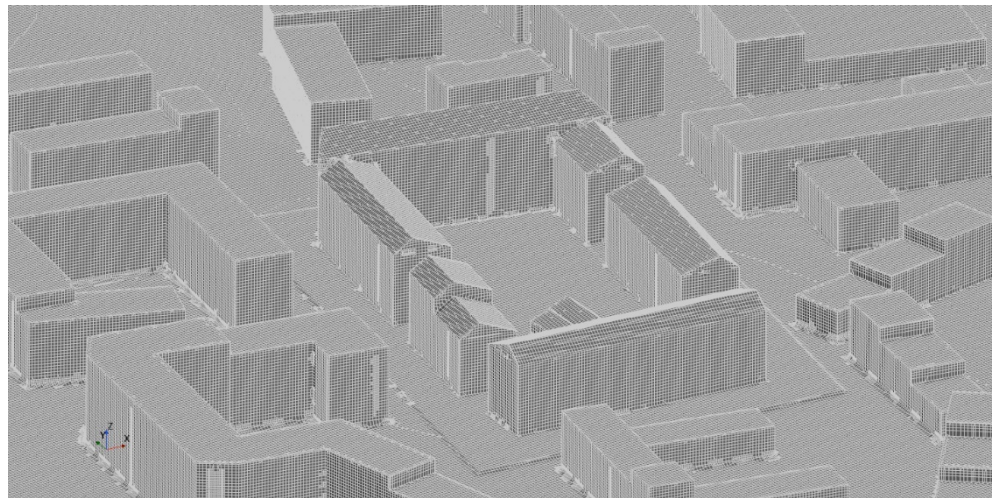


Derved bliver udtrykket for hyppigheden af overskridelse af en given vindhastighed  $U$ :

$$h(V > U) = f \left[ 1 - \left[ 1 - \exp \left[ - \left( \frac{U / (C \cdot U_{\text{relativ}})}{A} \right)^k \right] \right] \right] \quad (2)$$

Det anvendte beregningsnet indeholder ca. 5,6 millioner celler (hexaheder).

Figur 4.1 viser et eksempel på beregningsnettet på bygningernes overflader (hvidt net).



Figur 4.1 Beregningsnet på bygningernes overflader.

## 4.2 Resultater

For hver af de tre vindretninger udtrækkes resultater i en flade beliggende 1,5 m over gadeniveau. Ved brug af formel (2) beregnes hyppighederne for overskridelse af hhv. 5,4 m/s og 7,9 m/s, som er grænseværdierne for siddende aktivitet og for gang/slentren. Disse beregnede hyppigheder lægges sammen til et samlet komfortbillede for hver undersøgt aktivitet.

I disse komfortbilleder vises hyppighederne for overskridelse af komfortgrænserne på 5,4 m/s og 7,9 m/s overalt omkring Smedeland 6. Herved kan man direkte se de områder, hvor grænserne overskrides.

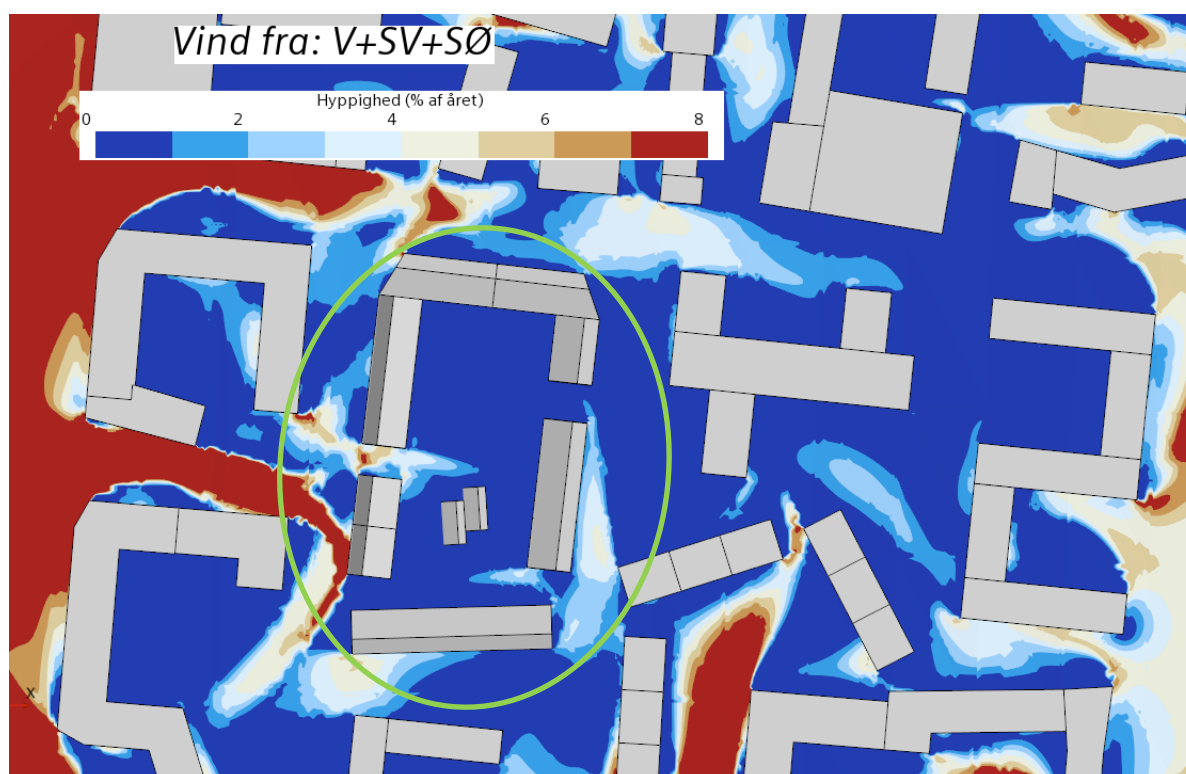
Som nævnt tidligere, ses på følgende to aktiviteter med angivne komfortgrænser:

- > **Siddende** (aktivitet F): vindhastigheden på stedet må ikke overskride 5,4 m/s i mere end 1 % af tiden,
- > **Gang/slentren** (aktivitet C): vindhastigheden på stedet må ikke overskride 7,9 m/s i mere end 4 % af tiden.

For siddende aktivitet bliver det samlede komfortbillede for de tre vindretninger som vist i Figur 4.2. Komfortgrænsen er 1%, dvs. alle områder med en hyppighed under 1% (de mørkeblå områder) har god vindkomfort.

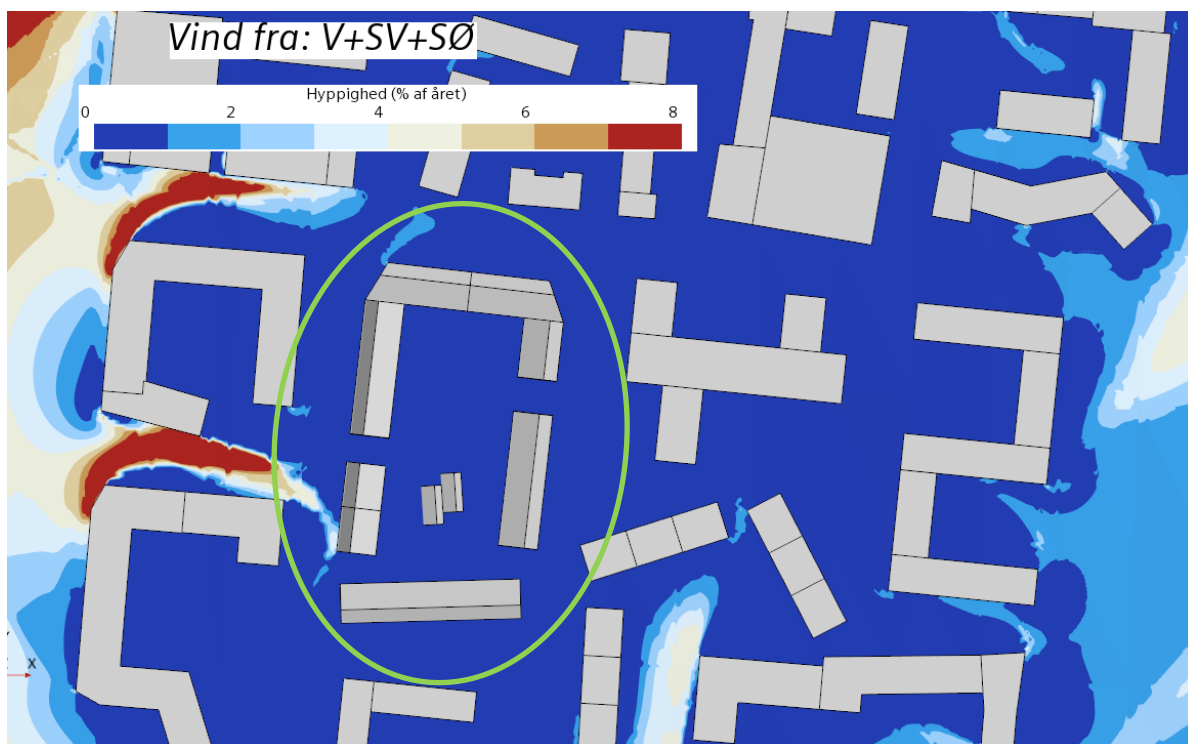
Dette inkluderer gårdområdet på nær i og indenfor portåbningerne. Disse er simuleret som værende helt åbne, dvs. uden isatte porte eller døre. Etableres porte vil det forbedre vindkomforten her.

Omkring Smedeland 6 (markeret i den grønne cirkel i figurerne nedenfor) er der især mindre gode vindforhold i den nord-sydgående gade vest for karreen, ved det sydvestlige hjørne og i gaden nord for. Det vurderes dog, at disse områder ikke er beregnet til stillesiddende aktivitet.



Figur 4.2 Hyppighed for overskridelse af **5,4 m/s** beregnet 1,5 m over gadeniveau. Vind fra V, SV og SØ lagt sammen. **Aktivitet: siddende.**

For gang/slentren bliver det samlede komfortbillede for de tre vindretninger som vist i Figur 4.3. Også her ses god vindkomfort, på nær ved den sydvestlige side af Smedeland 6.



Figur 4.3 Hyppighed for overskridelse af **7,9 m/s** beregnet 1,5 m over gadeniveau. Vind fra V, SV og SØ lagt sammen. **Aktivitet: gang/slentren.**

## 5 Konklusion

Der er udført simuleringer af vindforholdene omkring Smedeland 6 for tre hyppige vindretninger. Disse simuleringer er foretaget for en 3D model med begrænset kontekst (omkringliggende by) for en fremtidig situation.

De tre udvalgte vindretninger er udvalgt som værende de hyppigste for Københavnsområdet, og de svarer samlet til 52% af et gennemsnitligt årsvindklima. Det skal derfor også understreges, at det ikke er det totale årsbillede, der vises i denne vurdering, de resterende vindretninger vil også bidrage til overskridelseshyppighederne vist i figurerne.

Som eksempel på en typisk situation som ikke er medtaget i simuleringerne kan nævnes vind fra NØ – Ø som kan være hyppig i vintermånederne. Disse vindretninger vil kunne give anledning til høje vindhastigheder og dermed ubehageligt vindklima i de østvendte åbninger i bebyggelsen, hvis ikke der etableres porte/døre heri.

En mere detaljeret analyse udføres i senere projektstadier, og eventuelle vindkomfortproblemer forventes at kunne håndteres i den kommende planlægning af landskab og lægiverne.

## 6 Referencer

/1/ Lawson, T. (2001). Building Aerodynamics. Imperial College Press.

/2/ COWI. Vindvurdering – Hersted. Teknisk Notat. Dok. Nr. A224739-005, 21. april 2021.