



Tittel:		
Analyse av lokale vindforhold rundt utbygging på Teknotomta		
Oppdragsgiver:		Klassifisering:
Lord Eiendom AS		Begrenset til kunde
PB 2887, 7432 Trondheim		Utført av/ansvarlig:
		Per-Arne Sundsbø
Oppdragsgivers ref.:		Rapportnr.:
Torstein Strand (torstein@vollark.no)		137-16
Rasmus Bolvig Hansen (rasmus.bolvig@vollark.no)		Revisjon:
antonsen@lordeiendom.no		3
		Status:
		Endelig
Utgave:	Dato:	Beskrivelse:
0	30.10.2016	
1	28.05.2017	Høyblokker justert til 14 etasjer & div endringer ift opprinnelig design
2	06.02.2018	Ny geometri/bygningsdesign oversendt 23.01.18
3	29.06.2018	Ny geometri/bygningsdesign oversendt juni 2018
Antall sider:		
19		
Dato:		
29.06.2018		

1 SAMMENDRAG OG KONKUSJON

Det er utført en vindanalyse i forhold til revidert planforslag for Teknotomta på Vestre Rosten i Trondheim. Dette basert på de lokalt fremherskende vindretninger fra **SSV** og **NNØ**, samt «sommervind» fra **NNV**. Bebyggelsesstrukturen er orientert relativt gunstig i forhold til de fremherskende vindsektorene rundt **NNØ** og **SSV**, noe som demper den største vindbelastningen i utearealene og behovet for lokal skjerming. Noe nedfallsvind og vindrotorer må forventes rundt høybygg, men bygningenes utforming medfører at dette ikke belaster bakkeplanet i alt for stor grad. Vind fra **NNV** gir generelt den største vindbelastningen i utearealene. Selv om vind fra denne sektoren ikke opptrer så ofte som de mer fremherskende sektorene **NNØ** og **SSV**, vil det her være behov for vinddempende tiltak.

- Hovedtendensene i vindmønsteret rundt gjeldende utbyggingsforslag er i stor grad de samme som før revisjonen. Generelt vil uterommet i passasjene mellom bygningene i den største bygningsrekka være mest vindutsatt. Forslag til avbøtende vindreducerende tiltak inkluderer stengning av passasjene mellom bygg B-C, C-D og E-F på bakkeplan og etablering vinddempende skjermer/rekkverk på nedre plan bygg A og over innkjøring mellom bygg A og G.
- Lokal beplantningen i form av busker og trær, vil ha en betydelig vinddempende effekt i omliggende uteoppholdssoner. I analysen forutsettes det at beplantningen er relativt tett fra bakkenivå.
- Revidert utbyggingsforslag vil med foreslåtte vinddempende tiltak, gi et tilfredsstillende vindklima i uteområdene.
- Foruten nedre takplan på Bygg A, vil alle takflatene være svært vindbelastet. Alle takflater som er tiltenkt for uteopphold, bør i utgangspunktet skjermes for vind.
- Det aktuelle utbyggingsforslaget vil ikke medføre noen betydelig vindøkning for omliggende bebyggelse med tilgrensende uteområder.

1	SAMMENDRAG OG KONKUSJON	1
2	INNLEDNING	3
3	VINDKLIMATISKE FORUTSETNINGER	4
3.1	Fremherskende vindforhold	4
3.2	Fremherskende vindretninger for det aktuelle utbyggingsområdet	5
4	ANVENDT METODE	6
4.1	Beregningsteknikk	6
4.2	Representasjon av arkitektur og terreng	6
4.3	3D modell av arkitektur og terreng	7
5	VINDEFFEKTER RUNDT BYGNINGER OG STRUKTURER	8
6	VINDPÅVIRKNING - KOMFORT OG SIKKERHET	9
6.1	Mekanisk vindpåvirkning	9
6.2	Termisk vindpåvirkning	9
6.3	Komfortkriterier	10
6.4	Vind-sikkerhetskriterier	10
6.5	Relativ vindhastighet i uteoppholdssoner	11
6.6	Opptredende vindhastighet i uteoppholdssoner	11
7	VINDFORHOLD I UTBYGGINGSOMRÅDET - REVIDERT PLANFORSLAG	12
7.1	Fremherskende vindeffekter rundt utbyggingsforslag	12
7.2	Vindbelastning i personhøyde	13
8	AVBØTENDE TILTAK – LOKAL VINDBELASTNING	14
8.1	Vindklimatisk tilpasning av bygningsgrupper	14
8.2	Vinddempende tiltak for revidert planforslag	15
8.3	Virkning av foreslåtte vinddempende tiltak	16
8.4	Revisjonens virkning på vind i utearealene	17
8.5	Vindbelastning på takdekker	18
	REFERANSER	19

2 INNLEDNING

Outdoor Environment Technology AS (OET) er engasjert av **Lord Eiendom AS** for å utføre en analyse av lokale vindforhold rundt revidert utbyggingsforslag for Teknotomta på Vestre Rosten/Sentervegen i Trondheim kommune.

Det reviderte planforslaget inkluderer støyvegger mot vest. Bebyggelsesstruktur og bygningsrekkenes «signatur» og orientering i forhold til vinden, er i stor grad sammenfallende med tidligere forslag.

Vindanalysen skal kartlegge planlagt bebyggelses virkning på lokale vindforhold, og vurdere virkning av vind på fotgjengere i nærliggende gateløp og opphold på uteoppholdsareal.

Analysen skal gi forslag til løsninger/avbøtende tiltak for å bedre vindkomfortnivået. Det forutsettes at skjermingstiltak for å dempe vind er av en slik art at de ikke forringer uterom på terrenget og balkonger, reduserer utsyn fra leilighet eller er til hinder for gangbarhet.

Målsetting for vindklimatisk tilpasning i reguleringsarbeidet

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

Oppdragsbeskrivelse

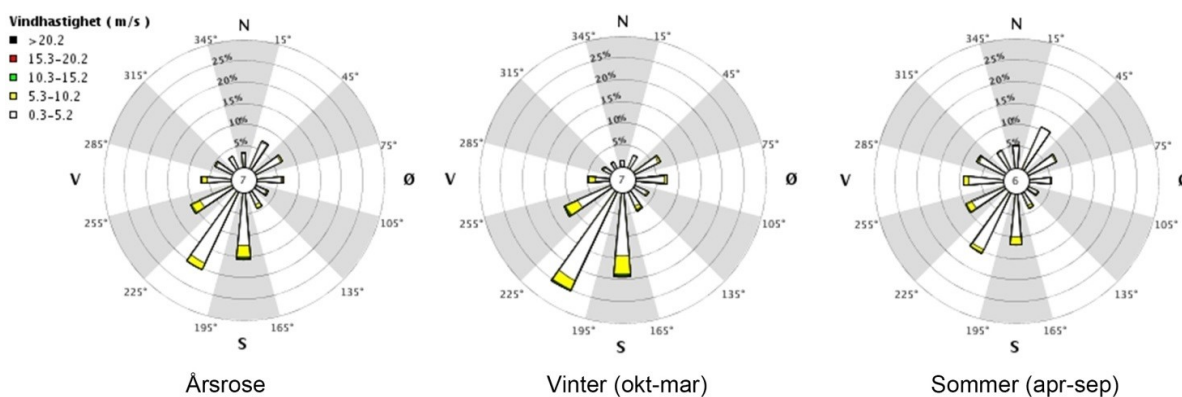
- Oppbygging av 3D-simuleringsmodell med terreng & bygningsvolumer ut fra digitale data fra oppdragsgiver.
- Numeriske simuleringer av vindfelt rundt aktuelle bygningsvolumer, som følge av fremherskende vindretninger. Resultatene fra simuleringene angir hovedtendenser i vindmønsteret.
- Analyse av resultatene 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 rapport med illustrasjoner og analyse (oversendes i pdf-format).

Vindanalysen dekker ikke effekter fra bygningsdetaljer, mindre strukturer, lavere 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.

3 VINDKLIMATISKE FORUTSETNINGER

3.1 Fremherskende vindforhold

Nærmeste tilgjengelig værobservasjoner er utført ved meteorologisk stasjon på Voll (68860) i Trondheim og vinddata fra denne målestasjonen er i utgangspunktet representativ for det aktuelle utbyggingsfeltet.



Figur 1. Vindroser fra meteorologisk stasjon på Voll for perioden 1923-2015 (kilde DNMI).

Vinden rundt Vestre Rosten er påvirket av lokale terrengformasjoner, der fremherskende vinder styres langs dalsidene. Fremherskende vind på i vinterhalvåret kommer sektoren sør til sør-sørvest. I sommerhalvåret vil det være økende hyppighet av vind fra nord-nordøst og noe fra nordvest. Over året vil vind fra sør til sør-sørvest være klart fremherskende.



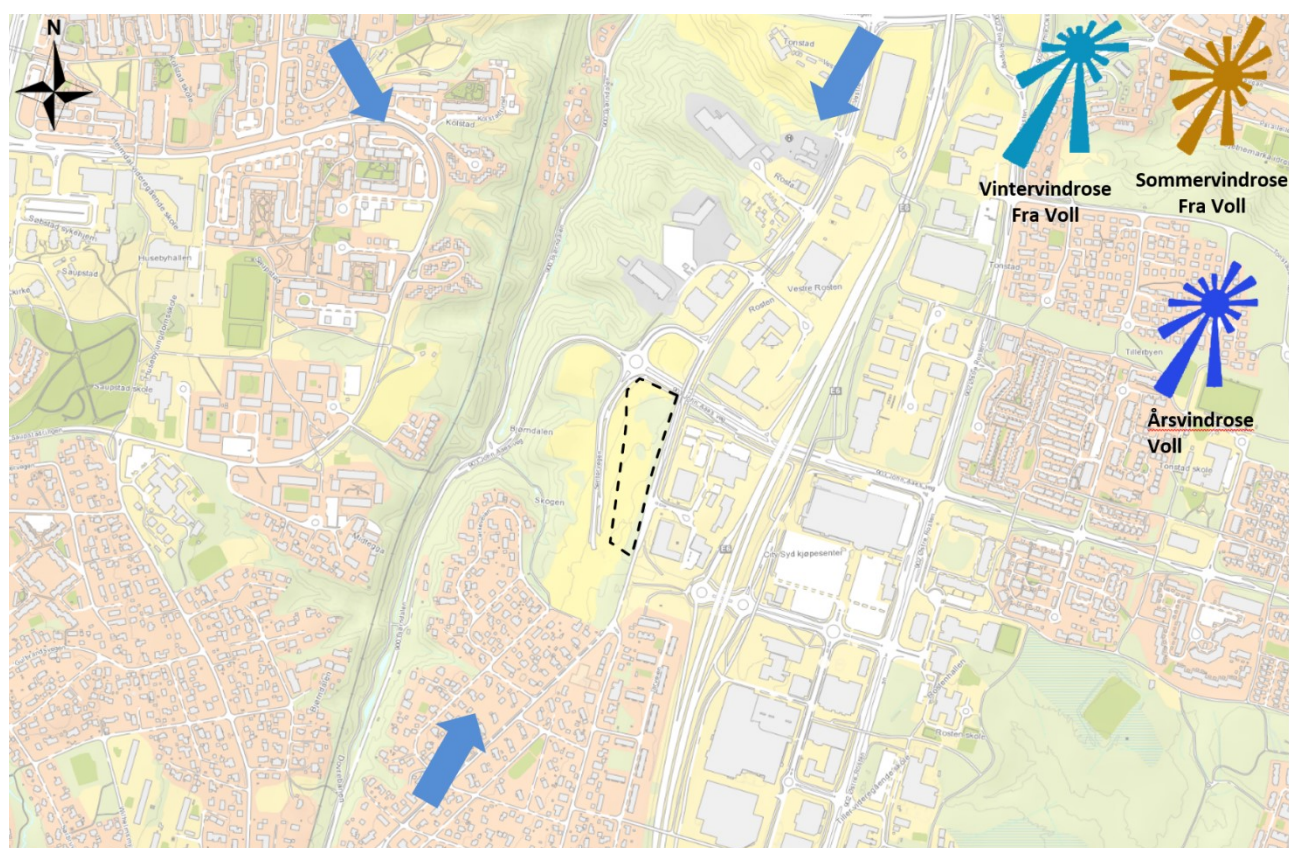
Figur 2. Lokalisering av det aktuelle utbyggingsfeltet (rød ring) i Trondheim i forhold til målestasjon på Voll, her markert med årsmiddelvindsrose (Kartkilde: Kartverket).

3.2 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 ift det aktuelle utbyggingsområdet:

- Vind fra sektor rundt SSV** Fremherskende vind over året
- Vind fra sektor rundt NNØ** Opptrer mest i sommerhalvåret
- Vind fra sektor rundt NNV** Opptrer mest i sommerhalvåret og gir mer tverrgående vindeffekter ift høyhusrekken

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



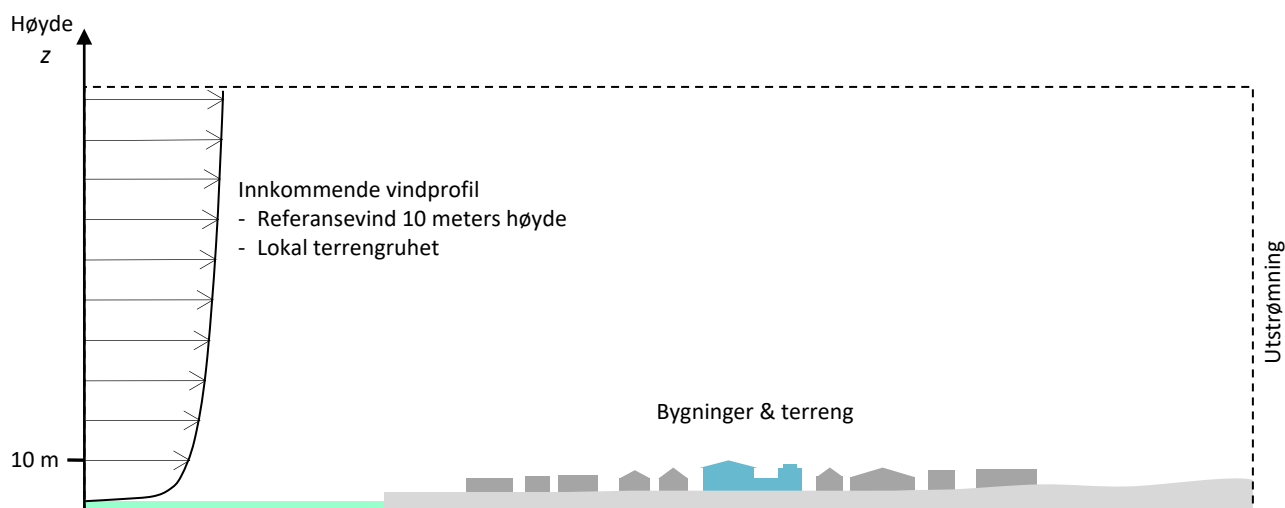
Figur 3. Lokalisering av planområdet (stiplet felt) med angivelse av fremherskende hovedvindretninger.

4 ANVENDT METODE

4.1 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.



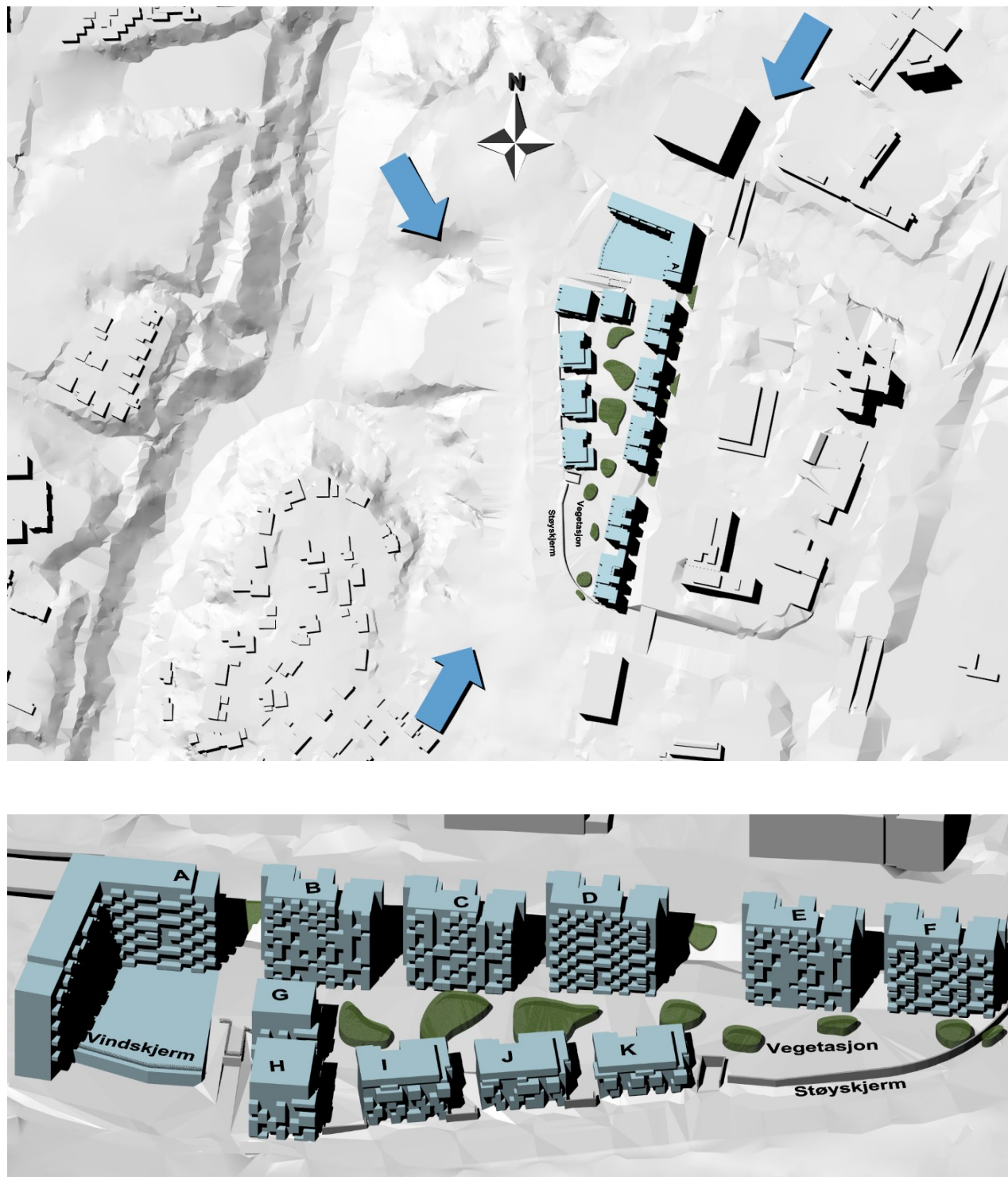
Figur 4. Prinsipp for beregningsområde rundt geometrisk modell.

4.2 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.

4.3 3D modell av arkitektur og terreng

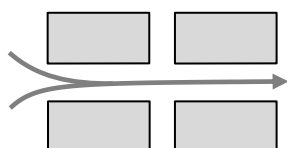
3D-modell av aktuelt utbyggingsforslag, terreng og omliggende bebyggelse er utarbeidet av OET, ut fra grunndata fremskaffet av oppdragsgiver (figur under).



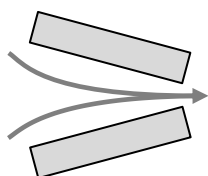
Figur 5. Simuleringsmodell av aktuelt utbyggingsforslag for Teknotomta, utarbeidet fra data fremskaffet av oppdragsgiver. Lokalt fremherskende vindsektorer er markert med blå piler.

5 VINDEFFEKTER RUNDT BYGNINGER OG STRUKTURER

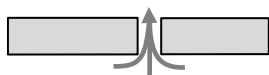
Vindfeltet rundt bygninger og konstruksjoner er ofte svært komplekst med kombinasjoner av ulike vindeffekter. Illustrasjonene under viser typiske vindeffekter rundt bygninger og kan være nyttige med hensyn til analyse av simuleringsresultatene, for å få en bedre forståelse for hvorfor vindforsterkning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



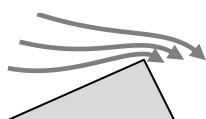
Kanalisert vindfelt i en korridor dannet av bygninger trenger nødvendigvis ikke øke vindens hastighet mellom bygningene, men i fravær av en normal blokkering av «kanalen» vil ofte medføre relativt større vindstyrker enn i omkringliggende områder. Vindhastigheten vil kunne øke dersom bygningene i korridoråpningen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



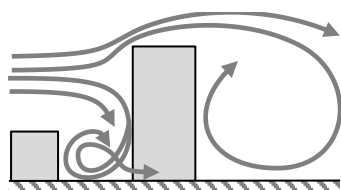
Trakteffekt mellom bygningsvolumer som er lokalisert slik de danner en traktform slik at vinden presses sammen og øker hastigheten. Trakteffekten får størst effekt for relativt høye og brede bygningsvolumer (høyde minimum 15m og lengde på åpning minst 100m).



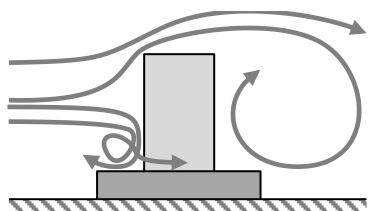
Vindforsterkning i passasje mellom bygninger eller i åpne passasjer gjennom bygningsstrukturer, som følge av trykkforskjeller mellom lo- og leside.



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 rotor (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 VINDPÅVIRKNING - KOMFORT OG SIKKERHET

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

6.1 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).

6.2 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 bekledding. 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.

6.3 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 normalårskorrigering, 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 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).

6.4 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 σ_u
Uteområder gjennomsnittlig	0,1 % > 20 m/s + 3 σ_u

Tabell 2. Eksempel på vind-sikkerhetskriterier ved uteopphold, der σ_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.

6.5 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.

6.6 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.

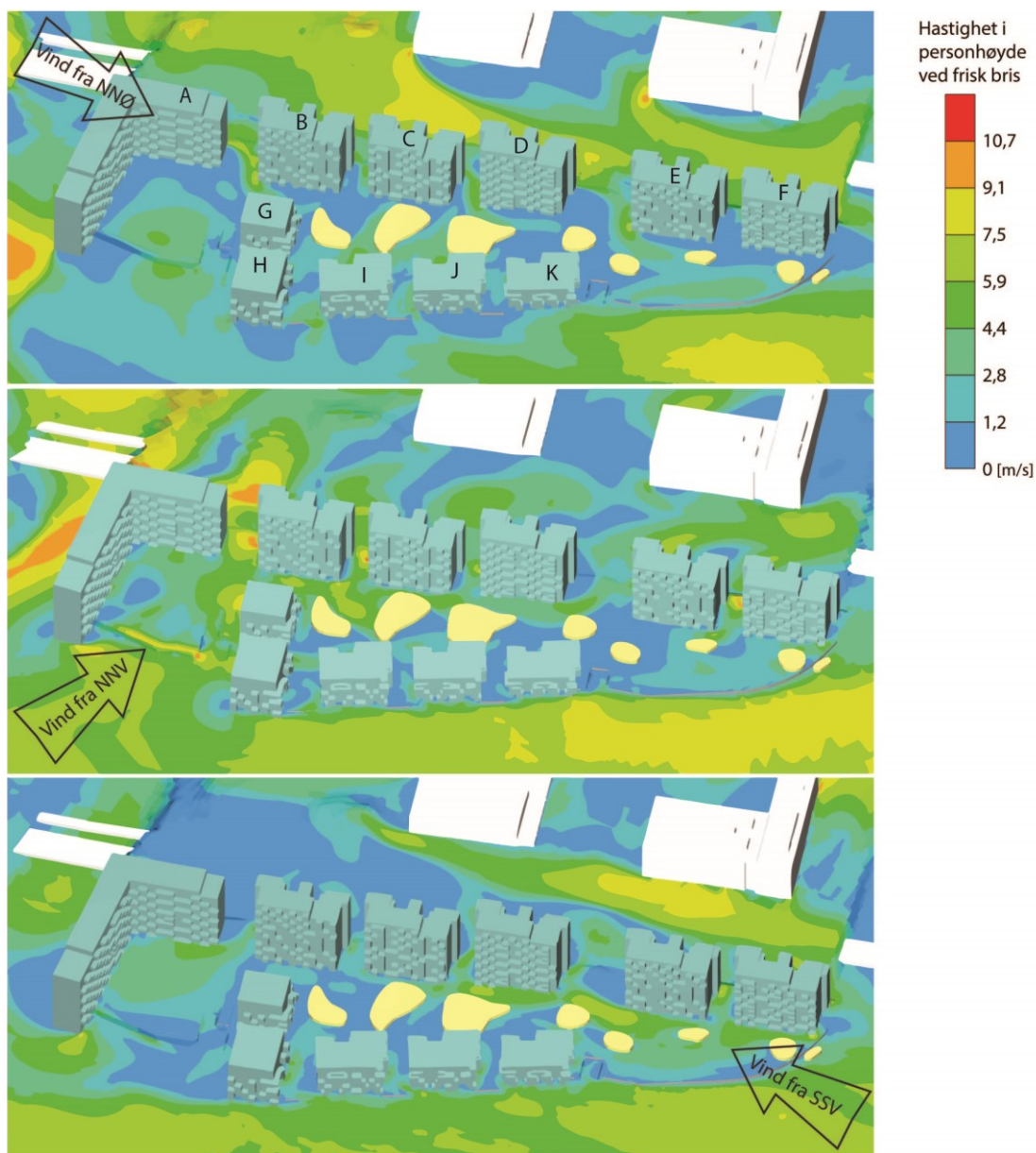
7 VINDFORHOLD I UTBYGGINGSOMRÅDET - REVIDERT PLANFORSLAG

Det er utført numeriske simuleringer av vind rundt gjeldende utbyggingsforslag for Teknotomta, fra de lokalt fremherskende vindretningene fra **NNØ**, **NNV** og **SSV**. Presentasjon og analyse av resultater er gjort med vekt på vindeffekter i uteareal, planforslagets virkning på lokale vindforhold og implementering av vinddempende tiltak/løsninger.

7.1 Fremherskende vindeffekter rundt utbyggingsforslag

Figuren under viser vindhastigheter i utbyggingsforslagets utearealer, som følge av frisk bris (8 m/s) fra aktuelle vindsektorer. Bebyggelsesstrukturen og høyhusrekka er i stor grad orientert parallelt med fremherskende vind fra **NNØ** og **SSV**. Dette demper den største vindbelastningen i utearealene mellom bygningene. Vind fra **NNV** kommer mer på tvers av høyhusrekka og medfører enkelte steder relativt stor vindbelastningen på bakkeplan mellom bygningsvolumene og rundt bygningshjørner.

Forslag til lokal beplantning har her en betydelig vinddempende effekt i omliggende uteoppholdssoner.



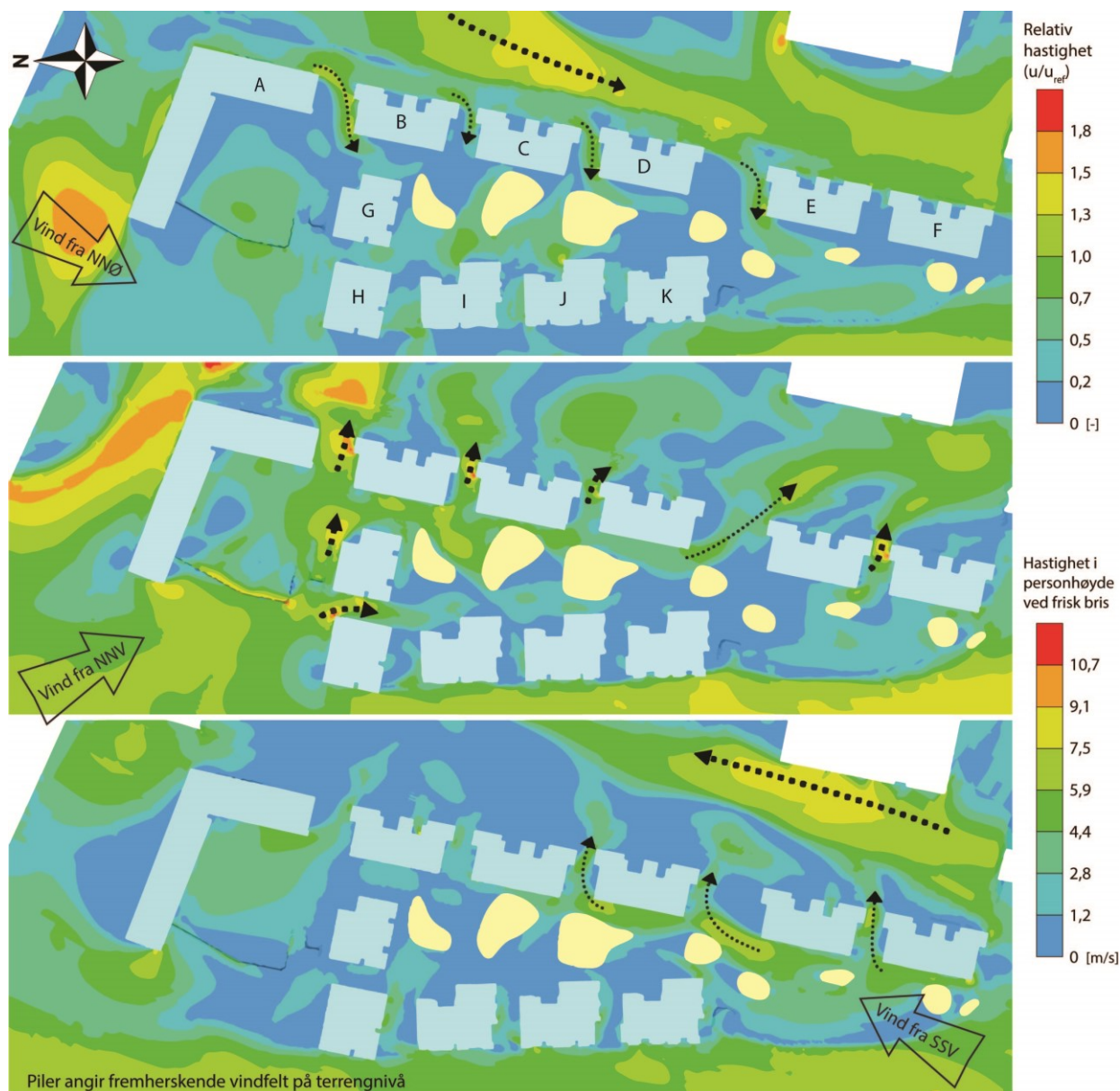
Figur 6. Vindhastigheter i personhøyde rundt revidert utbyggingsforslag ved vind fra **NNØ**, **NNV** og **SSØ**.

7.2 Vindbelastning i personhøyde

Vind fra **NNV** gir generelt den største vindbelastningen i omliggende utearealer. Spesielt gjelder dette for bygningshjørner og passasjene mellom bygg A-F, der det oppstår stor vindgjennomgang mellom bygningsvolumene. Økte vindstyrker vil også kunne oppstå mellom bygg A og G, samt G og H. Selv om vind fra denne sektoren ikke opptrer så ofte som de mer fremherskende sektorene **NNØ** og **SSV**, vil det her være behov for vinddempende tiltak på bakkeplan. Det antas at eventuell øvrig vind som kommer på tvers av høybyggrekka, fra sektorene rundt vest og øst, vil gi hastighetsøkning i de aktuelle sonene mellom bygningsvolumene.

Vind fra **SSV** og **NNØ** medfører i utgangspunktet ikke like store vindhastigheter på bakkeplan rundt bygningene, men vindgjennomgang mellom bygg A-F og rundt bygningshjørner kan føles ubehagelig. Det vil her være behov for vinddempende tiltak.

Noe nedfallsvind og vindrotorer må forventes rundt høybygg, men bygningenes utforming medfører at dette ikke belaster bakkeplanet i alt for stor grad.



Figur 7. Vindeffekter i personhøyde rundt revidert utbyggingsforslag ved vind fra **NNØ**, **NNV** og **SSV**.

8 AVBØTENDE TILTAK – LOKAL VINDBELASTNING

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 Vindklimatisk tilpasning av bygningsgrupper

Valg av utbyggingsområde

Naturgitte og skjermede lokaliseringer gir de beste forutsetninger for et godt vindklima. Aktuelt planområde eller lokalisering foretak er i de fleste tilfeller fastlagt.

Utvikling av planløsning

Planløsning med terrengutforming bør i utgangspunktet utformes for å redusere eventuelle uønsket lokale vindefekter forårsaket av de største strukturene. Ny bebyggelsesstruktur, bør tilrettelegges slik den utnytter skjermingspotensialet fra større strukturer og samlet skjermingseffekt fra en fordelaktig strukturell organisering av bygg i terreng. Dette forutsetter imidlertid at klimatisk tilpasning inkluderes i tidlig konseptutvikling og en viss grad av designfrihet. Vindhastighetene kan øke dramatisk mellom store strukturer. Utforming og relative plassering av de største bygningsvolumene i forhold til terreng og lokalt fremherskende vindretninger, har den største innvirkning på vindklimaet i omliggende uteområder. For det aktuelle planområde eller foretak er det ofte fastlagte rammer og restriksjoner som begrenser frihet til å utforme de mest effektive vinddempende planløsningene, samt valg og omfang vindreduserende tiltak.

Endring i eksisterende planløsninger

Fordelaktige klimatiske tilpassende endringer i bebyggelsesstruktur, grunnleggende bygningsdesign eller veg/terreng utforming, kan i mange tilfeller gjennomføres innenfor prosjektets rammer.

Tilpasning i eksisterende designløsning

Endring i eksisterende designløsninger med hensyn til strukturell eller byggeteknisk utforming, kan benyttes for lokal vinddempning. Funksjoner og aktivitet i uteareal bør tilpasses det lokale vindklimaet.

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 demping av vind i uteområdene. Rekker med trær, såkalte «shelterbelts» har lenge vært benyttet for vindskjerming av åpent åkerland, med en skjermingseffekt tilsvarende gjennomtrengelige skjermstrukturer.

8.2 Vinddempende tiltak for revidert planforslag

Analyse av lokale vindeffekter rundt revidert planløsning viste at det i enkelte uteoppholdssoner tidvis vil oppstå for stor vindbelastning. Vindforholdene er her imidlertid av en slik karakter at lokal vindskjerming skulle kunne gi tilstrekkelig vinddempning. Forslag til ytterligere avbøtende tiltak inkluderer stenging av passasjer mellom bygningsvolumer og etablering vinddempende skjermes i uteoppholdssoner.

Designkrav til etablering av vinddempende strukturer & beplantning

Funksjonskrav til uteareal og bygninger setter begrensning i forhold til valg, lokalisering og omfang av skjermingstiltak. Design og lokalisering av vinddempende tiltak skal ikke:

- forringe uterom på terrenget og balkonger (PBL)
- redusere utsyn fra leiligheter (PBL)
- hindre aksess/gangbarhet (PBL)
- forringe arkitektonisk design (PBL)

Funksjonskrav til vindskjerming

Generelt skal det sikres at nybygging ikke medfører uheldige vindeffekter rundt utbyggingsprosjektet og for omliggende bebyggelse med tilgrensede uteområder.

Fotgjengerområder for stående og inngangspartier, bør erfaringsmessig skjermes for relative vindhastigheter fra og med 1.3-1.5. Relative vindhastigheter over 1,5 er i utgangspunktet ugunstig også for fotgjengere i bevegelse. Generelt bør all uteaktivitet skjermes for relative vindhastigheter over 1.8.

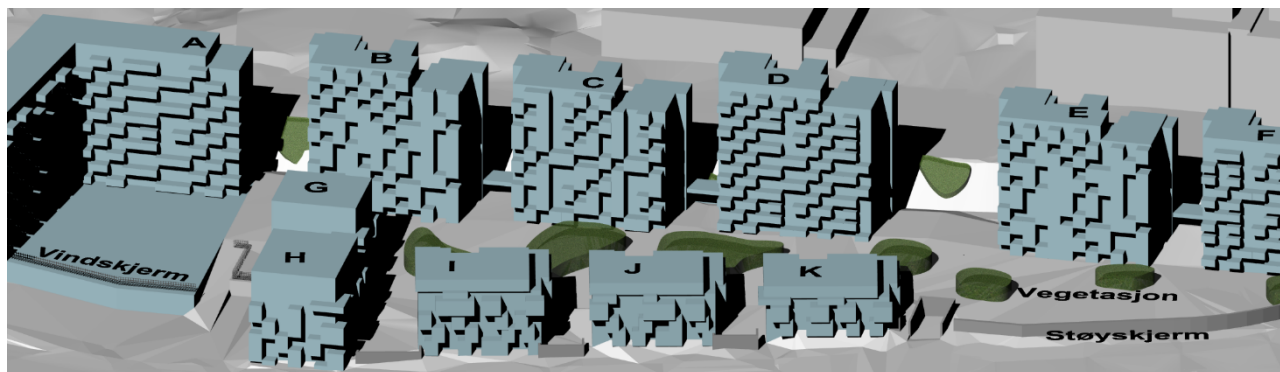
Vinddempende tiltak er i denne analysen utformet for å skjermes uteområder i utbyggingsområdet for relative vindhastigheter over 1.3 og eventuelle uheldige vindeffekter som vindnedslag og rotordannelse.

Det er viktigst å oppnå gunstige vindforhold i uteområdene ved vind fra de fremherskende vindsektorene rundt **NNØ** og **SSV**. Vind fra **NNV** er ikke den mest fremherskende, men vil medføre uheldig vindgjennomgang i passasjer mellom bygningsvolumene.

Forslag til lokal vindskjerming

Planlagt lokal beplantning og støyskjerm vil ha en betydelig vinddempende effekt. Forslag til ytterligere vinddempende tiltak er begrenset til området innenfor utbyggingsforslagets ytre byggrense og består av:

- Stengning av passasjene mellom bygg B-C, C-D og E-F på bakkeplan.
- 2m høy og 50% åpen vindskjerm/rekkverk på nedre plan bygg A og over innkjøring mellom bygg A og G.

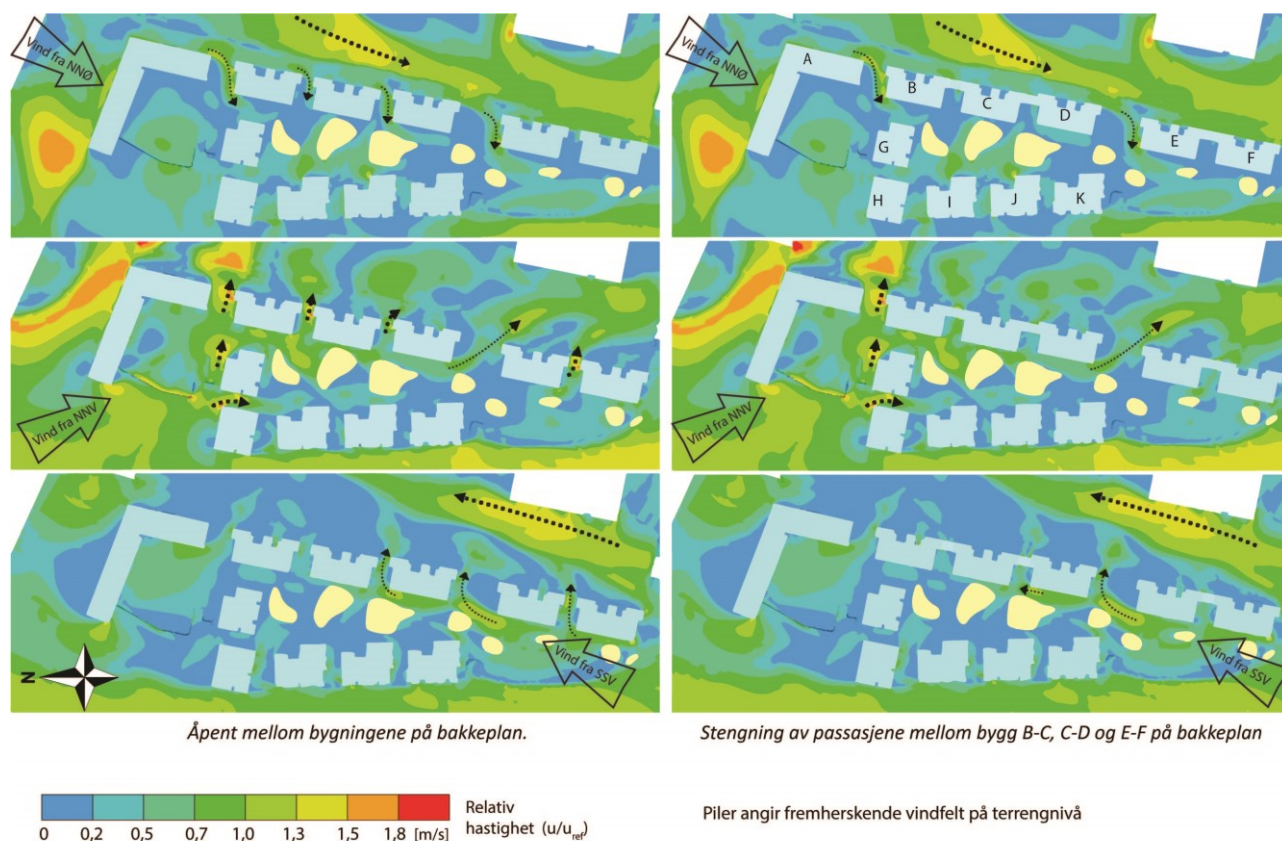


Figur 8. Vinddempende tiltak rundt aktuelt utbyggingsforslag i form av 50% åpne skjermes, støyskjerm, vegetasjon og stengning av passasjer mellom bygningsvolumer.

8.3 Virkning av foreslåtte vinddempende tiltak

Figuren under viser vindbelastning og vindeffekter rundt siste utbyggingsforslag, for tilfellet med og uten stengning av passasjene mellom bygg B-C, C-D og E-F på bakkeplan. Stengning av disse passasjene hindrer uheldig vindgjennomgang.

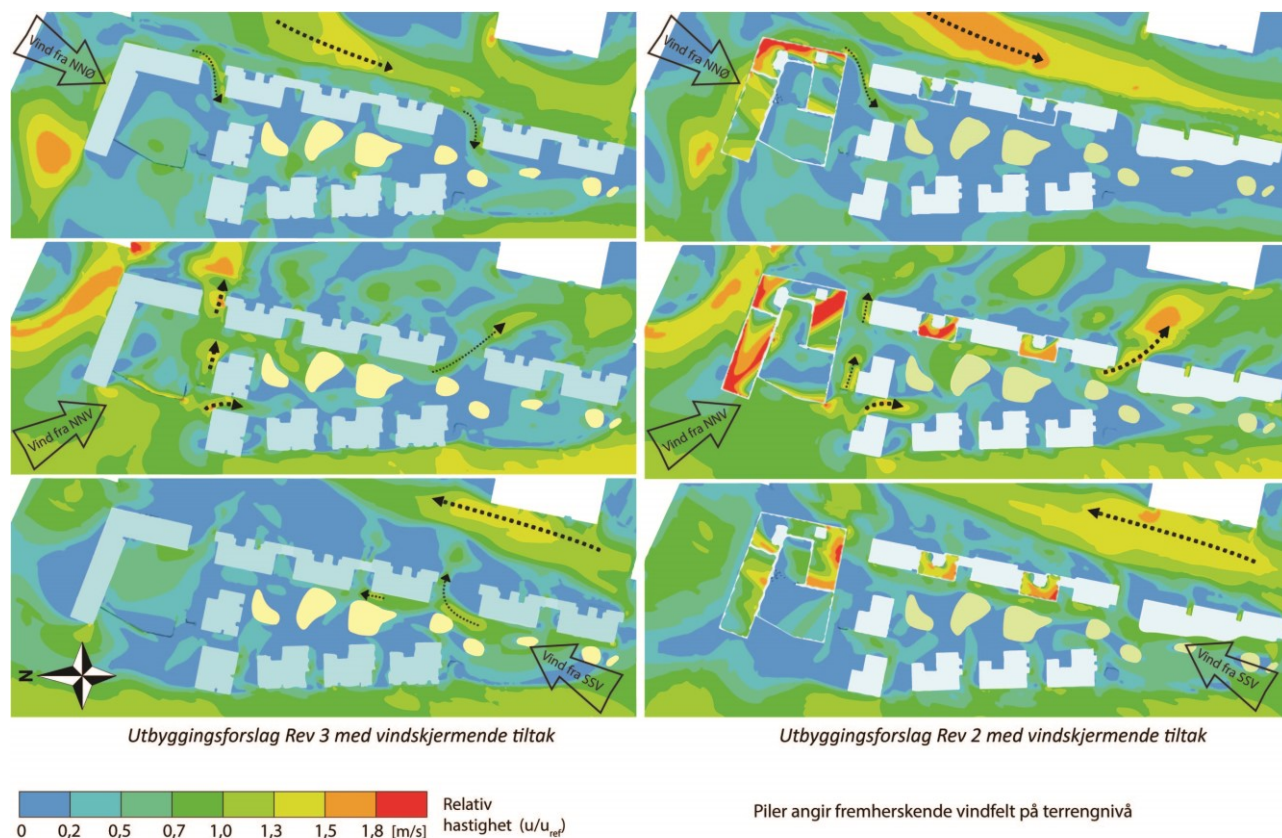
Ved vind fra **NNV** vil det fremdeles kunne oppstå økte vindhastigheter i passasjene mellom bygg A og B og bygg G og H. Denne vinden vil kunne reduseres ved hjelp av ytterligere forsterkning av beplantning/skjerming.



Figur 9. Vindeffekter i personhøyde rundt revidert utbyggingsforslag ved vind fra **NNØ**, **NNV** og **SSØ**..

8.4 Revisjonens virkning på vind i utearealene

Figuren under viser vindeffekter i personhøyde rundt siste reviderte (Rev 3) - og tidligere planforslag (Rev 2). Hovedtendensene i vindmønsteret rundt utbyggingsforslag for Teknotomta er i stor grad det samme som før revisjonen. Bebyggelsesstrukturen er fremdeles orientert relativt gunstig i forhold til de fremherskende vindsektorene rundt NNØ og SSV.



Figur 10. Vindeffekter i personhøyde rundt siste revisjon (Rev 3) og tidligere planforslag (Rev 2).

8.5 Vindbelastning på takdekker

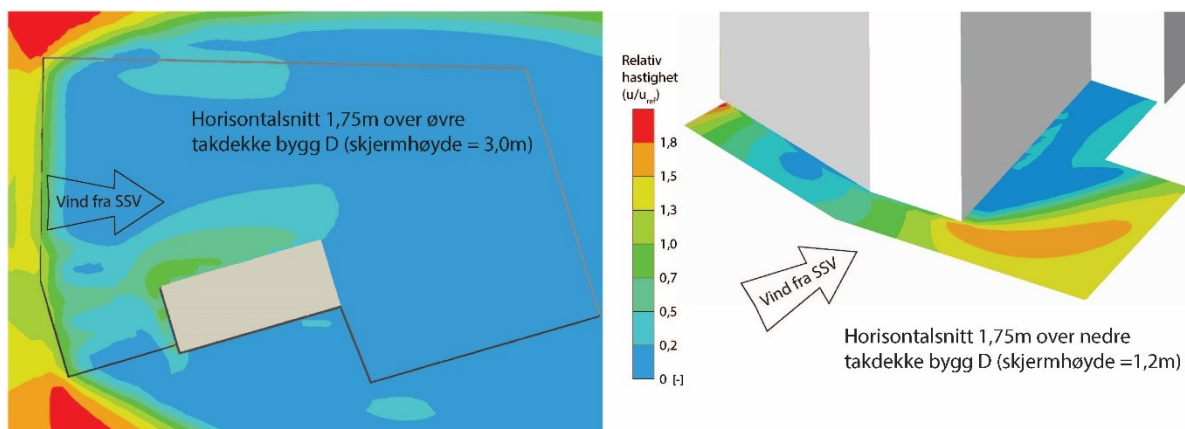
Det er for denne revisjonen ikke utført egne analyser med hensyn til vindbelastning på takdekkene. Tidligere analyser viser at alle takflatene i utgangspunktet vil være vindbelastet og takflater som er tiltenkt for uteopphold bør derfor skjermes for vind.

Viser til prinsipp for vindskjerming av tak i *Rapport 137-16 Rev 1, Analyse av lokale vindforhold rundt utbygging på Vestre Rosten, datert 28.05.2017*. Det bør implementeres 3m høye vindskjermer rundt takarealer som skal tilrettelegges for uteopphold. Dersom det ønskes lavere skjermhøyde, må dette undersøkes for aktuelle lokaliseringer. Skjermhøyden rundt de sørvestlige takarealene på bygg A kan reduseres til rundt 1m. Imidlertid er det her fordelaktig med en skjermhøyde på 1,75 -2m.

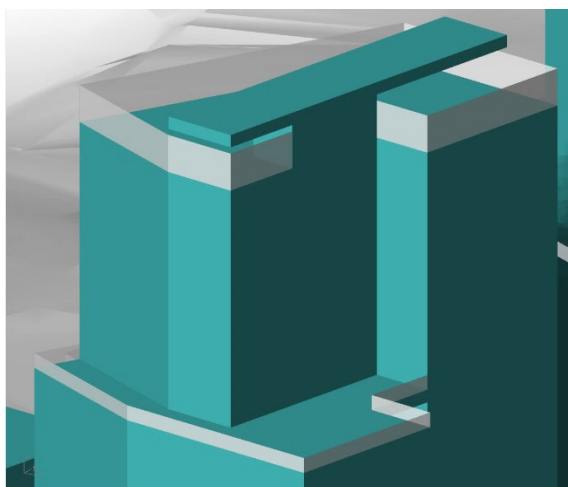
Analyse/vurdering fra Rev 1.

Figuren under viser vindhastigheter i personhøyde over takdekker bygg D (Rev 1) ved vind fra **SSV**. Det er forutsatt at omliggende skjerm/rekkverk er 50% åpne og har en vinddempende design.

Skjerm rundt øverste takdekke er 3m høy og gir svært god dempning i personhøyde. Skjerm rundt nedre takdekke er kun 1.2m høy og gir liten vinddempning i personhøyde.



Figur 11. Vindhastigheter i personhøyde over takdekker bygg D (Rev 1) ved vind fra **SSV**.



Figur 12. Skjerming rundt takdekker bygning D (Rev 1).

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.