

Tittel:			
<b>Analyse av lokale vindforhold rundt Storgatakvartalene i Bodø</b>			
Oppdragsgiver:		Klassifisering:	
<b>Bodø kommune</b>		Begrenset til kunde	
<b>Postboks 319, 8001 Bodø</b>		Utført av/ansvarlig:	
		Per-Arne Sundsbø	
Oppdragsgivers ref.:		Rapportnr.:	Revisjon:
Susanne Dale Jomås (Susanne.Dale.Jomas@bodo.kommune.no)		139-17	0
		Status:	
		Endelig	
Utgave:	Dato:	Antall sider:	
0	27.04.2017	19	
		Dato:	
		27.04.2017	

## SAMMENDRAG/KONKLUSJON

Det er utført en lokal vindanalyse med hensyn til utbyggingsforslag for Storgatakvartalene 9, 10, 17, 18 og 19 i Bodø sentrum, basert på de lokalt fremherskende vindretninger fra N, V, VSV og Ø. Vind fra østlig sektor er den mest fremherskende lokale vindretningen i Bodø, som også oppstår med relativt store vindstyrker. Vind fra Vest-Sørvest er ofte nedbørsførende og lokalt fremherskende med hensyn til store vindstyrker. Generelt er hensynet til vind fra Øst og Vest-Sørvest viktigst for vindklimaet i sentrum av Bodø.

Den omliggende sentrumsbebyggelsen vil virke delvis dempende i forhold til vind fra Vest, Vest-Sørvest og Øst, men vind fra disse vindsektorene vil bli kanalisert gjennom Sjøgata, Storgata og Dronningens gate. Utbyggingsforslagene gir ikke endringer i gateløpene og følgelig vil det ikke oppstå store endringer i den kanaliserte vindbelastningen. For vind fra Øst, vil utbygging generelt medføre mindre endringer i vindbelastningen på bakkeplan. Ved vind fra Vest-Sørvest vil vinden øke litt gjennom Sjøgata, bli noe mindre gjennom Storgata, mens det i Dronningens gate ikke ser ut til at utbyggingen gir særlig endring i vindforholdene. Ved vind fra Vest vil vindhastighetene i Sjøgata sett under ett, være uendret etter utbygging (I). Vind fra Vest vil øke vindhastighetene på østsiden av Rådhuset.

Vind fra Nord opptrer ikke ofte med store vindstyrker, men oppleves ofte som kald vind i månedene mai-august. Utbyggingsområdet vil i utgangspunktet være mest eksponert i forhold til nordlig vind, men utbyggingsforslag I vil ikke føre til store endringer i vindforholdene som følge av vind fra denne retningen.

Ved vind fra Øst og Vest-Sørvest vil gågata ikke bli mer vindutsatt som følge av utbyggingsforslag I. Ved vind fra Vest-Sørvest vil utbyggingsforslag I medføre at gågata vil kunne bli litt mindre vindutsatt. Ved vind fra Nord vil vindbelastningen i gågata sett under ett, være tilnærmet uendret etter utbygging. Gågata vil bli litt mer vindutsatt for vestlig vind som følge av utbyggingsforslag I.

De høyeste takpartiene på utbyggingsforslagene vil bli mer vindbelastet enn takpartiene på den eksisterende bebyggelsen. Ved vind fra Øst og Vest-Sørvest, vil takflatene på utbyggingsforslag I i utgangspunktet ikke bli mer vindutsatt enn takflatene på den eksisterende bebyggelsen. Ved vind fra Nord og Vest vil takflatene på utbyggingsforslag I bli noe mer vindutsatt. Vindbelastningen på nabobebyggelsens takflater vil ikke bli særlig endret etter utbygging (I).

### Generell konklusjon

- Utbyggingsforslag I vil generelt ikke føre til store endringer i vindforholdene på bakkeplan eller endringer i den kanaliserte vindbelastningen gjennom Sjøgata, Storgata og Dronningens gate.
- Det vil som følge av utbygging oppstå økt hastighet rundt bygningshjørne ved inngangen til Storgata, som følge av østlig vind. Ved nordlig vind vil utbygging føre til økte vindhastigheter i krysset mellom Dronningens gate og Rådhusgata, og noe økning i en sone i Sjøgata. Ved vind fra Vest vil vindhastighetene øke på østsiden av Rådhuset, i Dronningens gate.
- Det vil oppstå både økning og reduksjon av vindbelastningen i gågata som følge av utbygging. Endringene er ikke store og sett under ett vil vindforholdene være tilnærmet uendret etter utbygging. Vindanalysen er utført uten dempende effekter fra trærne i gågata, slik at denne vurderingen vil være konservativ.

### Aktuelle avbøtende tiltak

- Beplantningen i gågata er særdeles viktig for å redusere vinden på bakkenivå. Denne kan eventuelt forsterkes.
- Beplantning ved vindutsatte bygningshjørner.

Behov for eventuelle avbøtende tiltak vil avhenge endelig bygningsutforming og kan/bør vurderes i detaljplanleggingen.

## INNHold

<b>SAMMENDRAG/KONKLUSJON.....</b>	<b>1</b>
Generell konklusjon.....	2
Aktuelle avbøtende tiltak.....	2
<b>INNLEDNING .....</b>	<b>4</b>
<b>VINDKLIMATISKE FORUTSETNINGER .....</b>	<b>5</b>
Fremherskende vindforhold.....	5
<i>Vind i vintersesongen.....</i>	<i>6</i>
<i>Vind i vår-, sommer- og høstsesongen .....</i>	<i>6</i>
Fremherskende vindretninger for det aktuelle utbyggingsområdet.....	7
<b>ANVENDT METODE .....</b>	<b>8</b>
Beregningsteknikk .....	8
Representasjon av arkitektur og terreng .....	8
3D modell av arkitektur og terreng .....	9
<b>VINDEFFEKTER RUNDT BYGNINGER OG STRUKTURER.....</b>	<b>10</b>
<b>VINDPÅVIRKNING - KOMFORT OG SIKKERHET .....</b>	<b>11</b>
Mekanisk vindpåvirkning.....	11
Termisk vindpåvirkning .....	11
Komfortkriterier .....	12
Vind-sikkerhetskriterier.....	12
Relativ vindhastighet i uteoppholdssoner.....	13
Opptredende vindhastighet i uteoppholdssoner .....	13
<b>RESULTATER - FREMHERSKENDE VINDEFFEKTER RUNDT PLANFORSLAGET .....</b>	<b>14</b>
<b>RESULTATER - VINDBELASTNING PÅ TAKFLATER.....</b>	<b>18</b>
<b>REFERANSER .....</b>	<b>19</b>

## INNLEDNING

I forbindelse med områderegulering i sentrum av Bodø, er **Outdoor Environment Technology AS (OET)** engasjert av **Bodø kommune** for å utføre en analyse av lokale vindforhold rundt utbyggingsforslag for Storgatakvartalene 9, 10, 17, 18 og 19.

Bodø kommune ønsker å kartlegge hvordan vindforholdene vil forandre seg som følge av en tenkt utbygging, og da særlig med fokus på forholdene i gateløpet som også er gågate, og der skal det også legges til rette for mer uteopphold i planen.

Vindanalysen inkluderer eksisterende og planlagt bebyggelses virkning på lokale vindforhold og virkning av vind på fotgjengere i nærliggende gateløp og opphold på uteoppholdsareal.

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

Sikre at nybygging ikke medfører uheldige vindeffekter rundt utbyggingsprosjektet og for omliggende bebyggelse med tilgrensende uteområder.

### ***Vindanalysen inkluderer følgende:***

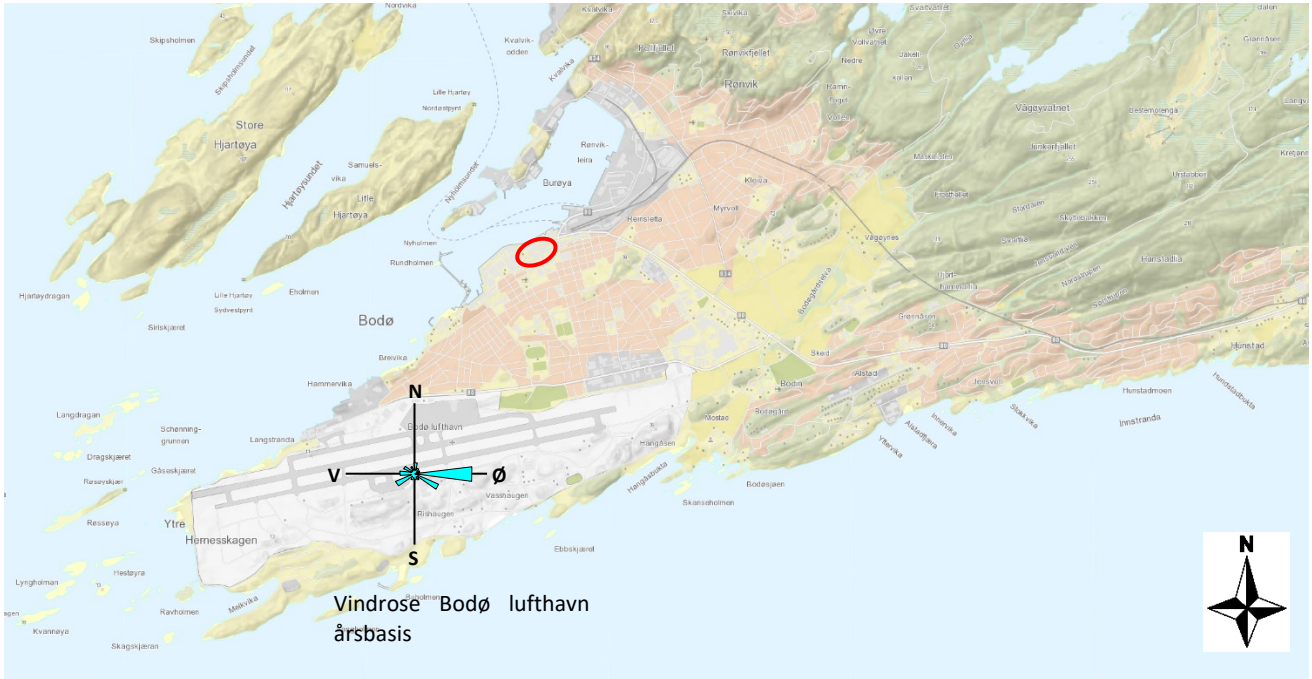
- Oppbygging av 3D simuleringsmodell med terreng & bygningsvolumer ut fra digitale data fra oppdragsgiver.
- Numeriske simuleringer av vindfelt rundt aktuelle bygningsvolumer, som følge av 4 fremherskende vindretninger. Resultatene fra simuleringene angir hovedtendenser i vindmønsteret.
- Analyse av resultatene fra de numeriske simuleringer i forhold til planlagt/tilsiktet disponering av bygninger og omkringliggende utearealer.
- Eventuelle forslag til løsninger/avbøtende tiltak og analyse for å dokumentere virkning av disse.
- Dokumentasjon i form av en kort rapport med illustrasjoner og analyse (oversendes i pdf-format).

Vindanalysen dekker ikke effekter fra bygningsdetaljer, mindre strukturer, vegetasjon, variasjoner i terrengruhet, frost, tine/smeltesykluser eller eventuelle fonner fra snørydding. Høye vindhastigheter vil kunne oppstå fra andre retninger enn de som er angitt som fremherskende.

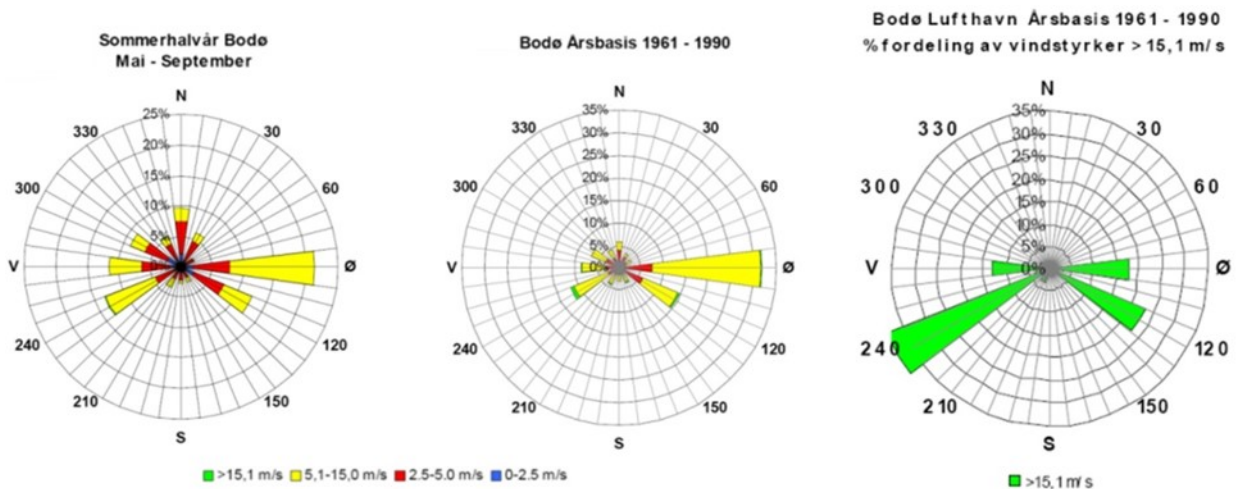
## VINDKLIMATISKE FORUTSETNINGER

### Fremherskende vindforhold

Det foreligger ingen tilgjengelig vind- eller værobservasjoner ved Storgatakvartalene i Bodø og nærmeste værobservasjoner er utført ved Bodø Lufthavn. Vinddata fra Bodø Lufthavn er i stor grad representative for utbyggingsområdet og på årsbasis er landvind fra østlig sektor dominerende.



Figur 1. Lokalisering av det aktuelle utbyggingsfeltet (rød ring) i sentrum av Bodø i forhold til Bodø Lufthavn, her markert med årsmiddelrose (Kartkilde: Kartverket).

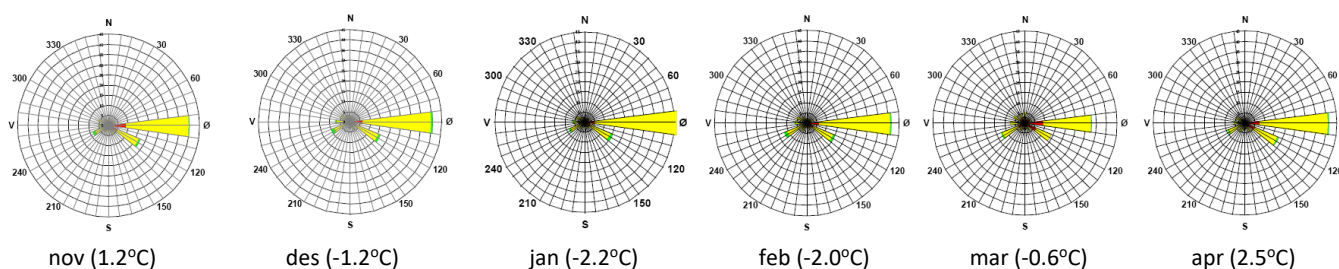


Figur 2. Vindroser fra meteorologisk stasjon på Bodø Lufthavn, BODØ VI 1961-1990 (kilde DNMI).

### 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**. Fremherskende vindretning i vinterhalvåret for ytre deler av havneområdet vil være tilnærmet lik den ved lufthavnen, selv om vinden på grunn av terreng og bebyggelsesstruktur vil dreie svakt mot nord.

Fremherskende vintervindretning kommer mot det aktuelle utbyggingsområdet fra Stormyra i en sektor fra **Ø** dreiene mot **ØSØ**. Denne dreiningen blir styrt av terrengformene mellom Hunstad og Rønvik, markert med svart pil i figuren under.

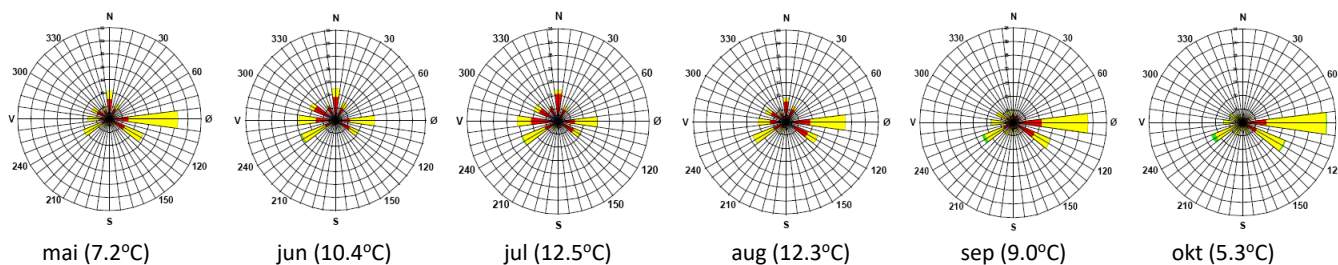


Figur 3. Vindrosener og middeltemperaturer fra meteorologisk stasjon på Bodø Lufthavn, BODØ VI 1961-1990, for vintermånedene november-april (kilde DNMI).

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

Figuren under viser vindrosener 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. Vindrosener og middeltemperaturer fra meteorologisk stasjon på Bodø Lufthavn, BODØ VI 1961-1990, for månedene mai-oktober (kilde DNMI).



### Fremherskende vindretninger for det aktuelle utbyggingsområdet

Meteorologisk Institutt's målestasjon på Bodø lufthavn er lokalisert relativt vindeksponert ute på Bodøhalvøya. Det er grunn til å anta at vindhastighetene ved Bodø lufthavn er noe høyere og vinden mindre styrt av lokale terrengformasjoner, enn nede i sentrum av Bodø.

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

<b>Vind fra N</b>	Opplevs ofte som kald vind i månedene mai-aug (relativt 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>	Dominerende vindsektor, gir kald landvind i vintersesongen

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



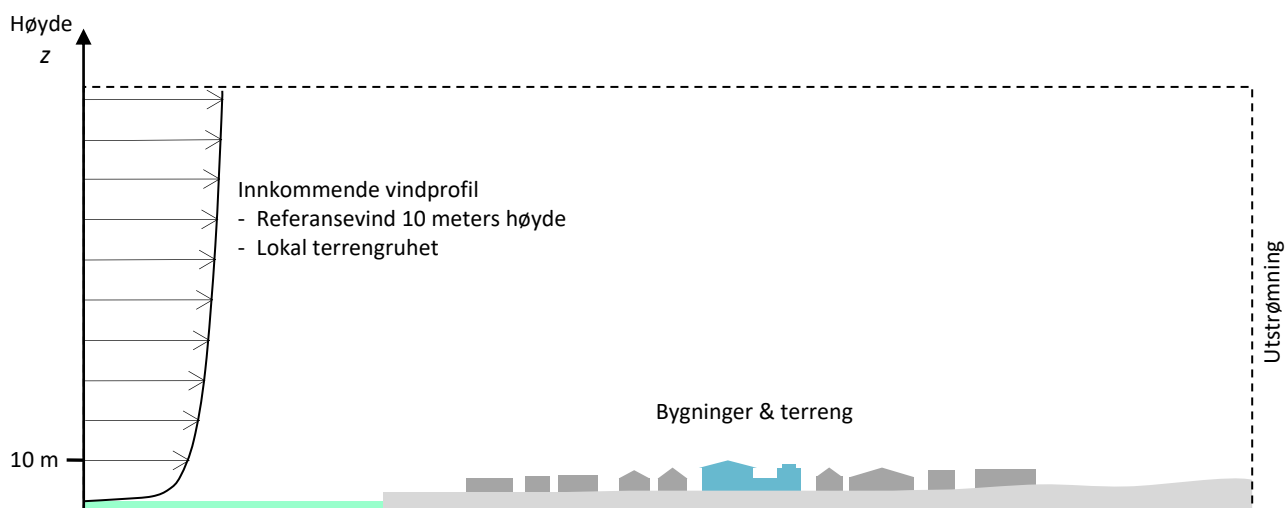
Figur 5. Planområdet i sentrum av Bodø med eksisterende bebyggelse og angivelse av fremherskende vindretninger (3D modell for simulering).

## ANVENDT METODE

### Beregningsteknikk

Beregning av vindstrømninger utføres med CFD (Computational Fluid Dynamics), som er et 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. Vertikal hastighetsfordeling, terrengruhet, turbulensintensitet m.m. bestemmes ut fra påvirkning fra oppstrøms terreng. I denne analysen er det benyttet en RNG-turbulensmodell.



Figur 6. Prinsipp for beregningsområde rundt geometrisk modell.

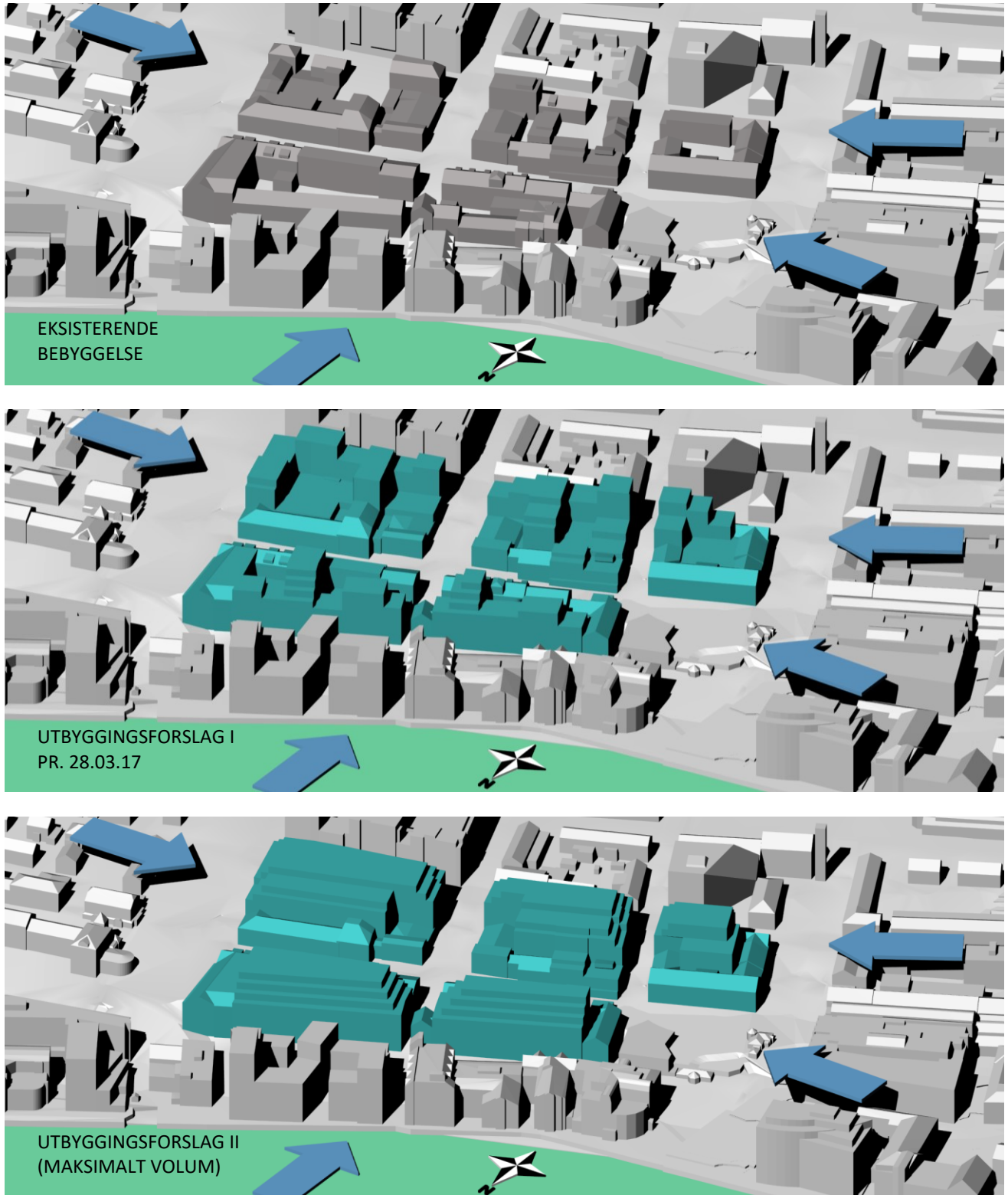
### Representasjon av arkitektur og terreng

Geometrisk 3D modell av aktuelle bygninger, strukturer og terreng utformes 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 som skal undersøkes, tilgjengelig datakraft, m.m. 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 skal være tilstrekkelig til å gi den riktige virkning på vindfeltet.



### 3D modell av arkitektur og terreng

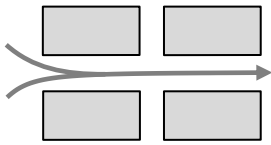
Figuren under viser 3D modell av eksisterende bebyggelse og utbyggingsforslag i terreng med omliggende bygninger. Modellen er utarbeidet for simulering av OET, ut fra grunndata fremskaffet av oppdragsgiver.



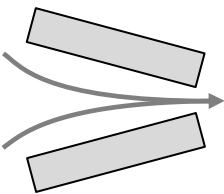
Figur 7. 3D modell av eksisterende bebyggelse og utbyggingsforslag for Storgatakvartalene, med terreng og omliggende bebyggelse. Lokalt fremherskende vindsektorer er markert med blå piler.

## VINDEFFEKTER RUNDT BYGNINGER OG STRUKTURER

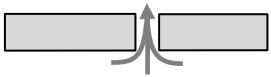
Vindfeltet rundt bygninger og konstruksjoner er ofte svært komplekst med kombinasjoner av ulike vindeffekter. Illustrasjonene under viser typiske vindeffekter rundt bygninger og kan være nyttige med hensyn til analyse av simuleringsresultatene, for å få en bedre forståelse for hvorfor vindforsterkning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



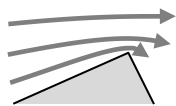
**Trakteffekt** mellom bygningsvolumer som er lokalisert slik de danner en traktform slik at vinden presses sammen og øker hastigheten. Trakteffekten får størst effekt for relativt høye og brede bygningsvolumer (høyde minimum 15m og lengde på åpning minst 100m).



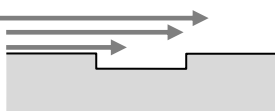
**Vindforsterkning i passasje** mellom bygninger eller i åpne passasjer gjennom bygningsstrukturer, som følge av trykkforskjeller mellom lo- og leside.



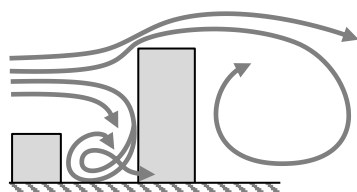
**Vindøkning langs fasader** der vind presser inn mot bygningssiden og kanaliseres langs fasaden på gateplan.



**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.



**Stor vindgradient** og turbulens i overgang mellom store og lave vindhastigheter. Det kan være spesielt ubehagelig for fotgjengere å komme fra et skjermet område og rett inn i et sterkt vindfelt. Dette oppstår gjerne rundt inngangspartier, bygningshjørner og i overgang mellom vindutsatt sone og lesone på baksiden/forsiden av bygningen.



**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 rotor (turbulent kastevind). Kan gi svært store hastigheter rundt høye bygninger og tilstrekkelig store hastigheter til å redusere utekomfort rundt lavere bygg.

## VINDPÅVIRKNING - KOMFORT OG SIKKERHET

Vind påvirker komfort og personsikkerhet ved uteopphold og er ofte den viktigste lokalklimatiske parameter. Det skilles her mellom mekanisk og termisk vindpåvirkning.

### Mekanisk vindpåvirkning

Mekanisk vindbelastning varierer fra følelsen av svak vind på hud til å bli blåst overende av liten storm, se tabellen under. Vind varierer i styrke, tid og rom. Det kan være spesielt ubehagelig for fotgjengere å komme fra et skjermet område og rett inn i et sterkt vindfelt. Dette oppstår gjerne rundt inngangspartier og rundt bygningshjørner, i overgang mellom vindutsatt sone og lesone på baksiden/forsiden av bygningen. I soner med turbulens opptrer vinden i sporadiske støt og vindkast, som gjerne oppfattes som sterkere enn vindhastigheten skulle tilsi. Ved en vindstyrke på ca. 5,5 m/s i personhøyde kan vindkrefter føles på kroppen. Dette tilsvarer i laber- til frisk bris over relativt flatt terreng.

Beaufort	Betegnelse	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 vindsoner
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 1. 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 ruhetslengde,  $z_0 = 0,03\text{m}$ . Vindefektene over kan forårsakes av både stasjonære vindforhold og vindkast/turbulens (Lawson & Penwarden, 1975).

### Termisk vindpåvirkning

Termisk vindpåvirkning på mennesker inkluderer samlede effekter av, svært mange innvirkende parametere: gjennomsnittlig vindhastighet, hastighet og varighet av vindkast, lufttemperatur, luftfuktighet, sol/strålingsutveksling, metabolisme, eksponeringstid, isolasjonsegenskaper, fuktinnhold og lufttetthet i bekledning. Lave utetemperaturer kan medføre at det føles ubehagelig å være ute ved relativt lave vindstyrker.

Vurdering av termisk komfort ved uteopphold er avhengig av en rekke parametere som aktivitetsnivå, sol, vind, nedbør, temperatur ol. Her er effektiv temperatur en sentral parameter og vindavkjøling kan oppfattes svært så forskjellig fra en person til en annen. Avklimatisering til lokale klimaforhold, er en ikke så uvesentlig faktor for oppfattelsen av utekomfort. Avhengig av type uteaktivitet, er det grunn til å anta at lokalbefolkningen ofte kan ha en noe høyere terskel i forhold til «skittvær» og har andre forventninger til været, enn vanlig er i varmere og mindre vindutsatte deler av landet. Utekomfort i vind er generelt knyttet til temperatur og vindavkjøling. Kald vind kan ødelegge en ellers solrik sommerdag, spesielt i Nord-Norge. For stillesittende uteopphold kan selv eksponering for svak vind/trekk være tilstrekkelig til å skape ubehag og slike soner bør skjermes spesielt.

## Komfortkriterier

I Norge er det relativt store geografiske klimatiske forskjeller og det vil lokalt over året, være ganske så store variasjoner både i temperatur og vindforhold. En detaljert beregning av lokale komfortforhold ut fra tilgjengelige værobservasjoner, krever et svært omfattende meteorologiske datagrunnlag, med samtidige observasjoner av vindretning, vindhastighet, temperatur, nedbør, solforhold m.m., fordelt ned på timesbasis og målt over en representativ periode. Datagrunnlaget bør helst inkludere på «on-site» observasjoner, da det oftest ligger betydelige usikkerheter i normalårskorrigerings, dvs. «overføring» av værdata fra de nærmeste meteorologiske målestasjoner til det aktuelle utbyggingsområdet. Et slikt datagrunnlag er sjeldent tilgjengelig og dette setter begrensninger til hvor stor sikkerhet vi kan vektlegge simulerte klimaforhold.

Begrensninger i tilgang til samtidige lokale observasjoner av vind og temperatur, samt kompleksitet i analyseteknikk, medfører at de fleste utekomfortanalyser i dag er basert på mekanisk vindpåvirkning.

Mer om komfortvurderinger i uteoppholdssoner kan finnes i *Analyse av vind & snødrift rundt Prostneset havneterminal* (Sundsbo, 2015).

## Vind-sikkerhetskriterier

Store vindhastigheter og vindstøt kan direkte utgjøre en fare ved at personer mister balansen og blir blåst overende. Sterk kuling kan medføre generelt redusert ferdsel og gjøre det vanskelig å holde balanse i vindkastene. Ved liten storm kan personer blåses overende og lette strukturelle skader kan oppstå. Løse gjenstander kan bli ført med vinden og forårsake personskade. Liten storm utgjør i åpent lende en middelvind på ca. 14,6–17,1 m/s i personhøyde og vindhastigheter større enn ca. 15 m/s regnes for å kunne utgjøre en sikkerhetsrisiko med hensyn uteopphold (Lawson & Penwarden, 1975). Vindefektene over kan forårsakes både av stasjonære vindforhold og vindkast/turbulens. Det gjøres oppmerksom på at vindøkninger lokalt rundt bygningsdetaljer og lignende, kan være høyere uten at det trenger å påvirke soner der personer ferdes eller befinner seg.

Områdetype	Uakseptabelt-fare
Uteområder barn & eldre	0,1 % > 15 m/s + 3 $\sigma_u$
Uteområder gjennomsnittlig	0,1 % > 20 m/s + 3 $\sigma_u$

Tabell 2. Eksempel på vind-sikkerhetskriterier ved uteopphold, der  $\sigma_u$  er standardavviket (Hunt, Poulton & Mumford, 1976). Angitte summer av hastigheter og turbulens skal her opptre maksimal 0,1 % av året.

Sikkerhetskriteriene over angir at en overskridelse av 15 og 20 m/s med 0,1 % av tiden er uakseptabelt med hensyn til fare for henholdsvis, barn & eldre og gjennomsnittlig personer. Grensen på 0,1 % utgjør her 8,5 timer sterk og farlig vind i løpet av året. Dette kravet er kanskje for «svakt» for sterkt trafikkerte soner med krav til høy regularitet.

## 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.**

## Opptredende vindhastighet i uteoppholdssoner

I noen tilfeller kan det være hensiktsmessige å utføre lokale vind-vurderinger med hensyn til opptrendene middelvind eller typiske opptredende vindstyrke, som for eksempel frisk bris. Det er også enklere å forholde seg til opptrendene vindstyrker som følge av, og representert i form av, m/s eller Beaufort skala. Det foreligger ofte noe usikkerhet med hensyn til lokalt opptredende vind og da vil vurderingsmetoden kunne være tilstrekkelig for å kunne vurdere eventuelle behov for avbøtende tiltak. **Som for relativ hastighet, benyttes absolutt vindhastighet først og fremst for å studere strømningsmønsteret, for å få en bedre forståelse for hvor vindforsterkning og levirkninger oppstår, og hvilke bygninger og strukturer som gir forsterkning av vind eller le.**

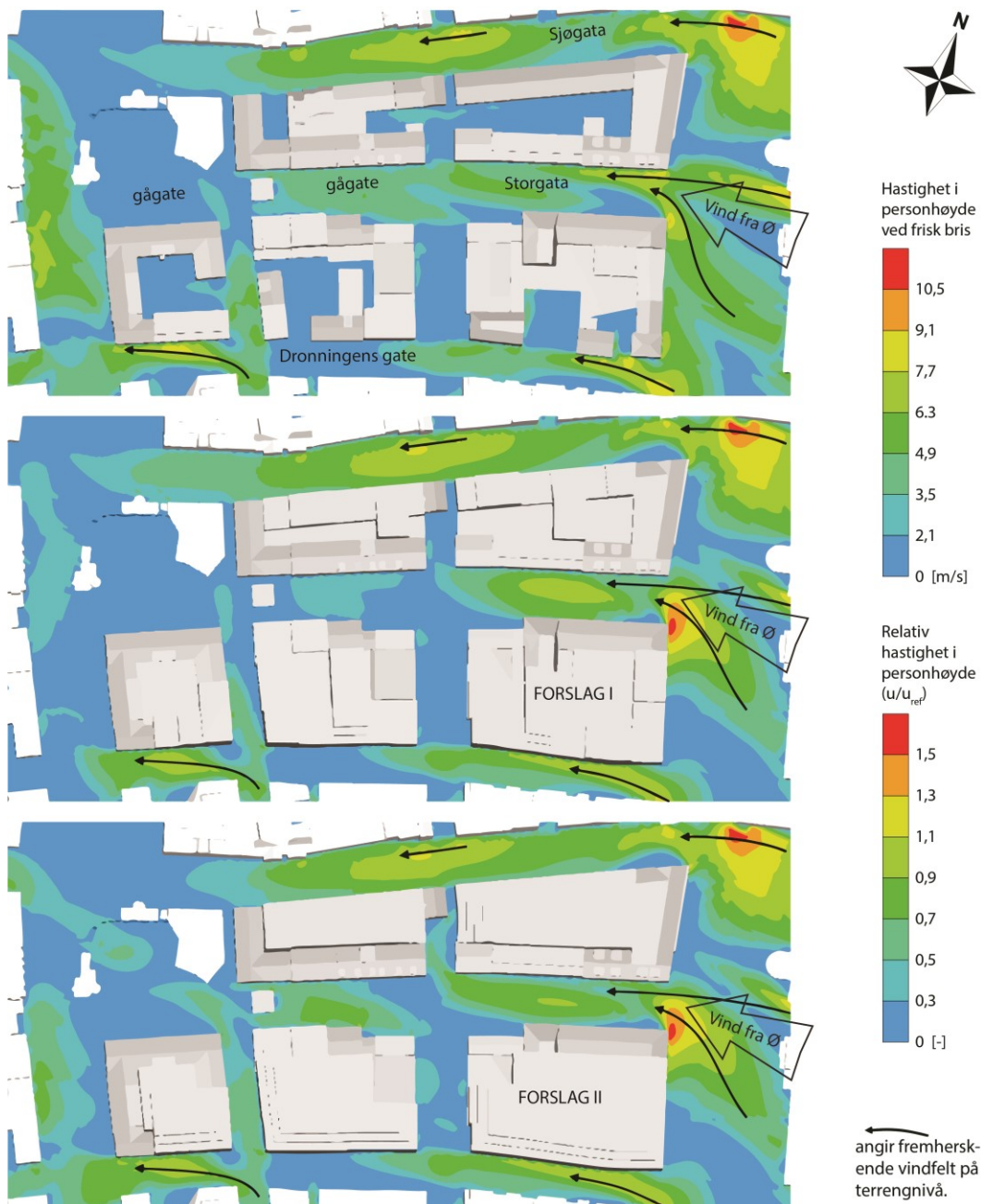
Typisk ligger kriterier for vindkomfort for normal ferdsel på 5 til 6 m/s og hensyn til vindsikkerhet gjør seg gjeldende fra ca. 15 m/s.



## RESULTATER - FREMHERSKENDE VINDEFFEKTER RUNDT PLANFORSLAGET

**Vind fra østlig sektor** er den klart mest fremherskende lokale vindretningen i Bodø og kan opptre med relativt store vindstyrker. Figuren under viser simulerte vindhastigheter rundt eksisterende bebyggelse og utbyggingsforslag I & II for Storgatakvartalene i Bodø, for vind fra **Øst**. Vinden er gitt i personhøyde i form av lokale hastigheter ved frisk bris og relativ vindhastighet, 1.75m over terreng.

De større gateløpene i utbyggingsområdet ligger i stor grad parallelt med vind fra øst og noe kanalisering av østlig vind vil følgelig oppstå gjennom Sjøgata, Storgata og Dronningens gate. Nabobebyggelse demper noe av vindbelastning fra østlig sektor. Utbygging vil generelt medføre mindre endringer i vindbelastningen på bakkeplan. Den største endringen vil her være økt hastighet rundt bygningshjørne, ved inngangen til Storgata. Gågata vil ikke bli utsatt for mer østlig vind som følge av utbyggingsforslag I. Litt vindøkning kan påvises i gågata for utbyggingsforslag II, men denne vinden vil kunne dempes av beplantningen i gata.



Figur 8. Vind i personhøyde rundt eksisterende bebyggelse og utbyggingsforslag I & II ved vind fra **Øst**.

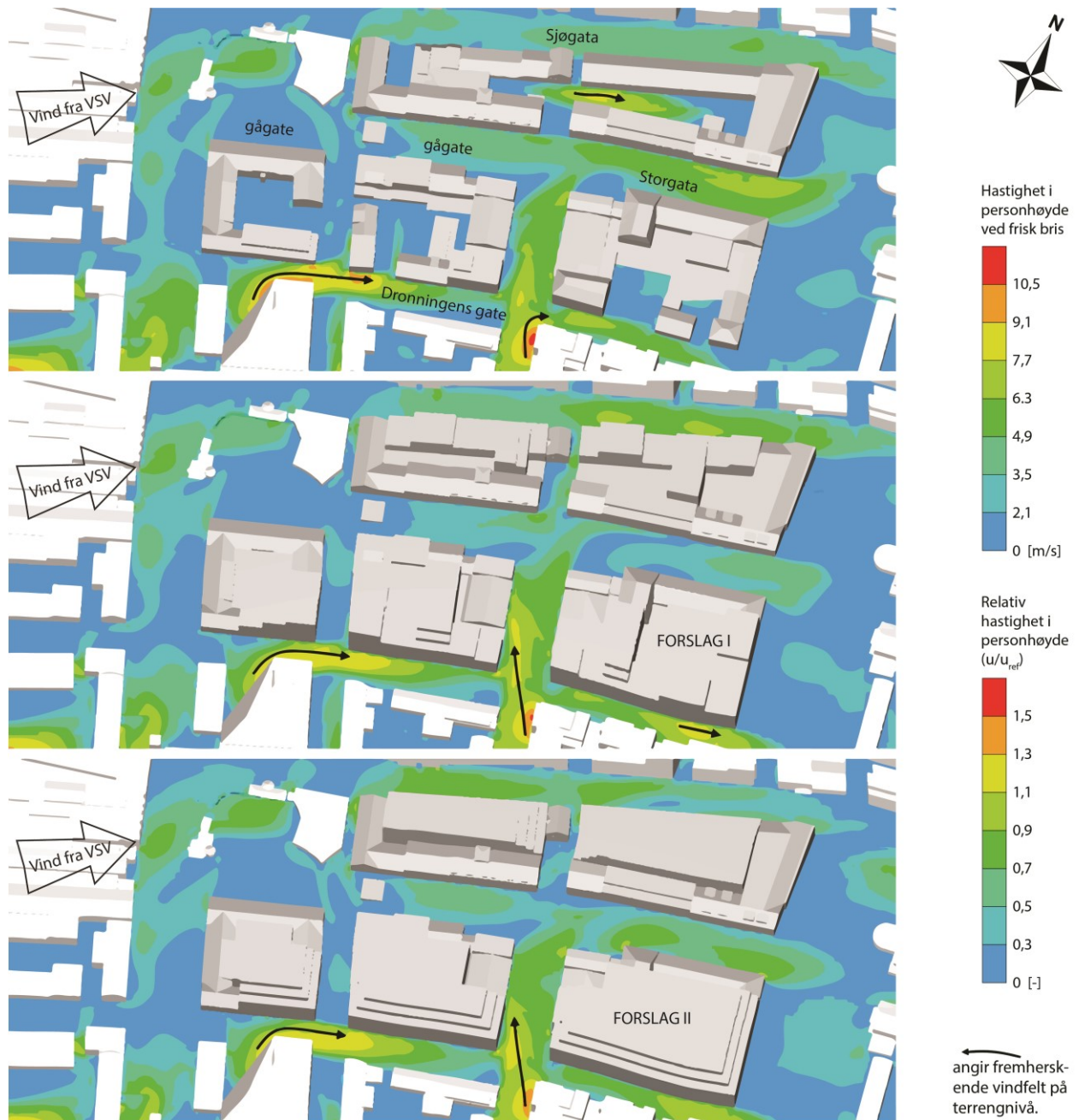


**Vind fra Vest-Sørvest** er lokalt fremherskende med hensyn til store vindstyrker (>15m/s) og er ofte nedbørsførende i form av regn & sludd. Figuren under viser simulerte vindhastigheter rundt eksisterende bebyggelse og utbyggingsforslag I & II for Storgatakvartalene, for vind fra **Vest-Sørvest**. Vinden er gitt i personhøyde i form av lokale hastigheter ved frisk bris og relativ vindhastighet, 1.75m over terreng.

Utbyggingsforslagene vil føre til at den kanaliserte vinden fra **VSV** vil øke litt gjennom Sjøgata, mens vindstyrken vil kunne bli noe mindre på bakkeplan gjennom Storgata. I Dronningens gate er det generelt større vindstyrker og det ser ikke ut til at utbyggingen gir særlig endring i vindforholdene.

Utbyggingsforslag I vil medføre at gågata vil bli litt mindre utsatt for vind fra **VSV**, mens utbyggingsforslag II gir her relativt uendret vindbelastningen.

Sterk vind, som f. eks. storm, fra **VSV** kan gi ytterligere vindnedslag og vindrotorer mellom bebyggelsen.

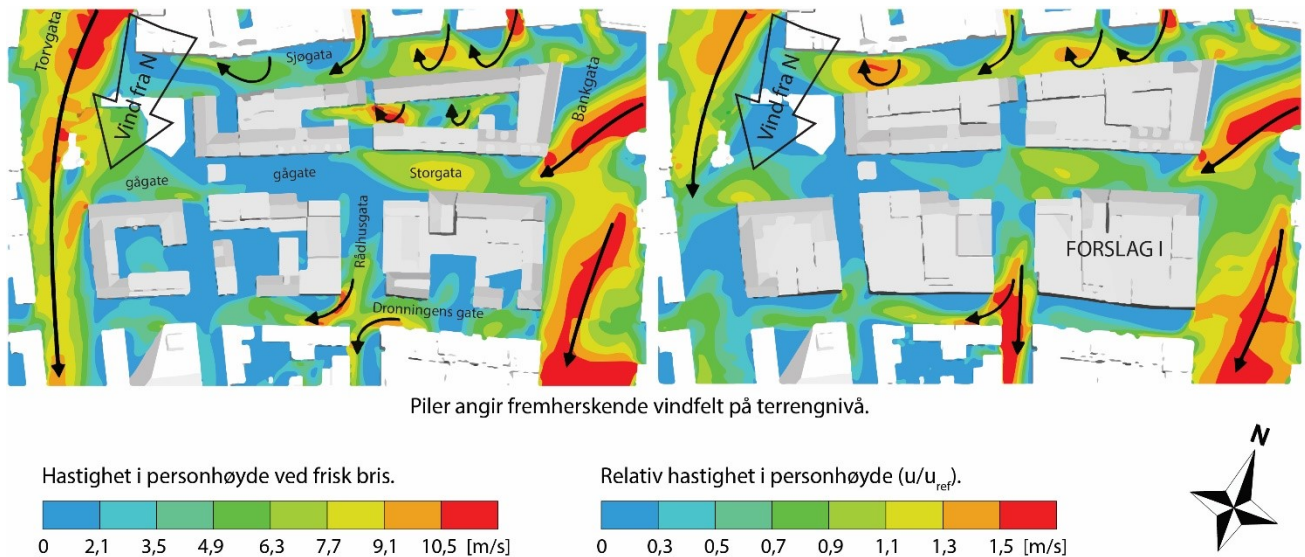


Figur 9. Vind i personhøyde rundt eksisterende bebyggelse og utbyggingsforslag I & II ved vind fra **Vest-Sørvest**.

**Vind fra Nord** opptrer ikke ofte med store vindstyrker, men oppleves ofte som kald vind i månedene mai-august. Figuren under viser simulerte vindhastigheter rundt eksisterende bebyggelse og utbyggingsforslag I for Storgatakvartalene i Bodø, for vind fra **Nord**. Vinden er gitt i personhøyde i form av lokale hastigheter ved frisk bris og relativ vindhastighet, 1.75m over terreng.

Bygningsrekka i sjøkanten mot nord skjermer for den største vindbelastningen fra Nordavinden. Det vil imidlertid oppstå vindforsterkning i passasjene og vindnedslag over sjøkantbygningene, mot Storgatakvartalene. Denne vinden vil bli kanalisert videre ned gjennom Torvgata og Bankgata. Simuleringene er utført uten beplantning og strukturer på bakkenivå, slik at simulerte vindhastigheter vil være noe høyere enn reelt, spesielt ved inngangen til Torvgata.

Utbyggingsforslag I vil ikke føre til store endringer i vindforholdene på bakkeplan rundt bygningene. Utbygging vil føre til økte vindhastigheter i krysset mellom Dronningens gate og Rådhusgata, og noe økning i en sone i Sjøgata. Denne økningen skyldes vesentlig økt vindnedslag og rotordannelse mellom bygningene. Utbygging vil imidlertid føre til redusert vindbelastning ned Torvgata og i delen av gågata som grenser mot Havnegata. Sett under ett, vil vindbelastningen i gågata være tilnærmet uendret etter utbygging.

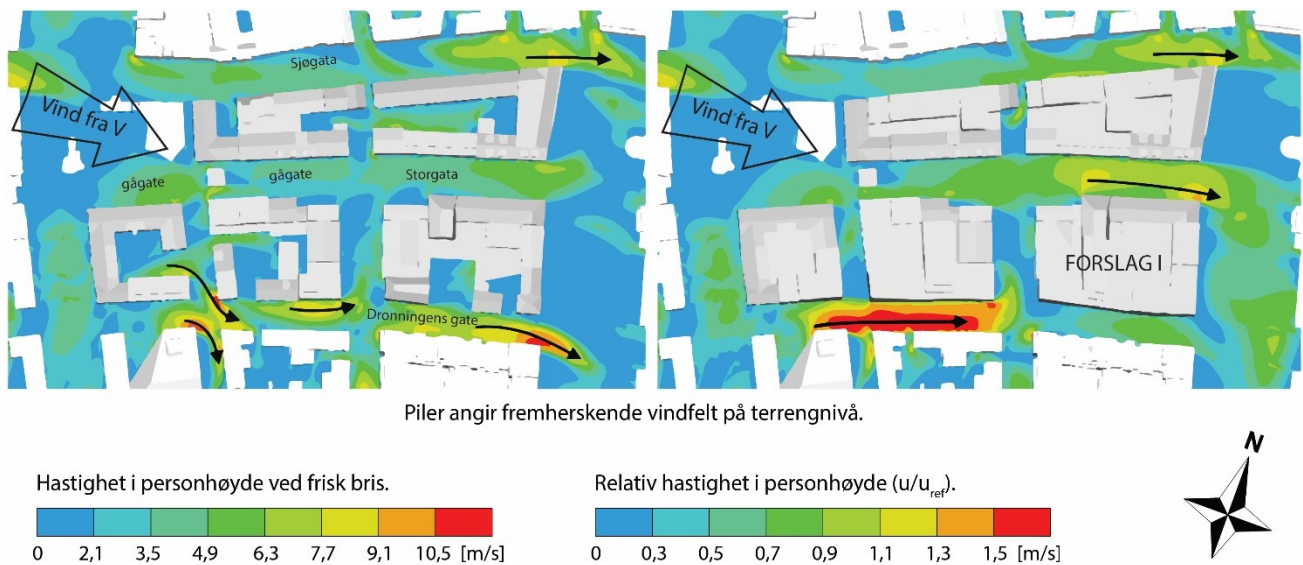


Figur 10. Vind i personhøyde rundt eksisterende bebyggelse og utbyggingsforslag I ved vind fra **Nord**.

**Vind fra Vest** kan gi nedbør i form av regn & sludd. Figuren under viser simulerte vindhastigheter rundt eksisterende bebyggelse og utbyggingsforslag I for Storgatakvartalene i Bodø, for vind fra **Vest**. Vinden er gitt i personhøyde i form av lokale hastigheter ved frisk bris og relativ vindhastighet, 1.75m over terreng.

Sentrumsbebyggelsen demper mye av vindbelastning fra vestlig sektor, men det vil oppstå kanalisering av vestlig vind opp gjennom Sjøgata og Dronningens gate. Vindhastighetene i Sjøgata vil i utgangspunktet være uendret etter utbygging (I). Vindhastighetene i Dronningens gate vil øke på østsiden av Rådhuset.

Gågata vil bli litt mer vindutsatt for vestlig vind som følge av utbyggingsforslag I. Denne vinden er ikke så sterk og vil dempes ytterligere av beplantningen i gata.



Figur 11. Vind i personhøyde rundt eksisterende bebyggelse og utbyggingsforslag I ved vind fra **Vest**.

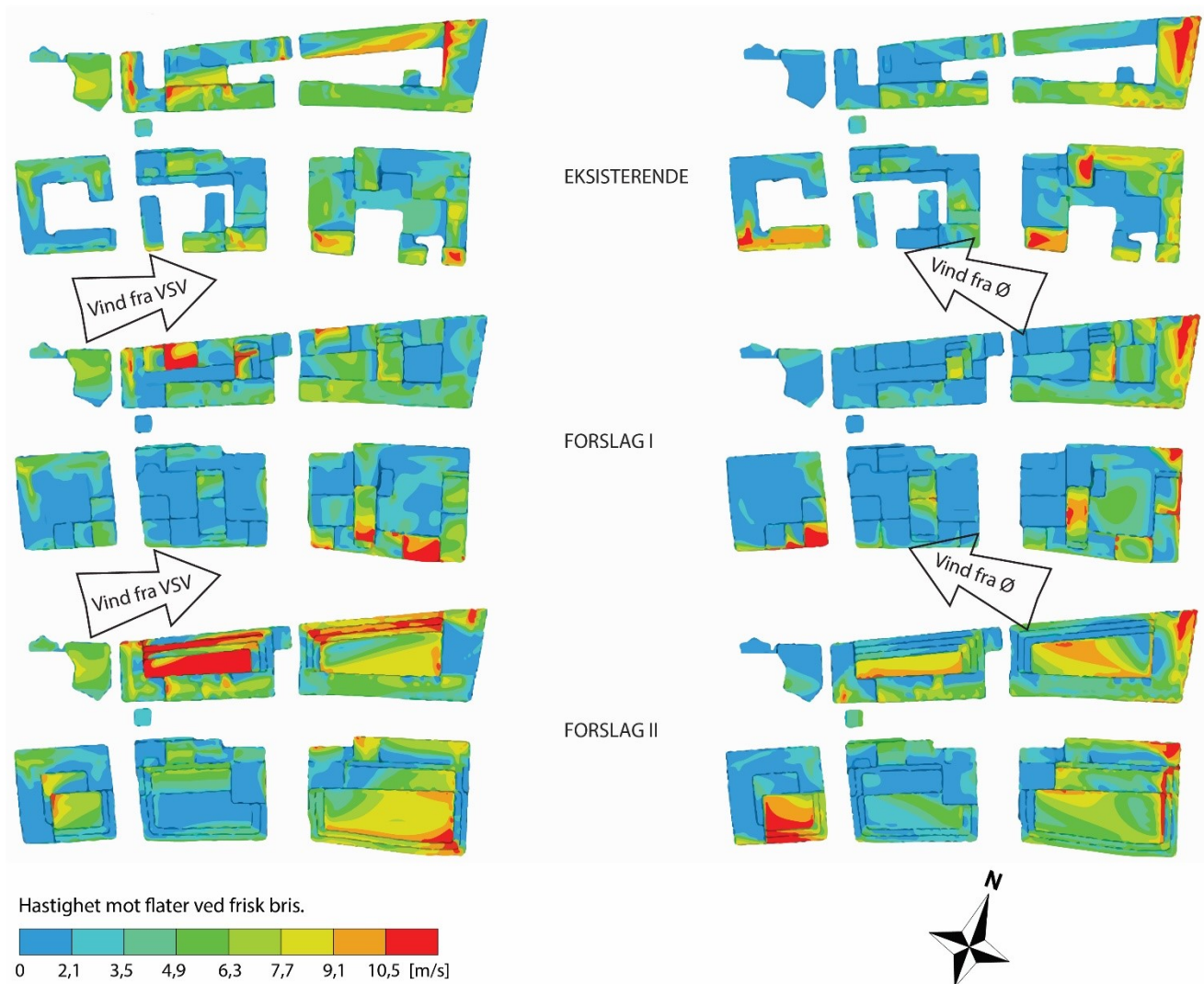


## RESULTATER - VINDBELASTNING PÅ TAKFLATER

Figuren under viser simulerte vindhastigheter på takflater for eksisterende bebyggelse og utbyggingsforslag I & II, ved frisk bris fra **Vest-Sørvest** og **Øst**. De høyeste hastighetene angir soner med de største vindugekrefter på flatene.

De høyeste takpartiene på utbyggingsforslagene vil være mer vindbelastet enn takpartiene på den eksisterende bebyggelsen. Ellers vil ikke takflatene på utbyggingsforslag I bli mer vindutsatt enn takflatene på den eksisterende bebyggelsen.

Vindbelastningen på nabobebyggelsens takflater, ved vind fra **Vest-Sørvest** og **Øst**, vil ikke bli særlig endret etter utbygging.

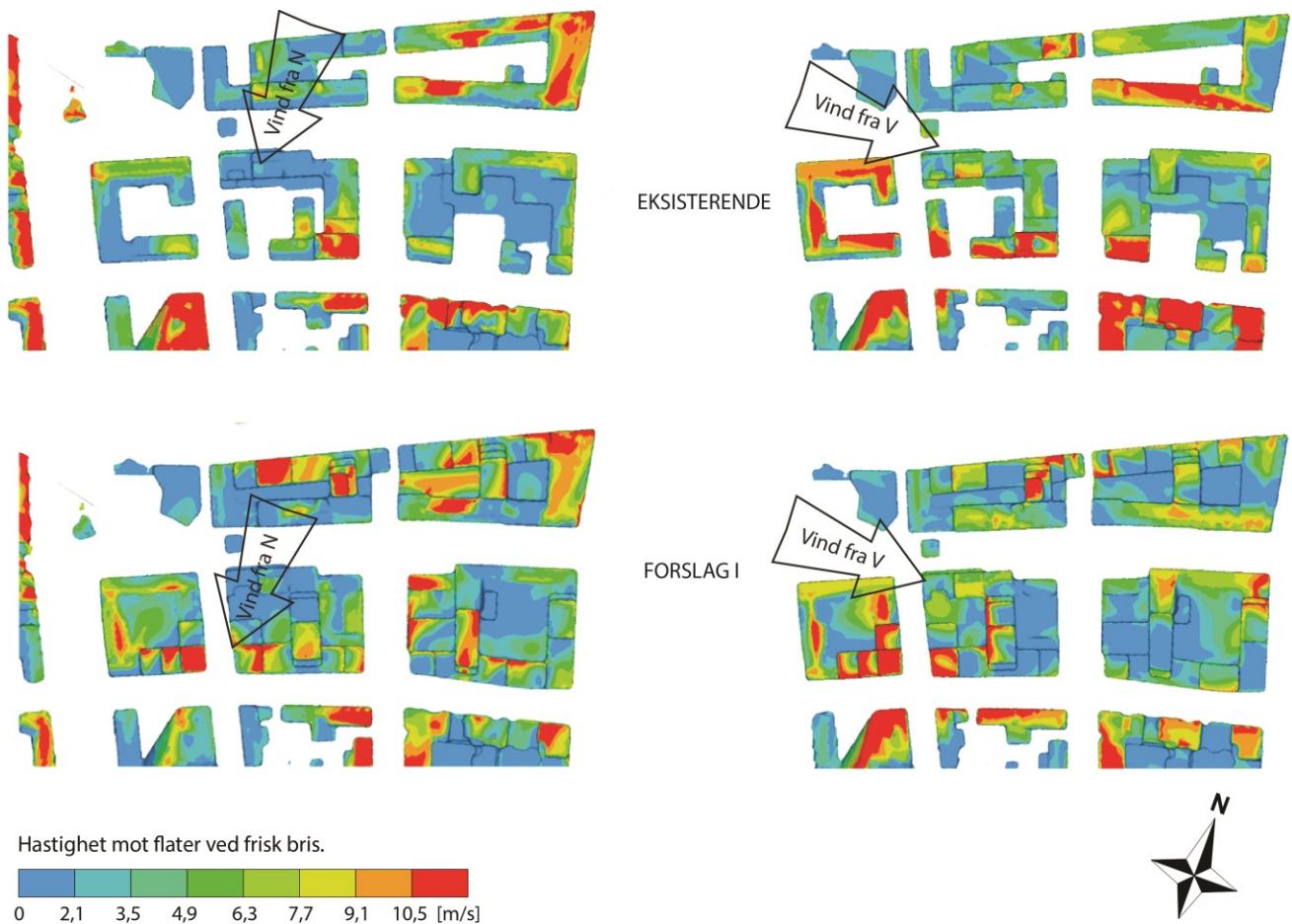


Figur 12. Vindbelastning mot takflater flater ved vind fra **Vest-Sørvest** og **Øst**.

Figuren under viser simulerte vindhastigheter på takflater for eksisterende bebyggelse og utbyggingsforslag I, ved frisk bris fra **Nord** og **Vest**. De høyeste hastighetene angir soner med de største vind-sugekrefter på flatene.

De høyeste takpartiene på utbyggingsforslag I vil være mer vindbelastet enn takpartiene på den eksisterende bebyggelsen. Takflatene på utbyggingsforslag I vil generelt sett bli noe mer vindutsatt.

Vindbelastningen på den vestlige og sørlige nabobebyggelsens takflater vil ved vind fra **Nord** bli litt mindre vindbelastet etter utbygging.



Figur 13. Vindbelastning mot takflater flater ved vind fra **Vest-Sørvest** og **Øst**.

## REFERANSER

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.

Hunt, J.C.R., Poulton, E.C. and Mumford, J.C., 1976, The Effects of Wind on People: New Criteria Based Upon Wind Tunnel Experiments, Building and Environment, 11, pp. 15–28.

Sundsbo, P.A., 2015, Analyse av vind & snødrift rundt Prostneset havneterminal, OET rapport 125-15, Oppdragsgiver Bjørn Bygg AS.