PBL Huset AS

CFD Vindanalyse PBL-huset

Nerbyen, Bodø

Oppdragsnr.: 52403527 Dokumentnr.: CFD01 Revisjon: J01 Dato: 2025-09-10



Norconsult

Norconsult

Oppdragsgiver:	PBL Huset AS
Oppdragsgivers kontaktperson:	Arild Olsen
Rådgiver:	Norconsult Norge AS
Oppdragsleder:	Gøran Antonsen
Fagansvarlig:	Nick Pedersen
Andre nøkkelpersoner:	Fredrik Fang Liland, Ane Suleng

Revisjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent
J01	2025-09-10	For bruk	FreLil	AneSul	GAn

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 i forbindelse med planlagt utvidelse av PBL-huset 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.

Det er gjort simuleringer både av eksisterende bygningsmasse og av planlagt utvidelse av bygningsmassen. Analysen viser at vindforholdene i og rundt planområdet endrer seg i liten grad som følge av utvidelsen av bygget. Vindkomfortkartene viser at det er hovedsakelig komfortklasse C og D på byggets vestside, og hovedsakelig komfortklasse B og C på byggets østside. Dette gjelder både for eksisterende bygningsmasse og for utvidet bygningsmasse.

Påbygget fører til at det indre området i L-formen av bygget vil være noe bedre beskyttet for innkommende vind, og en større del av dette området vil ha klasse B som følge av utvidelsen.

Samtidig vil påbygget føre til at det kanaliseres mer vind gjennom passasjen mellom nord- og sørfløyen av bygget. I denne gjennomgangen vil en liten del av området endre seg fra klasse D med eksisterende bygningsmasse, til klasse E med utvidet bygningsmasse. Den større fasaden vil også føre til at vinden akselereres rundt det østlige hjørnet av bygget i større grad. Området med klasse D ved dette hjørnet vil være noe større i utstrekning som følge av påbygget.

Sikkerhetskartene viser at det er områder med sikkerhetsklasse B ved byggets nordvest- og sørvestside som følge av de høye omkringliggende bygningene. Dette gjelder både for eksisterende bygningsmasse og utvidet bygningsmasse, og utvidelsen fører ikke til noen nevneverdig endring. Påbygget fører imidlertid til at en liten del av passasjen mellom nord- og sørfløyen av bygget vil ha sikkerhetsklasse B, hvor det med eksisterende bygningsmasse er klasse A.

Innhold

1 Introduksjon 4

2 Vindforhold i området 7

2.1 Beliggenhet 7

2.2 Vindstatistikk 7

3 Kort om vind 10

3.1 Strømningsbildet rundt bygninger 10

3.2 Vindkomfort og vindrelatert sikkerhet 11

4 Analyseresultater 12

4.1 Vindkomfort 12

4.2 Vindrelatert sikkerhet 16

5 Avbøtende tiltak 20

6 Konklusjon 21

7 Referanser 21

8 Vedlegg A – Metode 23

8.1 CFD-simuleringer 23

8.2 Beregningsmodell 23

8.3 Modelloppsett og grensebetingelser 25

8.4 Nøyaktighet av CFD-simuleringer 27

9 Vedlegg B – Vindforsterkning 28

9.1 Vindforsterkning 28

1 Introduksjon

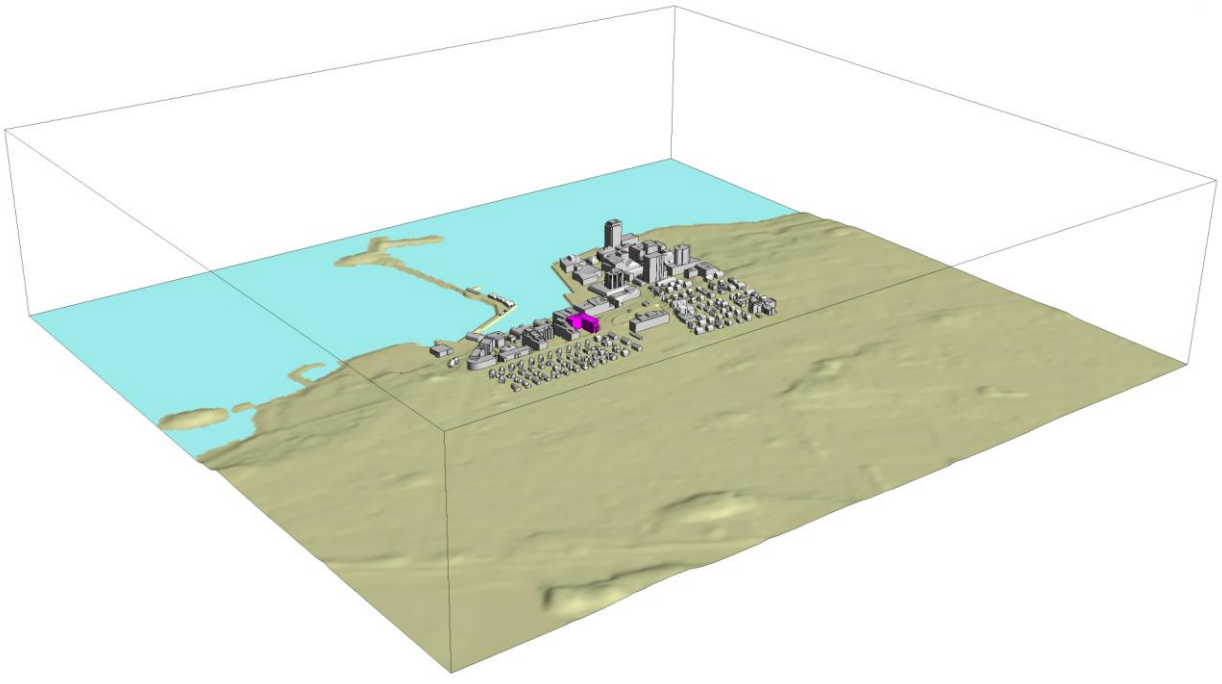
Det er utført en kvantitativ vindanalyse for å kartlegge vindkomfort og vindrelatert sikkerhet etter planlagt utvidelse av PBL-huset, som befinner seg i Nerbyen sentralt i Bodø. Analysen er gjennomført ved 3D vindsimuleringer med bruk av CFD (Computational Fluid Dynamics).

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 strømningen, og gater eller åpne passasjer gjennom bygg kan virke som «vindtunneler». Disse faktorene kan påvirke komforten, og i enkelte tilfeller sikkerheten, i området.

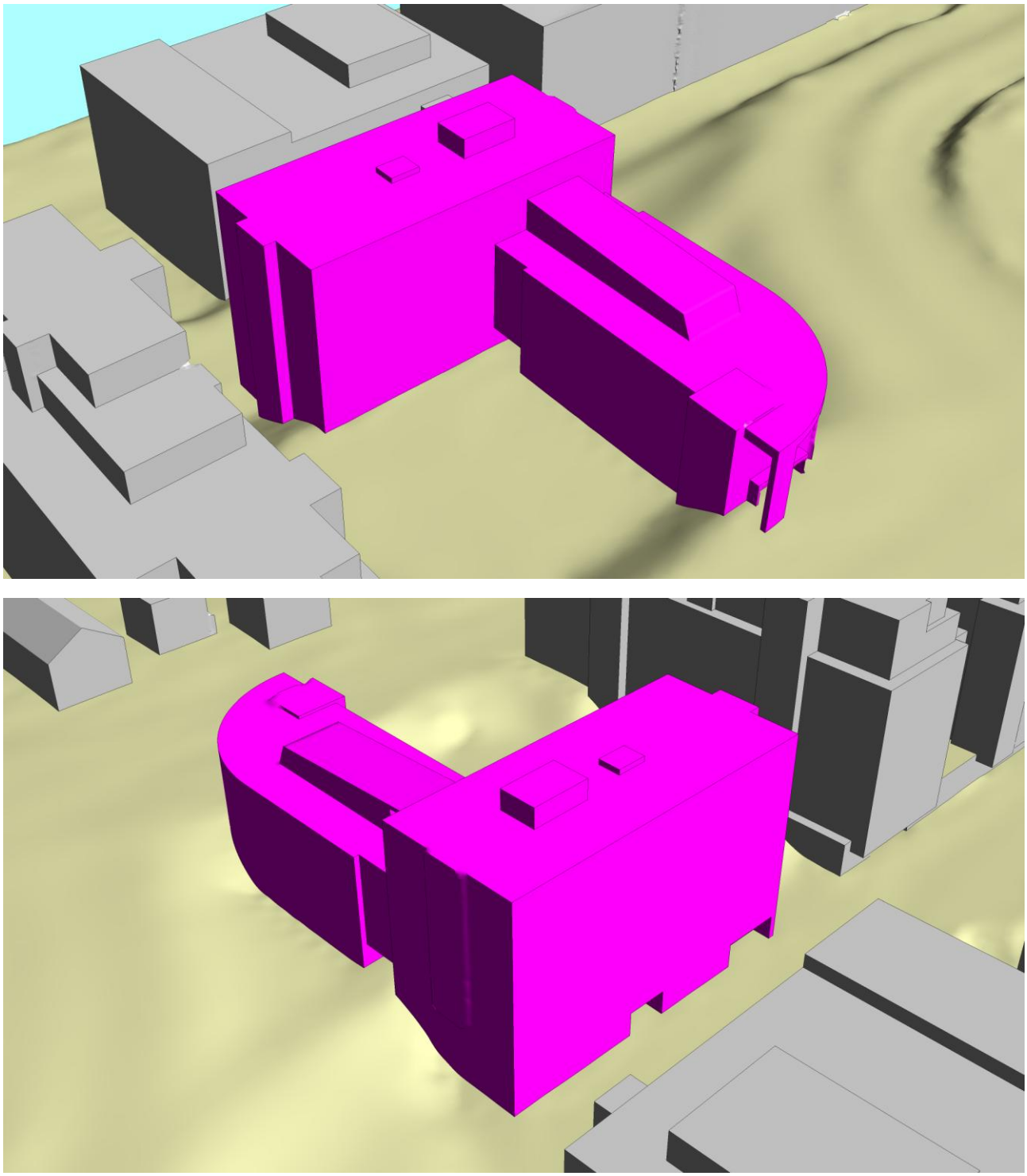
Overordnet sett avhenger vindforhold rundt bygg av byggenes utforming, deres plassering i forhold til hverandre, terrenget og vindstatistikken i området, faktorer som alle tas med i CFD-analysen.

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.

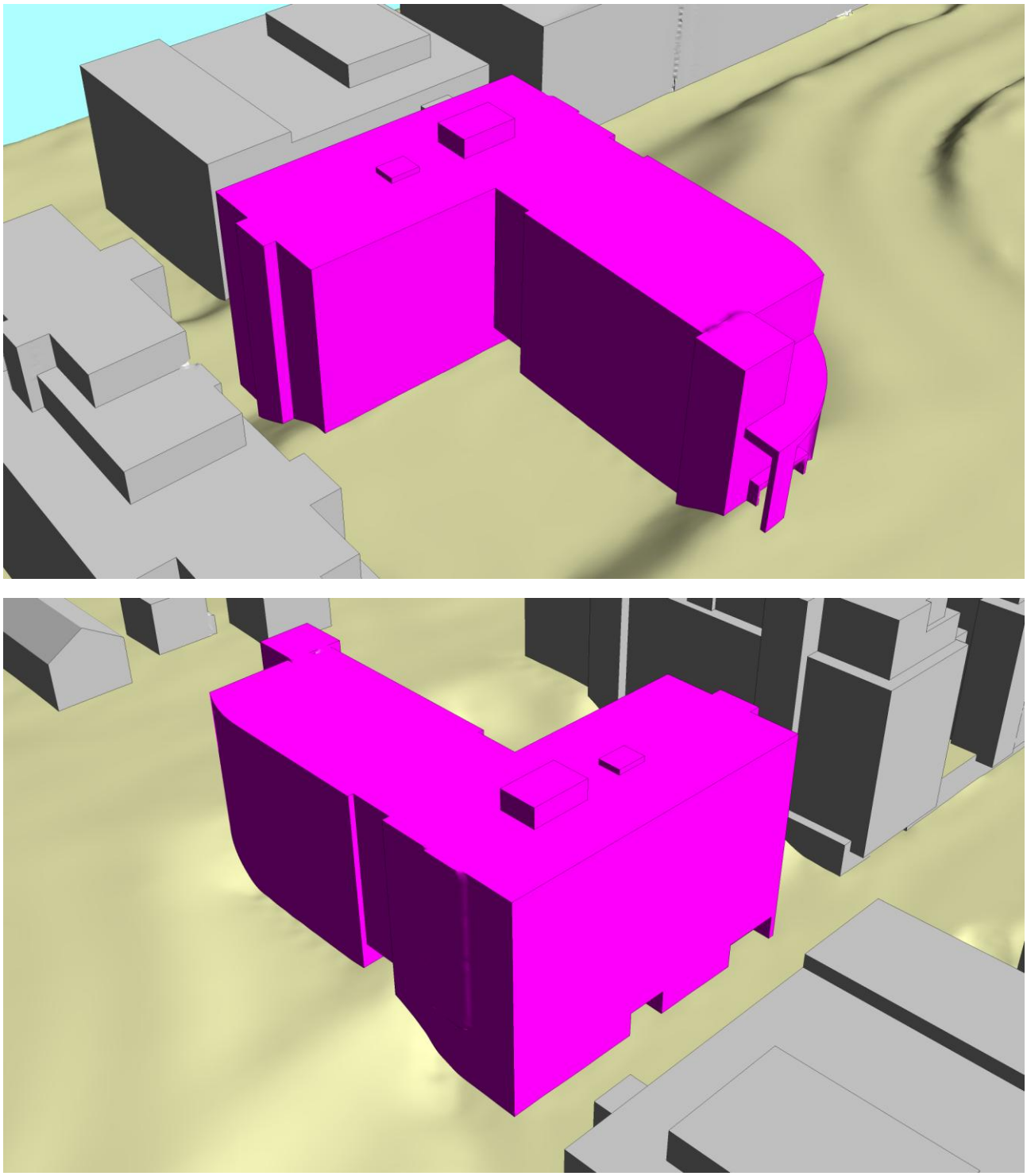
I denne analysen er vindkomfort og vindrelatert sikkerhet kartlagt på bakkeplan i og rundt planområdet. Det er gjort simuleringer med eksisterende bygningsmasse, og med den planlagte utvidelsen. Utvidelsen består av påbygg i to etasjer på sør-fløyen av bygget. Oversikt over simuleringsmodellen er vist i figur 1-1 til figur 1-3. Figur 1-1 viser hele det simulerte området, modell av eksisterende bygningsmasse er vist i figur 1-2 og modell av planlagt utvidelse 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. PBL-huset er vist med rosa farge.



Figur 1-2: Oversikt over simuleringsmodell for eksisterende bygningsmasse, sett fra sør (øverst) og fra nord (nederst).



Figur 1-3: Oversikt over simuleringsmodell for planlagt utvidelse av bygningsmassen, sett fra sør (øverst) og fra nord (nederst).

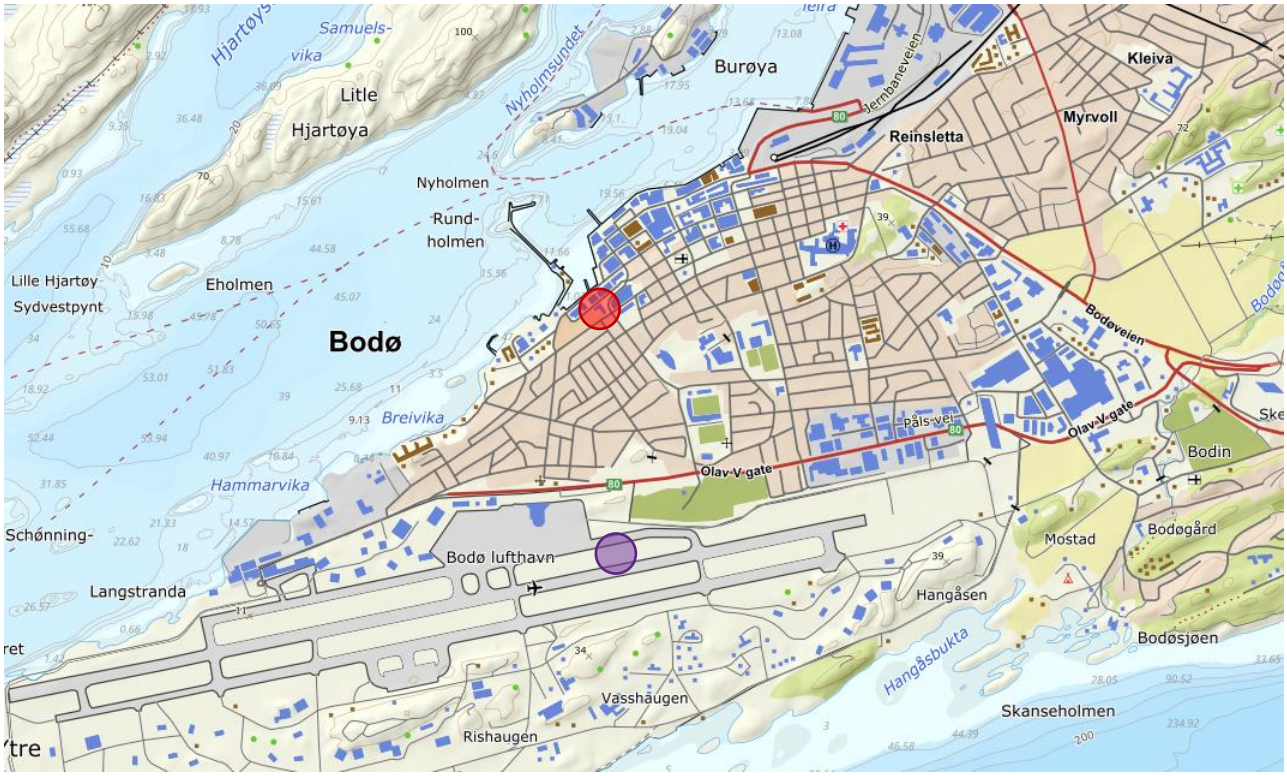
2 Vindforhold i området

2.1 Beliggenhet

Planområdet ligger sentralt i 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.

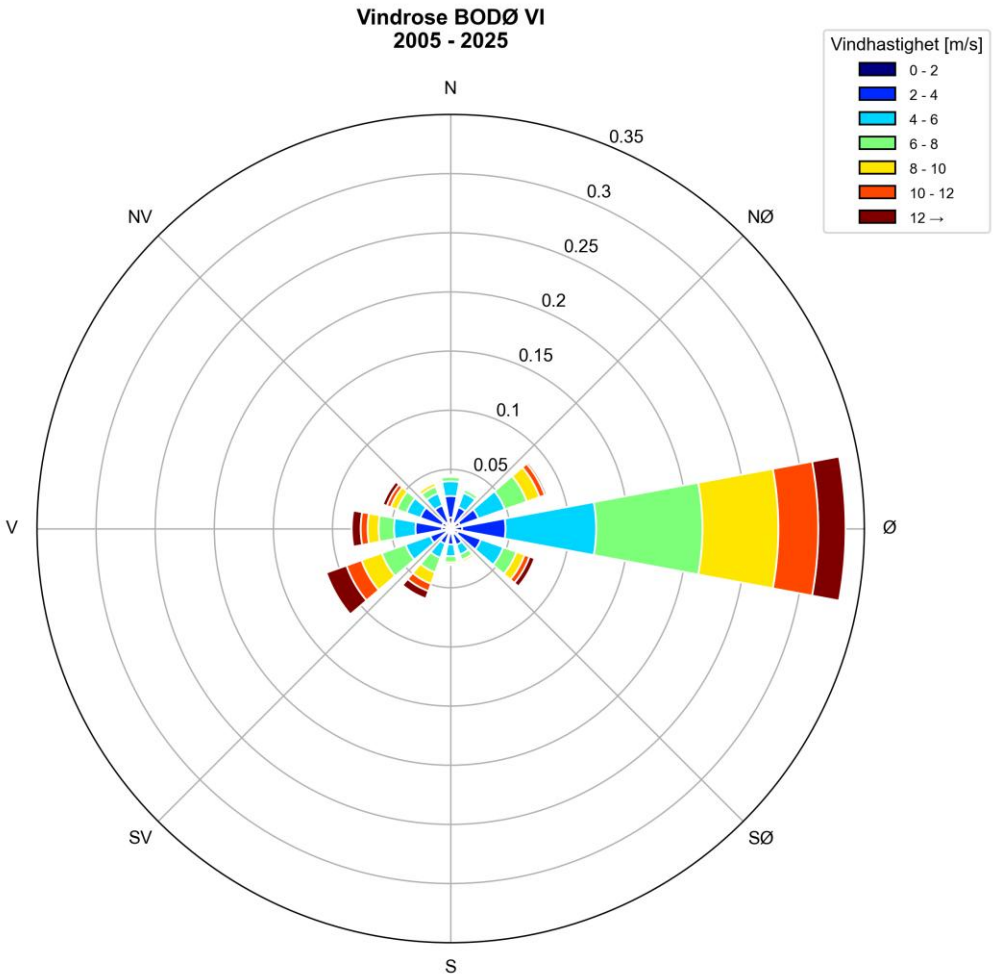


Figur 2-1: Planområdet vist med rød sirkel, og meteorologiske målestasjon (Bodø VI) vist med lilla sirkel (© Kartverket).

2.2 Vindstatistikk

Vindrosen for målestasjon Bodø VI er vist i figur 2-2. Figuren viser statistisk fordeling av vindretninger som prosentvise 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 - 2025.

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.



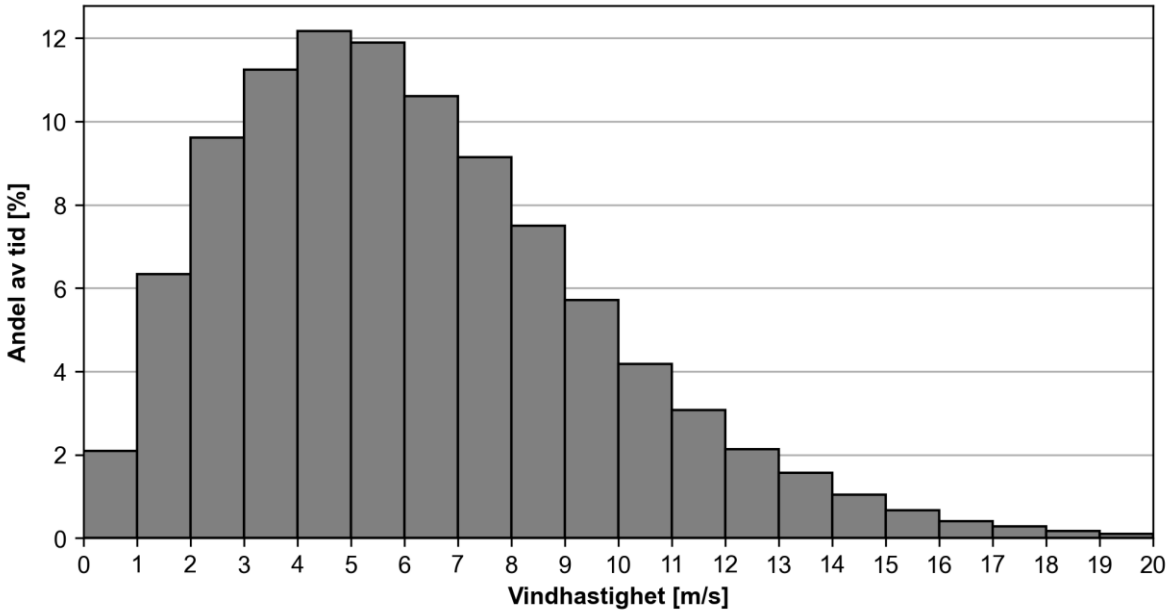
Figur 2-2: Vindrose over året, basert på data fra 10 m over bakken.

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 ca. 41 % av tiden, og vind med hastighet over 10 m/s forekommer ca. 14 % 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

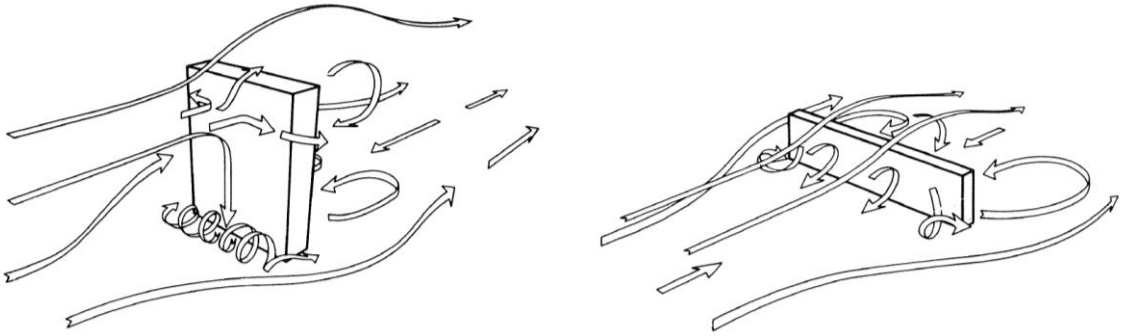
Tabell 2-2: Andel av året ulike vindhastigheter forekommer, inndelt.

Sted	Hastighet (m/s)	Andel av tid (%)
Bodø	0 - 5	41,4 %
	5 - 10	44,9 %
	10 - 15	12,0 %
	15 - 20	1,60 %
	> 20	0,12 %

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 dominant fasade. Vindfeltet rundt et forholdsvis lavt og et forholdsvis høyt bygg vises i figur 3-1 [1].



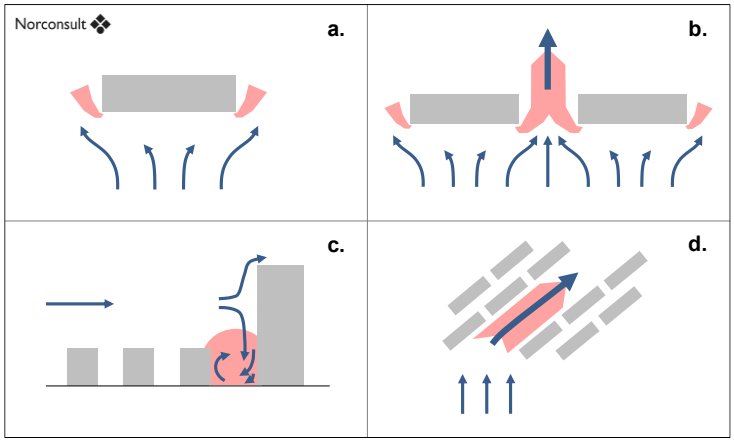
Figur 3-1: Typisk vindfelt rundt et forholdsvis høy og et forholdsvis lavt bygg [1].

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 baken. 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 heller 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:



Forklaring	
a.	Høye vindhastigheter kan oppstå på bakkeplan ved byggets hjørner.
b.	Når to eller flere bygg plasseres sammen kan akselerasjonseffekten forsterkes.
c.	Et høyt bygg som står blant lavere bygg kan dra ned vind fra høyden og skape dårlige vindforhold på bakken.
d.	Vind presses sammen mellom bygg som står samlet og kanaliseres langs bredere, åpne partier.

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

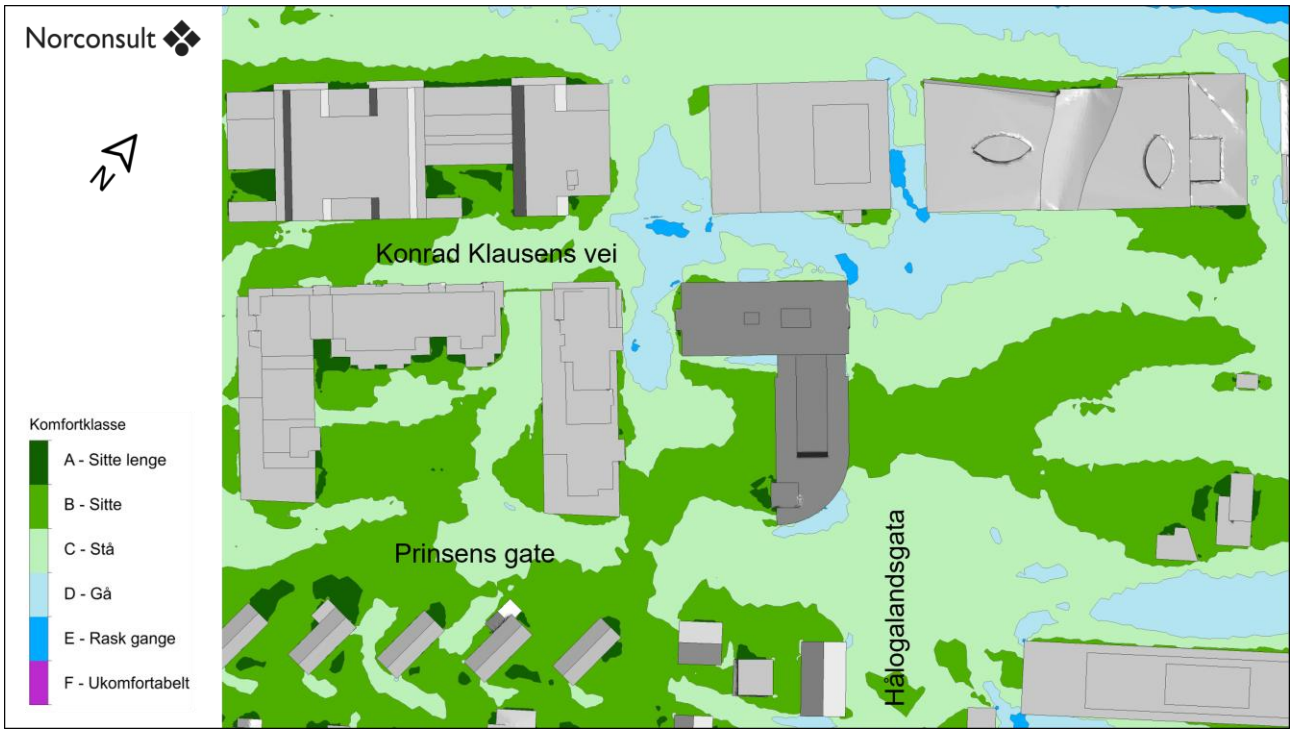
Timemidlet vindhastighet i kroppshøyde 99.978 % av året	Sikkerhets-klasse	Områdebeskrivelse
< 15 m/s	**A**	God sikkerhet for generell befolkning.
15 – 20 m/s	**B**	Redusert sikkerhet for spesielt utsatte, som syklister eller eldre mennesker.
> 20 m/s	**C**	Redusert sikkerhet for generell befolkning.

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.

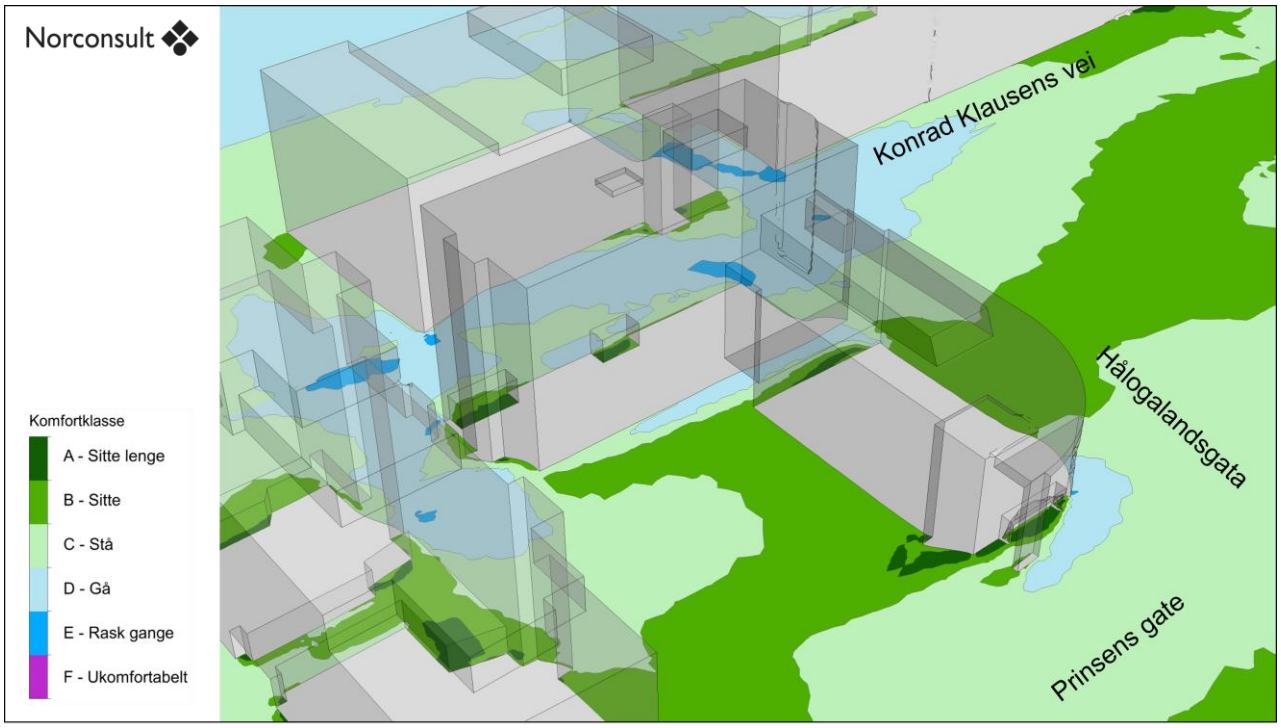
«Stiv kuling» på Beaufort skalaen er vindhastigheter på mellom 13,9 – 17,1 m/s, og iht. Meteorologisk institutt er kjennetegnet på en slik vindstyrke at «hele trær rører på seg; det er tungt å gå mot vinden». På dager med så sterk middelvind er det som regel også sterke vindkast, noe som ofte betyr at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

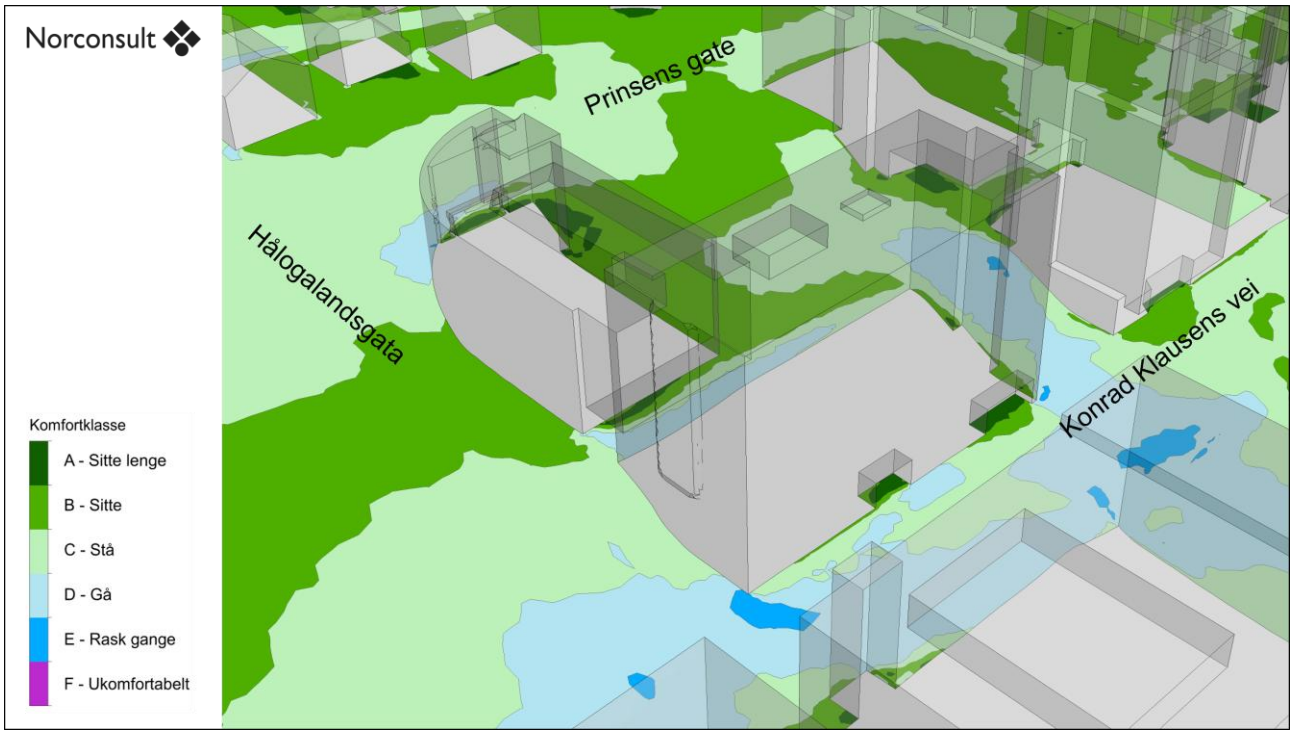
4.1 Vindkomfort – Eksisterende bygningsmasse



Figur 4-1: Vindkomfort i kroppshøyde med eksisterende bygningsmasse, sett ovenfra.

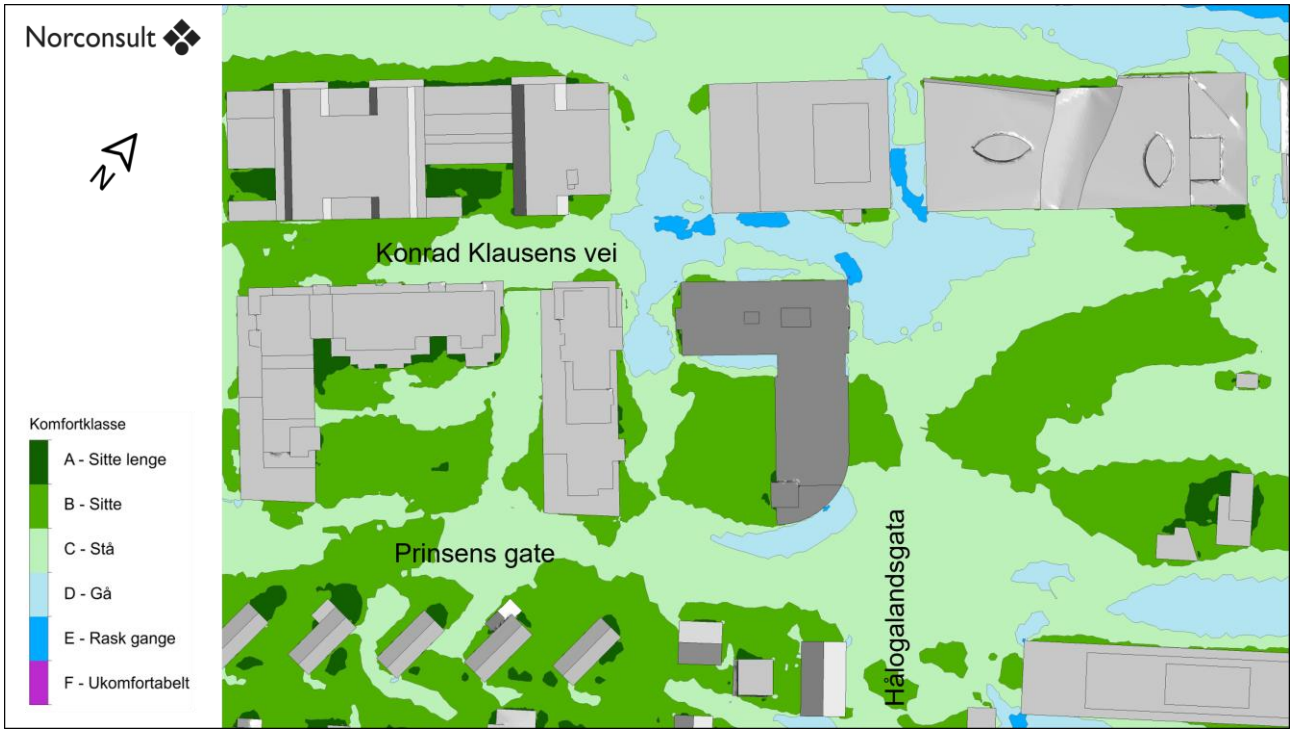


Figur 4-2: Vindkomfort i kroppshøyde med eksisterende bygningsmasse, sett fra sør.

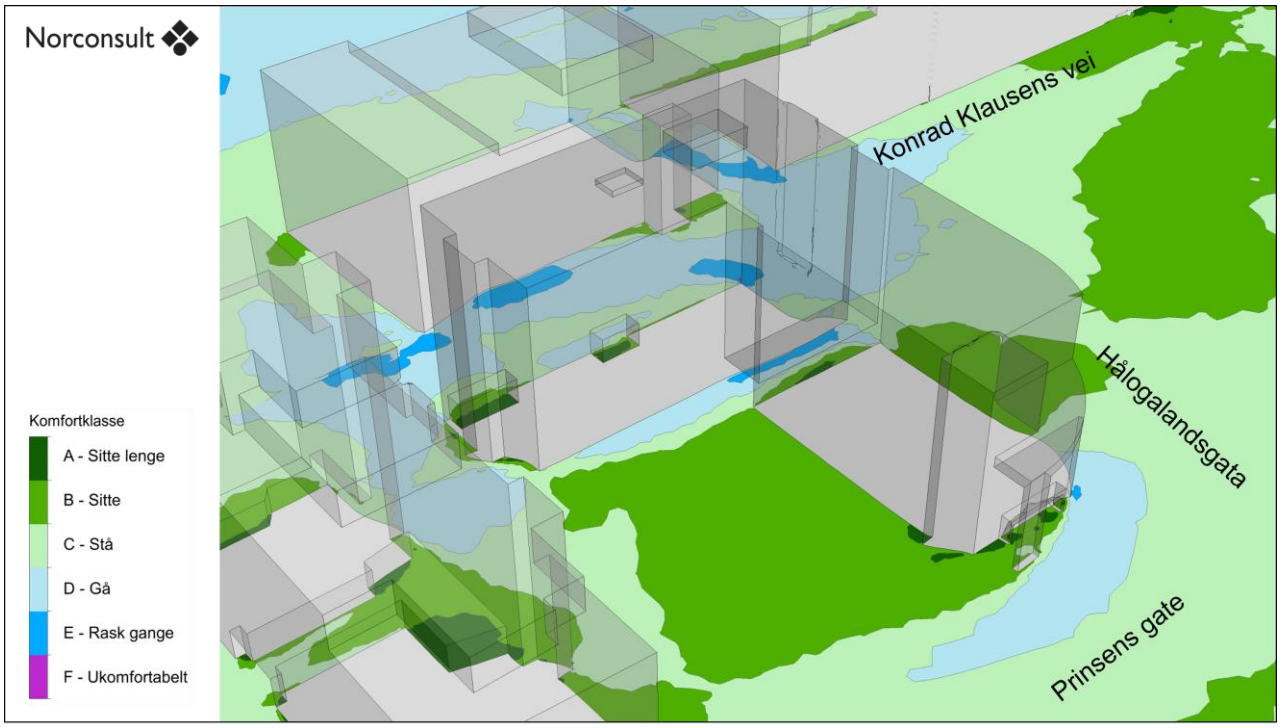


Figur 4-3: Vindkomfort i kroppshøyde med eksisterende bygningsmasse, sett fra nord.

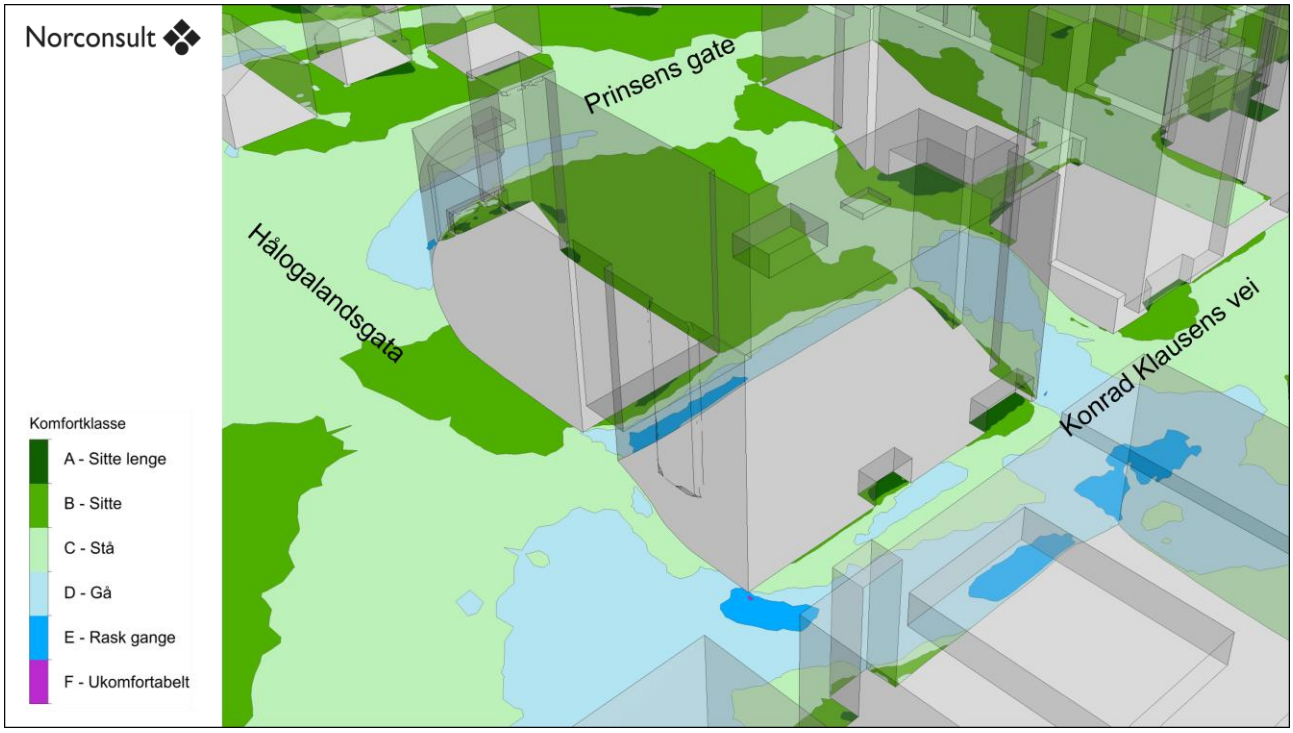
4.2 Vindkomfort – Utvidet bygningsmasse



Figur 4-4: Vindkomfort i kroppshøyde med utvidet bygningsmasse, sett ovenfra.



Figur 4-5: Vindkomfort i kroppshøyde med utvidet bygningsmasse, sett fra sør.



Figur 4-6: Vindkomfort i kroppshøyde med utvidet bygningsmasse, sett fra nord.

4.3 Beskrivelse av vindkomfort

Vindkomfortkart i kroppshøyde på bakkeplan i planområdet for eksisterende bygningsmasse er vist i figur 4-1 til figur 4-3, og vindkomfortkart for utvidet bygningsmasse er vist i figur 4-4 til figur 4-6.

Ved dagens situasjon er det hovedsakelig komfortklasse B, C, og D i området rundt PBL-huset. Bygningen er L-formet, og det indre området er relativt godt beskyttet for vind fra øst, som er den dominerende vindretningen. Store deler av det indre området har komfortklasse B og C. Områder med komfortklasse B er regnet som komfortabelt for sittende opphold, og egner seg for fellesområder, sittegrupper, og lignende. Områder med klasse C er regnet som komfortabelt for stående opphold, og egner seg for eksempel ved inngangspartier.

Gjennomgangen mellom nord- og sørfløyen er eksponert for vind fra øst. Ved østlig vind vil luftstrømmen kanaliseres og akselereres gjennom passasjen, og dette kan føre til høye vindhastigheter. Deler av gjennomgangen og området langs den sørøstlige fasaden av nordfløyen har komfortklasse D (figur 4-2). Områder med klasse D regnes som akseptable for gående.

PBL-huset er relativt høyt, og det samme gjelder de motstående byggene mot nordvest og sørvest. Passasjene mellom disse bygningene er mer vindutsatt enn ellers i området. Området mellom PBL-huset og Konrad Klausens vei 6, og området langs Konrad Klausens vei som strekker seg opp mot Hålogalandsgate har hovedsakelig komfortklasse D, og regnes dermed også som akseptable for gående.

På byggets østlige side, langs Hålogalandsgata og i krysset med Prinsens gate, er det et større åpent område. Dette åpne området ligger i le av Fylkeshuset ved vind fra øst, og er dermed ikke spesielt vindutsatt. Her er det hovedsakelig klasse B og C, med unntak av et mindre område med klasse D der hvor vinden akselereres rundt det avrundede østhjørnet av bygget. Det innfelte inngangspartiet ved dette hjørnet er imidlertid godt beskyttet.

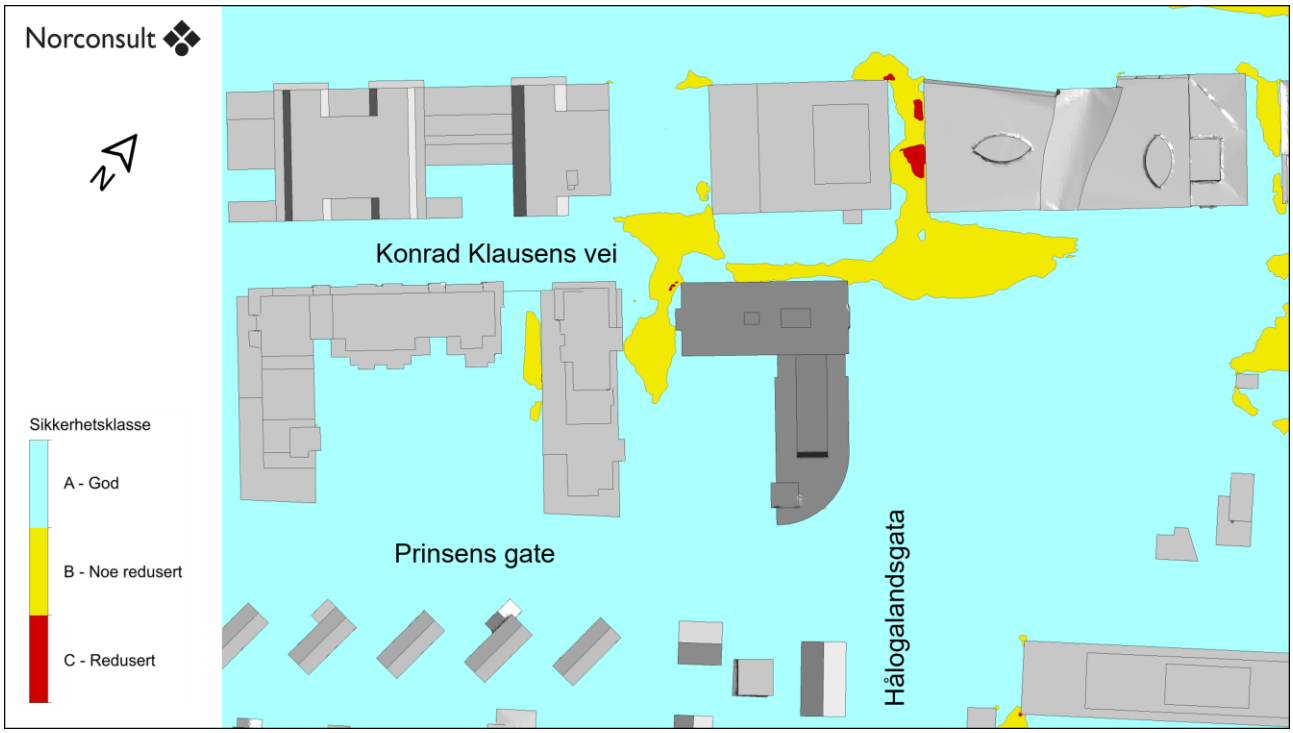
Vindforholdene i området endres i liten grad som følge av utvidelsen, og beskrivelsen av vindforholdene med eksisterende bygningsmasse gjelder stort sett også med utvidet bygningsmasse.

Det indre området i L-formen er enda bedre beskyttet for vind fra øst som følge av påbygget på sørfløyen. Deler av dette området endrer seg fra å ha klasse C med eksisterende bygning, til å ha klasse B med påbygget. En større del av dette området vil altså være bedre egnet for sittende opphold etter utvidelsen.

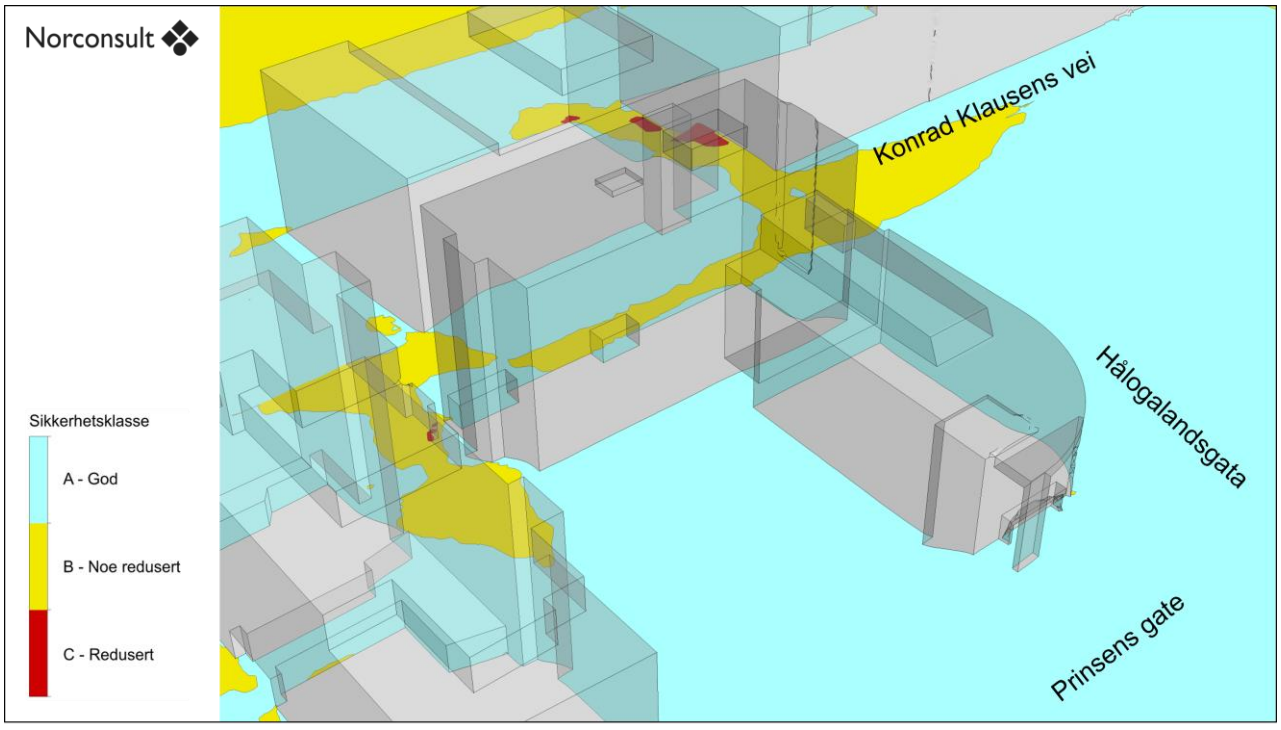
En større fasade langs byggets nordøstside fører til at mer vind kanaliseres gjennom passasjen mellom nord- og sørfløyen. Deler av denne gjennomgangen har nå klasse E (figur 4-5), og vil føles noe mer vindutsatt. Komfortklasse E regnes som akseptabelt for rask gange, typisk for områder man kun skal bevege seg raskt gjennom.

Den høyere fasaden ved byggets østhjørne gjør at området med klasse D er noe større med påbygget, og det strekker seg nå noe lengre nedover Prinsens gate. Det innfelte inngangspartiet er fortsatt godt beskyttet.

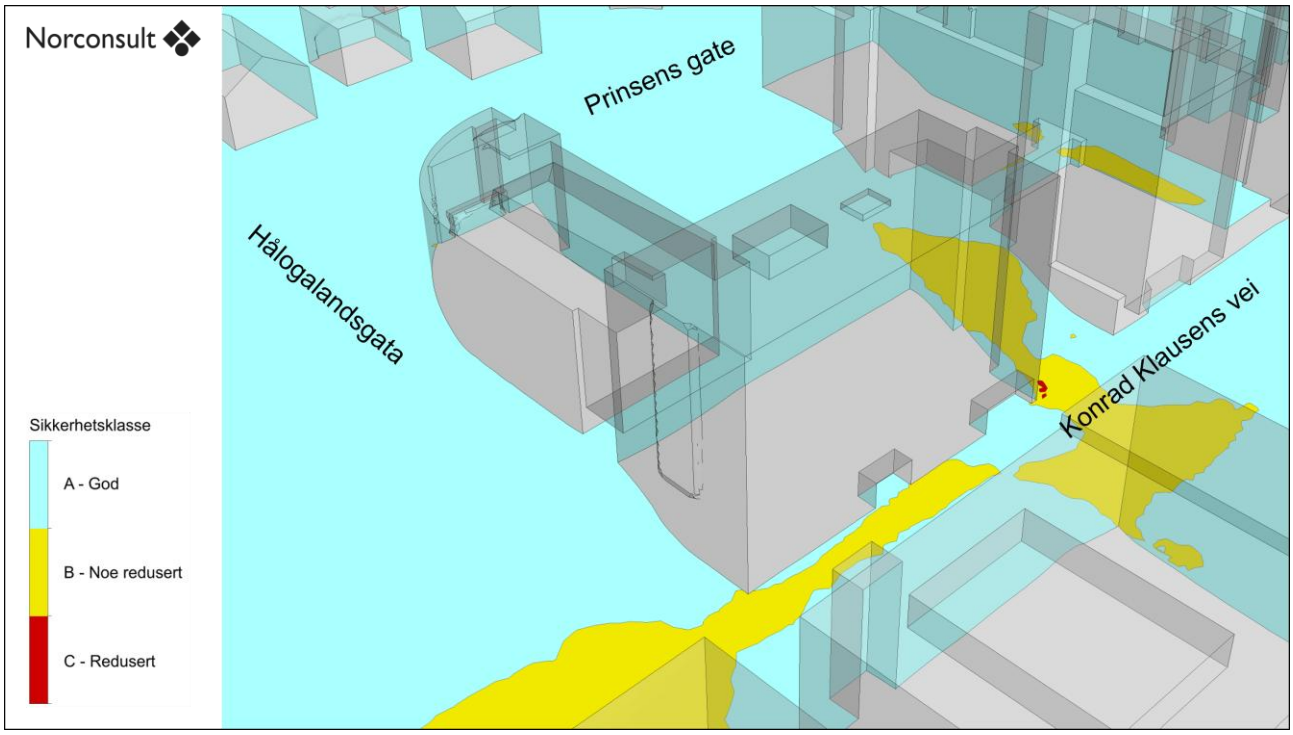
4.4 Vindrelatert sikkerhet – Eksisterende bygningsmasse



Figur 4-7: Vindrelatert sikkerhet i kroppshøyde, sett ovenfra.

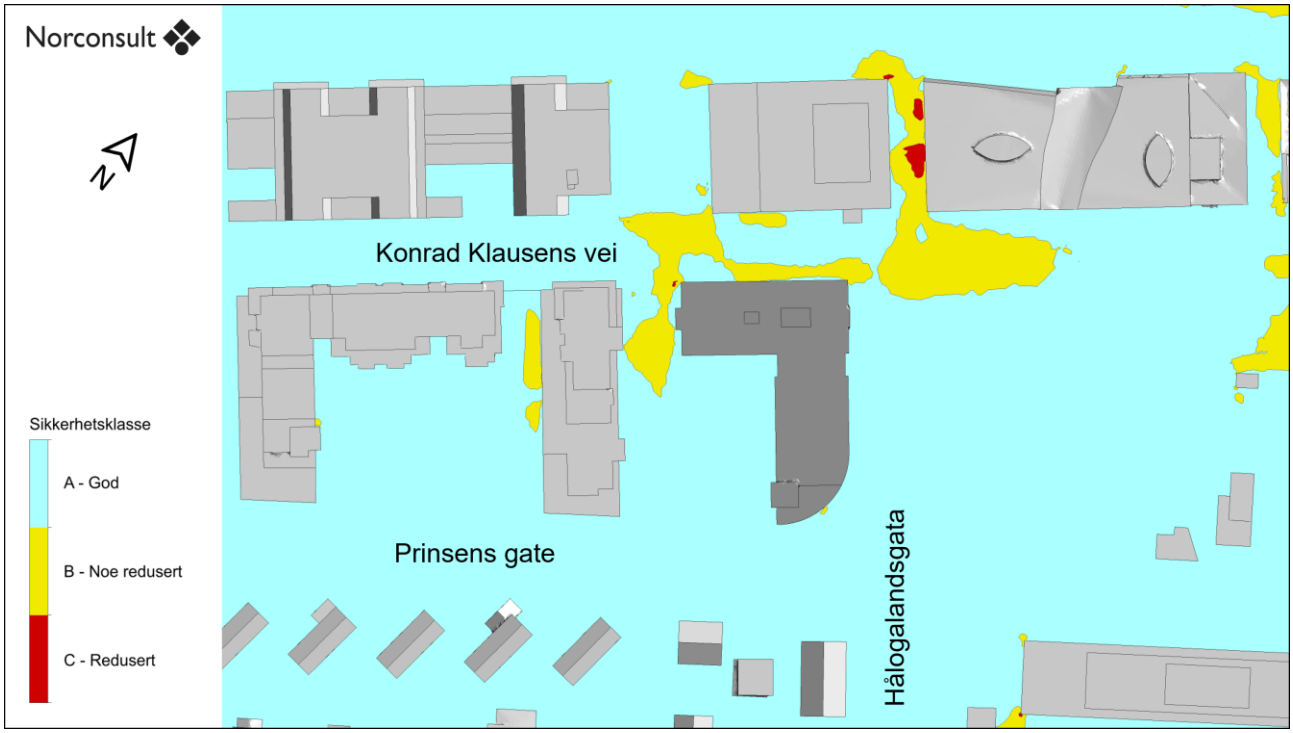


Figur 4-8: Vindrelatert sikkerhet i kroppshøyde, sett fra sør.

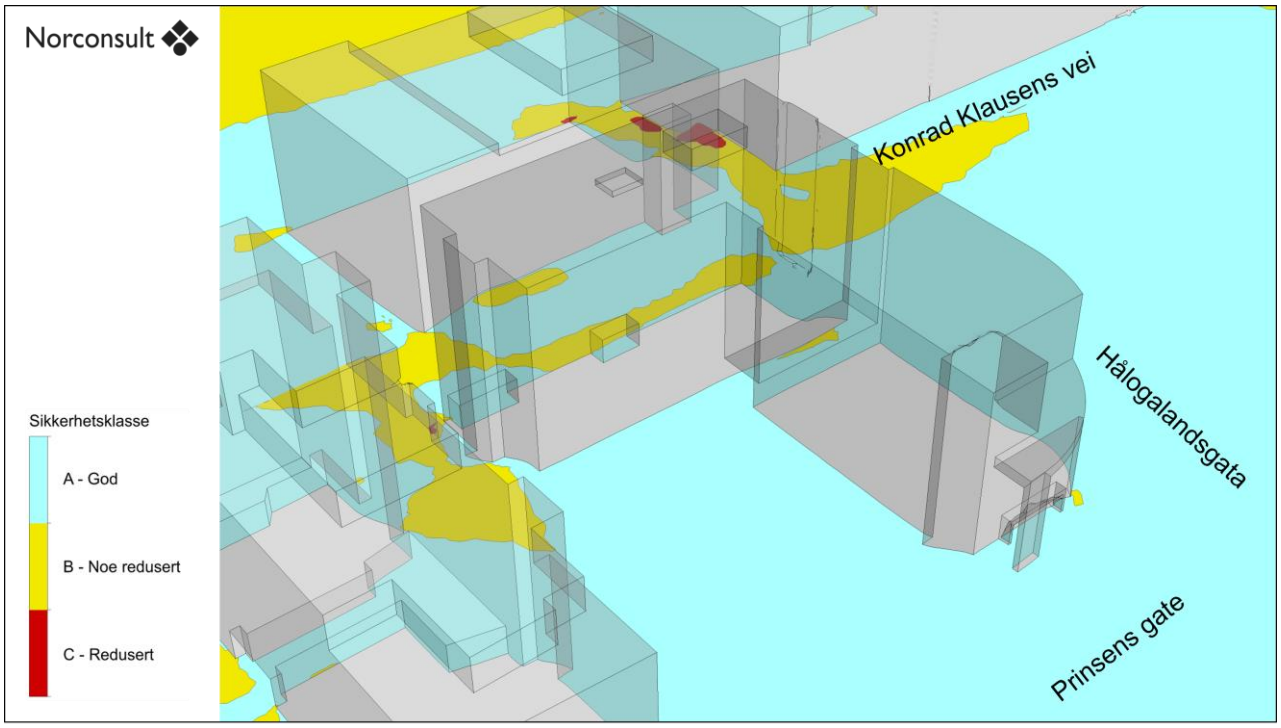


Figur 4-9: Vindrelatert sikkerhet i kroppshøyde, sett fra nord.

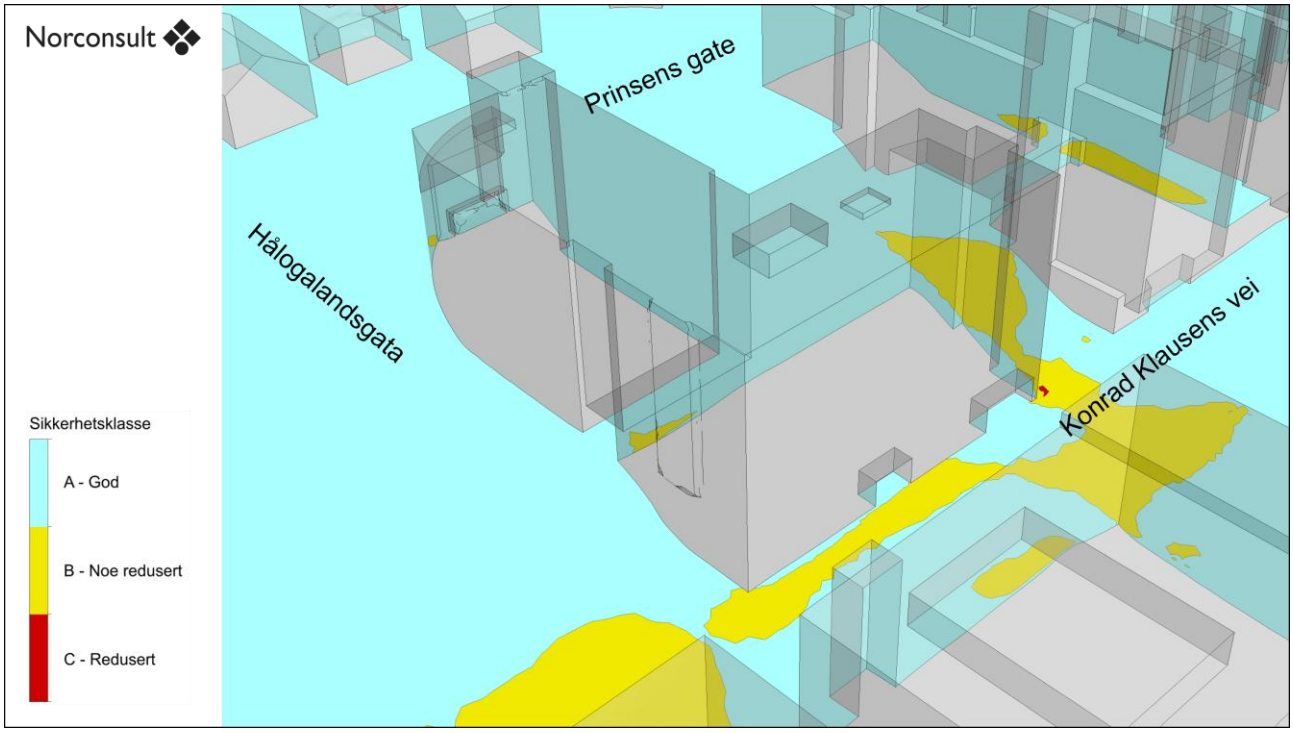
4.5 Vindrelatert sikkerhet - Utvidet bygningsmasse



Figur 4-10: Vindrelatert sikkerhet i kroppshøyde, sett ovenfra.



Figur 4-11: Vindrelatert sikkerhet i kroppshøyde, sett fra sør.



Figur 4-12: Vindrelatert sikkerhet i kroppshøyde, sett fra nord.

4.6 Beskrivelse av vindrelatert sikkerhet

Sikkerhetskart i kroppshøyde på bakkeplan i planområdet for eksisterende bygningsmasse er vist i figur 4-7 til figur 4-9, og sikkerhetskart for utvidet bygningsmasse er vist i figur 4-10 til figur 4-12.

Med eksisterende bygningsmasse er det sikkerhetsklasse A i store deler av området, men det er også områder med sikkerhetsklasse B. I områder med sikkerhetsklasse B vil det være redusert sikkerhet for spesielt utsatte (f.eks. syklister eller eldre), de dagene i året det blåser sterkest.

Områdene med sikkerhetsklasse B er hovedsakelig ved byggets sørvest- og nordvestside. Området mellom PBL-huset og Konrad Klausens vei 6, og området langs Konrad Klausens vei som strekker seg opp mot Hålogalandsgate er som nevnt preget av høye omkringliggende bygninger som kanaliserer vinden gjennom passasjene, og her vil man oppleve høye vindhastigheter på vindfulle dager.

Det er stort sett de samme områdene som vil ha sikkerhetsklasse B med utvidet bygningsmasse. Områdene som har sikkerhetsklasse B med eksisterende bygningsmasse endres ikke i nevneverdig grad som følge av utvidelsen.

Som nevnt i beskrivelsen av vindkomfort fører påbygget til at mer vind kanaliseres gjennom passasjen mellom nord- og sørfløyen, og at denne vil være noe med vindutsatt. Sikkerhetskartet viser at en liten del av gjennomgangen vil ha klasse B som følge av påbygget (figur 4-11).

5 Avbøtende tiltak

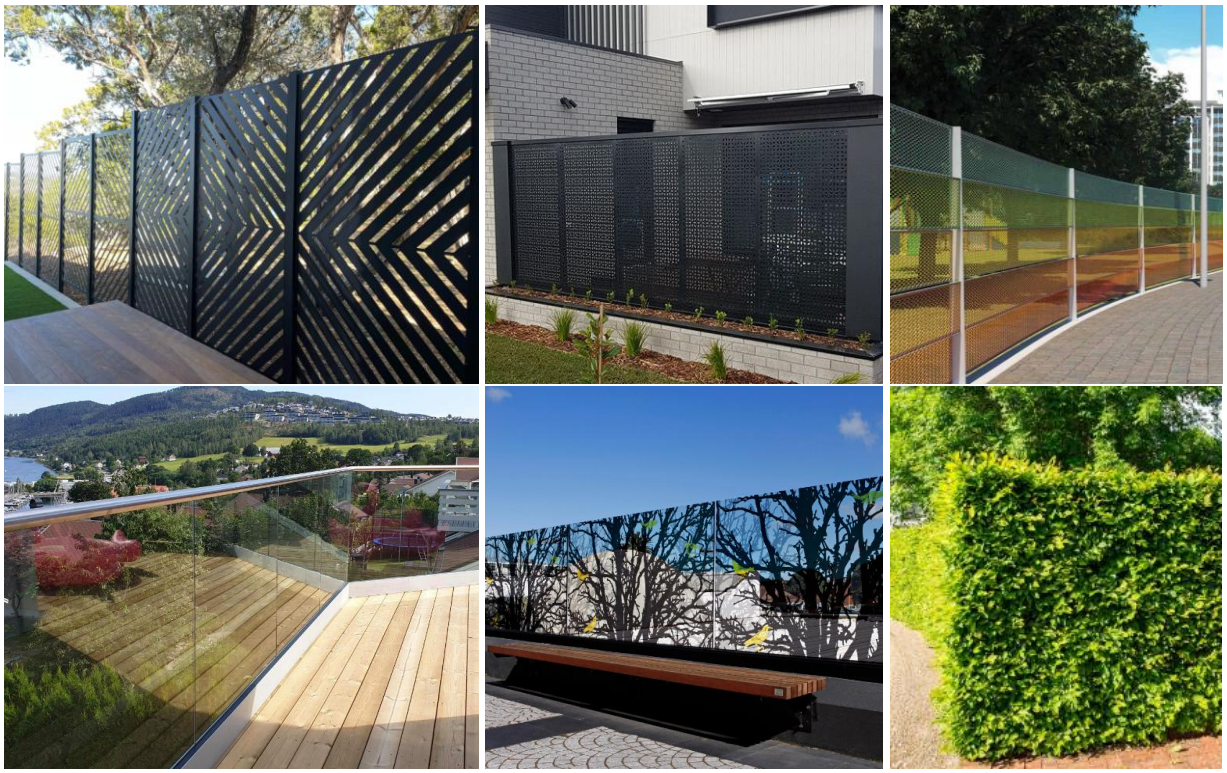
I områder der komfort- eller sikkerhetsklassene ikke egner seg til planlagt arealbruk, kan avbøtende tiltak vurderes. Dette kan være i form av:

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 det aktuelle 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 i forbindelse med planlagt utvidelse av PBL-huset 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.

Det er gjort simuleringer både av eksisterende bygningsmasse og av planlagt utvidelse av bygningsmassen. Analysen viser at vindforholdene i og rundt planområdet endrer seg i liten grad som følge av utvidelsen av bygget. Vindkomfortkartene viser at det er hovedsakelig komfortklasse C og D på byggets vestside, og hovedsakelig komfortklasse B og C på byggets østside. Dette gjelder både for eksisterende bygningsmasse og for utvidet bygningsmasse.

Påbygget fører til at det indre området i L-formen av bygget vil være noe bedre beskyttet for innkommende vind, og en større del av dette området vil ha klasse B som følge av utvidelsen.

Samtidig vil påbygget føre til at det kanaliseres mer vind gjennom passasjen mellom nord- og sørfløyen av bygget. I denne gjennomgangen vil en liten del av området endre seg fra klasse D med eksisterende bygningsmasse, til klasse E med utvidet bygningsmasse. Den større fasaden vil også føre til at vinden akselereres rundt det østlige hjørnet av bygget i større grad. Området med klasse D ved dette hjørnet vil være noe større i utstrekning som følge av påbygget.

Sikkerhetskartene viser at det er områder med sikkerhetsklasse B ved byggets nordvest- og sørvestside som følge av de høye omkringliggende bygningene. Dette gjelder både for eksisterende bygningsmasse og utvidet bygningsmasse, og utvidelsen fører ikke til noen nevneverdig endring. Påbygget fører imidlertid til at en liten del av passasjen mellom nord- og sørfløyen av bygget vil ha sikkerhetsklasse B, hvor det med eksisterende bygningsmasse er klasse A.

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

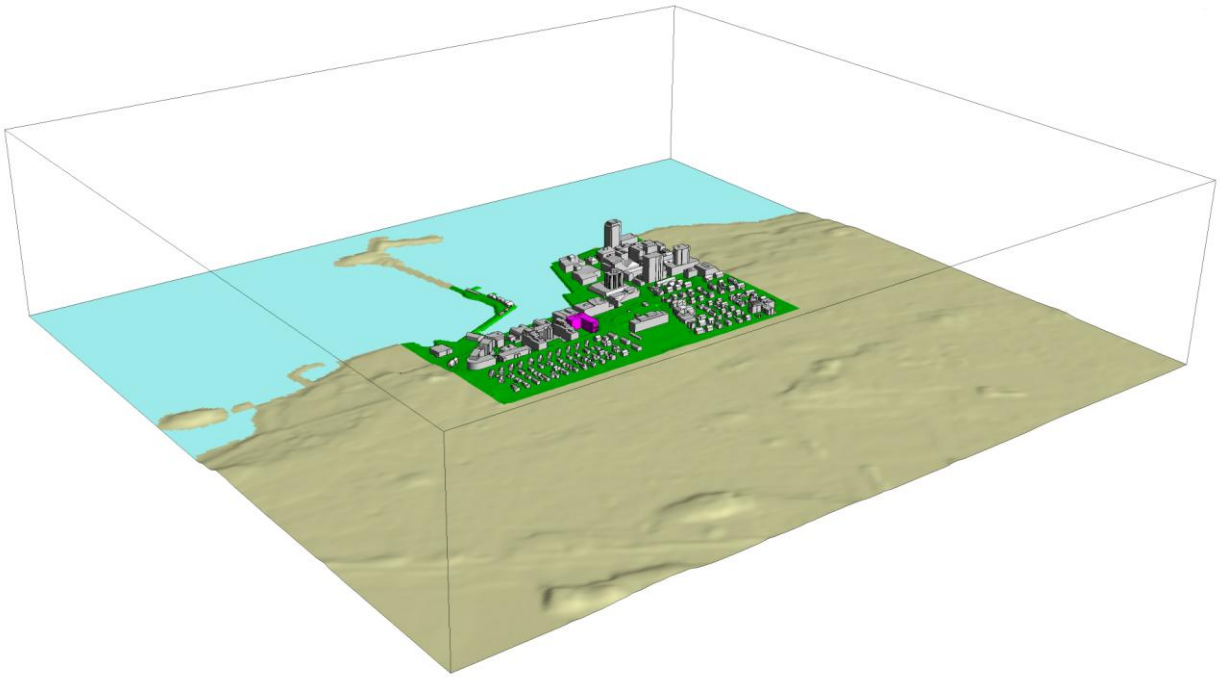
Beregningene i denne rapporten er utført ved CFD-simuleringer. CFD er en forkortelse for det engelske uttrykket «Computational Fluid Dynamics». Denne typen analyse innebærer at de fundamentale likningene for fluiders bevegelse («Navier-Stokes' likninger») løses ved numerisk iterasjon. Norconsult benytter 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 beregningsnettet (engelsk «mesh» eller «grid») svært viktig for løsningens kvalitet. I dette arbeidet er det benyttet RANS[1]-modellering med en SST[2] 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 representer vann/sjø, lysebrun farge småhusbebyggelse eller skog og grønn farge slette eller bakkeflater i det arealet der bygninger er eksplisitt inkludert i beregningsmodellen.

[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.

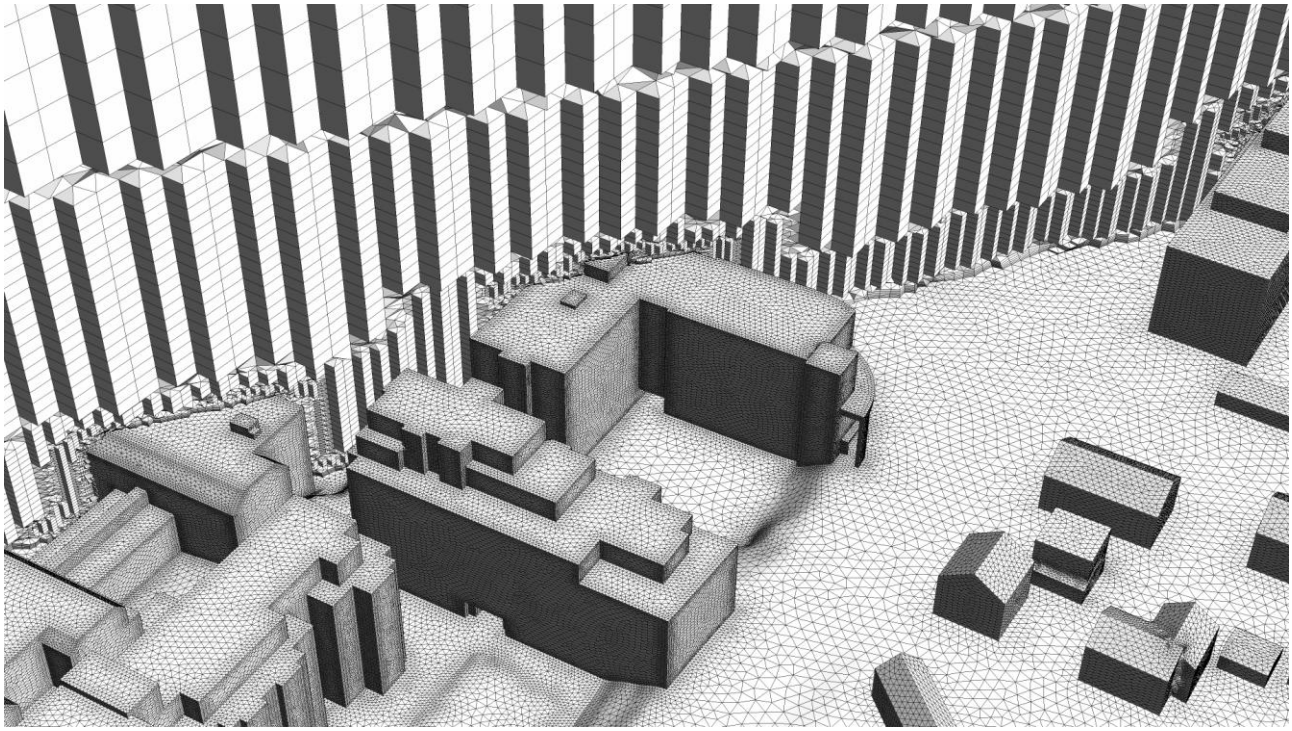
Det er i første rekke proporsjonene til byggene, dvs. høyde i forhold til bredde, bredde på passasjer mellom bygg i forhold til høyder på fasader osv., som er avgjørende for hvordan vinden påvirkes. Overflatedetaljer har derimot relativ liten virkning.

Nabobygg i en avstand på ca. 300 m fra 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 strømningen 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 1,4 km x 0,35 km.

Beregningsmodellen er delt opp i det stort antall beregningsceller. Meshet som er benyttet i dette tilfelle er vist i figur 8-2 og er delt inn i to domener, et indre og et ytre. Det indre domenet i bygningssonen består av heksaedriske og tetraedriske celler med prismatiske celler i nærheten av bygninger og terreng. Det ytre domenet 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. 30 millioner.

Det er ikke tatt med beplantning i modellen. Storskala beplantning (størrelsesorden «skog») vil være implisitt inkludert via terrengruhet, 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.

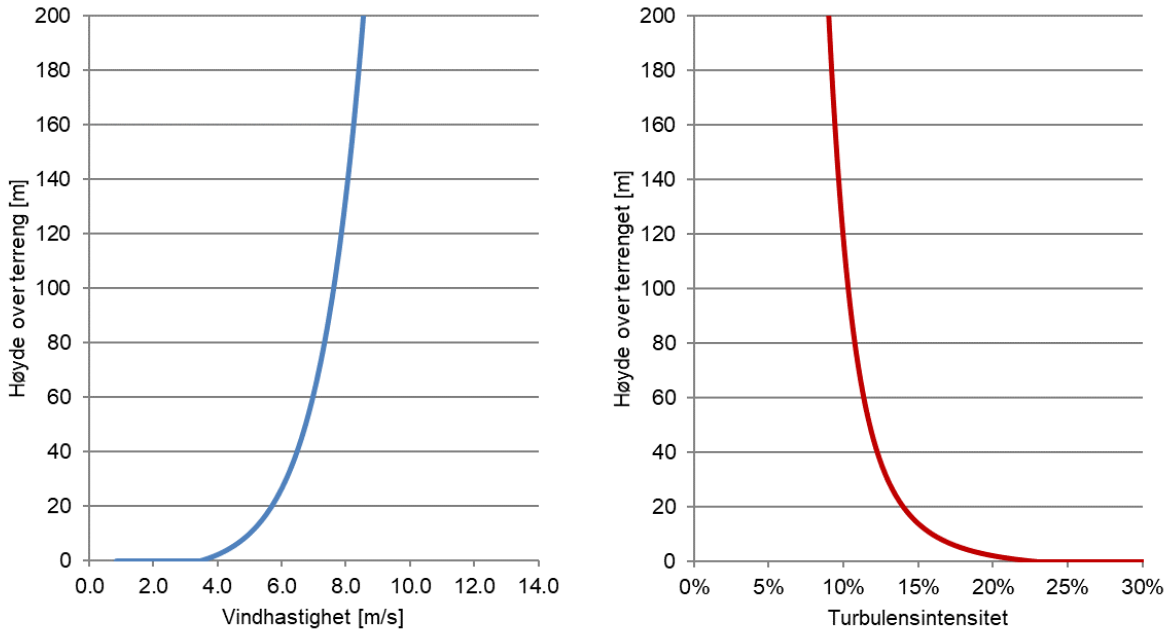
8.3 Modelloppsett og grensebetingelser

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 strømningen finner veien gjennom volumet.

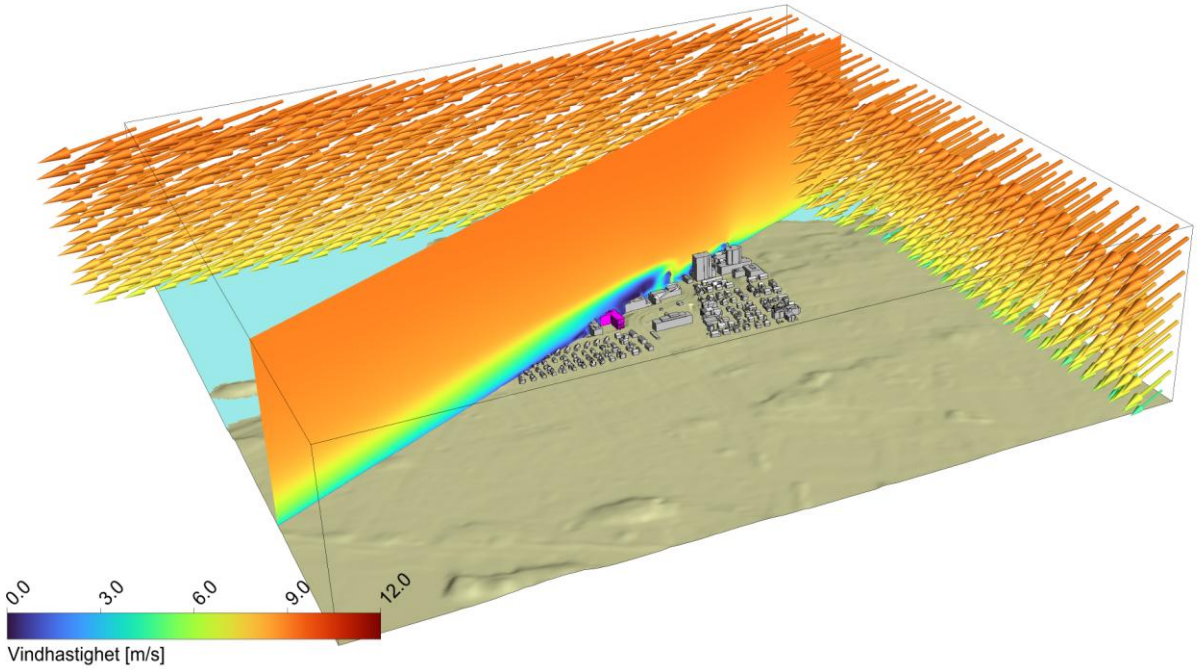
Modellvolumet er vist i figur 8-4 med et eksempel-vindfelt. Vindhastighet og turbulens på innløpet er låst til profiler som tilsvarer innkommende vind over bakken. Profil for terreng er vist i figur 8-3. Profilet er satt opp for å svare til karakteristiske forhold i den aktuelle typen terreng og bakken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

Tabell 8-1: Modellparametre 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 relativt trykk)
Vindhastighet ved 10 m høyde	5,0 m/s
Vindretninger	0° - 330°, med 30° intervall
Ruhet på bakken (z_0) [5]	0,3 m for småhusbebyggelse/skog 0,01 m for bakken mellom nabobygg som er inkludert eksplisitt 0,0002 m for vann/sjø
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 (± 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 strømningstekniske 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):

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

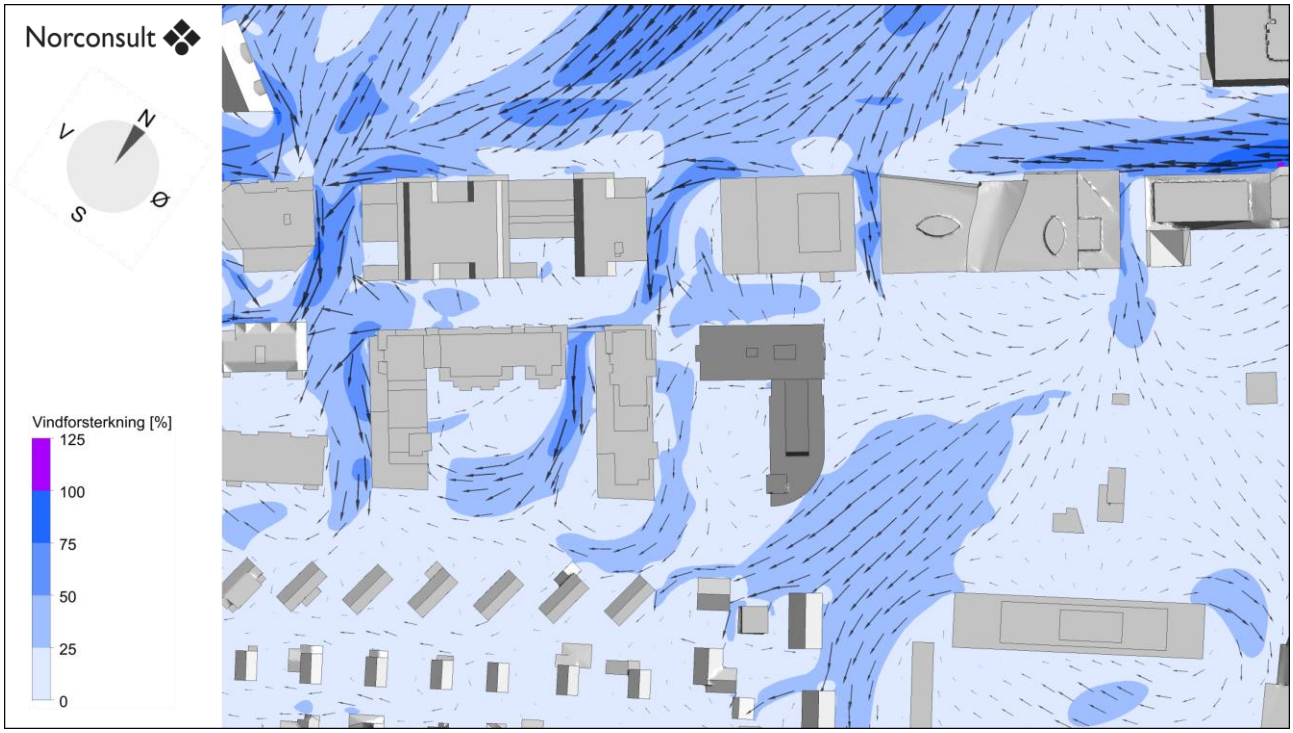
Resultatet viser dermed hvorvidt luften i kroppshøyde blir bremset (verdier < 100 %) eller akselerert (verdier > 100 %) av byggene sammenlignet med den innkommende vinden.

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.

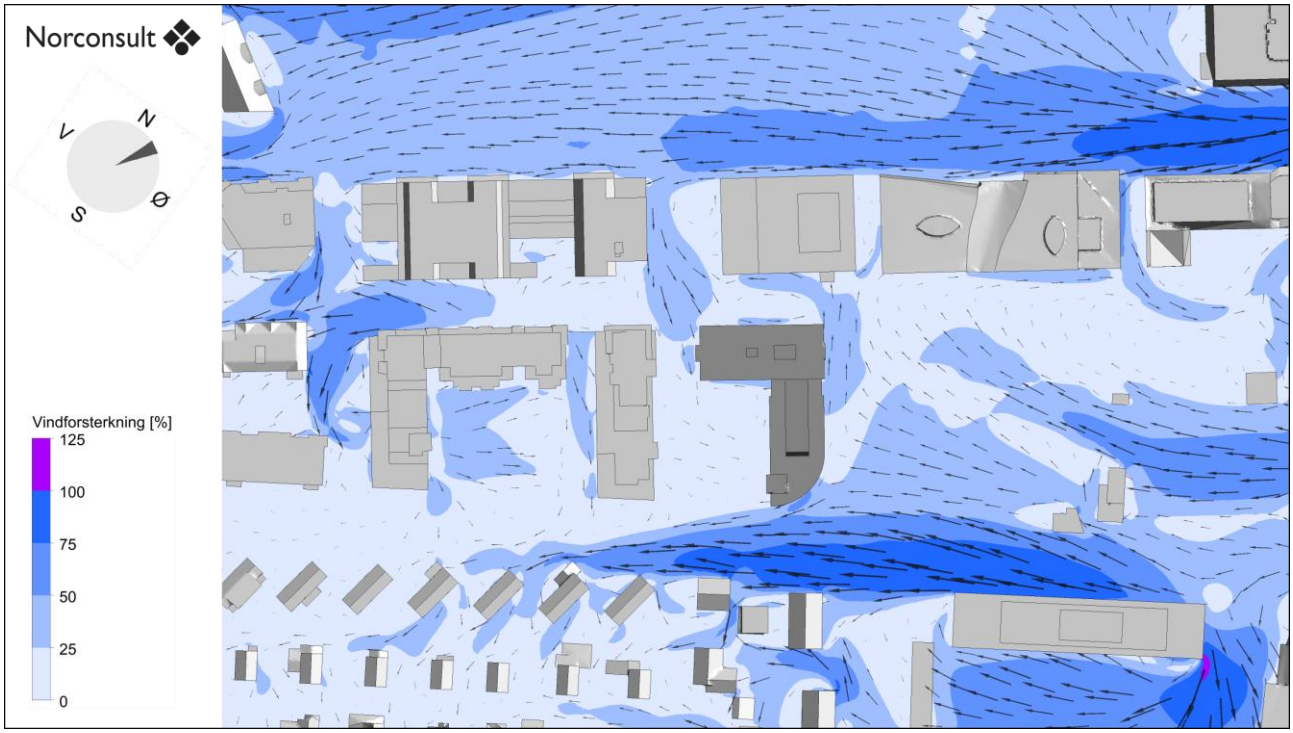
9.2 Vindforsterkning med eksisterende bygningsmasse

9.2.1 Vind fra 0°



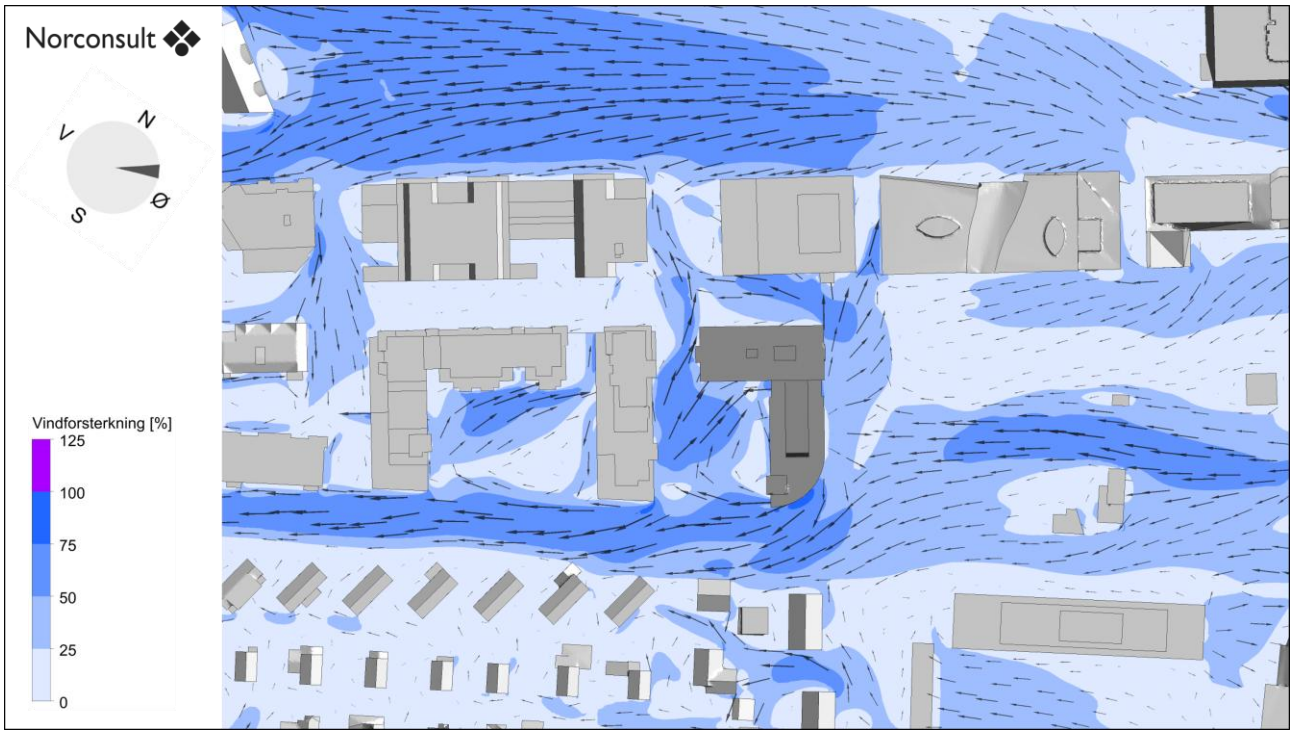
Figur 9-1: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 0°. Med eksisterende bygningsmasse.

9.2.2 Vind fra 30°



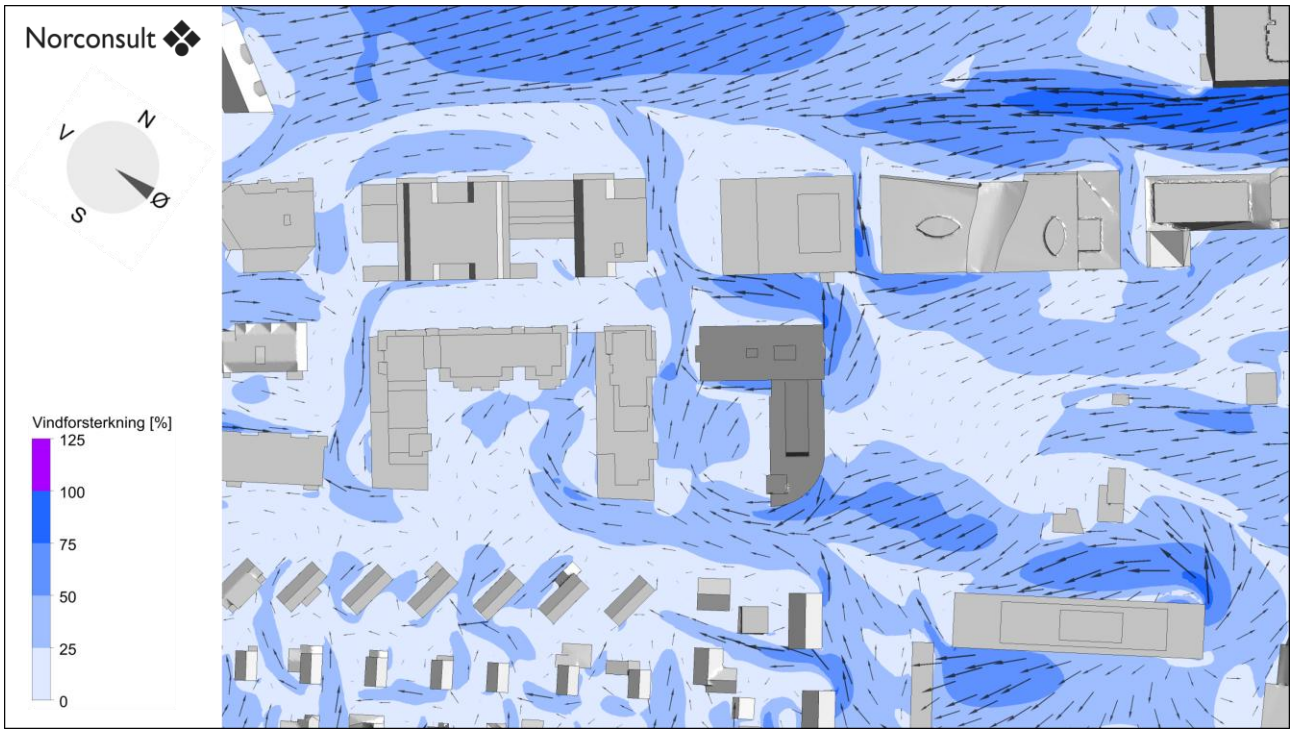
Figur 9-2: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 30°. Med eksisterende bygningsmasse.

9.2.3 Vind fra 60°



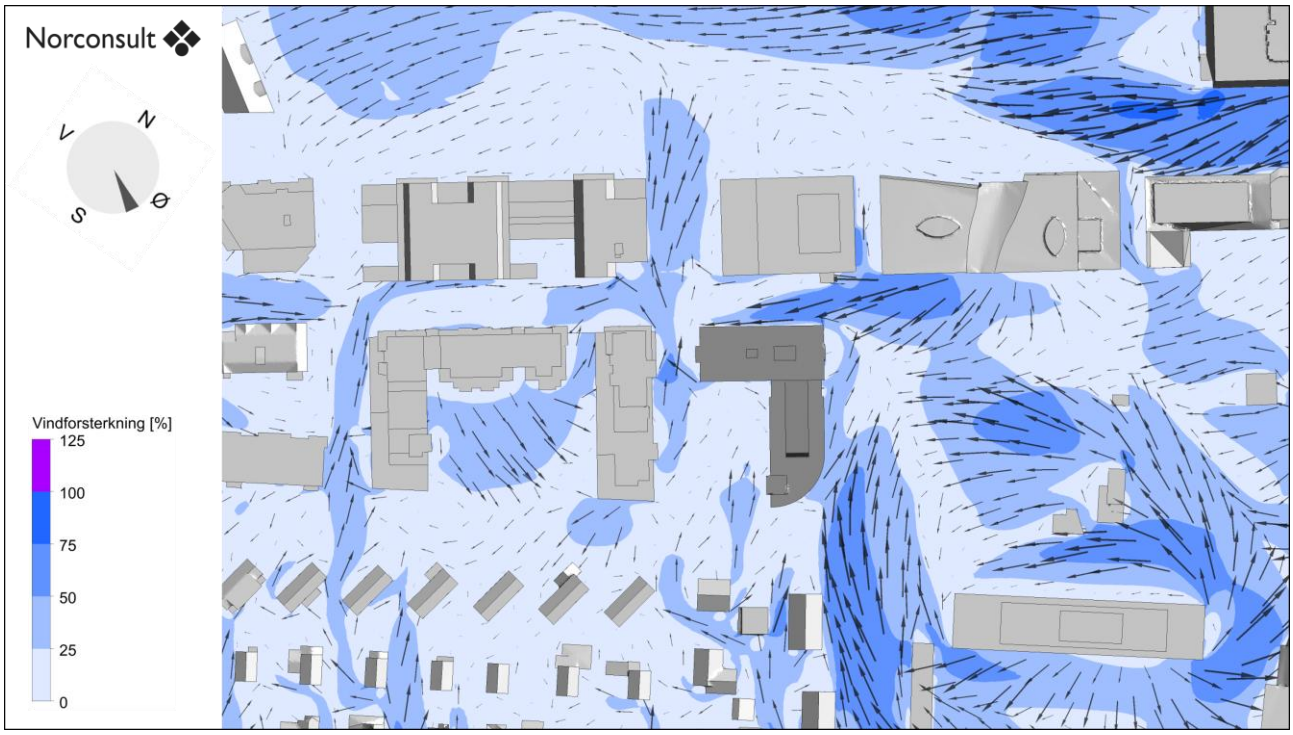
Figur 9-3: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 60°. Med eksisterende bygningsmasse.

9.2.4 Vind fra 90°



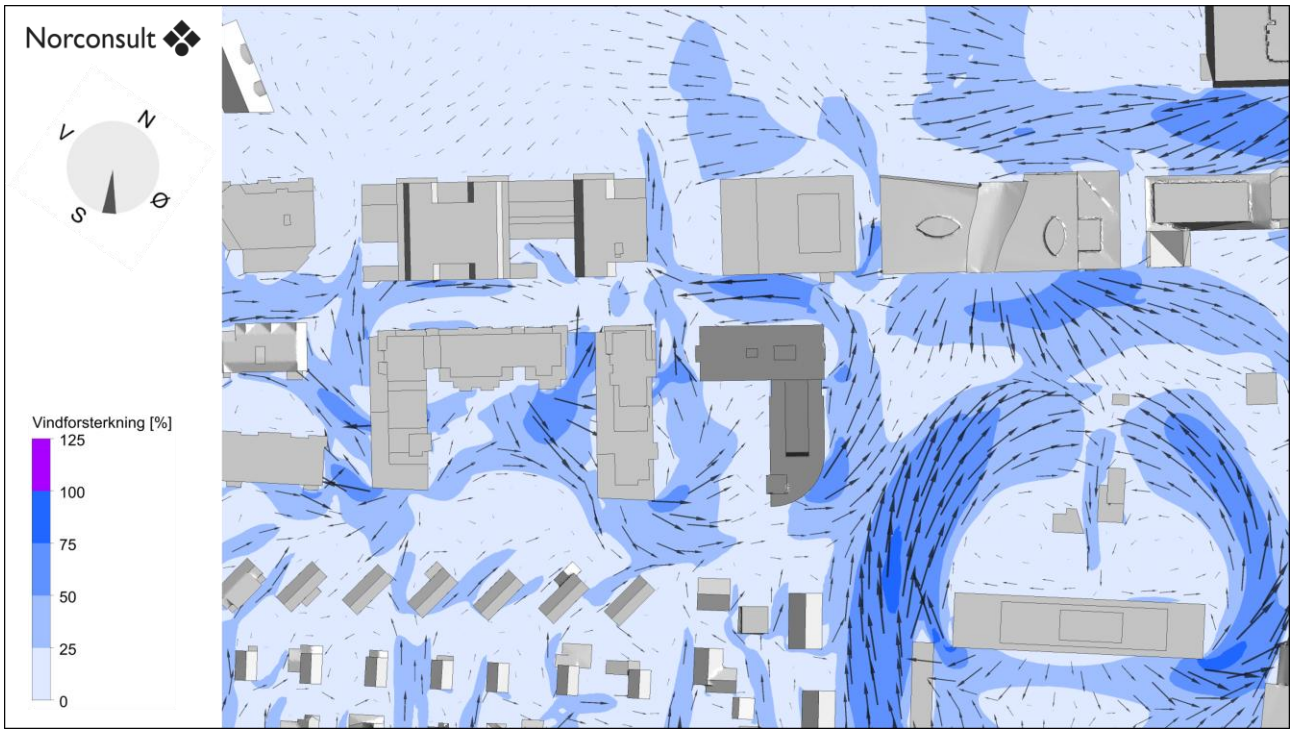
Figur 9-4: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 90°. Med eksisterende bygningsmasse.

9.2.5 Vind fra 120°



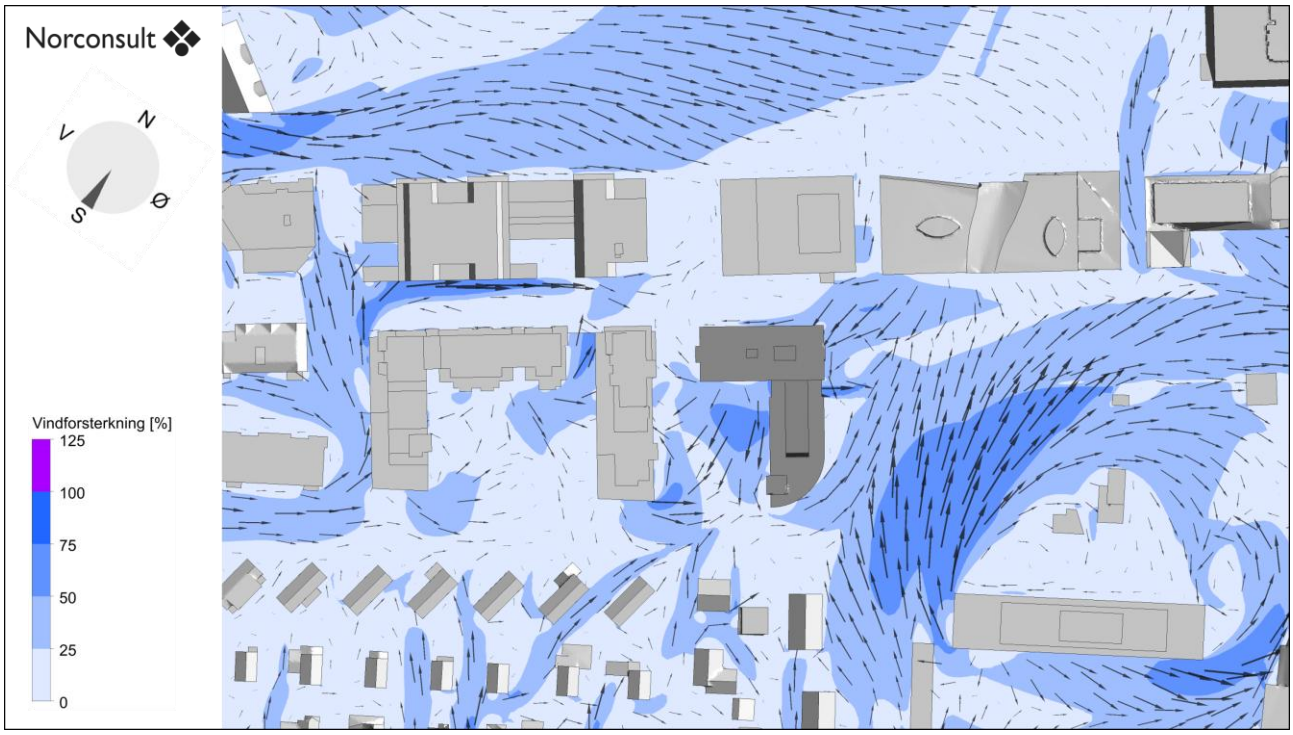
Figur 9-5: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 120°. Med eksisterende bygningsmasse.

9.2.6 Vind fra 150°



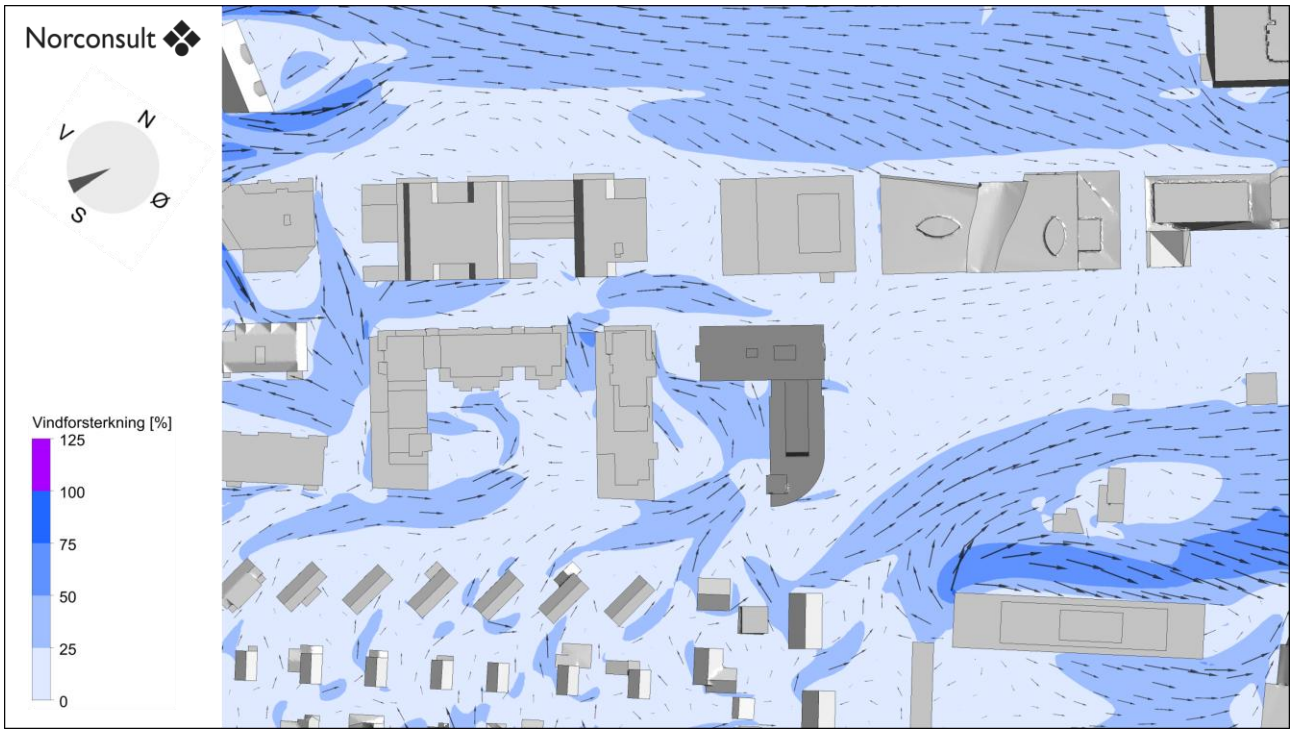
Figur 9-6: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 150°. Med eksisterende bygningsmasse.

9.2.7 Vind fra 180°



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

9.2.8 Vind fra 210°



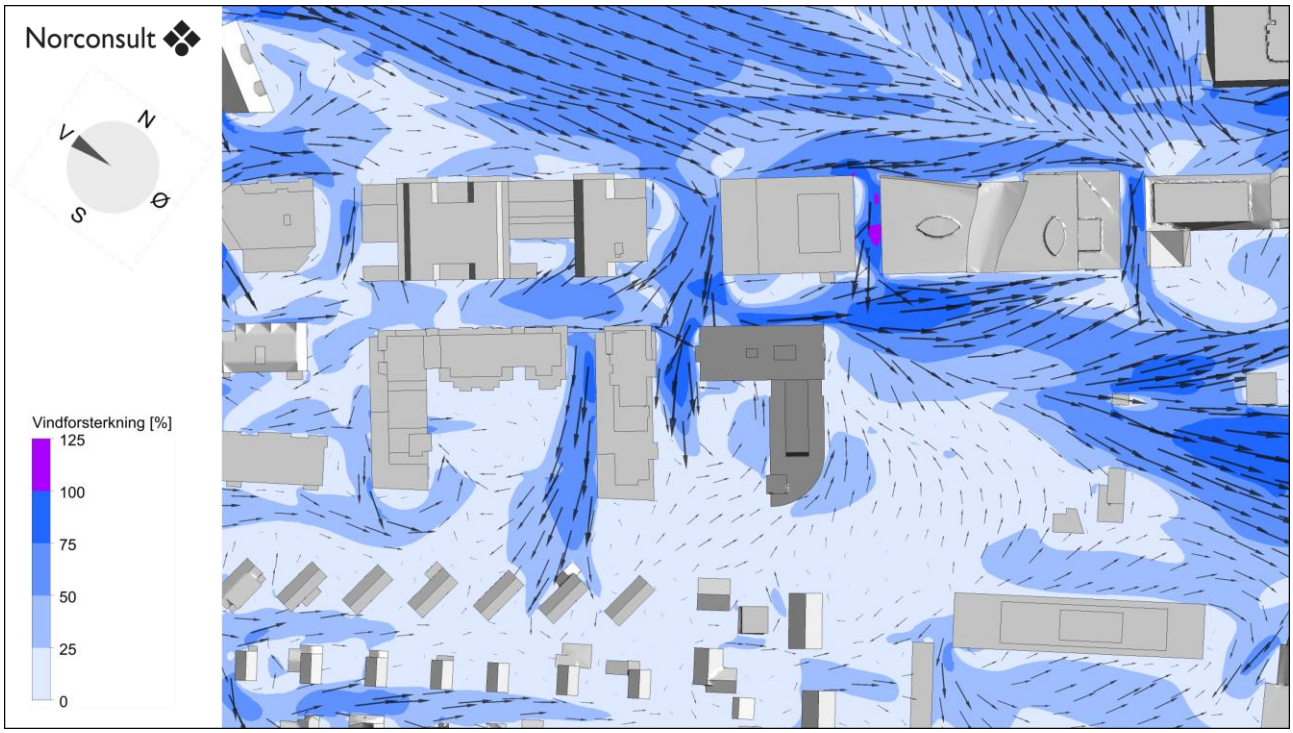
Figur 9-8: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 210°. Med eksisterende bygningsmasse.

9.2.9 Vind fra 240°



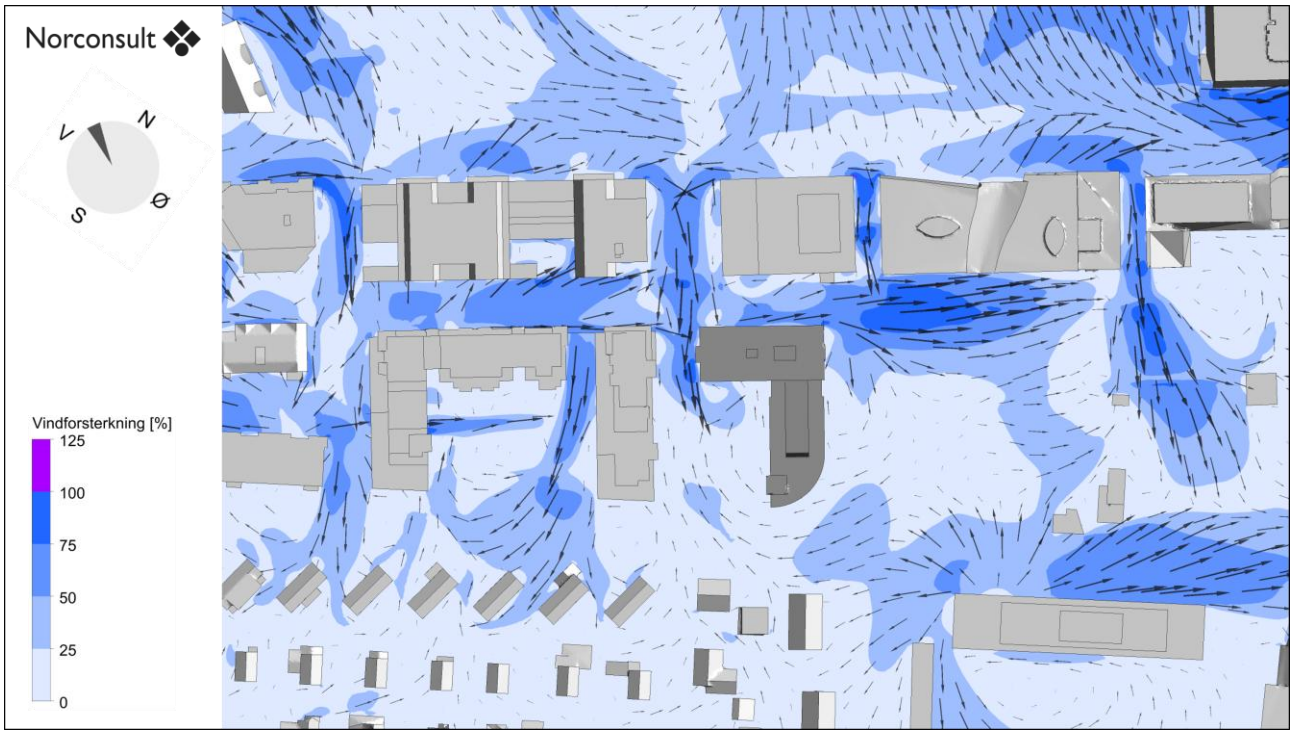
Figur 9-9: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 240°. Med eksisterende bygningsmasse.

9.2.10 Vind fra 270°



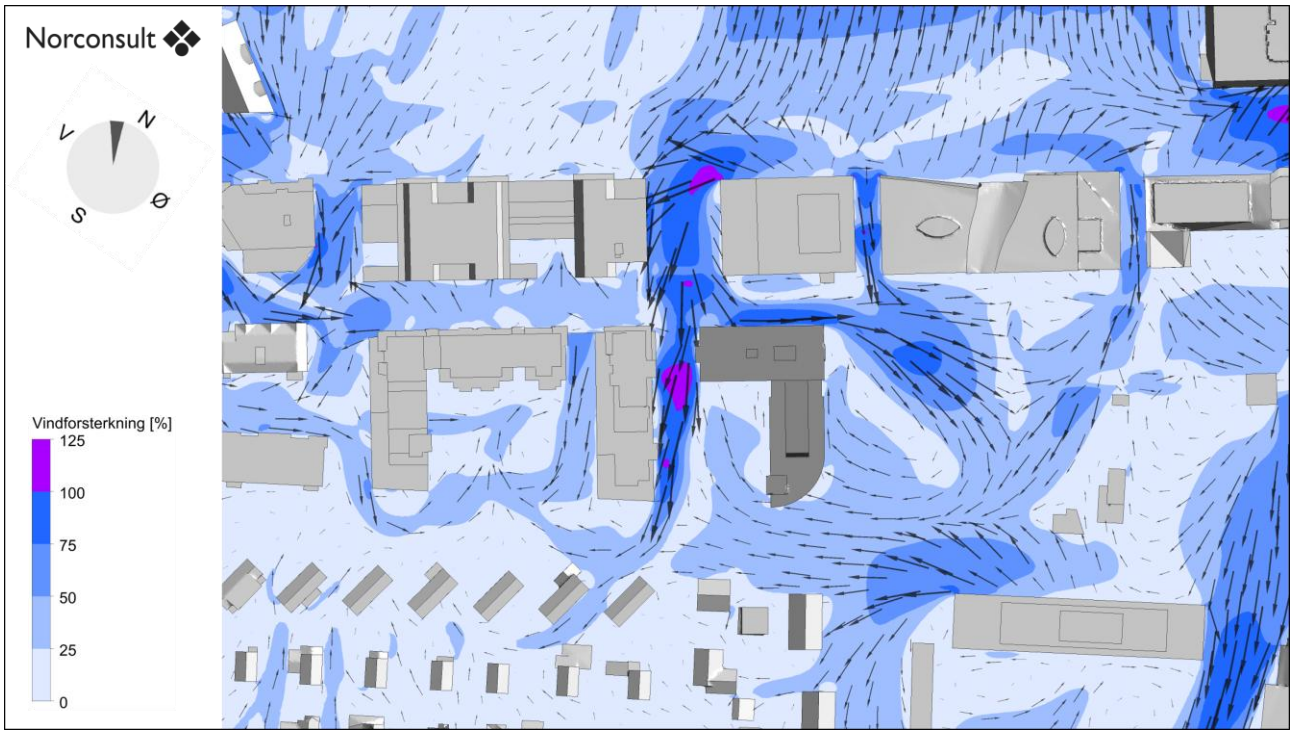
Figur 9-10: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 270°. Med eksisterende bygningsmasse.

9.2.11 Vind fra 300°



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

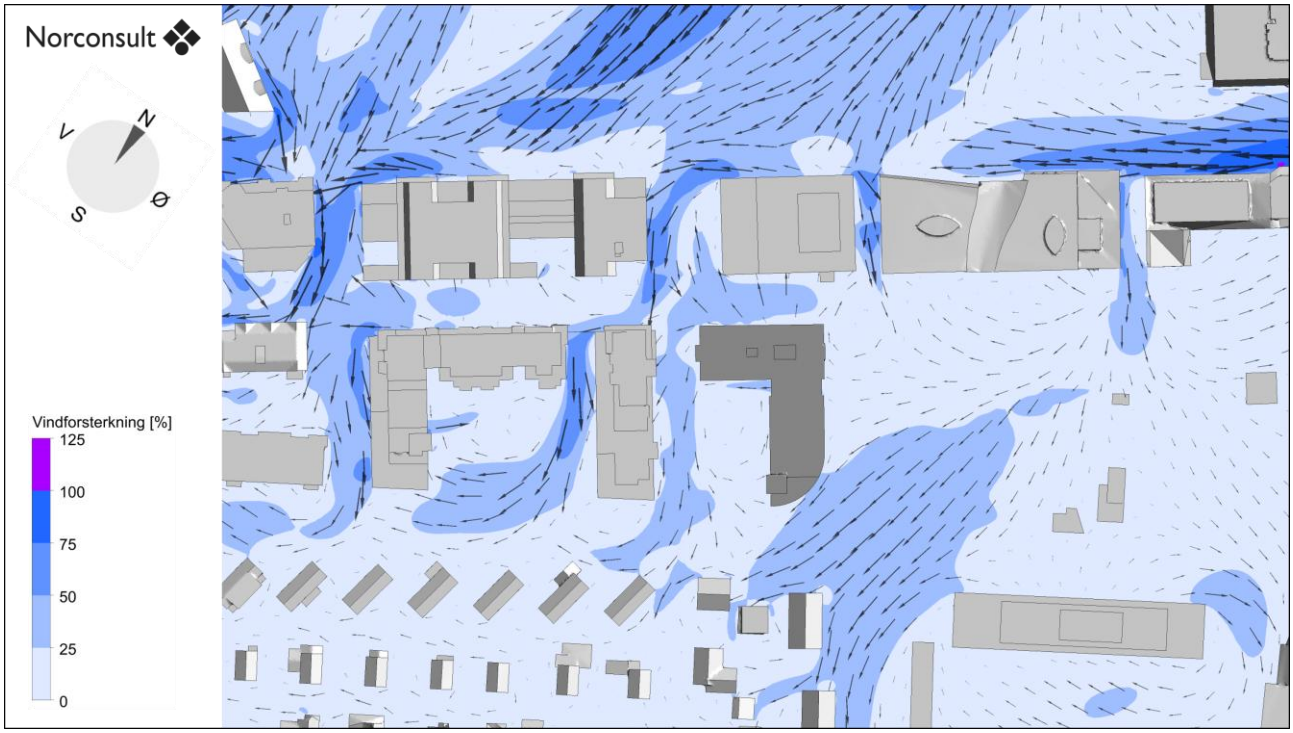
9.2.12 Vind fra 330°



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

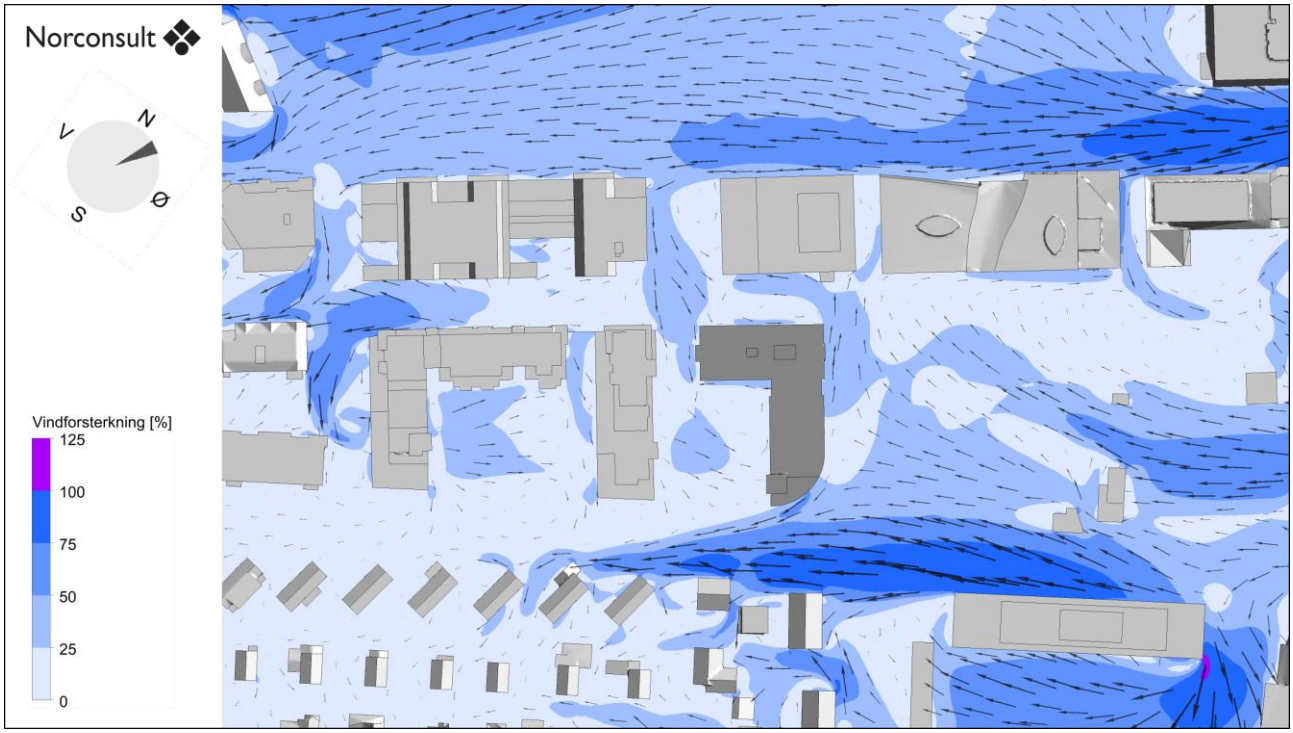
9.3 Vindforsterkning med utvidet bygningsmasse

9.3.1 Vind fra 0°



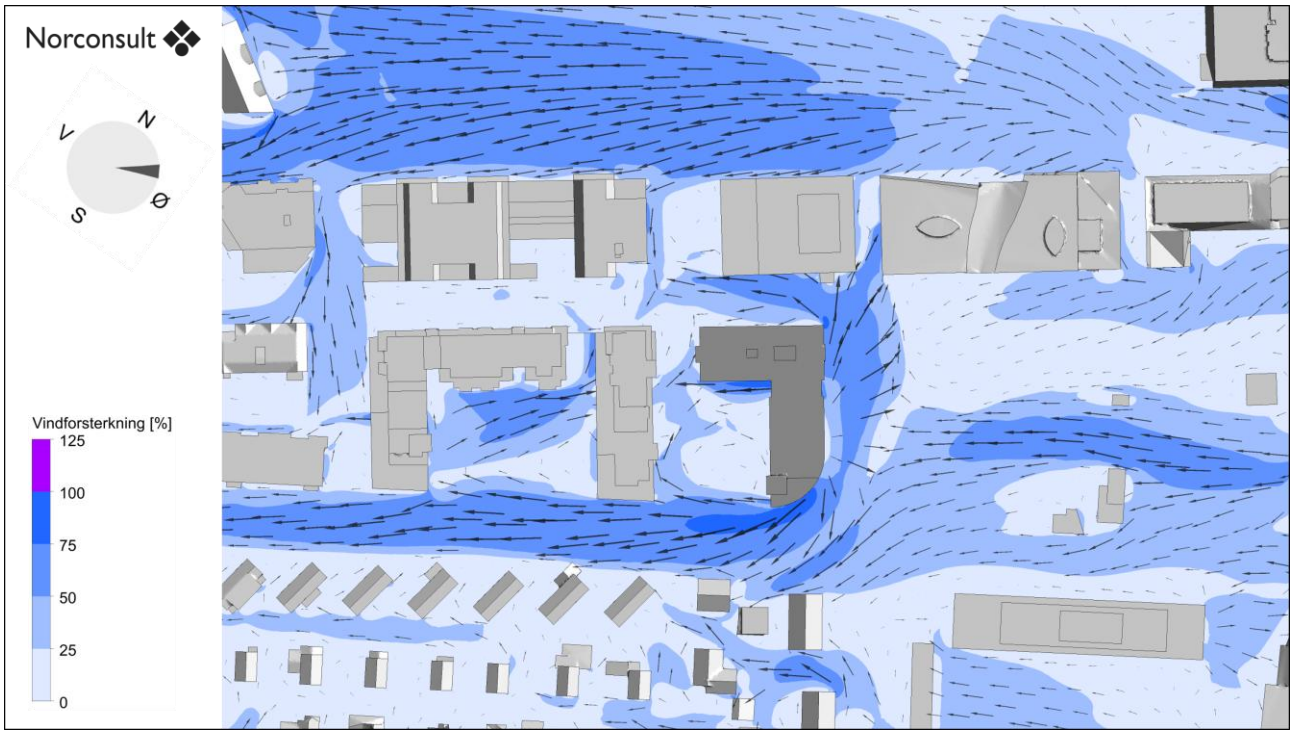
Figur 9-13: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 0°. Med utvidet bygningsmasse.

9.3.2 Vind fra 30°



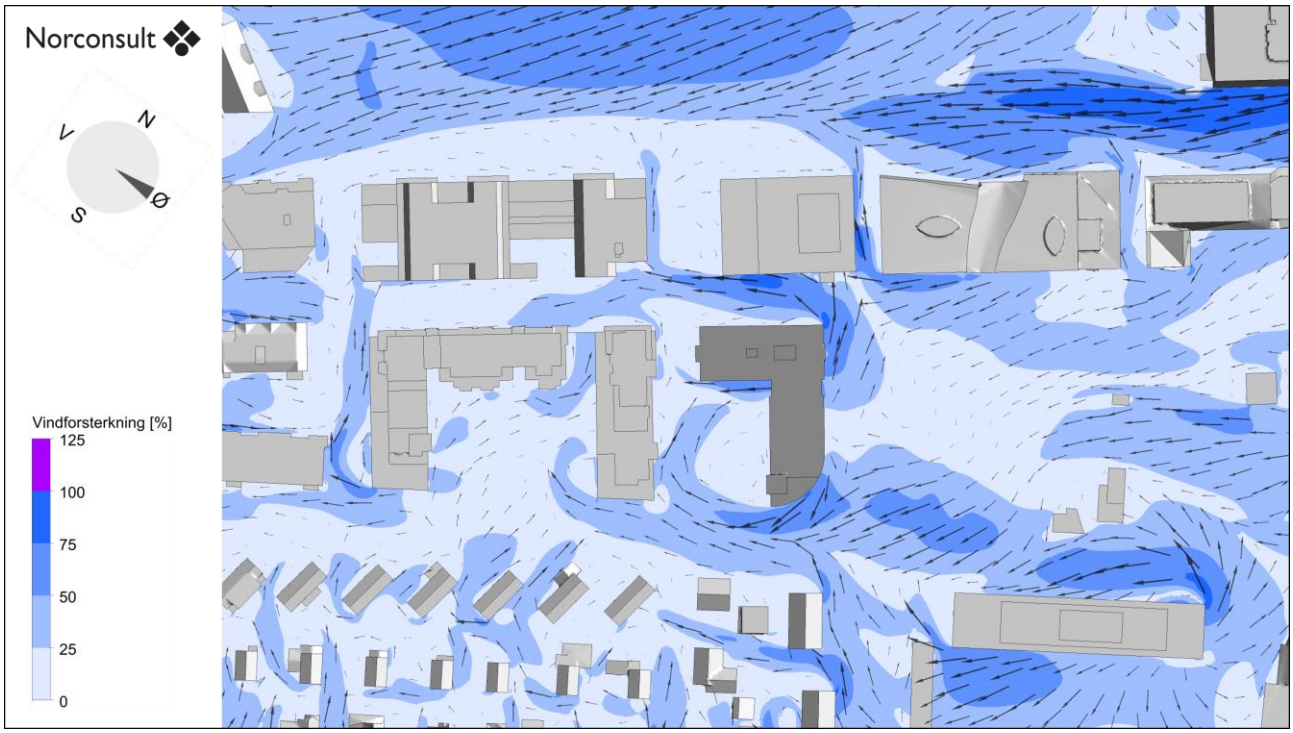
Figur 9-14: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 30°. Med utvidet bygningsmasse.

9.3.3 Vind fra 60°



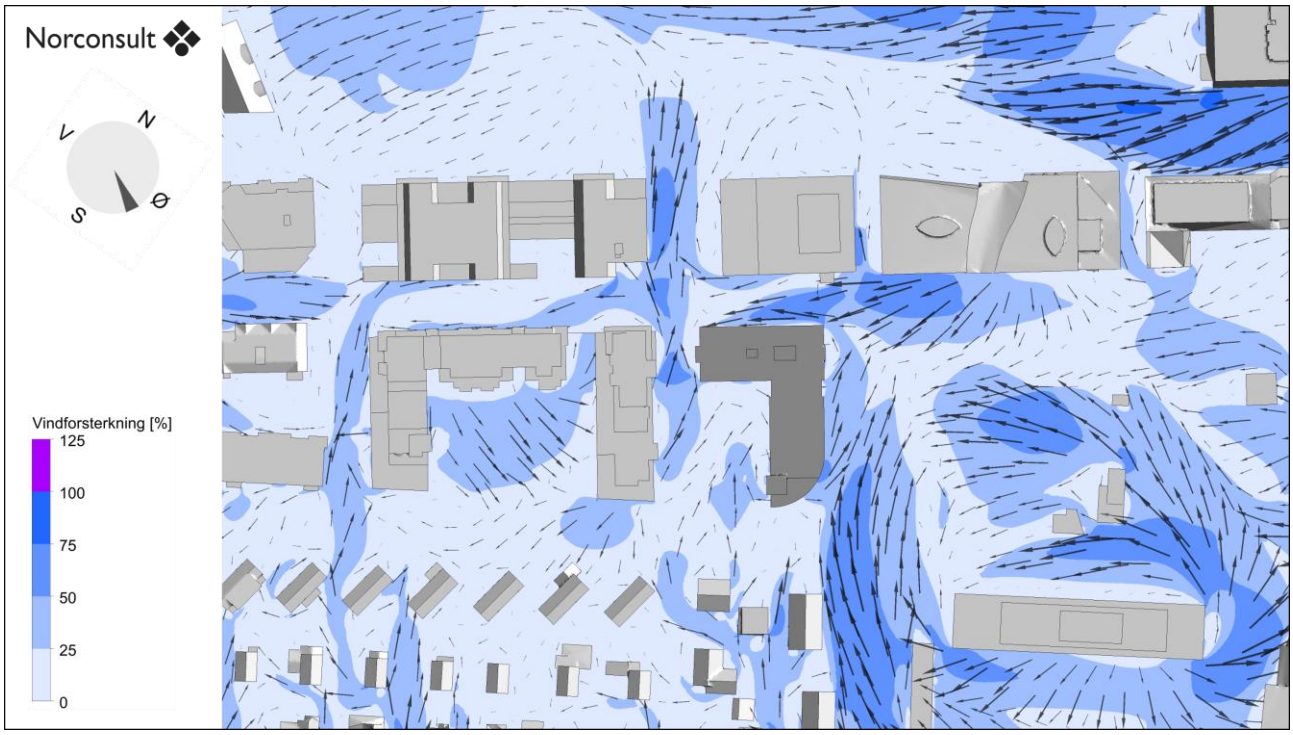
Figur 9-15: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 60°. Med utvidet bygningsmasse.

9.3.4 Vind fra 90°



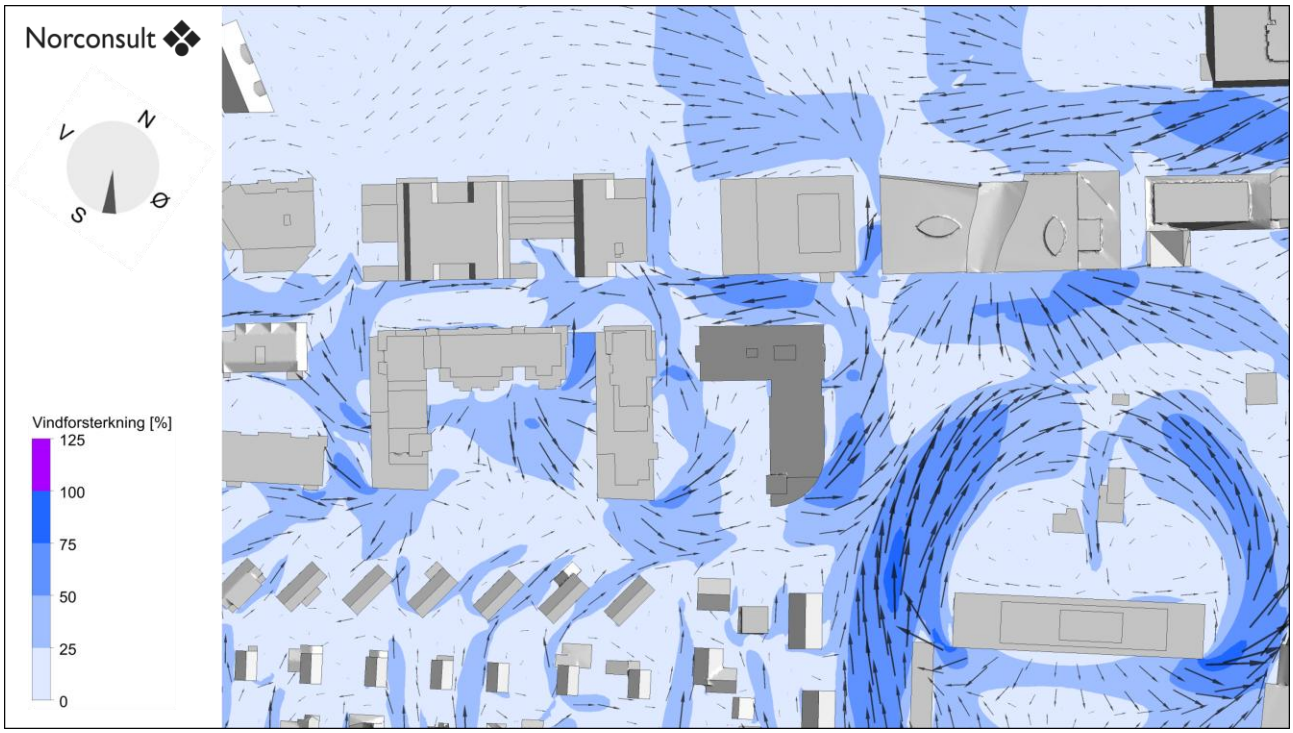
Figur 9-16: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 90°. Med utvidet bygningsmasse.

9.3.5 Vind fra 120°



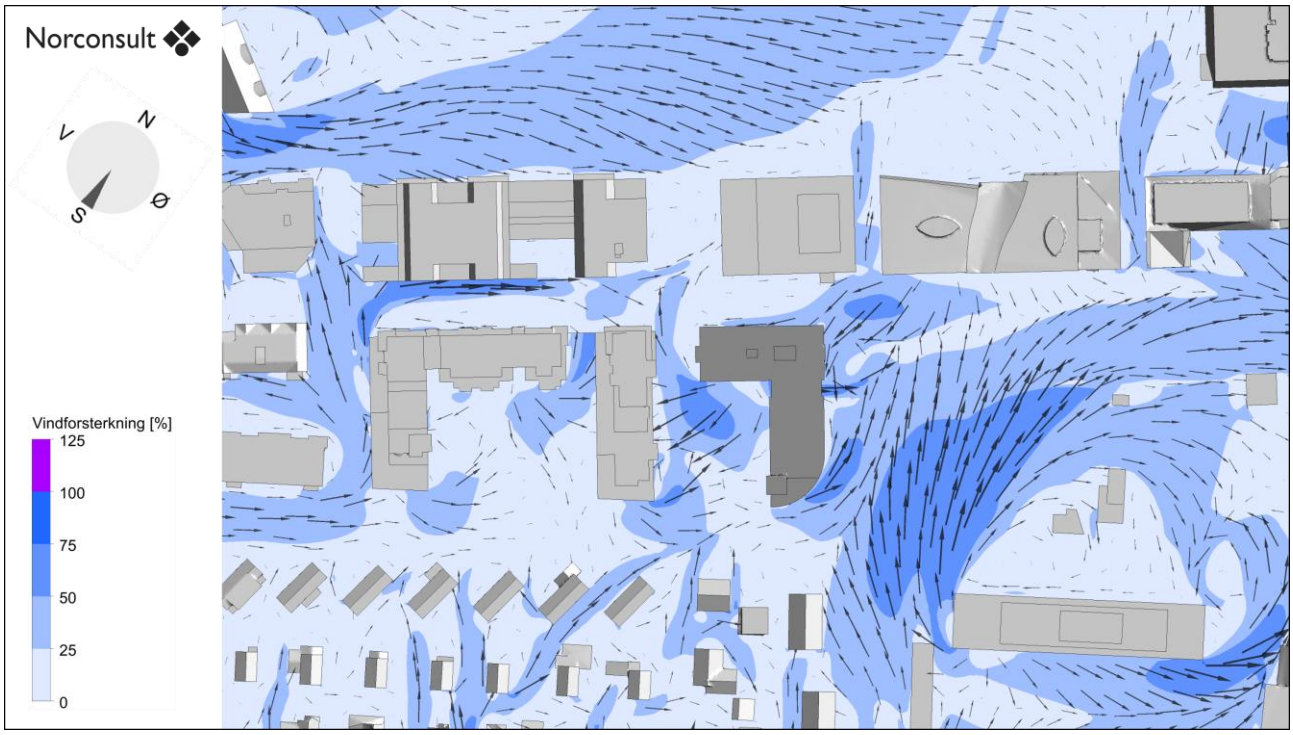
Figur 9-17: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 120°. Med utvidet bygningsmasse.

9.3.6 Vind fra 150°



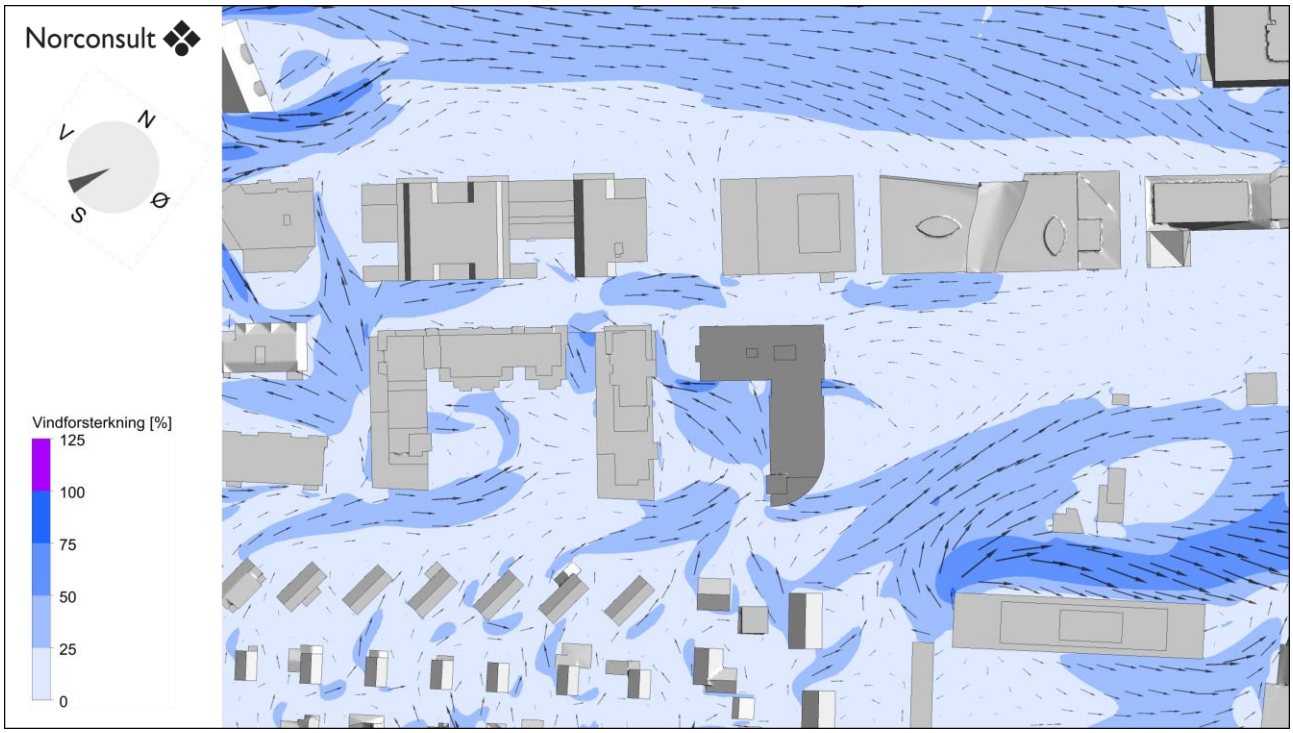
Figur 9-18: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 150°. Med utvidet bygningsmasse.

9.3.7 Vind fra 180°



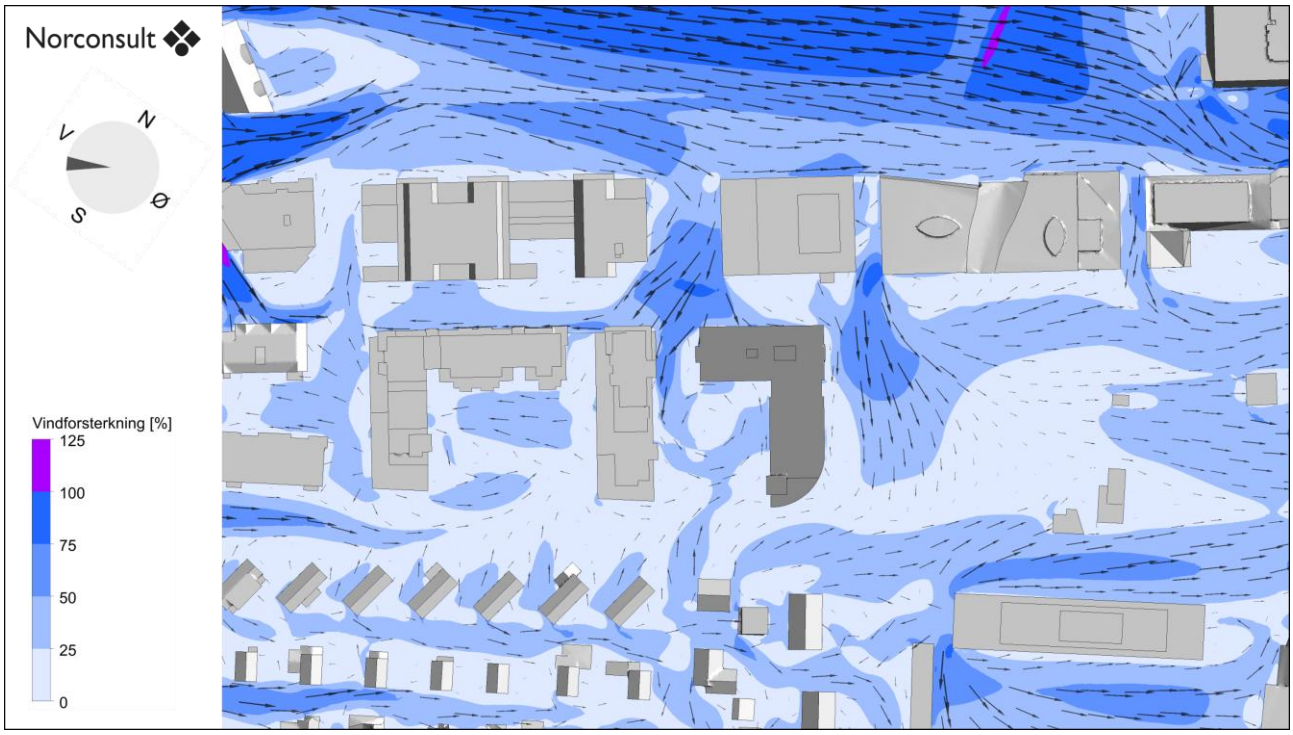
Figur 9-19: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 180°. Med utvidet bygningsmasse.

9.3.8 Vind fra 210°



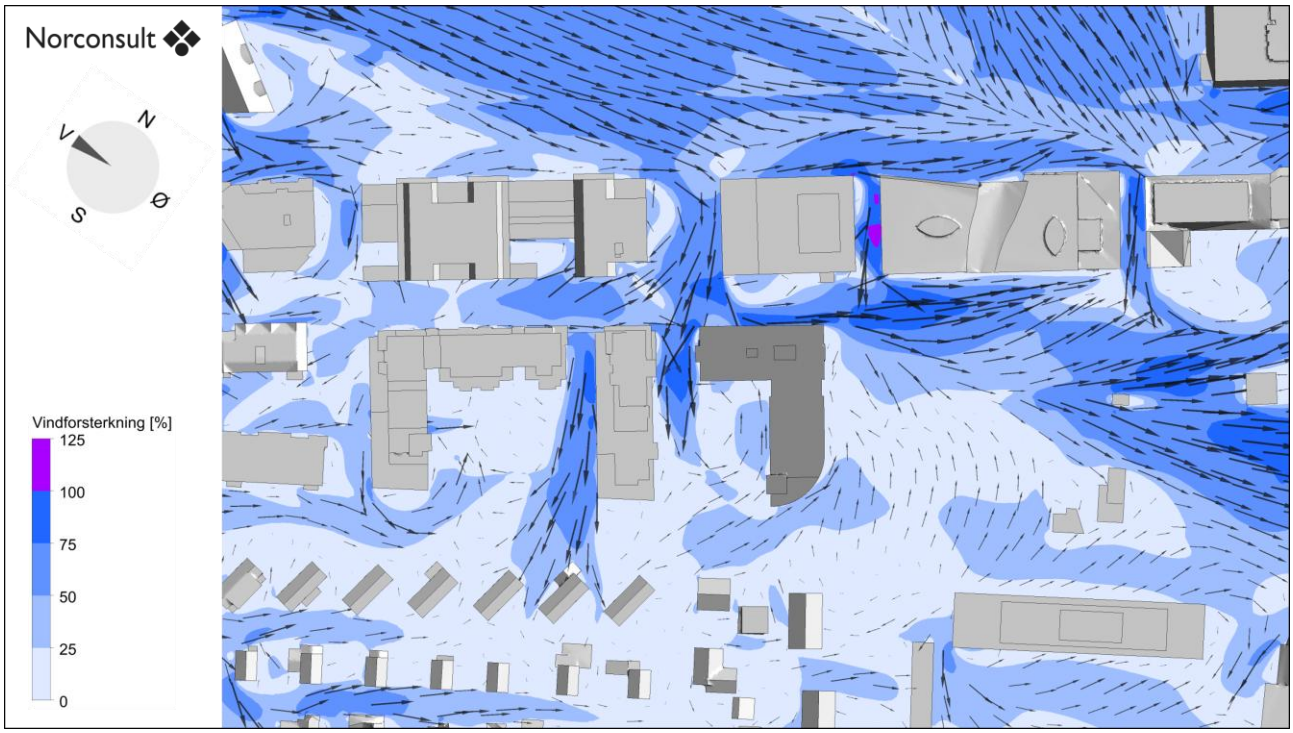
Figur 9-20: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 210°. Med utvidet bygningsmasse.

9.3.9 Vind fra 240°



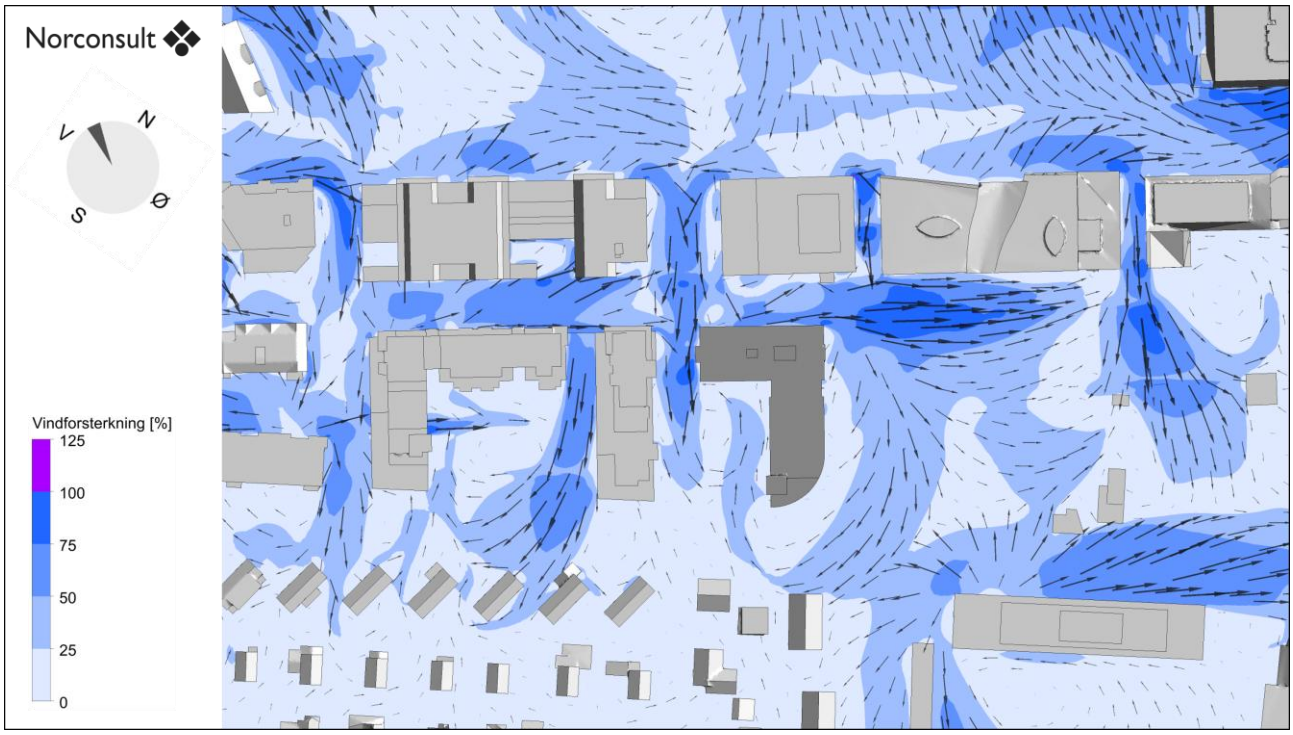
Figur 9-21: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 240°. Med utvidet bygningsmasse.

9.3.10 Vind fra 270°



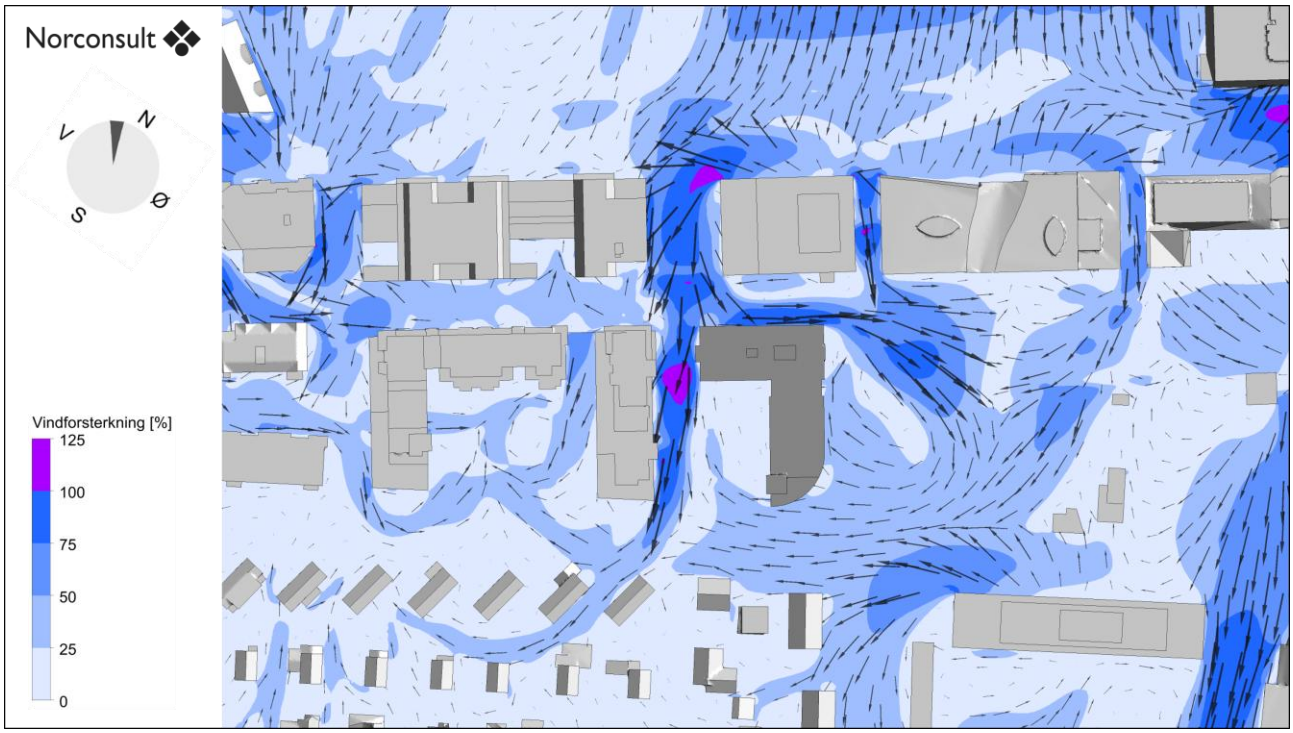
Figur 9-22: Vindforsterkning og strømningspiler i en høyde på 1,5 m ved vind fra 270°. Med utvidet bygningsmasse.

9.3.11 Vind fra 300°



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

9.3.12 Vind fra 330°



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