

## Vindanalyse Felt B/F/K 1 Bryne Stadion

---



Felt B/F/K 1 Bryne Stadion

PROSJEKTIL AS | 11259.013



2016



Trallfavegen

## Vindanalyse

|                                                                  |      |                     |                 |             |          |
|------------------------------------------------------------------|------|---------------------|-----------------|-------------|----------|
|                                                                  |      |                     |                 |             |          |
|                                                                  |      |                     |                 |             |          |
|                                                                  |      |                     |                 |             |          |
| Rev.                                                             | Dato | Tekst               | Utarbeidet      | Kontrollert | Godkjent |
| Oppdragsnavn:                                                    |      | Oppdragsnummer:     | 11259.013       |             |          |
| Felt B/F/K 1 Bryne Stadion                                       |      | Fil/Arkiv:          |                 |             |          |
|                                                                  |      |                     |                 |             |          |
| Oppdragsgiver:                                                   |      | Oppdragsgiver ref.: |                 |             |          |
| Team bygg AS                                                     |      |                     |                 |             |          |
| Dokumenttittel:<br><br>Vindanalyse Felt B/F/K 1<br>Bryne Stadion |      | Dokument nr.:       |                 |             |          |
|                                                                  |      | Saksarb.:           | Asbjørn Warholm |             |          |
|                                                                  |      | Sted/Dato:          | 05.07.2019      |             |          |
|                                                                  |      | Kvalitetssikrer:    | Asbjørn Warholm |             |          |
|                                                                  |      |                     |                 |             |          |
|                                                                  |      |                     |                 |             |          |

## Sammendrag

I gjeldende plan for Bryne stadion 0443.00 er det planlagt et 6 etasjer boligkompleks i nordlig ende av stadion-området. I den forbindelse ønsker man å se på hvilke vindforhold bygningen får, og påvirkningen det har på området rundt. Resultatet er gitt som relative vindhastigheter og som komfortklasser, fra A som er best og E som er dårligst.

Det er sett på 3 interesse områder for boligkomplekset. Bakkenivå, midterste balkong og topp balkonger. Vindsimuleringen viser at ved bakkenivå så er området mellom stadion og vest for bygningen, og fortauet nordøst for bygningen langs Trallfavegen mest utsatt for vind, opp til 50% høyere akselerering av vinden. Begge disse områdene har komfortklasse E for hele året. Tribune området av bygningen på sørsiden har de beste vindforholdene, med komfortklasse A for hele året.

Midterste balkong har gode vindforhold, spesielt på sørsiden, komfortklasse A. Passasjen er det området som har flest utfordringer. Akselerering av vind gjennom passasjen reduseres av de to vindskjermene, men ikke nok til at komfortklassen ikke er høyere enn C gjennom hele året.

Topp balkong har jevnt over gode vindforhold gjennom hele året med komfortklasse A. Ved sørøstlig vind kan man på den vestlige balkongen oppleve litt akselerering av vinden inn til bygningsveggen, men for et såpass lite område at det ikke regnes som signifikant.



# 1 Innholdsfortegnelse

---

|       |                                                         |    |
|-------|---------------------------------------------------------|----|
| 1.    | Situasjonsbeskrivelse .....                             | 6  |
| 2.    | Metrologiske forhold .....                              | 7  |
| 3.    | Komfortkriterier .....                                  | 8  |
| 4.    | Bygninger og terrengets påvirkning på luftstrømmen..... | 9  |
| 5.    | Metode.....                                             | 13 |
| 5.1   | CFD - Simuleringsprogram .....                          | 13 |
| 5.2   | Korrelasjons mellom simulering og vindtunnel .....      | 13 |
| 5.3   | Grensebetingelser .....                                 | 14 |
| 5.3.1 | Simulering sommer .....                                 | 16 |
| 5.3.2 | Simulering resten av året .....                         | 17 |
| 6     | Resultat vindsimulering .....                           | 18 |
| 6.1   | Vind fra nord.....                                      | 18 |
| 6.1.1 | Bakkenivå - Nord .....                                  | 18 |
| 6.1.2 | Midterste balkong - Nord .....                          | 19 |
| 6.1.3 | Topp balkong - Nord .....                               | 19 |
| 6.1.4 | Snitt - Nord .....                                      | 20 |
| 6.2   | Vind fra Sør .....                                      | 21 |
| 6.2.1 | Bakkenivå - Sør .....                                   | 21 |
| 6.2.2 | Midterste balkong - Sør .....                           | 21 |
| 6.2.3 | Topp balkong - Sør.....                                 | 22 |
| 6.2.4 | Snitt - Sør .....                                       | 22 |
| 6.3   | Vind fra Nordvest.....                                  | 23 |
| 6.3.1 | Bakkenivå – Nordvest .....                              | 23 |
| 6.3.2 | Midterste balkong – Nordvest.....                       | 23 |
| 6.3.3 | Topp balkong – Nordvest .....                           | 24 |
| 6.3.4 | Snitt – Nordvest.....                                   | 24 |
| 6.4   | Vind fra Sørøst .....                                   | 25 |
| 6.4.1 | Bakkenivå – Sørøst .....                                | 25 |
| 6.4.2 | Midterste balkong – Sørøst .....                        | 25 |
| 6.4.3 | Topp balkong – Sørøst.....                              | 26 |
| 6.4.4 | Snitt – Sørøst .....                                    | 26 |
| 6.5   | Komfortklasser Sommer .....                             | 27 |
| 6.5.1 | Bakkenivå.....                                          | 27 |
| 6.5.2 | Midterste balkong .....                                 | 27 |
| 6.5.3 | Topp balkong.....                                       | 28 |

|       |                                     |    |
|-------|-------------------------------------|----|
| 6.6   | Komfortklasser resten av året ..... | 28 |
| 6.6.1 | Bakkenivå.....                      | 28 |
| 6.6.2 | Midterste balkong .....             | 28 |
| 6.6.3 | Topp balkong.....                   | 29 |
| 7     | Konklusjon.....                     | 29 |
| 8     | Nøyaktighet og usikkerhet .....     | 29 |
| 9     | Tiltak vindskjerming .....          | 30 |
| 10    | Kilder .....                        | 31 |

# 1. Situasjonsbeskrivelse

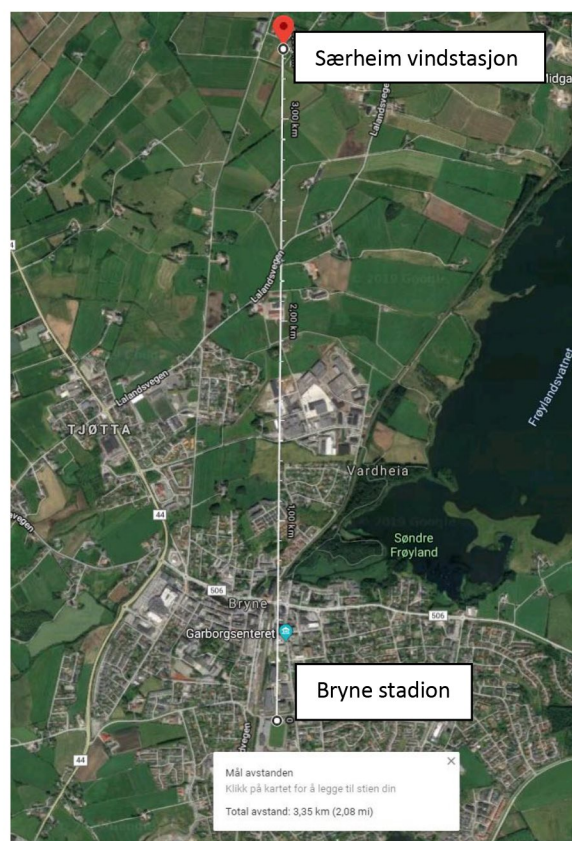
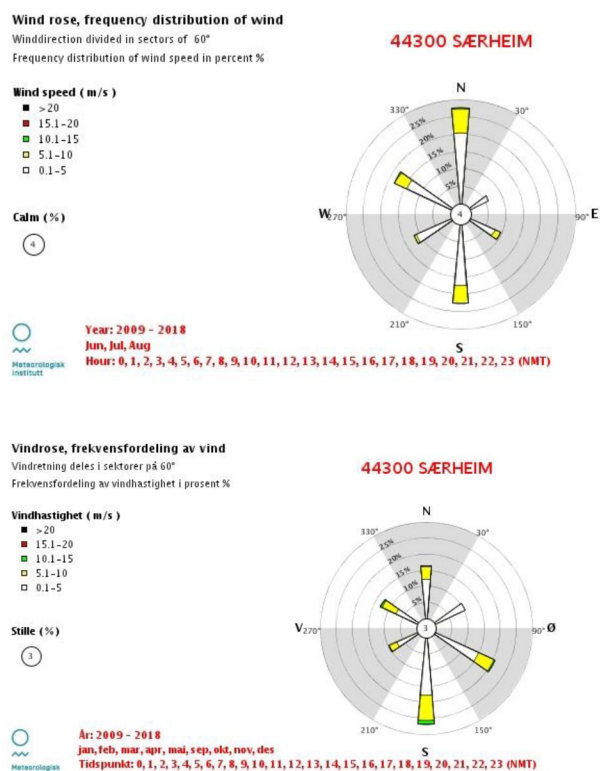
I gjeldende plan for Bryne stadion 0443.00 er det planlagt boliger for opp til 6 etasjer. Lokalområdets bebyggelse kan ha i varierende grad innvirkning på vindstrømmende som treffer planlagt bebyggelse. Det planlagte boligkomplekset ligger i et urban område med eneboliger og vegetasjon i høyde 1-2 etasjer langs Hetlandsvegen. Nord for Trallfaveien ligger Bryne skole og boligblokker med høyde 3-6 etasjer. Sørvest for området ligger tribunen til Brynestadion, ca 16m høyde. Sør for området ligger det ca 270m med gressmatter og grus.



Figur 1 Området for boligkomplekset (Finn.no)

## 2. Metrologiske forhold

Vindretning og vindhastighet på et sted påvirkes av topografien i området. Nærmeste vindstasjon er Særheim som ligger 3,3km i fra det planområdet. Fjell, daler, høyde over havet er blant annet faktorer som avgjør hvilke retninger og hastigheter den lokale vinden kan få. For Særheim og Bryne stadion er terrenget og høyden relativt like, man kan derfor anse at vinden vil komme i samme retning for begge lokasjoner. Deler av lokalområdets bebyggelse, som ligger i modellgrunnlaget, er tatt med i simuleringen.



Figur 2 Vindroser for sommer (øverst) og resten av året (nederst) tatt fra Metrologisk institutt. Avstand til Særheim vindstasjon (høyre) fra Google map.

I figur 2 vises den kumulative frekvensen for vindretningene for hver 60 grader for perioden 2009-2018. I sommermånedene Juni-August er oppholdsområdene ute oftere i bruk, det er derfor ønskelig å se på disse månedene separat for resten av året.



### 3. Komfortkriterier

Vinden påvirker komforten for mennesker i varierende grad. Noen har høyere terskel for hva som er komfortabel vind, for eksempel kan beboere i områder med mye vind ha en høyere terskel for komfortabel vind enn beboere i områder med lite vind. Aktivitetsnivå, påkledning, nedbør, temperatur, kjønn, alder og solstråling er også faktorer som er med på å avgjøre hvordan man oppfatter hva som er en akseptabel vindhastighet. Det skilles mellom mekaniske og termiske effekter av vind. Mekaniske effekter av vind på mennesker spenner fra følelsen av en lett bris på huden for å bli blåst over av en sterk storm. Lawson og Penwarden<sup>[1]</sup> har gitt en utvidet "Land Beaufort Skala" som viser vindeffekter på mennesker (Tabell 1). Den tabulerte vindhastigheten refererer til verdien som måles ved fotgjengerhøyde (1,75 m) over åpent terreng med en aerodynamisk terrengruhet på 0,03 m. Det er viktig å merke seg at måleverdiene er gjennomsnittverdier over perioder på 10 min eller 1 t (stabil vind). Vindeffektene nevnt kan imidlertid være forårsaket av både jevn vind og vindkast (turbulens).

| Vindstyrke i beaufort | Beskrivelse  | Vindhastighet i 1.75m høyde (m/s) | Effekt                                                                                                                                                |
|-----------------------|--------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0                     | Stille       | 0.0-0.1                           |                                                                                                                                                       |
| 1                     | Flau vind    | 0.2-1.0                           | Ingen merkbar vind                                                                                                                                    |
| 2                     | Svak vind    | 1.1-2.3                           | Vinden kan føles på fjeset                                                                                                                            |
| 3                     | Lett bris    | 2.4-3.8                           | Håret påvirkes, klær påvirkes, avis vanskelig å lese                                                                                                  |
| 4                     | Laber bris   | 3.9-5.5                           | Støv og løst papir løftes, håret rotes til                                                                                                            |
| 5                     | Frisk bris   | 5.6-7.5                           | Vind følt på kroppen, fare for å snuble når man entrer ett vindfullt område                                                                           |
| 6                     | Liten kuling | 7.6-9.7                           | Vanskelig å bruke paraply, håret står i vinden, vanskelig å gå rett, sidevind kraft samme som kraften for å gå fremover, lyden fra vinden ubehagelig. |
| 7                     | Stiv kuling  | 9.8-12.0                          | Vanskeligere å gå                                                                                                                                     |
| 8                     | Sterk kuling | 12.1-14.5                         | Generelt hindret fremgang, store vanskeligheter med balansen i vindkast.                                                                              |
| 9                     | Liten storm  | 14.6-17.1                         | Folk blåser over ende                                                                                                                                 |

Tabell 1- Utvidet Land Beaufort skala<sup>[1]</sup>

Norge har ingen nasjonale standarder for vindkomfort, derfor brukes standarden NEN 8100:2006<sup>[2]</sup> som er de nasjonale vindkriteriene for komfort i Nederland. Komfortklassene i den nederlandske standarden er gitt som sannsynligheter per timer i året der vindhastigheten ikke overstiger 5 m/s (laber bris). I motsetning til den utvidet Land Beaufort skalaen, baserer disse komfortkriteriene seg på jevn vind, og tar ikke med effekten av turbulens.

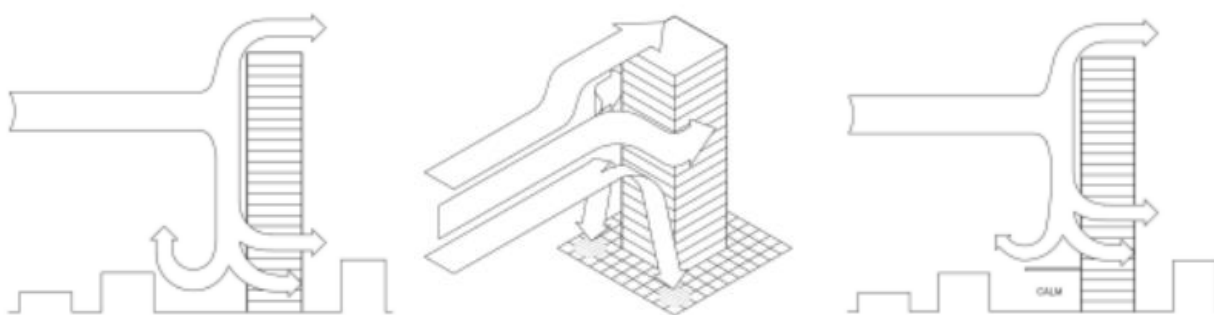
| Sannsynligheten for at vindhastigheten skal overstige 5 m/s (i % timer i året) | Komfort klasse | Aktivitet  |                 |         |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------|-----------------|---------|
|                                                                                |                | Rask gange | Rusler av gårde | Sitter  |
| <2.5                                                                           | A              | God        | God             | God     |
| 2.5-5.0                                                                        | B              | God        | God             | Moderat |
| 5.0-10                                                                         | C              | God        | Moderat         | Dårlig  |
| 10-20                                                                          | D              | Moderat    | Dårlig          | Dårlig  |
| >20                                                                            | E              | Dårlig     | Dårlig          | Dårlig  |

Tabell 2- Komfortklasser<sup>[3]</sup>

## 4. Bygninger og terrengets påvirkning på luftstrømmen

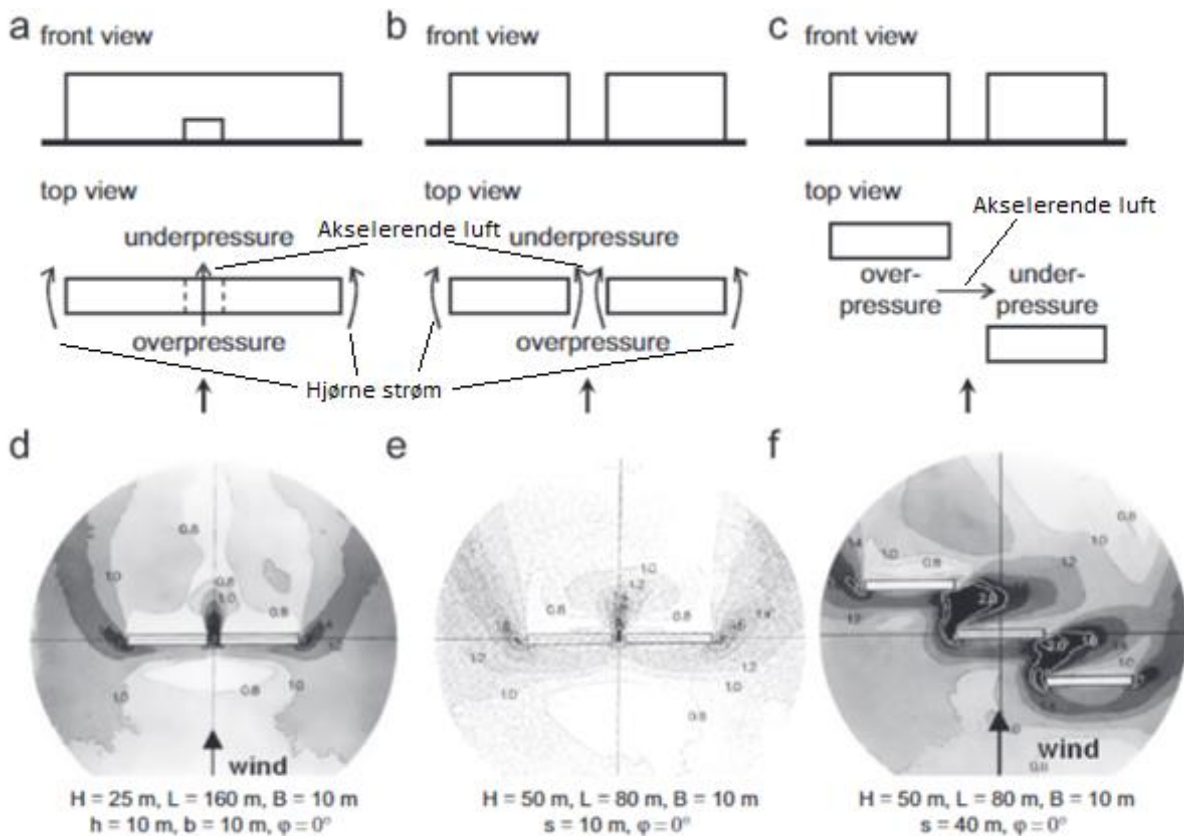
Ved opparbeidelse av ny bebyggelse, vil geografisk plassering, geometrien, innbyrdes posisjonering og orientering av den nye bygningsmassen påvirke vindstrømmene i området. Når det stilles krav til vindklimaet for oppholds- og gjennomgangsarealer, ønsker man å finne ut hvilke positive og negative innvirkninger den nye bygningsmassen har på vindklimaet. En CFD simulering tar i beregning de nevnte faktorene.

Høye bygninger blir ofte utsatt for mer vind da vinden vanligvis øker jo høyere du kommer over bakkenivå. Har bygningen en rettlinjet overflate normalt mot den framtreddende vindretning, så kan et fenomen som kalles downwash oppstå. Den raskere vinden øverst på bygningen vil strømme ned overflaten av bygningen før den når bakken og akselerer rundt hjørnene på bakkenivå. Innganger på bakkeplan på hjørne av bygningen bør derfor unngås. En stor baldakin over første etasje kan avskjære dette fenomenet. <sup>[3]</sup>



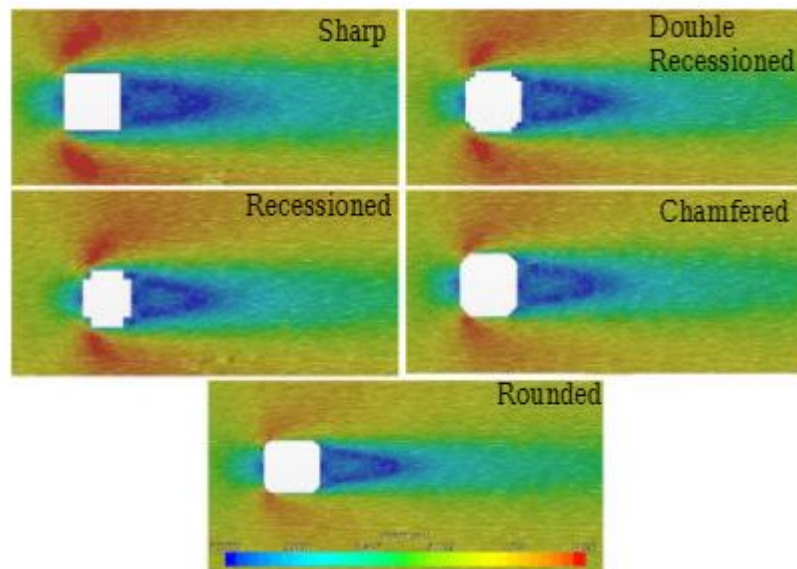
Figur 3 Downwash for høye bygninger. Bygning med baldakin over første etasje (høyre bygning) <sup>[4]</sup>

På samme måte som strømhastigheten i en elv øker ved innsnevring, så øker også vindhastigheten mellom to bygningsmasser som står normalt på den dominerende vindretningen (Venturi effekten). Det skapes et positivt trykk på vindsiden, og negativt trykk på lesiden. Det samme gjelder for bygninger med en tunnel igjennom bygningen. Faktorer som nabobebyggelse, terreng og vegetasjon rundt bebyggelsen vil også ha en påvirkning på luftstrømmene.



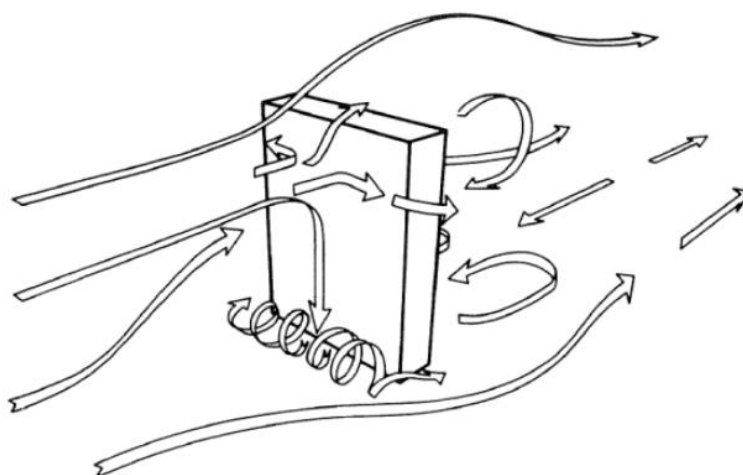
Figur 4. Viser hvordan overtrykk og undertrykk akselerer luften igjennom: a) En tunnel i bygningen. b) En passasje mellom to bygninger. c) En passasje mellom to parallelle flyttede bygninger.<sup>[5][1]</sup> (d-f) viser de tilsvarende amplifikasjonsfaktorene oppnådd ved hjelp av testing i en vindtunnel.<sup>[6]</sup>

Når luften passerer et hushjørne økes vindhastigheten, da trykket på le siden er lavere enn på lo siden. Trapper man ned hjørnet i en eller flere deler, så reduseres vindhastigheten rundt hjørnet. Et chamfer hjørne reduserer hastigheten ytterligere, mens et rundet hjørne reduseres hastighet enda mer.



Figur 5. Vindhastighet rundt forskjellige type hjørner. Blått er lavest hastighet, rødt høyest.<sup>[7]</sup>

Høye bygninger fanger ofte opp mer vind og har høyere akselerasjon på nedgående vind på lo siden, da vinden som treffer bygningen høyere oppe er ofte raskere. En del av luften som treffer bakken blir presset opp igjen og møter nedstrømmene luft, noe som skaper en roterende effekt. Vinden som passerer rundt hjørnene er med å skape ytterligere turbulens, og retningen til denne luftstrømmen er ofte forskjellig fra hovedretningen til vinden. Dette kan skape overaskende effekter, noe som kan være farlig eller i det minste ubehagelig for mennesker i nærheten. Hvilket hjørne vinden er mest fremtredende på er bestemt av fasadens retning mot vinden. Vinden som fortsetter rundt bygget, både over og på siden, skaper et undertrykk på baksiden, som igjen trekker til seg luft, og skaper videre sirkulasjon og fluktuasjoner. <sup>[1]</sup>



Figur 6. Vindstrømmer rundt bygning <sup>[1]</sup>



Vinden som treffer planlagt bebyggelse blir påvirket av terrenget, vegetasjonen og bebyggelsen i området rundt. De fleste prosjekter har ingen målestasjoner på området som kan si noe om hvordan disse faktorene påvirker vinden i området. Praktisk estimering av terrengruhet er derfor ofte basert på publiserte ruhetsverdi for lignende topografi.

| Klasse-Navn      | Ruhet<br>lengde(m) | Landskapsbeskrivelse                                                                                                                                                                                                           |
|------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1: Sjø           | 0.0002             | Åpen sjø eller innsjø, snødekket flatt slett, flat ørken, asfalt og betong, med et fritt område på flere kilometer.                                                                                                            |
| 2: Jevnt         | 0.005              | Landoverflater uten særpreg, merkbare hindringer og med ubetydelig vegetasjon. For eksempel strender og myr.                                                                                                                   |
| 3: Åpent         | 0.03               | Flatt åpent land med lav vegetasjon, for eksempel gress, beite land uten vindstoppere, lyng, myr og tundra, rullebanen på flyplasser.                                                                                          |
| 4: Ujevnt åpent  | 0.10               | Kultivert eller naturlig område med lave avlinger eller planter, eller moderat åpent land med sporadiske hindringer, for eksempel lave hekker, isolerte lave bygninger eller trær.                                             |
| 5: Ujevnt        | 0.25               | Kultivert eller naturlig område med høye avlinger eller avlinger av varierende høyde, og spredte hindringer.                                                                                                                   |
| 6: Veldig ujevnt | 0.5                | Landskap med mange store hindringer (store gårder, skog) adskilt av åpne områder. Lav tetthet på plantet stor vegetasjon som buskas, frukthager og ung skog.                                                                   |
| 7: Skimming      | 1.0                | Landskap som regelmessig er dekket med store hindringer av samme størrelse, med åpne områder av samme størrelsesorden som hindringshøyder; for eksempel eldre skoger, tett bebygget område uten mye variasjon i bygningshøyde. |
| 8: Kaotisk       | ≥2                 | Bysentre med blanding av lav- og høye bygninger, eller store skoger av uregelmessig høyde med mange åpne områder.                                                                                                              |

Tabell 3- Ruhetsklasser<sup>[8]</sup>

## 5. Metode

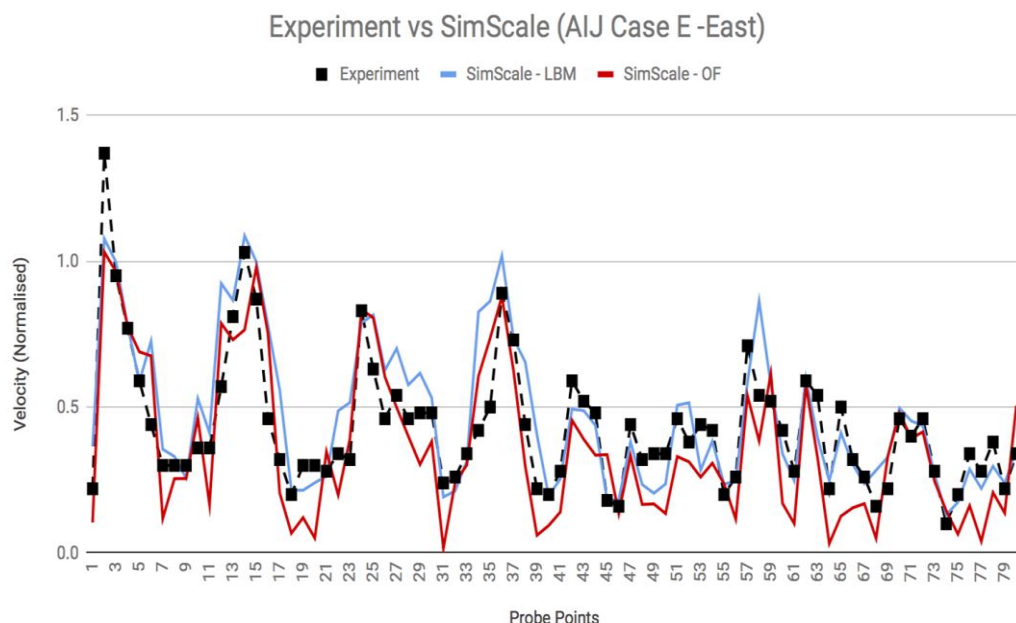
### 5.1 CFD - Simuleringsprogram

For å simulere bygningens påvirkning på vinden er SimScale's Computational Fluid Dynamics program brukt, nærmere bestemt Lattice Boltzmann-metoden (LBM). Denne analysetypen brukes til å simulere forbigående effekter av ekstern strømming rundt objekter. Det antas at væsketetthetsvariasjoner er ubetydelige, hvilket vanligvis er gyldig når hastigheter og temperaturgradienter er små (slik som ved vind). I simuleringen er vinden satt som ukomprimerbar. Kort fortalt splitter programmet området rundt bygningen opp i et domene med mange celler, og ved hver node brukes det kollisjonsmodeller for å forutsi hvordan luftpartiklene beveger seg.

For turbulens brukes K-omega SST DDES turbulens modell, denne modelleringsteknikken tar for seg de små virvlene som skapes helt inn til bygningsflaten. Reynolds skaleringsfaktoren i denne simuleringen er 0.01, dette representerer en vindtunnel skala på 1:100. Reynolds konstanten brukes til å definere andelen turbulens, for ytterligere informasjon se [her](#).

### 5.2 Korrelasjons mellom simulering og vindtunnel

Fluidodynamikk er en komplisert del av fysikken, blant annet forstår man ikke alle samspillene som skjer når turbulens oppstår.<sup>[9]</sup> Forskjellige matematiske modeller blir brukt for å prøve å tilnærme seg hva som skjer i virkeligheten. For å validere korrelasjonen mellom simulering og virkelig forhold, så sammenligner man med en fysisk modell i en vindtunnel. Pearsons korrelasjonskoeffisient for simuleringen og vindtunnel vil variere mellom simuleringsmodeller. For vindsimulering for fotgjenger har denne koeffisient verdien blitt bevist til å ligge mellom 0.7-0.8. Se [her](#) for et validerings prosjekt for en lignende simulering som i denne rapporten.

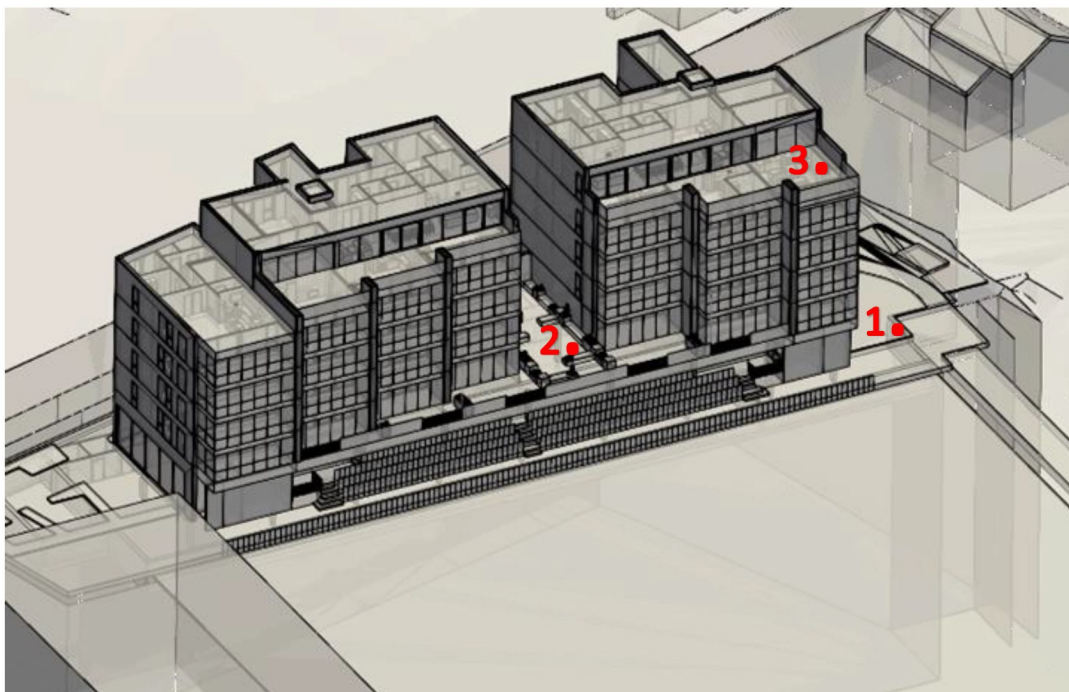


Figur 7. Korrelasjonen mellom LBM DDES simulering og vindtunnel

### 5.3 Grensebetingelser

I denne simuleringen er det valgt 3 områder av interesse:

1. Bakkenivå, hvor fotgjengerne beveger seg.
2. Midterste balkong, hvor man for det meste sitter og står.
3. Topp balkong, hvor man for det meste sitter.



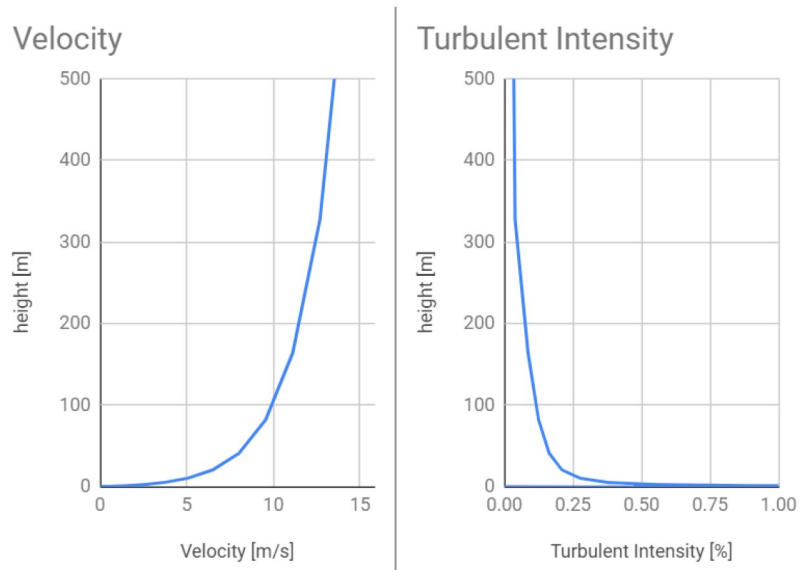
Figur 8. Områder av interesse

For hvert område er simuleringen gjort i 2m høyde over bakke/gulv.

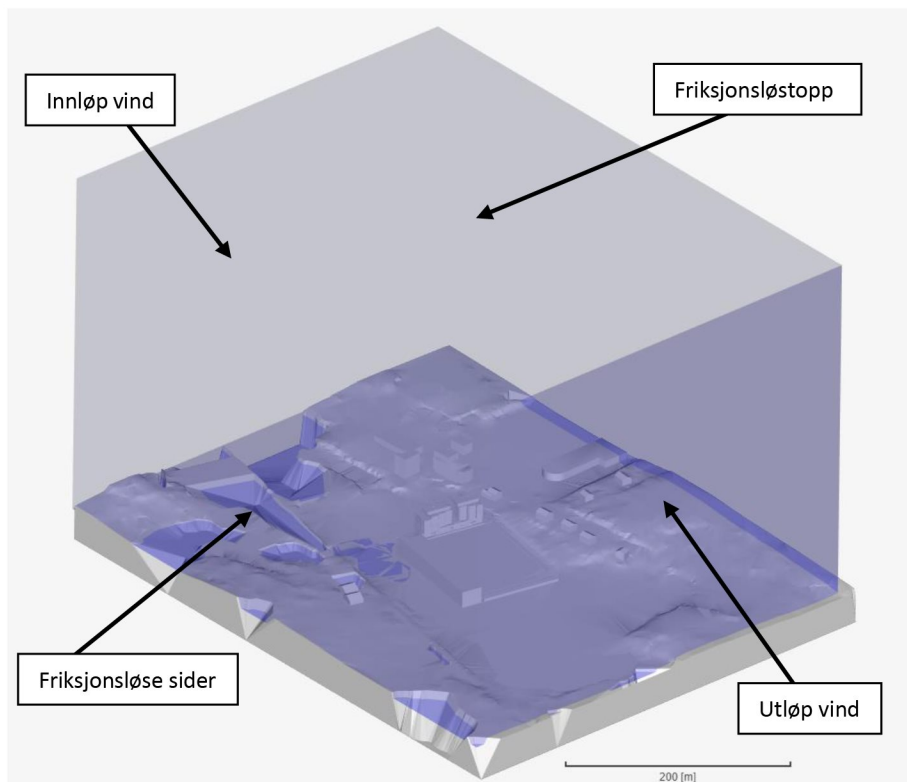
Det er gjort en simulering av sommermånedene Juni, Juli og August, siden det da er en høyere sannsynligheten for at folk oppholder seg ute i den varmere delen av året, og en for resten av året.

Fra Særheim vindstasjon er vindhastigheten delt opp i intervaller på 5. Minste gruppe går fra 0,1-5 m/s, alle hastigheter over kan derfor beregnes som en prosent i løpet av året, da den nederlandske komfortstandarden bare tar i betraktning vindhastigheter over 5m/s. Denne gruppen representerer 80% av frekvensen til vinden. Resultatet av vindsimuleringen ved høyere vindhastighet (10 m/s) er ikke vist i denne rapporten da den relative vindhastigheten vil være det samme ved høyere vindhastigheter.

Friksjon i fra bakken påvirker vinden. Jo høyere man kommer jo mindre påvirkes luften, opp til et punkt på ca 1-2km der friksjon fra bakken ikke har noe effekt i det hele tatt. Høyden opp til dette punktet kalles grenselaget. I analysen av simuleringene er et atmosfærisk grenselag på 5 m/s ved 10m høyde valgt. Det er valgt en ruhetslengde på 1,2m, noe som er mellomting mellom klasse 7 og 8 fra tabell 3.



Figur 9. Grenselag for 5 m/s



Figur 10. Grensebetingelser for simuleringsområdet.

### 5.3.1 Simulering sommer

I tabellen nedenfor vises frekvensen/hyppheten vinden har blåst innenfor retningene som vises i vindrosen nederst. Dette gjelder for de 10 siste årene ved en høyde på 10m ved Særheim vindstasjon. Vindhastigheten er delt opp i 0,1-5 m/s, 5,1-10 m/s og 10,1-15,0 m/s. Alle scenariene er simulert utenom de som har en sannsynlighet under 2% (røde celler). Det vil si at sammenlagt er det 3% av året som ikke er simulert. De fremtredende vindretningene for sommermånedene er Nord, Nordvest og Sør.

| Vindretning grader<br>fra og til |      | 330  | 30  | 90  | 150  | 210  | 270  | Kum.fr. |
|----------------------------------|------|------|-----|-----|------|------|------|---------|
|                                  |      | 29   | 89  | 149 | 209  | 269  | 329  |         |
| Vindhastighet                    |      |      |     |     |      |      |      | 2,5     |
| 0,1                              | 5,0  | 20,2 | 5,9 | 7,9 | 17,5 | 11,1 | 14,1 | 80,9    |
| 5,1                              | 10,0 | 7,2  |     | 1,7 | 5,2  | 0,7  | 3,7  | 99,3    |
| 10,1                             | 15,0 | 0,2  |     | 0,0 | 0,2  | 0,0  | 0,2  | 100,0   |
| 15,1                             | 20,0 |      |     |     |      |      |      |         |
| >                                | 20,0 |      |     |     |      |      |      |         |

Tabell 4 Vindfrekvens sommer

### Wind rose, frequency distribution of wind

Winddirection divided in sectors of 60°

Frequency distribution of wind speed in percent %

#### Wind speed ( m/s )

- > 20
- 15.1-20
- 10.1-15
- 5.1-10
- 0.1-5

#### Calm ( % )

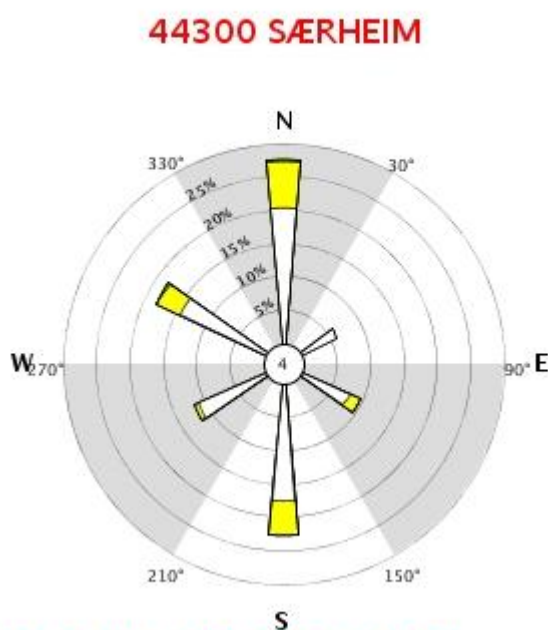
4



Year: 2009 - 2018

Jun, Jul, Aug

Hour: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 (NMT)



Figur 11 Vindrose Sommer

### 5.3.2 Simulering resten av året

Resten av året er alle scenarioene simulert foruten om de som har en frekvens under 3%. Totalt er det 5% av tiden i løpet av året som ikke er simulert. De fremtredende vindretningene resten av året er Sør, Sørøst og delvis Nord.

| Vindretning grader<br>fra og til |      | 330  | 30   | 90   | 150  | 210 | 270 | Kum.fr. |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|-----|-----|---------|
|                                  |      | 29   | 89   | 149  | 209  | 269 | 329 |         |
| Vindhastighet                    |      |      |      |      |      |     |     | 1,9     |
| 0,1                              | 5,0  | 12,2 | 10,4 | 15,0 | 18,0 | 7,0 | 7,3 | 72,9    |
| 5,1                              | 10,0 | 4,0  | 0,0  | 5,3  | 7,9  | 2,7 | 4,8 | 97,6    |
| 10,1                             | 15,0 | 0,3  |      | 0,3  | 1,0  | 0,2 | 0,5 | 99,9    |
| 15,1                             | 20,0 | 0,0  |      | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 0,0 | 100,0   |
| >                                | 20,0 | 0,0  |      |      |      |     | 0,0 |         |

Tabell 5 Vindfrekvens resten av året

### Vindrose, frekvensfordeling av vind

Vindretning deles i sektorer på 60°

Frekvensfordeling av vindhastighet i prosent %

#### Vindhastighet ( m/s )

- > 20
- 15.1-20
- 10.1-15
- 5.1-10
- 0.1-5

#### Stille (%)

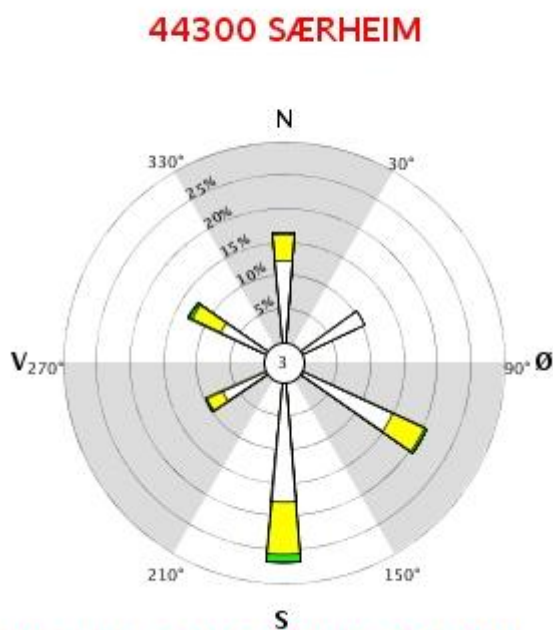
3



År: 2009 - 2018

jan, feb, mar, apr, mai, sep, okt, nov, des

Tidspunkt: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 (NMT)



Figur 12 Vindrose resten av året



## 6 Resultat vindsimulering

For å finne ut effekten av bygningens geometri på vinden rundt bygningen, ønsker man å finne den relative vindhastigheten. Alle celler som har en vindhastighet over eller under innløpshastigheten på 5 m/s, er på grunn av bygningens geometri. Den relative vindhastigheten for vindfrekvensen mellom 0.1-5 m/s finner man ved å dele vindhastigheten for hver celle med 5 m/s.

$$U_{rel} = \frac{\text{Vindhastighet i aktuell celle}}{5\text{m/s}}$$

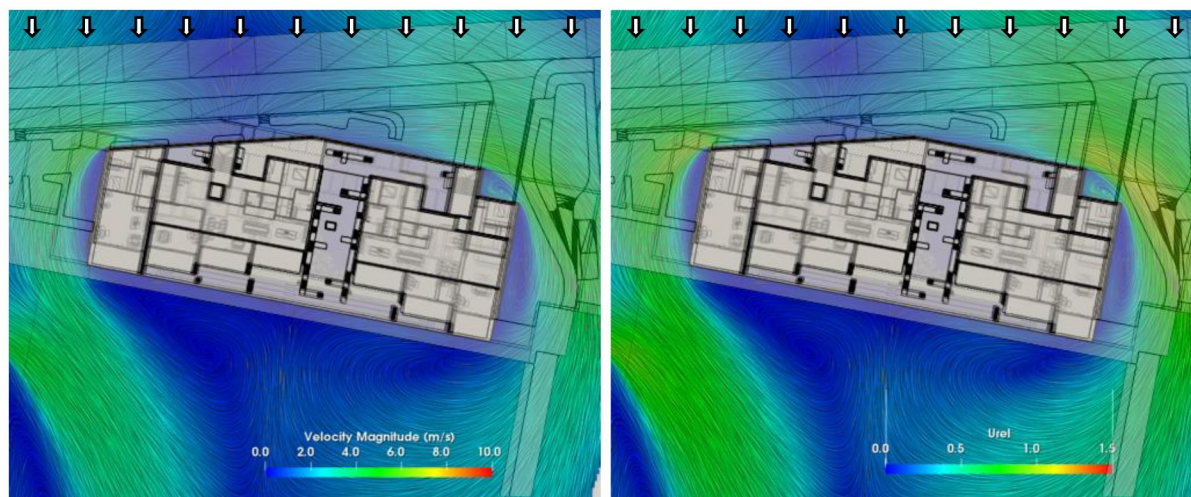
En  $U_{rel}$  på 0,5 vil si vindhastigheten på det aktuelle punktet er 50% av innløpshastigheten.

De dominerende vindretningene er Nord, Sør, Nordvest og Sørøst, man ønsker derfor å se nærmere i detalj på hvordan vinden er ved uteoppholdsarealene ved disse vindretningene. Illustrasjonene viser faktisk vindhastighet og relativ vindhastighet for de 3 interesseområdene, bakkenivå, midterste balkong og topp balkong. I siste del av resultatet ser man komfortklassene for sommermånedene og resten av året.

### 6.1 Vind fra nord

#### 6.1.1 Bakkenivå - Nord

Med vind fra nord ved bakkenivå så er det ingen spesifikke områder som skiller seg ut. Akselerering av vinden rundt hjørnene er som forventet, opp til 25-30% raskere på nordøstlig hjørne. Bakevjen for tribunen i sør har veldig lav hastighet  $\leq 1\text{m/s}$ .



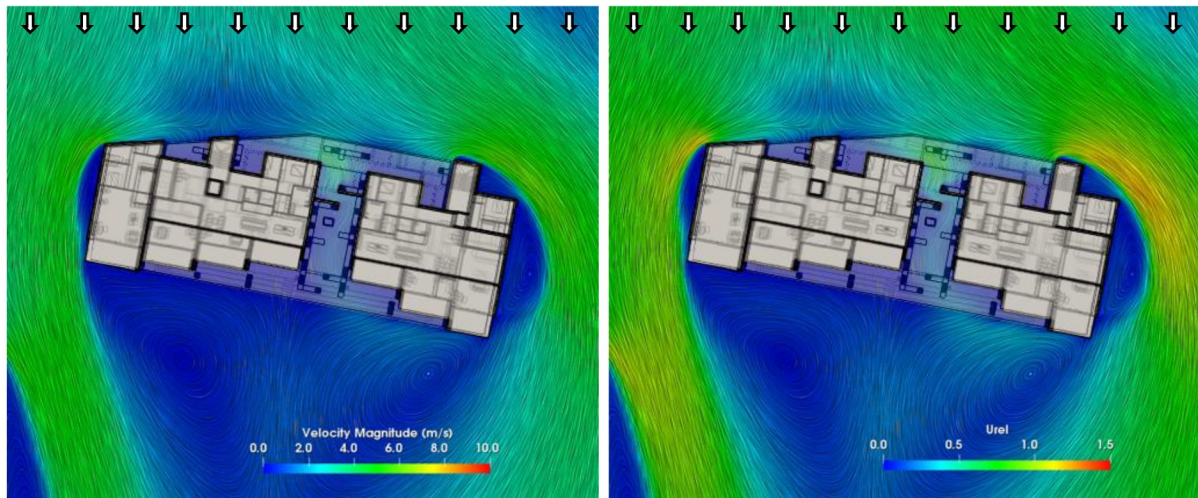
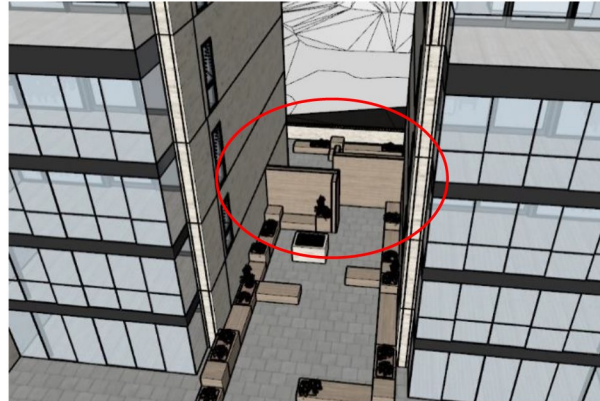
Figur 14. Vind fra nord (5 m/s) ved bakkenivå. Vindhastighet (venstre) og relativ vindhastighet (høyre).



### 6.1.2 Midterste balkong - Nord

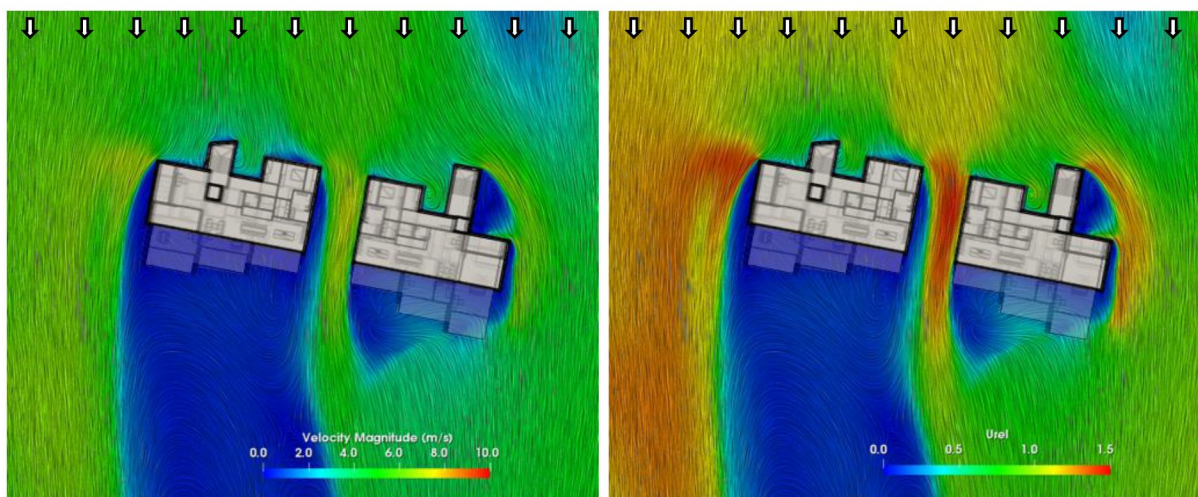
Simuleringen viser at de to vindskjermingene (rød sirkel) som er satt opp i utendørs passasjen reduserer Venturi effekten ved 2m over midterste balkong betraktelig. Foran vindskjermingen vil det bli et stagnasjonspunkt, og en stor andel av vinden vil rotere og blåse videre over vindskjermingen.

Figur 14. Vind fra nord (5 m/s) ved midterste balkong. Utsnitt av modell til høyre. Vindhastighet (under venstre) og relativ vindhastighet (under høyre).



### 6.1.3 Topp balkong - Nord

Som forventet så er hastigheten i øvre del gjennom passasjen mye høyere når det ikke finnes noen form for vindskjerming. Hastigheten er også høyere fordi området er høyere oppe i grenselaget. Sørsiden av bygningen har god dekning i fra vinden.

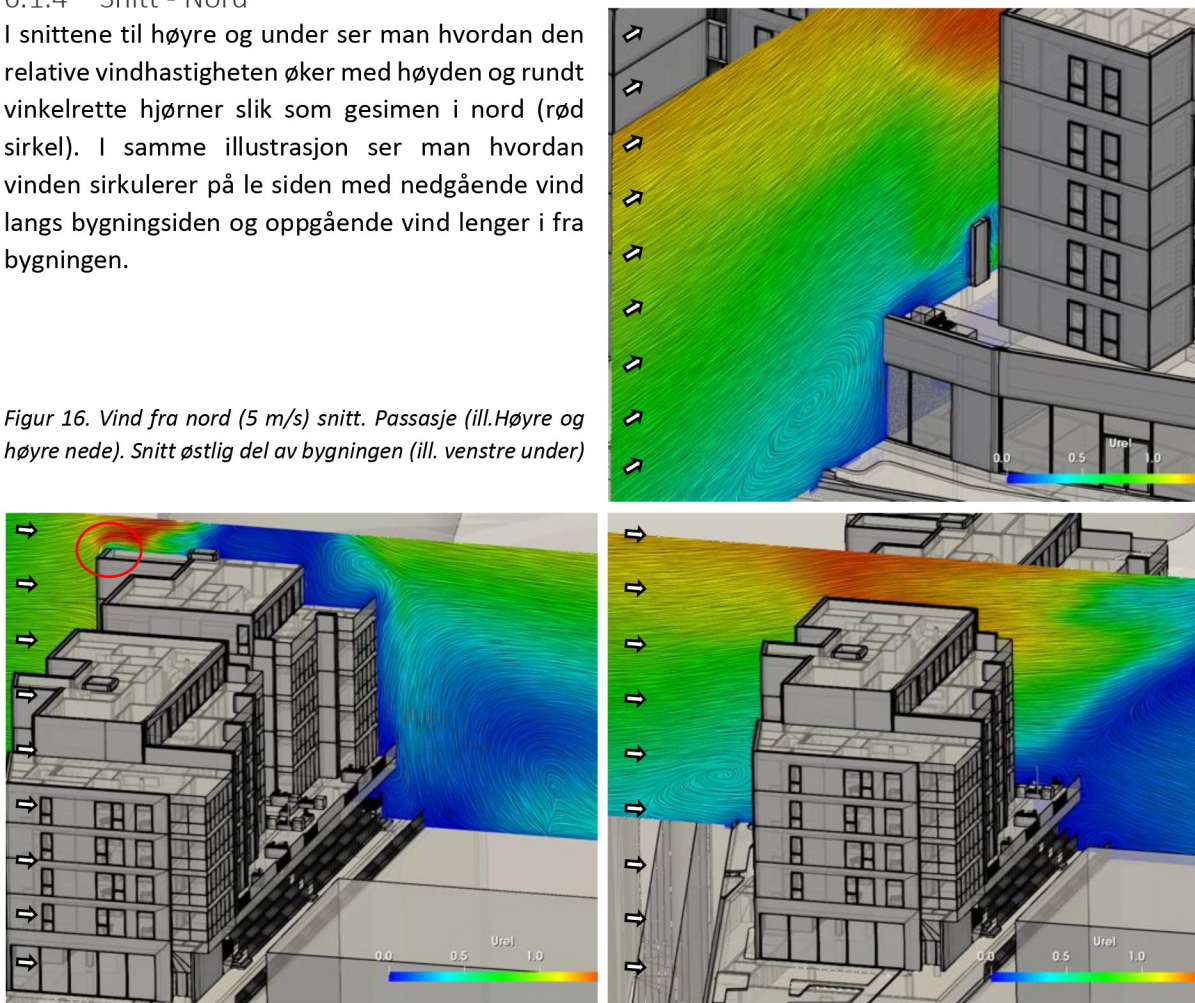


Figur 15. Vind fra nord (5 m/s) ved topp balkong. Vindhastighet (venstre) og relativ vindhastighet (høyre).

#### 6.1.4 Snitt - Nord

I snittene til høyre og under ser man hvordan den relative vindhastigheten øker med høyden og rundt vinkelrette hjørner slik som gesimen i nord (rød sirkel). I samme illustrasjon ser man hvordan vinden sirkulerer på le siden med nedgående vind langs bygningsiden og oppgående vind lenger i fra bygningen.

Figur 16. Vind fra nord (5 m/s) snitt. Passasje (ill. Høyre og høyre nede). Snitt østlig del av bygningen (ill. venstre under)

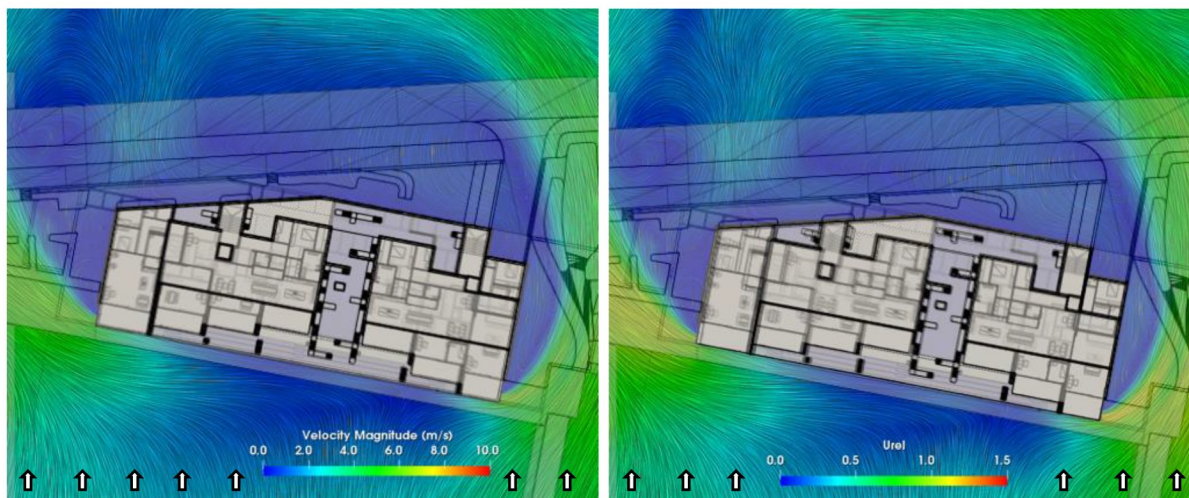




## 6.2 Vind fra Sør

### 6.2.1 Bakkenivå - Sør

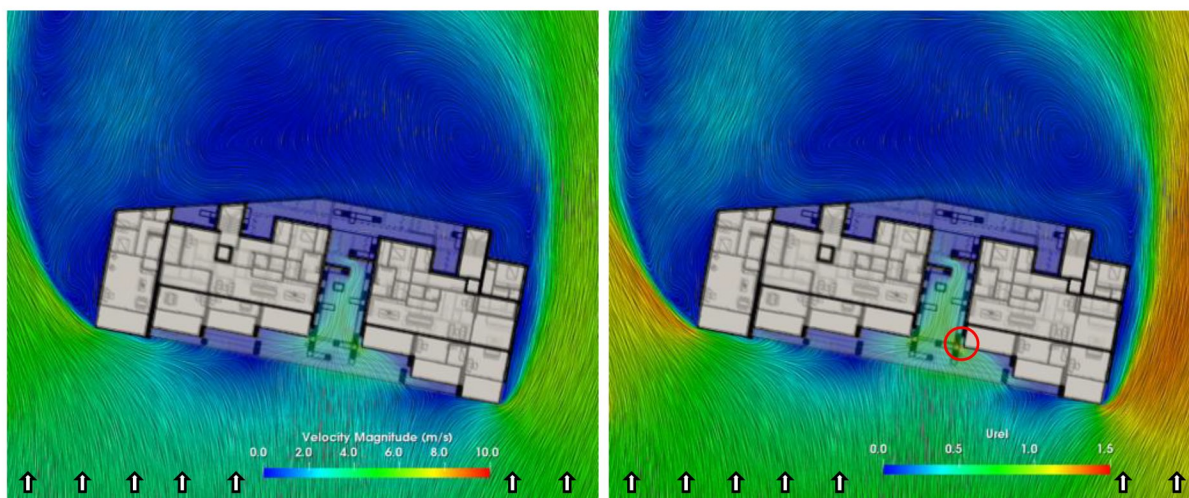
Tribune området ved bakkeplan som ligger i sørlig del av bygningen vil få en redusert vindhastighet på ca 70-80%. Rundt hjørnene vil hastigheten stige opp til 25%.



Figur 17. Vind fra sør (5 m/s) ved bakkenivå. Vindhastighet (venstre) og relativ vindhastighet (høyre).

### 6.2.2 Midterste balkong - Sør

For midterste balkong så vil større deler av uteområdet være utsatt for høyere vindhastighet enn ved vind i fra nord. Likevel vil ikke hastigheten overstige 5 m/s, foruten om hjørnet som er merket med en rød sirkel.

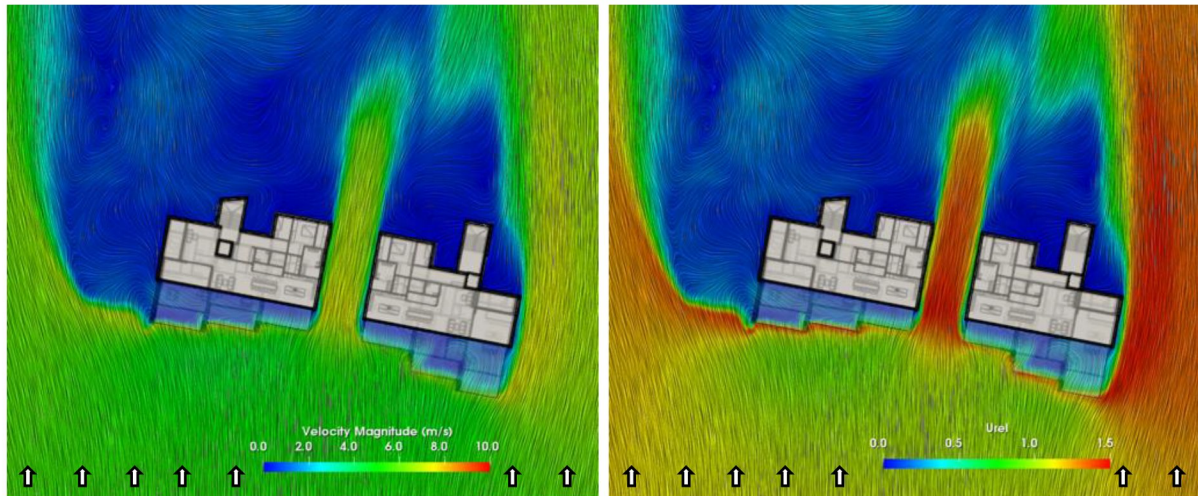


Figur 18. Vind fra sør (5 m/s) ved midterste balkong. Vindhastighet (venstre) og relativ vindhastighet (høyre).



### 6.2.3 Topp balkong - Sør

For sørlig vind så er balkongen tilstrekkelig beskyttet der ingen områder overstiger 50% av vindhastigheten.

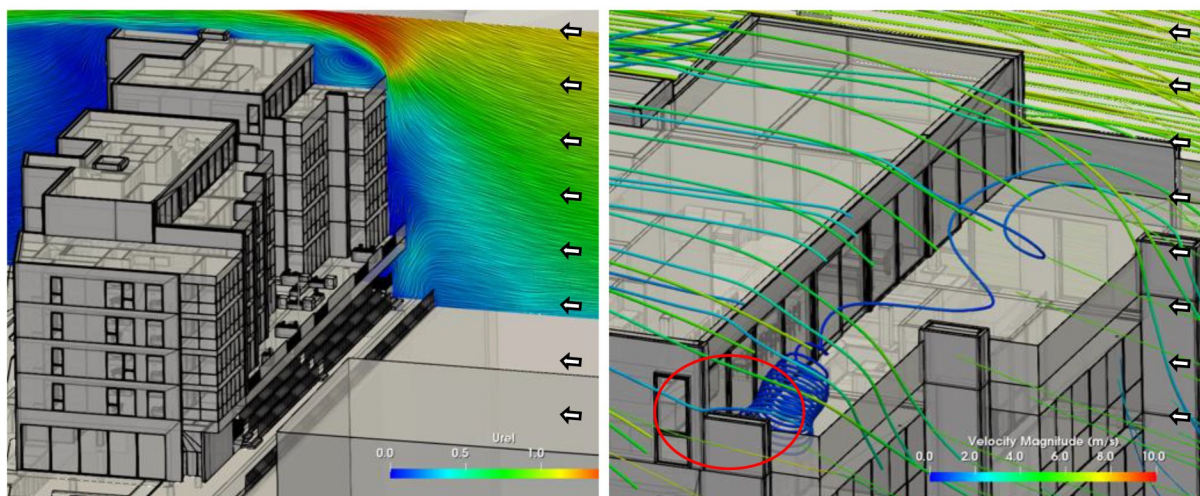


Figur 19. Vind fra sør (5 m/s) topp balkong. Vindhastighet (venstre) og relativ vindhastighet (høyre).

### 6.2.4 Snitt - Sør

Snittene under viser hvordan rekkverket på topp balkongen forskyver hovedstrømmen av vind høyt nok til at den uanstrengt kommer seg over taket. Resultatet blir et lunt område der den relative hastigheten kommer under 50% av vindhastigheten. Luften på balkongen vil virke som en pute og vil sirkulere på grunn av den forbipasserende vinden. Hastigheten på denne sirkulasjonen øker jo nærmere hjørnene av balkongen du kommer, da vinden blir akselerert av raskere vind gjennom passasjen (se rød sirkel).

Figur 20. Vind fra sør (5 m/s) snitt. Passasje (ill. høyre topp). Snitt østlig del av bygningen (ill. venstre og høyre under).



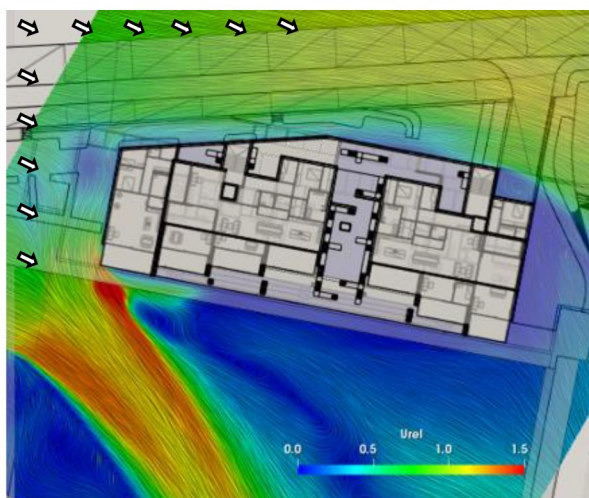
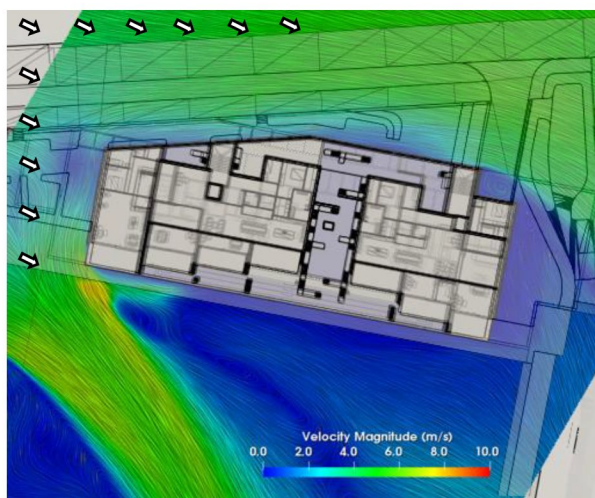


## 6.3 Vind fra Nordvest

### 6.3.1 Bakkenivå – Nordvest

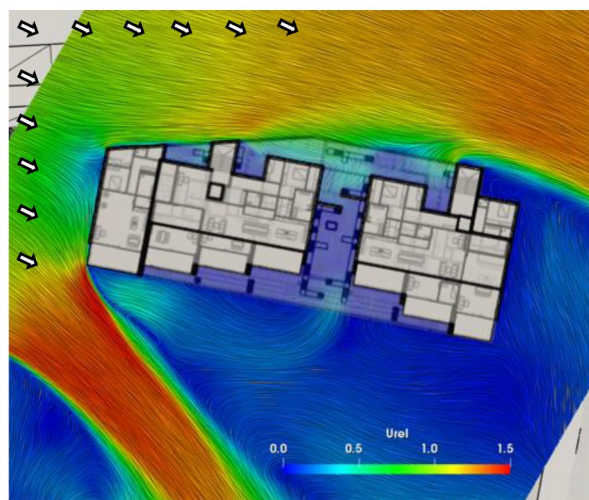
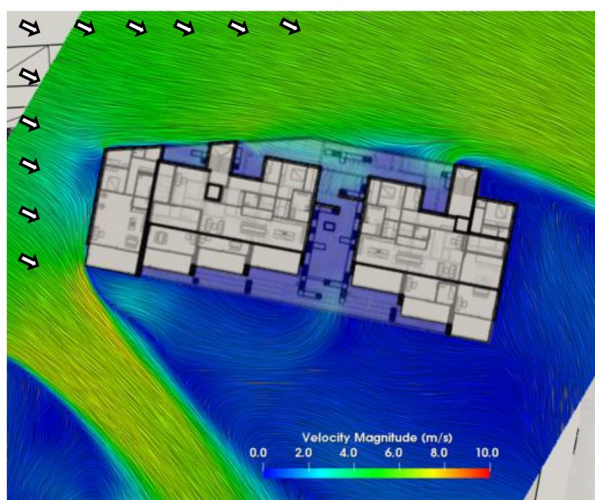
Veggen til eksisterende tribune og nytt bygg vil fungere som en trakt, og akselerere vinden opp til 50% av vindhastigheten ved vind i fra Nordvest. Rød sirkel på bildet til venstre viser hvor ny bebyggelse vil være.

Figur 21. Vind fra Nordvest (5 m/s) ved bakkenivå. Eksisterende tribune (ill. Høyre topp). Vindhastighet (ill venstre bunn) Relativ vindhastighet (ill høyre bunn)



### 6.3.2 Midterste balkong – Nordvest

For balkongområdet er vindhastigheten redusert. Inngangspartiet til passasjen og sørvestlig del av balkongen er de områdene med minst reduksjon av vinden.

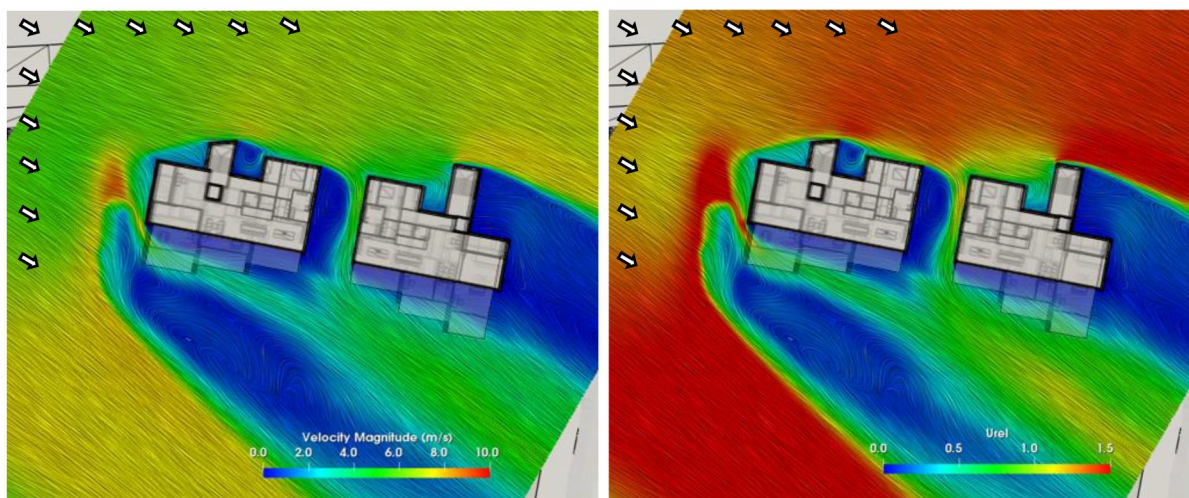


Figur 22. Vind fra Nordvest (5 m/s) ved midterste balkong. Vindhastighet (venstre) og relativ vindhastighet (høyre).



### 6.3.3 Topp balkong – Nordvest

Simuleringsplanet er 2 m over gulvet for toppbalkong, rekkverket rundt balkongen er 1,5m på det høyeste. Rekkverket beskytter derfor ikke mot vinden i stå høyde, og akselerering av vinden kan sees på sørvestlig hjørne.

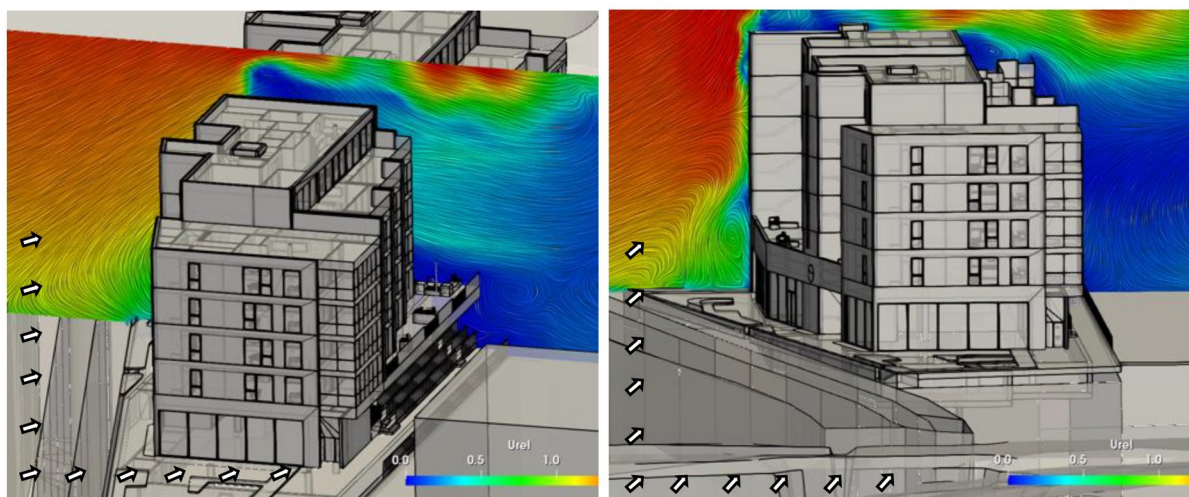


Figur 23. Vind fra Nordvest (5 m/s) ved topp balkong. Vindhastighet (venstre) og relativ vindhastighet (høyre).

### 6.3.4 Snitt – Nordvest

Snittene viser hvordan både midterste og topp balkong er beskyttet fra nordvestlig vind for store deler av balkongen.

Figur 24. Vind fra Nordvest (5 m/s) Snitt vestlig del av bygningen (Høyre topp). Snitt passasje (venstre under) Snitt østlig del av bygningen (høyre under).

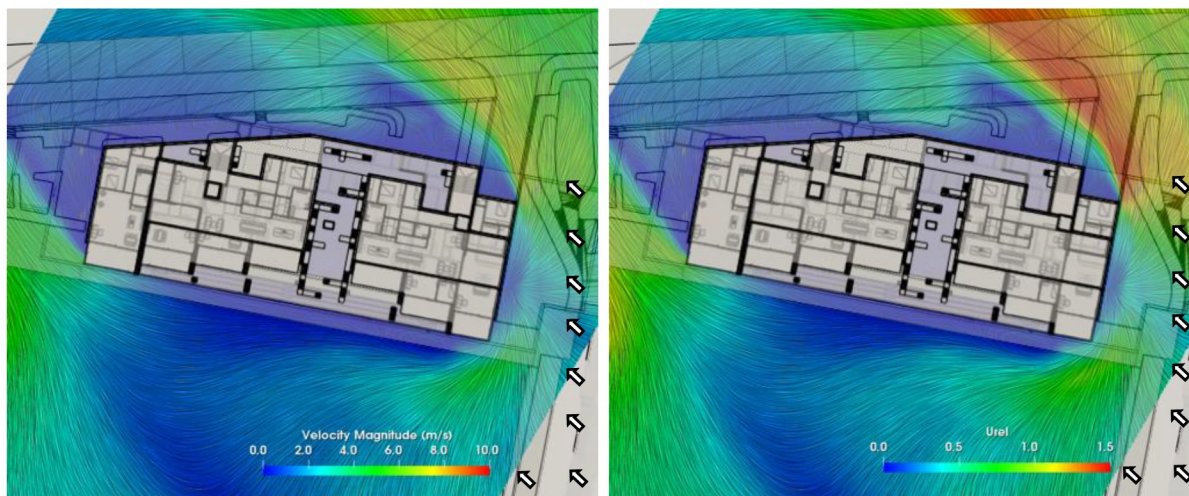




## 6.4 Vind fra Sørøst

### 6.4.1 Bakkenivå – Sørøst

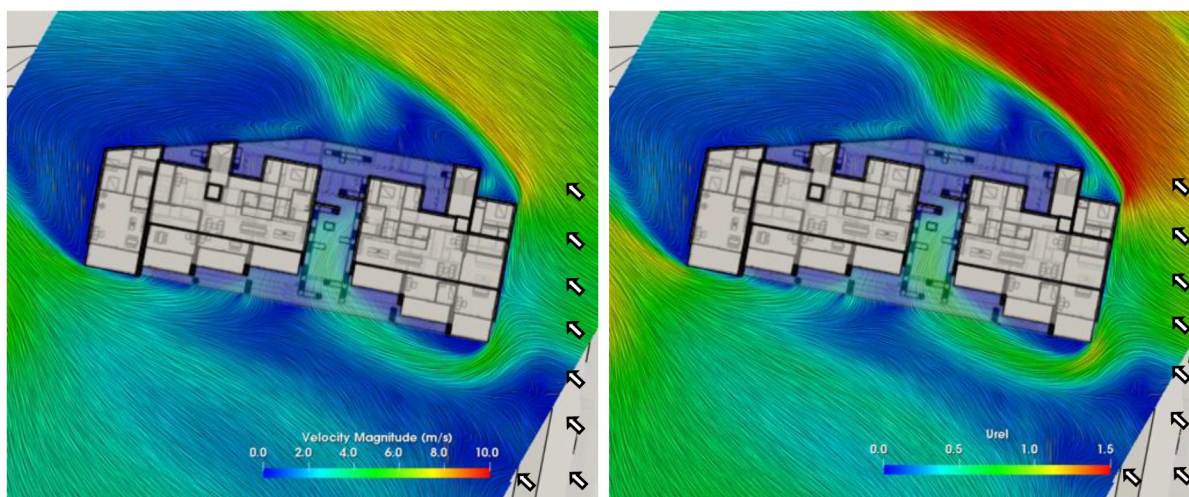
Ingen utsatte området i oppholdsområdet rundt bygningen. Nordøstlig hjørne og fotgjengere langs Trallfavegen vil derimot oppleve opp til 50% stigning i vindhastigheten.



Figur 25. Vind fra Sørøst (5 m/s) ved bakkenivå. Vindhastighet (venstre) og relativ vindhastighet (høyre).

### 6.4.2 Midterste balkong – Sørøst

Vind fra sørøst gir lune områder for balkongen på nordsiden, vindskjermene i passasjen gir beskyttelse mot vinden som kommer gjennom passasjen. Akselerering av vinden kan forekomme, opp til 25% for sørøstlig hjørne, og opp til 50% for nordøstlig hjørne.

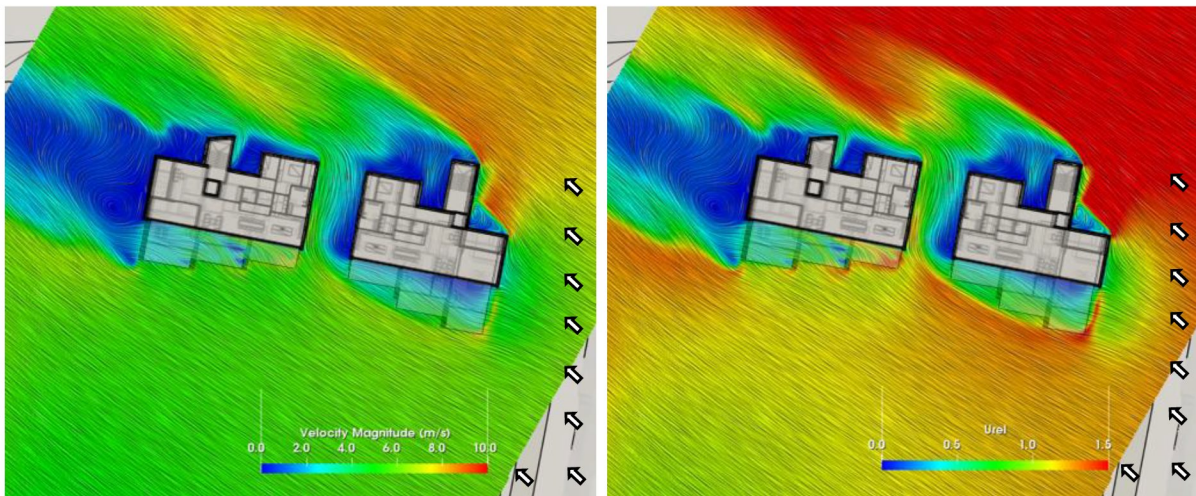


Figur 26. Vind fra Sørøst (5 m/s) ved midterste balkong. Vindhastighet (venstre) og relativ vindhastighet (høyre).



#### 6.4.3 Topp balkong – Sørøst

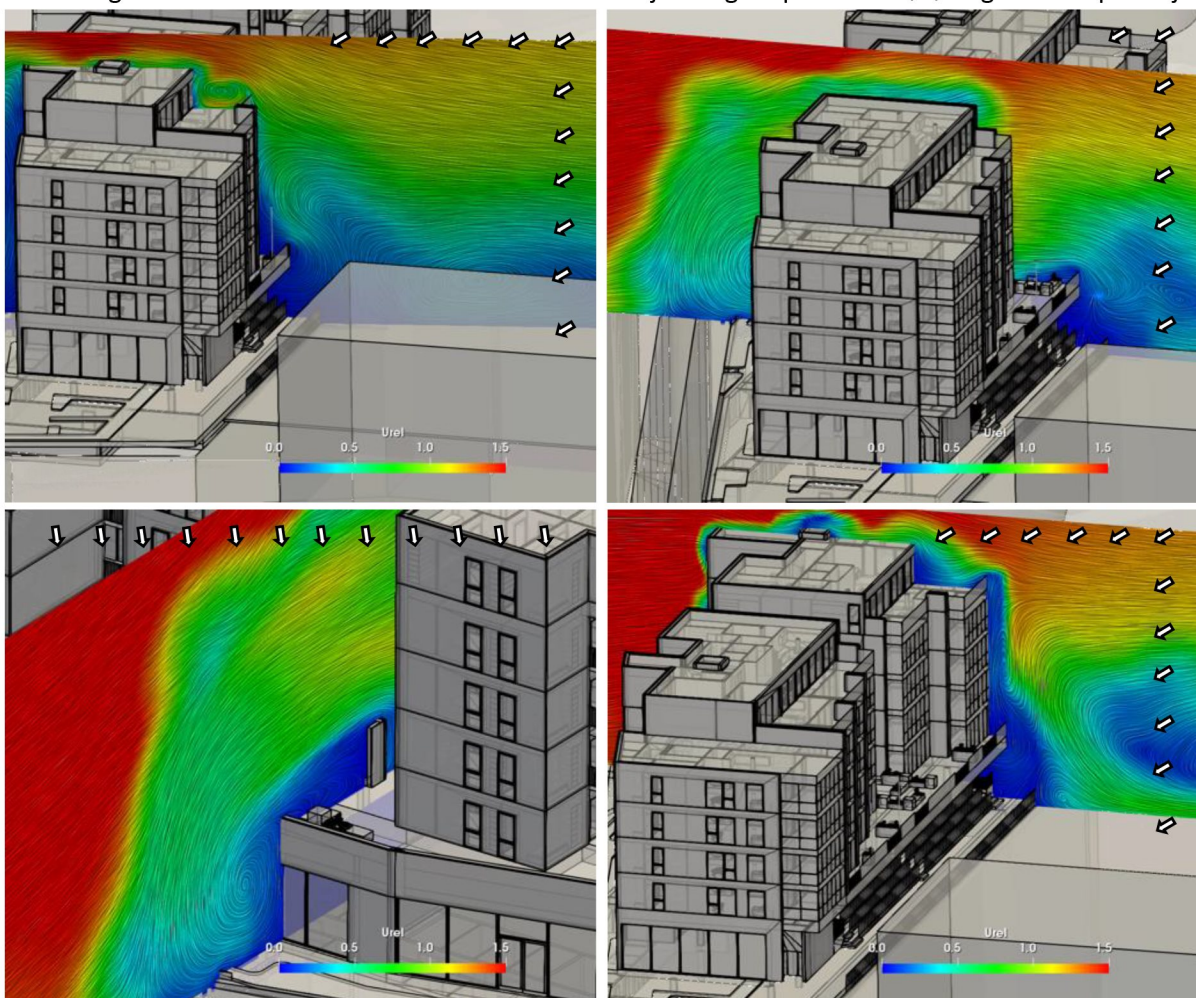
Sørøstlig vind er den vindretningen som oppleves i stå høyde som mest fremtredende. Akselerering av vinden vil i noen områder være opp til 25% av vindhastigheten.



Figur 27. Vind fra Sørøst (5 m/s) ved bakkenivå. Vindhastighet (venstre) og relativ vindhastighet (høyre).

#### 6.4.4 Snitt – Sørøst

Illustrasjonen oppe til venstre viser hvordan sirkulasjon på vestligbalkong kan komme opp i 20-25% av vindhastigheten. Bilde nederst til venstre viser at vindskjerming skaper le for sørøstlig vind fra passasjen.



Figur 28. Vind fra Sørøst (5 m/s. Snitt fra forskjellige deler av bygget.



## 6.5 Komfortklasser Sommer

Komfortklassene fra den nederlandske standarden NEN 8100:2006<sup>[2]</sup> defineres ut i fra sannsynligheten per timer i året der vindhastigheten ikke overstiger 5 m/s. Alle celler med logikken vindhastighet >5m/s, tas med i simuleringen. Frekvensen for hver celle for hver av vindretningene gitt i tabell 4 og 5, summeres. Resultatet deles opp i et fargekart, som viser komfortklassene ut i fra frekvensen der vinden overstiger 5m/s i fra hvilken som helst retningen i løpet av året eller sommeren.

| Sannsynligheten for at vindhastigheten skal overstige 5 m/s (i % timer i året) | Komfort klasse | Aktivitet  |                |         |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------|----------------|---------|
|                                                                                |                | Rask gange | Rusle av gårde | Sitte   |
| <2.5                                                                           | A              | God        | God            | God     |
| 2.5-5.0                                                                        | B              | God        | God            | Moderat |
| 5.0-10                                                                         | C              | God        | Moderat        | Dårlig  |
| 10-20                                                                          | D              | Moderat    | Dårlig         | Dårlig  |
| >20                                                                            | E              | Dårlig     | Dårlig         | Dårlig  |

Tabell 6 Komfortklasser med farger

### 6.5.1 Bakkenivå

For sommermånedene er det god komfort for å sitte (under 2,5% sannsynlighet for vind over 5 m/s) for sørlig del av bygningen. Store deler av nordsiden av bygningen har komfortklasse B til D, som gir god til moderat komfort for rask gange. Som tidligere resultater viser for vindhastigheten, så vil fotgjengere langs fortauet ved Trallfavegen ved østlig ende av bygningen oppleve mye vind. Dette området sammen med området mellom nytt bygg og eksisterende tribune, vil få komfortklasse E, det vil si mer enn 20% av året med vind over 5 m/s.



Figur 29. Komfortklasser sommer bakkenivå

### 6.5.2 Midterste balkong

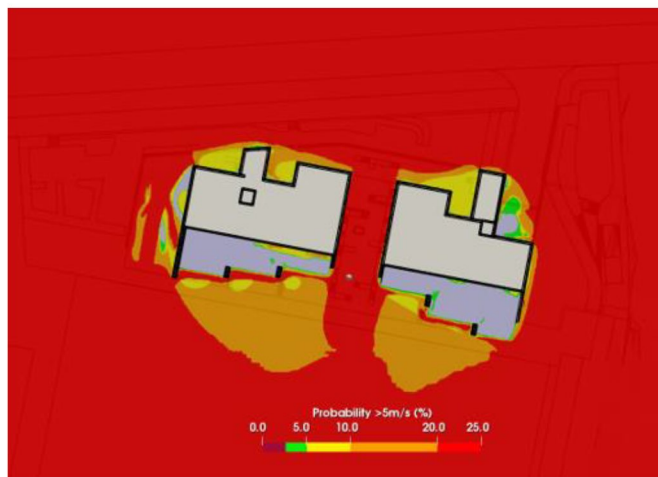
Midterste balkong vil få gode forhold for sitting både på sørsiden og nordsiden (klasse A). Det området som vil ha dårligst vind komfort for sitting er i passasjen mellom bygningene. Selv med vindskjerming, så vil det fortsatt være 5-10% sannsynlighet hvor vinden overstiger 5 m/s, det vil si komfortklasse C.



Figur 30. Komfortklasser sommer midterste balkong

### 6.5.3 Topp balkong

Toppbalkongen vil ha liten sannsynlighet for vind over 5m/s, klasse A. Et veldig lite område helt inn til veggen på balkongen i vest kan ha dårlig komfortforhold, men vil være såpass lite at det ikke regnes som signifikant.



Figur 31. Komfortklasser sommer topp balkong

## 6.6 Komfortklasser resten av året

### 6.6.1 Bakkenivå

For resten av året er vinden mindre framtrædende i fra nordlig retning (se figur 11 og 12). Det vises igjen på komfortklassene for nordlig del av bygningen der andelen komfortklasse B og C er større enn om sommeren. Dette gjelder også for komfortklassen på vestlig side av bygningen samt deler av fotballbanen i sør. På sørøstlig side av bygningen er derimot området for komfortklasse E større.



Figur 32. Komfortklasser resten av året bakkenivå

### 6.6.2 Midterste balkong

Midterste balkong vil, slik som sommeren, få gode forhold for sitting både på sørsiden og nordsiden (klasse A). Passasjen vil også her ha dårligere vindforhold enn resten av balkongen. Inngangspartiet i nord foran passasjen vil ha en litt bedre komfortklasse, klasse B.

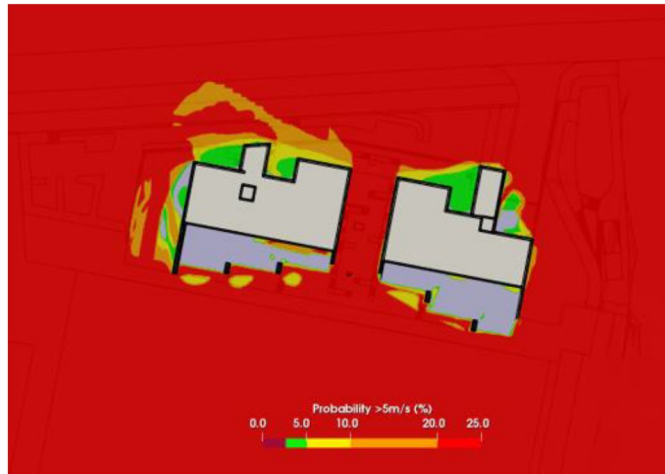


Figur 33. Komfortklasser resten av året midterste balkong



### 6.6.3 Topp balkong

Nesten hele uteområdet på takbalkongene vil ha komfortklasse A, under 2,5% sannsynlighet for vindhastighet over 5 m/s i løpet av året. Et veldig lite område helt inn til veggen på balkongen i vest kan ha dårlig komfortforhold, men vil være såpass lite at det ikke regnes som signifikant.



Figur 34. Komfortklasser resten av året topp balkong

## 7 Konklusjon

Vindsimuleringen viser at ved bakkenivå så er det to områder som er mer utsatte for akselerering av vinden. Området mellom stadion og vest for bygningen, og fortauet nordøst for bygningen langs Trallfavegen. For begge steder kan vinden akselerere opp til 50% høyere enn vindhastigheten. Begge disse områdene har komfortklasse E for hele året. Tribuneområdet på sørsiden har de beste vindforholdene, med komfortklasse A for hele året.

Midterste balkong har gode vindforhold, spesielt på sørsiden. Passasjen er det området som har flest utfordringer. Akselerering av vind gjennom passasjen reduseres av de to vindskjermene, men ikke nok til at komfortklassen ikke er høyere enn C gjennom hele året.

Topp balkong har jevnt over gode vindforhold gjennom hele året med komfortklasse A. Ved sørøstlig vind kan man på den vestlige balkongen oppleve litt akselerering av vinden inn til bygningsveggen, men for et såpass lite område at det ikke regnes som signifikant.

## 8 Nøyaktighet og usikkerhet

Det er flere faktorer som kan gjøre simuleringen mer nøyaktig. Det er også flere usikkerheter ved en vindanalyse, blant annet:

1. Forskjellen i lokal topografi rundt bygningen som skal simuleres og avstand til nærmeste vindstasjon.
2. Oppdeling av vindretninger og frekvens. Mer detaljert oppdeling vil ta flere simuleringen og være mer nøyaktig. For denne simuleringen er vindretningen delt opp for hver 60 grader, og 3-5% av frekvensene for vinden er ikke tatt med i simuleringen.
3. Geometri og antall bygninger i simuleringsmodellen. Store gjenstander, for eksempel reklameskilt osv. kan ha innvirkning på vinden. Geometrien til tribunen på stadion i denne simuleringen er forenklet til en rektangulær boks. En del bygninger i datagrunnlaget for lokalområdet mangler også blant annet.
4. Vann, sand, vegetasjon osv, vil ha innvirkning på ruhetsgraden. Store trær i området er ikke tatt med i simuleringen for eksempel.

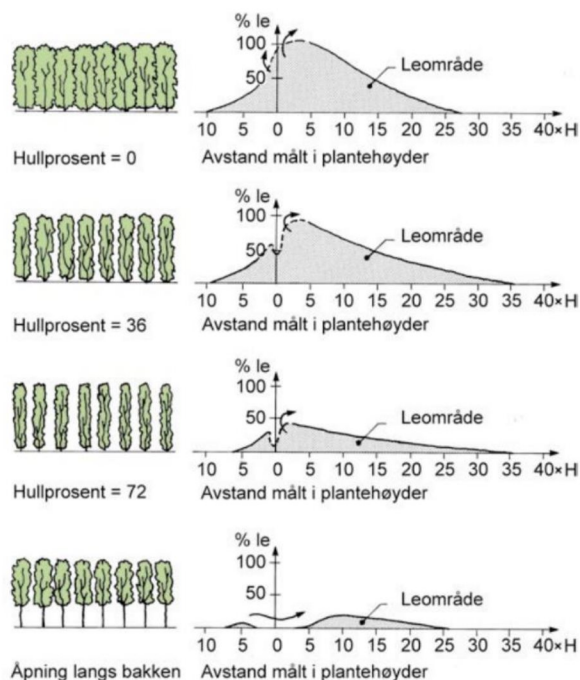
## 9 Tiltak vindskjerming

I følge resultatene fra simuleringen er det tre områder som er mer utsatt for vind. Det er flere tiltak som kan gjøres for å redusere vindhastigheten for disse områdene. Dette er forslag til tiltak som bør videre utforskes og simuleres før endelig beslutning tas.

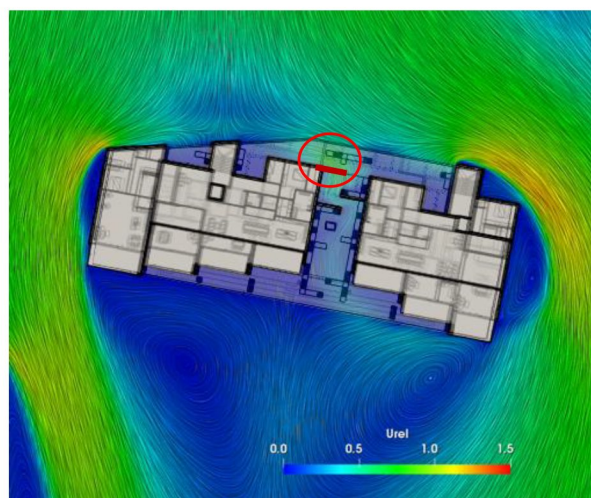
For bakkenivå så kan vegetasjon være et effektivt og estetisk tiltak for å redusere vinden. Det er viktig at beplantningen har en sammensetning som har greiner eller busker helt ned til bakken for best virkning. Videre bør lebelte ha en lengde på ti ganger høyden, og størst mulig lengde i vindens retning. Lebelte bør også være tett, men ikke kompakt.<sup>[10]</sup>

Passasjen gjennom bygningen er det området som er mest utsatt for vind for midterste balkong. En mulig måte å redusere vindhastigheten gjennom passasjen for vind i fra nord, som er spesielt fremtredende om sommeren, er å plassere enn ekstra vindskjerm figur 36. For vind i fra denne vinkelen så kan dette redusere vindhastigheten ytterligere. Et skifte i vindretning kan endre disse forholdene. Simuleringer med forskjellige design kan være en måte å finne den mest optimale løsningen. En ekstra vindskjerm vil også redusere vindhastigheten gjennom passasjen ved sørlig vind, da vindskjermingene vil virke som et stagnasjonspunkt for vinden, og hele passasjen vil virke som en luftpute, som presser luften over vindskjermingen.

Topp balkong har i følge simuleringen gode vindforhold, et veldig lite område nærme veggen på vestlig balkong har lav komfortklasse. En simulering der rekkverket på balkongen er høyere, kan gi et svar på om dette vil redusere hastigheten på sirkulasjonen og forbedre komfortklassen for det gitte området.



Figur 35. Levirkning av belter og trær.<sup>[10]</sup>



Figur 36. Plassering av ekstra vindskjerming – IKKE simulert.

## 10 Kilder

---

- [1] B. Blocken, J. Carmeliet (2004). Pedestrian wind environment around buildings: literature review and practical examples
- [2] NEN 8100:2006(2006)
- [3] Lawson, T.V. and Penwarden, A.D. (1975). The Effects of Wind on People in the Vicinity of Buildings, In: Proceedings 4th International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures, Cambridge University Press, Heathrow, pp. 605–622.
- [4] Cochran, Leighton. (2004). Design Features to Change and/or Ameliorate Pedestrian Wind Conditions. 10.1061/40700(2004)50..
- [5] Peter Moonena,b,n,Thijs Defraeyec,Viktor Dorerb, Bert Blockend, Jan Carmeliet (2012) Urban Physics: Effect of the micro-climate on comfort, health and energy demand
- [6] W.J. Beranek, H. Van Koten (1979)  
Beperken van windhinder om gebouwen, deel 1, Stichting Bouwresearch no. 65
- [7] Elshaer, Ahmed & Bitsuamlak, G & El Damatty, Ashraf. (2014). Wind Load Reductions due to Building Corner Modifications.
- [8] Davenport, AG & Grimmond, Christine & Oke, T & Wieringa, J. (2000). Estimating the roughness of cities and sheltered country. 15th conference on probability and statistics in the atmospheric sciences/12th conference on applied climatology, Ashville, NC, American Meteorological Society. 96-99.
- [9] <https://en.wikipedia.org/wiki/Turbulence>
- [10] Byggforsk 311.110 (2005).