

Glimtech AS

► CFD vindanalyse av nytt stadion

Bodø Storstue

Oppdragsnr.: 52201831 Dokumentnr.: RIVind-01 Versjon: A01 Dato: 2022-06-03



Oppdragsgiver: Glimtech AS
Oppdragsgivers kontaktperson: Inge Henning Andersen
Rådgiver: Norconsult AS, Kjørboveien 22, NO-1337 Sandvika
Oppdragsleder: Mona Ågnes
Fagansvarlig: Nick Pedersen
Andre nøkkelpersoner: Solveig Therese Eiane

A01	2022-06-03	For godkjenning.	Solveig Therese Eiane	Nick Pedersen	Erling Solheim
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 fremtidige Bodø Storstue som planlegges plassert på Reinsletta i Bodø. Analysen er utført med fokus på strømningsbildet og vindkomfort på bakkeplan på og rundt planområdet.

Resultatene 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 lokale meteorologisk data. Sluttproduktet av analysen er en kartlegging av vindkomfort og vindrelatert sikkerhet rundt bygningen, iht. internasjonal standard og komfortklasser. Analysen er basert på simuleringer for den planlagte bygningen, samt eksisterende nabobygg i området.

Bodø er generelt sett en vindutsatt by med en høy årlig middelvind. Hvorvidt beboere og andre folk i området vil la seg «forstyrre» av vinden er subjektivt. Eksponerte områder som ligger langs kysten vil nødvendigvis måtte akseptere et generelt redusert vindkomfortnivå sammenlignet med områder lengre innenlands. Folk flest i kommunen vil være vant til at det kan blåse kraftig, men det bør allikevel tilrettelegges for god vindkomfort så store deler av året som mulig.

Resultatene viser at planlagt bygningsmasse for Bodø Storstue skaper sikkerhets- og komfortnivå som kan oppleves ukomfortabelt i noen områder. Det er spesielt to steder på bakkeplan som kan utpekes som vindutsatt, og dette er ved bygningens sørside og nordside. Planlagt bruk av relevante arealer bør vurderes opp mot vindkomfort og sikkerhetskartet som er presentert i resultatfigurene.

Kombinasjonen av at fremherskende vindretning er fra øst og at området øst for det nye stadionet er relativt åpent med flate jorder og lite bebyggelse, gjør at vinden som kommer fra den hyppigste vindretningen får blåse relativt uhindret inn mot planområdet. Dette gjør tomten som stadionet planlegges på til et utfordrende område med hensyn til vind generelt. Lokale tiltak for å redusere vindeksponeringen, som beplantning, legger, gjerder eller lignende, kan bidra til å bedre vindkomforten og den vindrelaterte sikkerheten.

Innhold

1	Introduksjon	5
2	Vindforhold i området	7
3	Resultater	10
4	Konklusjon	18
5	Referanser	19
6	Vedlegg – metode	20
7	Vedlegg – vindforsterkning	24
8	Vedlegg – vindkomfort- og sikkerhetskart	31

1 Introduksjon

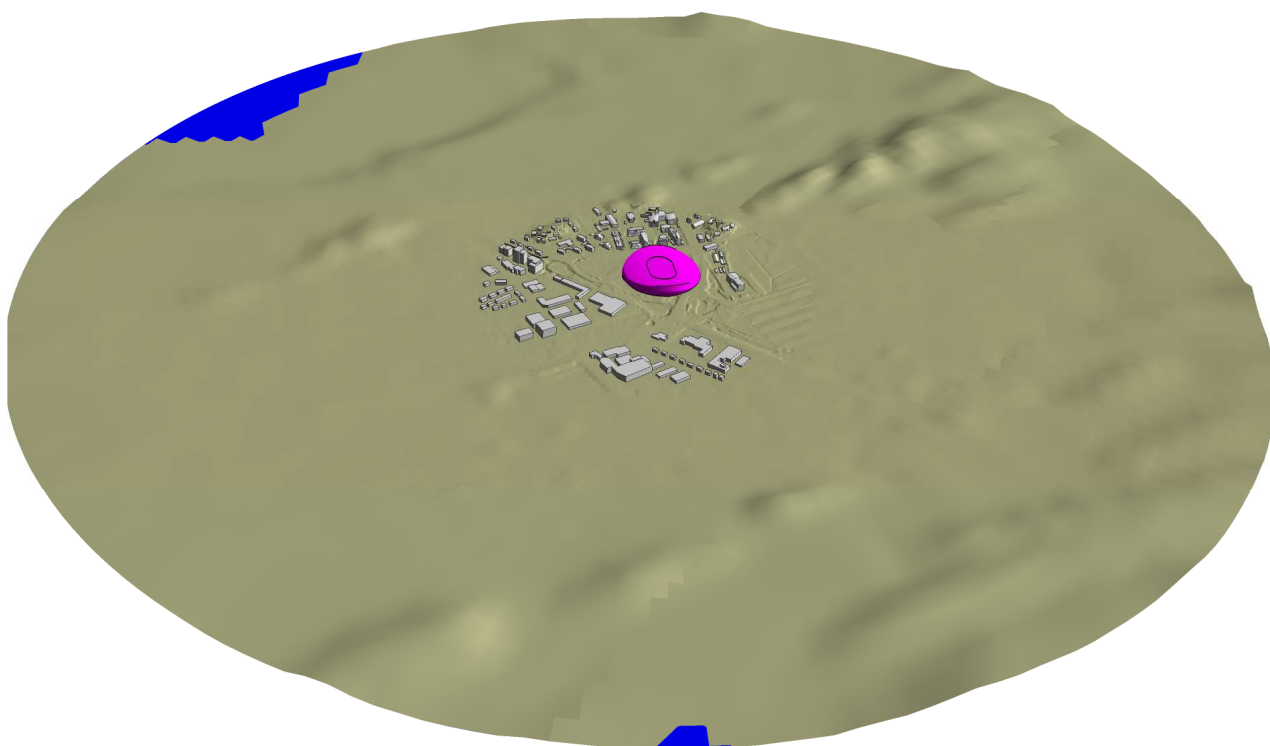
Det er utført en kvantitativ vindanalyse av fremtidige Bodø Storstue som planlegges plassert på Reinsletta i Bodø. Analysen er utført med fokus på strømningsbildet og vindkomfort på bakkeplan i og rundt planområdet.

Overordnet sett avhenger vindforhold rundt bygg av byggenes utforming, deres plassering i forhold til hverandre, terrenget og vindstatistikken i området. Alle disse faktorene tas med i CFD-analysen av vindforholdene. 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 mellom bygg kan virke som «vindtunneler». Disse faktorene kan påvirke komforten, og i enkelte tilfeller sikkerheten, i området.

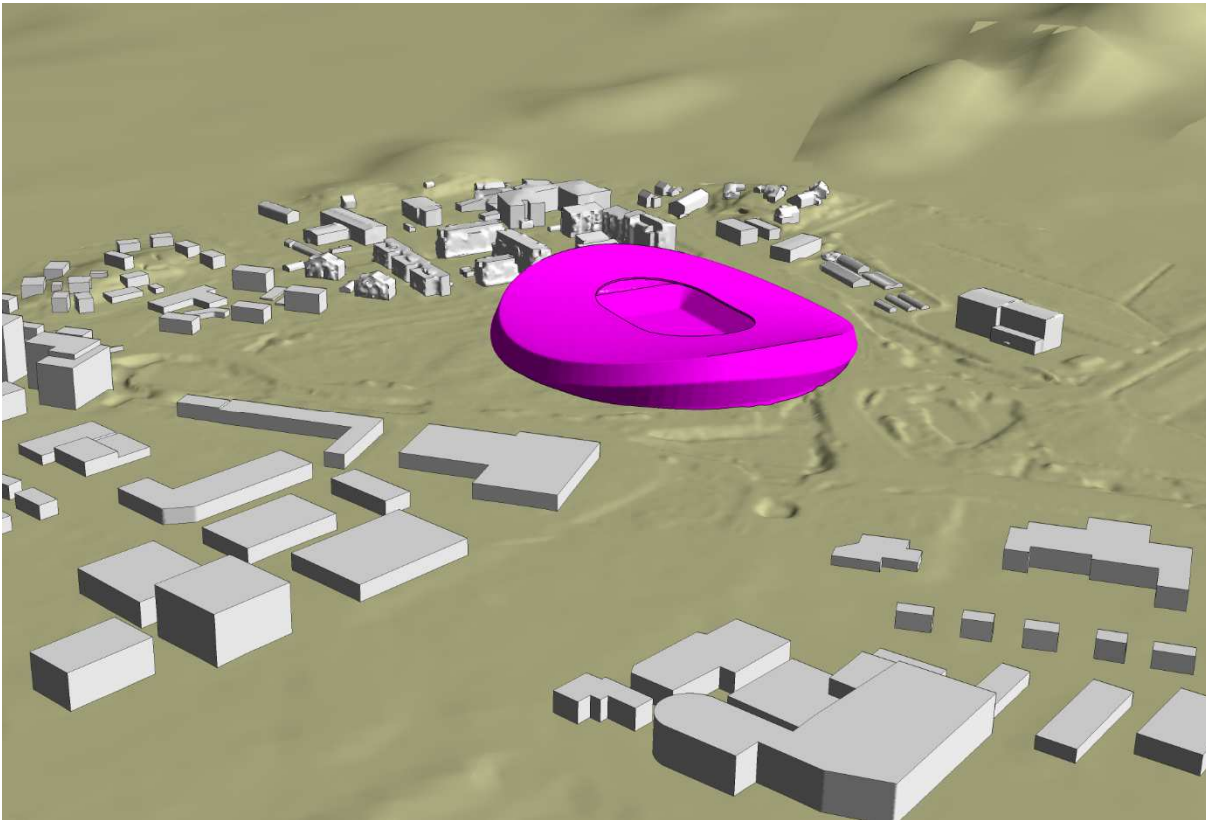
Simuleringsresultatene er brukt i en beregning av «lokal vindforsterkning» for samtlige vindretninger og deretter i en statistisk behandling av disse resultatene ved bruk av lokale meteorologisk data. Sluttproduktet av analysen er en kartlegging av vindkomfort og vindrelatert sikkerhet rundt byggene, 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 – Figur 3.

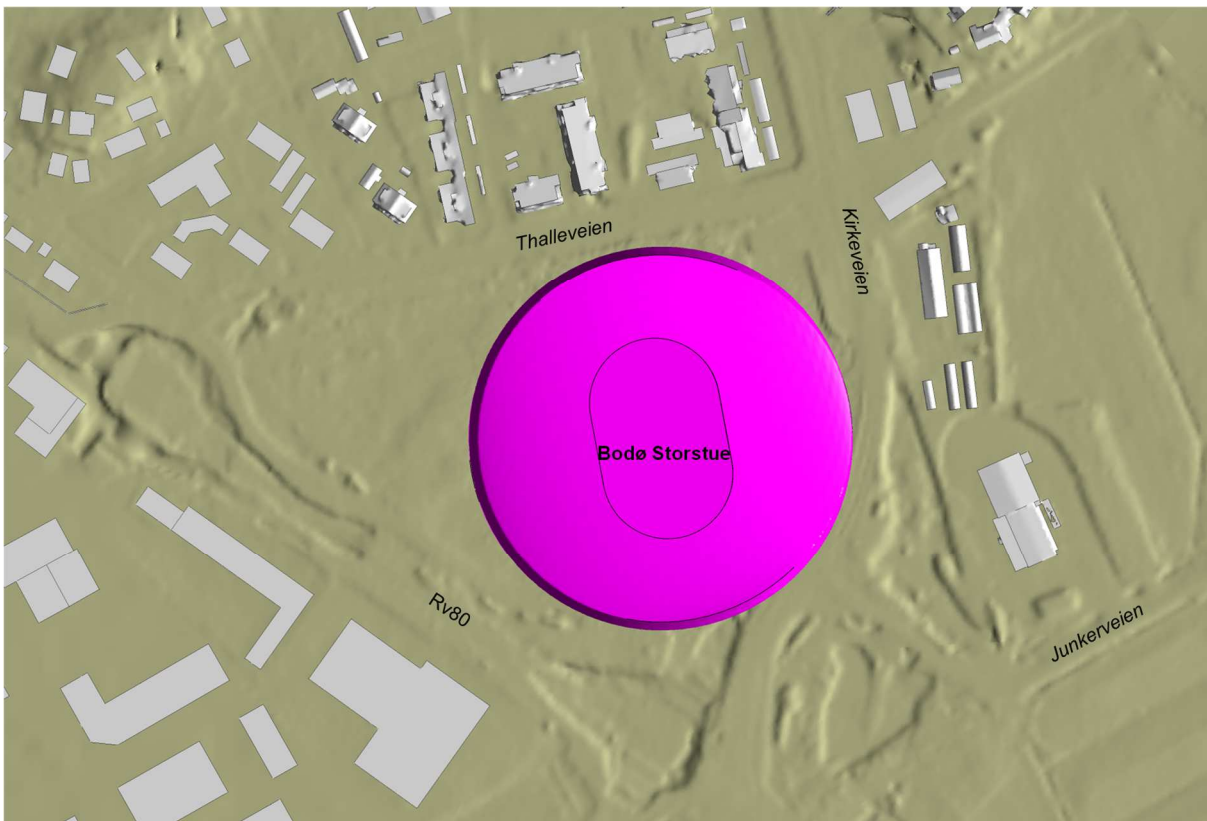
For mer detaljer rundt simuleringsmetoden, se vedlegg.



Figur 1: Oversikt over CFD-modell for Bodø Storstue, sett fra sør.



Figur 2: Oversikt over CFD-modell for Bodø Storstue, sett fra sør-vest.



Figur 3: Oversikt over CFD-modell for Bodø Storstue, sett ovenfra med gatenavn.

2 Vindforhold i området

2.1 Beliggenhet

Planområdet ligger i Bodø. Planområdet vises med rød prikk i figur 4. Nærmeste meteorologiske stasjon er ved Bodø lufthavn, og vises med blå prikk.

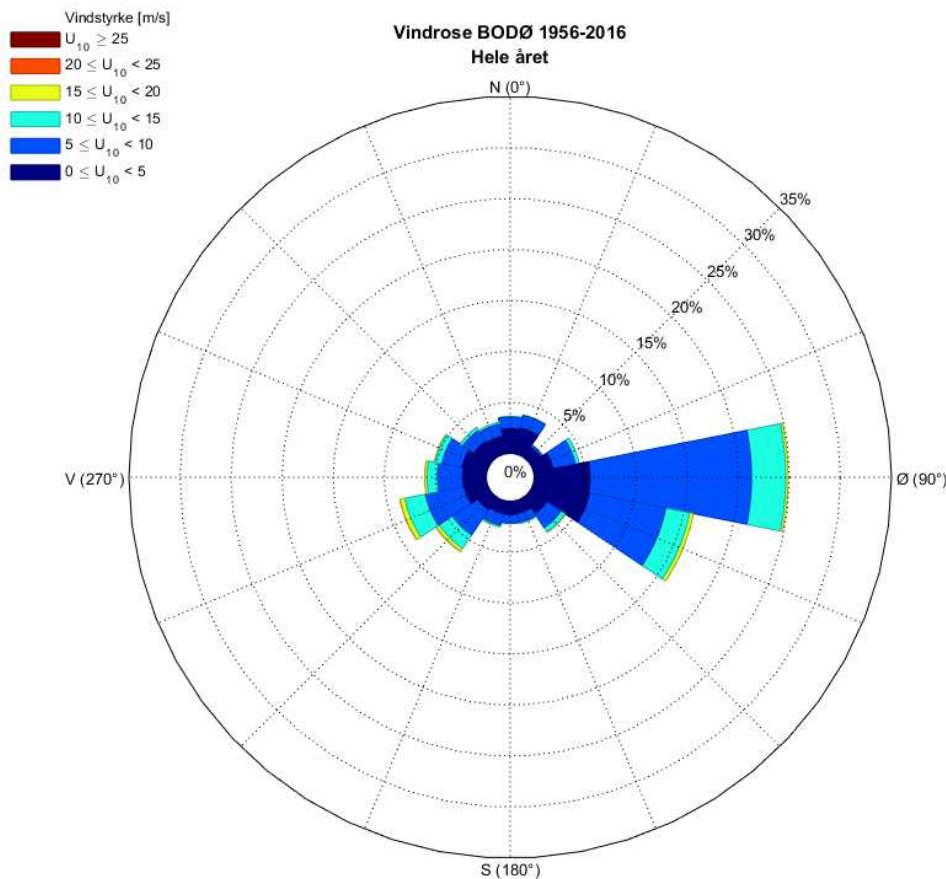


Figur 4: Planområdet vises med rød prikk. Nærmeste meteorologiske stasjon vises med blå prikk (© Kartverket).

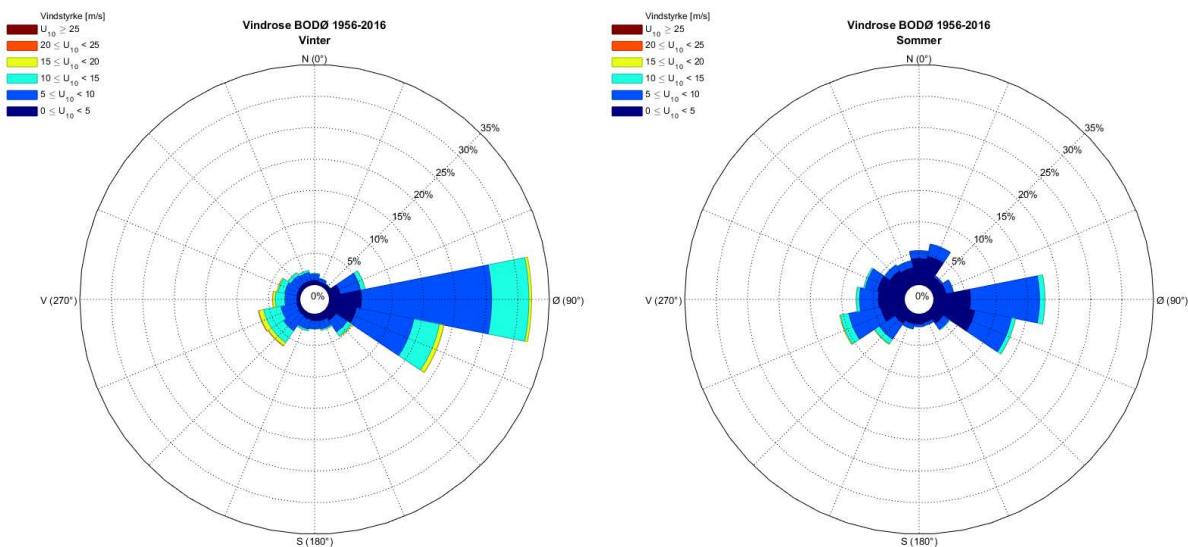
2.2 Vindstatistikk

Vindroser for området er vist i figur 5 og figur 6. Figurene viser statistisk fordeling av vindretninger som prosentvise andeler av tiden det blåser fra ulike retninger. I disse figurene er statistikken også delt etter vinter- og sommerhalvår.

Den fremherskende vindretningen i området er fra øst (Ø) til øst-sørøst (ØSØ). Både på sommeren og på vinteren er det vind fra øst som er dominant. Dette er imidlertid ikke et entydig bilde, ettersom vind fra andre retninger forekommer hele året. Foruten vind fra øst til øst-sørøst kan man se at vind fra vest-sørvest oppstår oftere enn andre retninger og at det veldig sjelden er vind fra nordlige og sørlige retninger.



Figur 5: Vindrose over året.



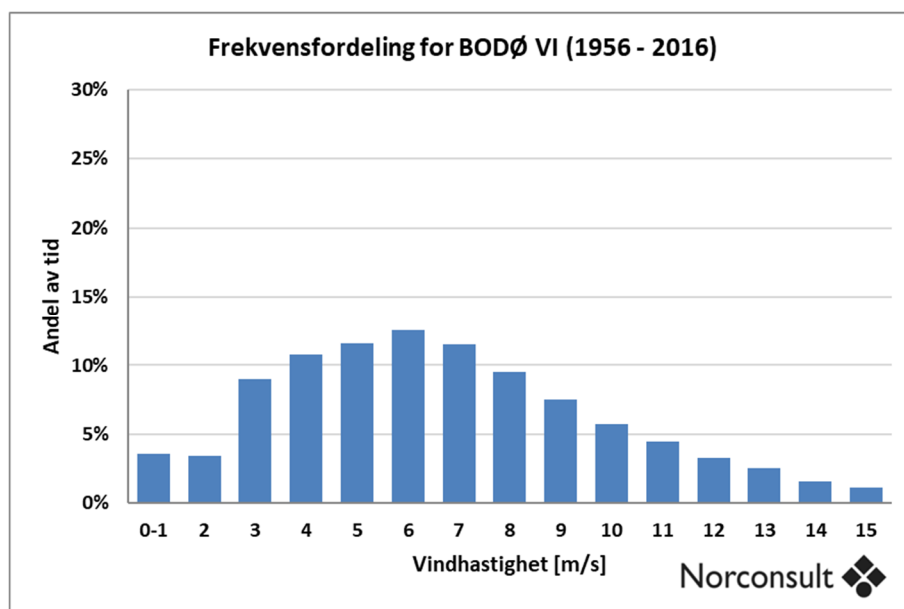
Figur 6: Vindrose, delt i hhv. vinter- og sommerhalvår.

Fordeling av vindhastighet mot andel av tid vises i figur 7. Gjennomsnittlig vindhastighet over hele året er på 6,3 m/s (Tabell 1). Dette er en relativt høy middelvind, og kan f.eks. sammenlignes med 2,7 m/s for Oslo.

I inndelingen i Tabell 2 ser man at det blåser hyppigst med vindhastighet mellom 6 – 10 m/s (47 % av året). Vind med hastighet mellom 1 – 5 m/s oppstår ca. 35 % av året, og det er relativt sjeldent «vindstille» (vindhastighet < 1 m/s).

De sterkeste vindhastighetene (opptil 16 – 20 m/s) inntreffer også sjeldent (1,9 % av året), og som regel ved vind fra vest og øst på vinterstid.

Vindhastighetene det refereres til i meteorologisk data er vind i vanlig referanse høyde, 10 meter over bakken. Vindstatistikken er basert på data for perioden 1957-2016 fra Meteorologisk institutts målestasjon ca. 2,0 km fra planområdet. Vindretning på et sted påvirkes av det lokale terrenget, og forholdene i det aktuelle området vil kunne avvike noe fra dataene fra Bodø lufthavn. Det anses derimot ikke å være noen forhold eller terreng som tyder på at det vil være store forskjeller mellom målestasjonen og planområdet. Vindstatistikken anses dermed som gjeldende for planområdet.



Figur 7: Andel av året ulike vindhastigheter forekommer.

Tabell 1: Observert middelvind over året.

Meteorologisk stasjon	Observert middelvind (m/s)
Bodø lufthavn	6,3

Tabell 2: Andel av året ulike vindhastigheter forekommer, inndelt.

Meteorologisk stasjon	Hastighet (m/s)	Andel av tid (%)
Bodø lufthavn	<1	3,58
	1 - 5	34,74
	6 - 10	46,74
	11 - 15	12,89
	16 - 20	1,89

3 Resultater

I dette kapittelet presenteres resultatene for vindkomfort og sikkerhet på og rundt planområdet. Det er også blitt beregnet hva vindforsterkningen, som er et relativt mål på vindhastigheten i kroppshøyde i forhold til uforstyrret vind i 10 meters høyde, vil være for 12 vindretninger, og resultatene fra dette er presentert i 7 Vedlegg – vindforsterkning.

3.1 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.

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

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>

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

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

Timemidlet vindhastighet i kroppshøyde 99.978 % av året	Sikkerhetsklasse	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.

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).

3.1.1 Vindkomfortkart

Det forventes noe utfordrende vindforhold på bakkeplan rundt det nye stadionet, og dette gjelder spesielt på sørsiden. Som vist i Figur 8, som viser vindkomfort i kroppshøyde på bakkenivå sett ovenfra, vil det hovedsakelig være komfortklasse D og E for store deler av planområdet. Figur 9 - Figur 12 viser også vindkomfort i kroppshøyde som er visualisert på bakkenivå utenfor stadionet, sett fra ulike retninger.

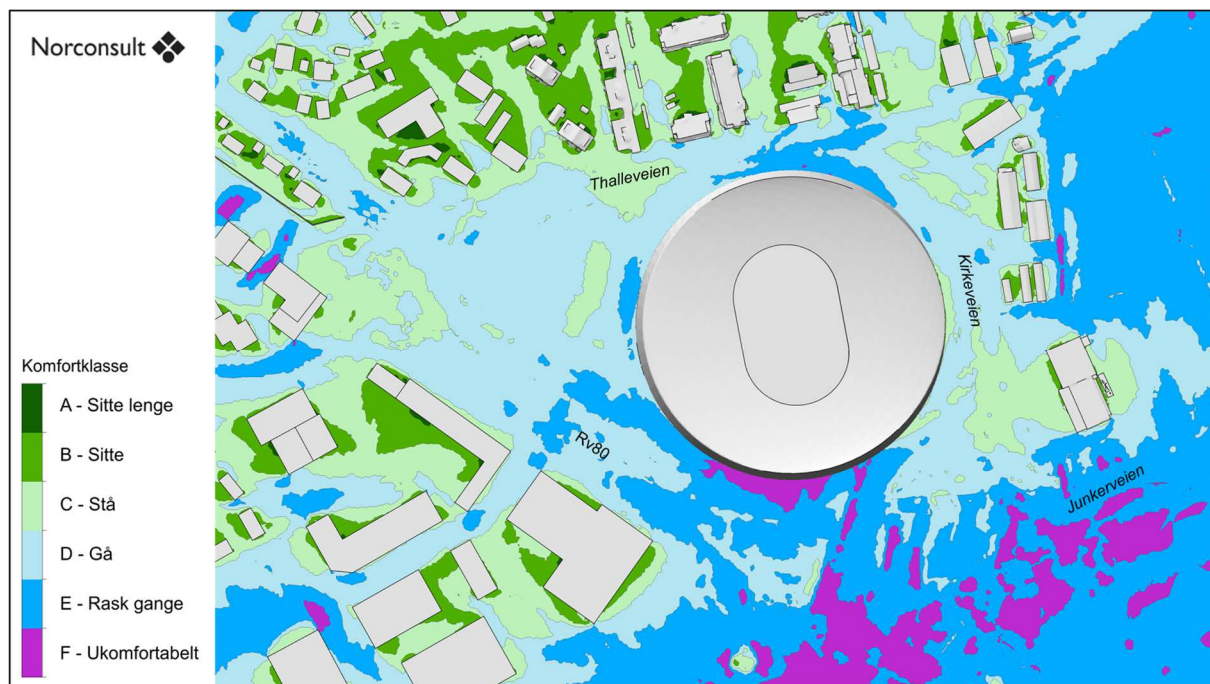
Østsiden og til dels nordvestsiden av den nye bygningen vil ha best komfort med klasse C og D, da nabobebyggelsen og stadionet i seg selv skjermer fra vinden som blåser inn fra øst. Områder med klasse C passer for stående opphold og klasse D passer for gående.

Særlig to steder kan utpekes som vindutsatt, og dette er ved stadionets sørside og nordside. Det er også et parti på vestsiden som peker seg ut som mer vindutsatt enn andre steder, og det vindutsatte partiet på sørsiden strekker seg et stykke oppover mot byggets vestside.

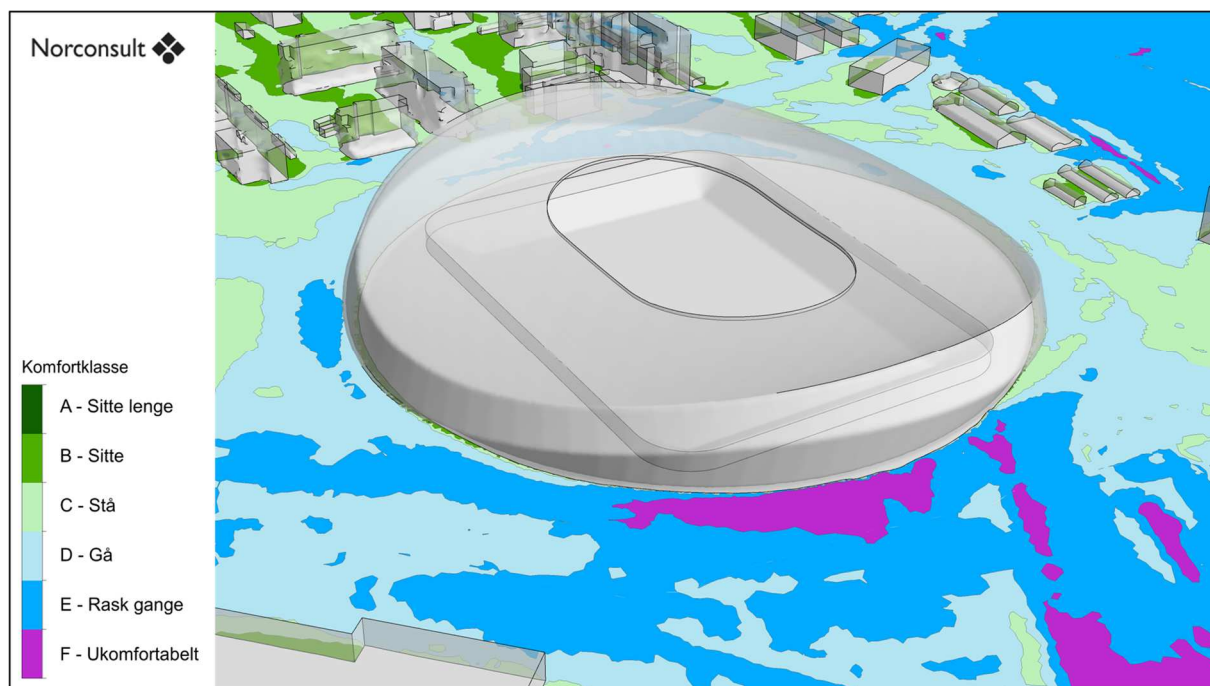
Kombinasjonen av at fremherskende vindretning er fra øst og at området øst for det nye stadionet er relativt åpent med flate jorder og lite bebyggelse, gjør at det er lite som bremses opp vinden og skjermer stadionet. Med andre ord får vinden som kommer fra den hyppigste vindretningen blåse relativt uhindret inn mot planområdet, og dette gjelder særlig for stadionets sørside. Der er det et parti med komfortklasse F, som er den dårligste komfortklassen på skalaen og som kan beskrives som ukomfortable vindforhold. Det er også mindre partier på grensen til denne komfortklassen på stadionets nordside.

Ellers er det partier med komfortklasse E sør, nord og vest for stadionet. Dette er områder som passer for rask gange, men som ikke er egnet for kortere eller lengre opphold. Det ikke anbefalt å ha inngangspartier steder der det er komfortklasse D eller verre.

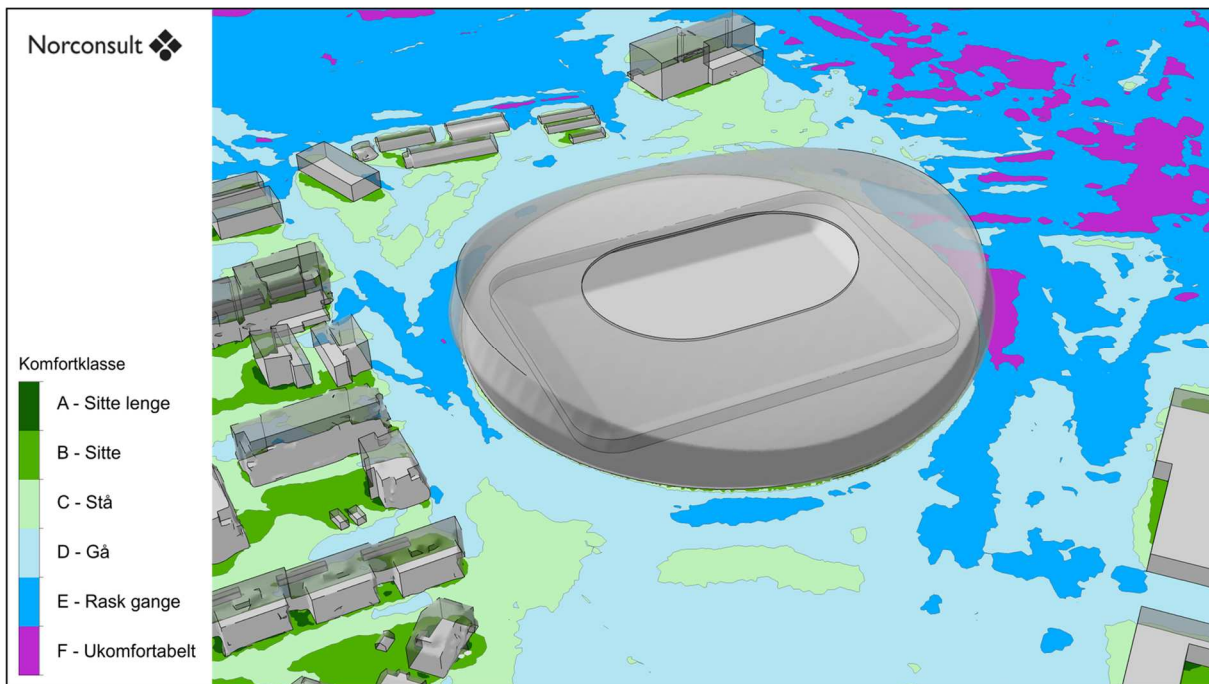
Overordnet sett vil det være et vindkomfortnivå på planområdet som er tilsvarende eller stedvis litt verre enn det man ser i resten av nabolaget. Tomten som stadionet planlegges på er utfordrende med hensyn til vind fordi de åpne jordene øst for planområdet gjør at vind fra øst vil kunne blåse nærmest uhindret inn mot bygget. Tiltak for vindskjerming, som beplantning eller vindskjermer, kan bidra til å bedre opplevelsen av vindforholdene rundt bygget.



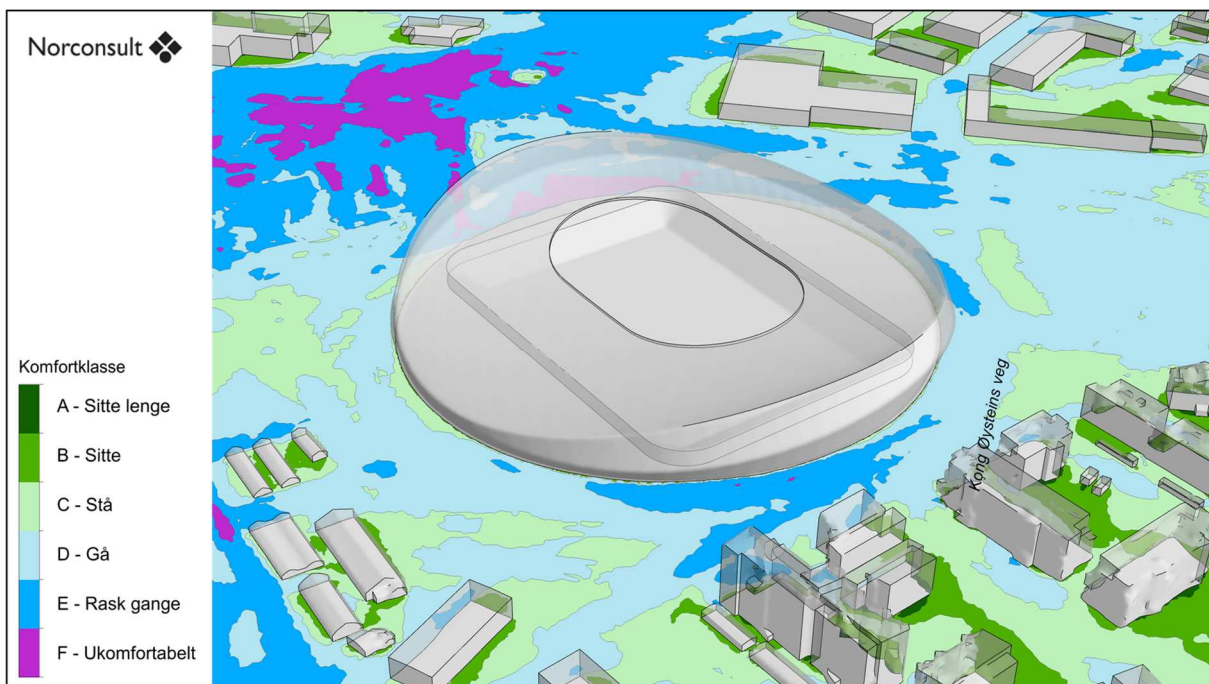
Figur 8: Vindkomfort i kroppshøyde, visualisert på bakkenivået.



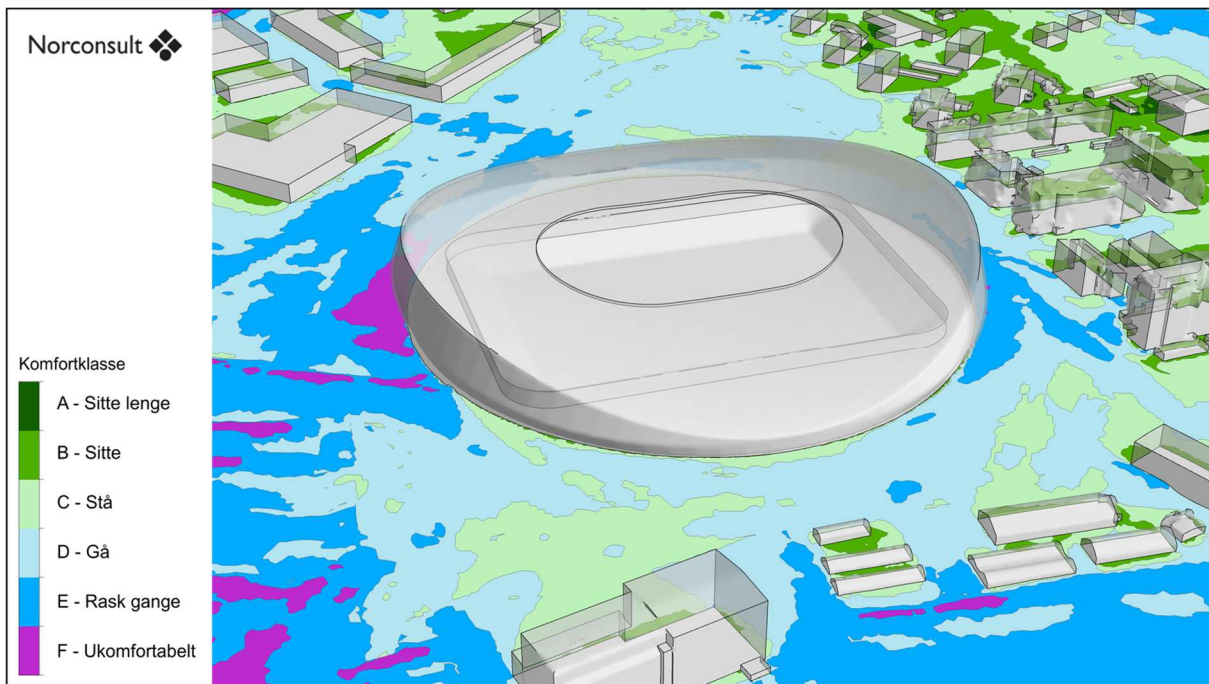
Figur 9: Vindkomfort i kroppshøyde, visualisert på bakkenivået. Sett fra sørvest.



Figur 10: Vindkomfort i kroppshøyde, visualisert på bakkenivået. Sett fra nordvest.



Figur 11: Vindkomfort i kroppshøyde, visualisert på bakkenivået. Sett fra nordøst.



Figur 12: Vindkomfort i kroppshøyde, visualisert på bakkenivået. Sett fra øst.

3.1.2 Sikkerhetskart

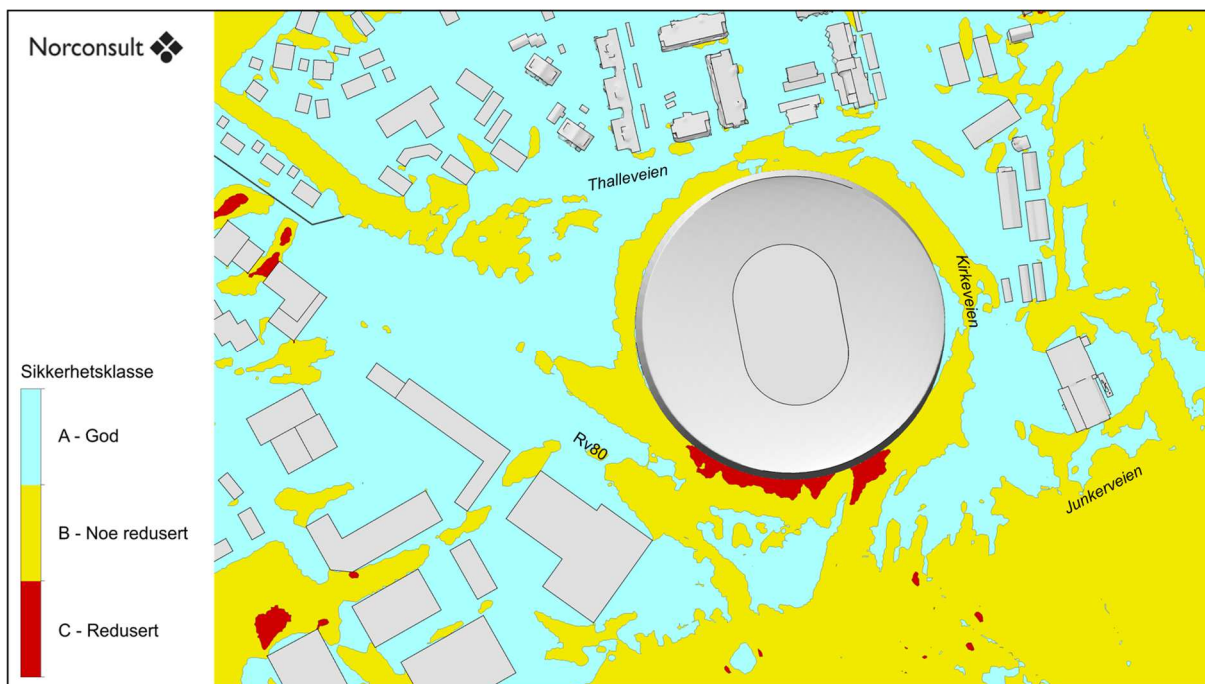
Sikkerhetskartet i Figur 13 viser at store deler av området rundt det nye stadionet vil ha sikkerhetsklasse B, som vil si noe redusert sikkerhet for den generelle befolkningen. Et mindre og et litt større parti på henholdsvis nord- og østsiden av bygget vil ha god sikkerhet (sikkerhetsklasse A), mens et større parti på sørsiden vil ha redusert sikkerhet (sikkerhetsklasse C). Figur 14 - Figur 17 viser også sikkerhetskartet for området, sett fra ulike retninger.

Sikkerhetsklasse B gir en indikasjon på at det vil være redusert sikkerhet på det gjeldende området for spesielt utsatte personer på dager det blåser kraftig (typisk «stiv kuling» eller høyere). Med spesielt utsatte personer menes det syklister eller de med dårlig balanse (f.eks. eldre mennesker eller de med redusert mobilitet). «Stiv kuling» på Beaufort skala er gjennomsnittlig vindhastighet over en periode på ti minutter på mellom 13,9 – 17,1 m/s, og iht. Meteorologisk institutt er kjennetegnet på denne vindstyrken at «hele trær rører på seg; det er tungt å gå mot vinden».

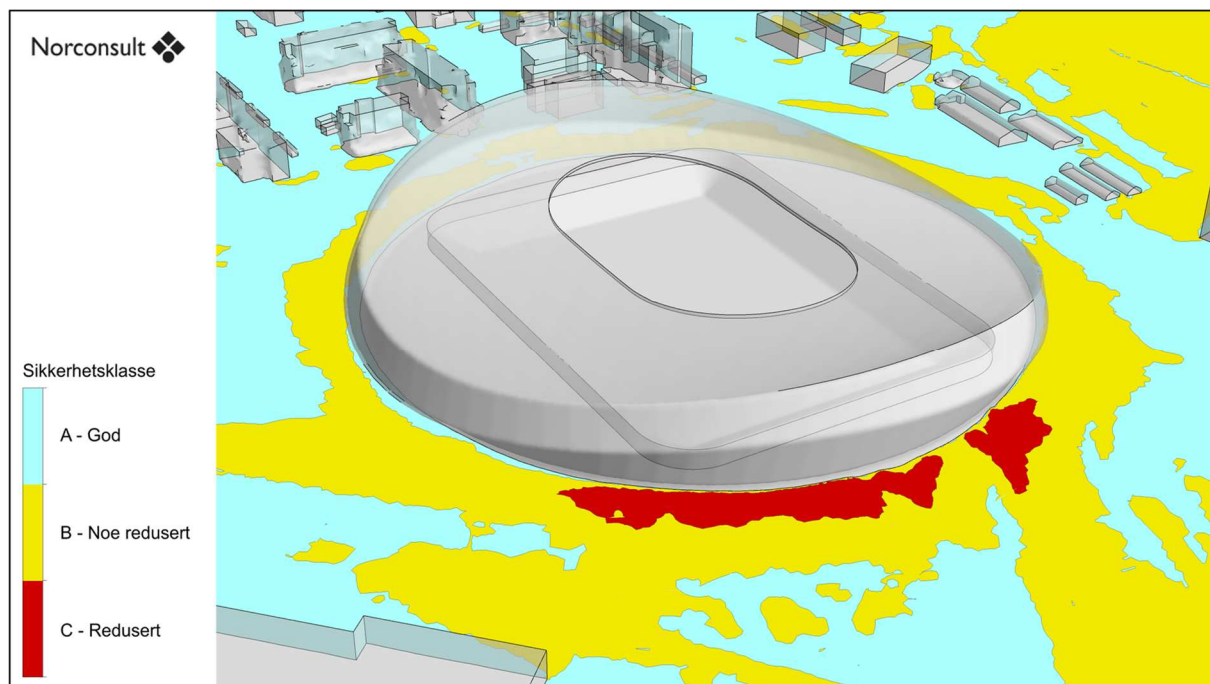
I Bodø blåser det som regel med vindstyrker tilsvarende stiv kuling ca. 4,6 % av året. På dager med så sterk middelvind er det som regel også sterke vindkast, noe som ofte betyr at Meteorologisk institutt gir ut farevarsel på gult nivå for vind. Fra yr.no: «Gule farevarsler sendes ut når det forventes mindre konsekvenser. De fleste vil kunne fortsette sine daglige gjøremål, men de som f.eks. planlegger utendørsaktiviteter, bør være oppmerksomme eller eventuelt holde seg inne.»

På dager det blåser veldig kraftig (typisk «liten storm» eller høyere), vil det med sikkerhetsklasse C være ytterligere redusert sikkerhet. I Bodø blåser det som regel med slike vindstyrker ca. 0,4 % av året.

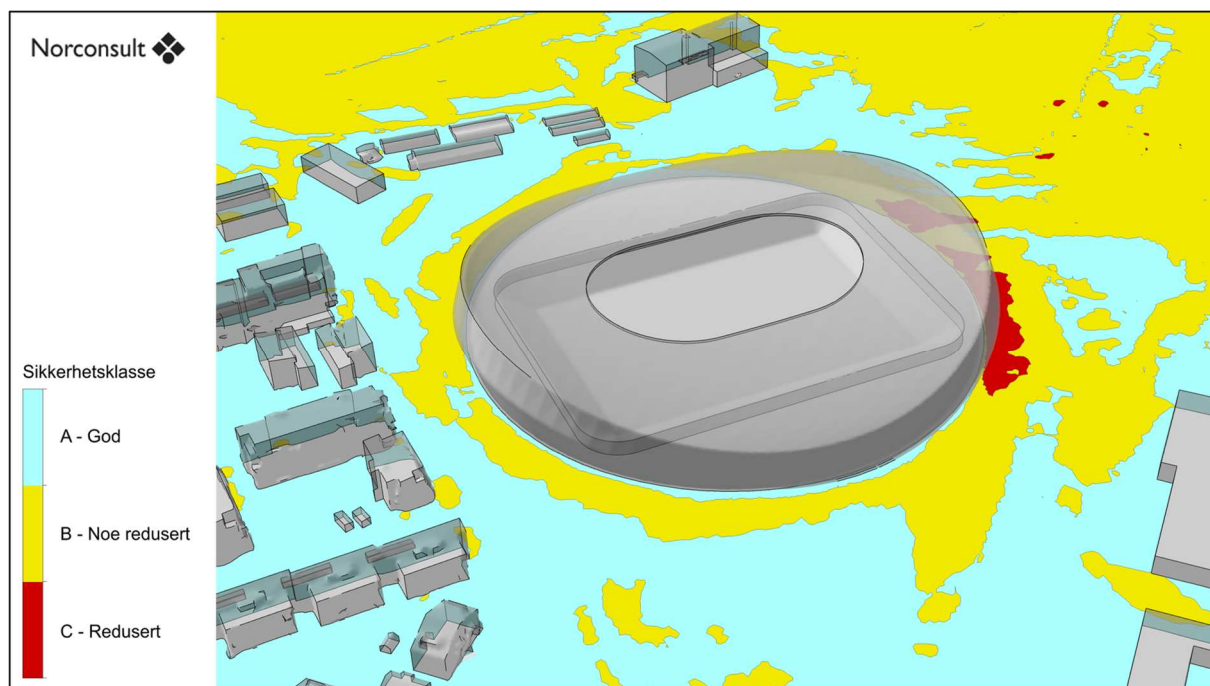
Generelt medfører det nye bygget et belte rundt nesten hele stadionet med noe redusert sikkerhet, og et område med redusert sikkerhet på det særlig vindutsatte partiet på sørsiden. Samtidig kan det være verdt å merke seg at sikkerheten på planområdet ikke er så ulik det man ellers ser i nærområdene. Lokale tiltak for vindskjerming, som beplantning eller vindskjermer, kan bidra til å øke den vindrelaterte sikkerheten.



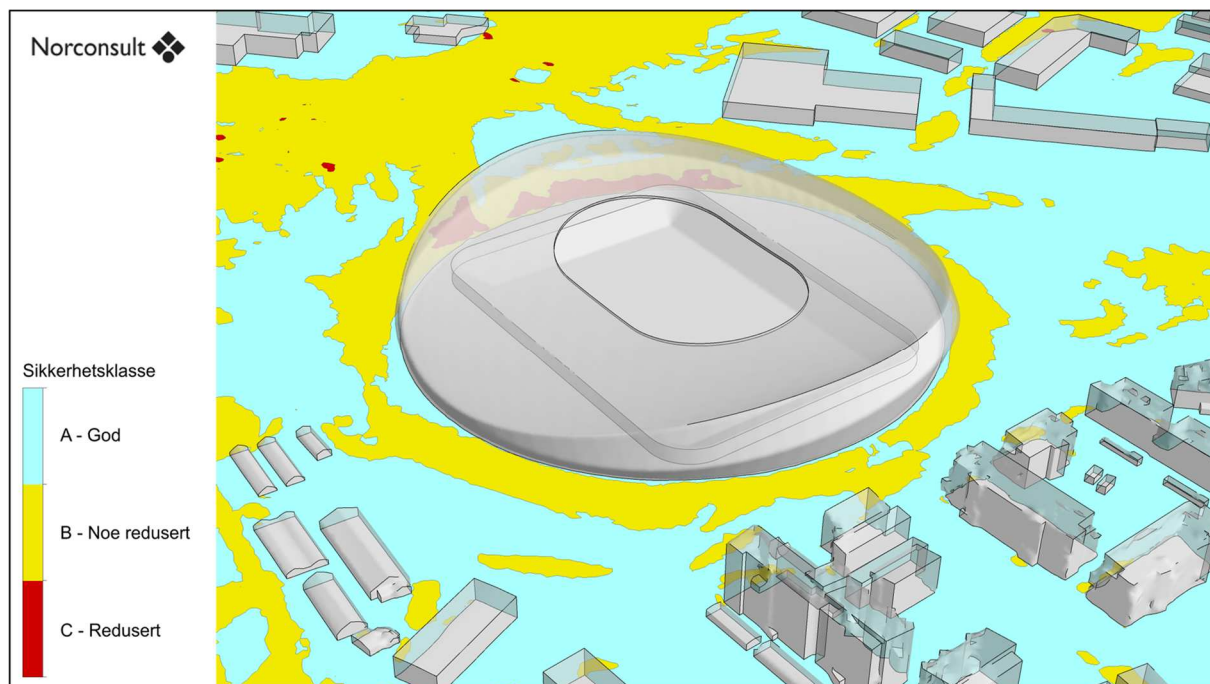
Figur 13: Sikkerhetskart som viser sikkerhetsklassene i kroppshøyde, visualisert på bakkenivået.



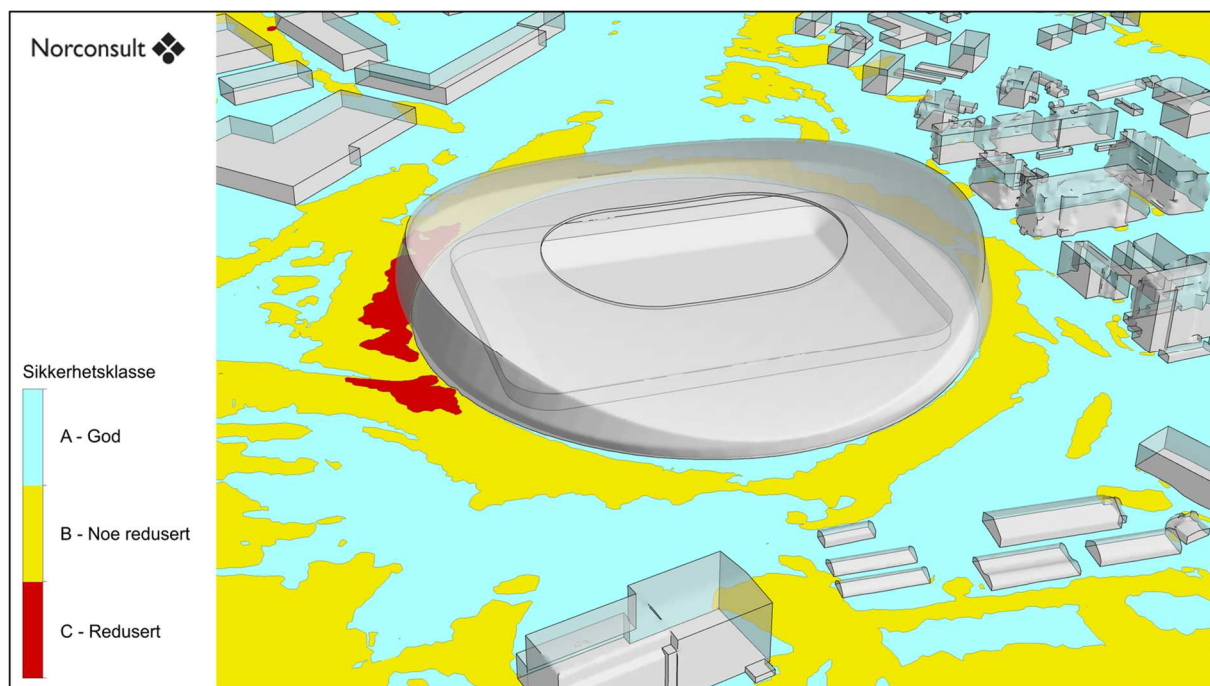
Figur 14: Sikkerhetskart som viser sikkerhetsklassene i kroppshøyde, visualisert på bakkenivået. Sett fra sørvest.



Figur 15: Sikkerhetskart som viser sikkerhetsklassene i kroppshøyde, visualisert på bakkenivået. Sett fra nordvest.



Figur 16: Sikkerhetskart som viser sikkerhetsklassene i kroppshøyde, visualisert på bakkenivået. Sett fra nordøst.



Figur 17: Sikkerhetskart som viser sikkerhetsklassene i kroppshøyde, visualisert på bakkenivået. Sett fra øst.

4 Konklusjon

Det er utført en kvantitativ vindanalyse av fremtidige Bodø Storstue som planlegges plassert på Reinsletta i Bodø. Analysen er utført med fokus på strømningsbildet og vindkomfort på bakkeplan på og rundt planområdet.

Resultatene 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 lokale meteorologisk data.

Sluttproduktet av analysen er en kartlegging av vindkomfort og vindrelatert sikkerhet rundt bygningen, iht. internasjonal standard og komfortklasser. Analysen er basert på simuleringer for den planlagte bygningen, samt eksisterende nabobygg i området.

Bodø er generelt sett en vindutsatt by med en høy årlig middelvind. Hvorvidt beboere og andre folk i området vil la seg «forstyrre» av vinden er subjektivt. Eksponerte områder som ligger langs kysten vil nødvendigvis måtte akseptere et generelt redusert vindkomfortnivå sammenlignet med områder lengre innenlands. Folk flest i kommunen vil være vant til at det kan blåse kraftig, men det bør allikevel tilrettelegges for god vindkomfort så store deler av året som mulig.

Resultatene viser at planlagt bygningsmasse for Bodø Storstue skaper sikkerhets- og komfortnivå som kan oppleves ukomfortabelt i noen områder. Det er spesielt to steder på bakkeplan som kan utpekes som vindutsatt, og dette er ved bygningens sørside og nordside. Planlagt bruk av relevante arealer bør vurderes opp mot vindkomfort og sikkerhetskartet som er presentert i resultatfigurene.

Kombinasjonen av at fremherskende vindretning er fra øst og at området øst for det nye stadionet er relativt åpent med flate jorder og lite bebyggelse, gjør at vinden som kommer fra den hyppigste vindretningen får blåse relativt uhindret inn mot planområdet. Dette gjør tomten som stadionet planlegges på til et utfordrende område med hensyn til vind generelt. Lokale tiltak for å redusere vindeksponeringen, som beplantning, levegger, gjerder eller lignende, kan bidra til å bedre vindkomforten og den vindrelaterte sikkerheten.

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 RANS¹-modellering med en SST² turbulensmodell. Dette er ansett for å være innenfor kategorien «industristandard» metodikk for slik modellering.

CFD er brukt i dette tilfellet 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 18.

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 relativt liten virkning.

Nabobygg i en radius på ca. 700 m rundt planområdet 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).

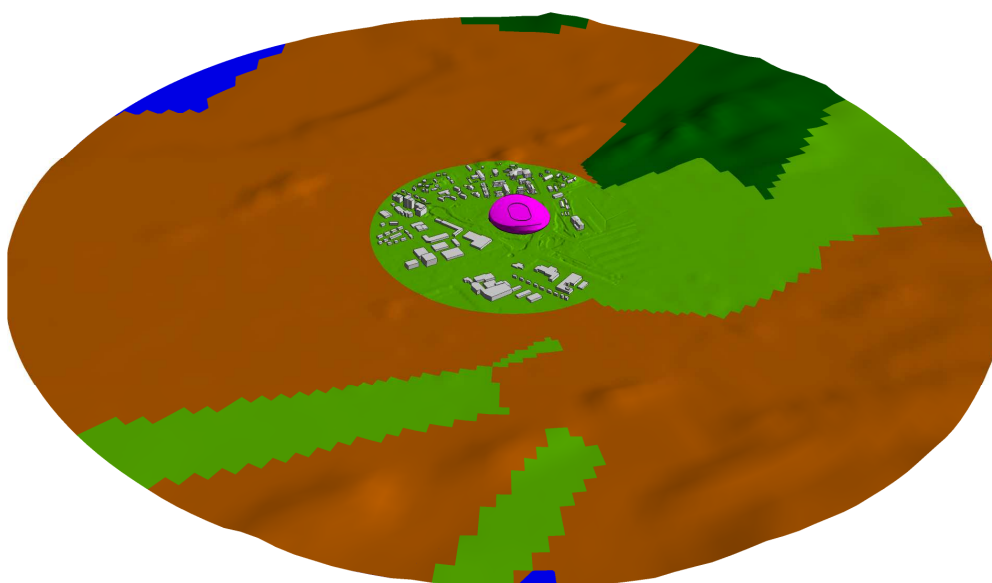
I dette tilfellet var total diameter på simulert område 3,1 km.

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.

¹ Reynolds-averaged Navier-Stokes, dvs. Reynoldsmidlet Navier-Stokes.

² Shear Stress Transport, en kombinasjon av k-epsilon-modell i fristrøm og k-omega-modell langs vegger.



Figur 18: Oversikt over CFD-modellen, sett fra sør-vest. Fargene på terrenget angir hvor de ulike ruhetene, som presentert i Tabell 5, er brukt. Brunt er bebygd område, mørkegrønt er skog og lysegrønt er flat mark/eng/åker. Det blå indikerer sjø, men dette er ikke simulert.

6.3 Modeloppsett og grensebetingelser

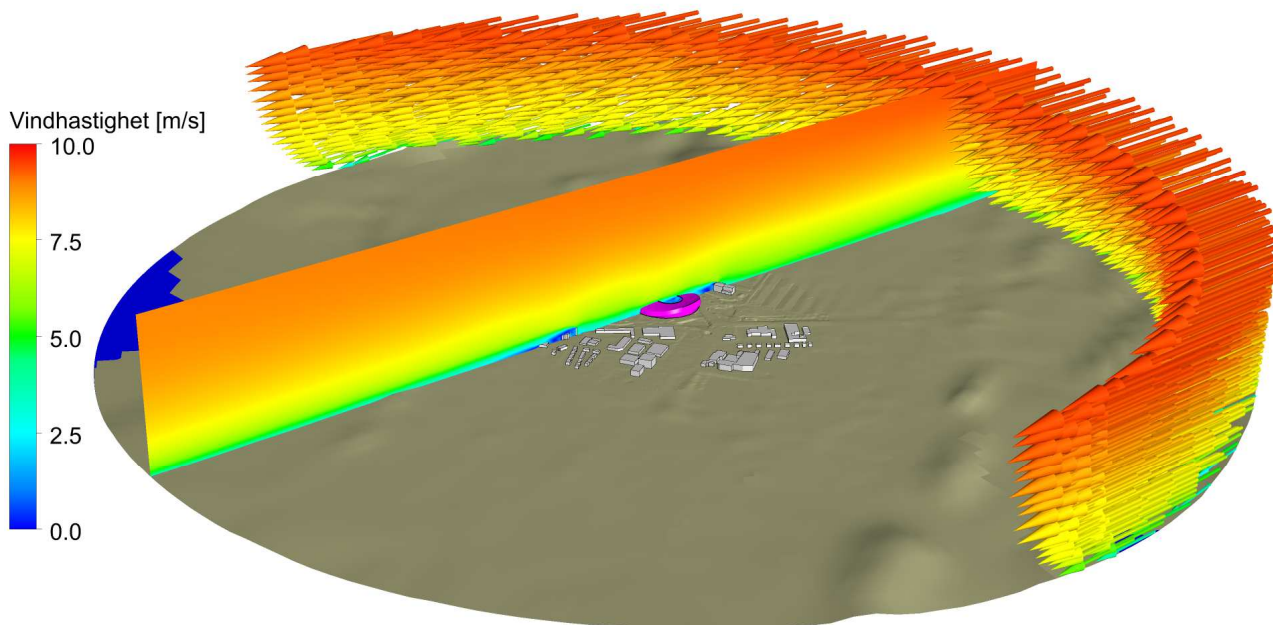
For alle innløp, utløp og overflater i modellen må et antall fysiske forhold spesifiseres. I dette tilfellet ble vindhastighet, vindretning og turbulensvariabler (k og ϵ) spesifisert for den siden vinden kommer fra. For utløpet på nedstrøms side, samt toppen av volumet, ble det definert trykkbetingelser 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 19 ved vind fra øst. Vindhastighet og turbulens på innløpet er låst til profiler som tilsvarer innkommende vind over sjø og/eller terreng, som vist i figur 20. 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].

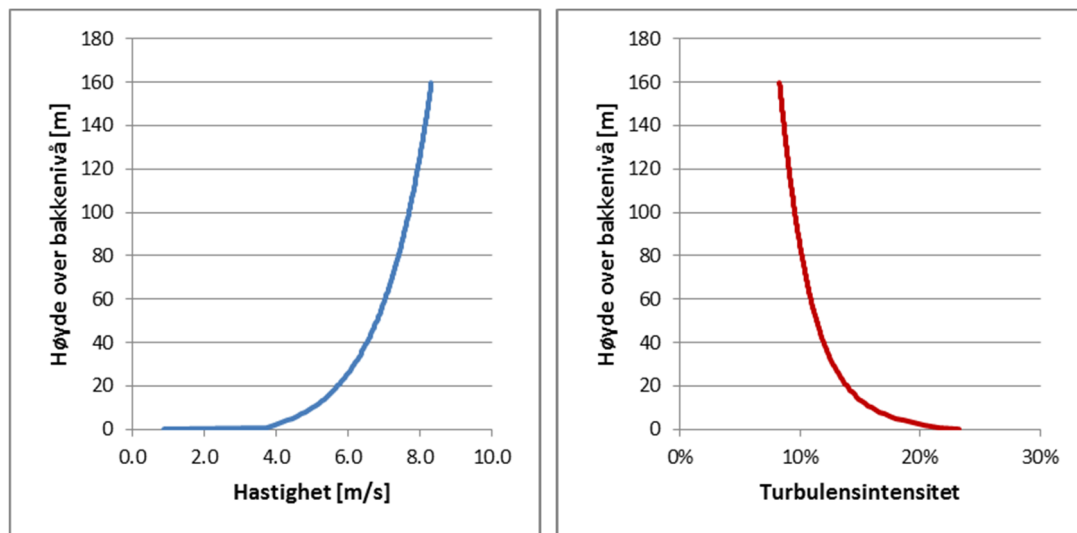
Tabell 5: Grensebetingelser brukt i CFD-beregningene.

Grensebetingelse	Verdi
Innløp	Atmosfærisk hastighets- og turbulensprofil (se figur 20)
Utløp og toppen av domenet	Trykkbetingelse (0 Pa relativt trykk)
Vindhastighet ved 10 m høyde (referansewindhastighet for simulering)	5 m/s
Vindretninger	0° - 330°, med 30° intervaller
Ruhet på bakken ³ (z_0)	0,3 m for bebygd område 0,3 m for skog 0,01 m for flat mark/eng/åker

³ Fundamentals of Atmospheric Modeling. 2nd Edition, Mark Z. Jacobson, Stanford University, California, ISBN:9780521548656, 2005



Figur 19: Modellvolum med illustrasjon av grensebetingelser (her med vind fra øst).



Figur 20: Grensebetingelser for hastighet og turbulens, her vist for 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 potensiell usikkerhet som kan påvirke svaret. Disse usikkerhetene kan deles i to grupper: feil i sammensetningen av simuleringmodellen og feil i den numeriske beregningen.

Mulige kilder til usikkerhet i sammensetningen av simuleringmodellen 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 simuleringmodellen), 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 nøyaktige 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 strømnings tekniske systemer i en konseptuell designfase.

7 Vedlegg – vindforsterkning

7.1 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):

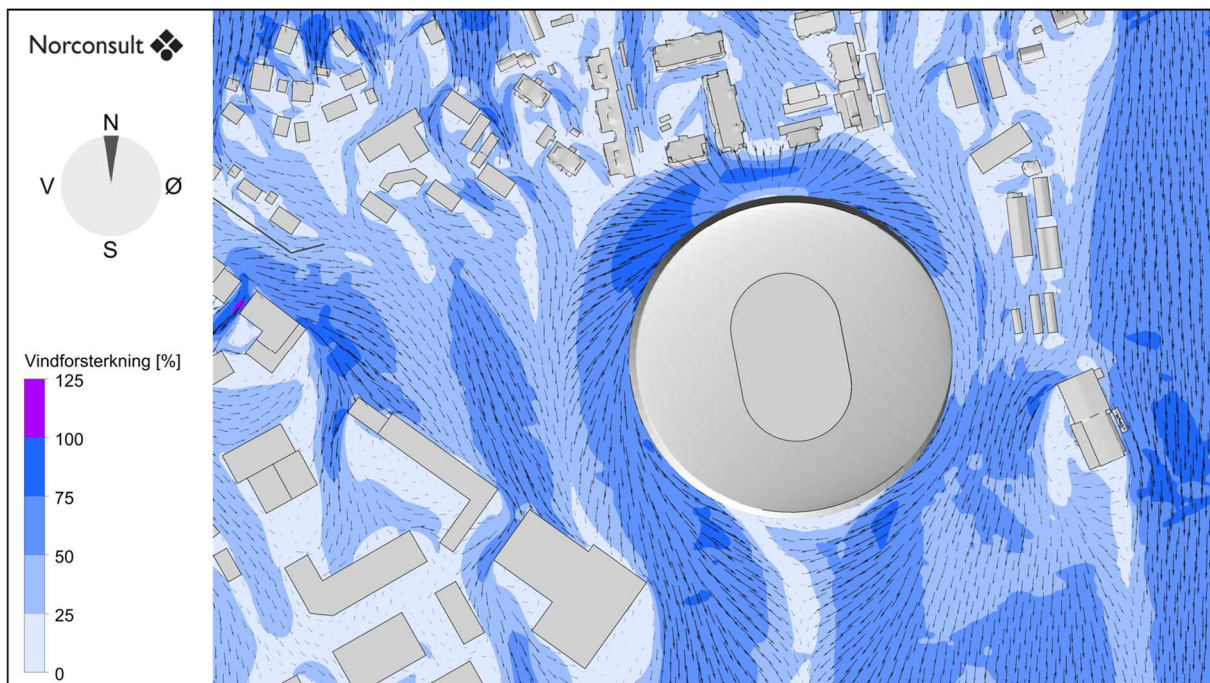
$$\text{Vindforsterkning} = \frac{\text{lokal vindstyrke i kroppshøyde}}{\text{referansevind i 10 meters høyde}} \cdot 100 \%$$

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.

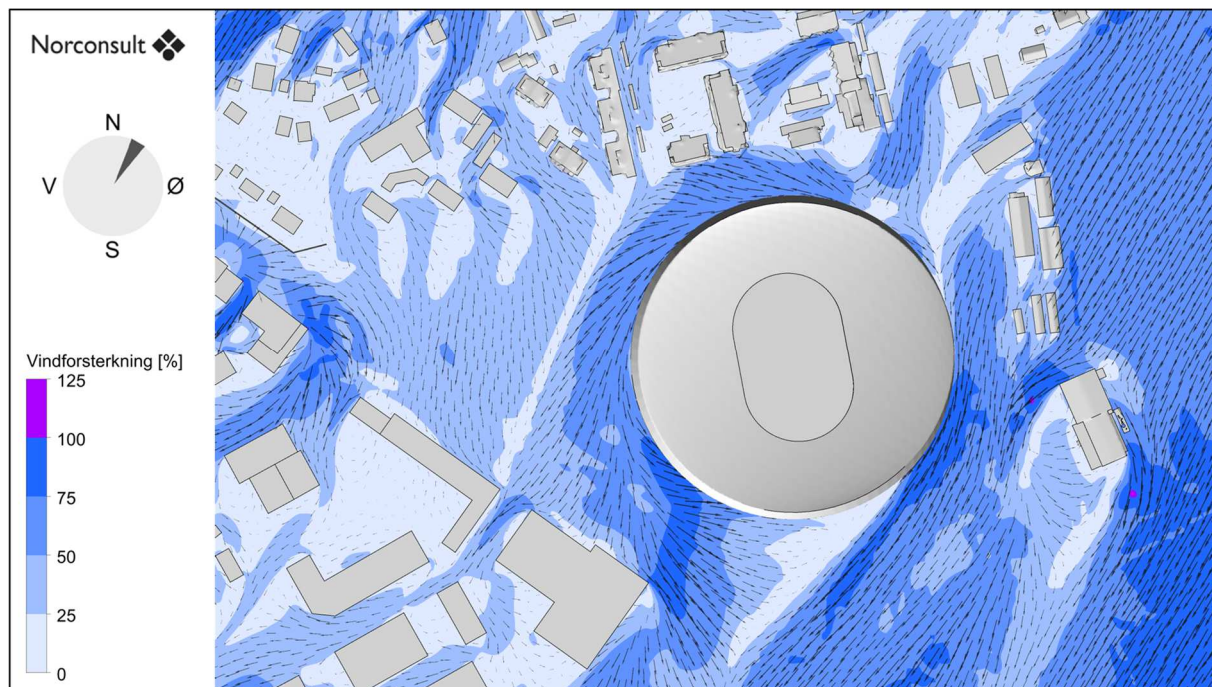
Det er kjørt simuleringer for 12 vindretninger. Vindforsterkning er beregnet for hver vindretning. I dette delkapitlet presenteres resultater ved vind fra utvalgte vindretninger for å gi en forståelse av strømningsbildet i og rundt planområdet. Figurer for resterende vindretninger finnes i vedlegg.

7.2 Vind fra 0°



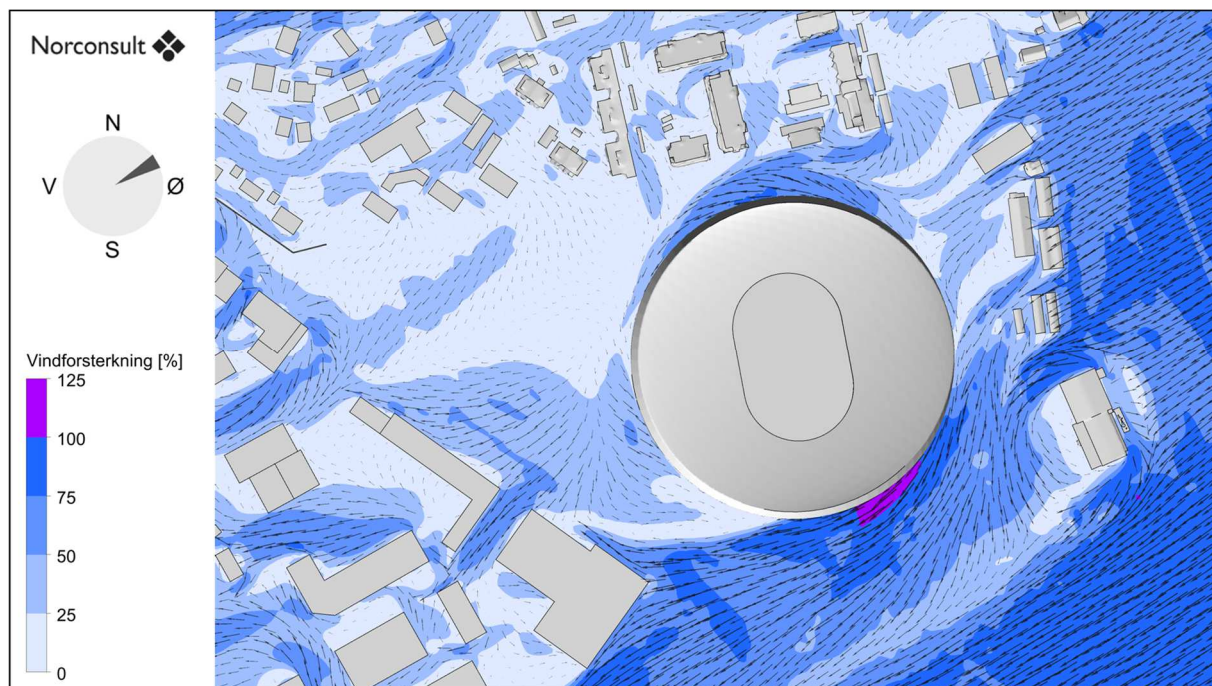
Figur 21: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 0°.

7.3 Vind fra 30°



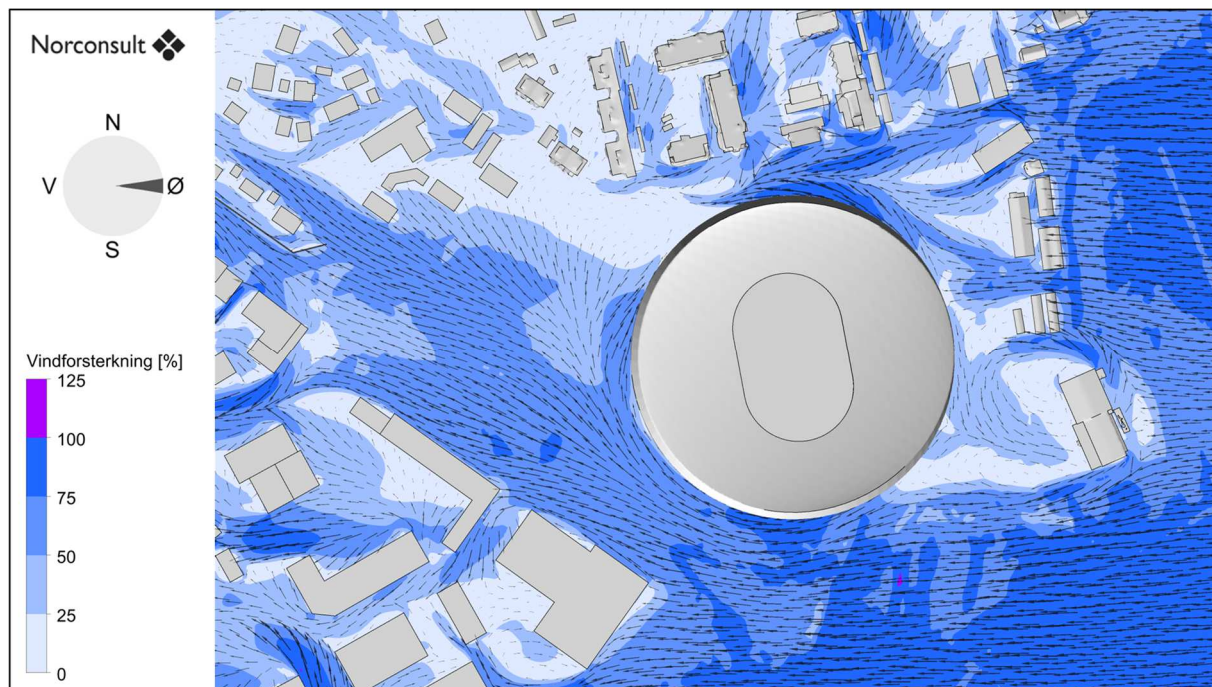
Figur 22: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 30°.

7.4 Vind fra 60°



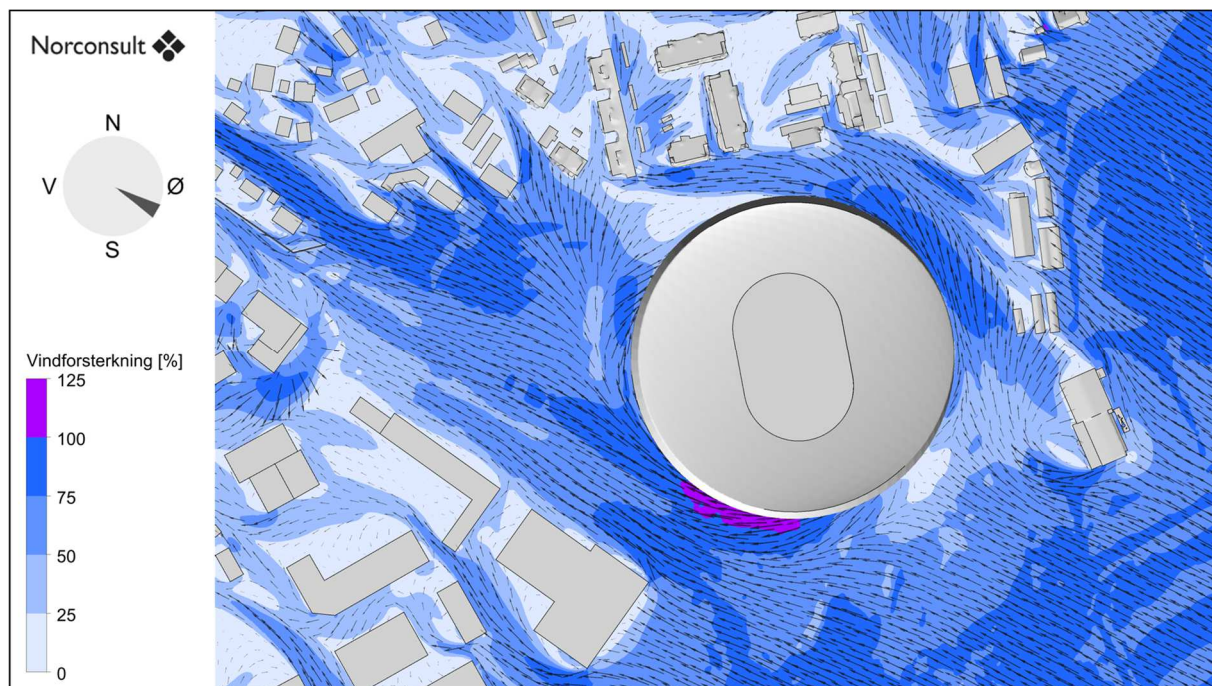
Figur 23: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 60°.

7.5 Vind fra 90°



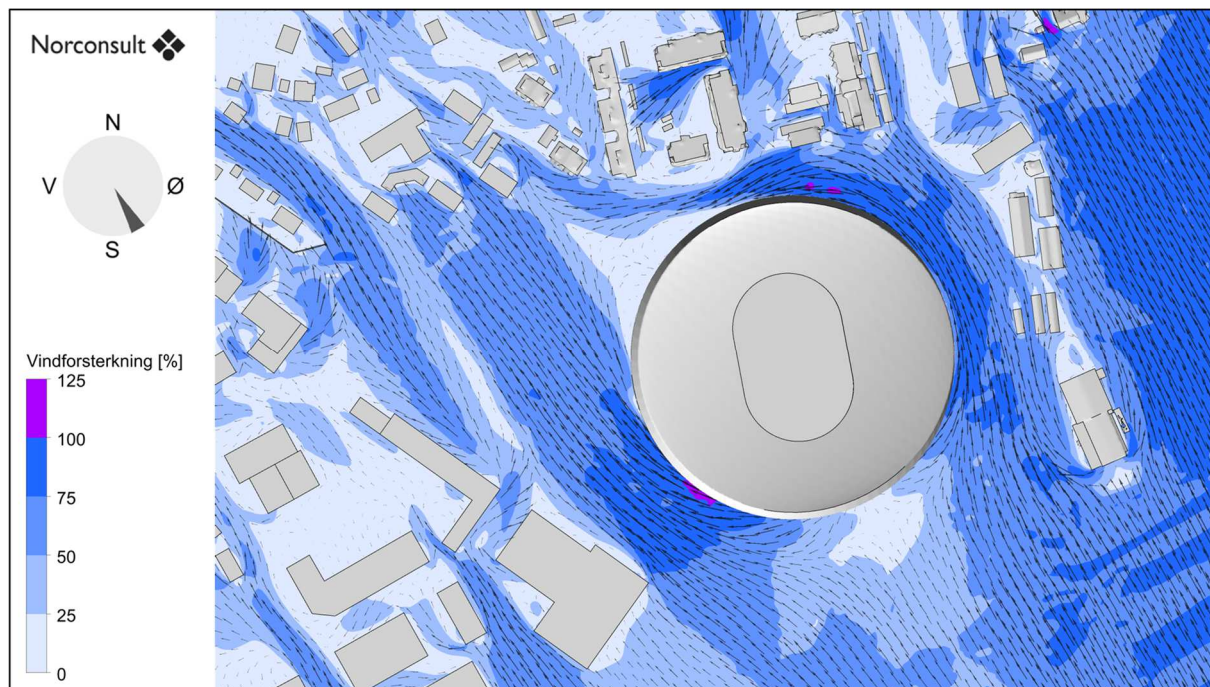
Figur 24: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 90°.

7.6 Vind fra 120°



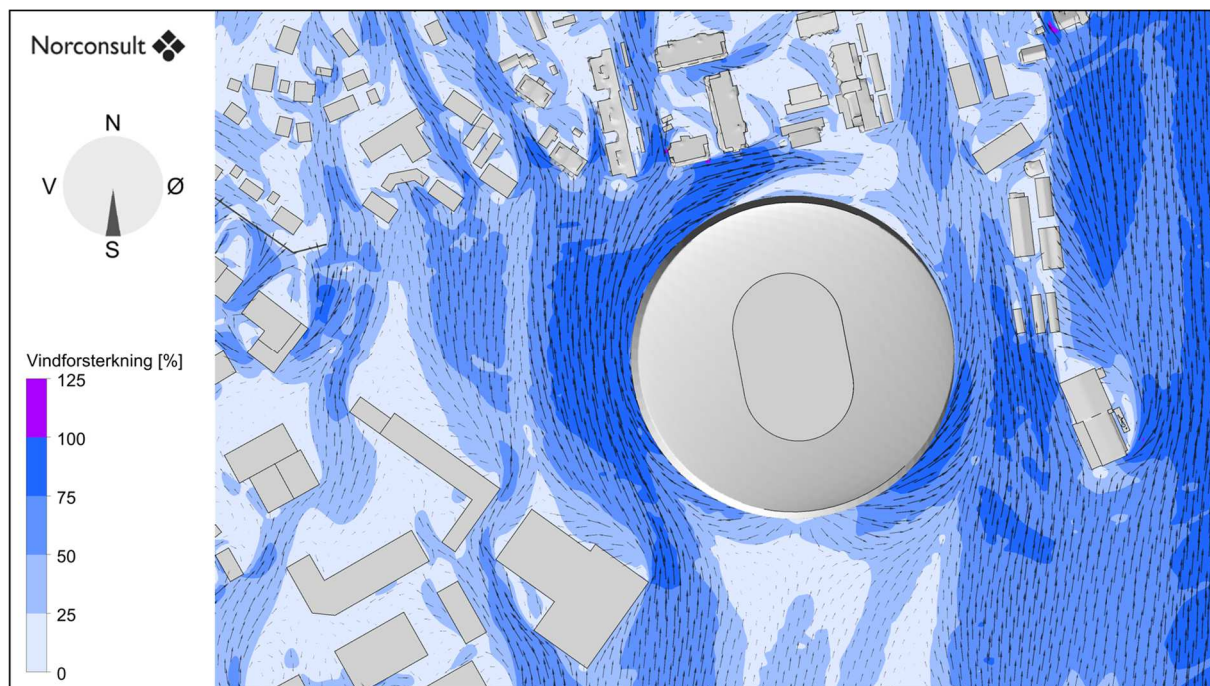
Figur 25: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 120°.

7.7 Vind fra 150°



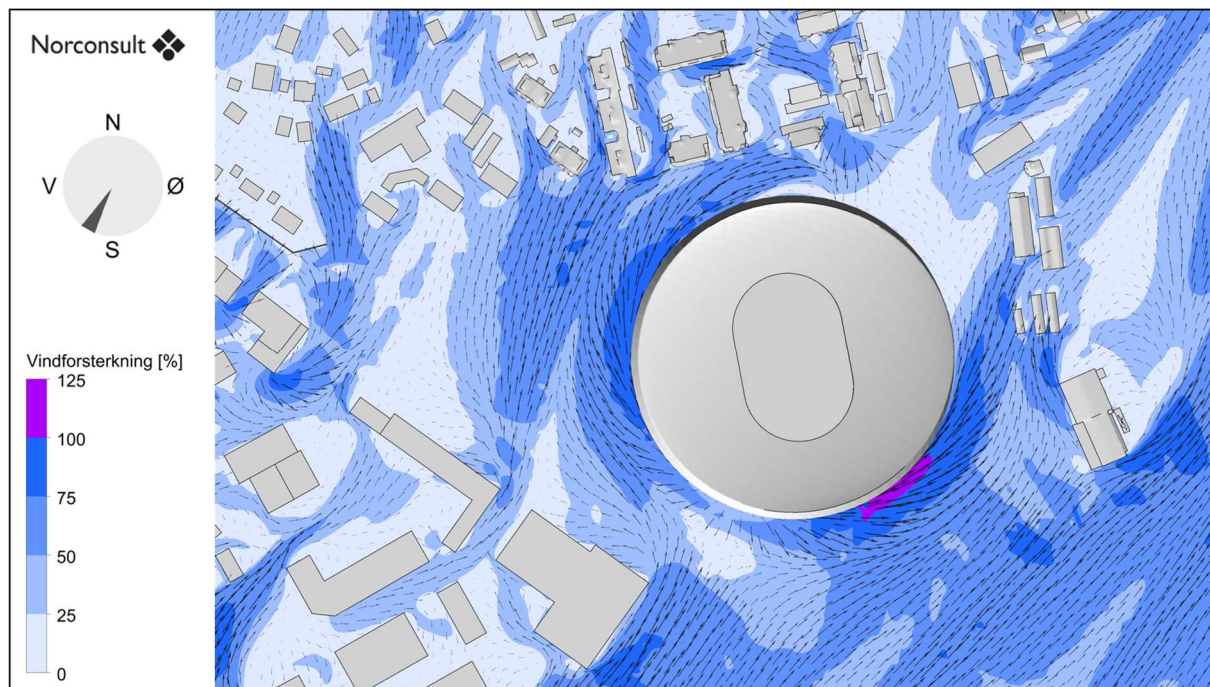
Figur 26: Vindforsterkning og strømningpiler ved vind fra 150°.

7.8 Vind fra 180°



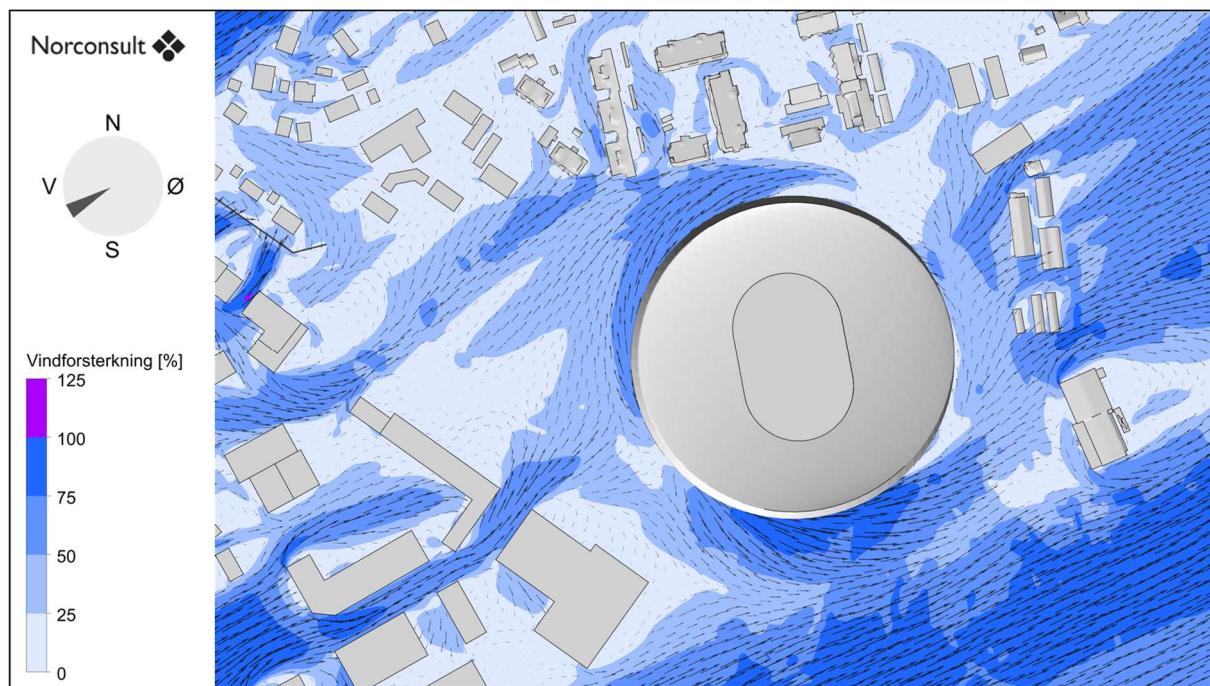
Figur 27: Vindforsterkning og strømningpiler ved vind fra 180°.

7.9 Vind fra 210°



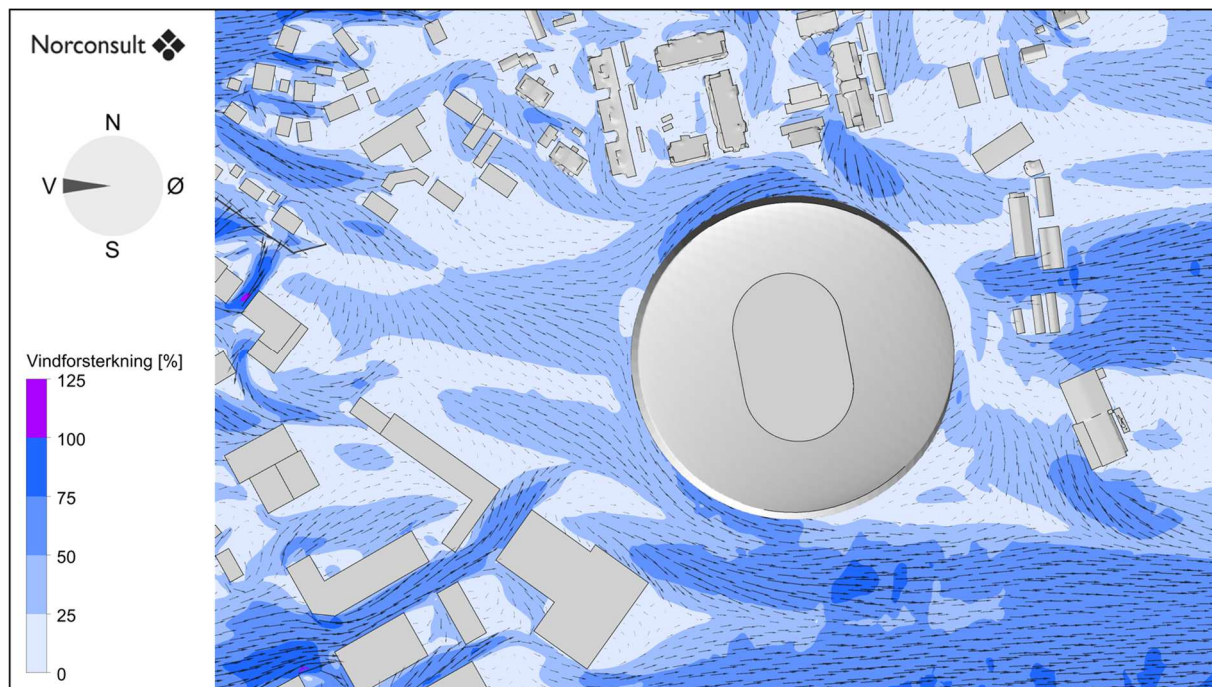
Figur 28: Vindforsterkning og strømningpiler ved vind fra 210°.

7.10 Vind fra 240°



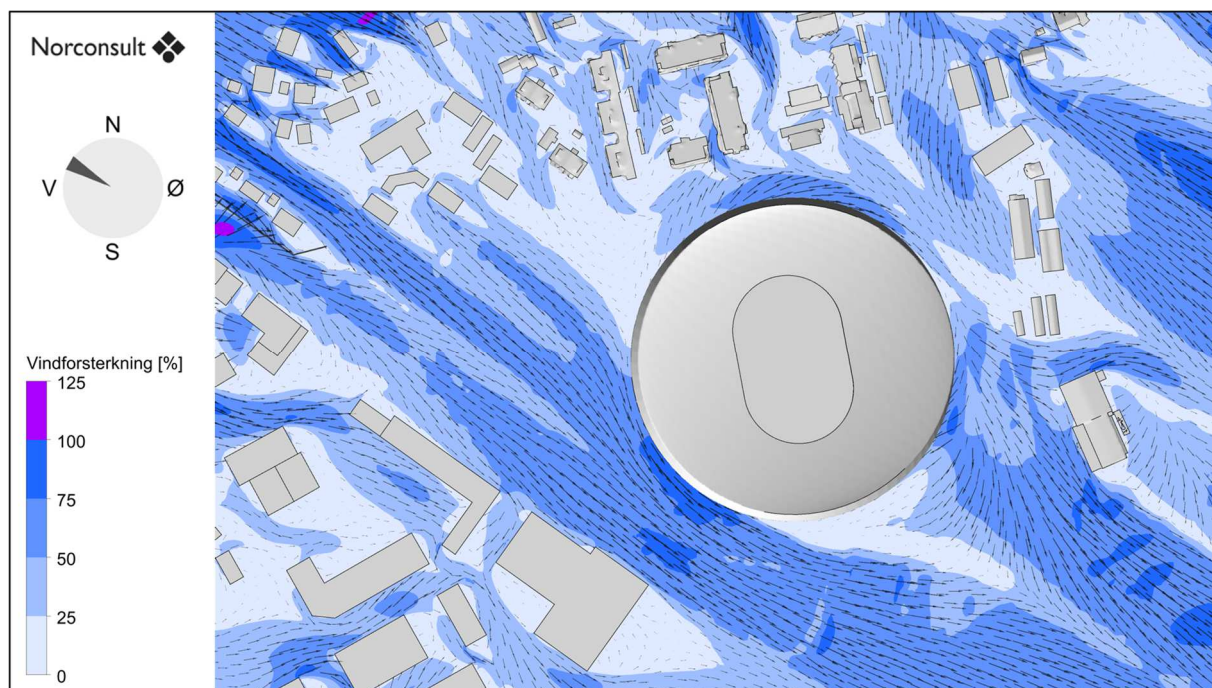
Figur 29: Vindforsterkning og strømningpiler ved vind fra 240°.

7.11 Vind fra 270°



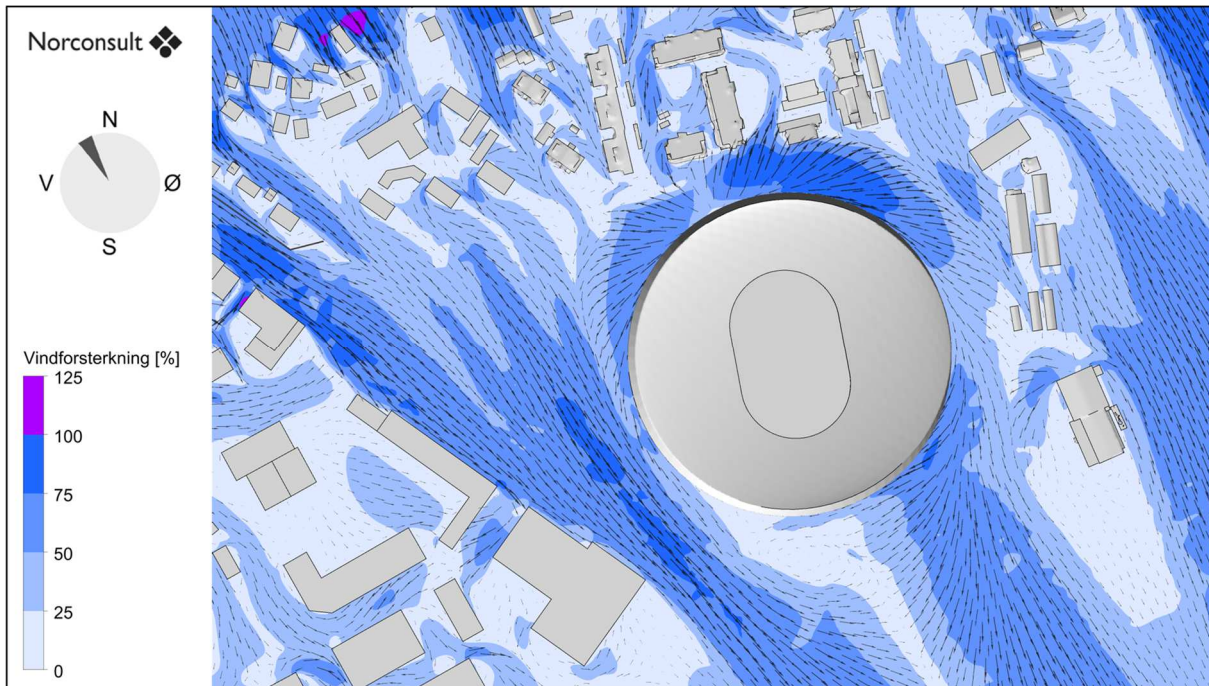
Figur 30: Vindforsterkning og strømningpiler ved vind fra 270°.

7.12 Vind fra 300°



Figur 31: Vindforsterkning og strømningpiler ved vind fra 300°.

7.13 Vind fra 330°

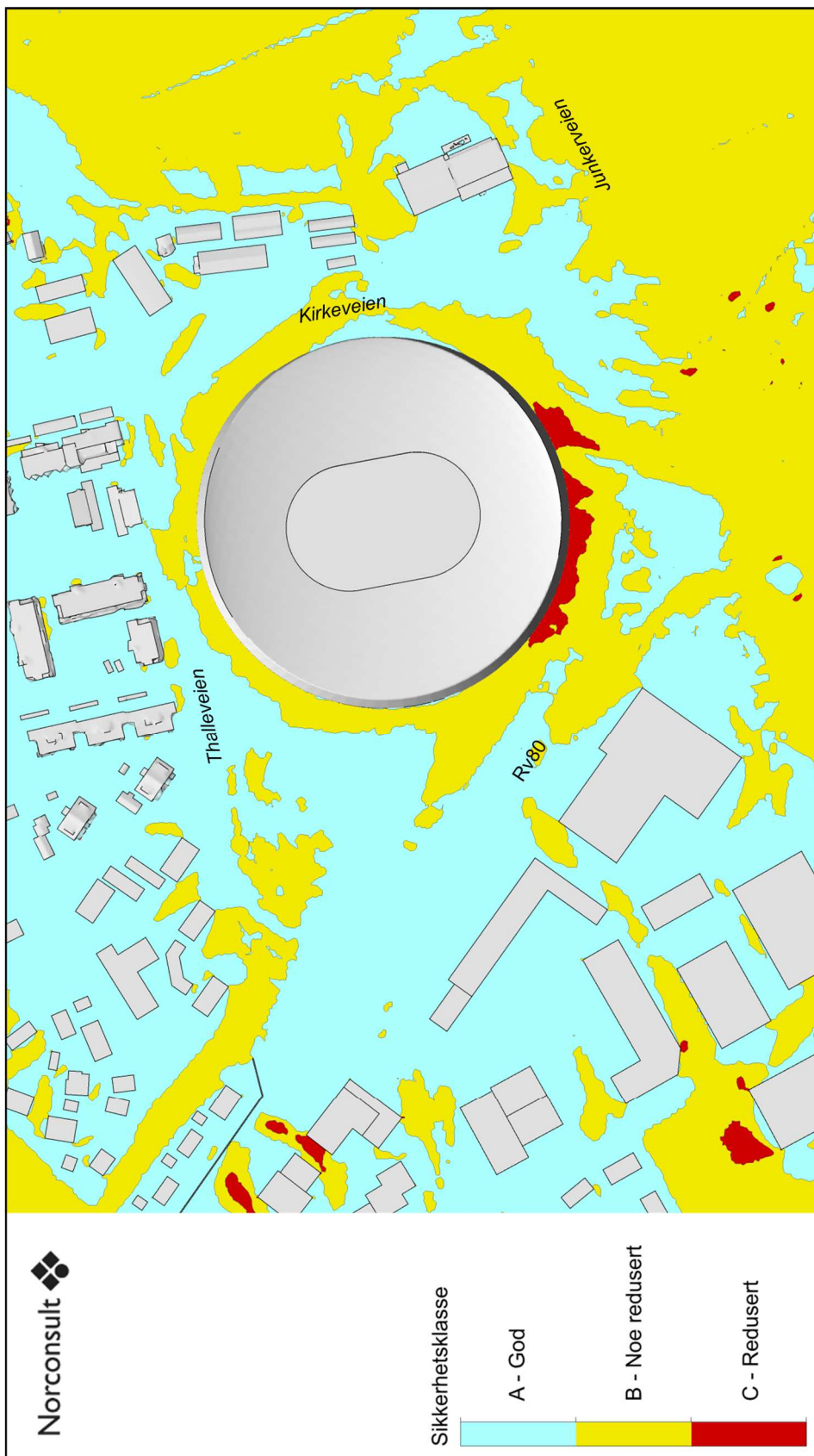


Figur 32: Vindforsterkning og strømningpiler ved vind fra 330°.

8 Vedlegg – vindkomfort- og sikkerhetskart



Figur 33: Vindkomfort i kroppshøyde, visualisert på bakkenivået.



Figur 34: Sikkerhetskart som viser sikkerhetsklassene i kroppshøyde, visualisert på bakkenivået.