

Helma hotelleiendom AS

► **CFD vindanalyse**

Helma hotell, nybygg, Mo i Rana

Oppdragsnr.: **5190306** Dokumentnr.: **VIND01** Versjon: **J01** Dato: **2022-06-29**



CFD vindanalyse

Helma hotell, nybygg, Mo i Rana

Oppdragsnr.: **5190306** Dokumentnr.: **VIND01** Versjon: **J01**

Oppdragsgiver: Helma hotelleiendom AS
Oppdragsgivers kontaktperson: Helge Karstensen
Rådgiver: Norconsult AS, Kjørboveien 22, NO-1337 Sandvika
Oppdragsleder: Tuva Cathrine Elisabeth Daae
Fagansvarlig: Nick Pedersen
Andre nøkkelpersoner: Einar Aasli

J01	2022-06-29	Vindanalyse for Helma hotell, nybygg	Einar Aasli	Nick Pedersen	
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

► Sammen drag

Det er utført en kvantitativ vindanalyse av nybygget på Helma hotell i Thomas Von Westens gate i Mo i Rana. Analysen er utført med fokus på strømningsbildet og vindkomfort i kroppshøyde på bakkeplan, balkonger og tak.

Analysen er basert på 3D CFD-simuleringer av området, med en beregning av vindforsterkning for ulike vindretninger og en statistisk behandling av resultatene ved bruk av simulerte lokale meteorologisk data. Det er gjort utregninger av vindforsterkning, vindkomfort og sikkerhet.

Resultatene viser at det er generelt sett god vindkomfort i kroppshøyde på bakkeplan i området rundt hotellet. I enkelte utsatte områder kan man vurdere skjerming dersom man ønsker å disponere disse til sittende opphold, særlig over lengere tid. Sikkerheten i området er også god for den generelle befolkning, med unntak av en sone i Kirkegata med noe redusert sikkerhet for utsatte grupper. Den reduserte sikkerheten i denne sonen er dog ikke forårsaket av dette planlagte nybygget.

Sikkerhet og komfort er god på byggets balkonger. Øverste balkong er noe mer vindeksponert og skjermende tiltak som f.eks. et høyere glassrekkverk kan vurderes for å gjøre det mer behagelig å sitte over lengre tid.

Taket på nybyggets base har derimot mer utfordrende vindkomfort samt soner med redusert sikkerhet. Dette gjelder spesielt tett opp mot tårnets sørøstlige hjørne. På overordnet basis anbefales det at skjermende tiltak vurderes for dette takarealet, som f.eks. glassrekkverk langs takets ytterkant samt skjermende levegger tilknyttet sittearealer

Contents

1	Introduksjon	5
2	Vindforhold i området	7
2.1	Beliggenhet	7
2.2	Vindstatistikk	8
3	Resultater	10
3.1	Vindforsterkning	10
3.1.1	<i>Vindforsterkning fra sørvestlig retning</i>	11
3.1.2	<i>Vindforsterkning fra østlig retning</i>	12
3.2	Vindkomfort og sikkerhet	13
3.2.1	<i>Vindkomfortkart</i>	14
3.2.2	<i>Sikkerhetskart</i>	17
4	Konklusjon	20
5	Referanser	21
6	Vedlegg – metode	22
6.1	CFD-simuleringer	22
6.2	Beregningsmodell	22
6.3	Modelloppsett og grensebetingelser	23
6.4	Nøyaktighet av CFD-simuleringer	25
7	Vedlegg – vindforsterkning	26
8	Vedlegg – vindkomfort- og sikkerhetskart bakkeplan	32

1 Introduksjon

Det er utført en kvantitativ vindanalyse av det planlagte nybygget på Helma hotell i Thomas Von Westens gate 2 i sentrum av Mo i Rana. Nybygget består av en 7,2 [m] høy flat seksjon/base og en tårnseksjon som strekker seg 64,8 [m] opp fra taket på basen. Tårnseksjonen har balkonger vendt mot nordvest i dets syv øverste etasjer. Nybygget er planlagt rett over veien for det eksisterende hotellet og er forbundet til det eksisterende bygget av en bro over Thomas von Westens gate.

Resultatene av vindanalysen er basert på 3D CFD-simuleringer av området. Vindforholdene er analysert i kroppshøyde på bakkeplan, i kroppshøyde over nybyggets balkonger og i kroppshøyde over byggets flate seksjons tak.

Bygninger kan ha stor påvirkning på vinden. Store fasader kan «dytte ned» vind til gatenivå og akselerere vindfeltet rundt byggets hjørner. Samspill mellom flere bygg som står tett kan ha uventede effekter på strømmingen, og gater eller åpne passasjer gjennom bygg kan virke som «vindtunneler». Disse faktorene kan påvirke komforten, og i enkelte tilfeller sikkerheten, i området.

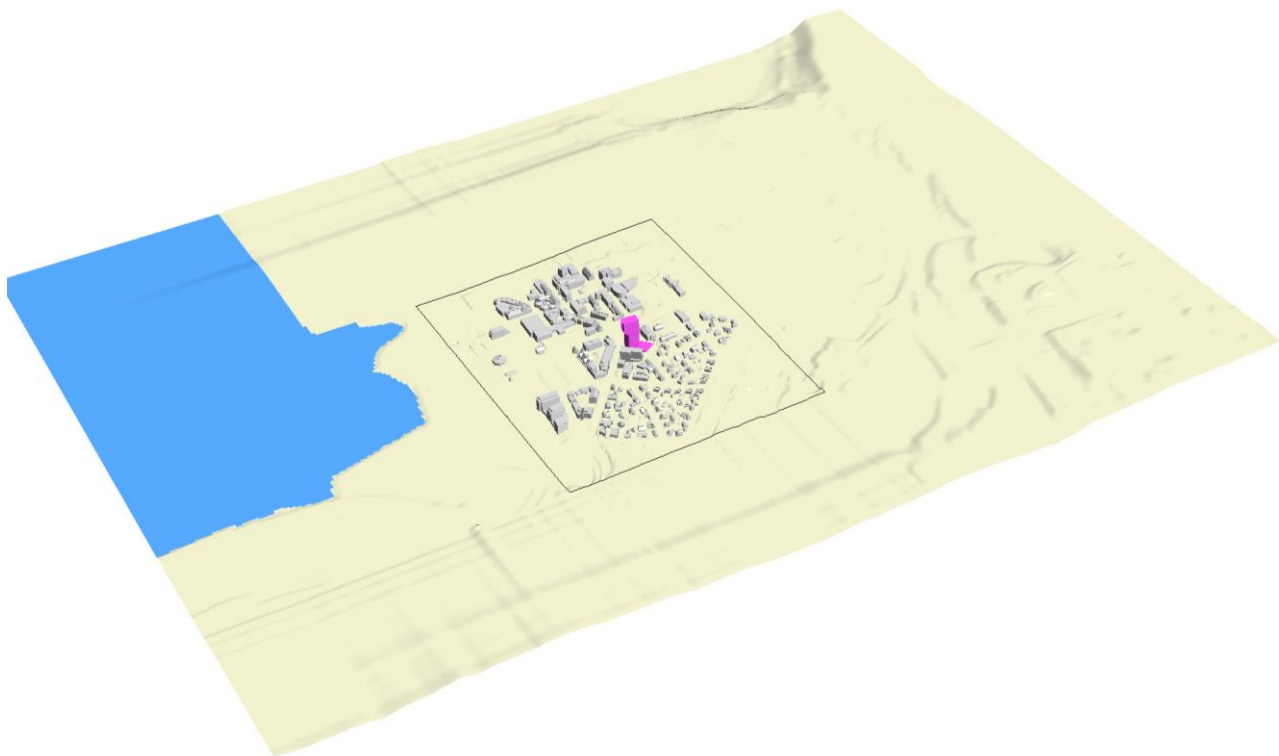
Overordnet sett avhenger vindforhold rundt bygg av byggenes utforming, deres plassering i forhold til hverandre, terrenget og vindstatistikken i området, faktorer som alle tas med i CFD-analysen.

Simuleringsresultatene er brukt i en beregning av «lokal vindforsterkning» for samtlige vindretninger og deretter i en statistisk behandling av disse resultatene ved bruk av lokale meteorologisk data.

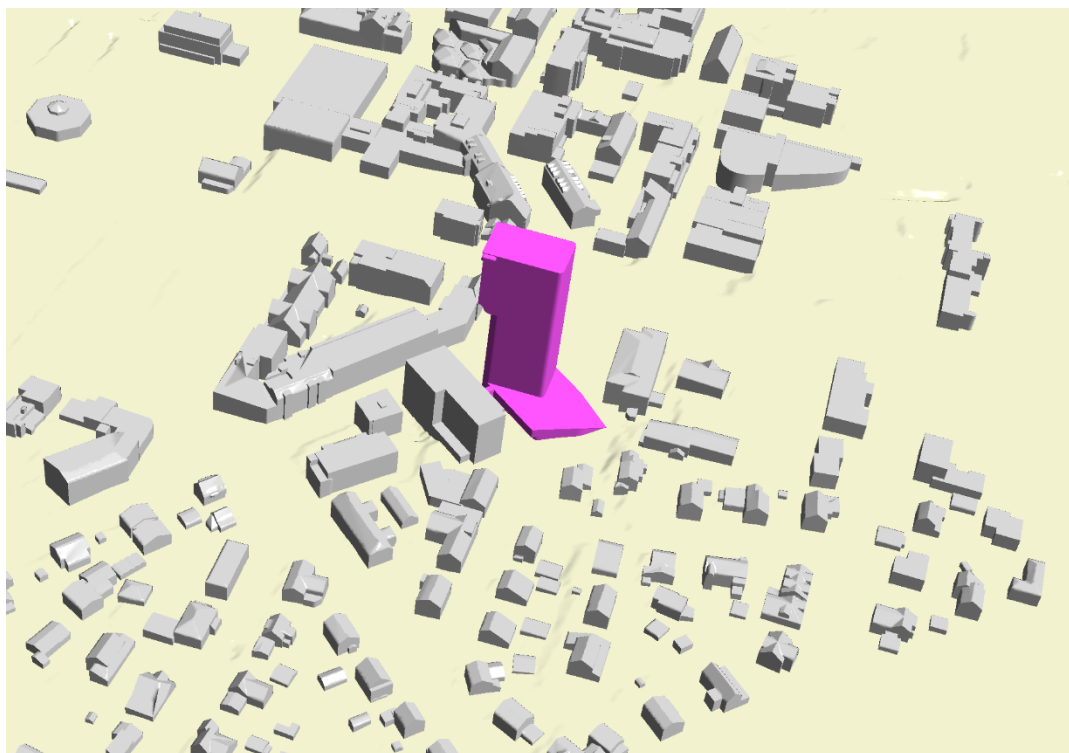
Sluttproduktet av analysen er en kartlegging av vindkomfort og vindrelatert sikkerhet rundt byggene, iht. internasjonal standard. Kartene for vindkomfort- og sikkerhet tar for seg effekten av strømningsbildet rundt byggene, samt hyppighet av vindretning og vindstyrke gjennom året.

Oversikt over simuleringsmodellen vises i figur 1-1 – figur 1-3. Nybygget er markert i lilla

For mer detaljer rundt simuleringsmetoden, se vedlegg.



Figur 1-1: Oversikt over CFD-modell for Helma hotell, Mo i Rana sett fra sørvest.



Figur 1-2: Oversikt over CFD-modell for Helma hotells nybygg.



Figur 1-3: Oversikt over CFD-modell for nybygget på Helma hotell sett ovenfra med gatenavn.

2 Vindforhold i området

2.1 Beliggenhet

Tomt for nytt hotellbygg ligger i krysset mellom Thomas Von Westens gate og Sørlandsveien i sentrum av Mo i Rana. Tomten vises med oransje område i figur 2-1. Nærmeste modellpunkt med vinddata vises med blå prikk og ligger ca. 165 [m] sørøst for hotellet.

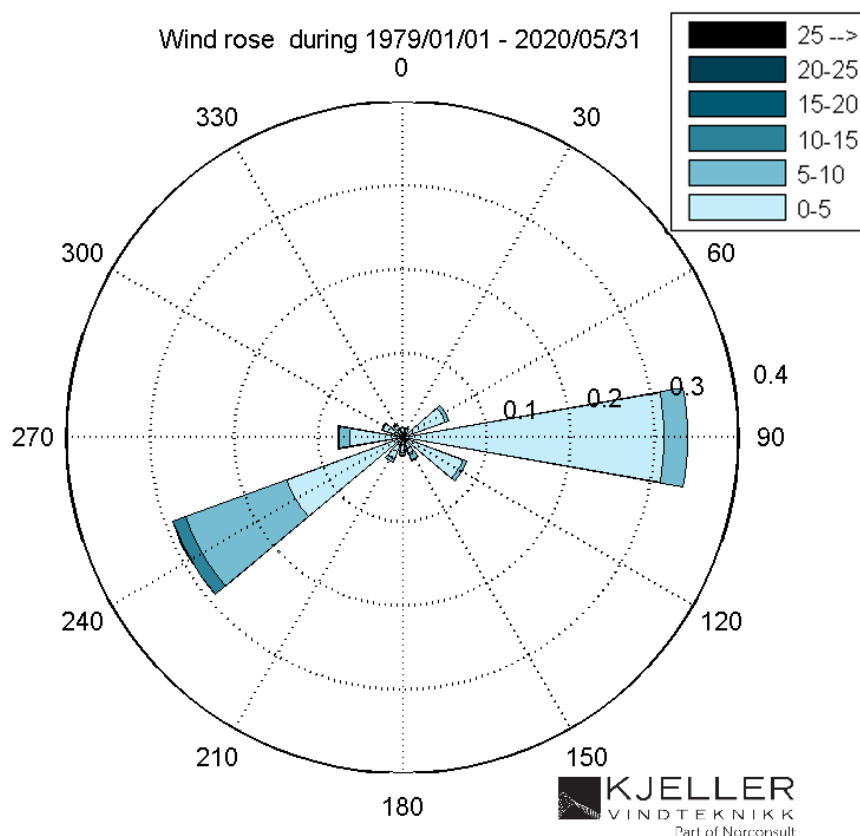


Figur 2-1: Planområdet vises med oransje område. Nærmeste modellpunkt med vinddata vises med blå prikk, ca. 165 [m] fra hotellet (© Kartverket).

2.2 Vindstatistikk

Vindroser for området er vist i figur 2-2. Figuren viser statistisk fordeling av vindretninger som prosentvis andeler av tiden det blåser fra ulike retninger.

De fremherskende vindretningene i området er vind fra sørvestlig (240°) og østlig (90°) retning. Man kan se at vind fra nordvestlige, nordlige og sørlige retninger sjeldent oppstår. De sterkeste vindene oppstår fra sørvestlig retning.



Figur 2-2: Vindrose over året 10 m over bakken.

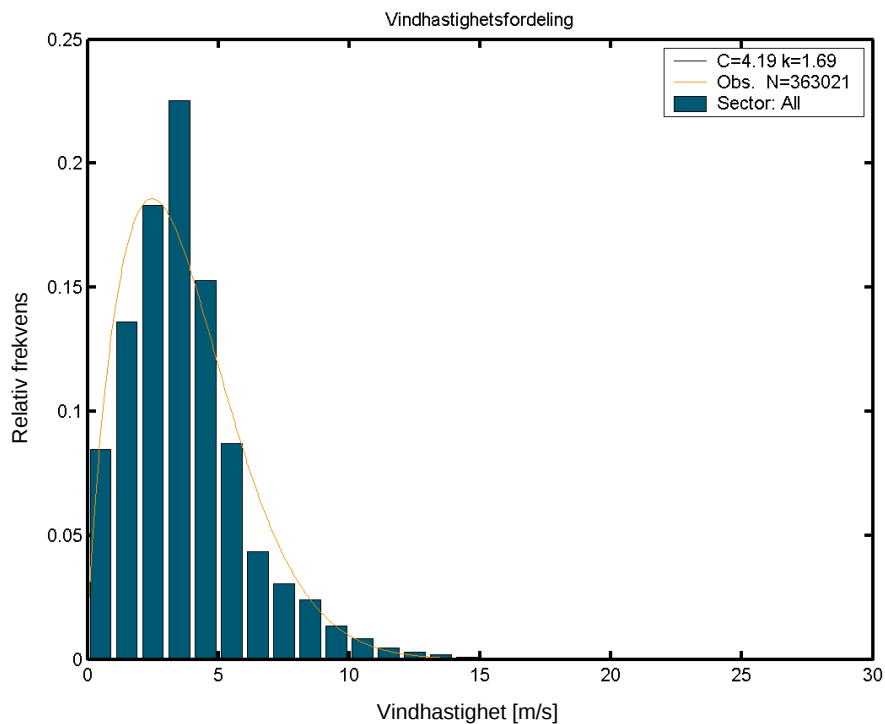
Fordeling av vindhastighet mot andel av tid vises i figur 2-3. Gjennomsnittlig vindhastighet over hele året er 3,7 m/s i 10 m høyde over terrenget (tabell 1).

Det blåser vind med hastighet opp til 5 m/s hele 72 % av tiden, og vind med lave hastigheter (< 2 m/s) forekommer ca. 15 % tiden i året. Det blåser vind med hastighet over 10 m/s under 3 % av året (tabell 2).

De sterkeste vindhastighetene (21 – 30 m/s) inntreffer sjeldent (0,01 % av året), og som regel ved vind fra vest-sørvest (240°).

Vindhastighetene det refereres til i meteorologisk data er vind i vanlig referansehøyde, 10 meter over bakken. Vindstatistikken er basert på simulerte meteorologiske data for perioden 1979-2020 fra KVT Meso, ca. 165 [m] fra midten av planområdet. KVT Meso er meteorologiske datasett generert med en numerisk værmodell kalt WRF¹ (Weather Research and Forecasting model), hvor datasettet benyttet i denne analysen har en horisontal oppløsning på 1 km for en periode på over 41 år.

¹ <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>



Figur 2-3: Andel av året ulike vindhastigheter forekommer i høyde 10 m over bakken, vist sammen med weibull-tilpasning (oransje linje). Modelldata fra perioden 01.01.1979 – 30.05.2020.

Modellpunkt	Middelvind (m/s) i 10 m høyde
Thomas Von Westens gate	3.7

Tabell 1: Målt middelvind over året.

Modellpunkt	Hastighet (m/s)	Andel av tid (%)
Thomas Von Westens gate	0 - 5	71.8
	6 - 10	25.5
	11 - 15	2.5
	16 - 20	0.2
	21 - 30	0.01

Tabell 2: Andel av året ulike vindhastigheter forekommer.

3 Resultater

3.1 Vindforsterkning

Vindforsterkningen er et relativt mål på hvor høy vindhastigheten er i kroppshøyde (1,5 m) i forhold til uforstyrret vind i 10 meters høyde (altså den vanlige referansehøyden til vindmålinger):

$$\text{Vindforsterkning} = \frac{\text{lokal vindstyrke i kroppshøyde}}{\text{referansevind i 10 meters høyde}} \cdot 100 \%$$

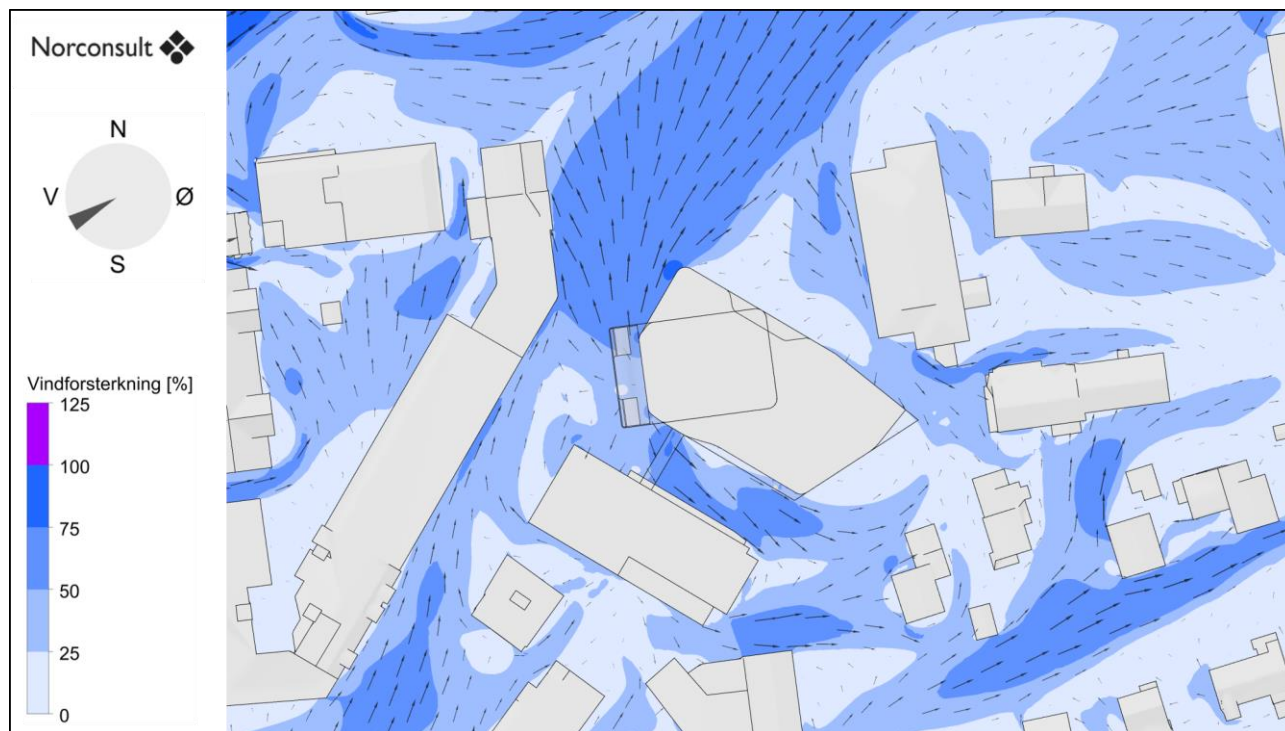
Resultatet viser dermed hvorvidt luften i kroppshøyde blir bremsset (verdier < 100 %) eller akselerert (verdier > 100 %) av byggene sammenlignet med den innkommende vinden.

Vindforsterkning i seg selv sier ikke noe om hvorvidt vindkomforten er god eller dårlig, men vindforsterkning inngår i beregningen av komfortklassene. En vindforsterkningsverdi på 50 % kan anses som en grenseverdi på et «bra skjermet» sted i et byområde.

Det er kjørt simuleringer for 12 vindretninger. Vindforsterkning er kalkulert for hver vindretning. I dette delkapitlet presenteres resultater ved vind fra utvalgte vindretninger for å gi en forståelse av strømningsbildet i og rundt planområdet. Figurer for resterende vindretninger finnes i vedlegg.

3.1.1 Vindforsterkning fra sørvestlig retning

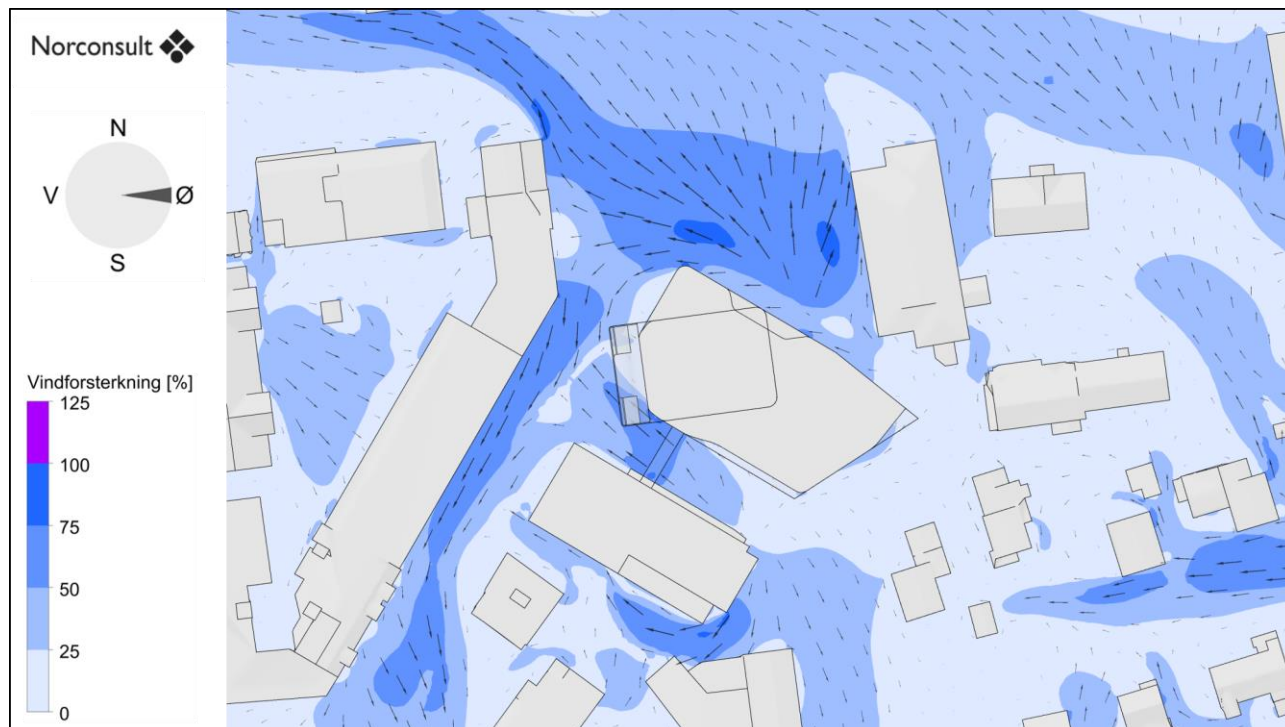
Vind fra sørvest er en av de to hyppigst forekommende vindretningene og retningen de sterkeste vindhastighetene kommer fra. Som Figur 3-1 viser, vil vind fra sørvest deles av høyhuset og strømme nordøstover mot Kirkegata samt sørøstover ned Thomas Von Westens gate. Dette gir moderat vindforsterkning i disse gatene på 50 – 75 %. Rett ved det nordligste hjørnet på nybyggets base er det et lite parti med vindforsterkning på opp mot 100 %. Man vil også ha en vindforsterkning på 50 – 75 % i Sørlandsveien, mellom nybygget og det gamle bygget av Helma hotell og i Hans Wølners gate.



Figur 3-1 Vindforsterkning og strømningspiler i kroppshøyde med vind fra vest-sørvest.

3.1.2 Vindforsterkning fra østlig retning

Vind fra østlig retning er den hyppigst forekommende vindretningen. Ved denne vindretningen blir vinden ledet nordvest mot og ned Kirkegata, samt at den blir delvis omdirigert sørvestover ned Sørlandsveien. Den strømmer også ned Thomas Von Westens gate, og blir noe presset under gangbroen fra nytt til eksisterende hotellbygg. Den høyeste vindforsterkningen målt er stort sett mellom 50 – 75 %, dog med unntak av et par mindre områder rett nord for nybygget med verdier mellom 75 – 100 %.



Figur 3-2: Vindforsterkning og strømningspiler i kroppshøyde med vind fra øst.

3.2 Vindkomfort og sikkerhet

Vindkomfort beskriver hvordan vindens hastighet oppleves av mennesker, og er basert på effekten av de mekaniske kreftene utøvd av vinden. Vindkomfort beskriver hvorvidt, og hvor ofte, disse kreftene blir plagsomme. Beregningene tar dessuten hensyn til at stillesittende folk på f.eks. en benk opplever vind annerledes enn de som går raskt i en gate.

En persons opplevelse og bedømmelse av når vinden begynner å bli plagsom er subjektivt, og det finnes flere metoder for analyse av vindkomfort (se f.eks. [Blocken and Carmeliet, 2004]). Dette begrepet tar ikke for seg komfort relatert til termiske eller akustiske effekter, men disse faktorene kan også spille en viktig rolle i overordnet «komfort». Et av de mest utbredte sett med komfortkriterier brukt som industristandard for vindanalyser i dag er fra Lawson [Lawson, 1990]. Disse kriteriene definerer seks komfortklasser basert på timemidlet vindhastighet i kroppshøyde (1,5 m). Komfortklassene definerer grenser for akseptable hastigheter for forskjellige aktiviteter og områder (tabell 3). Grensene er et resultat av omfattende forskning.

Hvis det blåser over grenseverdiene på et sted mer enn 5 % av året, klassifiseres området som ukomfortabelt for den aktuelle aktivitetskategorien. I slike tilfeller bør vindskjermingstiltak vurderes.

Timemidlet vindhastighet i kroppshøyde 95 % av året	Komfort-klasse	Aktivitet	Områdebeskrivelse
< 2 m/s	A	Sitte – lange opphold	<u>Veldig god komfort</u> - steder for lange stillesittende opphold som balkonger eller uteservering.
2 – 4 m/s	B	Sitte	<u>God komfort</u> - steder for stillesittende bruk som er behagelig store deler av året. Park, fellesområder, sittegrupper osv.
4 – 6 m/s	C	Stå	<u>Akseptabel komfort for stående</u> – steder der man er i ro, men befinner seg relativt kort tid. Inngangspartier, holdeplasser.
6 – 8 m/s	D	Gå	<u>Akseptabel komfort for gående</u> – steder der folk skal kunne gå uten ubehag. På fortau, ned gågater, i shoppingområder osv.
8 – 10 m/s	E	Rask gange	<u>Redusert komfort</u> – steder som er vindutsatt, der man kun skal gå raskt gjennom som eksponerte veier og parkeringsplasser.
> 10 m/s	F	-	<u>Ukomfortabelt.</u>

Tabell 3: Lawsons kriterier for vindkomfort [Lawson, 1990].

Lawsons kriterier gir også grenser for når vinden påvirker menneskers evne til å gå eller holde balansen. Hvis det blåser over verdiene i tabell 4 mer enn to timer i året er området ansett å ha redusert sikkerhet.

Timemidlet vindhastighet i kroppshøyde 99.978 % av året	Sikkerhets-klasse	Områdebeskrivelse
< 15 m/s	A	God sikkerhet for generell befolkning.
15 – 20 m/s	B	Redusert sikkerhet for spesielt utsatte, som syklister eller eldre mennesker.
> 20 m/s	C	Redusert sikkerhet for generell befolkning.

Tabell 4: Lawsons kriterier for vindsikkerhet [Lawson, 1990].

Merk at i tilfeller der bygninger forårsaker redusert sikkerhet på bakkeplan er dette generelt sett på dager det allerede blåser kraftig (typisk for styrke «stiv kuling» eller høyere).

3.2.1 Vindkomfortkart

Figur 3-3 viser vindkomfort i kroppshøyde på bakkeplan. Figuren viser overordnet sett god vindkomfort. Det vil det være komfortklasse A, B og C på bakkeplan i området rundt Helma hotell. På nybyggets balkonger har man komfortklasse A, B og C, men med innslag av klasse D langs kanten på øverste balkong, som vist i Figur 3-4. På basens tak er det noe dårligere komfort, som vist i Figur 3-5 og Figur 3-6. Områder med klasse B eller bedre passer for stillesittende opphold, områder med klasse C passer for kortere stående opphold, områder med klasse D og E passer bedre til gange, og klasse F regnes som ukomfortabelt.

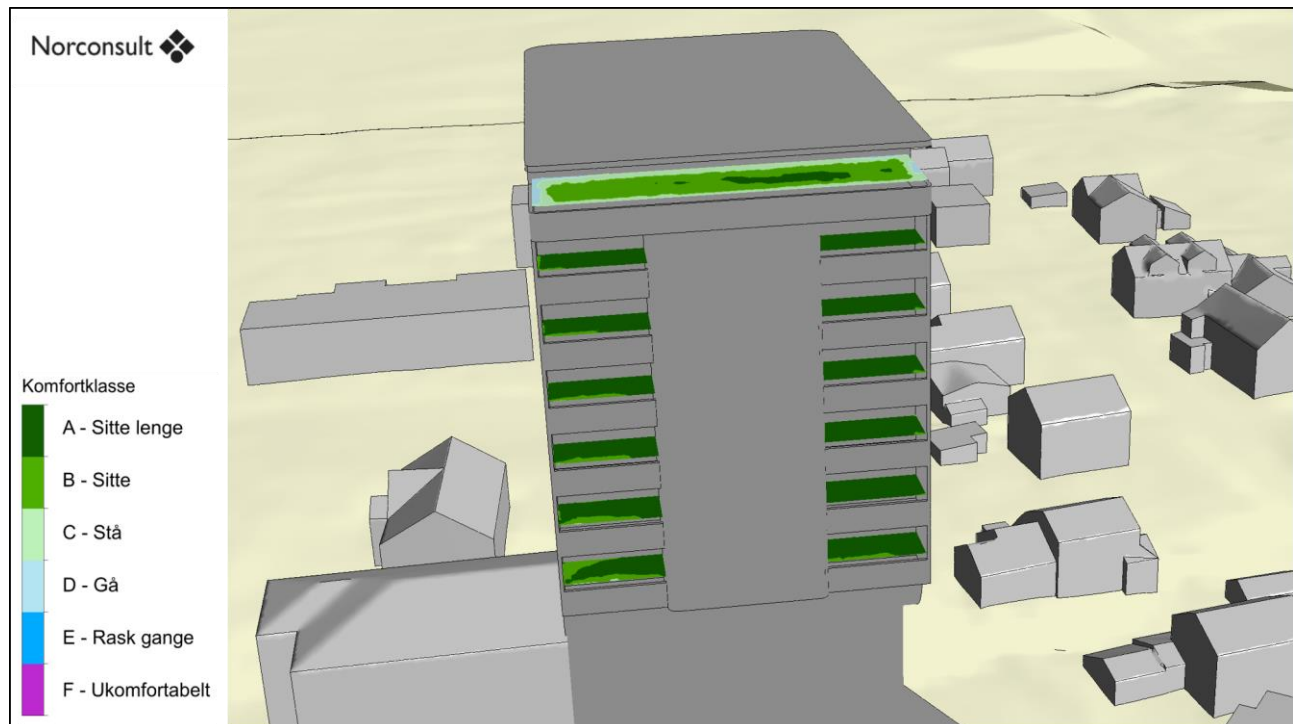
Det finnes ingen områder på bakkeplan med hverken klasse E eller F (ukomfortabelt). Områdene med dårligst vindkomfort i kroppshøyde på bakkeplan ligger nordvest og nord for nybygget, og mellom det gamle og nye hotellbygget. Disse områdene viser klasse C, noe som betyr at det er komfortabelt for stående, og bra egnet for f.eks. inngangspartier. Begge områdene leder til inngangene på hotellet i krysset mellom Thomas Von Westens gate og Sørlandsveien. Når det er sagt, på dager med vind vil områdene med klasse C oppleves som ubehagelig å sitte i, særlig over lengere tid. Dersom man ønsker bruk av disse arealene til for eksempel uteservering burde skjermende tiltak vurderes. Området langs sørøstlig fasade av nybyggets base har derimot klasse A, og vil være komfortabelt for lengere stillesittende opphold.

Alle balkongene på nybygget med unntak av øverste har god vindkomfort og egner seg til å sitte på også over lengere tid (se Figur 3-4). Den store øverste balkongen er noe mindre skjermet fra vinden, spesielt langs kantene. Litt inn fra kanten, mot midten av balkongen, er det fremdeles klasse B og komfortabelt for sittende.

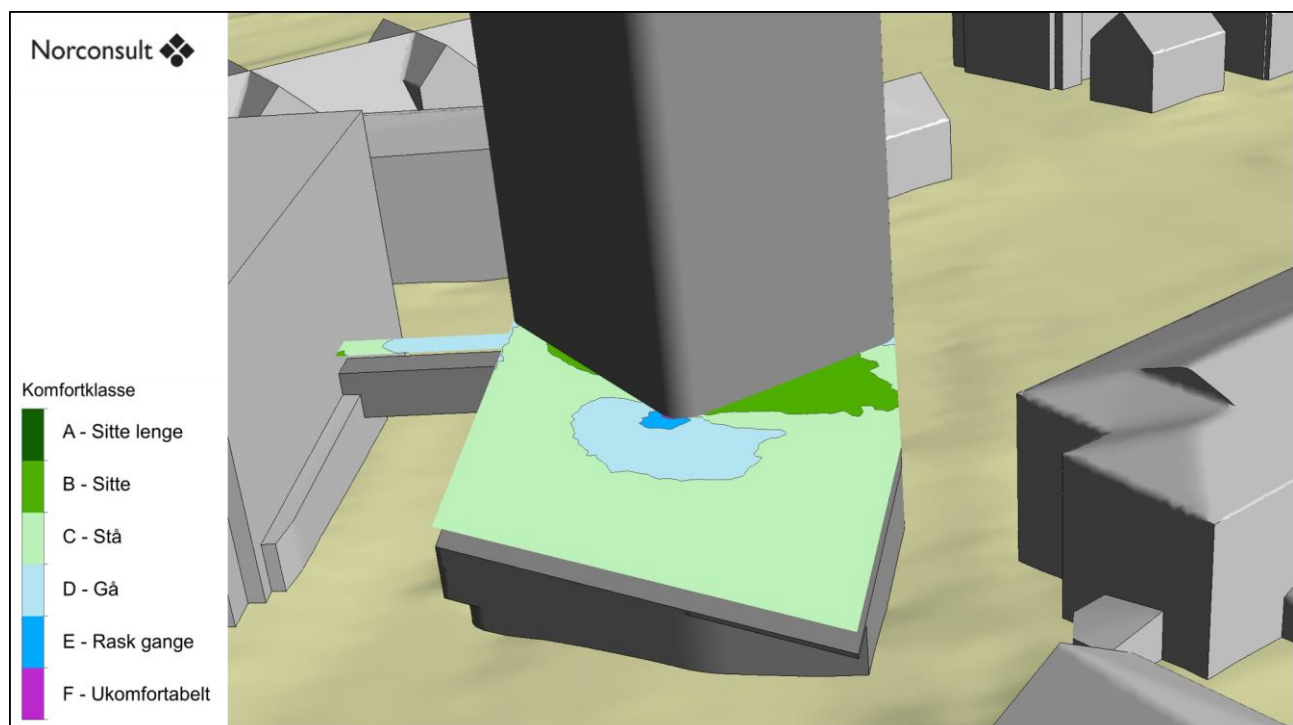
På taket av nybyggets base er vindkomforten mer varierende. Det meste av takets areal får klasse C, som er komfortabelt for stående. Rett ved tårnets sørøstlige hjørne er det klasse E og D derimot; her vil vinden merkes ofte og det vil ikke være komfortabelt for opphold. Rett øst for tårnet er det dog klasse B, der det vil oppleves behagelig å sitte. På overordnet basis anbefales det at skjermende tiltak vurderes for dette takarealet, som f.eks. glassrekkverk langs takets ytterkant samt skjermende levegger tilknyttet sittearealer.



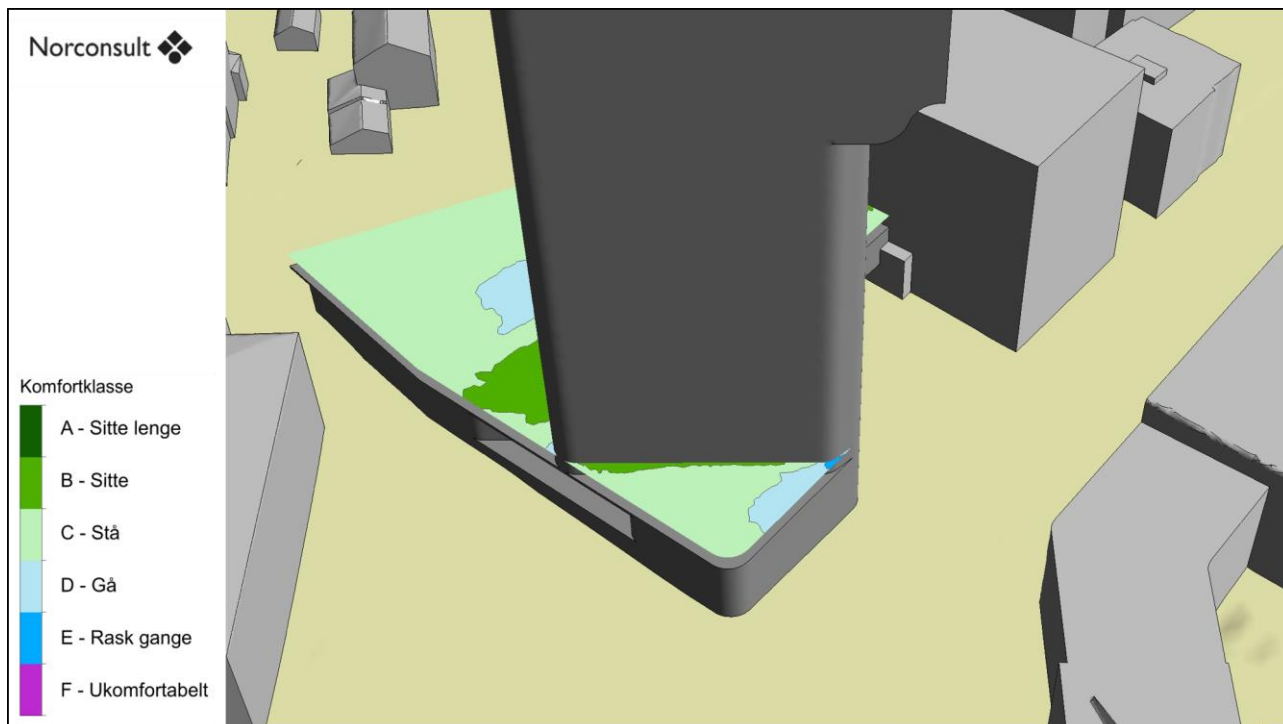
Figur 3-3: Vindkomfort i kroppshøyde på bakkeplan. Nybygg er markert i mørkere gråfarge enn eksisterende bygg.



Figur 3-4: Vindkomfortkart på balkonger på nybygget. Vindkomfortkartet gjelder i kroppshøyde over balkonggulv.



Figur 3-5: Vindkomfort tak østlig side. Vindkomfortkartet gjelder i kroppshøyde over takplan.

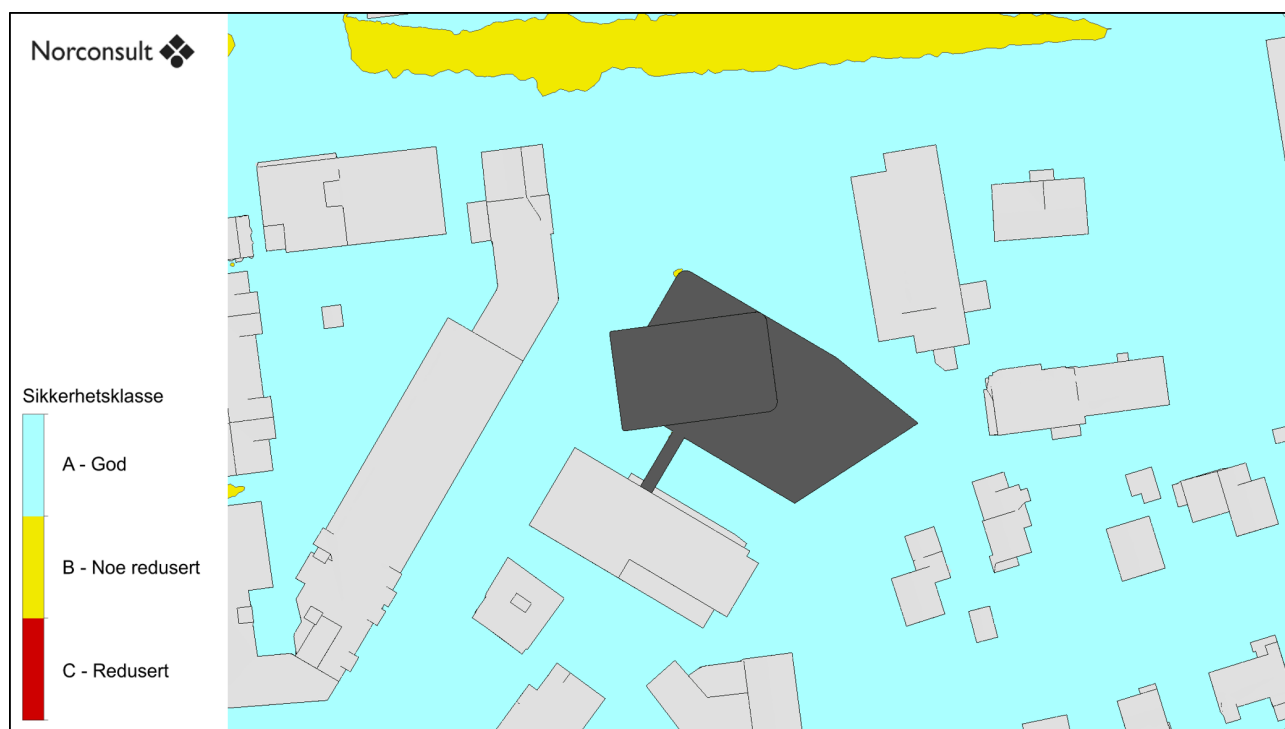


Figur 3-6: Vinkomfort tak nordvestlige hjørne. Vindkomfortkartet gjelder i kroppshøyde over takplan.

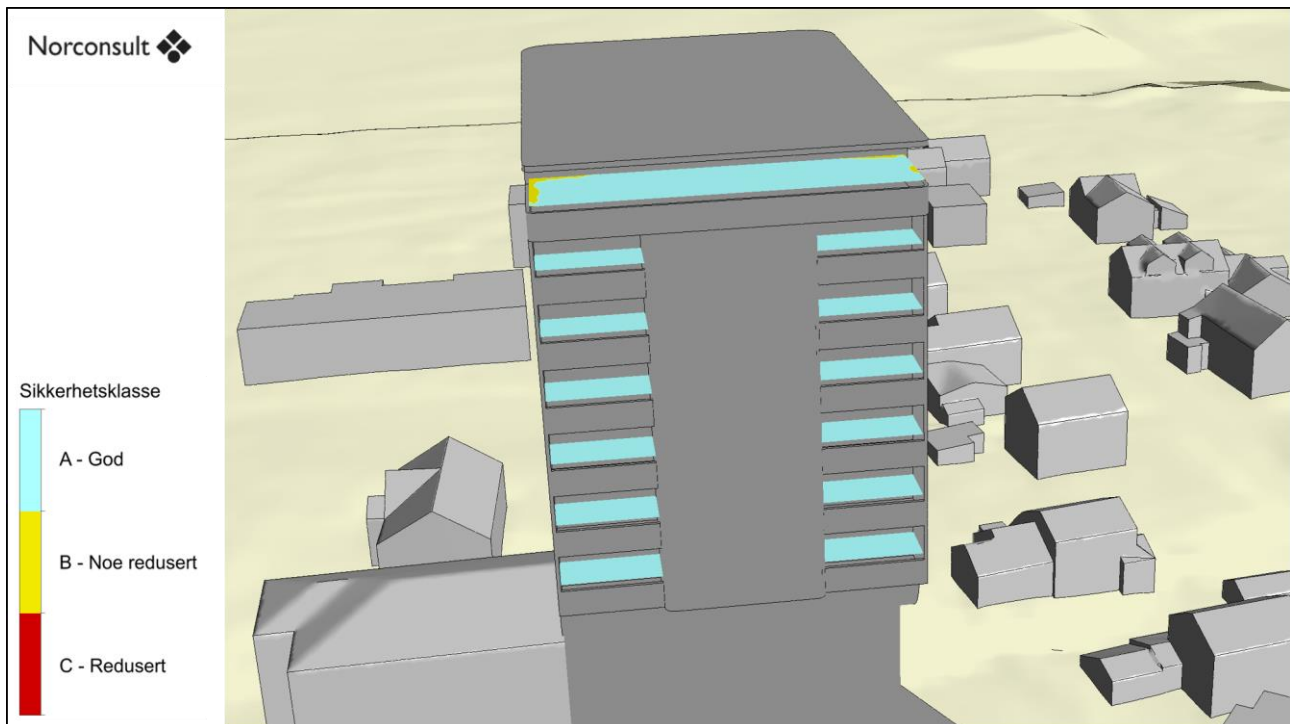
3.2.2 Sikkerhetskart

Sikkerhetskartene i Figur 3-7 og Figur 3-8 viser at man i området rundt nybygget og på balkongene vil ha god sikkerhet for den generelle befolkningen, sikkerhetsklasse A. Unntaket er en sone i Kirkegata nord for nybygget hvor man vil ha sikkerhetsklasse B karakterisert av noe redusert sikkerhet for utsatte grupper slik som eldre og syklister. Kirkegata går parallelt med den dominerende østlige vindretningen, og denne sonen med sikkerhetsklasse B er ikke forårsaket av det planlagte nybygget. Den øverste balkongen har også noen små områder langs kantene med sikkerhetsklasse B.

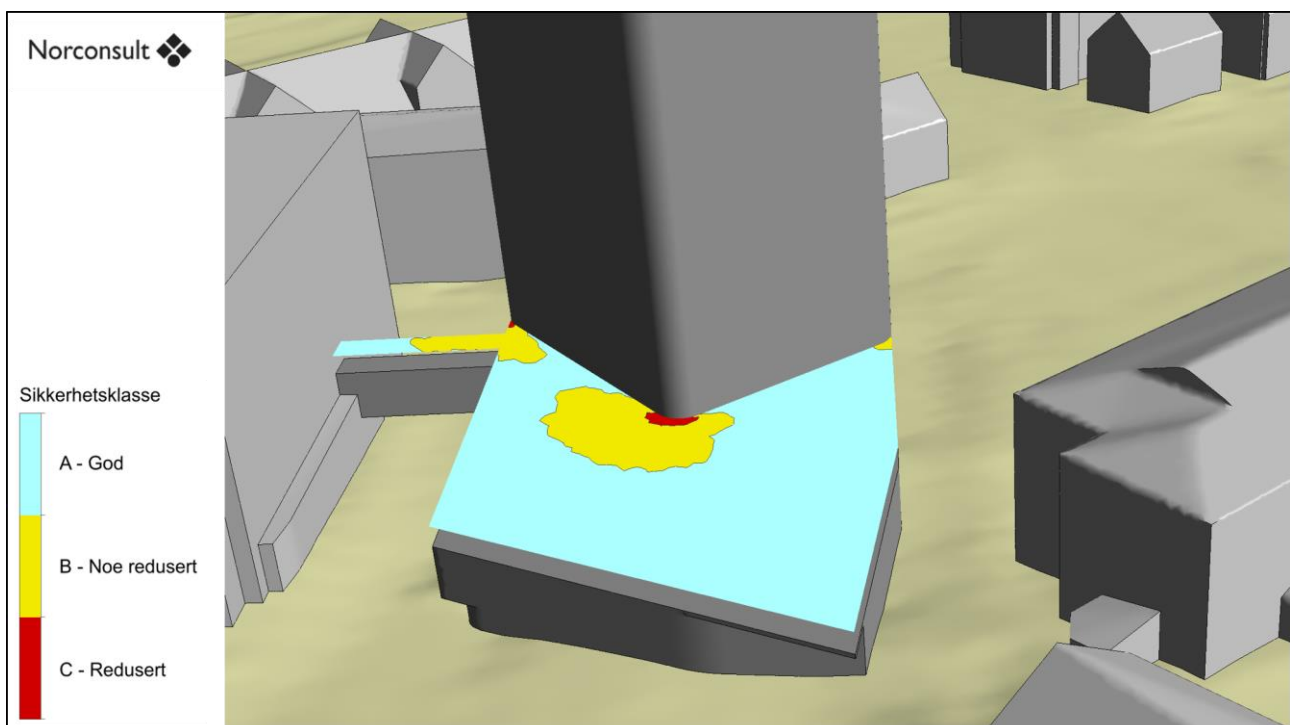
Basens tak vil ha sikkerhetsutfordringer fra et vindkomfortperspektiv som vist i Figur 3-9 og Figur 3-10. Som for vindkomfort utmerker østlig hjørne av tårnet seg negativt. Sikkerheten tett opp mot hjørnet kan karakteriseres som redusert for allmenheten, mens et større område ut fra hjørnet kan karakteriseres som redusert for spesielt utsatte. I området mot bruene over til det gamle bygget er sikkerheten også noe redusert. Resten av taket har stort sett god sikkerhet. Igjen anbefales det at man iverksetter skjermende tiltak og velger hvilke deler av taket man tar i bruk fra et vindsikkerhetsperspektiv..



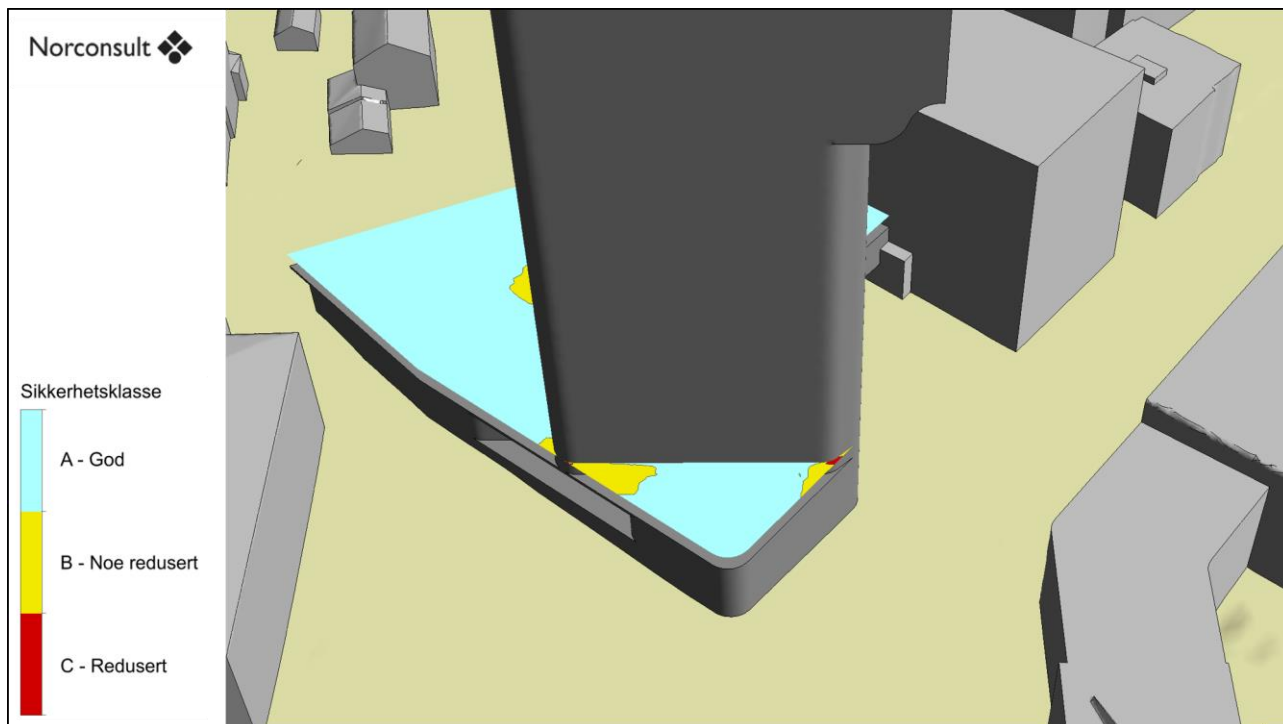
Figur 3-7: Sikkerhetskart i kroppshøyde på bakkeplan. Nybygg er markert i mørkere gråfarge enn eksisterende bygg.



Figur 3-8 Sikkerhetskart for balkonger på Helma hotells nybygg.



Figur 3-9 Sikkerhetskart i kroppshøyde over tak, østlig side.



Figur 3-10 Sikkerhetskart i kroppshøyde over tak, nordvestlig hjørne.

4 Konklusjon

Det er utført en kvantitativ vindanalyse av nybygget på Helma hotell i Thomas Von Westens gate i Mo i Rana. Analysen er utført med fokus på strømningsbildet og vindkomfort i kroppshøyde på bakkeplan, balkonger og tak.

Analysen er basert på 3D CFD-simuleringer av området, med en beregning av vindforsterkning for ulike vindretninger og en statistisk behandling av resultatene ved bruk av simulerte lokale meteorologisk data. Det er gjort utregninger av vindforsterkning, vindkomfort og sikkerhet.

Resultatene viser at det generelt sett er god vindkomfort i kroppshøyde på bakkeplan i området rundt hotellet. I enkelte utsatte områder kan man vurdere skjerming dersom man ønsker å disponere disse til sittende opphold, særlig over lengere tid. Sikkerheten i området er også god for den generelle befolkning, med unntak av en sone i Kirkegata med noe redusert sikkerhet for utsatte grupper. Den reduserte sikkerheten i denne sonen er dog ikke forårsaket av dette planlagte nybygget.

Sikkerhet og komfort er god på byggets balkonger. Øverste balkong er noe mer vindekspontert og skjermende tiltak som f.eks. et høyere glassrekkverk kan vurderes for å gjøre det mer behagelig å sitte over lengre tid.

Taket på nybyggets base har derimot mer utfordrende vindkomfort samt soner med redusert sikkerhet. Dette gjelder spesielt tett opp mot tårnets sørøstlige hjørne. På overordnet basis anbefales det at skjermende tiltak vurderes for dette takarealet, som f.eks. glassrekkverk langs takets ytterkant samt skjermende levegger tilknyttet sittearealer.

5 Referanser

Counihan, J., 1975. Adiabatic atmospheric boundary layers: A review and analysis of data from the period 1880-1972, Atmospheric Environment, Vol.79, pp. 871-905

Blocken, B. and Carmeliet, J., 2004. Pedestrian wind environment around buildings: Literature review and practical examples. Journal of Thermal Envelope and Building Science 28(2): 107-159.

Jacobsen, Mark Z., Fundamentals of Atmospheric Modeling, 2nd Edition, Stanford University, California, ISBN:9780521548656, 2005

Lawson, T.V., 1990. The Determination of the wind environment of a building complex before construction, Department of Aerospace Engineering, University of Bristol, Report Number TVL 9025.

6 Vedlegg – metode

6.1 CFD-simuleringer

Beregningene i denne rapporten er utført ved CFD-simuleringer. CFD er en forkortelse for det engelske uttrykket «Computational Fluid Dynamics». Denne typen analyse innebærer at de fundamentale likningene for fluiders bevegelse («Navier-Stokes' likninger») løses ved numerisk iterasjon.

Norconsult benytter den ledende programvarepakken ANSYS CFX (<http://www.ansys.com>) for slike analyser, og har lang erfaring med CFD-analyser for lokalklima.

Ved slike simuleringer er turbulensmodellering og konstruksjon av beregningsnett (engelsk «mesh» eller «grid») svært viktig for løsningens kvalitet. I dette arbeidet er det benyttet RANS²-modellering med en SST³ turbulensmodell. Mer spesifikt er det valgt å bruke URANS (dvs. «unsteady»-RANS), noe som tillater at det tidsvarierende strømningsfeltet kan modelleres. Dette er å anse som å være innenfor kategorien «industristandard» metodikk for slik modellering.

CFD er brukt i dette tilfelle for å beregne vindfeltet rundt byggene for relevante vindretninger og hastigheter. Resultatene er brukt videre i en statistisk beregning for middelvind for området, samt for vindkomfort og sikkerhet, analysert iht. internasjonal standard.

6.2 Beregningsmodell

Beregningsmodellen ble konstruert ut fra CAD-modell av planområdet, samt digital terrengdata. Den endelige modellen er vist i figur 6-1.

Det er i første rekke proporsjonene til byggene, dvs. høyde i forhold til bredde, bredde på passasjer mellom bygg i forhold til høyder på fasader osv., som er avgjørende for hvordan vinden påvirkes. Overflatedetaljer har derimot relativ liten virkning.

Nabobygg i en radius på ca. 300 m fra nybygget er inkludert i modellen. Bygninger lengre vekke enn dette ble modellert som en økt effektiv terrengruhet.

Total utstrekningen av en slik modell blir valgt ut fra erfaring, slik at avstanden til yttergrensene er stor nok til at strømmingen i simuleringen kan finne sin naturlige vei forbi geometrien (dvs. slik at modellområdets utstrekning ikke har innvirkning på løsningen).

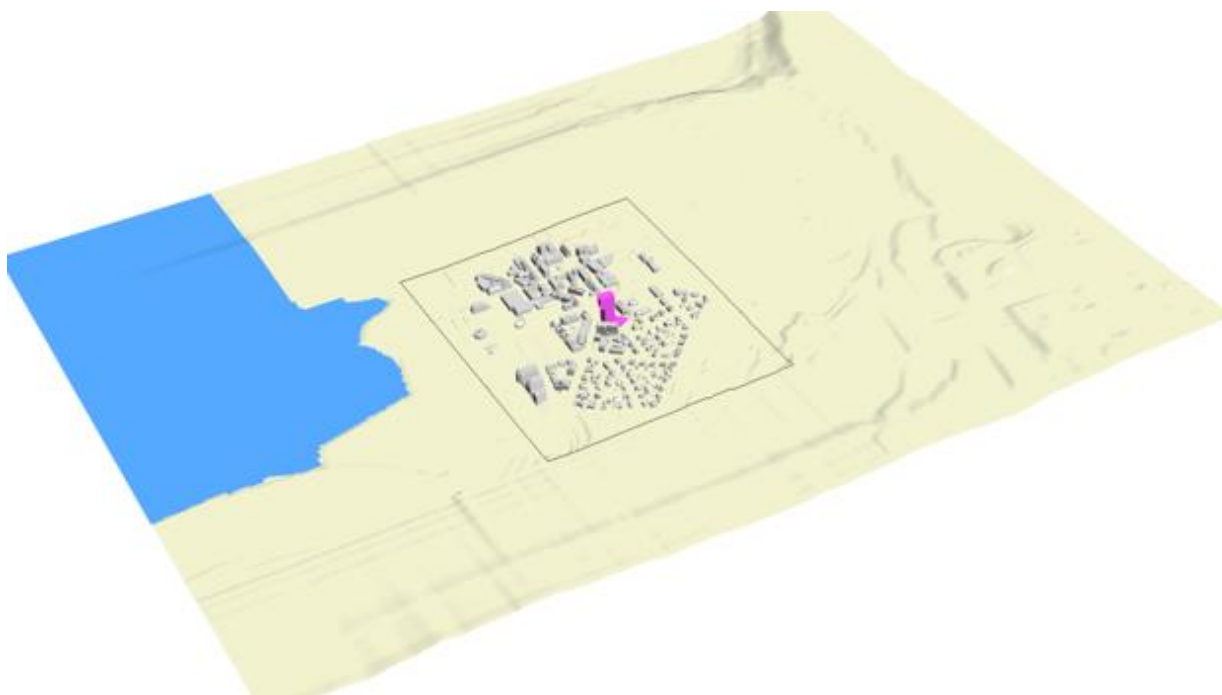
I dette tilfelle var total simulert område ca. 2,1 km x 1,6 km.

Det er ikke tatt med beplantning i modellen. Storskala beplantning (størrelsesorden «skog») er implisitt inkludert via terrengruhet (se tabell 5), men lokal beplantning (hekker, bed, individuelle trær plantet langs gater osv.) er ikke inkludert. Dette er vanlig praksis i vindmodellering fordi det er mange usikkerheter rundt beplantnings vindpåvirkning. Usikkerheter som type trær, størrelse/høyde på trekrone, bladtetthet, hvorvidt trærne utvikler seg over tid, sesongvariasjoner osv. er vanskelig å fastslå, spesielt før et byggeprosjekt er ferdigstilt.

Strategisk beplantning som f.eks. nærstående trær kombinert med hekk for å tette under trekrone kan derimot ha positiv innvirkning på opplevd vindkomfort, og kan vurderes som tiltak der nødvendig.

² Reynolds-averaged Navier-Stokes, dvs. Reynoldsmidlet Navier-Stokes.

³ Shear Stress Transport, en kombinasjon av k-epsilon-modell i fristrøm og k-omega-modell langs vegger.



Figur 6-1: Oversikt over CFD-modellen. Sett fra sørvest.

6.3 Modelloppsett og grensebetingelser

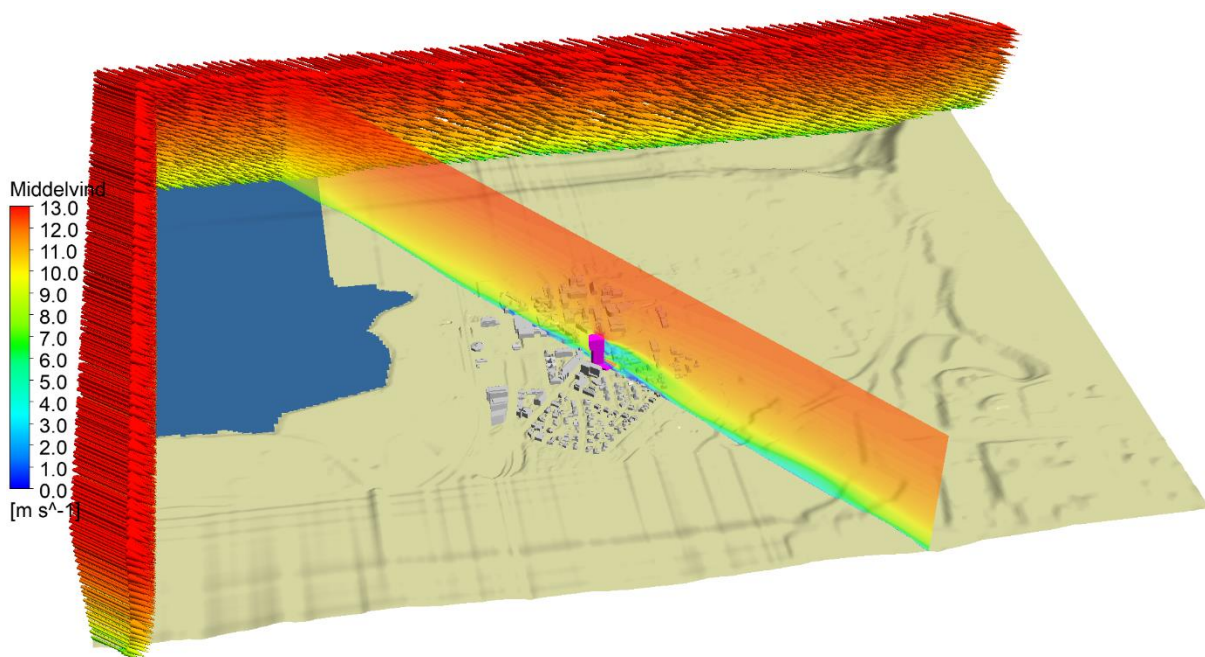
For alle innløp, utløp, og overflater i modellen må et antall fysiske forhold spesifiseres. I dette tilfellet ble vindhastighet, vindretning og turbulensvariabler (k og ϵ) spesifisert for den siden vinden kommer fra. For utløpet på nedstrøms side, samt toppen av volumet, ble det definert trykkbetingelser slik at vinden var fri til å komme inn og ut av disse flatene avhengig av hvordan strømmingen finner veien gjennom volumet.

Modellvolumet er vist i figur 6-2 ved vind fra nordvest. Vindhastighet og turbulens på innløpet er låst til profiler som tilsvarer innkommende vind over sjø og/eller terreng. Profil for terreng er vist Figur 6-3. Profilet er satt opp for å svare til karakteristiske forhold i den aktuelle typen terreng og bakken er representert med en aerodynamisk ruhet som stemmer godt overens med dette profilet og fullskaladata [Counihan, 1975 og Fundamentals of Atmospheric Modeling, 2005].

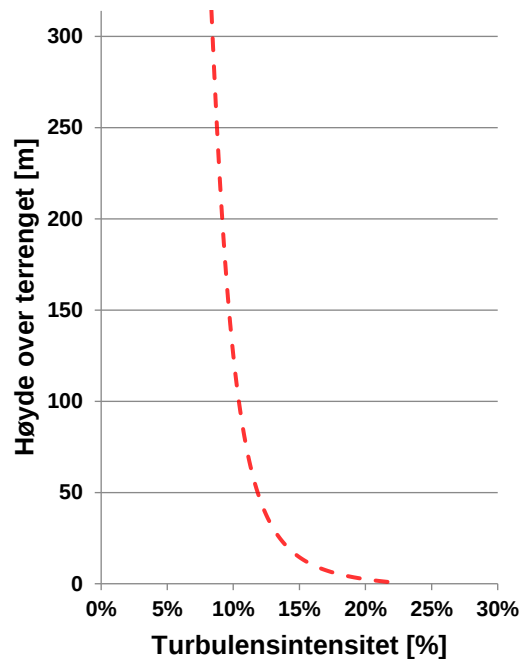
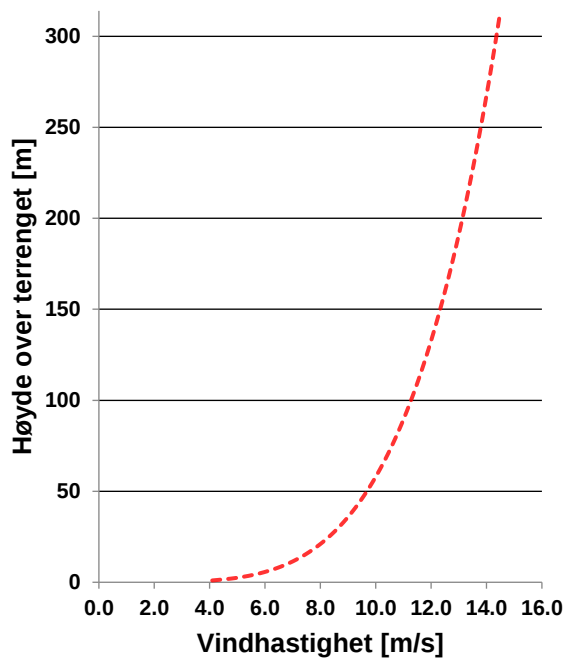
Grensebetingelse	Verdi
Innløp	Atmosfærisk hastighets- og turbulensprofil (se Figur 6-3)
Utløp og toppen av domenet	Trykk betingelse (0 Pa relativ trykk)
Vindstyrke ved 58 m høyde	10 m/s
Vindretninger	0° - 330°, med 30° intervall
Ruhet på bakken ⁴ (z_0)	0,3 m for bebygd område 0,3 m for skog 0,05 m for flat mark/eng/åker 0,0001 m for vannoverflate.
Simulert tid for midling av hastighetsfelt	10 min
Tidsskritt i beregningen	4 sek

Tabell 5: Grensebetingelser brukt i CFD-beregningene.

⁴ Fundamentals of Atmospheric Modeling. 2nd Edition, Mark Z. Jacobson, Stanford University, California, ISBN:9780521548656, 2005



Figur 6-2: Modellvolum med illustrasjon av grensebetingelser (her med vind fra nord-vest).



Figur 6-3: Grensebetingelser for hastighet og turbulens, her vist profil med terreng med en ruhet langs bakken som tilsvarer en implisitt modellering av nabobebyggelse.

6.4 Nøyaktighet av CFD-simuleringer

En CFD-simulering er en datamodell som prøver å tilnærme fysikken i et komplisert strømningsbilde, som ellers ikke er mulig å løse analytisk. Som med andre numeriske modeller finnes det kilder til usikkerhet som kan påvirke svaret. Disse usikkerhetene kan deles i to grupper: feil i sammensetningen av simuleringsmodellen og feil i den numeriske beregningen.

Mulige kilder til usikkerhet i sammensetningen av simuleringsmodellen kan inkludere:

- Geometriforenklinger og valg av representative geometridetaljer
- Valg av modell for f.eks. viskositet, turbulens, kjemi, termodynamikk osv.
- Forutsetninger for grense- og startbetingelser (dvs. inngangsdata)

Mulig kilder til usikkerhet i numerisk beregning kan inkludere:

- Diskretiseringsfeil, som oppstår når en deler fluiddomenet i et nett / rutenett av celleelementer, og tilnærmer løsningen av differensiallikningene for disse elementene
- Feil ved avrunding av datamaskinen
- Programmeringsfeil

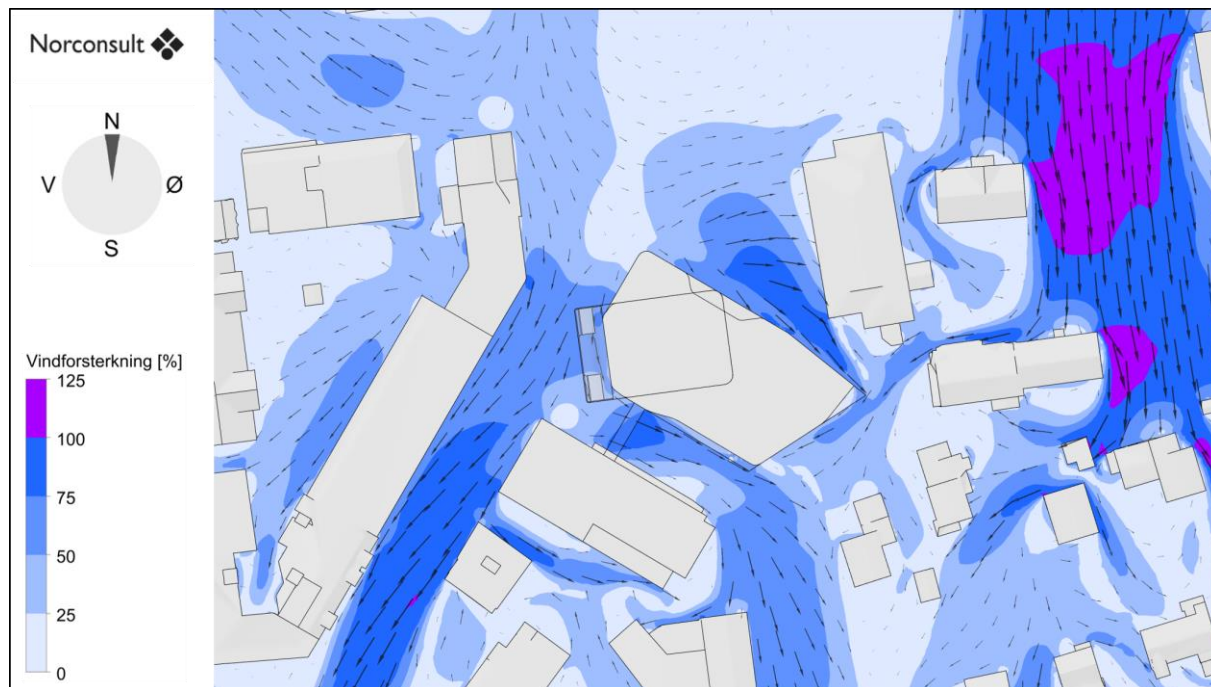
For å maksimere nøyaktigheten til en CFD-analyse er det viktig å minimere disse usikkerhetene. De to enkleste måtene å gjøre dette på er: (i) å sikre at ingeniøren som utfører analysen har en passende ekspertbakgrunn innen både numerisk modellering og fluiddynamikk (som minimerer potensialet for usikkerhet i sammensetningen av simuleringsmodellen), og (ii) ved bruk av validert og kvalitetssikret CFD-programvare (som minimerer potensialet for feil i den numeriske beregningen).

Basert på vår erfaring er ofte den største usikkerhetskilden inngangsdataene. Spørsmål som f.eks. vil utstyret faktisk produsere den spesifiserte varmemengden eller vil viften klare å opprettholde den spesifiserte volumstrømmen når den er i drift.

På grunn av den generelle kompleksiteten i simuleringen er det ikke praktisk mulig å presentere resultatene med passende usikkerhetsgrenser ($\pm x.xx\%$), uten en form for fysiske forsøk som simuleringen kan kalibreres opp mot. Den nåværende analysen er utført av CFD-eksperter, og generelle «best practice» metoder er brukt. De presenterte resultatene er så nøyaktig som de praktisk talt kan bli med hensyn til omfang og tidsbruk i arbeidet, samt tilgjengelig inputdata. Generelt sett er CFD-simulering den mest nøyaktige og tilgjengelige metoden for å analysere strømningsstekniske systemer i en konseptuell designfase.

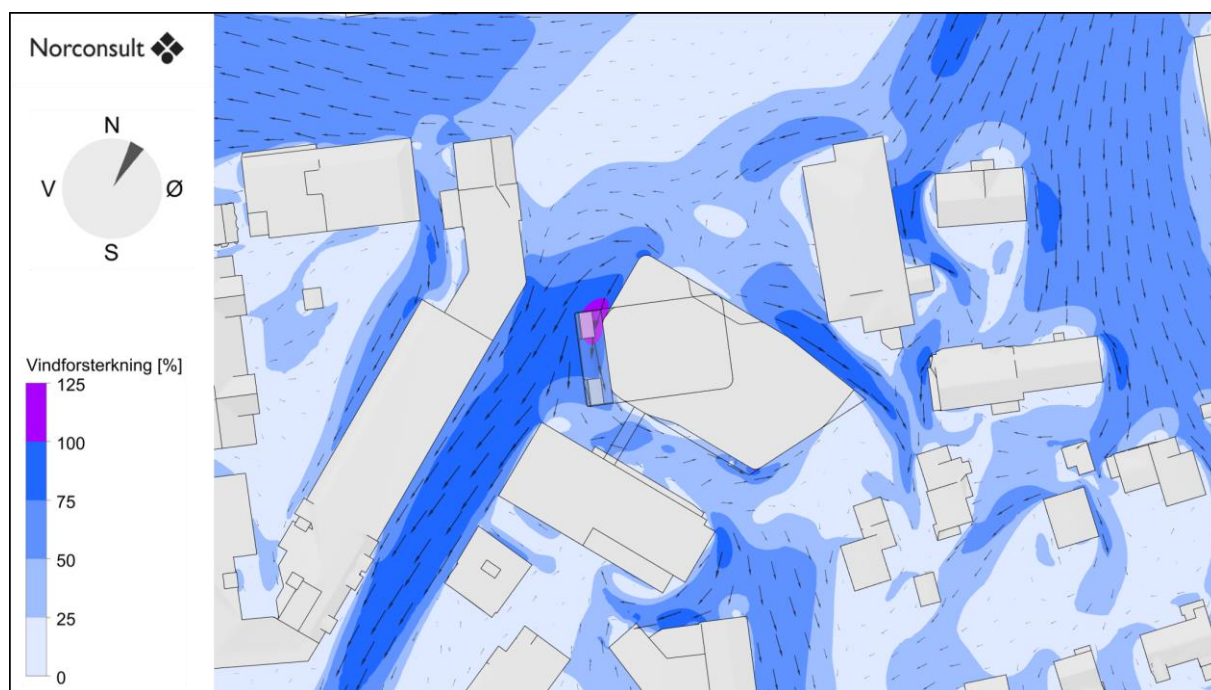
7 Vedlegg – vindforsterkning

7.1 Vind fra 0°



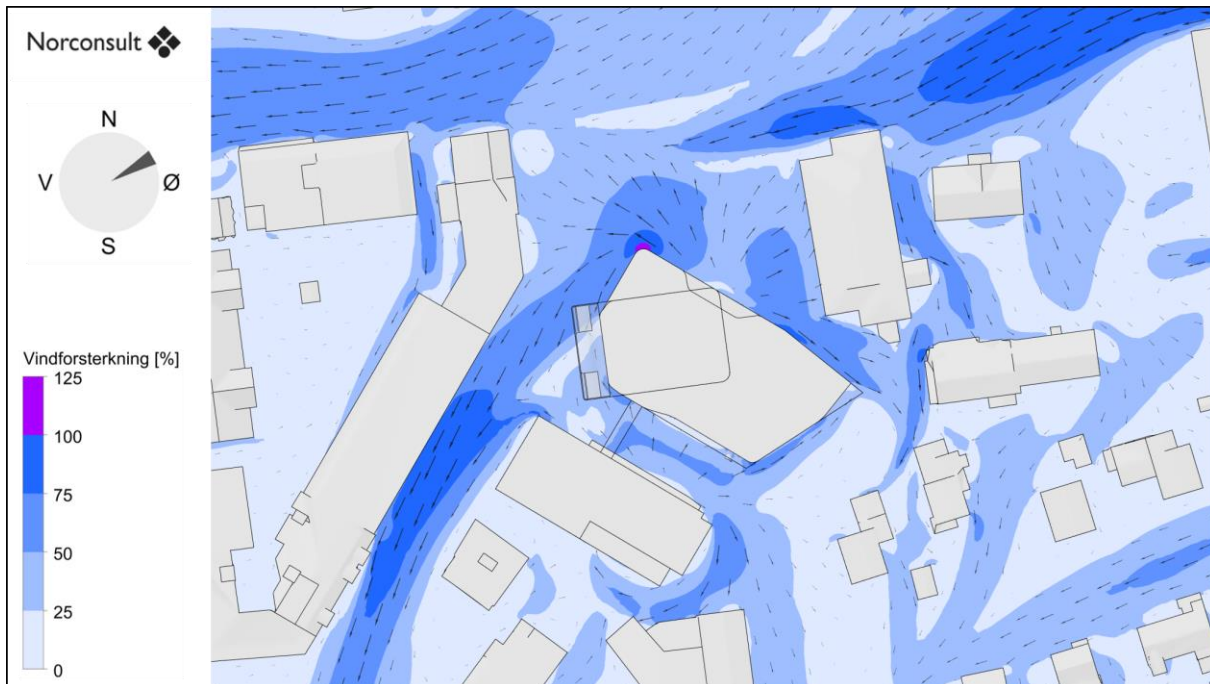
Figur 7-1: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 0°.

7.2 Vind fra 30°



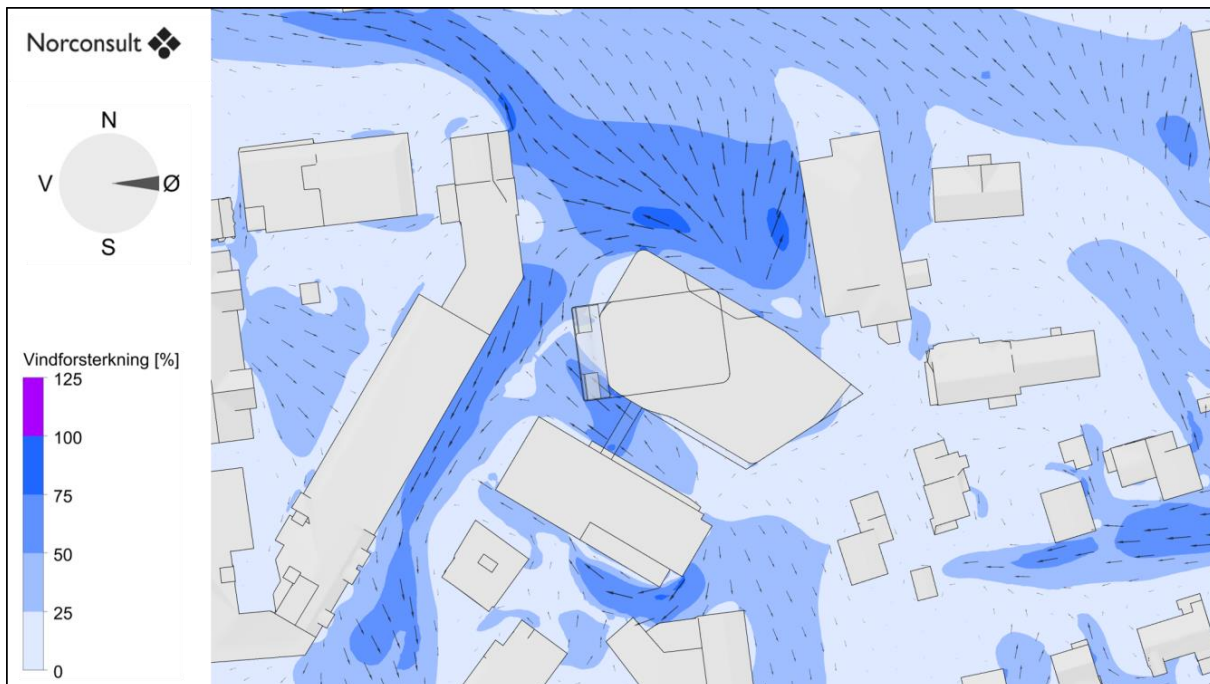
Figur 7-2: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 30°.

7.3 Vind fra 60°



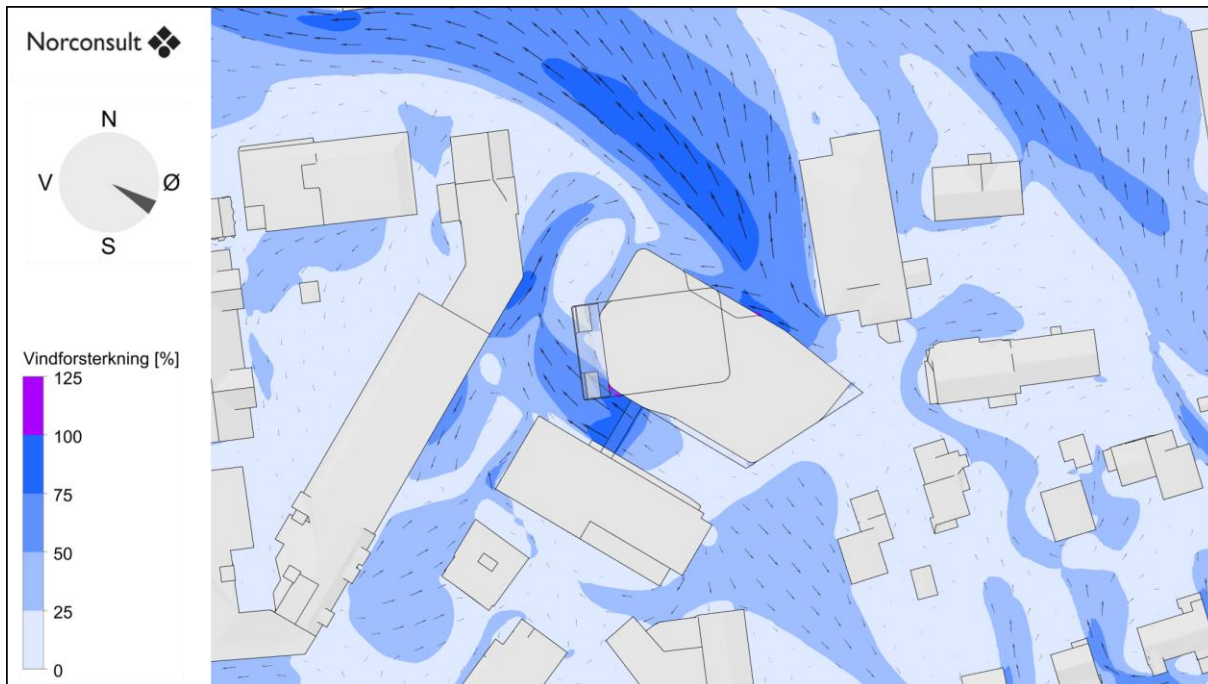
Figur 7-3: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 60°.

7.4 Vind fra 90°



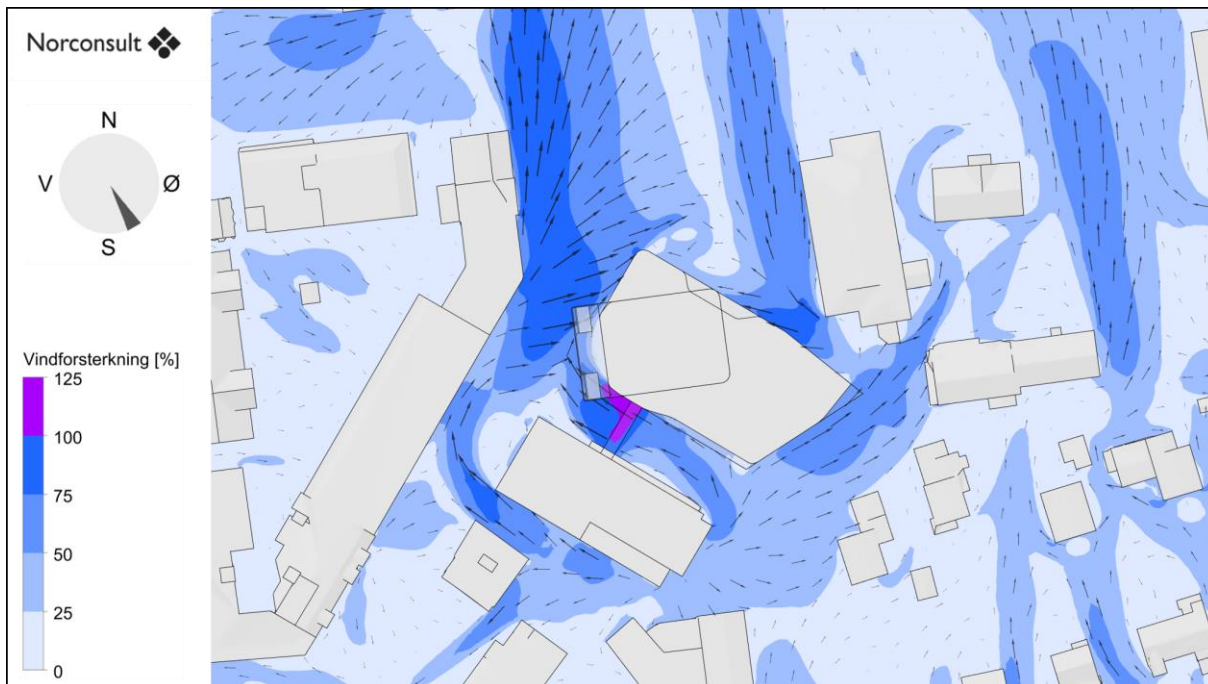
Figur 7-4: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 90°.

7.5 Vind fra 120°



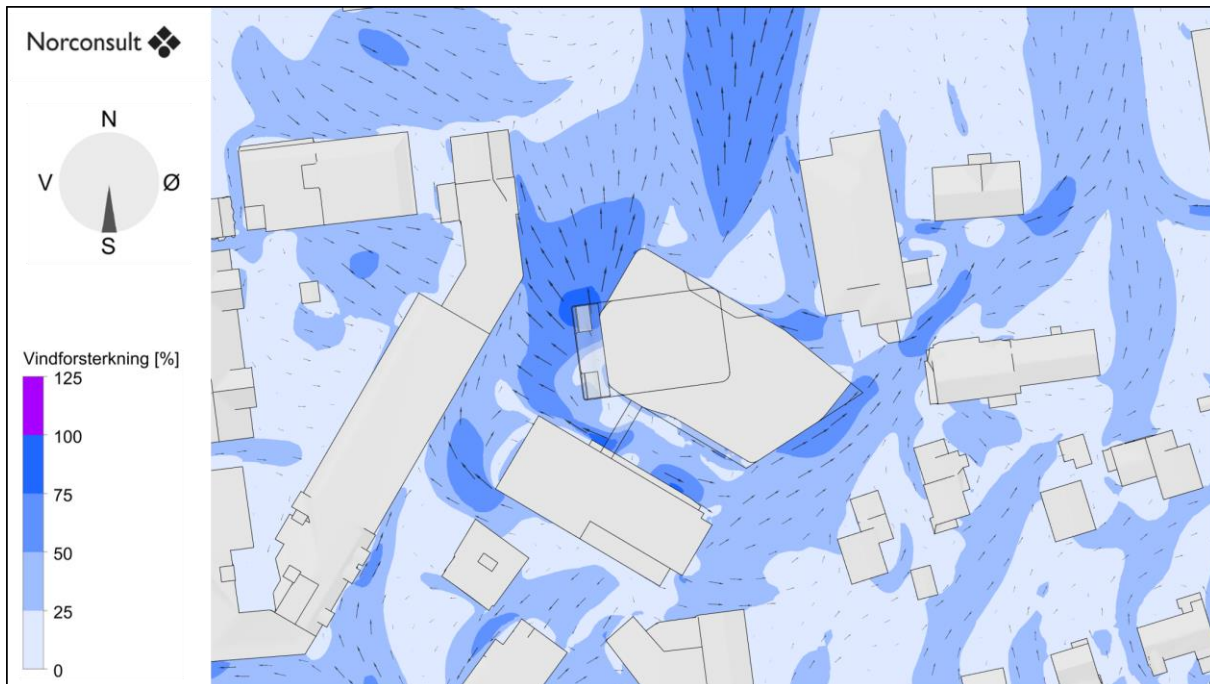
Figur 7-5: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 120°.

7.6 Vind fra 150°



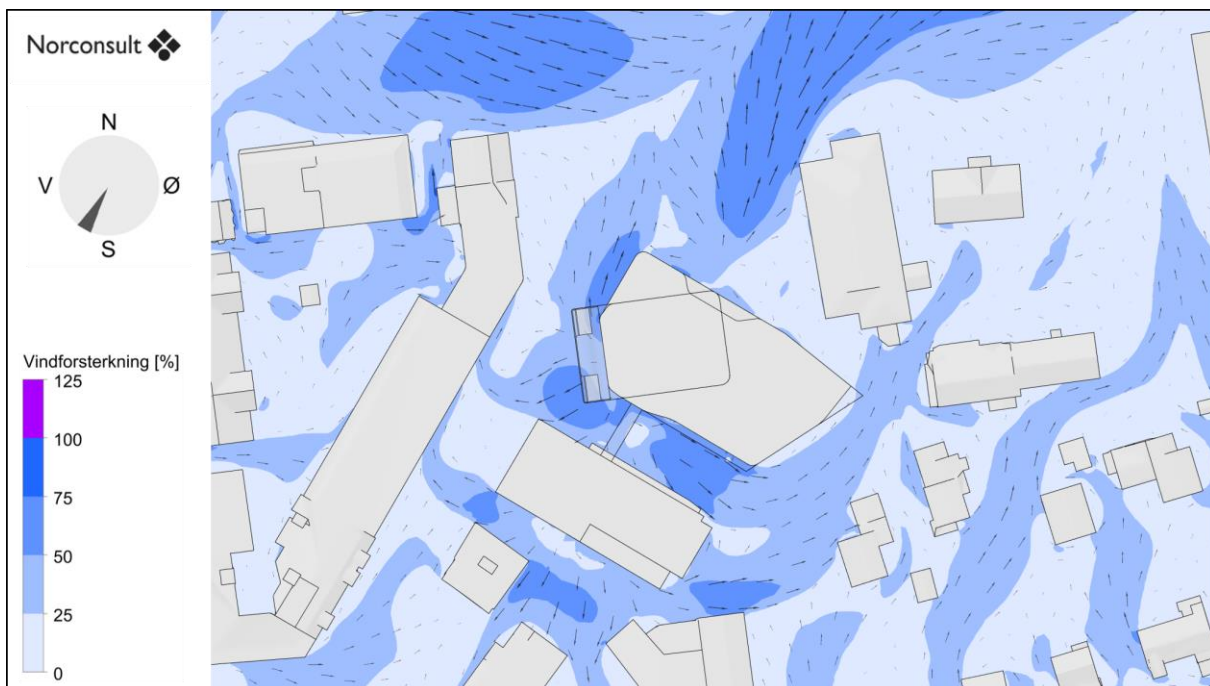
Figur 7-6: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 150°.

7.7 Vind fra 180°



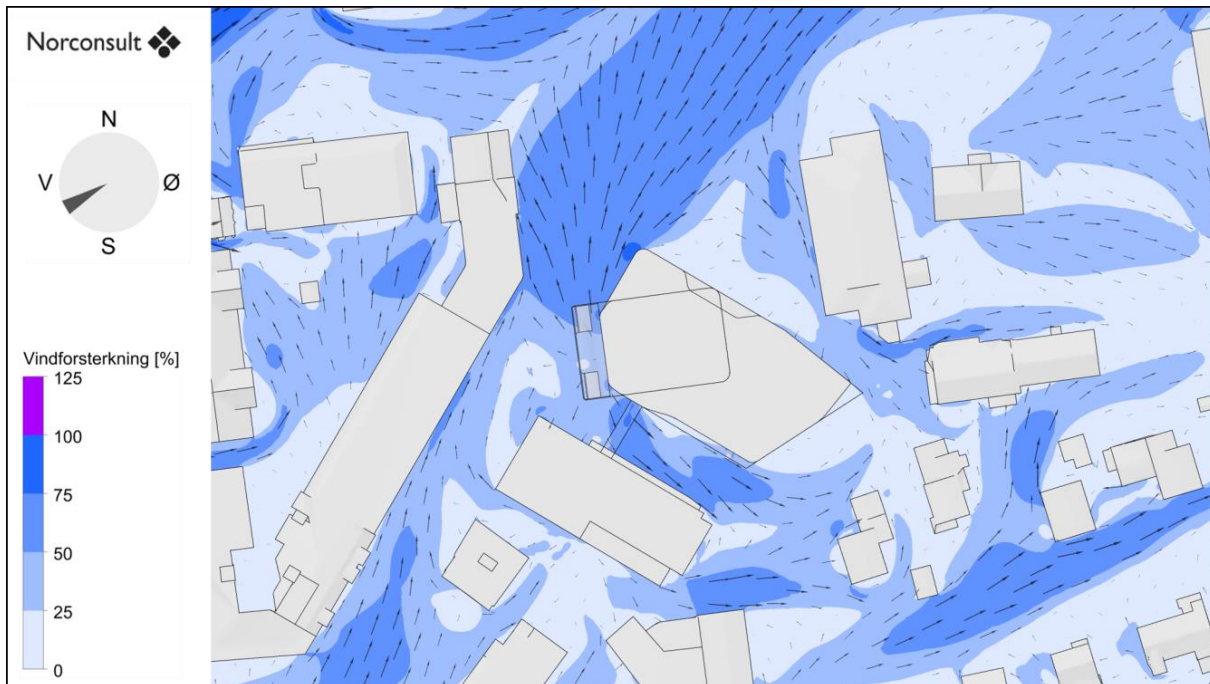
Figur 7-7: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 180°.

7.8 Vind fra 210°



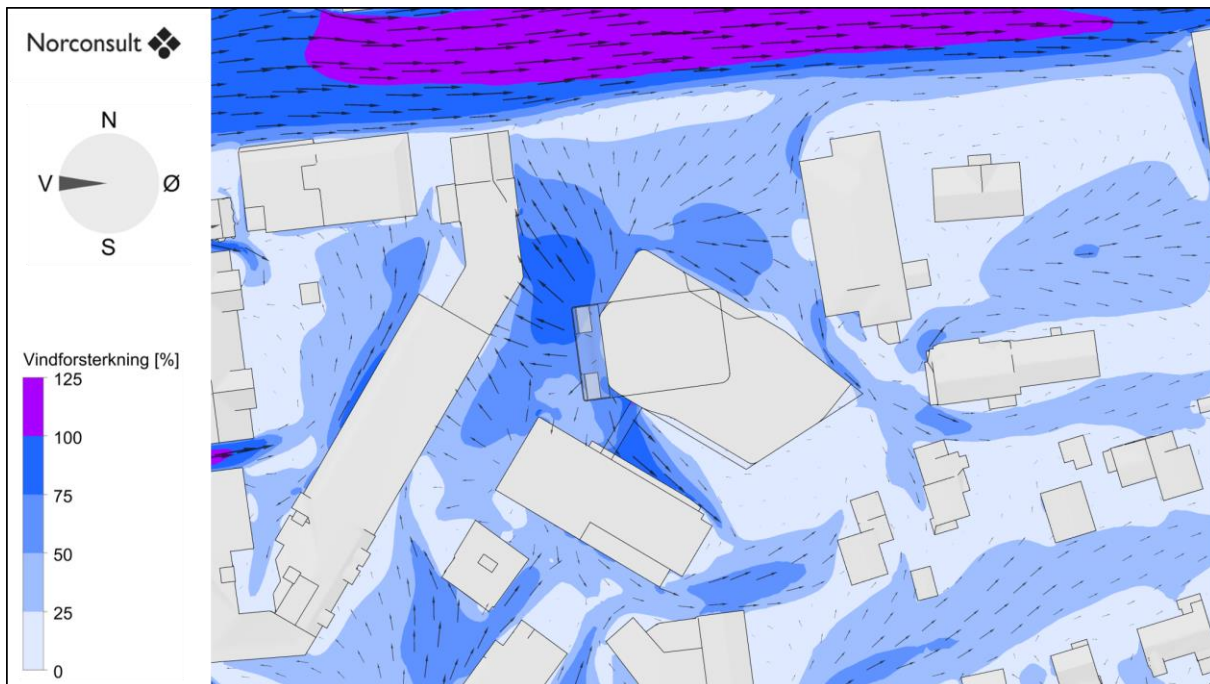
Figur 7-8: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 210°.

7.9 Vind fra 240°



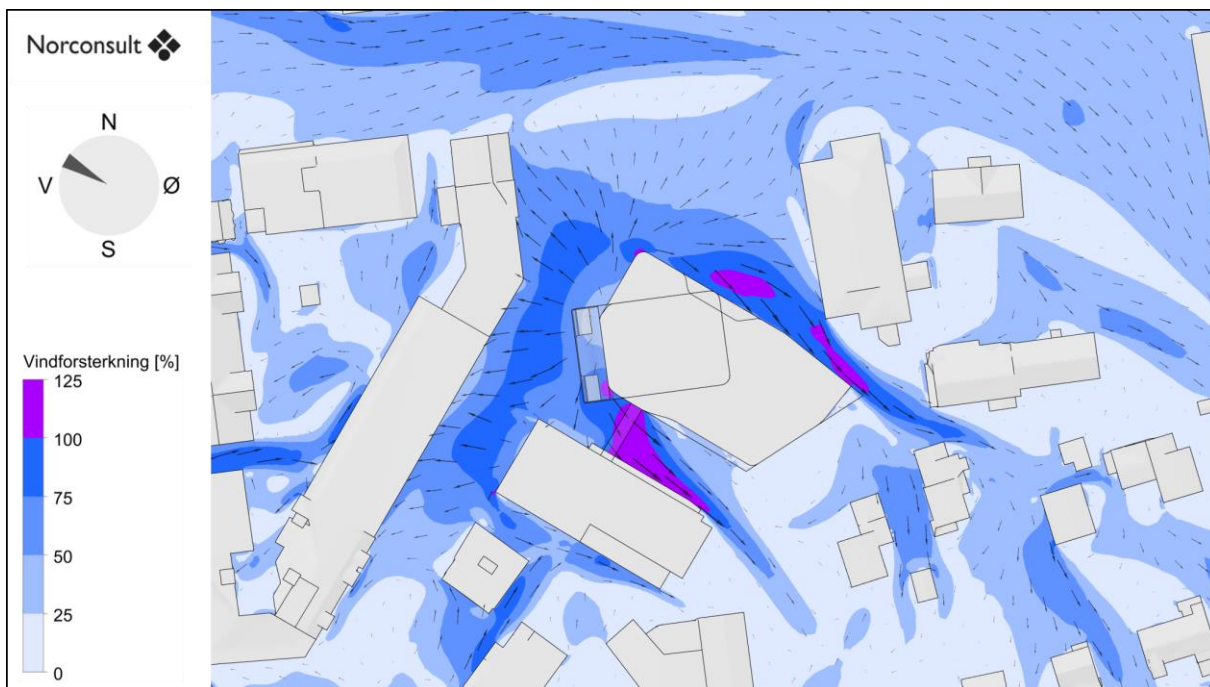
Figur 7-9: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 240°.

7.10 Vind fra 270°



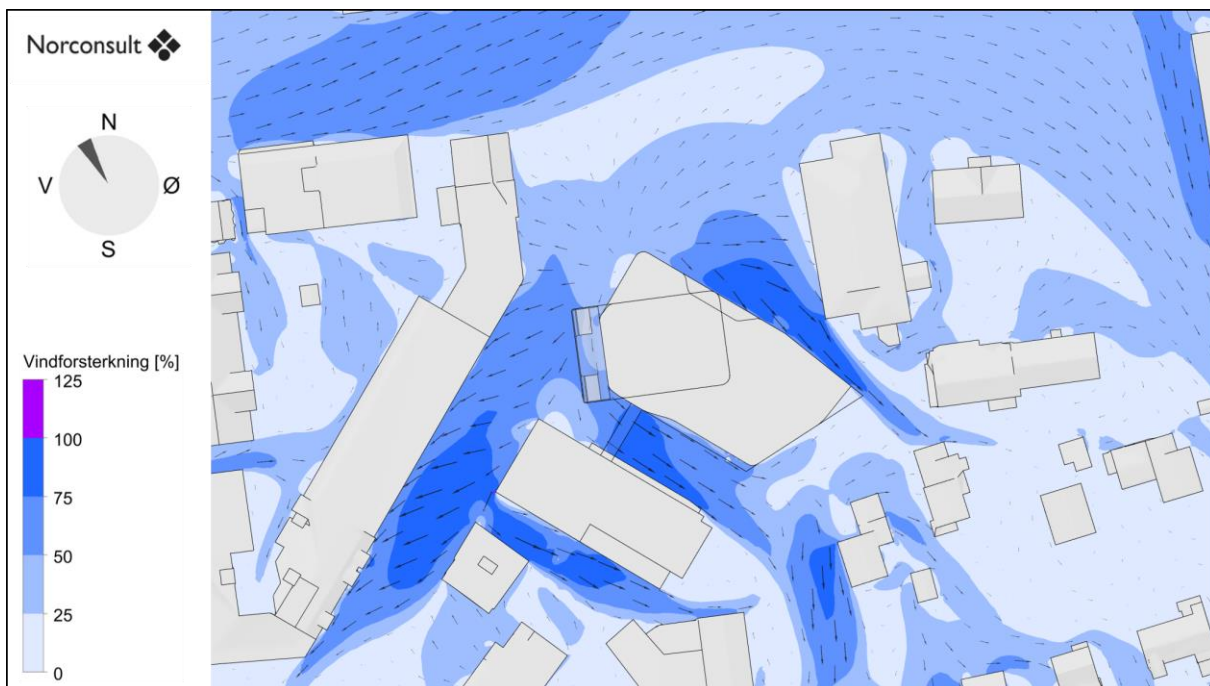
Figur 7-10: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 270°.

7.11 Vind fra 300°



Figur 7-11: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 300°.

7.12 Vind fra 330°

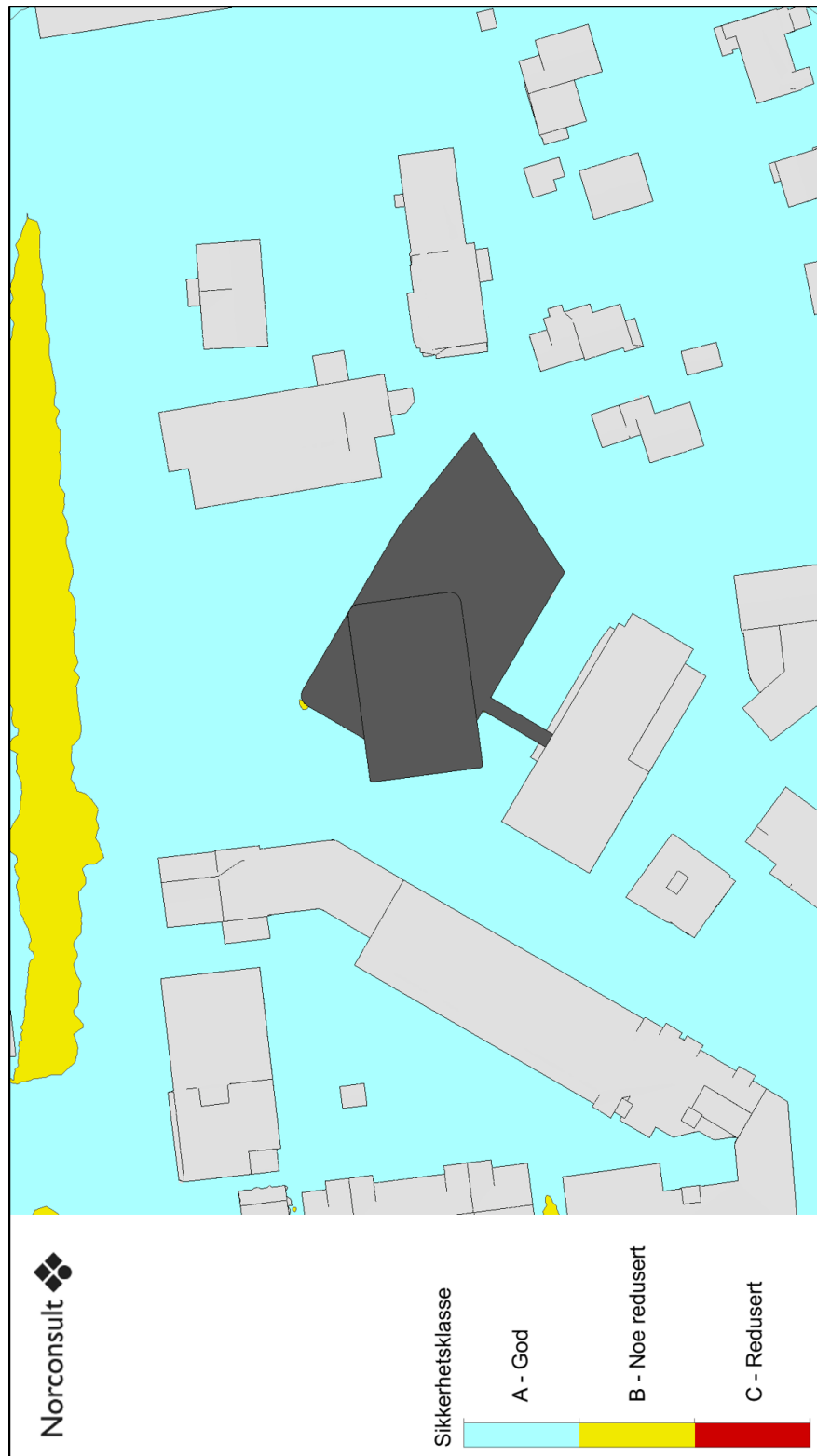


Figur 7-12: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 330°.

8 Vedlegg – vindkomfort- og sikkerhetskart bakkeplan



Figur 8-1: Vindkomfortkart i kroppshøyde på bakkeplan.



Figur 8-2: Sikkerhetskart i kroppshøyde på bakkeplan.