



SHO6261

Mastergradsoppgave i teknologi

## **Lokalklimaanalyse for bygg og utemiljø**

Local Climate Analysis for Buildings and Outdoor Environment

Ellen Gjersdal Størkersen

Juni, 2016



<p><i>Tittel:</i></p> <p>Lokalklimaanalyse for bygg og utemiljø</p> <p>Local Climate Analysis for Buildings and Outdoor Environment</p>		<p><i>Dato:</i></p> <p>20.06.2016</p>
		<p><i>Gradering:</i></p> <p>Åpen</p>
<p><i>Forfatter:</i></p> <p>Ellen Gjersdal Størkersen</p>		<p><i>Antall sider:</i></p> <p>84</p>
		<p><i>Vedlegg:</i></p> <p>19</p>
<p><i>Fakultet:</i></p> <p>Ingeniørvitenskap og teknologi</p>	<p><i>Institutt:</i></p> <p>Bygg, energi og materialteknologi – Master Integert bygningsteknologi</p>	
<p><i>Veileder:</i></p> <p>Dr. Ing. Per-Arne Sundsbø</p>		
<p><i>Sammendrag:</i></p> <p>Rapporten tar for seg en lokalklimatisk analyse i forbindelse med utbygging av felt B10 og B11 på Skytterhusfjellet, Kirkenes. Det teoretiske grunnlaget tar for seg klimatiske faktorer, komfort og strømningslære. Numeriske simuleringer er utført for å studere virkninger av snø- og vindforhold.</p>		
<p><i>Abstract:</i></p> <p>Based on theoretical aspects on the influence from climatic factors, comfort and fluid mechanics, this report provides a local climatic analysis focusing on the development of project area B10 and B11 at Skytterhusfjellet in Kirkenes. Numerical simulations concerning wind and snowdrift are performed to examine the impact of different design ideas.</p>		





## Forord

Avsluttende oppgave er utført på masterstudiet Integrrert bygningsteknologi, ved UiT Norges arktiske universitet, avdeling for teknologi, våren 2016.

Oppgaven tar for seg lokalklimaanalyse hvor det er fokusert på å vurdere forhold ved et bestemt prosjektområde. Prosjektområdet som er undersøkt i oppgaven er gjennom et samarbeid med aktører knyttet til Aktivhus AS. Veileder kom tidlig med forslag om prosjektområder som kunne fokuseres på, hvordan oppgaven burde defineres, og har fra starten av vært pådriver for at jeg skulle få innsyn i så mye som mulig av prosjektets utvikling.

Jeg ønsker å rette en spesiell takk til alle jeg har vært i kontakt med fra Aktivhus AS og Stilla Utvikling AS, som lot meg få ta del i møte og har vært svært hjelpelige med tilsending av informasjon og tegninger. Takk til lysdesignstudent, Nina S. Hansen, som lot meg få innsyn i hennes designkonsept.

Takk til faglig veileder, Per-Arne Sundsbø, som har vært en stor hjelp, mentor og inspirasjon under hele arbeidet med oppgaven.

UiT Norges arktiske universitet

Narvik, 20.juni 2016

Ellen Gjersdal Størkersen

## Innhold

Forord.....	i
Figurliste.....	iv
Tabelloversikt.....	vi
Forkortelser og symboler.....	vii
Sammendrag.....	viii
Abstract.....	ix
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Oppgavens mål.....	1
1.3 Problemstilling.....	1
1.4 Begrensninger.....	2
1.5 Disposisjon av oppgaven.....	2
2 Teori.....	3
2.1 Klima.....	3
Klimaet i Norge.....	3
Klimaendringer.....	4
Lokalklima.....	6
Nedbør.....	7
Slagregn.....	9
Klima i Kirkenes.....	11
2.2 Strømningslære.....	13
2.3 Vind.....	18
Vind og atmosfæren.....	18
Lokale vindsystemer.....	19
Vind i landskap og terreng.....	21
Vind rundt bygninger.....	21
Vindlast på tak.....	25
Lokale vindforhold.....	26
2.4 Komfort – Inne og i uterom.....	30
Innekomfort.....	30
Utekomfort.....	32
2.5 Snødrift.....	34
Snødrift i landskap og terreng.....	35

<i>Snødrift rundt bygninger</i> .....	37
<i>Snø- og vindskjermer</i> .....	40
<i>Brann og snørydding</i> .....	44
<i>2.6 Sol og mørketid</i> .....	45
3 Metode og modell .....	47
3.1 Felt B10 og B11 på Skytterhusfjellet.....	47
3.2 Utarbeiding av designforslag .....	53
3.3 Anvendt metode .....	56
<i>Terreng og volumoppbygging</i> .....	56
<i>Beregningsteknikk</i> .....	57
4 Resultat fra numeriske simuleringer .....	58
4.1 Vind fra SSSØ .....	58
4.2 Snødrift fra SSSØ.....	60
4.3 Vind fra N og NNØ .....	61
5 Diskusjon .....	62
5.1 Vind fra SSSØ .....	62
5.2 Vind fra NNØ og N .....	63
5.3 Vurdering av resultat .....	64
6 Konklusjon .....	66
7 Videre arbeid .....	67
Litteraturliste.....	68
Vedlegg A - Oppgavetekst .....	
Vedlegg B – Resultat fra numeriske simuleringer i Flow 3D .....	
Vedlegg C – Lysdesign.....	
Vedlegg D – Tegninger fra Stilla Utvikling AS .....	
Vedlegg E – Observasjoner ved Skytterhusfjellet.....	

## Figurliste

Figur 1. Disposisjon av oppgaven. ....	2
Figur 2. Klimasoner i Norge (basert på Lisø & Kvande, 2007). ....	3
Figur 3. Avgrensing av Arktis (Norsk Polarinstitutt, 2008). ....	4
Figur 4. Kart over gjennomsnittlige temperaturer i perioden 1956-2005 (FN-sambandet, 2016). ....	5
Figur 5. Kart over forventede temperaturendringer i perioden 2006-2055 (FN-sambandet, 2016). ....	5
Figur 6. Kart over gjennomsnittlig nedbør i perioden 1956-2005 (FN-sambandet, 2016). ....	6
Figur 7. Kart over forventet nedbørsendring i perioden 2006-2055 (FN-sambandet, 2016). ....	6
Figur 8. Orografisk nedbør. ....	8
Figur 9. Konvektiv nedbør. ....	8
Figur 10. Kaldfront. ....	8
Figur 11. Varmfront. ....	8
Figur 12. Prinsipp på totrinnstetting av fasade (basert på SINTEF Byggforsk, 2013). ....	9
Figur 13. Slagregnskart (basert på data fra SINTEF Byggforsk, 2013). ....	10
Figur 14. Oversikt over nedbørsnormaler på landsbasis og lokalt for Kirkenes (basert på data fra Meteorologisk institutt, 2016; SINTEF Byggforsk, 2007). ....	12
Figur 15. Utvikling av hastighetsprofil i rør (basert på Çengel & Ghajar, 2011). ....	13
Figur 16. Strømning over stasjonær flate (basert på Çengel & Ghajar, 2011). ....	14
Figur 17. Ulike typer strømning (Munson et al., 2013). ....	14
Figur 18. Krefter som virker på en flyvinge, henholdsvis trykkrefter, fordeling av skjærspenning og resultantkraft (Munson et al., 2013). ....	15
Figur 19. Strømning rundt sylinder (basert på Munson et al., 2013). ....	15
Figur 20. Sammenheng mellom dragkoeffisient og Reynoldstall for ulike objektsformer (Munson et al., 2013). ....	16
Figur 21. Utvikling av grensesjikt for strømning over en flate (basert på Çengel og Ghajar, 2011). ....	16
Figur 22. Corioliskraften (basert på Utaaker, 1991). ....	18
Figur 23. Lokale vindsystem ved kysten (basert på Utaaker, 1991). ....	20
Figur 24. Lokale vindsystem i fjelltrakter (basert på Utaaker, 1991). ....	20
Figur 25. Strømningsmønster ved ulike terrengformasjoner (basert på Houlberg, 1979). ....	21
Figur 26. Strømningsmønster ved ulike bygningsformer (basert på Børve, 1987). ....	21
Figur 27. Strømningsmønster ved ulik rotasjon av bygg (basert på Børve, 1987). ....	22
Figur 28. Vindstrømningsmønster rundt høyhus (basert på Hutcheon & Handegord, 1983). ....	22
Figur 29. Strømningsmønster ved høyhus av ulik form (basert på Asplan Viak, 2010). ....	22
Figur 30. Klyngetun, rekketun og firkanttun (inspirert av Thiis-Evensen, 2007). ....	23
Figur 31. Urbane bebyggelsesmønstre (basert på Asplan Viak, 2010). ....	23
Figur 32. Lav teppebebyggelse og vind rundt høyhus (inspirasjon fra Asplan Viak, 2010). ....	24
Figur 33. Korridoreffekt og trakteeffekt (basert på Houlberg, 1979). ....	24
Figur 34. Taktyper (basert på Edvardsen & Ramstad, 2014). ....	25
Figur 35. Trykkfordeling ved ulike takformer (basert på Dyrbye & Hansen, 1989). ....	25
Figur 36. Fordeling av trykk- og sugkrefter (basert på Dyrbye & Hansen, 1989). ....	26
Figur 37. Kart over Kirkenes. Vintervindrose plassert ved målestasjon (kartdata fra Kartverket, 2016). ....	26
Figur 38. Vindroser (data fra Meteorologisk institutt, 2016). ....	27
Figur 39. Innemiljøfaktorene. ....	30
Figur 40. Forventet prosent utilfredse som funksjon av forventet middelvotering (Hansen, Kjerulf-Jensen & Stampe, 1997). ....	31
Figur 41. Optimal operativ temperatur som funksjon av aktivitet og bekledding (Hansen et al., 1997). ....	31

Figur 42. Kroppens varmebalanse (basert på Thue, 2014; Hansen et al., 1997) .....	32
Figur 43. Transport av snøpartikler (basert på Statens vegvesen, 2014).....	35
Figur 44. Lo- og leside i terreng.....	35
Figur 45. Vindprofiler og snøtransport i terreng (basert på Statens vegvesen, 2014).....	36
Figur 46. Vind og snøavsetning ved veg (basert på Statens vegvesen, 2014).....	37
Figur 47. Strømningsmønster rundt stein (Foto: E.G. Størkersen, februar 2016).....	37
Figur 48. Snødrift rundt firkantet bygg (inspirert av Sundsbø, 2008; Thiis, 2005).....	38
Figur 49. Sammenheng mellom snøavsetning og snøskjermens porøsitet (Tabler, 2003).....	40
Figur 50. Reduksjon av vindhastighet i prosent ved leskjermer med ulik permeabilitet (Utaaker, 1991)....	41
Figur 51. Beregning av skygge for bygninger (SINTEF Byggforsk, 1996). .....	45
Figur 52. Sol- og skyggediagram for feltet B10 og B11, hentet fra Revit for 20.mars kl. 14:00. ....	46
Figur 53. Sol- og skyggediagram for feltet B10 og B11, hentet fra Revit for 21.juni kl. 12:00. ....	46
Figur 54. Oversiktskart Kirkenes (kartdata fra Kartverket, 2016). .....	47
Figur 55. Bilde fra Skytterhusfjellet, utsikt over Bøkfjorden sett mot nord (Foto: E.G. Størkersen, februar 2016). ....	48
Figur 56. Bilde fra Skytterhusfjellet, sett innover terreng mot vest (Foto: E.G. Størkersen, februar 2016). ....	48
Figur 57. Omriss av felt B10 og B11 (kartdata fra Kartverket, 2016). .....	48
Figur 58. Plantegning av forslag til Aktivhus (basert på tegninger fra Stilla Utvikling AS, 2016). ....	49
Figur 59. Render av forslag (Stilla Utvikling AS, 2016). .....	50
Figur 60. Situasjonsplan Aktivhus (Stilla Utvikling AS, 2016). .....	50
Figur 61. Konseptskisse av lys ved sørvendt inngangsparti (Hansen, 2016). .....	51
Figur 62. Konseptskisse av belyste garasjer (Hansen, 2016).....	51
Figur 63. Lysplan for å illustrere fargetemperaturforskjeller mellom veger og boenheter (Hansen, 2016). ....	52
Figur 64. Prinsippskisse over belysning av hovedinngang ved bruk av overlys (Hansen, 2016). ....	52
Figur 65. Forslag til samling av bygninger. ....	53
Figur 66. Plantegning av alternativt forslag. ....	54
Figur 67. Forslag til nytt bygningsmønster. Rød markering viser opprinnelig B11 felt. ....	55
Figur 68. Bygningsforslag til Aktivhus plassert i terreng. ....	56
Figur 69. Alternativt bygningsforslag plassert i terreng.....	56
Figur 70. Grensebetingelser og prinsipp for beregningsområde rundt modell (basert på Sundsbø, 2015). ....	57
Figur 71. Resultat forslag Aktivhus, vind fra SSSØ.....	58
Figur 72. Resultat alternativt forslag, vind fra SSSØ.....	59
Figur 73. Snødrift forslag Aktivhus. ....	60
Figur 74. Snødrift alternativt forslag. ....	60
Figur 75. Resultat alternativt forslag, vind fra N og NNØ.....	61
Figur 76. Sammenligning av vind fra SSSØ. ....	62
Figur 77. Sammenligning av snødrift.....	63
Figur 78. Sammenligning vind fra N og NNØ.....	64
Figur 79. Prinsipp av avstand mellom snøskjermer og felt. ....	64
Figur 80. Forslag til plassering av snøskjermer.....	65
Figur 81. Eksempel på design av snøskjerm (Sundsbø, 2016).....	65

## Tabelloversikt

Tabell 1. Klima på ulike skala (Utaaker, 1991).....	7
Tabell 2. Meteorologisk inndeling av nedbør (SINTEF Byggforsk, 2013). .....	7
Tabell 3. Middelterperaturer for Kirkenes (Meteorologisk institutt, 2016).....	11
Tabell 4. Klimadata for ulike kommuner i Finnmark (SINTEF Byggforsk, 2012). .....	11
Tabell 5. Sammenligning av registrerte vindforhold (data fra Meteorologisk, 2016; Aktivhus AS, 2016). .....	29
Tabell 6. Komfortparametere.....	30
Tabell 7. Oversikt over følt temperatur ved ulike temperatur og vindstyrke (basert på data fra Meteorologisk institutt, 2012). .....	33
Tabell 8. Lawsons komfortkriterier, akseptabel og uakseptabel vindeksponering prosentvis av året (Kjeller Vindteknikk, 2014). .....	34
Tabell 9. Gjennomsnittlig tyngdetetthet for snø (Standard Norge, 2008).....	35
Tabell 10. Formfaktorer for snølast (Standard Norge, 2008).....	39
Tabell 11. Verdier for eksponeringsfaktor ved forskjellig topografi (Standard Norge, 2008).....	39
Tabell 12. Konsekvenser og tiltak av snødrift.....	43
Tabell 13. Oversikt over ytre vegger, inkludert glassflater. ....	54

## Forkortelser og symboler

A	Areal [m <sup>2</sup> ]
C <sub>e</sub>	Eksponeringsfaktor
C <sub>t</sub>	Termisk faktor
I <sub>cl</sub>	Bekledningsisolans [clo], [ $\frac{m^2 \times K}{W}$ ]
g	Tyngdeakselerasjon [m/s <sup>2</sup> ]
M	Aktivitetsnivå, energiomsetning [met], [W/m <sup>2</sup> ]
μ	Dynamisk viskositet [kg/(m x s)], [N x s/m <sup>2</sup> ]
μ1, μ2	Formfaktor
p	Trykk [Pa], [N/m <sup>2</sup> ]
ρ	Tetthet, densitet [kg/m <sup>3</sup> ]
p <sub>a</sub>	Luftens vanndampinnhold [Pa]
PMV	Predicted Mean Vote, forventet middelvotering
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfaction, forventet andel misfornøyde [%]
R <sub>T</sub>	Total varmemotstand [m <sup>2</sup> K/W]
s	Snølast på tak [kN/m <sup>2</sup> ]
s <sub>k</sub>	Snølast på mark [kN/m <sup>2</sup> ]
t <sub>a</sub>	Lufttemperatur [°C]
t <sub>r</sub>	Midlere strålingstemperatur [°C]
T <sub>u</sub>	Relativ luftbevegelse [m/s]
t	Oppholdstid i rom [t]
τ	Skjærspenning [MPa]
U	Hastighet i bevegelsesretning [m/s]
U	U-verdi, varmegjennomgangskoeffisient [W/(m <sup>2</sup> K)]
z	Høyde over referansenivå [m]

## Sammendrag

Lokale klimaanalyser er viktige i forbindelse med planlegging av nye utbyggingsprosjekt. Stedsanalyser tar ofte utgangspunkt i sol- og vindforhold, men det er få firmaer som kan utføre snødriftsanalyser. For områder i kaldt klima vil snø være en av de viktigste faktorene som må undersøkes og vurderes. Ved hjelp av klimatiske analyser og vurderinger har man mulighet til å foreta eventuelle endringer og tiltak før et prosjekt ferdigstilles. Dette gjør at man kan unngå uheldige løsninger som vil kreve både tid og ressurser for å rette opp i ettertid.

Rapporten har fokusert på å undersøke de klimatiske forholdene for felt B10 og B11 på Skytterhusfjellet, sør for Kirkenes. Prosjektområdet som ble undersøkt ønskes utviklet til boligfelt. Hensikten med oppgaven var å vurdere de klimatiske forholdene ved utbyggingsprosjektet. På grunnlag av analyser og observasjoner ble det utarbeidet et klimatilpasset designforslag for å sammenligne med det opprinnelige forslaget. Ved hjelp av numeriske simuleringer i Flow 3D ble det utført vind- og snødriftsanalyser. I tillegg ble det gjort vurdering av sol- og skyggeforhold. Basert på resultater og observasjoner ble det gitt en vurdering av hvilke avbøtende tiltak som vil være gunstige.

De numeriske resultatene har vist at flere bygninger per tomt vil være uheldig i forhold til snødrift. Kompakte bygninger vil kunne holde inngangspartier snøfrie, samtidig som man vil kunne redusere varmetapet. Problemer i forbindelse med snø må tas tak i, da dette kan gi problemer i tilknytting med brann og rømning. For å redusere mengden snødrift inn i feltet bør det vurderes bruk av snøskjerm. Områder avsatt til lek og opphold vil være utsatt for vind, og bruk av vegetasjon vil være et hensiktsmessig for å redusere vindhastighetene.

Videre utvikling av prosjektområdet vil ha en fordel i å vurdere de foreslåtte tiltakene for å tilpasse bygningene til de klimatiske forholdene. En god utnyttelse av feltene er med på å skape en bærekraftig utvikling av området. Tilpasning av bygninger og uterom etter de lokale forholdene vil være viktig både når det gjelder sikkerhet og komfort. Komfortable uteområder inviterer til lek og opphold, som igjen vil skape trivsel og gode bomiljø. Ved å utnytte kvalitetene til området kan man fange stedets unike karakter. Bruk av lysdesign i forbindelse med mørketida kan være med på å skape en egen atmosfære i boligfeltene.



## **Abstract**

Local climate studies are important for the planning of new development projects. Although sun and wind are considered essential climatic factors, few companies perform snowdrift analyses, which can be essential when working with projects in cold climate areas. Implementing climatic considerations into development projects at an early stage gives the opportunity to make changes of design and location of buildings. This allows the contractor to make important changes early in the project, which can save both time and resources.

The report focuses on examining the climatic situation of a specific case, area B10 and B11 south of Kirkenes in the municipality of Sør-Varanger. The project area will consist of residential buildings. The main purpose of the report is to assess the climatic conditions at the project area. Based on analyses and observations a new design concept was developed. The customized design was adapted to the local climatic situation. A comparison of the two design proposals were done using numerical simulations in Flow 3D, for analyzing wind and snowdrift. Obtained results and observations formed the evaluation of suggested measures that should be considered to prevent negative impacts of wind and snow.

Results from the numerical simulations have shown that by reducing the amount of buildings per residential lot and combining them to one shape, would be favorable when it comes to snowdrift. The use of simple building designs would reduce the amount of accumulated snow. By using a compact design it would also be possible to reduce the amount of heat loss. Problems related to snowdrift can be a risk concerning evacuation during fires. To reduce the amount of snow transported to the project area, it is necessary to perform measures. A beneficial solution would be to place snow fences. For windy outdoor spaces, the use of vegetation should be considered as an ideal choice to reduce wind velocities.

Further development of the project area will take an advantage by considering the proposed measures, and adapt the buildings according to the local climatic conditions. A higher density of houses in the project area provides a more sustainable use of space. Adapting buildings and outdoor environment to the local climatic conditions will be important in terms of safety and comfort. Creating comfortable living environments is the main idea behind successful residential areas. Climatic parameters can not be controlled, but it is possible to adapt the buildings and add protective measures.



## 1 Innledning

### 1.1 Bakgrunn

Byplanlegging og urban design tar utgangspunkt i å utvikle bærekraftige bolig- og næringsområder. For å skape gode løsninger er det nødvendig å utføre lokale analyser. Stedsanalyser danner grunnlaget for planlegging og utbygging av nye områder. Disse analysene tar for seg viktige faktorer som blant annet trafikk, vind, sol, støy og historiske verdier. Basert på stedsanalysen utarbeides videre designforslag. I Norge vil klimaet være svært annerledes etter hvor i landet man befinner seg. Planlegging av områder i nord vil, i tillegg til sol- og vindanalyse, ha behov for en vurdering av snøforhold og spesielt snødrift. Kjennskap til utførelse av vind- og snødriftsanalyser er begrenset, og det er et fåtall firmaer som utfører slike analyser i Norge. Dette på tross av at det er et viktig felt som har behov for større kompetanse. I fremtiden forventes det en økt mengde ekstremvær, med mye nedbør og vind. Dette vil gjøre at analyse av vind og snø vil bli enda viktigere fremover.

### 1.2 Oppgavens mål

Hovedmålet med oppgaven er å utføre lokalklimatiske analyser for å gi en evaluering av planlagt prosjektområde på Skytterhusfjellet. Aktivhus AS ønsker i samarbeid med Husbanken og Sør-Varanger kommune å utvikle felt B10 og B11 på Skytterhusfjellet til boligformål. I denne sammenheng er det nødvendig å undersøke klimatiske effekter i forhold til planlagt design og bygningsmønster. Basert på observasjoner og analyser skal det utarbeides et tilpasset forslag til utforming av planområdet. Begge forslag vil sammenlignes ved hjelp av numeriske simuleringer av vindfelt rundt aktuelle bygningsvolumer, i tillegg til numerisk simulering av snødrift. Det skal gis en helhetlig vurdering basert på analyse og resultat. Oppgaven avsluttes med forslag til avbøtende tiltak.

De numeriske simuleringene tar utgangspunkt i lokale klimatiske forhold, som er undersøkt og utdypet i den teoretiske delen. Grunnlaget for analysen er basert på relevant litteratur, observasjoner og innhentet måledata. For å få en bedre forståelse av prosjektområdet ble det tidlig utført feltobservasjon ved det gjeldende prosjektområdet. Gjennom kontakt med representanter fra Aktivhus var det mulig å innhente supplerende observasjoner av vindforhold. Definerings av fremherskende vindretning ble utført på grunnlag av målinger fra Kirkenes lufthavn sammenlignet med observerte vindforhold. Det var ikke mulighet til å få satt opp en egen målestasjon ved utbyggingsområdet, og det ble derfor benyttet manuelle registreringer. Dette gjør at de registrerte data vil kunne avvike fra virkelige vindforhold.

### 1.3 Problemstilling

Hovedproblemstillingen er å utføre en overordnet lokalklimatisk analyse med anvendelse av state of the art simuleringsteknikker for modellering av vindrelaterte virkninger rundt bygninger i det gitte prosjektområdet. De numeriske simuleringene er basert på lokale fremherskende vindretninger. Det skal utføres numeriske simuleringer for vind og snødrift. Resultater fra simuleringanalysen skal vurderes, og eventuelle effekter skal gis forslag til avbøtende tiltak.

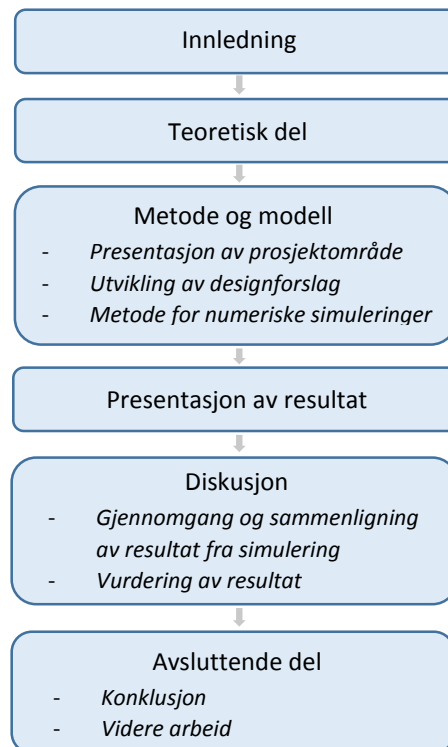
I oppgaven er det viktig å studere sammenhengen mellom ulike klimafaktorer. Spesielt viktig er det å vurdere snøforhold med brann og rømning. Lover og regler skal følges, og en klimaanalyse gir gode muligheter til å planlegge egnete løsninger. Undersøkelse av vind og solforhold vil gi en indikasjon på hvor man har lune uteområder. Utarbeiding av det nye designforslaget baserer seg på de klimatiske forholdene, og det var hensiktsmessig å utføre en sol- og skyggeanalyse for utbyggingsforslaget til Aktivhus.

#### 1.4 Begrensninger

Hensikten med oppgaven er å utføre en vurdering av vind- og snødriftsforhold. Rapporten er avgrenset til å omhandle vind-, sol-, temperatur- og snørelatert påvirkning. Andre klimatiske faktorer som beregning av vindlast, ising og fukt er ikke vurdert i oppgaven. De numeriske simuleringene som er utført for begge forslag tar utgangspunkt i fremherskende vind på vinterstid, som er viktig i forbindelse med snødrift. Det ble også utført simuleringer for å undersøke vindpåvirkning fra dominerende vindretninger på sommerstid. Disse ble kun utført for det alternative forslaget, men resultatene er vurdert mot begge forslag.

#### 1.5 Disposisjon av oppgaven

Rapporten starter med en innledende del før relevant teori presenteres. Videre utdypes selve prosjektområdet, hvor det gjeldende planforslaget gjennomgås. I denne delen vil utviklingen av det alternative designforslaget beskrives før man går videre til metoden for de numeriske simuleringene. Resultatene fra de numeriske simuleringene er presentert ved hjelp av bildeutsnitt hentet fra programmet Flow 3D (Flow Science Inc., 2016). I diskusjonsdelen vil klimatiske effekter utdypes før det gis en helhetlig vurdering av resultatene. Oppgaven avsluttes med konklusjon og forslag til videre arbeid.



Figur 1. Disposisjon av oppgaven.

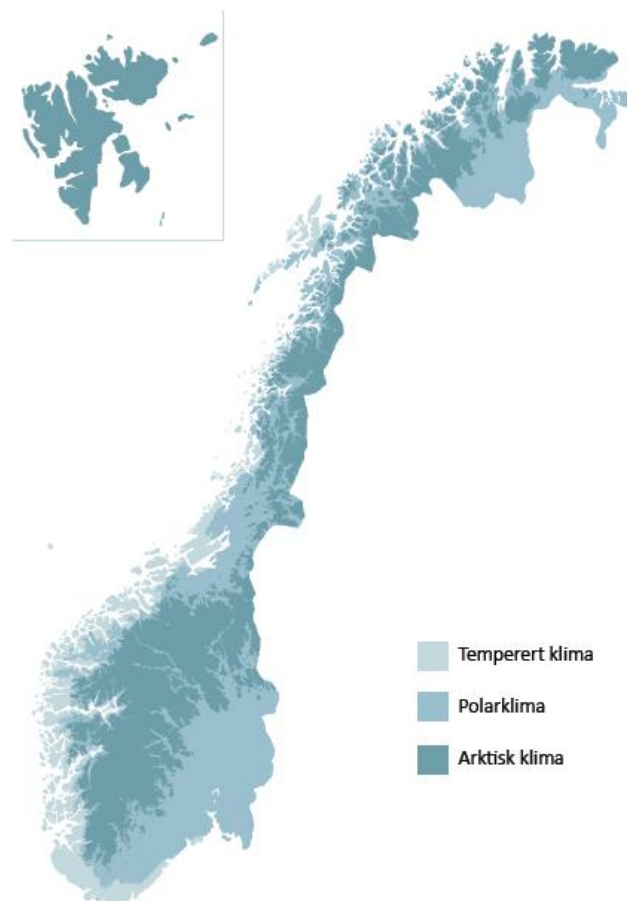
## 2 Teori

### 2.1 Klima

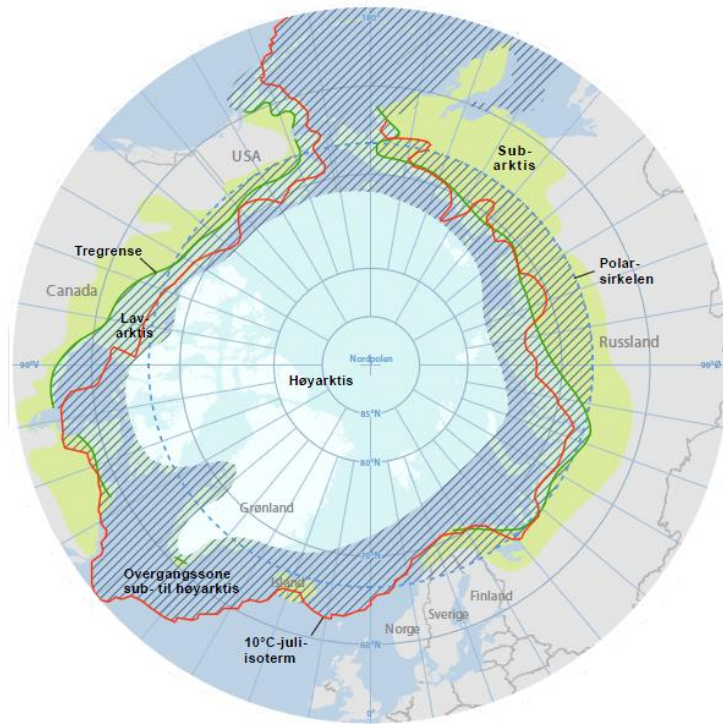
#### *Klimaet i Norge*

Det er viktig å skille mellom vær og klima. Været beskriver den meteorologiske situasjonen for et sted i et gitt tidspunkt, hvor parametere som nedbør og vind vil variere fra dag til dag. Klimaet tar for seg de typiske værforholdene for et sted over en lengre periode. Norge er et langstrakt land, og har et svært variert klima. Landets varierte topografi gjør at vi kan ha store klimatiske variasjoner innenfor korte avstander. Landskapsformasjoner som fjell og daler, vil innvirke på et steds vindforhold, nedbørsmengde og temperatur. Selv om deler av landet befinner seg nord for polarsirkelen, har vi et mye mildere klima enn hva lokaliseringen tilsier.

Når bygninger skal prosjekteres er det viktig å tilpasse seg etter stedets klimatiske forhold. Innsamling av klimadata og informasjon om topografi gir en utvidet forståelse av området og hvilke hensyn som må tas. Ifølge W.P. Köppens klimaklassifisering kan klimaet i Norge grovt deles inn i tre grupper, temperert kystklima med mye vind og nedbør, tørt og kjølig polarklima på innlandet og arktisk klima på Svalbard og høyfjellet (Lisø & Kvande, 2007).



Figur 2. Klimasoner i Norge (basert på Lisø & Kvande, 2007).

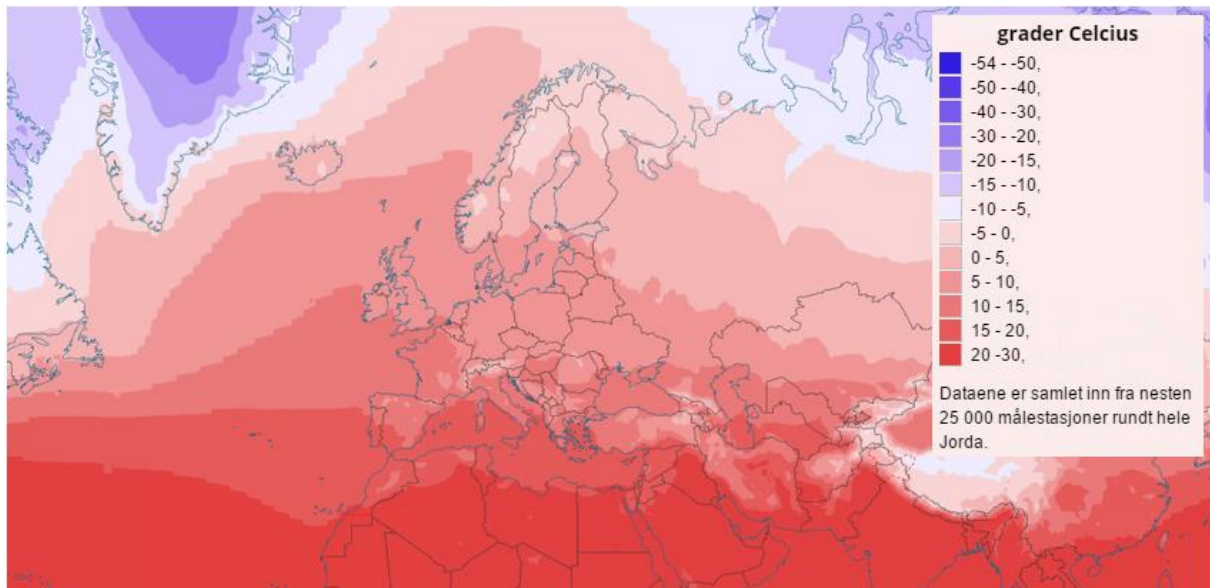


Figur 3. Avgrensing av Arktis (Norsk Polarinstittutt, 2008).

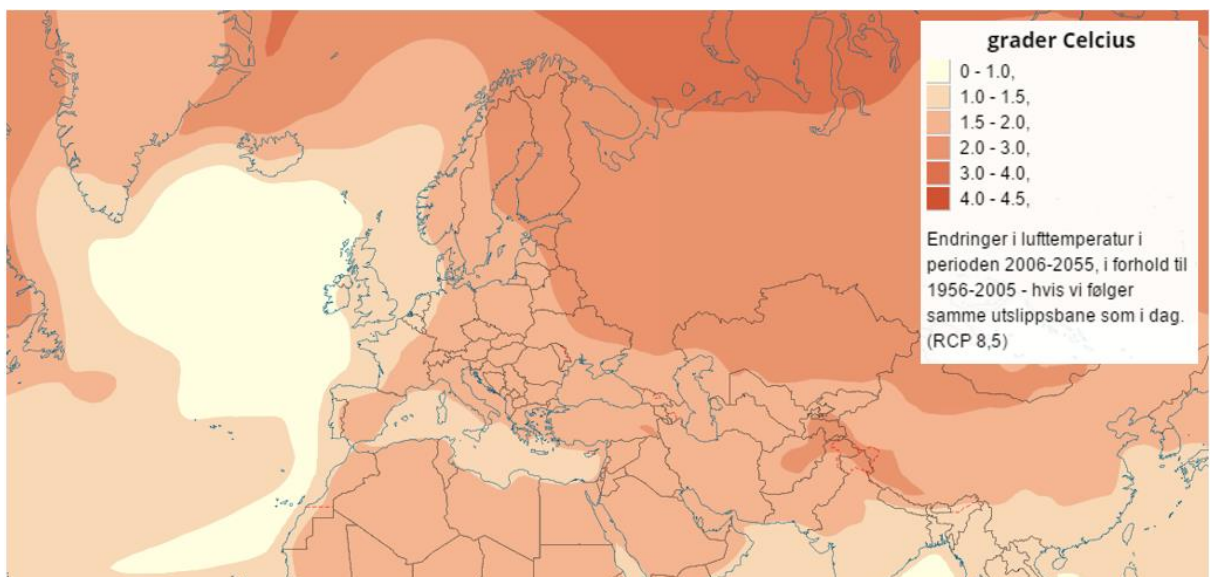
Det finnes ingen bestemt avgrensning av Arktis. Å definere Arktis kan gjøres på ulike måter basert på hva informasjonen skal brukes til. Dette betyr i praksis at inndelingen av Arktis kan bygge på klima og vegetasjon, marine grenser eller politiske interesser (Grønnestad, 2015). Tar man utgangspunkt i avgrensingen etter klima og vegetasjon, kan man dele Arktis inn i høyarktisk, lavarktisk og subarktisk. Området med sammenhengende nordlig skog, helt opp til tregrensen vil være definert som subarktisk.

### *Klimaendringer*

For å studere de langsiktige værforholdene som definerer klimaet i et område tas det ofte utgangspunkt i luftas middeltemperatur og den årlige nedbørsmengden. Klimaendringer vil si at det oppstår endringer i forhold til registrerte normaler. Dette gjelder blant annet endring av temperatur og nedbørsmengder. I de siste årene har det vært et stort fokus på klimaendringer og global oppvarming. På store deler av kloden er det registrert økende gjennomsnittstemperaturer, og det forventes at temperaturene vil fortsette å øke (IPCC, 2007). I Norge er det observert en økning av måneds- og årsmiddeltemperaturer i løpet av de siste 15 årene (Hisdal & Hanssen-Bauer, 2015). De lokale konsekvensene av klimaendringene er at det kan forventes mer nedbør og ekstremvær, høyere temperaturer og større vindpåkjenninger (Lisø & Kvande, 2007). Klimaendringene vil kunne forårsake store naturskapte ødeleggelser. Intense nedbørsmengder vil kunne skape flom, i tillegg til jordskred ved at saltet vaskes ut av grunnen. Flere steder i Norge vil kunne forvente en økning av naturulykker som følge av flom, stein-, snø-, jord- og leirskred (Thue, 2014).



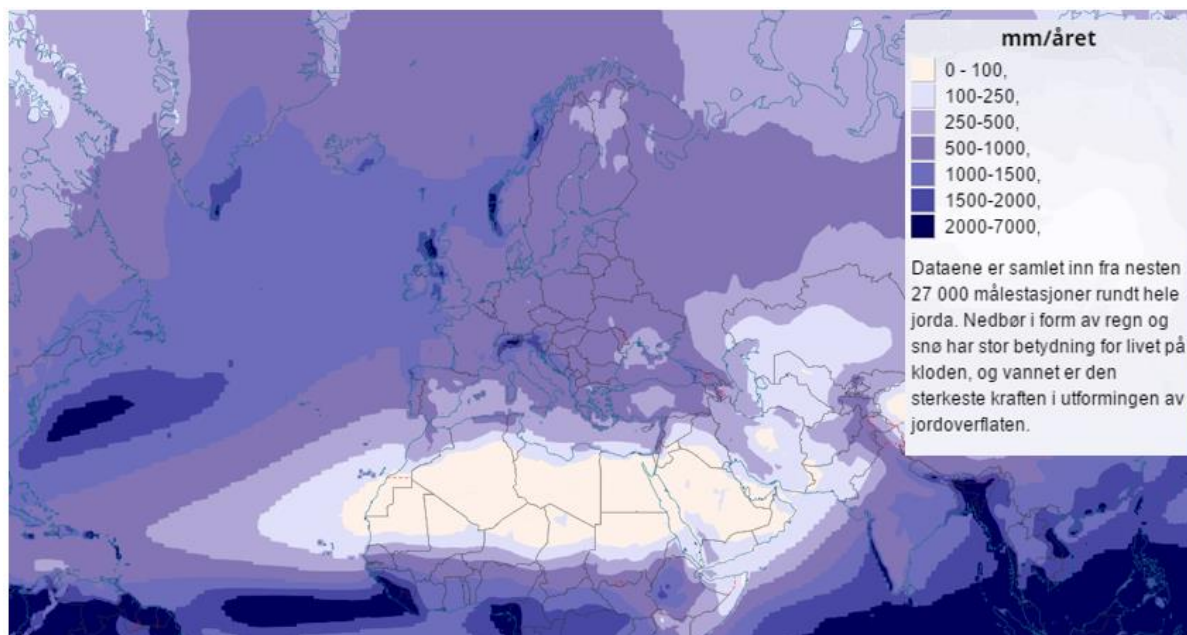
Figur 4. Kart over gjennomsnittlige temperaturer i perioden 1956-2005 (FN-sambandet, 2016).



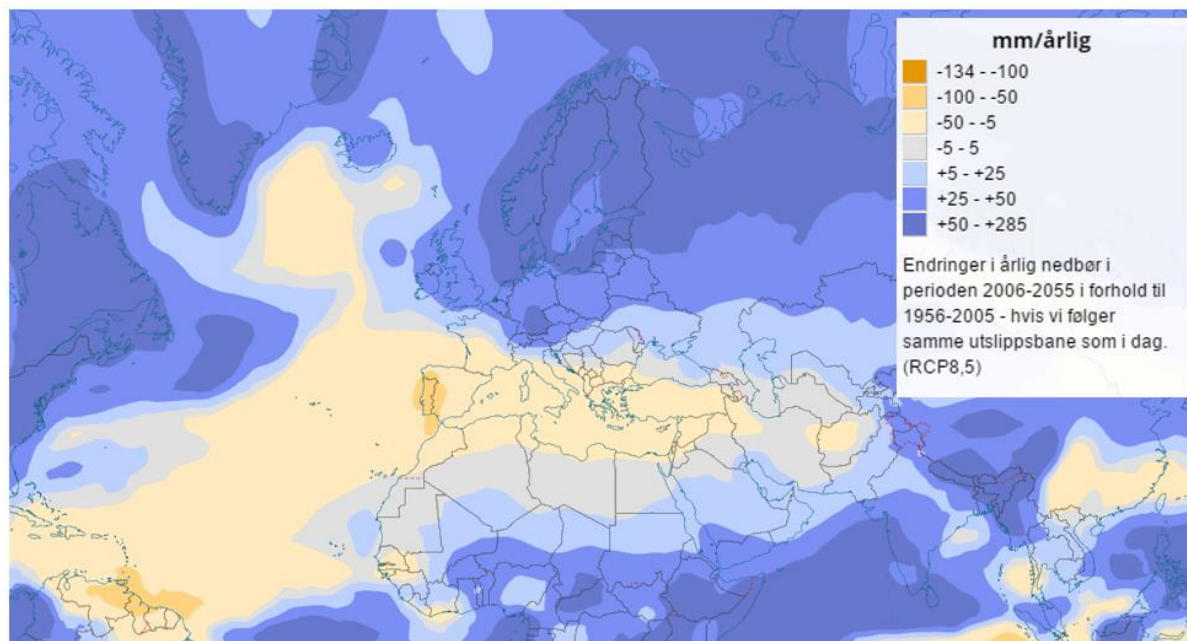
Figur 5. Kart over forventede temperaturendringer i perioden 2006-2055 (FN-sambandet, 2016).

Klimaendringer er viktig i forbindelse med bygg og konstruksjoner. Bygningers levetid vil avhenge av de lokale klimapåkjenningene (Lisø & Kvande, 2011). Økte temperaturer, nedbørsmengder og vindpåkjenninger vil slite på materialer, og redusere levetiden. Høyere temperaturer og økt fuktighet vil kunne skape større problemer knyttet til fuktskader i bygg. Bygninger må planlegges og tilpasses slik at de tåler de ytre klimapåkjenningene. Dagens klima stiller strenge krav til hvordan bygninger utformes og plasseres (Lisø & Kvande, 2007). For å øke levetiden til bygninger må klimaendringer tas i betraktning ved dimensjonering. Økningen av ekstremvær gjør at det kan forventes strengere krav til utforming av bygninger i fremtiden.





Figur 6. Kart over gjennomsnittlig nedbør i perioden 1956-2005 (FN-sambandet, 2016).



Figur 7. Kart over forventet nedbørsendring i perioden 2006-2055 (FN-sambandet, 2016).

### Lokalklima

Når man vurderer klimaet må det defineres hvilke dimensjoner man ønsker å ta utgangspunkt i. Ved å inndele klimaet i skalaer kan man studere området på ulike nivå. For en vurdering av klima på liten skala, som for eksempel et jorde, vil man gå i detalj på et mikroklimatisk nivå. Går man derimot får å vurdere klimaet for et helt fylke vil en vurdering på mesoklimatisk nivå være praktisk. I mange tilfeller kan det være vanskelig å vite hvilket nivå klimavurderingen befinner seg på. Et utbyggingsprosjekt vil basert på størrelse kunne tilfredstille klimanivå både som mikroklima, dersom man har et lite område, og som lokalklima hvor utstrekningen er større. Ofte skilles det ikke mellom lokalklima og mesoklima (Utaaker, 1991).



Klima	Horisontal utstrekning	Vertikal utstrekning	Eksempel
Mikroklima	1 cm – 1000 m	1 cm – 10 m	Klimaet i en åker
Lokalklima	100 m – 20 km	10 cm – 1 km	Klimaet i en kommune
Mesoklima	10 – 200 km	1 m – 6 km	Klimaet i et fylke
Makroklima	> 200 km	1 m – 50 km	Klimaet i en landsdel

Tabell 1. Klima på ulik skala (Utaaker, 1991).

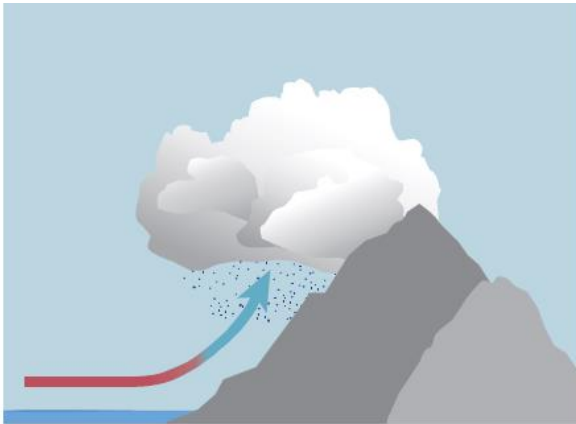
Et steds geografiske lokalisering, analysert på makroklimanivå, kan være for generell og det kan ofte være nyttig å bruke et nivå hvor man innsnevrer området mer. Generelt når man tar for seg et prosjektområde brukes benevnningen lokalklima, der man ser på feltet i en helhet. I stedet for å studere alle element i detalj, trekkes det frem viktige partier som vurderes. Dette kan være områder med skog, bakketopper og vann som alle vil være viktige da de innvirker på de lokale klimaforholdene. Ulike overflater og terrengformasjoner gjør at man kan få store lokale forskjeller i forhold til nedbør- og vindforhold (Utaaker, 1991). I en lokalklimaanalyse tar man for seg det angitte prosjektområdet og innhenter relevant data fra målinger og observasjoner.

### Nedbør

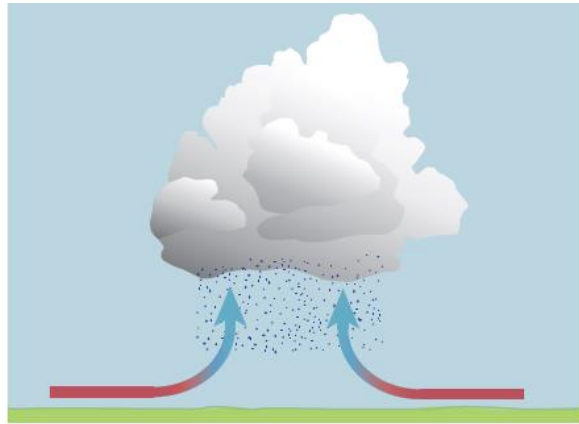
Definisjonen av nedbør er ifølge Meteorologisk Institutt, alt vann som treffer bakken. Dette vil si nedbør både i fast og flytende form. Hvilken form nedbøren vil ha bestemmes av fysiske prosesser i skyene og temperaturen luften har nært bakkenivå. Type nedbør spesifiseres etter egenskaper og kan deles inn som yr, regn, sludd, snø, hagl, graupel og underkjølt regn eller yr (SINTEF Byggforsk, 2013). Av disse er snø, sludd, graupel og hagl nedbør i fast form. Nedbør i fast form har en annen tetthet enn nedbør i flytende form, og nedbørsmålinger tar derfor utgangspunkt i volum etter smelting (Meteorologisk institutt, 2016).

Nedbørsform	Nedbørstype	Egenskaper
Flytende	Yr	Diameter < 0,5 mm Fallhastighet ≤ 2 m/s
	Regn	Diameter ≥ 0,5 mm Fallhastighet ≥ 2 m/s
	Underkjølt regn eller yr	Regndråper/yrdråper med temperatur under 0°C, som fryser til is når de treffer bakken.
Fast	Sludd	Blanding av regn og snø. Temperatur rundt 0°C.
	Snø	Nedbør i form av sekskantede iskrystaller. Type, form og størrelse avhenger av temperaturforhold.
	Graupel	Rimkuler som er mykere enn hagl men mer kompakt enn snøflak.
	Hagl	Iskuler.

Tabell 2. Meteorologisk inndeling av nedbør (SINTEF Byggforsk, 2013).

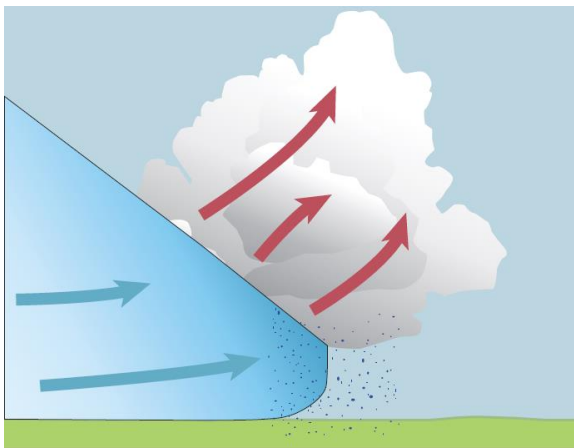


Figur 8. Orografisk nedbør.

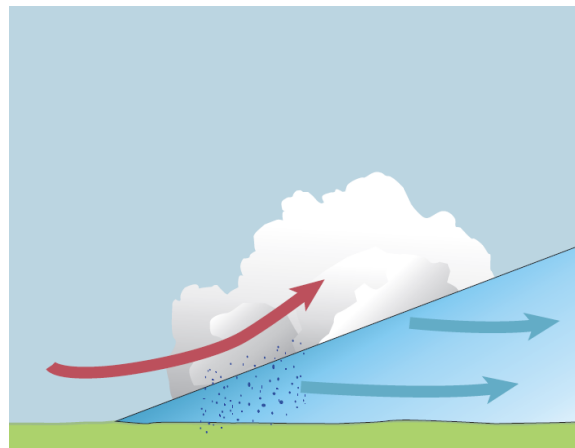


Figur 9. Konvektiv nedbør.

Nedbør oppstår når luftmasser heves og avkjøles. De tre vanligste måtene skyer og nedbør forekommer på er som orografisk nedbør, frontnedbør og konvektiv nedbør. I Norge er det den orografiske nedbøren som dominerer. Ved orografisk nedbør beveger luftmasser seg mot fjell eller stigende terreng, som presser luftmassene oppover. De stigende luftmassene avkjøles og vanndampen kondenserer til skyer som skaper nedbør. Frontnedbør oppstår ved møtet mellom varm og kald luft. Dette skjer enten i form av varmfront hvor den varme luftmassen ligger over den tyngre, kalde luftmassen og heves, eller ved kaldfront hvor den kalde luftmassen trengs seg under den varme som fører til at den varme luftmassen raskt stiger og avkjøles. På solfylte dager varmes bakken opp slik at luftmasser nært bakkenivå varmes via konveksjon og stiger. Stigende luft gjør at vanndamp kondenseres og det dannes skyer. Nedbøren som forekommer på denne måten kalles konvektiv nedbør.



Figur 10. Kaldfront.

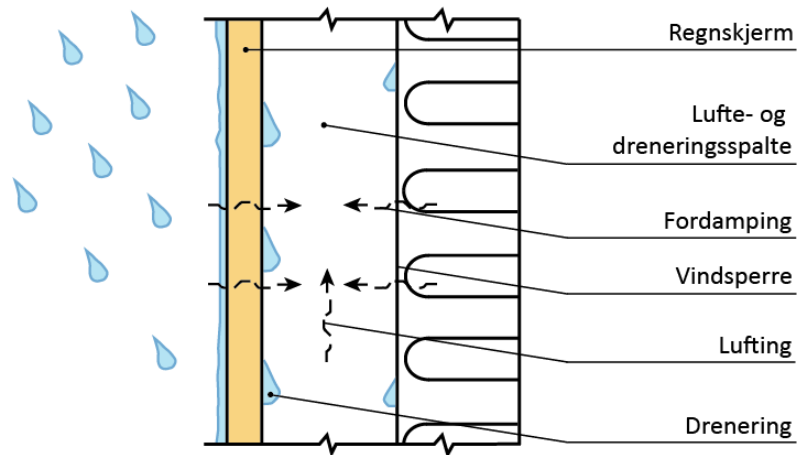


Figur 11. Varmfront.

Norge har mye nedbør, spesielt langs kysten fra Sør-Vestlandet og nordover (Lisø & Kvande, 2007). Takkonstruksjoner beskytter godt mot vertikal nedbør, men ved slagregn kan man få problemer med at vann trenger inn i konstruksjonen. I forbindelse med høy regnintensitet kan man i tillegg få problemer med håndtering av overvann. Kummer og avløpsanlegg må være dimensjonert for å tåle store nedbørsmengder. Det forventes økt mengde ekstremvær i fremtiden og kommuner må derfor planlegge hvordan de skal håndtere fremtidens nedbørsmengder og kartlegge hvor det vil bli økt ras- og skredfare.

## Slagregn

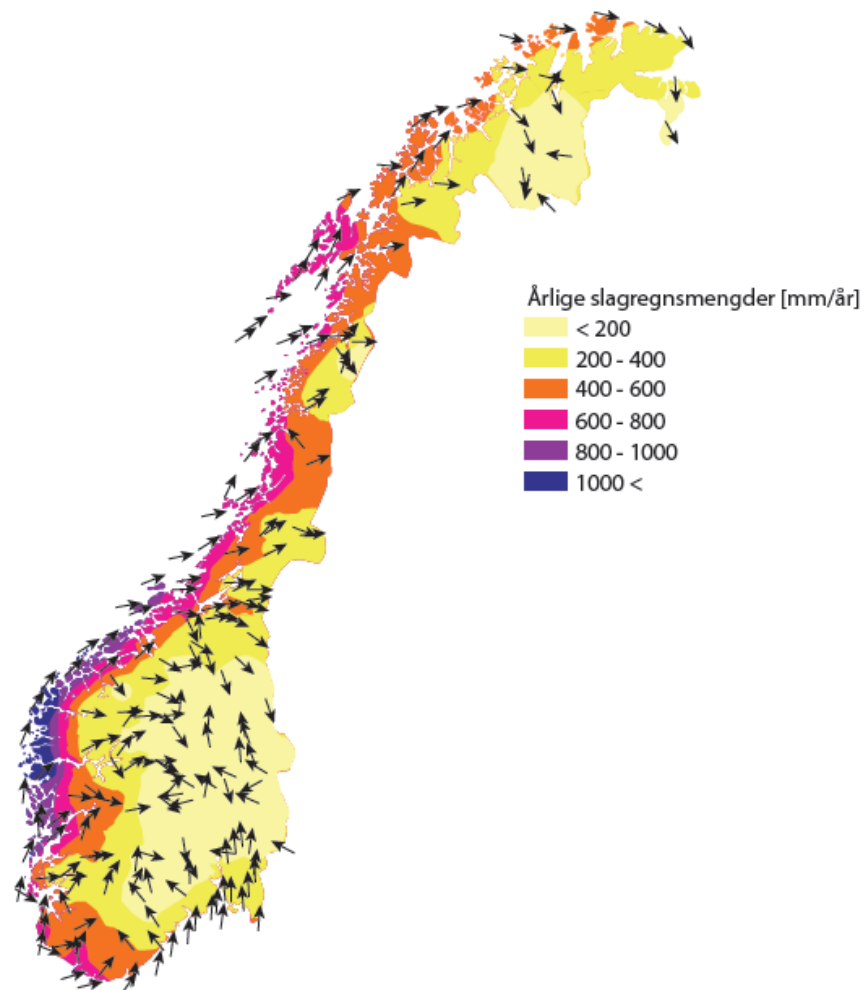
I områder med mye vind og regn kan fuktskader være et stort problem. Nedbør i form av regn vil påvirkes av vindkrefter som kan lede regnet mot og opp langs husveggen. Vinden gir regndråpene en horisontal hastighetskomponent og det er denne horisontalkomponenten av nedbøren som kalles slagregn (Thue, 2014). Slagregn er en stor påkjenning for bygningers fasader. Takutstikk, som skal hindre at regn treffer byggets yttervegger, vil ikke beskytte for nedbør som treffer veggene i en mer horisontal vinkel. Som følge av dette vil byggets slagregnutsatte vegger få en høy påkjenning som kan redusere materialers levetid og skape fuktproblemer. Den største delen av fuktskader knyttet til bygg, er forårsaket av regn kombinert med vind (SINTEF Byggforsk, 2010).



Figur 12. Prinsipp på totrinnstetting av fasade (basert på SINTEF Byggforsk, 2013).

I veiledning om tekniske krav til byggverk (VTEK) er det utdypet at fasadekledning, vindu, dør og installasjon som går gjennom vegg skal være utformet slik at nedbør dreneres bort og fukt tørkes ut (Direktoratet for byggkvalitet, 2015). På denne måten kan man unngå at det oppstår fuktskader. Den største slagregnpåkjenningen forekommer langs hjørner og øverst på fasaden (SINTEF Byggforsk, 2013). For å unngå at fukt trenger inn i konstruksjonen bør byggets fasader utformes slik at nedbør renner av. Ved slagregn kan vann trenge seg inn bak kledningen. Riktig oppbygging av yttervegger er elementært for å sikre at vann som har kommet på innsiden av kledningen raskt kan ledes ut og at det er tilstrekkelig lufting slik at gjenværende fuktighet tørker ut slik at man hindrer vann i å trenge inn i konstruksjonen. Det anbefales å ta i bruk to-trinnstetting for å sikre bygningsfasaden mot lekkasjer på grunn av slagregn (SINTEF Byggforsk, 2013).

Mengden slagregn varierer for ulike landsdeler. Den største mengden slagregn er langs kysten på Vest- og Nordvestlandet. Hvor mye nedbør som vil treffe bygningers fasader avhenger av flere faktorer. De ytre faktorene er regnintensitet, vindhastighet og vindretning (Thue, 2014). Byggets størrelse og form, fasadens orientering og plassering i forhold til fremherskende vindretning innvirker også på slagregnpåkjenningen (SINTEF Byggforsk, 2013). Sammenhengen mellom vind og slagregn gjør det mulig å motvirke påkjenningen. Ved å redusere vindbelastningen kan slagregnsmengden reduseres.



Figur 13. Slagregnskart (basert på data fra SINTEF Byggforsk, 2013).

### Klima i Kirkenes

Klimaet i Kirkenes kan ifølge Köppens klimaklassifisering defineres som polarklima, også kalt kontinentalklima. Den nordlige lokaliseringen gjør at Kirkenes inngår i området definert som subarktisk. Månedsmiddeltemperaturene til Kirkenes er lave, og det er kun juli og august som har gjennomsnittlige månedstemperaturer over 10 grader (Meteorologisk institutt, 2016). Kirkenes befinner seg ved kysten, og vil derfor ha mildere temperaturer enn innlandssteder i Finnmark.

Kirkenes lufthavn, månedsnormaler 1961-1990, middeltemperatur [°C]													
Stnr	Jan	Feb	Mars	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Des	År
99370	-11,8	-11,3	-7,4	-2,4	3,0	8,5	12,1	10,5	6,2	0,4	-5,5	-9,7	-0,6

Tabell 3. Middeltemperaturer for Kirkenes (Meteorologisk institutt, 2016).

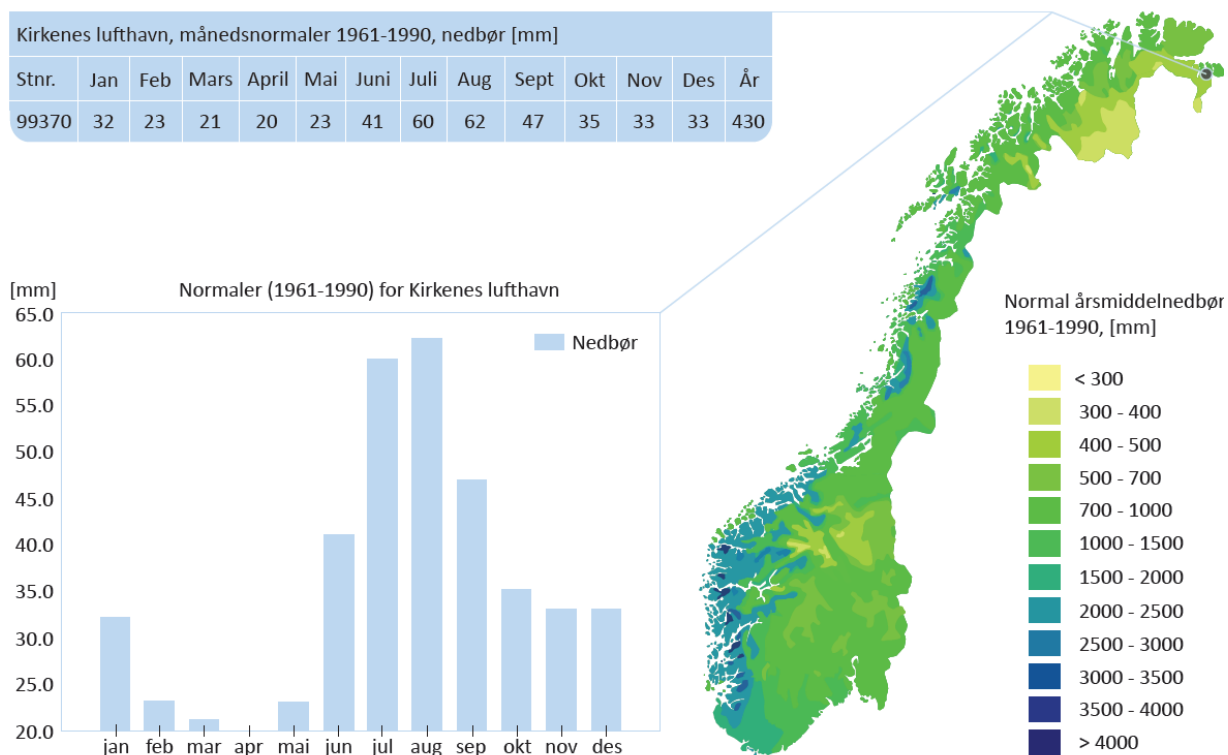
Årsmiddeltemperaturen,  $\theta_m$ , gir gjennomsnittet av temperaturer for en kommune basert på målinger over en trettiårsperiode (Lisø & Kvande, 2007). I tillegg til verdier for et år, kan man få oversikt over den laveste gjennomsnittstemperaturen målt over ett eller flere døgn. Den laveste gjennomsnittstemperaturen som måles over en periode på tre døgn, kalles minimumstemperatur. Ved ulike energiberegninger benyttes minimumstemperatur som dimensjonerende utetemperatur. Eksempler på slike beregninger kan være dimensjonering av oppvarmingsanlegg, varmeeffektbehov til et bygg, eller å finne maksimal temperaturbevegelse til materialer (Lisø & Kvande, 2007). Målinger over en tredøgnperiode gjør at man kan ta utgangspunkt i de laveste gjennomsnittlige temperaturene. På denne måten kan bygninger tilpasses de lave temperaturene og man vil kunne utarbeide energiberegninger som vil gi mer presise resultat i forhold til vintersesongen enn om man benytter årsmiddeltemperaturer.

Dager hvor lufttemperaturen faller under nullpunktet måles i form av frostmengde. Frostmengden defineres som tidsintegralet av forskjellen mellom lufttemperatur og 0°C i vintersesongen, for de dagene lufttemperaturen er under nullpunktet. Måling av frostmengde kan gjøres for et normalår,  $F_N$ , eller over en lengre periode. Ved frostsikring av veier, fundamenter og ledninger benyttes frostmengde for dimensjonering (Lisø & Kvande, 2007). Frostmengden benyttes også for å finne et steds frostdybde. Høye frostmengder vil gi en større frostdybde.

Kommune	Temperatur [°C]					Frostmengde [h°C]					Frostdybde [m]	
	$\theta_{1d}$	$\theta_{2d}$	$\theta_{3d}$	$\theta_{4d}$	$\theta_m$	$F_N$	$F_{10}$	$F_{20}$	$F_{50}$	$F_{100}$	$H_0$	$H_N$
Sør-Varanger	-42,8	-41,8	-40,8	-38,0	0,1	39 000	49 000	54 000	60 000	65 000	2,8	2,2
Kautokeino	-46,9	-46,6	-46,4	-45,2	-2,1	49 000	61 000	66 000	72 000	77 000	3,1	2,5
Karasjok	-50,0	-49,7	-48,6	-47,7	-2,1	51 000	65 000	70 000	78 000	83 000	3,2	2,5

Tabell 4. Klimadata for ulike kommuner i Finnmark (SINTEF Byggforsk, 2012).

Kirkenes lokalisering ved kysten av Finnmark, gir en relativt stor nedbørsmengde tatt i betraktning til resten av fylket. På landsbasis kan nedbørsmengden derimot anses som liten. Månedsmiddeltemperaturene i Kirkenes er lave, noe som gjør at mye av nedbøren er i form av snø. Ved utbygging vil snø være en viktig faktor som må undersøkes og vurderes. Store snømengder gjør at det må tilrettelegges for effektiv snørydding, og bygninger må planlegges slik at blokkering av rømningsveier unngås.



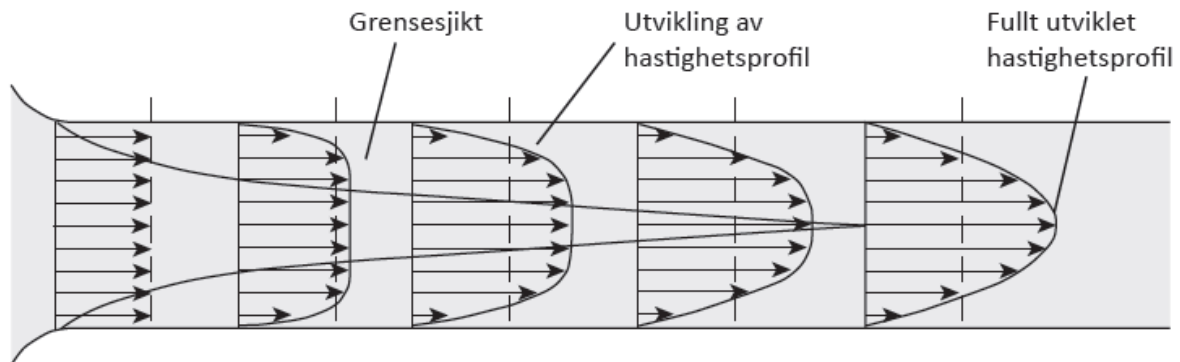
Figur 14. Oversikt over nedbørsnormaler på landsbasis og lokalt for Kirkenes (basert på data fra Meteorologisk institutt, 2016; SINTEF Byggforsk, 2007).

## 2.2 Strømningslære

Både væsker og gasser er fluider. Forskjellen mellom fluider og faste stoffer er basert på den molekylære strukturen. Et fast stoff vil beholde sin struktur ved påvirkning av krefter, mens et fluid vil deformere når det utsettes for spenning ved tverrbelastning, også kalt skjærspenning. Skjærspenning defineres som kraft per flateenhet (1).

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (1)$$

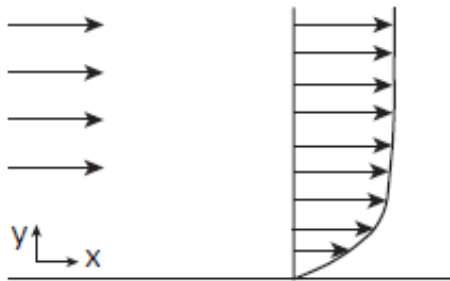
Når man snakker om friksjon i fluidmekanikk brukes den målbare verdien viskositet. Hvordan et fluid beveger seg vil være avhengig av stoffets egenskaper. Viskositeten angir hvor godt et fluid klarer å motstå gradvis deformasjon, og den står også for skjærkraften som skapes i et fluid under bevegelse. Et fluids bevegelse vil avhenge av stoffets egenskaper. Studerer man ulike væskers bevegelse, vil man observere at et stoff som er tykkere og beveger seg langsomt har en høyere viskositet enn tynnere stoffer (Munson, Okiishi, Huebsch & Rothmayer, 2013). Fluider deles inn som newtonske og ikke-newtonske fluider etter hvordan de oppfører seg ved tilført skjærspenning. For newtonske fluider vil skjærspenningen og hastighetsgradienten bevege seg lineært, og den dynamiske viskositeten vil holdes konstant ved en bestemt temperatur. For ikke-newtonske fluider vil man ha en motsatt utvikling, hvor tilført skjærspenning gjør at viskositeten endres. Enkelte ikke-newtonske fluider har en oppførsel som hverken kan defineres som flytende eller fast stoff og går under navnet *Bingham plastics* (Munson et al., 2013). Slike stoffer vil tåle tilført skjærspenning uten å deformeres så lenge skjærspenningen ikke overstiger den kritiske grensen. Når dette skjer vil stoffet gå fra fast til flytende form. Eksempler på dette er blant annet snøskred og tannkrem. Det finnes også stoffer som er tilnærmet ikke-viskøse da de beveger seg uten påvirkning fra friksjonskrefter. I en ikke-viskøs fluidstrøm vil det ikke være noen friksjon eller varmeoverføring gjennom ledning. Denne type strømning betraktes som en ideal strømningstilstand. Vann og luft har ulike egenskaper, men er begge tilnærmet ikke-viskøse.



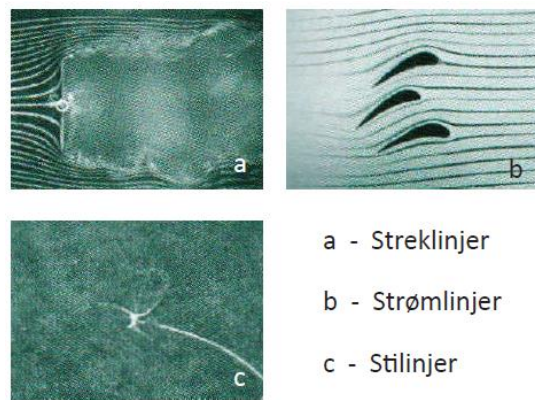
Figur 15. Utvikling av hastighetsprofil i rør (basert på Çengel & Ghajar, 2011).

Fluiders bevegelse skyldes forskjell i trykk, ytre krefter og gravitasjonskrefter. Strømningen til et fluid kan begrenses av solide flater. Et fluid som strømmer nært en solid flate vil på grunn av viskøse krefter, klistre seg til flaten og få samme hastighet. Er flaten i ro vil fluidets hastighet ved flaten bli lik 0. Dette kalles heftbetingelsen. Et fluid som begrenses av flater defineres som intern strømning. Fluidstrømning i et rør defineres som intern strømning. Ved inngangen av et rør vil fluidet ha lik hastighet over hele rørbredden. I møtet med rørvæggen vil fluidet bremses opp og et tynt grensesjikt oppstår. Grensesjiktet er det området av strømningen hvor friksjonspåvirkningen er svært aktuell, mens utenfor sjiktet vil fluidet nærmest bevege seg som et friksjonsløst fluid (Munson et al., 2013). Dette grensesjiktet utvikles

i takt med fluidets bevegelse gjennom røret og vil til slutt dekke hele røret. Når grensesjiktet går over hele røret har man et fullt utviklet strømningsmønster, hvor hastigheten i et gitt punkt vil øke med avstand fra rørvæggen. En strømnings situasjon hvor man har et ubegrenset fluid som strømmer over en flate kalles ytre strømming (Thue, 2014). Dette kan for eksempel være luft som strømmer mot en fasade. Ved lave hastigheter blir området som påvirkes av flaten relativt stort, mens høye hastigheter begrenser området til et tynnere sjikt nært flaten. Har man forskjellig temperatur på fluidet og flaten vil det oppstå varmeoverføring. Denne varmeoverføringen foregår i grensesjiktet, selve overgangen mellom mediene. For luft som beveger seg over en flate kan grensesjiktet ses på som den delen av luften som befinner seg mellom flaten og luften som er uberørt (Børve, 1987). Nærmest flaten, i posisjonen  $y = 0$ , vil hastigheten til fluidet være lik null på grunn av heftbetingelsen (Çengel & Ghajar, 2011). Laget som klister seg fast til flaten vil påvirke de neste lagene som vil bremses ned. Nedbremsing av lag for lag gjør at hastighetsprofiler får en bestemt utvikling der hastigheten stiger i takt med økende høyde.



Figur 16. Strømning over stasjonær flate (basert på Çengel & Ghajar, 2011).



Figur 17. Ulike typer strømning (Munson et al., 2013).

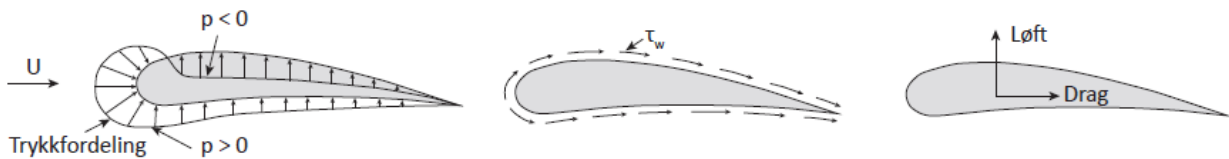
I strømningsanalyser benyttes strømlinjer, streklinjer og stilinjer for å visualisere fluiders bevegelse. Strømlinjer brukes mye i analytisk arbeid, og illustrerer fluidpartiklers bevegelse i form av linjer. Fluidpartikkelens hastighetsvektor på et hvert punkt vil være tangent med strømlinjen. Luftbevegelse illustreres ofte ved å benytte strømlinjer. Strømlinjer som beveger seg mot en flate vil deles og spres til sidene, mens man får et delingspunkt i midten hvor hastigheten er lik 0. Dette delingspunktet kalles stagnasjonspunktet. Siden farten i dette punktet er 0 vil kreftene som virker være i form av trykkenergi (Børve, 1987).

Et objekt omgitt av et fluid som ikke er i bevegelse vil kun utsettes for trykkrefter. Et fluid i bevegelse vil også tilføre tangentielle skjærkrefter på grunn av heftbetingelsen forårsaket av viskøse krefter (Munson et al., 2013). Kreftene et fluid i bevegelse utøver på et objekt i strømningsretningen kalles drag, mens summen av innvirkende krefter som virker normalt på strømningsretningen forårsaker løft (Çengel & Ghajar, 2011). Hvor store dragkrefter er avhenger av objektets form. Strømlinjeformede objekter vil ha lavere luftmotstand og generelt sett mindre dragkrefter. Sammenhengen mellom hastighet og trykk kan forklares ved hjelp av Bernoullis ligning. Bernoullis ligning tar for seg to punkt og kan brukes for å bestemme fordelingen av trykk langs en samling strømlinjer (2).

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho U_1^2 + \rho g z_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho U_2^2 + \rho g z_2 \quad (2)$$

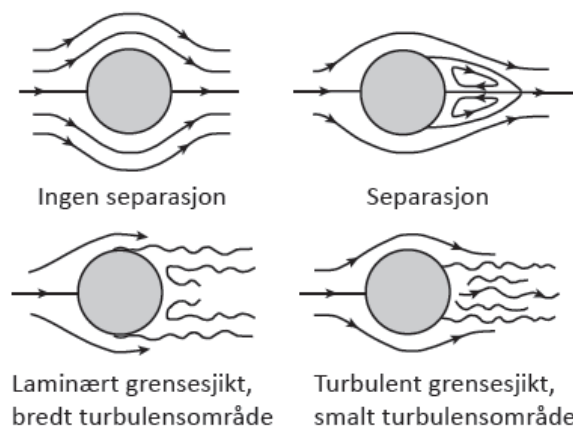


I ligningen er  $p$  trykk,  $\rho$  er tetthet,  $U$  er fluidhastighet i bevegelsesretning,  $z$  er høyde over referansenivå og  $g$  er tyngdeakselerasjonen. En ideell strømning vil ha en konstant mengde energi. For å benytte Bernoullis ligning må man vite trykket og hastigheten i minst et punkt, strømmingen separeres ikke og energitapet mellom referansepunkt og andre punkt er ubetydelige (Børve, 1987). Bernoullis ligning kan vises med luftstrøm rundt en flyvinge. Der trykket reduseres vil hastigheten øke, mens der man har økning i trykk vil hastigheten reduseres. For flyvingen vil man få økt trykk under vingen. Ved luftens strømning i landskapet kan man se Bernoullieffekten gjennom at lufthastigheten påvirkes av terrenget (Meteorologisk institutt, 2009). Luftstrømmen som tvinges mot hindringer som hus og høye terrengformasjoner vil få en økt hastighet og det oppstår trykkforskjeller. Denne sammenhengen mellom trykk og hastighet gjør at det kan oppstå skader på tak eller at ting løftes og flyttes (Meteorologisk institutt, 2009).

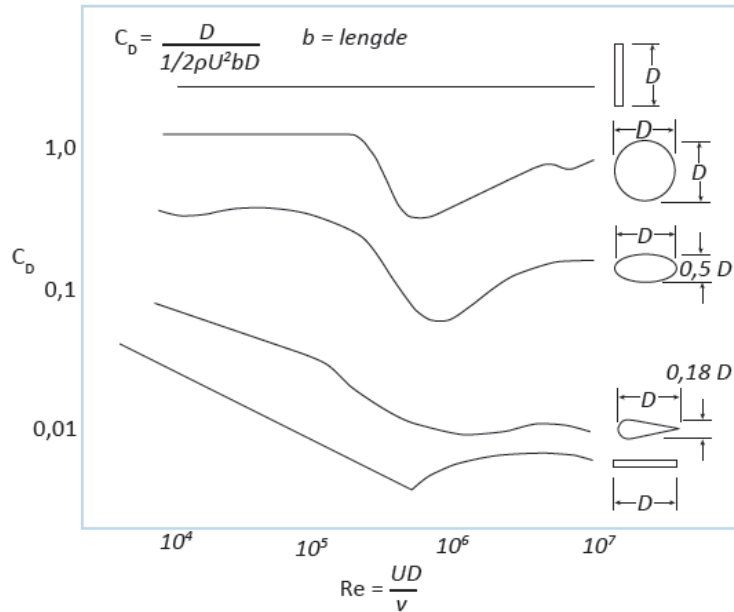


Figur 18. Krefter som virker på en flyvinge, henholdsvis trykkkrefter, fordeling av skjærspenning og resultantkraft (Munson et al., 2013).

Nært et objekt vil fluidet følge objektets form i en tynn hinne (Børve, 1987). Luft som beveger seg mot et objekt vil stoppes helt opp i stagnasjonspunktet og presses til sidene, noe som gjør at det oppstår et økt trykk. For en sylinder vil hastigheten øke på siden vendt mot luftstrømmen, mens trykket vil avta. På motsatt side reduseres hastigheten og trykket øker. Ved svært lave hastigheter vil fluidet bevege seg nært sylindere og møtes på motsatt side. Økes hastigheten vil fluidet fortsatt klebe seg mot sylindere på møtende side, men hastigheten vil være for stor til at fluidet klarer å forbli inntil sylindere og grensesjiktet løsriver seg fra objektet. Løsrivelsen gjør at det skapes et lavtryksområde bak sylindere. I separasjonsområdet oppstår det en resirkulasjonsone hvor strømning beveger seg i motsatt retning til fluidets innstrømning. Jo større separasjonsområdet er, jo større er dragkreftene (Çengel & Ghajar, 2011). Separasjonsområdet ender der strømningene på hver side møtes.



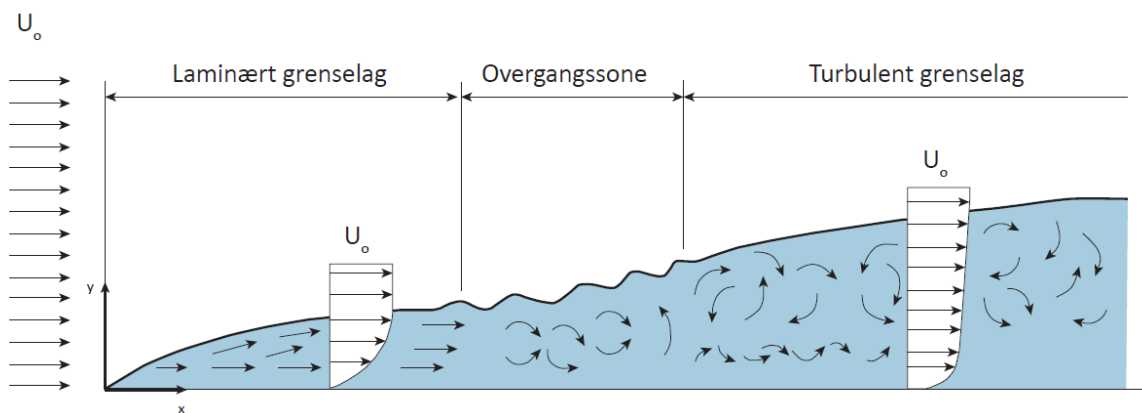
Figur 19. Strømning rundt sylinder (basert på Munson et al., 2013).



Figur 20. Sammenheng mellom dragkoeffisient og Reynoldstall for ulike objektsformer (Munson et al., 2013).

Reynoldstallet,  $Re$ , anses som den mest sentrale dimensjonsløse variabelen i fluidmekanikk. Variabelen uttrykker forholdet mellom treghetskrefter og viskøse krefter (3), og brukes for å fastsette type strømning. Hvor  $\rho$  er fluidets densitet,  $\mu$  er dynamisk viskositet,  $U$  er fluidhastighet utenfor grensesjiktet, og  $L_c$  er karakteristisk lengde. Lav  $Re$ -verdi impliserer at de viskøse kreftene dominerer og strømningen defineres som laminær. Ved laminær strøm vil ikke hastigheten variere med tid, og man har en stabil strøm med jevne strømlinjer. En høy  $Re$ -verdi vil si at treghetskreftene dominerer og strømningen vil være turbulent. Turbulent strømning karakteriseres med uregelmessige strømlinjer, variasjoner i hastighet og ustrukturert bevegelse. I virkeligheten er de fleste strømninger turbulente. Aerodynamiske objekter vil ha et lavt Reynoldstall, da luftstrømmene vil bevege seg lettere forbi enn om objektet ikke hadde hatt avrundede former.

$$Re = \frac{\rho U D}{\mu} = \frac{\text{treghetskrefter}}{\text{viskøse krefter}} \quad (3)$$



Figur 21. Utvikling av grensesjikt for strømning over en flate (basert på Çengel og Ghajar, 2011).

I modellforsøk benyttes Reynoldstallet for å skape forbindelse mellom modell og prototype. Ved å bruke verdier som er lik Reynoldstallet man har i virkeligheten kan man beregne tilsvarende eksperimentelle hastigheter slik at man oppnår realistiske strømlinjer i modellforsøket.

Strømningsanalyser er ofte svært komplekse og det er derfor hensiktsmessig å utføre numeriske analyser, da mengden informasjon man kan innhente fra teoretiske beregninger vil være begrenset. I forbindelse med numeriske simuleringer av fluidstrømmer benyttes Navier-Stokes ligningene (4, 5, 6), da angivelse av fluidets hastighet og trykk vil være for komplisert til å regne analytisk. Navier-Stokes ligningene er grunnleggende differensialligninger som beskriver strømmingen til newtonske fluider (Munson et al., 2013). Ligningene angir strømming med hensyn til x-, y- og z-retning. For ligning med hensyn til x-retning uttrykkes krumningen til hastighetsprofilen.

x-retning:

$$\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

y-retning:

$$\rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \rho g_y + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

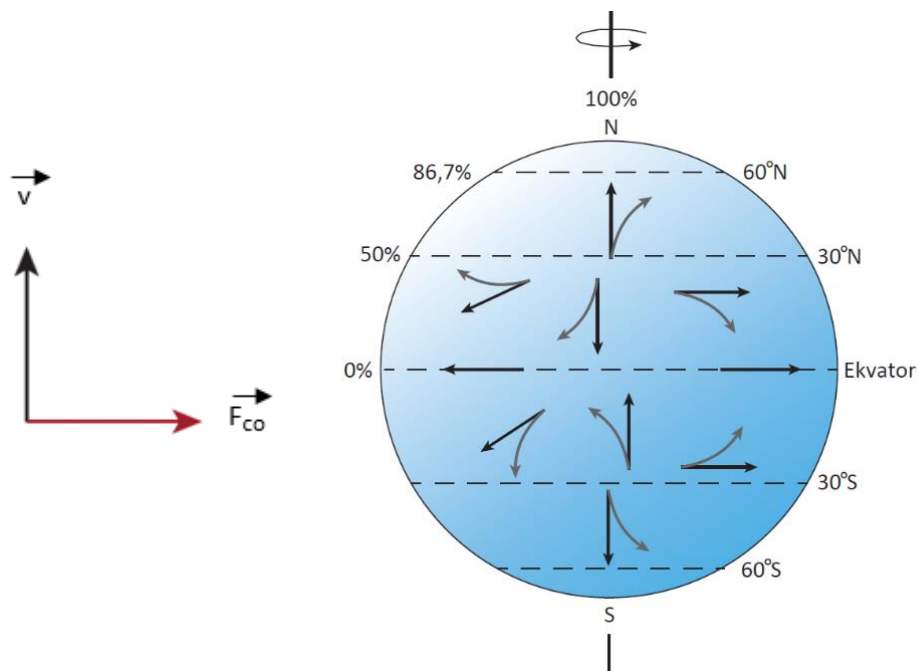
z-retning:

$$\rho \left( \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (6)$$

## 2.3 Vind

### Vind og atmosfæren

Sola er vår hovedenergikilde som gjør det mulig for oss å leve på jorden. Solas utstrålte energi er selve drivkraften til globale og lokale vinder forårsaket av trykkforskjeller i atmosfæren. Solinnstrålingen varmer opp jordoverflaten og oppvarmingen varierer med hensyn til lokalisering. Temperaturforskjellene som oppstår skaper forskjeller i tetthet og trykk. Varm luft er lettere enn kald luft, noe som gjør at luften stiger når den varmes opp. Områder rundt ekvator vil motta mer varme enn områder nært polene. Lufta ved ekvator varmes opp, luftmassene stiger og strømmer bort som gjør at det etterlates et lavtrykk. Ved polene kjøles luften ned og trekkes sammen slik at høyere liggende luftlag strømmer til og skaper høytrykk (Dyrbye & Hansen, 1989). Atmosfæren prøver å være i likevekt og for å få til en utjevning av trykkforskjeller strømmer luftmassene fra høytrykk til lavtrykk. Bevegelsene til luftmassene i et lavtrykk foregår ved at luft trekkes inn og opp mot senteret av lavtrykket. Denne bevegelsen opptrer i et spiralmønster med retning mot midten av lavtrykksfeltet. Ved høytrykk beveger luftmassene seg i form av nedgående strømninger, med et spiralmønster som beveger seg ut fra senteret av høytrykket. Vindretningen til et lavtrykk vil dreie mot klokken på den nordlige halvkule, mens på den sørlige vil dreiningen være med klokken. På samme måte vil et høytrykk dreie med klokken på den nordlige halvkule, og mot klokken på den sørlige. Denne endringen i dreining skyldes jordens rotasjon. Jorden roterer rundt sin egen akse, og rotasjonshastigheten vil avhenge av hvor på jorden man befinner seg. Ved ekvator har jorda størst omkrets og det er her rotasjonshastigheten er høyest. Hastigheten avtar i takt med avstand til polene. Dette skyldes at jordas omkrets er mindre ved polene. Når luftstrømmer beveger seg nordover fra ekvator vil utgangshastigheten være høyere og man vil få en avbøyning mot høyre. På samme måte vil man på sørsiden for ekvator få en avbøyning mot venstre. Uten denne avbøyningen ville vinden beveget seg i rette linjer, fra høyt til lavt trykk. Denne effekten som oppstår blir beskrevet med bruk av en fiktiv kraft, kalt corioliskraften (Utaaker, 1991). Ved ekvator er kraften lik 0 og blir sterkere mot polene. Corioliskraften øker jo større avstanden er fra jordaksen. Vi kan derfor se bort fra denne kraften ved bevegelser på liten skala.



Figur 22. Corioliskraften (basert på Utaaker, 1991).

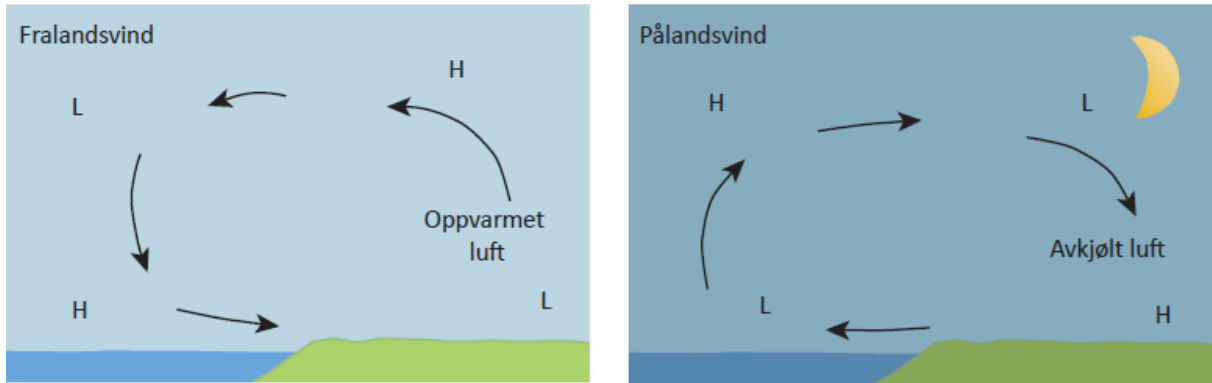
Jordoverflaten har store temperaturforskjeller, spesielt forskjellen mellom polene og ekvator. Solinnstrålingens intensitet varierer på grunn av jordens tilnærmede kuleform. Temperaturforskjellene forårsaker at det dannes klimabelter (Bjerg, 2012). Ved ekvator har man høy solinnstråling der luftmasser stiger og strømmer bort. Lavtrykksfeltet som dannes gjør at luftmasser nord og sør for ekvator strømmer mot lavtrykksområdet. Disse luftstrømningene kalles passatvindene (Utaaker, 1991). Ved omtrent 30° bredde finner man det subtropiske høytrykksbeltet (Dyrbye & Hansen, 1989). Nærmere polene har man vestavindsbeltene, hvor den varme tropelufta møter den kalde polarlufta. I løpet av et år endres jordas stilling i forhold til solinnstrålingen, noe som gjør at vindforholdene i de ulike klimabeltene endres fra sommer til vinter (Bjerg, 2012).

I tillegg til jordas posisjon vil variasjoner mellom land- og havområder innvirke på klimabeltene og de globale vindsystemene. Likedan vil lokale vinder påvirkes av temperaturforskjeller på jordoverflaten. I den laveste delen av atmosfæren vil vinden bremses ned som følger av friksjonen som oppstår med jordoverflaten (Dyrbye & Hansen, 1989). Jordoverflatens ruhet angir nedbremsingen og påvirkningen av hastigheten opp i atmosfæren. Det nederste laget av atmosfæren som berøres kalles friksjonslaget (Bjerg, 2012). Friksjonslagets høyde over terrenget vil variere, og man har en større høyde der ruheten er høy. Et bart område vil ha en lav ruhet, mens byområder vil ha en mye høyere ruhet. Høy ruhet vil skape en sterkere nedbremsing av vinden som igjen vil forårsake dannelse av virvler og turbulens. For å definere den reduserte vindhastigheten ved ulike høyder i friksjonslaget fremstilles dette ved bruk av vindhastighetsprofil. Steder med høye vindhastigheter vil oppleves mer urolig og ukomfortabelt enn ved lave vindhastigheter. I byområder vil kombinasjonen av høye bygninger og høy vindhastighet skape et turbulent vindmiljø (Bjerg, 2012).

Beveger man seg høyere over jordoverflaten vil den bremsende effekten avta, og vindhastigheten vil øke. Ved 1000 meters høyde vil vinden kun være avhengig av corioliskraften og den horisontale trykkgradienten (Dyrbye & Hansen, 1989). Vinden på dette høydenivået kalles geostrofisk vind. I tillegg til geostrofisk vind har man også en annen form for vind, kalt gradientvind. I nærheten av lavtrykk eller høytrykk vil vinden bevege seg i en krummet bane (Dyrbye & Hansen, 1989). Gradientvind og geostrofisk vind påvirkes ikke av friksjon fra jordoverflaten. En forskjell er at gradientvinden avhenger av sentrifugalkraftene som man ser bort ifra ved geostrofisk vind.

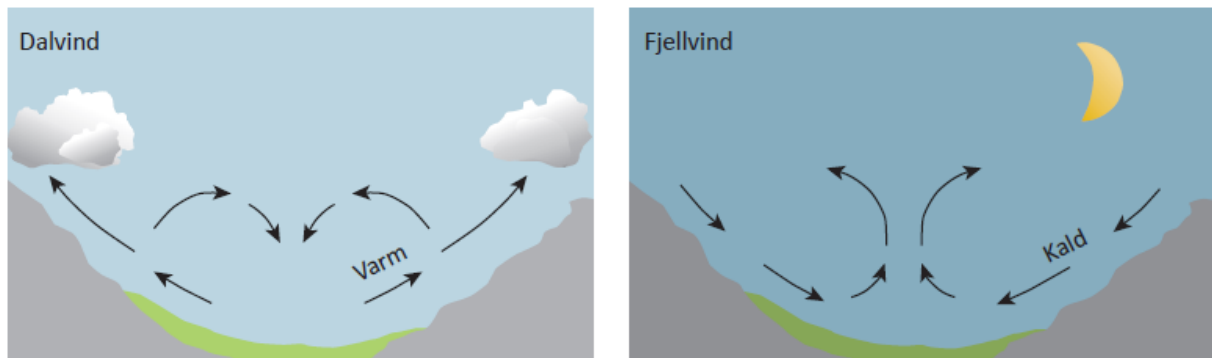
### *Lokale vindsystemer*

Topografien innvirker på luftens temperatur og dannelse av vind. Ulik oppvarming og avkjøling av ulike terrengtyper er årsak til at lokale vindsirkulasjonssystemer oppstår. Ved kysten vil lufta over havet og land varmes opp ulikt på grunn av forskjellig varmekapasitet. Havet har en høyere varmekapasitet enn landmasser, noe som gjør at havet varmes opp og avkjøles saktere (Utaaker, 1991). På en solfylt dag vil lufta over land varmes opp, stige og det dannes et lavtrykk. Ved havet vil oppvarmingen skje sakte og man får en kaldere luft som synker. Her vil det oppstå et høytrykk. Siden luft beveger seg fra høytrykk til lavtrykk vil dermed lufta bevege seg fra havet og innover land. Vinden som skapes kalles pålandsvind.



Figur 23. Lokale vindsystem ved kysten (basert på Utaaker, 1991).

På natten blir det kaldere i luften, og ved land avkjøles bakken raskt. Kald luft over land vil synke og det dannes et høytrykk over bakken. Havet vil på grunn av den høye varmekapasiteten holde bedre på varmen og dermed avkjøles saktere. Luften over havet blir dermed varmere enn den er over land og vil stige slik at det dannes et lavtrykk. For å utligne forskjellene beveger nå luftmassene seg fra land til havet og man får fralandsvind.



Figur 24. Lokale vindsystem i fjelltrakter (basert på Utaaker, 1991).

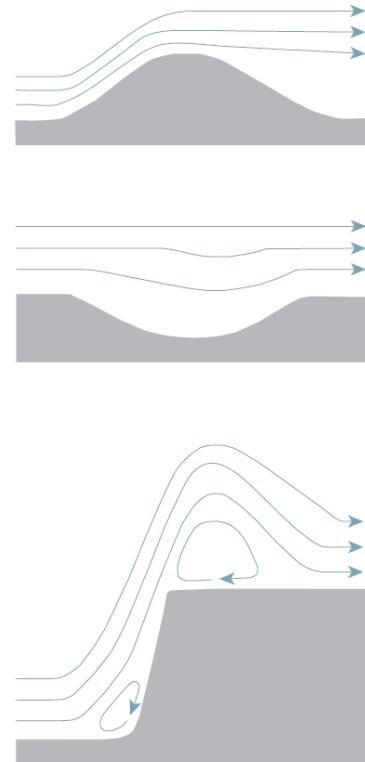
Forskjeller i temperatur ved ulik topografi er også årsaken til at det oppstår dal- og fjellvind. I daler kan det oppstå store lokale temperaturforskjeller. Dette gjør at det dannes egne lokale vindsystemer. Luft som befinner seg på samme høydenivå over dalsidene og dalbunnen vil varmes opp ulikt og det oppstår en horisontal trykkforskjell (Utaaker, 1991). På en solfylt dag vil luften ved dalsiden varmes mer opp enn ved samme høyde over dalbunnen. Denne trykkforskjellen gjør at luftstrømmer beveger seg opp de oppvarmede dalsidene. En slik type luftstrøm kalles anabatisk vind, og starter etter solen har stått opp (Utaaker, 1991). I løpet av dagen vil luftstrømmer gradvis begynne å bevege seg fra dalen og opp mot fjellet. Dette er den såkalte dalvinden. I høyden vil motstrømmer bevege seg inn mot midten, og ned til dalen slik at man får et sirkulasjonssystem. Om natten vil mangel på tilført stråling fra solen gjøre at bakken avkjøles. På en klar natt med lite vind avkjøles luften over dalsidene raskt. Tyngdekraften får den kalde luften til å begynne å synke til lavere terrenghøyder. Denne typen luftstrømmer som beveger seg nedover kalles katabatisk vind (Utaaker, 1991). I et svært bratt terreng vil kald luftstrøm opptre i støt, som gjerne kan ha en stor hastighet ned fra fjellsiden. Kaldluftstrøm som beveger seg nedover til dalbunnen kalles fjellvind. I likhet med dalvinden vil man også her få en motstrøm som danner et sirkulasjonssystem, men her stiger motstrømmen fra dalen før den beveger seg ut mot dalsidene.

I forbindelse med orografisk nedbør, hvor luftmasser presses opp bratte terrengformasjoner og avkjøles slik at det forekommer nedbør, vil det også forekomme vindeffekter. Når luftmassene stiger over fjellet vil de tømmes for fuktighet og bli tørrere. På baksiden av fjelltoppen vil luften raskt varmes opp idet den beveger seg nedover. Den varme vinden som oppstår på lesiden kalles fønvind.

### Vind i landskap og terreng

Vindens bevegelse i møtet med terrengformasjoner, vegetasjon og bygninger er en bestemmende faktor for de lokale vindforholdene. Ved å studere et steds fysiske omgivelser kan man hente informasjon og inspirasjon for å tilpasse bebyggelsesmønstret til hvert spesifikke prosjektområde. Vind som ikke møter på hindringer og er uforstyrret, vil bevege seg som en laminær luftstrøm (Bjerg, 2012). Turbulens oppstår når vinden møter hindre slik at det dannes virvler.

Terrengformasjoner vil påvirke vindens bevegelse og hastighet. Flate, åpne områder vil ikke ha store hindringer, og vinden vil kun påvirkes av våtområder og vegetasjon. I et kupert landskap vil terrengformasjoner kunne endre vindens retning og hastighet. Ved bakketopper vil luftmassene presses sammen og man får en økt vindhastighet (Bjerg, 2012). Forsenkninger i terrenget vil få luftmassene til å utvides og skaper en reduksjon i vindhastigheten. Ved bratte skråninger vil vinden tvinges til å bevege seg oppover. Like ved kanten av skråningen og ved bunnen vil det kunne oppstå turbulens.



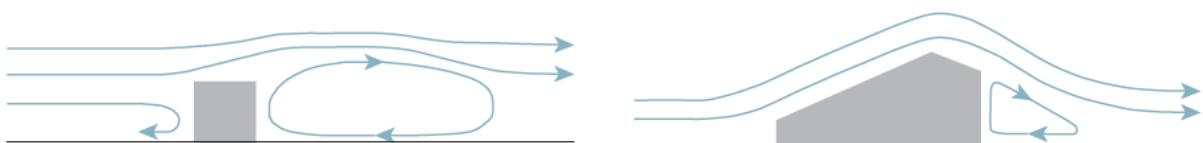
Figur 25. Strømningsmønstre ved ulike terrengformasjoner (basert på Houlberg, 1979).

### Vind rundt bygninger

Vindpåvirkning regnes som en av de mest sentrale parameterne i forhold til bygningsfysikk. Dette er fordi vinden innvirker på mange ulike felt (Thue, 2014):

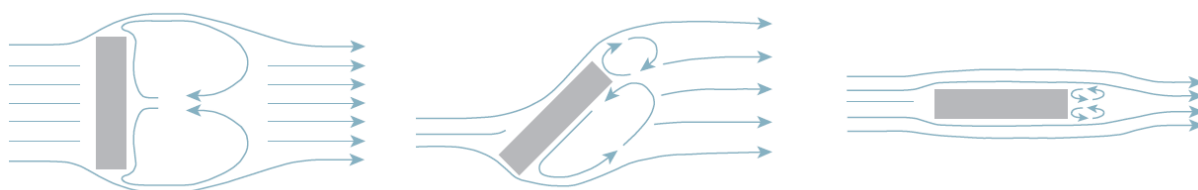
- Luftas tørkeevne
- Statistiske og dynamiske trykkpåkjenninger
- Naturlig ventilasjon
- Slagregnpåkjenning
- Trekk og komfort
- Snølagring
- Varmetap

Når vinden støter på fysiske hindre vil den bremses ned samtidig som det oppstår overtrykk på loside og undertrykk på leside. Rundt trykksonene økes hastigheten, mens det oppstår virvler inne i trykksonene (Bjerg, 2012). Økt vindhastighet vil gjøre at trykkforskjellen også økes, som igjen vil skape mer turbulens. Luftas strømningsmønstre og mengde turbulens vil variere etter hvordan bygninger plasseres og deres geometriske utførelse. Generelt sett vil bygninger og objekter med aerodynamisk design lede luftstrømmer slik at man får minst mulig turbulens. En avrundet bygningskropp gjør det mulig å redusere turbulensen som oppstår ved hjørnene, men en slik utforming gir en mindre lesone enn hva man ville hatt ved et kantet bygg.



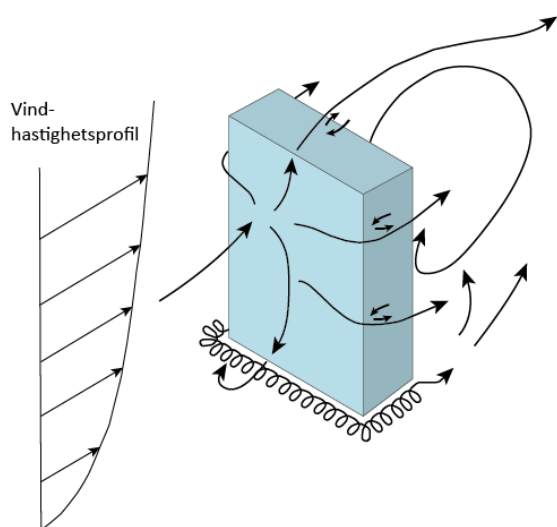
Figur 26. Strømningsmønstre ved ulike bygningsformer (basert på Børve, 1987).

Bygningers plassering i forhold til fremherskende vindretning er bestemmende på hvordan strømningsmønsteret vil bevege seg. Plasseringen danner grunnlaget til hvor man får lesoner og turbulens, og den forventede utstrekning av sonene. Et bygg hvor langsiden plasseres mot vindretningen vil bremse ned luftstrømmen og det skapes et stort turbulensfelt på lesiden. Plasseres kortsiden av bygget mot vindretningen vil luftstrømmen bevege seg langs bygget, og man vil få et mye mindre område med turbulens. En diagonal plassering vil skape et asymmetrisk turbulensfelt og lesonen reduseres (Bjerg, 2012).

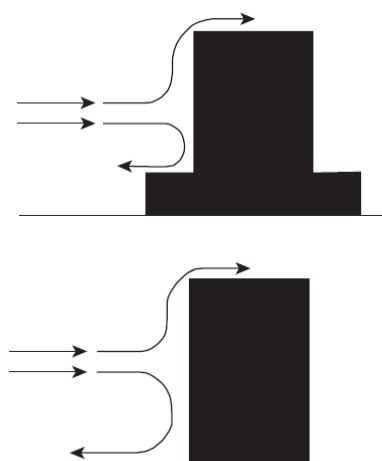


Figur 27. Strømningsmønster ved ulike rotasjoner av bygg (basert på Børve, 1987).

Enkeltbygg som strekker seg over omkringliggende bebyggelse kan forårsake kraftige luftstrømmer. Vind som beveger seg over det generelle høydenivået for et bebyggelsesområde vil på grunn av vindprofilens stigende vindhastighet over terrenget, skape et høyere trykk på den øverste delen av bygget (Bjerg, 2012). På høyhusets vindutsatte side vil det dannes en høytrykkslomme som fører til en sterk nedslagsvind som skaper turbulens ved bakkenivå (Givoni, 1998). Problemet vil økes med høyden på bygget og vindhastigheten. Det er mulig å gjøre tiltak i forhold til byggets utforming for å redusere problemet. Eksempelvis vil en større nedre bygningskropp kunne fange nedslagsvinden over bakkenivå slik at man får dempet den nedgående vinden og skaper et mer behagelig utendørsområde.



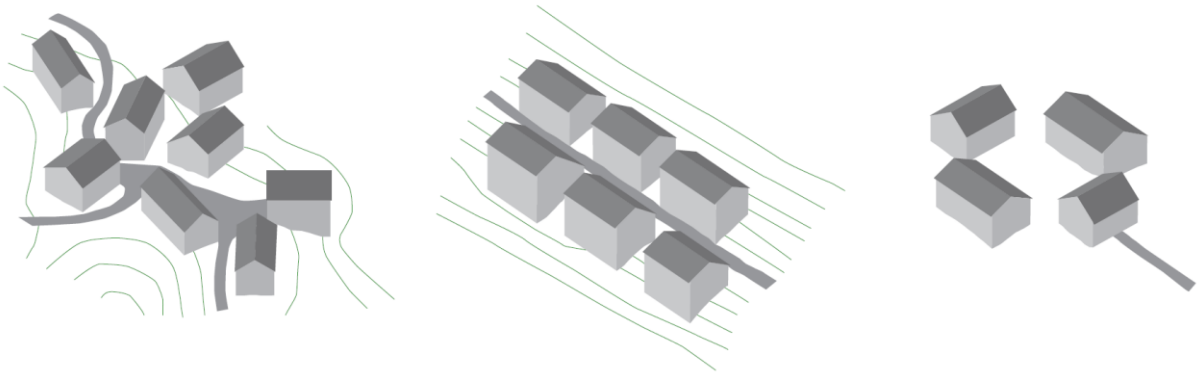
Figur 28. Vindstrømningsmønster rundt høyhus (basert på Hutcheon & Handegord, 1983).



Figur 29. Strømningsmønster ved høyhus av ulike form (basert på Asplan Viak, 2010).

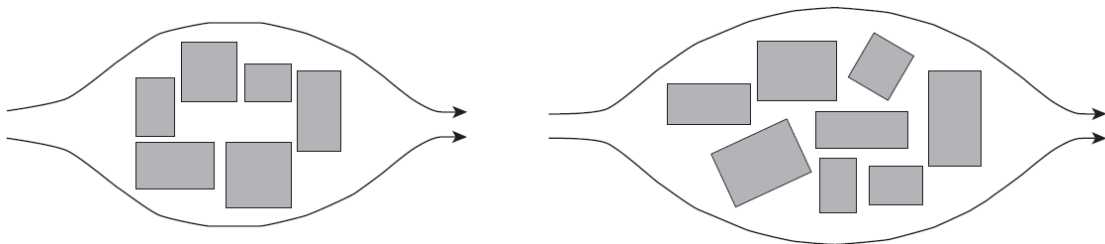


Landskapet har alltid hatt stor betydning for bygningers plassering, og gjennom historien har mennesket bygget etter omgivelsene. Ulike typer tun forekom med hensyn på å skape le, solforhold og å tilpasse seg etter naturens konturer. I Norge varierte tunformene fra landsdel til landsdel. I daler ble bygninger plassert i form av rekker på de solfylte dalsidene, mens dalbunnen ble brukt til dyrka mark. På denne måten kunne man utnytte solforholdene og tilpasse seg etter terrenget. Steder med flatere landskap benyttet seg av firkanttun. Et slikt tun består av flere bygninger som til sammen skaper et indre åpent rom. En annen tunvariant var klyngetun. Slike tun hadde en mer tilfeldig spredning av bygningene og var vanlig i kupert terreng, særlig på Vestlandet (Thiis-Evensen, 2007).



Figur 30. Klyngetun, rekketun og firkanttun (inspirert av Thiis-Evensen, 2007).

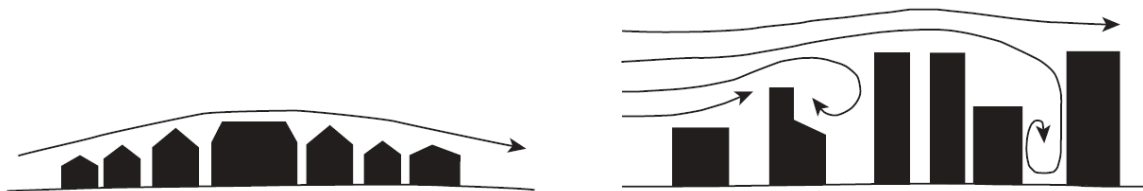
Ved gruppering av flere bygg vil prinsippene for vind rundt enkeltbygg være gjeldende, men man får samtidig en mer kompleks grad av turbulens og lesoner. Kompleksiteten vil øke med antall bygninger og deres utforming, høyde, avstand og selve bebyggelsesmønsteret (Bjerg, 2012). Utgangspunktet med å samle hus i tun har utviklet seg, men man finner mange likheter i dagens bebyggelsesmønstre. Prinsippet med å plassere bygninger i klynger er mye brukt for å unngå at vinden ledes inn mellom husene. I stedet ønsker man at vinden ledes rundt og over husgruppen. Bygningsmønstre hvor bygningene plasseres rundt et åpent område minner om et typisk firkanttun. Her er også formålet at det åpne rommet skal fungere som et skjermet uteområde.



Figur 31. Urbane bebyggelsesmønstre (basert på Asplan Viak, 2010).

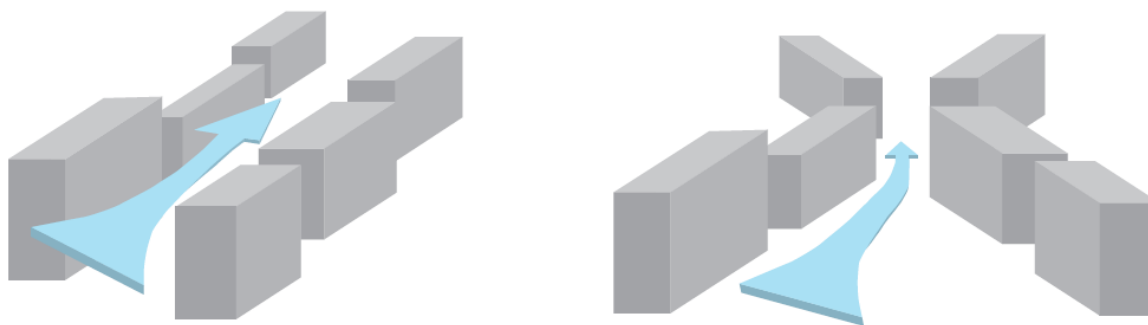
Bebyggelsesområder som er tilpasset terrenget er en nyttig metode for å skjerme boligområder for vind. Dette kan blant annet gjøres ved at bygninger plasseres med terrenget slik at vinden beveger seg i et lignende mønster. Samles bygninger av lavere høyde kan man forme en teppebebyggelse som gjør det mulig å lede vinden over bygningene. Plassering av bygninger i et lavereliggende felt er også en metode hvor vinden vil kunne bevege seg over bebyggelsesområdet. Et problem som kan oppstå ved å plassere bygninger i form av teppebebyggelse er at vinden ledes ned mellom bygningene i stedet for

å bevege seg over. Store avstander og høydeforskjeller mellom bygninger kan hindre vindens strømningsmønster, og ledes ned mellom bygningene. Dette vil skape turbulens og uteområder ved bakkenivå vil kunne oppleves som ukomfortable.



Figur 32. Lav teppebebyggelse og vind rundt høyhus (inspirasjon fra Asplan Viak, 2010).

Hvordan bygninger plasseres vil ha stor innvirkning på de lokale vindforholdene. Åpne byrom og bygningers plassering kan i møte med vind skape effekter som gir mye turbulens og økte vindhastigheter. I rette gater som går parallelt med vindretningen, vil vinden ledes med gateløpet og få en økt hastighet. Gateløpet vil fungere som en ledende korridor, hvor vinden presses inn og det oppstår en vindtunnel. Denne typen vindbevegelse kalles korridoreffekten. Snevres gateløpet inn vil man få en sammenpressing av luftstrømningen. Et gateløp som snevres inn før det igjen utvides vil fungere som en trakta, derav navnet trakteffekt. Inngangen og utgangen av trakta vil ha trykkforskjeller som skaper akselerasjon. Den sterkeste vinden vil forekomme ved utgangen av trakta, der trykket er lavest (Meteorologisk institutt, 2009).

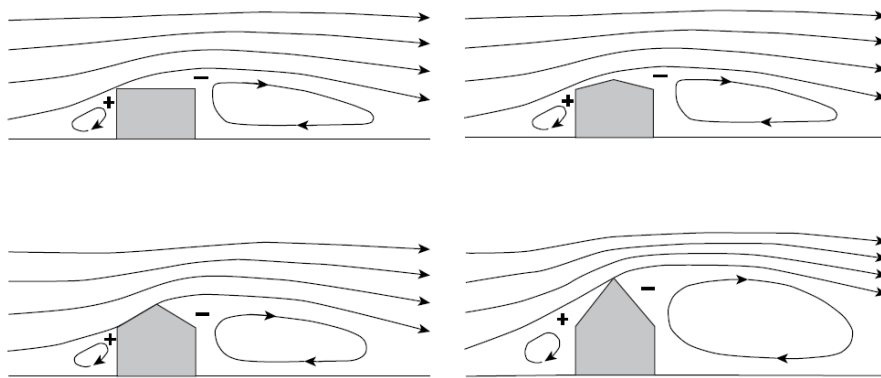


Figur 33. Korridoreffekt og trakteffekt (basert på Houlberg, 1979).

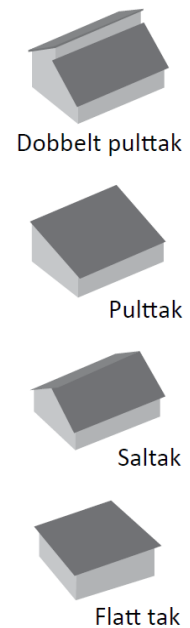
## Vindlast på tak

Vind kan skape store trykkpåkjenninger på konstruksjoner og bygninger. Når luftstrømmer beveger seg mot en bygning vil strømmingene tvinges rundt og over bygget. Byggets yttervegger og takflater vil få områder med overtrykk og undertrykk. Trykkforholdene på tak vil avhenge av takform og helningsvinkel (Thue, 2014). Bygg med saltak som overstiger  $30^\circ$  vil få trykkrefter som virker på loside og sugkrefter på leside. Takvinkler under  $20^\circ$  og flate tak vil få sugkrefter som virker på hele taket (Dyrbye & Hansen, 1989). I motsetning til flate tak, får tak med svært bratt helning et stort overtrykk (Thue, 2014).

Langs en flate vil det ofte være store forskjeller i hastighet og trykk. Det største undertrykket oppstår ved hjørner og kanter. Siden vindhastigheter kan skifte i løpet av kort tid, vil også trykk- og sugkreftene kunne veksle. Saltak som har en helningsvinkel mellom  $20^\circ$  og  $30^\circ$  vil kunne ha sug- eller trykkrefter på takflaten på loside (Dyrbye & Hansen, 1989). Benyttes det takoverbygg på vindsiden av et bygg vil det oppstå trykkrefter i oppadgående retning. Har man et stort overtrykk på undersiden og undertrykk på oversiden vil takoverbygg være spesielt utsatt for skader forårsaket av vind (SINTEF Byggforsk, 2003). Benyttelse av slike overbygg må vurderes nøye i forhold til plassering og utforming.

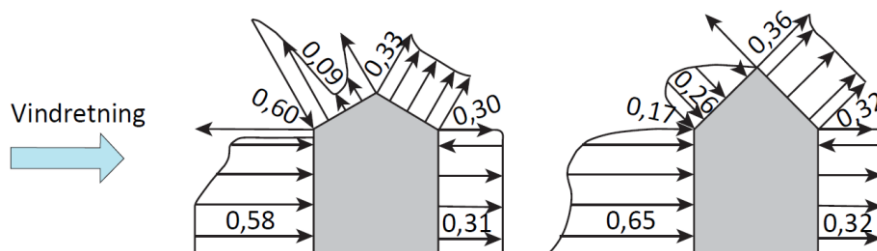


Figur 35. Trykkfordeling ved ulike takformer (basert på Dyrbye & Hansen, 1989).



Figur 34. Taktyper (basert på Edvardsen & Ramstad, 2014).

For at konstruksjoner skal kunne tåle store vindbelastninger må de dimensjoneres riktig. Ved vindlastberegning er det nødvendig å ha informasjon om hvilken kommune bygget skal plasseres i, topografi, takutforming og byggets plassering i forhold til omkringende bygninger (SINTEF Byggforsk, 2003). Hver kommune har registrerte gjennomsnittlige vindhastigheter som går over en returperiode på 50 år. Vindlast som dannes på en overflate vil variere på ulike deler av en flate og på ulike sider av bygningen. Siden vindlasten har store variasjoner benyttes det av enkelhet gitte formfaktorer for ulike bygningsformer. Disse formfaktorene bygger på målinger foretatt under modellforsøk i vindtunnel (Dyrbye & Hansen, 1989). Ved å følge standarder og tilpasse verdier til det bestemte utbyggingsprosjektet kan man regne ut vindlast.



Figur 36. Fordeling av trykk- og sugkoeffisienter (basert på Dyrbye & Hansen, 1989).

### Lokale vindforhold

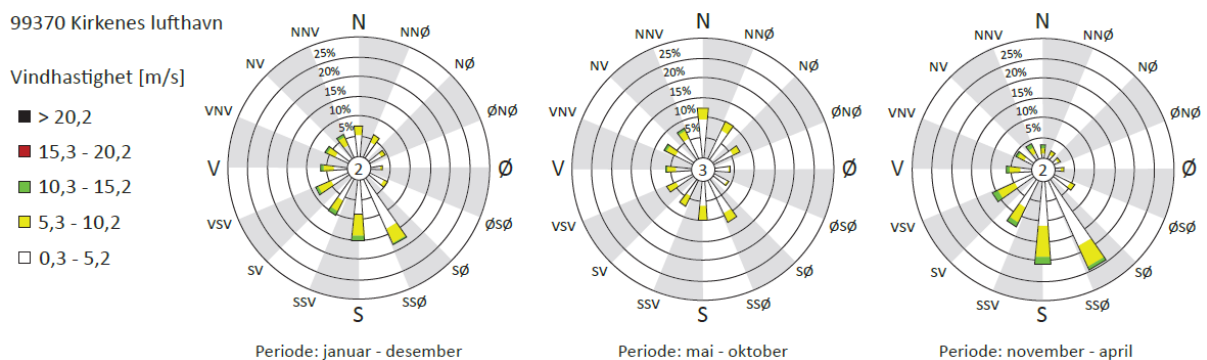
Utbyggingsområdet på Skytterhusfjellet befinner seg på en høyde, og har et rykte på seg å være svært vindutsatt. På platået har man et terreng uten store høydeforskjeller, som fremstår som åpent. Området er forholdsvis bart, uten andre nærliggende bygg. Vegetasjonen består av busker og lavere klynger med trær. Det åpne landskapet kombinert med høyden over havet gjør at det blir lite skjerming mot vind og området kan oppleves vindhardt. Den nye bebyggelsesstrukturen bør planlegges med utgangspunkt i de fremherskende vindretningene, slik at man best mulig kan lede vinden og utforme lune områder til opphold.



Figur 37. Kart over Kirkenes. Vintervindrose plassert ved målestasjon (kartdata fra Kartverket, 2016).

Et steds fremherskende vindretning gir informasjon som er svært viktig ved planlegging av utbyggingsområder. Med fremherskende vindretning menes vindretningen som står for den største delen av vinden i et område. Denne informasjonen måles ved målestasjoner, og resultatet kan hentes i form av vindroser. Informasjon om fremherskende vindretning gjør det mulig å orientere seg om hvor det kan forventes snøoppsamling og hvor man har le- og vindutsatte soner rundt et bygg. Ved god planlegging kan man plassere utendørs oppholdsarealer slik at disse skjermes for vind, og man kan utnytte vinden ved å plassere innganger langs vindens retning for unngå oppsamling av snø.
















For å utarbeide en analyse av lokale vind- og snødriftsforhold for planområdet tas det utgangspunkt i de lokalt fremherskende vindretningene. Det finnes ingen tilgjengelige vind- eller værobservasjoner for utbyggingsområdet på Skytterhusfjellet. Nærmeste målestasjon befinner seg ved Kirkenes lufthavn, målestasjon 99370. Utbyggingsområdet på Skytterhusfjellet befinner seg med en avstand i luftlinje på omtrent 7 km fra målestasjonen. Målestasjonen er registrert med plassering på 89 moh. De planlagte boligfeltene vil finne seg på tilsvarende høydenivå, mellom 80-90 moh.












Figur 38. Vindroser (data fra Meteorologisk institutt, 2016).

Sommerhalvåret har en stor spredning i forhold til vindretning. Vinden kommer fra flere retninger, men har en større andel vind fra nord (N) og nordnordøst (NNØ), i tillegg til sør (S) og sørsørøst (SSØ). Vindrosen for vinterhalvåret har en mer tydelig fordeling, og man ser at vind fra S og SSØ dominerer. På årsbasis vil man ha en vindfordeling som er spredt. Det er en hyppigere forekomst av vind fra SSØ, men vindhastigheten gjennom året er sjelden over 15 m/s. Registreringene viser spesielt at sommersesongen har lavere vindhastigheter enn vintersesongen der det oftere forekommer sterkere vind konsentrert fra fremherskende vindretning.

Terrengformasjoner vil ha en innvirkning på vinden som gjør at man vil kunne oppleve avvik fra målingene ved utbyggingsområdet på Skytterhusfjellet. Siden det ikke foreligger noen vind- eller værobservasjoner for utbyggingsområdet utførte representanter fra Aktivhus AS registrering av lokale vind- og snødriftsforhold. På denne måten kunne man hente inn informasjon for å sammenligne registreringer med målinger fra Kirkenes lufthavn, og vurdere gjeldende vindforhold.

Dato	Sted	Kl.	Vindretning		Kommentar
			Grader	Vindpil	
15.03.16	Observasjoner fra området	10:30	330°		Liten kuling.
	Kirkenes lufthavn Stnr. 99370	10:00			Liten kuling, 11,5 m/s fra vest.
		11:00			Liten kuling, 11,0 m/s fra vest-sørvest.
22.03.16	Observasjoner fra området	12:45	160°		Flau vind/stille.
	Kirkenes lufthavn Stnr. 99370	13:00			Lett bris, 5,2 m/s fra sørvest.
29.03.16	Observasjoner fra området	15:45	155°		Laber bris.
	Kirkenes lufthavn Stnr. 99370	16:00			Laber bris, 5,8 m/s fra sør-sørøst.
05.04.16	Observasjoner fra området	07:15	140°		Laber bris.
	Kirkenes lufthavn Stnr. 99370	07:00			Laber bris, 5,6 m/s fra sørøst.
08.04.16	Observasjoner fra området	10:40	40°		Lett bris, litt regn.
	Kirkenes lufthavn Stnr. 99370	11:00			Svak vind, 2,8 m/s fra øst-nordøst.
12.04.16	Observasjoner fra området	11:15	250°		Svak vind.
	Kirkenes lufthavn Stnr. 99370	11:00			Svak vind, 2,5 m/s fra vest-nordvest.
15.04.16	Observasjoner fra området	13:25	170°		Frisk bris.
	Kirkenes lufthavn Stnr. 99370	13:00			Laber bris, 5,9 m/s fra sør-sørøst.

19.04.16	Observasjoner fra området	10:15	0°		Frisk bris
	Kirkenes lufthavn Stnr. 99370	10:00			Laber bris, 6,4 m/s fra nordøst.
22.04.16	Observasjoner fra området	15:25	20°		Laber bris, sol, litt snø og skyer.
	Kirkenes lufthavn Stnr. 99370	15:00			Lett bris, 5,2 m/s fra nord.
		16:00			Lett bris, 3,4 m/s fra nord-nordøst.
29.04.16	Observasjoner fra området	16:05	30°		Svak vind, sol.
	Kirkenes lufthavn Stnr. 99370	16:00			Lett bris, 3,5 m/s fra nordøst.
10.05.16	Observasjoner fra området	11:50	0°		Lett bris.
	Kirkenes lufthavn Stnr. 99370	12:00			Lett bris, 5,0 m/s fra nord.

Tabell 5. Sammenligning av registrerte vindforhold (data fra Meteorologisk, 2016; Aktivhus AS, 2016).

De registrerte vindobservasjonene på Skytterhusfjellet og målinger på samme tidspunkt ved Kirkenes lufthavn viser at vindforholdene, på tross av avstand, har en stor likhetsgrad. Enkelte målinger skiller seg noe ut, men jevnt over korresponderer målingene. Observasjonene gjør det mulig å vurdere om de registrerte fremherskende vindretningene på årsbasis kan anses som gjeldende for Skytterhusfjellet. På grunnlag av registreringene antydes det at vindforholdene i stor grad vil være like. Det velges derfor å ta utgangspunkt i dominerende vindretninger på vinter- og sommerhalvår samt årsbasis. Årsrosens dominerende vind er både fra S og SSØ, noe som gjør det mer riktig å ta utgangspunkt i en vindretning som befinner seg mellom de to dominerende, enn å utpeke SSØ som den viktigste. Det velges derfor å benytte vindretningen SSSØ.



## 2.4 Komfort – Inne og i uterom

### Innekomfort

Helse defineres av verdens helseorganisasjon, WHO, som «en tilstand av fullstendig fysisk, psykisk og sosialt velvære og ikke bare fravær av sykdom eller lidelser» (Regjeringen, 2014). En viktig faktor som spiller inn på helsen er miljøet. I løpet av et døgn oppholder vi oss mye innendørs. Dette stiller krav til et godt innemiljø. Det skilles mellom inneklima og innemiljø, hvor innemiljø er alle faktorene innen inneklima i tillegg til estetisk og psykososialt innemiljø. De fem hovedfaktorene for inneklima har parametere som kan fastsettes gjennom målinger, mens vurdering av det estetiske og psykososiale miljøet vil være betinget av personers preferanser og forutsetninger (Thue, 2014).



Figur 39. Innemiljøfaktorene.

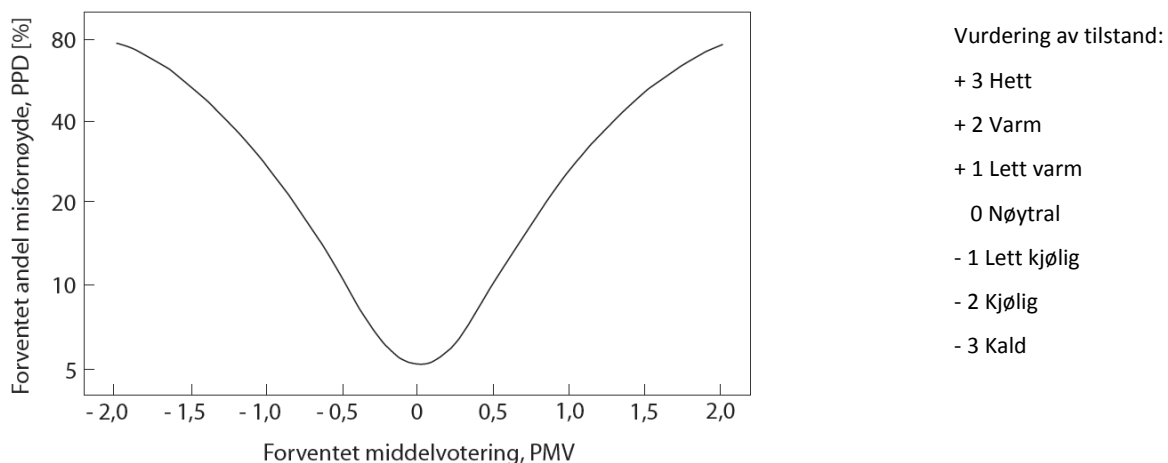
Det termiske inneklimate består av de parametere som virker inn på menneskets varmebalanse. Ved termisk nøytralitet er kroppens varmebalanse tilfredsstillt, noe som vil si at mengden tilført og avgitt varme samsvarer. Selv om man har termisk nøytralitet vil ikke dette bety at man opplever de termiske omgivelsene som komfortable. Det er ønskelig å opprette et innemiljø som oppleves behagelig, hvor man er i termisk komfort. Termisk komfort er en sinnstilstand der vi uttrykker full tilfredshet med de termiske omgivelser. Hvordan vi opplever komfort påvirkes av flere klima- og personparametere:

Klimaparametere	Personparametere
Lufttemperatur, $t_a$ [°C]	Aktivitetsnivå, $M$ [met, W/m <sup>2</sup> ]
Midlere strålingstemperatur, $t_r$ [°C]	Oppholdstid i rommet, $\tau$ [h]
Relativ luftbevegelse, $v$ [m/s], $T_u$	Bekledning, $I_{cl}$ [clo], $[\frac{m^2 \times K}{W}]$
Luftens vandampinnhold, $p_a$ [Pa]	

Tabell 6. Komfortparametere.

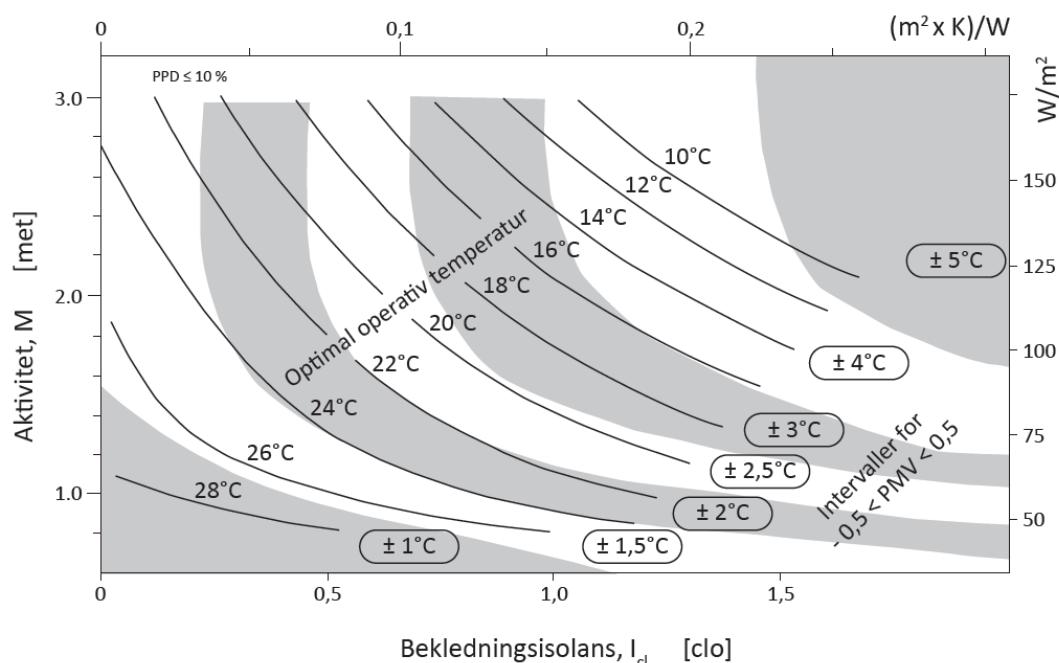
Hvordan man opplever de termiske omgivelsene i et rom vil variere fra person til person. Den danske professoren og forskeren Povl Ole Fanger utarbeidet en måte å kombinere de ulike parametere som innvirket på personers oppfatning av termisk komfort, og la dermed grunnlaget for metodene som i dag benyttes for å vurdere termisk inneklima (Thue, 2014). Fanger introduserte begrepene PMV som er den forventede middelvoteringen, PPD som er den forventede andel misfornøyde, og sammenhengen mellom begrepene. Ved hjelp av et PMV-indeks gis en gjennomsnittlig vurdering av det termiske inneklimate, med utgangspunkt i en større gruppes subjektive bedømmelse av de termiske omgivelsene. Vurdering av tilstanden angis ved bruk av en syvpunktsskala.





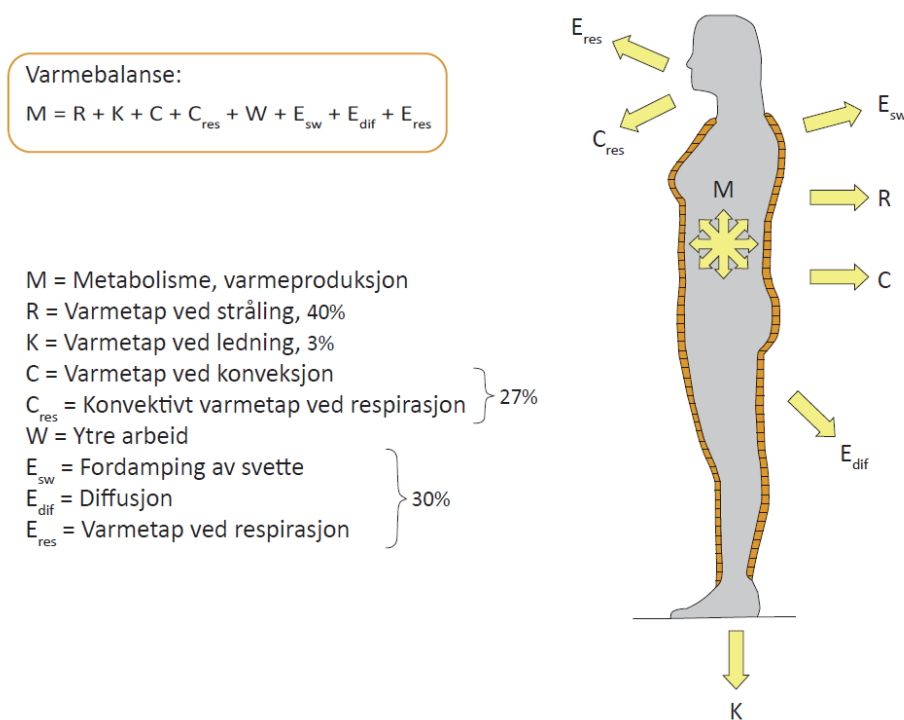
Figur 40. Forventet prosent utilfredse som funksjon av forventet middelvotering (Hansen, Kjerulf-Jensen & Stampe, 1997).

Et PMV-indeks med vurdering 0 for nøytral uttrykker at man ikke ønsker varmere eller kaldere omgivelser. PMV lik 0 kalles for komfortligningen. Selv om man forsøker å tilrettelegge innendørs temperaturer til å være optimale, vil man aldri kunne tilfredsstille alle og man vil alltid ha en prosentandel som er misfornøyd med de termiske omgivelsene. PPD-indeksset forutsier hvor mange som vil være misfornøyd med de termiske omgivelsene. For å oppnå en størst mulig grad av tilfredshet kan man ved utgangspunkt i den forventede middelvoteringen justere temperaturen i et rom. Et annet alternativ er at personer som synes det er for kaldt, øker bekledningen. Bekledningsisolasjon angis i enheten clo, hvor 1 clo tilsvarer  $0,155 \text{ (m}^2 \times \text{K)/W}$ . Bekledningens isolering vil si den termiske motstanden man har mellom den utvendige overflaten av bekledningen og hudoverflaten. Isoleringsevnen til bekledningen vil avta ved luftgjennomstrømning og fuktighet. For å finne den totale bekledningsisolansen legges hvert av plaggenes isolansverdi sammen. Sammen med aktivitetsnivå kan man finne den optimale operative temperaturen for et rom.



Figur 41. Optimal operativ temperatur som funksjon av aktivitet og bekledning (Hansen et al., 1997).

Menneskekroppen har den egenskap at den kan produsere store varmemengder gjennom forbrenningen av næringsstoffer. Hvor mye varme som produseres avhenger av aktivitet, alder, helse, kjønn og kroppens overflateareal (Thue, 2014). Energiomsetningen betegnes med enheten met, hvor 1 met er lik  $58 \text{ W/m}^2$  og tilsvarer aktivitetsnivået av en avslappet, stillesittende person. Økes aktivitetsnivået får man en økning i varmeproduksjonen, og for å opprettholde kroppens varmebalanse avgis varme til omgivelsene. Hovedmekanismene for å avgis varme er gjennom stråling, konveksjon, fordamping av vann fra huden og luftveiene, i tillegg til oppvarming av åndingsluft (Thue 2014). Det konvektive varmetapet til lufta påvirkes av luftas bevegelse og temperatur. Økt luftbevegelse og lavere lufttemperatur gir en høyere forskjell mellom personens overflatetemperatur og temperaturen til lufta. Dette gjør at varmetransporten fra personen til omgivelsen vil øke og varmetapet vil foregå raskere.



Figur 42. Kroppens varmebalanse (basert på Thue, 2014; Hansen et al., 1997).

### Utekomfort

Mennesket har gjennom tidene tilpasset seg etter de klimatiske forholdene. Dette gjelder både i forhold til bosetting og bekledning. For å kunne oppholde seg i varierende klimatiske forhold kan varmebalansen reguleres ved hjelp av bekledning og aktivitetsnivå. Ved å øke mengden klær kan varmeisolasjonen økes og varmetapet reduseres. På samme måte vil man ved økt aktivitet trenge mindre klær. Befinner man seg utendørs vil høye vindstyrker endre den opplevde temperaturen, og man vil føle at lufttemperaturen er mye lavere enn hva målinger tilsier. For å beskrive hvordan en gitt lufttemperatur sammen med vindforhold vil oppleves, benyttes uttrykket følt temperatur, også kalt effektiv temperatur. Et termometer tar kun utgangspunkt i lufttemperaturen uten å forholde seg til vindforhold. Den effektive temperaturen kan derfor være lavere enn hva termometeret viser. For å klarlegge hvordan varmetap fra menneskehud påvirkes av vindstyrken er det utviklet en egen tabell kalt vindavkjølingsindeksen. Vindavkjølingsindeksen indikerer hvilken temperatur i et vindstille miljø som tilsvarer den opplevde kulden ved eksisterende vind- og temperaturforhold. Tabellen bygget tidligere på resultat fra eksperimenter utført av forskerne Paul A. Siple og Charles F. Passel på Antarktis, men i 2001 ble en oppdatert formel introdusert (Meteorologisk institutt, 2016). Formelen (7) angir

vindavkjølingsindeks,  $W$ , hvor  $T$  tilsvarer temperatur i celsius ved 2 meters høyde og  $V$  er vindhastighet i km/t ved 10 meters høyde.

$$W = 13,12 + 0,6215 \times T - 11,37 \times V^{0,16} + 0,3965 \times T \times V^{0,16} \quad (7)$$

Vindstyrke	Vindhastighet [m/s]	Lufttemperatur [°C]												Følt temperatur °C
		5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50	
Svak vind	1,5	4	-2	-7	-13	-19	-24	-30	-36	-41	-47	-53	-58	
	3	3	-3	-9	-15	-21	-27	-33	-39	-45	-51	-57	-63	
Lett bris	4,5	2	-4	-11	-17	-23	-29	-35	-41	-48	-54	-60	-66	
	6	1	-5	-12	-18	-24	-31	-37	-43	-49	-56	-62	-68	
Laber bris	7,5	1	-6	-12	-19	-25	-32	-38	-45	-51	-57	-64	-70	
	9	0	-7	-13	-20	-26	-33	-39	-46	-52	-59	-65	-72	
Frisk bris	10,5	0	-7	-14	-20	-27	-33	-40	-47	-53	-60	-66	-73	
Liten kuling	12	-1	-7	-14	-21	-27	-34	-41	-48	-54	-61	-68	-74	
	13,5	-1	-8	-15	-21	-28	-35	-42	-48	-55	-62	-69	-75	
Stiv kuling	15	-1	-8	-15	-22	-29	-35	-42	-49	-56	-63	-70	-76	
	16,5	-2	-9	-15	-22	-29	-36	-43	-50	-57	-63	-70	-77	
Sterk kuling	18	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-43	-50	-57	-64	-71	-78	
	19,5	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-79	
	21	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-59	-66	-73	-80	
Liten storm	22,5	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-59	-66	-73	-80	
	24	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-60	-67	-74	-81	
Forfrysningsfare		Liten				Økt	Stor			Svært stor				
							< 10 min			< 2 min				

Tabell 7. Oversikt over følt temperatur ved ulike temperatur og vindstyrke (basert på data fra Meteorologisk institutt, 2012).

Når man oppholder seg utendørs vil grad av komfort oppleves forskjellig avhengig av type utendørsaktivitet. Det har blitt utviklet et eget kriteriesett for å definere en persons toleranse for vindeksponering. Lawsons komfortkriterier gir en klassifisering av vindkomfort basert på type oppholdsrom og aktivitet. Komfortkriteriene gir en oversikt over hva som anses som akseptabel og uakseptabel vindstyrke og prosentvis andel tid for opphold i området. Inndelingen gjør det mulig å vurdere om et område vil oppleves komfortabelt basert på vindstyrke og den planlagte bruken av området.

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

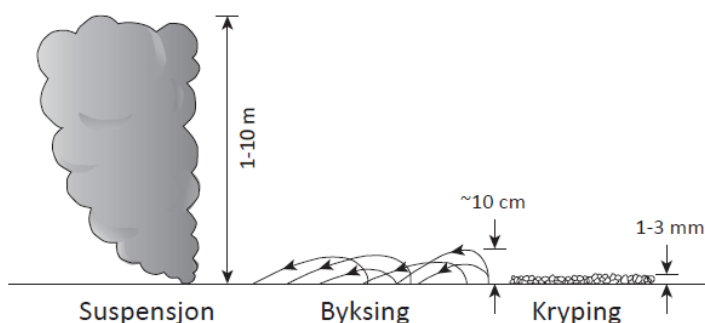
Tabell 8. Lawsons komfortkriterier, akseptabel og uakseptabel vindeksponering prosentvis av året (Kjeller Vindteknikk, 2014).

En ulempe med Lawsons komfortkriterier er at det ikke tas hensyn til temperatur. Komfortkriteriene ble utviklet i England og tar utgangspunkt i de lokale forholdene. Problemet med dette er at ulike lokaliseringen vil ha svært forskjellig temperatur, og det er derfor ikke gunstig å bruke en standard. I områder med kaldt klima vil vindhastigheter som oppleves komfortable i varmere klima, være ubehagelige. Lawson mente selv at man ikke kunne innlemme temperatur i komfortkriteriene, da det var umulig å knytte temperatur og vindhastighet sammen, og at eneste måte kunne være ved å utarbeide egne kriterier for ulike årstider (Eaton, 1977).

## 2.5 Snødrift

Vindens strømningsmønster påvirkes ut ifra de hindringene vinden møter. Terrengformasjoner og bygninger er med på å lede vinden og kan forårsake steder med høyere og lavere hastighet. Snødrift defineres som snø ledet av vind. Denne transporten av snø forekommer nær bakken. Hvor man får en oppsamling av snø henger direkte sammen med vindens bevegelse. Hindringer, i form av bygninger og terrengformasjoner, gjør at vindmønsteret endres og det oppstår soner med høyere og lavere hastighet. I vindeksponerte områder vil snø eroderes bort, mens akkumuleringen av snø rundt bygninger og i terrenget forekommer i lesener der vindhastigheten er lavere. Man kan også få snøakkumulasjon på steder der man har et høyt innhold av snøpartikler i lufta, sammenlignet med omgivelsene (SINTEF Byggforsk, 2005). Dette forekommer for eksempel når vinden møter en hindring og presses til sidene, slik at snøpartikler tas med i luftstrømmen og konsentrasjonen økes. For at snødrift skal oppstå må vindens kraft klare å rive opp snøpartiklene fra bakken. Løsrivelsen vil først skje når skjærspenningen som blir påført bakken er stor nok til at snøen løsrives. Vindstyrken som behøves for løsrivelse vil variere snøoverflatens tilstand. Nysnø vil ha svake bindinger mellom snøpartiklene, og vil derfor løsrives lettere enn hard og gammel snø (Thiis, 2005). Statens vegvesen har angitt hvilke hastigheter løsrivelsene vil forekomme ved ulike typer snø (Statens vegvesen, 2014). Ved nysnø kan snødrift allerede begynne fra vindhastigheter på 4-5 m/s, men opptrer ellers først når vindstyrken er høyere enn 7-9 m/s og lufttemperaturen befinner seg under 1°C. Ved samtidig snøfall vil snødrift kunne oppstå ved vindhastigheter, fra 5-7 m/s.

Snøpartikler kan transporteres av vinden i form av kryping, byksing og suspensjon. Typen transport avhenger av snøpartiklenes størrelse og vindhastighet. Snøpartikler vil ved lave vindhastigheter begynne å rulle. Denne rullebevegelsen kalles kryping og foregår i et tynt lag nær bakken. Økende vindhastighet gjør at snøpartiklene ferdes lengre og høyere, og beveger seg i små hopp. Ved større vindstyrker vil mye av snøpartiklene bevege seg fritt i lufta gjennom suspensjon. Konsentrasjonen av snøpartikler vil være lavere ved suspensjon enn nært bakken når det ikke forekommer samtidig nedbør (Statens vegvesen, 2014). Konsentrasjonen av snøpartikler reduseres med høyden, slik at man har størst transport nærme bakken.



Figur 43. Transport av snøpartikler (basert på Statens vegvesen, 2014).

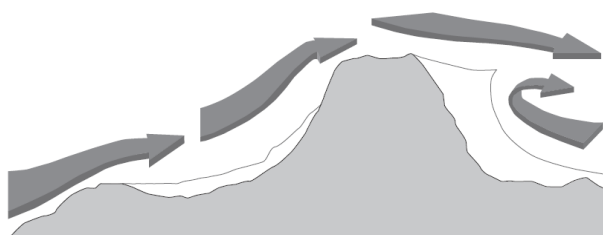
Snøtype	Tyngdetetthet [kN/m <sup>3</sup> ]
Nysnø	1,0
Fast snø (flere timer/dager siden snøfall)	2,0
Gammel snø (flere uker/måneder siden snøfall)	2,5-3,5
Våt snø	4,0

Tabell 9. Gjennomsnittlig tyngdetetthet for snø (Standard Norge, 2008).

Hvordan snølagringen vil opptre er avhengig av flere faktorer, blant annet luftfuktighet, overflatetemperatur og vindforhold (Børve, 1987). Lave vindstyrker og kalde temperaturer gir løs lagring, mens høy luftfuktighet og sterk vind skaper mer sammenpakket snø som kan bli fast og hard (Børve, 1987). Snølagringsmønsteret for et område vil gjenta seg fra år til år dersom det ikke gjøres endringer i terrenget eller bygningsmønster og bygningsstruktur. Ved å utføre observasjoner kan man studere hvordan snøfonner har lagt seg i et område. Fonndannende vindretning betegnes som de vindretninger som gjør at det dannes snøhauger i terrenget og rundt bygninger. Det kan ofte være flere vindretninger som skaper fonndannelse, og det er derfor viktig å ta hensyn til disse ved utbygging. Vanligvis vil en av de fremherskende vindretningene om vinteren være dominerende med tanke på snødrift og fonndannelse. Oppståtte problemer med snødrift og fonndannelse kan være både vanskelig og kostbart å løse (Thiis, 2005). Det er derfor særdeles viktig å tilrettelegge utbyggingsområder med tanke på snø og vindforhold. Observasjoner av snøfordeling, kartlegging av lokalt fremherskende vindretninger og identifisering av fonndannende vindretninger gjør at man tidlig i planleggingsfasen kan ta hensyn til drivsnø og fonndannelse ved utvikling av prosjektområder.

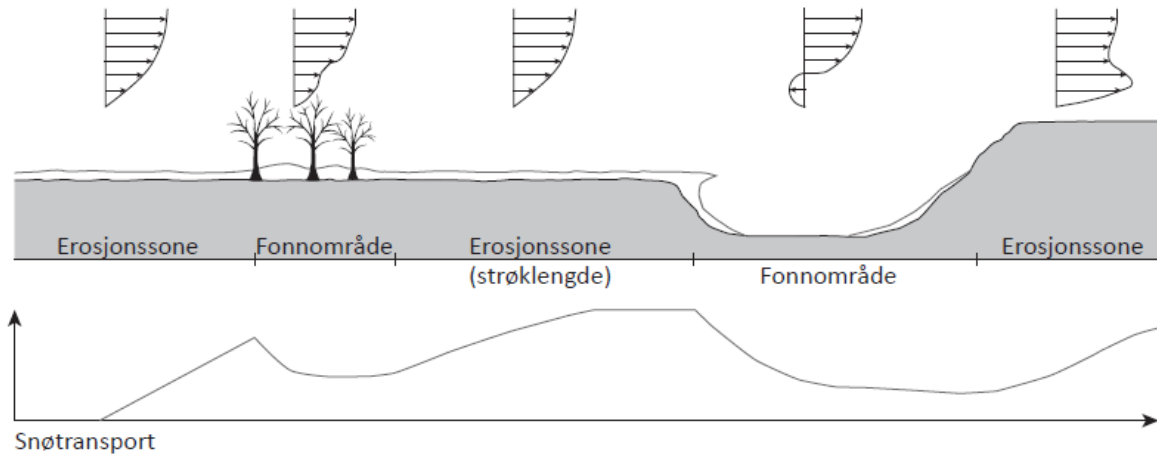
### Snødrift i landskap og terreng

Terrengformasjoner gjør at vindhastigheten i et område vil variere. Vindens hastighet og transportkapasitet øker nært bakken på forhøyninger i terrenget. Ved slike topper og hauger vil snøen eroderes bort. På samme måte vil man ved forsenkninger i terrenget få en lavere vindhastighet, hvor snø akkumuleres. En bakketopp vil være en hindring for vindens bevegelse, som vil forårsake reduksjon av vindens hastighet nær bakken. Mot toppen vil vinden akselerere i stagnasjonssonen og vindhastigheten stiger ofte med 30-40% (SINTEF Byggforsk, 2005). På lesiden av bakketoppen vil hastigheten minke, og akkumulering av snø oppstår. Her kan det også forekomme sirkulasjon av luft. Oppsamlingen av snø vil i hovedsak forekomme på leside av bakketoppen, men det vil også akkumuleres snø på loside, i stagnasjonssonen. I svært bratte skråninger kan snøfonner også avsettes på sidene (SINTEF Byggforsk, 2005).



Figur 44. Lo- og leside i terreng.

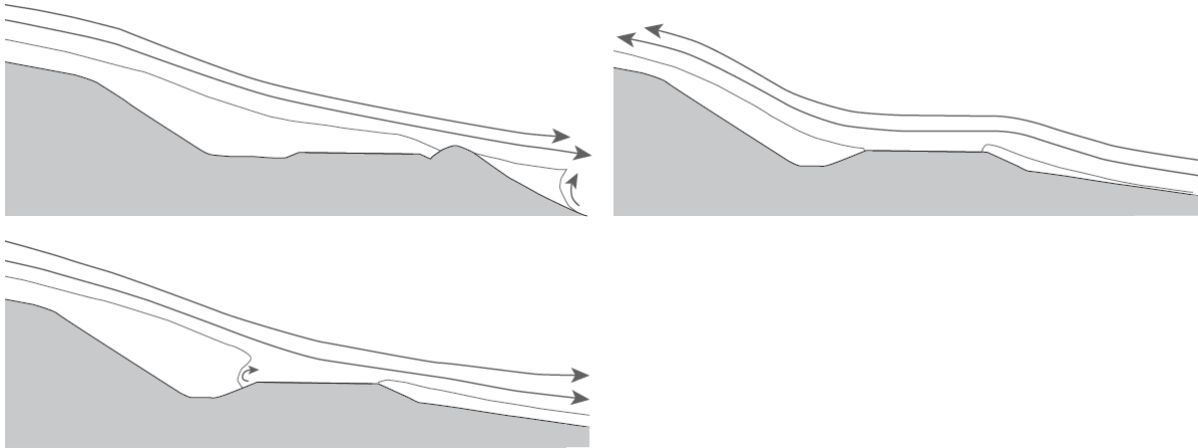
Ved åpne, flate områder vil ikke vinden møte større hindringer, noe som kan forårsake økte hastigheter. På slike steder vil vinden kunne transportere store mengder snø. Fonndannelsen i lesoner vil kunne bli svært stor, selv om man befinner seg i områder som ikke har spesielt store snømengder. I terrenget vil vegetasjon fungere som hindring for vinden og redusere vindhastigheten. Denne reduksjonen i hastighet gjør at man får snøakkumulering. Egenskapen med å skjerme for vind og akkumulere snø gir likheter til bruk av snøskjerm.



Figur 45. Vindprofiler og snøtransport i terrenget (basert på Statens vegvesen, 2014).

Et stort problem med snødrift er i forbindelse med drift, vedlikehold og utbygging av veger. Dannelse av snøfonner kan forekomme svært fort og det kan til tider være et problem å holde veger framkommelige. Siktforholdene kan være så dårlige at det blir krevende for bilister å ta seg frem. Hvordan en veg plasseres i terrenget vil ha stor betydning for fonndannelse ved vegen. Utnyttet vindens strømningsretning kan man holde veger relativt snøfrie ved at vinden blåser snøen bort. Statens vegvesen har utarbeidet en egen håndbok angående veier og drivsnø, hvor det framkommer følgende anbefalinger for lokalisering av veier (Statens vegvesen, 2014):

- Gunstigere forhold på le side av hoveddalføret.
- Ved veg i skjæring er det hensiktsmessig at skjæringssiden er på leside av vegen. Snøtransporten reduseres når vinden blåser mot terrenghelling.
- I markerte dalbunner vil en ofte få bedre snø- og siktforhold på leside av forsenkningene. Er derimot dalbunnen flat vil det være gunstig å plassere vegen på loside av dalen.
- Utnytt leeffekten til skog. Vegetasjon kan redusere drivsnømengde vesentlig.



Figur 46. Vind og snøavsetting ved veg (basert på Statens vegvesen, 2014).

Observasjoner fra planområder på vinterstid gir viktig informasjon om snø- og vindforhold. Ved å utføre registreringer av vindens bevegelse i terrenget kan man vurdere hvor man vil få stor fonndannelse. Vindeksponerte naturelementer som er synlige på vinterstid gir en god pekepinn på hvilken retning vinden har beveget seg. Registrering av vindbevegelse rundt steiner kan gjøres ved å studere mønsteret som dannes i snøoverflaten. I stagnasjonspunktet, hvor vinden treffer steinen, vil luftstrømmen begynne å grave mens man får snøavsetting på lesiden. Ofte kan man trekke likheter fra observasjoner i naturen til hvordan snølagring vil opptre rundt bygninger i samme område. Sammen med registrerte vindmålinger kan man oppnå en god oversikt over hva som er fremherskende vindretning for området.

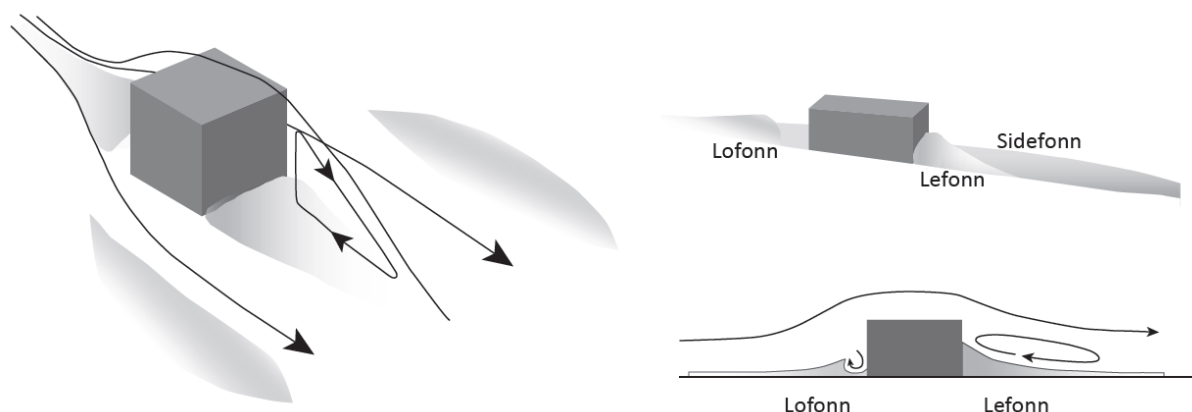


Figur 47. Strømningsmønster rundt stein (Foto: E.G. Størkersen, februar 2016).

### Snødrift rundt bygninger

Rundt bygninger vil dannelse av snø oppstå på samme måte som for terrengformasjoner. I lesoner vil man ha lavere vindhastigheter, hvor snø akkumuleres. På loside vil vindhastigheten være høyere og snø eroderes bort. Luftstrømmene som ledes mot byggets vegg vil treffe et stagnasjonspunkt, og presses rundt og over bygget. Under stagnasjonspunktet vil luftstrømmer ledes nedover veggen og skaper virvler som graver seg ned foran husveggen (SINTEF Byggforsk, 2005). Nedbremsingen av luften som møter veggen gjør at det på loside dannes en lofonn. Bygningers form vil endre vindmønsteret og styre hvordan snøen legger seg. På motsatt side vil det oppstå en resirkulasjonsone og det dannes en lefonn. Byggets geometri vil påvirke hvordan snøfonna legger seg. For lofonna vil høyden på veggen som møter vinden være bestemmende med tanke på avstanden mellom vegg og lofonn. Vinden som

beveger seg rundt bygget og skaper en såkalt hesteskovirvel vil øke med høyden på veggen (Thiis, 2005). For lefonna vil størrelsen variere i samsvar med størrelsen på lesone. Har man en stor lesone vil man få mer snøoppsamling enn man vil få ved en mindre lesone. I tillegg til lo- og lefonna har man også sidefonner. Sidefonner forekommer når drivsnø presses ut på sidene til et bygg og konsentrasjonen overstiger transportkapasiteten til lufta, slik at snø akkumuleres på sidene (SINTEF Byggforsk, 2005). Dette skjer selv når vindhastigheten langs bygget er stor. De tre typene snøfonner akkumuleres forskjellig etter topografi, værforhold og byggets geometri (SINTEF Byggforsk, 2005).



Figur 48. Snødrift rundt firkantet bygg (inspirert av Sundsbø, 2008; Thiis, 2005).

Snøakkumulering rundt et bygg forekommer der vindstyrken reduseres. Lesoner og tak kan spesielt få problemer med snøoppsamling. Jo mer kompleks bygningen er, dess mer snøakkumulering vil oppstå (Thiis, 2005). Et enkelt bygg uten nivåforskjeller på tak, tilbygg eller vinkler vil la luftstrømmen bevege seg lettere rundt bygningen og man unngår uheldige dannelser av lesoner. På steder med hardt klima og mye snø vil enkle bygningsformer være hensiktsmessig. Økes kompleksiteten av bygningsformen vil det være vanskeligere å vite hvor det vil dannes snøfonner.

I snørike områder vil plassering av dører langs vindretningen være nødvendig for å holde inngangspartier mest mulig snøfrie. Plasseres dører i lesoner vil snøfonner kunne blokkere for fri utgang. Det er også viktig å hindre at snø som faller fra taket ikke legger seg foran inngangspartier. For saltak anbefales det at mønet plasseres mot vindretningen slik at snøen som raser fra taket ikke blokkerer for inngangsdører (Thiis, 2005). Valg av takkonstruksjon vil i mange tilfeller styres av kommunale reguleringsbestemmelser, hvor nye bygg skal tilpasses stilen til andre bygninger i området. I tillegg til å ta hensyn til reguleringsbestemmelser vil ulike tak ha forskjellige egenskaper som kan være gunstig for et bestemt område. Bygninger med saltak har en fordel med at vinkelen på taket kan være bratt nok til at mye av snøen som samles raser ned. Samtidig må en stor takvinkel kompenseres med å sikres gjennom bruk av snøfangere dersom snøen og isen kan falle ned der personer oppholder seg (Direktoratet for byggkvalitet, 2015). Lave takvinkler gjør at man ikke får plass til loftsrom, men samtidig vil snø kunne blåses bort selv ved lave vindhastigheter. Bygninger hvor taket har fall under  $6^{\circ}$  defineres som flate tak (SINTEF Byggforsk, 2014). For store bygninger vil det ved bruk av flate tak kunne samle seg store snømengder. Det er viktig at bygninger er dimensjonert for å tåle store mengder snø, slik at bygningskollaps ikke inntreffer. Høye bygg har ofte flate tak, og vindhastigheten er svært høy ved taknivå slik at snøen ikke legger seg. For lave bygninger vil en lav takvinkel være gunstig da luftstrømninger enkelt kan bevege seg over taket og lede bort snø. Uansett hvilken taktype man benytter vil riktig utførelse være elementært for å unngå lekkasjer. Ifølge SINTEF er hovedårsaken til byggskader på tak forårsaket av vannlekkasjer og kondens (SINTEF Byggforsk, 2010).



For å dimensjonere snølast på tak må det innhentes data for det spesifikke området. Den europeiske standarden NS-EN 1991-1-1-3 utdyper beregning av snølast (Standard Norge, 2008). Den karakteristiske snølasten på mark,  $s_k$ , angis ut ifra en 50-års returperiode for hver kommune og kan hentes fra tabell. Befinner man seg på et sted over høydegrensen som er angitt må dette tas hensyn og formel for å finne karakteristisk snølast benyttes (8). For snølast på tak (9) benyttes den karakteristiske snølasten på mark sammen med formfaktor,  $\mu$ , eksponeringsfaktor,  $C_e$ , og termisk faktor,  $C_t$ . I de fleste tilfeller er eksponeringsfaktor og termisk faktor lik 1,0. Har man derimot et flatt område, uten hindringer og en topografi som er spesielt vindutsatt vil dette gi andre verdier for eksponeringsfaktoren. Det samme gjelder for spesielt skjermet topografi. Enkelte typer glassdekte tak, som har høy varmegjennomgang, vil kunne forårsake smelting av snø og påvirke den termiske koeffisienten (Standard Norge, 2008). Bygninger skal dimensjoneres for å tåle den forventede snølasten. For et bygg vil en stor takvinkel gi en lavere formfaktor, mens lave takvinkler gir en høy formfaktor. Dette vil si at et flatt tak vil få en høyere snølast enn tilsvarende bygg med større takvinkel.

$$s_k = s_{k0} + n\Delta s_k \quad (8)$$

$$s = \mu_1 C_e C_t s_k \quad (9)$$

Formfaktor	Takvinkel		
	$0 < \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1$	0,8	$0,8(60^\circ - \alpha)/30^\circ$	0
$\mu_2$	$0,8 + 0,8\alpha/30^\circ$	1,6	-

Tabell 10. Formfaktorer for snølast (Standard Norge, 2008).

Topografi		$C_e$
Vindutsatt	Flate områder uten hindringer, som gir eksponering på alle sider, helt uten eller med liten terrengbeskyttelse, høyere byggverk eller trær.	0,8
Normal	Områder der vinden ikke i vesentlig grad fjerner snø fra byggverk som følge av terreng, andre byggverk eller trær.	1,0
Skjermet	Områder der det aktuelle byggverket er vesentlig lavere enn terrenget omkring, eller er omgitt av høye trær og/eller av høyere byggverk.	1,2

Tabell 11. Verdier for eksponeringsfaktor ved forskjellig topografi (Standard Norge, 2008).

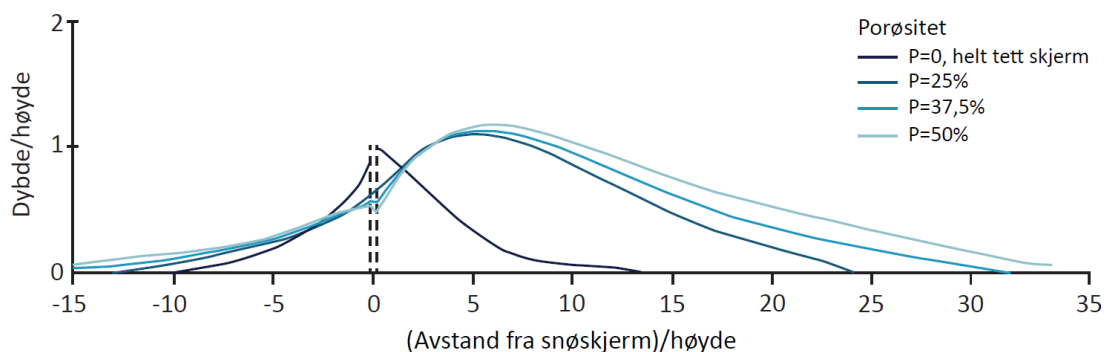
Bygninger med pulttak plasseres etter om det er ønskelig å ha maksimal lesone eller skape størst avstand mellom lofonn og bygningen. Plasseres høyeste vegg mot vinden vil lesonen minimeres samtidig som man får stor avstand mellom lofonn og møtende vegg. En høy vegg plassert mot vindretningen må kunne takle høye vindpåkjenninger da vindtrykket øker kvadratisk med vindstyrken (Thiis, 2005). Plasserer man derimot den lave siden mot vinden vil man få en skjermet oppholdssone. Hvilken retning man velger å plassere pulttaket må ta utgangspunkt i de lokale klimatiske forholdene og om snødrift er et problem. Områder i kaldt klima vil ha lengre perioder med snø, hvor snøen kan bli

liggende langt utover våren og sommeren. Snø er derfor en vesentlig klimapåkjenning for konstruksjoner. For å unngå at lefonner legger seg helt inntil bygningsveggen vil bruk av søyler være en god løsning. Vinden vil da bevege seg under bygget slik at snøen blåses bort og man får en avstand mellom bygningen og lefonna. Bygg på søyler er spesielt mye brukt i værharde strøk som på Svalbard og Antarktis der man har mye vind og snødrift.

En god plassering av bygninger fokuserer på å utnytte solforholdene og samtidig skape lune uteområder. For å skjerme for vind er en løsning å plassere bygninger med utgangspunkt i ulike tunformer. Samles husgrupper i klynger kan man oppnå å skape lune soner, men dette trenger nødvendigvis ikke være gunstig i forhold til snødrift. Har man to bygninger som står tett, vil snøfonnene opptre som om man har ett bygg. Økes avstanden vil sidefonna som er mellom bygningene kunne bli svært stor. Senterfonna som dannes vil avta i høyden dersom man øker avstanden mellom bygningene (SINTEF Byggforsk, 2005). Er avstanden stor nok vil hvert bygg danne egne snøfonnmønstre. Et bygg må ikke plasseres slik at det befinner seg i et annet byggs sidefonn. Ved flere bygninger vil snølagringsmønsteret bli mer komplisert. For nye boligfelt kan det være vanskelig å forutse hvor snø vil akkumuleres. Det er hensiktsmessig å utføre simuleringer for å beregne vindstrømninger og hvor man kan forvente oppsamling av snø i feltet.

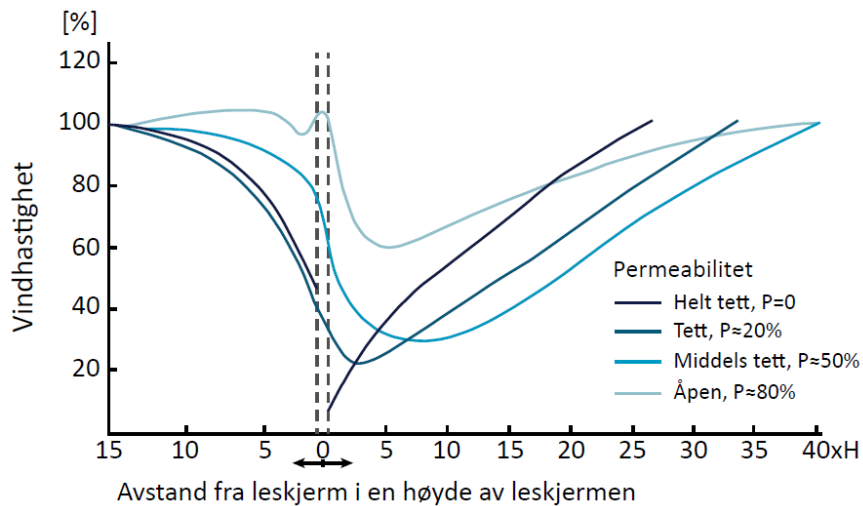
### Snø- og vindskjermer

I et boligfelt vil de ytterste bygningene være mer vindutsatt enn bygninger som befinner seg mot midten av feltet (Thiis, 2005). De ytterste boligene vil fungere som en skjerm, slik at snøakkumuleringen reduseres innover i feltet. For nye felt vil planlegging etter vind- og snøforhold gjøre at problemer knyttet til snødrift kan begrenses. Et tiltak for å kontrollere snødrift er ved å benytte en bygningsgeometri som leder luftstrømningene på en ønskelig måte slik at det ikke oppstår uheldige lesoner hvor snø samles. Står man overfor et ferdig utbygget boligområde må snøproblemer derimot håndteres med konkrete tiltak. En metode er gjennom bruk av snøskjermer. Snøskjermer fungerer på den måten at vindhastighetene reduseres i sammenstøtet med skjermen, slik at snø akkumuleres. Dette gjør at man vil få en mindre mengde snøpartikler som transporteres til boligene. Høyden til skjermen og åpningsprosent bestemmer hvor mye snø som vil akkumuleres. For å akkumulere mest mulig snø bør snøskjermen ha en porøsitet på 50% (Thiis, 2005). Reduseres porøsiteten vil snøakkumuleringen bli mindre, snøfonna får en kortere utstrekning og bygger seg opp nært skjermens leside. Snøskjermer med lav porøsitet er praktisk der det er kort avstand til bebyggelse. Reduseres høyden til en skjerm må utstrekningen firedobles for å fange like mye snø (Thiis, 2005).



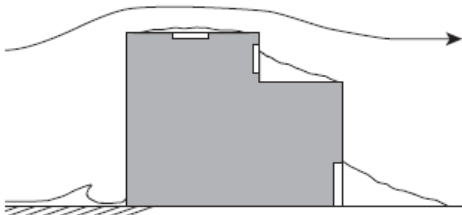
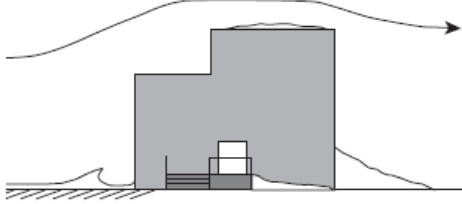

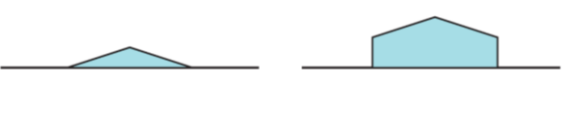
Figur 49. Sammenheng mellom snøavsetning og snøskjermens porøsitet (Tabler, 2003).

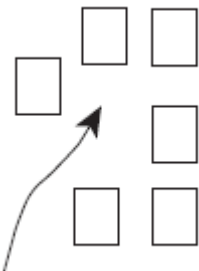
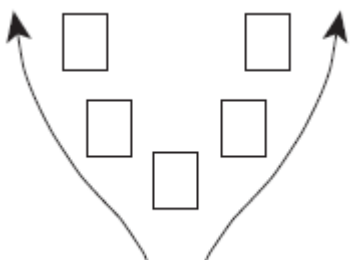
For å forhindre at snøskjermene begraves i snøfonnene må skjermene ha en åpning nederst mot bakken. Åpningen skaper en strømning med økt lufthastighet som holder åpningen fri for snø. Benyttes en tettere skjerm kan man utnytte luftstrømmen som presses ned, under skjermen til å lede snøen lengre bort før den avsettes. Eksempler på denne typen bruk av snøskjerm er for å holde vegger snøfrie. Luftstrømmen som beveger seg mot skjermen vil presses nedover mot en plassert åpning nederst på skjermen, og bevege seg med en økt hastighet ut av åpningen. På denne måten vil man kunne tvinge snøen til å transporteres lengre bort fra veggen. Snøskjerm som har for liten kapasitet vil ende opp med å begraves i snøfonna og vil ødelegges over tid.



Figur 50. Reduksjon av vindhastighet i prosent ved leskjermer med ulike permeabilitet (Utaaker, 1991).

På sommerstid vil et skjermet uteområde skape en trivelig oppholdssone. Levegger vil i likhet med snøskjerm endre skjermingsevne basert på andel åpninger. En tett levegg vil få større trykkpåkjenninger på loside enn om det velges å ta i bruk perforering eller ha åpninger mellom bordene. Bruk av åpninger i leskjermen kan gi god skjerming for vind samtidig som turbulensen reduseres. For stor andel åpning gjør at levrkingen vil reduseres, mens for liten andel vil føre til at turbulensen på leside kan økes. En annen metode for å skjerme for vind er ved bruk av vegetasjon. Vegetasjonen er fordelaktig da den både har en sol, vind- og snøskjermende effekt.

Snødrift rundt bygninger: Konsekvenser og tiltak	
<b>Fonndannelse mot yttervegg:</b>	
Blokkering av vinduer	⇒ Plassering av vinduer bør være høyere oppe på veggen, spesielt i områder der man har mye snø. Lave vinduspartier bør unngås der det kan forventes dannelse av lefonn opp mot veggen.
Blokkering av rømningsvei	⇒ Rømningsvei bør ikke plasseres der det kan forventes dannelse av lefonn som vil blokkere for fri rømning. Dette gjelder selv om det er lagt opp for snørydding.
Redusert atkomst til bygning	⇒ Problematiske inngangspartier bør flyttes, endre design eller ta i bruk snøskjerming. Korridorer inn til bolig kan benyttes. Oppsatte skjermes og beplantning vil kunne påvirke fonndannelsen, og må tas hensyn til.
	⇒ Trapper kan skjermes for snø, inngang/trapp kan forhøyes.
	⇒ Enkle bygningsformer er foretrukket over bygningskropp med mye kroker og tilbygg som skaper lesoner hvor snø akkumuleres.
	
<i>Uheldig oppsamling av snø.</i>	<i>Foretrukket løsning.</i>
<b>Fonndannelse på tak:</b>	
Blokkering av takvinduer	⇒ Fonndannelse på tak og dekker er som regel resultat av omdistribuert snø. Bruk av takvinduer og glassflater må dimensjoneres for å tåle forventete snølaste for den gitte kommune. For flate tak er det gunstig å bruke glass med en vinkel eller som er forhøyet, slik at man unngår at snø legger seg direkte på glasset.
Lastfordeling	⇒ Type tak må velges etter byggets størrelse og funksjon. Alle tak skal dimensjoneres etter gjeldende laststandarder.
	
<i>Unngå flate glassflater.</i>	<i>Foretrukket form på glassflater.</i>

<b>Fonndannelse på parkeringsplass og foran garasje:</b>	
Blokkering av innkjørsel	⇒ Garasjer har en fordel ved å plasseres med inngang normalt på fremherskende vindretning for vinterstid. På denne måten kan innkjørsler holdes mest mulig snøfrie.
Snøoppsamling på parkeringsplasser	⇒ Tilrettelegging for effektiv snørydding, eventuelt endring av lokalisering/design eller snøskjerming.
<b>Fonndannelse i gangsoner, veger og adkomst:</b>	
	⇒ Tilrettelegging for effektiv snørydding. Samleveger anbefales å ligge parallelt med fremherskende vindretning.
<b>Fonndannelse boligfelt:</b>	
 <p>Åpning som kan skape uheldig snøoppsamling rundt bygninger.</p>	<p>⇒ Bebyggelsesmønster bør utføres slik at man ikke får uønsket oppsamling av snø som blokkerer for bygninger. Plasseringen må sees i samsvar med fremherskende vindretninger. Vind og snø som ledes inn i boligfelt og møter på bygninger vil akkumuleres. Det er å foretrekke å lede vinden ved hjelp av bebyggelsesmønsteret.</p>  <p>Bebyggelsesmønster som leder vind med bygningene.</p>

Tabell 12. Konsekvenser og tiltak av snødrift.

## **Brann og snørydding**

For nye utbyggingsområder må det legges opp til effektiv snørydding. Midlertidige snødeponi inne i feltet må være hensiktsmessig plassert, og det må være enkelt å flytte snø fra området. Snødeponiet skal ikke skape uønskede fonndannelser for bebyggelse eller vegger. For at snøryddingsmaskiner skal komme til må vegger være tilstrekkelig brede. Tilkomst til boligene er også viktig i forhold til brann. Slokkemannskap skal kunne nå hver bolig. Ved plassering av bygninger må det legges opp til at slokkemannskap enkelt kan komme til bygninger ved en eventuell brann. Generelt skal det legges opp til kjørbare adkomst for slokkemannskap frem til hovedinngang. Boliger angis som risikoklasse (RKL) 4, mens brannklasse (BKL) bestemmes av risikoklasse og antall etasjer. For mindre byggverk, RKL 4 og BKL 1, vil en avstand opptil 50 m til hovedinngang kunne aksepteres (Direktoratet for byggkvalitet, 2015). Godt tilrettelagt adkomst reduserer tidsforbruk og øker sannsynligheten for at liv og verdier ikke går tapt.

Kapittel 11 i veiledningen til TEK 10 tar for seg retningslinjer i forhold til sikkerhet ved brann. Tredje avsnitt i §11-1 utdyper «Byggverk skal plasseres, prosjekteres og utføres slik at sannsynligheten for brannspredning til andre byggverk blir liten» (Direktoratet for byggkvalitet, 2015). Bygninger skal utføres med løsninger som gir tilfredsstillende brannsikkerhet. En brannteknisk prosjektering gjør det mulig å verne liv, miljø og verdier. For å øke sikkerheten og forebygge brannspredning skal bygninger utføres med en gitt avstand. Lave bygninger skal ha en avstand på minst 8 meter. Eventuelt kan kortere avstander aksepteres dersom det benyttes brannvegg som tilfredsstillende krav om bæreevne, stabilitet og brannmotstand. Garasjer med størrelse opp til 50 m<sup>2</sup> kan bygges inntil annet bygg på samme tomt, uten å benytte brannskille (Direktoratet for byggkvalitet, 2015). Har man inngang direkte fra oppholdsrom til garasje må man følge visse krav. For å sikre rømningsveier og et godt innemiljø skal det oppføres et rom mellom garasje og oppholdsrom. Dette vil hindre spredningen av eksos og røyk.

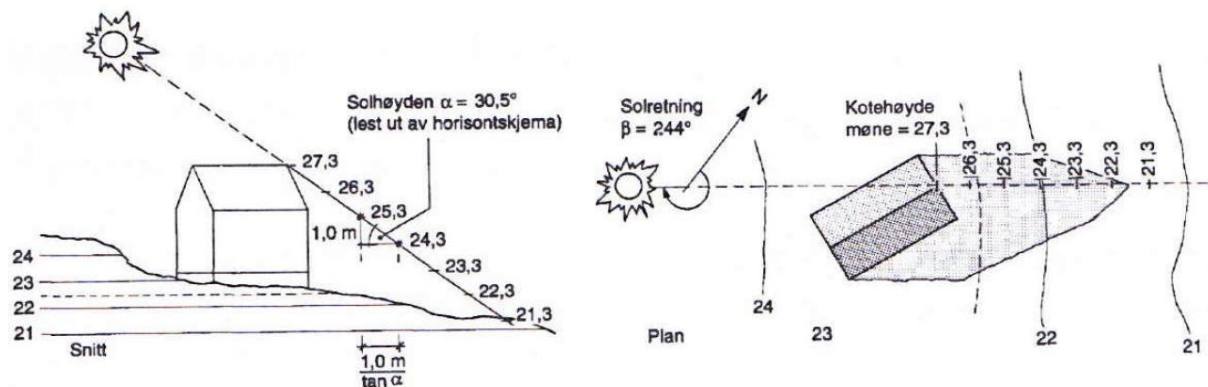
Kartlegging av snødrift og vindforhold gir en indikasjon på hvor det kan forventes akkumulering av snø. Ved snødrift er det lefonnene som er det største problemet. Oppsamling av snø på uheldige steder vil gå utover personers sikkerhet når det kommer til rømning. En rømningsvei skal føre personer til et sikkert sted på en rask og oversiktlig måte (Direktoratet for byggkvalitet, 2015). Dører skal slå ut i rømningsretning, og det er derfor særdeles viktig at rømningsveiene er snøfrie. Snø foran en rømningsvei vil blokkere og hindre sikker rømning, som igjen kan skape panikk.

*Boligene som skal oppføres på Skytterhusfjellet skal kun ha én etasje. Dette gir boligene risikoklasse 4 og brannklasse 1. Det er viktig at kravene fra byggteknisk forskrift følges, slik at planlagte tiltak oppfyller de tekniske kravene som stilles til sikkerhet, helse, miljø og energi. Kravene for brannsikkerhet er spesielt tatt frem i forbindelse med snødrift. Plassering av rømningsveier må skje i samsvar med aktuelle snødriftsmønstre for å sikre fri rømning. For at slokkemannskap og renovasjon skal komme til boligene må adkomstveger være kjørbare hele året. Planleggingen av snørydding gjøres i samarbeid med Sør-Varanger kommune.*

## 2.6 Sol og mørketid

De største fordelene med solens påvirkning på bygninger er at man kan utnytte solinnstrålingen gjennom dagslys og varmetilskudd. Hvordan bygninger plasseres vil innvirke på hvor godt man kan utnytte solenergien som varmetilskudd. Boliger kan med fordel roteres mot sørvest for å gjøre nytte av kveldsolen. Vinduer bør plasseres på sør- og sørvestlig, mens man kan redusere andel vindusflater på nordvendte side. En god utnyttelse av dagslys gjør at man får et redusert behov for bruk av kunstig lys, som igjen vil kunne gi energibesparelser (Thue, 2014).

Ved planlegging må man forholde seg til eventuelle omkringliggende bygninger som kan kaste skygger inn i feltet. I tillegg er det viktig å passe på at nye bygninger ikke skaper uheldige skygger for eksisterende bygg. Terreng høyder og plassering må vurderes for hvert tilfelle. Det kan utformes egne sol- og skyggediagrammer ved ulike tidspunkt på grunnlag av kart med angitte kotehøyder (Fiskaa, 2012). Sol- og skyggediagrammer gir en indikasjon på forventet forekomst og utstrekning av skygger. Slike diagrammer kan utføres manuelt med beregning eller ved bruk av ulike dataverktøy.

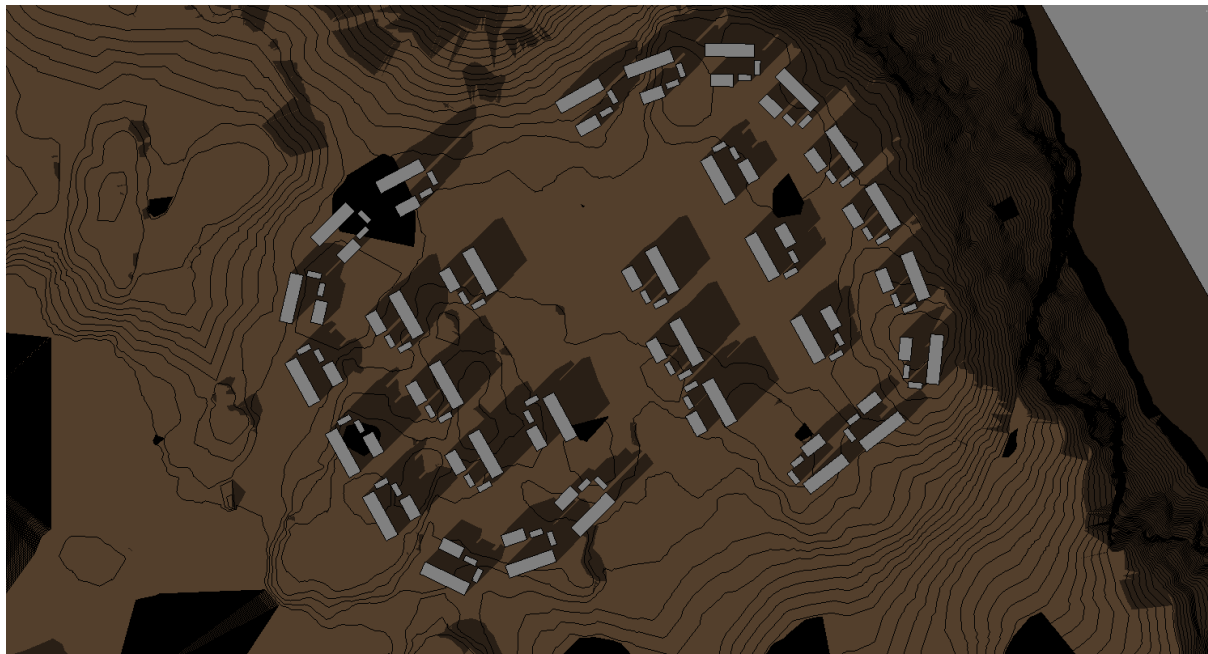


Figur 51. Beregning av skygge for bygninger (SINTEF Byggforsk, 1996).

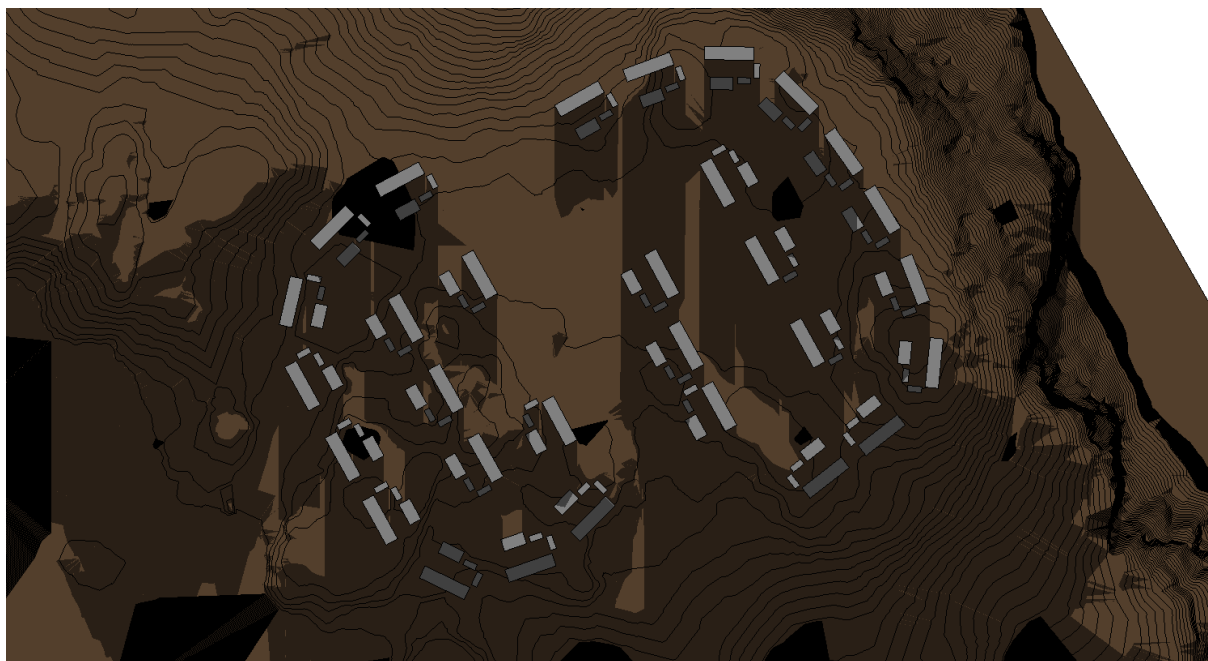
Solen har en lavere vinkel på vinterstid enn sommerstid. På vinteren ønsker man å utnytte solinnstrålingen, mens på sommerstid vil det ofte foretrekkes å skjerme mot solen for å unngå for høye innendørstemperaturer. For å skjerme for solen kan man ta i bruk utvendig solskjerming, fast solavskjerming, fasadefremspring eller takutstikk (Lavenergiprogrammet, 2014). Bruk av overheng er gunstig for å skjerme mot høy solinnstråling på sommerstid, samtidig som lavere solinnstråling på vinterstid kan slippes inn. En annen måte å skjerme mot direkte solinnstråling er ved bruk av vegetasjon. Vegetasjon har i tillegg den fordel av å kunne skjerme mot vind. Trær som mister bladene om høsten er velegnede for å redusere mengde solinnstråling om sommeren og tilføre mest mulig solvarme om vinteren. Klimatiske forhold må tas i betraktning ved plassering av vindu og valg av skjerming. Det er ikke heldig å ta i bruk utvendig solavskjerming dersom man befinner seg i et område med mye vind og snø. Hovedhensikten med vinduer er å tilføre dagslys, utnytte soloppvarming gjennom stråling og gi utsikt. For steder med mye snø vil lave vinduer være uheldig da de kan blokkeres av snø. Vinduer bør med fordel plasseres høyere på veggen.

I de nordligste delene av landet har man perioder med mørketid. Jordaksen har en helning i forhold til banen rundt sola, og det er denne helningen som gjør at solen vil befinne seg under horisonten gjennom store deler av vinteren (Grimstæth, 2008). Hvor lenge mørketiden varer varierer med breddegrad. Om sommeren vil helningen gjøre at solen ikke beveger seg under horisonten og man får periode med midnattsol i nord.

Det ble utført egne sol- og skyggeanalyser av prosjektområdet ved Skytterhusfjellet for å se hvordan planlagte bygningsmønstre ville påvirke lysforholdene. Sol- og skyggediagrammene er utført i programvaren Autodesk Revit (Autodesk Inc., 2016). Det kan observeres at området mellom bygningsgruppene på hver tomt vil få en god del skygge. Disse områdene er tiltenkt utendørsopphold.



*Figur 52. Sol- og skyggediagram for felten B10 og B11, hentet fra Revit for 20.mars kl. 14:00.*



*Figur 53. Sol- og skyggediagram for felten B10 og B11, hentet fra Revit for 21.juni kl. 12:00.*



### 3 Metode og modell

#### 3.1 Felt B10 og B11 på Skytterhusfjellet

Kirkenes er del av Sør-Varanger kommune som er den mest østliggende kommunen i landet. Kommunen grenser til både Russland og Finland, noe som gjør området til et viktig knutepunkt. Kirkenes befinner seg på neset hvor Langfjorden og Bøkfjorden møtes. Innbyggertallet er estimert til å være 3590 (Statistisk sentralbyrå, 2015). I 1998 fikk Kirkenes bystatus (Sør-Varanger kommune, 2004). Relasjonen til nabolandene står sterkt i Kirkenes og kan knyttes tilbake til frigjøringen av Øst-Finnmark. I sentrum finner man gater hvor navnene står skrevet på russisk. Under andre verdenskrig var Kirkenes en av de hardest rammede områdene, hvor bombingene forårsaket store ødeleggelser (Berg & Ighoubah, 2014). Byens gjenoppbygging bærer preg av en moderne tid der industri og bolig går hånd i hånd. Det overordnede bebyggelsesmønsteret for Kirkenes sentrum kan betraktes som et rutenett av gater. Beveger man seg sørover og øst mot Prestøya kan man se at gatene følger terrengformasjonene.



Figur 54. Oversiktskart Kirkenes (kartdata fra Kartverket, 2016).

Sør-Varanger kommune har utarbeidet en reguleringsplan for Skytterhusfjellet med formål om å tilrettelegge for ny boligutbygging (Rambøll Norge AS, 2007). Planområdet består av flere felt som til sammen har et areal på omtrent 3000 dekar, der 600 dekar er avsatt til boligutbygging, mens resten av planområdet skal disponeres til skole og barnehage, gangveger og diverse natur- og friluftsområder. Det er planlagt en utbygging som kan bosette inntil 2500 mennesker. Aktivhus AS ønsker i samarbeid med Husbanken, Enova og Sør-Varanger kommune å utvikle et boligområde på Skytterhusfjellet, like sør for Kirkenes sentrum. I reguleringsplanen til Sør-Varanger kommune for Skytterhusfjellet er det lagt opp til utbygging av flere boligfelt, hvorav feltene B10 og B11 er aktuelle for Aktivhus. Feltene befinner seg ved Langøra som ligger like ved Kjerringstupet, i en kort avstand fra Kirkenes sentrum. Utbyggingsområdet befinner seg på et platå, mellom 80-90 meter over havet, som blant lokale er kjent for å være et særlig vindutsatt område. Prosjektområdet befinner seg på et forholdsvis flatt terreng,

men kuperingen øker spesielt i sør-vestlig retning. En del av platået befinner seg over tregrensen og vegetasjonen består i hovedsak av dvergbjørk, vier, einer og andre lavere vegetasjon (Rambøll Norge AS, 2007). Landskapet fremstår i sin helhet som bart og åpent. Det er først i lavere terreng at man finner bjørkeskog, i tillegg til furutrær sør-øst for som er plantet før krigen (Norconsult, 2006). Området er i dag benyttet som et nærliggende friluftsområde. Landskapet er lite berørt og knyttes til byen med en grusvei som går videre sørover langs Langøra. Veggen som går mellom feltene har en sone som benyttes til parkering for turgåere. Det finnes et hus sør for feltene, ellers er området ubebygget. Det åpne landskapet med utsikt over fjorden og den korte avstanden fra natur til det urbane bymiljøet, gir et attraktivt utbyggingsområde med unike kvaliteter.



Figur 55. Bilde fra Skytterhusfjellet, utsikt over Bøkfjorden sett mot nord (Foto: E.G. Størkersen, februar 2016).



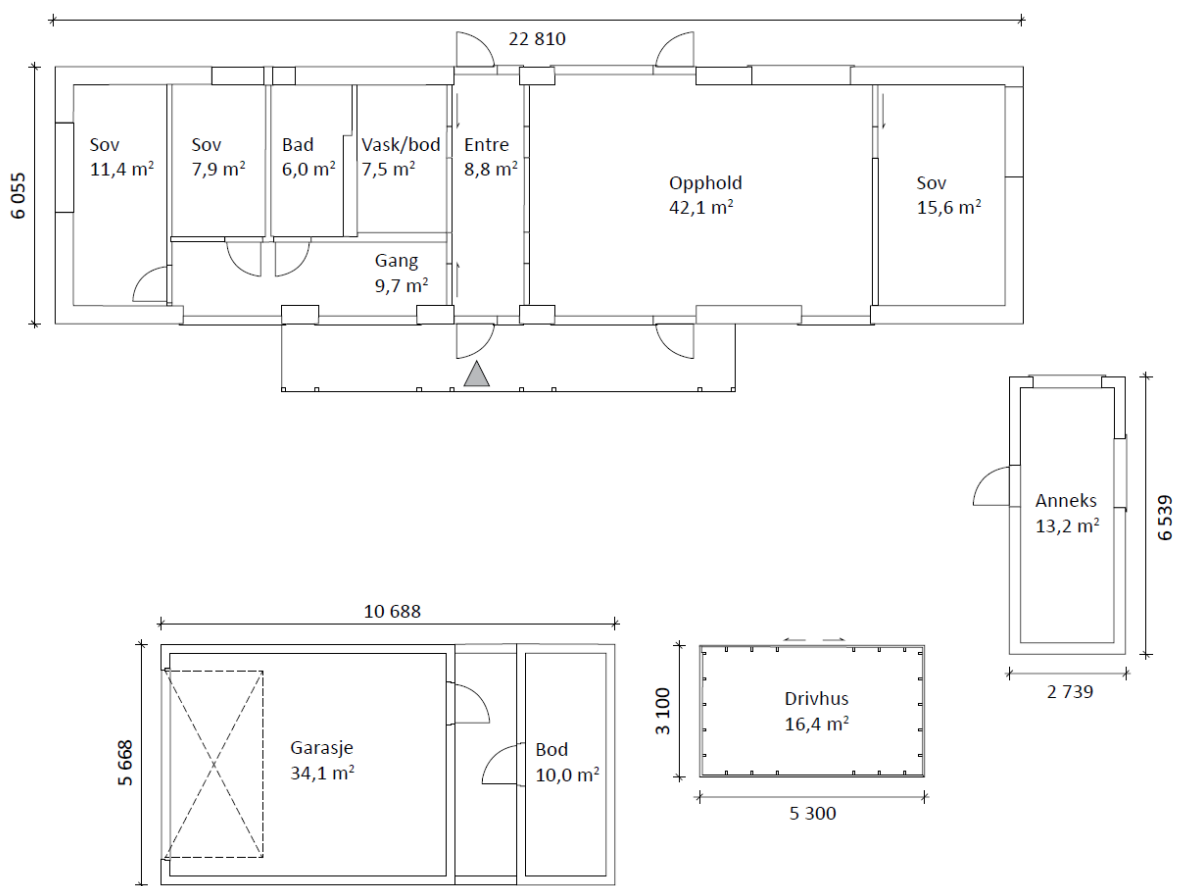
Figur 56. Bilde fra Skytterhusfjellet, sett innover terreng mot vest (Foto: E.G. Størkersen, februar 2016).

Retningslinjer for feltene er utdypet i reguleringsplanen for Skytterhusfjellet (Rambøll Norge AS, 2007). Feltene B10 og B11 skal oppføres som åpen småhusbebyggelse, bestående av frittliggende eneboliger. Hver bolig skal maksimalt bestå av én etasje, hvor største tillatte gesimshøyde og mønehøyde er henholdsvis 4 og 6,5 meter. Feltene befinner seg på områder med bart fjell og det tillates ikke kjeller da landskapet anses som sårbart. Ny hovedatkomstvei til planområdet vil være fra E6 via et nytt kryss. Trafikken til Langøra vil også knyttes til den nye avkjøringen. Den nordlige delen av eksisterende veg fra Langøra til Kirkenes skal gjøres om til kjørbare gangveg for nordgående kollektivtrafikk og fungere som tilkomstvei for utrykningskjøretøy.



Figur 57. Omriss av felt B10 og B11 (kartdata fra Kartverket, 2016).

I utviklingsfasen samarbeider Aktivhus med flere aktører. Arkitekter ved Stilla Utvikling AS står for planlegging og design av boligene. Feltene B10 og B11 er planlagt til å bestå av 30 lave eneboliger. Hver tomt vil bestå av 4 bygninger, garasje med bod, bolig, drivhus og anneks. Bygningene er plassert sammen slik at de danner egne små tun med et åpent område i midten. Bygningsmønsteret i begge felt er utformet slik at boligene følger feltets form og fremtrer som en avgrensning mot omkringliggende landskap. Mellom feltene går en felles samleveg og det er lagt opp til en egen gang- og sykkelveg. Inne i feltene ønskes det å ha egne turstier som knytter boligområdene sammen med de eksisterende stiene i området. Det er tilrettelagt for lek- og oppholdsareal i hvert av feltene. Alle bygningene på hver tomt er utført med én etasje. Bygningsdesignet er stilrent, bestående av rektangulære bygningskropper og det planlegges bruk av trepanel. Takutformingen ønskes utført som pulttak, hvor høyeste vegg vender mot det åpne området i tunet. Boligene vil ha en avlang plattning med takoverbygg foran hver inngang.



Figur 58. Plantegning av forslag til Aktivhus (basert på tegninger fra Stilla Utvikling AS, 2016).





Figur 59. Render av forslag (Stilla Utvikling AS, 2016).



Figur 60. Situasjonsplan Aktivhus (Stilla Utvikling AS, 2016).

Lysdesignstudent ved Høgskolen i Sørøst-Norge, Nina Stangjordet Hansen, har i samarbeid med Aktivhus utarbeidet et konsept for lyssetting av B10 og B11 (Hansen, 2016). Konseptet går ut på å tilføre lys mellom boenhetene for å etablere møteplasser. Gjennom tilførelse av lys skal det inspireres til utendørs aktivitet og samtidig skape trygghet. Det er fokusert på et design som tar hensyn til mørketida. Dette er gjort ved bruk av lav belysning og skjerming av lyskilder med hensyn til snø. Inngangspartier og garasjer foreslås belyst for å markere adkomstveier til boligene.

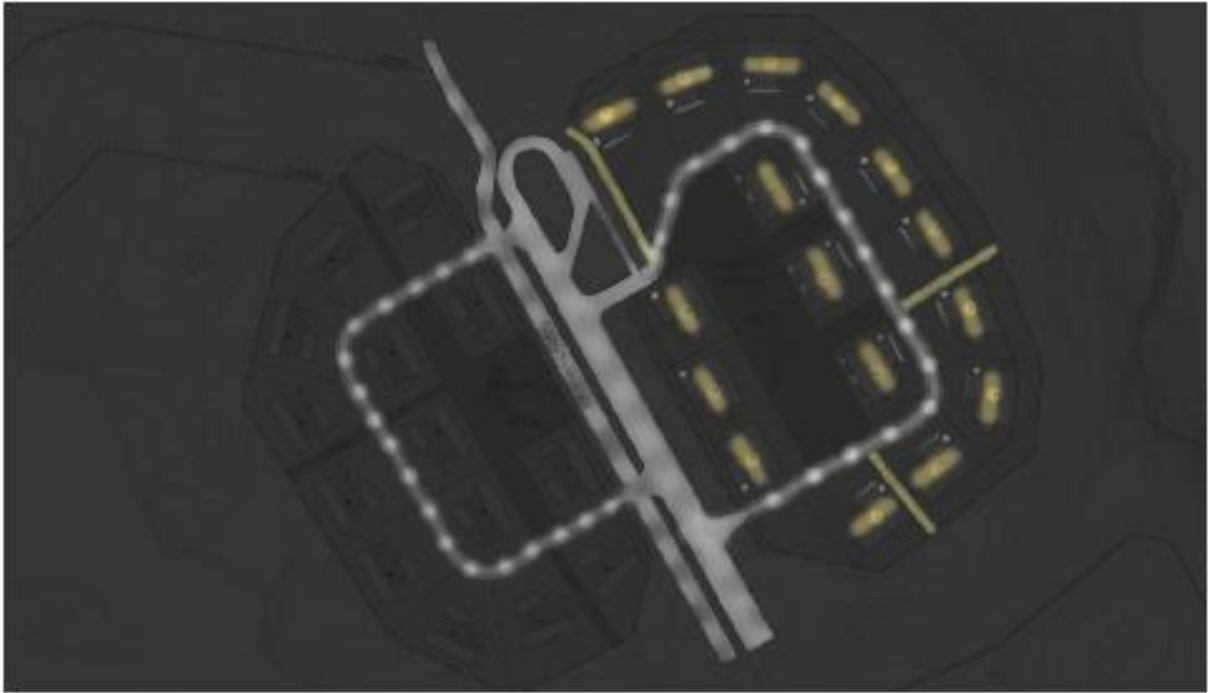


*Figur 61. Konseptskisse av lys ved sørvendt inngangsparti (Hansen, 2016).*



*Figur 62. Konseptskisse av belyste garasjer (Hansen, 2016).*

Den overordnede idéen går ut på å benytte fargetemperaturforskjeller mellom vegger og boenheter. Belysningen følger mønsteret til planforslaget for å skape en strukturert lysplan. Gangveger og stier skal belyses slik at det tilrettelegges for god orientering innad i feltene. For hver boenhet foreslås det bruk av overlys ved inngangsparti og garasje.



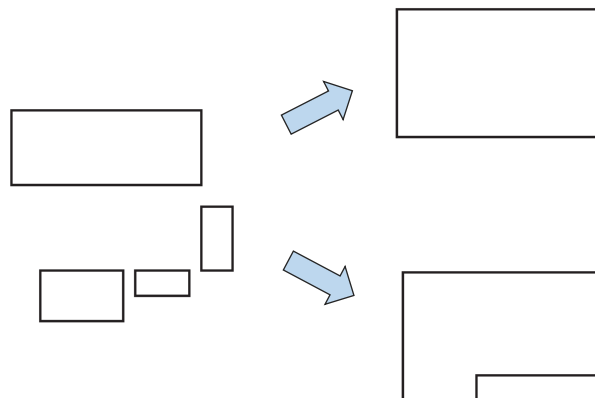
Figur 63. Lysplan for å illustrere fargetemperaturforskjeller mellom vegger og boenheter (Hansen, 2016).



Figur 64. Prinsippskisse over belysning av hovedinngang ved bruk av overlys (Hansen, 2016).

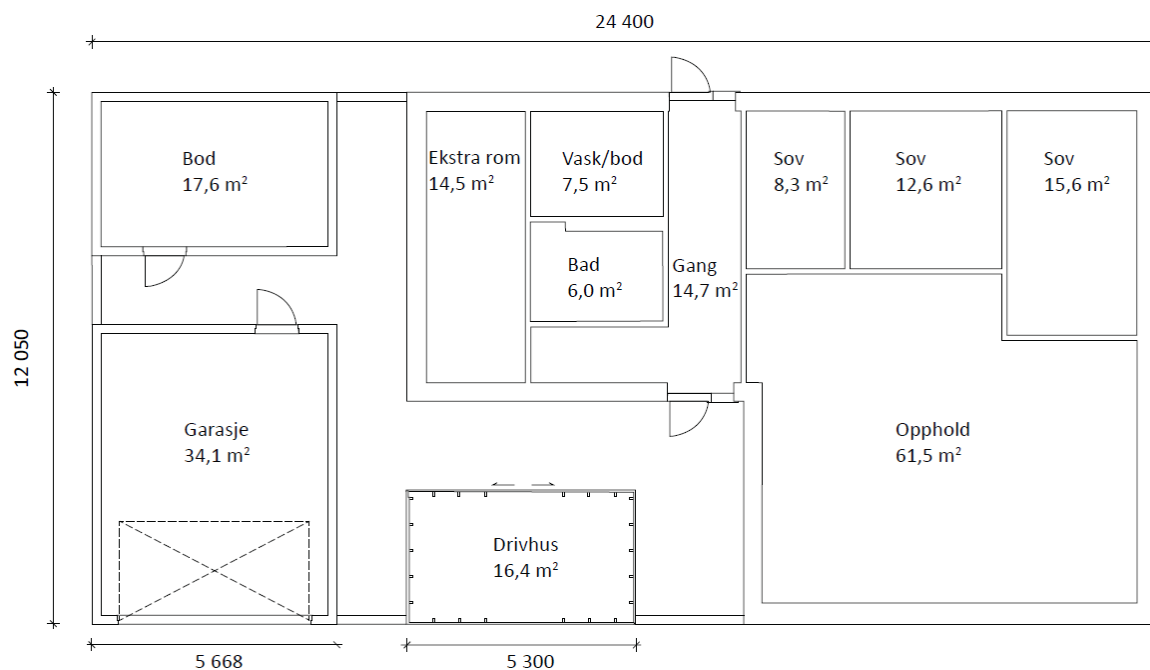
### 3.2 Utarbeiding av designforslag

Plassering av bygninger gjøres med hensyn på sol-, vind- og snøforhold, samtidig som lover og retningslinjer skal følges. De registrerte vindforholdene på Skytterhusfjellet har vist seg å ha store likheter med målinger fra Kirkenes lufthavn. På vinterstid er den fremherskende vinden registrert fra SSSØ og S. I utgangspunktet velges veger og bygninger til å følge den dominerende vindretningen når man planlegger i forhold til vind og snødrift. På plantegningene er samleveg og adkomstveger lagt til å følge vindretningen SSSØ. I Kirkenes tilfelle vil det være liten forskjell mellom de to største vindretningene, og det vil være mer nøyaktig å benytte en vindretning som befinner seg mellom disse. Det er derfor valgt å ta SSSØ som utgangspunkt for vindretning på vinterstid. Vintervindretningen er spesielt viktig da det er denne som transporterer snø gjennom snødrift. På sommerstid har man fremherskende vindretninger med en mye lavere intensitet. De fremherskende vindretningene er N og NNØ. Bygningsplasseringen Aktivhus har foreslått følger feltenes form, men er uregelmessige i forhold til vind. Ved å rotere bygninger etter dominerende vindretning på vinterstid kan man opprettholde snøfrie inngangspartier og innkjørsler. På sommerstid er det ønskelig å ha lune uteoppholdsområder. En optimal plassering i forhold til vind vil være å rotere bygningene etter vinden fra SSSØ. På denne måten vil vinden kunne holde soner snøfrie om vinter og man får en skjerming for vinden fra nordøstlig retning på sommerstid. Boliger anbefales en vinkling mellom 15-20 grader for god utnyttelse av solforholdene. Plassering etter vindforhold gir en relativt høy vinkel på omtrent 75 grader, men er gunstig i forhold til snødrift.



Figur 65. Forslag til samling av bygninger.

Når man planlegger bygninger i snørike områder vil en enkel bygningskropp forhindre at det oppstår uønskede lesener der snø akkumuleres. Bruk av mange små bygninger i stedet for et samlet bygg er også uheldig, og kan skape mye snøoppsamling. Hver tomt har en ulik plassering av bygningene. Snøoppsamlingen på hver enkelt tomt vil variere på grunnlag av bygningsplasseringen. For å unngå at det samles mye snø mellom bygninger, vil bruk av enkeltbygg være hensiktsmessig. Samles de 4 bygningene på hver tomt til et enkelt bygg kan man enklere lede vinden rundt bygget. Et kompakt bygg vil også være positivt da oppvarmingsbehovet ofte kan reduseres. Det nye forslaget baserer seg på et mer kompakt bygg, samtidig som Aktivhus' forslag til romareal er bevart. I områder med mye snø vil en overbygd passasje mellom bolig og garasje være en smart løsning. Det finnes mange interessante løsninger på hvordan dette kan utføres. Tanken for valgte design var å skape ganger som gir et inntrykk av å være ute, og som gir ekstra rom for oppbevaring av sykler og lignende. Det er valgt å benytte flate tak som er fordelaktig på steder med mye snødrift. Bruk av flate tak gjør at snøen lettere kan blåse av.



Figur 66. Plantegning av alternativt forslag.

En endret planløsning gir muligheter til å ha større bod, soverom og oppholdsrom. Det er valgt å slå sammen entré og gang, mens arealet til oppholdsrom er økt. Mulighetene til romløsninger er mange, og plassering av rom kan endres samtidig som hovedformen på bygget kan bevares. Bruk av kompakte bygg har også en fordel i forbindelse med energieffektivisering. Ved å samle bygningene i én form vil man redusere andel yttervegger. Det totale varmetapet kan regnes ved hjelp av ligning (10), der  $A$  er areal i  $m^2$  og  $U$  er varmegjennomgangskoeffisienten.  $U$ -verdien vil avhenge av veggens totale varmemotstand,  $R_T$ . Et stort areal av yttervegger vil øke varmetapet. Andel glassfasader og vinduer vil gå utover det totale varmetapet. Tabell 13 gir et grovt overslag over ytre flater for å sammenligne forslagene. Fullstendige energiberegninger kan utføres ved endelig design.

$$\text{Totalt varmetap:} \quad U \times A \quad (10)$$

$$U\text{-verdi:} \quad U = \frac{1}{R_T} \quad (11)$$

Designforslag	Bruksområde	Kortsider [ $m^2$ ]	Langsider [ $m^2$ ]	Sum yttervegger, inkl. glassflater [ $m^2$ ]
Aktivhus	Bolig	45,7	172,1	417,6
	Garasje	32,4	61,8	
	Anneks	16,8	40,2	
	Drivhus	15,2	33,4	
Alternativt forslag	Kombinert	96,4	195,2	291,6

Tabell 13. Oversikt over ytre vegger, inkludert glassflater.



Plasseringen av bygningene ble først tilpasset fremherskende vindretning og de planlagte vegene. Garasjer skal ha tilknytning til veg, og uteområder bør plasseres på den solvendte siden. Dette ble vurdert ved plasseringen. Siden vegene følger vindretningen SSØ ville de nye bygningene ikke fylle feltet optimalt. Et forslag om å tilpasse vegene etter SSSØ-retning ble gjort, i tillegg ble det funnet ut at hele felt B11 kan vurderes rotert med 15 grader. Alle bygningene ivaretar krav til forebygging mot brann, og har minst 8 meters avstand mellom bygningene. Det ble valgt å oppføre flere bygninger enn det var i det opprinnelige forslaget. Det nye forslaget gir mulighet til å plassere 35 boliger. Flere bygninger gir en bedre utnyttelse av feltene. Ved å plassere en større andel bygninger ble det enklere å undersøke hvilke bygninger som eventuelt burde flyttes eller endres etter simuleringen.



Figur 67. Forslag til nytt bygningsmønster. Rød markering viser opprinnelig B11 felt.

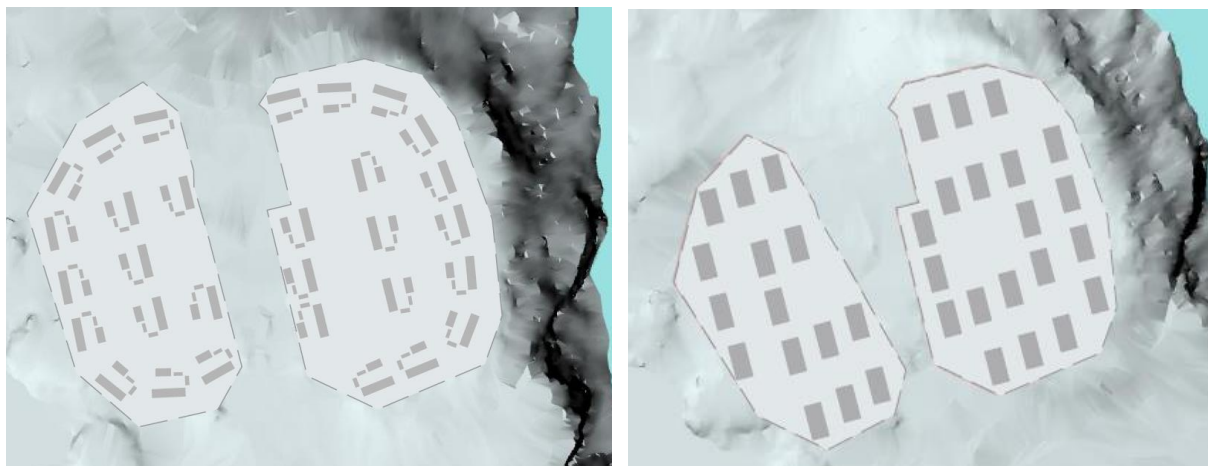
### 3.3 Anvendt metode

#### *Terreng og volumoppbygging*

Modellen er utarbeidet ved hjelp av flere programvarer. Selve terrengmodellen ble tilsendt fra Aktivhus, men behøvde en utjevning av linjer for å få en jevn overflate til videre bruk. Programvaren Rhinoceros ble brukt for finpussing av terrengmodellen (Robert McNeel & Associates, 2016). Prosjektområdet befinner seg på et område uten tilgrensende bebyggelse. Terrengmodellens størrelse er avgrenset til et område stort nok til at man oppnår en tilstrekkelig virkning på vindfeltet.

Arbeidet med bygningsmodellen tok utgangspunkt i å produsere to ulike modeller, der den ene tok utgangspunkt i forslaget fra Aktivhus og den andre bestod av bygninger tilpasset de lokale klimaforholdene. 3D-modell av utbyggingsforslaget til Aktivhus er basert på mottatte tegninger fra Stilla Utvikling AS. Begge bygningsforslag ble utformet ved hjelp av programvaren Autodesk Revit. Bygningene er utformet som enkle volumer, hvor detaljer er unngått for å gjøre modellen mindre komplisert. En høyere grad av detaljer er hensiktsmessig i de tilfeller der det ønskes å undersøke en spesifikk bygningskomponents innvirkning på strømningsmønsteret. For boligfelt med mange bygninger vil enkle volumer være hensiktsmessig.

Bygningsvolumene ble eksportert i DXF-format og plassert i terreng ved bruk av CAD-programvaren Rhinoceros. Det ble supplert med ytterligere tykkelse på grunnmur slik at man forsikret at hvert enkelt bygningsvolum ikke hadde åpninger mellom terreng og bygning. Etter plassering eksportertes filene i STL-format for videre bruk i vindsimulering.



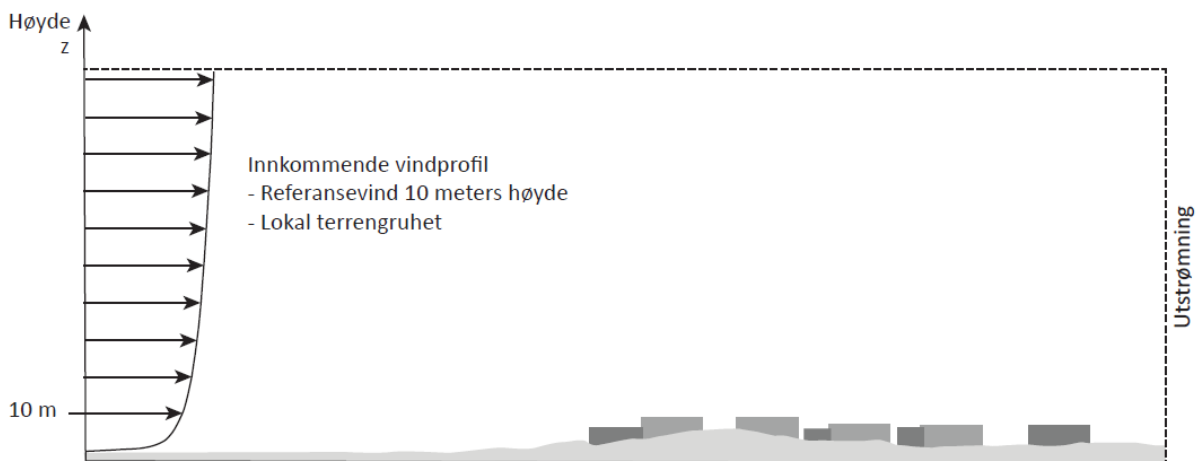
Figur 68. Bygningsforslag til Aktivhus plassert i terreng. Figur 69. Alternativt bygningsforslag plassert i terreng.

## Beregningsteknikk

I simuleringene er det benyttet programvaren Flow 3D for beregning av vindstrømninger. Programvaren er utviklet av Flow Science Inc. Flow 3D er en programvare for Computational Fluid Dynamics (CFD), hvor det benyttes numeriske metoder for å analysere fluiders bevegelse. Ved hjelp av CFD-programvarer løses Navier-Stokes ligninger numerisk (Rambøll Norge AS, 2016). Strømningsmodellen bygger på tredimensjonal, endelig differansemetode hvor bevarelseslovene for masse og impuls brukes for å løse tidsavhengige problemer (Sundsbø, 2013). CFD-programvarer gjør det mulig å utføre numeriske analyser ved bruk av datamaskin som et alternativ til vindtunnelforsøk.

Terreng- og bygningsmodell ble importert til bruk i Flow 3D. Inputdata for fluidstrømningen ble gjort basert på tidligere simuleringer, og tilpasset det nye prosjektet. Før simuleringene kunne startes definertes et beregningsnett, hvor antall celler ble valgt for x-, y- og z-retning. Et høyt antall celler gir en høyere nøyaktighet, men vil samtidig øke simuleringstiden. For å skape høy nøyaktighet, uten å overdrive den totale andel celler, ble det valgt å ha flere celler i områder hvor bygningsvolumene befant seg. Et finere beregningsnett med flere celler vil være spesielt viktig for å få frem strømningsmønsteret som dannes ved bygningene. Beregningsnettet ble utformet lignende et kryss hvor største andel celler sentreres, mens man har en lavere andel celler i resten av krysset. Resten av modellområdet ble gitt en lavere andel celler.

Det ble utført flere simuleringer med utgangspunkt i de fremherskende vindretningene. For hver simuleringen ble modellen satt opp slik at innkommende vindfelt beveget seg fra gjeldende vindretning. Det innkommende vindfeltet bygger på 10-minutters middelvindhastigheter (Sundsbø, 2015). Den vertikale hastighetsfordelingen, ruheten til terrenget og turbulensintensiteten blir bestemt etter virkning fra oppstrøms terreng (Sundsbø, 2015). I simuleringene er det benyttet RNG-turbulensmodell (Renormalization Group).



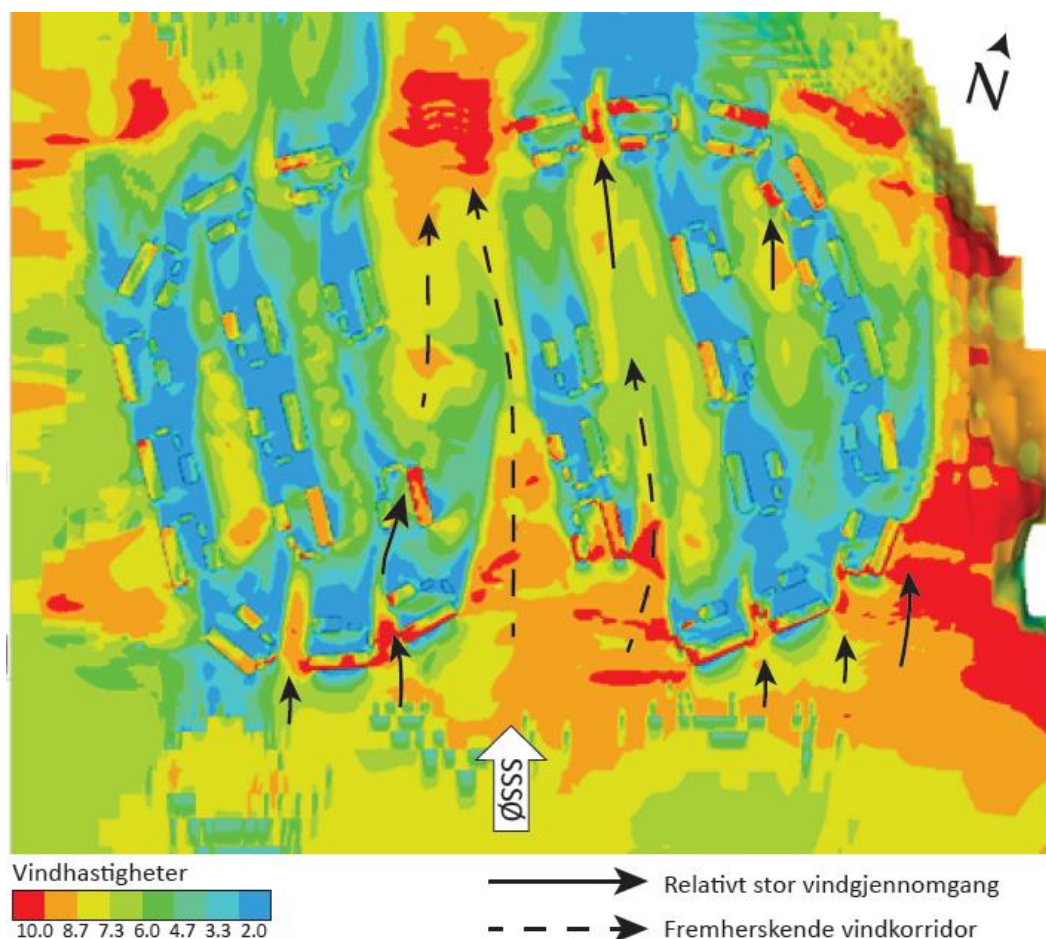
Figur 70. Grensebetingelser og prinsipp for beregningsområde rundt modell (basert på Sundsbø, 2015).

## 4 Resultat fra numeriske simuleringer

Resultat fra numeriske simuleringer av vind er presentert gjennom figurer hentet fra Flow 3D. Fargeskalaen indikerer vindstyrke ved terreng- og bygningsflater, der blått indikerer lave vindhastigheter og rødt angir høye hastigheter. Det er plassert vindpil for å angi gjeldende vindretning. Simulering av snødrift er utført for fremherskende vintervindretning fra SSSØ.

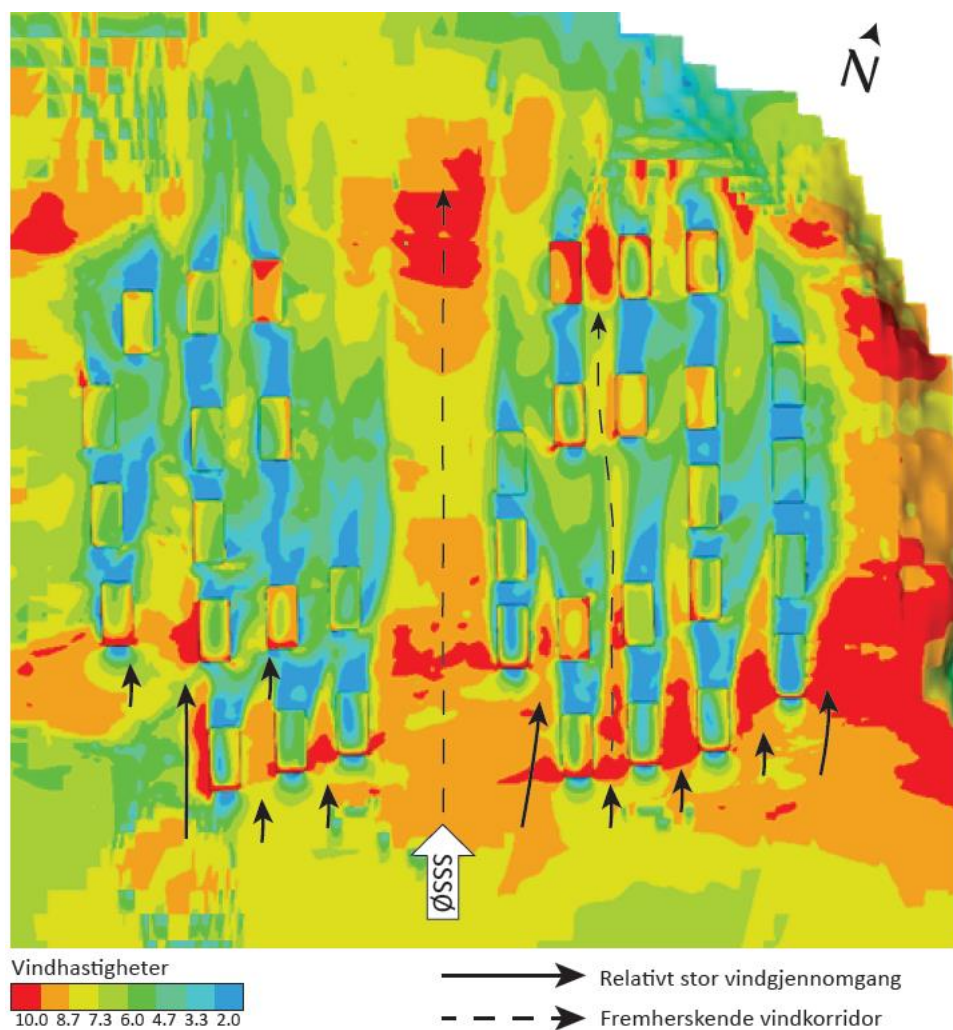
### 4.1 Vind fra SSSØ

Figurene viser vindhastigheter ved hjelp av fargeskala. Skalaen går fra 2-10 m/s. Vind fra SSSØ er den dominerende vindretningen på vinterstid. Terrengformasjonene på Skytterhusfjellet vil påvirke vinden før den møter feltene. Landskapet er relativt åpent og man vil kunne få høye vindhastigheter. Resultat fra simuleringen av forslaget til Aktivhus viser at bygningene sør i feltene vil få stor vindpåkjenning. Det vil oppstå lokale kanaleffekter mellom bygninger og i passasjen mellom feltene. Det vil kunne komme særlig store vindhastigheter inn i felt B11 via sørvestvendte hjørne. Det åpne området i feltet vil lede vinden direkte mot nordliggende bygninger som også vil få store vindpåkjenninger. De åpne områdene avsatt til lek og opphold vil befinne seg i sonder med en god del vindgjennomgang.



Figur 71. Resultat forslag Aktivhus, vind fra SSSØ.

Resultatene for det alternative forslaget viser store vindhastigheter som ledes inn i feltene fra SSSØ. Vinden beveger seg parallelt med bygningene og ledes gjennom feltene. Det oppstår korridoreffekter langs samleveg og i felt B11. Det vil forekomme store hastigheter inn i feltene mellom bygningsrekkene. Området til lek og opphold er i felt B10 er relativt stille, og man vil få hastigheter ned på 2 m/s.

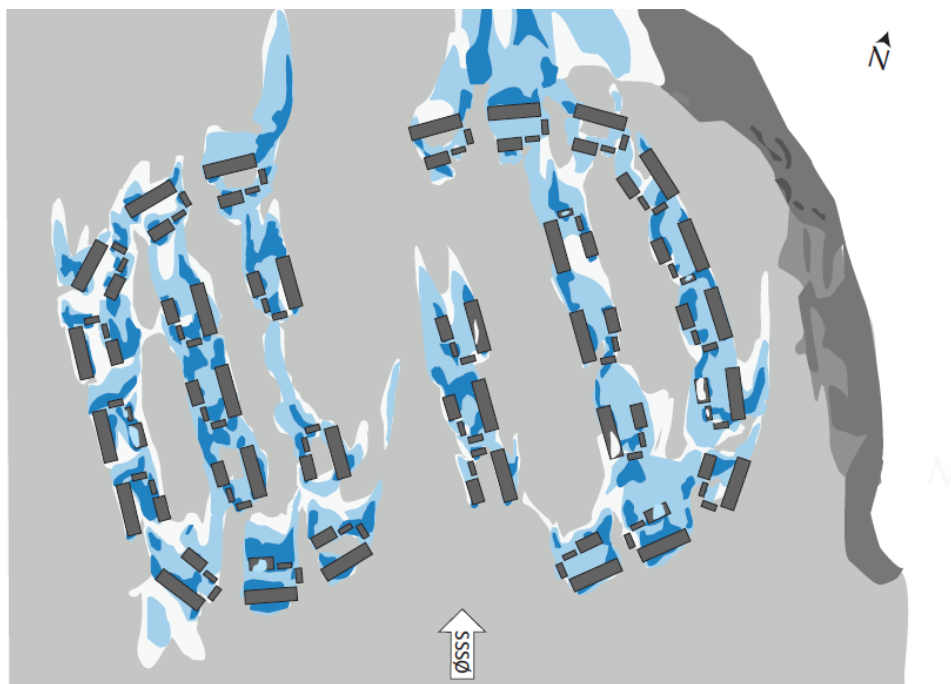


Figur 72. Resultat alternativt forslag, vind fra SSSØ.

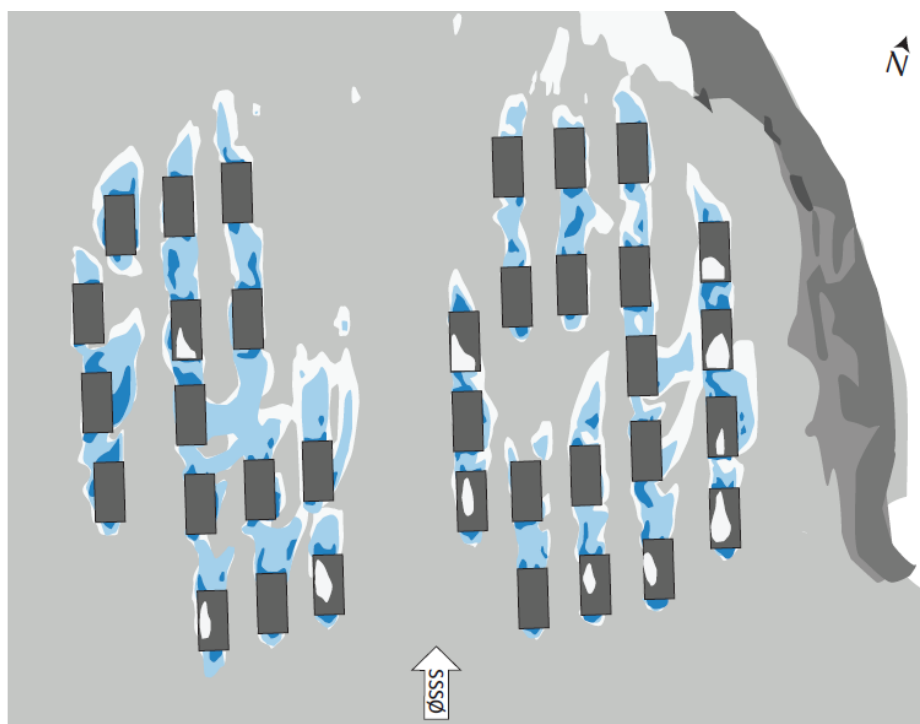


#### 4.2 Snødrift fra SSSØ

Resultatene for snødrift er vist grafisk. Den grafiske fremstillingen angir snømengde ved hjelp av fargeskala, hvor de mørkeste fargene angir soner der det forventes en stor mengde snø. Resultat fra simulering viser at forslaget til Aktivhus vil få mye snø mellom bygningene. Det alternative forslaget vil få snøakkumulering på lesider og en del snø på enkelte tak.



Figur 73. Snødrift forslag Aktivhus.



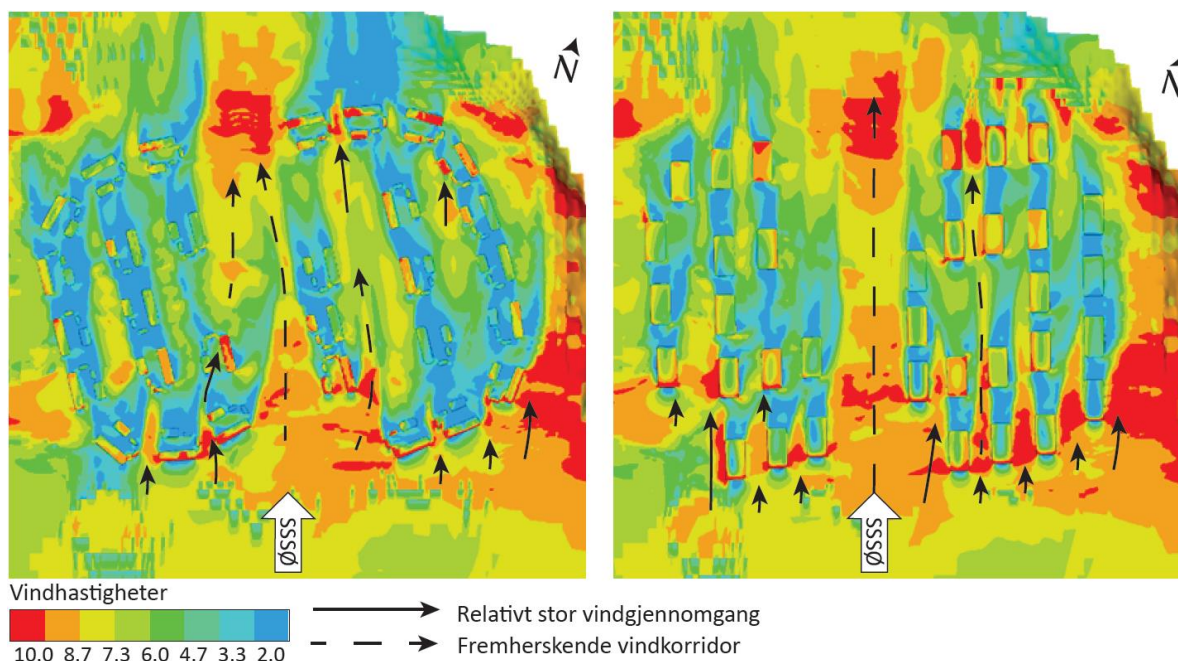
Figur 74. Snødrift alternativt forslag.



## 5 Diskusjon

### 5.1 Vind fra SSSØ

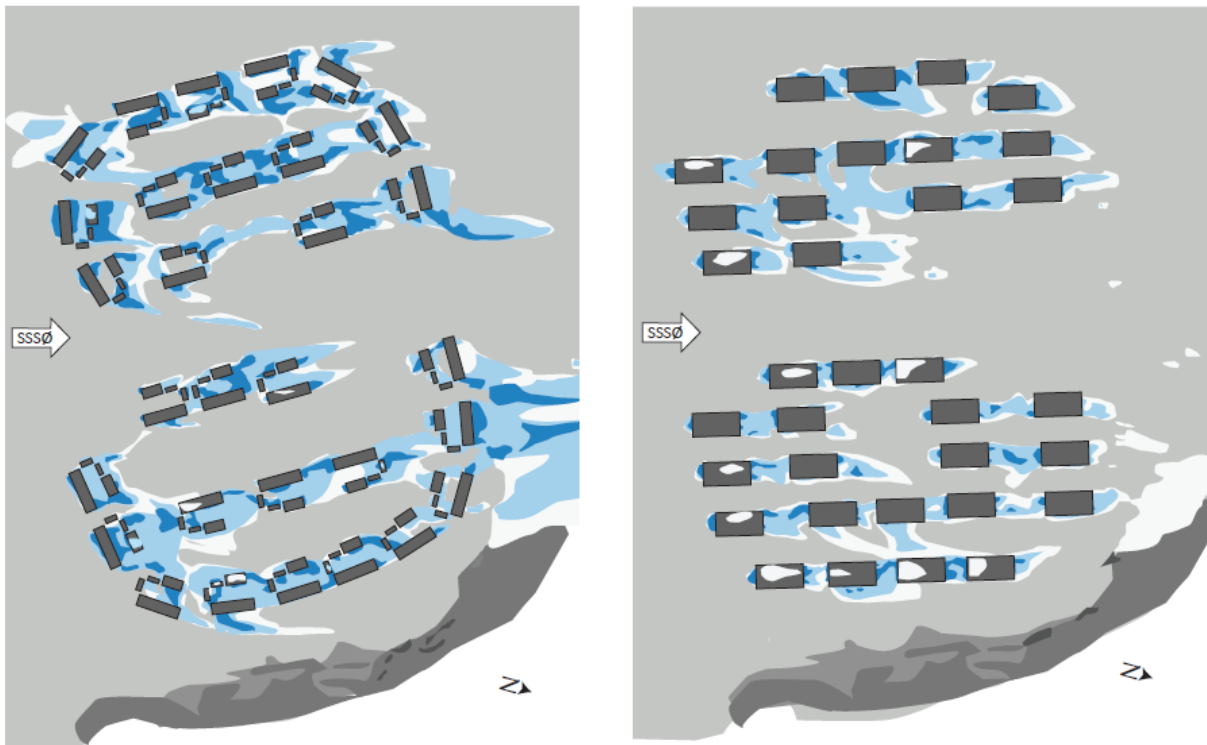
Resultatene for vind fra SSSØ har vist at forslaget vil lede vinden svært forskjellig og det vil forekomme store forskjeller av vindhastigheter. For forslaget til Aktivhus vil man få mange soner med le mellom boligene. Siden vindretningen er dominerende for vinterstid vil det forventes at det er i disse sonene man vil få oppsamling av snø. Vinden som ledes inn med store hastigheter treffer områdene som er avsatt til lek og opphold i begge felt. Dette er uheldig da man særlig ønsker lune soner i disse områdene. Det alternative forslaget leder vind mellom bygningsrekkene, og man får lave hastigheter på kortsidene lesener. I dette forslaget vil området for lek i B10 få reduserte vindhastigheter. I felt B11 vil man få steder hvor vinden er redusert, men vind med høyere hastighet vil ledes direkte over lekeområdet.



Figur 76. Sammenligning av vind fra SSSØ.

I forbindelse med snødrift vil det være hensiktsmessig at vinden ledes med bygningene. I det alternative forslaget er det planlagt å plassere innganger og oppkjørsler slik at vinden beveger seg parallelt og kan holdes snøfrie. En endring av bygningsmønster viser at man vil kunne få høye hastigheter langs samleveggen mellom feltene som er svært gunstig med tanke på snødrift. De numeriske simuleringer av snødrift for forslaget til Aktivhus har vist at det vil dannes lesener mellom gruppen bygninger på hver tomt. Dette området var tiltenkt utendørsopphold og det er her inngangen til bolig befinner seg. De lave vindhastighetene vil forårsake at det vil akkumuleres mye snø her. Dette er svært uheldig i forhold til brann og rømning. For det alternative forslaget vil snøakkumuleringen i hovedsak forekomme på levendte kortsider. Dette viser at inngangspartier vil kunne holdes snøfrie.





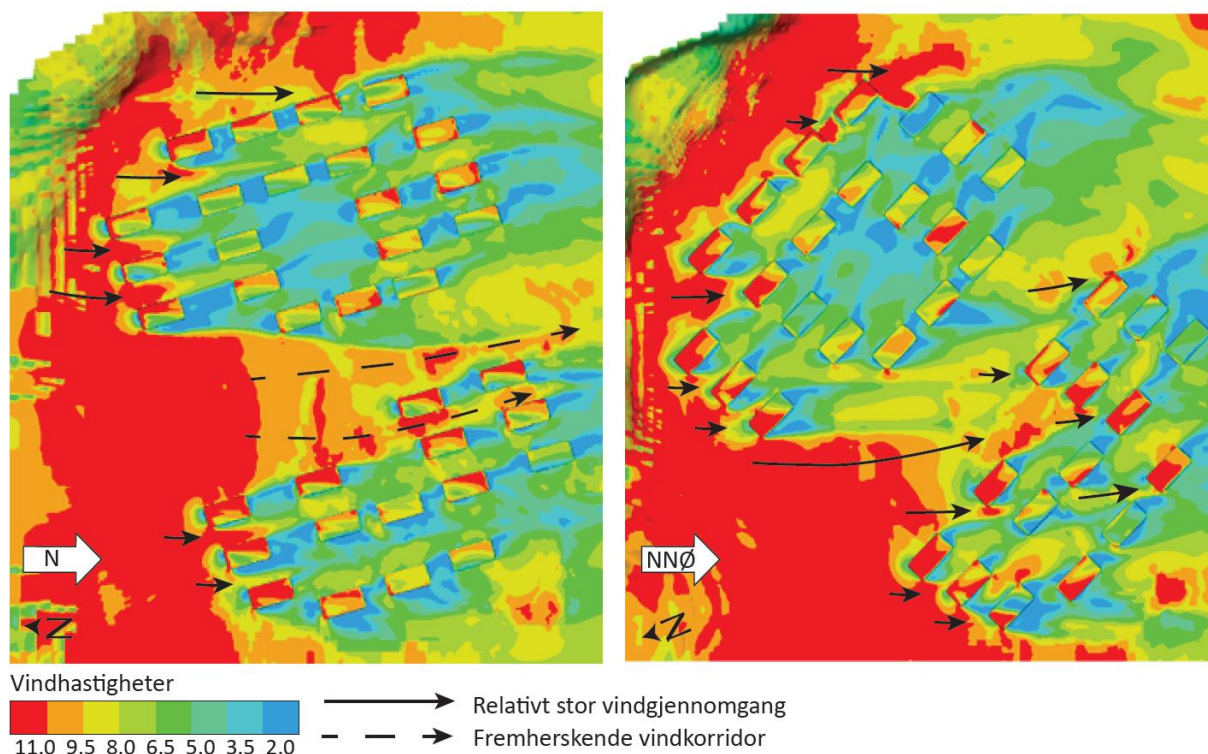
Figur 77. Sammenligning av snødrift.

Simuleringene har vist at bruk av flere bygg vil akkumulere mer snø enn å benytte enkle bygningskropper. Forslaget til Aktivhus vil ha smale takflater og en takform som gjør at de vil holdes mer eller mindre snøfrie. Det alternative forslaget har større takflater og det vil kunne samles snø. De lokale kanaleffektene som oppstår mellom feltene i begge forslag er gunstig i forbindelse med å holde samleveggen snøfri. Områdene avsatt til lek og opphold ville hatt en fordel dersom disse ble brukt som snøoppsamlingsområde. Simuleringene har vist at det vil være en god del vind i disse sonene og det vil derfor ikke avsettes mye snø, bortsett fra felt B10 i det alternative forslaget som får en lun sone der snø akkumuleres.

## 5.2 Vind fra NNØ og N

Vindretningen NNØ og N skaper et skjermet område for lek og opphold i felt B11. For lekeområdet på B10 vil man derimot få vind som ledes rett inn, og vil kunne skape et uteområde som oppleves ukomfortabelt. For hver bolig er uteområdet planlagt til å befinne seg på sørvestlig side. Vindretningen fra NNØ gir et mer vindstille uteområde for hver bolig, men variasjonen av hvor lune de er vil være stor. Generelt sett kan man observere at bygningene som er skjermet for direkte vindeksponering også har et lunere uteområde på sørvestlig side.

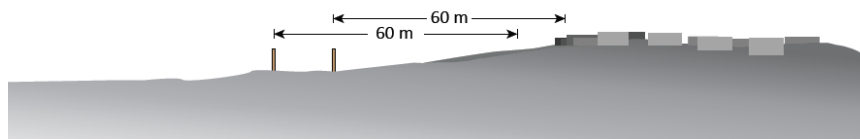
Vindretningen N vil treffe feltet i en vinkel som er mer parallell med bygningsplasseringen. På vinterstid vil vind som beveger seg parallelt med bygningers langside være fordelaktig med hensyn til snødrift. Om sommeren er det derimot ønskelig å skape lune uteområder, og vindretningen er derfor ikke like gunstig. I forhold til vind ville en vindretning normalt på byggets lovendte langside kunne skape et lunere uteområde. Til tross for dette vil man få en reduksjon av vindhastigheter på de fleste tomter uteområde.



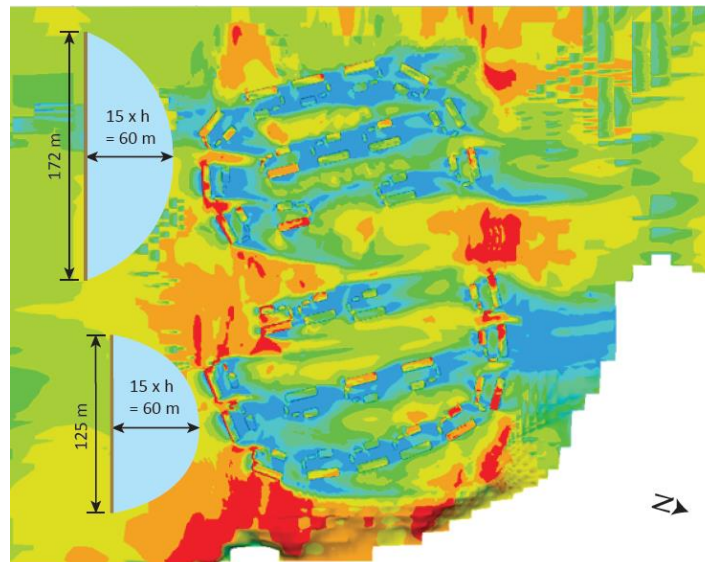
Figur 78. Sammenligning vind fra N og NNØ.

### 5.3 Vurdering av resultat

De numeriske simuleringene har vist at det vil kunne forekomme store vindhastigheter inn i feltene både fra dominerende vinter- og sommervindsretning. Det er ikke utført simulering for fremherskende vindretning på sommerstid for forslaget til Aktivhus, men ut ifra resultatene kan det forventes at bygningene som befinner seg ytterst mot kanten i nord ville fått store vindpåkjenninger. I snørike områder vil en samling av bygninger for å skape lune soner være uheldige. Resultatene fra simulering av snødrift har vist at forslaget til Aktivhus vil kunne akkumulere store mengder snø mellom husene. En mer kompakt bygningskropp bør vurderes i videre design, da dette har vist seg å være gunstig i forbindelse med snøfrie inngangspartier og sikker rømning. Ved å planlegge området med enklere bygninger vil man i tillegg ha mulighet til å plassere flere bygninger, og på denne måten utnytte feltarealet bedre. For å redusere mengden snø som transporteres inn i feltene bør det utføres avbøtende tiltak. Det anbefales å benytte snøskjermer som plasseres sør for feltene. Disse bør ha en utstrekning stor nok til å dekke så mye som mulig av feltene. Snøskjermene bør utføres med en høyde på 4 meter og en avstand på minst 60 meter fra feltene for å ha en stor nok snøavsetningszone.

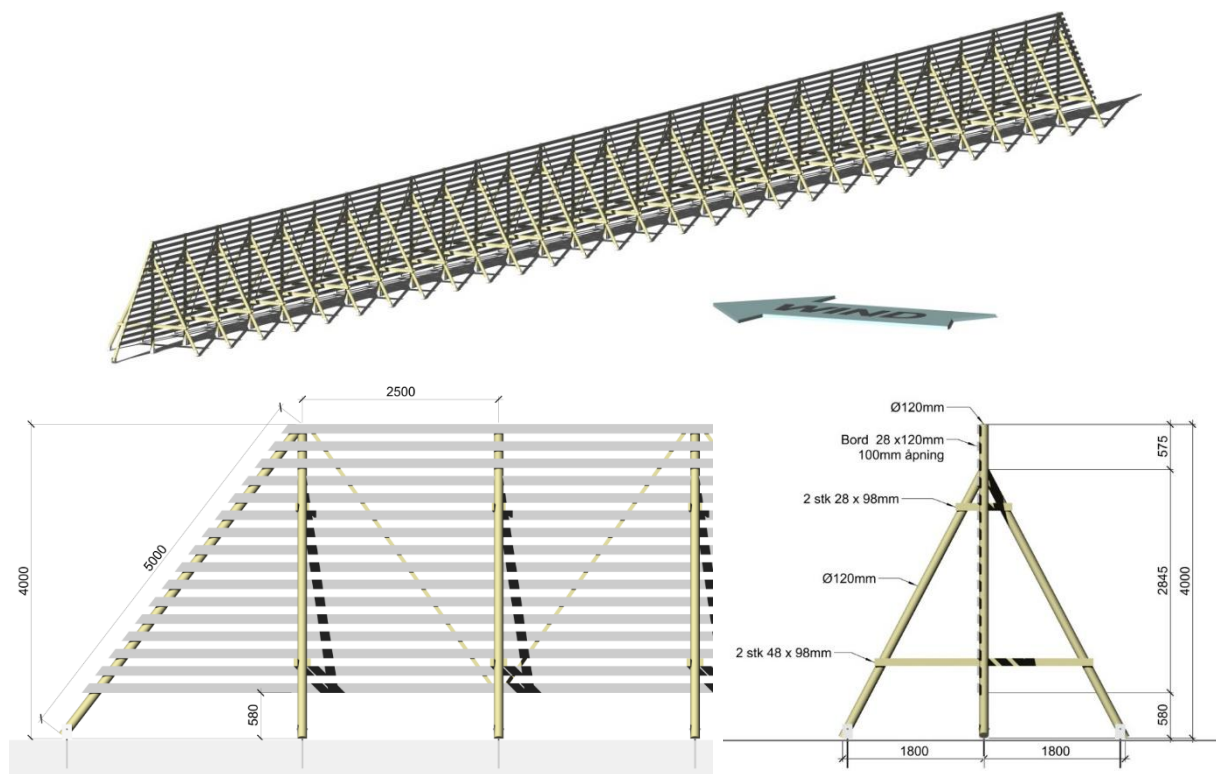


Figur 79. Prinsipp av avstand mellom snøskjermer og felt.



Figur 80. Forslag til plassering av snøskjermer.

Det bør benyttes en type snøskjerm som tåler de klimatiske påkjenningene av snø og vind. Ved å kombinere et værbestandig design med en estetisk utførelse vil man ha en skjerm som både reduserer snødrift inn i feltet uten å være sjenerende for omgivelsene. Bruk av tre vil være et robust alternativ og er et bærekraftig byggemateriale. Samtidig vil bruk av tre gjøre at konstruksjonen kan gli inn i naturomgivelsene man har på Skytterhusfjellet.



Figur 81. Eksempel på design av snøskjerm (Sundsbo, 2016).

## 6 Konklusjon

Formålet med oppgaven var å utføre en lokalklimaanalyse for prosjektområdet på Skytterhusfjellet. Gjennom utførte analyser og registreringer ble det foreslått et alternativt design som kunne brukes som sammenligningsgrunnlag i de numeriske simuleringene. Resultatene har vist at feltene vil kunne få store snømengder og det vil oppstå områder med økte vindhastigheter og lokale vindeffekter. Sammenligningen av de to forslagene har vist at ved å tilpasse bygningenes form og plassering vil man få en redusert akkumulering av snø i feltene. Et tilpasset bygningsdesign har vist seg å ha en positiv effekt ved at snøen som samles ikke vil legge seg ved inngangspartier eller garasjer. En kompakt bygningskropp er fordelaktig ved at andel yttervegger reduseres. Dette vil gi et lavere varmetap som igjen vil være energisparende.

Basert på resultatene er det gjort en vurdering med hensyn på hvilke tiltak som bør følges opp ved videre utvikling av prosjektområdet. For å skape en bærekraftig utvikling av boligfeltene bør det legges opp til en tettere utnyttelse av området. Det er hensiktsmessig å revurdere designforslaget, både for bedre utnyttelse av planområdet og for å motvirke dannelsen av snøfonner mellom bygningene. Det stilles krav fra byggeteknisk forskrift om sikker rømning, og for å tilfredsstille dette må det utføres avbøtende tiltak. Forslag om bruk av snøskjerm bør vurderes for å redusere mengden snø som transporteres inn i feltene. Eventuelle skjermmer må planlegges i samarbeid med Sør-Varanger kommune da disse foreslås plassert sør for feltene. Planlagte lekeområder vil være særlig utsatt for vind fra dominerende sommervindretning, N og NNØ. Skjerming ved bruk av vegetasjon vil være en god løsning som også kan være hensiktsmessig på vinterstid ved at snø akkumuleres. På denne måten vil man utnytte det hvite arealet til lek.

En klimatisk tilpasning av bygningsform og mønster har vist seg å være gunstig både i forhold til sol, vind og snø, men også økonomisk ved reduksjon av varmetap og plassering for å tilrettelegge for solinnstråling. Gjennom å tilføre muligheter til aktivitet og skape nye verdier vil planlegging av utbyggingsområder være innovativ. Knytted prinsipper fra lysdesign sammen med klimatilpassede bygg og tiltak vil man kunne utvikle et godt bomiljø som vil ha unike kvaliteter med utsikt over fjorden og korte avstander til natur og by.

## 7 Videre arbeid

I oppgaven er det fokusert på å analysere Aktivhus' forslag sammenlignet med bygninger tilpasset de lokale forholdene. Plassering av bygg ble gjort både med tanke på gunstige sol-, vind- og snøforhold, i tillegg til at adkomstmuligheter ble vurdert. Selve bygningskroppen ble holdt enkel, men det hadde vært interessant å benytte ulike takvinkler og forskjellige bygningskropper. Videre arbeid vil kunne studere hvordan ulike design på bygget vil påvirke strømningsmønsteret og komme frem til et endelig design. Forslaget til Aktivhus ble utført i en tidlig fase av utbyggingen og det ble fra starten av påpekt at endringer vil finne sted og at design kun var et utgangspunkt. De tilsendte plantegningene er ikke tilrettelagt for privat adkomst, noe som gjør det nødvendig å vurdere muligheter på samme tid som området deles inn i tomter. For at det endelige resultatet på Skytterhusfjellet skal bli optimalt må feltet tilpasses de klimatiske forholdene samtidig som adkomstveger og oppkjørsler må planlegges i detalj. På denne måten er det enklere å plassere bygninger og gjøre tilpasninger av design. Når bygninger er plassert i feltet kan man også studere og sammenligne solforhold ved ulike design og bygningsmønstre.

I videre arbeid ville det vært interessant å bygge videre på konseptet med lysdesign og mørketid. En tidlig idé fra lysdesignstudent ved Høgskolen i Sørøst-Norge, var å tilføre lys til snøskjermene. På denne måten kunne snøskjermene bli en attraksjon i seg selv.

## Litteraturliste

- Asplan Viak, 2010, Brøset Lokalklimaanalyse, <https://www.arkitektur.no/broset-lokalklimaanalyse?pid=NAL-EcoPublication-Attachment> (04.04.2016).
- Autodesk Inc., 2016, 111 McInnis Parkway, San Rafael, CA 94903, <http://www.autodesk.com/solutions> (22.04.2016).
- Berg, R. & Ighoubah, F., 2014, Denne delen av norsk historie kan forsvinne fra skolen, Publisert 23.10.2014, <https://www.nrk.no/troms/denne-delen-av-norsk-historie-kan-forsvinne-fra-skolen-1.12002035> (02.05.2016).
- Bjerg, S.N., 2012, Vindmiljø i arkitekturen, <http://www.re-ad.dk/ws/files/39545731/Vind.pdf> (14.04.2016).
- Børve, A.B., 1987, Hus og husgrupper i klimautsatte, kalde strøk: utforming og virkemåte, Oslo, Arkitekthøgskolen i Oslo.
- Çengel, Y.A. & Ghajar, A.J., 2011, Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications, New York, McGraw-Hill Education.
- Direktoratet for byggkvalitet, 2015, Veiledning om tekniske krav til byggverk, <http://dibk.no/no/BYGGEREGLER/Gjeldende-byggeregler/Veiledning-om-tekniske-krav-til-byggverk/> html (12.02.2016).
- Dyrbye, C. & Hansen, S.O., 1989, Vindlast på bærende konstruksjoner, Hørsholm, Statens Byggeforskningsinstitutt.
- Eaton, K.J., 1977, Proceedings of the Fourth International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures, Heathrow, 1975, Cambridge, Cambridge University Press. (s. 475).
- Edvardsen, K.I. & Ramstad, T., 2014, Trehus, Oslo, SINTEF akademisk forl.
- Fiskaa, H., 2012, Fysisk detaljplanlegging, ISBN 978-82-7259-128-0, Trondheim, Institutt for byforming og planlegging, NTNU.
- Flow Science Inc., 2016, 683 Harkle Rd Ste A, Santa Fe, NM 87505, <http://www.flow3d.com/apps/index.html> (24.05.2016).
- FN-sambandet, 2016, Globalis verdenskart, <http://www.globalis.no/Verdenskart> (13.06.2016).
- Givoni, B., 1998, Climate Considerations in Building and Urban Design, New York, John Wiley and Sons, Inc.
- Grimsæth, A., 2008, Når er det mørketid hvor? Publisert 24.11.2008, [http://www.yr.no/artikkel/nar-er-det-morketid-hvor\\_-1.6321768](http://www.yr.no/artikkel/nar-er-det-morketid-hvor_-1.6321768) (02.06.2016).
- Grønnestad, K.F., 2015, Hva er Arktis? Publisert 1. oktober 2015, <https://www.barentswatch.no/Tema/Havrett/Hva-er-Arktis/> (02.05.2016).
- Hansen, H.E., Kjerulf-Jensen, P. & Stampe, O.B., 1997, Varme- og klimateknik: grundbog (2. utg.), Lyngby, DANVAK.
- Hansen, N. S., 2016, Samspill mellom sted og mennesker, Bachelorgradsoppgave, Drammen, Høgskolen i Sørøst-Norge.
- Hisdal, H. & Hanssen-Bauer, I., 2015, Mye vær og mye vann, Publisert 27.10.2015, <http://www.cicero.uio.no/no/posts/klima/mye-vaer-og-mye-vann> (13.06.2016).
- Houlberg, C., 1979, Vind og læ i bebyggelser, København, Det Kongelige danske kunstakademi, Bygningsteknisk studiearkiv.
- Hutcheon, N.B. & Handegord, G.O.P., 1983, Building science for a cold climate, Toronto, John Wiley & Sons.
- IPCC, 2007, Climate Change 2007: Synthesis report, Fourth Assessment Report (AR4), [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf) (03.06.2016).
- Kartverket, 2016, Norgeskart, <http://www.norgeskart.no> (20.04.2016).

- Kjeller Vindteknikk, 2014, Jærveien 5-7, Sandnes, Effekter på lokalt vindklima ved bygging av høyhus, <https://www.sandnes.kommune.no/Fillager/Internett/resultatenheter/plan/Kunngjoringer/Godkjent/2013102/15%20Vindanalyse.PDF> (26.04.2016)
- Lavenergiprogrammet, 2013, Prosjektering av passivhus (3. utg.), Oslo, Lavenergiprogrammet.
- Lisø K.R. & Kvande, T., 2007, Klimatilpasning av bygninger, Oslo, SINTEF Byggforsk.
- Lisø, K.R. & Kvande, T., 2011, Klimatilpasning av bygninger, Publisert 07.04.2011, <http://www.husbanken.no/miljo-energi/klimatilpasning/klimatilpasning-av-bygninger/> (13.06.2016).
- Meteorologisk institutt, 2009, Traktvind, <https://metlex.met.no/wiki/Traktvind> (03.04.2016).
- Meteorologisk institutt, 2009, Bernoulli-effekten, <https://metlex.met.no/wiki/Bernoulli-effekten> (03.04.2016).
- Meteorologisk institutt, 2012, Effektiv temperatur, <http://om.yr.no/forklaring/symbol/effektiv-temperatur/> (18.03.2016).
- Meteorologisk institutt, 2015, Klimadata, <http://www.eklima.no/html> (25.02.2016).
- Munson, B.R., Okiishi, T.H., Huebsch, W.W., & Rothmayer, A.P., 2013, Fluid Mechanics, Singapore, John Wiley & Sons Inc.
- Norconsult, 2006, Analyse av landskapsbilde og friluftsliv, Publisert 02.06.2006, tilgjengelig fra <http://www.sorvaranger.folkebibl.no/varsel-om-oppstart-av-reguleringsplan-for-skytterhusfjellet.329157-17830.html> (03.04.2016).
- Norsk Polarhistorie, 2008, Temakart, <http://www.polarhistorie.no/seksjoner/Ressurskart> (22.01.2016).
- Rambøll Norge AS, 2007, Reguleringsplan for Skytterhusfjellet: Planbeskrivelse (rev. 3), tilgjengelig fra <http://www.sor-varanger.kommune.no/reguleringsplan-for-skytterhusfjellet.4495500-43048.html> (02.02.2016).
- Rambøll Norge AS, 2007, Reguleringsplan for Skytterhusfjellet: Reguleringsbestemmelser (rev. 3), tilgjengelig fra <http://www.sor-varanger.kommune.no/reguleringsplan-for-skytterhusfjellet.4495500-43048.html> (02.02.2016).
- Rambøll Norge AS, 2016, Computational Fluid Dynamics (CFD), <http://www.ramboll.no/tjenester/bygg-og-arkitektur/vvs/cfd> (29.05.2016).
- Regjeringen, 2014, Verdens helseorganisasjon, <https://www.regjeringen.no/no/tema/helse-og-omsorg/innsikt/internasjonalt-helsesamarbeid/innsikt/verdens-helseorganisasjon-who/id435126/> (16.03.2016).
- Robert McNeel & Associates, 2016, 3670 Woodland Park Ave N, Seattle, WA 98103, <https://www.rhino3d.com/features> (29.05.2016).
- SINTEF Byggforsk, 1996, 311.115 Beregning av sol-, skygge- og horisontforhold, Publisert høst 1996, <http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=49> (29.05.2016).
- SINTEF Byggforsk, 2003, 471.043 Vindlaster på bygninger, Publisert vår 2003, <http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=3118> (24.03.2016).
- SINTEF Byggforsk, 2005, 311.109 Klimaundersøkelser, Publisert vår 2005, <http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=47> (16.03.2016).
- SINTEF Byggforsk, 2010, 700.110 Byggskader, Oversikt, Publisert september 2010, <https://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=629> (25.04.2016).
- SINTEF Byggforsk, 2012, 451.021 Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring, Publisert mai 2012, <http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=204> (04.02.2016).
- SINTEF Byggforsk, 2013, 542.003 Totrinnstetning mot slagregn på fasader, Luftede kledninger og fuger, Publisert desember 2013, <http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=470> (26.02.2016).
- Standard Norge, 2008, NS-EN 1991-1-1-3:2003: Eurokode 1: Laster på konstruksjoner: Del 1-3: Allmenne laster: Snølast, Oslo, Standard Norge.

Statens vegvesen, 2014, Håndbok V137 Veger og drivsnø, [http://www.vegvesen.no/\\_attachment/305996/binary/963979?fast\\_title=H%C3%A5ndbok+V137+Veger+og+drivsn%C3%B8.pdf](http://www.vegvesen.no/_attachment/305996/binary/963979?fast_title=H%C3%A5ndbok+V137+Veger+og+drivsn%C3%B8.pdf) (30.03.2016).

Statistisk sentralbyrå, 2015, Befolkning og areal i tettsteder, 1.januar 2015, <http://www.ssb.no/befolkning/statistikker/befteett/aar/2015-12-11?fane=tabell&sort=nummer&tabell=248688> (02.06.2016).

Sundsbo, P-A., 2008, Snødriftanalyse for Felt B2, Hammerfest kommune, Rapport 112-08, <http://www.hammerfest.kommune.no/getfile.php/1892708.1646.wswfswuqtt/KU+vind+og+sn%C3%B8drift.pdf?force=1> (28.01.2016).

Sundsbo, P-A., 2015, Analyse av lokale vindforhold rundt Kvartal 30 i Bodø, Rapport 128-15, <http://bodo.kommune.no/getfile.php/Kurs/Scrap/Kari%20sin%20kursmappe/vindrappport.pdf> (26.03.2016).

Sør-Varanger kommune, 2004, Byslagordet for Kirkenes, Publisert 28.01.2004, <http://www.sor-varanger.kommune.no/byslagordet-for-kirkenes.119245-17876.html> (06.06.2016).

Tabler, R.D., 2003, Controlling Blowing and Drifting Snow with Snow Fences and Road Design, (Rapport NCHRP Project 20-7, 147), <http://sicop.transportation.org/Documents/Tabler.pdf> (12.05.2016).

Thiis, T., 2005, Bygg i snørike områder – en veileder i klimatilpassing, <https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/publikasjoner/389-kolofon.pdf> (17.04.2016).

Thiis-Evensen, T., 2007, Europas arkitekturhistorie fra idé til form, Oslo, Gyldendal norsk forlag.

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

Utaaker, K., 1991, Mikro- og lokalmeteorologi, Bergen, Alma Mater Forlag AS.



## Vedlegg A - Oppgavetekst

# **Main thesis – Master of Science in Technology**

## **Lokalklimaanalyse for bygg og utemiljø**

stud. techn. Ellen Gjersdal Størkersen (540396)

*UiT Norges arktiske universitet*

*Master studieprogram for Integreert bygningsteknologi*

*Våren-2016*

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 materialvalg tekniske løsninger ift klimaskjerm, eller utnyttelse. Vind påvirker komfort og personsikkerhet ved uteopphold og er ofte den mest påvirkende lokalklimatiske parameter. Det skiller her mellom mekaniske og termiske vindpåvirkning.

Vind er årsak til snødrift og fonndannelse. Fjerning av snø rundt bygninger og infrastruktur kan utgjøre store deler av de offentlige vedlikeholdsbudsjettene og mange bygninger er lokalisert på steder hvor snødrift er et stort problem. Det er både praktisk og god økonomi i å tenke forebyggende eller iverksette tiltak for å redusere uheldig snølagring.

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 i forhold til lokalklimatiske parametere, virkning og aktuelle avbøtende tiltak for å redusere virkning av disse.

### Hovedproblemstilling

Utføre en utvidet lokalklimaanalyse for en utvalgt utbygging (case) med anvendelse av state of the art simuleringsteknikker for modellering av vindrelaterte virkninger på, og rundt, bygningene. Det skal legges vekt på en systematisk oppbygging av oppgaven i forhold til klimatiske parametere, virkning og aktuelle avbøtende tiltak for å redusere virkning av disse.

### Delproblemstillinger

Vurdere og systematisere:

- Eksisterende norsk og europeisk regelverk, retningslinjer og anbefalinger ift lokalklimaanalyser
- Aktuell metodikk for anvendelse i lokalklimaanalyse
- Anvendelse av uteområder (forgjenger soner, rekreasjonssoner, «det hvite arealet», m.m.)

### Prosjektbeskrivelse masteroppgave

✳ **Innledende arbeid & forstudie** relatert til den aktuelle oppgaven, en naturlig forberedelse og klargjøring av det videre arbeid i prosjektet:

- Generell analyse av oppgavens problemstillinger.
  - Undersøkelse/analyse av aktuelle lover, regler, kravspesifikasjoner, retningslinjer, praktiske erfaringer og anbefalinger ift lokalklimaanalyser.
  - State-of-the-art undersøkelse med hensyn til metoder for lokalklimaanalyse.
  - Undersøkelse med hensyn til avbøtende tiltak og byggtekniske tekniske løsninger.
  - Valg av case for analyse og klarere definisjon i forhold til begrensinger og omfang av oppgaven.
  - Klargjøring/beskrivelse av de arbeidsoppgaver som må gjennomføres for løsning av oppgaven med definisjoner av arbeidsoppgavenes innhold og omfang.
  - Tidsplan for framdriften av prosjektet.
- ✳ Analyse av lokalklimatiske forhold og aktuelle klimatiske parametere.
- ✳ Vurdering av kravspesifikasjoner i forhold til planlagt/tilsiktet disponering av aktuelle bygningsvolumer.
- ✳ «Skisseprosjekt» for case med innledende valg av byggtekniske løsninger og prinsipper. Lokalisering av, inngangsparti, garasje, rekreasjonsområder osv. i forhold, vind, sol snøfonner m.m.
- ✳ Vurdering av byggtekniske hensyn som lokalisering av ventilasjonsåpninger, vinduer, rømningsveger osv. ✳ Oppbygging og tilrettelegging av 3D simuleringsmodell med terreng & bygningsvolumer.
- ✳ Numeriske simuleringer av vind & snødrift rundt aktuelle bygningsvolum, som følge av fremherskende vindsektorer.

- \* Analyse av simuleringsresultatene i forhold til planlagt/tilsiktet disponering av aktuelle bygningsvolumer, nabobebyggelse og omkringliggende utearealer.
- \* Numerisk simulering og analyse av vindlastfordeling på utvalgte deler.
- \* Identifisering av behov for klimaskjermende tiltak/endringer i oppholds- og aktivitetssoner, samt prinsipiell utforming & lokalisering av skjermingstiltak på bakkeplan.
- \* Simuleringer for å verifisere eventuelle avbøtende tiltak/endringer.
- \* Vurdering og analyse av resultater.
- \* Forslag til eventuelt fremtidig/gjenstående arbeid.

#### Begrensning av oppgaven/prosjekt

Oppgaven skal i hovedsak avgrenses til vind-, sol-, temperatur og snørelatert påvirkning. Påvirkning fra f. eksempel snøskred vurderes ikke.

Utgangspunktet for analysen er aktuelle klimabelastninger for valgt case.

En nærmere beskrivelse av eventuelle begrensninger i oppgaven vil bli utarbeidet i det innledende arbeid & forstudie.

#### 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. 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 vedlegges besvarelsen.

## 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.

Arbeidet skal resultere i en sluttrapport med vedlagt CD/DVD som er grunnlag for evaluering og karaktersetting. Rapporten med tilhørende materiale skal leveres i en uinnbundet signert original som lett kan kopieres, samt tre innbundne kopier (evt. ekstern(e) samarbeidspartner(e)s materiell kommer i tillegg og skal overleveres av studenten selv), samt ett eksemplar av rapporten i pdf-format, fortrinnsvis på den vedlagte CD/DVD. Det skal benyttes standard forside som finnes på HiNs nett. **Det henvises forøvrig til skrevet «Generelle retningslinjer for hovedoppgaven, samt emnebeskrivelsen for hovedoppgave».**

Rapporten med tilhørende materiale skal innleveres (eventuelt poststemples) senest innleveringsdatoen til avdelingskontoret ved Avdeling for teknologi ved UiT.

Utleveringsdato (starttidspunkt): 11.01.2016

Innleveringsdato (deadline): 20.06.2016

## Kontaktinformasjon

Hovedveileder ved Høgskolen i Narvik

Professor Per-Arne Sundsbø, Dr. Ing.

Telefon: (+47) 769 66257 / 92 46 34 30

e-mail: [psu002@uit.no](mailto:psu002@uit.no)

Kandidat

Ellen Gjersdal Størkersen (540396)

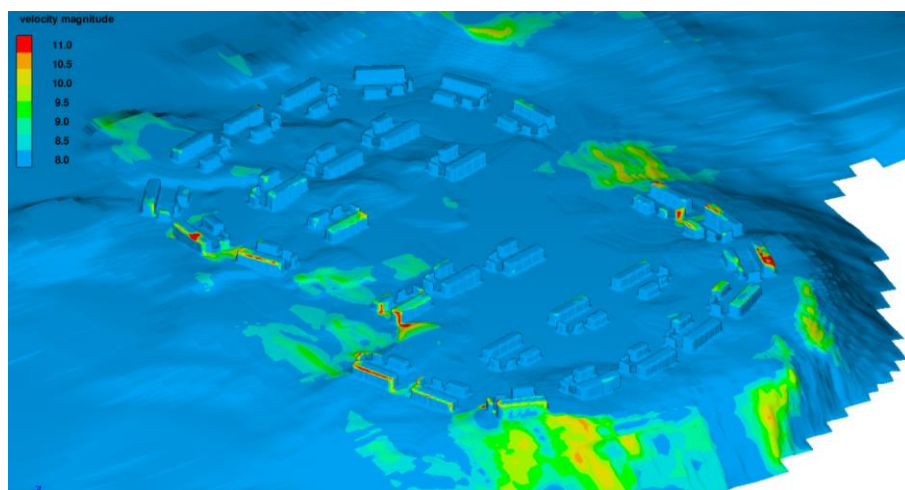
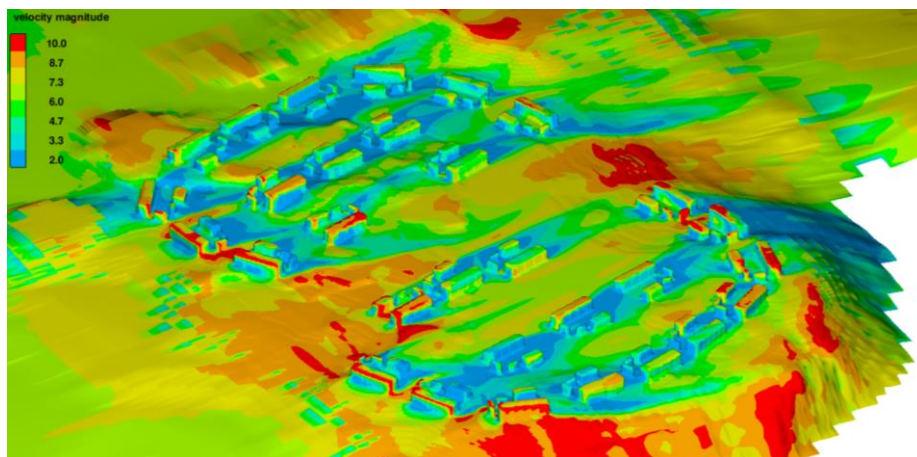
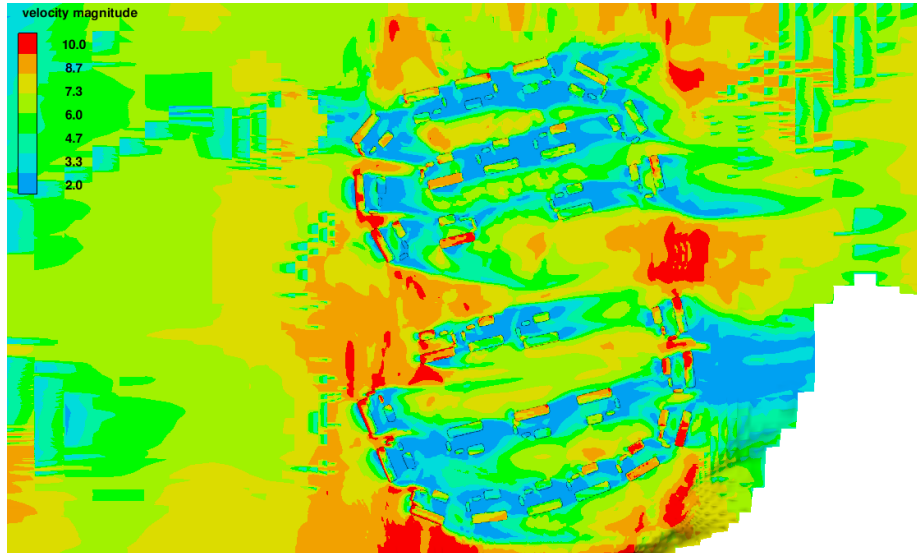
Telefon: (+47) 97 41 34 49

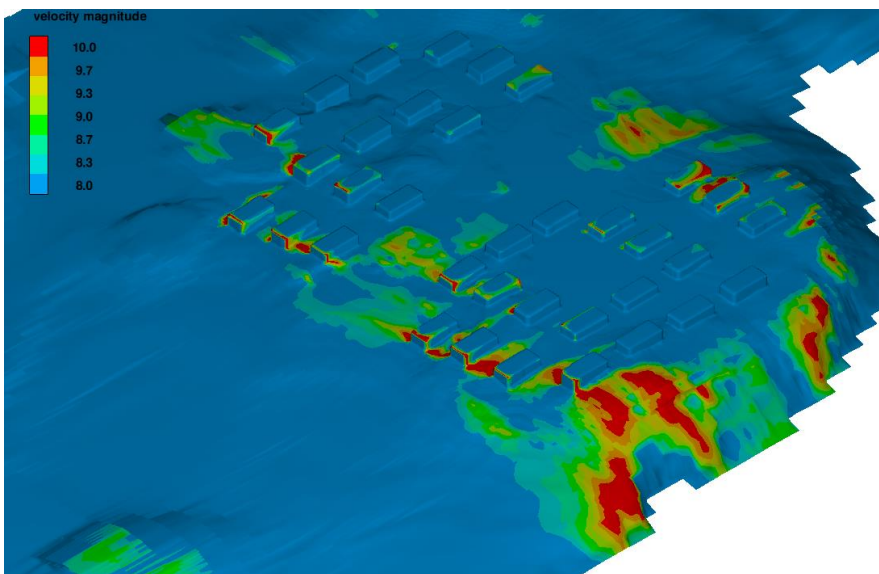
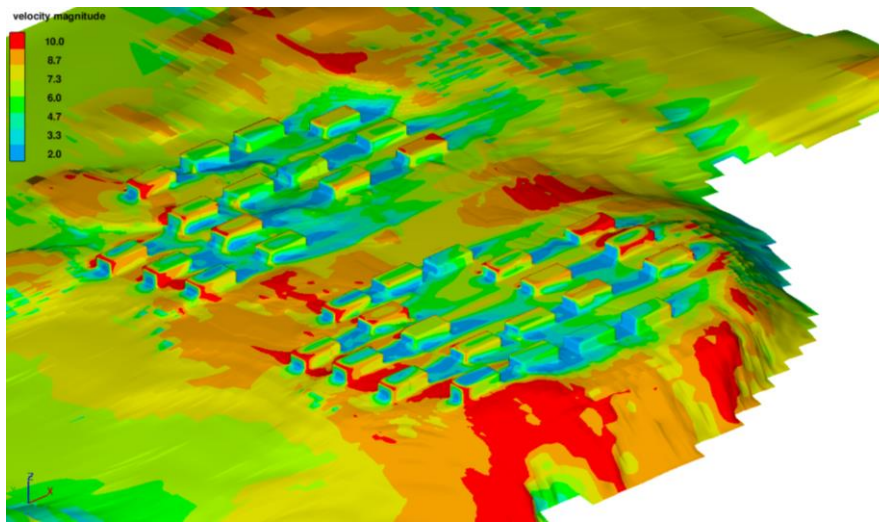
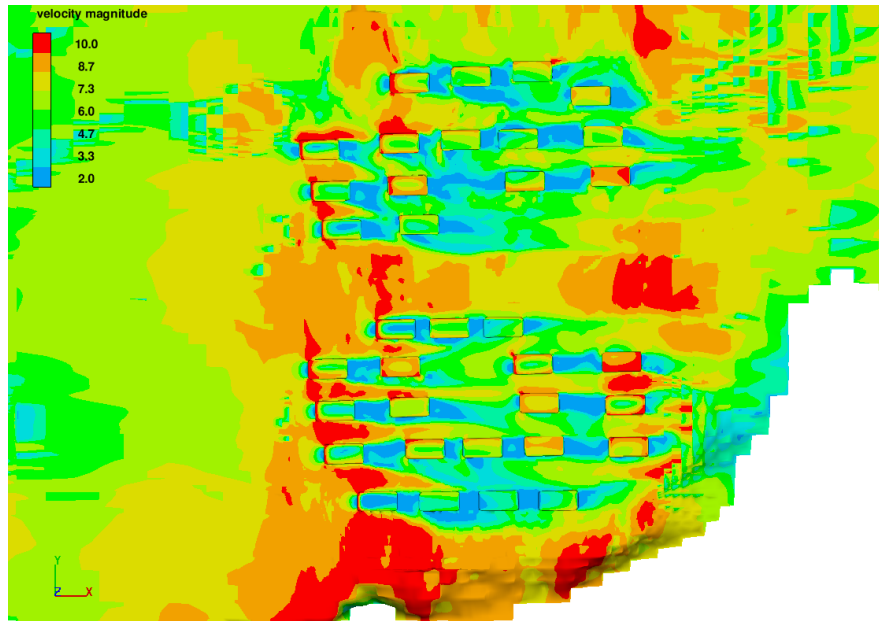
e-mail: [est096@post.uit.no](mailto:est096@post.uit.no) / [eg.storkersen@gmail.com](mailto:eg.storkersen@gmail.com)

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

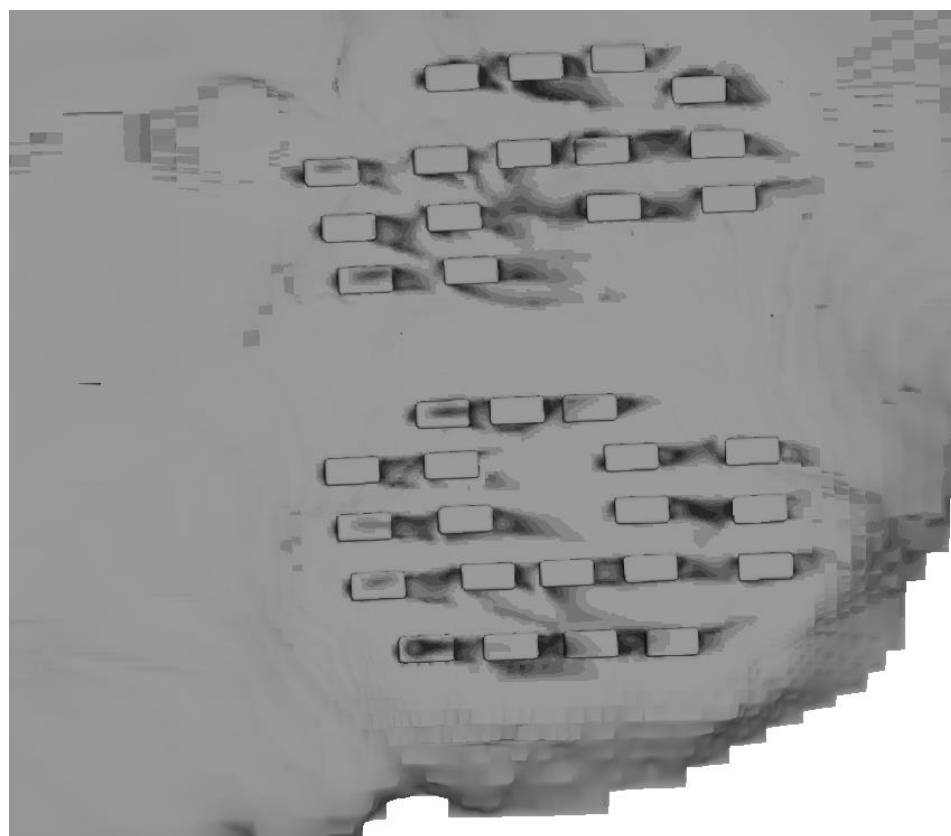
Bildeutsnitt fra numeriske simuleringer. Vindhastigheter er angitt i fargeskala.

Vind fra SSSØ



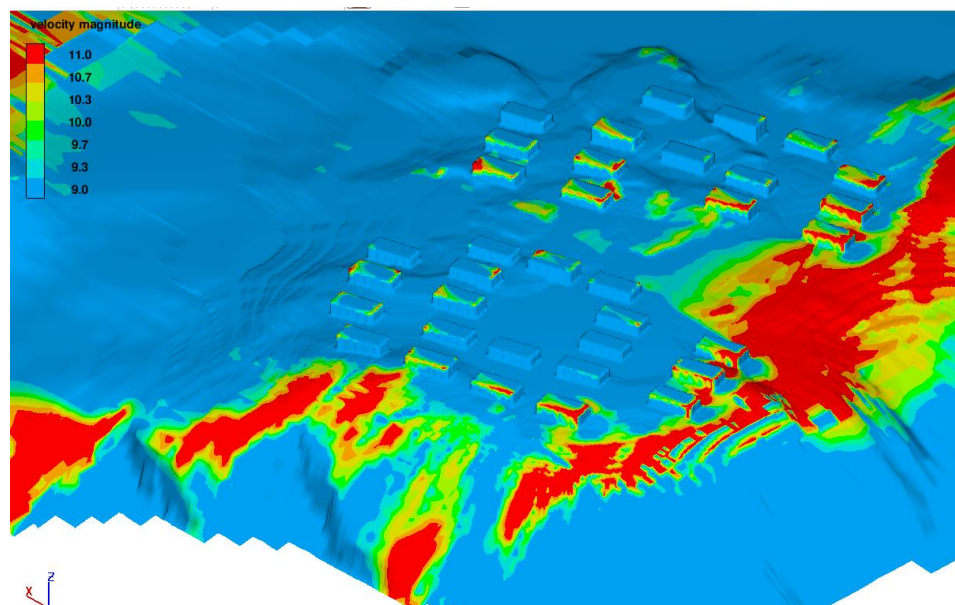
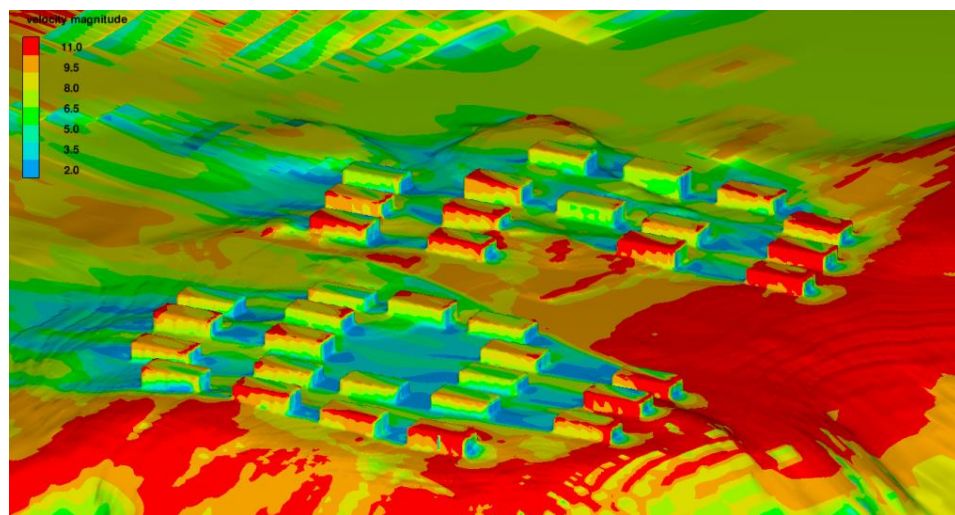
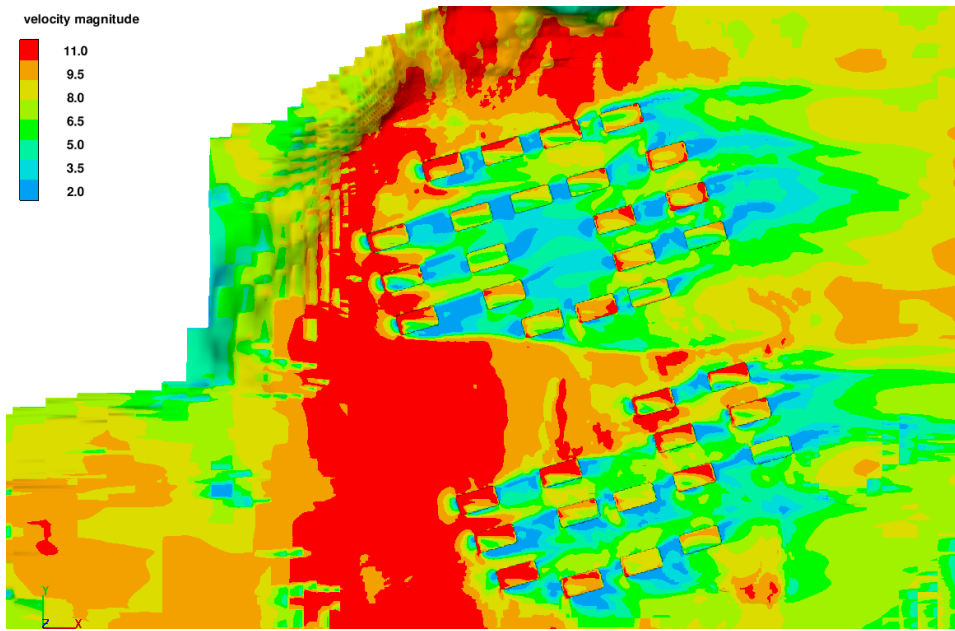


Vind SSSØ, snødrift



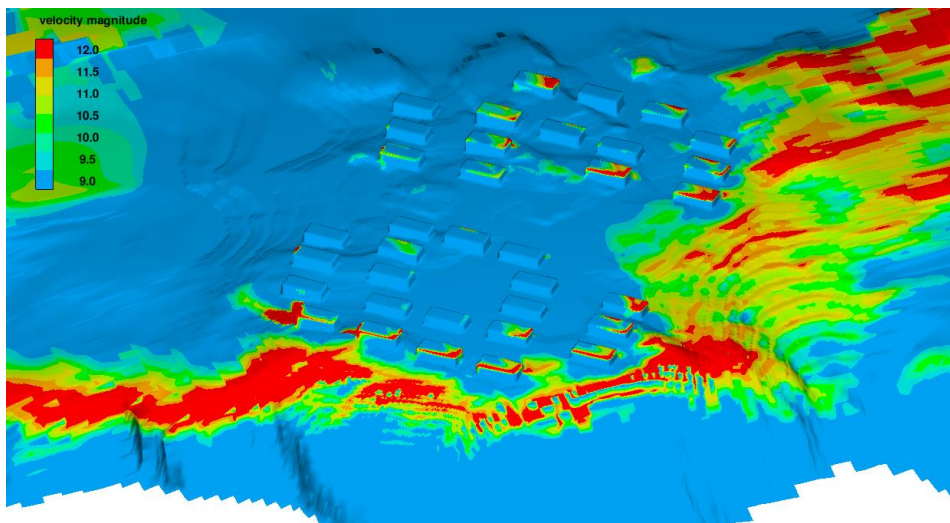
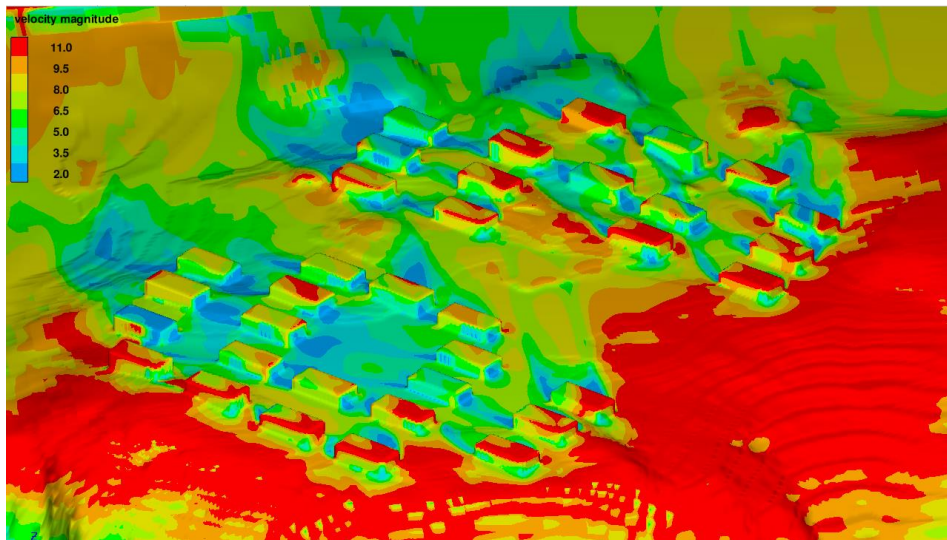
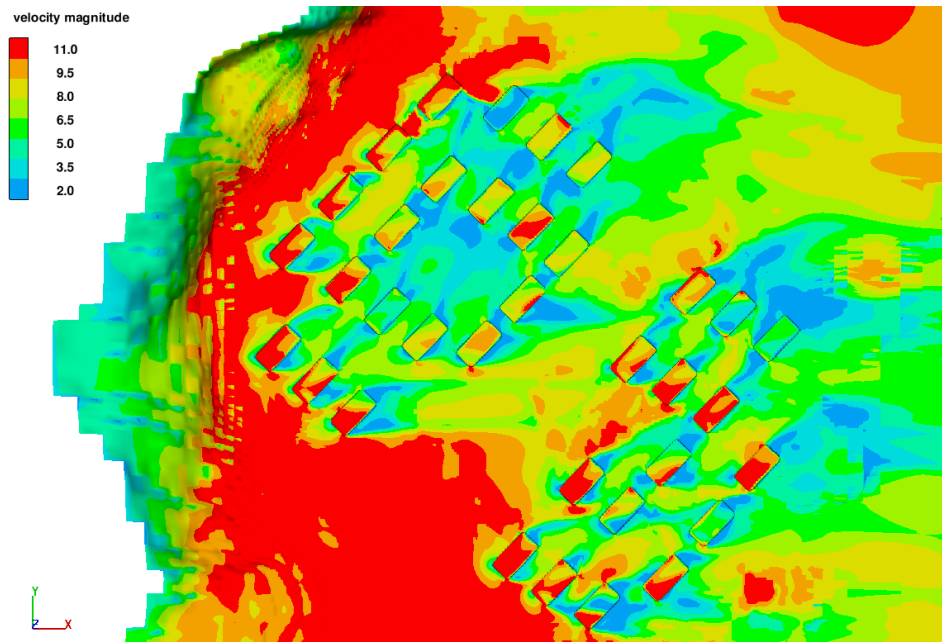


### Vind N





### Vind NNØ





Vedlegg C – Lysdesign



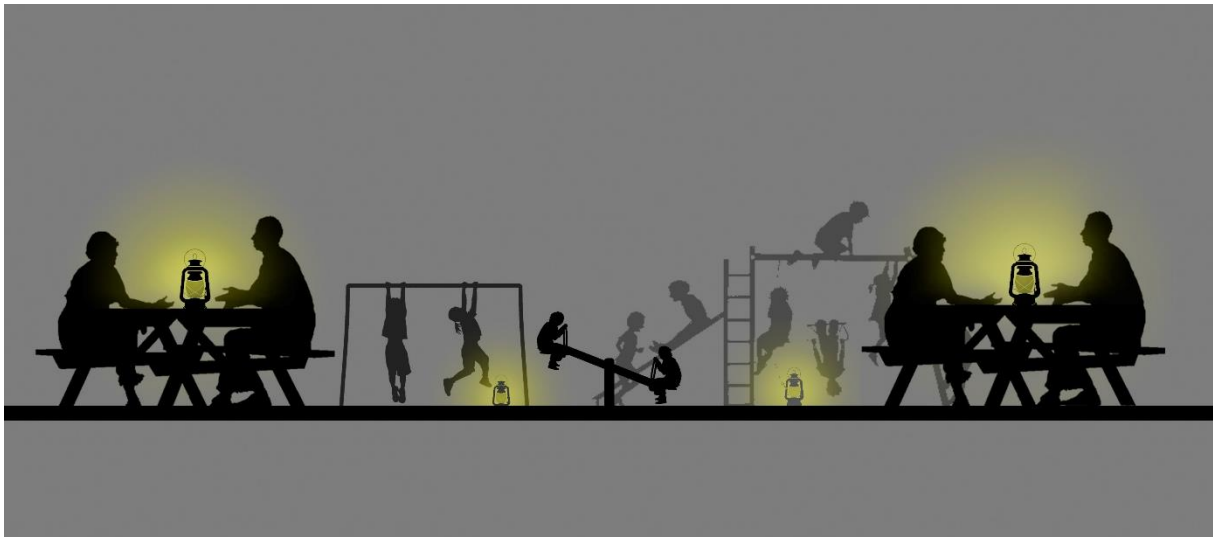
Figur VC-1. Konseptskisse av lys ved sørvendt inngangsparti (Hansen, 2016).



Figur VC-2. Konseptskisse (Hansen, 2016).



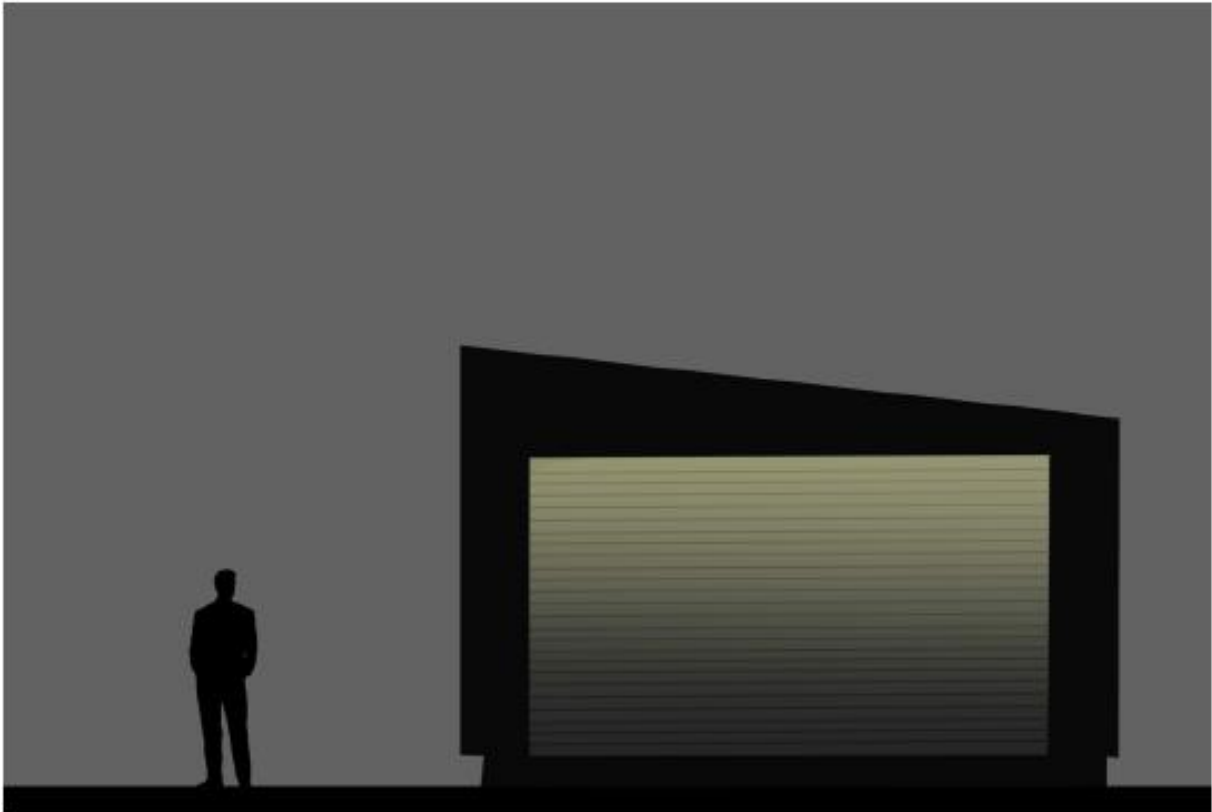
Figur VC-3. Konseptskisse av belyste garasjer (Hansen, 2016).



Figur VC-4. Prinsippkisse som viser hvordan lykt skaper sosiale møteplasser og intime soner (Hansen, 2016).



Figur VC-5. Prinsippkisse over belysning av hovedinngang ved bruk av overlys (Hansen, 2016).



*Figur VC-6. Prinsippskisse over lyssetting av garasjeport (Hansen, 2016).*



*Figur VC-7. Lysplan for å illustrere fargetemperaturforskjeller mellom veier og boenheter (Hansen, 2016).*

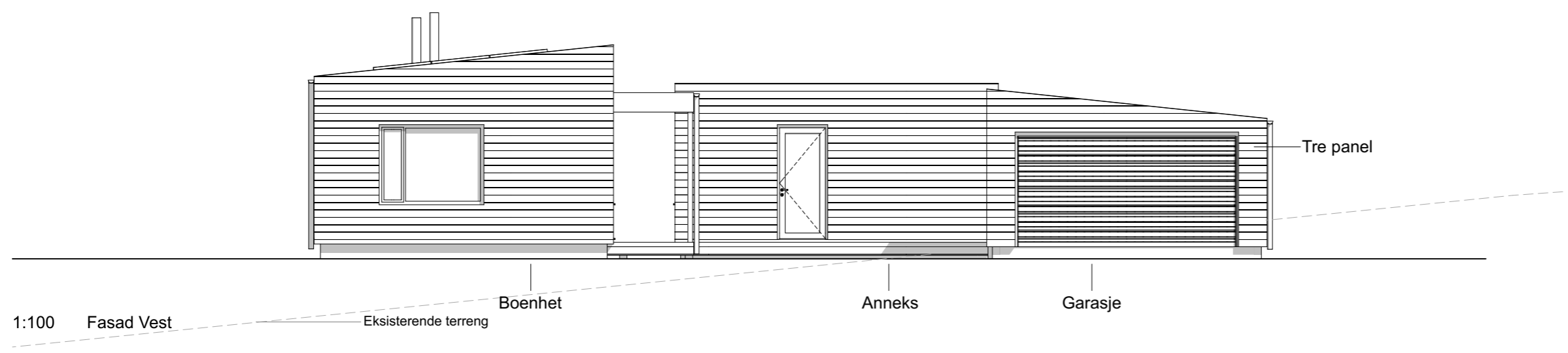


## Vedlegg D – Tegninger fra Stilla Utvikling AS









1:100 Fasad Vest

Rev	Date	Comment	Sign	Cont

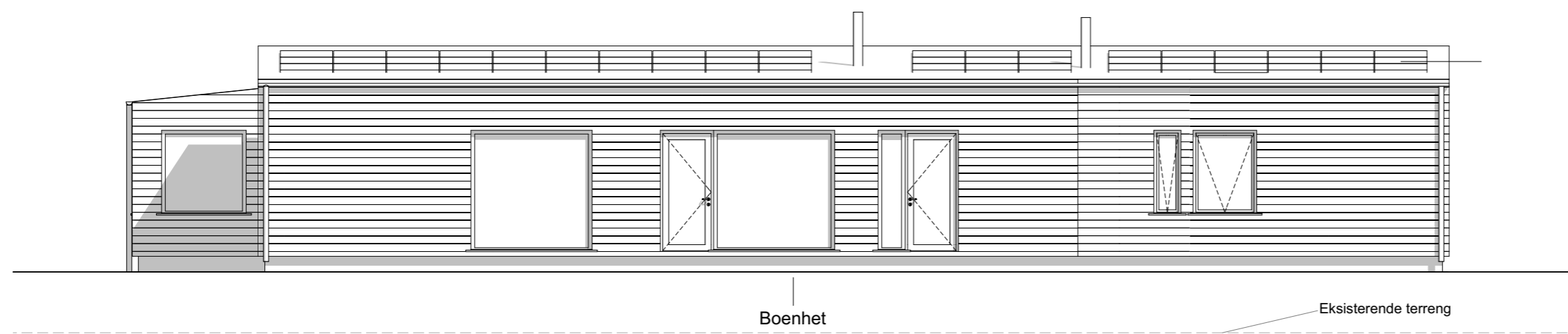
<b>Filnavn:</b> 1502 Bygg Storbukthusene Type A 190216.pjn	<b>Målestokk:</b> 1:100
Godkjent:	Kontroll PRO
Sign.:	Kontroll: Ark str.: A3

**Tittel:**  
B2A

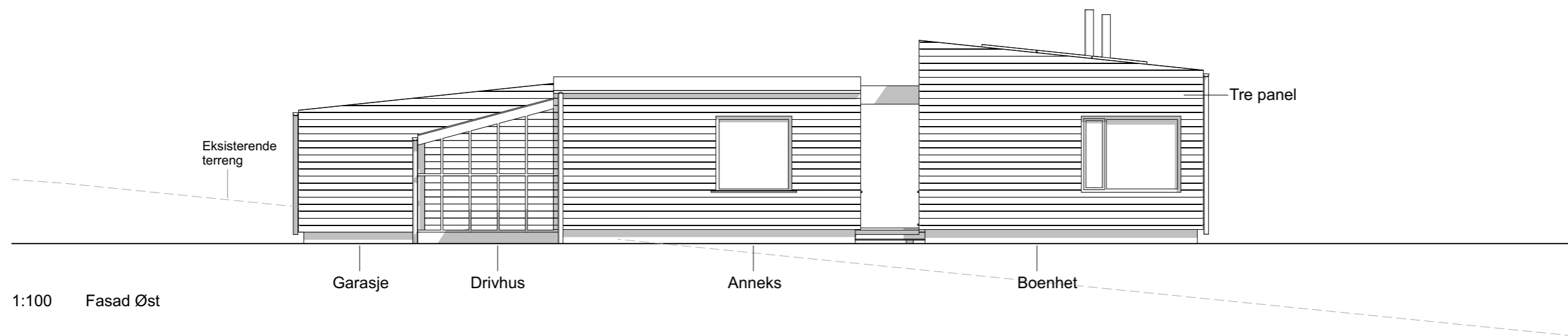
skytterhusfjellet,  
sør-varanger kommune

g.nr./b.nr. 26/160

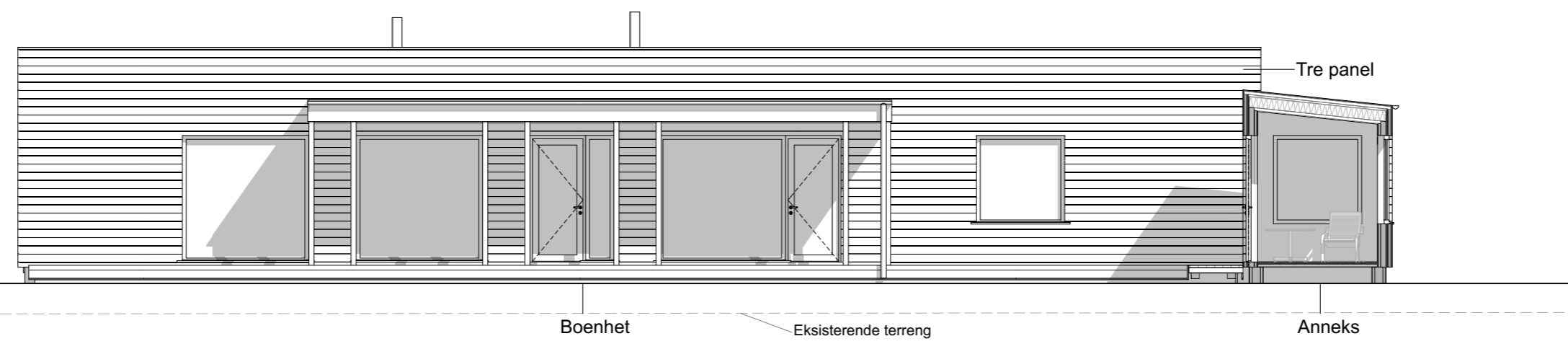
Tiltakshaver: Filago AS



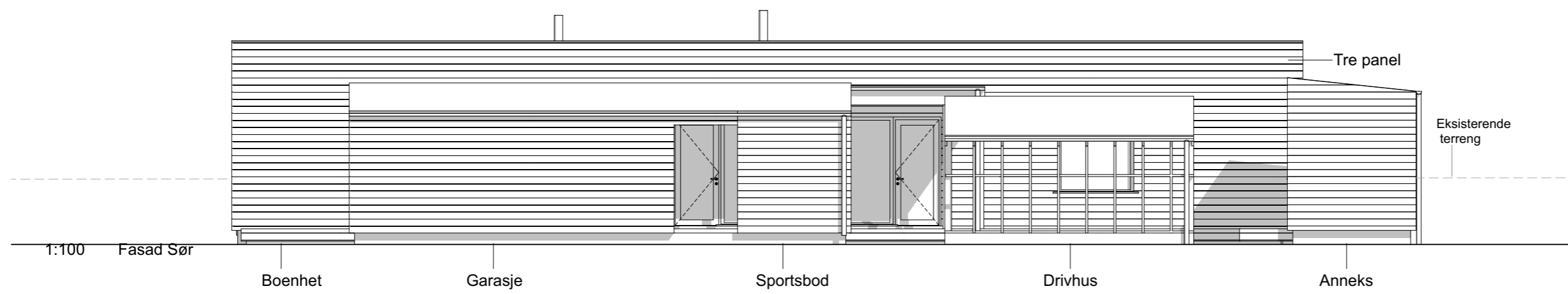
1:100 Fasad Nord



1:100 Fasad Øst



1:100 Fasad Sør Bolig A



1:100 Fasad Sør

Rev	Date	Comment	Sign	Cont

<b>Filnavn:</b> 1502 Bygg Storbukthusene Type A 190216.pjn	<b>Målestokk:</b> 1:100
Godkjent:	Kontroll PRO
Sign.:	Kontroll: Ark str.: A3

**Tittel:**  
B2A

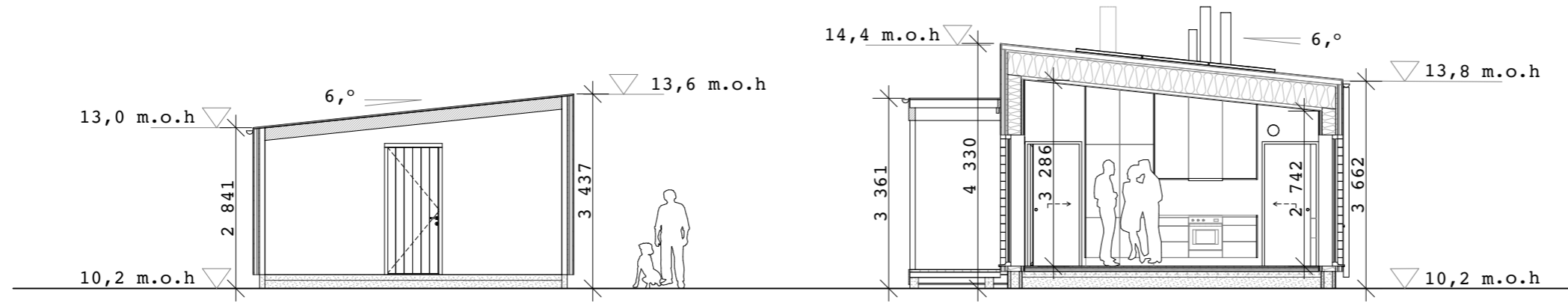
skytterhusfjellet,  
sør-varanger kommune

g.nr./b.nr. 26/160

Tiltakshaver: Filago AS

Prosjektnr.: 1504 B10&B11	Tegningsnr.: 4
---------------------------	----------------

Type tegning: Fasade Sør og Øst



1:100 Snitt B HUSA

Rev	Date	Comment	Sign	Cont

Filnavn: 1502 Bygg Storbukthusene Type A 190216.pjn		Målestokk: 1:100
Godkjent:	Kontroll PRO	
Sign.:	Kontroll:	Ark str.: A3

**Tittel:**  
B2A

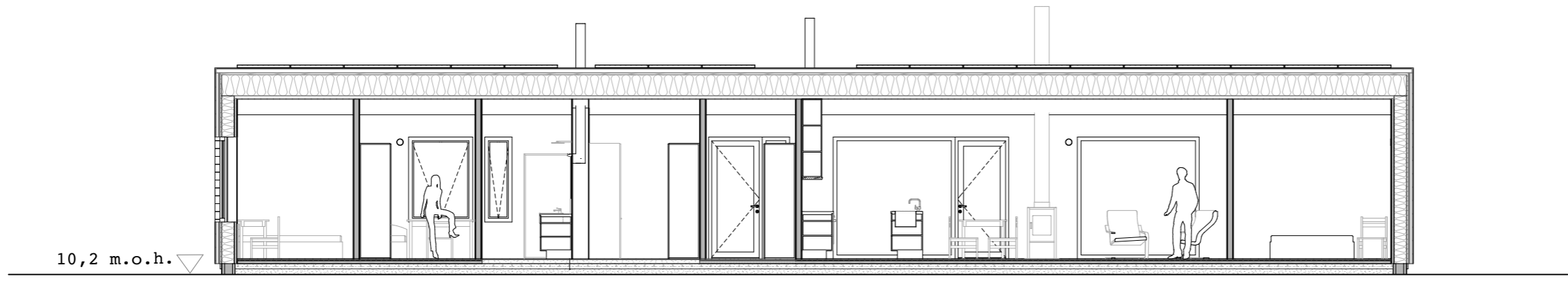
skytterhusfjellet,  
sør-varanger kommune

g.nr./b.nr. 26/160

Tiltakshaver: Filago AS

Prosjektnr.: 1504 B10&B11	Tegningsnr.: 2
------------------------------	-------------------

Type tegning:  
Snitt B og C



1:100 Snitt C HUSA





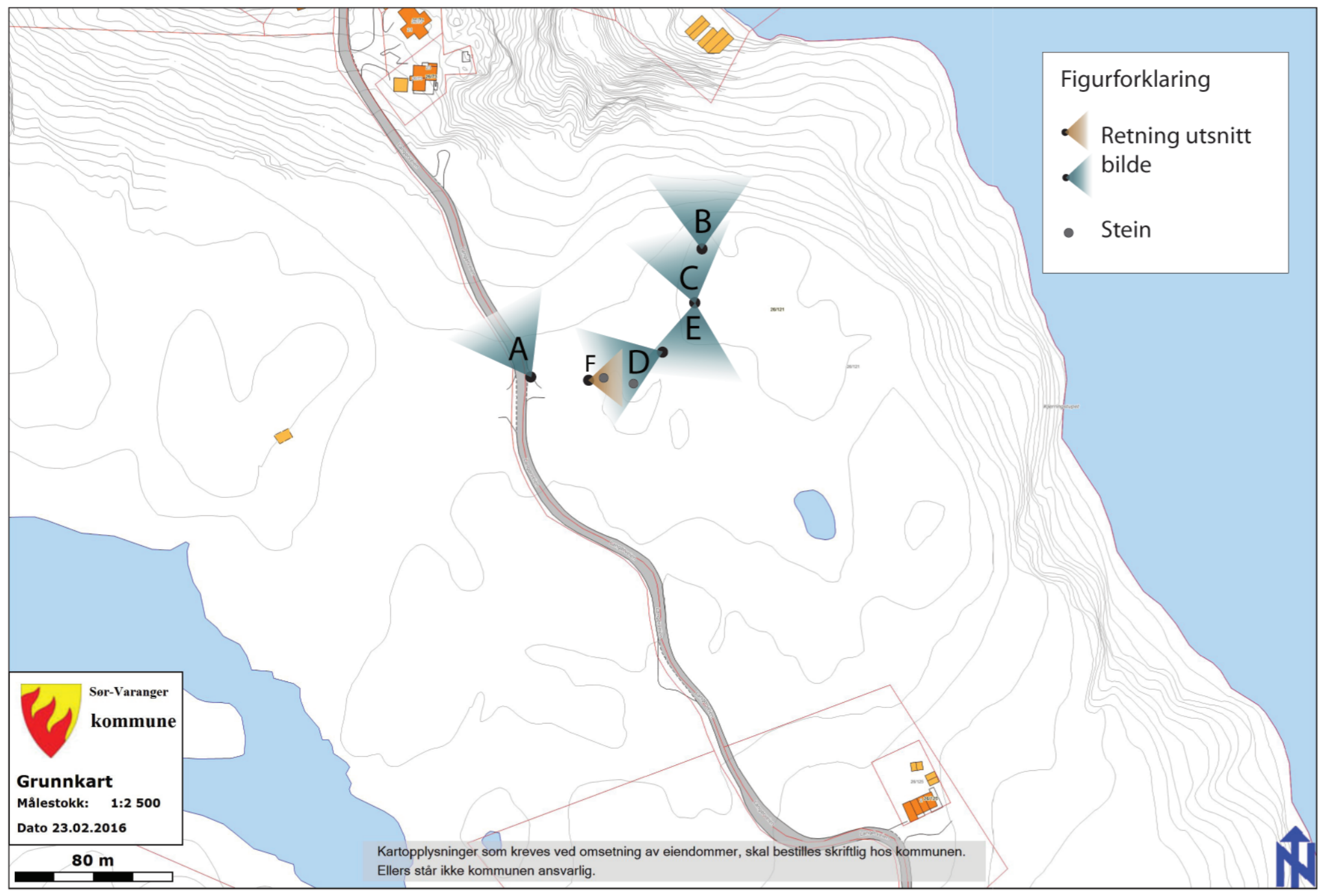




## Vedlegg E – Observasjoner ved Skytterhusfjellet











Utsiktspunkt B rotert mot øst.



Utsiktspunkt A rotert mot øst.



Stein nærmest vei (1).



Stein nærmest vei (1), utsiktposisjon rotert mot nord.



Stein 1 og 2.