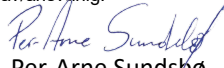


Tittel:			
<b>Vind &amp; turbulensanalyse for Fridtjof Nansens vei 11, Bodø</b>			
Oppdragsgiver:		Klassifisering:	
<b>GNIST ARKITEKTER</b>		Begrenset til kunde	
<b>Sjøgata 5, 8006 Bodø, Bodø</b>		Status:	
		Endelig	
Oppdragsgivers ref.:		Rapportnr.:	Revisjon:
Eirik Martin Tollåli (eirtol@gnistark.no)		167-23	0
		Antall sider:	
		35	
Utgave:	Dato:	Utført av/ansvarlig:	
0	10.09.2023	 Per-Arne Sundsbø	
		Dato:	
		10.09.2023	

## SAMMENDRAG OG KONKUSJON

Outdoor Environment Technology AS (OET) er engasjert av Gnist Arkitekter for å utføre en analyse av lokale vind- og turbulensforhold rundt planlagt utbygging i Fridtjof Nansens vei 11 ved den østlige delen av Bodø Lufthavn. Det planlagte bygget har en maksimalhøyde på ca. 28m over terreng og høyeste punkt på bygningen vil ligge 43,0 moh. Bygget vil ligge i relativt flatt terreng nord for flyplassen og korteste avstand til senter rullebane er ca. 370m.

### Vind og turbulens nærliggende rullebane og landingssone

Det er utført en analyse for å dokumentere vind & turbulenssituasjonen over den nærmeste rullebanen som følge av aktuell utbygging. Dette basert på 3 vindretninger fra rundt nordlig sektor. Vindretningene er i samråd med AVINOR, valgt ut fra korteste avstand til banen og hvorvidt disse kan gi turbulens fra den aktuelle bygningen mot fly under innflygning og landing. Meteorologisk vindstatistikk fra lufthavnen viser at det oppstår relativt lite vind denne sektoren og andel sterk vind er lav.

Det foreligger pr i dag ikke aksept-kriterier for vindforstyrrelser og turbulens/vindskjær-effekter for fly. AVINOR vil i sin vurdering støtte seg på indikatorer og anbefalte grenseverdier beskrevet i litteraturen og har her gitt sine anbefalinger.

- Maksimale endringer i sidevind pr. 100m var for de undersøkte vindretningene, over anbefalte grenseverdier. De øvrige aktuelle vind-parametere var i henhold til aksept kriterier og godt under anbefalte grenseverdier.
- Vind fra N (11°) medfører generelt den høyeste vindpåvirkningen og virkningen vil hovedsakelig komme over rullebanen ca. 650m inn fra østlig landingsterskel.
- Sammenfallende vindparametere før og etter utbygging tyder på at nybygget vil ha liten innvirkning på vinden over rullebane og rundt landingsterskel.
- Det er ingen advarsler/anmerkninger fra AIP-Norge eller lokale flyvere, vedrørende turbulens, vindskjær eller virvelvind i den østlige delen av Bodø lufthavn som følge av vind fra nordlig sektor.

### Vindkomfort og snødrift rundt utbyggingsforslag

I forbindelse med detaljreguleringsplan for Fridtjof Nansens vei 11 er det utført en analyse med hensyn til vind og vindkomfort i omliggende gateløp og uteoppholdsareal. Dette basert på lokalt fremherskende vind fra **VSV** og **Ø**. De største vindhastighetene oppstår generelt ved vind fra **VSV** og nybygget gir økt vindforsterkning i passasjen mot nabobygningen (Statsforvalteren i Nordland) i nord, samt rundt sørøstlig hjørne. Dette oppstår som en følge av trykkforskjeller mellom lo- og lesiden av bygningene

Fridtjof Nansens vei 11 er mer skjermet av omliggende bebyggelse, terreng og vegetasjon i forhold til vind fra østlig sektor. Østlig vind vil medføre vindforsterkning i de samme lokasjoner som for vind fra **VSV**, men økningen vil være mindre.

Nybygget må betraktes som et høybygg fordi det er vesentlig høyere enn nabobebyggelsen og noe vindforsterkning er derfor vanskelig å unngå.

Vindforsterkning gjennom passasjen mot nabobygningen og rundt sørøstlig hjørne vil oppstå for fremherskende vind langs fjorden og dermed relativt ofte. Det anbefales derfor at det her utføres avbøtende tiltak som:

- Bevaring av eksisterende omliggende trær/vegetasjon, samt etablering av ny langs fasadene.
- Bruk av vindskjerm langs fasaden (se Kap. 8 Forslag til lokale vinddempende tiltak).

Simuleringene må betraktes som konservative, da de er utført uten eksisterende vegetasjon, støyvegger og gjerder som her kan ha en betydelig vinddempende effekt. Vindskjermer kan eventuelt settes opp i etterkant av utbygging, dersom vindforsterkning rundt nybygget oppleves som et problem.

Foruten noe økt vind mot Statsforvalteren i nord, vil det ikke oppstå noe betydelig vind mot den øvrige nabobebyggelsen.

Den aktuelle utbyggingen er relativt skjermet for fremherskende østlig vintervind og det antas at snødrift ikke vil medføre ekstra utfordringer.

<b>SAMMENDRAG OG KONKUSJON .....</b>	<b>1</b>
<b>1 INNLEDNING .....</b>	<b>4</b>
<b>2 VINDKLIMATISKE FORUTSETNINGER .....</b>	<b>5</b>
2.1 Fremherskende vindforhold .....	5
2.2 Vind & turbulens fra nybygg mot rullebane .....	8
<b>3 ANVENDT METODE .....</b>	<b>10</b>
3.1 Beregningsteknikk.....	10
3.2 Representasjon av arkitektur og terreng for vindanalyse.....	12
<b>4 VIND- OG TURBULENSPÅVIRKNING.....</b>	<b>13</b>
4.1 Vind og turbulenskriterier .....	13
<b>5 VIND- &amp; TURBULENSFORHOLD I ØSTLIG INNFLYGNING OG LANDINGSOMRÅDE.....</b>	<b>14</b>
5.1 Vindeffekter før og etter planlagt utbygging.....	15
5.2 Sidevind i aktuell innflygnings- og landingssone .....	17
5.3 Motvind i aktuell innflygnings- og landingssone .....	20
5.4 Vertikalvind i aktuell innflygnings- og landingssone.....	23
5.5 Turbulens i aktuell innflygnings- og landingssone .....	25
<b>6 VINDKLIMA RUNDT BYGNINGER OG STRUKTURER .....</b>	<b>27</b>
6.1 Relativ vindhastighet i uteoppholdssoner.....	28
6.2 Opptredende vindhastighet i uteoppholdssoner .....	28
<b>7 VINDFORHOLD RUNDT FRIDTJOF NANSENS VEI 11 .....</b>	<b>29</b>
7.1 Fremherskende vindeffekter .....	29
7.2 Snødrift.....	31
<b>8 FORSLAG TIL LOKALE VINDSKJERMENDE TILTAK .....</b>	<b>33</b>
8.1 Vinddempende elementer/skjerming.....	33
<b>REFERANSER .....</b>	<b>35</b>

## 1 INNLEDNING

**Outdoor Environment Technology AS (OET)** er engasjert av **Gnist Arkitekter** for å utføre en analyse av lokale vind- og turbulensforhold rundt planlagt utbygging i Fridtjof Nansens vei 11 i nærheten av Bodø Lufthavn. Det planlagte bygget har en maksimalhøyde på ca. 28m over terreng og høyeste punkt vil ligge 43,0 moh. Terrengt er her relativt flatt og korteste avstand til senter rullebane er ca. 370m.

Lokalisering og høyde på nybygg i forhold til nærliggende rullebane medfører krav om vind- og turbulensanalyse fra AVINOR. Vindretningene er i samråd med AVINOR, valgt ut fra korteste avstand til rullebanen og hvorvidt disse kan gi turbulens fra den aktuelle bygningen over bane og landingssone. Det er benyttet 3 vindretninger fra rundt nordlig sektor i vind/turbulensanalysen. Strømningsanalysen er utført med dagens situasjon, samt situasjonen etter utbygging.

I tillegg kartlegger analysen den planlagte bebyggelsens virkning på vind og snødrift i omliggende gateløp og uteoppholdsareal.

### ***Målsetting for vindklimatisk tilpasning i reguleringsarbeidet***

1. Sikre at nybygging ikke medfører uheldige vind- og turbulenseffekter over den nærliggende delen av Bodø Lufthavn (for AVINOR).
2. Sikre at nybygging ikke medfører uheldige vindeffekter rundt utbyggingsprosjektet og for omliggende bebyggelse med tilgrensende uteområder.

### ***Oppdragsbeskrivelse***

- \* Oppbygging av 3D-sim. modeller med lokalt terreng & bygningsvolumer, ut fra digitale data fra oppdragsgiver.
- \* Vurdering av anbefalte grenseverdier for vindforstyrrelser og turbulens/vindskjær-effekter for fly.
- \* Vurdering av lokale vind- og turbulensforhold.
- \* Numeriske simuleringer av lokale vind- og turbulensforhold i forhold til aktuell utbygging.
- \* Analyse av vindeffekter over/mot den nærliggende delen av Bodø Lufthavn med tilhørende rullebane/innflygningssone i henhold til AVINORs spesifikasjoner.
- \* Analyse av vindforhold og snødrift i nærliggende gateløp og uteoppholdsareal.
- \* Dokumentasjon/rapportering (oversendes i pdf-format).

### ***Forutsetninger***

Turbulensanalysen dekker ikke effekter fra andre vindretninger enn de som i praksis kan medføre uheldig vind- & turbulens over aktuell rullebane/landingssone ved Bodø Lufthavn.

Vindparametere er analysert og diskutert i den grad de er aktuelle for de lokale forhold og oppdragets hensikt.

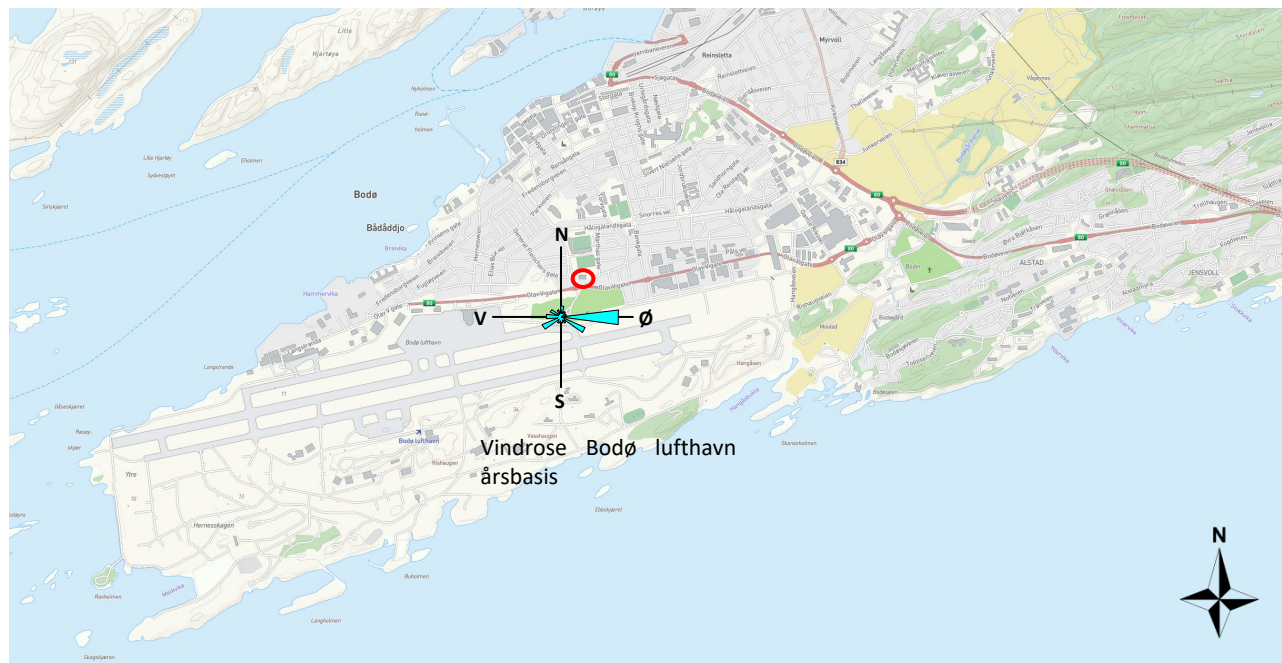
For utbygging ved lufthavner foreligger det ikke klare aksept-kriterier eller grenseverdier for vindforstyrrelser og turbulens/vindskjær-effekter i fly og landingssonen. Analysen støtter seg derfor på AVINORs indikatorer og anbefalte grenseverdier beskrevet i litteraturen og de viktigste her var svært relevant for den aktuelle problemstillingen.

3D-modell av terreng & bygningsvolumer er utformet ut fra digitale data fra oppdragsgiver.

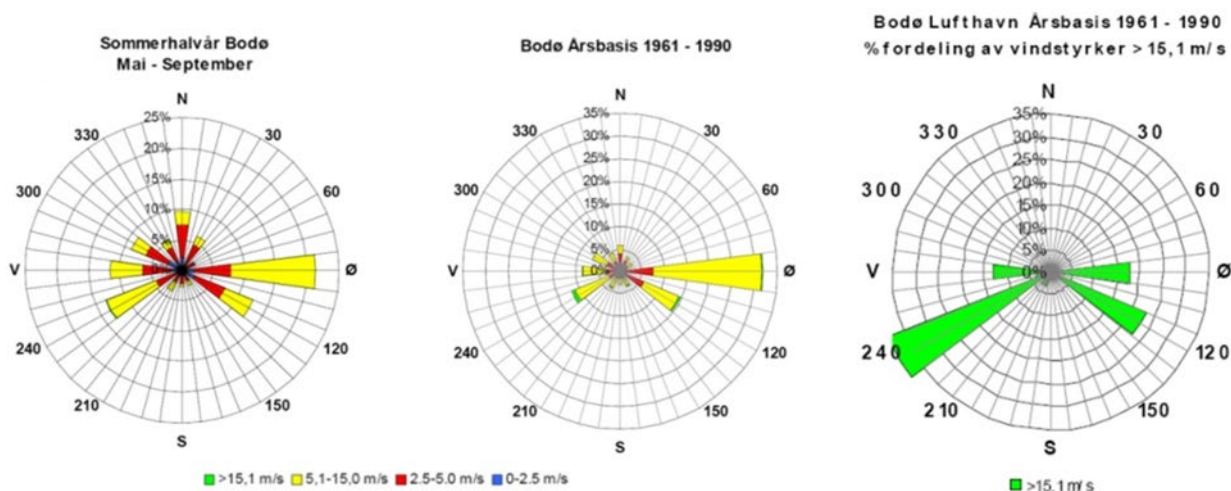
## 2 VINDKLIMATISKE FORUTSETNINGER

### 2.1 Fremherskende vindforhold

Det foreligger lokale statistiske værobservasjoner fra målestasjoner ved Bodø Lufthavn. På årsbasis dominerer landvind fra østlig sektor.



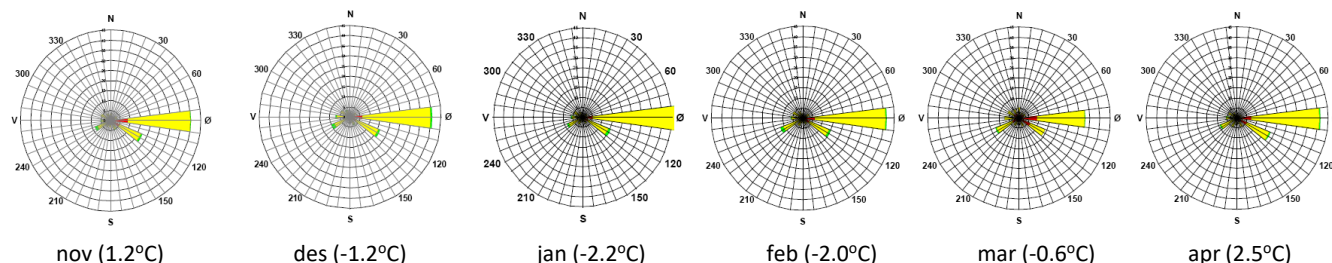
Figur 1. Lokalisering av den aktuelle utbyggingen (rød ring) ved Bodø Lufthavn, her markert med årsmiddelrose (Kartkilde: Bodø kommune).



Figur 2. Vindroser fra meteorologisk stasjon på Bodø Lufthavn, BODØ VI 1961-1990 (kilde DNMI).

### Vind i vintersesongen

Vindrosene fra Bodø Lufthavn for månedene november til april indikerer et forholdsvis ensartet vindmønster, se figur under. Vinteren er i stor grad dominert av landvind fra sektoren **Ø-ØSØ**, men det blåser også noe fra sektor **VSV**.

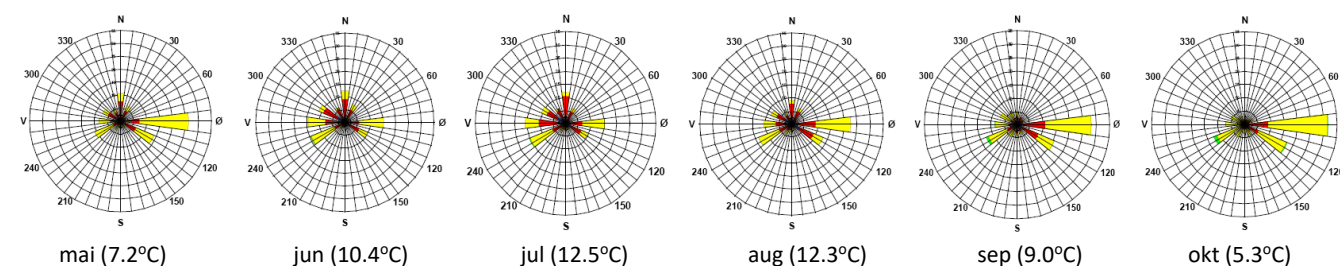


Figur 3. Vindroser og middeltemperaturer fra meteorologisk stasjon på Bodø Lufthavn, BODØ VI 1961-1990, for vintermånedene november-april (kilde DNMI).

### Vind i vår-, sommer- og høstsesongen

Figuren under viser vindroser fra Bodø Lufthavn for månedene som har gjennomsnittlige månedstemperaturer over 3°C. Endring i vindmønsteret fra april til mai viser mindre landvind og økning i vind fra **VSV** til **N**. Dette er en trend som forsetter ut over sommeren, mens landvind fra østlig sektor avtar. Vind fra sektoren **VSV-V** bringer ofte nedbør i form av regn, mens vind fra **VNV** til **N** oppleves ofte som en kald sommervind.

Vind fra en sektor rundt **VSV** medfører høyere vindhastigheter enn fra **V** og **VNV**. Det er også en viss frekvens med nordlig vind på sommeren, men denne vinden er i dette området normalt representert med lavere vindhastigheter



Figur 4. Vindroser og middeltemperaturer fra meteorologisk stasjon på Bodø Lufthavn, BODØ VI 1961-1990, for månedene mai-oktober (kilde DNMI).



**Fremherskende vindretninger for det aktuelle utbyggingsområdet**

På bakgrunn av tilgjengelig meteorologiske vindstatistikk, analyse av lokal topografi og tilbakemeldinger fra lokalkjente, antas følgende vindretninger for å være fremherskende i forhold til det aktuelle utbyggingsområdet:

<b>Vind fra N</b>	Opplevs ofte som kald vind i månedene mai-aug (relativt lite vind og lave vindstyrker)
<b>Vind fra V</b>	Ofte nedbør i form av regn/sludd
<b>Vind fra VSV</b>	Ofte nedbør i form av regn/sludd (relativt høye vindstyrker)
<b>Vind fra Ø</b>	Fremherskende vindsektor i Bodø, gir kald landvind og snødrift i vintersesongen

Andre vindretninger vil tidvis kunne oppstå og føre til uheldige vindeffekter i det aktuelle utbyggingsområdet, men fremherskende vindretninger antas her som viktigst.

**Informasjon i AIP-Norge (Aeronautical Information Publication)**

Det er ingen advarsler eller anmerkninger fra AIP-Norge i forhold til vindskjær/virvelvinder i den østlige innflyvningen av Bodø lufthavn som følge av vind fra nordlig sektor.

**Uttalelse fra Bodø flyklubb om lokale vindforhold og vind fra nordlig sektor**

Har opplevd på nordavind-turbulens fra Widerøes hangarer på nordsiden, kanskje spesielt den nye. Ingen spesielle anmerkninger i forhold til turbulens i den østlige delen av flyplassen (Ref. samtale med John Eivind Skogøy, 90147701, 15.08.23).

*Kommentarer: Widerøes hangarer ligger på vestsiden av flyplassen nærmere senterlinjen ved landingsterskel vest og mer eksponert for nordlig vind. Disse bygningene skal i utgangspunktet kunne medføre mer vindpåvirkning/turbulens mot innflygning- og rullebane.*

**Uttalelse fra flyver om lokale vindforhold og vind fra nordlig sektor**

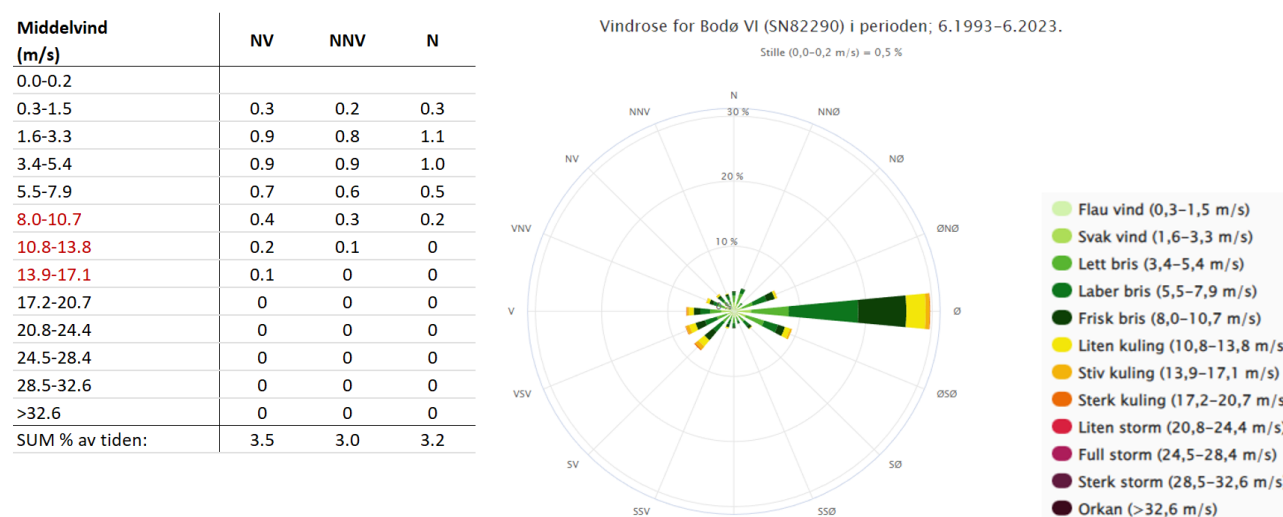
Lite turbulens og ingen nevneverdige problemer i den østlige delen av lufthavnen som følge av vind fra nordlig sektor (Ref. samtale med Jon Ragnvald Solvang - pensjonert Widerøe-flyver, 07.09.23)

## 2.2 Vind & turbulens fra nybygg mot rullebane

Vindretningene for analyse er valgt i samråd med AVINOR, ut fra korteste avstand til banen og hvorvidt disse kan gi turbulens fra den aktuelle bygningen og over bane og landingszone. Det er her benyttet 3 vindretninger fra rundt nordlig sektor:

- Vind fra NV (326°)
- Vind fra NNV (349°)                      vind fra nybygg vinkelrett rullebane
- Vind fra N (11°)

Aktuell vind som kan fremskaffe turbulens fra nybygg over rullebane antas å ligge rundt nordlig sektor i fra NV (326°) til N (11°), se figur 6. Målinger fra lufthavnen viser at fra denne sektoren kommer det relativt lite vind og lave vindhastigheter.



Figur 5. Middelvind og vindretning for Bodø VI (SN82290) i perioden 06.1993-06.2023 (%).



Lokalt fremherskende vinder går i stor grad parallelt med rullebanen og antas ikke å kunne medføre uheldig turbulens fra aktuelt utbyggingsområde og mot lufthavnen med tilhørende innflygningssone.



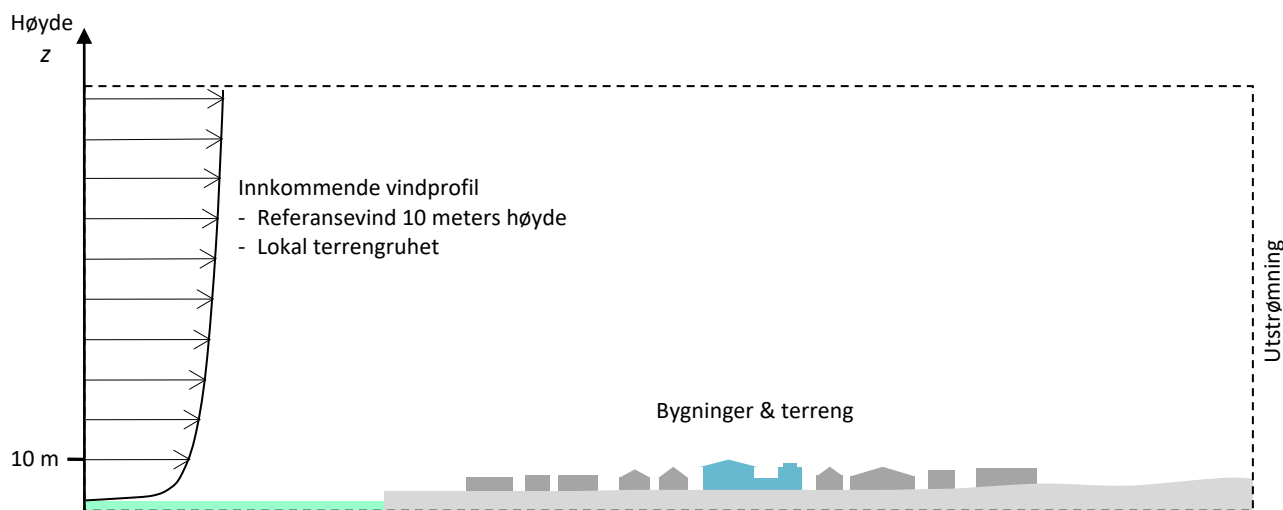
Figur 6. Lokalisering av planlagt nybygg (grønt) i forhold til rullebane og landingsterskel-øst, samt vindrose for Bodø lufthavn. Valgte vindretninger for analyse er angitt med blå piler (mål i meter).

### 3 ANVENDT METODE

#### 3.1 Beregningsteknikk

Beregning av vindstrømninger er utført med CFD (Computational Fluid Dynamics), som er et numerisk/computerbasert alternativ til vintunnelforsøk. Strømningsmodellen er basert på en tredimensjonal, endelig differanse metode som løser tidsavhengige problemer ved hjelp av bevarelseslovene for masse og impuls. Beregningsområdet er hensiktsmessig tilpasset rundt aktuelle geometriske former, der ligninger for luftens hastighet, trykk og turbulens løses i et stort antall punkter.

Bestemmelse av vindforholdene i et område CFD-modeller avhenger blant annet av; størrelsen på beregningsområdet, oppløsningen av beregningsnettet (antall punkter) og beregningsområdets randsonetilstander. Spesielt viktig er det å oppnå en realistisk fordeling av vindhastigheter i tilstrekkelig avstand fra lokalisering som skal vurderes. Prinsipp for beregningsområde rundt geometrisk modell med randsonetilstander er vist i figuren under. Innkommende vindfelt er basert på 10 minutters middelvindhastigheter.



Figur 7. Prinsipp for beregningsområde rundt geometrisk modell. Innkommende hastighetsprofil er gitt i henhold til lokal vindbelastning.

Det lokale vindfeltet med hastighetsfordeling og turbulensverdier bestemmes i stor grad ut fra påvirkning fra oppstrøms terreng og strukturer. Simuleringene er derfor først utført med en grovmasket modell som dekker større deler av Bodø, for å gi inndata til en mer finmasket modell som dekker detaljer i et mindre område rundt aktuell bygning og terrenget rundt lufthavnen. Utviklingen i strømningsfeltet over tid er undersøkt for å ta høyde for eventuelle uheldige vindeffekter på ulike stadier.

Det foreligger pr i dag ikke aksept-kriterier for vindforstyrrelser og turbulens/vindskjær-effekter for fly. AVINOR vil i sin vurdering støtte seg på indikatorer og anbefalte grenseverdier beskrevet i litteraturen, samt operativ erfaring og faglige vurderinger sammen med aktuelle flyoperatører.

Kravene til vindforhold er spesielt relatert til landing som representerer den mest sårbare delen av flyoperasjoner. Dette er også spesifisert av oppdragsgiveren. En konsekvens av dette er at studier av vindforhold relaterer seg spesielt til denne fly-fasen. I landingsfasen følger et fly en glidebane ned mot rullebanen med en vinkel som danner 3 grader med horisontal planet. Etter flyet har landet beveger det seg og senker hastigheten langs rullebanen. I dette studiet er det kryssvind-situasjoner, med vind fra området til det planlagte bygget mot rullebanen som har blitt studert og disse tilfellene representerer i hovedsak vind som blåser mot siden av flyet.

Når vinden blåser mot en bygning dannes det en bakevje område og dette gir endringer i vindhastighets forholdene bak bygningen. For et fly så vil en endring i motvind gi en endring i løftekrefter mens en endring i kryssvind kan gi rotasjon (yaw) rundt vertikal akse og rulling (roll) av flyet. I følge et studie utført for Amsterdam Schipol Flyplass (Krus et al, 2003, Nieuwport et al, 2012) så fikk flygere vansker med å kontrollere et fly om kryssvind hastigheten i et bygg bakevje som lå over rullebanen falt med mer enn 3,6 m/s (7 knop). Studier av bakevjer fra eksisterende og planlagte bygg er derfor viktige deler av vindfelt analysen på en flyplass.

Strømningsforhold bak bygninger og konstruksjoner har vært studert av mange grunner. Slike studier viser at store bygninger og konstruksjoner gir et virvelfelt i den nære delen av bakevjen videre er selve bakevjen definert som et område bak bygget med redusert strømnings impuls. Selve hvirvelfeltets konsistens er avhengig av bygningens utforming og høyde, bredde, lengde forhold. En annen viktig faktor i hvirvelfeltet og bakevjens utforming er vindhastighet og turbulens profilet foran bygningen (oppstrøms av bygningen). Et relativt nytt studie utført i London (Hertwig et al, 2019) diskuterer de to bakevje områdene, resirkulerings området og impuls reduksjons området, og henviser til tidligere publiserte og egne målinger. Disse data er videre brukt for utvikling og kalibrering av et empirisk lignings sett for beregninger av utbredelse og hastigheter i bygnings bakevjer.

Både CFD og vindtunnel testing har vært brukt for å undersøke landingsforhold ved flyplasser under varierende vindforhold. Et studie av Hong Kong flyplass basert på CFD (Leung et al, 2012) viser CFD simuleringer resultater som er sammenfallende med målte og erfaringsbaserte verdier. Dette studiet er relevant i og med at det er relativt store terreng variasjoner nær flyplassen slik som er tilfellet mange plasser i Norge.

Resultater av både CFD og vindtunnel studier viser at bakevjen kan strekke seg langt bak bygget og impuls reduksjonen eller hastighets tapet er gjenvunnet etter en noen lengre distanse. Imidlertid varer ofte turbulens strukturen et lengre bak bygget.

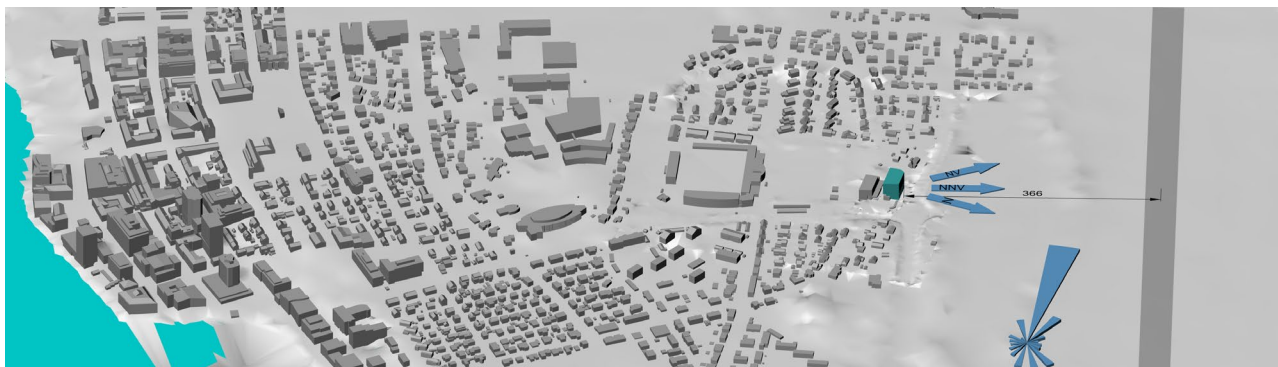
Vindstrømning på flyplasser ved høye vind hastigheter resulterer i høye Reynolds tall slik at turbulensmodellering blir nødvendig for CFD simuleringer. Det bør nevnes at vindtunnel simuleringer også krever at modellen i vindtunnelen som ofte blir i liten skala (1/400 eller mindre) må også kompensere for effekten av turbulens. I CFD studier av denne art er det vanligvis nødvendig å bruke to lignings k-ε modellen, hvor turbulent kinetisk energi og dissipasjons modelleres som transport ligninger sammen med de Reynolds midlele Navier Stokes ligninger. Dette er også brukt av Leung et al (2012) som anvender standard modellen, mens nåværende studie finner det mer hensiktsmessig å bruke en mer moderne versjon, nemlig Renormalization-Group (RNG) –turbulensmodell (Yakhot & Orszag, 1986; Yakhot & Smith, 1992). Metoden er basert på statistiske metoder for utledning av de tidsmidlede ligningene for turbulente størrelser, som for eksempel turbulent kinetisk energi, dissipasjon etc. RNG-modellen er i utgangspunktet basert på ligninger lik ligningene i k-ε modellen, men ligningskonstanter som i standard k-ε modell fastsettes empirisk, er utledet eksplisitt i RNG-modellen. Generelt har RNG-modellen et videre anvendelsesområde enn standard k-ε modell. Det kan nevnes at k-ε modellen og senere RNG-modellen, har fordelaktig vært anvendt innen *Snow Engineering* til analyse av vind & snødrift rundt bygninger og strukturer i komplekst terreng. Her er utbredelse av nedstrøms-effekter og turbulens av den største betydning (Sundsbo, 2015; Beyers et al, 2004).

Det bør nevnes at algebraiske turbulens modeller ikke er hensiktsmessig å bruke for denne type simuleringer siden de ikke kan transportere turbulens egenskaper og vil gi feilaktige resultater (Holdø, 2002). En annen type modellering er Reynoldsstress modellene som bruker transportligninger for hvert av tilleggs leddene i de Reynolds-midlele Navier Stokes ligninger. Disse modellene krever svært mange empiriske faktorer som per i dag ikke er tilgjengelig for høye Reynolds tall og komplisert geometri.

En tilnærming som ikke er basert på Reynolds midlede Navier Stokes ligninger er Large Eddy Simulering (LES) som benytter rom-midlede Navier Stokes ligninger (G. deWith & Holdø, 2006). Denne metoden har funnet brukerområder for lave Reynolds tall, men er i dag vanskelig å bruke for simuleringer som strekker seg over store områder siden rom midling av ligningene krever svært høy gridoppløsning og ekstern beregningskapasitet. Videre eksisterer det usikkerhet om subgrid modellene som kan brukes. Konsekvensen av 'state-of-the-art' når det gjelder turbulens modellering er at det i dag brukes modeller basert på k-prinsippet for strømninger med høye Reynolds tall som dekker store fysiske områder.

### 3.2 Representasjon av arkitektur og terreng for vindanalyse

Geometrisk 3D modell av aktuelle bygninger, strukturer og terreng er utformet med utgangspunkt i å gi en realistisk påvirkning av vindfeltet, fra påvirkende utvendige flater. Bygninger og strukturer representeres som enkle volumer, uten unødvendige detaljer. Nødvendig detaljeringsgraden avhenger av skala, omfang, hvilke vindeffekter m.m. som skal undersøkes. Omkringliggende bebyggelse inkluderes i den grad den vil innvirke på vinden i den lokalisering som skal vurderes, og representeres med avtagende detaljeringsgrad i avstand fra denne. Omfang av omliggende terreng er tilstrekkelig til å gi den riktige virkning på vindfeltet. 3D-modell av terreng og bygninger er utarbeidet av OET ut fra grunndata fremskaffet av oppdragsgiver (figur under).



Figur 8. Utsnitt fra geometrisk modell for simulering av vind rundt aktuelt nybygg i terreng og omliggende bebyggelse, utarbeidet fra data fra oppdragsgiver. Vindretninger for simulering er markert med blå piler.

## 4 VIND- OG TURBULENSPÅVIRKNING

### 4.1 Vind og turbulenskriterier

Det foreligger pr i dag ikke generelt aksept-kriterier for vindforstyrrelser og turbulens/vindskjær-effekter for fly. AVINOR vil i sin vurdering støtte seg på indikatorer og anbefalte grenseverdier beskrevet i litteraturen, samt operativ erfaring og faglige vurderinger sammen med aktuelle flyoperatører.

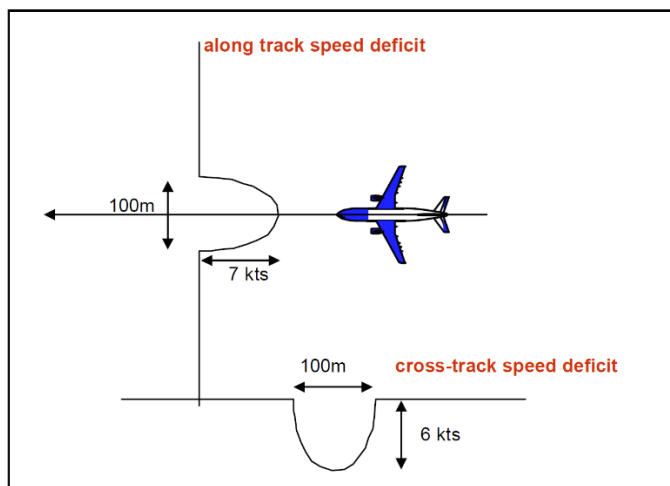
Bakgrunns litteratur kan eksempelvis være **Wind criteria due to obstacles at and around airports fra NLR;** <https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/2281.pdf>

(Notat fra AVINOR datert 22.06.2020)

I Wind criteria due to obstacles at and around airports (Nieuwpoort, Gooden & de Prins, 2010) er det utledet følgende aksept-kriterier for vindforstyrrelser og vindskjær-effekter langs en innflygningslinje fra 200ft (61m) over bakkenivå til touch down og the high speed roll out:

- Motvinds-komponent**  
 Along the aircraft track the speed deficit due to a wind disturbing structure must remain below 3,6m/s (7 knots). The speed deficit change of 3,6m/s (7 knots) must take place over a distance of at least 100m.
- Sidevinds-komponent**  
 Across the aircraft track the speed deficit due to a wind disturbing structure must remain below 3,1m/s (6 knots). The speed deficit change of 3,1m/s (6 knots) must take place over a distance of at least 100m.
- Turbulens/turbulent hastighet**  
 Studiet på Schipol flyplassen (Nieuwpoort, Gooden & de Prins, 2010) fant også at gust/turbulens hastigheter i horisontal retningen bør holdes under RMS hastighets verdier på 4 knots (2,1m/s). Videre er turbulens skala ved disse høyde nivåer i størrelses orden 50m to 200m basert på Turbulens integral skalaen (Holdø et al., 1982).

De overnevnte forholdene er også klart spesifisert i Nieuwport et al (2012) fra Schipol Flyplass studiet. I denne referansen er også to forskjellige flytyper studert under landings forhold. Størrelsen på fly vil ha en effekt på hvordan det reagerer på vind og tidsavhengig endring i vindforhold. Nieuwport et al (2012) studerer og dokumenterer denne effekten ved å bruke en Boeing 747 og en Fokker 100 som representerer den største type rutefly og en typisk flytype for bruk i mer rurale strøk og mellom mindre urbane områder.



Figur 9. Illustrasjon av endringer i motvind- og sidevindkomponenten (Nieuwpoort, Gooden & de Prins, 2010).



## 5 VIND- & TURBULENSFORHOLD I ØSTLIG INNFLYGNING OG LANDINGSOMRÅDE

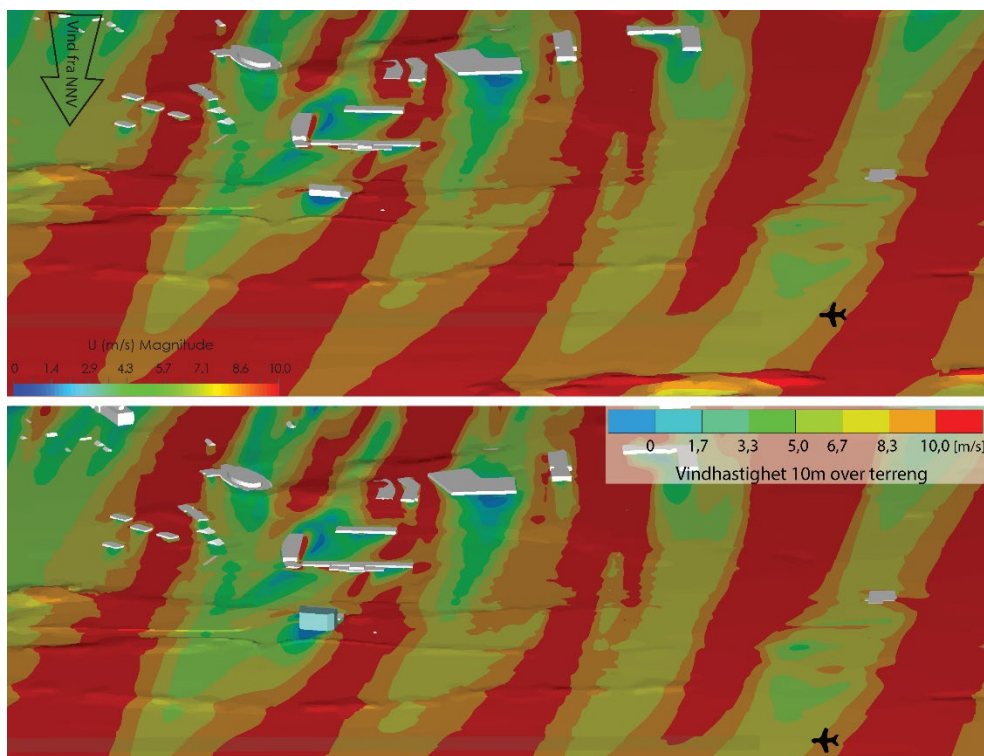
Det er utført numeriske simuleringer av vind rundt planlagt nybygg og området rundt den østlige delen av Bodø Lufthavn. Simuleringer med en grovmasket modell som dekker større deler av Bodø, danner grunnlag og input til en mer finmasket modell som inkluderer detaljer i området rundt aktuell bygning og terrenget rundt lufthavnen. Simulert vindstyrke er sammenlignet/harmonisert med opptredende på lufthavnens lokale MET-stasjon. Det er utført vurdering og analyse med hensyn til valg av simuleringsoverflate, mesh-avhengighet/oppløsning og utvikling i strømningsmønster over tid.

For å dekke sektorene som teoretisk kan medføre turbulens fra bygning mot østlig rullebane ved Bodø lufthavn, er det valgt å utføre simulering av vind fra henholdsvis NV 326°, NNV 349° (vinkelrett) og N 11°. Simuleringene inkluderer situasjonen før og etter utbygging. Visualisering av resultatene er gjort med vekt på følgende parametere:

- Sidevind komponent (cross wind)  $u$  [m/s]
- Motvind komponent (head wind)  $v$  [m/s]
- Vertikal komponent  $w$  [m/s]
- Turbulensintensitet  $I$  [%] ( $I=U'/U$ , der  $U$  er local mean velocity)
- Turbulent hastighet  $U'$  [m/s]
- Endring i vind pr. 100m  $\Delta u, \Delta v$  [m/s] (speed deficit change pr. 100m)

Resultater fra før og etter tiltak, er vist på:

- Utsnitt kontinuerlig 10m over terreng.
- Vertikalt snitt langs banens senterlinje, i lengde som godt dekker den aktuelle bygningens teoretiske virkningsområde og opp til 100m over rullebanen.
- På innflygningslinje på rullebanens forlengede senterlinje mot øst, med nedstigning 3°. Linjen passerer landingsterskel i 15meters høyde og flater ut i 10 meters høyde og følger denne høyden nedover banen.



Figur 10. Utsnitt fra simulering av vind fra NNV (349°) som viser vindhastigheter 10m over terreng, planlagt bygning i blått. Ved nordlig vind vil eksisterende omliggende bebyggelse påvirke vindfeltet mot lufthavnen.



## 5.1 Vindeffekter før og etter planlagt utbygging

De numeriske simuleringene viste at vind fra rundt nordlig sektor mot lufthavnen vil være påvirket av lokalt terreng og bebyggelsen på nordsiden av flyplassen. Denne vinden kommer i stor grad horisontalt inn over lufthavnen og vil ikke medføre noen resirkulasjonssoner med vertikale vindkomponenter av betydning. Analysen viste at det langs den definerte innflygningslinjen vil oppstå noe endring i sidevinds-komponenten, mest ved vind fra N (11°). Vind fra N medfører ikke korteste avstand fra bygninger til senter rullebane, men er likevel dimensjonerende i forhold til vindeffekter fra nordlig sektor.

Generelt vil den eksisterende bebyggelsen medføre en maksimal endring av sidevind målt over 100m over anbefalt aksept kriteria. Planlagt utbygging vil i mindre grad påvirke vindforholdene, se tabellen under.

Tabellen under gir en oppsummering av resultater fra vindanalysen med de mest sentrale vindparameterne satt opp i forhold til anbefalte aksept kriteria i Nieuwpoort et. al. (2010). Analysen viste at foruten endring i sidevind pr 100m, var de øvrige aktuelle vind-parametere under anbefalte aksept kriterier og grenseverdier. Vindeffekter kan registreres på innflygningslinjen/sonen nedstrøms nybygget, uten at disse verdiene nødvendigvis gir noen forverring i vindforholdene.

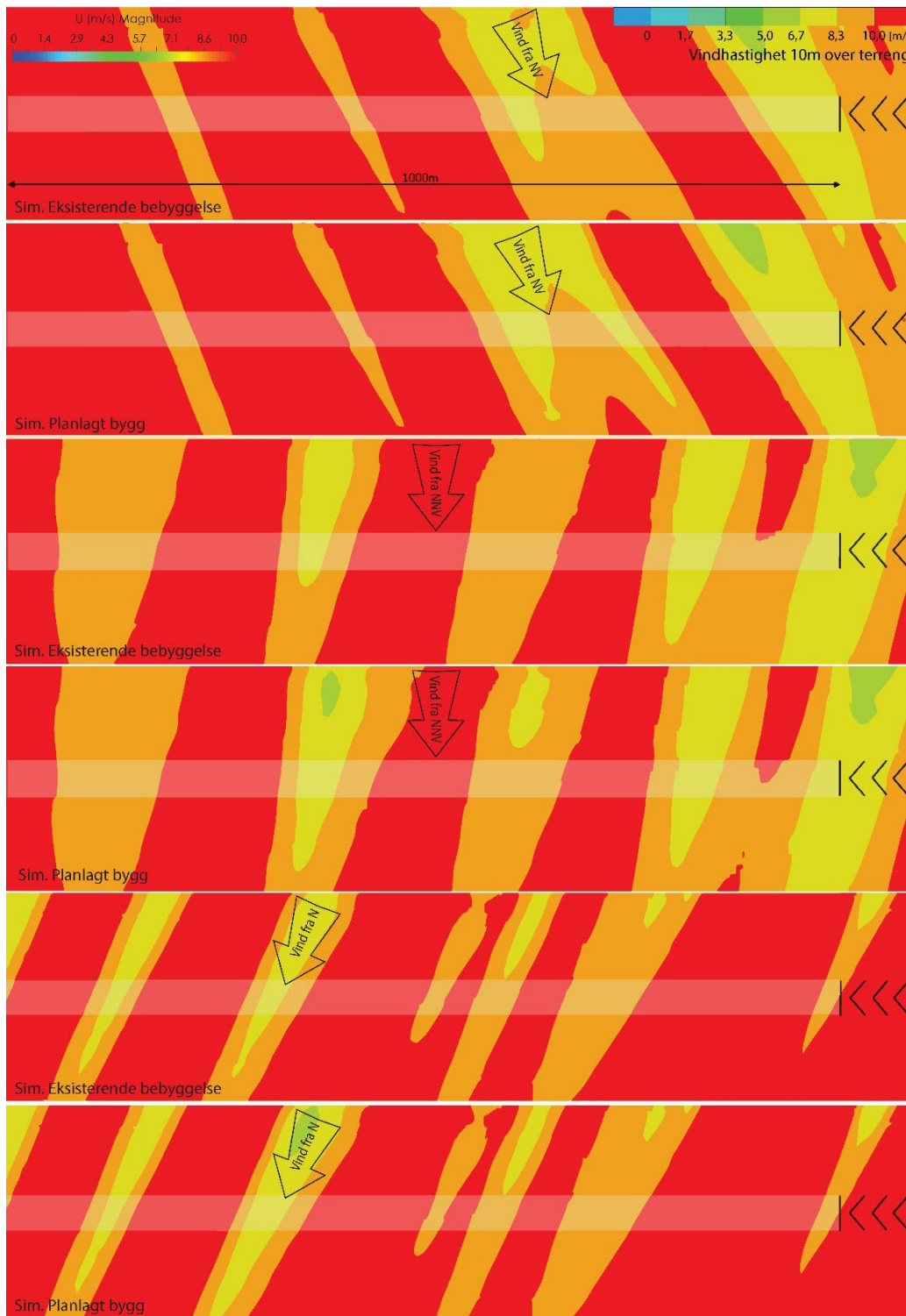
Tabell 1. Sentrale parametere fra vindanalysen og simulering av vind fra aktuelle retninger.

Parameter/komponent på innflygningslinje	Aksept kriteria	Vind NV (326°)		Vind NNV (349°)		Vind N (11°)	
		u/bygg	m/bygg	u/bygg	m/bygg	u/bygg	m/bygg
Maks sidevind [m/s]	-	10.8	10.8	10.1	10.1	12.2	12.2
Maks endring sidevind pr 100m [m/s]	< 3,1	3.8	3.8	3.3	3.6	5.2	5.1
Maks motvind [m/s]	-	4.4	4.4	3.0	2.8	6.0	6.0
Maks endring motvind pr 100m [m/s]	< 3,6	1.7	1.7	0.9	0.9	2.4	2.4
Maks/min vertikal [m/s]	-	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.5	-0.5
Maks turbulentintensitet [%]	-	12.8	14.0	12.3	13.5	13.2	14.3
Maks turbulent hastighet [m/s]	< 2,1	1.2	1.2	1.1	1.2	1.3	1.3
Verdier årlig overskredet [timer]		22		9		44	

Vind fra N (11°) gir her generelt den høyeste vindpåvirkningen og virkningen vil hovedsakelig komme ca. 650m inn på rullebanen fra østlig landingsterskel.

Sammenfallende vindparametere før og etter utbygging tyder på at nybygget ikke vil ha stor innvirkning på vinden over rullebane og rundt landingsterskel.

Figuren under viser utsnitt fra simulering med vindhastighet 10 m over terreng, for aktuelle vindretninger. Hovedtendensen er at vinden i stor grad strømmer horisontalt over rullebane og innflygningszone, parallelt med gjeldende vindretning. Effekter fra oppstrøms bebyggelse og terreng opptrer gjennom variasjoner i vind og turbulens. Noe effekt av nybygg kan vises i sonen nedstrøms det planlagte nybygget, men forskjellene er små. Fra plott på flater kan vi visualisere tendenser i vindfeltet før og etter utbygging. Eventuelle forskjeller kommer tydeligst fram ved å analysere aktuelle parameterne langs innflygningslinja og i forhold til anbefalte kravspesifikasjoner.



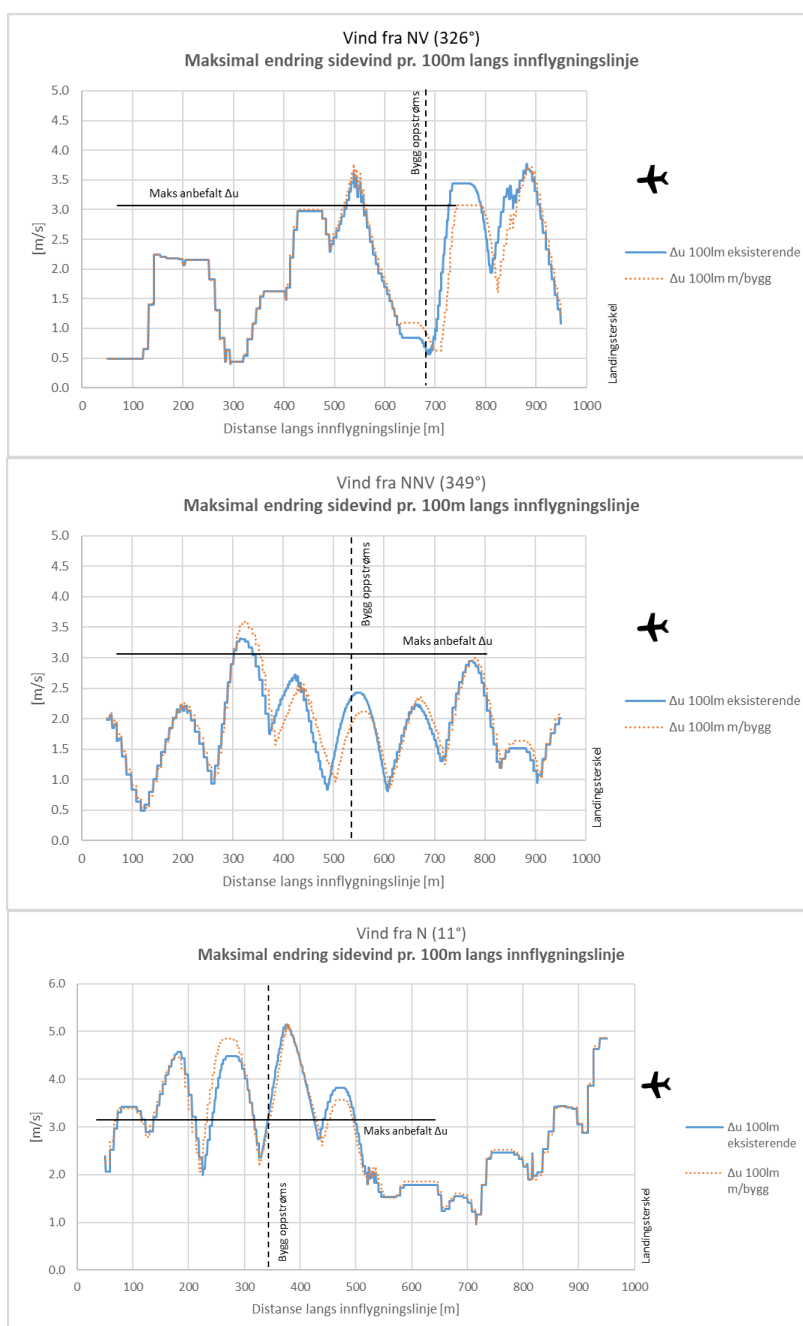
Figur 11. Simulert vind fra nordlig sektor i utsnitt 10 m over terreng, for tilfellet før og etter utbygging.

## 5.2 Sidevind i aktuell innflygnings- og landingszone

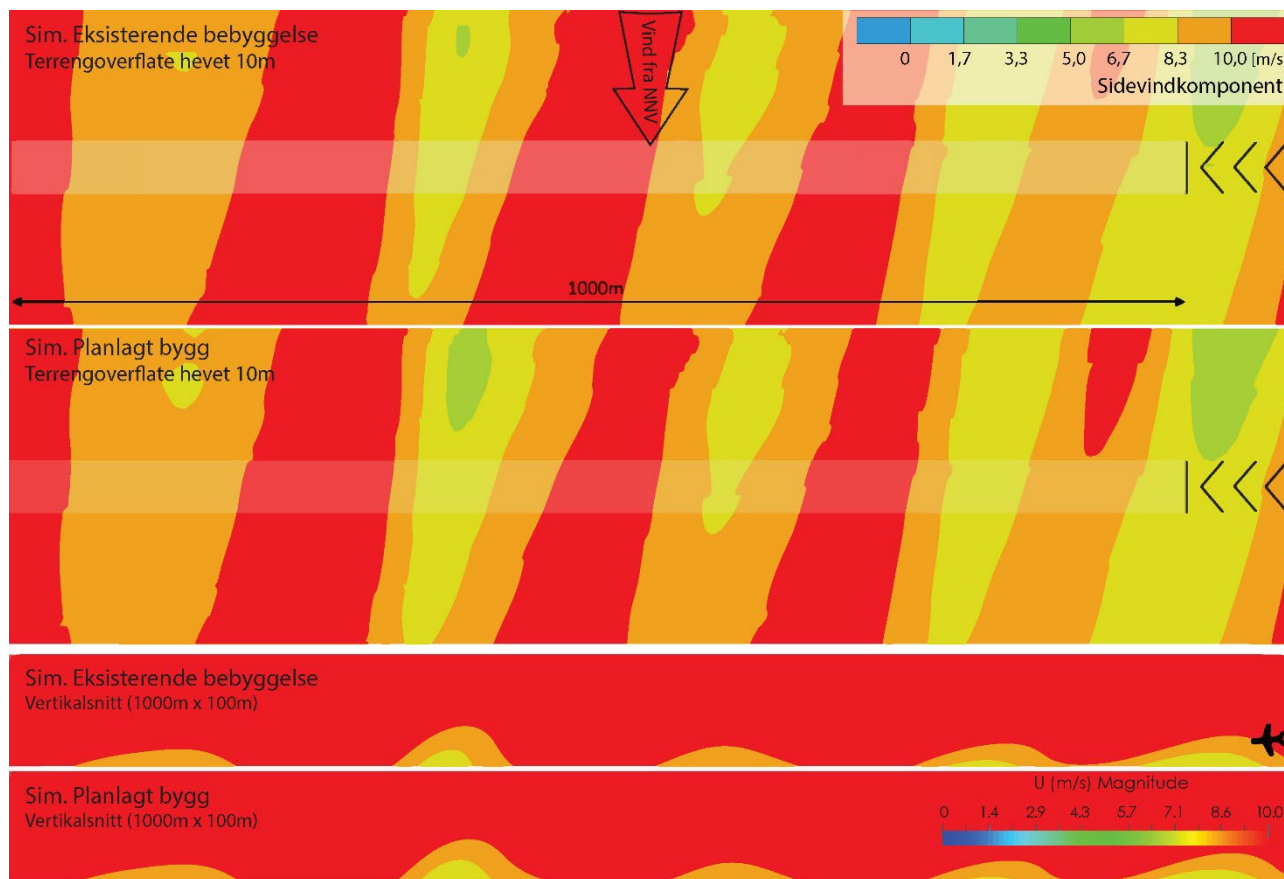
Ved vind fra nordlig sektor ligger maksimal endring sidevind pr 100m langs innflygningslinja over anbefalte aksept kriteria, med høyest verdier for vind fra N (11°).

Vind fra nordlig sektor medfører her i stor grad sammenfallende tendenser for situasjonen før og etter utbygging. Utbygging gir generelt ingen økning i maksimal endring sidevind pr 100m langs innflygningslinje.

Vindparameter på innflygningslinje	Anbefalte aksept kriteria	Vind NV (326°)		Vind NNV (349°)		Vind N (11°)	
		u/bygg	m/bygg	u/bygg	m/bygg	u/bygg	m/bygg
Maks sidevind [m/s]	-	10.8	10.8	10.1	10.1	12.2	12.2
Maks endring sidevind pr 100m [m/s]	< 3,1	3.8	3.8	3.3	3.6	5.2	5.1



Figur 12. Maksimal endring sidevind pr. 100m langs innflygningslinje for situasjonen før og etter planlagt utbygging.



Figur 13. Sidevindkomponenten for vind fra NNV for situasjonen før og etter planlagt utbygging. Resultatene er vist på terrengflate hevet 10m og vertikalsnitt langs banens senterlinje m/forlengelse og opp 100m over rullebanen.

Figuren under inneholder sammenligning av sidevindkomponent og maksimal endring sidevind pr. 100m langs innflygningslinje, for individuelle simuleringer.



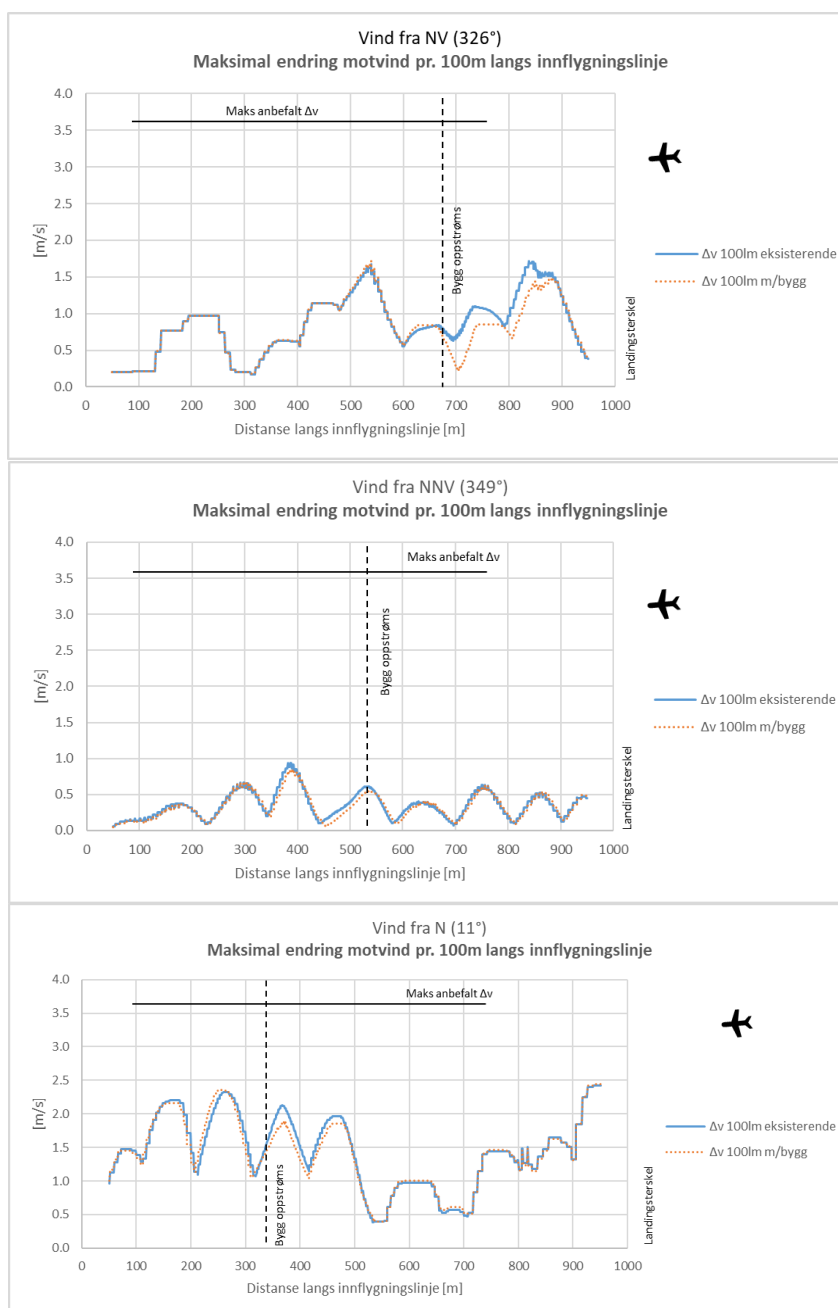
Figur 14. Sammenligning individuelle simuleringer av sidevindkomponent og maksimal endring sidevind pr. 100m langs innflygningslinje.

### 5.3 Motvind i aktuell innflygnings- og landingsone

De undersøkte vindretningene gir alle relativt lave verdier for maksimal endring motvind pr 100m langs innflygningslinje. Med verdier under 2.4m/s er dette godt under anbefalte aksept kriterier.

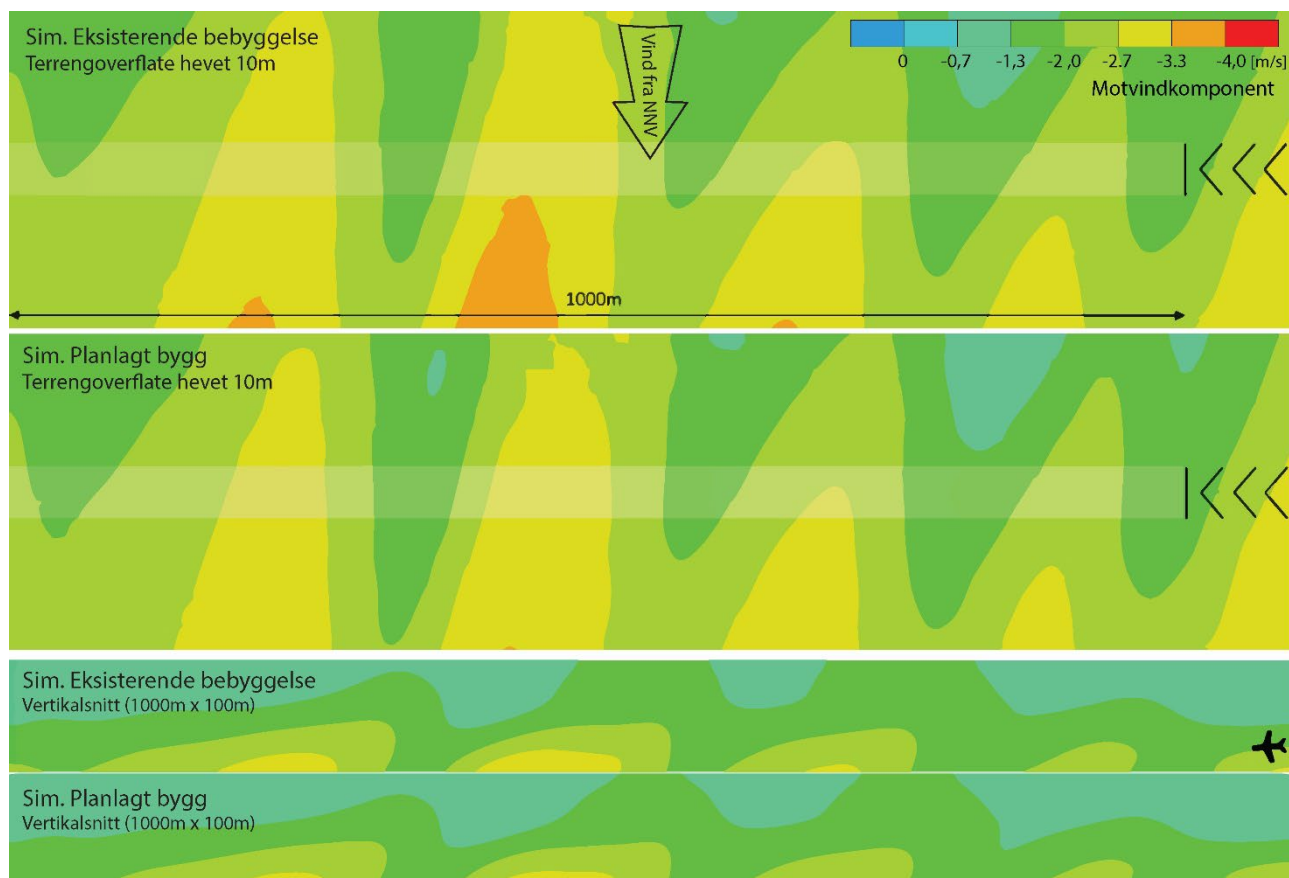
Det er i stor grad sammenfallende tendenser for situasjonen før og etter utbygging og utbygging gir generelt ingen økning i maksimal endring av motvind pr 100m langs innflygningslinje.

Komponent på innflygningslinje	Anbefalte aksept kriteria	Vind NV (326°)		Vind NNV (349°)		Vind N (11°)	
		u/bygg	m/bygg	u/bygg	m/bygg	u/bygg	m/bygg
Maks motvind [m/s]	-	4.4	4.4	3.0	2.8	6.0	6.0
Maks endring motvind pr 100m [m/s]	< 3,6	1.7	1.7	0.9	0.9	2.4	2.4



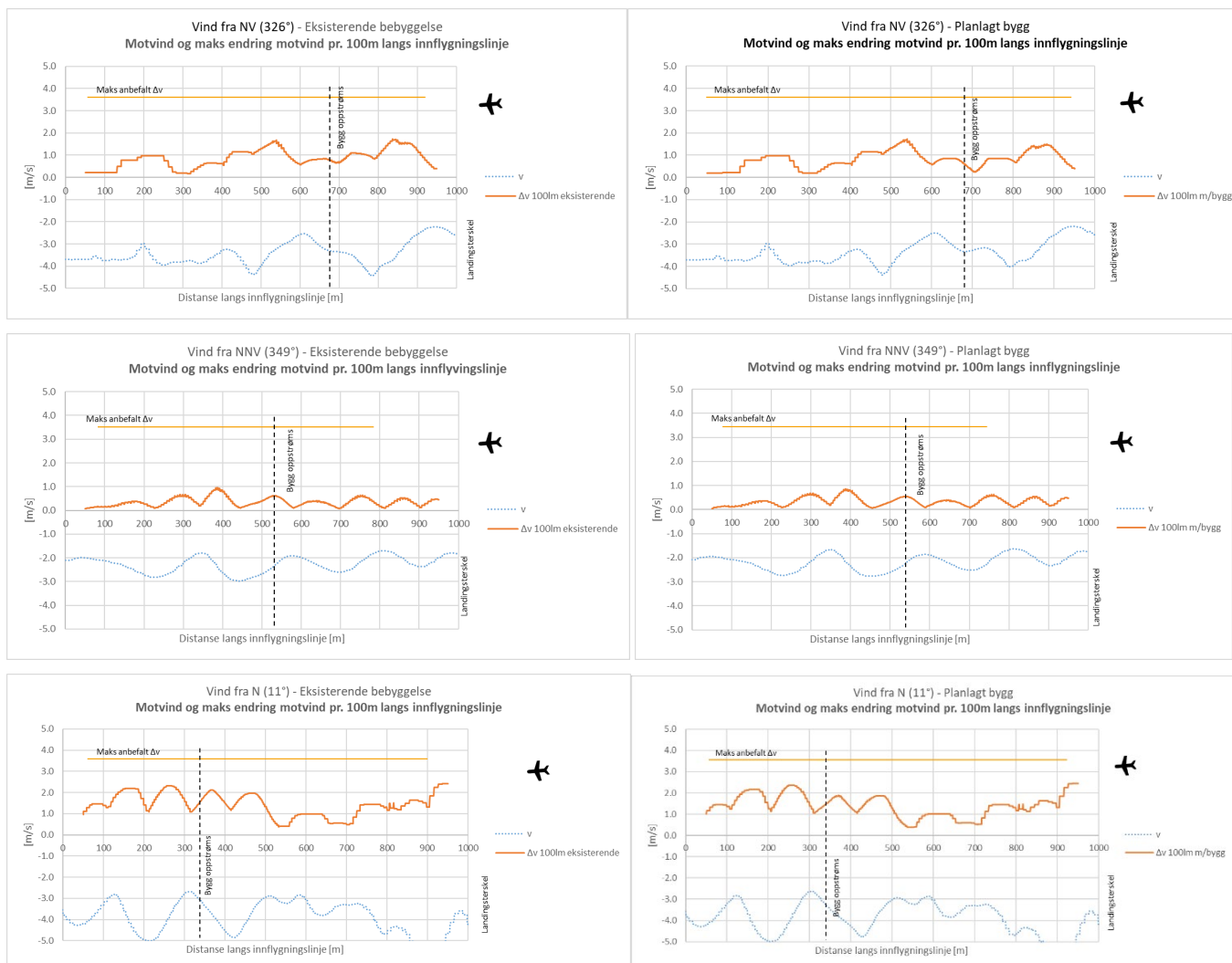
Figur 15. Maksimal endring motvind pr. 100m langs innflygningslinje for situasjonen før og etter planlagt utbygging.





Figur 16. Motvindkomponenten for vind fra NNW for situasjonen før og etter planlagt utbygging. Resultatene er vist på terrengflate hevet 10m og vertikalsnitt langs banens senterlinje m/forlengelse og opp 100m over rullebanen.

Figuren under inneholder sammenligning av motvindkomponent og maksimal endring sidevind pr. 100m langs innflygningslinje, for individuelle simuleringer.



Figur 17. Sammenligning individuelle simuleringer av motvindkomponent og maksimal endring sidevind pr. 100m langs innflygningslinje.

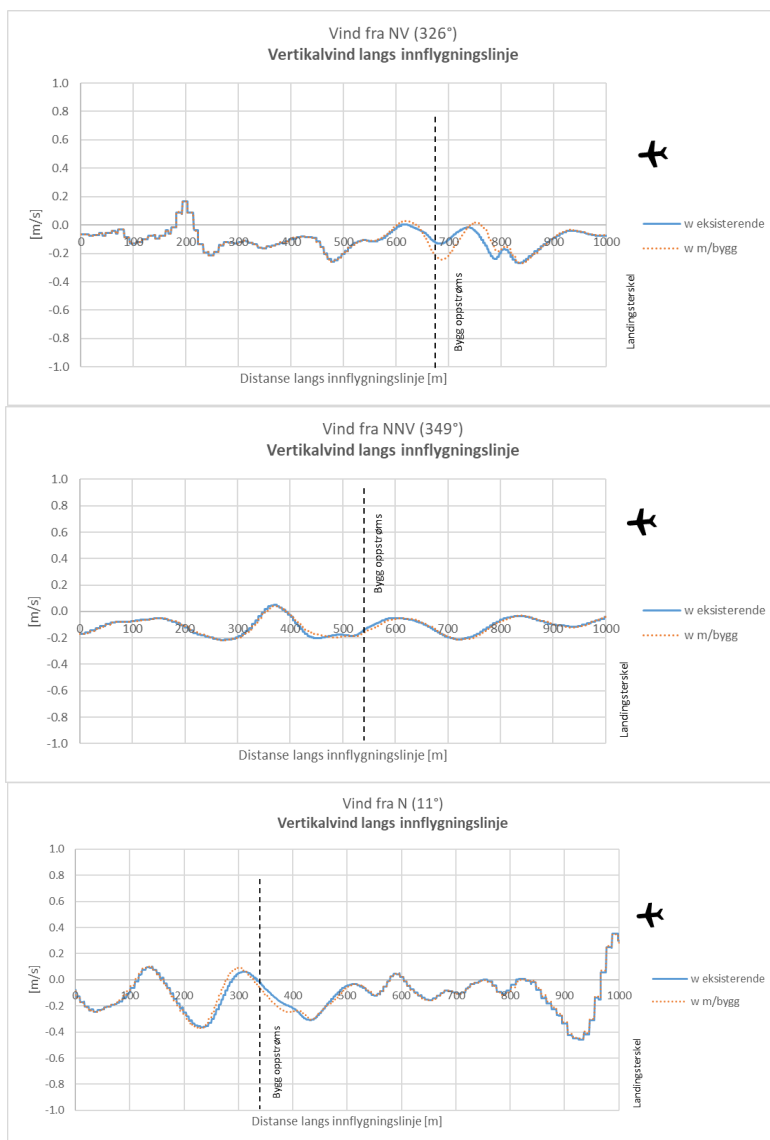
## 5.4 Vertikalvind i aktuell innflygnings- og landingszone

Endring i vertikalvind vil gi endringer i aerodynamisk løft, siden løftkoeffisienten er en funksjon av flyets vinkel i relasjon til fly-retningen og den opplevde vinkel vil være påvirket av den vertikale vindhastighet. Betydelig vertikalvind mot bane og innflygningssoner etc. vil i stor grad kunne oppstå fra resirkulasjonssoner/ vindrotorer bak høye bygninger og strukturer, uheldig omliggende terrengopparbeidelse og eventuelt fra nærliggende fjellformasjoner.

Nieuwpoort, Gooden & de Prins (2010) oppgir ikke anbefalte aksept-kriterier for vertikal vind og vertikal komponenten. Imidlertid viste analysen at opptredende vertikalvind langs den aktuelle innflygningslinja er relativt lav, med en vertikalvind-komponenten som generelt sett varierer fra -0,2 til -0,5m/s.

Effekt av nybygg kan registreres, men vertikalvindeffekter vil for denne utbyggingen ikke være av betydning.

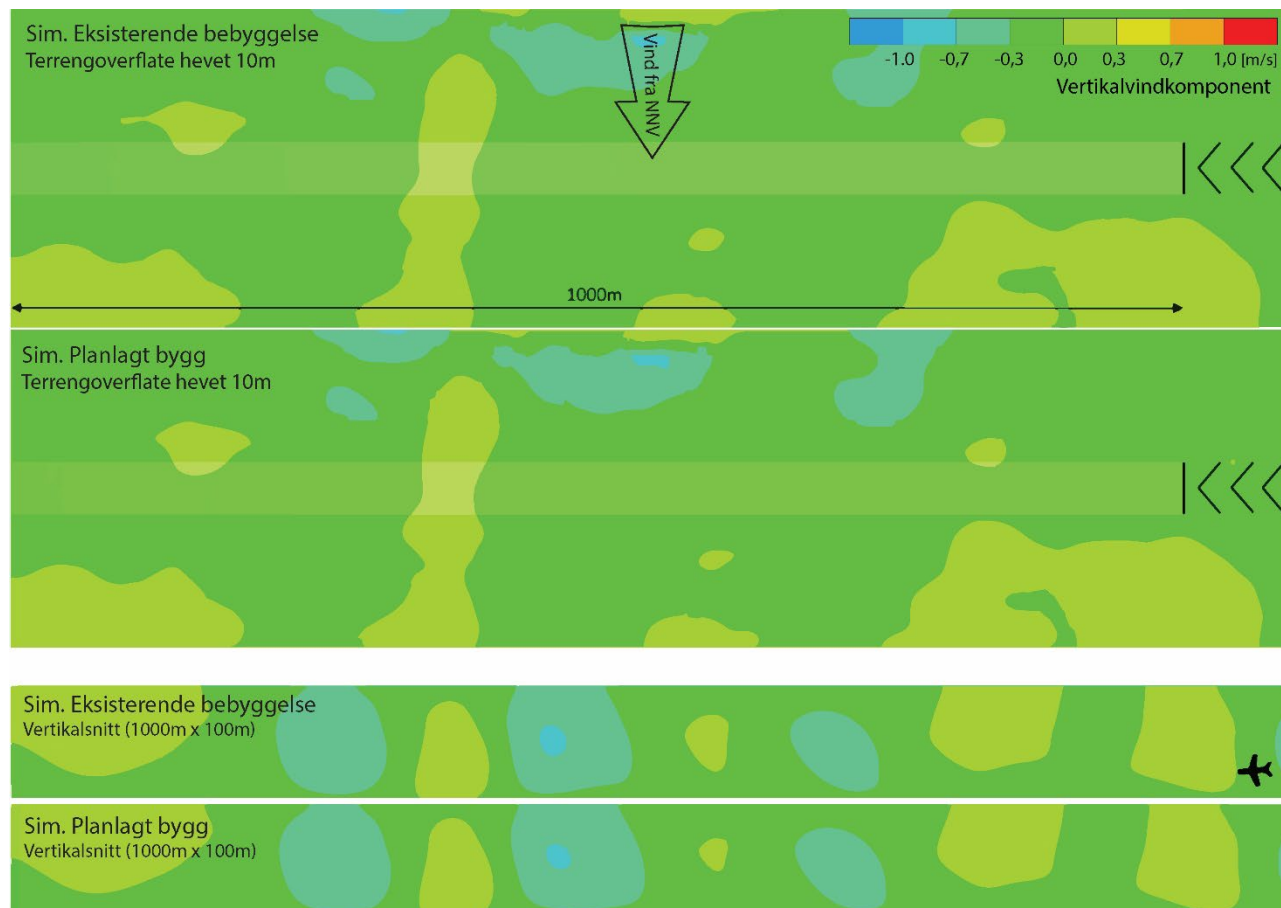
Komponent på innflygningslinje	Anbefalte aksept kriteria	Vind NV (326°)		Vind NNV (349°)		Vind N (11°)	
		u/bygg	m/bygg	u/bygg	m/bygg	u/bygg	m/bygg
Maksimal/min vertikal [m/s]	-	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.5	-0.5



Figur 18. Vertikalvindkomponenten langs innflygningslinja for situasjonen før og etter planlagt utbygging.

Figuren under viser verdier for vertikalvindkomponent for vind fra NNV (349°) for situasjonen før og etter planlagt utbygging. Resultatene er vist på hevet terrengflate og vertikalsnitt langs banen.

Ingen betydelige forskjeller mellom situasjonen før og etter utbygging.



Figur 19. Vertikalvindkomponent for vind fra NNV for situasjonen før og etter planlagt utbygging. Resultatene er vist på terrengflate hevet 10m og vertikalsnitt langs banens senterlinje m/forlengelse og opp 100m over rullebanen.

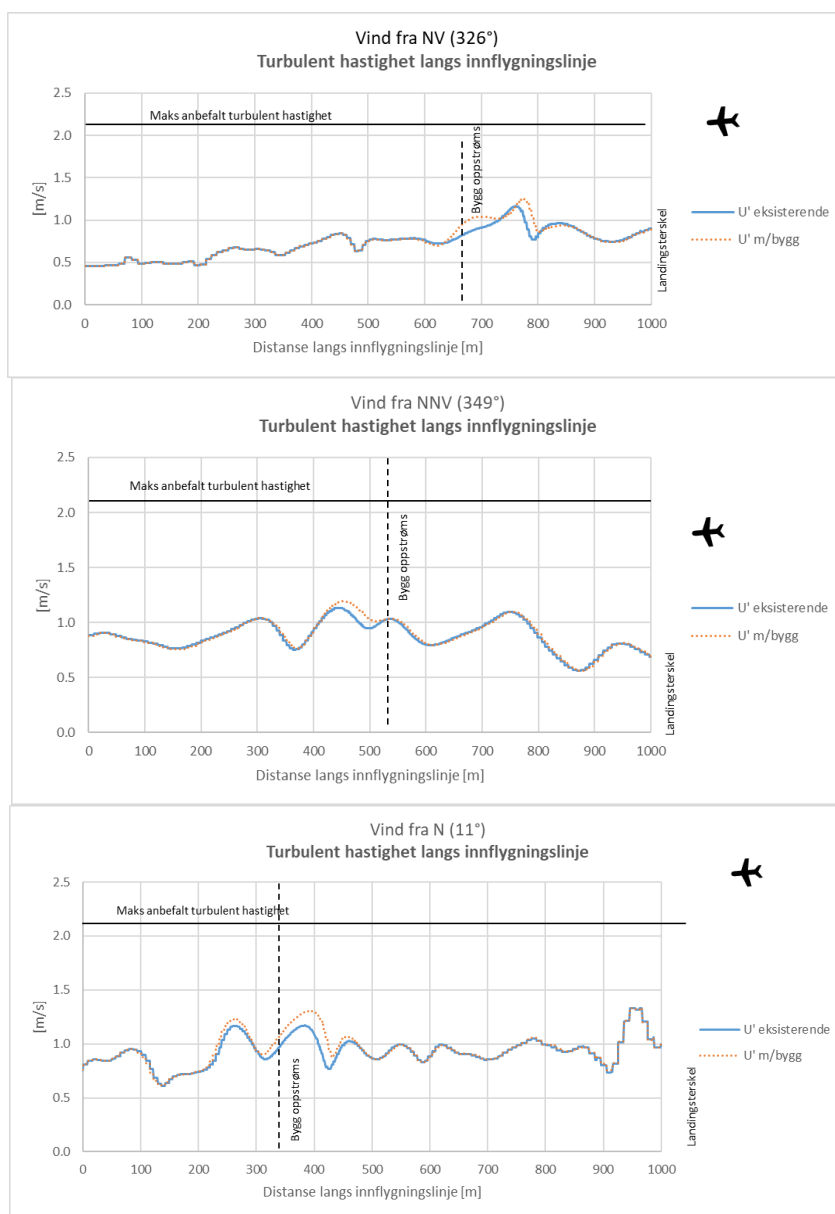
## 5.5 Turbulens i aktuell innflygnings- og landingszone

De undersøkte vindretningene medfører alle høyest verdier for turbulent hastighet i sonen på innflygningslinja som ligger nedstrøms nybygget. Endringene fra eksisterende forhold er imidlertid ikke så store, alle mindre enn 0,1m/s.

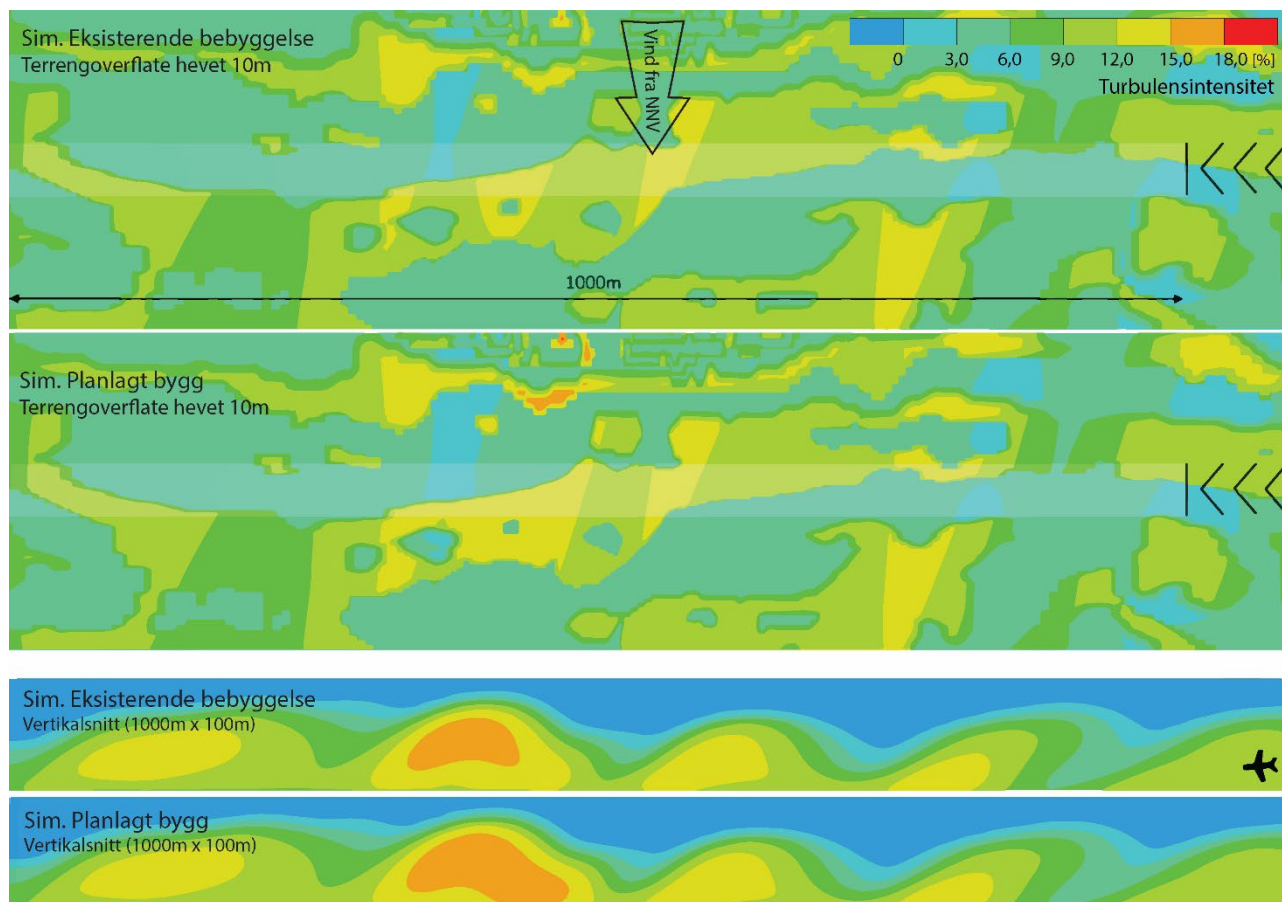
De undersøkte tilfellene hadde alle en maksimal turbulenshastighet langs innflygningslinja som var under 1.3 m/s. Dette er godt under anbefalte aksept kriteria.

Utbygging gir generelt mindre økning i maksimal turbulenshastighet langs innflygningslinja.

Komponent på innflygningslinje	Anbefalte aksept kriteria	Vind NV (326°)		Vind NNV (349°)		Vind N (11°)	
		u/bygg	m/bygg	u/bygg	m/bygg	u/bygg	m/bygg
Maks turbulentintensitet [%]	-	12.8	14.0	12.3	13.5	13.2	14.3
Maks turbulent hastighet [m/s]	< 2,1	1.2	1.2	1.1	1.2	1.3	1.3



Figur 20. Turbulent hastighet langs innflygningslinje for situasjonen før og etter planlagt utbygging.

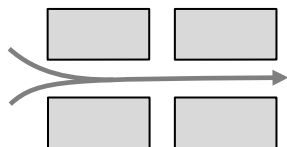


Figur 21. Turbulensintensitet for vind fra NNW for situasjonen før og etter planlagt utbygging. Resultatene er vist på terrengflate hevet 10m og vertikalsnitt langs banens senterlinje m/forlengelse og opp 100m over rullebanen.

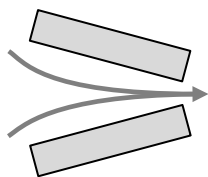


## 6 VINDKLIMA RUNDT BYGNINGER OG STRUKTURER

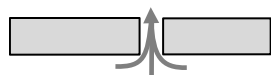
Vindfeltet rundt bygninger og konstruksjoner er ofte svært komplekst med kombinasjoner av ulike vindeffekter. Illustrasjonene under viser typiske vindeffekter rundt bygninger og kan være nyttige med hensyn til vurdering av simuleringsresultatene, for å få en bedre forståelse for hvorfor vindforsterkning og levirkninger oppstår.



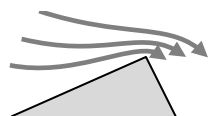
**Kanalisert vindfelt** i en korridor dannet av bygninger trenger nødvendigvis ikke øke vindens hastighet mellom bygningene, men i fravær av en normal blokkering av «kanalen» vil ofte medføre relativt større vindstyrker enn i omkringliggende områder. Vindhastigheten vil kunne øke dersom bygningene i korridoråpningen danner en trakt mot vinden.



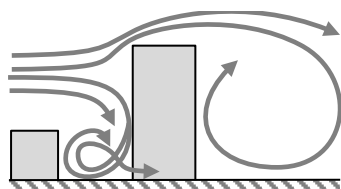
**Trakteffekt mellom bygningsvolumer** som er lokalisert slik de danner en traktform slik at vinden presses sammen og øker hastigheten. Trakteffekten får størst effekt for relativt høye og brede bygningsvolumer (høyde minimum 15m og lengde på åpning minst 100m).



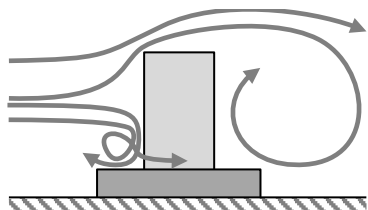
**Vindforsterkning i passasje** mellom bygninger eller i åpne passasjer gjennom bygningsstrukturer, som følge av trykkforskjeller mellom lo- og leside.



**Vindforsterkning rundt hjørne** i overgang mellom le og loside av bygning eller rundt hjørner som stikker ut i vindstrømningen. Overgangen mellom store og lave vindhastigheter er ofte svært turbulent og vindhastigheten kan føles større enn den egentlig er.



**Vindnedslag og rotordannelse** rundt bygninger. Vind som treffer normal på en åpen bygningsfasade, vil fra en høyde av 2/3 opp på fasaden, bli presses ned mot bakkeplan. Opptrer som fluktuerende rotorer (turbulent kastevind). Kan gi svært store hastigheter rundt høye bygninger og tilstrekkelig store hastigheter til å redusere utekomfort rundt lavere bygg.



**Fremskutt base** på høybygg kan benyttes for å redusere vindbelastningen på bakkeplan som følge av vindnedslag og rotordannelse rundt bygninger.



**Strømlinjeformet og fortettet bebyggelse** gir kollektiv vindskjerming.



Bebyggelse utformet **strømlinjeformet med terreng** kan selv på en bakketopp, virke kollektivt vindskjermende.

## 6.1 Relativ vindhastighet i uteoppholdssoner

Relativ vindhastighet er i denne analysen definert som forholdet mellom lokal hastighet i personhøyde (1.75m) og hastigheten i tilsvarende høyde, i det innkommende og uforstyrrede vindfeltet:

$$\text{Relativ vindhastighet} = \frac{U_{sim}(1.75)}{U_{ref}(1.75)}$$

Relativ vindhastighet angir dermed endring i hastighet, som følge av lokale bygninger, strukturer og topografi. Relativ vindhastighet større enn 1.0, gir økning av vindhastighet i forhold til uforstyrret vind, mens verdier mindre enn 1.0 gir reduksjon. Stor relativ vindhastighet, betyr nødvendigvis ikke at vinden er sterk i aktuell sone, men at vindhastigheten øker tilsvarende i forhold til innkommende vind på terrengnivå. Styrken på den lokalt innkommende vinden er her avgjørende. I vindutsatte områder representerer relative vindhastigheter større enn 1.5 oftest store lokale vindhastigheter.

De største vindhastighetene oppstår som regel rundt spisse hjørner og kanter av bygninger og tak, og der bygningsvolumene danner innsnevring eller passasjer, som presser vinden sammen. Identifisering av maksimal vindforsterkning avhenger mye av analysens detaljeringsgrad. For vindsimuleringer med høy detaljeringsgrad, er det rundt vindeksponert bygningsdetaljer ikke uvanlig med relative vindhastigheter mot 2.0. Det vil si en fordobling av referanse-vindhastigheten.

***Relativ hastighet benyttes for å analysere det lokale vindfeltet, for å få en bedre forståelse for hvor vindforsterkning og levirkninger oppstår, og hvilke bygninger og strukturer som gir forsterkning av vind eller le. Dette danner grunnlag for vurdering av designendringer og tiltak.***

## 6.2 Opptredende vindhastighet i uteoppholdssoner

Opptredende lokale vindhastigheter ved typiske vindstyrker fra bris til sterk bris, gir ofte en god referanse og beskrivelse av lokale vindforhold. Tabellen under angir de vindstyrkenes virkning på mennesker.

Beaufort	Betegnelsen	Vindhastighet 1.75m (m/s)	Virkning på mennesker
0	Stille	0.0–0.1	
1	Flau vind	0.2–1.0	Vinden knapt merkbar
2	Svak vind	1.1–2.3	Vinden føles i ansiktet
3	Lett bris	2.4–3.8	Hår og klær flagrer, vanskelig å lese en avis.
4	Laber bris	3.9–5.5	Støv og papir virvles opp
5	Frisk bris	5.6–7.5	Vindkrefter kan føles på kroppen, fare for å snuble ved inngang til vindsone
6	Liten kuling	7.6–9.7	Vanskelig å benytte en paraply, håret blåses rett, vanskelig å gå stødig, side-vindkrefter nærmer seg gå-kraft forover, ubehagelig vindsus i ørene.
7	Stiv kuling	9.8–12.0	Føles besværlig å gå mot vinden
8	Sterk kuling	12.1–14.5	Generelt redusert ferdsel, vanskelig å holde balanse i vindkastene
9	Liten storm	14.6–17.1	Personer blåses overende (lette strukturelle skader kan oppstå).

Tabell 2. Utvidet Beaufort skala som viser vindens virkning på mennesker. Vindhastigheter er gitt ut fra gjennomsnittlig vindhastighet målt i personhøyde ( $z = 1,75\text{m}$ ) over åpent terreng med ruhetlengde,  $z_0 = 0,03\text{m}$ . Vindeffektene over kan forårsakes av både stasjonære vindforhold og vindkast/turbulens (Lawson & Penwarden, 1975).

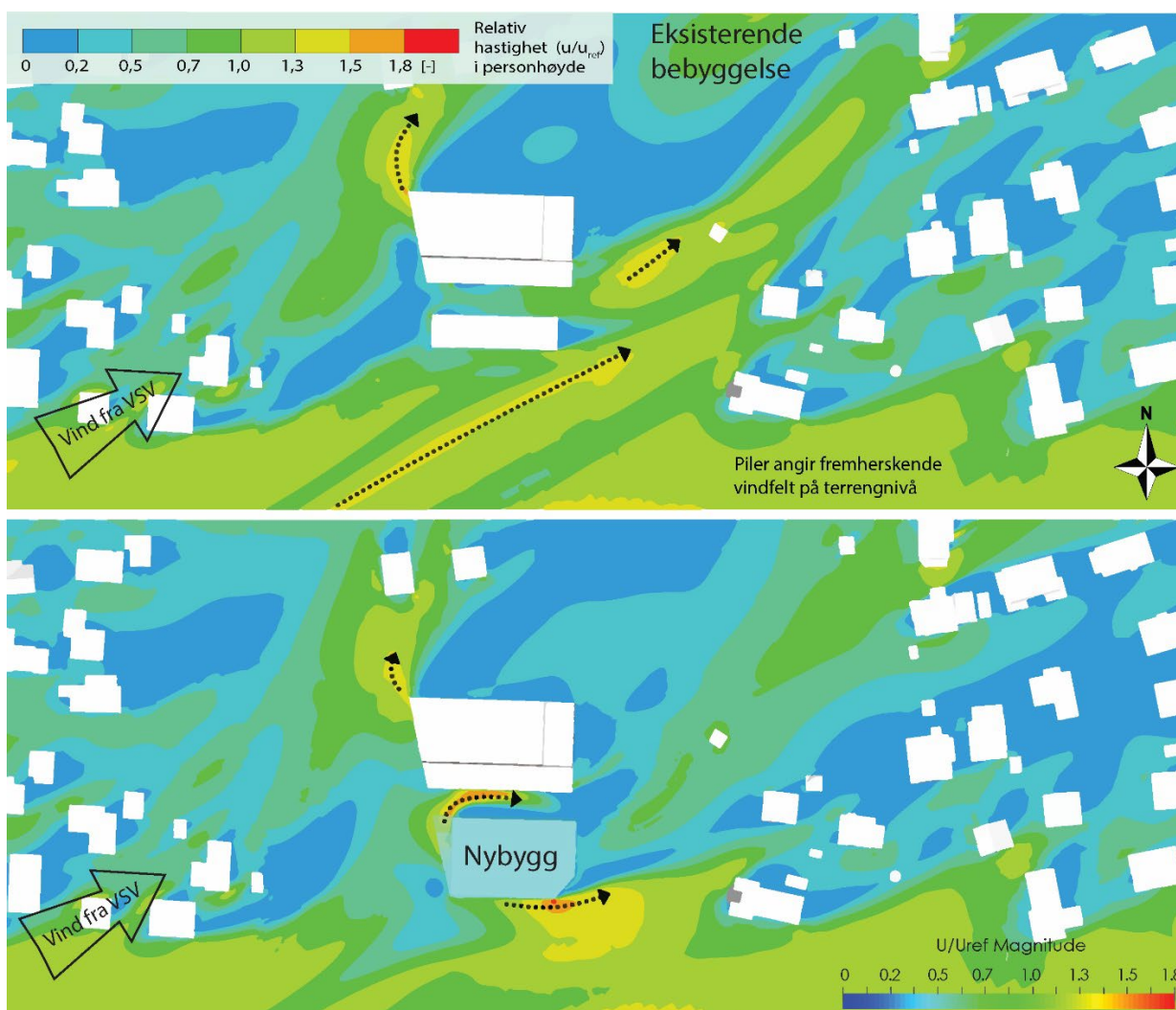
## 7 VINDFORHOLD RUNDT FRIDTJOF NANSENS VEI 11

Det er utført numeriske simuleringer av vind rundt utbyggingsforslag for Fridtjof Nansens vei 11 ut fra de lokalt fremherskende vindretninger fra **VSV** og **Ø**. Presentasjon og analyse av resultater er gjort med vekt på vindeffekter i uteareal, utredningsalternativenes virkning på lokale vindforhold og eventuell implementering av vinddempende tiltak/løsninger. **Relativ vindhastighet større enn 1.0, angir økning av vindhastighet i forhold til uforstyrret vind, mens verdier mindre enn 1.0 angir reduksjon og dermed skjerming.** Den største vindforsterkning oppstår oftest rundt hjørner av bygninger og tak, samt mellom enkelte bygninger.

### 7.1 Fremherskende vindeffekter

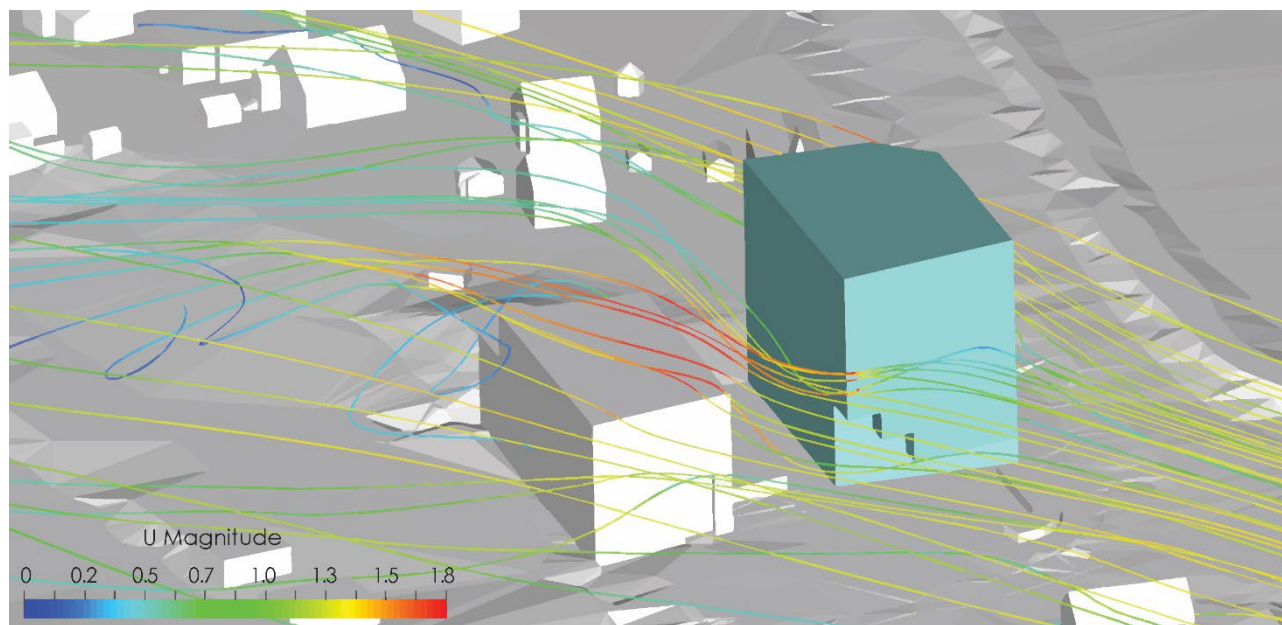
Figur 22-26 viser resulterende vindstyrke i personhøyde i det aktuelle området, ved vind fra **VSV** og **Ø**. De største vindhastighetene oppstår ved vind fra **VSV** og dette skjer fordi området er mindre skjermet for denne vindretningen. Ved vind fra **VSV** gir nybygg vindforsterkning i passasjen mot nabobygningen i nord, samt rundt sørøstlig hjørne. Vindforsterkning rundt Fridtjof Nansens vei 11 oppstår for det meste som en følge av trykkforskjeller mellom lo- og leside av bygningsvolumene, samt nedslagvind rundt nybygget.

Foruten vind økt vind mot Statsforvalteren i nord, vil det ikke oppstå noe betydelig vind mot nabobebyggelsen.



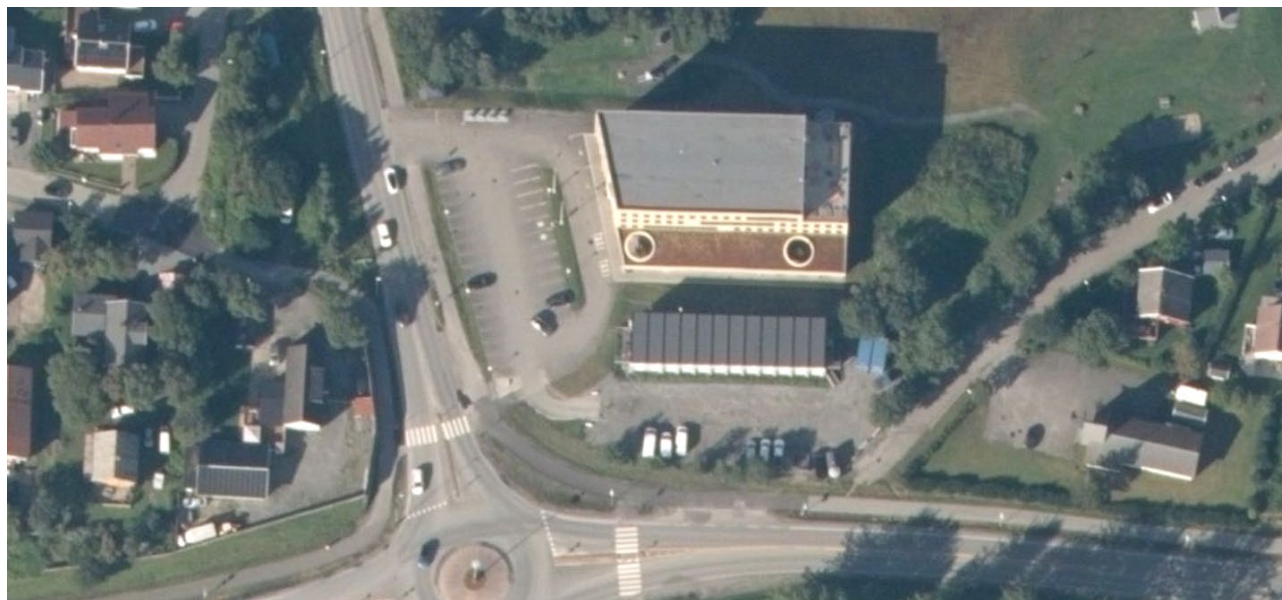
Figur 22. Vindhastigheter i personhøyde ved vind fra **VSV**, for tilfellet med og uten utbygging.





Figur 23. Illustrasjon av vindfelt rundt nybygg ved vind fra **VSV**.

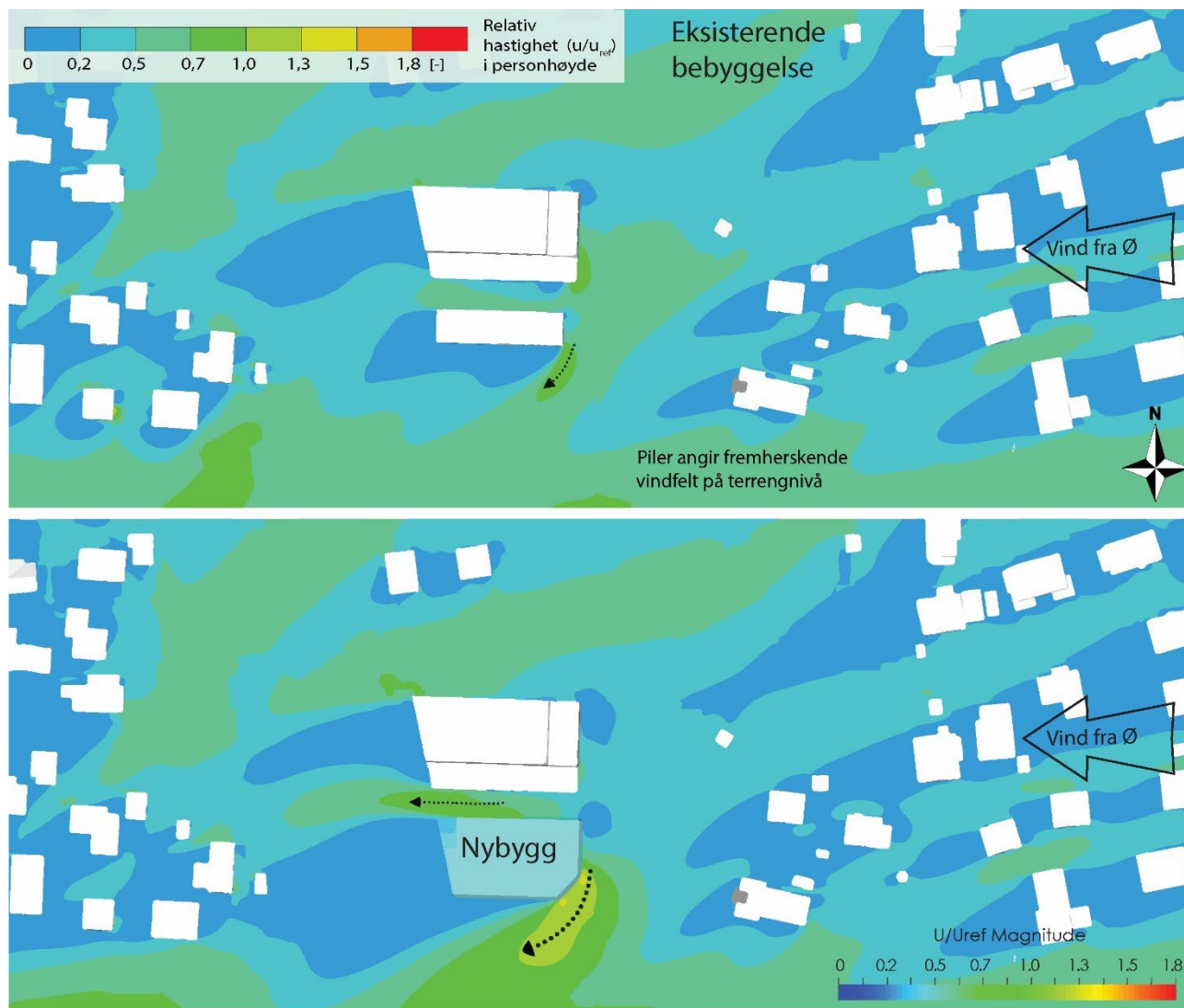
Vindsimuleringene er utført uten omliggende trær og beplantning, slik at enkelte steder vil det være beregnet noe for høye vindbelastning.



Figur 24. Trær og beplantning rundt Fridtjof Nansens vei 11 gir en betydelig vinddempende effekt.

Fridtjof Nansens vei 11 er relativt skjermet av omliggende terreng og bebyggelse i forhold til vind fra østlig sektor.

Det vil oppstå noe økning av vind rundt sørøstlig hjørne av nybygget og i passasjen mot nabobygningen i nord, men økningen vil være mindre enn for vind fra VSV.

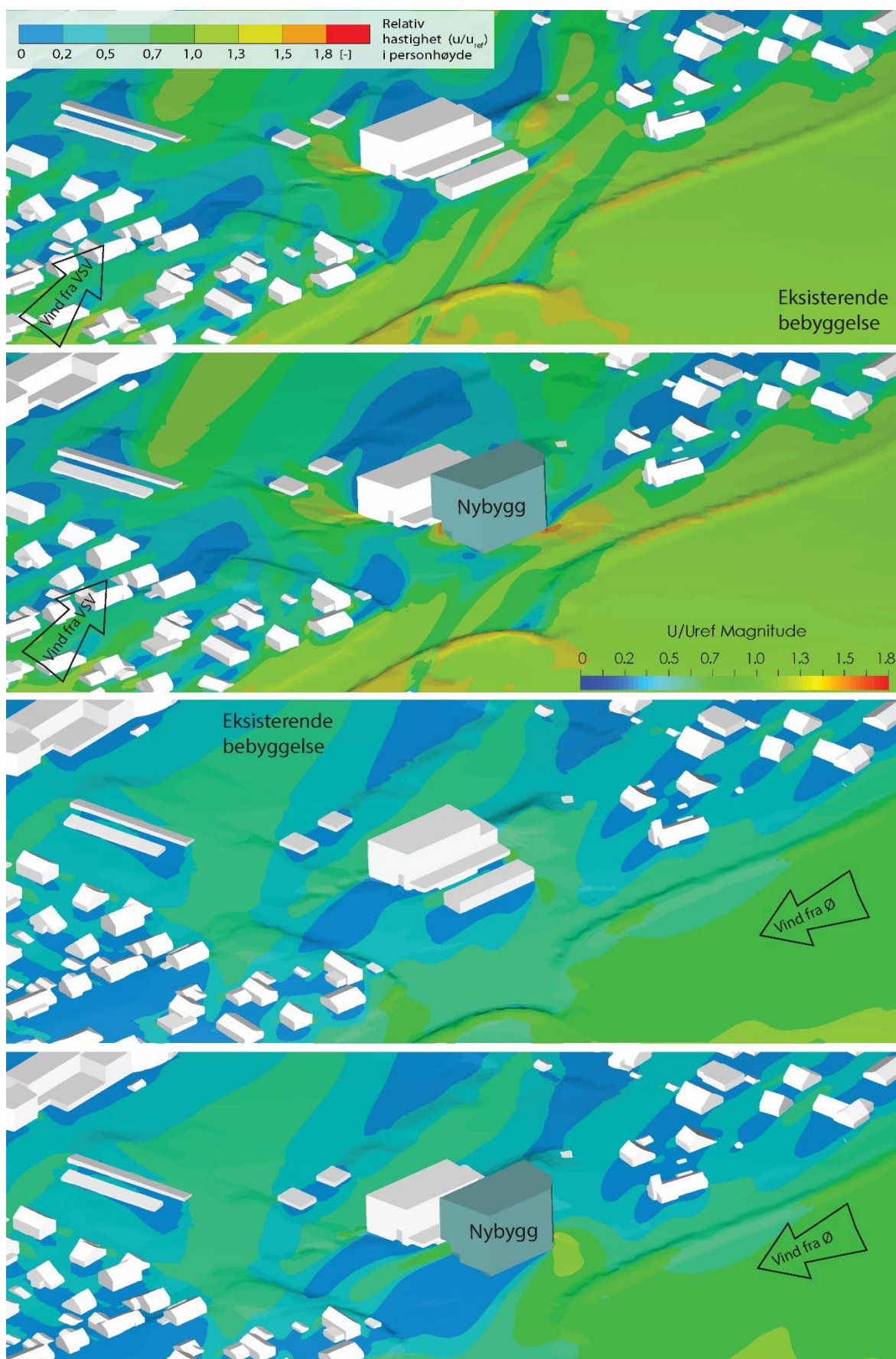


Figur 25. Vindhastigheter i personhøyde ved vind fra Ø, for tilfellet med og uten utbygging.

## 7.2 Snødrift

Snødrift oppstår generelt i kalde og vindfulle perioder og mest drift kommer der vinden øker over lange åpne flater. Vind fra østlig sektor opptrer oftest på vinteren og er generelt den lokalt fremherskende snødrivende vindretning. Den aktuelle utbyggingen er relativt skjermet for østlig vind og snødrift fra øst. Fonndannelse i Fridtjof Nansens vei 11 vil begrense seg til omdistribuering innenfor egen tomt.





Figur 26. Perspektiv av vindhastigheter i personhøyde ved vind fra **VSV** og **Ø**, for tilfellet med og uten utbygging.



## 8 FORSLAG TIL LOKALE VINDSKJERMENDE TILTAK

Plan og bygningsloven (PBL) krever at det i planleggingen av et foretak generelt skal tas hensyn til lokale klimaforhold. Ved utbygging skal utendørs oppholds- og aktivitetsareal utformes slik at fare for personer unngås og uteoppholdsareal skal etter sin funksjon være egnet for rekreasjon, lek og aktiviteter for ulike aldersgrupper. Imidlertid henvises det ikke til noen spesifikke komfortkriterier.

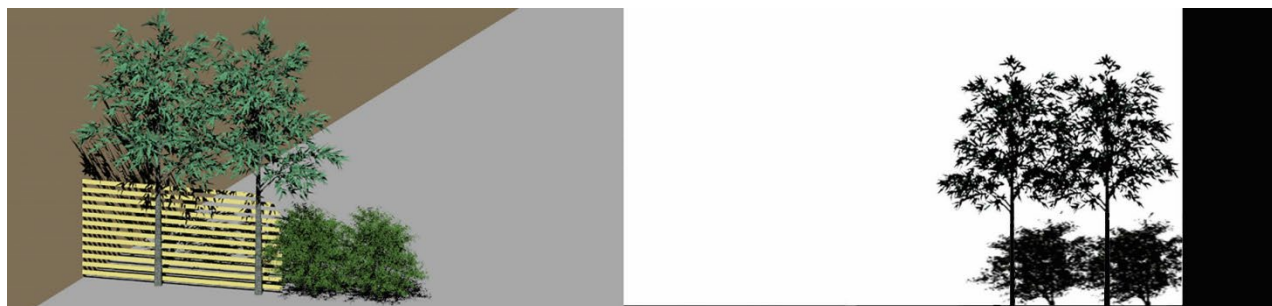
### 8.1 Vinddempende elementer/skjerming

Implementering av vinddempende elementer rundt og i, uteområdene er ofte tilstrekkelig til å oppnå tilfredsstillende lokal vinddempning. Skjermingstiltak må ikke redusere funksjon i uteområder og må derfor utformes med utgangspunkt i minimum omfang og inngrep i arkitektonisk design. Riktig valg, utforming og lokalisering av tiltak, er her en forutsetning. Ofte gir kombinasjoner av vinddempende Prosjekterte skjermingstiltak bør analyseres for å dokumentere virkning av disse.

Gjennomtrengelige strukturer, som delvis åpne skjermer eller vegetasjon, er oftest mer effektive for vindskjerming enn ikke-gjennomtrengelige strukturer. Gjennomtrengelige strukturer fungerer her ved at de delvis slipper vinden gjennom, med reduserte hastigheter nedstrøms som resultat. Rundt tette, frittstående skjermer oppstår det ofte vindnedslag og rotordannelse, fordi vinden slår over skjermen og skaper en nedstrøms virveldannelse. Særlig gjelder dette ved store vindstyrker. Frittstående skjermer med en åpningsgrad på 30-50% og åpninger i størrelsesorden 10-15cm, gir ofte den beste vinddempende effekt.

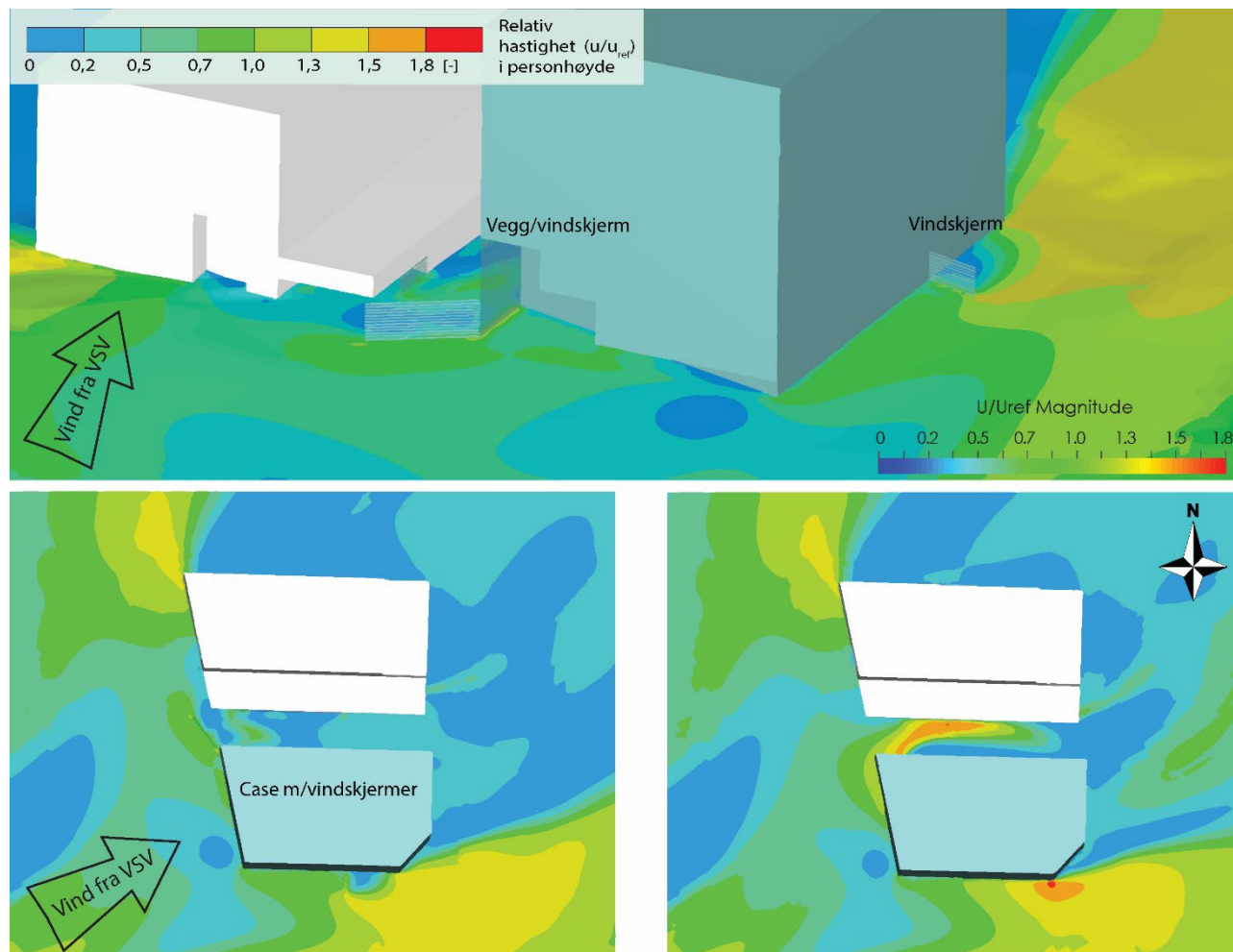
Med riktig valg av vekster, kan vegetasjon være svært effektiv for lokal dempning av vind i uteområdene. Rekker med trær, såkalte «shelterbelts» har lenge vært benyttet for vindskjerming av åpent åkerland, med en skjermingseffekt tilsvarende gjennomtrengelige skjermstrukturer.

For at vegetasjon skal kunne skjerme vinden effektiv, må den være dekkende fra bakken og opp til en ønsket høyde. Beplantning i form av lave trær eller busker, kan benyttes for å hindre vindøkning under høyere trær. Beplantning kan også suppleres med vindskjermer/gjerder.



Figur 27. Eksempel på skjermende vegetasjon og vegetasjon kombinert vindskjerm.

Figuren under viser eksempel på skjerming rundt Fridtjof Nansens vei 11 ved hjelp av vindskjermer og hvordan dette kan redusere vindforsterkninger på bakkenivå. Vindskjermene kan enkelte steder kombineres eller erstattes med beplantning.



Figur 28. Effekt av vindskjerming på bakkenivå ved vind fra VSV.

## REFERANSER

- Beyers, J.H.M., Sundsbø, P.A. and Harms, T.M., 2004, Numerical simulation of three-dimensional, transient snow drifting around a cube, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Volume 92, 725-747.
- deWith, G. & A. E. Holdø, 2006, The use of Solution Adaptive Grids for Modeling Small Scale Turbulent Structures, *Journal of Fluids Engineering-Transactions of the ASME; Special Section on the Future on LES Modelling* September 2005 936-944 Vol. 127 No.5 2005.
- deWith, G. & A. E. Holdø, 2005, The use of Turbulent Inflow conditions for the modelling of a high aspect ratio jet, *Fluid Dynamics Research*, December 2005 443-461 Vol. 37 No. 6.
- Flow Science Inc., 2020, Flow Science, Inc., 683 Harkle Road, Santa Fe, NM 87505, <http://www.flow3d.com>, (05.07.2020).
- Hertwig, D., L. Gough, H., Grimmond, S., Barlow, J. F., Kent, C.W., Lin, W.E., Robins, A.G. and Hayden, P., 2019, Wake Characteristics of Tall Buildings in a Realistic Urban Canopy, *Boundary-Layer Meteorology* 172:239–270.
- Holdø, A. E., 2002, Turbulence Models for Industrial Applications', A.S.M.E. PVP Conference on Emerging Technologies for Fluids and Fluid-Structure Interaction, Invited paper and Awarded as Outstanding Technical Paper.
- Holdø, A.E., 1992, Computational Fluid Dynamics Applied to Topside Design of Offshore Structures, Meeting of The Institute of Marine Engineers and Royal Institution of Naval Architects - Joint Offshore Group, London - January 1992- Stanley Grey Award for best paper of the year.
- Holdø, A.E., E.L. Houghton, F.S. Bhinder, 1982, Some effects due to variations in turbulence integral length scales on the pressure distribution on wind tunnel models of low rise buildings. *Jnl. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 10(1982) pp 103 - 115, May 1982.
- Houghton, E.L. & Carruthers, N. B., 1984, *AERODYNAMICS FOR ENGINEERING STUDENTS*, Edward Arnold Plc 1984.
- Krus, H.W., J.O. Haanstrab, R. van der Hama, B. Wichers Schreurec, 2003, Numerical simulations of wind measurements at Amsterdam Airport Schiphol, *Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 91, 1215–1223.
- Lawson, T.V. and Penwarden, A.D., 1975, The Effects of Wind on People in the Vicinity of Buildings, In: *Proceedings 4th International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures*, Cambridge University Press, Heathrow, pp. 605–622.
- Leung, Y.C., W.Y. Lo, W.Y. Chow, P.W. Chan, 2012, Effect of terrain and building structures on the airflow in an airport, *Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 13(6):461-468.
- Nieuwpoort, A.M.H., Gooden, J.H.M. and J.L. de Prins, 2010, Wind criteria due to obstacles at and around airports, National Aerospace Laboratory NLR, NLR-TP-2010-312.
- Sundsbø, P.A., 2015, Winterization of onshore facilities and outdoor work areas. I: *International Arctic Petroleum Cooperation: Barents Sea Scenarios*, Routledge, ISBN 978-1-13-878326-3, 251-273.
- Yakhot, V. & Orszag, S.A., 1986, Renormalization group analysis of turbulence I. basic theory, *J. Sci. Comput.*, 1(1):3–51, URL: <http://dx.doi.org/10.1007/BF01061452>, doi: 10.1007/BF01061452.
- Yakhot, V. & Smith, L. M., 1992, The renormalization group, the e-expansion and derivation of turbulence models, *J. Sci. Comput.*, 7(1):35–61, URL: <http://dx.doi.org/10.1007/BF01060210>, doi: 10.1007/BF01060210.