

Sjøgata 30/32 AS

► **CFD vindanalyse**

Smarthotel Bodø

Oppdragsnr.: 5195928 Dokumentnr.: 5195928-01 Versjon: J01 Dato: 2019-09-20



**Oppdragsgiver:** Sjøgata 30/32 AS  
**Oppdragsgivers kontaktperson:** Terje Wilhelm Winther (Rambøll)  
**Rådgiver:** Norconsult AS, Kjørboveien 22, NO-1337 Sandvika  
**Oppdragsleder:** Nick Pedersen  
**Fagansvarlig:** Bård Venås  
**Andre nøkkelpersoner:**

J01	2019-09-20	For bruk	PNBPe	BVe	PNBPe
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

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

## ► Sammendrag

Det er utført en kvantitativ vindanalyse av planlagt nytt hotell ved Sjøgata 30/32 i Bodø sentrum. Analysen er utført med fokus på strømningsbildet og vindkomfort på bakkeplan i og rundt planområdet.

Resultatene er basert på 3D CFD-simuleringer av området, med en beregning av vindforsterkning for ulike vindretninger og en statistisk behandling av resultatene ved bruk av lokale meteorologisk data. Det er gjort utregninger av gjennomsnittlig vindhastighet, og av vindkomfort og sikkerhet. Analysen er basert på simuleringer for planlagt bygg samt eksisterende nabobygg i området.

Resultatene viser at det planlagte bygget ved Sjøgata 30/32 skaper ingen vindrelaterte problemer, enten i selve planområdet eller for arealene rundt. Vindkomforten og sikkerheten rundt bygget vil være tilsvarende den som oppleves ellers i denne delen av Bodø sentrum.

Det mest vindutsatte stedet som bør tas med i betraktning for Sjøgata 30/32 er byggets nordlige fasade som ligger langs Sjøgata. Her bør eventuelle inngangspartier skjermes fra vinden, enten ved å ha innsunket innganger eller andre skjermende løsninger.

## Innhold

<b>1</b>	<b>Introduksjon</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Vindforhold i området</b>	<b>7</b>
2.1	Beliggenhet	7
2.2	Vindstatistikk	8
<b>3</b>	<b>Definisjoner</b>	<b>10</b>
3.1	Vindkomfort og sikkerhet	10
3.2	Vindforsterkning	11
<b>4</b>	<b>Resultater</b>	<b>12</b>
4.1	Vindforsterkning ved utvalgte retninger	12
4.1.1	<i>Vind fra øst</i>	13
4.1.2	<i>Vind fra vest-sørvest</i>	14
4.2	Gjennomsnittlig hastighet	15
4.3	Vindkomfort og sikkerhet	15
4.3.1	<i>Vindkomfort</i>	16
4.3.2	<i>Sikkerhet</i>	17
<b>5</b>	<b>Diskusjon og anbefalinger</b>	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>19</b>
<b>7</b>	<b>Referanser</b>	<b>20</b>
<b>8</b>	<b>Vedlegg – metode</b>	<b>21</b>
<b>9</b>	<b>Vedlegg – vindforsterkning</b>	<b>24</b>
<b>10</b>	<b>Vedlegg – gjennomsnittlig hastighet</b>	<b>30</b>

# 1 Introduksjon

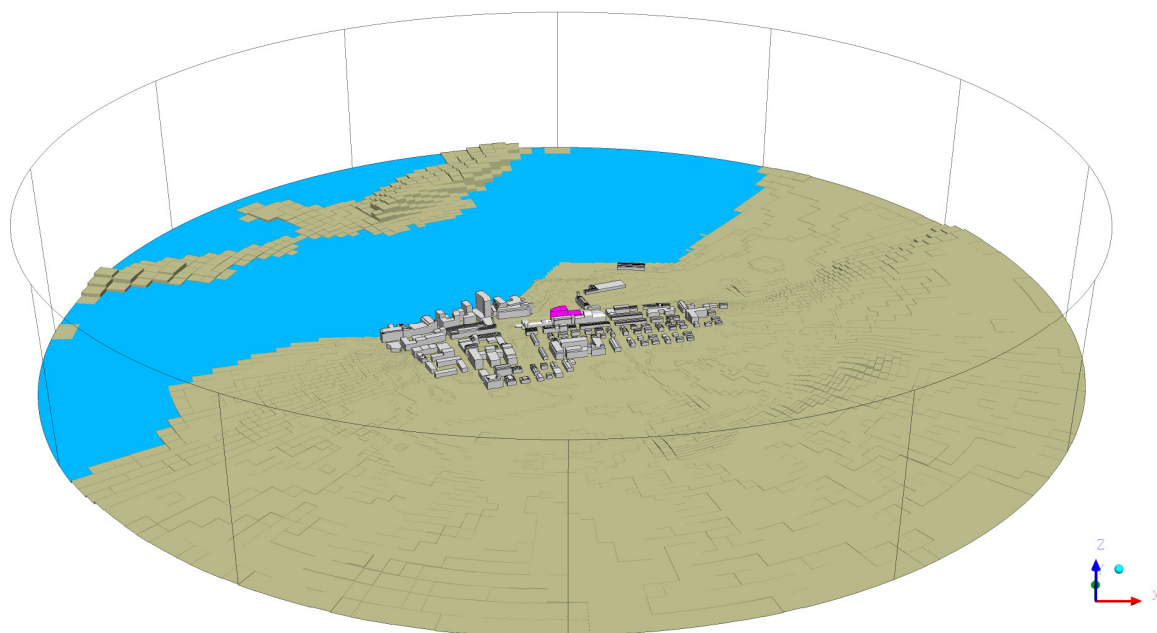
Det er utført en kvantitativ vindanalyse av planlagt bygg ved Sjøgata 30/32 i Bodø sentrum. Resultatene er basert på 3D CFD-simuleringer av området.

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

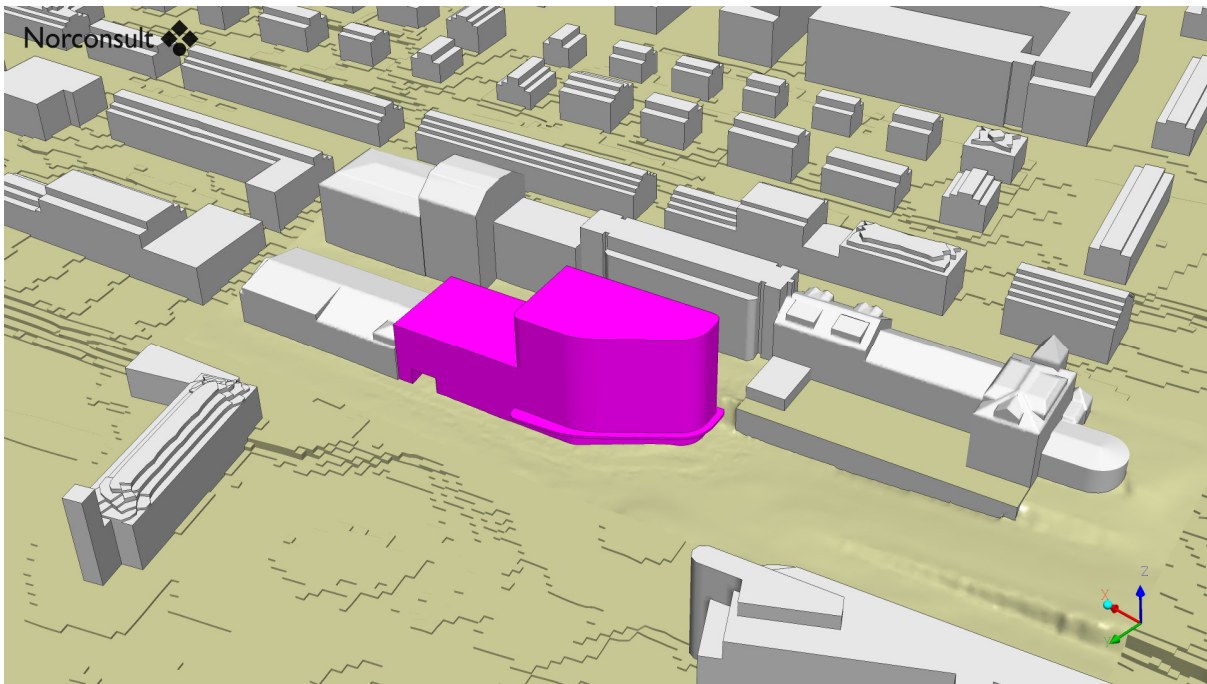
Overordnet sett avhenger vindforhold rundt bygg av byggenes utforming, deres plassering i forhold til hverandre, terrenget og vindstatistikken i området, faktorer som alle tas med i CFD-analysen. Simuleringsresultatene er brukt i en beregning av «lokal vindforsterkning» for samtlige vindretninger og en statistisk behandling av resultatene ved bruk av lokale meteorologisk data.

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

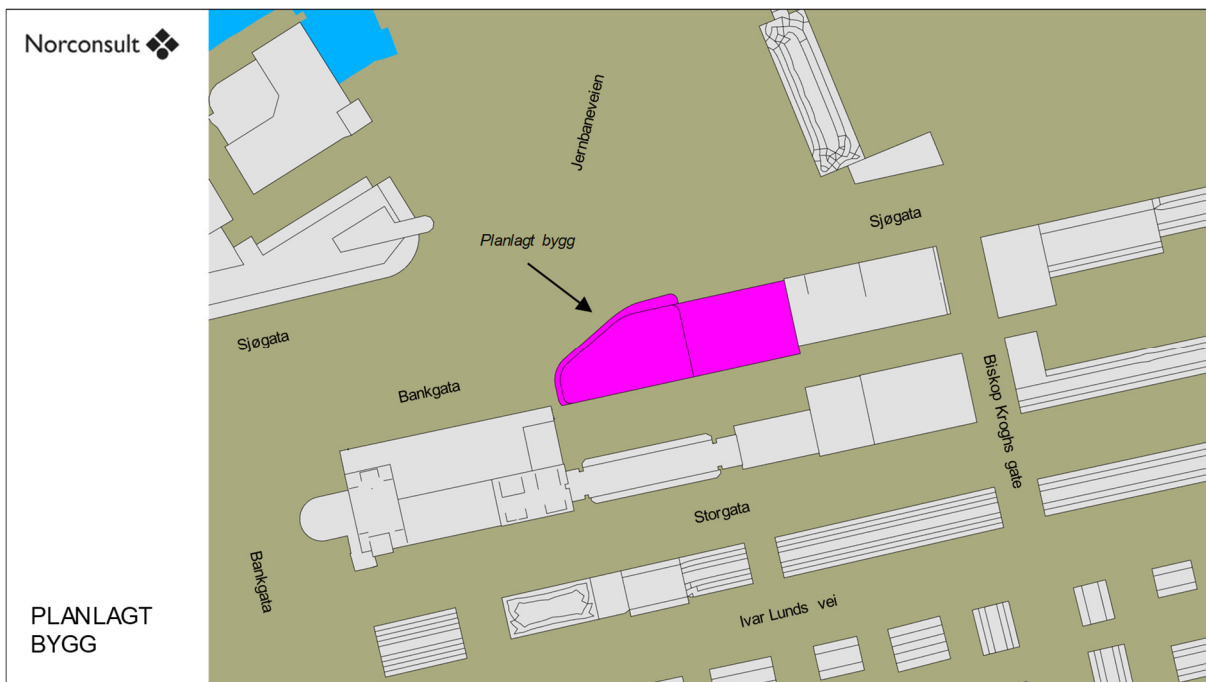
Planlagt bygg er vist med rosa farge i figur 1 – figur 3, og ligger på nordsiden av Bodø sentrum (ved jernbanestasjonen).



Figur 1: Oversikt over CFD-modell for Sjøgata 30/32, sett fra sør.



Figur 2: Oversikt over CFD-modell for Sjøgata 30/32, sett fra nordvest.

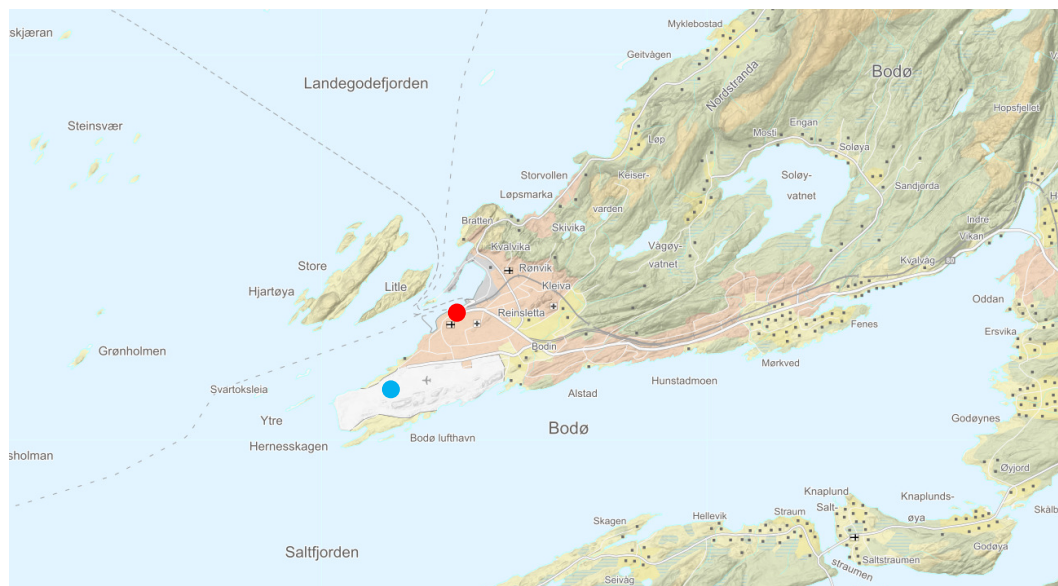


Figur 3: Oversikt over CFD-modell for Sjøgata 30/32, sett fra ovenfra med gatenavn.

## 2 Vindforhold i området

### 2.1 Beliggenhet

Planområdet ligger på nordsiden av Bodø sentrum, rett ved jernbanestasjonen. Planområdet vises med rød prikk i figur 4 og figur 5. Nærmeste meteorologiske stasjon er ved Bodø lufthavn og vises med blå prikk i figur 4.



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



Figur 5: Planområdet vises med rød prikk. (© Kartverket).

## 2.2 Vindstatistikk

Vindroser for Bodø er vist i figur 6. Figuren viser statistisk fordeling av vindretninger som prosentvise andeler av tiden det blåser fra ulike retninger. I disse figurene er de også delt etter vinter- og sommerhalvår. Vindrosene er basert på data fra Meteorologisk institutt målt ved Bodø lufthavn i perioden 1956-2016.

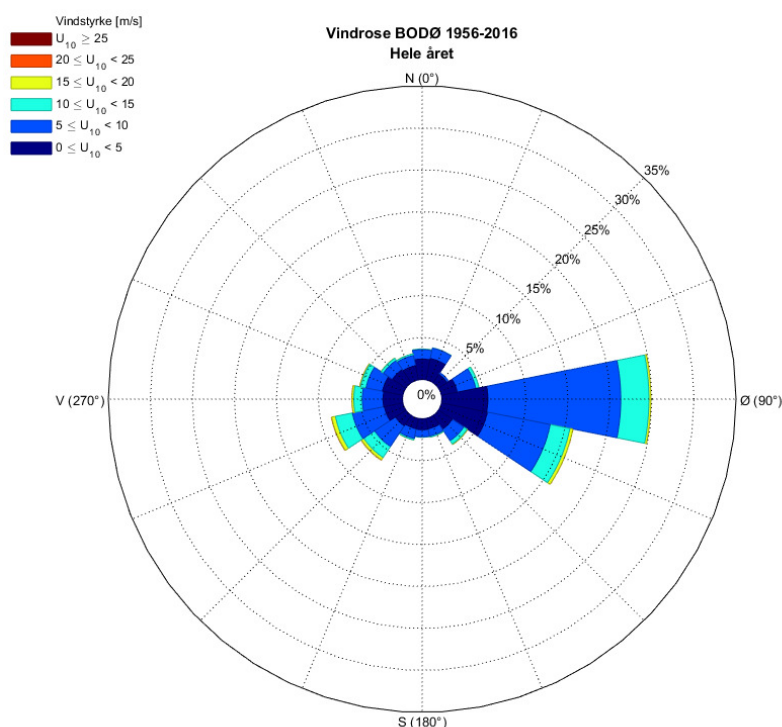
I Bodø er fremherskende vindretninger fra øst og fra vest-sørvest. Vind fra øst er klart den mest dominante vindretningen, og det blåser fra østlige retninger ca. 50 % av året. Det blåser fra vestlige og sør-vestlige retninger ca. 25 % av året.

Gjennomsnittlig vindhastighet er 6,3 m/s. Dette er en høy middelvind, og Bodø er generelt sett et vindutsatt sted. Middelvinden kan for eksempel sammenlignes med et gjennomsnitt på 2,7 m/s i Oslo eller 3,4 m/s i Bergen. Det blåser med hastighet på over 5,0 m/s ca. 60 % av året.

Det er relativt stor forskjell i middelvind for sommer- og vinterhalvåret i Bodø (4,9 m/s for sommer og 7,7 m/s for vinter). De høyeste vindhastighetene (> 15 m/s) forekommer som regel vinterstid fra øst og fra sørvest, men høye hastigheter (10 – 15 m/s) oppleves også om sommeren (5,5 % av sommerhalvåret).

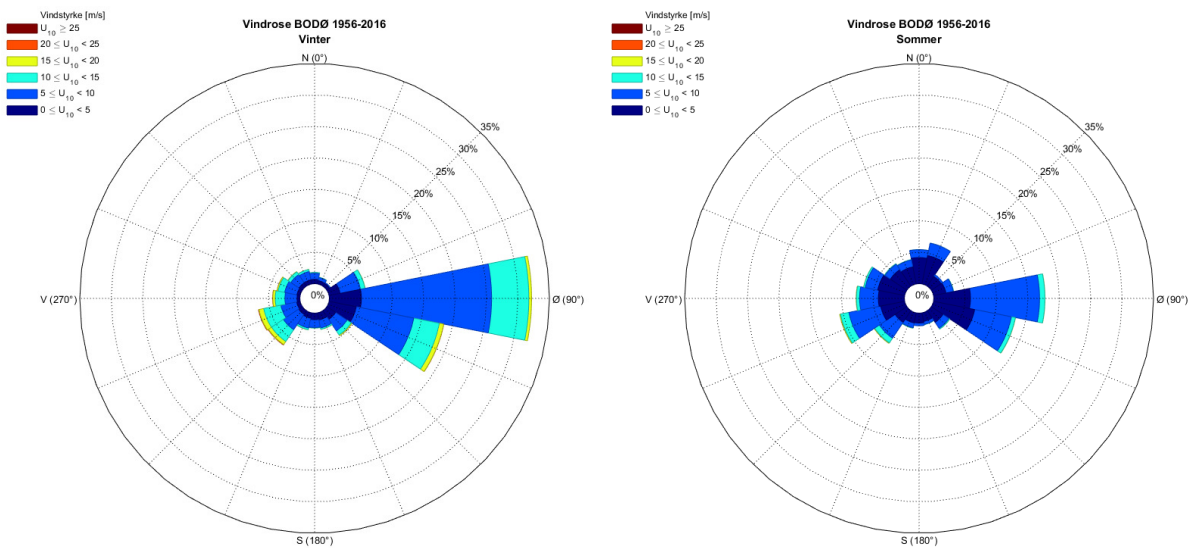
Vindhastighetene det refereres til i meteorologisk data er for øvrig vind i vanlig referansehøyde, 10 meter over bakken.

Vindretning på et sted påvirkes av det lokale terrenget, og dette er spesielt relevant i Bodø. Vinden følger i stor grad Saltfjorden, fordi den styres av og kanaliseres mellom fjellene nord og sør for fjorden.



Figur 6: Vindrose over året, målt ved Bodø lufthavn.

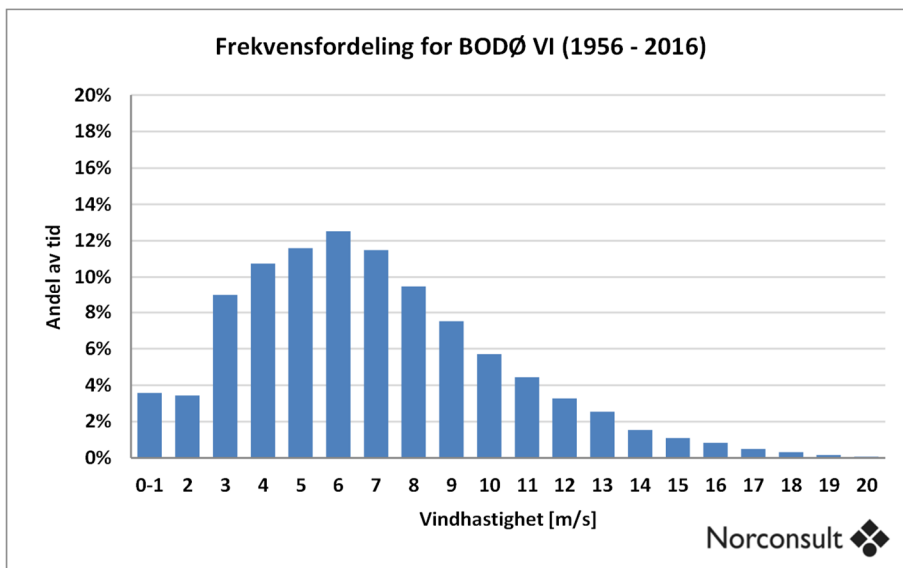




Figur 7: Vindrose for Bodø lufthavn, delt i hhv. vinter- og sommerhalvår.

Meteorologisk stasjon	Observert middelvind (m/s)
BODØ VI	6,3

Tabell 1: Observert middelvind over året.



Figur 8: Andel av året ulike vindhastigheter forekommer for Bodø.

## 3 Definisjoner

### 3.1 Vindkomfort og sikkerhet

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

En persons opplevelse og bedømmelse av når vinden begynner å bli plagsom er subjektivt, og det finnes flere metoder for analyse av vindkomfort (se f.eks. [Blocken and Carmeliet, 2004]). Vindkomfort-begrepet tar ikke for seg komfort relatert til termiske eller akustiske effekter, men disse faktorene kan også spille en viktig rolle i overordnet «komfort».

Et av de mest utbredte sett med komfortkriterier brukt som industristandard for vindanalyser i dag er fra Lawson [Lawson, 1990]. Disse kriteriene definerer seks komfortklasser basert på timemidlet vindhastighet i kroppshøyde (1,5 m). Komfortklassene definerer grenser for akseptable hastigheter for forskjellige aktiviteter og områder (tabell 2). Grensene er et resultat av omfattende forskning.

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

Timemidlet vindhastighet i kroppshøyde 95 % av året	Komfort-klasse	Aktivitetskategori	Områdebeskrivelse
< 2 m/s	A	Sitte – lange opphold	Steder for stillesittende bruk som er behagelig stort sett hele året. Bra egnet for lange opphold som private balkonger eller uteservering.
2 – 4 m/s	B	Sitte	Steder for stillesittende bruk som er behagelig store deler av året. Utendørs fellesområder, parker, og sittegrupper.
4 – 6 m/s	C	Stå	Steder der man befinner seg over kortere tid og godtar noe økt vind. Inngangspartier, holdeplasser for kollektivtransport.
6 – 8 m/s	D	Gå	Steder der folk skal kunne gå uten ubehag. På fortau, ned promenader, gjennom shoppingområder, i byen osv.
8 – 10 m/s	E	Rask gange	Steder som er vindutsatt, men der man kun skal gå raskt gjennom. Eksponerte områder som brede hovedveier og parkeringsplasser.
> 10 m/s	F	-	Ukomfortabelt for alle.

Tabell 2: Lawsons kriterier for vindkomfort [Lawson, 1990].

I tillegg til komfort definerer Lawsons kriterier også grenser for når vinden påvirker menneskers evne til å gå eller holde balansen. Sikkerhetsklasser defineres basert på maksimal timemidlet vindhastighet opplevd i kroppshøyde 99.978 % av året. Dette betyr at hvis gitte vindhastigheter oppstår på bakkeplan mer enn to timer i året, er området ansett å ha redusert sikkerhet iht. tabell 3:

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

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

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

### 3.2 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 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 en vindforsterkningsverdi på 50 % kan anses som en grenseverdi på et bra skjermet sted i et byområde.

## 4 Resultater

Det er kjørt simuleringer for 12 vindretninger. Vindforsterkning er kalkulert for hver vindretning. Resultatene har deretter vært behandlet sammen med vindstatistikk fra Meteorologisk institutt for å gi fordeling av middelvind over året, samt klassifisering av komfort og sikkerhet.

### 4.1 Vindforsterkning ved utvalgte retninger

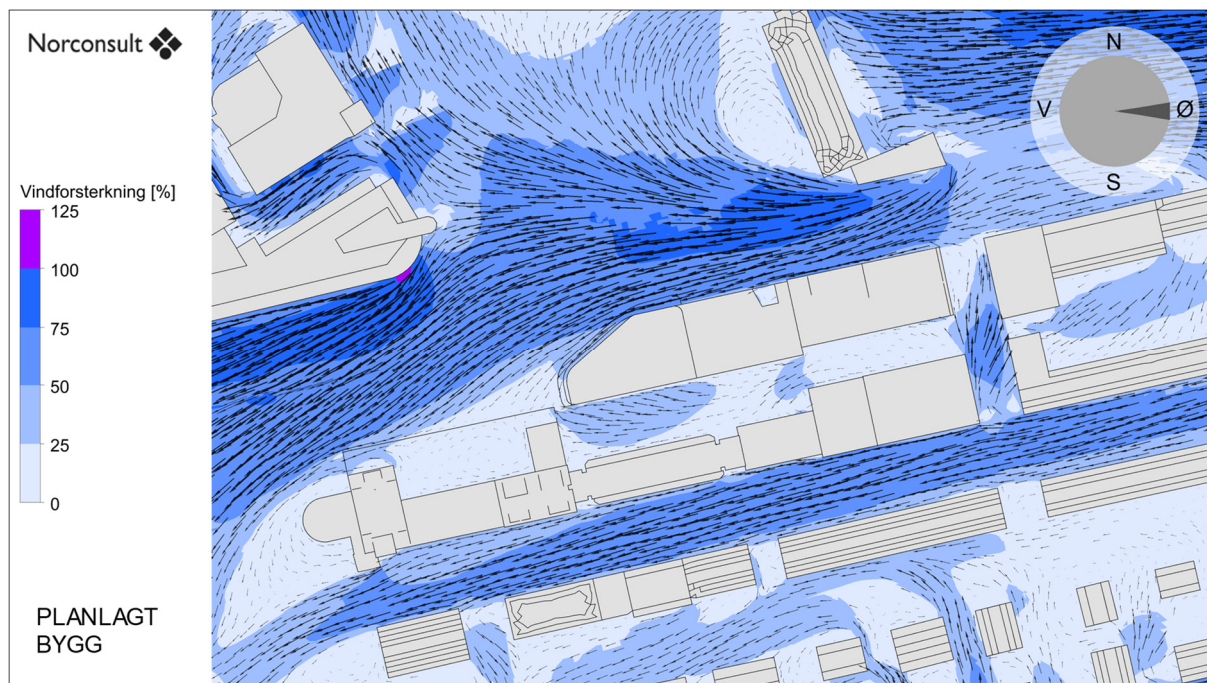
I dette delkapitlet presenteres resultater ved vind fra utvalgte og interessante vindretninger for å gi en forståelse av strømningsbildet i og rundt planområdet. Figurer for resterende vindretninger finnes i vedlegg.

#### 4.1.1 Vind fra øst

Vind fra øst (figur 9) er den klart dominante vindretningen i området både sommerstid og vinterstid.

Når det blåser fra øst samles vinden i gateløpene som er orientert øst/vest, dvs. Sjøgata og Storgata. Vinden presses mellom jernbanestasjonen og eksisterende bygg ved Sjøgata 34, og blåser ut over rundkjøringen som kobler Sjøgata med Jernbaneveien og Bankgata. Vindforsterkningen er her på opptil 100 %, mens vindforsterkning i Sjøgata og Bankgata for øvrig ligger på 50 – 75 %. Etter rundkjøringen treffer vinden det avrundede hjørnet på nabobygget nordvest for planområdet (kontorene til NAV), hvor vinden akselereres på nytt med en vindforsterkning på 75 – 100 % (og et lite lilla parti med > 100 %). I Storgata ligger vindforsterkningen på 50 – 75 %.

Dette er det generelle strømningsbildet i disse kvartalene, og ved vind fra øst skaper ikke det planlagte bygget noen spesifikke vindrelaterte problemer.



Figur 9: Vindforsterkning og strømningspiler i kroppshøyde ved vind fra øst.

#### 4.1.2 Vind fra vest-sørvest

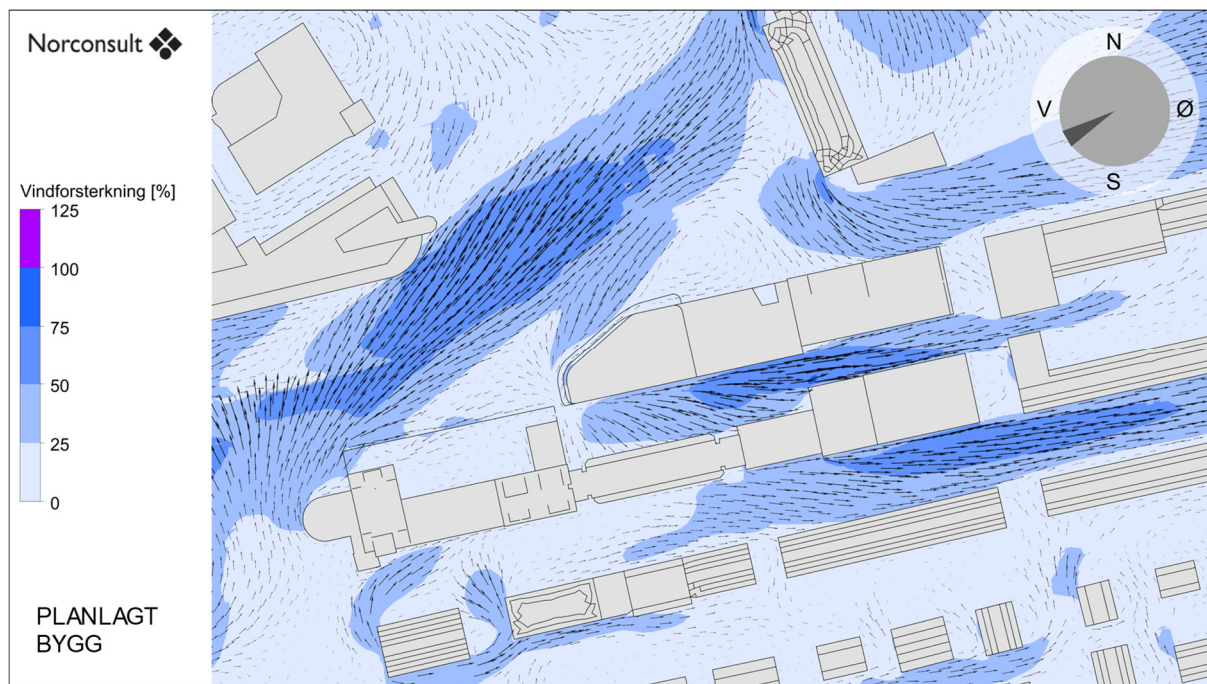
Vind fra vest-sørvest (figur 10) er den andre fremherskende vindretningen i Bodø, som forekommer oftere sommerstid enn vinterstid.

Ved vind fra denne retningen er planområdet relativt bra skjermet fra vinden av bygningsmassene i sentrumsområdet mot sør og sørvest. Dette vises med de generelt sett lavere vindforsterkningsverdiene i figur 10 sammenlignet med i figur 9.

Vinden blåser inn nordover i Bankgata og på skrått mot nordøst over Sjøgata (vindforsterkning på 50 – 75 %).

Vinden presses gjennom passasjen på sørsiden av det planlagte bygget og gir også her vindforsterkning på 50 – 75 %.

Som ved vind fra øst så skaper ikke det planlagte bygget noen nevneverdige problemer i strømningsbildet ved vind fra vest-sørvest.



Figur 10: Vindforsterkning og strømningspiler i kroppshøyde ved vind fra sør-sørøst.

## 4.2 Gjennomsnittlig hastighet

Ved å kombinere vindstatistikken med vindforsterkningsresultatene for alle simulerte vindretninger, kan man beregne gjennomsnittlig hastighet i kroppshøyde mellom byggene, fordelt på sommer- og vinterhalvår. Disse resultatene diskuteres ikke individuelt og er lagt som vedlegg til rapporten. Resultatene brukes derimot videre i beregning av vindkomfort- og sikkerhetskart, som presenteres her.

## 4.3 Vindkomfort og sikkerhet

Kartlegging av vindkomfort og vindrelatert sikkerhet er sluttproduktet av vindanalysen. Vindkomfort- og sikkerhetskart er beregninger som tar for seg effekten av strømningsbildet rundt byggene samt hyppighet av vindretning og styrke gjennom året.

Byggenes overordnede vindpåvirkning kan vurderes ut fra figur 11 - figur 12.

### 4.3.1 Vindkomfort

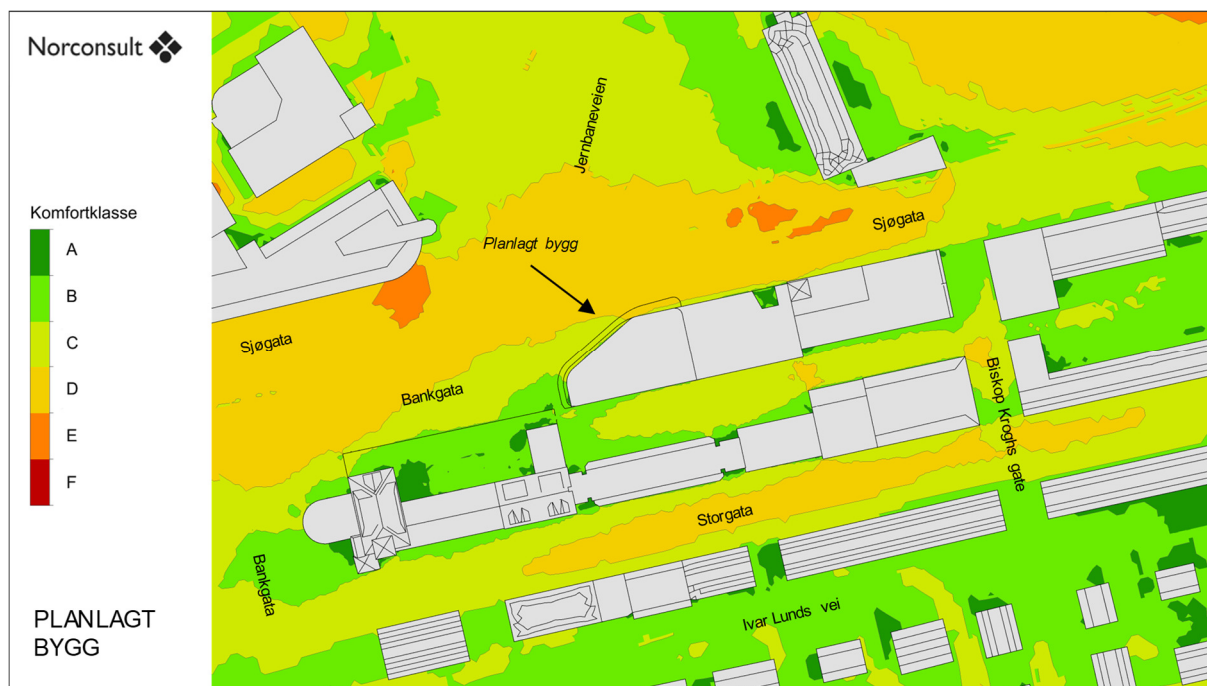
Resultatene viser at det er komfortklasse B, C og D som gjelder for store deler av området vist i figur 11. Det er ingen områder som er klassifisert som ukomfortable (klasse F).

De mest vindutsatte stedene er Sjøgata (klasse D), Storgata (klasse C og D), og to mindre områder i Sjøgata med klasse E (i nærheten av sørlig hjørne av jernbanestasjonen og ved hjørnet på nabobygget nordvest for planlagt bygg). Der det er klasse D er det akseptabelt for gående. I feltene med klasse E er det ikke komfortabelt for opphold, men fremdeles egnet for rask gange.

Der det er klasse C eller bedre, som stort sett er tilfelle langs alle bygningsfasader unntatt de i Sjøgata, passer det med inngangspartier eller holdeplasser uten vindskjermende tiltak. Inngangspartier for bygg langs Sjøgata bør derimot skjermes fra vinden, enten ved å ha tilbaketrukne innganger eller andre skjermende løsninger.

Områder med klasse B eller bedre er passende for stillesittende opphold uten vindskjermende tiltak.

I vår vurdering, basert på figur 11, vil det planlagte bygget ved Sjøgata 30/32 ikke medføre negativ påvirkning på vindkomforten i arealene rundt planområdet.



Figur 11: Vindkomfortkart i kroppshøyde for bakkeplan.

Klasse	Aktivitetskategori	Passer for
A	Sitte – lange opphold	Privat balkong, uteservering
B	Sitte	Park, fellesområde, sittegruppe
C	Stå	Inngangsparti, holdeplass
D	Gå	Fortau, gågate, shoppingområde
E	Rask gange	Eksponerte områder som veier og parkeringsplasser
F	-	Ukomfortabelt for alle

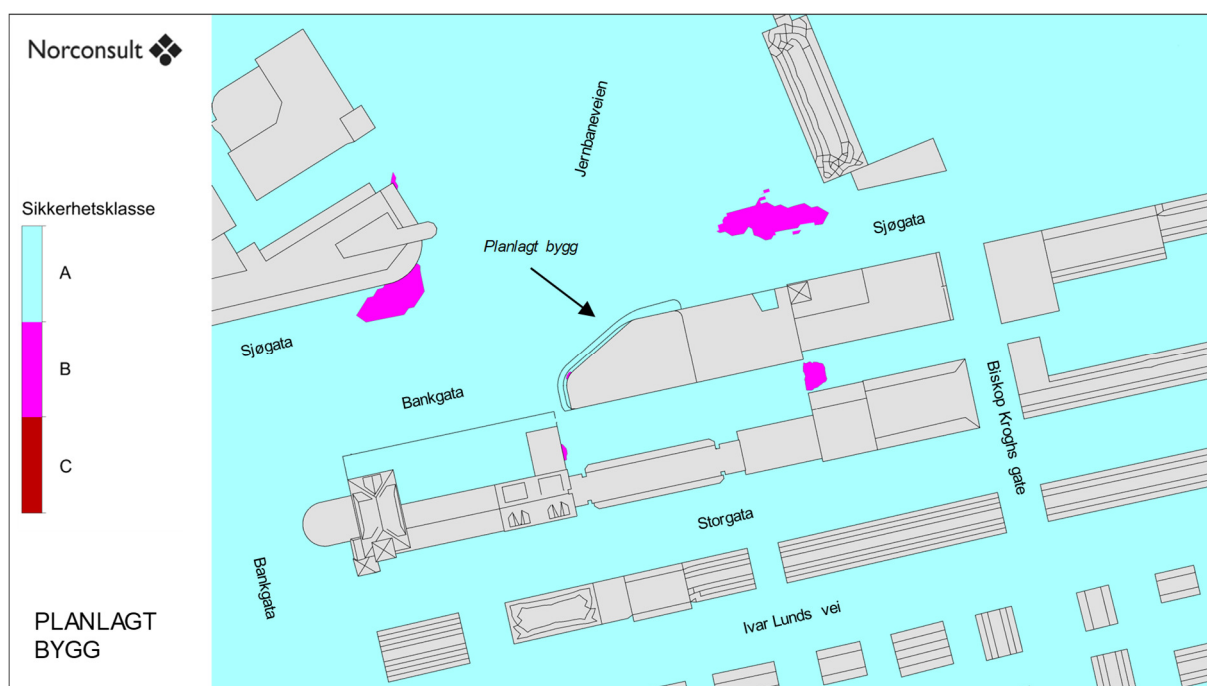
Tabell 4: Lawsons kriterier for vindkomfort, forenklet (se delkapittel 3.1).



### 4.3.2 Sikkerhet

Sikkerhetskartet (figur 12) viser at det er klasse A som gjelder for nesten hele området (altså god sikkerhet for den generelle befolkningen). Det er tre områder der man ser sikkerhetsklasse B: ved sørlig hjørne av jernbanestasjonen, ved avrundet hjørne på NAV-bygget og i smuget rett sørøst for det planlagte bygget. Disse feltene er klassifisert som å ha et redusert sikkerhetsnivå for spesielt utsatte mennesker på dager der det blåser kraftig. Med spesielt utsatte menes det f.eks. eldre mennesker, mennesker med redusert balanse, eller syklister. Områder med klasse B er fremdeles klassifisert som å ha god sikkerhet for befolkning i god helse.

Ingen av disse tre utpekte områdene er etter vår vurdering forårsaket av det planlagte bygget ved Sjøgata 30/32, dog det har mest sannsynlig en styrkende effekt på vindforsterkningen rett sørøst for bygget (mellom planlagt bygg og eksisterende nabobygg).



Figur 12: Sikkerhetskart i kroppshøyde for bakkeplan.

Klasse	Beskrivelse
A	God sikkerhet for generell befolkning
B	Redusert sikkerhet for spesielt utsatte, som syklister eller eldre mennesker
C	Redusert sikkerhet for generell befolkning

Tabell 5: Lawsons kriterier for vindsikkerhet, forenklet (se delkapittel 3.1).

## 5 Diskusjon og anbefalinger

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

Det planlagte bygget ved Sjøgata 30/32 skaper ingen vindrelaterte problemer, verken i selve planområdet eller for arealene rundt. Vindkomforten og sikkerheten rundt bygget vil være tilsvarende den som oppleves ellers i denne delen av Bodø sentrum.

Det mest vindutsatte stedet som bør tas med i betraktning for Sjøgata 30/32 er byggets nordlige fasade som ligger langs Sjøgata. Her bør eventuelle inngangspartier skjermes fra vinden, enten ved å ha tilbaketrukne innganger eller andre skjermende løsninger.

## 6 Konklusjon

Det er utført en kvantitativ vindanalyse av planlagt nytt hotell ved Sjøgata 30/32 i Bodø sentrum. Analysen er utført med fokus på strømningsbildet og vindkomfort på bakkeplan i og rundt planområdet.

Resultatene er basert på 3D CFD-simuleringer av området, med en beregning av vindforsterkning for ulike vindretninger og en statistisk behandling av resultatene ved bruk av lokale meteorologisk data. Det er gjort utregninger av gjennomsnittlig vindhastighet, og av vindkomfort og sikkerhet. Analysen er basert på simuleringer for planlagt bygg samt eksisterende nabobygg i området.

Resultatene viser at det planlagte bygget ved Sjøgata 30/32 skaper ingen vindrelaterte problemer, enten i selve planområdet eller for arealene rundt. Vindkomforten og sikkerheten rundt bygget vil være tilsvarende den som oppleves ellers i denne delen av Bodø sentrum.

Det mest vindutsatte stedet som bør tas med i betraktning for Sjøgata 30/32 er byggets nordlige fasade som ligger langs Sjøgata. Her bør eventuelle inngangspartier skjermes fra vinden, enten ved å ha innsunket innganger eller andre skjermende løsninger.

## 7 Referanser

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

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

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

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

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

Ved slike simuleringer er turbulensmodellering og konstruksjon av beregningsnett (engelsk «mesh» eller «grid») svært viktig for løsningens kvalitet. I dette arbeidet er det benyttet RANS<sup>1</sup>-modellering med en SST<sup>2</sup> 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. Resultatene er brukt videre i en statistisk beregning for middelvind for området, samt for vindkomfort og sikkerhet, analysert iht. internasjonal standard.

### 8.2 Beregningsmodell

Beregningsmodellen ble konstruert ut fra CAD-modell av planområdet, samt digital terrengdata. Den endelige modellen er vist i figur 13.

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

Nabobygg i en radius på ca. 300 m rundt planområdet er inkludert i modellen. Bygninger lengre vekk enn dette ble modellert som en økt effektiv terrengruhet.

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

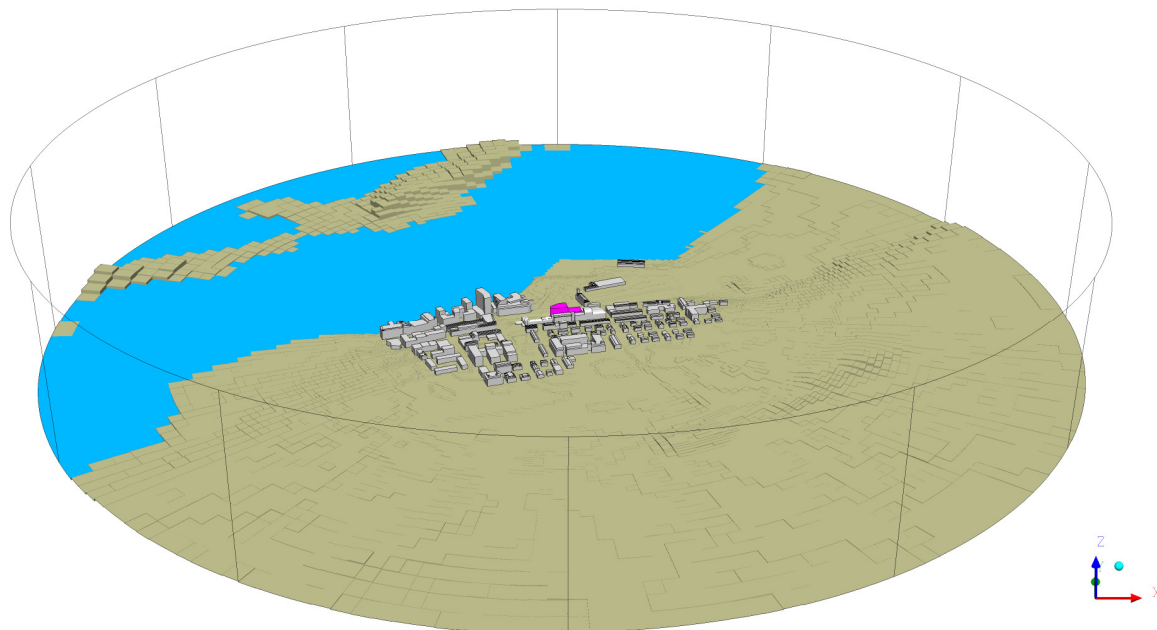
I dette tilfelle var total diameter på simulert område ca. 2,0 km.

Det er ikke tatt med eksisterende beplantning i modellen. Beplantning vil som ofte, men ikke alltid, hjelpe dempe vinden, og resultatene fra analysen vil dermed være konservative med tanke på vindhastigheter på bakkeplan.

---

<sup>1</sup> Reynolds-averaged Navier-Stokes, dvs. Reynoldsmidlet Navier-Stokes.

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



Figur 13: Oversikt over CFD-modellen. Sett fra sør.

### 8.3 Modelloppsett og grensebetingelser

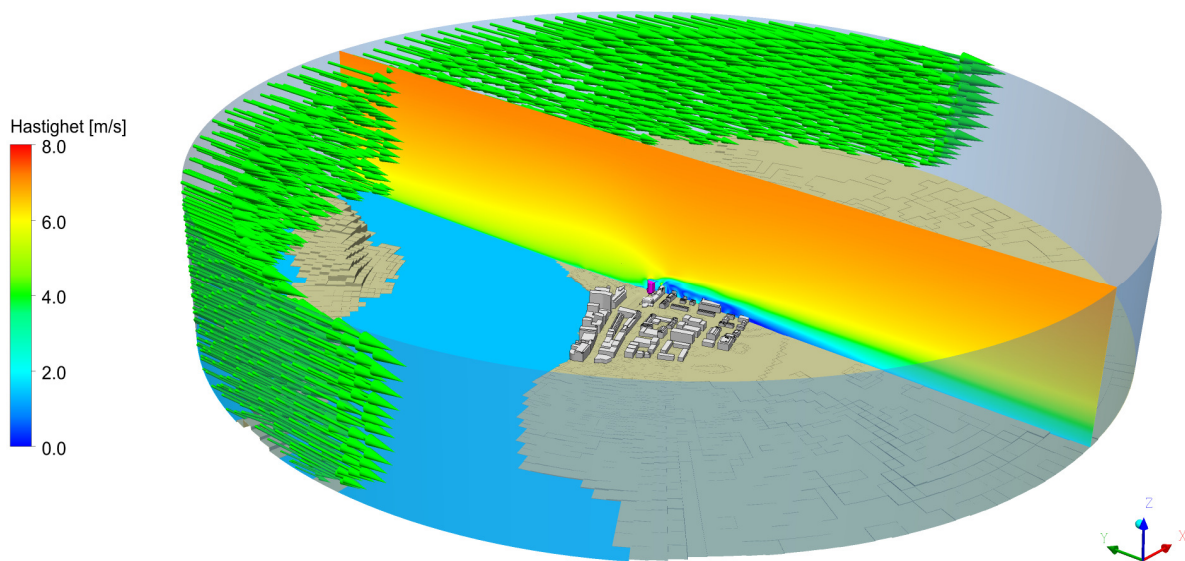
For alle innløp, utløp, og overflater i modellen må et antall fysiske forhold spesifiseres. I dette tilfellet ble vindhastighet, vindretning og turbulensvariable (k og epsilon) spesifisert for den siden vinden kommer fra. For utløpet på nedstrøms side, samt toppen av volumet, ble det definert trykkbetingelser 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 14 ved vind fra nord. Vindhastighet og turbulens på innløpet er låst til profilene vist i figur 15. Profilet er satt opp for å svare til karakteristiske forhold i den aktuelle typen terreng og bakken er representert med en aerodynamisk ruhet som stemmer godt overens med dette profilet og fullskaladata [Counihan, 1975 og Fundamentals of Atmospheric Modeling, 2005].

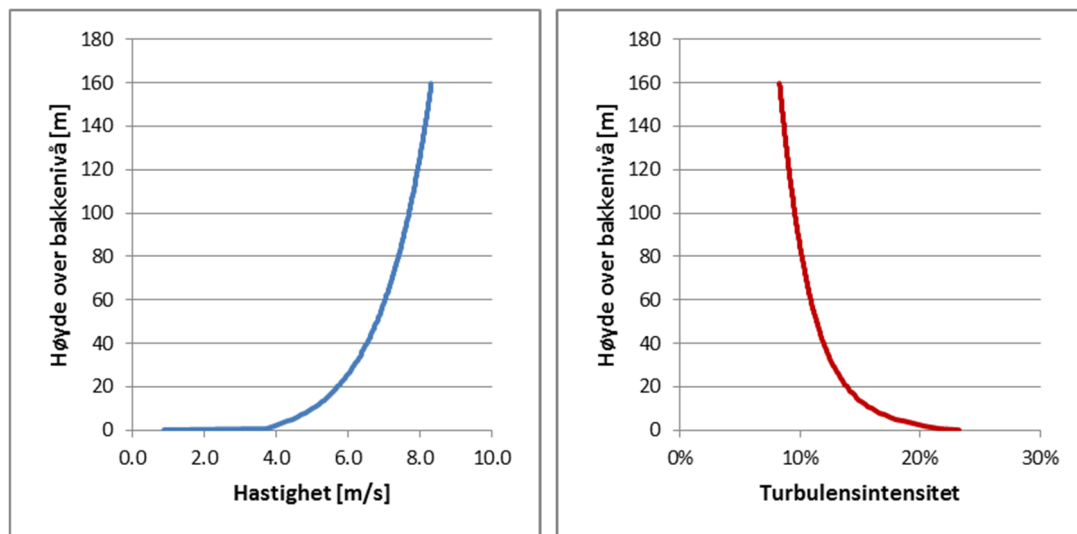
Grensebetingelse	Verdi
Innløp	Atmosfærisk hastighets- og turbulensprofil (se figur 15)
Utløp og toppen av domenet	Trykk betingelse (0 Pa relativ trykk)
Vindstyrke ved 10 m høyde	5 m/s
Vindretninger	0° - 330°, med 30° intervall
Ruhet på bakken («sandgrain») <sup>3</sup>	9,0 m for terreng utenfor den sentrale sonen der bygninger er modellert eksplisitt. 0,03 m for vannoverflate.

Tabell 6: Grensebetingelser brukt i CFD-beregningene.

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



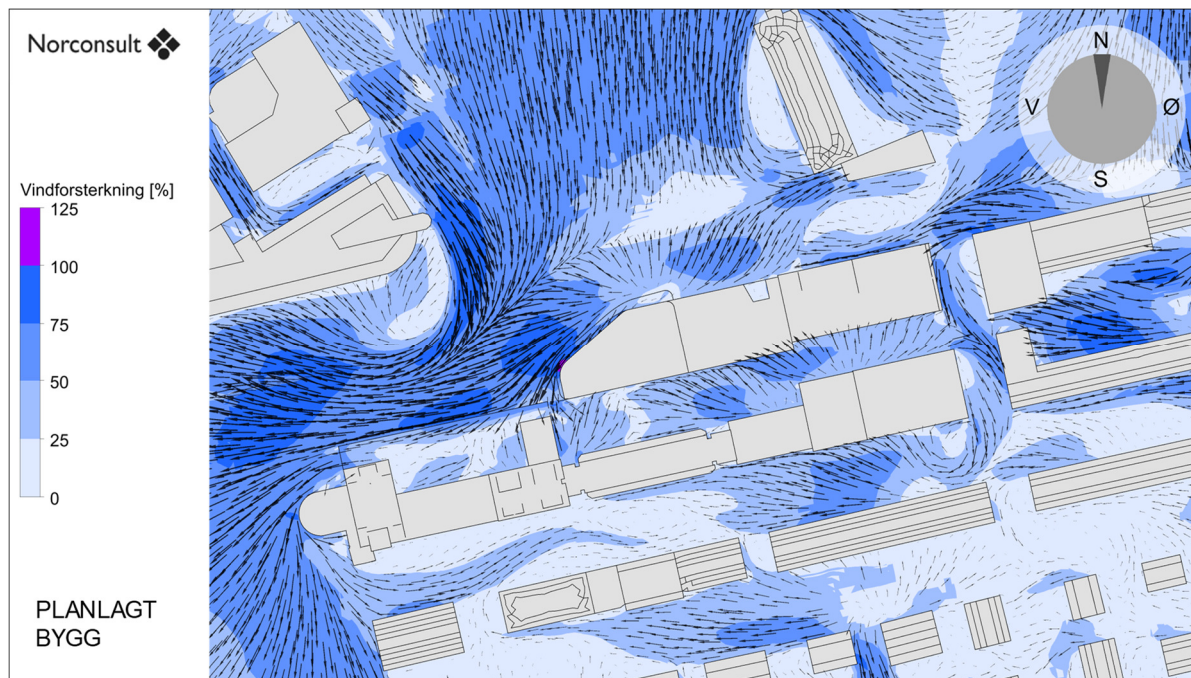
Figur 14: Modellvolum med illustrasjon av grensebetingelser (her med vind fra nord)



Figur 15: Grensebetingelser for hastighet og turbulens, her vist med en ruhet langs bakken som tilsvarende en implisitt modellering av nabobebyggelse. Profiler basert på ruhetslengden av vannoverflate er også brukt i analysen, men er ikke vist her.

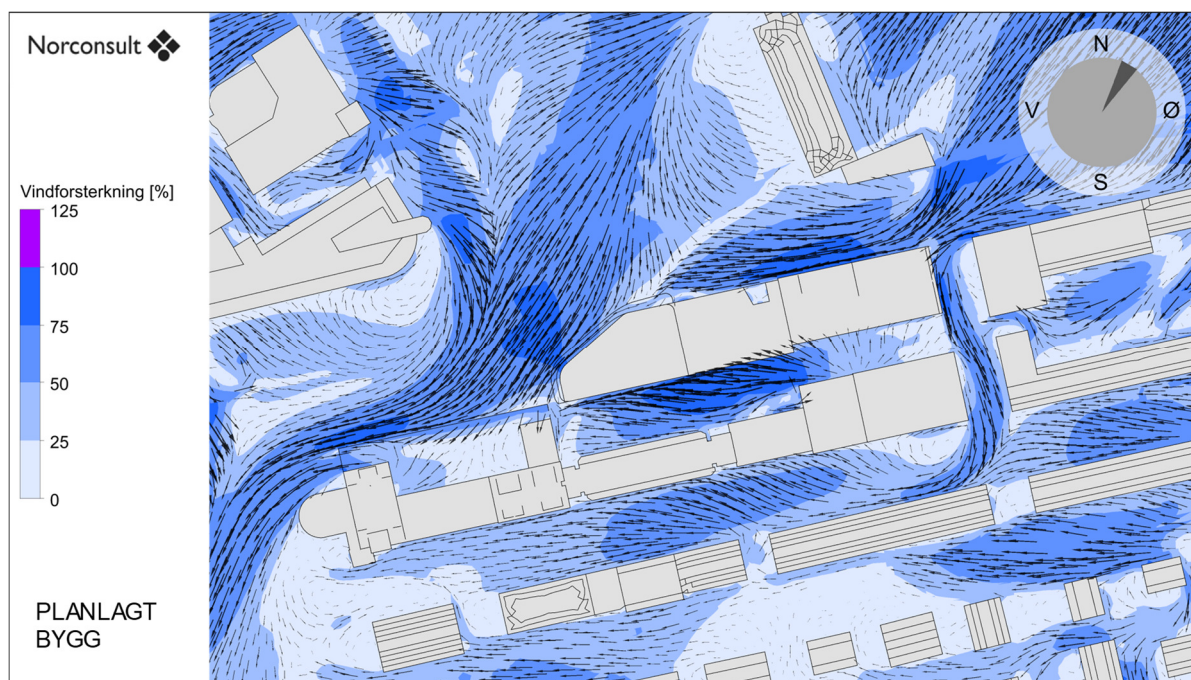
## 9 Vedlegg – vindforsterkning

### 9.1 Vind fra 0°



Figur 16: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 0°.

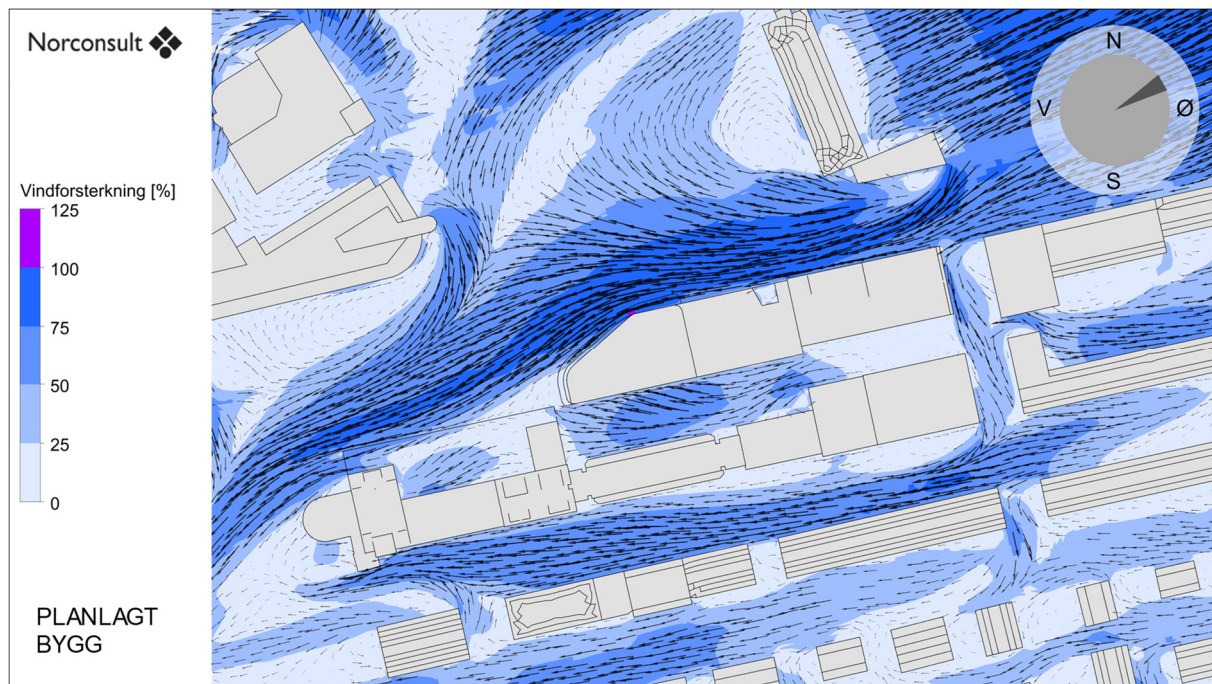
### 9.2 Vind fra 30°



Figur 17: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 30°.

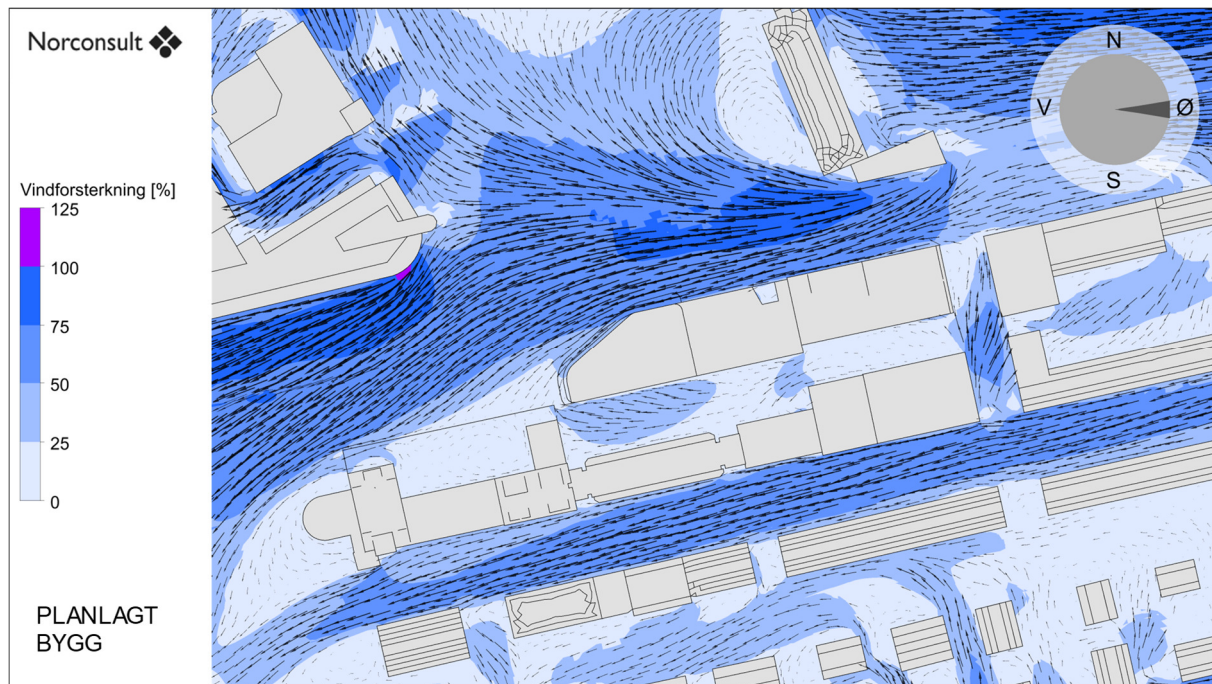


### 9.3 Vind fra 60°



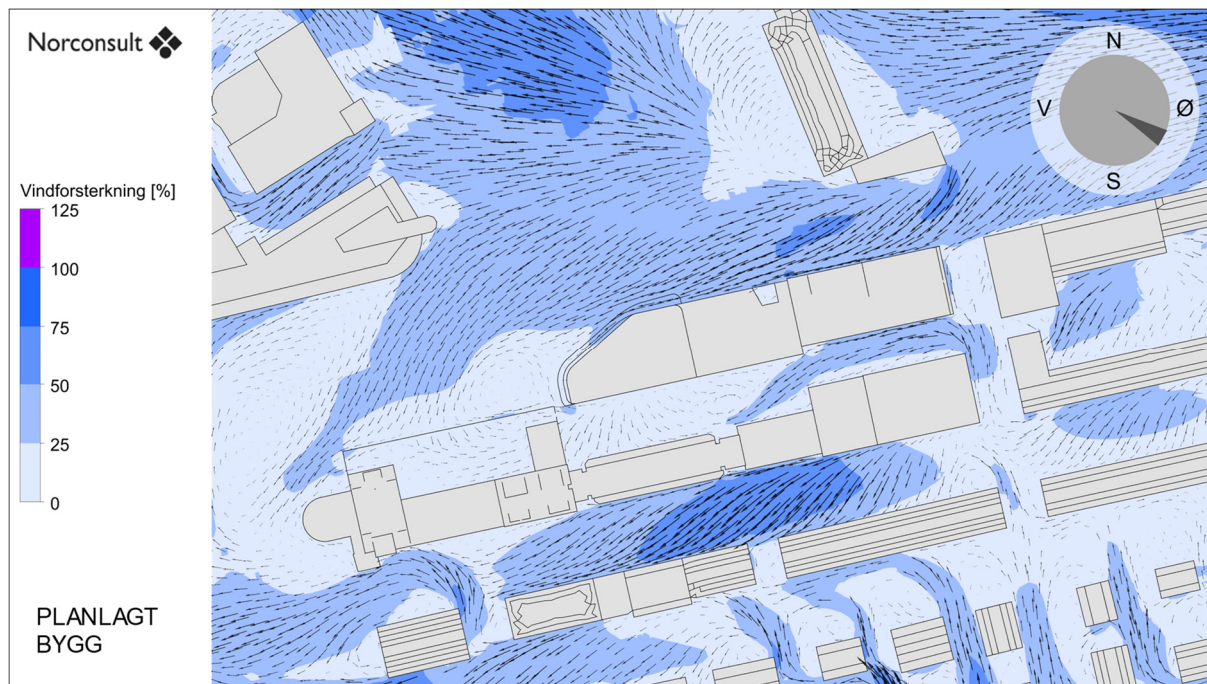
Figur 18: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 60°.

### 9.4 Vind fra 90°



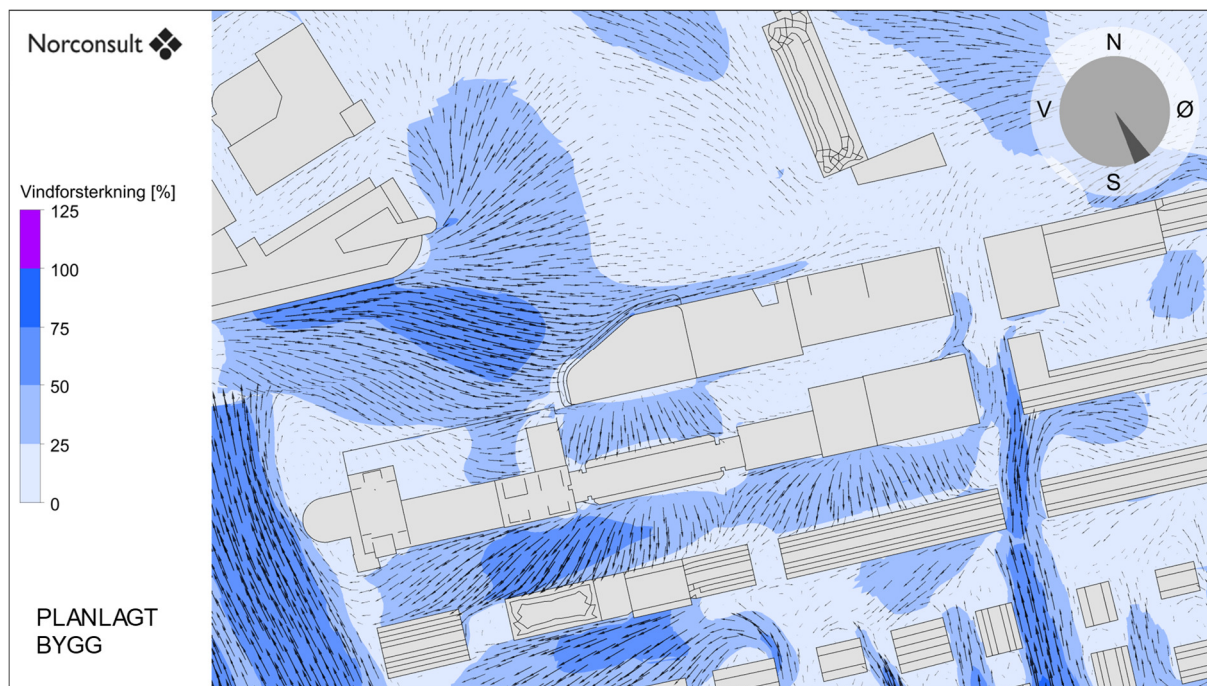
Figur 19: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 90°.

## 9.5 Vind fra 120°



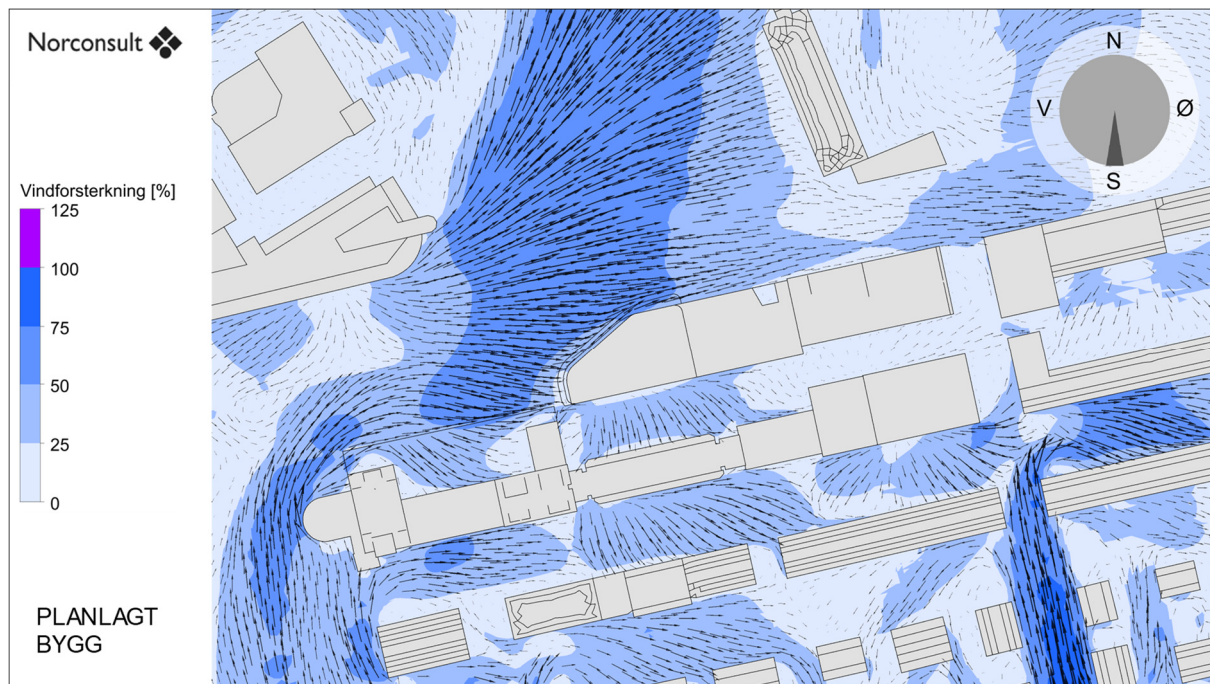
Figur 20: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 120°.

## 9.6 Vind fra 150°



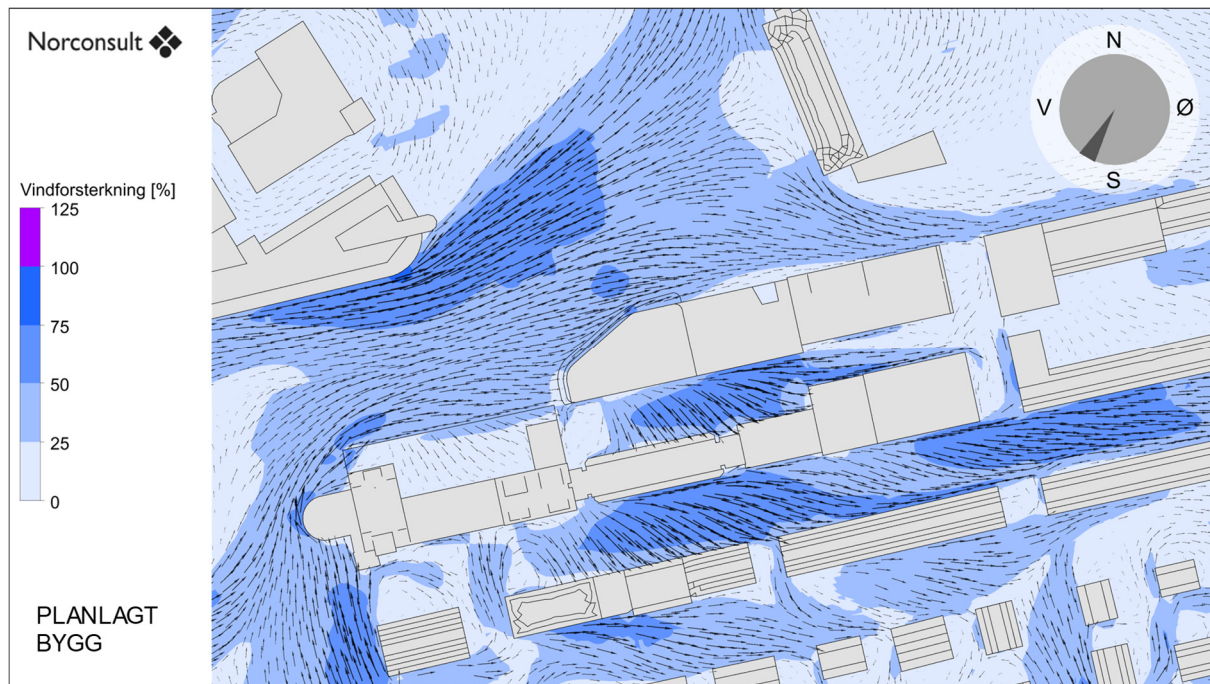
Figur 21: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 150°.

## 9.7 Vind fra 180°



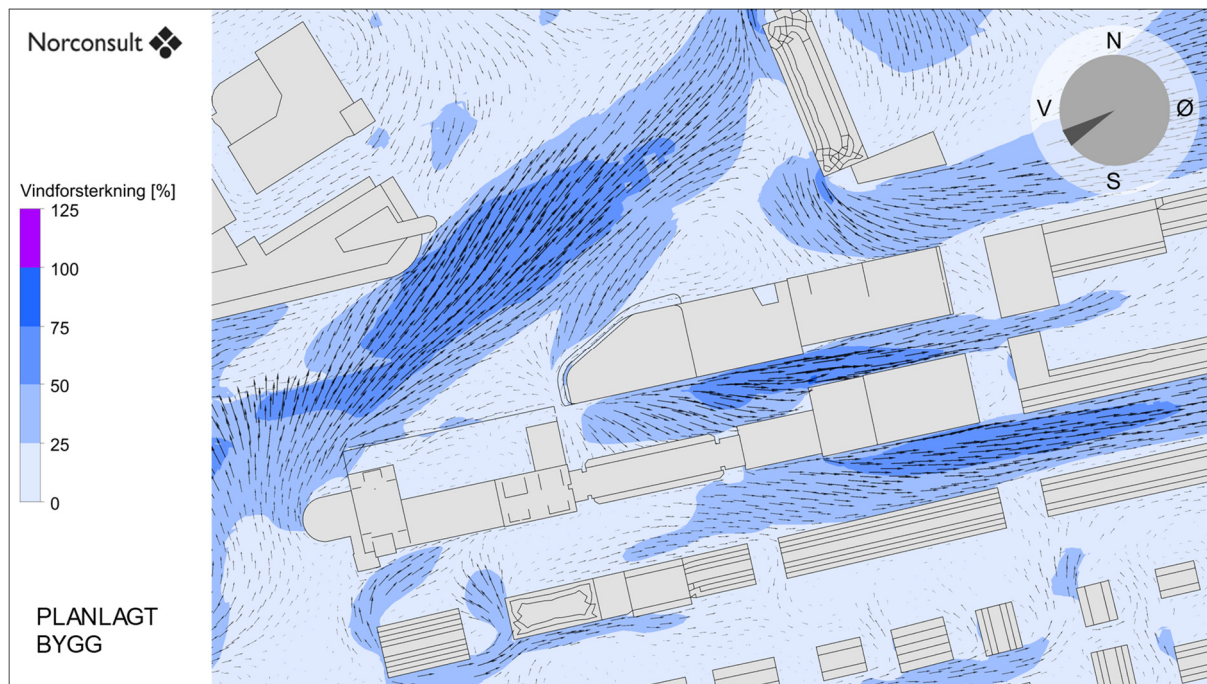
Figur 22: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 180°.

## 9.8 Vind fra 210°



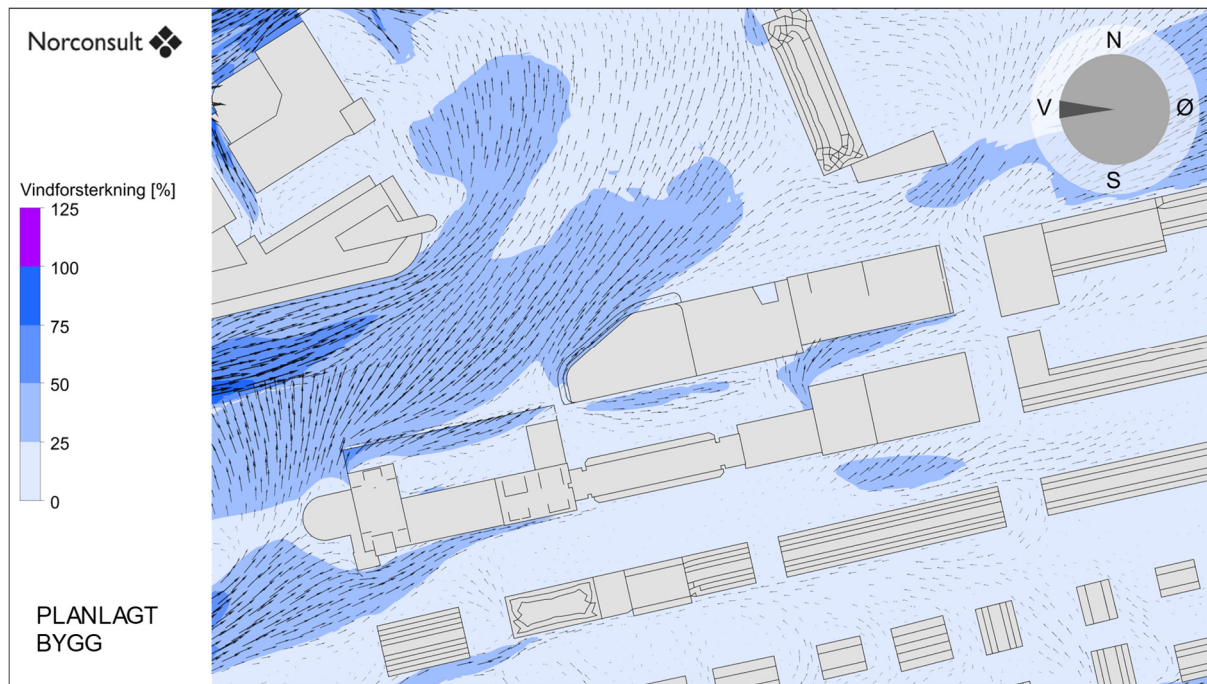
Figur 23: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 210°.

## 9.9 Vind fra 240°



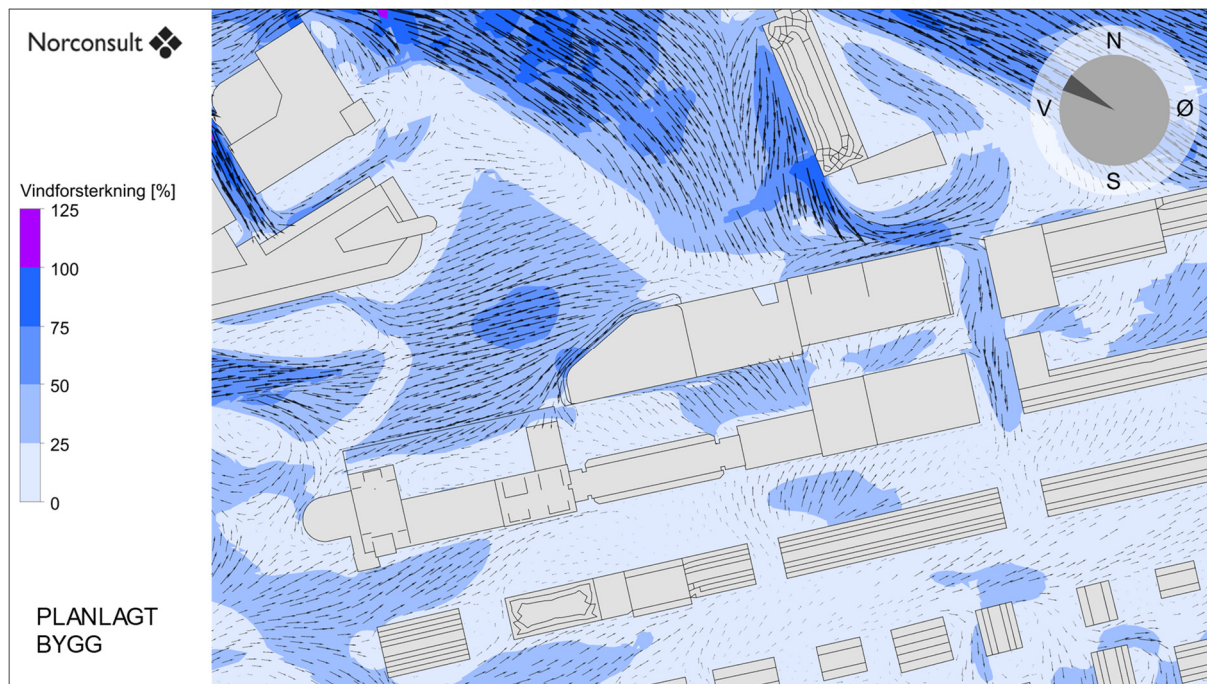
Figur 24: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 240°.

## 9.10 Vind fra 270°



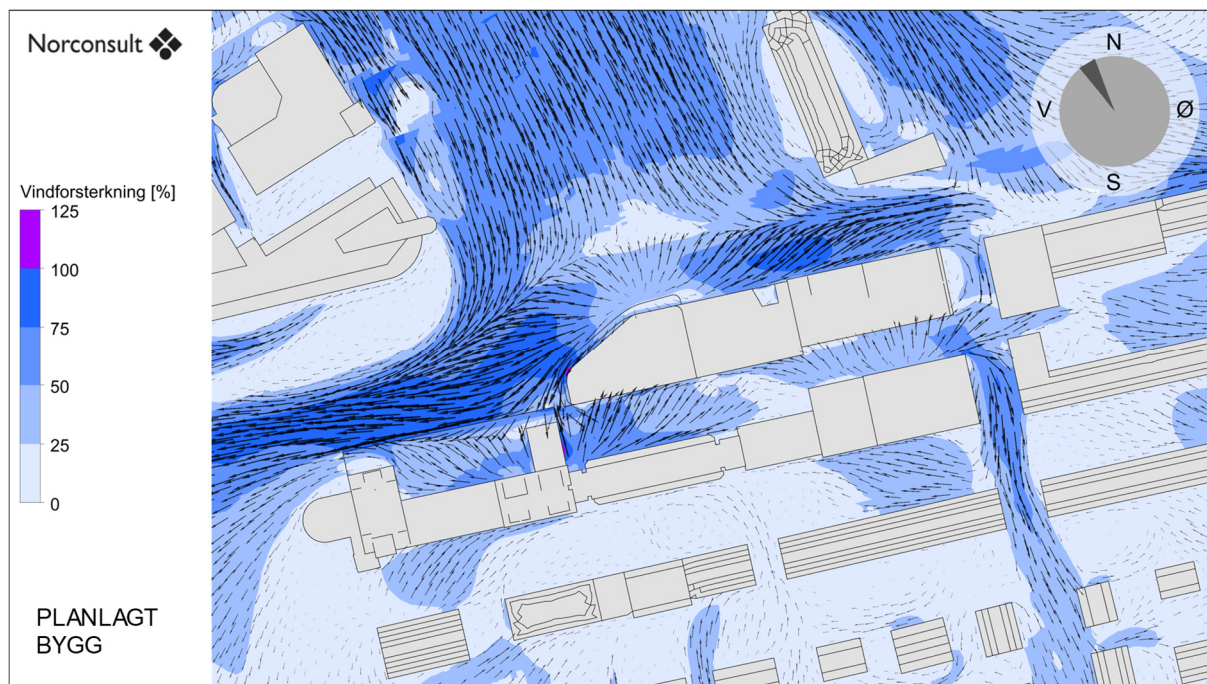
Figur 25: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 270°.

### 9.11 Vind fra 300°



Figur 26: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 300°.

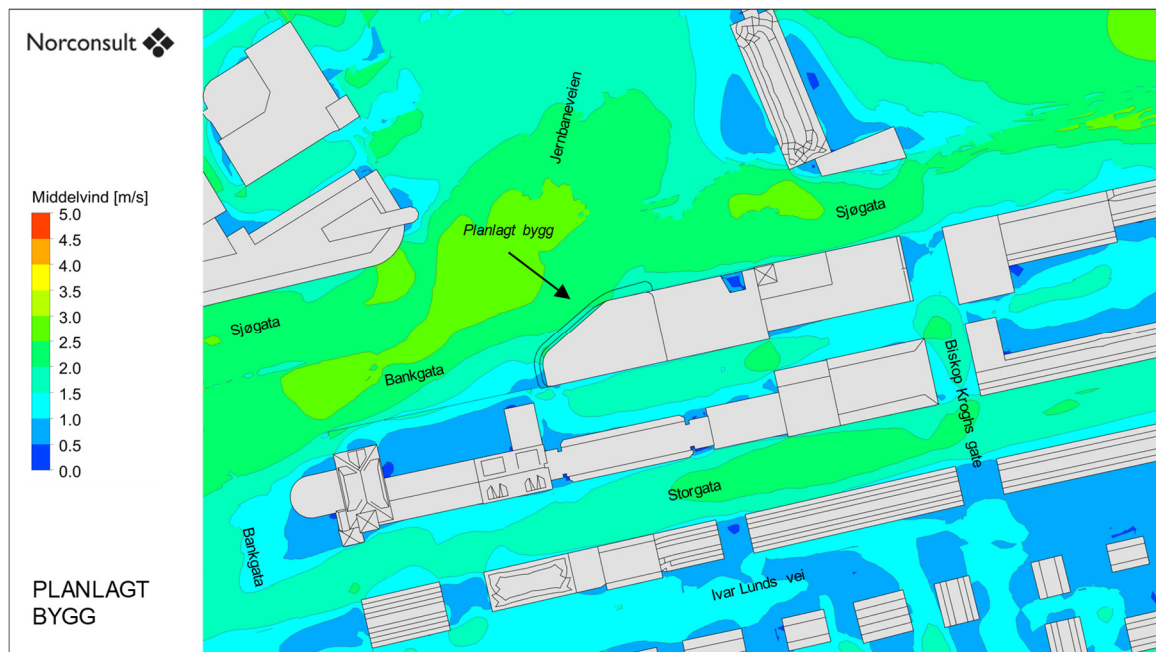
### 9.12 Vind fra 330°



Figur 27: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 330°.

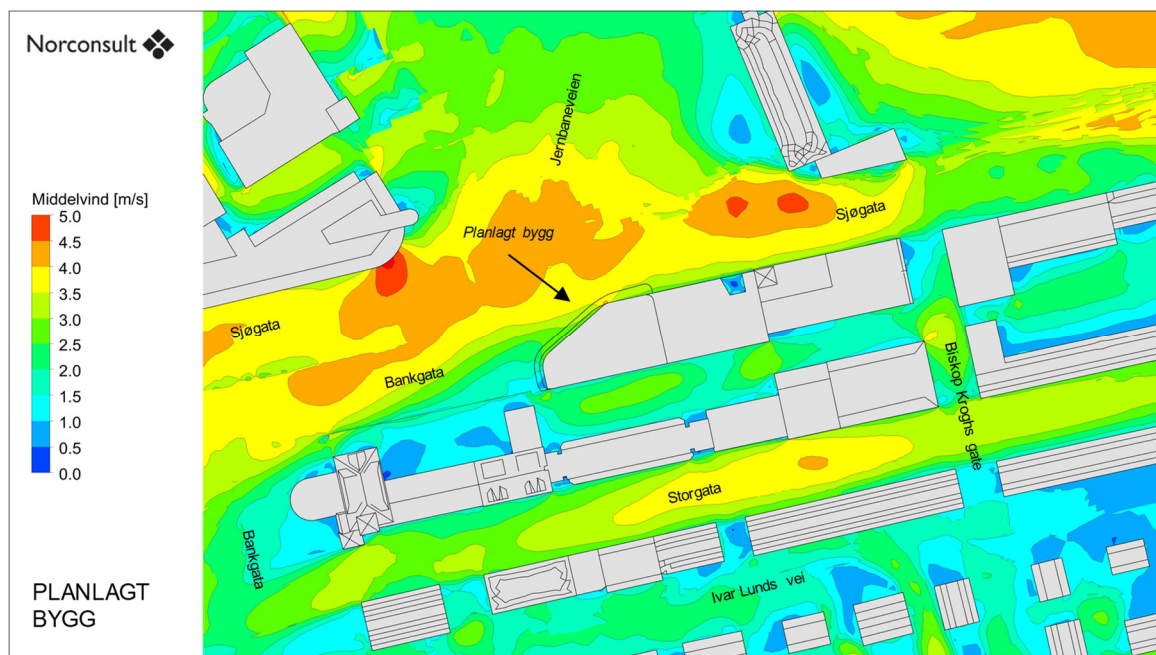
## 10 Vedlegg – gjennomsnittlig hastighet

### 10.1 Sommerhalvår



Figur 28: Vindhastighet i kroppshøyde midlet over sommerhalvåret for planlagt bygg.

### 10.2 Vinterhalvår



Figur 29: Vindhastighet i kroppshøyde midlet over vinterhalvåret for planlagt bygg.