



Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi

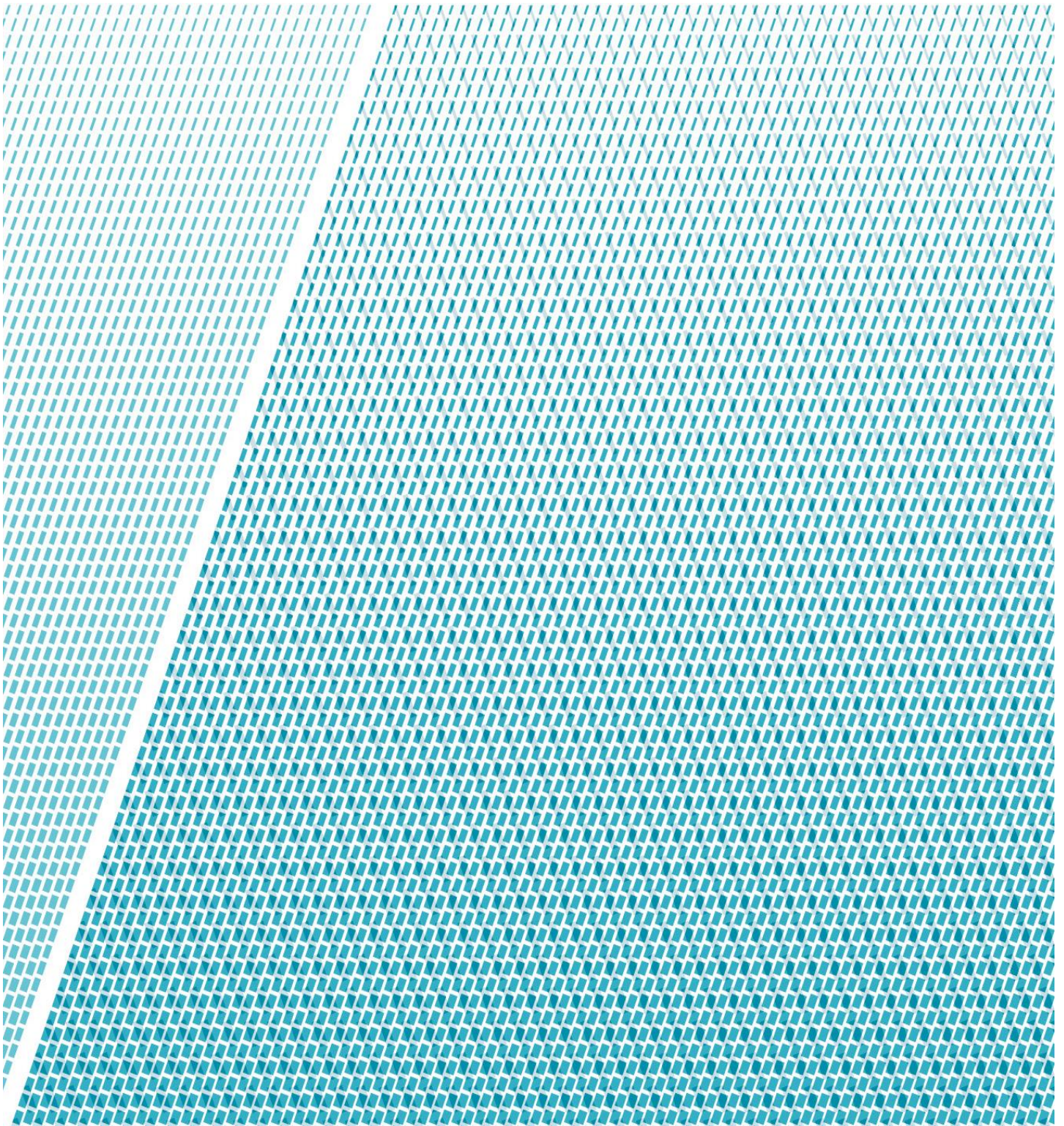
# Lokalklimaanalyse for utbyggingsprosjekt

*Analysis of local climate effects for development project*

**Anastasiia Zykova**

*Masteroppgave i teknologi*

*Mai, 2017*







<i>Tittel:</i>  Lokalkimaanalyse for utbyggingsprosjekt Analysis of local climate effects for development project		<i>Dato:</i> 15.05.2017
		<i>Gradering:</i> Åpen
<i>Forfatter:</i>  Anastasiia Zykova		<i>Antall sider:</i> 68
		<i>Vedlegg:</i> 23
<i>Fakultet:</i> Ingeniørvitenskap og teknologi	<i>Institutt:</i> Bygg, energi og materialteknologi - Master Integrert bygningsteknologi	
<i>Veileder:</i> Dr.Ing Per-Arne Sundsbø		
<i>Oppdragsgiver:</i> Harstad kommune	<i>Oppdragsgiver kontaktperson:</i> Børge Weines	
<i>Sammendrag:</i> I forbindelse med den planlagte utviklingen av Harstad sentrum er det gjennomført numeriske simuleringer i Flow 3D med følgende vindanalyse for å vurdere lokale komfortforhold. Bygningsvolumet i sentrum medførte noe økning av vindforhold som er likevel akseptabelt for myke trafikanter. Men for å unngå negative påvirkninger på utearealer for stillesittende opphold ble det foreslått avbøtende tiltak i form av beplantninger og delvis åpne skjermer.		
<i>Abstract:</i> In connection with the planned development of the Harstad city center, have there been commenced numerical simulations in Flow 3D with a following analysis to assess the local climate condition. The building mass led to some increase in wind conditions, but it is still inside the accepted parameters for pedestrians. To avoid too much negative impact on the outdoor area where the seating arrangements are located, there are made suggestions in the form of plants or partly open screening.		

## Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
1.1	Bakgrunn.....	1
1.1.1	Utvikling i Harstad .....	1
1.1.2	Byutvikling .....	1
1.1.3	Dagens regelverk .....	1
1.2	Oppgavens mål .....	2
1.3	Problemstilling.....	2
1.4	Begrensninger.....	2
1.5	Disposisjon av oppgaven .....	2
2	Kunnskapsgrunnlag.....	3
2.1	Klima .....	3
2.1.1	Klimasystemet .....	3
2.1.2	Klimaet i Norge .....	3
2.1.3	Lokalklima .....	3
2.1.4	Byklima .....	4
2.1.5	Klimatiske endringer i Nord – Norge .....	5
2.2	Vind.....	7
2.2.1	Drivkraft.....	7
2.2.2	De globale sirkulasjonene.....	7
2.2.3	De lokale og regionale sirkulasjonene .....	8
2.2.4	Vindhastighetsprofil .....	10
2.2.5	Beauforts skala for vindstyrke .....	12
2.3	Strømningslære .....	14
2.3.1	Strømlinjer og klassifisering av strøm.....	14
2.3.2	Reynolds tall .....	14
2.3.3	Kontinuitetsligning.....	15
2.3.4	Laminær Luftbevegelse – Bernoullis ligning.....	15
2.3.5	Stagnasjonspunkt .....	16
2.3.6	Grensesjikt og separasjon.....	16
2.3.7	Strømning rundt sylinder.....	17
2.3.8	Virveldannelse .....	18
2.3.9	Coanda effekten .....	18
2.4	Vindmiljø.....	19

2.4.1	Vindmiljø i terreng .....	19
2.4.2	Vindmiljø omkring bygninger .....	19
2.4.3	Vindmiljø i byrom. ....	22
2.4.4	Vindmiljø i bebyggelser .....	23
2.5	Vind komfort.....	24
2.5.1	Mekaniske effekten av vind.....	24
2.5.2	Komfort- og sikkerhetskriterier .....	25
2.5.3	Termisk miljø .....	26
2.5.4	Vindkjøling .....	29
2.5.5	Vurdering av termisk klima.....	30
3	Materialer og metode.....	31
3.1	Kommunedelplan for Harstad sentrum.....	31
3.1.1	Stedsanalyse .....	31
3.1.2	Havneutvikling .....	32
3.1.3	Harstad - Torget.....	36
3.1.4	Stien langs sjøen .....	37
3.1.5	Fokusområde .....	38
3.2	Områdets klimatiske forutsetninger .....	38
3.3	Metode .....	41
3.3.1	CFD – simulering som verktøy .....	41
3.3.2	Numerisk strømningsmodell .....	41
3.3.3	Relativ og absolutt vindhastighet .....	42
3.3.4	3D - modell av terreng og arkitektur .....	42
4	Resultat fra numeriske simuleringer.....	43
4.1	Vind fra NNØ.....	44
4.2	Vind fra SSV .....	45
5	Diskusjon.....	46
5.1	Vind fra NNØ.....	46
5.2	Vind fra SSV .....	48
5.3	Vinddempende tiltak .....	50
5.4	Evaluering av grøntstruktur i Harstad. ....	51
5.5	Anbefalinger av løsningsprinsipper .....	52
6	Konklusjon.....	53
7	Videre arbeid .....	53



Literaturliste .....	54
Vedlegg A – Oppgavetekst .....	
Vedlegg B – Resultat fra numeriske simuleringer i Flow 3D .....	
Vedlegg C – Tegninger fra Harstad kommune .....	
Vedlegg D – Plankart til sentrumsplan .....	

## Forord

Denne masteroppgaven er utført våren 2017 ved UIT Norges Arktiske universitet, campus Narvik, avdeling for teknologi, på oppdrag for Harstad kommune. Oppgaven inneholder resultater av numeriske simuleringer av vindfelt rundt bygningsvolum i sentrum av byen, i forhold til disponering av utearealer med vurdering av utekomfort og eventuelle tiltak.

Jeg synes at det er et meget spennende tema og det har vært en glede å arbeide med det. Engasjement for vindmiljø og klimatiske påvirkninger ble utviklet gjennom studiet i Narvik i de siste to årene. Jeg har en sterk interesse til byutvikling og visjon av Jan Gehl som mener at byrom bør prosjekteres for mennesker og etter deres behov. Interessen fikk jeg gjennom min første utdanning fra Russland og flere online kurs om byplanlegging. Med valgt tema for oppgaven ønsket å bidra til utviklingen av Harstad sentrum.

I dette forbindelse vil jeg rette en stor takk til min veileder professor Per – Arne Sundsbø som ga meg muligheten å fullføre denne oppgave og hjulpet meg underveis. I hans lokalklimatiske analyser og forelesninger fra strømningslære tar utgangspunkt dette arbeidet. Takk også til hans assistent Frode Gimsøy for hjelp i gjennomføring av simuleringer og faglig innspill.

Jeg vil også takke min ekstern veileder fra Harstad kommune Børge Weines og Roger Berge som oversend nødvendig for simuleringer grunnlag.

Jeg ønsker også å takke alle mine kollegaer ved Hinnstein som har bidratt med sin faglige kompetanse, har inspirert og støttet meg hele veien.

Oppgaven har vært interessant, lærerik og forsterket min faglige kunnskap. Jeg vil uttrykke min takknemlighet til hele avdeling for teknologi, spesielt for de mulighetene som utenlandske studenter får.

Anastasiia Zykova

14. mai 2017

## Figurliste

Figur 1. Geografisk sentrum i Harstad – Sone 3. ....	2
Figur 2. Den idealiserte vertikale strukturen av urban-modifisert luft. (a) Hele byen (mesoskala) i rolige forhold med "dome", og (b) i en jevn regional luftstrøm med urban "plume". (c) En enkelt terrengsone (lokal skala) som viser den indre UCL-lag og nedre del av UBL-lag. (d) En enkel gate (mikroskala) og bygningselementer (Oliver, 2005). ....	4
Figur 3. Kart over Norsk Arktis (NorACIA) (Øseth, 2010). ....	6
Figur 4. Observert historisk og beregnet fremtidig utvikling av vinter og sommer for Nord Norge. Høy (oransje) og lav (grønn) framskrivning er stiplet, mens middels framskrivning er heltrukken linje (Øseth, 2010). ....	6
Figur 5. Fremtidig utvikling av årsnedbør for Hålogaland. Framskrivningene er vist som beregnet gjennomsnittlig trend. Høy (oransje) og lav (grønn) framskrivning er stiplet, mens middels framskrivning er heltrukken linje (Øseth, 2010). ....	7
Figur 6. Skjematisk atmosfærens sirkulasjon (basert på Cappelen, 2013). ....	8
Figur 7. Lokale vindsystem i fjelltrakter (Størkersen, 2016). ....	9
Figur 8. Lokale vindsystem ved kysten (basert på Børve, 1992). ....	9
Figur 9. Påvirkning av topografi på vindhastighetsprofilen (Bhandari, Krishna & Kumar, 2006). ....	10
Figur 10. Fotografier av den fysiske naturen og urban morfometri som representerer eksempler av urbane ruhetskategorier (Grimmond & Oke, 1998) ....	12
Figur 11. Strømlinjer i luftbevegelse (basert på Børge, 1987). ....	14
Figur 12. Hastighetsfordeling av luftstrømning rundt et vindturbinblad. Blå farge betegner felter med lave hastigheter og rød farge motsatt med høye (Sundsbo, 2016). ....	15
Figur 13. Trykkfordeling av luftstrømning rundt et vindturbinblad. Blå sone betegner lavtrykk og rød sone er høyt trykk (Sundsbo, 2016a). ....	16
Figur 14. Spredning av strømlinjer mot en flate (basert på Børge, 1987). ....	16
Figur 15. Forskjellen på et turbulent og laminært grensesjikt. ....	17
Figur 16. Separasjonspunkt i grenseskilt (basert på Børge, 1987). ....	17
Figur 17. Hastighetsfeltet for turbulent strøm rundt sylinder. Rødt betegner arealer med høy hastighet og blått med lav hastighet (Olsen, 2015). ....	17
Figur 18. Karman`s virvelfenomen (basert på Børge, 1987). ....	18
Figur 19. Coanda effekten i hastighetsfelt (Sundsbo, 2016). ....	18
Figur 20. Vindstrømning i forskjellige terrengform (basert på Bjerg, 2012). ....	19
Figur 21. Strømningens mønster rundt rektangulær bygning (basert på ASHRAE, 2001). ....	20
Figur 22. Påvirkning av bygnings parametere på sone med redusert luftsirkulasjon (Spirn, 1986). ....	20
Figur 23. Typer av bygninger som finnes i byen (Cermak, Devenport, Plate & Viegas, 2013). ....	21
Figur 24. Byromsformer med ubehagelige vindopplevelser (basert på Bjerg, 2012). ....	22
Figur 25. Tepee-effekt i homogene bebyggelser (basert på Bjerg, 2012). ....	23
Figur 26. Blokkbebyggelse (basert på Bjerg, 2012). ....	23
Figur 27. Gatestruktur (basert på Asplan Viak, 2010). ....	23
Figur 28. Klyngestruktur (basert på Asplan Viak, 2010). ....	23
Figur 29. Vind- og gravitasjonskrefter på mennesker som står rett, lener seg mot vind og en syklist lent inn vinden (Bottema, 1993). ....	25
Figur 30. Nødvendig resulterende isolasjon (IREQ) av bekledning som skal opprettholde normal varmembalanse ved forskjellige aktivitetsnivå i stille luft (Nordik innovation, 2010). ....	28



Figur 31. Anbefalt maksimal eksponeringstid (DLE) for å opprettholde kroppens varmebalanse ved lett aktivitet (90W/m <sup>2</sup> ) i stille luft og for 7 ulike bekledninger med varierende isolasjonsverdi (Nordik innovation, 2010). .....	29
Figur 32. Sammenheng mellom PMV og PPD indekserne (Madsen, 1988).....	30
Figur 33. Utsnitt fra plankart fra kommunedelplanen med sentrum av byen (Harstad kommune, 2016c). ..	31
Figur 34. Kart over gågater i sentrum markert med oransje farge (Asplan Viak, 2012). .....	32
Figur 35. Harstad sentrum med dampskipkaia og Larsneset 1950-1960 (basert på Sør-Troms museum, 2017a).....	33
Figur 36. Visualisering av utvidet Larsneskaia (Harstad tidene, 2017a).....	33
Figur 37. Utbyggingsstrategi og havneutvikling: fase 1 (Harstad kommune, 2016b) .....	34
Figur 38. Utbyggingsstrategi og havneutvikling: fase 2 (Harstad kommune, 2016b). .....	34
Figur 39. Utbyggingsstrategi og havneutvikling: fase 3 (Harstad kommune, 2016b). .....	35
Figur 40. Utbyggingsstrategi og havneutvikling: fase 4 (Harstad kommune, 2016b). .....	35
Figur 41. Rutebilstasjonen og Torvet, 1963 (Sør-Troms museum, 2017b). .....	36
Figur 42. Harstad -Torget, 2013 (Kilde: Google Earth). .....	36
Figur 43. Visualisering av planlagt utbygging i Harstad sentrum (Harstad tidene, 2017a).....	37
Figur 44. Stien langs sjøen (blå linje) (Harstad kommune, 2016d).....	37
Figur 45. Fokusområde for vindanalyse (inspirert av Harstad tidene, 2017a). .....	38
Figur 46. Lokalisering av målestasjoner ift. sentrum av Harstad. ....	39
Figur 47. Vindroser for målestasjonene Harstad Stadion og Harstad-Sama (Sundsbø, 2013).....	40
Figur 48. Vertikalsnitt av numerisk beregningsmodell med definerte grensebetingelser. Referansevind er vindstyrke på 10 meters høyde (Sundsbø, 2013).....	41
Figur 49. 3D - modell av terreng og bygningsvolumer. ....	42
Figur 50. Planskisse av modell med indikering av dominerende vindretninger.....	43
Figur 51. Horisontalsnitt av vindfelt i plan ca 1,75 m over terreng. Vind fra NNØ mot Harstad sentrum. Lokal vindskala. ....	44
Figur 52. Horisontalsnitt av vindfelt i plan ca 1,75 m over terreng. Vind fra SSV mot Harstad sentrum.....	45
Figur 53. Horisontalsnitt av vindfelt i plan ca 1,75 m over terreng. Vind fra NNØ mot Harstad sentrum. Relativ vindskala. ....	46
Figur 54. Relativ vindhastighet i personhøyde rundt Larsneskaia. Vind fra NNØ. ....	47
Figur 55. Relativ vindhastighet i personhøyde rundt framtidig utbygning. Vind fra NNØ. ....	47
Figur 56. Relativ vindhastighet i personhøyde rundt torget og kystsone mellom Damskipkaia og Larsneset. Vind fra NNØ.....	48
Figur 57. Horisontalsnitt av vindfelt i plan ca 1,75 m over terreng. Vind fra SSV mot Harstad sentrum. Relativ vindskala. ....	48
Figur 58. Relativ vindhastighet i personhøyde rundt torget. Vind fra SSV.....	49
Figur 59. Relativ vindhastighet i personhøyde rundt forlenget Larsneskaia. Vind fra SSV. ....	49
Figur 60. Utforming av skjermvegg med tett og gjennomtrengelig struktur (basert på SINTEF Byggforsk, 2014).....	50
Figur 61. Kombinasjoner av trær og busker som gir forskjellige vindeffekter (inspirert av Asplan Viak, 2010). .....	50
Figur 62. Eksempel på kombinert vindskjerm (basert på Sundsbø, P.A., 2016b).....	50

## Tabelloversikt

Tabell 1. Klassifikasjon av overflateruhet (Wieringa, 1992)	11
Tabell 2. Beauforts skala for vindstyrke (Myrhaug & Pettersen, 2011).	13
Tabell 3. Vindstrøm avhengig av byggetekniske løsninger (basert på MISSISSAUGA, 2014).	22
Tabell 4. Utvidet Land Beaufort - skalaen (Blocken & Carmeliet, 2003).	24
Tabell 5. Tabell som viser Lawsons vindkomfortkriterier (basert på Frederiksen, 2013).	26
Tabell 6. Vind-sikkerhetskriterier for utearealer (Sundsbo, 2016c).	26
Tabell 7. Varmeproduksjon ved forskjellige aktiviteter (SINTEFF Byggforsk, 1999).	27
Tabell 8. Varmemotstand i ulike beklødding (basert på SINTEF Byggforsk, 1999).	28
Tabell 9. Kjøleeffekt av vind som en tilsvarende kjøletemperatur under nesten stille tilstands (Nordik innovation, 2010).	30
Tabell 10. Stasjonsinformasjon (Meteorologisk institutt, 2017a).	38
Tabell 11. Tabellvisning for temperatur, nedbør og vind (Meteorologisk institutt, 2017b).	40
Tabell 12. Oversikt over grensebetingelser av gjennomførte simuleringer.	43

## Sammendrag

I forbindelse med den planlagte utviklingen av Harstad sentrum er det gjennomført en vindanalyse på oppdrag for Harstad kommune. I de neste 20-50 år vil sentrumskjernen endre seg drastisk. Det er allerede tilrettelagt framtidige endringer i kommunedelplanen, hvor det legges hovedfokus på miljøvennlig byutvikling som med sin attraksjonskraft kan bringe mer livet til sentrum.

Fokusområdet for vindanalyse omfatter det sentrale byrommet som har de viktigste historiske og sosiale betingelser for byen. Dette byrommet har et stort potensial for utvikling til attraktivt byrom med variert og effektivt samspill mellom rekreasjonssoner, møtesteder og alle samfunnsfunksjonene.

For å oppnå det ønsket resultat må man betrakte lokalklimatiske parameter som er avgjørende for planlegging av utearealer i Nord-Norge. Vind er her ofte det viktigste parameter og påvirker vesentlig komfort og personsikkerhet. Bare komfortabelt uteopphold vil bringe tiltrekkende effekter til sentrum.

I denne sammenheng ble det gjennomført numeriske simuleringer i Flow 3D med følgende vindanalyse for å vurdere lokale komfortforhold og anbefale skjermingstiltak. Resultatene har vist at det ikke vil oppstå noen merkbare konsekvenser med henhold til vindsikkerhet.

Bygningsvolumet i sentrum medførte noe økning av vindforhold som er likevel akseptabelt for myke trafikanter. Men for å unngå negative påvirkninger på utearealer for stillesittende opphold ble det foreslått avbøtende tiltak i form av beplantinger og delvis åpne skjermer.



## Abstract

In connection with the planned development of the Harstad city center, have there been conducted a wind analysis as an assignment for Harstad kommune. During the next 20-50 years, the core of the city center will undergo big changes. There has already been done some groundwork in preparation for the coming changes in the city management plan. These plans have their main focus on an environmental development, and with its attractions they hope to create more life in the city center.

The focus areas of the wind analysis include the central city space, which has the most important historical and social conditions. This area has great potential for development into an attractive city space, with at varied and efficient interaction between the recreations, meeting places and social functions.

To achieve the desired result, one has to consider the local climatic parameters, which is a crucial part of planning the design of the outdoor area in northern Norway. Wind is often the most important parameter, and it affects the comfort and the personal safety of pedestrians. Only a comfortable outdoor environment will create the desired effect which will attract people.

In connection to this there has been commenced numerical simulations in "Flow 3D" with a following wind analysis to assess the local climate condition and recommend wind shielding. The results have shown that there will not arise any noticeable ramifications regarding wind safety.

The building mass led to some increase in wind conditions, but it is still inside the accepted parameters for pedestrians. To avoid too much negative impact on the outdoor area where the seating arrangements are located, there are made suggestions in the form of plants or partly open screening.

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

### 1.1.1 Utvikling i Harstad

Harstad er den tredje største by i Nord-Norge med 20 793 innbyggere (Statistisk sentralbyrå, 2016). For tiden pågår det flere prosjekter som vil påvirke Harstad som lokalsamfunn og regionsenter. Noen av dem forsterker næringsliv i et regionalt perspektiv, imidlertid skaper utfordrende situasjon for sentrum av byen.

I 2013 ble det startet planarbeid som ville legge til rette for en miljøvennlig sentrumsutvikling i et 20-50 års perspektiv. Og i 2015 ble det påbegynt arbeid med Harstadpakken som sikter mot redusering av personbiltrafikken samt økning av andelen miljøvennlige reiser.

8. desember 2016 ble det vedtatt Kommunedelplan, også kalt sentrumsplan for Harstad. Hvor samfunnsdel har et av hovedmålene «.. å skape et bysentrum som fremstår som levende og attraktivt, og som kan gi bærekraftig befolkningsvekst for Harstad» (Harstad kommune, 2016a).

### 1.1.2 Byutvikling

I kommunedelplanen uttrykkes målet for byutvikling med begrepet attraksjonskrav, som samler endringer langs tre akser mot attraktivitet, mangfoldighet og tilgjengelighet. Dette innebærer tilrettelegging til effektiv samferdsel, trygg fremkommelighet, helårsbruk og utvikling av rekreasjonsområde og nytt byrom (Harstad kommune, 2016a). Disse fastsatte kravene gjør det nødvendig å vurdere påvirkning av lokalklima i løpet av hele året ved etablering og oppgradering av rekreasjonsområder.

Også ble det lagt til grunn av planstrategi fokus på fortetting med kvalitet (Harstad kommune, 2016e). Utvikling av dette begrepet i Norge tar utgangspunkt i veiledningsdokument på oppdrag fra Miljøverndepartementet i 1996 «Fortetting med kvalitet: Bebyggelse og grønnstruktur». I denne veilederen defineres syv fordeler med fortetting bl.a. «.. fortetting kan gi urbane kvaliteter» (Guttu & Thoren, 1996). Klimaet anses som en av de viktigste faktorer som gir bidrag til kvalitet av et urbant miljø. Bare byrom som tilpasset til klima med gode solforhold, beskyttelse mot nedbør og vind blir attraktivt til opphold (Gehl, Gemzøe, Kirknæs & Sønndergaard, 2006).

### 1.1.3 Dagens regelverk

Planlegging etter Plan- og bygningsloven skal sikre en bærekraftig utvikling med hensyn til klimaendringer. I samsvar med §3-1 (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2008) skal det tas klimahensyn gjennom løsninger for energiforsyning og transport. I tillegg skal planer etter denne loven fremme samfunnssikkerhet ved å forebygge risiko for tap av liv, skade på helse, miljø og viktig infrastruktur.

I praksis medfører dette at kommunene skal vurdere samfunnssikkerhet og sårbarhet i forbindelse med planforslag. Som konsekvens må gjennomføres lokalklimavurderinger for alle aktuelle områder.

## 1.2 Oppgavens mål

Hovedmålene med masteroppgaven er å gjennomføre vindanalyse av vindfelt rundt bygningsvolum i Harstad sentrum, samt å evaluere vindforhold på fotgjengernivå og anbefale vinddempende tiltak.

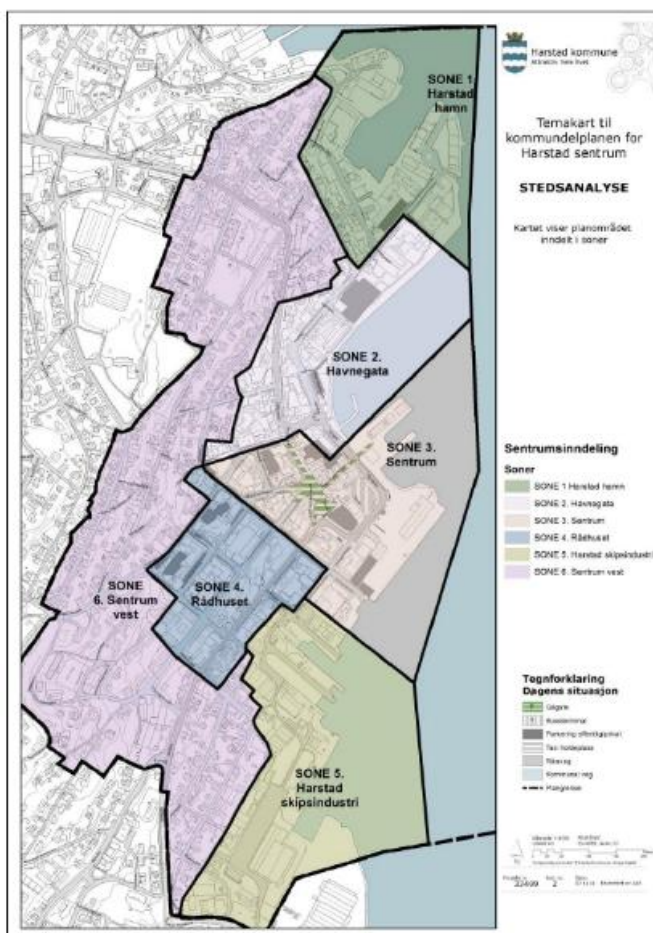
## 1.3 Problemstilling

Hovedproblemstillingen er å identifisere gjennom vindanalyse hvilke utearealer som er utsatte for vindrelaterte virkninger og leder til uheldige påvirkninger på komfort og vindsikkerhet på fotgjengernivå.

## 1.4 Begrensninger

Det er lagt til grunn av planprogrammet flere analyser, utredninger og faglige rapporter som handler bl.a. om trafikk, støy, solforhold, byrom og bylandskap. Det ble ikke gjort fullstendig vurdering av vindforhold tidligere. Derfor omfang av denne masteroppgaven begrenset av vindstudie med numeriske simuleringer av vindfelt.

Geografisk sett begrenses sentrum i Harstad av Sone 3 i samsvar med temakart til kommunedelplanen.



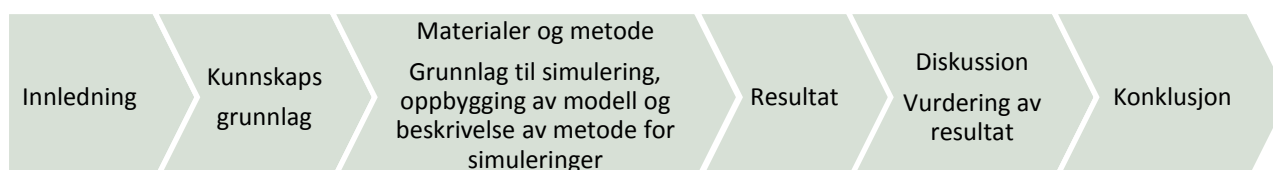
Figur 1. Geografisk sentrum i Harstad – Sone 3.

## 1.5 Disposisjon av oppgaven

Oppgave omfatter følgende arbeider i samsvar med oppgaveteksten:

- Litteraturstudiet.
- Analyse av stedlige forhold, lokalklimatiske og geometriske parametere.
- Oppbygging av 3D simuleringmodell, med terreng og bygningsvolumer.
- Numeriske simuleringer av vindfelt, som følge av vind fra dominerende vindretninger
- Analyse av resultatene fra numeriske simuleringer i forhold til fotgjengerkomfort og sikkerhet.
- Forslag til eventuelle klimaskjermende tiltak.

Disse trinnene bygger struktur av rapporten:





## 2 Kunnskapsgrunnlag

### 2.1 Klima

#### 2.1.1 Klimasystemet

Klimasystemet, som definert i denne rapporten, er et interaktivt system som består av fem hovedkomponenter: atmosfæren, hydrosfæren, landoverflaten og biosfæren, tvunget eller påvirket av ulike eksterne tvinge mekanismer, den viktigste av disse er stråling fra solen. Også den direkte effekten av menneskelig aktivitet på klimasystemet er ansett som en ekstern tvang.

På en annen måte defineres klimaet som gjennomsnittsværet for en bestemt region og tidsperiode, vanligvis tatt over 30 årsverk. Forskjellen mellom vær og klima er at været består av kortsiktig (minutter til måneder) endringer i atmosfæren. Det er veldig mange komponenter til været. Været inkluderer sol, regn, skydekke, vind, hagl, snø, sludd, frysing regn, flom, snøstormer, is stormer, tordenvær, jevnt regn fra en kaldfront eller varmfront, sterk varme, hetebølger og mer.

For utekomfort er det særlig disse klimafaktorene som har stor betydning: nedbør, vind, temperatur og stråling i forskjellige former.

#### 2.1.2 Klimaet i Norge

Norges kystlinje med fjorder er mer enn 20 000 km langt. Sammen med fjellkjedene langs kysten fører dette til påvirkning av strøm og regn i lange perioder av året. Golfstrømmen kombinert med landets beliggenhet langt mot nord er årsaken til hyppige og meget raske temperatursvingninger. Det kan forekomme kalde vinter nesten uten snø, og derfor med særlig dyp tele. Andre vinter kan ha unormalt store snømengder som fører til overbelastninger, store problemer på byggeplassene og utfordringer med vinterdrift (Thue, 2014).

I følge av Köppens klimaklassifisering er det tre ulike klimasoner i Norge. Kyststrøkene fra vestsiden av ytre Oslofjord og helt nord til Troms har Cfc klima. Subarktisk maritimt klima karakteriseres med korte kjølige somre og lange, relativt milde vintre. I tillegg blåser vinden nærmest kontinuerlig.

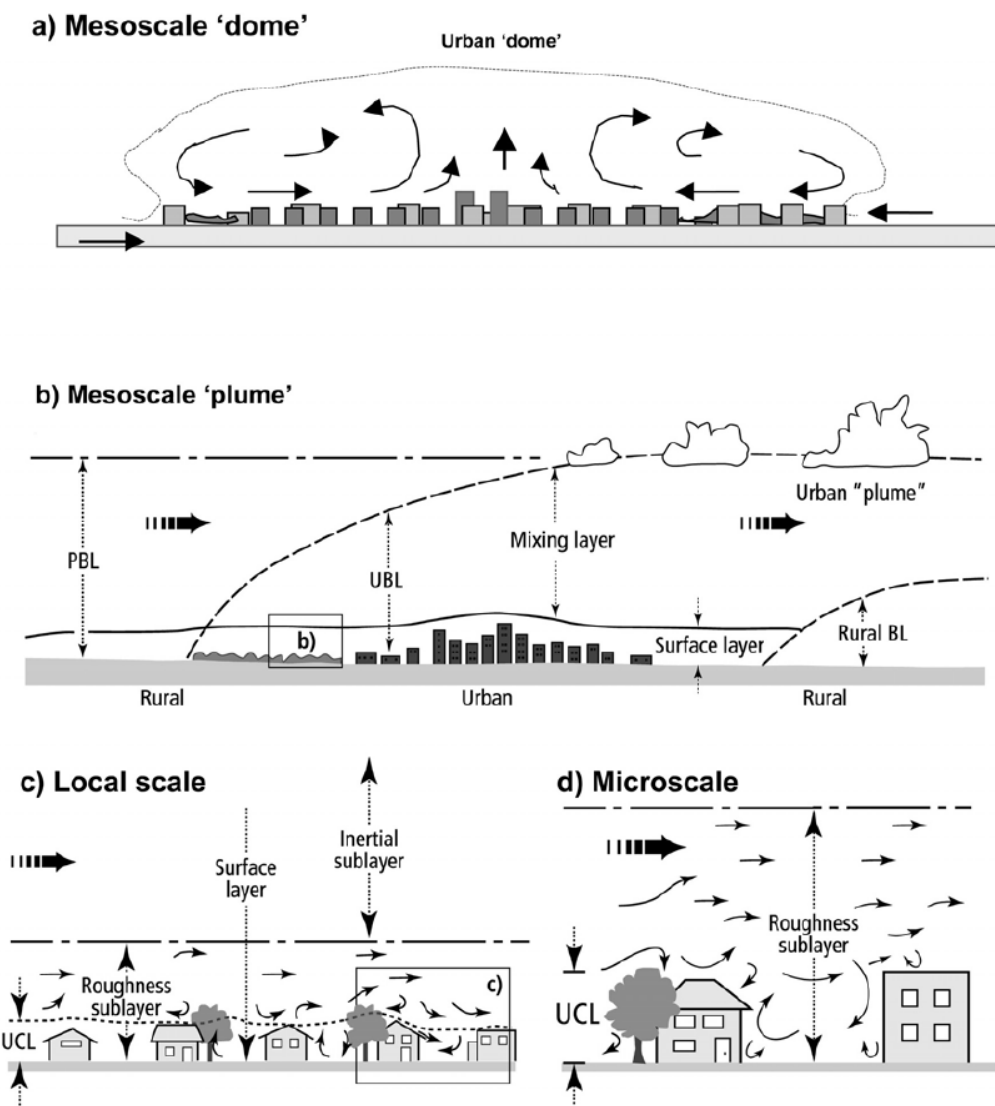
#### 2.1.3 Lokalklima

Inndelingen av klimatiske fenomener danner grunnlag for å dele klimatologien i mikro-, lokal-, meso- og makroklimatologi (Oliver, 2005). Rapporten tar for seg funksjonene for lokalklima som beskrives på en horisontal skala fra 100 m til 20 km og på en vertikal skala fra 10 cm til 1 km (Nitter, 2009). Lokalklima avhengig av følgende faktorene:

- Topografiske forhold (høyde, helning, orientering etc.)
- Markoverflatens karakter (vegetasjonsdekket, refleksjon, permeabilitet etc.)
- Tredimensjonale objekter (bygninger, trær etc.)

## 2.1.4 Byklima

En spesiell form for lokalklima er det vi kan kalle byklima (Gjerstad, Hanssen, Skarstein & Thue, 1997). Urbanisering gir vesentlige effekter på klimaet, inkludert klima innenfor bebygde områder og atmosfæren rundt det. Påvirkningen av bystrukturen på klima kan observeres i mikro-, lokale- og meso-skala. Dette fremgår av figur 2.



Figur 2. Den idealiserte vertikale strukturen av urban-modifisert luft. (a) Hele byen (mesoskala) i rolige forhold med "dome", og (b) i en jevn regional luftstrøm med urban "plume". (c) En enkelt terrengsone (lokal skala) som viser den indre UCL-lag og nedre del av UBL-lag. (d) En enkel gate (mikroskala) og bygningselementer (Oliver, 2005).

Den nederste del av atmosfæren i et urbant område, er kjent som UBL (urban boundary layer). Dette laget omfatter volumet av luften over byen som er påvirket av naturen av det bygde miljø og antropologiske aktiviteter i byen. Den strekker seg rundt 10 ganger høyden av bygningene i urbane områder, og kan deles opp i et antall undersjikt. Den laveste kalles UCL (urban canopy layer), og dekker volumet fra bakkenivå til høyden på bygninger, trær og andre gjenstander. Dette laget er meget heterogent og sterkt påvirket av de enkelte urbane elementer slik som bygninger (Oliver, 2005).

Endrede overflateegenskaper av bygninger og gater reduserer fordamping. Eksempelvis kan et asfaltdekke ha en høyere overflatetemperatur på 10-20 K enn vegetasjonsdekket. Varmeproduksjon av bygninger gjennom ventilasjon og ytterflater følger til varmeøyeffekter som registreres i bystruktur fra 5000

innbyggere. Disse effekter reduserer naturlig luftutskifting om vinteren. Om sommeren fører de til nedbørsbyger og endringer i lokale vindsystemer som følge av dannelse av lavtrykksoner i bykjerner. Bygninger virker som vindskjermer og endrer samtidig vindretninger og hastighet. Det kan skapes lommer med reduksjon av den naturlige luftutskiftingen. Innhold av forurensninger i luften medvirker til dannelse av tåke og reduksjon av solstråling.

På grunn av disse faktorene får byklimate følgende konsekvenser:

- I en by kan lufttemperatur stige med 6-8 K i forhold til landskapet omkring.
- Antall dager i året med snødekket mark ble minsket med ikke mindre enn 10-15%.
- På grunn av høyere temperatur, mindre vegetasjon og drenering av nedbør minsket relativ luftfuktighet med 5-10%.
- Mildere vindhastighet minskes med 20-50%.
- Trakteeffekten i begrenset gater gir vesentlig vinkjøling.
- På baksiden av hindringer kan det oppstå sterk turbulens.
- Tåkes egenskaper slik som skymengde, skydekkefrekvens og hyppigheten øker, og mengde av nedbør i området stiger med 5-10 % i forhold til landskapet omkring (Gjerstad, Hanssen, Skarstein & Thue, 1997).

Vitenskapelige tilnærminger til studiet av byens klima går tilbake til det nittende århundre. Etter andre verdenskrig, og inn i miljø ære av 1960-tallet og 1970-tallet og utover, var det en eksponentiell økning i urbane klimatiske undersøkelser. Undersøkelser har samtidig blitt mindre beskrivende, mer orientert mot kvantitative og teoretisk modellering, og mer integrerende og tverrfaglig.

I dag forskning på by klimaer (urban klimatologi) regnes som en distinkt sub-disiplin av klimatologi. Dette feltet dekker ulike fag, for eksempel varmestøy, energiøkonomisering, solstråling, luftstrømmer, og luftkvalitet. Disse fagene er knyttet til ulike egenskaper ved et urbant miljø, f.eks. gategeometri, design av bygninger og valg av materialer for bygninger og utemiljø.

Urban morfologi som «kunnskap om urban form», beskriver byen som «den mest komplekse av menneskelig oppfinnelse i skjæringspunktet mellom natur og artefakt». Bygninger, hager, gater, parker og fjell er de viktigste elementene i morfologisk analyse (Li & Makvandi).

### 2.1.5 Klimatiske endringer i Nord – Norge

Jordens klima har endret seg gjennom historien. Klimaforskere er enige om at økende nivåer av karbondioksid og andre varmfangende gasser i atmosfæren har varmet jorden og forårsaker vidtrekkende konsekvenser, blant annet stigende havnivå; smeltende snø og is; mer ekstrem varme hendelser, branner og tørke; og mer ekstreme stormer, regn og flom.

Klimaendringene er raskere og mer alvorlig i Arktis enn i resten av verden. Klimasystemet og -utviklingen i Arktis spiller en viktig rolle for jorden som helhet fordi klimaet i Arktis er nær knyttet til flere fysiske prosesser som har sentral betydning for det globale klimaet. (Njåsad & Øseth, 2011) Arktis er vanligvis bestemt av bredde linje som brytes rundt om i verden på 66,5 ° Nord.



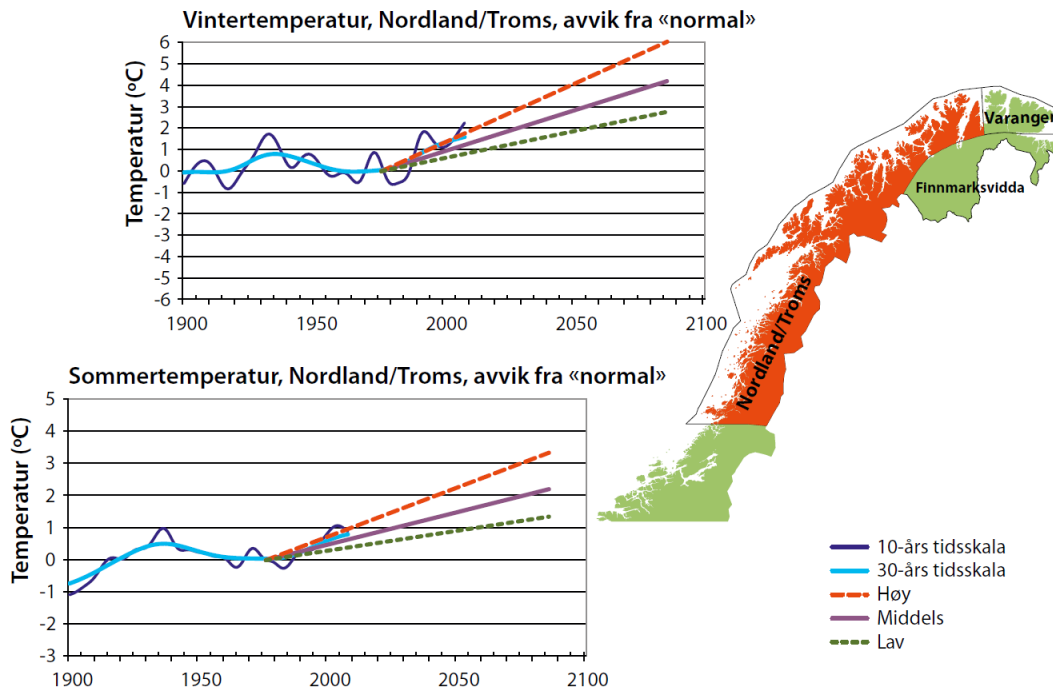


Figur 3. Kart over Norsk Arktis (NorACIA) (Øseth, 2010).

De norske arktiske områdene er definert for NorACIA (Norwegian Arctic Climate Impact Assessment) og omfatter Nord-Norge, Svalbard og havområdene utenfor.

I praksis fikk alle kommunene pålegg fra 1. januar 2010 om Risiko- og sårbarhetsanalyser. Da er de ansvarlig for at risiko og sårbarhet blir evaluert for infrastruktur og bebyggelse som har potensielt naturfare både i forhold til framtidens og dagens klima (Klimatilpasningssekretariatet, 2012). Derfor bør kommunene ta hensyn til klimaendringer og lokale kunnskap.

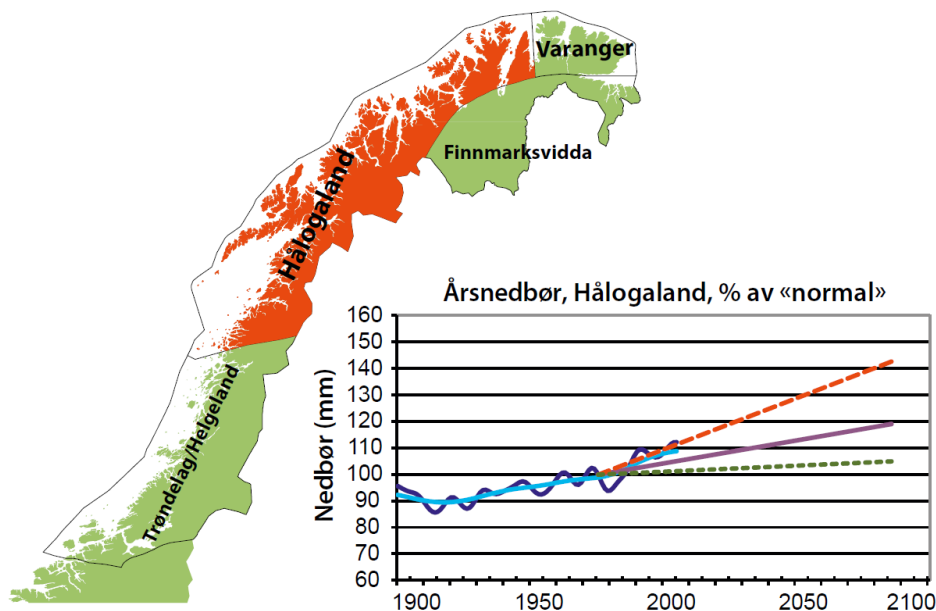
I henhold til rapport (Øseth, 2010) har gjennomsnittlig temperatur økt med ca. 0,1°C per tiår de siste 100 årene i Nord-Norge. Det forventes endring av gjennomsnittlig temperatur på 2°C i tilfellet med middels framskrivning til 2100. Trend for utvikling av gjennomsnittlig temperatur er vist i figur 4.



Figur 4. Observert historisk og beregnet fremtidig utvikling av vinter og sommer for Nord Norge. Høy (oransje) og lav (grønn) framskrivning er stiplet, mens middels framskrivning er heltrukken linje (Øseth, 2010).

Gjennomsnittlige årsnedbør i Nord-Norge har økt med ca. 2% per tiår de siste 100 årene og det forventes endring på 20% fra normal mengde til 2100.

Den økte nedbørsmengden er en utfordring for vann- og avløpssystemene, som får behov i utvidelse av kapasiteten hvis dagens situasjon endres ikke drastisk. Trend for utvikling av årsnedbør er vist i figur 5.



Figur 5. Fremtidig utvikling av årsnedbør for Hålogaland. Framskrivningene er vist som beregnet gjennomsnittlig trend. Høy (oransje) og lav (grønn) framskrivning er stiplet, mens middels framskrivning er heltrukken linje (Øseth, 2010).

## 2.2 Vind

### 2.2.1 Drivkraft

Vindsystemet får sin kraft fra to kilder - solen og jordens rotasjon. Hvor jordoverflaten varmes opp av solstråler, stiger luftmassene i luften og danner lavtrykk. Der de avkjølte luftmassene synker ned dannes det høytrykk. Vind blåser ved jordoverflaten fra områder med høytrykk mot områder med lavtrykk (Bjerg, 2012). Vinden beveger seg konstant fra høytrykksområder til lavtrykksområder, drevet av trykkforskjellen. På veien blir vinden av en annen kraft som kalles Coriolis kraft. Denne kraften påvirker alt som beveger seg på vår roterende jord - inkludert alle luftbevegelser (Cappelen, 2013).

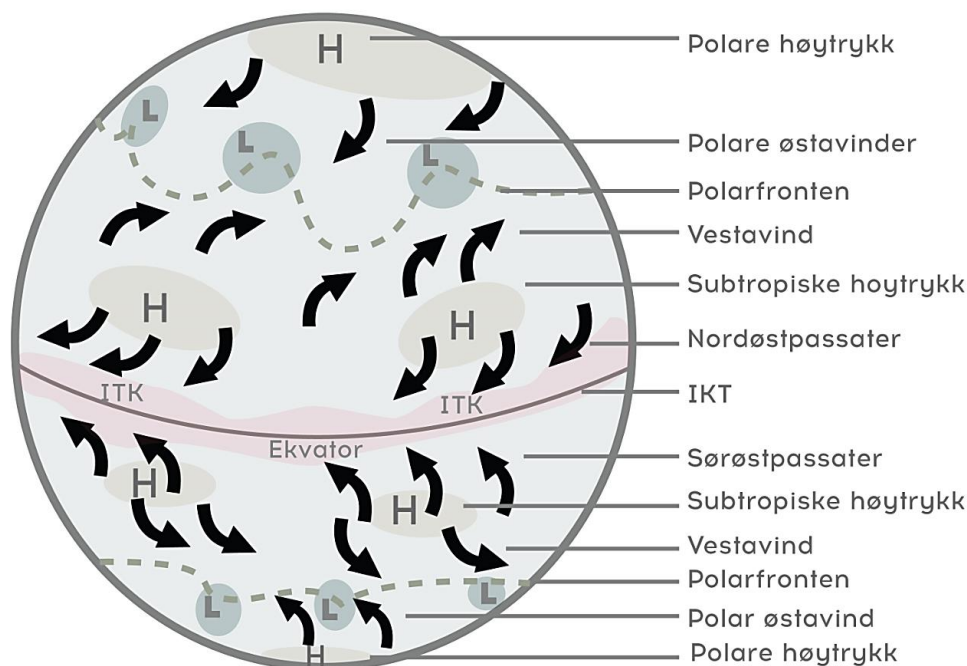
Corioliseffekten gjør at luft beveger seg i spiraler på grunn av rotasjon. På den nordlige halvkulen er vinden avbøyd mot høyre. Vindene strømmer med klokka rundt høytrykk, og mot klokka rundt lavtrykk. På de sørlige halvkulene er motsatt bevegelse, og har avbøying mot venstre (Oliver, 2005).

### 2.2.2 De globale sirkulasjonene

Den store temperaturforskjellen på jordens overflate er mellom polene og ekvator, som skyldes variasjonen i solinnstrålingens intensitet på grunn av jordens kuleformet. Dette skaper en rekke klimabelter med meget forskjellige vindforhold.

I de to beltene rundt ekvator dannes den sterke oppvarmingen av luftmassene og sirkulerende luftstrømmen, som ved jordoverflaten gir en jevn strømmende vind i retning mot ekvator, de såkalte passatvinder. I polarområdene rundt de to poler ligger de avkjølte, tunge luftmassene nesten stille.

I vestlige belter, hvor den kalde polarluften og den varme tropiske luften møtes i hyppige frontdannelser, er aggressive vinder og skiftende vindretninger karakteristiske det meste av året.



Figur 6. Skjematisk atmosfærens sirkulasjon (basert på Cappelen, 2013).

På grunn av jordens endrende stilling i forhold til solinnstrålingen gjennom årene endres vindforholdene fra sommer til vinter i de enkelte klimabeltene. Også variasjoner mellom land- og havområder påvirker de enkelte klimabelters geometri og omfang og således også mønstret i det globale vindsystemet (Bjerg, 2012).

Norge ligger i vestavindsbeltet (30-60 breddegrader) med stor nedbørsmengde og overveiende vinder som karakteristiske hovedtrekk. Klimaet i gjeldende beltet er sterkt påvirket av lavtrykkene, luftmassene, og frontnedbøren langs polarfronten. Harstads beliggenhet på den nordlige halvkule med lengdegrad og breddegrad henholdsvis: 68°48'N 16°32'Ø. Således plasseres byen på nordside av polarfront hvor avkjølt tropeluft fortsetter å strømme videre mot nord. Disse luftmassene synker ned mot jordoverflaten rundt Nordpolen og danner en sone med stabilt høytrykk.

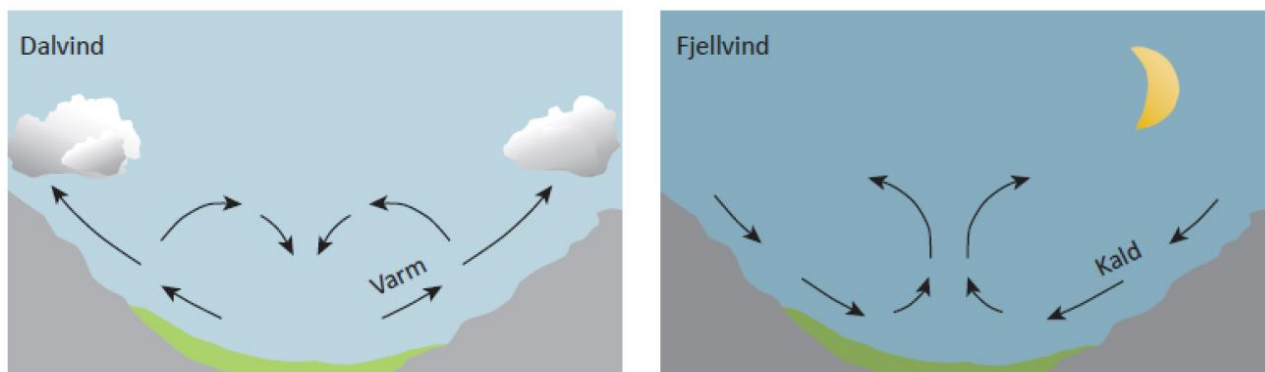
### 2.2.3 De lokale og regionale sirkulasjonene

Lokale og regionale vinder vil, som de globale vindene, være et resultat av termiske variasjoner på jordoverflaten men de varierer også med tid på døgnet eller årstider.

#### Land- og fjellvind

Der det er store fjellområder kan temperaturforskjellen mellom fjelltopper og daler skape vinder, som kan påvirke vindmiljøet radikalt (Bjerg, 2012). Når bakker og den nærliggende luften oppvarmes, blir tettheten i luften lavere og den stiger mot toppen langs overflaten ved skråningen. Dette er dalvinden. Om natten endres vindretningen og det strømmer fjellvind nedover daler og dalsider. Hvis dalbunnen er skrånet, kan luft flytte ned eller opp i dalen (Bussel, 2008).

Ligger området i skygge, vil ikke dalvinden klare å fjerne disse kaldluftbassengene. Kaldluftbassengene vil hele tiden ha et kaldere og råere klima enn områdene i nærheten, og er derfor dårlig egnet for bebyggelse (SINTEF Byggforsk, 2005).



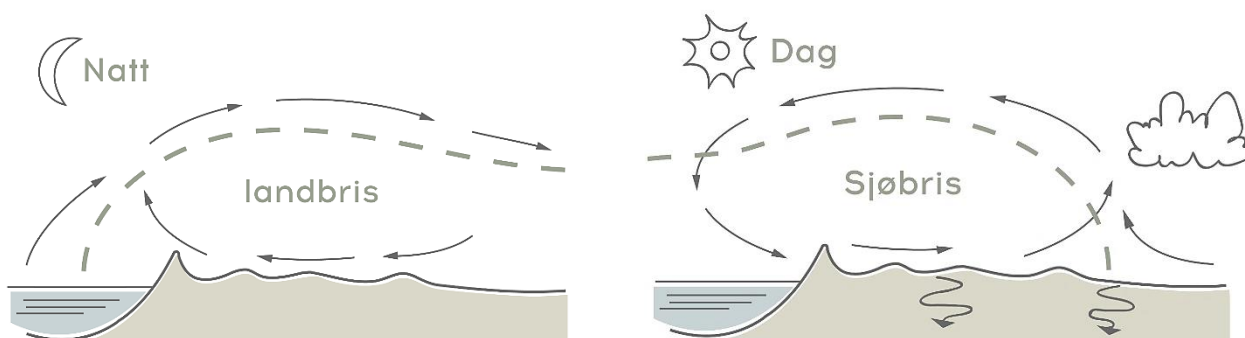
Figur 7. Lokale vindsystem i fjelltrakter (Størkersen, 2016).

Fjell kan også fungere som barrierer for vind, de vil bryte opp vinden slik at den endre retning og hastighet. Slike oppbrytninger kan føre til at luftstrømmene beveger seg som bølger og gi nedbør i form av snø og regn (Myrhaug & Pettersen, 2011).

### Havbrisen

Landmassene blir raskere oppvarmet av solen enn havet på dagtid. Når landmassene og luften varmes, blir luften lettere og stiger oppover. Luften strømmer ut i sjøen og skaper et lavt trykk på bakkenivå som tiltrekker seg den kalde luft fra sjøen. Dette kalles en havbris. Ved solnedgang er det ofte en periode med ro når land- og havtemperaturer er like. Om natten blåser vinden i motsatt retning. Landbrisen om natten har generelt lavere hastighet, fordi temperaturforskjellen mellom land og sjø er mindre enn på dagtid (Bussel, 2008).

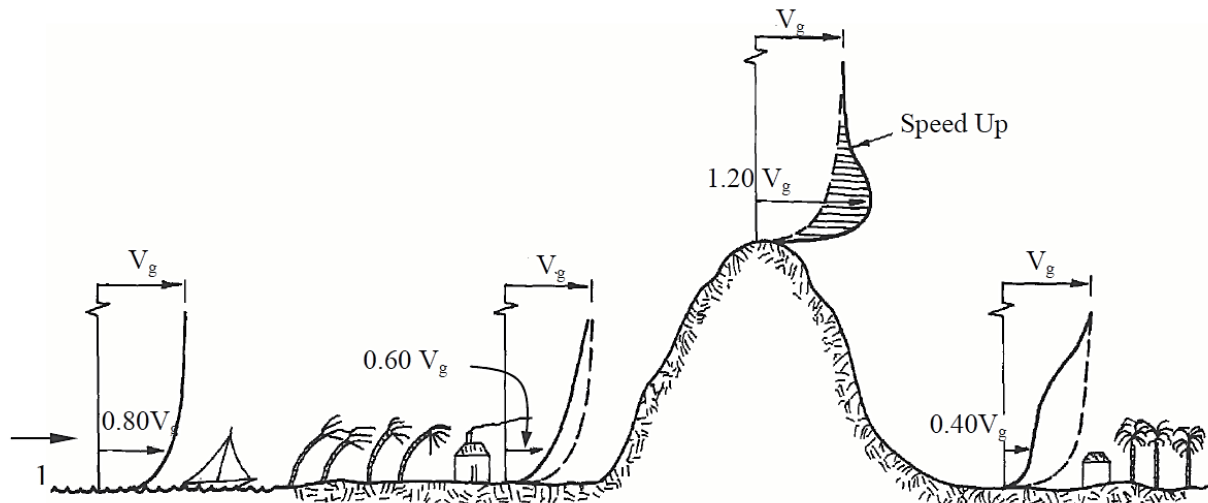
I Norge er havbrisen ved våre kyster den mest karakteristiske lokale vinden, og er hovedårsaken til at kystområder er mer forblåste enn innlandet (Bjerg, 2012).



Figur 8. Lokale vindsystem ved kysten (basert på Børve, 1992).

## 2.2.4 Vindhastighetsprofil

Vindhastighet ved bakken varierer med terreng ruhet, dvs. bygninger, trær, topografi og hastigheten øker med høyden på grunn av reduksjon av friksjonsmotstanden som vist i figur 9.



Figur 9. Påvirkning av topografi på vindhastighetsprofilen (Bhandari, Krishna & Kumar, 2006)

I overflatelaget kan vindhastighetsprofilen illustreres med forskjellige modeller (Bundy, Chen & Hoff, 1998). Logaritmisk Lov er den mest vanlige matematiske modellen for beregning av variasjoner av den horisontale vindhastigheten med høyde som en funksjon av terreng parametere:

$$u_z = \frac{u_*}{k} \ln \frac{z}{z_0}$$

Hvor:

$u_z$  – vindhastighet som funksjon av høyden [m/s]

$u_*$  – friksjonshastigheten [ $\text{ms}^{-1}$ ]

$k=0,41$  – von Karmans konstant

$z$  – høyde fra bakkenivå [m]

$z_0$  – overflateruhet [m]

Friksjonshastigheten er en skala parameter definert som:

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$$

Hvor:

$\tau$  - vindstress på bakkenivå [ $\text{Nm}^{-2}$ ]

$\rho$  - lufttetthet [ $\text{kgm}^{-3}$ ]

Vanligvis måler meteorologene vinden i 10 m høyde over bakken i uskjermet, fritt terreng. De observasjoner av vindhastighet er middelerverdier for perioder på 10 minutter (Gjerstad, Hanssen, Skarstein & Thue).



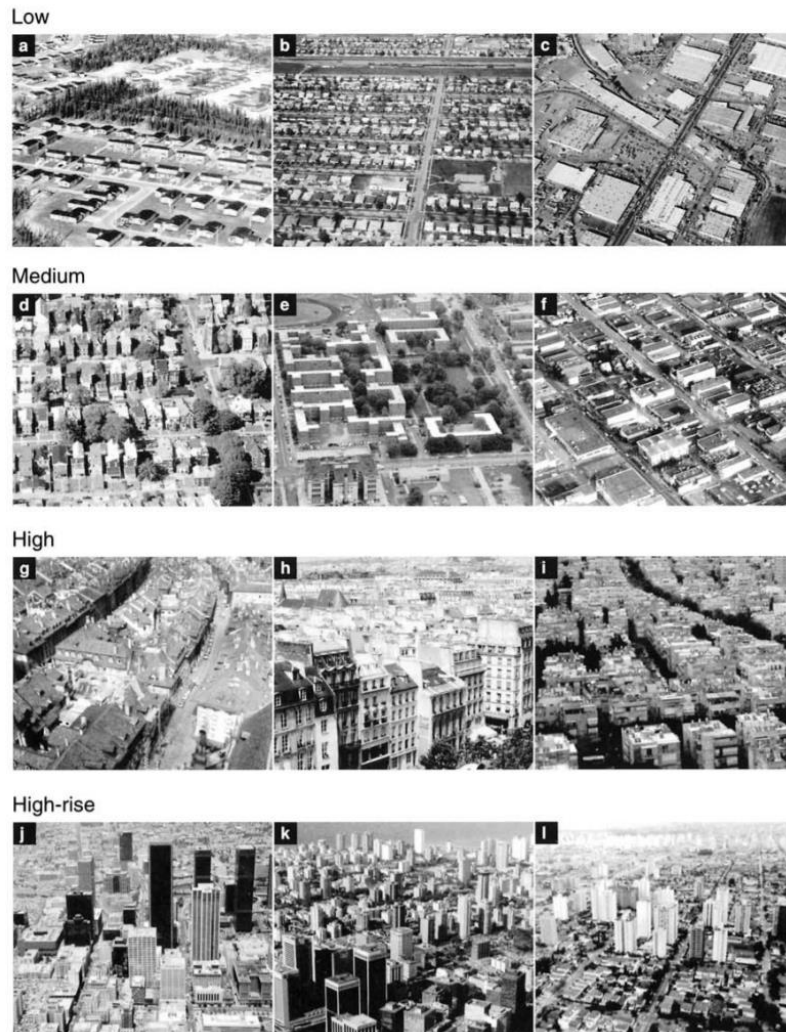
Begrepet overflateruhet betegner aerodynamisk grovheten på en overflate; en parameter som påvirker den nedgående transport av horisontal fart fra luftstrømmen til en overflate (ASABE Standard,2004).

Gjennomsnittlig overflateruhet kan karakteriseres ved hjelp av klassifisering som basert på felt studier og inngår i tabell 1.

Nr.	$z_0$ (m)	Beskrivelse av landskap
1	0,0002 «Hav»	Åpent hav eller innsjø, (tar ikke hensyn til størrelse på bølger) snødekte flate sletter, strukturløs ørken, asfalt og betong som er helt flat i flere kilometer.
2	0,005 «Glatt»	Strukturløs landoverflate uten noen hindringer, og med ubetydelig vegetasjon som strender. Isbreer uten store rygger, hengemyr og snødekt åpent landskap.
3	0,03 «Åpent»	Flatt landskap med lav vegetasjon (som gress) og hindringer som står minst 50 ganger av hindringens høyde fra hverandre. Beitelandskap (for dyr), lyng, myr, tundra og rullebaner til flyplasser.
4	0,1 «Grovt åpent»	Dyrket land med jevnlig vindskygger av avlinger, eller moderat åpent landskap med sprette hindringer (lave hekker, trær som står på rekke, isolerte gårder) som er plassert med en relativ horisontal avstand på 20 ganger av hindringens høyde.
5	0,25 «Grovt»	Nydannet (ungt) landskap med høye avlinger, eller avlinger av forskjellig høyde og sprette hindringer (vingårder) med en relativ avstand på 15 ganger av hindringens høyde.
6	0,5 «Veldig grovt»	«Gammelt» dyrket landskap med relativt store hindringer (store gårder, mindre skogsområder) som er separert med omtrent 10 ganger av hindringens høyde. Det gjelder også lav vegetasjon med små mellomrom mellom som ung tettplantet skog, frukthager og buskas.
7	1 «Lukket»	Landskap som er totalt og ganske regelmessig dekket av hindringer med samme høyde, med åpne områder i samme størrelse som hindringene rundt. F.eks. moden skog, homogene byer og landsbyer.
8	$\geq 2$ «Kaotisk»	Sentrum av store byer med en blanding av store og små bygninger, og store inhomogene skoger med mange lysninger.

Tabell 1. Klassifisering av overflateruhet (Wieringa, 1992)

Disse verdier benyttes for å beskrive overflateruhet for homogene områder, men det kan være vanskelig å klassifisere heterogene urbane overflater. Derfor ble klassifisering utvidet av Grimmond & Oke med fire urbane overflatetyper avhengig av høyde og tetthet av byen som vist i figur 10. I samsvar med dette studiet skal sentrum av Harstad anses som medium form av urban overflate med bebyggelse mindre enn seks etasjer og blandende virksomhet. Dermed ligger overflateruhet av sentrum i intervall 0,7-1,5 m.



Figur 10. Fotografier av den fysiske naturen og urban morfometri som representerer eksempler av urbane ruhetskategorier (Grimmond & Oke, 1998)

### 2.2.5 Beauforts skala for vindstyrke

Rundt 1805 ble det lagt av Beaufort en skala fra 0 til 12. Han baserte skalaen på hvilke tilstander en seiler kunne føre skip i hans tid. Skalaen er i bruk den dag i dag (Myrhaug & Pettersen, 2011).

Nedenfor følger Beaufort skala som uttrykker vindstyrke og viser effekter fra forskjellige vindhastigheter til sjøs og på land.

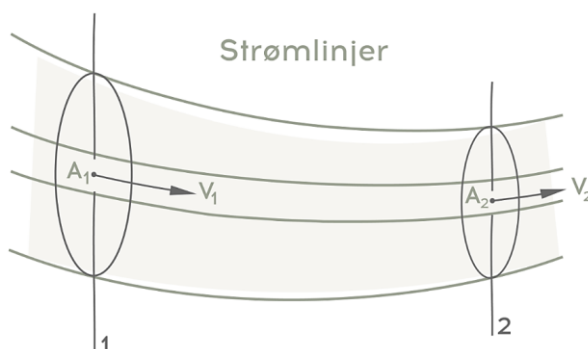
Vindstyrke i Beaufort	Betegnelse	Beauforts skala for vindstyrke		Vindhastighet og bølgehøyde	
		Virkning på land	Virkning til sjøs	m/s	m
0	Stille	Røyken stiger rett opp	Sjøen er speilblank	0 - 0,2	0
1	Flau vind	Vindretningen ses av røykens drift	Krusninger danner seg på havflaten	0,3 - 1,5	0
2	Svak vind	Følbar, rører på trærnes blader	Små, korte, men tydelige bølger med glatte kammer som ikke brekker	1,6 - 3,3	0,1
3	Lett bris	Løv rører seg, lette flagg strekkes	Småbølgene begynner å toppe seg. Det dannes skum som ser ut som glass	3,4 - 5,4	0,1-0,5
4	Laber bris	Løfter støv og løse papirer. Rører på kvister, strekker større flagg	Bølgene blir lengre, med en del skumskavler	5,5 - 7,9	0,5-1,25
5	Frisk bris	Småtrær med løv begynner å svaie	Middelstore bølger som har en mer utpreget langstrakt form og med mange skumskavler. Sjøsprøyt fra toppene kan forekomme	8,0 - 10,7	1,25-2,5
6	Liten kuling	Store grener og mindre stammer rører seg. Vanskelig å bruke paraply. Merker motstand når man går	Store bølger begynner å danne seg. Skumskavlene er større over alt. Gerne noe sjøsprøyt	10,8 - 13,8	2,5 - 4
7	Stiv kuling	Hele trær rører seg, vanskelig å gå mot vinden	Sjøen hoper seg opp, hvitt skum fra bølgetopper som brekker begynner å blåse i vindretningen	13,9 - 17,1	4 - 6
8	Sterk kuling	Brekker kvister av trærne, tungt å gå mot vinden	Middels høye bølger av større lengde. Bølgekammene er ved å bryes opp til sjørøkk, som driver i tydelig markerte strimer med vinden	17,2 - 20,7	
9	Liten storm	Hele, store trær svaier og hiver, takstein kan blåse ned	Høye bølger. Tette skumstimer driver i vindretningen. Sjøen begynner å "rulle". Sjørøkket kan minske synsvidden	20,8 - 24,4	
10	Full storm	Sjelden inne i landet. Trær rykkes opp med rot, stor skade på hus	Meget høye bølger med lange overhengende kammer. Skummet som dannes i store flak driver med vinden i tette hvite strimer så sjøen får et hvitaktig utseende. "Rullingen" blir tung. Synsvidden nedsettes.	24,5 - 28,4	6 - 9
11	Sterk storm	Meget sjelden, følges av store ødeleggelser	Ualminnelig høye bølger. Små og middelstore skip kan for en tid forsvinne i bølgedalene. Sjøen er fullstendig dekket av lange, hvite skumflak. Overalt blåser bølgekammene til fradelignende skum. Sjørøkket nedsetter synsvidden	28,5 - 32,6	9 - 14
12	Orkan	Forekommer meget sjelden, uvanlig store ødeleggelser	Luften er fylt av skum og sjørøkk som nedsetter synsvidden betydelig. Sjøen er fullstendig hvit av drivende skum	32,7 - 36,9	>14

Tabell 2. Beauforts skala for vindstyrke (Myrhaug &amp; Pettersen, 2011).

## 2.3 Strømningslære

### 2.3.1 Strømlinjer og klassifisering av strøm

Ved beskrivelse av væskestrøm skal vi bruke et såkalt idealfluid. Hvordan fluidet strømmer er avhengig av stoffets egenskaper. Luftbevegelse uten indre friksjonskrefter kalles ikke-viskøst. Når vi skal se for oss væskepartiklene i bevegelse, så tegner man linje for å illustrere bevegelsene. Således kan luftbevegelse uttrykkes med strømlinjer. De defineres som linjer parallelt med retningen av luftbevegelse og vist i figur 11.



Figur 11. Strømlinjer i luftbevegelse (basert på Børge, 1987).

Hvis vi ser nærmere på strømlinjene ser vi at der linjene er tettere sammen har vesken høyere fart, og lavere fart der de er lengre fra hverandre. Hvis farten på en veske som strømmer gjennom et rør er konstant på ethvert punkt i røret, (men er ulik på alle punkter) kaller man det for at strømmen er stasjonær. Laminær strøm er en ofte brukt betegnelse på stasjonær strøm. I en stasjonær strøm vil aldri de ulike strømlinjene krysse hverandre.

Hvis en væskemengde i et rør er konstant over en lengre periode, og farten i et punkt ikke er konstant, får man det som kalles en turbulent strømning. Denne turbulensen kommer når strømningsfarter er høy eller at strømningen passerer skarpe legemer (Grimenes, Jerstad & Sletbar, 2011).

### 2.3.2 Reynolds tall

Overgangen mellom laminær og turbulent strøm foregår ved kritisk hastighet. Men siden endel av ligninger er forskjellige ettersom strømningen er laminær eller turbulent, benyttes metode for å atskille matematisk mellom to typer av strømning. Reynold beskrev en dimensjonsløs parameter, som kalles Reynolds tall og defineres som:

$$Re = \frac{UH}{\nu}$$

Hvor H er en karakteristisk lengde, for eksempel høyde på bygningen, U er gjennomsnittshastigheten over strømningstverrsnittet. Den kinematiske viskositeten,  $\nu$ , er tabellparameter, som angir sammenhengen mellom dynamisk viskositeten og fluidtettheten (Olsen, 2015).

Reynold oppdaget at det oppstår laminær strømning for  $Re < 2000$  og turbulent strømning for  $Re > 2500$  (Holm & Steen 2013).

I området mellom 2000 og 2500 har vi overgangsområdet hvor begge strømningstyper kan forekomme. Laminær strømning opptrer oftest i fysiske modeller med veldig små dimensjoner og lave hastigheter (Olsen, 2015).

### 2.3.3 Kontinuitetsligning

Figur 11 viser at luftmengde strømmer inn gjennom areal A1 og strømmer ut gjennom A2 med hastighet V1 og V2 henholdsvis. For Luftstrøm uten forgreininger må like mye luft passere ethvert tverrsnitt av strømmen per tid. Denne bevaringsloven kalles kontinuitetslikningen. Således øker hastigheten sammenpressete strømlinjer og separasjon av strømning føler til reduksjon av hastigheten.

### 2.3.4 Laminær Luftbevegelse – Bernoullis ligning

Bernoullis ligningen bestemmer fordelingen av trykk langs en strømlinje og uttrykker trykkrefter, kinetisk energi og potensiell energi per masseenhet. I følge av den blir det i ideell strømning en konstant mengde av energi:

$$p + \frac{1}{2}\rho\vartheta^2 + \rho gz = k \text{ (konstant)}$$

Hvor:

$p$  – trykket [Pa]

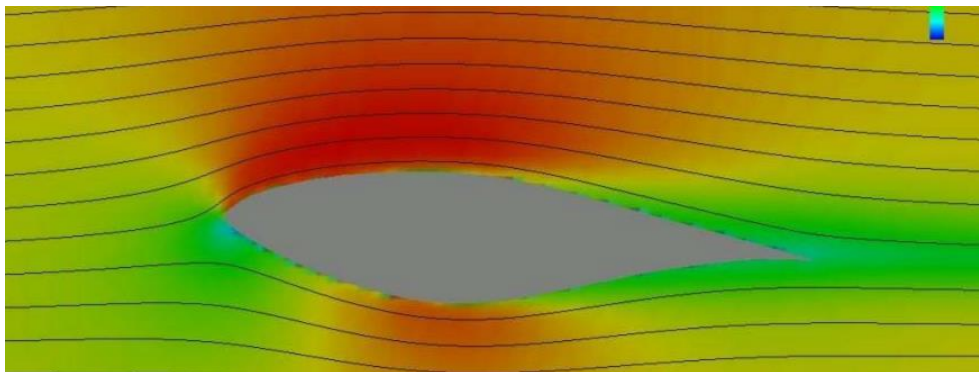
$\rho$  – tettheten [ kg/m<sup>3</sup>]

$\vartheta$  – vindhastigheten i bevegelsesretning [m/s]

$z$  – høyde over et referansenivå [m]

$g = 9,81$  [N/m] – gravitasjonskonstanten.

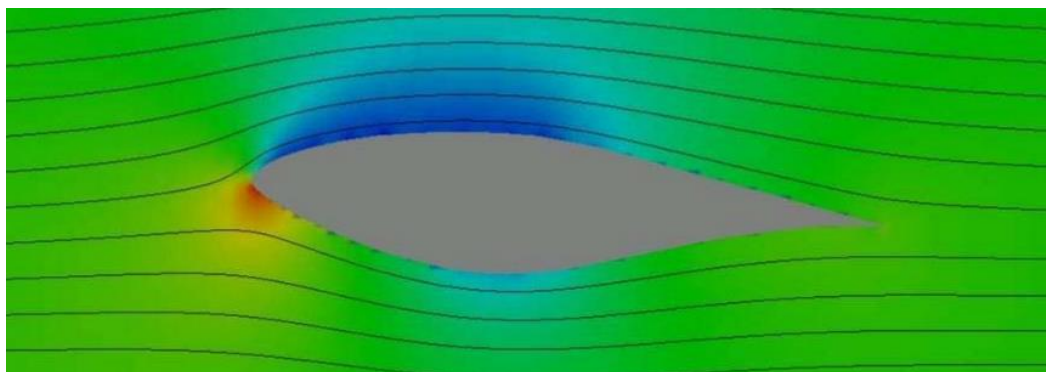
Bernoullis ligning medfører at med økt hastighet i strømning med konstant energi reduseres trykk og motsatt, ved økning av trykk hastighet reduseres. Eksempelvis kan vi se denne effekten rundt et vindturbinblad. Utformingen på vindturbinbladet er slik at luften som passerer det har en lengre vei over bladet enn under bladet. Dette fører til at luften får større fart over bladet enn under (Grimenes, Jerstad & Sletbar, 2011). Dette kan vi se på figur nedenfor:



Figur 12. Hastighetsfordeling av luftstrømning rundt et vindturbinblad. Blå farge betegner felter med lave hastigheter og rød farge motsatt med høye (Sundsbo, 2016).

I følge Bernoulli ligning blir trykket på undersiden høyere enn på oversiden (Grimenes, Jerstad & Sletbar, 2011). Dette er illustrert i figur 13.

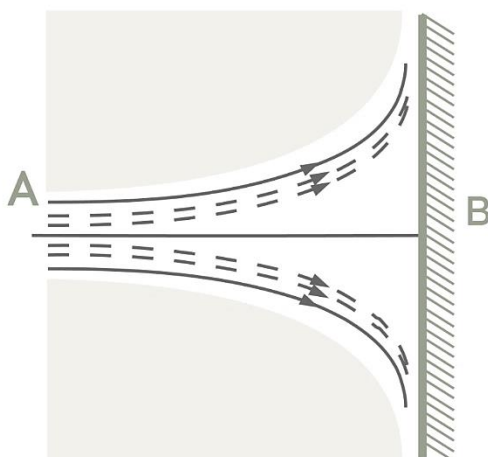




Figur 13. Trykkfordeling av luftstrømning rundt et vindturbinblad. Blå sone betegner lavtrykk og rød sone er høyt trykk (Sundsbo, 2016a).

### 2.3.5 Stagnasjonspunkt

Når parallelle strømlinjer treffer en overflate spres de til sidene. I delingspunktet (stagnasjonspunktet) blir kinetisk energi omgjort til trykkenergi og hastigheten lik null. Dette mønster er vist i figur 14 og vi treffer dette videre ved beskrivelse av strøm mot bygningsvegg.

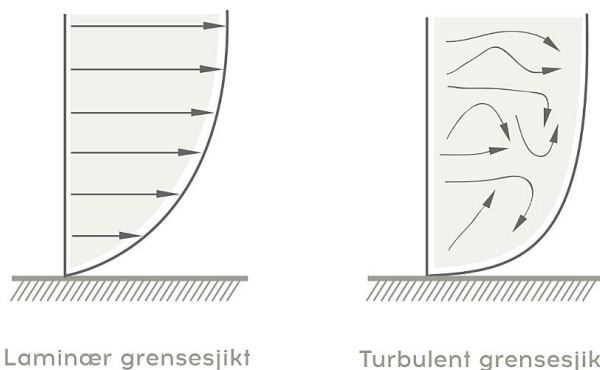


Figur 14. Spredning av strømlinjer mot en flate (basert på Børge, 1987).

### 2.3.6 Grensesjikt og separasjon

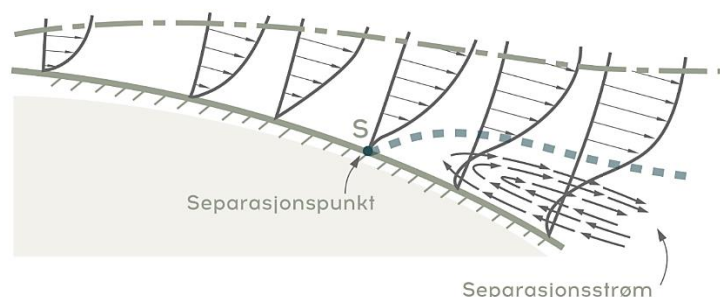
Grensesjiktet definert som den delen av luften hvor hastigheten i luftpartiklene modifiseres av den strukturen luften treffer eller glir langs (Børge, 1987).

I grensesjiktet er hastigheten på overflaten lik null. Hastigheten stiger gradvis til den er lik fristrømhastigheten, men dette er avhengig av om det er turbulent eller laminær strømning i grensesjiktet. Tykkelsen til grensesjikt er per definisjon er lag fra overflaten til der hastigheten i grensesjiktet er 99 % av fristrømhastigheten. Grensesjiktet kan deles opp i to kategorier, avhengig av hvordan strømmingen på luften er. Man kan se på figur 15 at det laminære grensesjiktet har en jevnere overgang mellom hastighetene enn den turbulente. Når fristrømhastigheten er større i det turbulente enn i det laminære (Krog, Lehar & Snelvedt, 2009).



Figur 15. Forskjellen på et turbulent og laminært grensesjikt.

I grensesjiktet langs buet overflate som er del av en luftbevegelse vil hastighet av luftstrømmen øke til separasjonspunktet S som vist i figur 16. I dette punktet bryter strømmen ut fra overflaten og danner separasjonsstrømmen langs tangential retning og virvelstrøm.

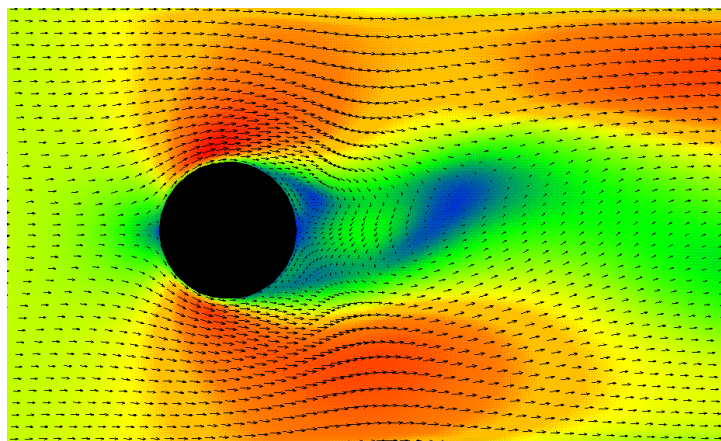


Figur 16. Separasjonspunkt i grenseskilt (basert på Børge, 1987).

I utgangspunktet inntreffes separasjon av luftstrømmen mellom grensen mot uforstyrret luft og overflaten av gjenstand når vinkelen i fallet på overflaten er større enn 8 grader.

### 2.3.7 Strømning rundt sylinder

Høstighetsfordelingen for turbulent strømning rundt en sylinder fremgår av figur 17. Der vises en stagnasjonssone foran sylindere, og økt hastighet på siden av sylindere (Olsen, 2015).



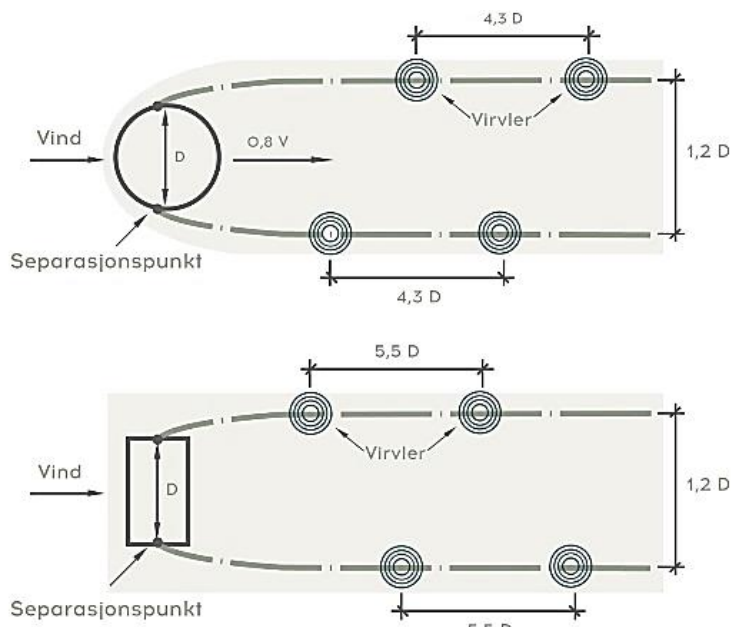
Figur 17. Hastighetsfeltet for turbulent strømning rundt sylinder. Rødt betegner arealer med høy hastighet og blått med lav hastighet (Olsen, 2015).

På baksiden av sylindren oppstår det en separasjonssone. Denne sonen er veldig ustabil, og gir en hvirvelavløsning som svinger fra side til side. Dette gjør at svingekreften kan oppstå i sylindren. Med tanke på konstruksjoner er luftstrømningen rundt broer og høye bygninger er dette problematisk (Olsen, 2015).

### 2.3.8 Virveldannelse

På lesiden av en sylinder, skarpe hjørner og flate plater hvor luftstrømmen separeres dannes turbulente virvler som samles i virvelfeltet eller Karman's virvelgate. Virvlingen i et punkt i hastighetsfeltet uttrykker rotasjonen av det fluidelementet som er i dette punktet (Gjevik, 2009).

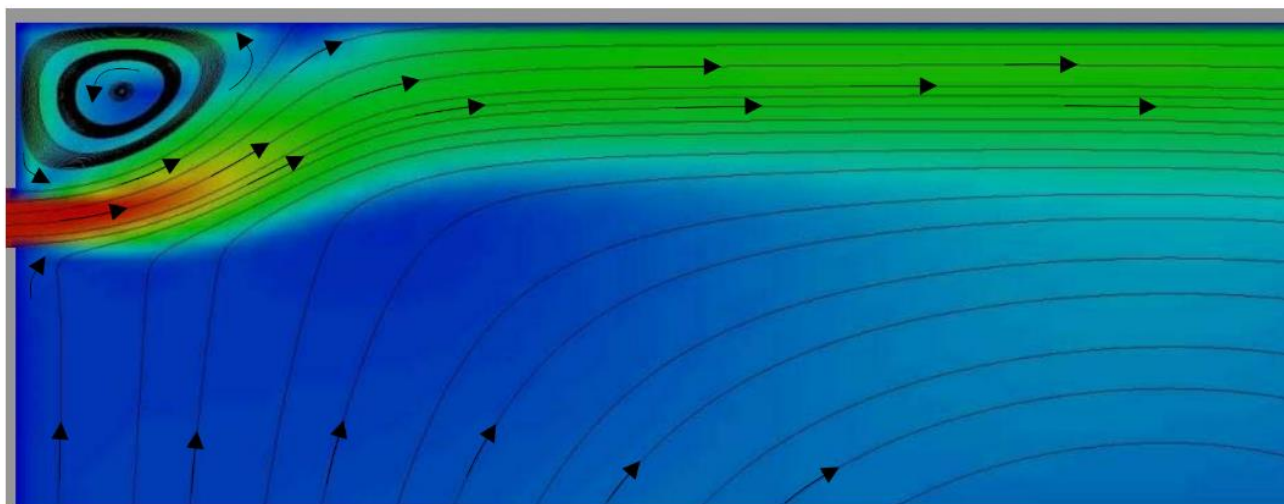
Figuren viser prinsippet av Karman's virvelfenomen og frekvensen av dannelsen av individuelle virvler omkring en sylinder eller en rektangulær bygning.



Figur 18. Karman's virvelfenomen (basert på Børge, 1987).

### 2.3.9 Coanda effekten

Coanda effekten blir truffet videre i forbindelse med luftstrøm nær bygningsoverflater. Den forteller oss at luftstrømmen bøyer den opprinnelige strømningsretningen, trekkes til nærliggende flate og følger den. Figur nedenfor fra numerisk simulering viser coanda effekten i rom hvor luftstrøm tiltrekkes til takflaten.



Figur 19. Coanda effekten i hastighetsfelt (Sundsbø, 2016).

## 2.4 Vindmiljø

### 2.4.1 Vindmiljø i terreng

Vindens bevegelsesmønster og hastighet over landskapet påvirkes av terrengets form. I en flate landskap vil vindens retning og hastighet bare påvirkes av eventuell vegetasjon og våtmarker. I kupert landskap kan vindens retning og hastighet endres betydelig ved treff med terrengets former (Bjerg, 2012).

I det kupert landskapet vil vindhastighet påvirkes av terrenget danner følgende prinsipper:

- Over bakketoppene komprimeres luftmasser sammen, og dermed vindhastigheten økes. I daler utvides luftmasser, slik at vindhastigheten dempes.
- I sammenhengende daler kan det oppstå vindkorridorer som forsterker vindhastigheten. Egene lokalvindsystemer i dalaksene drar kald luft ned langs dalbunnen, og varm luft oppover langs dalen (Børve, 1992).
- Terrengets helningsgrad vil påvirke mønsteret av vindens strømming. Ved møte med bratte skråninger ( $\geq 30^\circ$ ) tvinges vind oppover og påvirke vindprofilen høyt over bakken.



Figur 20. Vindstrømming i forskjellige terrengform (basert på Bjerg, 2012).

### 2.4.2 Vindmiljø omkring bygninger

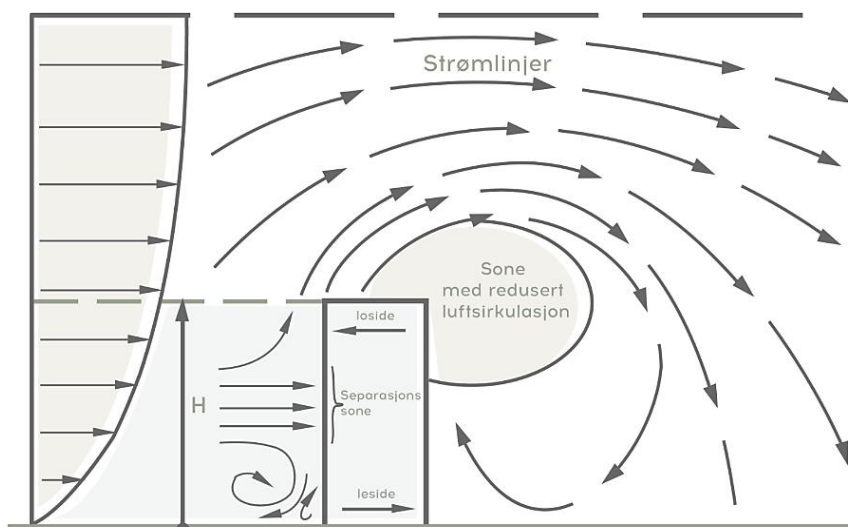
Samspillet av vind med bygning er resultatet av komplekse lokale luftbevegelser som i vesentlig grad påvirker fotgjengere, selve bygningen og uteareal.

Egenskapene av strømmen som bygningene er berørt av er avhengig en rekke meteorologiske og bygningsparametere. De meteorologiske parametere omfatter vindretning, turbulens og fordeling av gjennomsnittlig vindhastighet. Disse egenskaper av grensesjiktet er avhengig av den vertikale fordelingen av temperatur, overflateruhet, omgivelsen og topografiske egenskaper. Disse bygningsparametere kan fordeles i to grupper. Primære bygningsparametere - de geometriske parametere som beskriver bygningens form. Disse kan danne et stort bygningsvolum eller vurderes som enkeltbygg av rektangulær form. Sekundære bygningsparametere er definert av arkitektoniske detaljer som rekkverk og byggetekniske detaljer (Cermak & Jack, 2006).

Figur 21 viser hvordan vindstrømmen sprer seg ut fra stagnasjonssone til sidene og vertikalt på lesiden av enkeltbygg og hvordan dannes virvler i vindprofilens retning. Som følge av Bernoullis ligning vil høytrykksluften bevege seg mot et område med lavere trykk som vanligvis er ved bygningens fot.

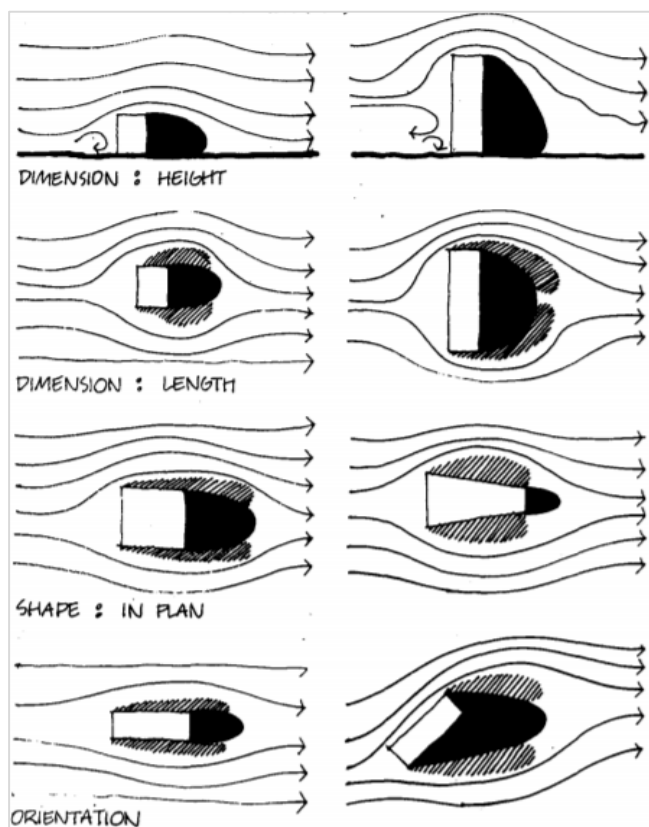
Slik dannes nedslagsvinden som presses mot bakkenivå i høy hastighet på losiden av bygning. Den nedslagsvinden skiller seg fra vindutsatte side av bygningen før den når bakkenivå, og beveger seg opp mot vinden for å danne en virvel som kan generere sterke vinder ved bakkenivå. Når høyden på bygningen øker, øker også hastigheten på vinden som presses nedover. Hvis det finnes lavere bygninger i oppstrømsretningen kan denne effekten forsterkes. Fotgjengere vil oppleve dette som overraskende vindkast som oppstår selv

om det bare er vind klassifisert som lett bris. Økt turbulensintensitet betyr i praksis at vinden får mer preg av kastevind (ASHRAE, 2001).



Figur 21. Strømningsmønster rundt rektangulær bygning (basert på ASHRAE, 2001).

Ved bygningens hjørner vil det på losiden dannes betydelige hjørneturbulenser. Ved avrunding av hjørner kan disse reduseres, men samtidig reduseres vindens skygge (sone med redusert luftsirkulasjon) (Bjerg, 2012).



Bygningsparametere har følgende sammenheng med sone med redusert luftsirkulasjon bak enkeltbygg:

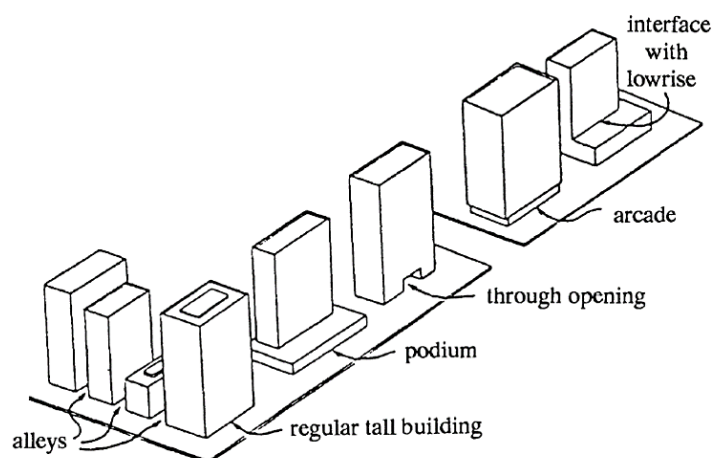
- Dimensjoner (høyde, bredde, lengde);
- Jo høyere og bredere bygningen, jo større kastes vindens skygge. Vindens skygge bak en rektangulær bygning er ca. fire ganger størrelsen til bygningens høyde.
- Form (i plan og profil);
- En bygning av pyramide form har en tendens til å skape mindre vindskygge og mindre virkning av hjørneturbulenser enn en bygning med rektangulær form (Spirn, 1986).
- Orientering (i forhold til vindretning);

Bygninger som står vinkelrett mot vinden får full påkjenning av vinden på lesiden. Bygninger som står plassert 45 ° mot vinden vil vindhastigheten reduseres med 50% (Børge, 1987).

Figur 22. Påvirkning av bygnings parametere på sone med redusert luftsirkulasjon (Spirn, 1986).



Det er ikke bare dimensjon og form av bygninger samt orientering og plassering i terreng medfører til endringer av vindforhold på fotgjengersnivå. Utforming av konstruksjon og design - løsning av bygninger vil være en vesentlig faktor. I urbane formasjoner løsninger blir mer avansert men de tar utgangspunkt i følgende typer:



Figur 23. Typer av bygninger som finnes i byen (Cermak, Devenport, Plate & Viegas, 2013).

Det ble gjennomført vind-komfort studie for en kanadisk by i provinsen Ontario (MISSISSAUGA, 2014). Dette arbeidet ble benyttet for å bedømme vindeffekter på fotgjengernivå som følge av forskjellige byggetekniske løsninger.



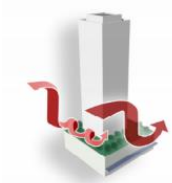
Når vinden treffer fasaden, dannes det nedslagsvind som medfører ubehagelige vind opplevelser på fotgjengers nivå. Høye og brede bygningsfasader som møter den gjeldende vinden er generelt uønsket.



Når bygning utformet som tårn med podium vil det føre til reduksjon av nedgående vindstrømmen på fotgjengers nivå.



Når lesiden av en lav bygning står mot lesiden av en høy bygning fører det til en økning i den nedgående strømming av vind på lo siden av den høye bygningen. Således akselereres akselerert vind på fotgjenger nivå i plass mellom de to bygningene.



Når bygning utformet som takutstikk/baldakin på lesiden kan det forbedre vindforhold på gangnivå. Ved bruk av avgrensende vegg kan baldakin ha mer effektiv funksjon.



	<p>Når takket av nedre bygningskropp utformet som grønntak med beplantning kan det føre til behaglig reduksjon av vindforhold på fotgjengers nivå.</p>
	<p>Når nedre del av bygningsstruktur utformet som søylegang med tak beskytter den fotgjengere mot nedslagsvinden.</p>

Tabell 3. Vindstrøm avhengig av byggetekniske løsninger (basert på MISSISSAUGA, 2014).

### 2.4.3 Vindmiljø i byrom.

I vindforskningen er det identifisert en rekke eksempler på byromsformer, som kan medføre ubehagelige vind opplevelser med turbulens og økt vindhastighet. Problemet er mest forekommende i bebyggelse i 3-5 etasjer eller høyere, men kan også inntreffe i lavere bebyggelser. Disse bygningsformer har lagt navn til følgende vindmiljøeffekter:

- Barriereeffekt

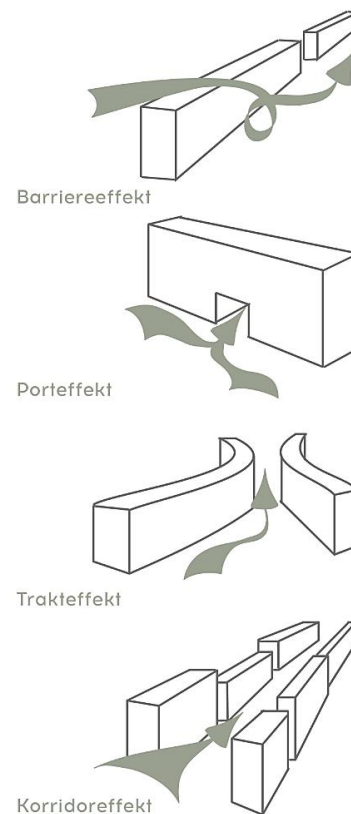
Barriereeffekten kan oppstå ved en bygning, hvor høyden er relativt beskjedne i forhold til lengden. Påvirkning av denne effekten er størst på omgivelsen ved vindretninger diagonalt på bygningens lengderetning.

- Port- og trakteeffekten

Trakteeffekten er et fenomen ved portåpninger og ved smale passasjer mellom to bygninger, hvor vinden skal passere. Vindhastigheten økes ved sammenpressingen og er størst, hvor passasjen er smaltest (Bjerg, 2012).

- Korridoreffekt

Korridoreffekten kan oppleves i et langt gaterom uten hindringer for vindens strømming. Vinden er merkbar når bredden er mindre enn to strukturhøyder. Minste hushøyde for å oppnå effekten er 6 meter. Der hvor gaten er lengre enn 100-125 meter kan vinden øke mye (Børge, 1987).



Figur 24. Byromsformer med ubehagelige vindopplevelser (basert på Bjerg, 2012).

## 2.4.4 Vindmiljø i bebyggelser

I samlede bebyggelser påvirkes vindmiljøet etter samme grunnprinsipper som ved frittliggende bygninger, men kompleksiteten i turbulensdannelse med antallet av bygninger og påvirkes ytterligere av hus former, bygningshøyder, bebyggelsesmønstre og avstanden mellom bygninger.

I homogene bebyggelser med begrenset avstand mellom bygningene kan oppstå skjermet "teppeeffekt", som løfter vinden på tvers av bygninger og reduserer turbulensen mellom de enkelte bygninger. Omkringliggende rekke- eller kjede hus med åpne arealer og skjermet planting kan øke denne effekten.



Figur 25. Teppeeffekt i homogene bebyggelser (basert på Bjerg, 2012).

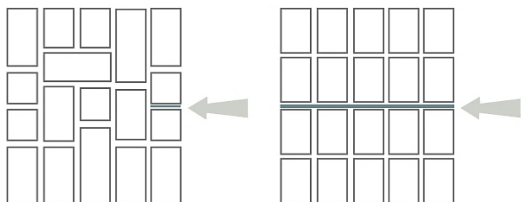
Blokkbebyggelse har hovedsakelig åpen karakter og store bygningsplater som fører med seg et meget turbulent vindmiljø på omgivelse. Beplantning er generelt nødvendig for at skape et akseptabelt vindmiljø mellom blokkene. Spesielt ved hushjørner og i passasjer mellom to blokker kan oppleves økt vindhastighet og ubehagelig turbulens. Dette ble oppsummert først av W. Alberts som beskrev vindstrømmer i kvartalsstruktur med forskjellig dimensjoner i bredde og høyde. Han konkluderte også med at en massiv bygningsenhet fører til sterkere vindpåkjenning i tilstøtende gater enn godt proporsjonert kvartalsbygning (Børge, 1987).



Figur 26. Blokkbebyggelse (basert på Bjerg, 2012).

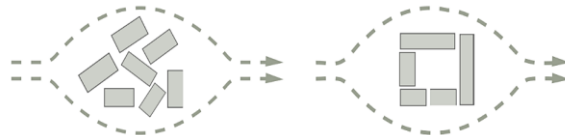
I tillegg er det viktig å legge merke til følgende to prinsipper ved organisering av byens struktur:

Ved planlegging av gatestruktur skaper de rette gater vindtunneler:



Figur 27. Gatestruktur (basert på Asplan Viak, 2010).

Ved plassering av bygningene i klyngen ledes vinden rundt



Figur 28. Klyngestruktur (basert på Asplan Viak, 2010).

## 2.5 Vind komfort.

Urbant mikroklima gir store konsekvenser for fotgjengers komfort og bygningers energiytelser. Komfort har fått økt oppmerksomhet de siste årene som en viktig kvalitet for det offentlige rom, i erkjennelse av at mikroklima bidrar til livskvalitet i byer. Det skilles mellom de mekaniske og termiske virkninger av vind.

### 2.5.1 Mekaniske effekten av vind

Mekaniske effekten av vind på mennesker rangeres fra følelsen av en lett bris på huden til å bli blåst over av en sterk storm. Lawson og Penwarden har gitt en utvidet "Land Beaufort Scala" (tabell 4) som viser vindpåvirkninger på mennesker. Alle vinhastighetsverdier er målt ved fotgjenger høyde ( $h=1,75$  m) over åpent terreng med en aerodynamisk ruhet lengde  $z_0$  på 0,03 m. Alle verdiene ble målt over perioder på 10 minutter eller en time. Beaufort-skalaen er mer nyttig for å bestemme vindpåvirkninger på mennesker enn hastighetene målt over bakkens nivå. Eksempelvis føler man vindstyrke på kroppen med vindhastighet fra 5,6 m/s i personshøyde.

Nr.	Betegnelse	Vindstyrke	Kjennetegn
0	Stille	0,0-0,1	Ingen merkbar vind
1	Flau vind	0,2-1,0	Ingen merkbar vind
2	Svak vind	1,1-2,3	Føler vind på ansiktet
3	Lett bris	2,4-3,8	Hår blir forstyrret, klær beveger seg, avisen er vanskelig å lese
4	Laber bris	3,9-5,5	Kaster støv og løst papir, hår i uorden
5	Frisk bris	5,6-7,5	Kraften av vinden føles på kroppen, fare for å snuble når man går inn i en vindsone
6	Sterk bris	7,6-9,7	Vanskelig å bruke paraply, håret blåses rett ut, man har vanskeligheter med å gå, vind fra siden er ca. lik kraften man bruker på å gå fremover, vindlyden er ubehagelig
7	Stiv kulling	9,8-12,0	Føler ubehag når man går
8	Storm	12,1-14,5	Hindrer generelt vanlig gange, vanskeligheter med å holde balansen
9	Sterk storm	14,6-17,1	Mennesker blåses over ende

Tabell 4. Utvidet Land Beaufort - skalaen (Blocken & Carmeliet, 2003).

Vind kan påvirke folks aktiviteter ved å påvirke folks balanse ved økning av den energien som er nødvendig for å gå. Vindkraften på en menneskelig kropp er gitt ved:

$$F = 0,5 \rho U^2 C_D A_p$$

Hvor:

$A_p$  – prosjektert areal vinkelrett til vinden [ $m^2$ ]

$C_D$  – drag koeffisient

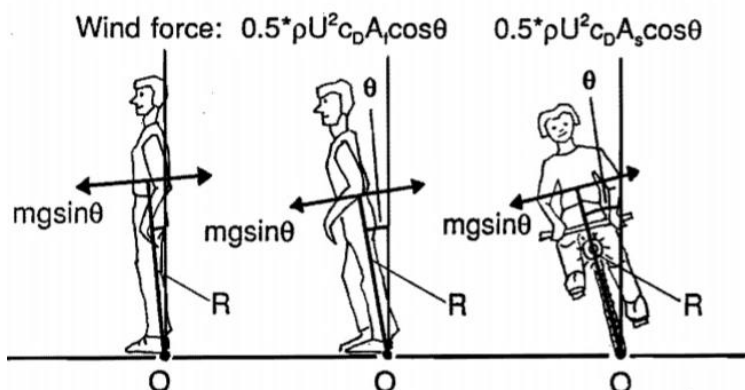
$U$  – vindhastighet på fotgjenger nivå [ $m/s$ ]

En typisk verdi av  $C_D$  er 1,15 og  $A_p$  er omtrent 1,85  $m^2$ , forutsatt at  $m = 70$  kg og  $h = 1,75$  m.

Likevektsvinkelen med forutsatt et konstant drag koeffisient er gitt av:

$$\theta = \arctan\left(\frac{0,5\rho U^2 C_D A_p}{mg}\right)$$

Denne ligningen er gyldig for fotgjengere og syklister. I en sterk vind, må man lene seg fremover og sideveis for å holde balansen (figur 29). For fotgjengere er potensielt ustabil likevektsvinkelen er lik 8° ved vindhastighet 15 m/s.



Figur 29. Vind- og gravitasjonskrefter på mennesker som står rett, lener seg mot vind og en syklist lent inn vinden (Bottema, 1993).

Således kan vindforholdene i nærheten av hjørner være farlig på grunn av plutselige endringer i vindhastigheten og vindretningen. En plutselig økning av vindhastigheten til 15 m/s eller mer kan være tilstrekkelig til å bringe folk ut av balanse (Bottema, 1993).

## 2.5.2 Komfort- og sikkerhetskriterier

Bottema har skrevet om ukomfortabelt vindmiljø for fotgjengere er følgende: «Fotgjengers ubehag oppstår når vindeffekter blitt så sterk og forekommer så ofte at folk opplever disse vindeffekter og vil begynne å føle seg irritert, og til slutt vil handle for å unngå disse effektene» (Bottema, 1993).

For at kunne evaluere vindforholdene i et område oppstiller M. Bottema overskridelseskriterier, der er et uttrykk for komforten eller sikkerheten for bevegelser i dette området.

Kriteriene konkluderes til:

Komfort kriterium for fotgjengere:  $U + \sigma_u > 6 \text{ m/s}$ ,  $P_{\max} = 15\%$

Sikkerhetskriterium:  $U + 3\sigma_u > 20 \text{ m/s}$ ,  $P_{\max} = 0,18\%$

Hvor  $U$  [m/s] er den midlere lufthastighet,  $\sigma_u$  [m/s] er standardavviket for lufthastighet (turbulens) og  $P_{\max}$  er maksimal sannsynlig overskridelse (Bottema, 1993).

Konseptet er at både sikkerhet og komfort er kontrollert av den mildere hastigheten og turbulens Det er betegnende at turbulensen spiller en større rolle når evalueres sikkerhet i forhold til komfort. Menneskekroppen kan ikke tilpasse seg raske retningsendringer når du prøver å holde balansen.

Det eksisterer flere kriterier som vurderer komfort og sikkerhet ved vindeffekter. Den mest fleksible og omfattende studie om komfortkriterier utført av T.V. Lawson. Disse kriteriene er utviklet ved Universitetet i Bristol, England over en 30 års periode og blitt brukt mye i Storbritannia og rundt verden. I urban planlegging av byrom bidrar de til å bestemme fotgjengerkomfort for aktuelle aktiviteter basert på lokale vindhastigheter.

Områdetype	Uakseptabelt	Akseptabelt
Veier og parkeringsplasser	6 % > 10,5 m/s	2 % > 10,5 m/s
Fotgjengere til og fra arbeid	2 % > 10,5 m/s	2 % > 8,0 m/s
Fotgjengerområder	4 % > 8,0 m/s	6 % > 5,5 m/s
Fotgjengerområder for stående	6 % > 5,5 m/s	6 % > 3,5 m/s
Inngangspartier for bygninger	6 % > 5,5 m/s	4 % > 3,5 m/s
Uteareal for sittegrupper	1 % > 5,5 m/s	4 % > 3,5 m/s

Tabell 5. Tabell som viser Lawsons vindkomfortkriterier (basert på Frederiksen, 2013).

Lawsons kriterier viser andel av tiden i prosenter over en viss vindstyrke som betraktes som «akseptabel» for en gitt aktivitet eller oppholdsrom. For eksempel, er vindstyrke som er mer enn 3,5 m/s inntil 4% av tiden akseptabelt for utearealer for sittegrupper, mens for fotgjengerområder for stående grupper er vindhastigheten over 3,5 m/s anses som akseptabelt inntil 6% av tiden.

For å vurdere vind-sikkerhet ofte benyttes følgende kriterier:

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

Tabell 6. Vind-sikkerhetskriterier for utearealer (Sundsbo, 2016c).

I følge av disse kriterier vil overskridelse av vindhastighet på fotgjengernivå av 15/20 m/s i løpet av 0,1% av tiden medføre til fare for barn og eldre/ gjennomsnittlige personer. Hvor 0,1% av året relateres til 8,5 timer (Sundsbo, 2016c).

De kriterier som legges til grunn i analyse av vindeffekter i sentrum av Harstad beskrevet i kapittel 3.3.3.

### 2.5.3 Termisk miljø

Definisjonen menneskelig termisk komfort karakteriseres ved både subjektive (betingelse av tankene) og objektive (termisk miljø) elementer. De objektive elementene kan bestemmes ved å måle miljøparametere som lufttemperatur og strømningshastigheten. Men de subjektive elementene er mer komplekse. Mennesker kan oppleve de samme termiske forholdene annerledes på grunn av forskjeller i deres fysiske, psykologiske, fysiologiske og kulturell tilstand (Ebrahimabadi, 2015).

Kroppen mister varme hovedsakelig på tre måter:

- Ved stråling til omgivende flatene.
- Ved konveksjon til omgivende luft.
- Ved fordamping av vann fra huden og luftveiene (Parsons, 2003).

Imidlertid må det bare to betingelser være oppfylt for å opprettholde termisk komfort: produsert varme bør være lik avgitt varme og hudtemperatur bør gi følelse av termisk nøytralitet (SINTEF Byggforsk, 1999).

Ligningen for komfortabel hudtemperatur og svetteproduksjonen kan kombineres med ligningen for kroppens energibalanse til å uttrykke komfortligningen. Denne ligningen beskriver sammenhengen mellom de målbare fysiske parametere og termisk nøytral følelsen som oppleves av gjennomsnittsperson:

$$M - W = H + E_c + C_{res} + E_{res}$$

Hvor:

M – Varmeproduksjonen i kroppen avhengig av aktivitetsnivået

W – Effektivt mekanisk arbeid

H – Tørt varmetap fra kroppen ved konveksjon, stråling og ledning.

$E_c$  – Varmetap ved fordamping av fuktighet fra huden

$C_{res}$  – Tørt varmetap ved åndedrett

$E_{res}$  – Varmetap ved fordamping av fuktighet i åndedrett

Ligningen viser den grunnleggende basis for varmebalanse, det vil si, varmeproduksjonen bør være lik for varmetap. Når kroppen ikke er i termisk balanse, vil dens temperatur endres, noe som fører til termisk ubehag og fysiologiske responser som motvirker den ubalansen, for eksempel endringer i blodstrømmer under huden og svetting (Ebrahimabadi, 2015).

Med komfortligningen kan man beregne hvilke kombinasjoner av aktivitets- og bekledningsnivå ved stabile termiske faktorer gir komfortable tilstander.

Stoff-skifteprosessen er det som gjør at menneskekroppen produserer energi. Stoffskiftet betyr at næringsstoffer som proteiner, karbohydrater og fett forbrennes sammen med oksygenet. Omsetningen av energi er styrt av den fysiske aktiviteten og mengden av muskelaktivitet (SINTEF Byggforsk, 1999). Ved økende aktivitetsnivå øker varmeproduksjonen som inngår i tabell 7.

Aktivitet	Varmeproduksjon	
	W/m <sup>2</sup>	met
Liggende hvile	46	0,8
Sittende, avslappet	58	1,0
Stillesittende aktiviteter (kontor, bolig, skole)	70	1,2
Stående, lett aktivitet (butikk, lett industri)	93	1,6
Stående, middels aktivitet (industri)	116	2,0
Gående i ulike hastigheter:		
2 km/t	110	
3 km/t	140	
4 km/t	165	

Tabell 7. Varmeproduksjon ved forskjellige aktiviteter (SINTEFF Byggforsk, 1999).

Tradisjonelt er metabolisme målt i Met (1Met = 58,15 W/m kroppsoverflate). En normal voksen har et overflateareal på 1,7 m<sup>2</sup> og en person i termisk komfort med et aktivitetsnivå på 1 Met

vil dermed ha et varmetap på 100W.

Bekledning gir et skjermende og isolerende luftlag som reduserer kroppens varmetap. Dette foregår på grunn av bekledningens isolerende effekt, som gjør luftlaget ved huden varmere. Derfor er klær klassifisert i henhold til sin isolasjonsverdi (tabell 8).



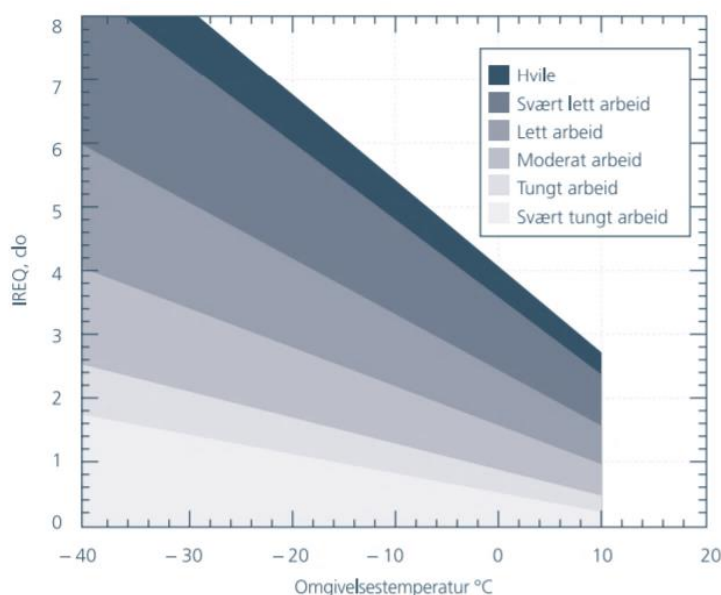
Bekledning	Isolasjon	
	m <sup>2</sup> K/W	clo
Naken	0	0
Shorts	0,016	0,1
Tropetøy (lette sokker, truse, shorts, åpen skjorte med korte ermer, sandaler)	0,047	0,3
Lett sommerbekledning (lette sokker, truse, lette benklær, langermet skjorte, lette sko)	0,08	0,5
Typisk arbeidsbekledning (sokker, lett undertøy, benklær, langermet skjorte, sko)	0,11	0,7
Normal innendørs vinterbekledning (kraftige sokker, truser, undertrøye, benklær, langermet skjorte og genser, sko)	0,16	1,0
Kraftig innendørs vinterbekledning (kraftige sokker, undertøy med lange ermer og ben, langermet skjorte og genser, kraftig jakke og bukse, sko)	0,23	1,5

Tabell 8. Varmemotstand i ulike beklædning (basert på SINTEF Byggforsk, 1999).

Enheten som normalt brukes for å måle klær isolasjonen er Clo enhet (1 Clo = 0.155 m<sup>2</sup> °C/W). En Clo opprettholder den termiske isolasjonen som er nødvendig for å holde en stillesittende person komfortabel ved 21 ° C (Parsons, 2003).

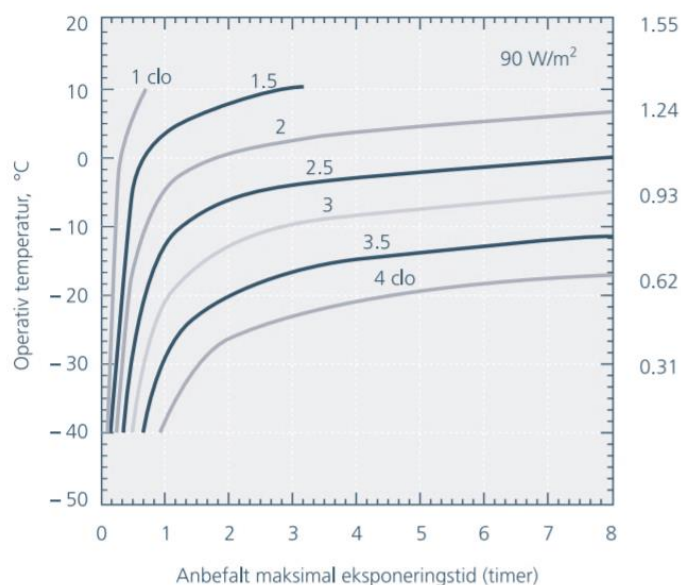
Termisk komfort eller termisk nøytralitet kan oppnås selv ved riktig kombinasjon av beklædning og fysisk aktivitet og bevares selv ved ganske lave temperaturer. Muligheten for fordampning av svette reduseres hvis beklædningsisolasjon øker. Det forårsaker dannelse av kondensasjon og absorpsjon som fører til fukt inne i klærne. Klærnes isolasjons evne minsker, og kroppen varmemotstand ødelegges. Ubalansert klesisolasjon er en grunn for varmeunderskudd i kroppen (Stellman, 1998).

Når aktivitetsnivået og de klimatiske betingelsene er kjent, vil det være mulig å beregne termisk isolasjon ved å bruke IREQ. IREQ er analytisk kuldeindeks for den resulterende termiske isolasjonsevnen til beklædningen eller nødvendig varmemotstand i klær med andre ord (Nordik innovation, 2010). Sammenheng mellom IREQ, omgivelsestemperatur og type av aktivitet som kontrollerer metabolismenivå fremgår i figur 30.



Figur 30. Nødvendig resulterende isolasjon (IREQ) av beklædning som skal opprettholde normal varmemotstand ved forskjellige aktivitetsnivå i stille luft (Nordik innovation, 2010).

I praksis er det vanskelig å finne isolasjonsverdi til bekledning større enn ca 4 clo. Men det kan oppstå situasjoner når beregnet isolasjonsevne er stor og ikke tilgjengelig. I disse tilfeller må eksponeringstid hindre nedkjøling av kroppen. For anbefalt maksimal eksponeringstid er gitt betegnelsen DLE (Duration Limit Exposure). Ved beregning av DLE er det antatt at kroppen er termisk nøytral ved middelhudstemperatur på 33 °C. Figur 31 viser DLE som funksjon av Operativ temperatur og IREQ. Eksempelvis finner vi fra figur at ved lett aktivitet (90W/m<sup>2</sup>), normal innendørs vinterbekledning (1clo) og operativ temperatur 10 ° C blir anbefalt maksimal eksponeringstid lik 40 min.



Figur 31. Anbefalt maksimal eksponeringstid (DLE) for å opprettholde kroppens varmebalanse ved lett aktivitet (90W/m<sup>2</sup>) i stille luft og for 7 ulike bekledninger med varierende isolasjonsverdi (Nordik innovation, 2010).

## 2.5.4 Vindkjøling

Høy vindhastighet kan gi en uønsket kjøling av kroppen. Effekten av både vind og temperatur danner effektiv temperatur. Vindkjølingstabell (tabell 9) viser kombinasjoner av vindhastighet opp til 20m/s og lufttemperatur fra 10°C til -45°C.

For eksempel ble sterkest vind i Harstad fra årsstatistikk (tabell 11) målt på 14,7 m/s. Sammen med gjennomsnittlig temperatur av denne måned på -2,8 °C oppgjør det effektiv temperatur lik ca. -22 °C, dvs. at kjøleeffekten på hud av kombinasjon av vind og temperatur vil oppleves på 19 °C.

VIND m/s	LUFTTEMPERATUR, °C												
	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	
stille	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	
2	9	4	-1	-6	-11	-16	-21	-26	-31	-37	-42	-47	
4	5	-1	-7	-13	-18	-24	-30	-37	-43	-49	-55	-61	
6	3	-4	-10	-17	-24	-30	-37	-43	-50	-56	-63	-69	
8	1	-6	-13	-20	-27	-34	-41	-48	-55	-62	-69	-76	
10	0	-8	-15	-22	-30	-37	-44	-52	-59	-66	-73	-81	
12	-2	-9	-17	-24	-32	-39	-47	-54	-62	-69	-77	-84	
14	-2	-10	-18	-26	-33	-41	-49	-56	-64	-72	-79	-87	
16	-3	-11	-19	-27	-34	-42	-50	-58	-65	-73	-81	-89	
18	-3	-11	-19	-27	-35	-43	-51	-59	-67	-75	-83	-90	
20	-4	-12	-20	-28	-36	-44	-52	-60	-68	-76	-84	-91	

Tabell 9. Kjøleeffekt av vind som en tilsvarende kjøletemperatur under nesten stille tilstands (Nordik innovation, 2010).

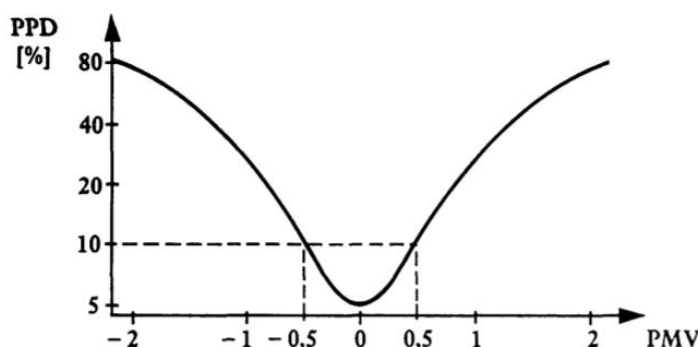
### 2.5.5 Vurdering av termisk klima

Siden 1967 har ulike indekser blitt innført for å vise tilstanden til menneskelig komfort for innemiljø (Navvab & Varodompun, 2006) En del av de mest kjente og aksepterte indekser er den forventede middelvoteringen (PMV- Predicted Mean Vote) og den forventede andel misfornøyde (PPD - Predicted Percentage of Dissatisfied) De ble innført av Fanger basert på modell av varmembalanse.

PMV skala er en syv-punkter termisk-følelsen skala fra -3 (kaldt) til +3 (varmt), hvor 0 representerer den termiske nøytrale følelsen. Selv om PMV-indeksen er 0, vil det fortsatt være noen personer som er misfornøyd med temperaturnivået, uavhengig av det faktum at de er alle kledd på samme måte og har samme aktivitetsnivå. Komfort evaluering avviker litt fra person til person (SINTEF Byggforsk, 1999).

For å forutsi hvor stor prosent av en gruppe med et gitt aktivitetsnivå og en gitt bekledning som er misfornøyd i et gitt termisk miljø ble PPD-indeksen innført. I PPD-indeksen folk som stemmer -3, -2, 2, 3 på den PMV skalaen anses som termisk misfornøyd.

På figur 32 er vist sammenhengen mellom de to indekser. Det fremgår av figuren, at man kan ikke forvente færre end 5% termisk misfornøyde i en gruppe mennesker med samme aktivitet og bekledning.



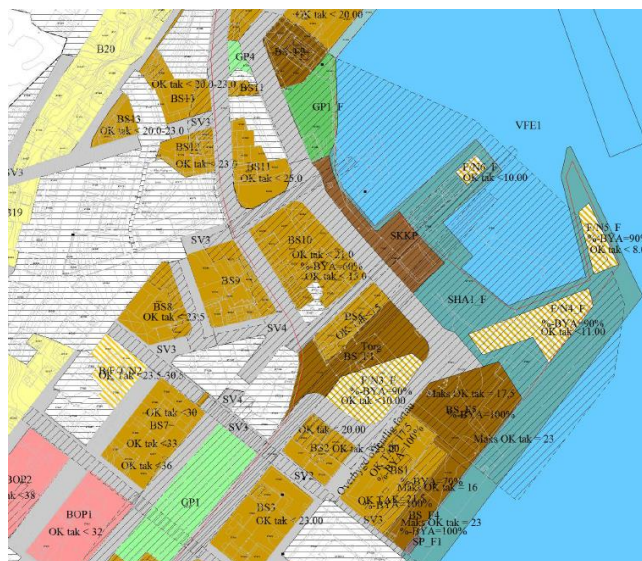
Figur 32. Sammenheng mellom PMV og PPD indekserne (Madsen, 1988).

PMV-modell er fleksible og gir mulighet til å reflektere de lokale variasjonene og deres klimaendring. Mange forskere viser kombinasjon av CFD-modellering og psykometriske diagram med PMV indeks for å undersøke vurdering av termisk komfort (Navvab & Varodompun, 2006).

## 3 Materialer og metode

### 3.1 Kommunedelplan for Harstad sentrum

Den vedtatte sentrumsplanen fokusert bl.a. på byutvikling, utvikling av havn, klima - og samfunnssikkerhet, universell utforming og samferdsel. Hovedfokuset for planarbeidet er å prøve å skape et sentrum som folk i Harstad trives med å oppholde seg i. Forvaltning og utbyggingen av sentrum skal til sammen skape en imøtekommende atmosfære. Plankart til kommunedelplanen er vedlagt til masteroppgave. Sone 3 er definert som sentrum og fremgår av figur nedenfor.

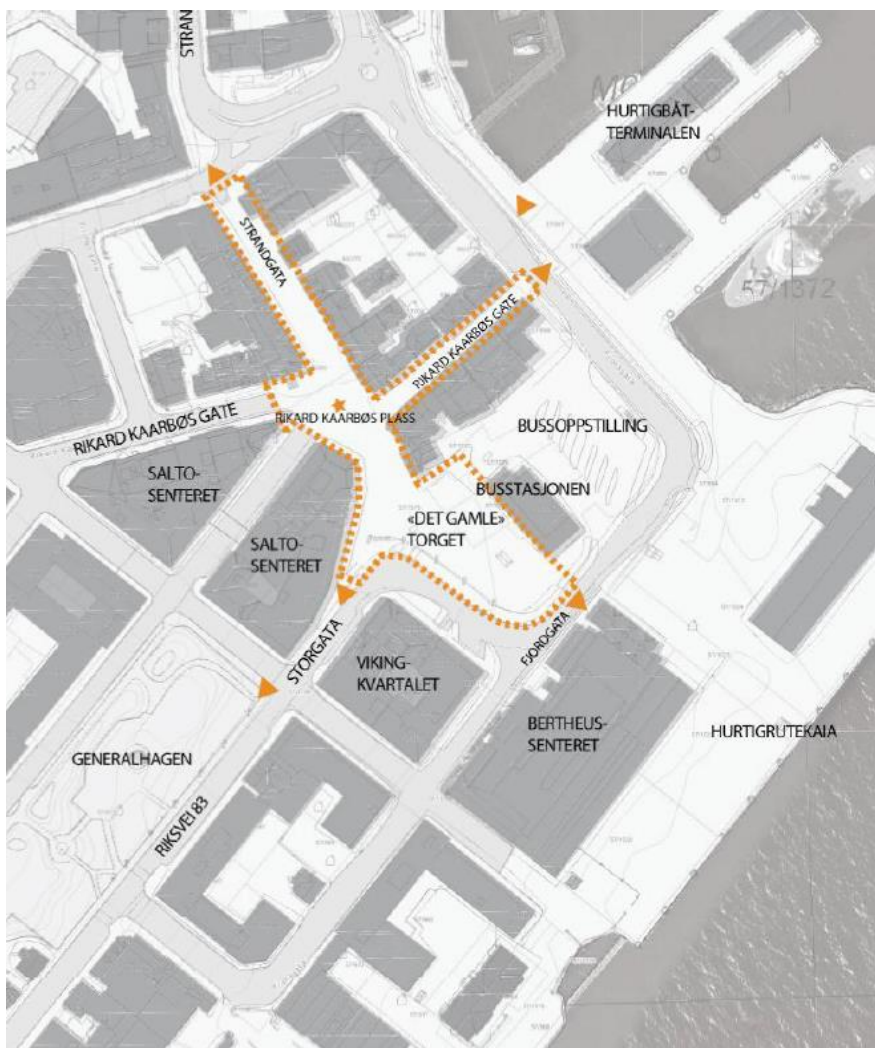


Figur 33. Utsnitt fra plankart fra kommunedelplanen med sentrum av byen (Harstad kommune, 2016c).

#### 3.1.1 Stedsanalyse

Dette underkapittel beskriver dagens struktur av sentrum og tar utgangspunkt i de flere delutredninger som ble gjennomført i forbindelse med planarbeid.

- Harstad sentrum i dag har en tettpakket og intim kjerne, som sentrert rundt Rikard Kaarbøs Plass og torget. Det har skjedd endringer i byen de siste tretti årene, hvor bygnings - og næringsstrukturen har endret karakter. Flere kjøpesentre er blitt etablert, noe som har endret bevegelsesmønsteret og forbindelseslinjer i bystrukturen (Asplan Viak, 2012).
- Sentrum er preget av et urbant bylandskap som har nær beliggenhet til havnebassenget og naturområdene rundt. Samtidig har den sentral plass i Harstads historie, det var her de første bryggehus og kaier ble etablert. Da var utgangspunktet mellom Klubbekjæret, Harstadsjøen og vågen mot larsneset, og bystrukturen kom frem på liten strandflate mot nordøst.
- Deler av sentrum har svake bystrukturer, det vil si at gater er mer utformet som veianlegg og skaper barrierer, hemmer tilgjengelighet og øker avstand mellom funksjonene. Dette gjør at det blir lite attraktivt og vanskelig å bevege seg mellom funksjonene. Harstad har en god kvartalsstruktur, men hvor mange kvartaler er ufullstendige og med åpne flater som domineres av parkering.
- Imidlertid har sentrum et stort potensiale, det er store områder som kan utnyttes på en bedre måte (Harstad kommune, 2016b).



Figur 34. Kart over gågater i sentrum markert med oransje farge (Asplan Viak, 2012).

Byområder som parker, lekeplasser og bilfrie soner bryter opp det travle bymiljøet. Generalhagen er et av de områdene som er mest i aktivitet, og av flere brukergrupper. En av de få områdene som kun er tilegnet gående er selve torget og gågata, dette blir da naturlige samlingspunkter.

Det vil nå bli lagt til rette for en endring av områdene, hvor nye by- og rekreasjonsområder skal utvikles med hovedfokus på «bruk året rundt». Disse områdene må utvikles med tanke på størrelse, hvilken funksjon den skal ha og beliggenhet. Eksempler på dette kan være alt ifra en benk foran en butikk, til større arealer som torgområde. Parker har sin egen funksjon som grøntområde med flere bruksfunksjoner og oppholdsarealer (Harstad kommune, 2016a).

### 3.1.2 Havneutvikling

I sentrumsplanen legges det vekt på at sentrumshavna med Larsneset og dampskipkaia fremstår med historiske momenter som strekker seg helt tilbake til byens opprinnelse. Dette er verdier som gir Harstad by sin identitet som er et viktig premiss for utviklingen av den nye sentrumshavna.





Figur 35. Harstad sentrum med dampskipkaia og Larsneset 1950-1960 (basert på Sør-Troms museum, 2017a).

Utviklingen omfatter sjøfylling og utlegging av kai, med utvidelse 40 meter nord for Larsneset, og forlengelse av Larsneskaia mot sør. Dette utvidelse av Larsnes med ny pir og skråmolo mot vest vil gi bedre beskyttelse for bukta. Larsneset beholdes og utvikles som hovedkai i sentrum for hurtigruter, cruise og andre anløp til Harstad. Med breddeutvidelse vil hele Larsneset være tilgjengelig for større cruiseskip med som krever dypere vann for å legge til kai. Breddeutvidelsen vil gi plass til å legge inn en internvei langs Larsneskaia, denne veien vil kunne gi gode muligheter for håndtering av gods og passasjertrafikk. Veien vil bli tilrettelagt for gjennomkjøring og inntil 10 busser kan parkeres langsgående (Harstad kommune, 2016b).

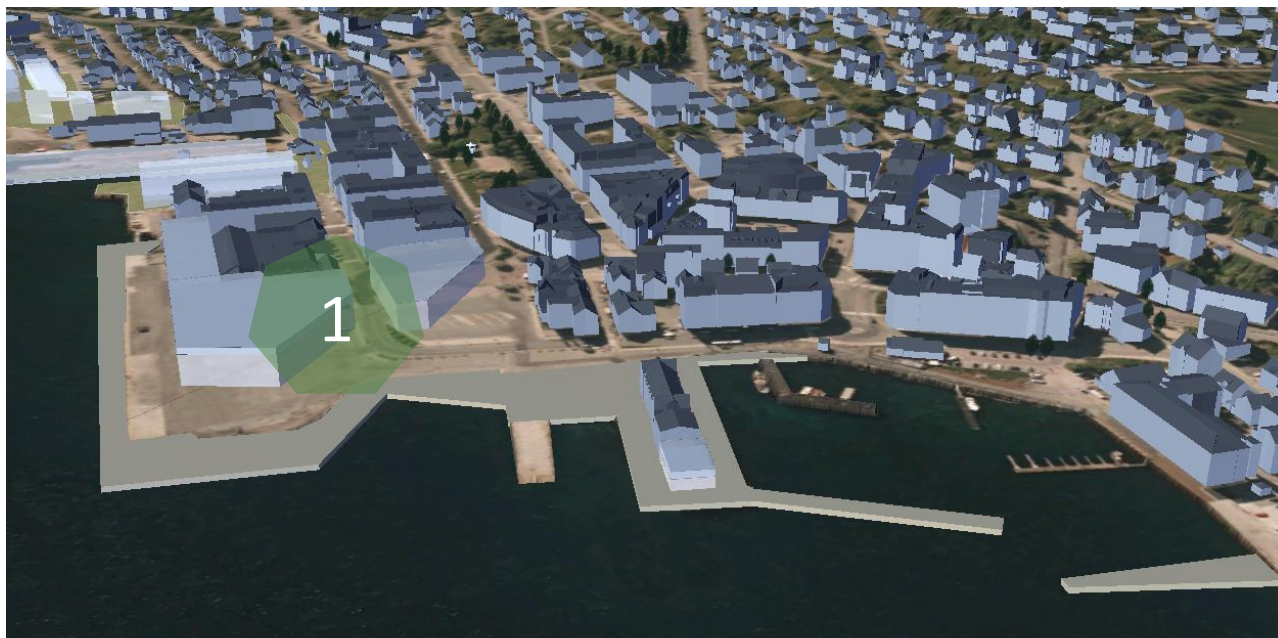


Figur 36. Visualisering av utvidet Larsneskaia (Harstad tidene, 2017a).

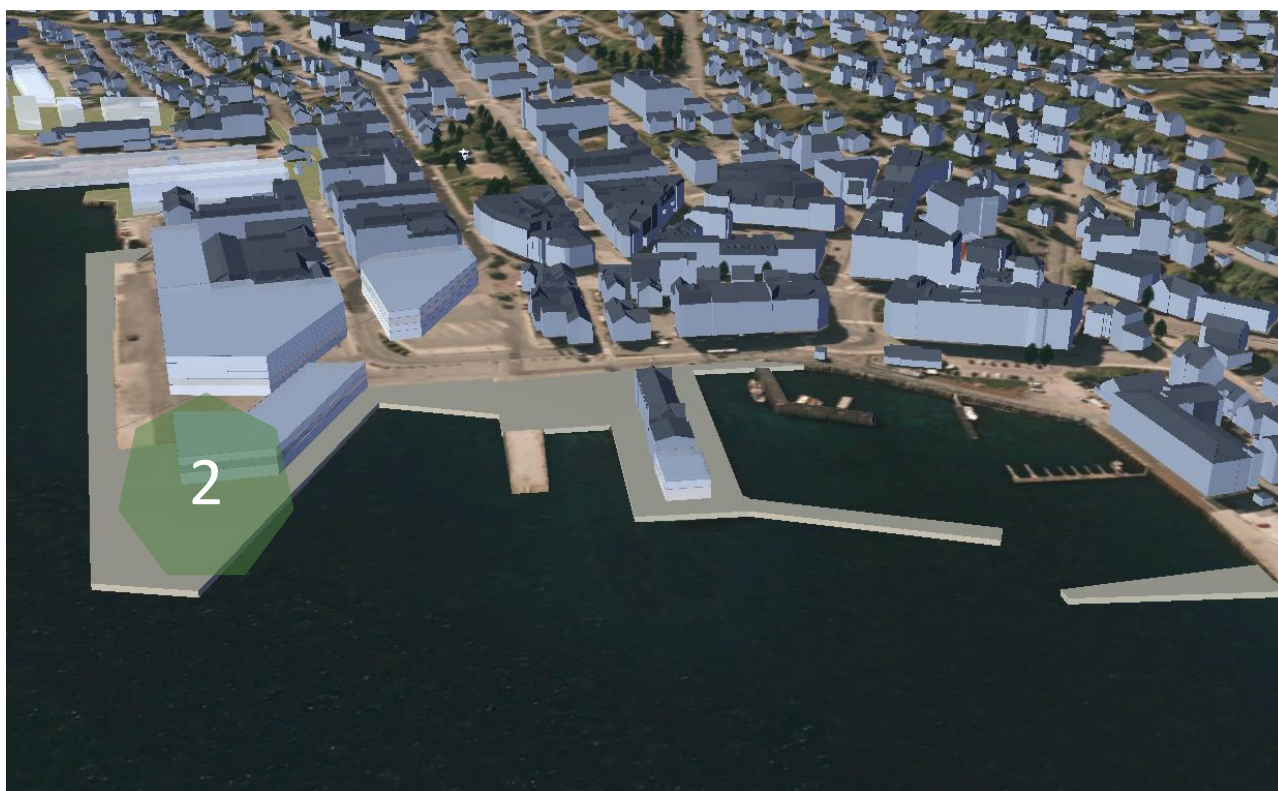


Utbygningen av sentrum er planlagt i samsvar med kommunedelplanen. Nye bygninger er mellom 4-5 etasjer på eksisterende Larsnes, med nedtrapping og oppdeling av bygg fram til molo på henholdsvis 4- 3 og 2 etasjer. Nytt byareal får ny og forbedret kontakt med sjøfronten (Harstad kommune, 2016a).

Utvidelse av havna legges til grunn i sentrumsplanen gjennom oppdelte faser i planperioden. Løsningen ivaretar havnerelaterte behov samt viktige prinsipper for god sentrumsutvikling (Harstad kommune, 2016a). Trinnsvis utbygging gjennom faser i planperioden fremgår av figur 37-40.

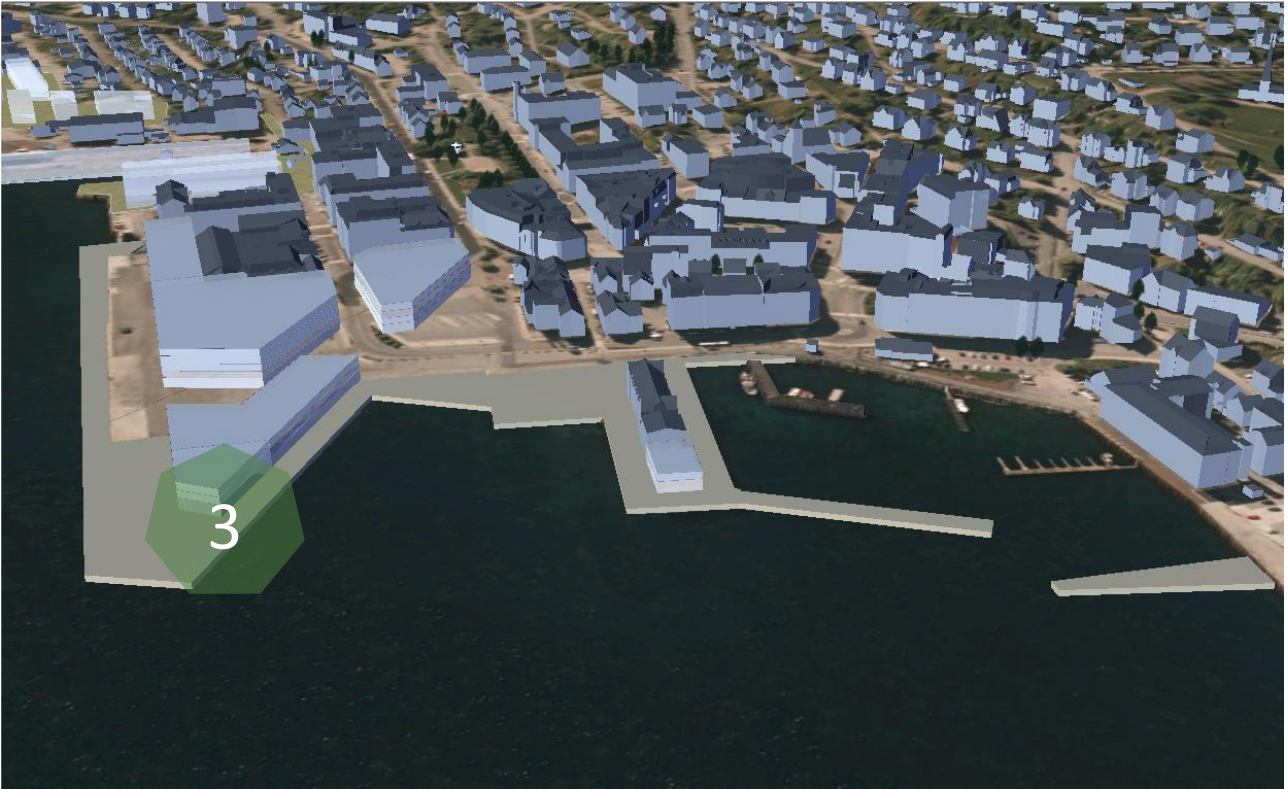


Figur 37. Utbyggingsstrategi og havneutvikling: fase 1 (Harstad kommune, 2016b)

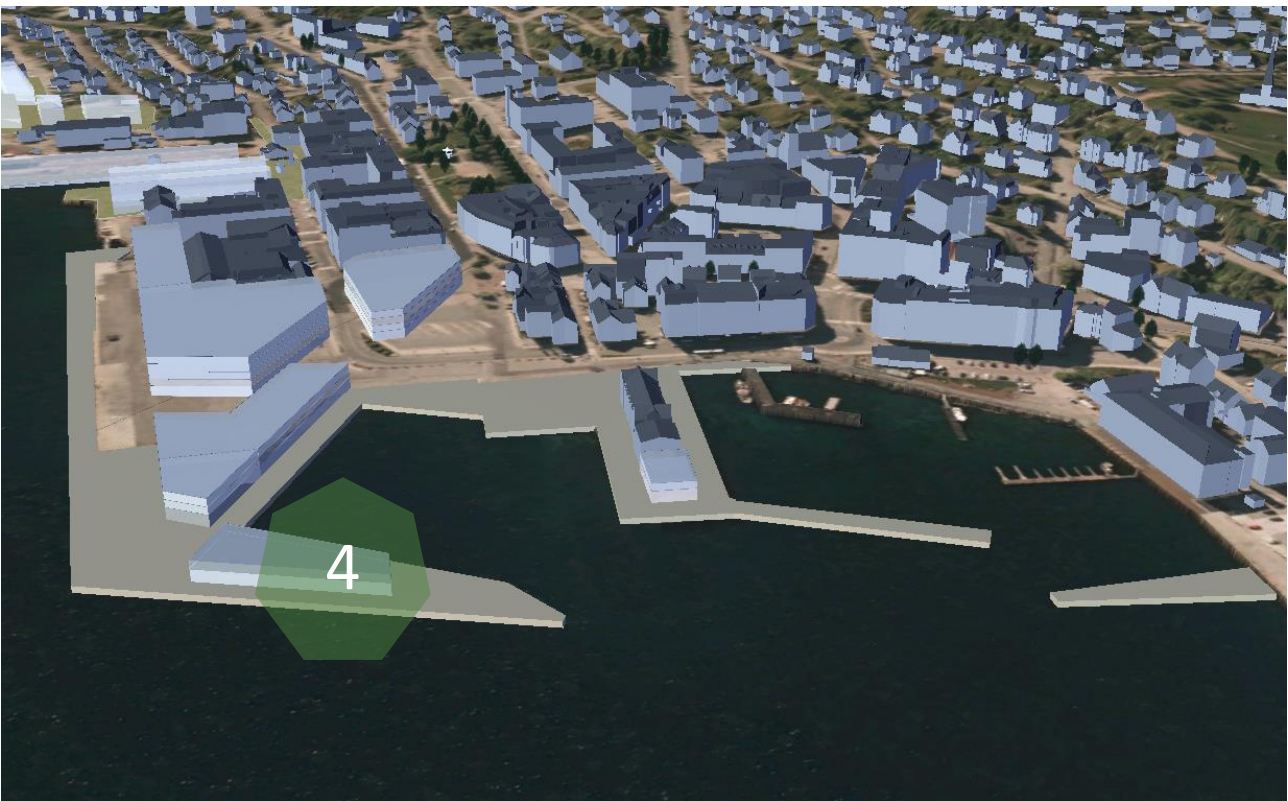


Figur 38. Utbyggingsstrategi og havneutvikling: fase 2 (Harstad kommune, 2016b).





Figur 39. Utbyggingsstrategi og havneutvikling: fase 3 (Harstad kommune, 2016b).



Figur 40. Utbyggingsstrategi og havneutvikling: fase 4 (Harstad kommune, 2016b).

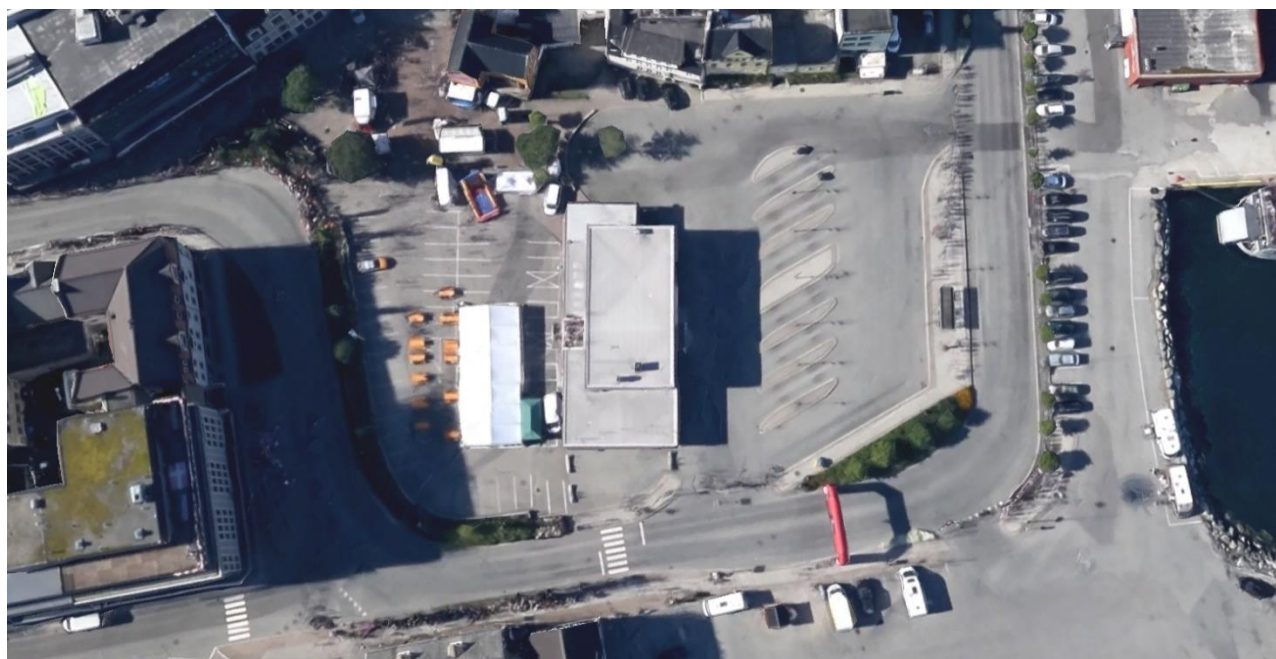
### 3.1.3 Harstad - Torget

Det gamle Torget har en fin beliggenhet og viktig betingelse for byen. Mot slutten av 1910-tallet ble arealet utvidet med en steinfylling som kom fra utsprenningen av tomta til Harstad sykehus. På 1950-tallet bygde Harstad Oppland Rutebil sin terminalbygning på tomten, og siden den gang har hovedveien passert gjennom sentrum og vært lagt over Torvet. I dag er en stor del av dette tatt til parkeringsplass (Lokalhistoriewiki, 2017).



Figur 41. Rutebilstasjonen og Torvet, 1963 (Sør-Troms museum, 2017b).

Dagens situasjon med busstorg er vist i figur 42. Torget oppleves som fint definert, men noe "uroilig" som oppholdssted på grunn av de mange retningene som krysser gjennom plassen (Asplan Viak, 2012).



Figur 42. Harstad -Torget, 2013 (Kilde: Google Earth).



I sentrumsplan er foreslått å etablere et kompakt kollektivknutepunkt ved utvidelse av Sjøgata og å fjerne bussterminal bygg for å få et stort byrom, vendt mot Vågsfjorden. Et nytt torg i sammenheng med Rikard Kaarbøsplass vil gi et nytt, samlet og større byrom.

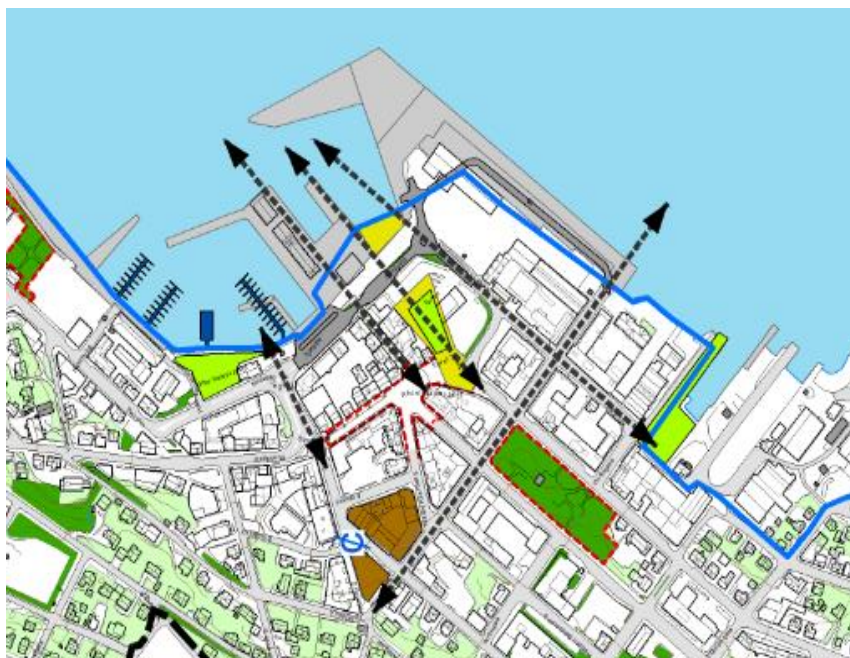


Figur 43. Visualisering av planlagt utbygging i Harstad sentrum (Harstad tidene, 2017a).

Nytt torget skal opparbeides sammen med første fase av utbygging i sentrum. Derfor er det viktig å ta stilling til lokalklimatiske forutsetninger i tidligere faser.

### 3.1.4 Stien langs sjøen

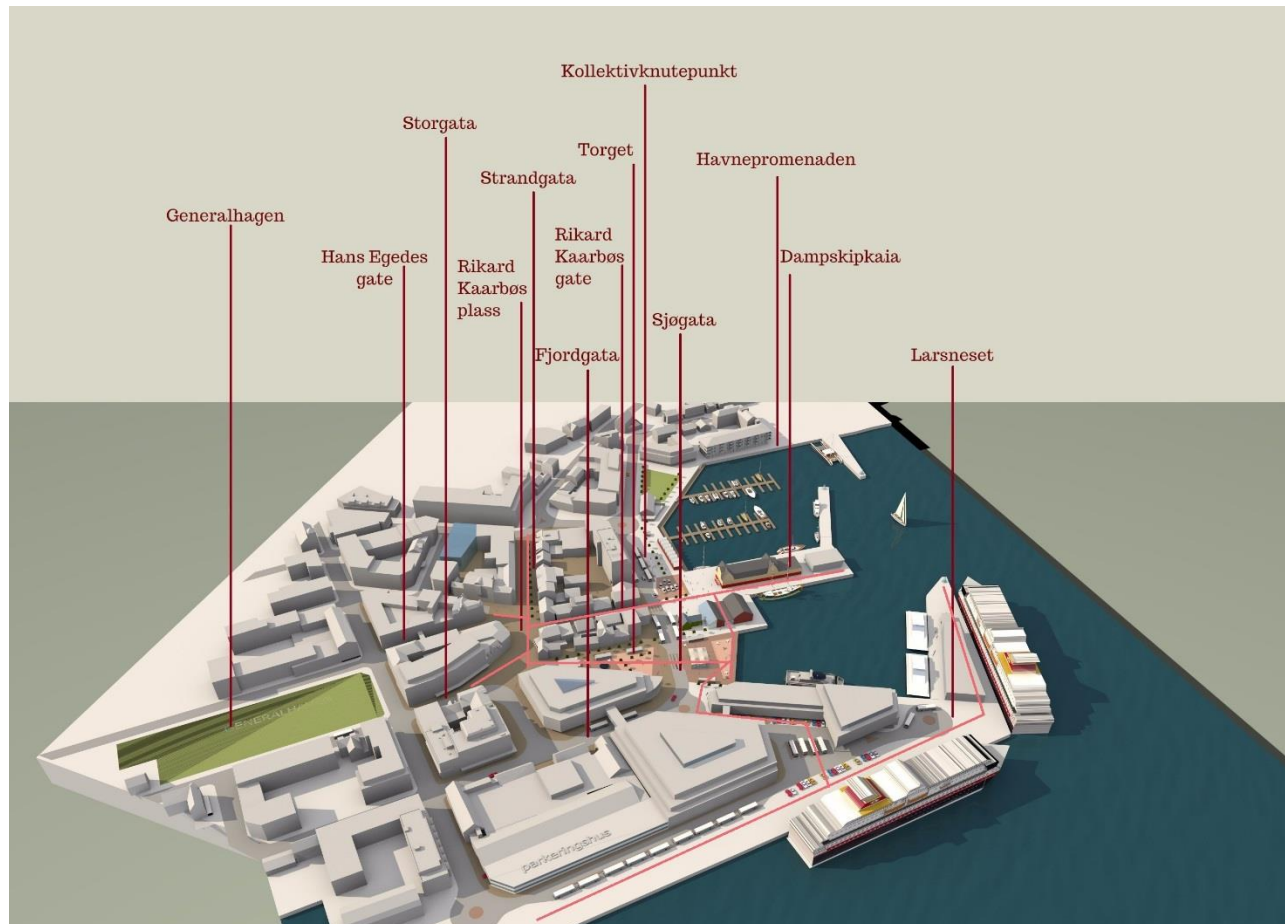
Stien langs sjøen i Harstad er navn på eksisterende gangsti fra Trondenes til Essotomta. Kommunedelplanen tilrettelegger forlengelse av trase gjennom sentrum til Stangnes for å etablere sammenhengende gang- og sykkelsti ved siden av sjøfronten. Dessuten skal Stien langs sjøen koble rekreasjonsområder og aktivitetspunkter som plassert langs trase etter 100 meters regelen. Derfor er det fastsatt i planbeskrivelse at «det skal sikres gode oppholdssoner langs sjøfronten» (Harstad kommune, 2016a).



Figur 44. Stien langs sjøen (blå linje) (Harstad kommune, 2016d).

### 3.1.5 Fokusområde

Etter gjennomgang av historisk utvikling av Harstad sentrum sammen med kommunedelplanen og konsekvensutredninger skal gågatesystemet, utvidet torgarealet, kystsone mellom Larsneset og Dampskipkaia og utbygging ved utvidelse av Larsneset være fokusområde for vurdering av vindforhold. Dette stort byrom integrert i figur 45 og markert med roselinjær.



Figur 45. Fokusområde for vindanalyse (inspirert av Harstad tidene, 2017a).

## 3.2 Områdets klimatiske forutsetninger

For å gjennomføre vurdering av vindforhold bør man vite fremherskende vindretning. Det er gratis tilgang til Meteorologisk institutts vær- og klima, hvor fra kan hentes forskjellige klimarapporter. Det er benyttet vinddata fra to meteorologiske stasjoner på Sama og Harstad stadion som grunnlag for vindanalyse.

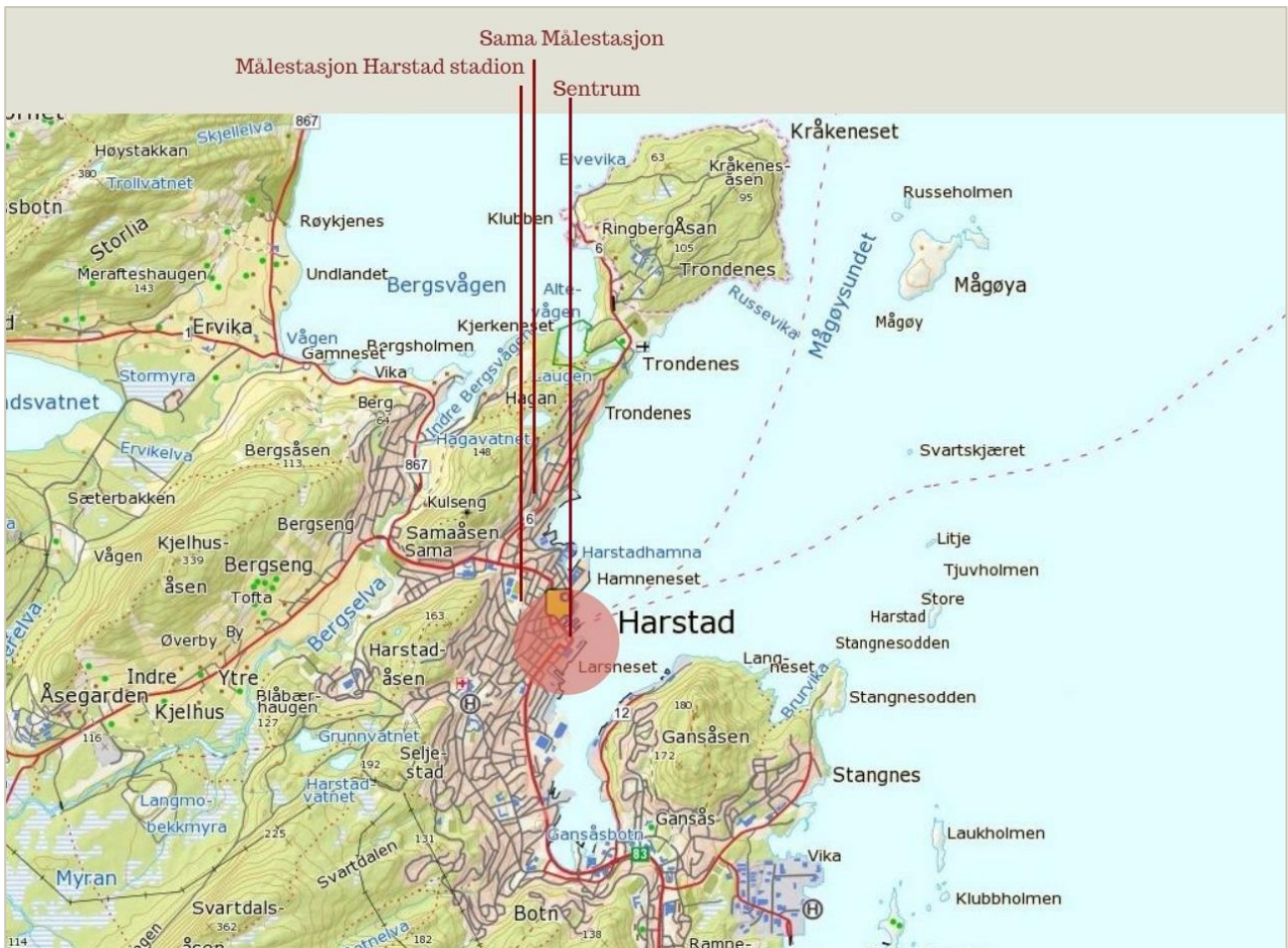
HARSTAD - SAMA - Stasjonsinfo							
Stnr	Navn	I drift fra	I drift til	Hoh	Kommune	Fylke	Region
87620	HARSTAD - SAMA	jan 1936	mar 1961	43	Harstad	Troms	NORD-NORGE

HARSTAD STADION - Stasjonsinfo							
Stnr	Navn	I drift fra	I drift til	Hoh	Kommune	Fylke	Region
87640	HARSTAD STADION	aug 2002		45	Harstad	Troms	NORD-NORGE

Tabell 10. Stasjonsinformasjon (Meteorologisk institutt, 2017a).





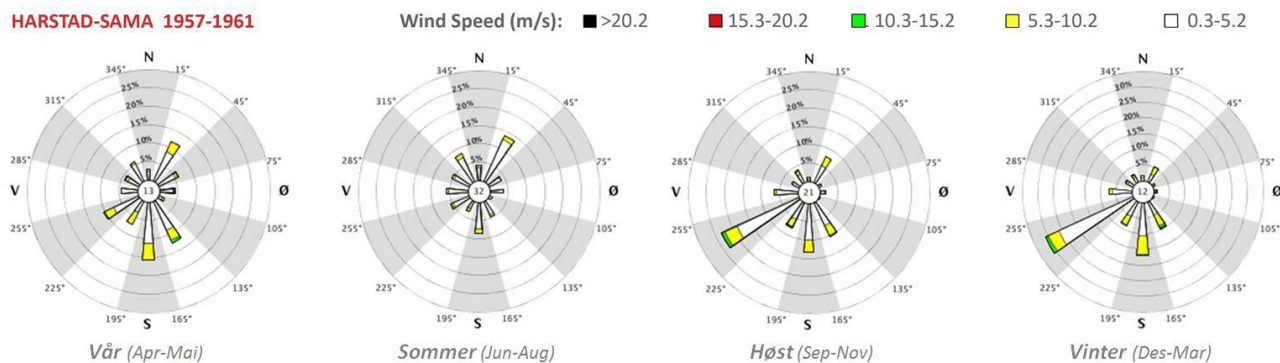
Figur 46. Lokalisering av målestasjoner ift. sentrum av Harstad.

Selv om er avstand mellom stasjoner 1 km, viser de relativt forskjellige innmålinger av vindretning og vindhastighet. I Harstad-område bestemmes vind av fjell- og terrengformasjoner men i sentrum av byen påvirkes og styres vindens strømningsmønster av gatenettet og bygningsvolum. På årsbasis er det 19% er vindstille på målestasjon ved Sama men ved Harstad stadion er bare 9% (Sundsbo, 2013).

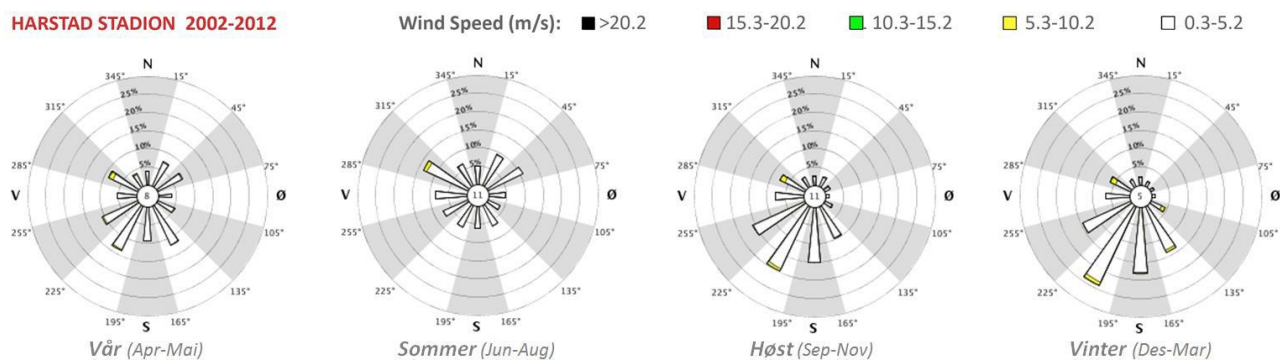
Vinddataene er fremgår av vindroser (figur 47) og forteller at mest hyppige vindretninger for sentrum av byen er nord-nordøstlige sjøvinder om sommeren og sør-sørvestlige landvinder om vinteren. Intervall for observasjoner er bestemt fra driftsperioden som vist i tabell 10.



**HARSTAD-SAMA 1957-1961**



**HARSTAD STADION 2002-2012**



Figur 47. Vindroser for målestasjonene Harstad Stadion og Harstad-Sama (Sundsbo, 2013).

Vindroser og tabell 11 viser at vindhastighet på over 10 m/s oppstår relativt sjelden og gjennomsnittlig vindhastighet fra april 2016- april 2017 er lik 2,1 m/s.

Måneder	Temperatur				Nedbør			Vind	
	Gjennomsnitt	Normal	Varmest	Kaldest	Totalt	Normal	Mest på ett døgn	Gjennomsnitt	Sterkest vind
apr 2017	1,1°	1,8°	8,7° 4. apr	-5,9° 16. apr	54,3 mm	50,0 mm	8,6 mm 21. apr	2,5 m/s	10,3 m/s 22. apr
mar 2017	-0,6°	-1,2°	6,7° 26. mar	-7,7° 6. mar	102,0 mm	65,0 mm	18,2 mm 16. mar	2,3 m/s	13,3 m/s 26. mar
feb 2017	-2,0°	-2,6°	8,6° 13. feb	-10,1° 23. feb	70,4 mm	80,0 mm	15,7 mm 24. feb	2,0 m/s	11,9 m/s 25. feb
jan 2017	-0,7°	-2,8°	8,4° 25. jan	-14,9° 5. jan	167,0 mm	85,0 mm	16,6 mm 9. jan	2,6 m/s	14,7 m/s 8. jan
des 2016	1,6°	-1,9°	9,8° 19. des	-6,8° 3. des	184,1 mm	100,0 mm	25,8 mm 12. des	2,7 m/s	13,4 m/s 27. des
nov 2016	0,8°	0,5°	8,8° 14. nov	-5,7° 6. nov	50,2 mm	97,0 mm	18,0 mm 30. nov	2,2 m/s	11,5 m/s 27. nov
okt 2016	5,2°	4,3°	12,0° 5. okt	-1,0° 18. okt	41,1 mm	110,0 mm	16,0 mm 1. okt	1,5 m/s	5,0 m/s 31. okt
sep 2016	10,5°	8,1°	17,9° 14. sep	3,4° 3. sep	56,3 mm	80,0 mm	9,4 mm 4. sep	1,5 m/s	8,4 m/s 4. sep
aug 2016	11,4°	11,9°	23,5° 20. aug	4,8° 11. aug	55,8 mm	58,0 mm	15,2 mm 2. aug	2,0 m/s	8,7 m/s 9. aug
jul 2016	13,3°	12,3°	26,1° 22. jul	7,9° 21. jul	72,0 mm	53,0 mm	26,0 mm 17. jul	1,7 m/s	6,8 m/s 30. jul
jun 2016	9,2°	9,9°	25,9° 27. jun	2,0° 8. jun	65,0 mm	37,0 mm	16,3 mm 8. jun	2,4 m/s	12,7 m/s 8. jun
mai 2016	8,2°	6,2°	21,1° 30. mai	0,8° 20. mai	12,8 mm	35,0 mm	2,5 mm 13. mai	2,1 m/s	6,2 m/s 24. mai
apr 2016	3,8°	1,8°	15,0° 29. apr	-4,5° 13. apr	15,0 mm	50,0 mm	3,9 mm 8. apr	2,2 m/s	7,5 m/s 12. apr

Tabell 11. Tabellvisning for temperatur, nedbør og vind (Meteorologisk institutt, 2017b).

### 3.3 Metode

#### 3.3.1 CFD – simulering som verktøy

CFD-simuleringer av strømninger (Computational Fluid Dynamics) benyttes ofte for prediksjon av strømningsfelter og ble innført i de tidlige 1950-tallet.

CFD er fellesbegrepet beregnings - og analyseverktøy som er i stand til å håndtere fluidstrømningsproblemer. Programvaren regner Navier - Stokes ligningene med numerisk metode ved bruk av datamaskiner (Zhang, 2009). CFD analyser blir nå brukt i mange andre felt, blant annet marin teknikk, elektrisk og elektronisk prosjektering, biomedisinsk teknikk, kjemiteknikk, miljøteknikk, vind studier, hydrologi, oseanografi, meteorologi, og kjernekraft.

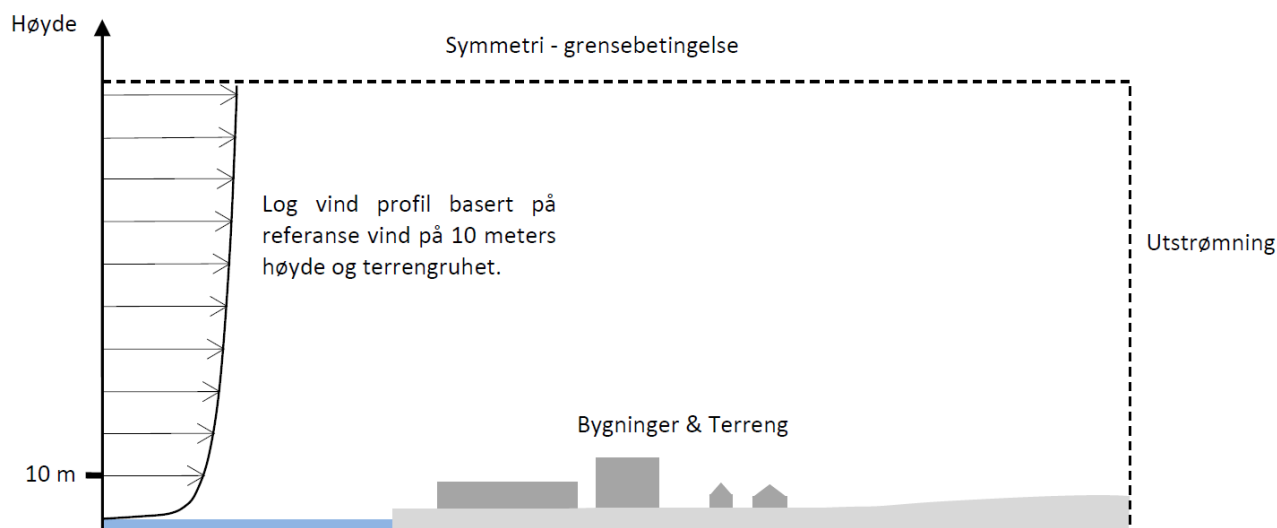
CFD brukes intensivt som et verktøy for å evaluere innemiljøet i en bygning, samt for å analysere det ytre miljø rundt bygningen: vindanalyse av byområder, effekt av nye bygg på vindforhold, og samspill mellom bygninger, vindkomfort på f.eks. fellesområder, takterrasser, og gateplan.

Det er tilgjengelig på marked flere programvarer, bl.a. Phoenics, Fluent, Flow 3D og Star-CD som benyttes for CFD -simuleringer (Handeland & Vestbø, 2001). I rapport videre analyseres Harstad – sentrum ved hjelp av Flow 3D.

#### 3.3.2 Numerisk strømningsmodell

Simulering er baseres på flere parametere: bygningsvolum rundt fokusområdet, beregningsnett, beregningsområde grensebetingelser (Sundsbo, 2015)

Grensebetingelser for simulering avhenger av logaritmiske vindprofil, som baseres på de lokale målingene over tid. Vanligvis for denne typen klimaanalyser utføres ikke slike målinger. Derfor friksjon/ruhet tas i forhold til lokale terreng- og bygningsinformasjoner. Figur 48 viser prinsippskisse for simuleringsområdet med grensebetingelser.



Figur 48. Vertikalsnitt av numerisk beregningsmodell med definerte grensebetingelser. Referansevind er vindstyrke på 10 meters høyde (Sundsbo, 2013).

### 3.3.3 Relativ og absolutt vindhastighet

«Relativ hastighet benyttes 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» (Sundsbo, 2016c). Den hastigheten defineres som forhold mellom lokal vindhastigheten i personhøyde og vindhastigheten fra referanse i samme høyde.

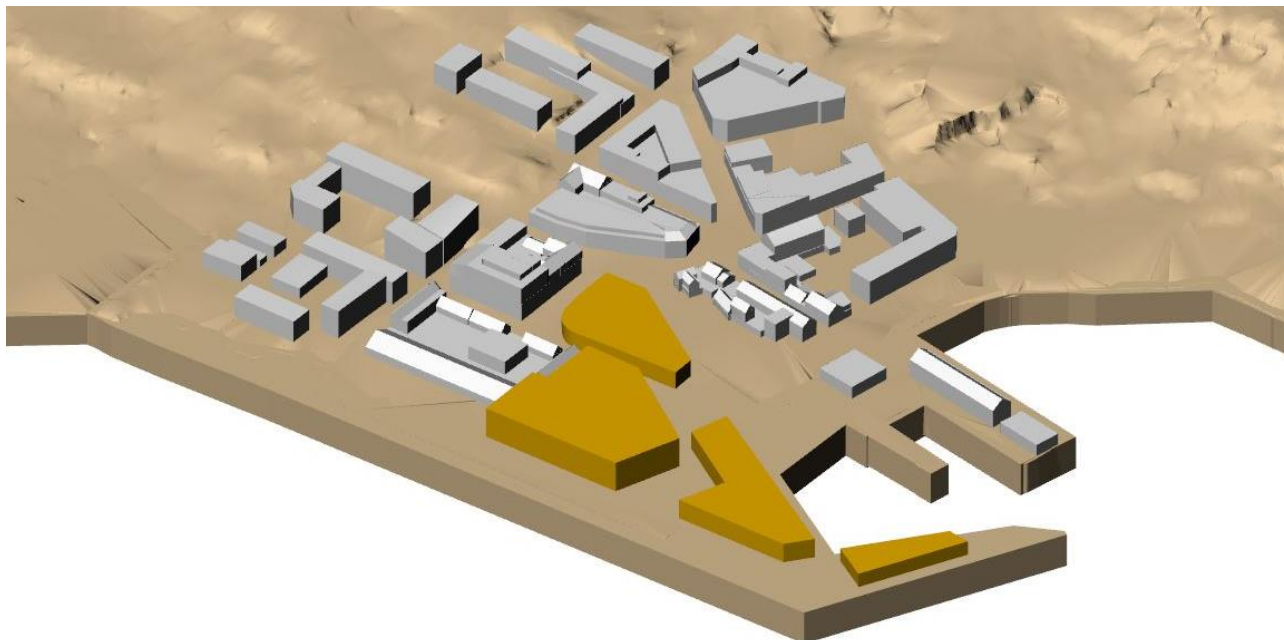
$$\text{Rel. vindhastighet} = \frac{U_{\text{sim}}(1,75)}{U_{\text{ref}}(1,75)}$$

Ligningen definerer økningen i vindhastighet i følge av bygningsstruktur i forhold til referansehastighet får verdier større enn 1. Da reduksjon defineres med verdier mindre enn 1 (Sundsbo 2016b). I tillegg medfører relativ hastighet fra 1,3-1,5 på 1,75m høyde vesentlige vindeffekter med tanke på vindkomfort på fotgjengers nivå (Sundsbo 2016b). I disse soner anbefales etablering av vinddempende tiltak

Noen ganger kan det benyttes absolutt vindhastighet med samme hensyn. «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» (Sundsbo, 2016c).

### 3.3.4 3D - modell av terreng og arkitektur

Fra Harstad kommune ble det fått flere DXF-filer som grunnlaget for oppbygning av 3D modell for simulering. De inneholder terrengdata uttrykket med høydekurver og bygningene skissert med bygningslinjer (vedlegg 2 og 3). På figur nedenfor vises 3D modell av terreng og arkitektur. Gule bygninger betegner framtidig utbygning og tegnet i samsvar med plankart av kommunedelplan som ble vedtatt i desember 2016. Bygningsstruktur modellert uten unødvendige detaljer, men omfang er tilstrekkelig til å vurdere den riktige vindforhold. For utforming av modellen ble det brukt programvaren Autodesk Revit og CAD-programvaren Rhinoceros.



Figur 49. 3D - modell av terreng og bygningsvolumer.

## 4 Resultat fra numeriske simuleringer

Det ble vurdert vindforhold for vind fra to dominerende vindretninger: NNØ og SSV.



Figur 50. Planskisse av modell med indikering av dominerende vindretninger.

For å studere sammenheng mellom randbetingelser, lokal vindhastighet og endringer av utekomfort ble det gjennomført 6 simuleringer (vedlegg B) som oversiktlig samlet i tabell:

Nr.	Vindretning	$u_{\text{ref}}(10)$	$u_{\text{ref}}(1,75)$	$z_0$	$u_*$
1	NNØ	10	7,6	0,01	0,6
2	NNØ	6,54	5,5	0,0002	0,248
3	NNØ	10	8,11	0,001	0,445
4	SSV	10	7,6	0,01	0,6
5	SSV	22,63	5,5	1	4,03
6	SSV	10	2,43	1	1,78

Tabell 12. Oversikt over grensebetingelser av gjennomførte simuleringer.

Videre blir vurdert resultatene fra numeriske simulering nr. 3 og 4. De er vist som utsnittene hentet fra Flow3D. Vindstyrke på hvert utsnitt defineres med fargeskala fra blå til rød, hvor blått angir lave vindhastigheter mens rødt tilsvarer høye hastigheter. Resultatene ble bearbeidet slik at de viser hastighet på 1,75 m høyde.

## 4.1 Vind fra NNØ

For nord-nordøstlige sjøvinder benyttes for analyse resultater fra simulering nr. 3 (tabell 12) med følgende randbetingelser:

Overflateruhet  $z_0 = 0,001$  (fra tabell 1)

Vindhastigheten i det uforstyrrede og innkommende vindfelt (referanse) på 10m høyde: 10m/s

Friksjonshastigheten fra Logaritmisk Lov:

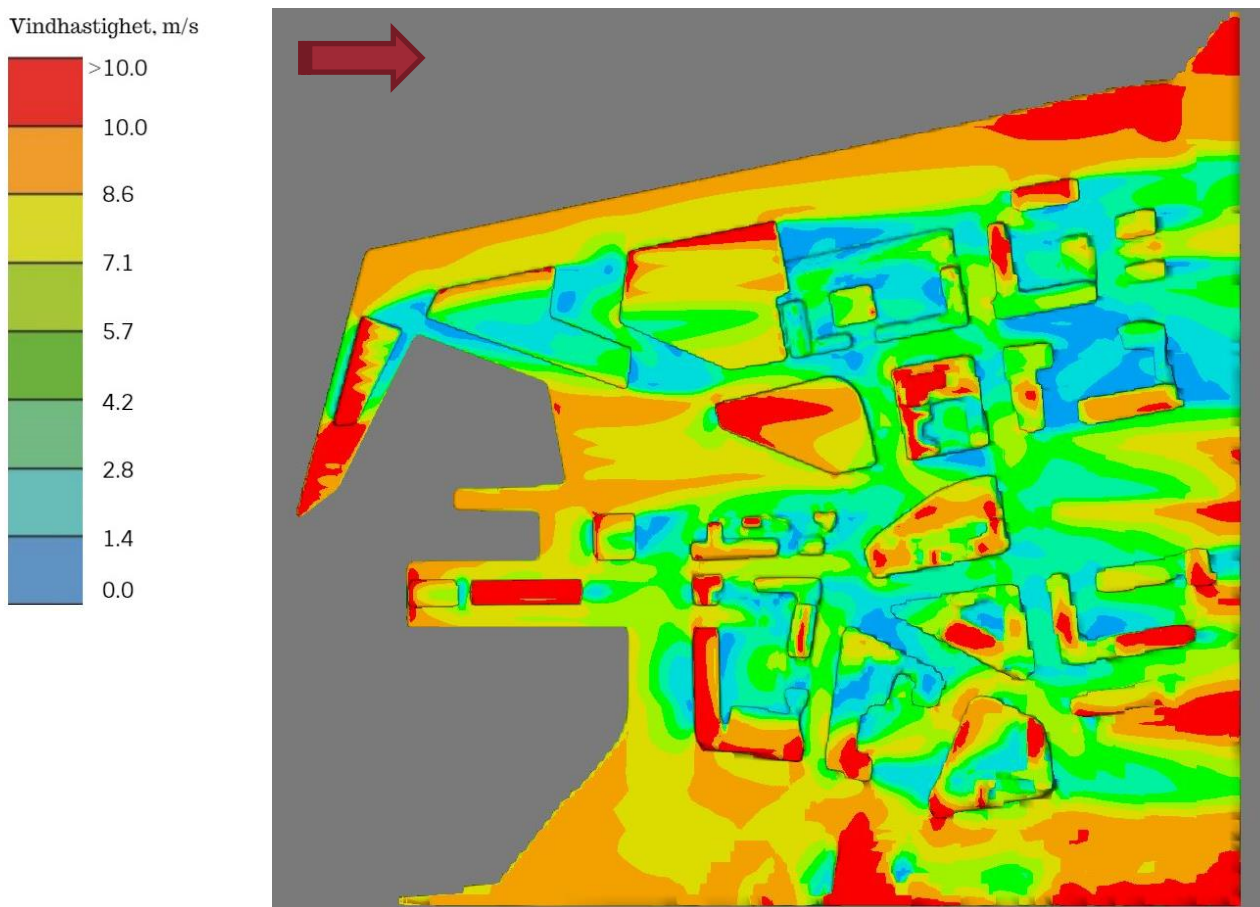
$$u_* = k \frac{u_{\text{ref}}(10)}{\ln \frac{z}{z_0}} = 0,41 \frac{10}{\ln \frac{10}{0,001}} = 0,445 \text{ m/s}$$

Vindhastighet (referanse) på 1,75 m høyde:

$$u_{\text{ref}}(1,75) = \frac{u_*}{k} \ln \frac{z}{z_0} = \frac{0,445}{0,41} \ln \frac{1,75}{0,001} = 8,11 \text{ m/s}$$

Denne hastigheten relateres til laber bris iht. Beaufort betegnelser.

Resultat av simulering inngår i figur 51 hvor vindskala angir lokale vindhastigheter (m/s):



Figur 51. Horisontalsnitt av vindfelt i plan ca 1,75 m over terreng. Vind fra NNØ mot Harstad sentrum. Lokal vindskala.



## 4.2 Vind fra SSV

For sør-sørvestlige vinder etter klassifisering av Grimmond & Oke med fire urbane overflatetyper burde overflateruhet av Harstad sentrum ligger i intervall 0,7-1,5 m. Det ble gjort simulering (nr.6 fra tabell 12) med overflateruhet lik 1. Og den vist drastiske vinforsterkninger som er ikke oppnådde i virkeligheten. Grunn av dette er begrenset bygningsstrukturen av modell. I dette tilfelle velges overflateruhet lavere i henhold til terrengformasjon og gjennomføres simulering med  $z_0 = 0,01$  som gir aktuelle resultater.

Videre beskrevet resultater fra simulering nr. 4 (tabell 12) med følgende randbetingelser:

Overflateruhet  $z_0 = 0,01$

Vindhastigheten (referanse) på 10m høyde: 10m/s

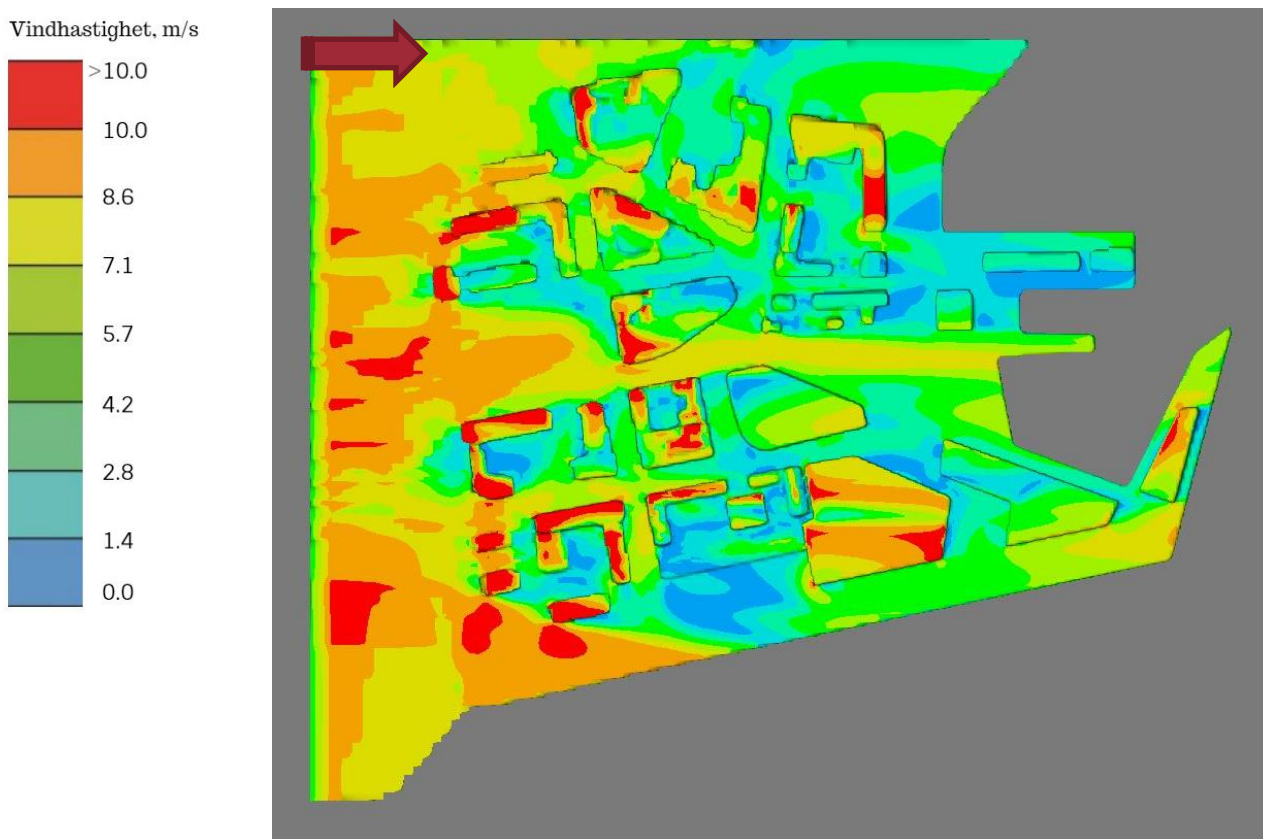
Friksjonshastigheten fra Logaritmisk Lov:

$$u_* = k \frac{u_{\text{ref}}(10)}{\ln \frac{z}{z_0}} = 0,41 \frac{10}{\ln \frac{10}{0,01}} = 0,6 \text{ m/s}$$

Vindhastighet (referanse) på 1,75 m høyde:

$$u_{\text{ref}}(1,75) = \frac{u_*}{k} \ln \frac{z}{z_0} = \frac{0,6}{0,41} \ln \frac{1,75}{0,01} = 7,6 \text{ m/s}$$

Resultat av simulering inngår i figur 52 hvor vindskala angir lokale vindhastigheter (m/s):



Figur 52. Horisontalsnitt av vindfelt i plan ca 1,75 m over terreng. Vind fra SSV mot Harstad sentrum.

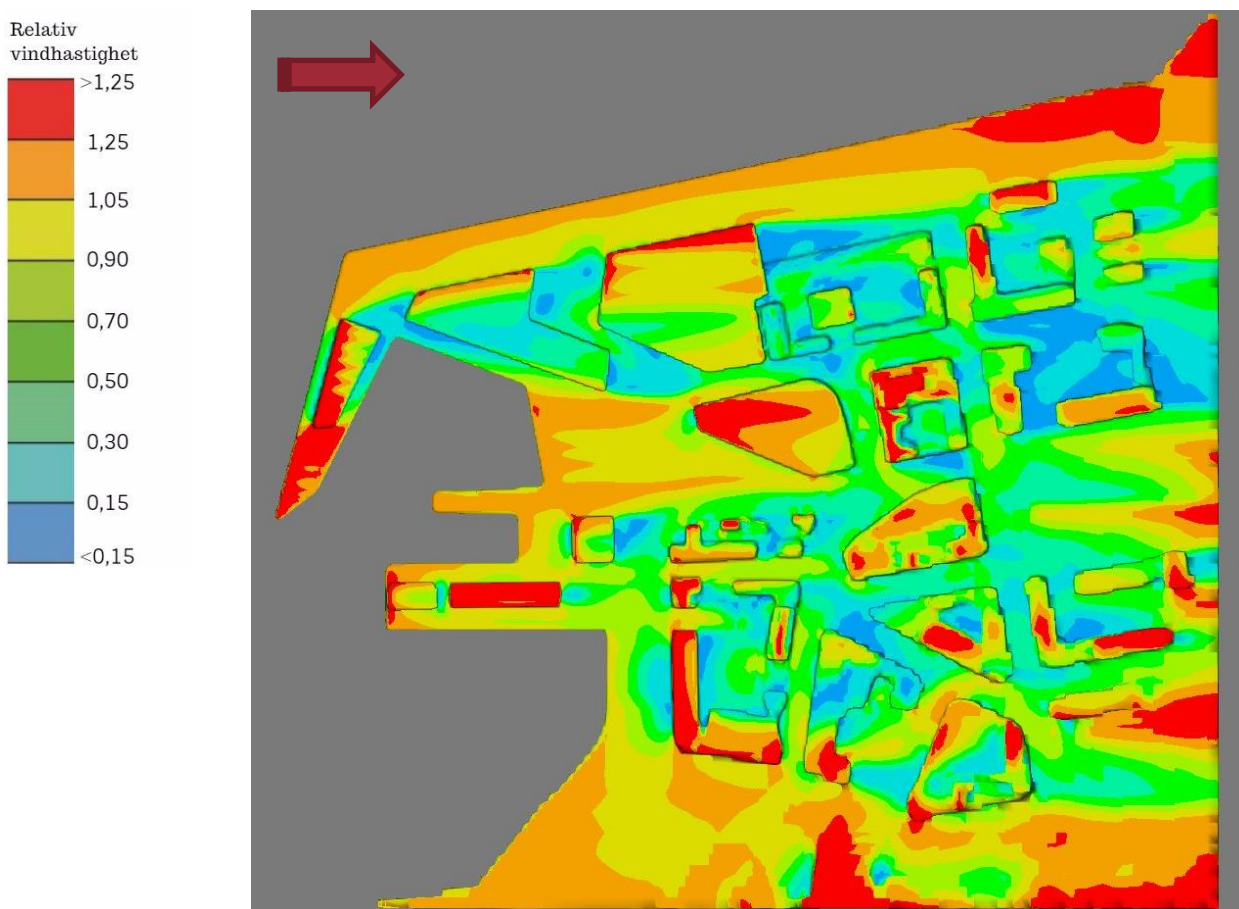


## 5 Diskusjon

Videre bearbeidet vindskala fra lokale til relative vindhastigheter og vindeffekter vurderes ut fra relativ hastighet komfortkriterier. I henhold til vindsikkerheten kan man konkludere at det oppnås ikke noen fare for alle aldersgrupper. Meteorologisk statistikk viser at gjennomsnittlig vindhastighet er relativt lav og de sterkeste vinder oppstår sjelden.

### 5.1 Vind fra NNØ

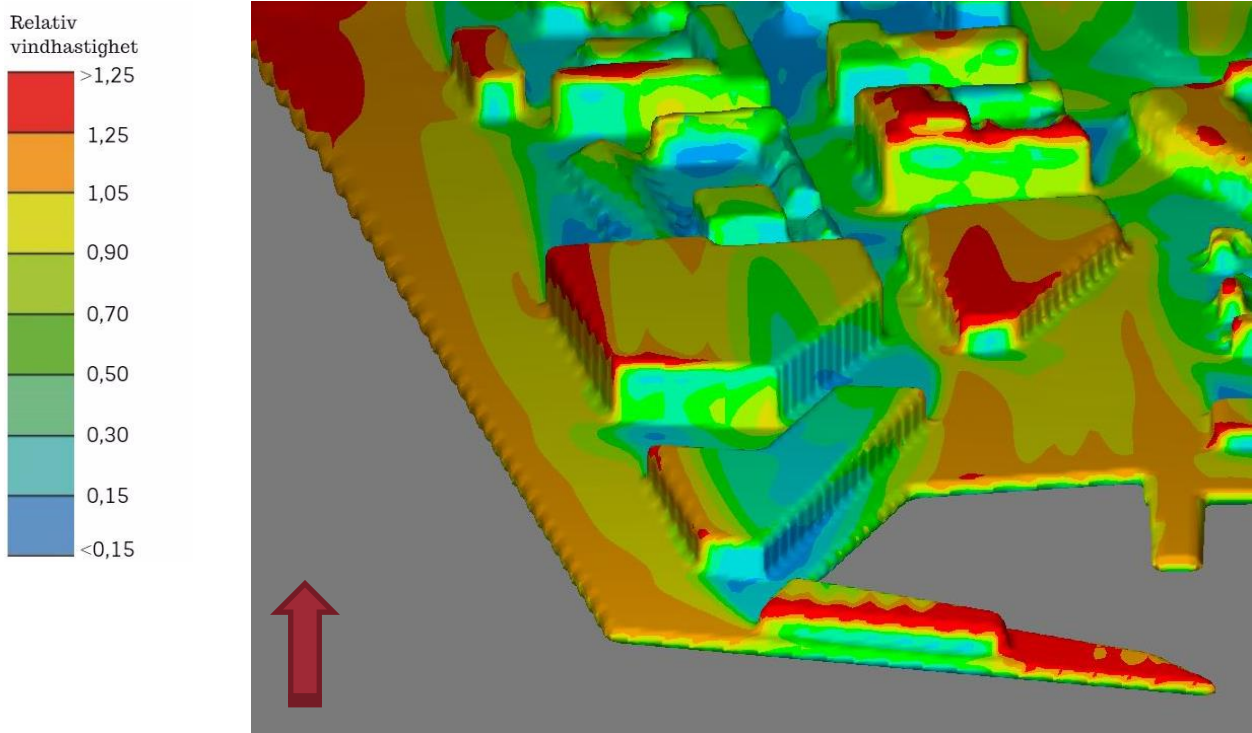
Resultater fra simulering med dominerende nord-nordøstlig vind fremgår av figurer 53-56. Horisontalsnittet under viser økning av vindhastighet i alle soner som er definert med oransje og rød farge og relativ vindhastighet på fotgjengernivå høyere enn 1.



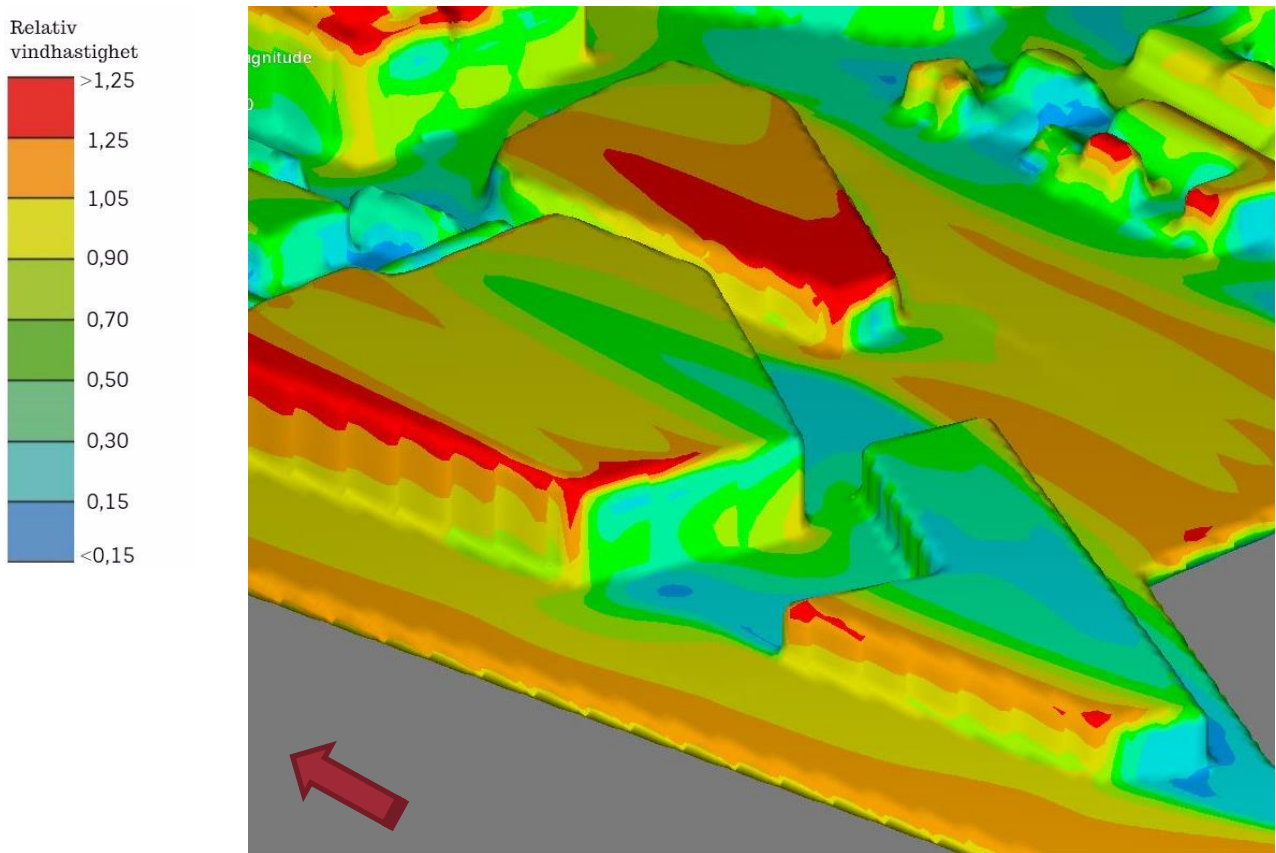
Figur 53. Horisontalsnitt av vindfelt i plan ca 1,75 m over terreng. Vind fra NNØ mot Harstad sentrum. Relativ vindskala.

Som forventet, vil utstikkende formasjoner og kaianlegg ha de største vindhastigheter. Derfor er forlengelse av Larsnekaia mot nord, mest vindeksponert. Samtidig vil det oppleves merkbare vindøkninger langs eksisterende Larsneskaia og kystsoner mellom Damskioskaia og Larsneset. Som følge vil det oppstå ugunstige vindforhold på torget for stillesittende uteopphold spesielt etter etablering av vifteform i bygningsstruktur.

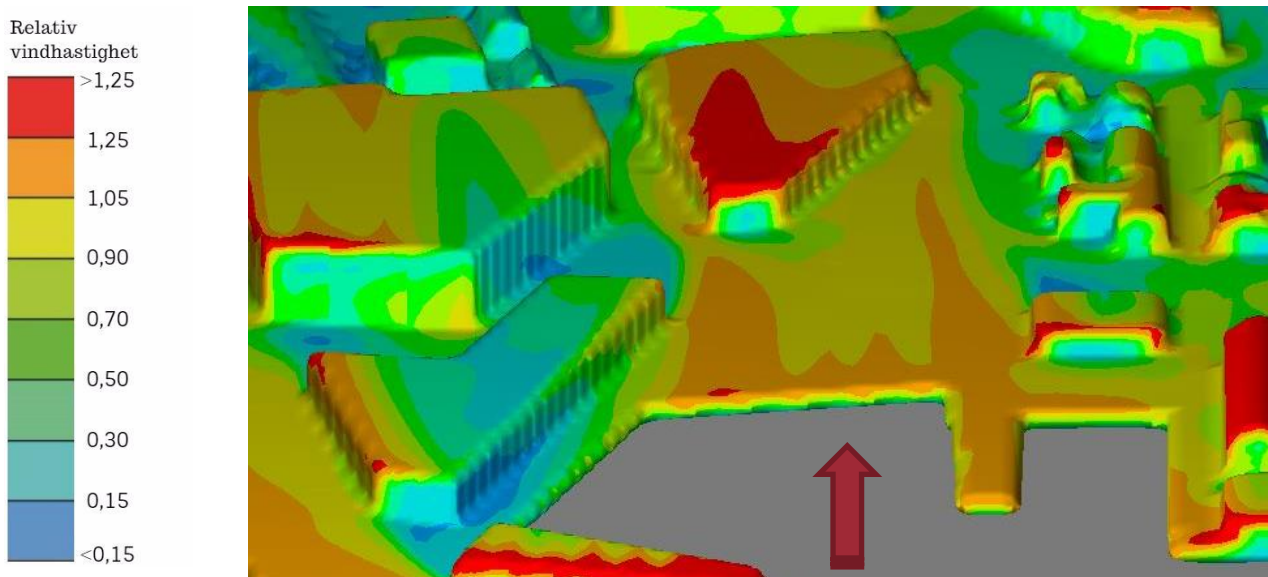
Imidlertid det forventes ikke vesentlige vindeffekter i eksisterende gatesystemet. Mer detaljerte bilderperspektiver fra simulering med Larsneskaia, framtidig utbygning, torget og kystsoner mellom Larsneset og Dampskipskaia illustrerer vindforhold i figur 54-56.



Figur 54. Relativ vindhastighet i personhøyde rundt Larsneskaia. Vind fra NNØ.



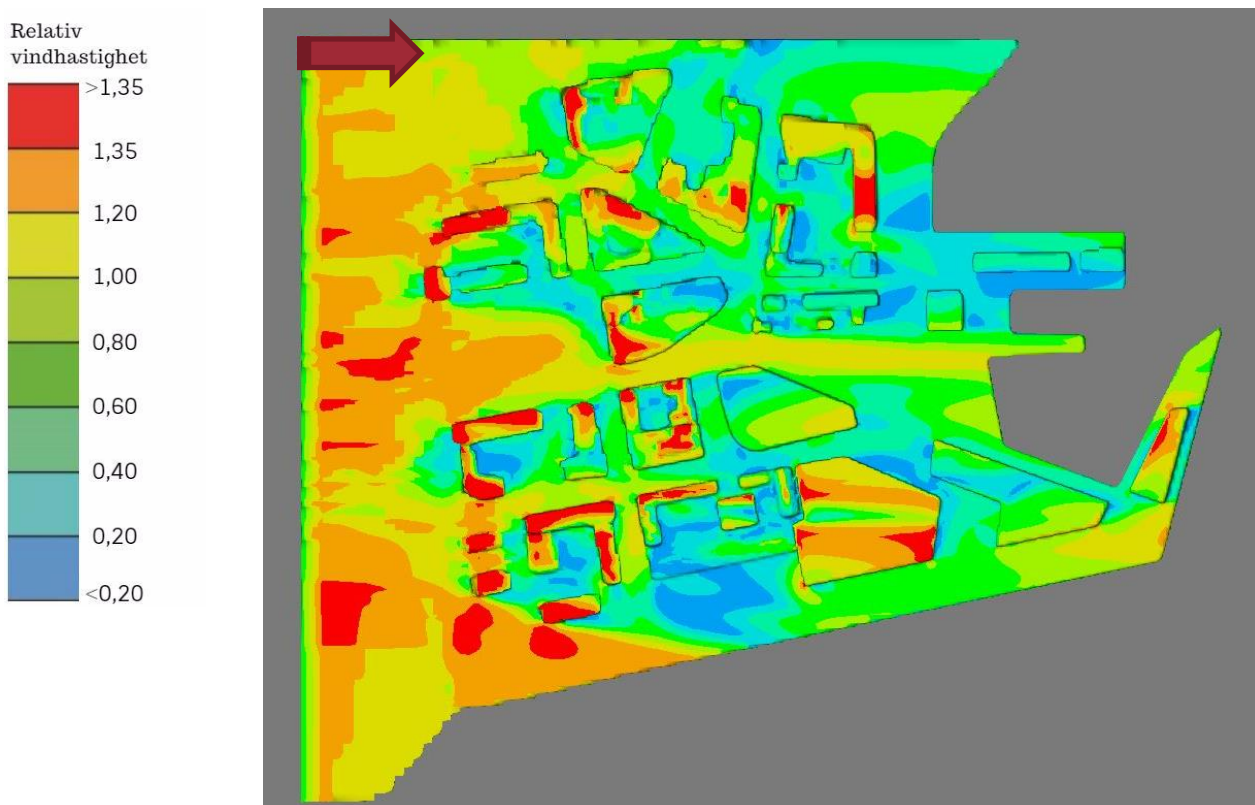
Figur 55. Relativ vindhastighet i personhøyde rundt framtidig utbygning. Vind fra NNØ.



Figur 56. Relativ vindhastighet i personhøyde rundt torget og kystsone mellom Damskipskaia og Larsneset. Vind fra NNØ.

## 5.2 Vind fra SSV

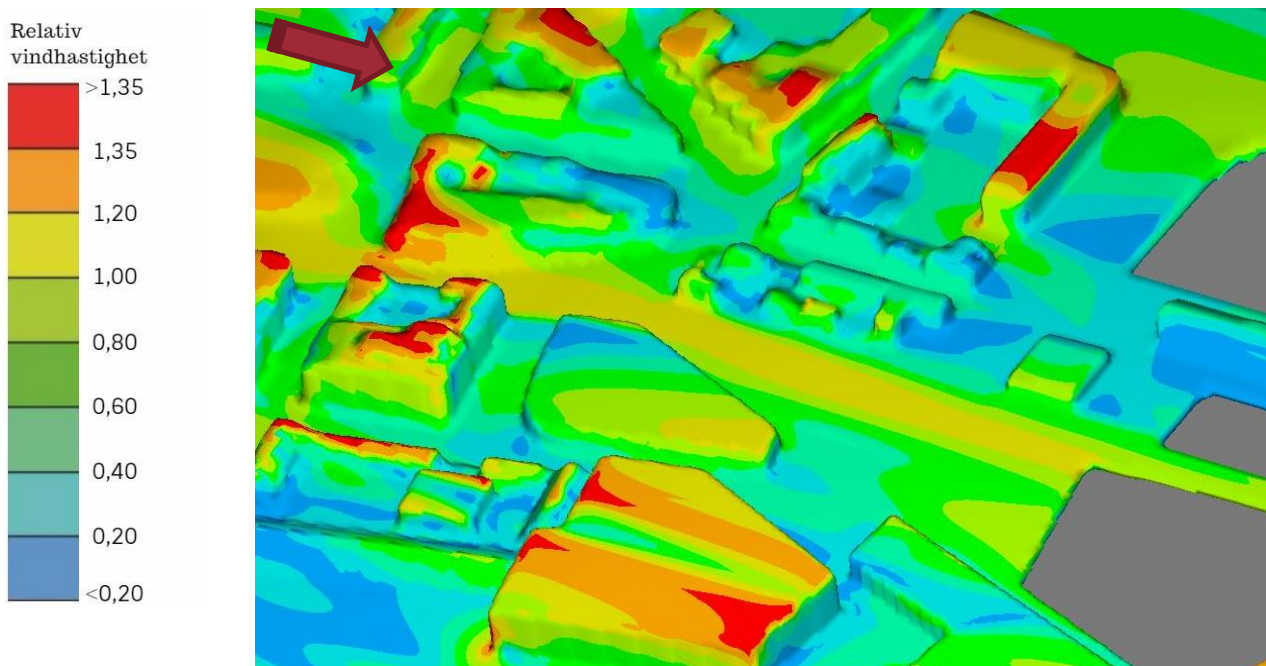
Resultater fra simulering med dominerende sør-sørvestlig vind fremgår av figurer 57-59. Horisontalsnittet under viser økning av vindhastighet i alle soner som er definert med gul, oransje og rød farger og relativ vindhastighet på fotgjengernivå høyere enn 1.



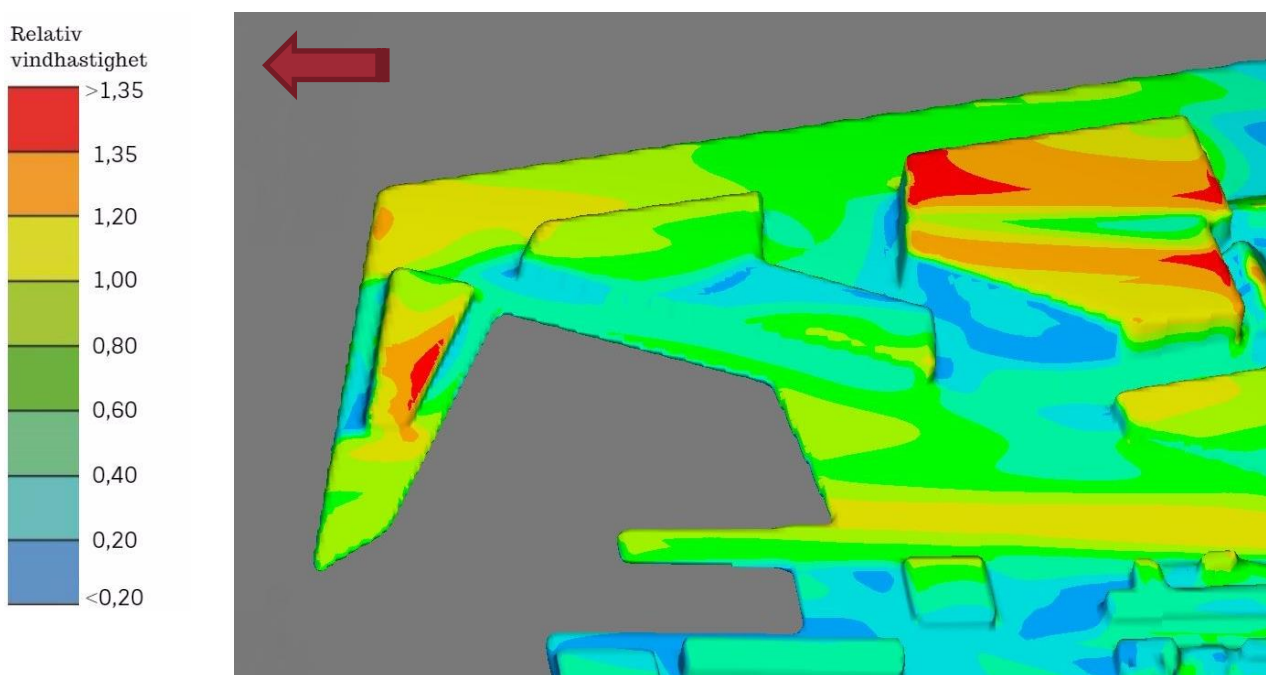
Figur 57. Horisontalsnitt av vindfelt i plan ca 1,75 m over terreng. Vind fra SSV mot Harstad sentrum. Relativ vindskala.



Den største konsekvensen fra SSV vind vil oppleves på grunn av korridoreffekten. Langs Storgata vil vinden rettes inn mellom husene og danne forsterkningsfelt langs torget. Samtidig er gangfelt i Storgata ved kryss og passasje ved hjørner er mest eksponerte mot vind på grunn av turbulens. Dessuten skal Larsneskaia være delvis vindbelastet. Disse tilfeller fremgår av mer detaljerte bilder-perspektiver fra simulering:



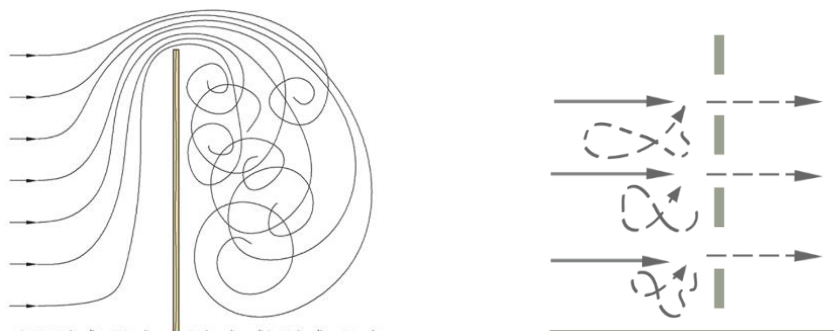
Figur 58. Relativ vindhastighet i personhøyde rundt torget. Vind fra SSV.



Figur 59. Relativ vindhastighet i personhøyde rundt forlenget Larsneskaia. Vind fra SSV.

### 5.3 Vinddempende tiltak

Ved planlegging av byrom i vindutsatte område bør det prosjekteres skjerming for å skape effektive lesoner. Gjennomtrengelige strukturer som beplantninger og delvis åpne skjermer anbefales som mer effektive (Sundsbo, 2014). Tette skjermvegger danner turbulenssone på baksiden som vist i figur 60. For å redusere turbulensproblemene bør material av skjermen dekke 70-80% av vegoverflate (SINTEF Byggforsk, 2014).



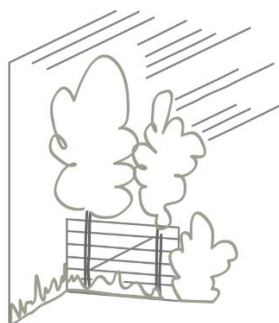
Figur 60. Utforming av skjermvegg med tett og gjennomtrengelig struktur (basert på SINTEF Byggforsk, 2014).

Den samme effekten kan vi treffe ved skjerming med grønnstruktur. Dempende effekt fra vegetasjon er avhengig av høyde, tetthet av vegetasjonsstrukturen og robusthet i løpet av hele året. Og det kan være utfordrende å bruke dem alene som avbøtende tiltak (Sundsbo, P.A., 2016b). I riktig kombinasjon av trær og busker kan det skapes effektive lesoner i hele året. Imidlertid vil vinden forsterkes under trekronene av løvtrærne (Sundsbo, 2014).



Figur 61. Kombinasjoner av trær og busker som gir forskjellige vindeffekter (inspirert av Asplan Viak, 2010).

I tillegg kan det kombineres kunstige skjermer med vegetasjon og benyttes i urban planlegging med forskjellige utforminger.



Figur 62. Eksempel på kombinert vindskjerm (basert på Sundsbø, P.A., 2016b).

## 5.4 Evaluering av grøntstruktur i Harstad.

«Eksisterende grønnstruktur i sentrum er generelt preget av lite grønt» (Asplan Viak, 2012). Det vises på utsnitt fra temakart av eksisterende grønnstruktur med respektive bilder under.



Figur 59. Grønnstruktur i Harstad sentrum (kart: Asplan Viak, 2012; foto: A.Zykova, mai 2017).

I sentrumsområde er stort sett tilpasset beplantninger til sommerperioden. Rogn og hengebjørk utfører sine hovedfunksjoner bare i 3-4 måneder av året. Men for å benytte skjermende effekt fra vegetasjonsstruktur bør planter være vintergrønne og robuste mot vær. Dessuten gjør lange vinter i Harstad og mørketid det nødvendig å ha i sentrum helårsbeplantning med estetisk hensyn.

Hele Norge fordelt i 8 herdighetsoner som benyttes for å bestemme hvilke plantetyper tåler hvilket klima. Ut fra det ligger Harstad region i sone 5. Vintergrønne busker og trær med tilsvarende overvintrigsevne som Taxus, Pinus, og Tsuga bør legges til grunn for prosjektering av skjermings tiltak.



## 5.5 Anbefalinger av løsningsprinsipper

For å oppsummere alle vindutsatte soner nevnt i kapittel 6.1 og 6.2 vil størst behov for skjerming oppstå på torget. Det er vist gunstige vindforhold for myke trafikanter men det kan skapes ubehag for stillesittende opphold. Derfor er det viktig å oppgradere eksisterende grønnstruktur slik at vindstrøm fra SSV langs storgata delvis endrer vindmønster. På samme måte kan eventuelt torget skjermes mot sjøfronten med flere åpninger for å beholde siktlinje. Imidlertid må ikke avbøtende tiltak skape hindringer for fotgjengere og bør de være utformet i riktig kombinasjon med design av det framtidige byrommet.

Kai- og kystsoner i nordnorsk klimaet benyttes hovedsakelig som rekreasjonssoner bare når værforholdene tillater dette (Sundsbø, 2013). Imidlertid anbefales å etablere skjerming på hjørne av utvidet Larsneskaia for å beskytte området som skal benyttes av passasjerer av hurtigruter uavhengig av været. Disse løsninger er samlet i figur under:



Figur 60. Prinsipper for plassering av foreslåtte vinddempende tiltak som betegnet med oransje linje i framtidig situasjon. (inspirert av Harstad tidene, 2017a)

Det bør også vurderes skjermingstiltak ved hjørnet i Storgata, her oppstår uheldige vindeffekter ved vind fra SSV slik det ble beskrevet tidligere i kapittel 5.2. Plassering er markert i figur 61 som rød sirkel. Med eksisterende utforming av konstruksjonen skapes nedslagsvinden som kan reduseres ved etablering av takutstikk i forlengelse av takk fra nabobygg.



Figur 61. Prinsipp for løsning som reduserer nedslagsvind.

## 6 Konklusjon

Formålet med masteroppgaven var å gjennomføre en lokal vindanalyse av Harstad sentrum. Fokusområde avgrenset av gågatesystemet, utvidet torgarealet kystzone mellom Larsneset og Dampskipkaia og utbygging ved utvidelse av Larsneset. Denne kompakte strukturen har dominerende plass i byens historie og stort potensiale for utvikling til attraktivt byrom. Gjennom kommunedelplanen tilrettelegges framtidige endringer med fokus på byutvikling, universell utforming utvikling av havn og klima - og samfunnsikkerhet.

Analyse basert på dominerende sommer- og vintervindretninger, eksisterende terrengformasjon og geometri av bygningsstruktur som tegnet i samsvar med plankart for sentrumsplanen. Oppbygget 3D- modell eksklusivt mindre strukturer og vegetasjon er simulert numerisk. Resultater viser tendenser i vindmønsteret som er tilstrekkelig for å gjennomføre kvalitativ vurdering av vindforhold med fokus på fotgjengerkomfort og sikkerhet i uteområder.

Det anslås at det ikke vil oppstå noen merkbare problemer med henhold til vindsikkerhet. Meteorologisk statistikk viser at gjennomsnittlig vindhastighet er relativt lav og de sterkeste vinder oppstår sjelden.

Anbefalte vinddempende tiltak i form av vegetasjon og delvis åpne skjermer avgrenser hovedsakelig torgarealet for å redusere gjennomgående vindstrømning og skape klimakomfort for stillesittende opphold.

## 7 Videre arbeid

Videre blir det nødvendig å utføre fagutredning for grønnstrukturen som bl.a. gir anbefalinger til de mest passende arter av busker og trær til lokalklima etter vurdering av overvintringsevne, evne til å akkumulere svevestøv og utforming. Dette studiet skal benyttes i detaljprosjektering av utforming av uteområder og fotgjengerområder sammen med vindanalyse, solanalyse og andre utredninger til kommunedelplanen.

## Literaturliste

- ASABE Standard, 2004, Measurement and reporting practices for automatic agricultural weather station, ASAE EP505 APR2004.
- ASHRAE, 2001, Fundamentals Handbook, Chapter 16: Airflow around buildings.
- Asplan Viak, 2010, Brøset Lokalklimaanalyse, <https://www.arkitektur.no/brosetlokalklimaanalyse?pid=NAL-EcoPublication-Attachment> (25.03.2017).
- Asplan Viak, 2012, Forprosjekt Harstad sentrum med fokus på universell utforming.
- Asplan viak, 2015, Trafikk- og samferdselsutredning KDP for Harstad sentrum.
- Bhandari, N.M., Krishna, P. & Kumar, K., 2006, Wind loads on Buildings and structures, Indian institute of technology Roorkee.
- Bjerg, S.N., 2012, Vindmiljø i arkitekturen, Arkitekt skolens Forlag, Danmark.
- Blocken, B. & Carmeliet, J., 2003, Pedestrian wind environment around buildings: Literature review and practical examples, Netherlands, [https://www.ara.bme.hu/oktatas/tantargy/NEPTUN/BMEGEATMG16/2010-2011-II/ea/blocken\\_pedestrianWindEnvironment.pdf](https://www.ara.bme.hu/oktatas/tantargy/NEPTUN/BMEGEATMG16/2010-2011-II/ea/blocken_pedestrianWindEnvironment.pdf) (26.03.2017).
- Bottema, M., 1993, Wind climate and urban geometry, Technische Universiteit Eindhoven.
- Bundy, D.S., Chen, Y.C. & Hoff, S.J., 1998, Modeling the variation of wind speed with height for agricultural source pollution control, Iowa State University.
- Bussel, G.J.W., 2008, Technical University Delft, [http://mstudiobackboard.tudelft.nl/duwind/Wind%20energy%20online%20reader/Static\\_pages/local\\_winds.htm](http://mstudiobackboard.tudelft.nl/duwind/Wind%20energy%20online%20reader/Static_pages/local_winds.htm) (15.03.2017).
- Børge, A.B., 1987, Hus og husgrupper i klimautsatte, kalde strøk. Utforming og virkemåte, Arkitekthøgskolen i Oslo, Bodø.
- Børve, A.B., 1992, Klima og luftmiljø i areal- og bebyggelseplanlegging, Miljøverndepartementet, Oslo, <http://www.nb.no/nbsok/nb/5015b99f7747fe41a81740785785c7b3?index=3#3> (25.03.2017).
- Cappelen, A.J., 2013, Det globale vindsystem, DMI, Danmark, <https://www.dmi.dk/laerom/temaer/vejr/vejrgudernes-hvirvlende-dans/det-globale-vindsystem> (25.03.2017).
- Cermak, J.E., Devenport, A.G., Plate, E.J. & Viegas, D.X., 2013, Wind Climate in Cities, Springer Science & Business Media.
- Cermak, P.E. & Jack, E., 2006, Nature of air flow around buildings, [http://www.aivc.org/sites/default/files/airbase\\_2006.pdf](http://www.aivc.org/sites/default/files/airbase_2006.pdf) (25.03.2017).
- Ebrahimabadi, S., 2015, Doctoral thesis: Outdoor comfort in cold climates, Luleå University of Technology.
- Edvardsen, K.I. & Ramstad, T., 2014, Trehus, SINTEF akademisk forl., Oslo.
- Frederiksen, O.F., 2013, Lokalklimaanalyse for Skårer syd., Kjeller Vindteknikk.

- Gehl, J., Gemzøe, L., Kirknæs, S. & Søndergaard, B., 2006, Det nye liv, Arkitektens forlag.
- Gjerstad, F.O., Hanssen, S.O., Skarstein, Ø. & Thue, J.V., 1996, ENØK i bygninger – håndbok for planlegging, gjennomføring og oppfølging, SINTEF akademisk forl., Oslo.
- Gjevik, B., 2009, Innføring i fluidmekanikk, Universitet i Oslo.
- Grimenes, A.A., Jerstad, P. & Sletbar, B., 2011, Fluidmekanikk, Universitet i Oslo.
- Grimmond, C.S.B. & Oke, T.R., 1998, Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form, Journal of applied meteorology.
- Guttu, J. & Thoren, A.K.H., 1996, Fortetting med kvalitet – Bebyggelse og grønstruktur, Miljøverndepartement.
- Handeland, V. & Vestbø, K.M., 2001, Simulering av gass og væskeparasjon ved hjelp av CFD.
- Harstad kommune, 2016a, Planbeskrivelse, Kommunedelplan for Harstad sentrum <http://www.harstad.kommune.no/kunngjoering-av-planvedtak-kommunedelplan-for-harstad-sentrum.5939020-178192.html> (14.04.2017).
- Harstad kommune, 2016b, Kommunedelplan for Harstad sentrum 2015-20205, Temarapport: Byrom og bylandskap, <http://www.harstad.kommune.no/analyser.344459.no.html> (14.04.2017).
- Harstad kommune, 2016c, Plankart til kommunedelplan for Harstad sentrum, <http://www.harstad.kommune.no/kunngjoering-av-planvedtak-kommunedelplan-for-harstad-sentrum.5939020-178192.html> (14.04.2017).
- Harstad kommune, 2016d, Temakart til kommunedelplanen for Harstad sentrum, Byrom og rekreasjon, <http://www.harstad.kommune.no/temakart.344460.no.html> (14.04.2017).
- Harstad kommune, 2016e, Kommunal planstrategi 2016-2019, <http://seljebs.com/kommunal-planstrategi-2016-2019.5880628.html> (1.05.2017).
- Harstad kommune, 2016g, Temakart til kommunedelplanen for Harstad sentrum, Stedsanalyse, <http://www.harstad.kommune.no/temakart.344460.no.html> (14.04.2017).
- Harstad tidene, 2017a, Her er sentrumsplanen, <http://ht.alda.no/bestillplus?1&artRefId=10930661&aviskode=HT&targetUrl=http%253A%252F%252Fwww.ht.no%252F%253Fservice%253DpaywallRedirect%2526articleUrl%253Dhttp%253A%252F%252Fwww.ht.no%252Fincoming%252Farticle10930661.ece> (1.05.2017)
- Holm, H. & Steen, S., 2013, Havromteknologi: motstand og framdrift, NTNU, Trondheim.
- Jørgensen, K., 2016, Delutredning Lokalklima: Nytt regjeringskvartal, Statsbygg, Oslo.
- Klimatilpasningssekretariatet, 2012, Veileder: Klimatilpasning, Miljøverndepartementet/Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap.
- Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2008, Lov om planlegging og byggesaksbehandling, <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71> (14.03.2017)
- Krog, A.W., Lehar, R. & Snelvedt, T., 2009, Bacheloroppgave: CFD-analyse for Statens Havarikommisjon for transport, Universitet i Agder.

Li, B. & Makvandi, M., 2016, Urban Morfology and Microclimate: Street Design and Layout Effects on Air and Solar Access in Urban Canyons, 2<sup>nd</sup> International Conference on research in civil engineering, architecture, urban planning and sustainable environment, Istanbul.

Lokalhistoriewiki, 2017, [https://lokalhistoriewiki.no/index.php/Torvet\\_\(Harstad\)](https://lokalhistoriewiki.no/index.php/Torvet_(Harstad)) (13.03.2017)

Madsen, T.L., 1988, Forelesningsnotat: Det termiske indeklima, Institut for bygninger og energi.

Marklund, S., 1997, Human responses to cold and wind, Department of Physiology and Pharmacology Karolinska Institutet, Stockholm.

Meteorologisk institutt, 2017a, Klimadata, [http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?\\_pageid=73,39035,73\\_39049&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_schema=PORTAL) (01.03.2017).

Meteorologisk institutt, 2017b, Harstad målestasjon, <https://www.yr.no/sted/Norge/Troms/Harstad/Harstad/statistikk.html> (01.03.2017)

MISSISSAUGA, 2014, Pedestrian wind comfort and safety studies, Planning and Building department, Mississauga.

Myrhaug, D. & Pettersen, B., 2011, Havrommet og havmiljøet, NTNU, Tromsø.

Navvab, M. & Varodompun, J., 2006, Pedestrians Comfort Index in Urban Settlements Using CFD Analysis, the University of Michigan.

Nitter, M., 2009, Klimarom: Klimaets avhengighet av skala og landskap, <https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/181456/Klimarom.pdf?sequence=5&isAllowed=y> (15.03.2017).

Njåstad, B. & Øseth, E., 2011, Arktis – en viktig brikke i klimasystemet, <https://uit.no/Content/463381/klimasystem.pdf> (15.03.2017).

Nordik innovation, 2010, Guide for arbeide i kulde, <http://www.nordicinnovation.org/Global/Publications/Reports/2002/Handbok%20for%20arbeid%20under%20kalde%20forhold.pdf> (03.04.2017).

Oliver, J.E., 2005, Encyclopedia of World Climatology, Springer, Netherlands.

Olsen, N.R.B., 2015, Hydromekanikk Kompendium del 2 og 4, NTNU, Trondheim.

Parsons, K., 2003, Human thermal environments, Second edition, ISBN 0-203-34618-1.

SINTEF Byggforsk, 1999, 421.501, Temperaturforhold og lufthastighet. Betingelser for termisk komfort.

SINTEF Byggforsk, 2005, 311.109 Klimaundersøkelser, <http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=47> (15.03.2017).

SINTEF Byggforsk, 2014, 517.551, Skjerming av uteplasser, [https://www.byggforsk.no/dokument/277/skjerming\\_av\\_uteplasser](https://www.byggforsk.no/dokument/277/skjerming_av_uteplasser) (17.04.2017).

Spirn, A.W., 1986, Air quality at street level: strategies for urban design, Boston Redevelopment Authority.

Statistisk sentralbyrå, 2016, <http://www.ssb.no/286024/tettsteder.folkemengde-og-areal-etter-kommune.1.januar-2016> (17.03.2017).

Størkersen, E.G., 2016, Masteroppgave i teknologi, Lokalklimaanalyse for bygg og utemiljø, UIT, Narvik

Stellman, J.M., 1998, Encyclopedia of Occupational Health and Safety, Fourth edition, International Labour office, Geneva.

Sundsbo, P.A., 2013, Lokalklimaanalyse -Vind & Snødrift rundt KU Sjøkanten Senter.

Sundsbo, P.A., 2014, Vindskjerming av Nye Gamlinger, <http://docplayer.me/1040824-Vindskjerming-av-nye-gamlingen-utendørsbasseng-i-stavanger.html> (02.05.2017).

Sundsbo, P.A., 2015, Analyse av lokale vindforhold rundt Kvartal 30 i Bodø.

Sundsbo, P.A., 2016a, Lecture notes Fluid Mechanics, UIT, Narvik.

Sundsbo, P.A., 2016b, Analyse av lokale vindforhold rundt Blaklieggen.

Sundsbo, P.A., 2016c, Analyse av vind & snødrift rundt Prostneset havneterminal.

Sør-Troms museum, 2017a, <https://digitaltmuseum.no/021015821733/harstad-sentrum-med-dampskipskaia-og-kullkranen-pa-larsneset-i-forgrunnen> (13.03.2017).

Sør-Troms museum, 2017b, <https://digitaltmuseum.no/021015923964/rutebilstasjonen-og-torvet-med-biler-busser-drosjer-og-kiosk-reklameskilt?i=297&aq=text%3A%22sentrum%22%2C%22harstad%22> (13.03.2017).

Thue, J.V., 2014, Bygningsfysikk – grunnlag, NTNU, Trondheim.

Wieringa, J., 1992, Updating the Davenport roughness classification, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics.

Zhang, X., 2009, CFD simulation of neutral ABL flows, Technical University of Denmark.

Øseth, E., 2010, Klimaendringer I norsk Arktis- Konsekvenser for livet I nord, Norsk Polarinstitutt.



## Vedlegg A - Oppgavetekst

## MASTEROPPGAVE

for

**Anastasiia Zykova (540691)**

Våren-2017

# Lokalklimaanalyse for utbyggingsprosjekt

(Analysis of local climate effects for development project)

This document is the formal assignment and task description for a master's thesis project at University of Tromsø (UiT). The master's thesis project may be given in collaborating with industry partner or external research institute. Changes may be done with respect to the content and extent of the project. The given title of this master thesis project is to be regarded as a working title and may be slightly change during this project. However, such changes should be discussed with all parties and must be approved by the main supervisor at the UiT.

### Bakgrunn

Kommunene har primæransvaret for arealplanleggingen i Norge og arealplanlegging etter Plan og bygningsloven. PBL krever at det i planleggingen av et foretak generelt skal tas klimahensyn. For å sikre at ethvert tiltak får en sikker, forsvarlig og tilsiktet levetid, skal det videre ved prosjektering og utførelse tas særlig hensyn til geografiske forskjeller og klimatiske forhold på stedet. Byggverk og uteområdet skal ha sikkerhet mot naturpåkjenninger (skred, flom, sjø, vind, snø). Utendørs oppholds- og aktivitetssoner skal utformes slik at fare for personer unngås og skal etter sin funksjon være egnet for planlagt aktivitet for ulike aldersgrupper.

Kommunene kan/skal gjennom føringer til arealplanen, kreve at det gjennomføres de nødvendige lokalklimatiske vurderinger og tiltak. Lokalklimaanalyser har ofte et fokus på å analysere prosjektets eventuelle negative konsekvenser for omkringliggende områder. I for liten grad har slike vurderinger vært benyttet til sette føringer for bygningenes utforming, materialvalg, tekniske løsninger ift klimaskjerm og utnyttelse av uteområdene. Vind påvirker komfort og personsikkerhet ved uteopphold og er ofte den mest påvirkende lokalklimatiske parameter. Det skilles her mellom mekaniske og termiske vindpåvirkning. Lokalklimaanalysen skal sikre at nybygging ikke medfører uheldige klimatiske effekter på utbyggingsprosjektet og for omliggende bebyggelse med tilgrensende uteområder. I denne oppgaven skal det utføres en utvidet lokalklimavurdering for et utvalgt case. Dette i forhold til lokalklimatiske parametere og aktuelle avbøtende tiltak for å redusere virkning av disse.

### Hovedproblemstilling

Utføre en utvidet lokalklimaanalyse for et valgt utbyggingsprosjekt (case) med anvendelse av state-of-the-art simuleringsteknikker for modellering av vindrelaterte virkninger på, og rundt, bygningene. Oppgaven kan være å gjøre en analyse for et delvis ferdigstilt prosjekt, for å kunne iverksette avbøtende tiltak, som skjerming i utsatte områder. For regulering av nybygg eller endringer i eksisterende bebyggelse, vil det være aktuelt å vurdere hvilke klimatiske effekter denne vil ha for omliggende bebyggelse med tilgrensende uteområder.

Det skal generelt legges vekt på en systematisk oppbygging av oppgaven i forhold til lokalklimatiske parametere, virkning og aktuelle avbøtende tiltak for å redusere virkning av disse. I den innledende fasen av masterprosjektet er det viktig å avklare hvilke reguleringsformål som gjelder for det aktuelle utbyggingsprosjektet. Utbygging for bolig-, skole-, barnehage-, hotell-, kontor- og industriformål har ulike krav til komfort og anvendelse av uteområdene.

Det er ofte forskjeller i vind- og værbelastning mellom åpne områder med spredt bebyggelse og tettere urbane områder. Rundt høyhus er nedslagsvind og vindkorridorer ofte en stor utfordring, mens for spredt bebyggelse vil mangel på skjermende nabostrukturer ofte være et problem. Kaiområder er ofte utsatt for vind og slagregn og bør tilrettelegges for aktuelt formål.

Reguleringsplaner omfatter ofte formål for tilhørende veg og samferdselsanlegg og dette må ofte inkluderes i klimaplanleggingen. Er prosjektet delvis igangsatt, skal det gjøres en vurdering i forhold til hvilke tiltak og endringer som kan iverksettes/foreslås.

Opgaven skal i hovedsak avgrenses til vindrelatert påvirkning (vind, slagregn, snødrift etc.). Utgangspunktet for analysen er aktuelle klimabelastninger for valgt case.

## Prosjektbeskrivelse masteroppgave

- ✳ **Innledende arbeid & forstudie** relatert til den aktuelle oppgaven, en naturlig forberedelse og klargjøring av det videre arbeid i prosjektet:
  - Valg av case for masteroppgaven, generell analyse av oppgavens problemstillinger og utforming av oppgavebeskrivelse/forståelse.
  - State-of-the-art undersøkelse med hensyn til metoder for lokalklimaanalyse og undersøkelse av aktuelle lover, regler, kravspesifikasjoner, retningslinjer, praktiske erfaringer og anbefalinger for tilrettelegging av utemiljø for aktuelle anvendelser.
  - Tidsplan for framdriften av prosjektet og begrensinger ift innhold og omfang.
- ✳ Analyse av stedlige forhold og lokalklimatiske parametere.
- ✳ Vurdering av kravspesifikasjoner i forhold til planlagt/tilsiktet disponering av aktuelle uteområder.
- ✳ Vurdering av byggtekniske hensyn som lokalisering av ventilasjonsåpninger, vinduer, rømningsveger osv.
- ✳ Numeriske simuleringer av vind rundt aktuelle bygningsvolum, som følge av fremherskende vindsektorer. Hvis hensynet til slagregn eller snødrift er aktuelt, skal dette inkluderes i analysen.
- ✳ Analyse av simuleringresultatene i forhold til planlagt/tilsiktet disponering av aktuelle bygningsvolumer, nabobebyggelse og omkringliggende utearealer.
- ✳ Identifisering av behov for avbøtende tiltak og eventuell utforming av skjermingstiltak, og simuleringer for å verifisere effekt av disse.
- ✳ Forslag til eventuelt fremtidig/gjenstående arbeid.

### Innledende arbeid & forstudie

Innen 4 uker etter at oppgaveteksten er utlevert skal resultatene fra det innledende arbeid og litteraturstudium være ferdigstilt og diskuteres med veilederne. Arbeidsplan og planlagte arbeidsoppgaver skal godkjennes av veilederne før kandidaten fortsetter med resten av hovedoppgaven. **Resultater fra det innledende arbeid inkluderes naturlig inn i innledningen og andre kapitler i masteroppgaven, dvs. det trenger ikke være utformet en egen forstudierapport.**

## Generelle krav til rapportering/besvarelse

Besvarelsen redigeres som en forskning/utviklingsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, referanser, innholdsfortegnelse etc. I tillegg til norsk tittel skal det være en engelsk tittel på oppgaven.

Påstander skal begrunnes ved bevis, referanser eller logisk argumentasjonsrekker. Måleresultatene vedlegges i både skriftlig og digitalt format. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig, velskrevet og godt dokumentert. Materiell som er utviklet i forbindelse med oppgaven, så som programvare/kildekoder eller fysisk utstyr, er å betrakte som en del av besvarelsen. Dokumentasjon for korrekt bruk av dette skal så langt som mulig også vedlegges besvarelsen.

Oppgaveteksten skal være en del av besvarelsen og plasseres foran *Forord*.

## Generelle retningslinjer

Dersom oppgaven utføres i samarbeid med en ekstern aktør, skal kandidaten rette seg etter de retningslinjer som gjelder hos denne, samt etter eventuelle andre pålegg fra ledelsen i den aktuelle bedriften. Kandidaten har ikke anledning til å foreta inngrep i den eksterne aktørs informasjonssystemer, produksjonsutstyr o.l. Dersom dette skulle være aktuelt i forbindelse med gjennomføring av oppgaven, skal spesiell tillatelse innhentes fra ledelsen.

Eventuelle reiseutgifter, kopierings- og telefon-/telefaksutgifter må bæres av studenten selv med mindre andre avtaler foreligger.

Hvis kandidaten, mens arbeidet med oppgaven pågår, støter på vanskeligheter som ikke var forutsatt ved oppgavens utforming, og som eventuelt vil kunne kreve endringer i eller utelatelse av enkelte spørsmål fra oppgaven, skal dette umiddelbart tas opp med veileder på UiT.

Besvarelsen leveres digitalt i MUNIN.

Utleveringsdato: 02.02.2017

Innleveringsdato: 15.05.2017

Kontaktperson bedrift: Areal- og byggesakstjenesten, Harstad kommune  
Børge Weines  
Telefon: 77 02 67 95  
E-post: borge.weines@harstad.kommune.no

Veileder UiT - IVT: Professor Per-Arne Sundsbø, Dr. Ing.  
Telefon: (+47) 769 66257 / 92 46 34 30  
e-mail: psu002@uit.no

---

Per-Arne Sundsbø  
Faglig ansvarlig/veileder

## Vedlegg B - Resultat fra numeriske simuleringer i Flow 3D

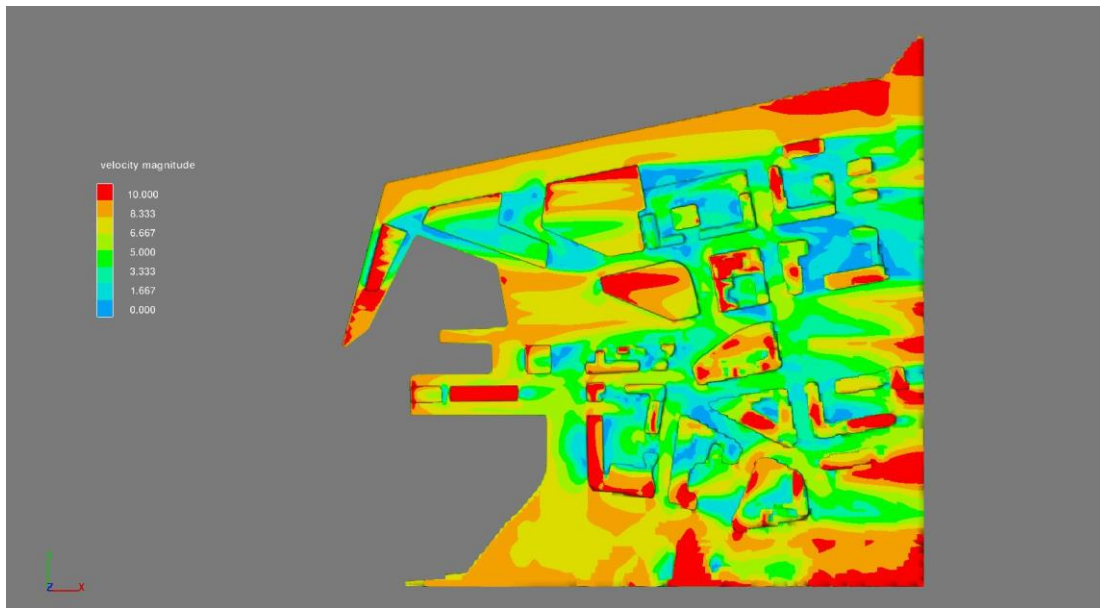
Det ble gjennomført 6 simuleringer. Resultater vist som bildeutsnitt i følgende rekkefølge:

Nr.	Vindretning	$u_{\text{ref}}(10)$	$u_{\text{ref}}(1,75)$	$z_0$	$u_*$
1	NNØ	10	7,6	0,01	0,6
2	NNØ	6,54	5,5	0,0002	0,248
3	NNØ	10	8,11	0,001	0,445
4	SSV	10	7,6	0,01	0,6
5	SSV	22,63	5,5	1	4,03
6	SSV	10	2,43	1	1,78

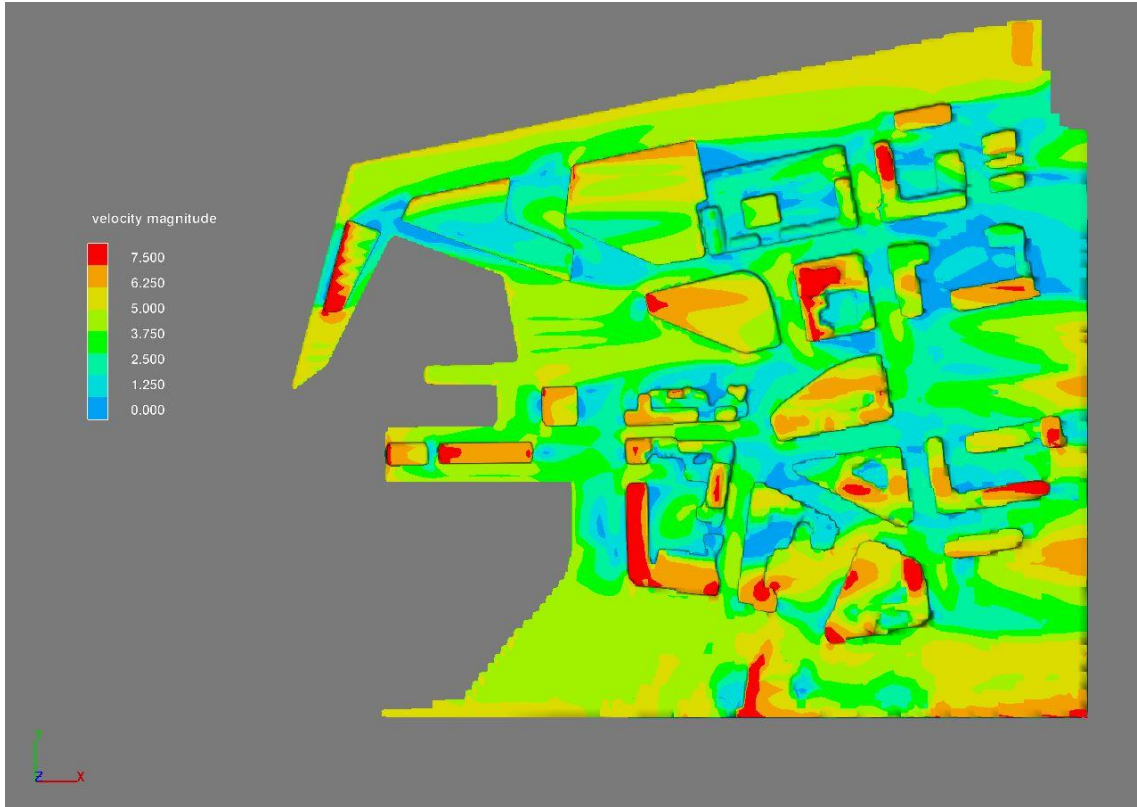
Vindhastigheter betegnet i fargeskala.



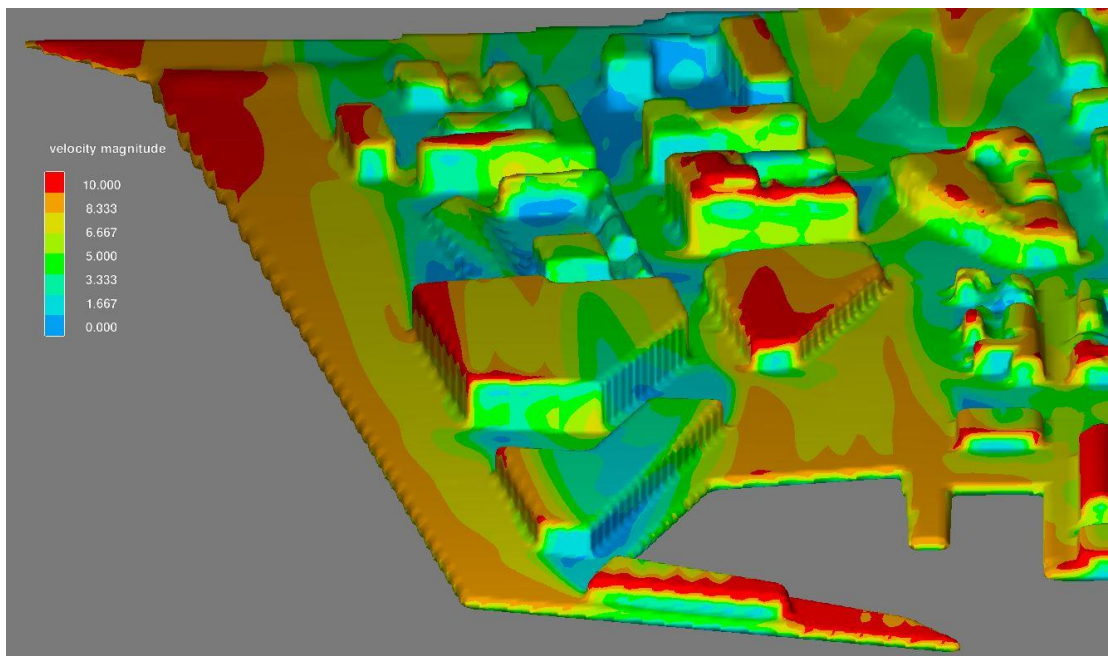
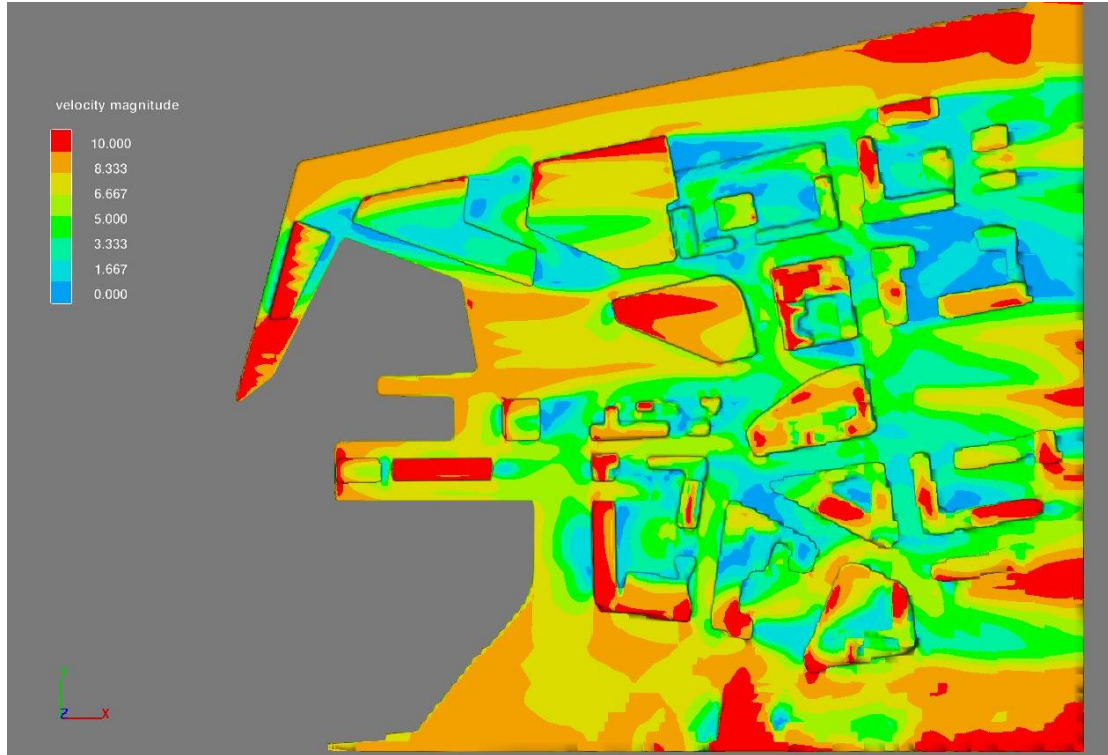
Nr.	Vindretning	$u_{\text{ref}}(10)$	$u_{\text{ref}}(1,75)$	$z_0$	$u_*$
1	NNØ	10	7,6	0,01	0,6



Nr.	Vindretning	$u_{\text{ref}}(10)$	$u_{\text{ref}}(1,75)$	$z_0$	$u_*$
2	NNØ	6,54	5,5	0,0002	0,248

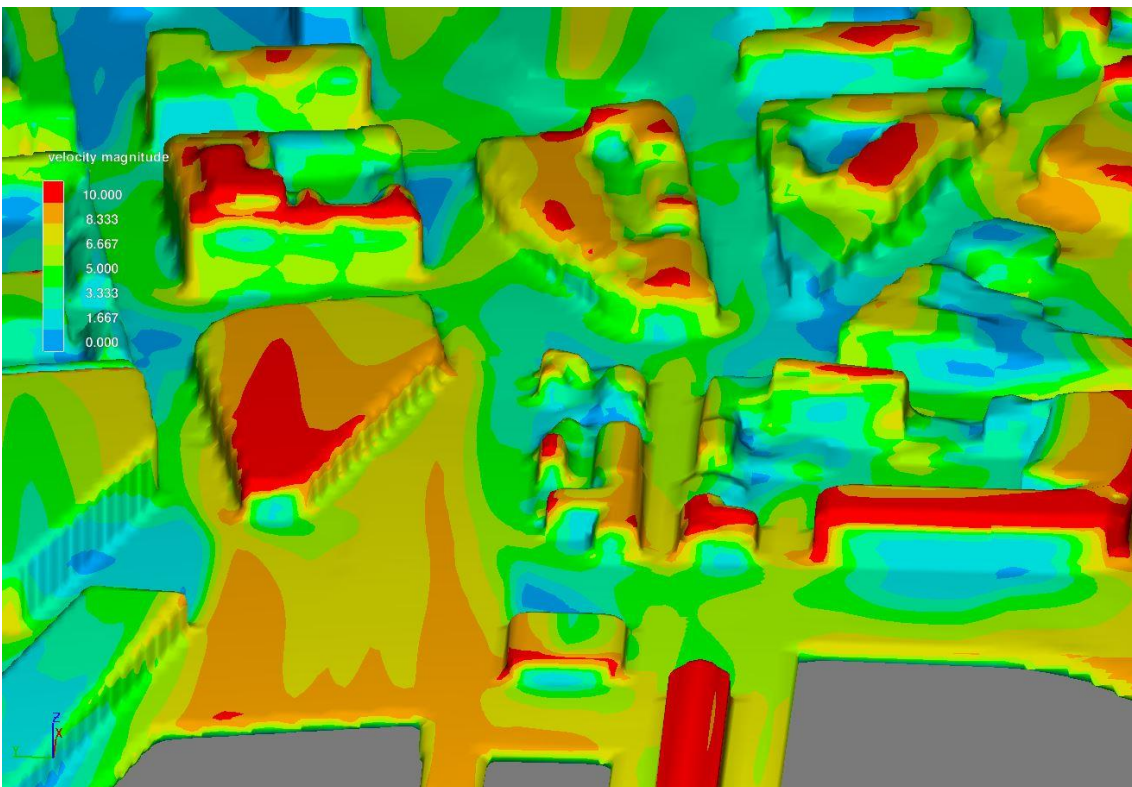
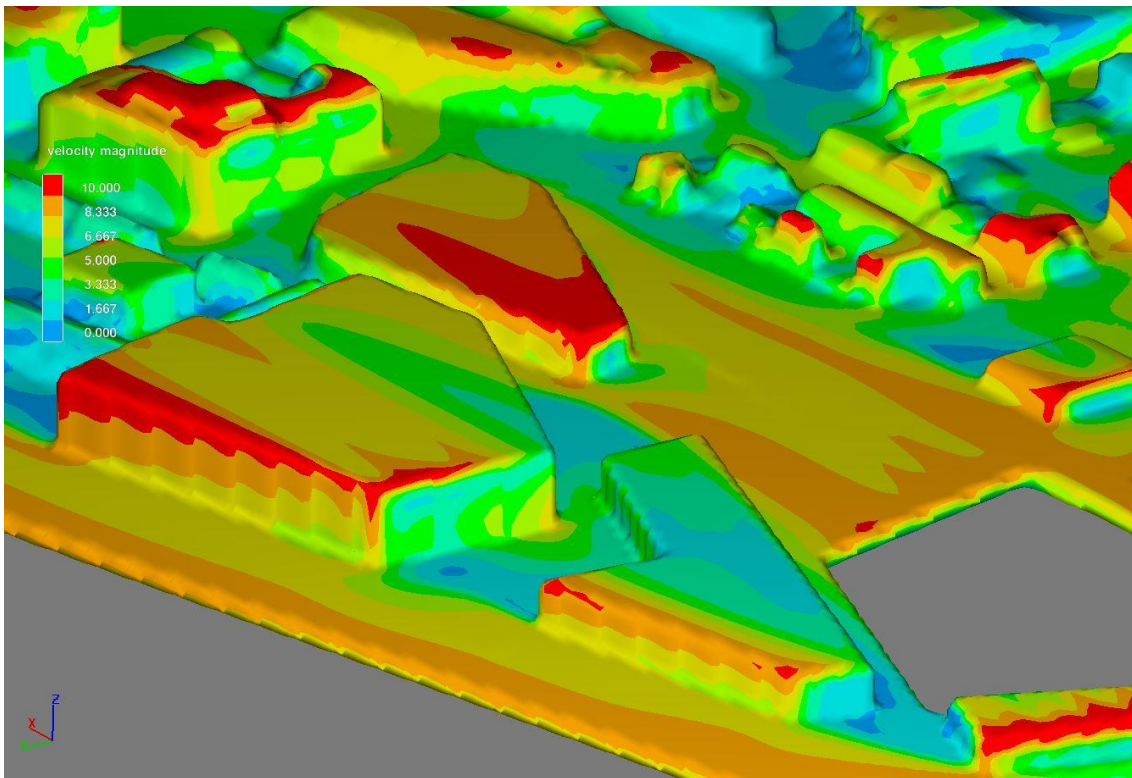


Nr.	Vindretning	$u_{ref}(10)$	$u_{ref}(1,75)$	$z_0$	$u_*$
3	NNØ	10	8,11	0,001	0,445

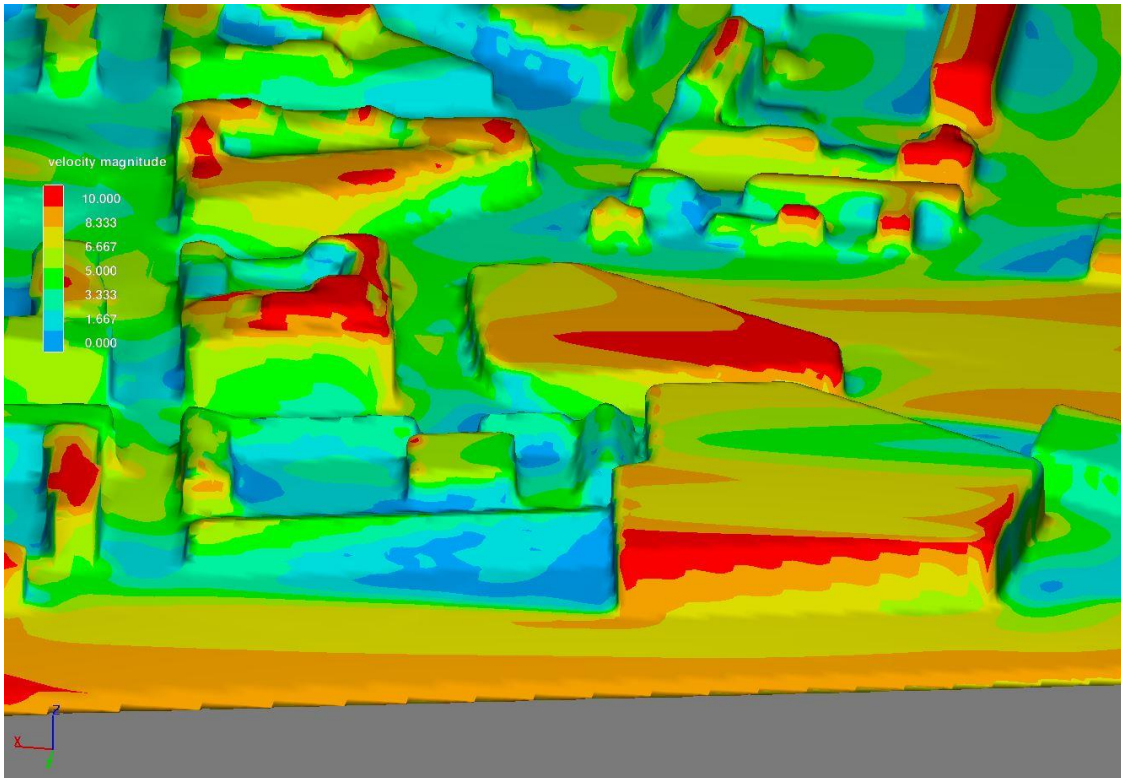
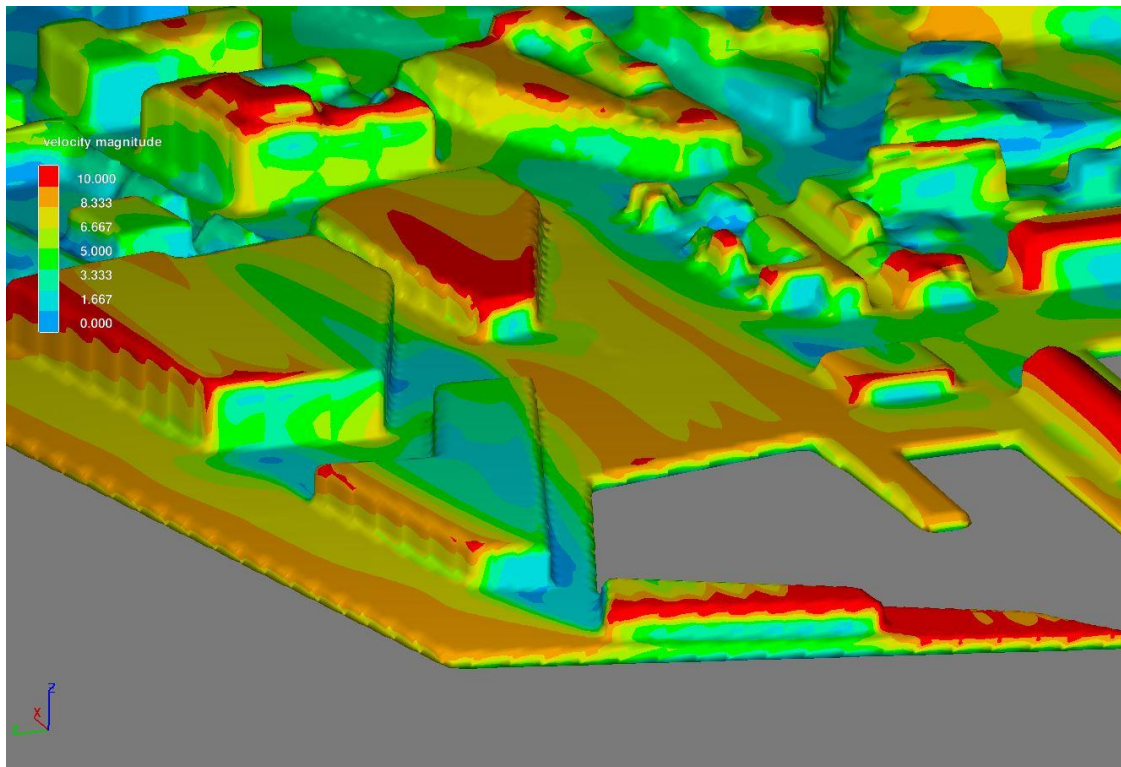




Nr.	Vindretning	$u_{ref}(10)$	$u_{ref}(1,75)$	$z_0$	$u_*$
3	NNØ	10	8,11	0,001	0,445

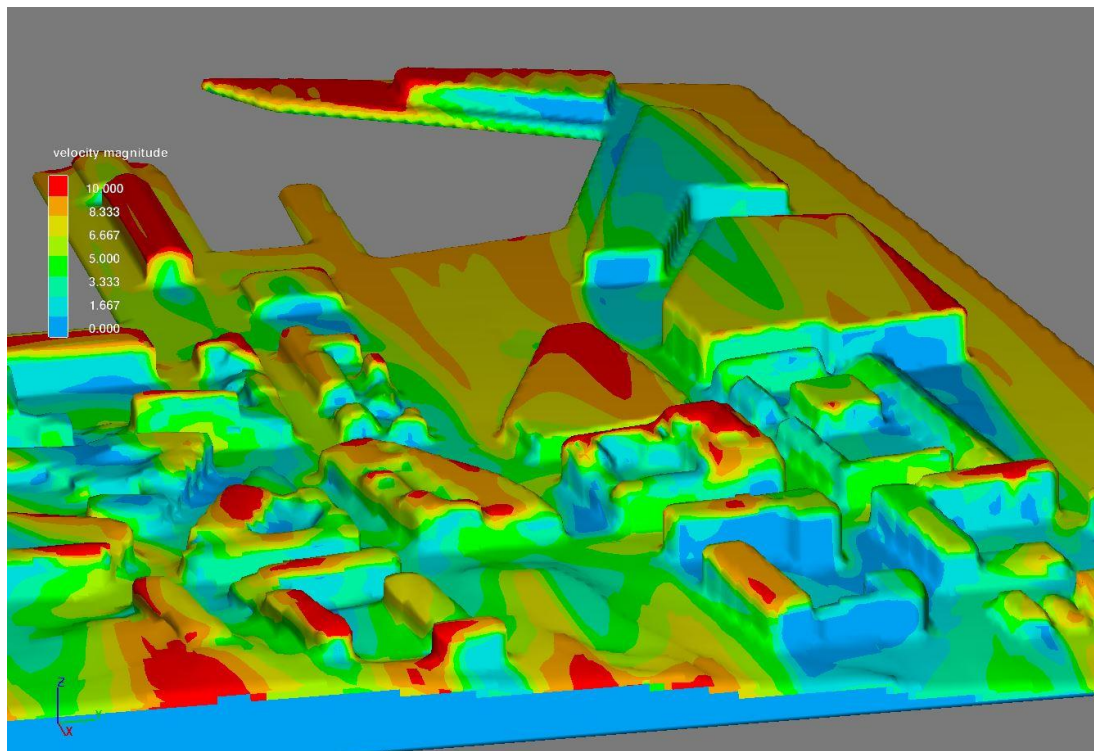
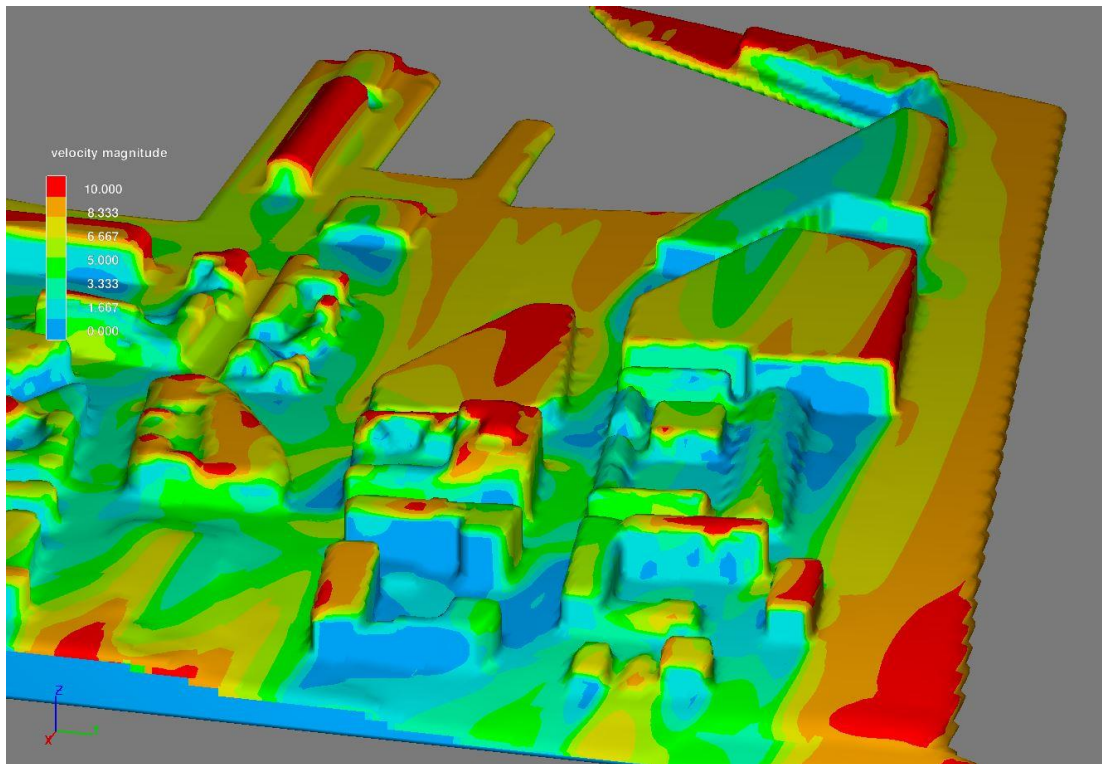


Nr.	Vindretning	$u_{ref}(10)$	$u_{ref}(1,75)$	$z_0$	$u_*$
3	NNØ	10	8,11	0,001	0,445

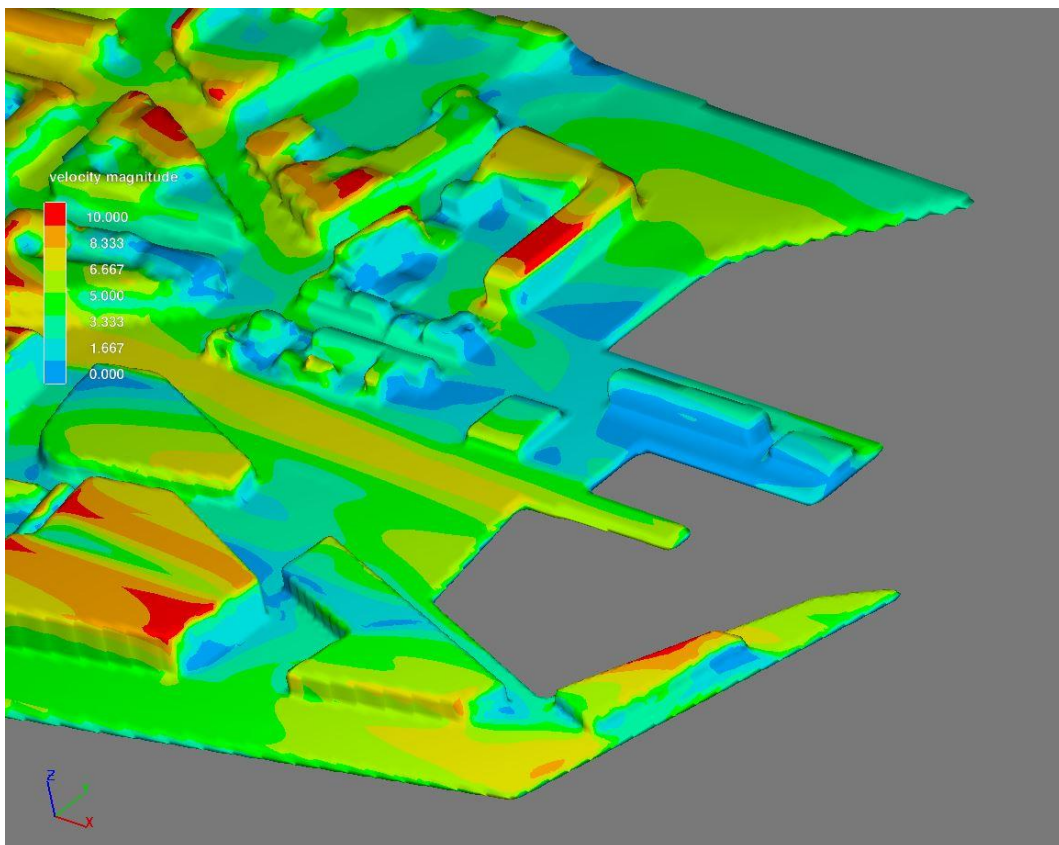
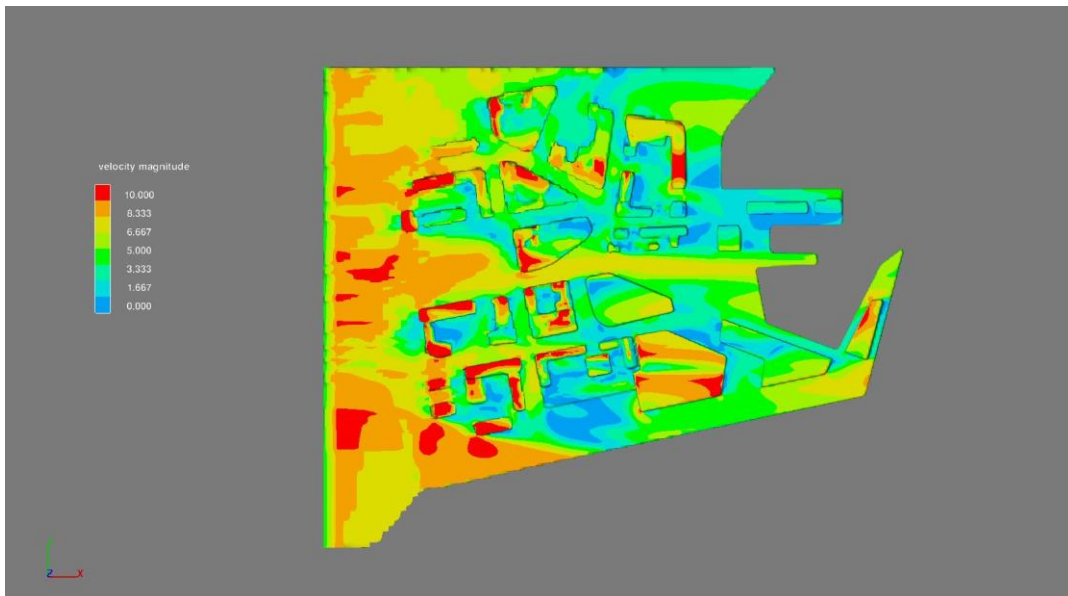




Nr.	Vindretning	$u_{ref}(10)$	$u_{ref}(1,75)$	$z_0$	$u_*$
3	NNØ	10	8,11	0,001	0,445

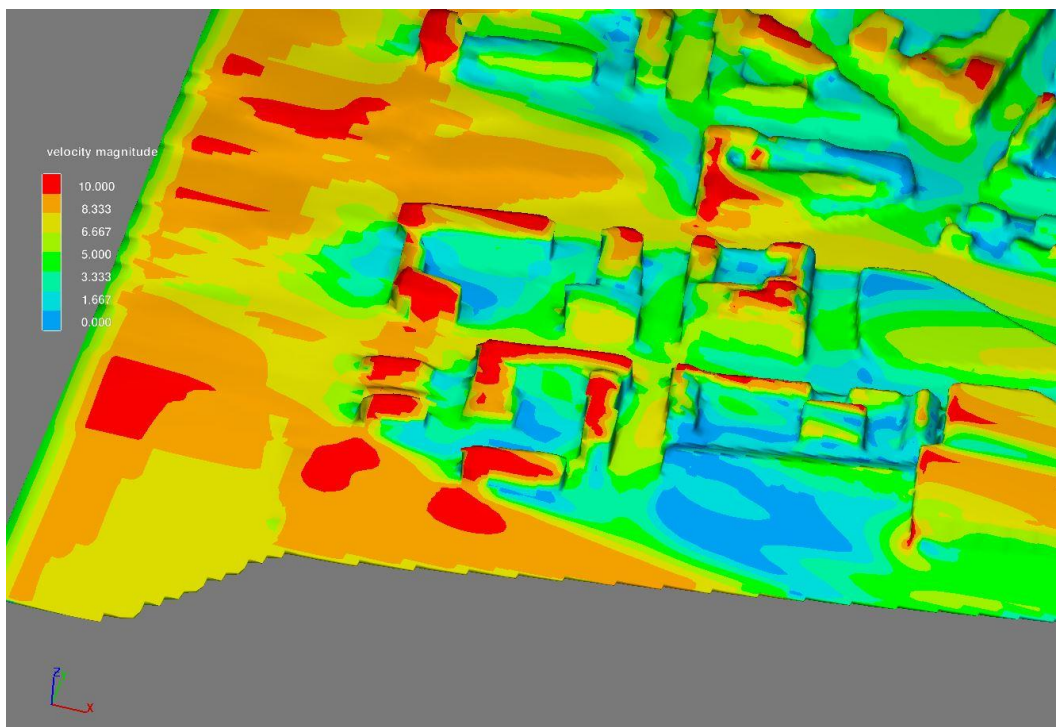
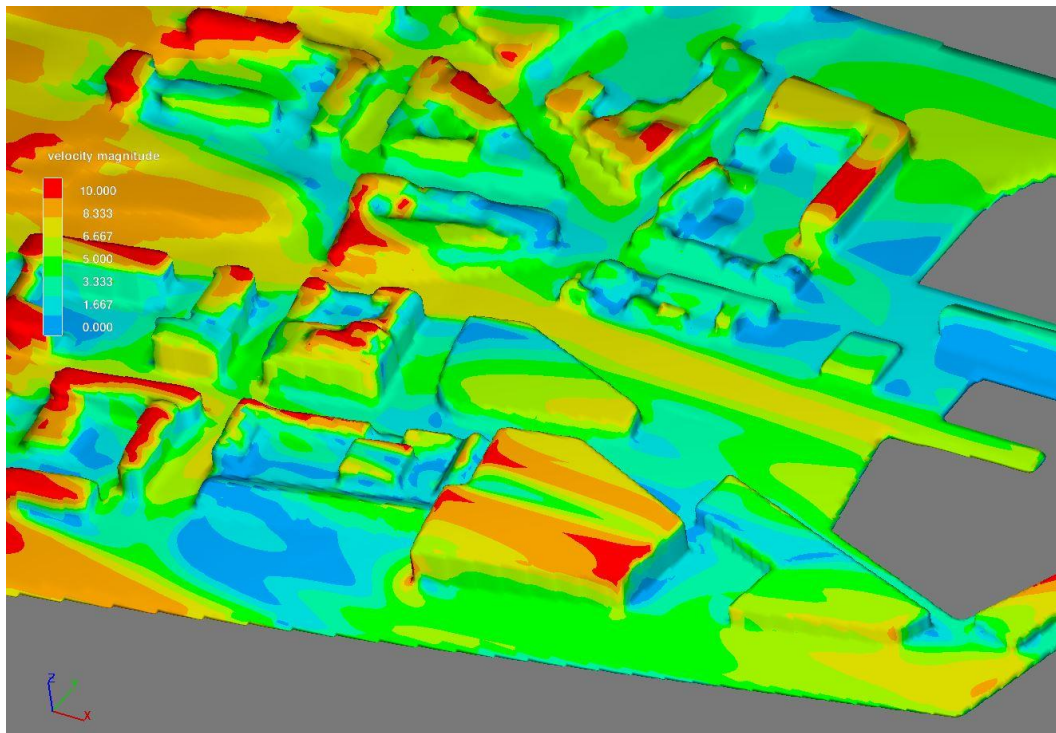


Nr.	Vindretning	$u_{\text{ref}}(10)$	$u_{\text{ref}}(1,75)$	$z_0$	$u_*$
4	SSV	10	7,6	0,01	0,6

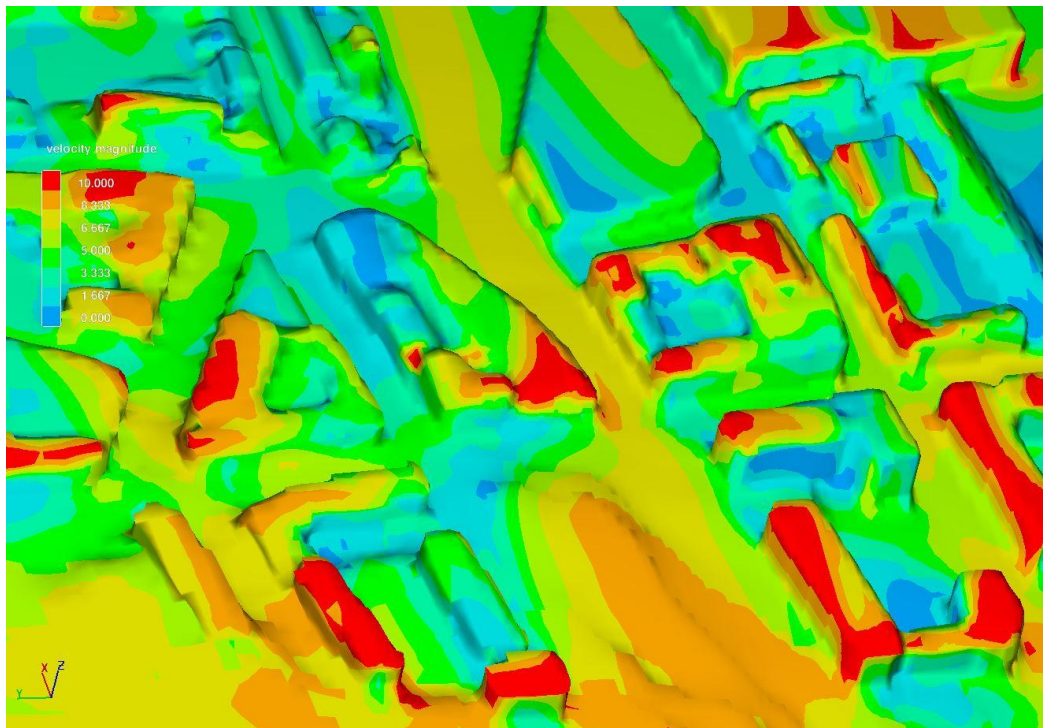
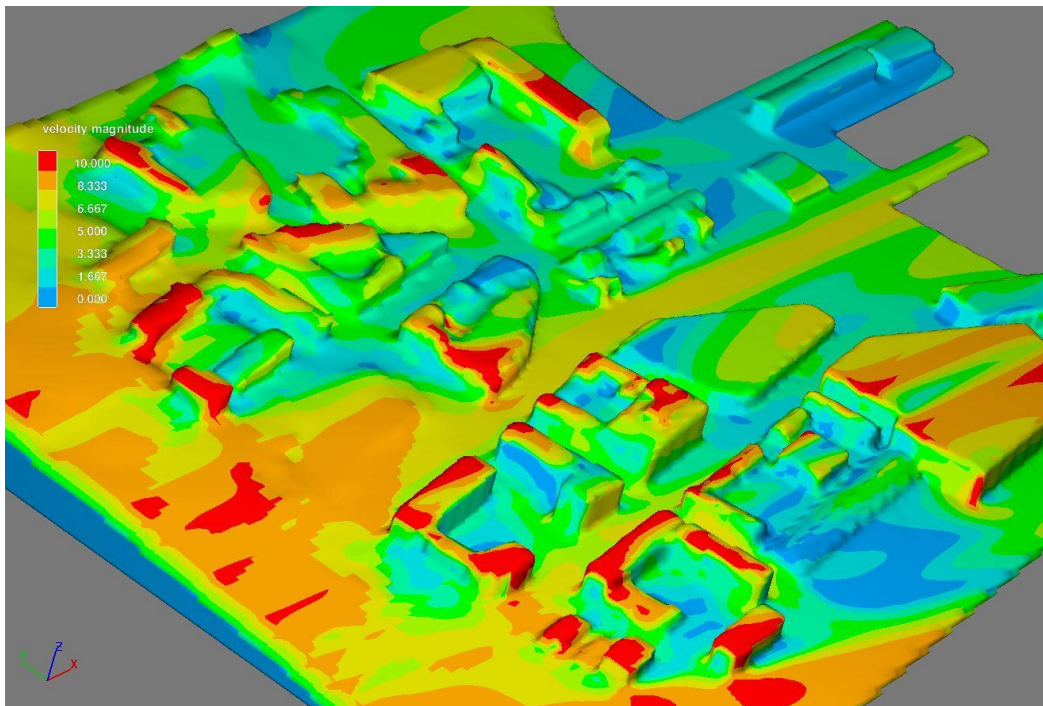




Nr.	Vindretning	$u_{ref}(10)$	$u_{ref}(1,75)$	$z_0$	$u_*$
4	SSV	10	7,6	0,01	0,6

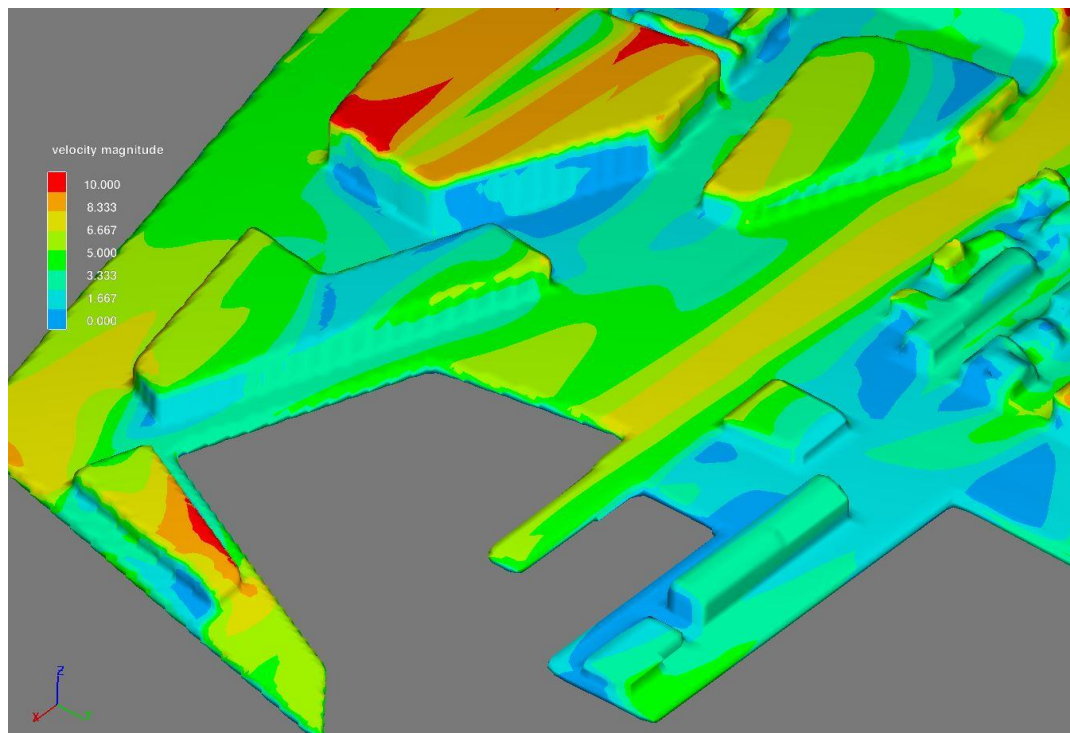
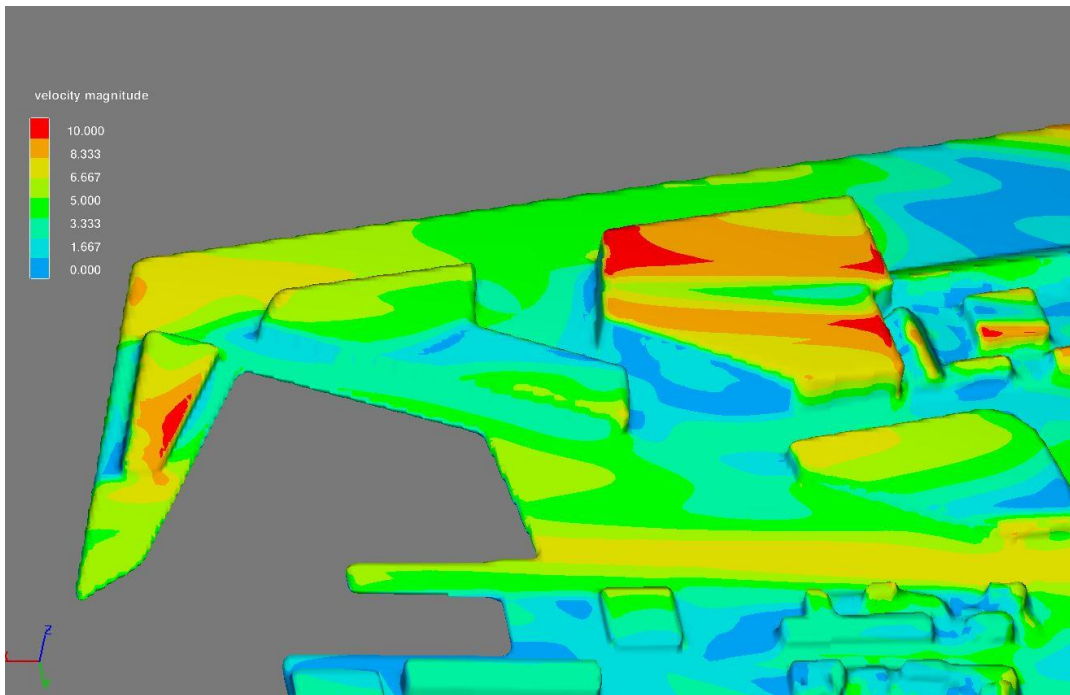


Nr.	Vindretning	$u_{ref}(10)$	$u_{ref}(1,75)$	$z_0$	$u_*$
4	SSV	10	7,6	0,01	0,6



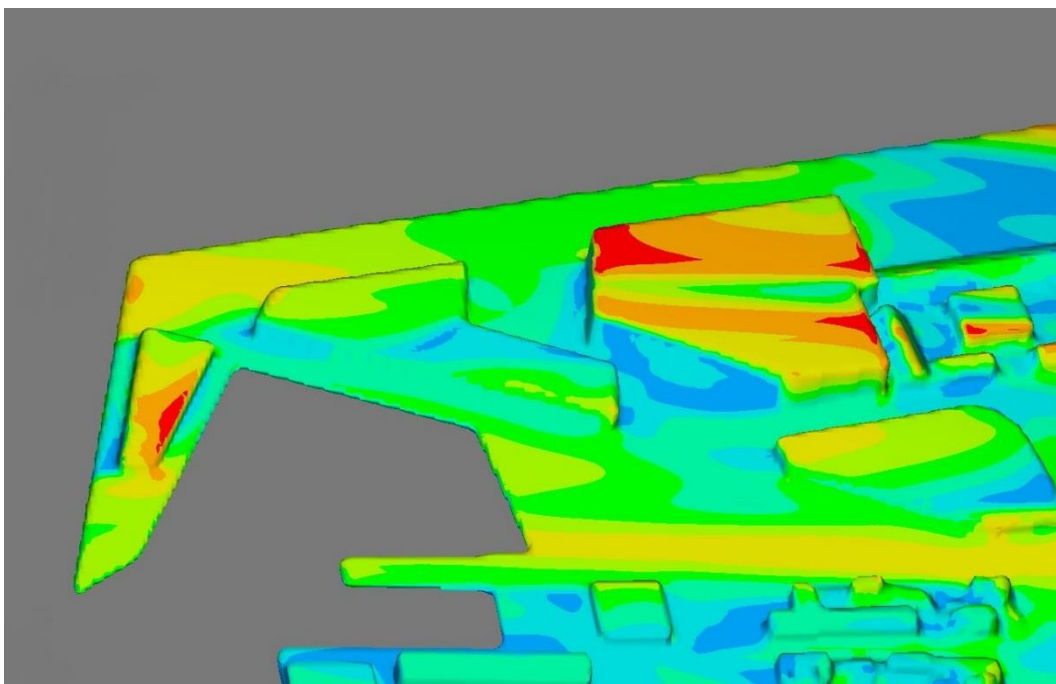
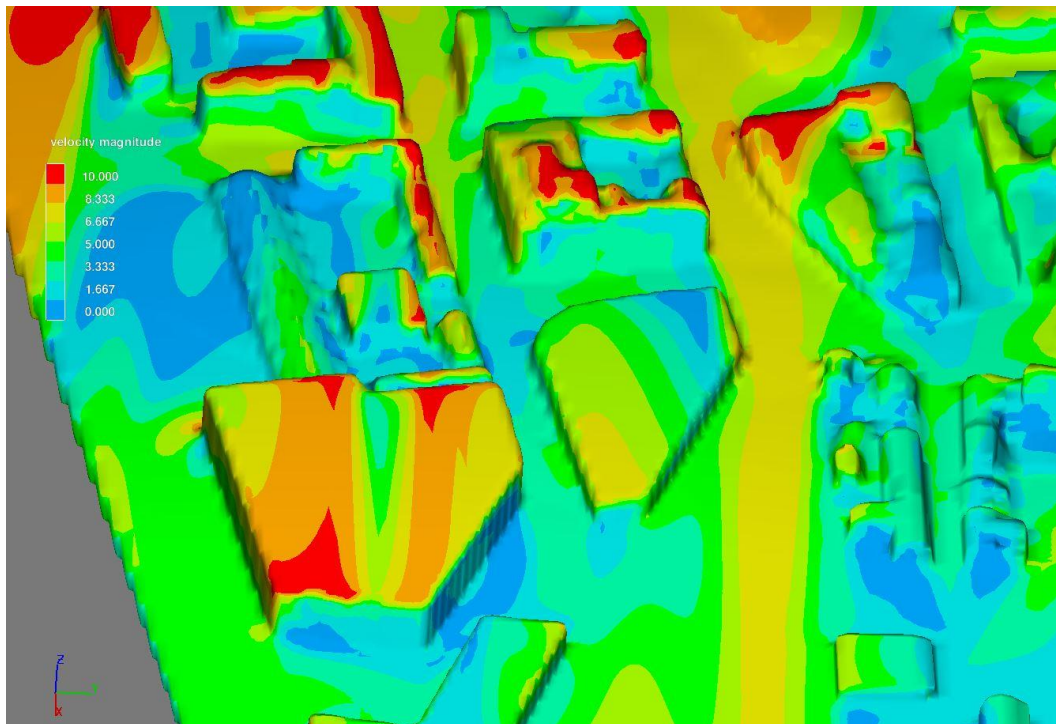


Nr.	Vindretning	$u_{ref}(10)$	$u_{ref}(1,75)$	$z_0$	$u_*$
4	SSV	10	7,6	0,01	0,6

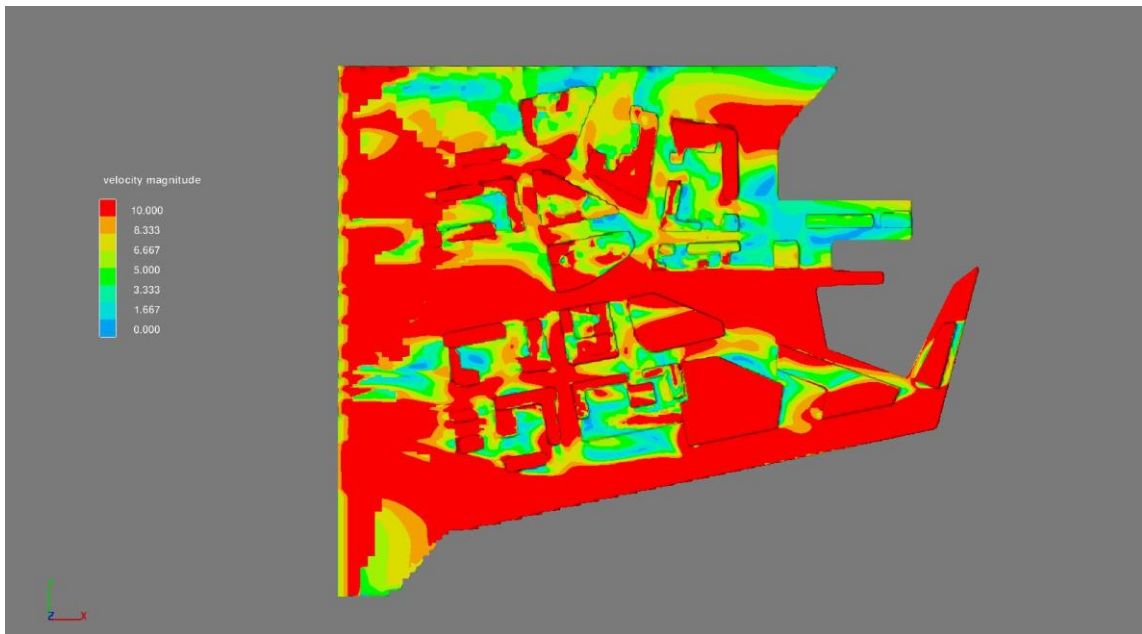




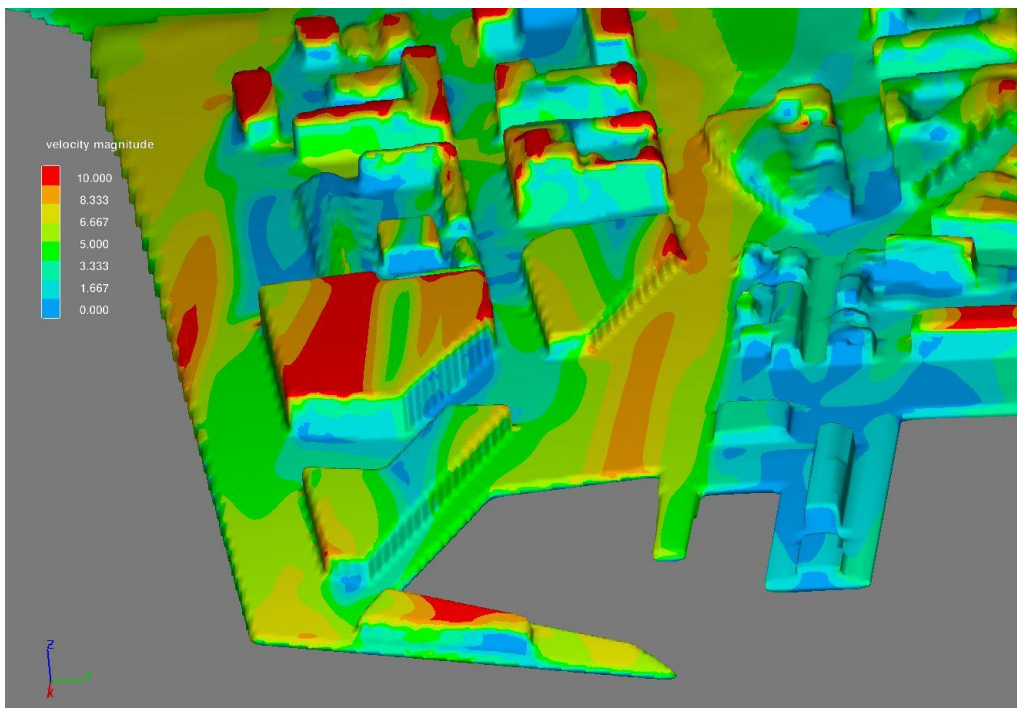
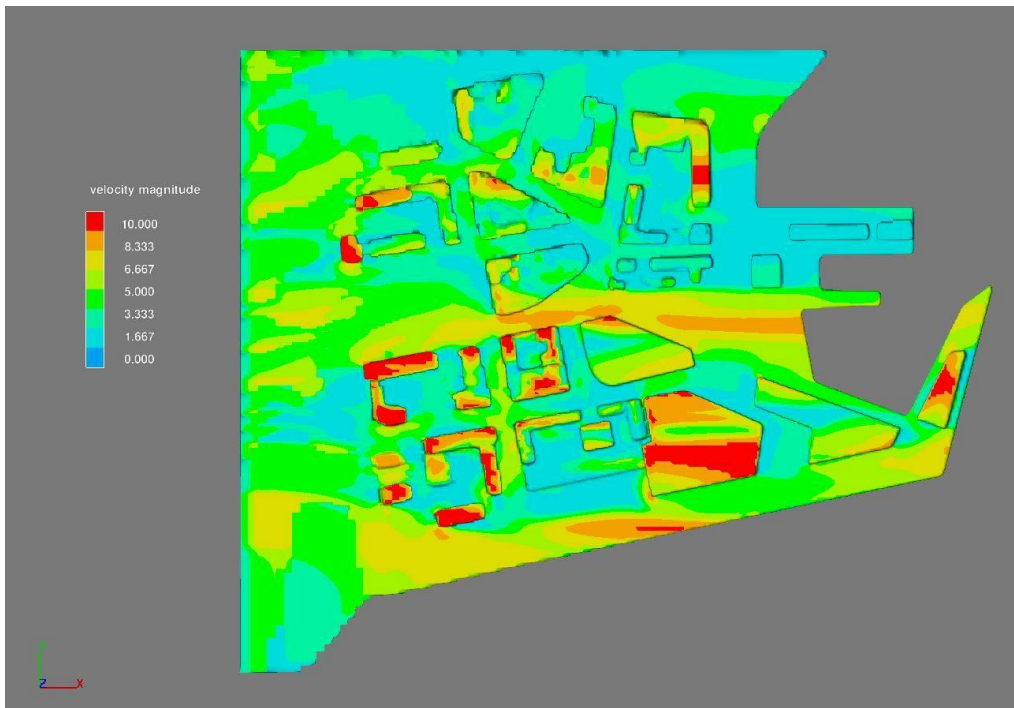
Nr.	Vindretning	$u_{\text{ref}}(10)$	$u_{\text{ref}}(1,75)$	$z_0$	$u_*$
4	SSV	10	7,6	0,01	0,6



Nr.	Vindretning	$u_{\text{ref}}(10)$	$u_{\text{ref}}(1,75)$	$z_0$	$u_*$
5	SSV	22,63	5,5	1	4,03



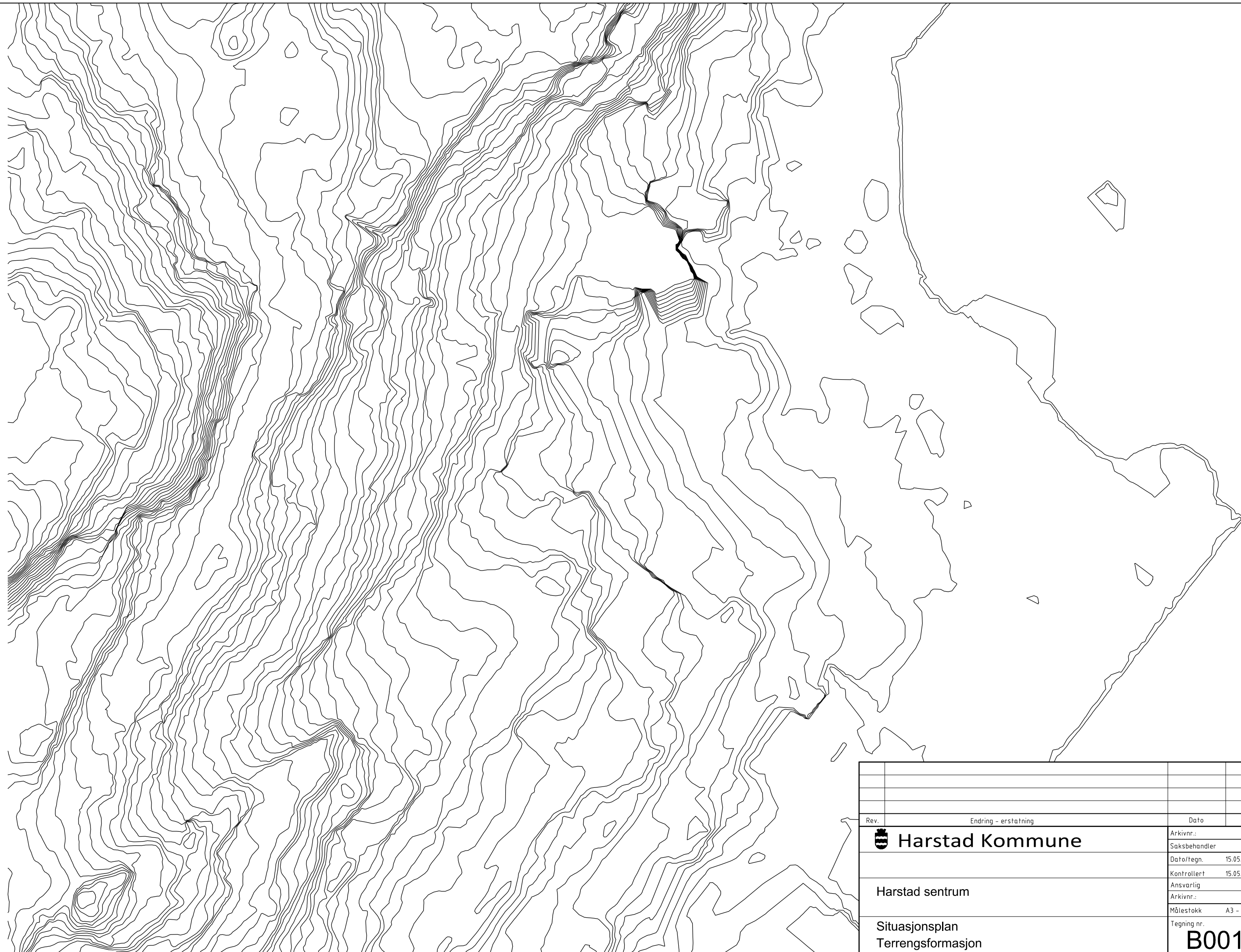
Nr.	Vindretning	$u_{ref}(10)$	$u_{ref}(1,75)$	$z_0$	$u_*$
6	SSV	10	2,43	1	1,78




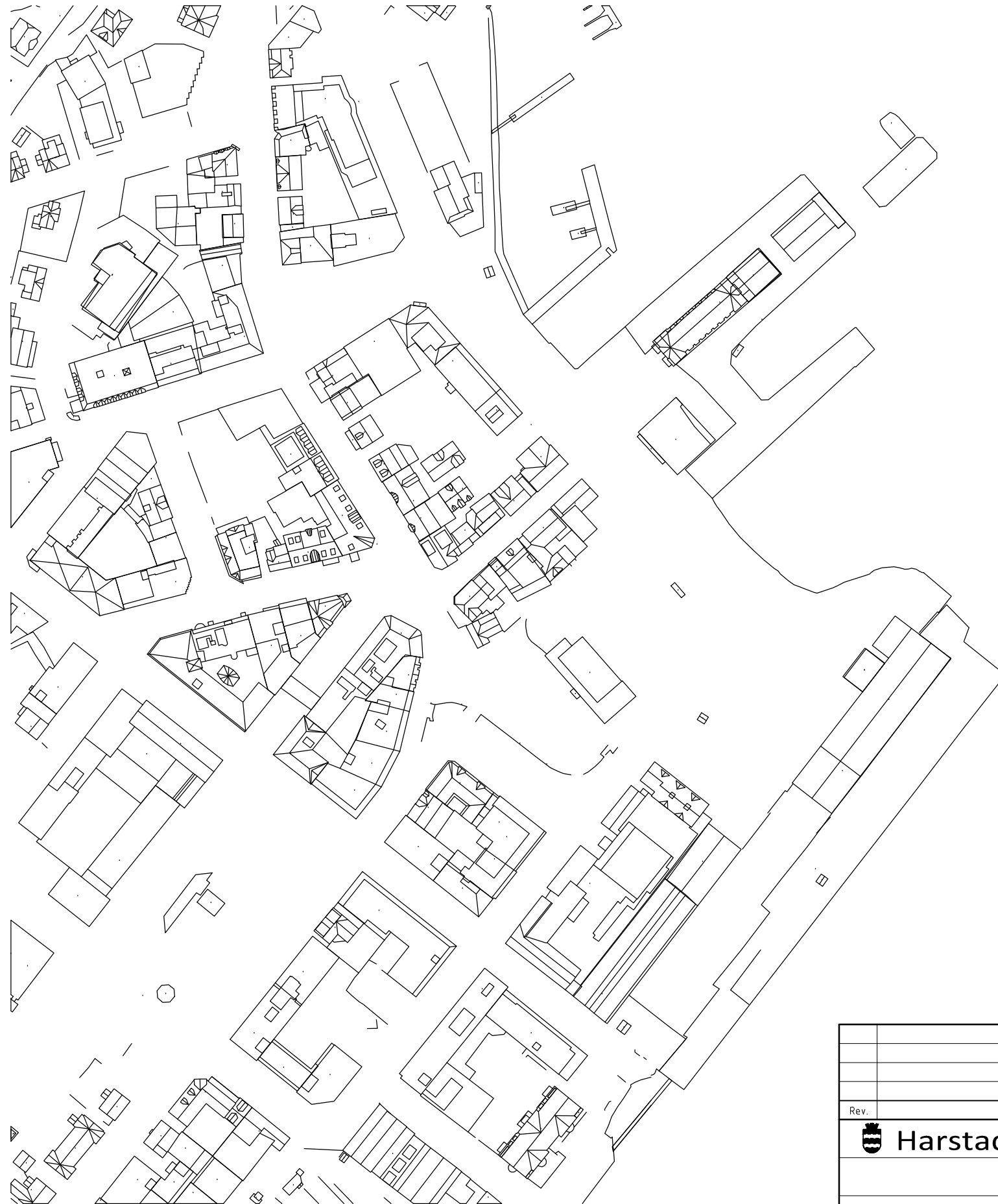
## Vedlegg C - Tegninger fra Harstad kommune


1. B001: Situasjonsplan – Terrengformasjon
2. B002: Situasjonsplan – Byggningsstruktur





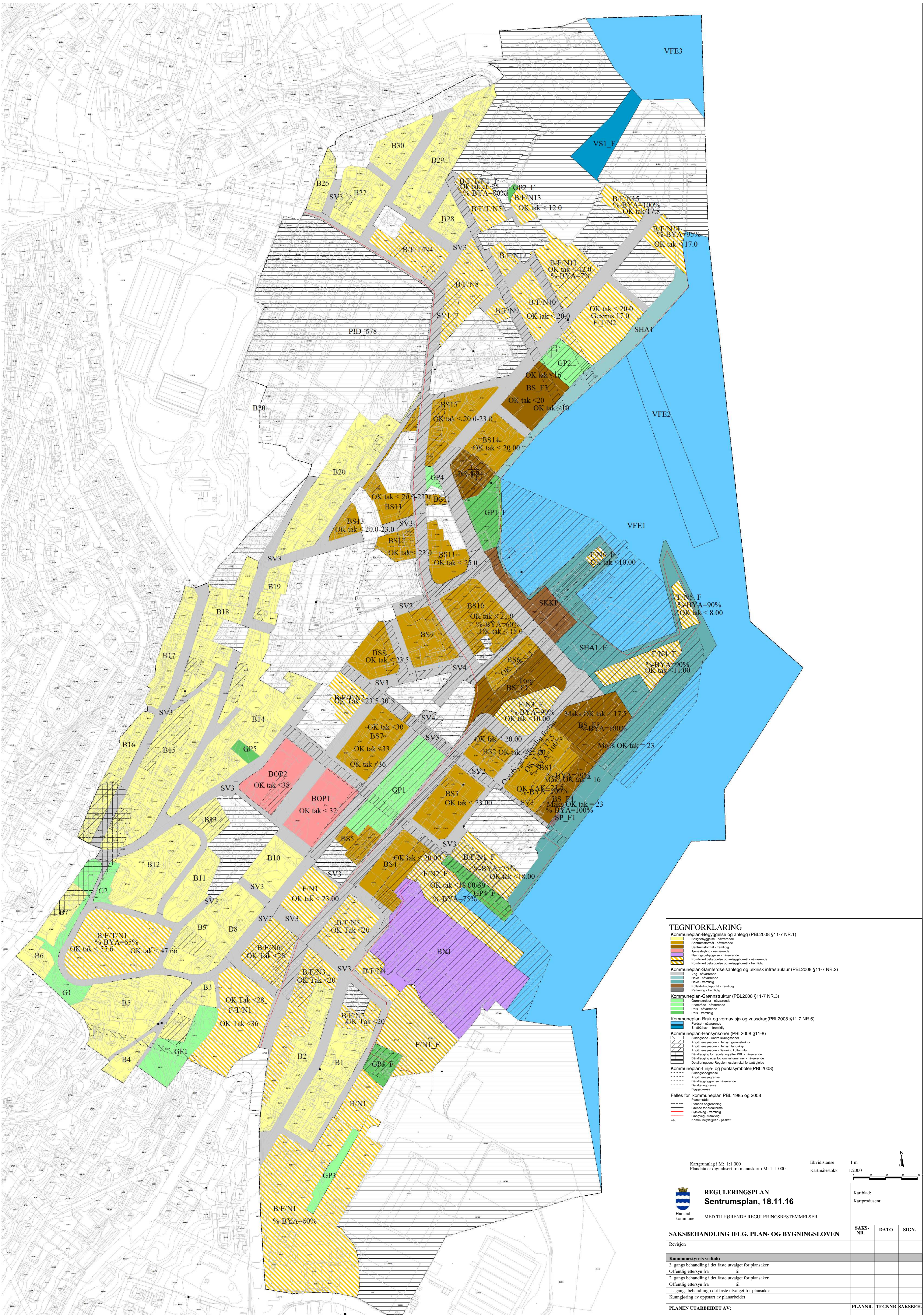
Rev.	Endring - erstatning	Dato	Sign.
 <b>Harstad Kommune</b>		Arkivnr.:	
<b>Harstad sentrum</b>		Saksbehandler	
		Dato/tegn.	15.05.2017/AZ
<b>Situasjonsplan Terrengformasjon</b>		Kontrollert	15.05.2017/AZ
		Ansvarlig	
		Arkivnr.:	
		Målestokk	A3 - M2000
		Tegning nr.	<b>B001</b>



Rev.	Endring - erstatning	Dato	Sign.
 <b>Harstad Kommune</b>		Arkivnr.:	
Harstad sentrum		Saksbehandler	
		Dato/tegn.	15.05.2017/AZ
Situasjonsplan Byggningsstruktur		Kontrollert	15.05.2017/AZ
		Ansvarlig	
		Arkivnr.:	
		Målestokk	A3 - M2000
		Tegning nr.	<b>B002</b>

## Vedlegg D – Plankart til sentrumsplan.





**TEGNFORKLARING**

**Kommuneplan-Begyggelse og anlegg (PBL2008 §11-7 NR.1)**

- Boligbyggetype - nåværende
- Sentrumformål - nåværende
- Sentrumformål - fremtidig
- Tilstandsbyggetype - nåværende
- Næringsbyggetype - nåværende
- Kombinert boligbyggetype og anleggformål - nåværende

**Kommuneplan-Samferdselsanlegg og teknisk infrastruktur (PBL2008 §11-7 NR.2)**

- Veg - nåværende
- Havn - nåværende
- Havn - fremtidig
- Kollektivtransport - fremtidig
- Parkering - fremtidig

**Kommuneplan-Grønnstruktur (PBL2008 §11-7 NR.3)**

- Grønnstruktur - nåværende
- Frønså - nåværende
- Plak - nåværende
- Park - fremtidig

**Kommuneplan-Bruk og vern av sjø og vassdrag (PBL2008 §11-7 NR.6)**

- Ferdal - nåværende
- Småbåhavn - fremtidig

**Kommuneplan-Hensynsoner (PBL2008 §11-8)**

- Sikringssoner - Andre sikringssoner
- Angitt hensynsoner - Hensynsgrannstruktur
- Angitt hensynsoner - Hensyns landskap
- Angitt hensynsoner - Bevaring kulturmiljø
- Båndlegging for regulering etter PBL - nåværende
- Båndlegging etter lov om kulturminner - nåværende
- Deiingsgrense - Reguleringsplan skal fortsatt gjelde

**Kommuneplan-Linje- og punktsymboler (PBL2008)**

- Hensynsgrense
- Angitt hensynsgrense
- Båndlegginggrense nåværende
- Deiingsgrense
- Byggingrense

**Felles for kommuneplan PBL 1985 og 2008**

- Planområde
- Planlagt bebyggelse
- Grense for arealformål
- Sykkelveg - fremtidig
- Gangveg - fremtidig
- Kommune/delplan - påskrift

Kartgrunnlag i M: 1:1 000  
 Plandata er digitalisert fra manuskart i M: 1:1 000

Ekvidistanse 1 m  
 Kartmålestokk 1:2000

**REGULERINGSPLAN**  
**Sentrumsplan, 18.11.16**

Harstad kommune  
 MED TILHØRENDE REGULERINGSBESTEMMELSER

Kartblad:  
 Kartproducent:

SAKSBEHANDLING IFLG. PLAN- OG BYGNINGSLOVEN	SAKS-NR.	DATO	SIGN.
Revisjon			

**Kommunestyrets vedtak:**

3. gangs behandling i det faste utvalget for plansaker  
 Offentlig ettersyn fra til

2. gangs behandling i det faste utvalget for plansaker  
 Offentlig ettersyn fra til

1. gangs behandling i det faste utvalget for plansaker  
 Kunningsting av oppstart av planarbeidet

PLANEN UTARBEIDET AV: \_\_\_\_\_ PLANNR. TEGNNR. SAKSBEH.