

Moloveien 10 AS

► **Moloveien 10, Bodø**

Vindanalyse

Oppdragsnr.: **52406643** Dokumentnr.: **VIND01** Versjon: **J01** Dato: **2024-12-17**



Oppdragsgiver: Moloveien 10 AS
Oppdragsgivers kontaktperson: Lars Myhre
Rådgiver: Norconsult Norge AS, Kjørboveien 22, NO-1337 Sandvika
Oppdragsleder: Tore Stien
Fagansvarlig: Nick Pedersen
Andre nøkkelpersoner: Fredrik Fang Liland

J01	2024-12-17	For bruk	Fredrik Fang Liland	Bård Venås	Tore Stien
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult. 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.

► Sammendrag

Det er utført en kvantitativ vindanalyse for å kartlegge vindkomfort og vindrelatert sikkerhet etter ombygging av Moloveien 10 i Bodø. Analysen er basert på 3D CFD-simuleringer (Computational Fluid Dynamics) av området, med beregning av vindforsterkning for ulike vindretninger og statistisk behandling av resultatene ved bruk av lokale meteorologiske data.

Bodø er en vindutsatt by som opplever høye vindhastigheter store deler av året, noe som gjenspeiles i analysen av vindkomfort og vindrelatert sikkerhet.

Det er i hovedsak komfortklasse B og C på bakkeplan ved planområdet, men det finnes mindre områder med klasse D. Komfortklasse B er regnet som komfortabel for sittende opphold, klasse C regnes som akseptabel for kortere stående opphold, og områdene med klasse D er regnet som komfortable for gående.

I de områdene hvor det kan være aktuelt med lengre stillesittende opphold, for eksempel på takarealene eller langs fasaden av bygget mot Moloveien, er det komfortklasse B eller høyere. For at områder skal egne seg for lengre stillesittende opphold bør det helst være komfortklasse A. Det bør vurderes innglassing eller andre avbøtende tiltak om det planlegges denne typen bruk i disse områdene.

Analysen viser at det finnes enkelte områder med redusert vindrelatert sikkerhet for spesielt utsatte. Det er i hovedsak sikkerhetsklasse A på bakkeplan i området rundt bygget, men enkelte områder har sikkerhetsklasse B. I områdene med sikkerhetsklasse A er det god sikkerhet for den generelle befolkningen, mens i områdene med sikkerhetsklasse B vil det være redusert sikkerhet for spesielt utsatte. For alternativ 2 er det et område med sikkerhetsklasse B ved det sørlige hjørnet av bygget, hvor det kan vurderes avbøtende tiltak.

Det er også deler av takarealene som har sikkerhetsklasse B. Dette tilsier også at det bør vurderes innglassing eller andre vindskjermende tiltak på de delene av takarealene som planlegges brukt som takterrasser.

Innhold

1	Introduksjon	5
2	Vindforhold i området	8
2.1	Beliggenhet	8
2.2	Vindstatistikk	8
3	Kort om vind	11
3.1	Strømningsbildet rundt bygninger	11
3.2	Vindkomfort og vindrelatert sikkerhet	12
4	Analyseresultater	13
4.1	Vindkomfortkart for alternativ 1	13
4.2	Vindkomfortkart for alternativ 2	16
4.3	Beskrivelse av vindkomfort	18
4.4	Sikkerhetskart for alternativ 1	19
4.5	Sikkerhetskart for alternativ 2	22
4.6	Beskrivelse av vindrelatert sikkerhet	24
5	Avbøtende tiltak	25
6	Konklusjon	26
7	Referanser	27
8	Vedlegg A – Metode	28
8.1	CFD-simuleringer	28
8.2	Beregningsmodell	28
8.3	Modelloppsett og grensebetingelser	29
8.4	Nøyaktighet av CFD-simuleringer	32
9	Vedlegg B – Vindforsterkning	33
9.1	Vindforsterkning	33
9.2	Vindforsterkning for alternativ 1	34
9.3	Vindforsterkning for alternativ 2	40

1 Introduksjon

Det er utført en kvantitativ vindanalyse for å kartlegge vindkomfort og vindrelatert sikkerhet etter planlagt ombygging av Moloveien 10 i Bodø. Analysen er gjennomført ved 3D vindsimuleringer med bruk av CFD (Computational Fluid Dynamics).

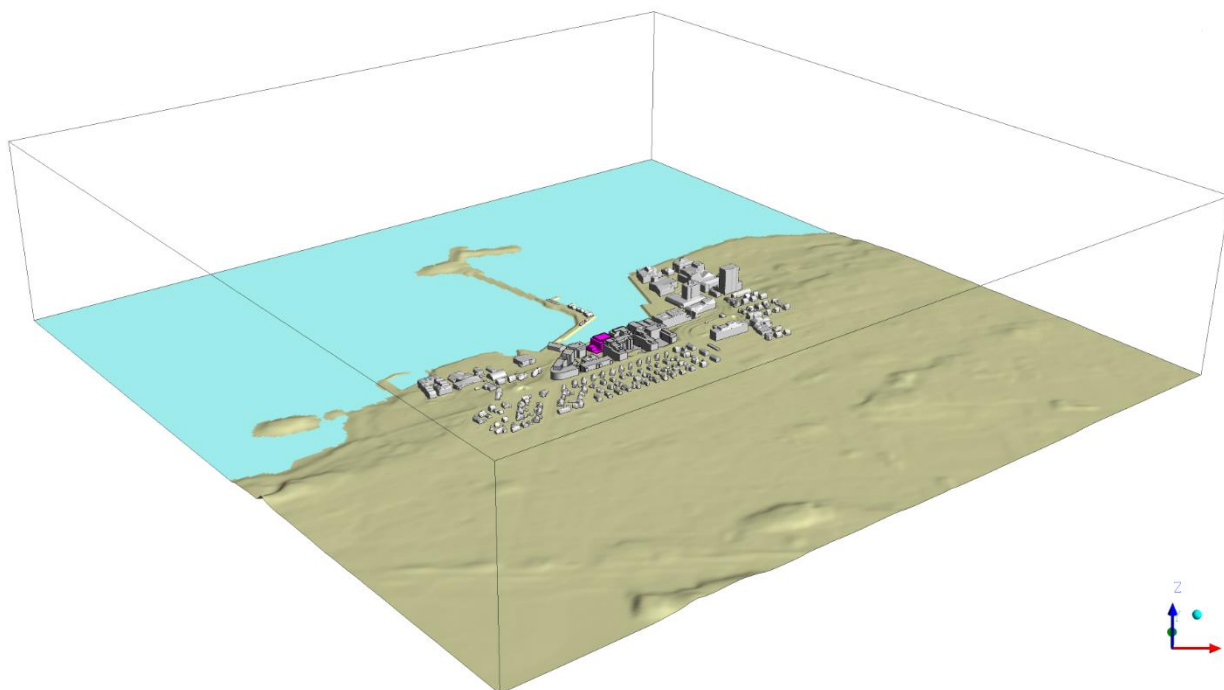
Bygninger kan ha stor påvirkning på vinden. Store fasader kan «dytte ned» vind til gatenivå og akselerere vindfeltet rundt byggets hjørner. Samspill mellom flere bygg som står tett kan ha uventede effekter på strømmingen, og gater eller åpne passasjer gjennom bygg kan virke som «vindtunneler». Disse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

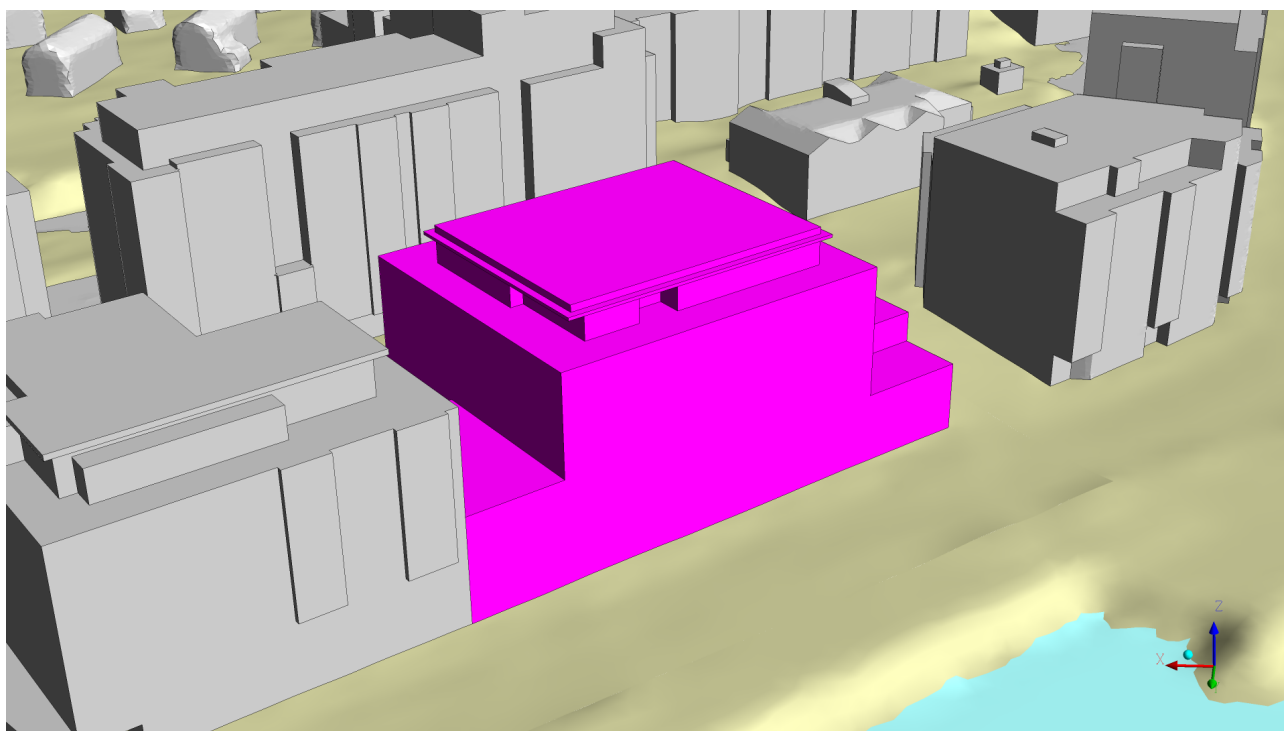
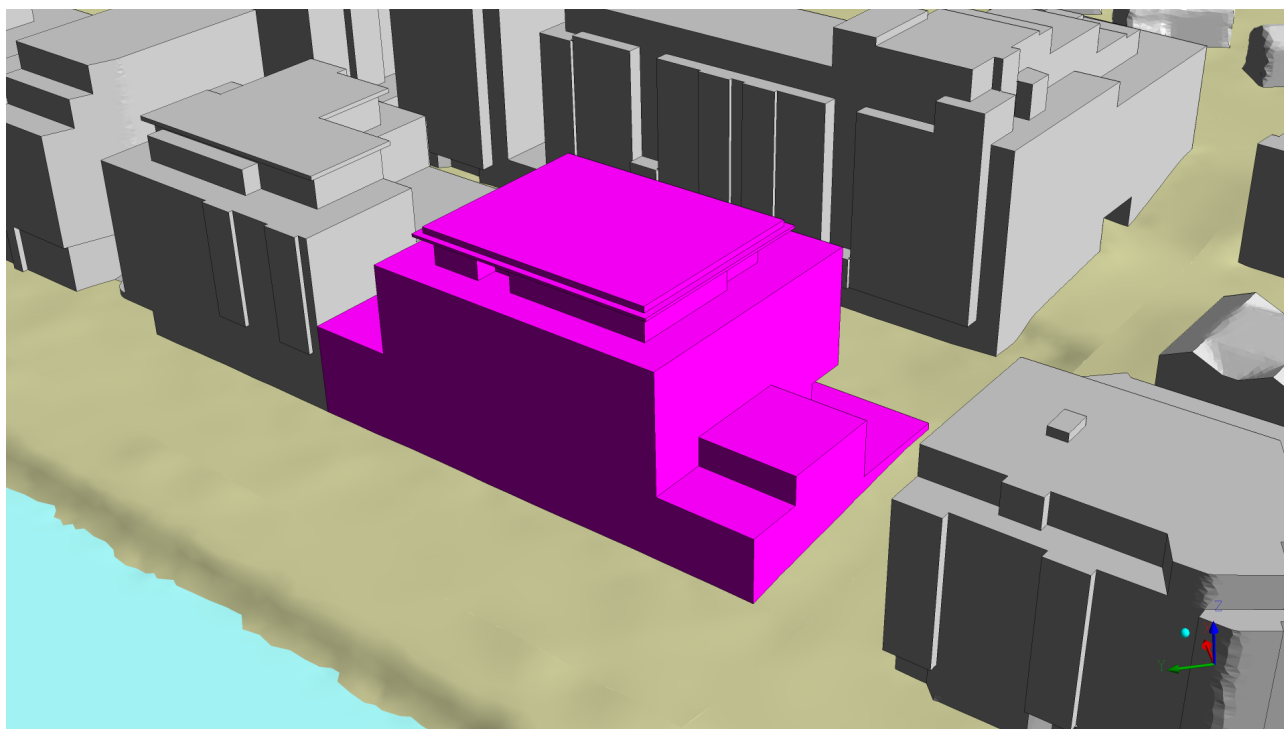
Sluttproduktet av analysen er en kartlegging av vindkomfort og vindrelatert sikkerhet rundt byggene, iht. internasjonal standard. Vindkomfort- og sikkerhetskart er helhetsbilder som inkluderer både effekten av strømningsbildet rundt byggene og hyppighet av vindretning samt vindstyrke gjennom året.

I denne analysen er vindkomfort og vindrelatert sikkerhet kartlagt på bakkeplan i og rundt planområdet, samt på takarealer i planområdet som kan være aktuelle for opphold. Takarealene er simulert uten rekkverk, som effektivt sett representerer «worst-case» mtp. vindkomfort. Vindanalysen vil dermed avdekke om det er behov for vindskjermende rekkverk eller ikke.

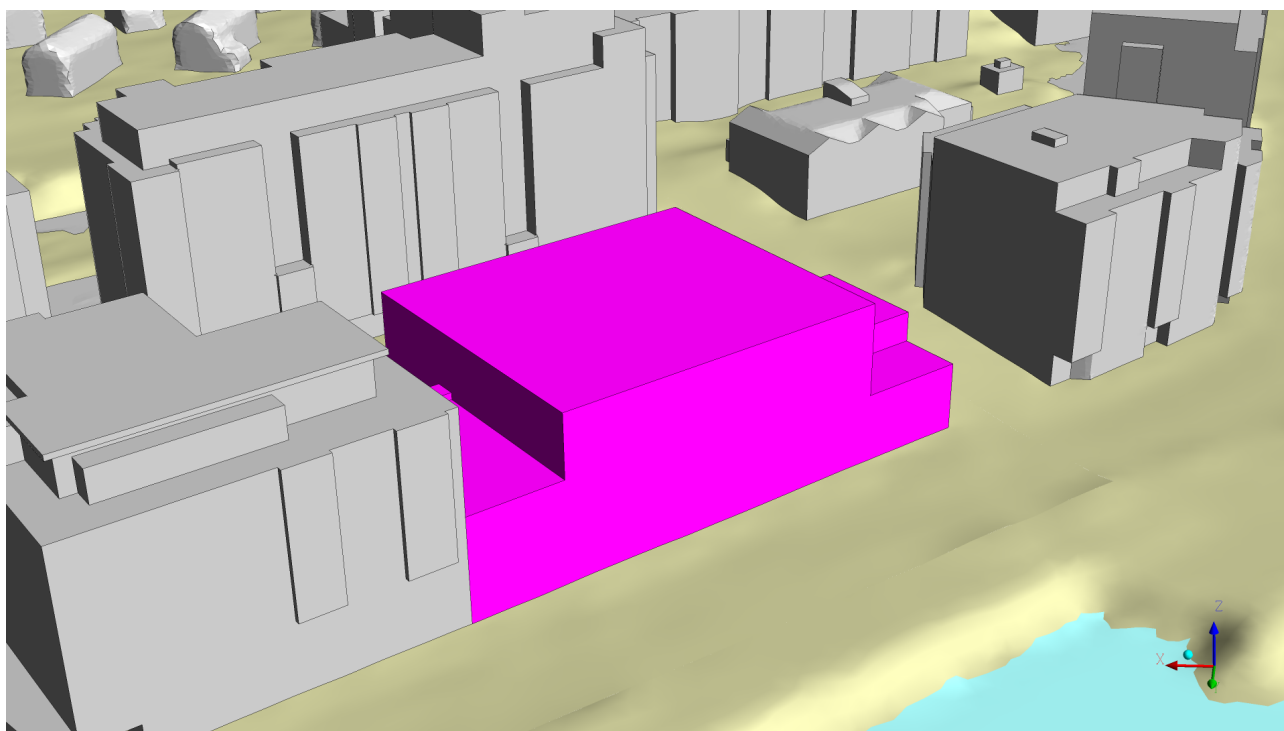
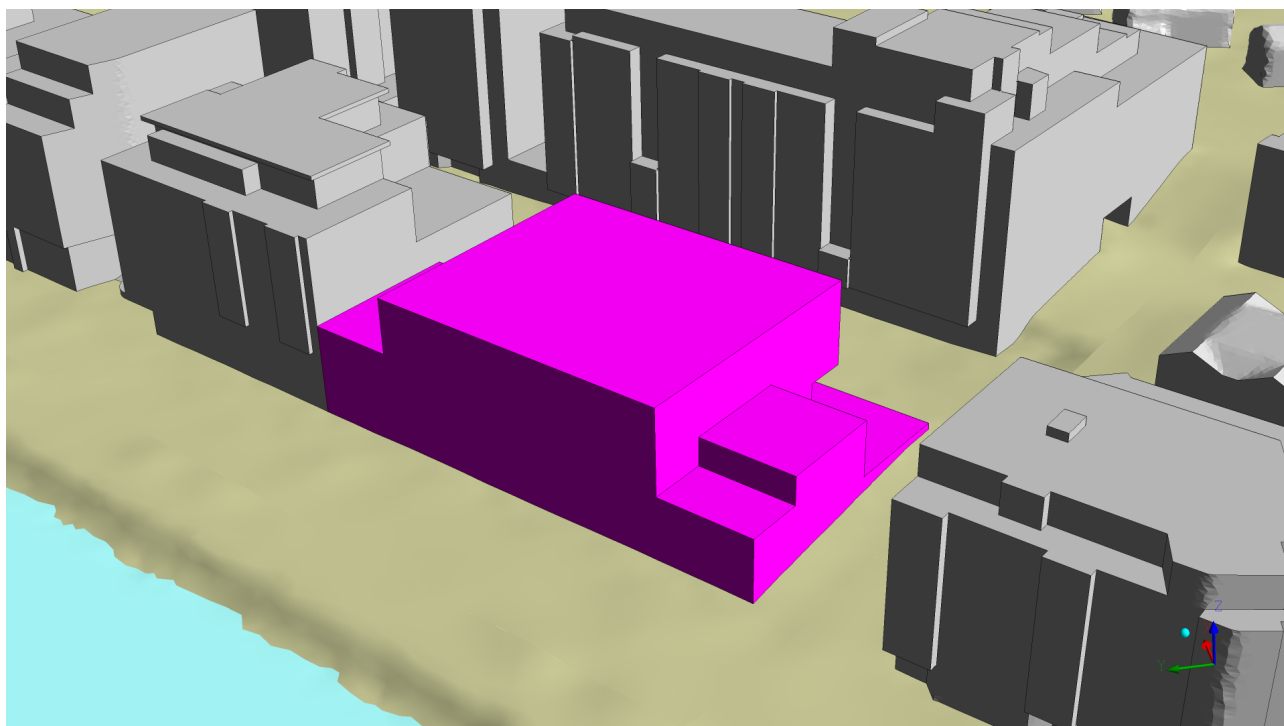
Det er gjort simuleringer av to ulike alternativer av bygningsvolum for det planlagte bygget, hvor alternativ 1 har syv etasjer, og alternativ 2 har fem etasjer. Oversikt over simuleringsmodellen er vist i figur 1-1 til figur 1-3. Figur 1-1 viser hele det simulerte området, modell av alternativ 1 er vist i figur 1-2 og modell av alternativ 2 er vist i figur 1-3. For mer detaljer rundt simuleringsmetodikken, se «Vedlegg A – Metode».



Figur 1-1: Oversikt over simuleringsmodellen brukt i analysen, sett fra sør. Planlagt bygningsvolum av Moloveien 10 vist med rosa farge.



Figur 1-2: Oversikt over simuleringsmodell for alternativ 1 (7 etg.), sett fra vest (øverst) og fra nord (nederst).



Figur 1-3: Oversikt over simuleringsmodell for alternativ 2 (5 etg.), sett fra vest (øverst) og fra nord (nederst).

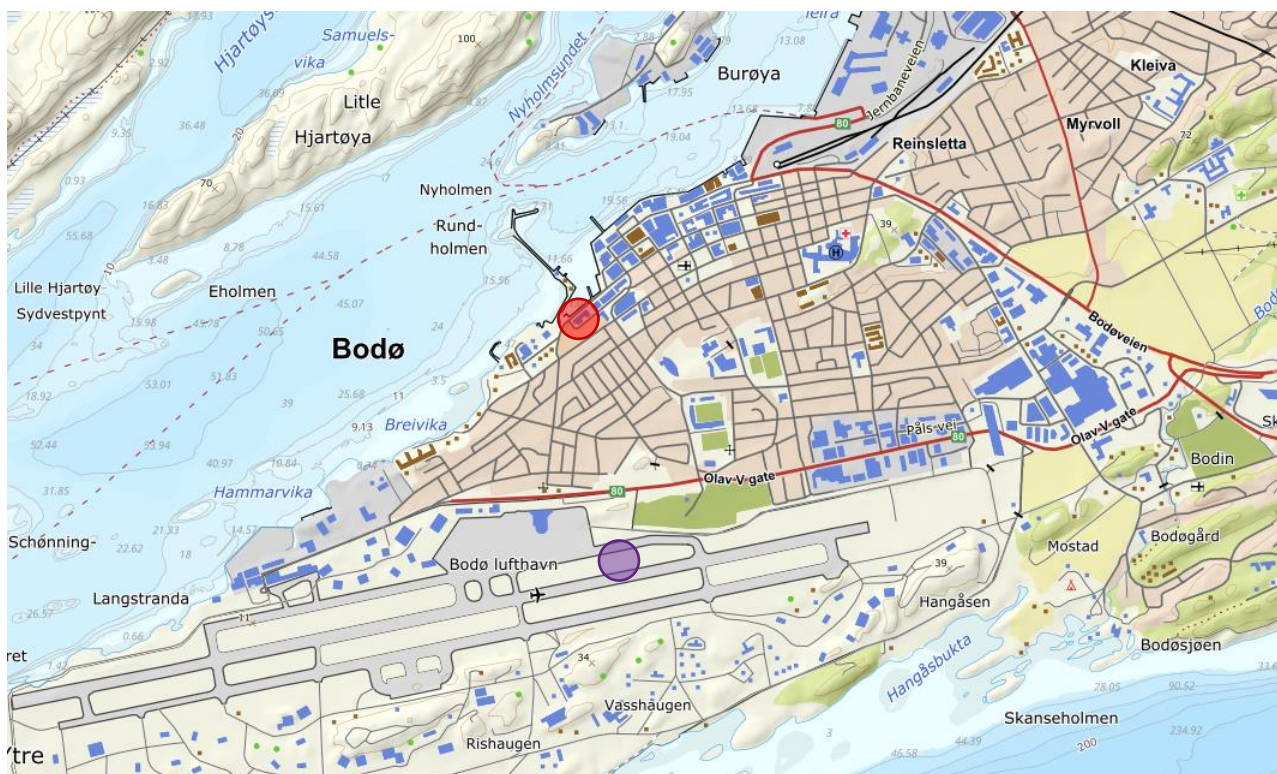
2 Vindforhold i området

2.1 Beliggenhet

Planområdet ligger ved Molobukta vest for Bodø sentrum. Nærmeste meteorologiske målestasjon finnes ved Bodø lufthavn, ca. 1 km fra planområdet.

Bodø er en vindutsatt by som opplever høye vindhastigheter store deler av året. Vindforholdene er i stor grad styrt av det lokale terrenget, og hovedvindretningen i området samsvarer med retningen av Saltfjorden.

Beliggenheten er vist i figur 2-1, hvor planområdet er markert med rød sirkel, og målestasjonen Bodø VI er markert med lilla sirkel.

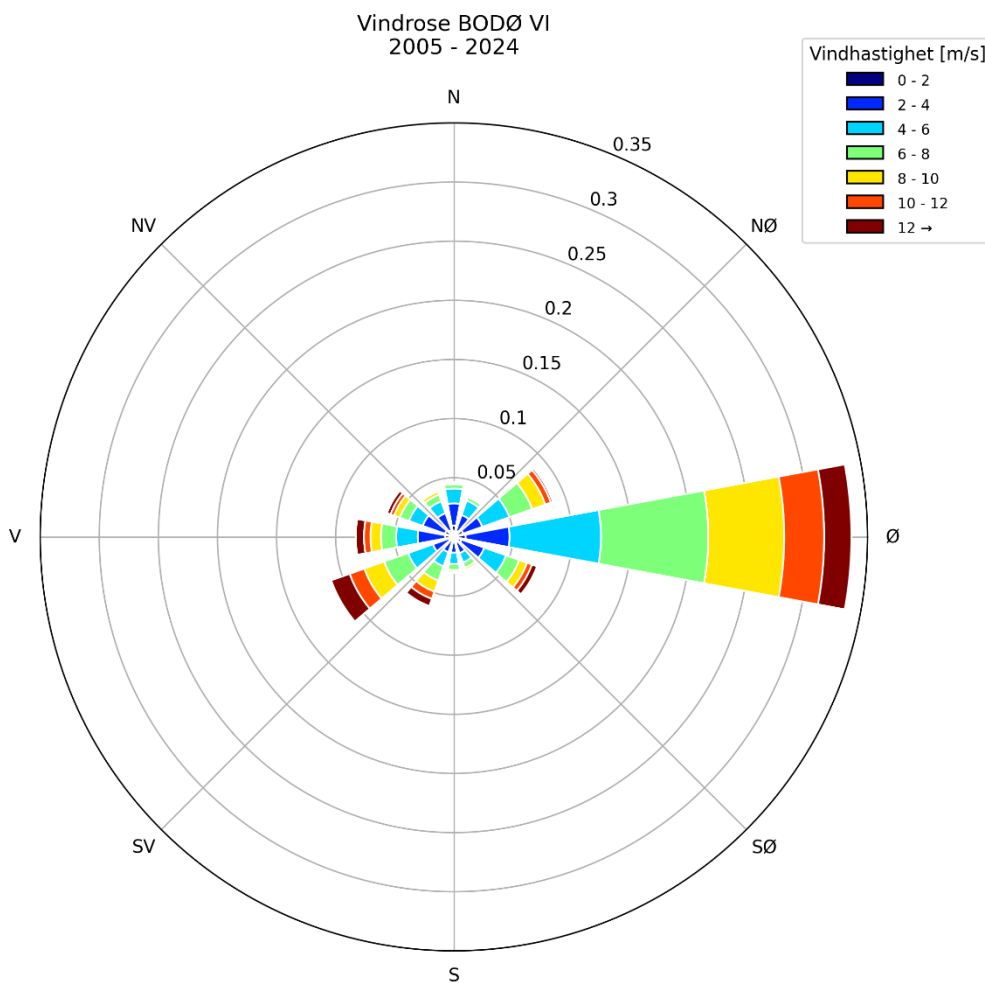


Figur 2-1: Planområdet vist med rød sirkel, og meteorologiske målestasjon (Bodø VI) vist med lilla sirkel (© Kartverket).

2.2 Vindstatistikk

Vindrosen for målestasjon Bodø VI er vist i figur 2-2. Figuren viser statistisk fordeling av vindretninger som prosentvis andeler av tiden det blåser fra ulike retninger. Vindhastigheten det refereres til her er vindhastighet i 10 meters høyde (U_{10}). Vindstatistikken er basert på måledata for perioden 2005 - 2024.

De fremherskende vindretningene i Bodø er fra øst og vest-sørvest, men vind fra øst er den klart dominerende vindretningen. Vind fra øst (90°) forekommer ca. 34 % av året, mens vind fra vest-sørvest (240°) forekommer ca. 11 % av året.



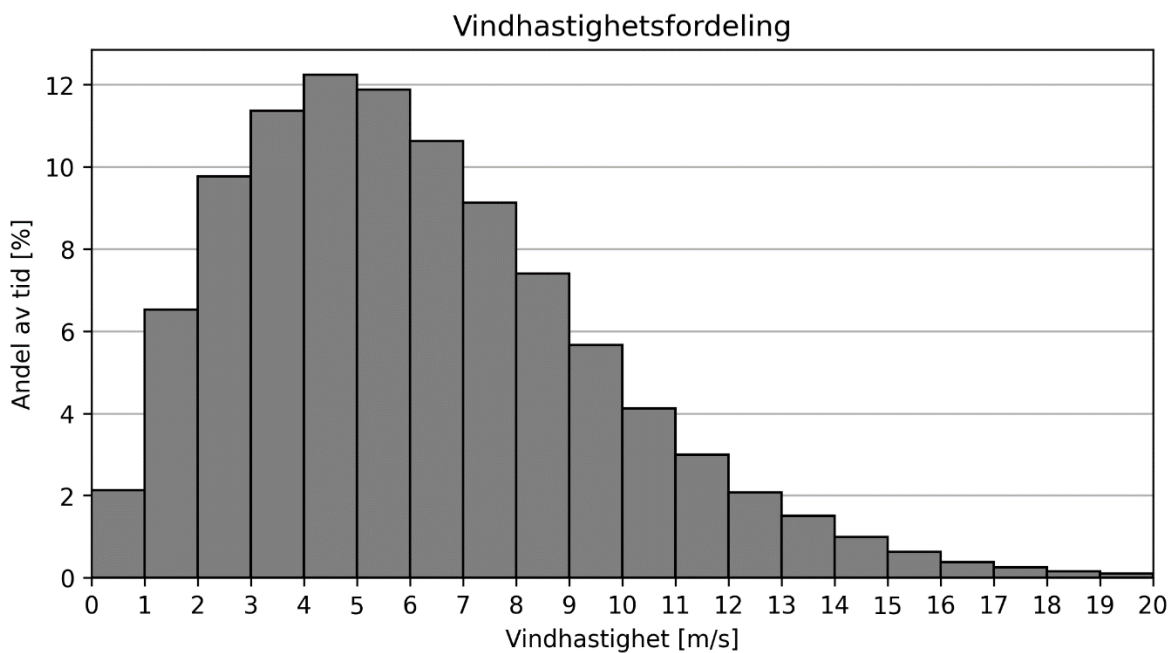
Figur 2-2: Vindrose over året, basert på data fra 10 m over bakken.

Fordeling av vindhastighet mot andel av tiden i året vises i figur 2-3. Gjennomsnittlig vindhastighet over hele året er 6,2 m/s (tabell 2-1).

Det blåser vind med hastighet til og med 5 m/s 42 % av tiden, og vind med hastighet over 10 m/s forekommer ca. 13 % av tiden i året (tabell 2-2).

De sterkeste vindhastighetene (20 - 30 m/s) inntreffer ca. 0.1 % av året, og som oftest ved vind fra vest og vest-sørvest (240° - 270°).

Vindhastighetene det refereres til i meteorologisk data er vind i vanlig referansehøyde, 10 meter over bakken.



Figur 2-3: Andel av året ulike vindhastigheter forekommer i høyde 10 m over bakken.

Tabell 2-1: Middelvind over året.

Sted	Middelvind (m/s) i 10 m høyde
Bodø	6,2

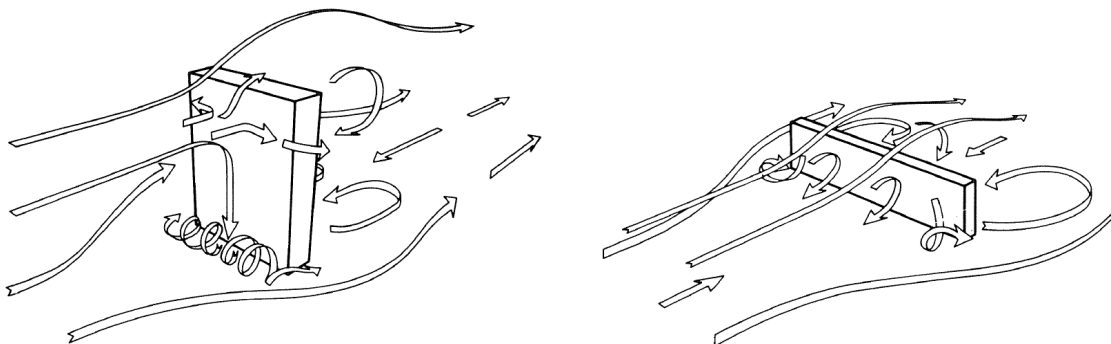
Tabell 2-2: Andel av året ulike vindhastigheter forekommer, inndelt.

Sted	Hastighet (m/s)	Andel av tid (%)
Bodø	0 - 5	42,0 %
	5 - 10	44,7 %
	10 - 15	11,7 %
	15 - 20	1,50 %
	> 20	0,11 %

3 Kort om vind

3.1 Strømningsbildet rundt bygninger

Strømningsbildet rundt et bygg avhenger av proporsjonen mellom byggets bredde og høyde, og vinkelen mellom fremherskende vindretning og hovedfasade. Vindfeltet rundt et forholdsvis lavt og et forholdsvis høyt bygg vises i figur 3-1 [1].



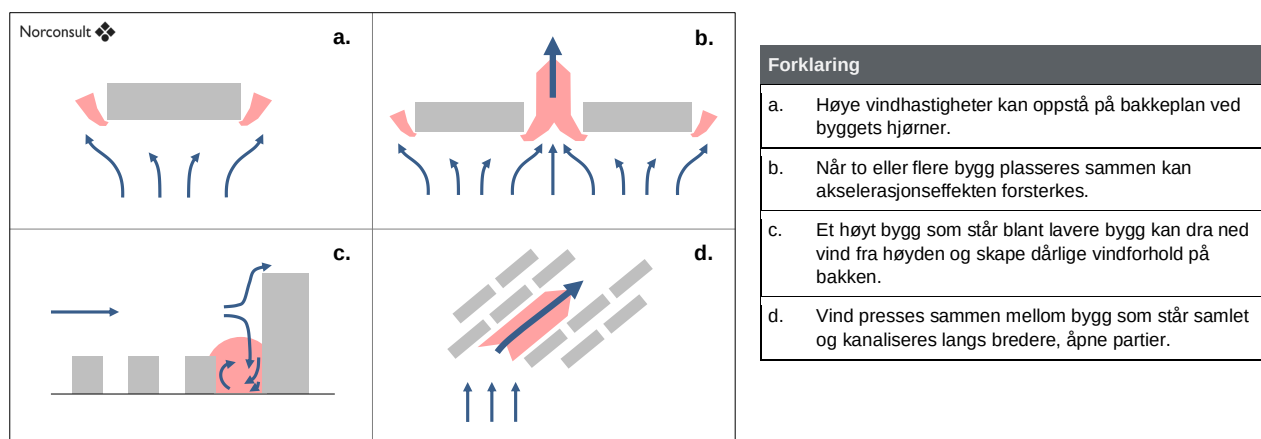
Figur 3-1: Typisk vindfelt rundt et forholdsvis høyt og et forholdsvis lavt bygg [1].

Når luften treffer den vindeksponerte fasaden dannes det et overtrykk, og luften blir delt slik at den strømmer hhv. opp over taket, rundt sidene og ned mot bakken. Luften som strømmer ned møter bakken og blir presset tilbake igjen mot den innkommende vinden. Luften rulles opp i en virvel langs byggets bredde. Strømningen her er ustabil, og preget av turbulens og vindkast. Luften blir deretter skjøvet ut mot sidene, og når den nærmer seg hjørnene blir den raskt revet med i nedstrøms retning. Denne akselerasjonen kan bli kraftig slik at hastighetene på bakken ved byggets hjørner kan være vesentlig høyere enn vindhastigheten i det fri.

Vinden som ikke strømmer nedover, men over taket og rundt sidene, slipper fra byggets skarpe kanter og danner en bakevje på lesiden av bygget. I denne bakevjen er lufthastigheten redusert, og strømningen er ustabil med svingninger i både retning og hastighet. Spesielt i området mellom bakevjen og den passerende vinden vil det oppstå turbulens, noe som vil oppleves som vindkast.

Et «høyt» bygg (> 5 etasjer) fanger mer av vinden enn et forholdsvis «lavt» bygg (< 5 etasjer). Vindforholdene på bakken er dermed generelt sett mer ugunstige ved høye bygg sammenlignet med lave. Vindpåvirkningen kan, overordnet sett, begrenses ved å redusere det vindeksponerte arealet av bygget.

Når flere bygg står nær hverandre og vinden strømmer inn med varierende vinkel blir strømningsbildet svært komplisert. I mange tilfeller kan dette skape uforutsigbare effekter. Typiske problemstillinger med vind rundt bygg oppsummeres i figur 3-2:



Figur 3-2: Typiske problemstillinger som følge av vind rundt bygg. Røde felt viser økte vindhastigheter.

3.2 Vindkomfort og vindrelatert sikkerhet

Vindkomfort beskriver hvordan vindens mekaniske krefter oppleves av mennesker. Komfortklasser baseres på 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. [2]). Et av de mest utbredte sett med komfortkriterier brukt som industristandard for vindanalyser i dag er fra Lawson [3]. 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 3-1). 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 3-1: Lawsons kriterier for vindkomfort.

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 <i>balkonger</i> eller <i>uteservering</i> .
2 – 4 m/s	B	Sitte	<u>God komfort</u> - steder for stillesittende bruk som er behagelig store deler av året. <i>Park, fellesområder, sittegrupper</i> .
4 – 6 m/s	C	Stå	<u>Akseptabel komfort for stående</u> – steder der man er i ro, men befinner seg relativt kort tid. <i>Inngangspartier, holdeplasser</i> .
6 – 8 m/s	D	Gå	<u>Akseptabel komfort for gående</u> – steder der folk skal kunne gå uten ubehag. <i>På fortau, ned gågater, i shoppingområder</i> .
8 – 10 m/s	E	Rask gange	<u>Redusert komfort</u> – steder som er vindutsatt, der man kun skal gå raskt gjennom som eksponerte <i>veier</i> og <i>parkeringsplasser</i> .
> 10 m/s	F	-	<u>Ukomfortabelt</u> – steder som er såpass vindutsatt at folk flest ikke vil ønske å ferdes eller oppholde seg der.

Lawsons kriterier gir også grenser for når vinden påvirker menneskers evne til å gå eller holde balansen. Hvis det blåser over verdiene i tabell 3-2 mer enn to timer i året er området ansett å ha redusert sikkerhet.

Tabell 3-2: Lawsons kriterier for vindsikkerhet.

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.

Sikkerhetsklasse B og C indikerer at, på dager det blåser kraftig (typisk «stiv kuling»), vil være en redusert sikkerhet for spesielt utsatte (klasse B) eller for den generelle befolkningen (klasse C). Med spesielt utsatte menes det f.eks. syklister eller de med dårlig balanse, som eldre mennesker eller de med redusert mobilitet.

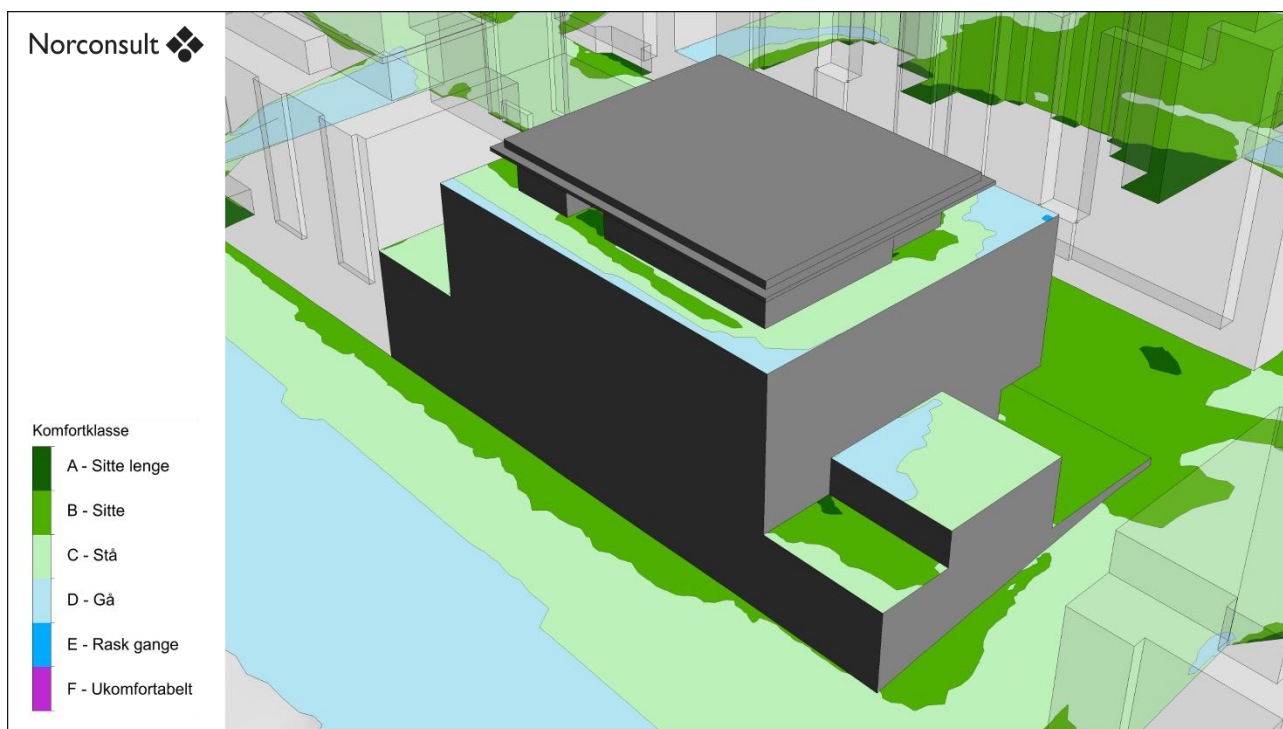
«Stiv kuling» på Beaufort skalaen er vindhastigheter på mellom 13,9 – 17,1 m/s, og iht. Meteorologisk institutt er kjennetegnet på en slik vindstyrke at «hele trær rører på seg; det er tungt å gå mot vinden». På dager med så sterk middelvind er det som regel også sterke vindkast, noe som ofte betyr at 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.»

4 Analyseresultater

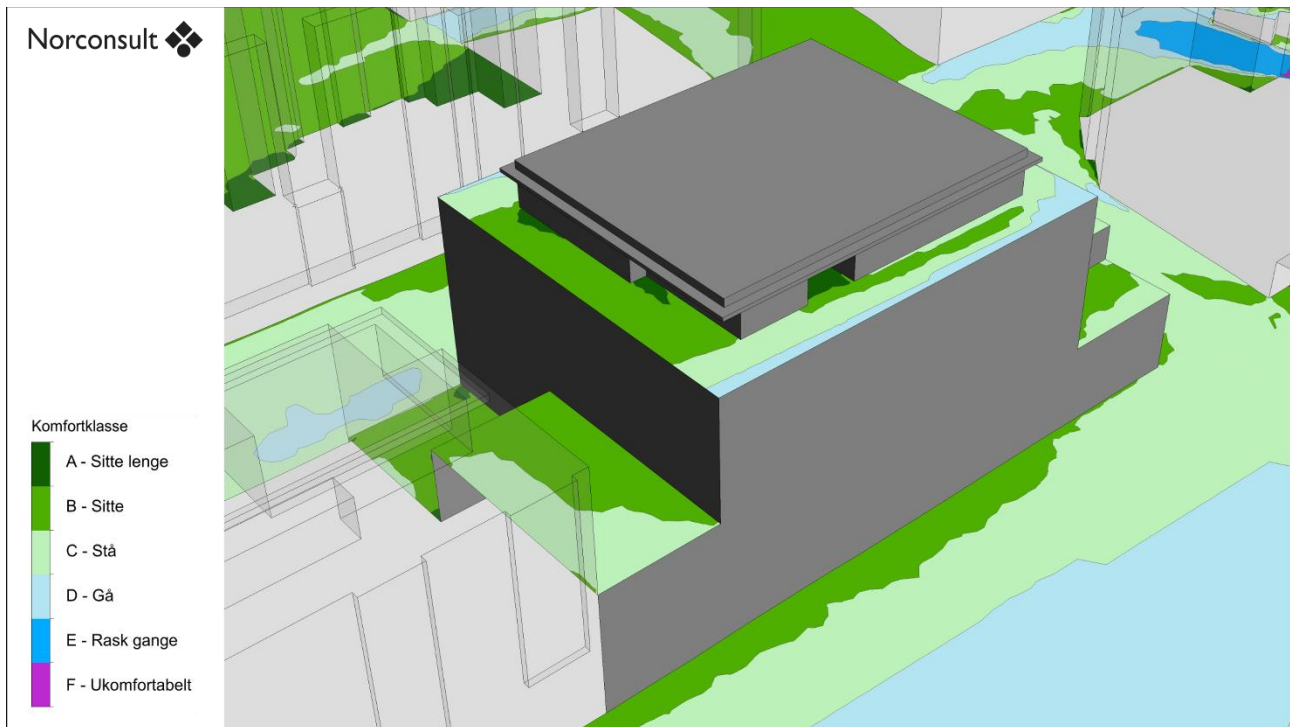
4.1 Vindkomfortkart for alternativ 1



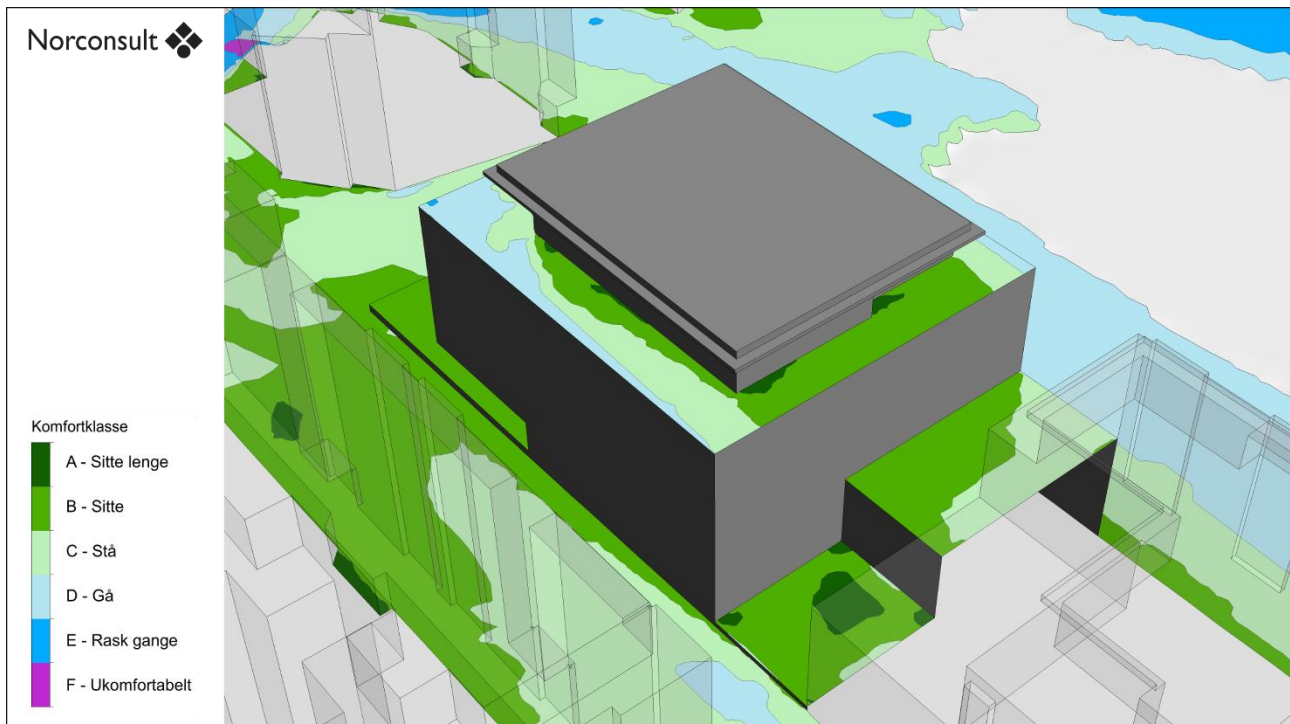
Figur 4-1: Vindkomfort i kroppshøyde for alternativ 1, sett ovenfra.



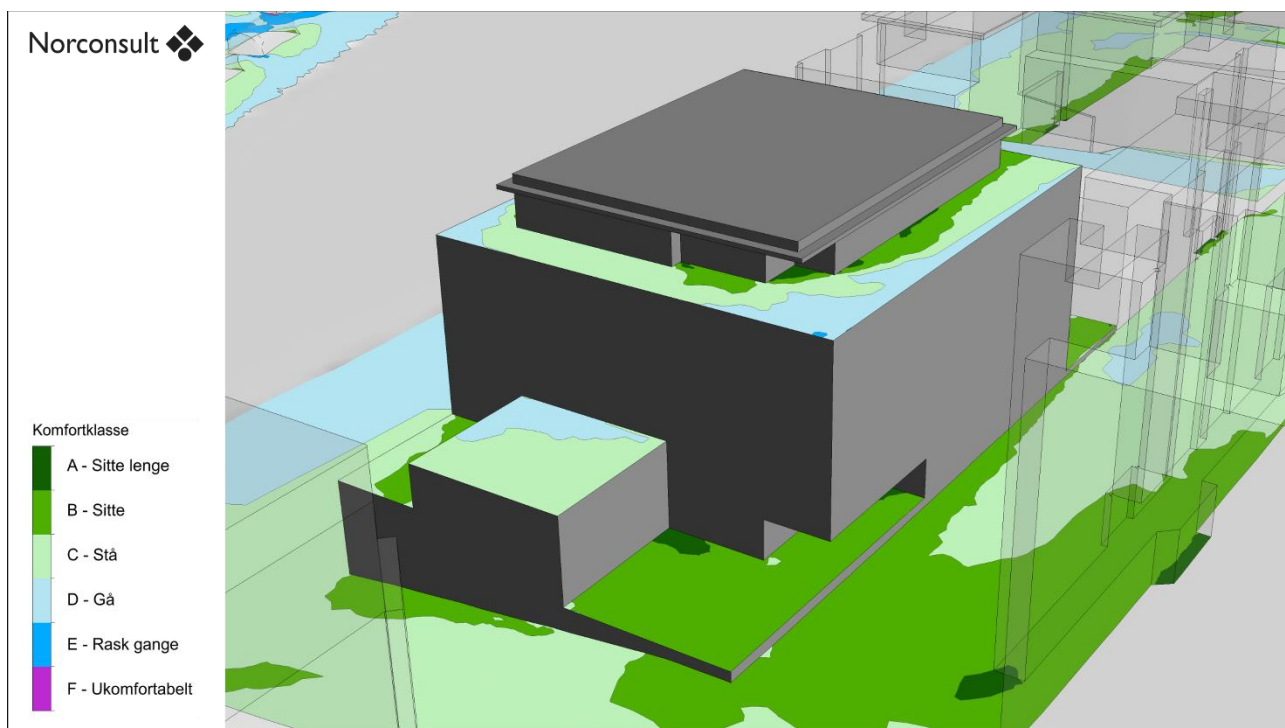
Figur 4-2: Vindkomfort i kroppshøyde for alternativ 1, sett fra vest, med gjennomsiktige omkringliggende bygninger.



Figur 4-3: Vindkomfort i kroppshøyde for alternativ 1, sett fra nord, med gjennomsiktige omkringliggende bygninger.

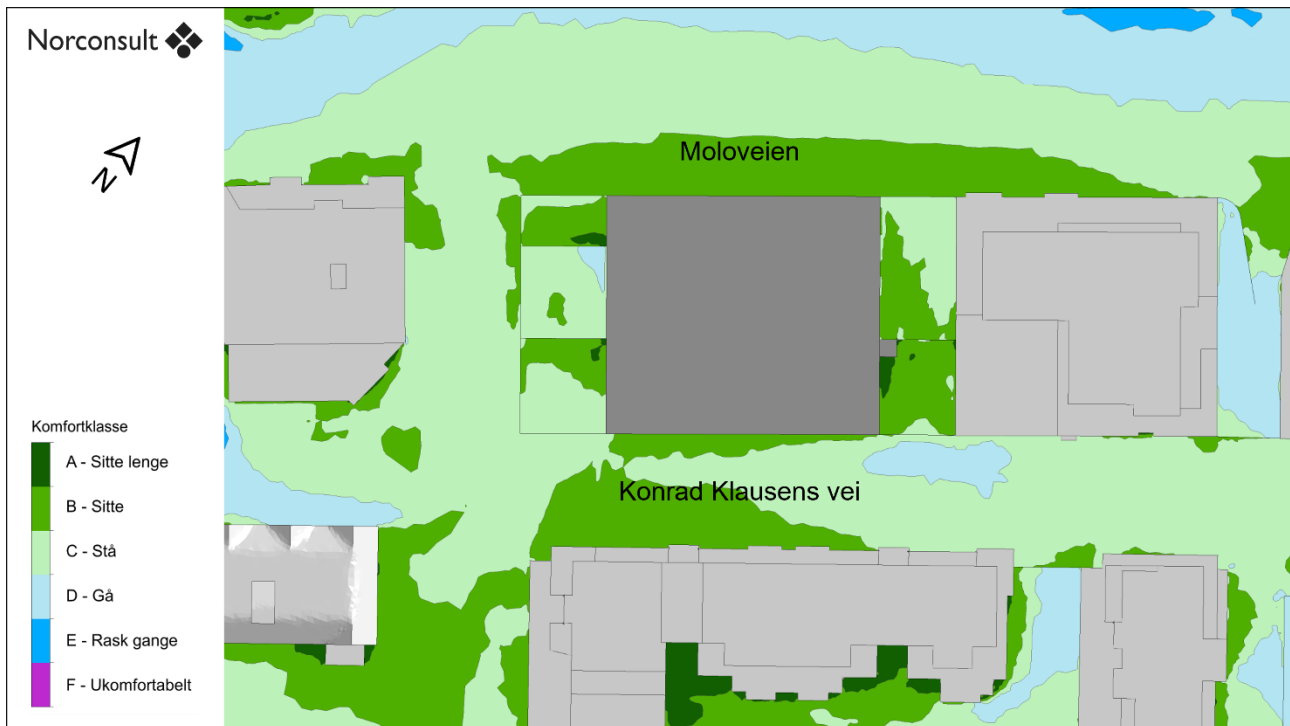


Figur 4-4: Vindkomfort i kroppshøyde for alternativ 1, sett fra øst, med gjennomsiktige omkringliggende bygninger.

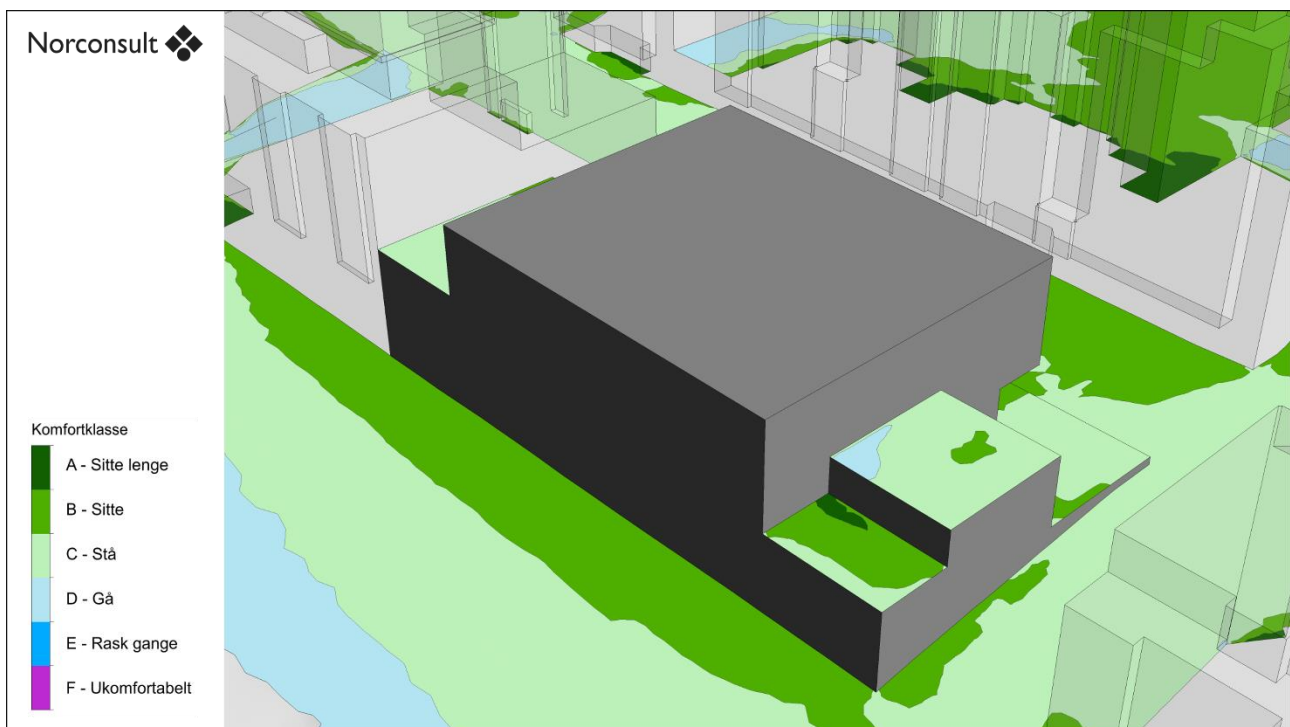


Figur 4-5: Vindkomfort i kroppshøyde for alternativ 1, sett fra sør, med gjennomsiktige omkringliggende bygninger.

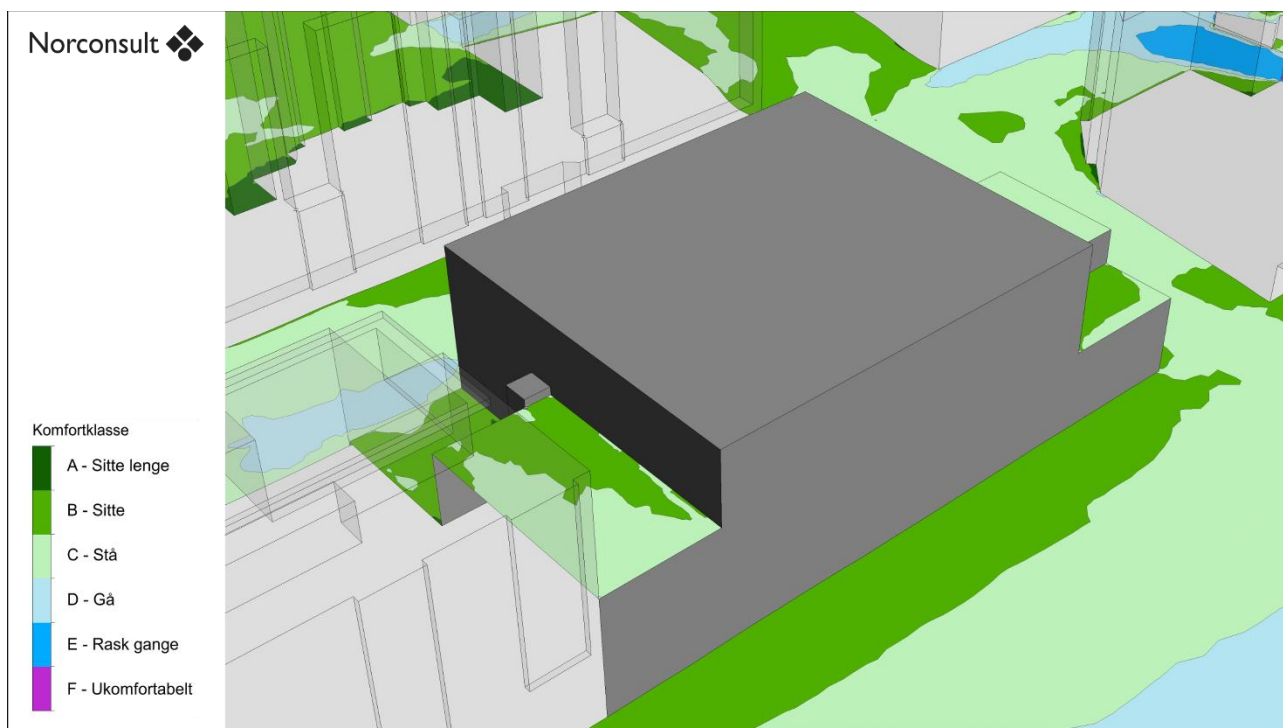
4.2 Vindkomfortkart for alternativ 2



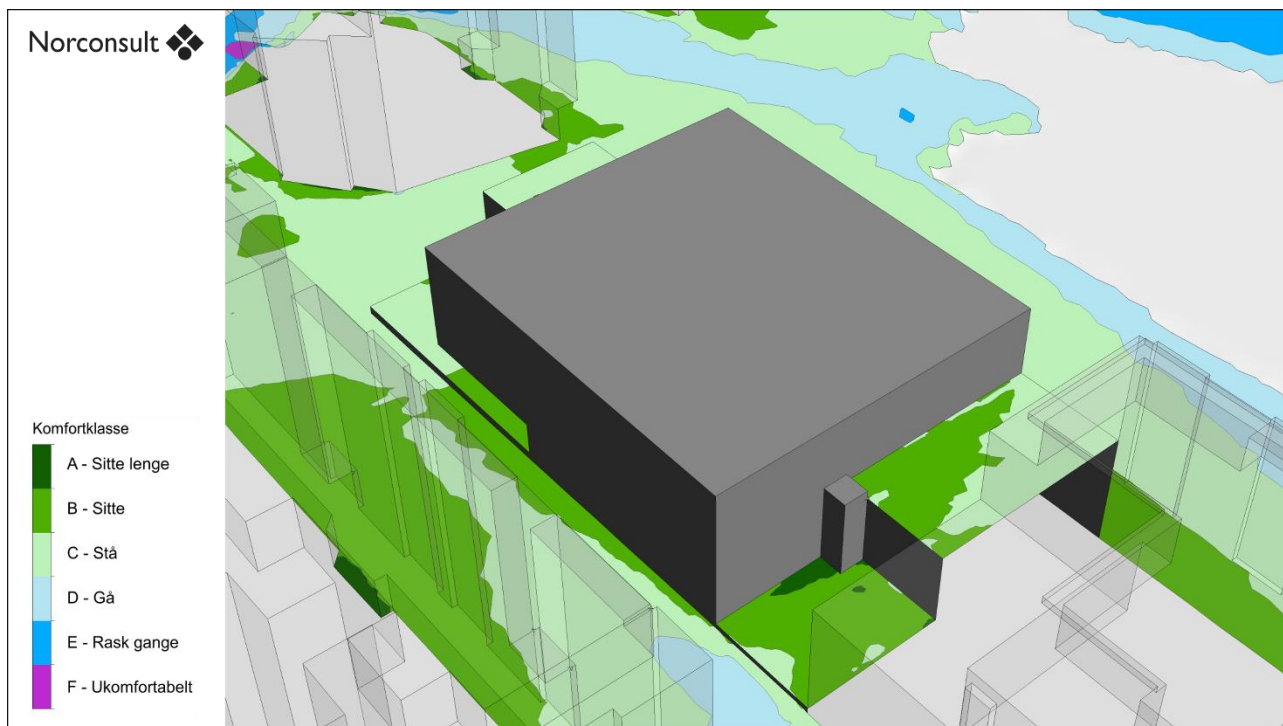
Figur 4-6: Vindkomfort i kroppshøyde for alternativ 2, sett ovenfra.



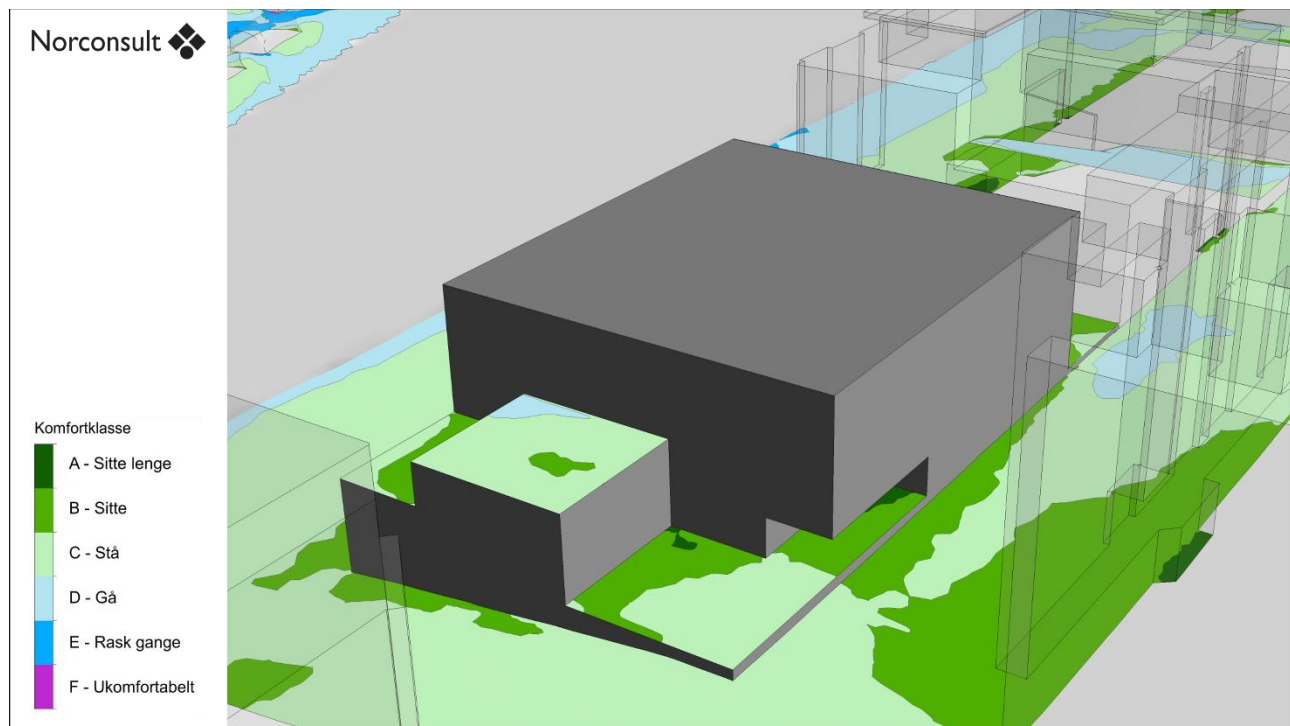
Figur 4-7: Vindkomfort i kroppshøyde for alternativ 2, sett fra vest, med gjennomsiktige omkringliggende bygninger.



Figur 4-8: Vindkomfort i kroppshøyde for alternativ 2, sett fra nord, med gjennomsiktige omkringliggende bygninger.



Figur 4-9: Vindkomfort i kroppshøyde for alternativ 2, sett fra øst, med gjennomsiktige omkringliggende bygninger.



Figur 4-10: Vindkomfort i kroppshøyde for alternativ 2, sett fra sør, med gjennomsiktige omkringliggende bygninger.

4.3 Beskrivelse av vindkomfort

Vindkomfortkart for planområdet er vist i figur 4-1 til figur 4-10. Figur 4-1 til figur 4-5 viser vindkomfortkart for alternativ 1, og figur 4-6 til figur 4-10 viser vindkomfortkart for alternativ 2. Det er vist vindkomfort i kroppshøyde på bakkeplan rundt planområdet, samt på takarealer som kan være aktuelle for opphold.

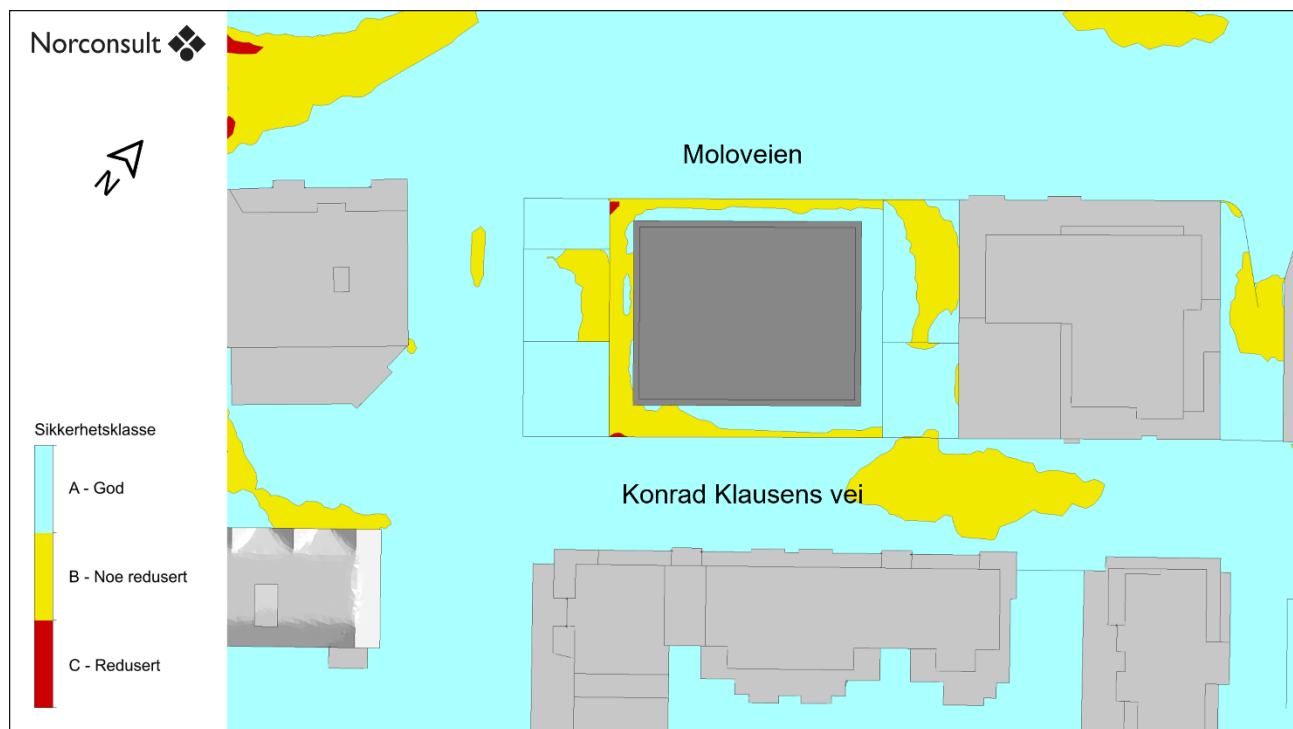
For både alternativ 1 (7 etg.) og alternativ 2 (5 etg.) er det hovedsakelig komfortklasse B og C på bakkeplan i området rundt bygget. Det er et mindre område med klasse D i Konrad Klausens vei på østsiden av bygget, og det er også klasse D ytterst mot vannkanten langs Moloveien. Komfortklasse B er regnet som komfortabelt for sittende opphold, og klasse C regnes som akseptabelt for kortere stående opphold. Områdene med klasse D er regnet som komfortable for gående.

Det er liten forskjell i vindkomfort på bakkeplan for de to alternativene. Alternativ 1 har noe bedre vindkomfort på sørsiden av bygget (Konrad Klausens vei) sammenlignet med alternativ 2. Samtidig har alternativ 2 noe bedre vindkomfort på nordvestsiden av bygget (Moloveien) sammenlignet med alternativ 1.

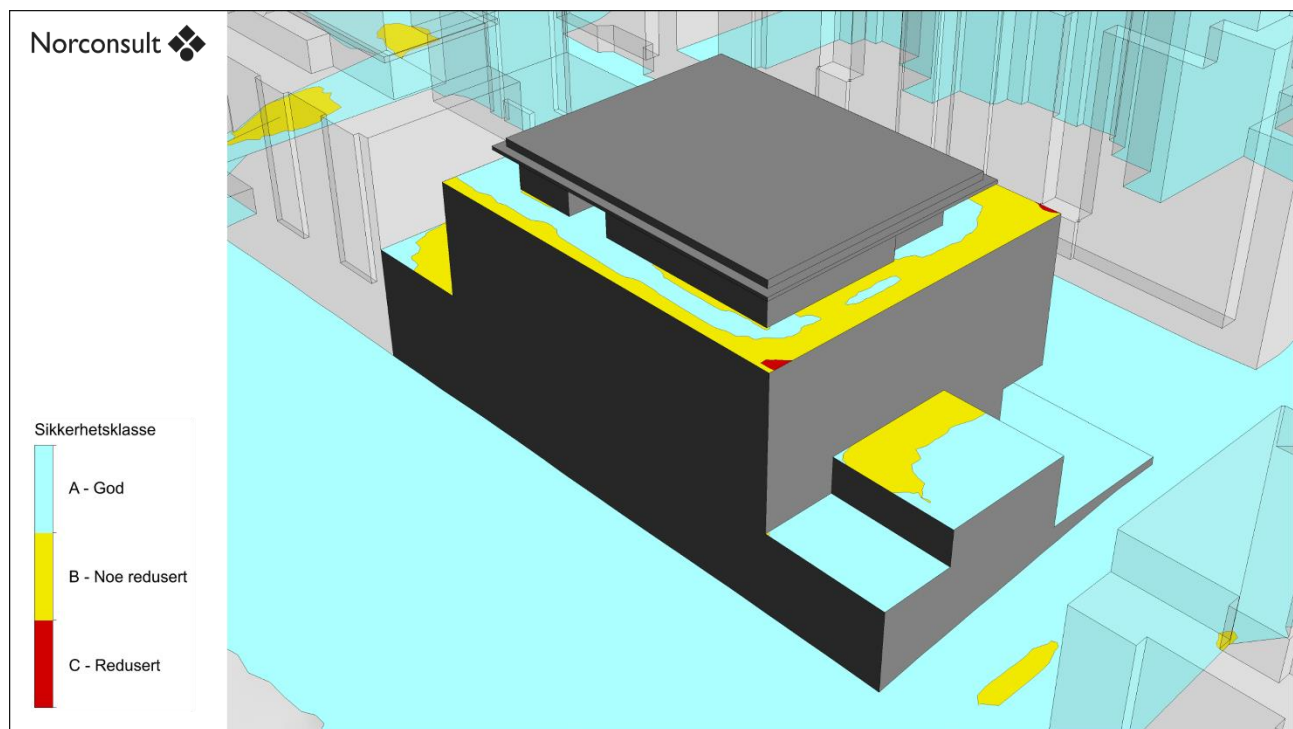
Området langs fasaden av bygget mot Moloveien har komfortklasse B eller høyere. Dersom det planlegges bruk av dette området for stillesittende opphold, som uteservering e.l., kan det vurderes avbøtende tiltak som beskrevet i kapittel 5. For denne typen bruk bør det helst være komfortklasse A.

Det kan være aktuelt å bruke deler av takarealet som takterrasser. Takterrasser bør helst ha komfortklasse A for å være egnet for lengre stillesittende opphold. Analysen viser at takarealene i hovedsak har klasse B eller høyere for begge alternativene. Det bør vurderes innglassing eller andre vindskjermende tiltak på takarealene som er planlagt brukt som takterrasser.

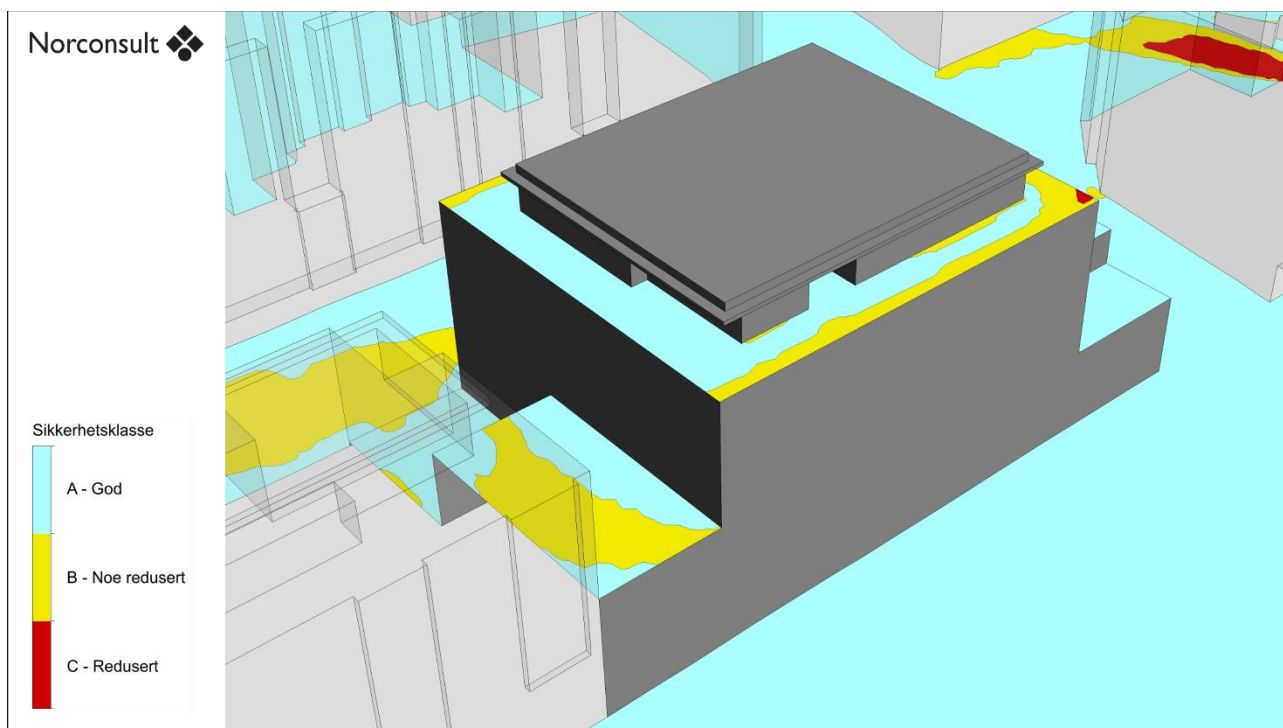
4.4 Sikkerhetskart for alternativ 1



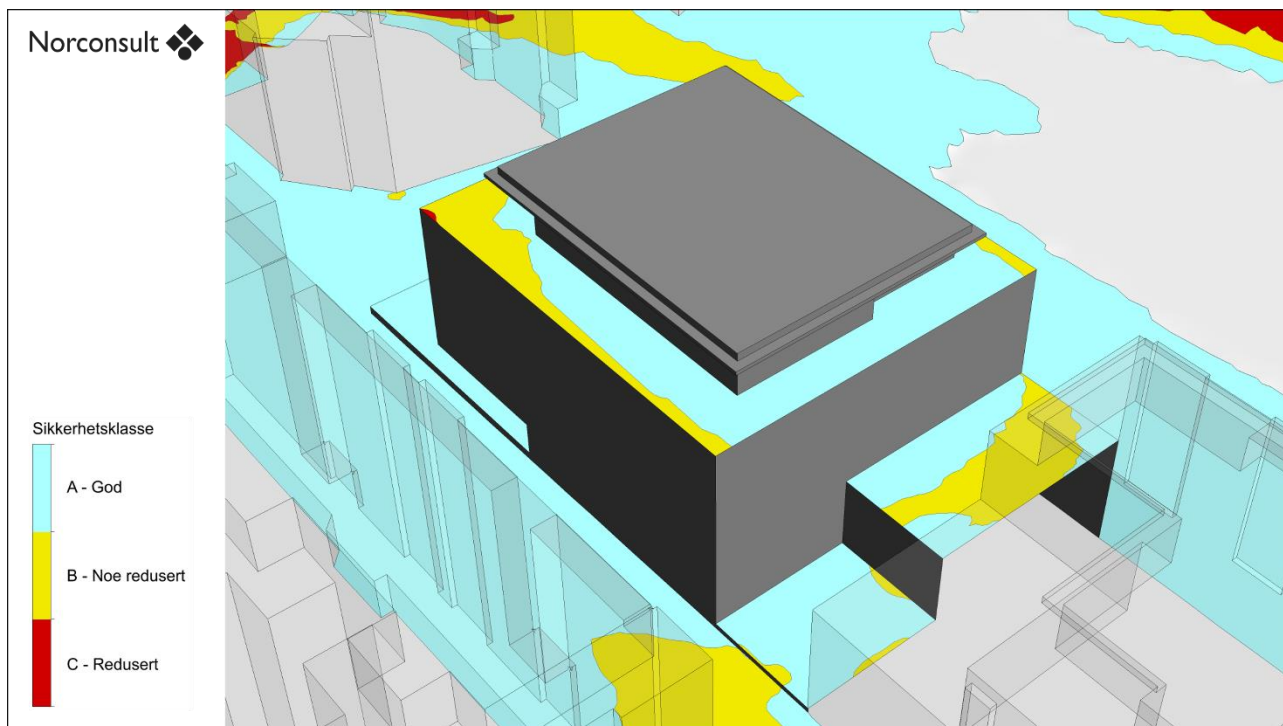
Figur 4-11: Vindrelatert sikkerhet i kroppshøyde for alternativ 1, sett ovenfra.



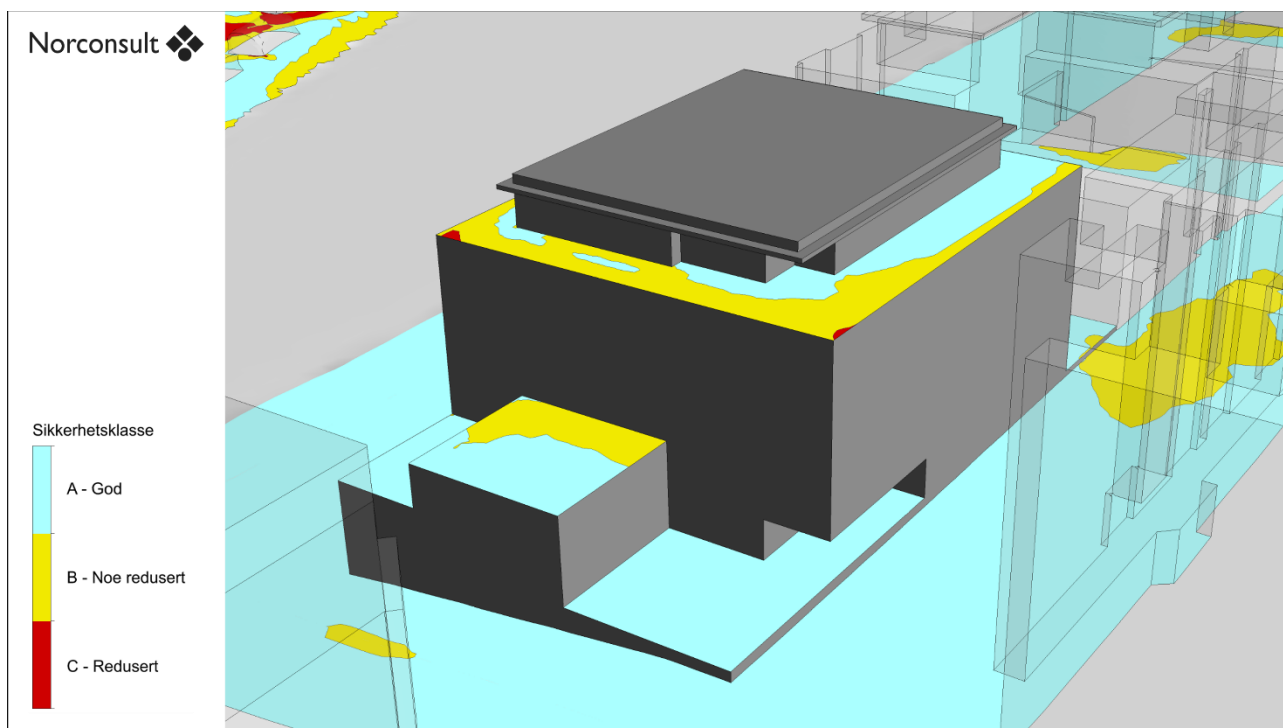
Figur 4-12: Vindrelatert sikkerhet i kroppshøyde for alternativ 1, sett fra vest, med gjennomsiktige omkringliggende bygninger.



Figur 4-13: Vindrelatert sikkerhet i kroppshøyde for alternativ 1, sett fra nord, med gjennomsiktige omkringliggende bygninger.

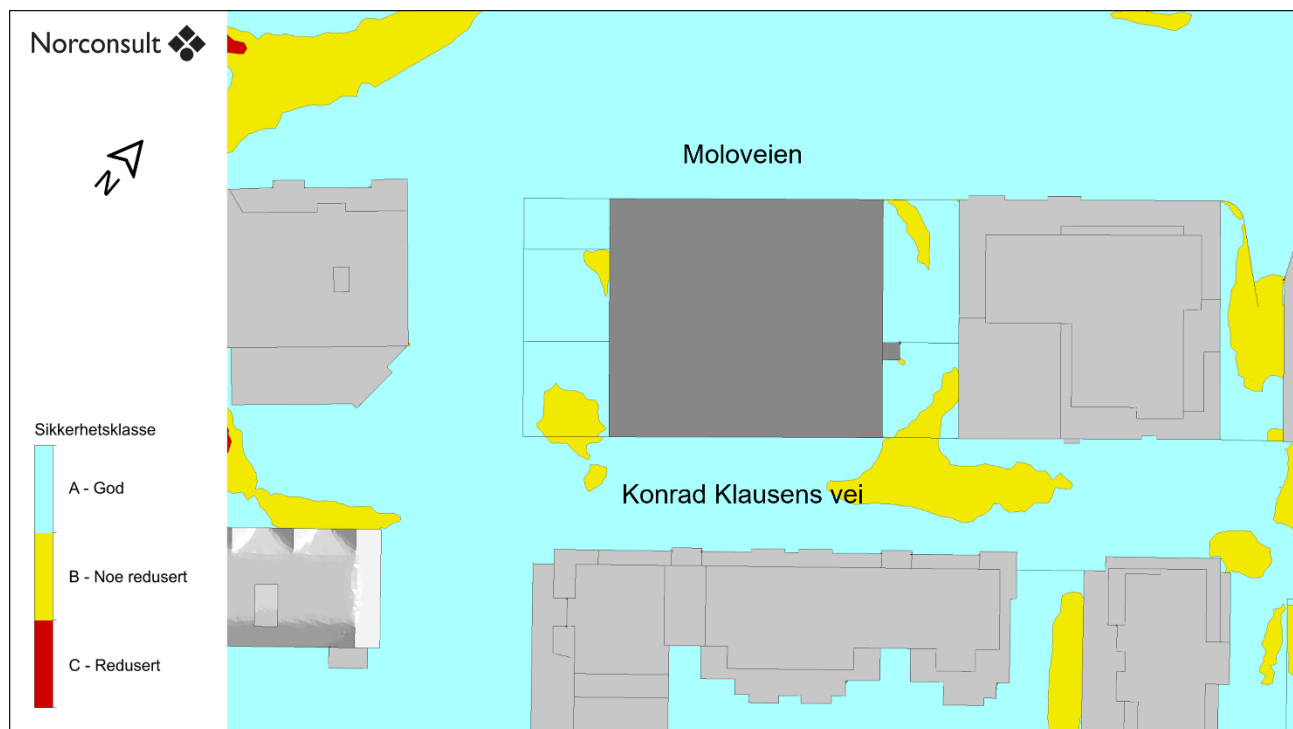


Figur 4-14: Vindrelatert sikkerhet i kroppshøyde for alternativ 1, sett fra øst, med gjennomsiktige omkringliggende bygninger.

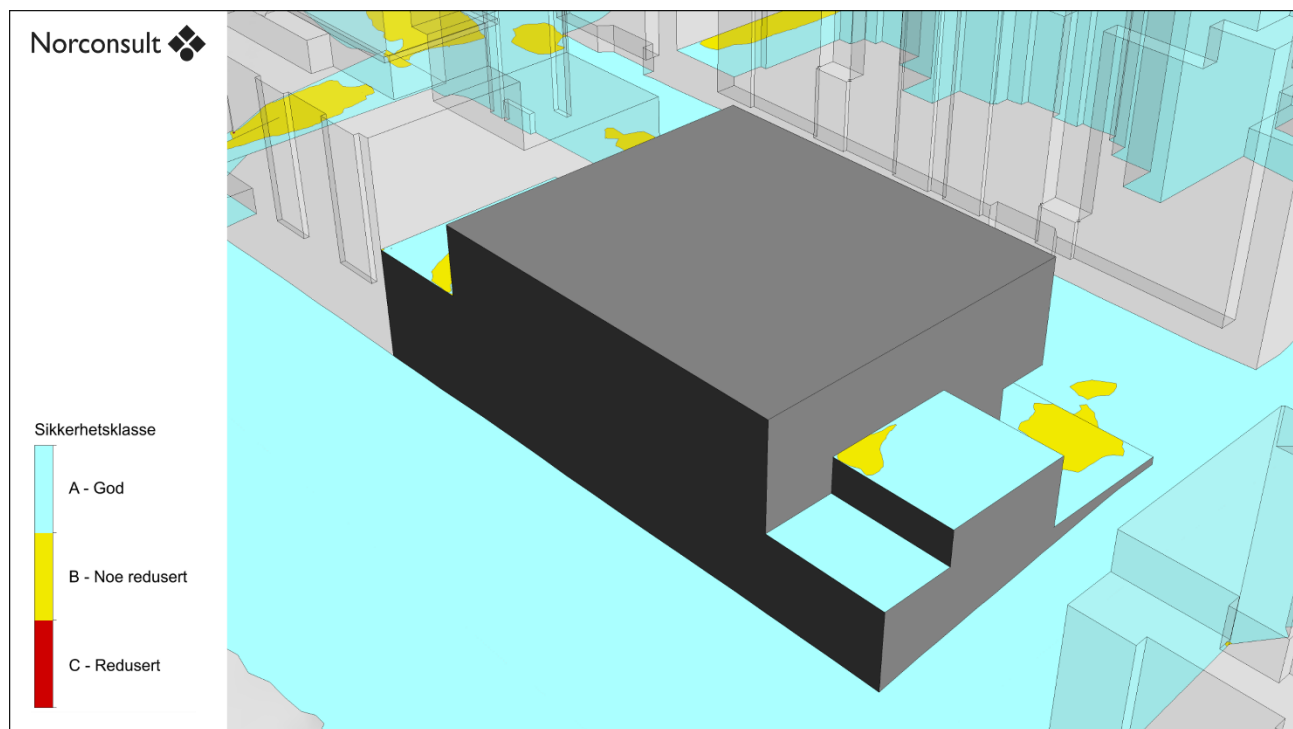


Figur 4-15: Vindrelatert sikkerhet i kroppshøyde for alternativ 1, sett fra sør, med gjennomsiktige omkringliggende bygninger.

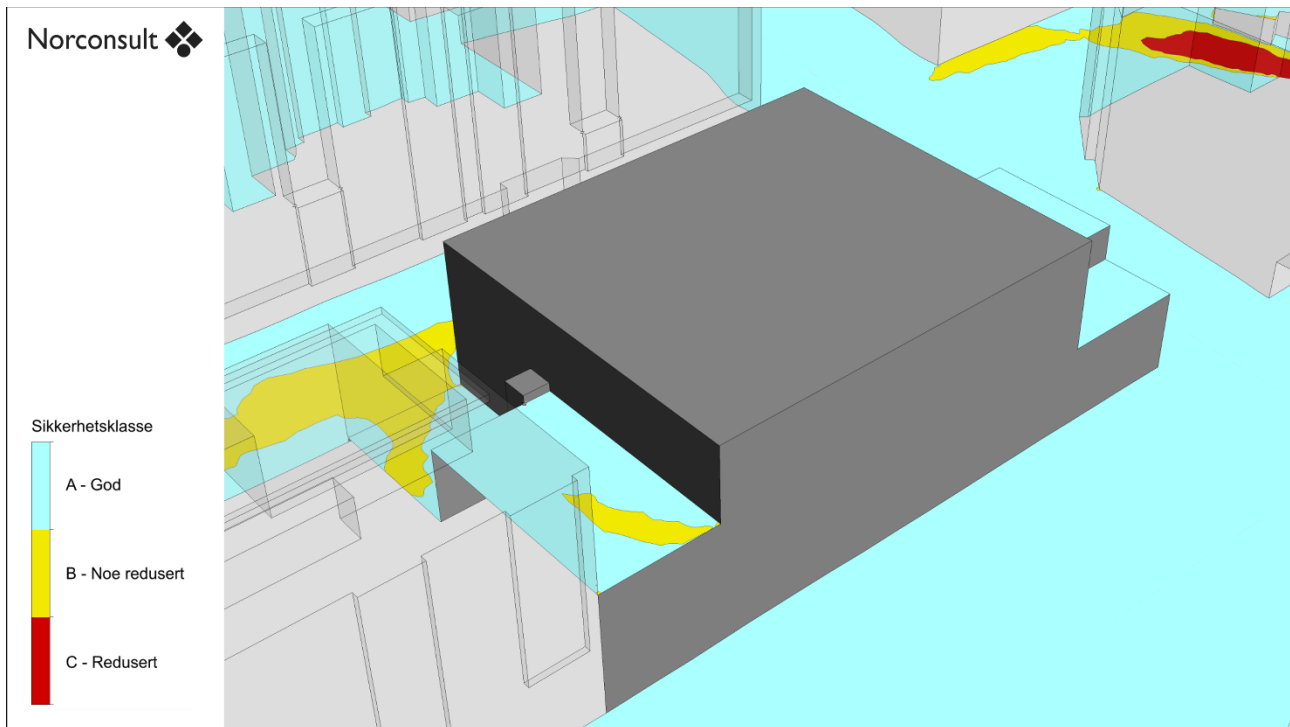
4.5 Sikkerhetskart for alternativ 2



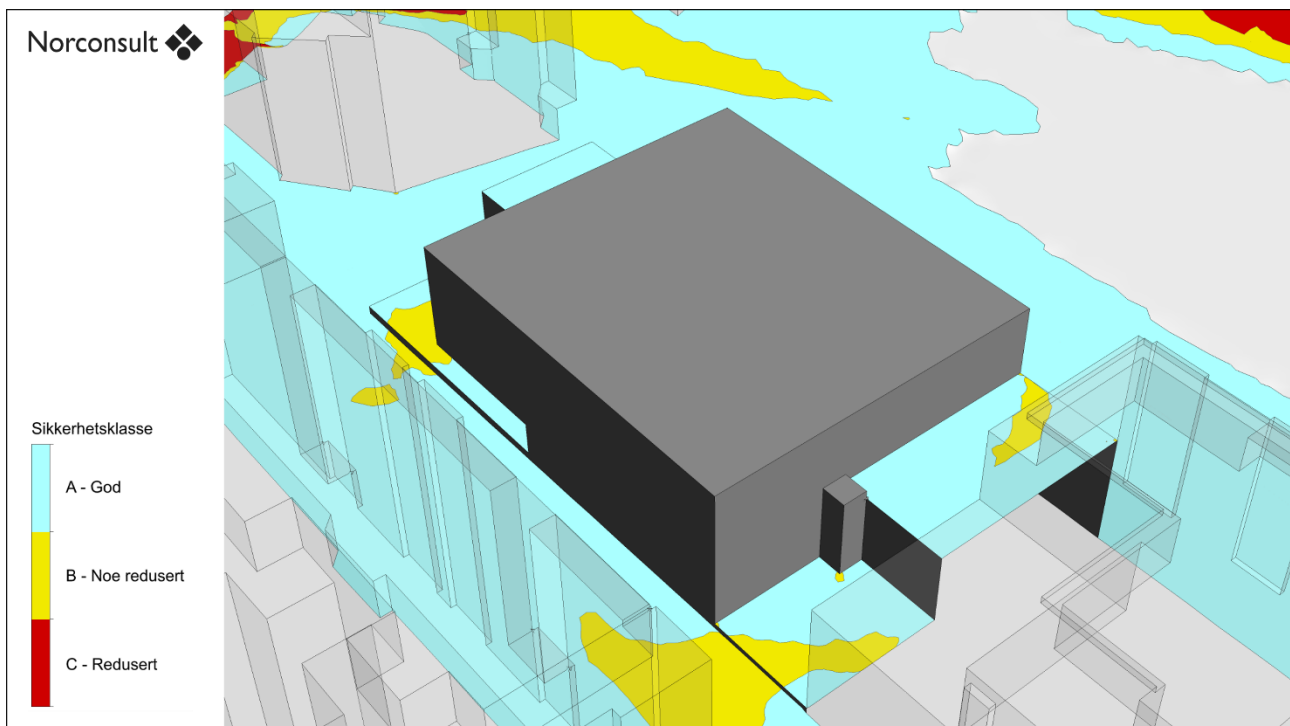
Figur 4-16: Vindrelatert sikkerhet i kroppshøyde for alternativ 2, sett ovenfra.



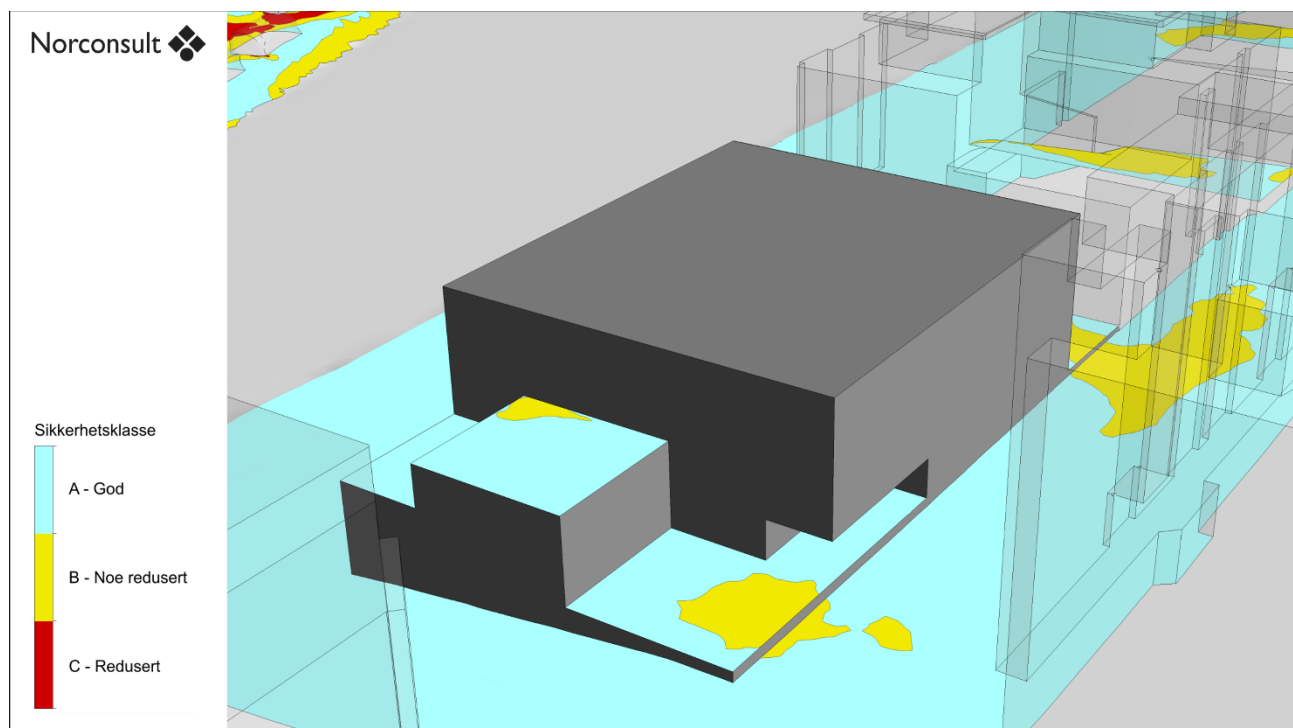
Figur 4-17: Vindrelatert sikkerhet i kroppshøyde for alternativ 2, sett fra vest, med gjennomsiktige omkringliggende bygninger.



Figur 4-18: Vindrelatert sikkerhet i kroppshøyde for alternativ 2, sett fra nord, med gjennomsiktige omkringliggende bygninger.



Figur 4-19: Vindrelatert sikkerhet i kroppshøyde for alternativ 2, sett fra øst, med gjennomsiktige omkringliggende bygninger.



Figur 4-20: Vindrelatert sikkerhet i kroppshøyde for alternativ 2, sett fra sør, med gjennomsiktige omkringliggende bygninger.

4.6 Beskrivelse av vindrelatert sikkerhet

Kart av vindrelatert sikkerhet for planområdet er vist i figur 4-11 til figur 4-20. Figur 4-11 til figur 4-15 viser sikkerhetskart for alternativ 1, og figur 4-16 til figur 4-20 viser sikkerhetskart for alternativ 2. Det er vist vindrelatert sikkerhet i kroppshøyde på bakkeplan rundt planområdet, samt på takarealer som kan være aktuelle for opphold.

For både alternativ 1 (7 etg.) og alternativ 2 (5 etg.) har store deler av området på bakkeplan rundt bygget sikkerhetsklasse A, altså god sikkerhet for den generelle befolkningen, med unntak av et område i Konrad Klausens vei på østsiden av bygget som har sikkerhetsklasse B. I områdene med sikkerhetsklasse B vil det være redusert sikkerhet for spesielt utsatte, f.eks. syklistene eller eldre, de dagene i året det blåser sterkest.

For alternativ 2 er det i tillegg et område med sikkerhetsklasse B utenfor det overbygde inngangspartiet ved det sørlige hjørnet av bygget (figur 4-20). Ettersom det er redusert sikkerhet for spesielt utsatte i dette området kan det vurderes vindskjermende tiltak som perforerte legger, beplantning eller lignende, som beskrevet i kapittel 5.

På takarealene er det enkelte områder med sikkerhetsklasse B, spesielt på det øverste planet for alternativ 1. Uten vindskjermende tiltak vil det altså være redusert sikkerhet for spesielt utsatte. Vindrelatert sikkerhet på takarealene vil forbedres med innglassing eller andre vindskjermende tiltak, som anbefalt i delkapittel 4.3.

5 Avbøtende tiltak

I områder der komfort- eller sikkerhetsklassene ikke egner seg til planlagt arealbruk, kan avbøtende tiltak vurderes. Dette kan være i form av:

- i. lokal vindskjerming av utvalgte områder (som f.eks. balkonger, inngangspartier og sittegrupper)
- ii. en mer overordnet strategisk fortetning av vindpassasjene gjennom planområdet

Både lokal vindskjerming og en strategisk fortetning kan være basert på ulike løsninger som innglassing (hel eller delvis), perforerte levegger, tettere helårsgrønne hekker, bed med kombinasjon vindskjerm og klatreplante osv. Forskjellen mellom lokal skjerming og fortetning vil være tiltakets plassering og utstrekning.

Med unntak av noen former for lokal skjerming som ved balkonger eller sittegrupper, anbefales det at slike skjermingstiltak ikke gjøres helt tette, men delvis åpne/perforerte. Dette for at de skal kunne bremse vinden på mest mulig effektiv måte.

Høyde og utstrekning på skjermingstiltak må tilpasses hvert enkelt tilfelle. For områder der beboere vil gå eller oppholde seg stående, er typisk anbefalt høyde på vindskjerming 2,5 m, mens for områder ment for sittende opphold kan høyden reduseres.



Figur 5-1: Eksempler av ulike løsninger for vindskjerming og fortetning (fra diverse kilder og/eller leverandører).

6 Konklusjon

Det er utført en kvantitativ vindanalyse for å kartlegge vindkomfort og vindrelatert sikkerhet etter ombygging av Moloveien 10 i Bodø. Analysen er basert på 3D CFD-simuleringer (Computational Fluid Dynamics) av området, med beregning av vindforsterkning for ulike vindretninger og statistisk behandling av resultatene ved bruk av lokale meteorologiske data.

Bodø er en vindutsatt by som opplever høye vindhastigheter store deler av året, noe som gjenspeiles i analysen av vindkomfort og vindrelatert sikkerhet.

Det er i hovedsak komfortklasse B og C på bakkeplan ved planområdet, men det finnes mindre områder med klasse D. Komfortklasse B er regnet som komfortabel for sittende opphold, klasse C regnes som akseptabel for kortere stående opphold, og områdene med klasse D er regnet som komfortable for gående.

I de områdene hvor det kan være aktuelt med lengre stillesittende opphold, for eksempel på takarealene eller langs fasaden av bygget mot Moloveien, er det komfortklasse B eller høyere. For at områder skal egne seg for lengre stillesittende opphold bør det helst være komfortklasse A. Det bør vurderes innglassing eller andre avbøtende tiltak om det planlegges denne typen bruk i disse områdene.

Analysen viser at det finnes enkelte områder med redusert vindrelatert sikkerhet for spesielt utsatte. Det er i hovedsak sikkerhetsklasse A på bakkeplan i området rundt bygget, men enkelte områder har sikkerhetsklasse B. I områdene med sikkerhetsklasse A er det god sikkerhet for den generelle befolkningen, mens i områdene med sikkerhetsklasse B vil det være redusert sikkerhet for spesielt utsatte. For alternativ 2 er det et område med sikkerhetsklasse B ved det sørlige hjørnet av bygget, hvor det kan vurderes avbøtende tiltak.

Det er også deler av takarealene som har sikkerhetsklasse B. Dette tilsier også at det bør vurderes innglassing eller andre vindskjermende tiltak på de delene av takarealene som planlegges brukt som takterrasser.

7 Referanser

- [1] Beranek, W.J. and Van Koten, H. (1979). Beperken van windhinder om gebouwen, deel 1, tichting Bouwresearch no. 65, Kluwer Technische Boeken BV, Deventer (in Dutch).
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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
- [5] Jacobsen, Mark Z., Fundamentals of Atmospheric Modeling, 2nd Edition, Stanford University, California, ISBN:9780521548656, 2005

8 Vedlegg A – Metode

8.1 CFD-simuleringer

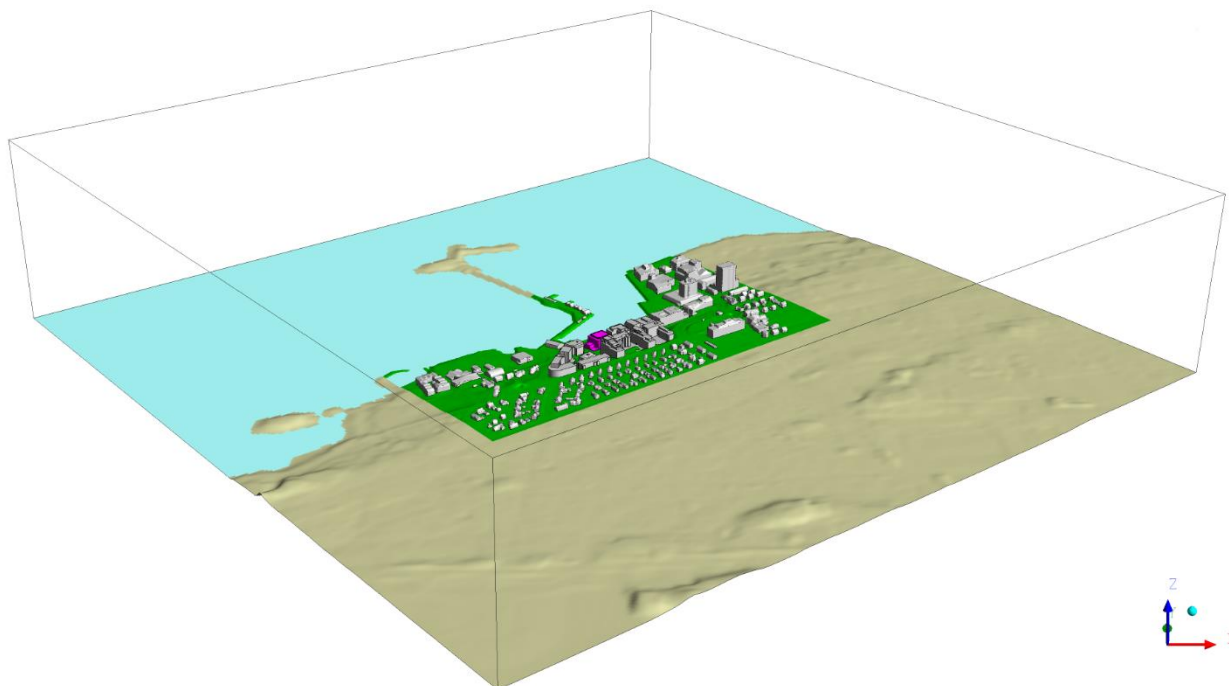
Beregningene i denne rapporten er utført ved CFD-simuleringer. CFD er en forkortelse for det engelske uttrykket «Computational Fluid Dynamics». Denne typen analyse innebærer at de fundamentale likningene for fluiders bevegelse («Navier-Stokes' likninger») løses ved numerisk iterasjon. Norconsult benytter programvarepakken ANSYS CFX (<http://www.ansys.com>) for slike analyser, og har lang erfaring med CFD-analyser for lokalklima.

Ved CFD-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 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. Lokal vindstatistikk er deretter brukt for å beregne vindkomfort og vindrelatert sikkerhet.

8.2 Beregningsmodell

Beregningsmodellene ble konstruert ut fra BIM-modell av bygningsvolumer, samt digital terrengdata. Den endelige modellen er vist i figur 8-1.



Figur 8-1: Oversikt over CFD-modellen, sett fra sør. Fargene på terrengflaten korresponderer med ulike bakkeruheter, se tabell 8-1. Lyseblå farge representerer vann/sjø, lysebrun farge småhusbebyggelse og grønn farge bakkeflater i det arealet der bygninger er eksplisitt inkludert i beregningsmodellen.

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.

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

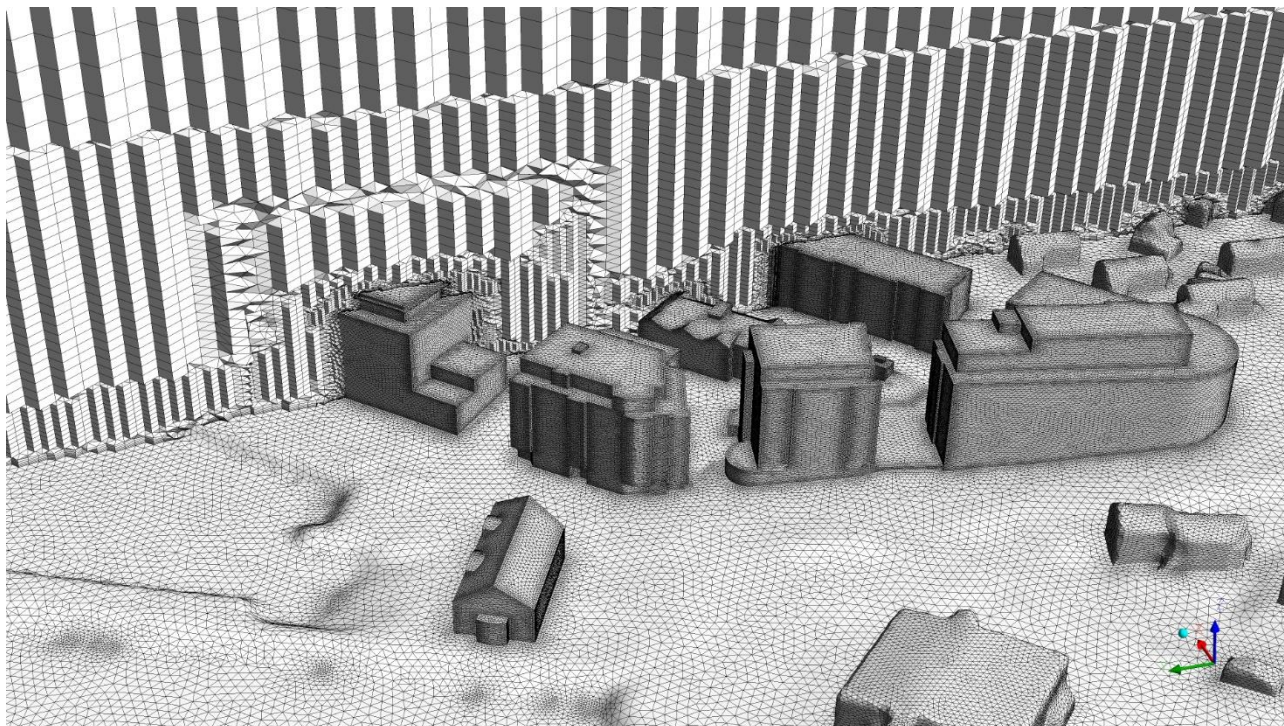
² Shear Stress Transport, en kombinasjon av k-epsilon-modell i fristrøm og k-omega-modell langs vegger.

Nabobygg i en avstand på ca. 300 m fra midten av planområdet er inkludert i modellen. Bygninger lengre vekke enn dette ble modellert som en økt effektiv terrengruhet.

Total utstrekning 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 er modellen rektangulær med en utstrekning på ca. 1,5 km x 1,5 km x 0,35 km.

Beregningsmodellen er delt opp i et stort antall beregningsceller. Meshet som er benyttet i dette tilfellet er vist i figur 8-2. Det indre området som omkranser bygningssonen består av heksaedriske og tetraedriske celler med prismatiske celler i nærheten av bygninger og terreng. Det ytre området utenfor bygningssonen består av strukturerte heksaedriske celler.



Figur 8-2: Visualisering av «meshet» langs overflater og et snitt gjennom volumet.

Det indre meshet har en oppløsning på mellom 0,5 - 2,0 m i områdene nærmest byggene i planområdet, og opp mot 4,0 m lengre vekke. Vertikal oppløsning i grensesjiktet langs terrenget er ca. 0,5 m. Det ytre heksaedriske meshet har en oppløsning på ca. 5 m i horisontal retning og på mellom 1 m – 15 m i vertikal retning (1 m i de nederste lagene langs terrenget). Totalt antall celler i meshet er ca. 22 millioner.

Vegetasjon som skog etc. er implisitt inkludert via terrengruheten i de ytre områdene, mens lokal beplantning (hekker, bed, individuelle trær plantet langs gater osv.) rundt bygningene ikke er inkludert. Dette er vanlig praksis i vindmodellering da det er mange usikkerheter rundt beplantningens 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.

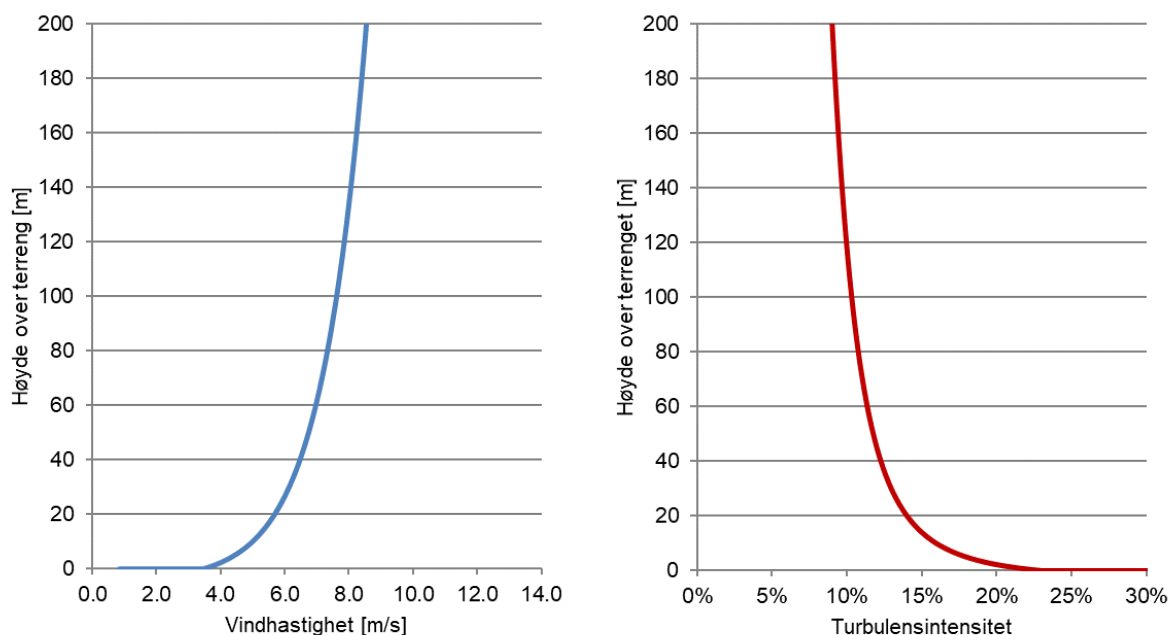
8.3 Modelloppsett og grensebetingelser

For alle innløp, utløp, og overflater i modellen må et antall fysiske forhold spesifiseres. I dette tilfellet ble vindhastighet, vindretning og turbulensvariabler (k og epsilon) 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.

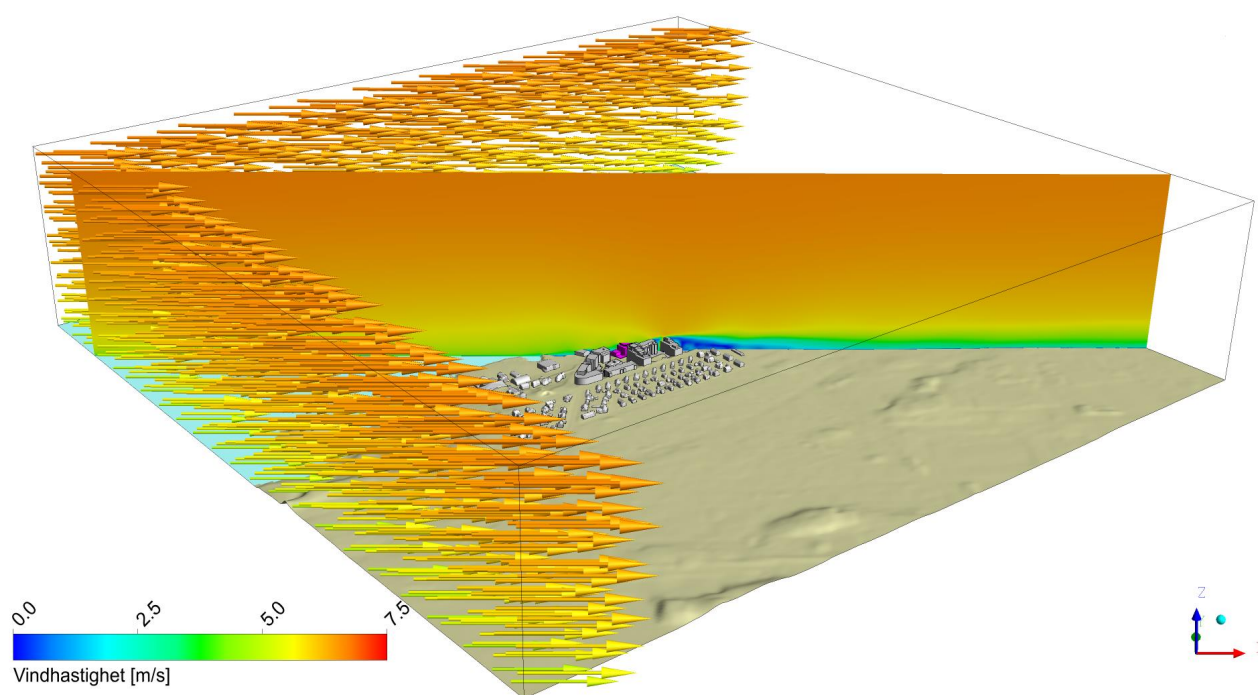
Modellvolumet er vist i figur 8-4 med et eksempel på et vindfelt. Vindhastighet og turbulens på innløpet er låst til profiler som tilsvarer innkommende vind over bakken. De aktuelle profilene er vist i figur 8-3. Profilene er valgt for å svare til karakteristiske forhold i den aktuelle typen terreng og bakken er representert med en aerodynamisk ruhet som stemmer godt overens med dette profilet og fullskaladata ([4] og [5]).

Tabell 8-1: Modellparametere brukt i CFD-beregningene.

Grensebetingelse/Parameter	Verdi
Innløp	Atmosfærisk hastighets- og turbulensprofil (se figur 8-4)
Utløp og øvre grense av domenet	Trykkbetingelse (0 Pa relativ trykk)
Vindhastighet ved 10 m høyde	5 m/s
Vindretninger	0° - 330°, med 30° intervaller
Ruhet på bakken (z_0) [5]	0,3 m for småhusbebyggelse 0,3 m for skog 0,0002 m for vann/sjø. 0,01 m for bakken mellom nabobygg som er inkludert eksplisitt
Simulert tid for midling av hastighetsfelt	600 sek
Tidsskritt i beregningen	4 sek



Figur 8-3: Grensebetingelser for hastighet og turbulens, her vist profil med terreng med en ruhet langs bakken som tilsvarer en implisitt modellering av nabobebyggelse med $z_0 = 0,3$ m



Figur 8-4: Modellvolum med illustrasjon av grensebetingelser.

8.4 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 av potensiell 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 strømnings tekniske systemer i en konseptuell designfase.

9 Vedlegg B – Vindforsterkning

9.1 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):

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

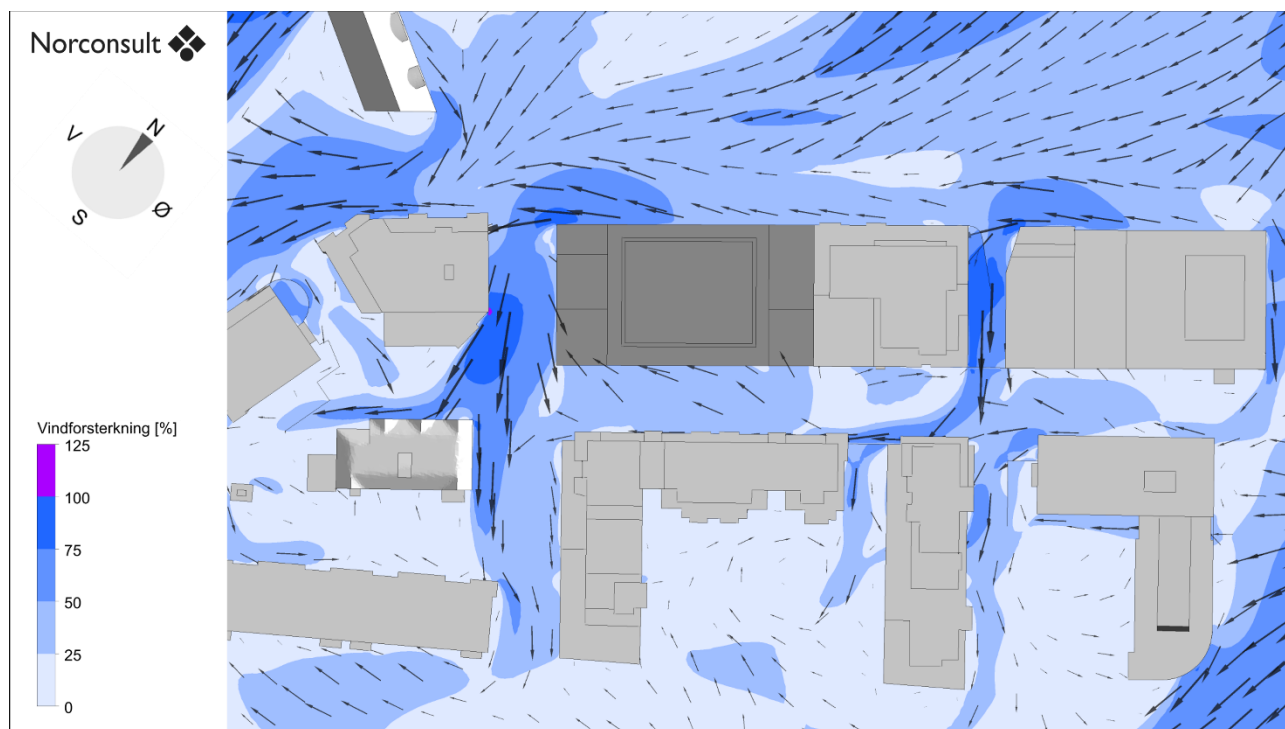
Resultatet viser dermed hvorvidt luften i kroppshøyde blir bremsset (verdier < 100 %) eller akselerert (verdier > 100 %) av byggene sammenlignet med den innkommende vinden.

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. Resultatene er ikke kommentert ytterligere i denne rapporten, men de inngår i utregningen av vindkomfort- og sikkerhetsklasser.

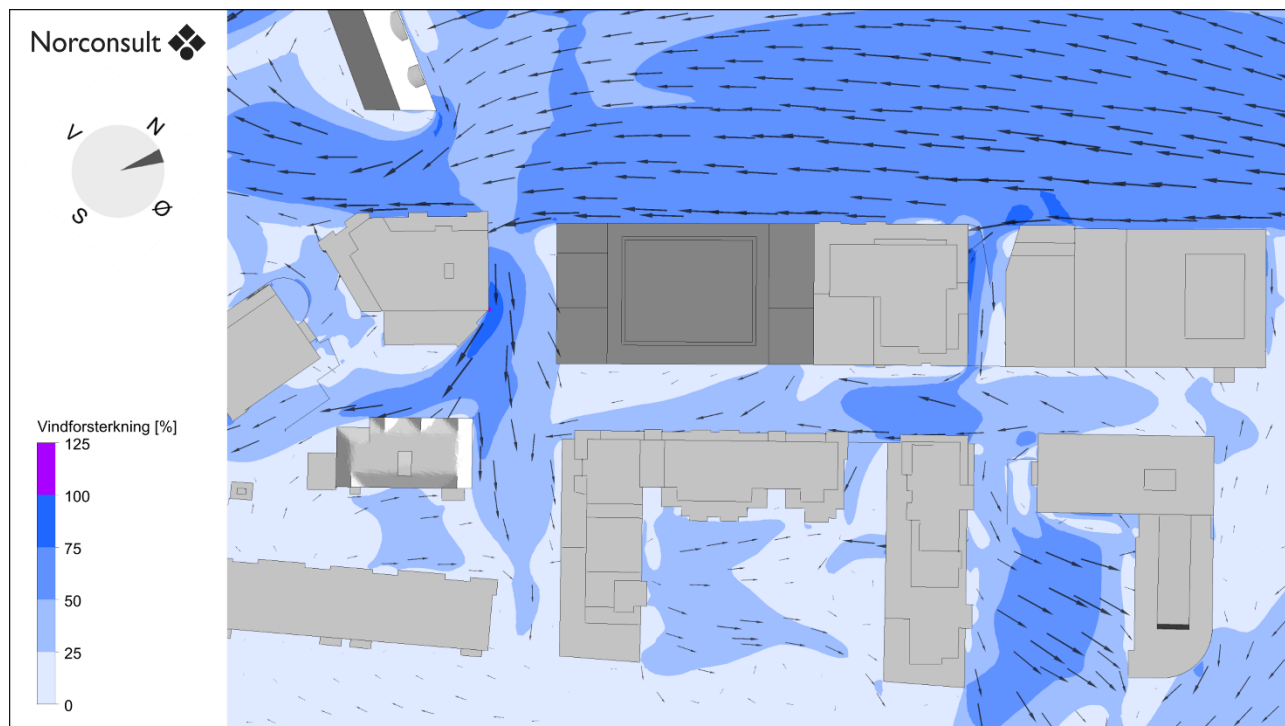
9.2 Vindforsterkning for alternativ 1

9.2.1 Vind fra 0°



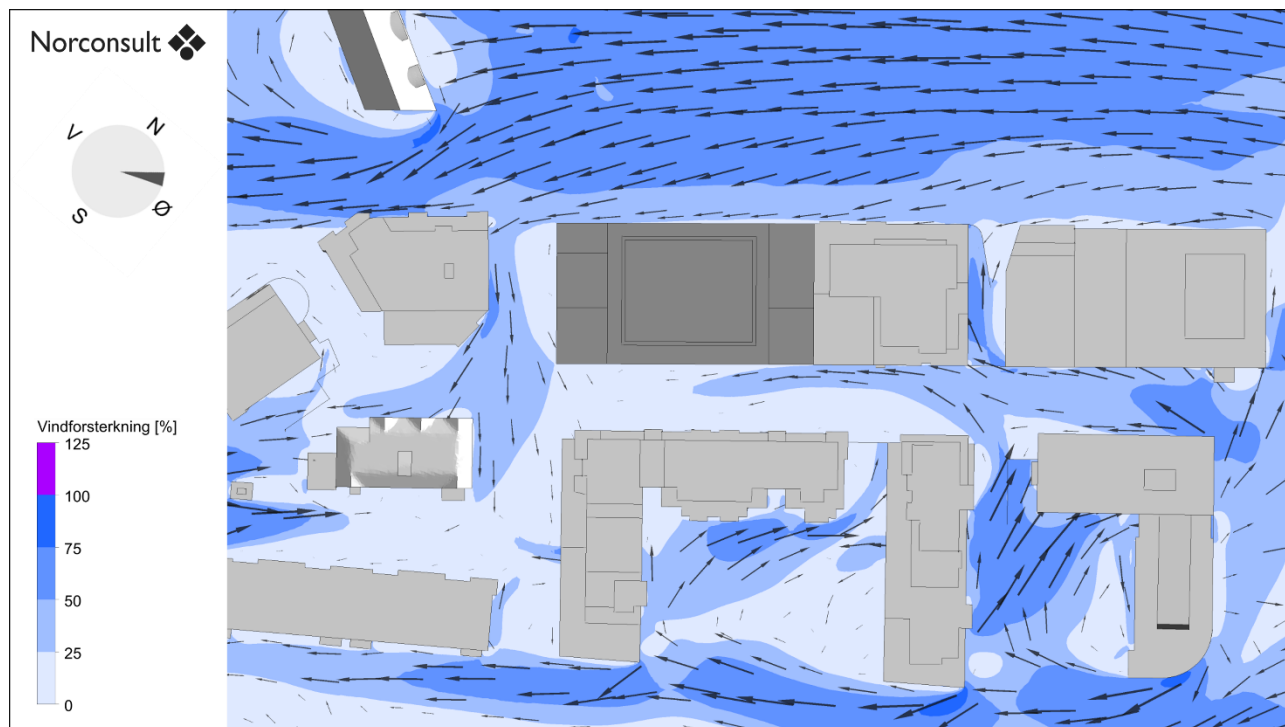
Figur 9-1: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 0°. Alternativ 1.

9.2.2 Vind fra 30°



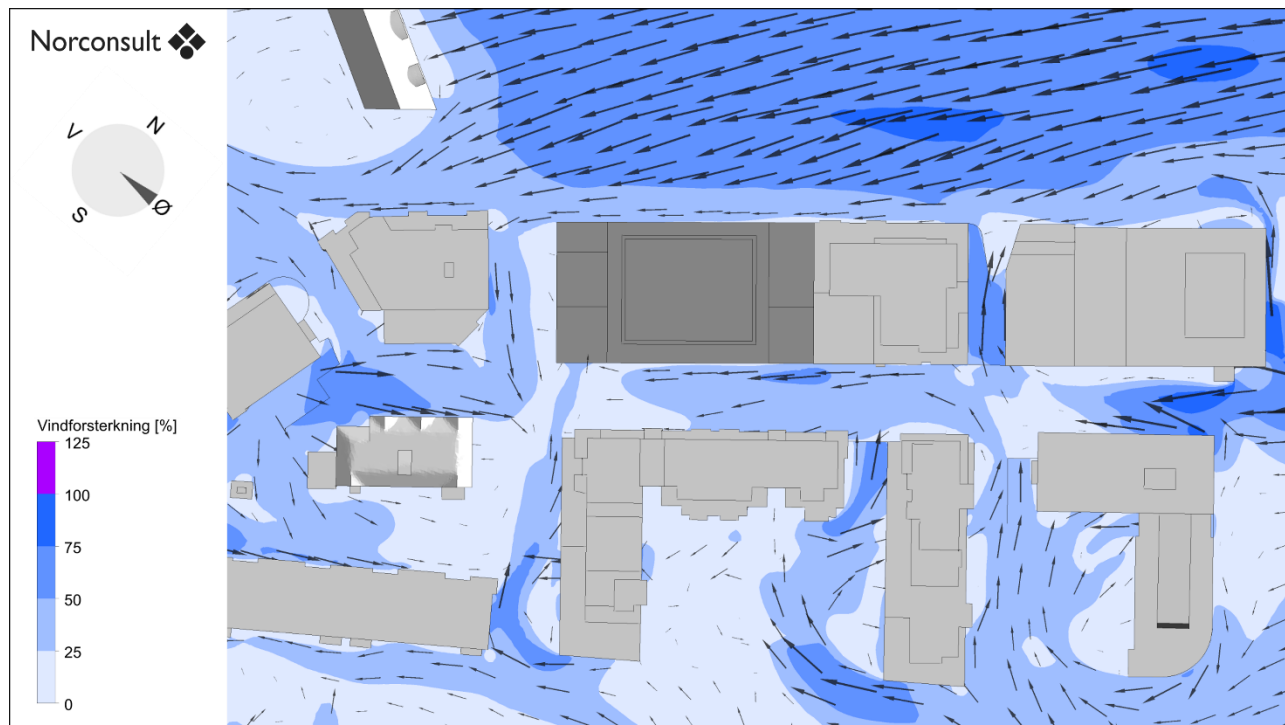
Figur 9-2: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 30°. Alternativ 1.

9.2.3 Vind fra 60°



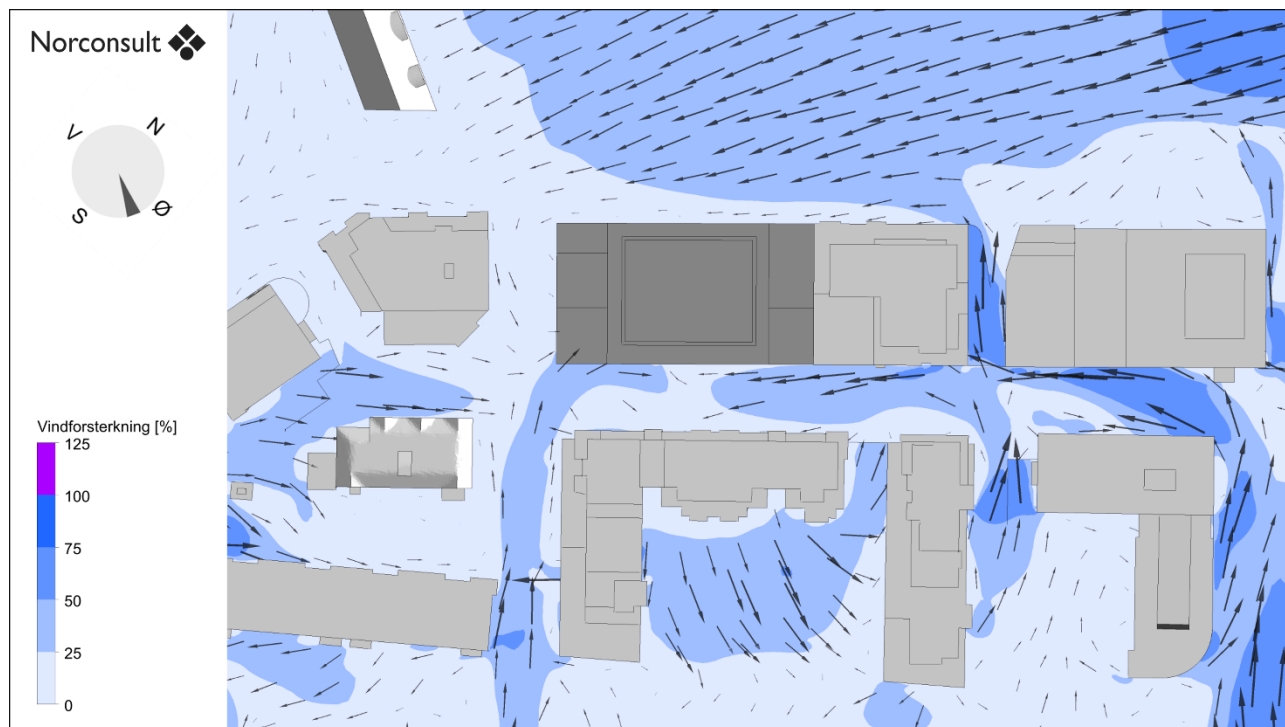
Figur 9-3: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 60°. Alternativ 1.

9.2.4 Vind fra 90°



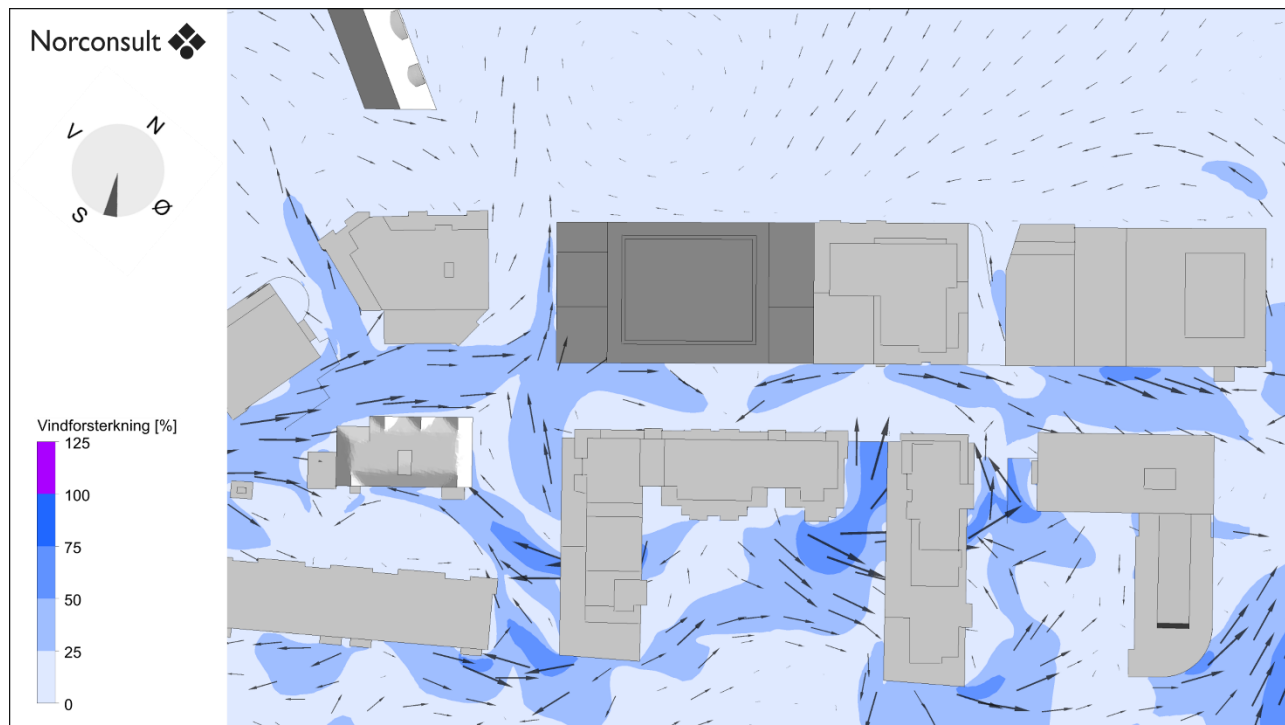
Figur 9-4: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 90°. Alternativ 1.

9.2.5 Vind fra 120°



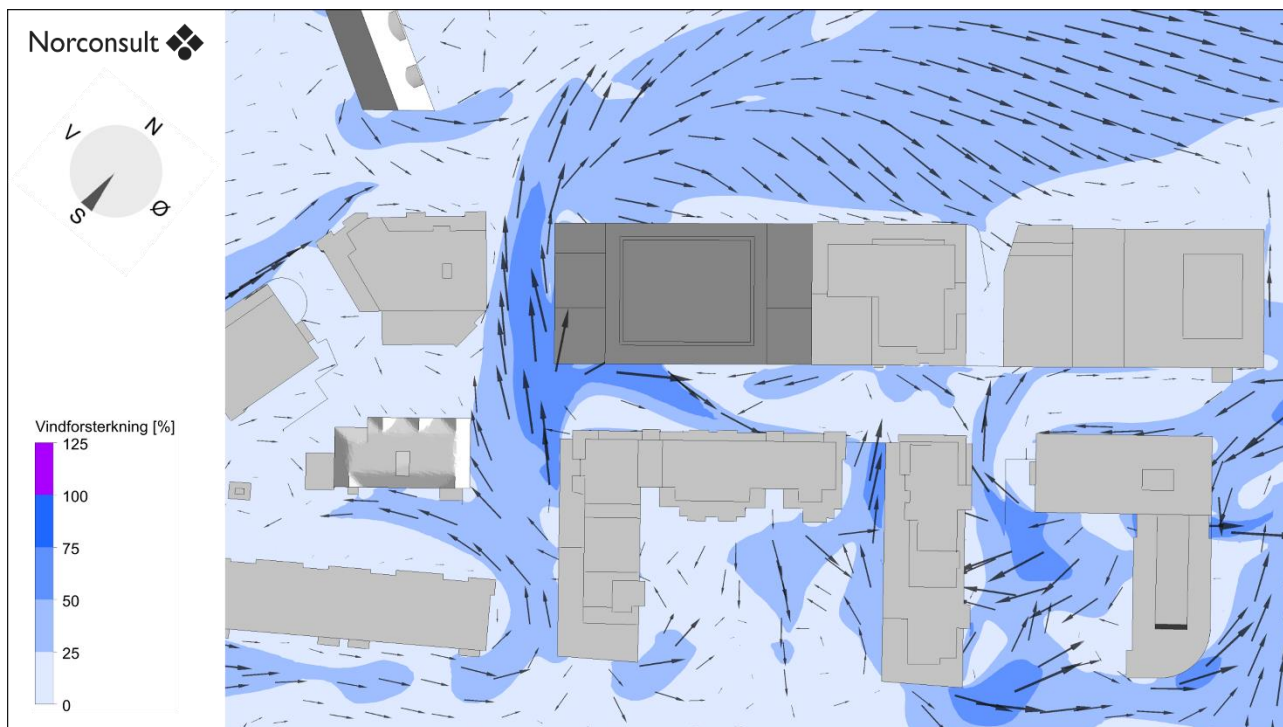
Figur 9-5: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 120°. Alternativ 1.

9.2.6 Vind fra 150°



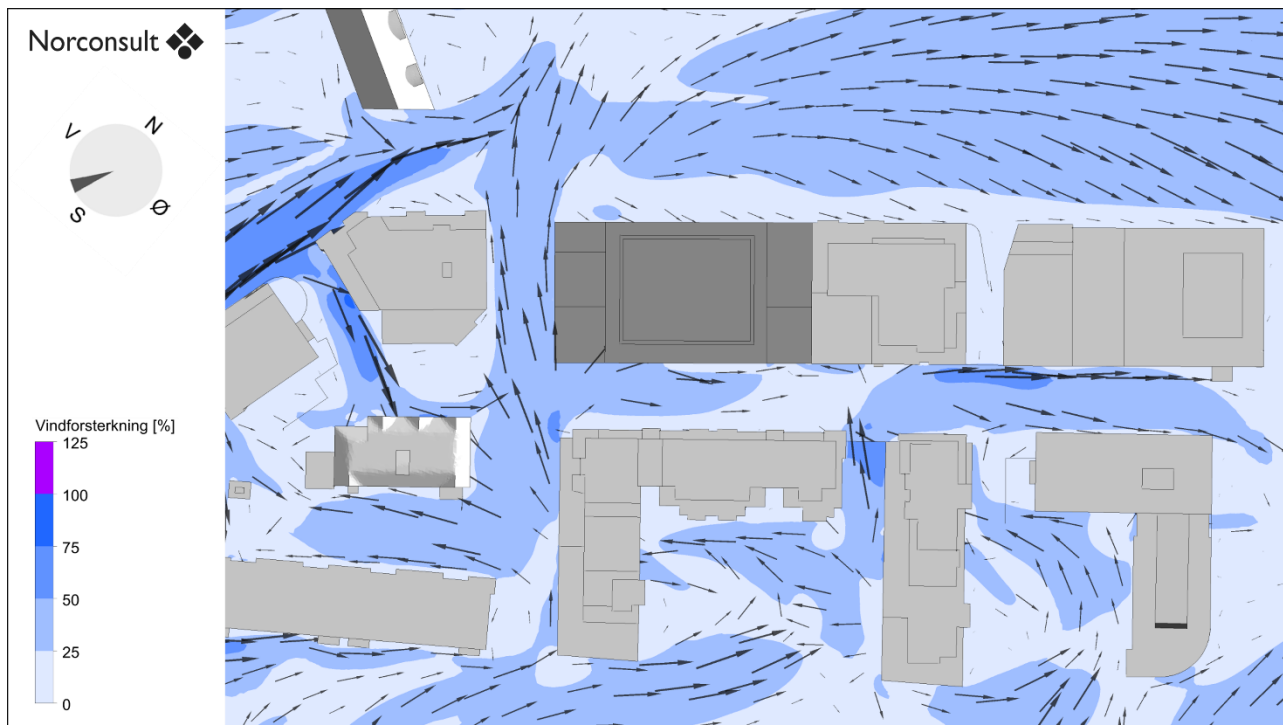
Figur 9-6: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 150°. Alternativ 1.

9.2.7 Vind fra 180°



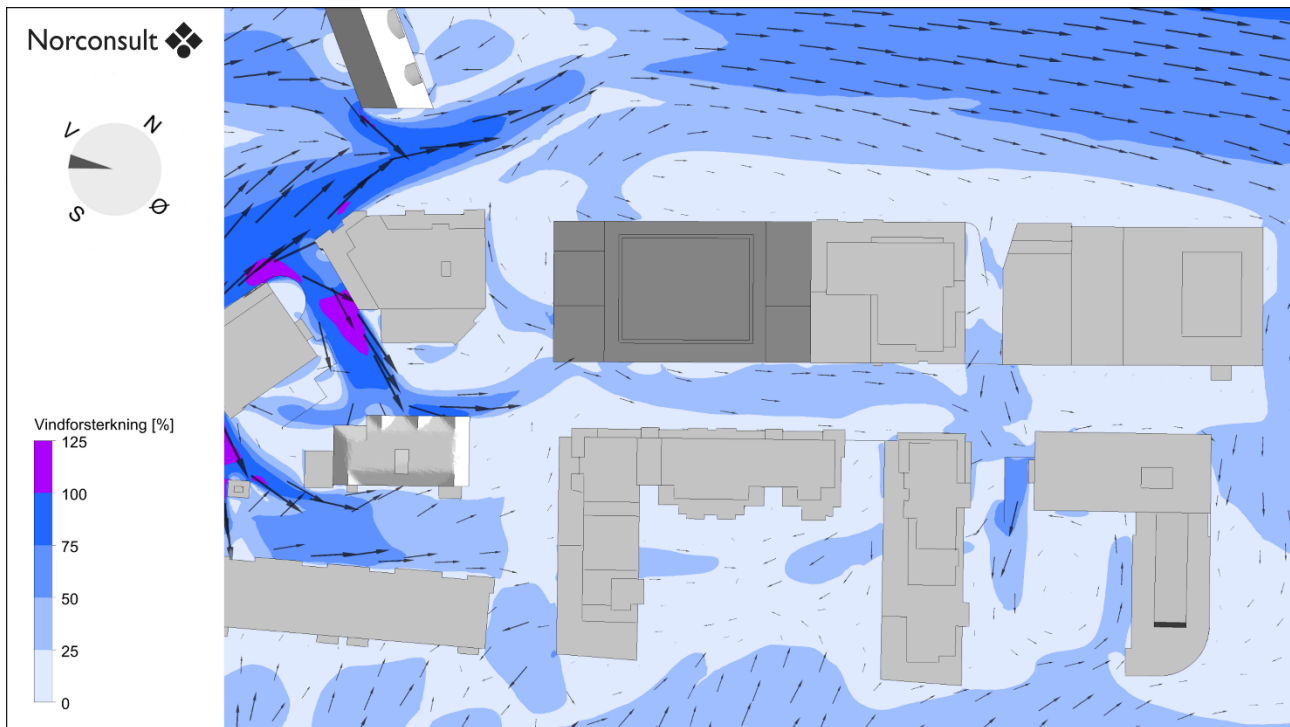
Figur 9-7: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 180°. Alternativ 1.

9.2.8 Vind fra 210°



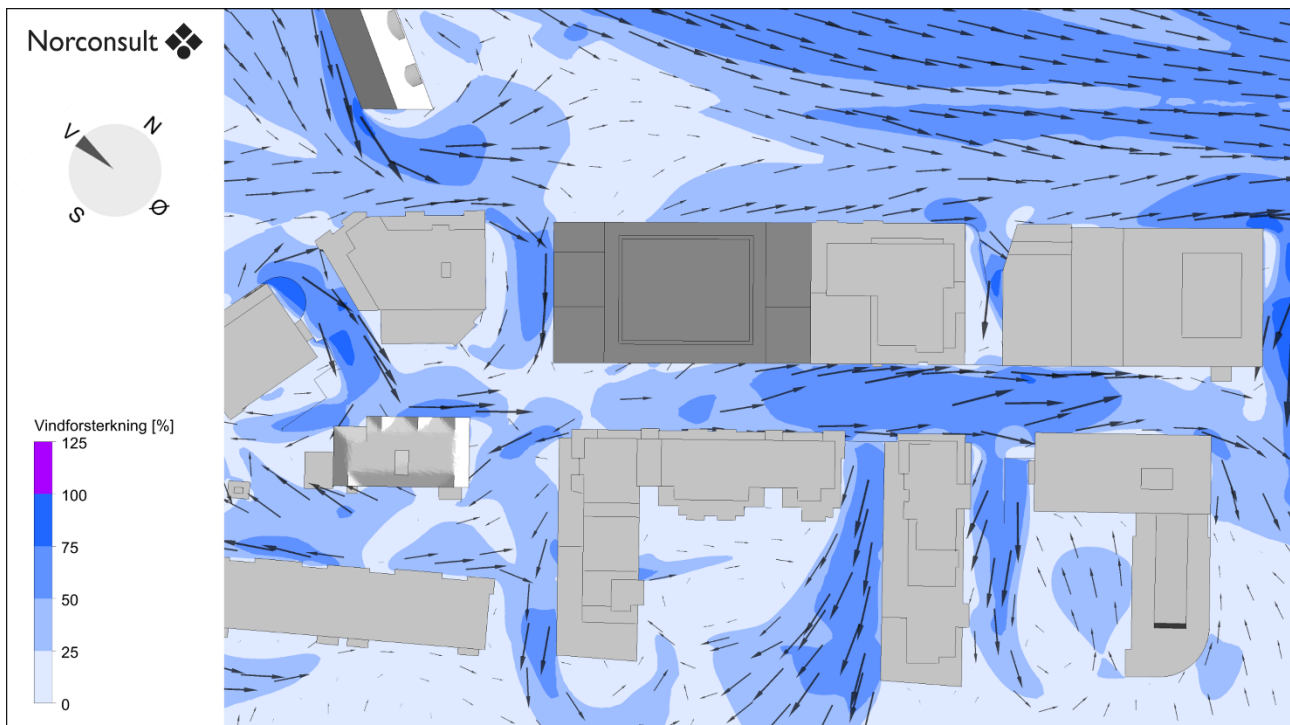
Figur 9-8: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 210°. Alternativ 1.

9.2.9 Vind fra 240°



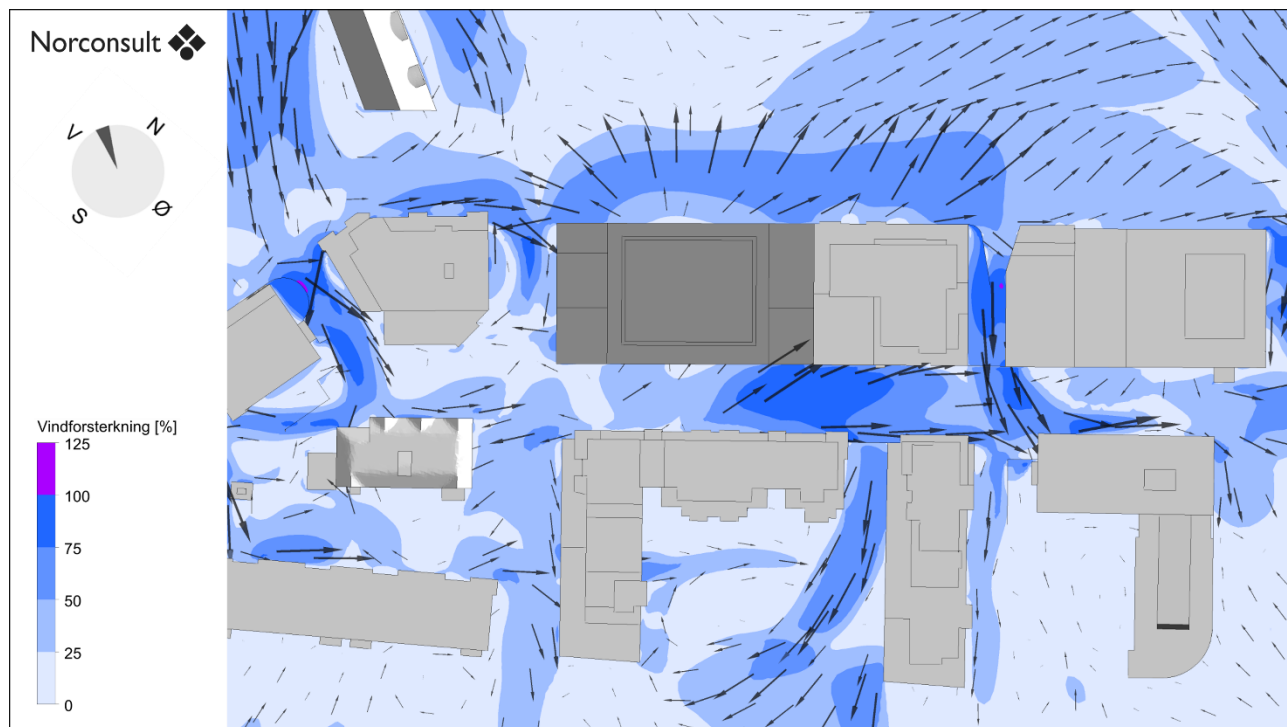
Figur 9-9: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 240°. Alternativ 1.

9.2.10 Vind fra 270°



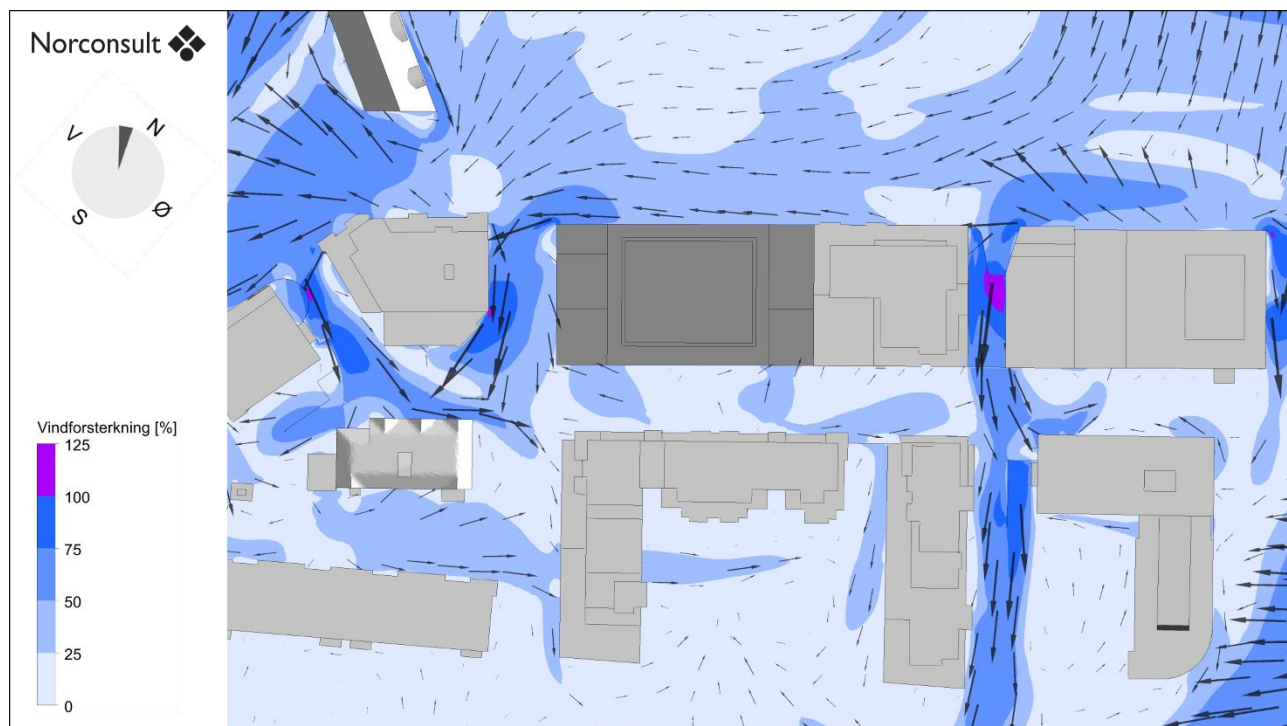
Figur 9-10: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 270°. Alternativ 1.

9.2.11 Vind fra 300°



Figur 9-11: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 300°. Alternativ 1.

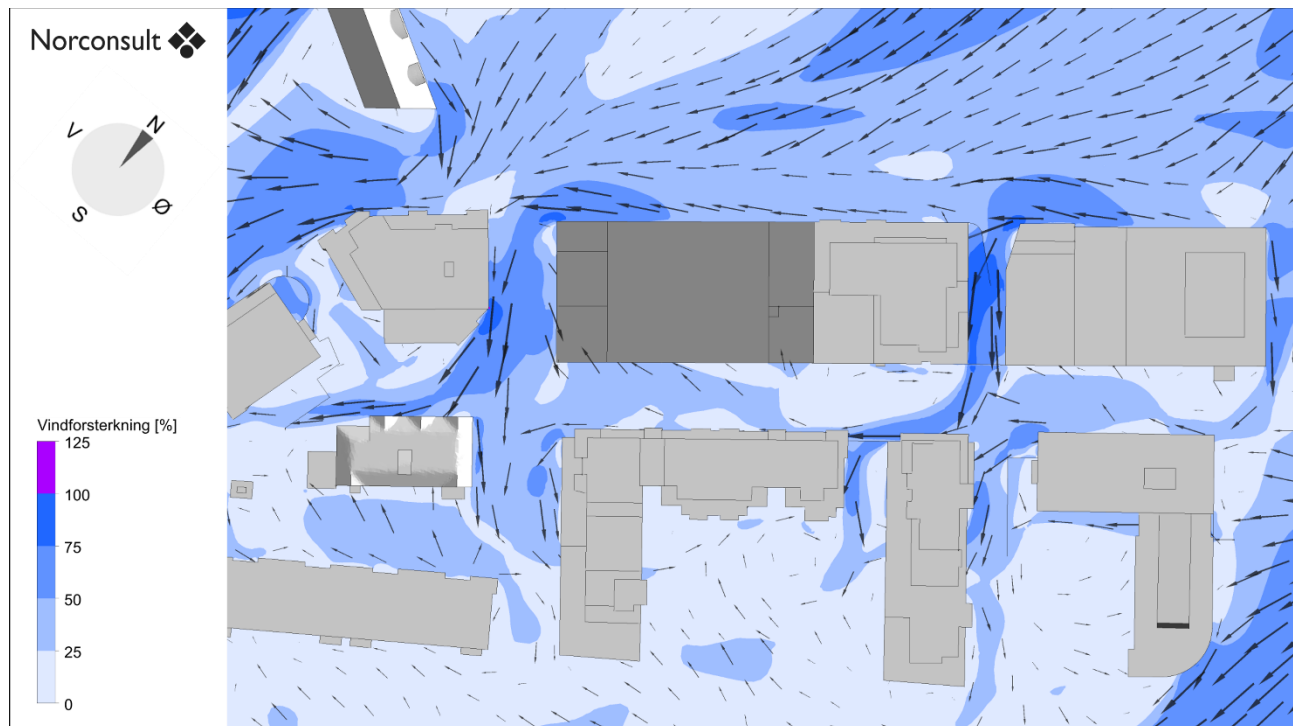
9.2.12 Vind fra 330°



Figur 9-12: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 330°. Alternativ 1.

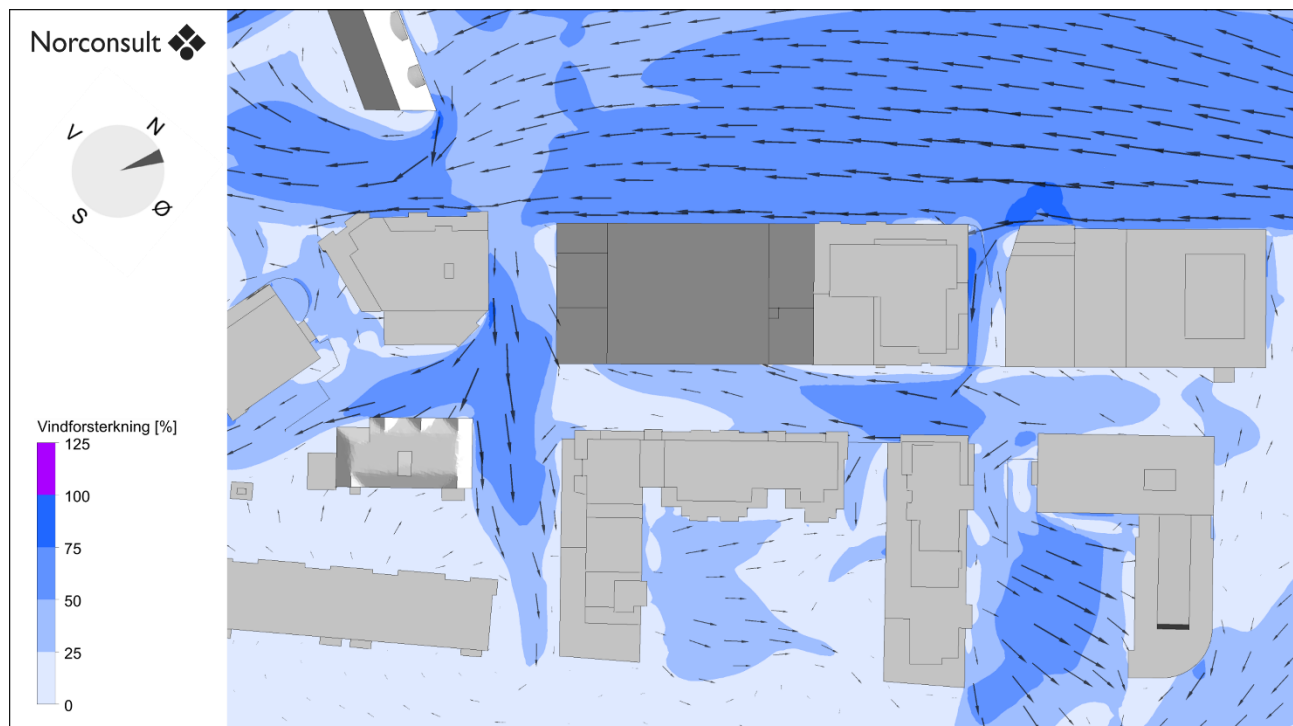
9.3 Vindforsterkning for alternativ 2

9.3.1 Vind fra 0°



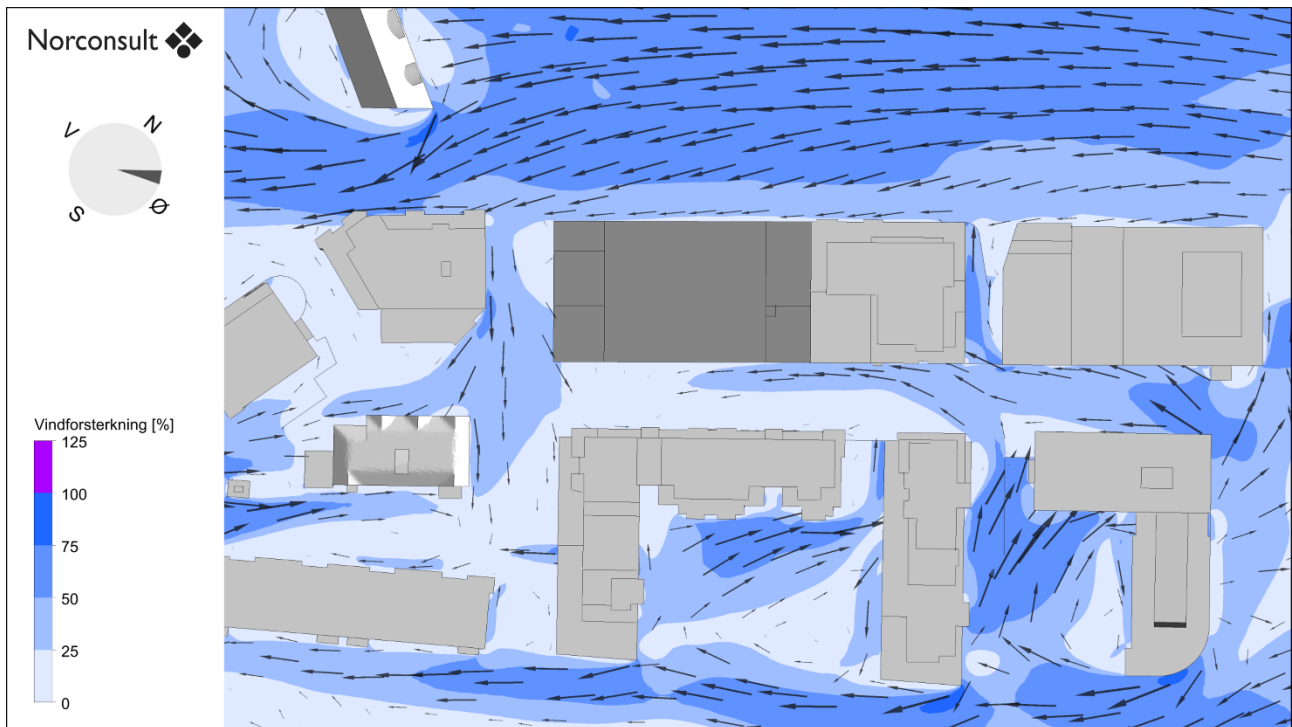
Figur 9-13: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 0°. Alternativ 2.

9.3.2 Vind fra 30°



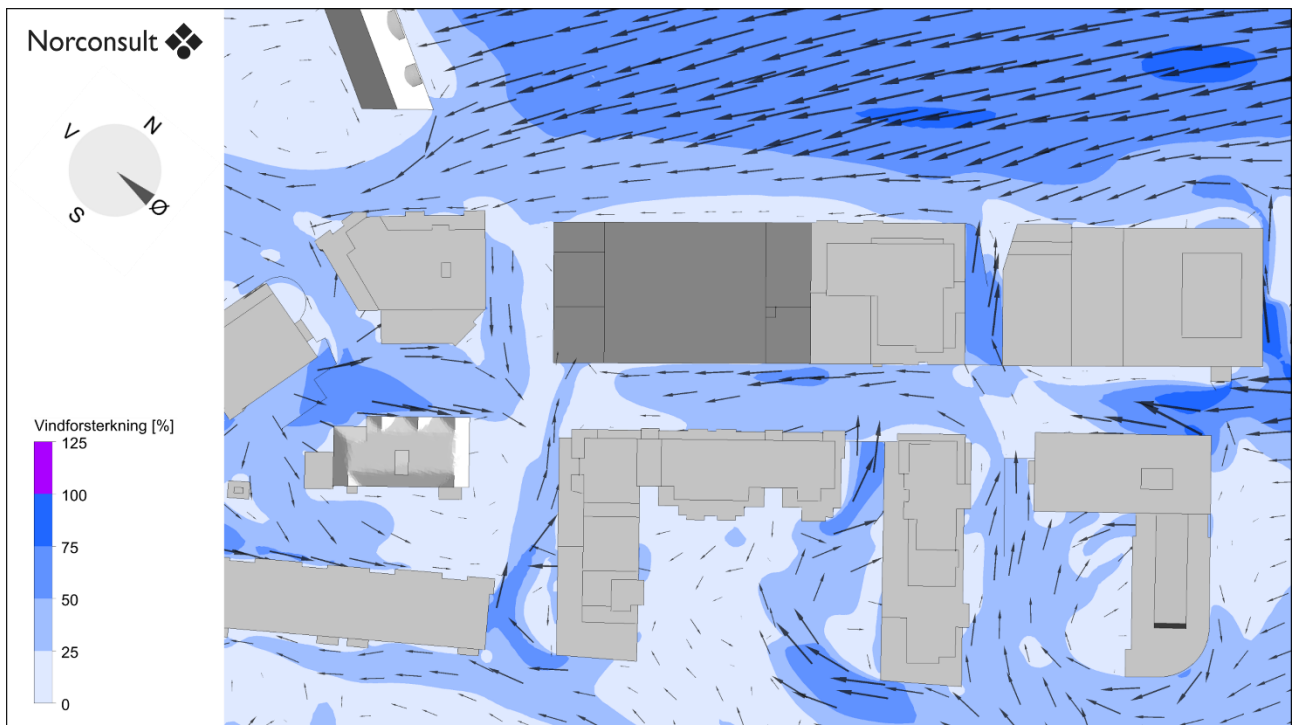
Figur 9-14: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 30°. Alternativ 2.

9.3.3 Vind fra 60°



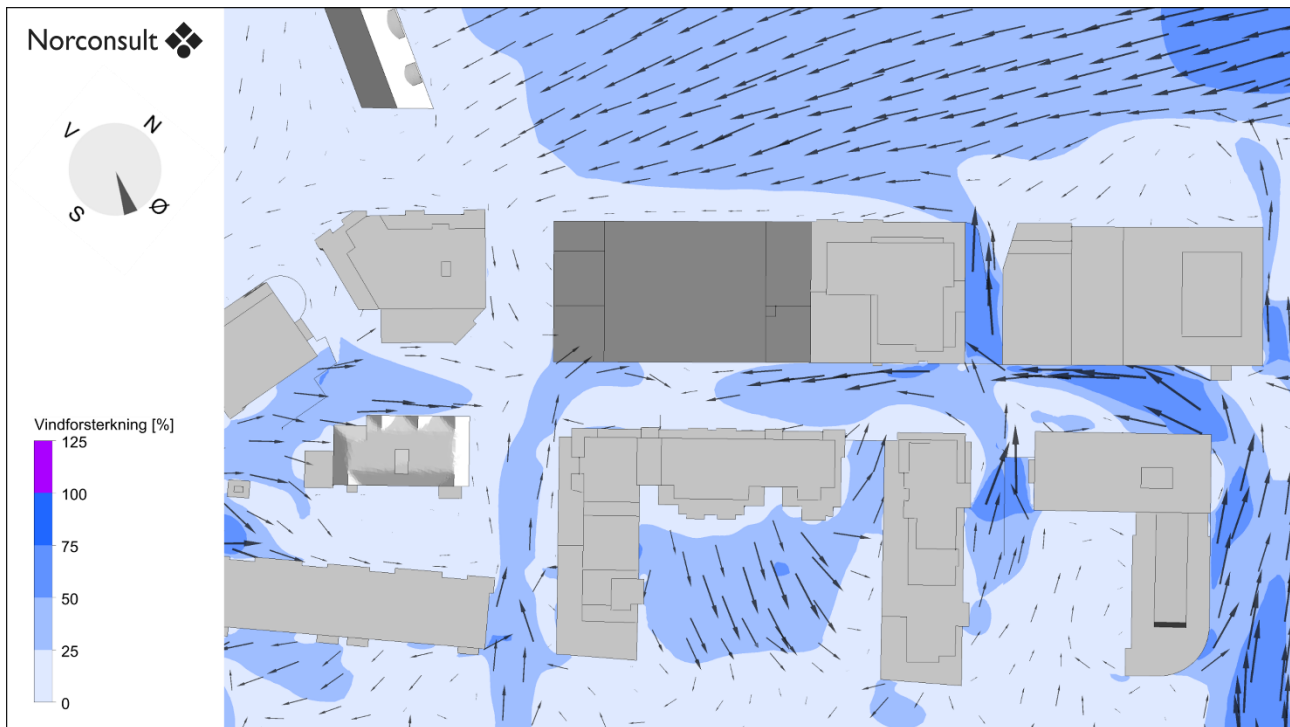
Figur 9-15: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 60°. Alternativ 2.

9.3.4 Vind fra 90°



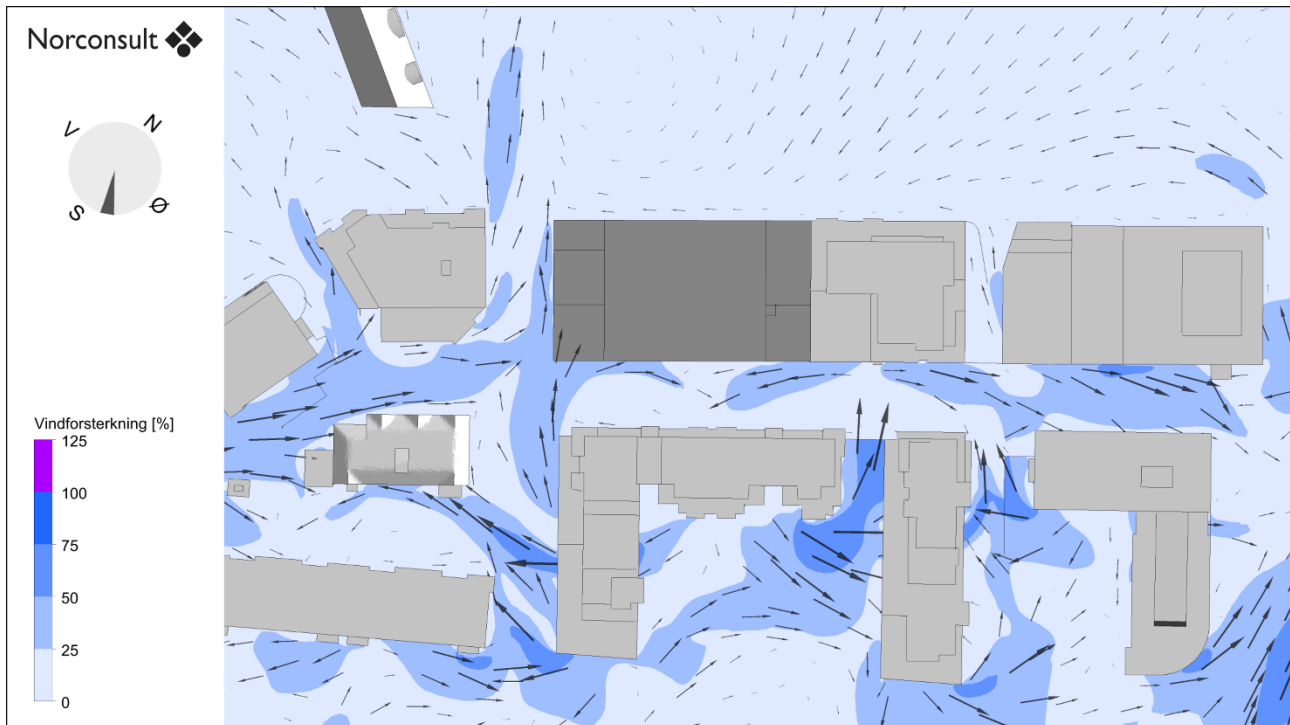
Figur 9-16: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 90°. Alternativ 2.

9.3.5 Vind fra 120°



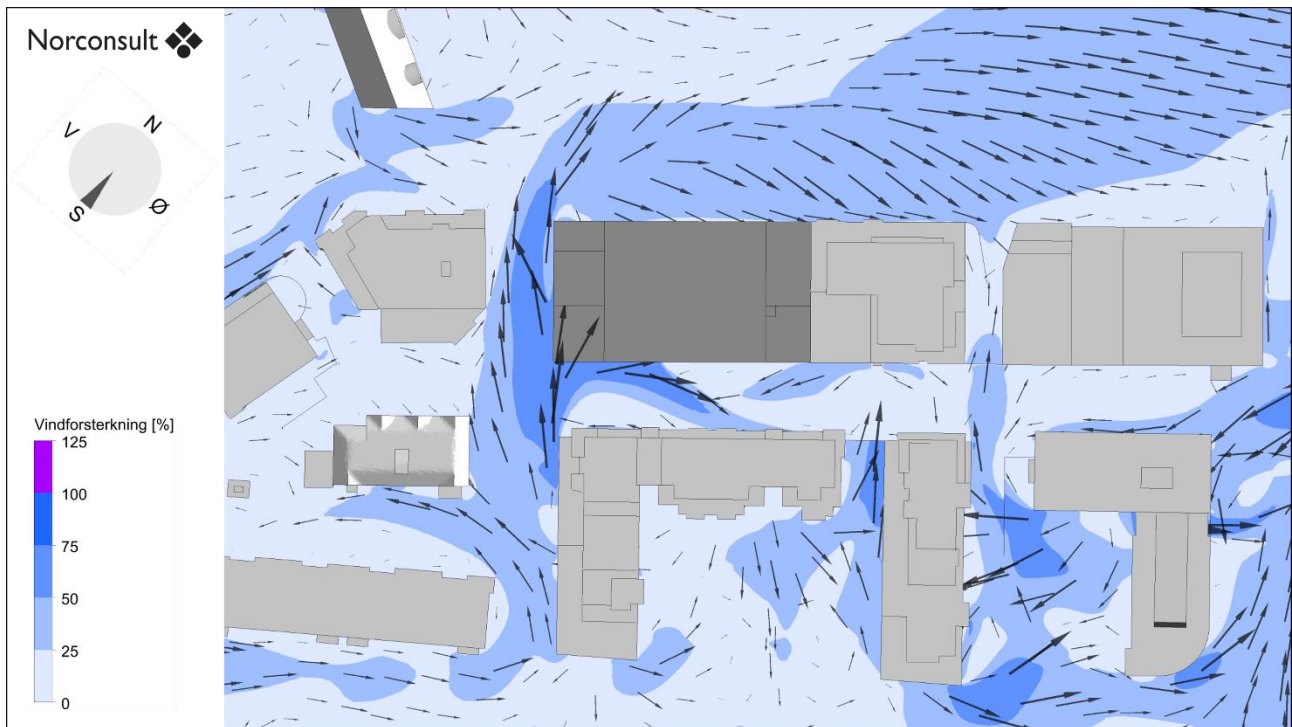
Figur 9-17: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 120°. Alternativ 2.

9.3.6 Vind fra 150°



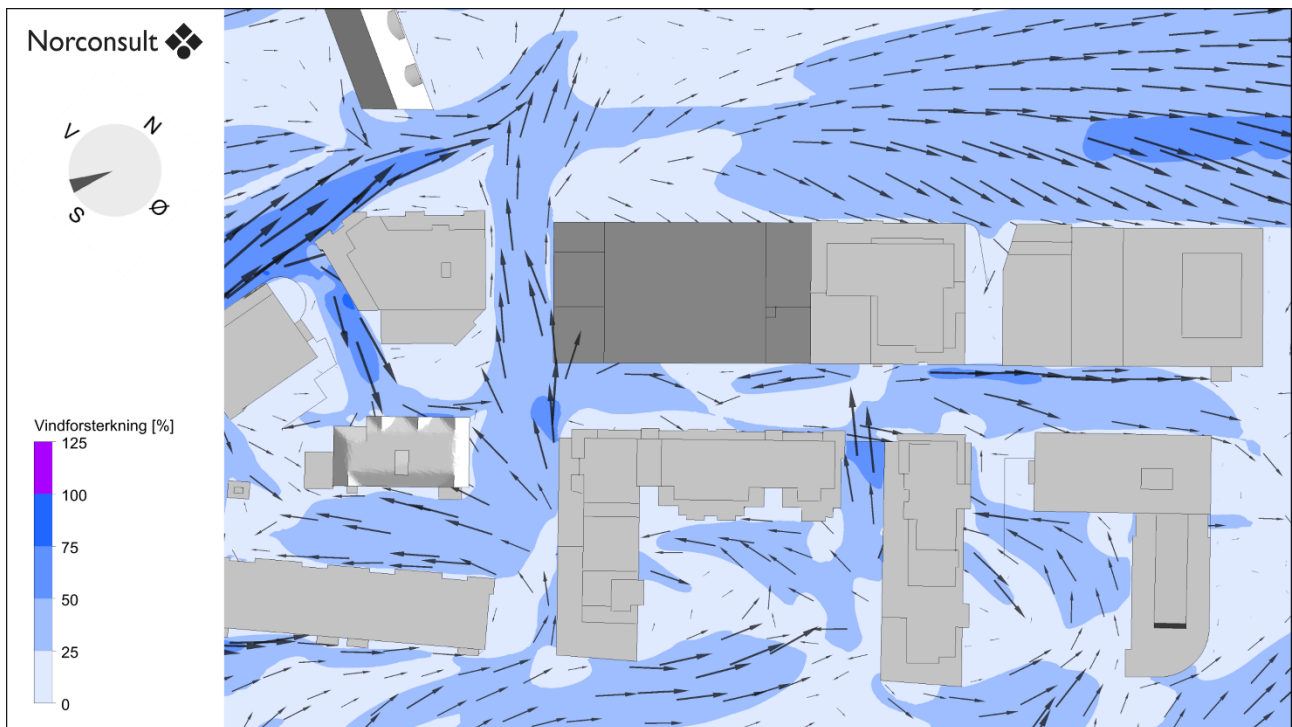
Figur 9-18: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 150°. Alternativ 2.

9.3.7 Vind fra 180°



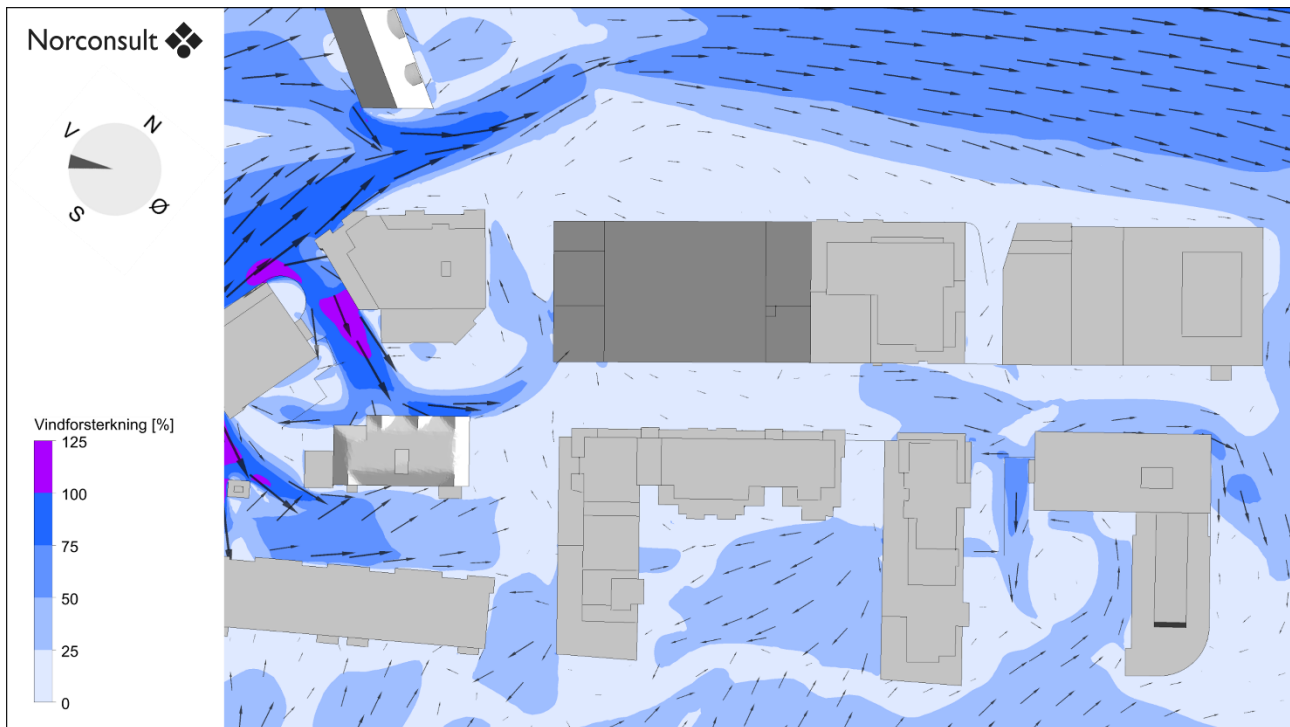
Figur 9-19: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 180°. Alternativ 2.

9.3.8 Vind fra 210°



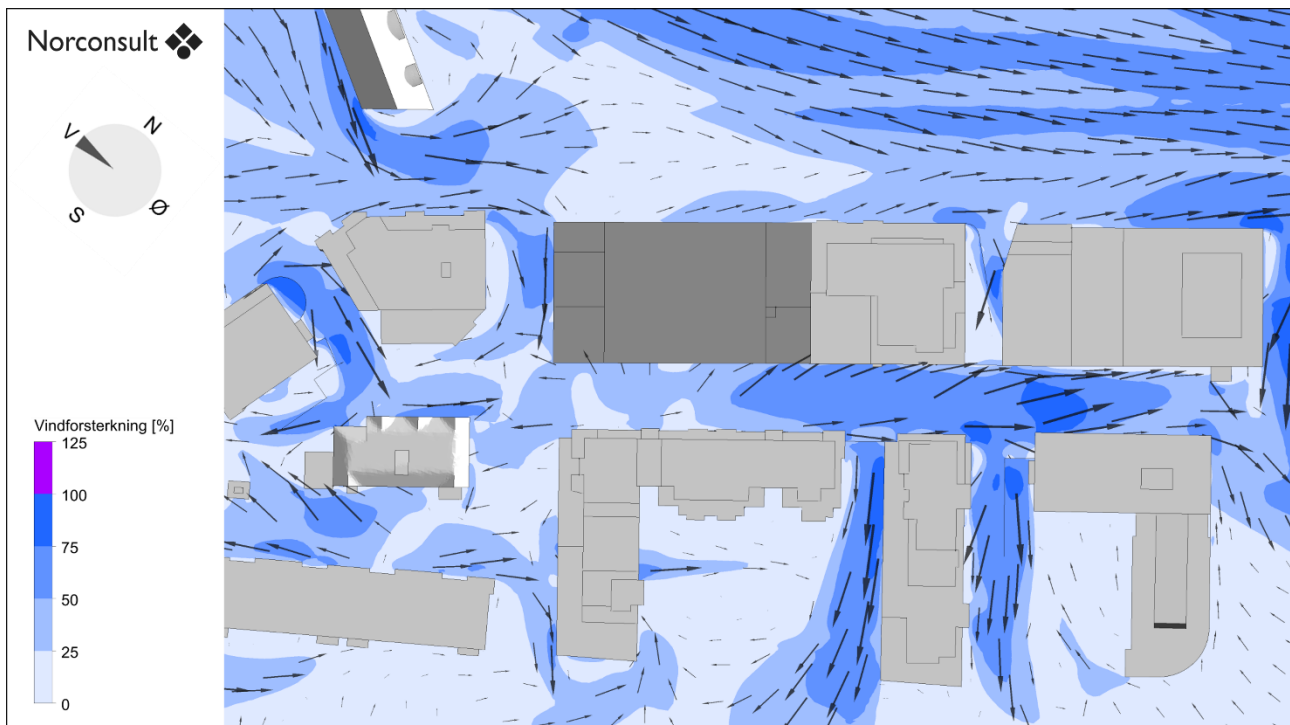
Figur 9-20: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 210°. Alternativ 2.

9.3.9 Vind fra 240°



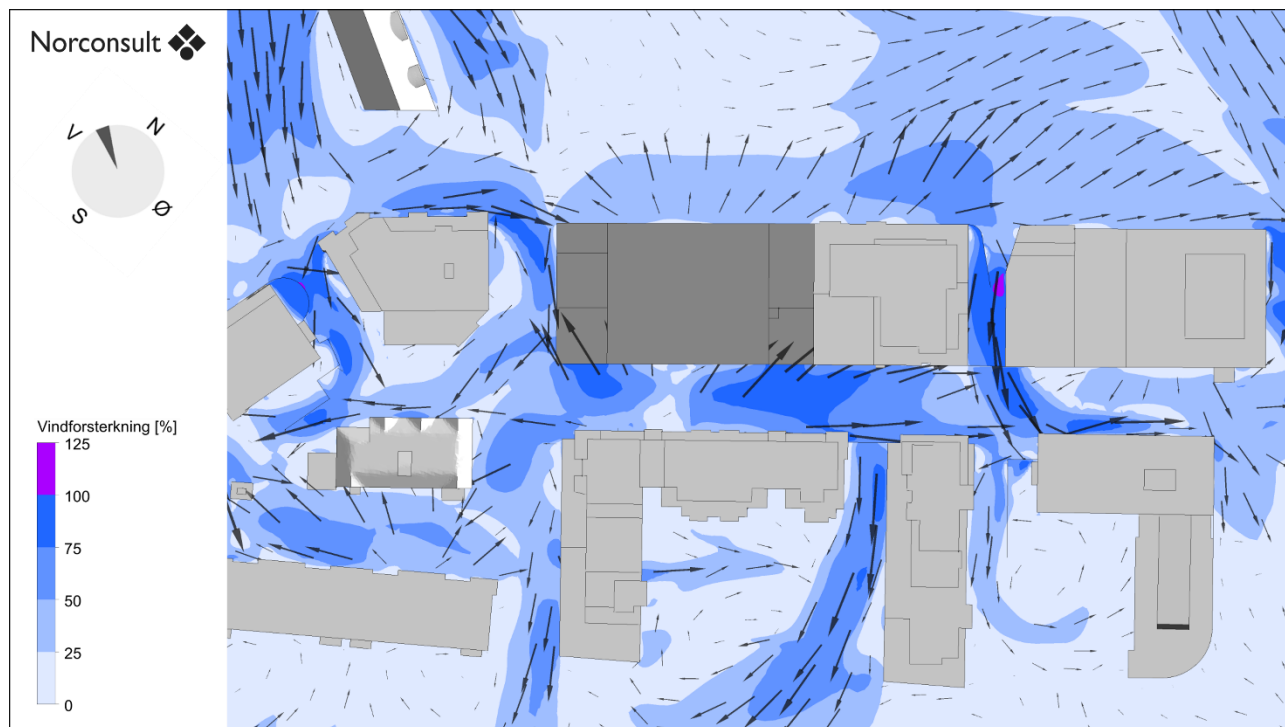
Figur 9-21: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 240°. Alternativ 2.

9.3.10 Vind fra 270°



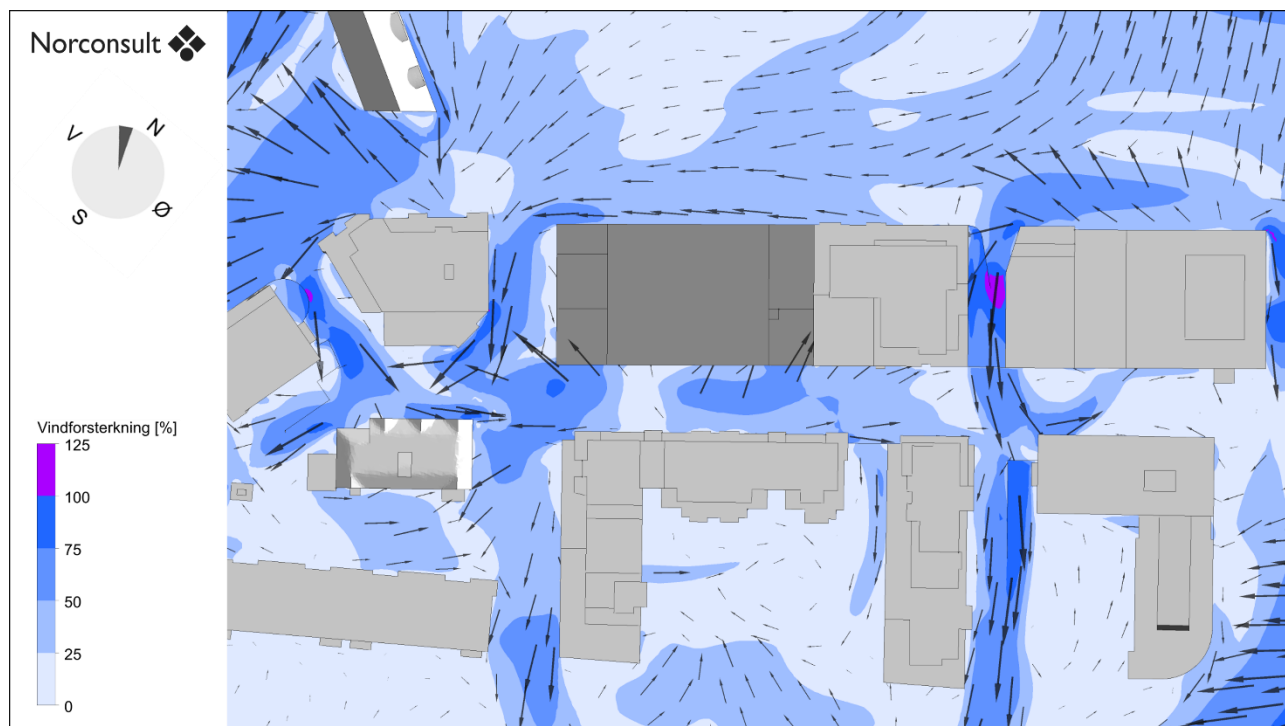
Figur 9-22: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 270°. Alternativ 2.

9.3.11 Vind fra 300°



Figur 9-23: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 300°. Alternativ 2.

9.3.12 Vind fra 330°



Figur 9-24: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 330°. Alternativ 2.