

Andøy kommune

► CFD vindanalyse

Andenes sentrum

Oppdragsnr.: 52300117 Dokumentnr.: Vind01 Versjon: J01 Dato: 2023-06-04



Oppdragsgiver: Andøy kommune
Oppdragsgivers kontaktperson: Kristina Hjøhlman Reed
Rådgiver: Norconsult AS, Kjørboveien 22, NO-1337 Sandvika
Oppdragsleder: Lars Andre Uttakleiv
Fagansvarlig: Nick Pedersen
Andre nøkkelpersoner: Agsagan Rangunathan

J01	2023-06-04	Rapport	Agsagan Rangunathan	Nick Pedersen	Lars A. Uttakleiv
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

► Sammendrag

Det er utført en kvantitativ vindanalyse av Andenes sentrum i Andøy kommune med eksisterende bygningsmasse. Analysen er utført med fokus på strømningsbildet og vindkomfort på bakkeplan i sentrumsområdet. Det er lagt spesiell vekt på Tore Hundsgate som muligens skal bli en gågate, samt skoletomten til Andenes skole. Det er kun sommerperioden, mai til og med september, som er hensyntatt i analysen.

Resultatene er basert på 3D CFD-simuleringer (Computational Fluid Dynamics) av området, med en beregning av vindforsterkning for ulike vindretninger og en statistisk behandling av resultatene ved bruk av vinddata fra en vindmåler på Andøy lufthavn. Sluttproduktet av analysen er en kartlegging av vindkomfort og vindrelatert sikkerhet i Andenes sentrum, i henhold til internasjonal standard og komfortklasser. Analysen er basert på simuleringer for eksisterende bebyggelse i området.

Resultatene viser at man forventer god vindkomfort i de tettbygde områdene av Andenes sentrum i sommerperioden mai til og med september. De åpne områdene i indre sentrumsområdet har noe dårligere vindkomfort, med komfortklasse C og D. Dette gjelder hovedsakelig gravplassen og idrettsplassen. Disse områdene er dermed lite egnet til stillesitting. Områdene på yttersiden av bebyggelsene mot havet har vindkomfortklasse D og E. Disse områdene bør derfor være tiltenkt fysisk aktivitet. Den vindrelaterte sikkerheten i disse områdene er noe redusert, men for resten av Andenes sentrum er den god for den generelle befolkningen.

Kommunen ønsker å se på mulighetene til å gjøre om Tore Hundsgate til en gågate og gi en vurdering på vindforholdene på skoletomten til Andenes skole. For Tore Hundsgate er både vindkomforten og den vindrelaterte sikkerheten god. Det kreves derfor ingen vindskjermingstiltak for å bruke gata som gågate i sommerperioden mai til og med september slik bygningssituasjonen er i dag. Skoletomten er en god del mer vindutsatt med komfortklasse på C og D, men med god vindrelatert sikkerhet slik bygningssituasjonen er i dag. Vindforholdene vil sannsynligvis bli bedre hvis det kommer bebyggelse på tomten, spesielt hvis det bygges helt øst og nord på tomten. For å estimere effekten av eventuell bebyggelsen på tomten bør det gjøres nye CFD-simuleringer.

► Innhold

1	Introduksjon	5
2	Vindforhold i området	7
2.1	Beliggenhet	7
2.2	Vindstatistikk	7
3	Resultater	10
3.1	Vindforsterkning	10
3.2	Vindforsterkning fra nordøstlige retninger	10
3.3	Vindkomfort og sikkerhet	14
3.3.1	<i>Vindkomfort</i>	15
3.3.2	<i>Sikkerhet</i>	20
4	Konklusjon	24
5	Referanser	25
6	Vedlegg – metode	26
6.1	CFD-simuleringer	26
6.2	Beregningsmodell	26
6.3	Modelloppsett og grensebetingelser	27
6.4	Nøyaktighet av CFD-simuleringer	29
7	Vedlegg – vindforsterkning	30
7.1	Andenes sentrum	30
7.2	Tore Hundsgate	36
7.3	Andenes skoletomt	42

1 Introduksjon

Det er utført en kvantitativ vindanalyse av Andenes sentrum i Andøy kommune. Resultatene er basert på 3D CFD-simuleringer av området med dagens bebyggelse.

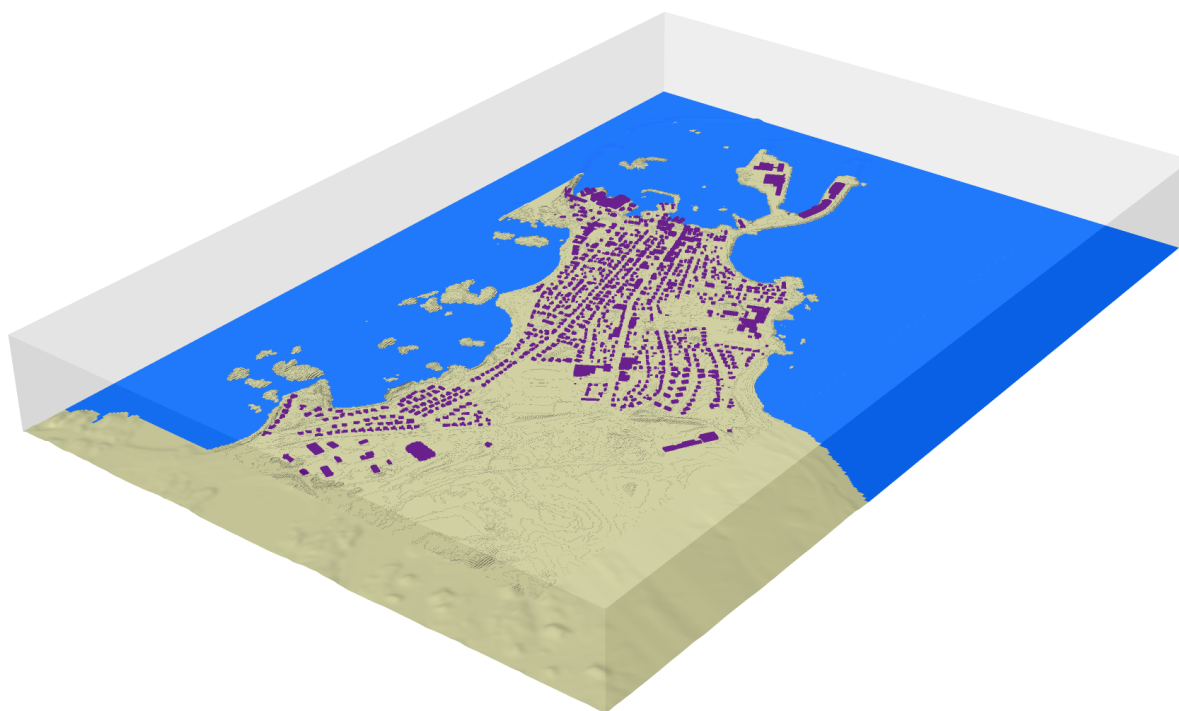
Bygninger kan ha stor påvirkning på vinden – store fasader kan «dytte ned» vind til gatenivå og akselerere vindfeltet rundt byggets hjørner. Samspill mellom flere bygg som står tett kan ha uventede effekter på strømmingen, og gater eller åpne passasjer mellom bygg kan bidra til en korridoreffekt. Disse faktorene kan påvirke komforten, og i enkelte tilfeller sikkerheten, i området.

Overordnet sett avhenger vindforhold i et område av bygenes utforming, deres plassering i forhold til hverandre, terrenget og vindstatistikken i området, faktorer som alle tas med i CFD-analysen.

Simuleringsresultatene er brukt i en beregning av «lokal vindforsterkning» for samtlige vindretninger og en statistisk behandling av resultatene ved bruk av lokale meteorologisk data.

Sluttproduktet av analysen er en kartlegging av vindkomfort og vindrelatert sikkerhet 1,5 m over bakken, iht. internasjonal standard. Kartene for vindkomfort og vindsikkerhet tar for seg effekten av strømningsbildet på gateplan, samt hyppighet av vindretning og styrke for en gjennomsnittlig mai til og med september periode.

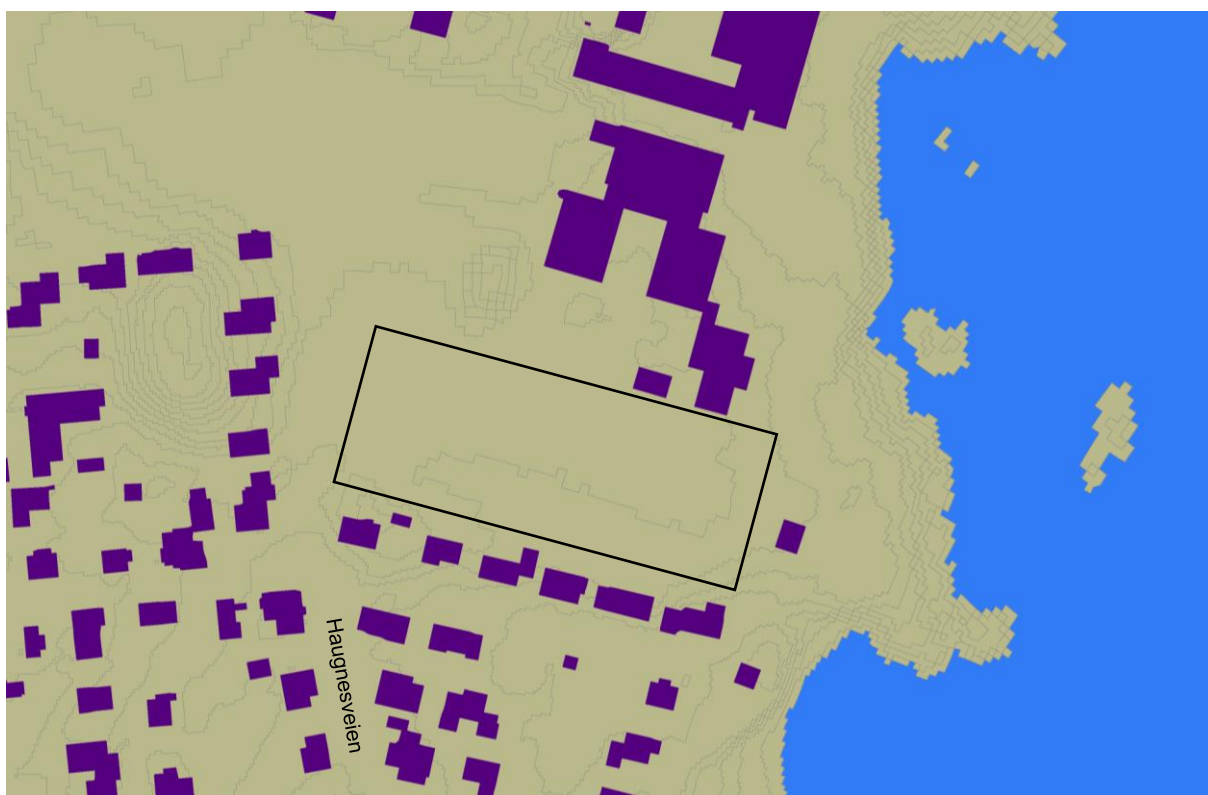
Oversikt over simuleringsmodellen vises i figur 1. Det planlagte torgområdet ved Tore Hundsgate er vist i figur 2. Andenes skoletomt er vist i figur 3. Bygningsmasse vist i mørkelilla, terreng i brunt og sjø i blått.



Figur 1: Oversikt over CFD-modell av deler av Andenes, med eksisterende bygg i sentrumsområdet i mørkelilla. Sett fra sørøst.



Figur 2: CFD-modellen med det planlagte gågata ved Tore Hundsgate. Eksisterende bygg er vist i mørkelilla. Nord peker oppover.

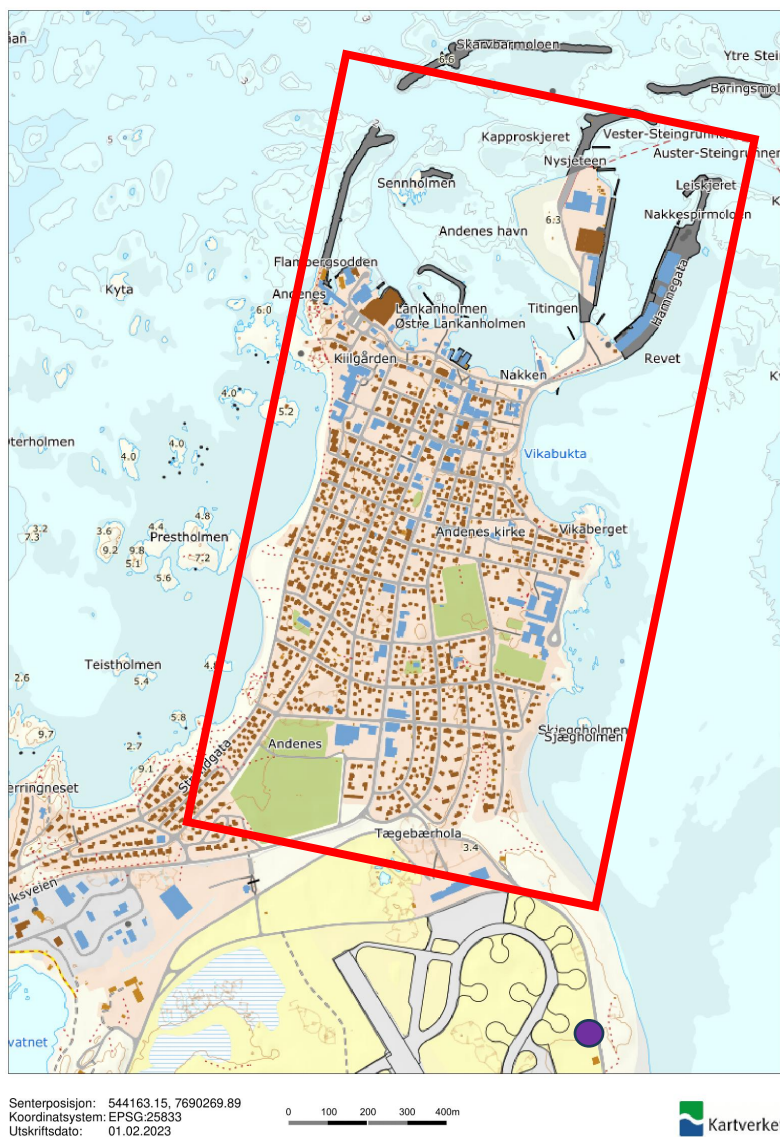


Figur 3: CFD-modellen med Andenes skoletomt vist med svart rektangel. Eksisterende bygg er vist i mørkelilla. Nord peker oppover.

2 Vindforhold i området

2.1 Beliggenhet

Det analyserte området, Andenes sentrum, ligger i Andøy kommune i Nordland fylke. Dette området er vist med rødt rektangel i figur 4. Nærmeste målestasjon til Meteorologisk institutt (Andøya lufthavn) er vist med lilla prikk.

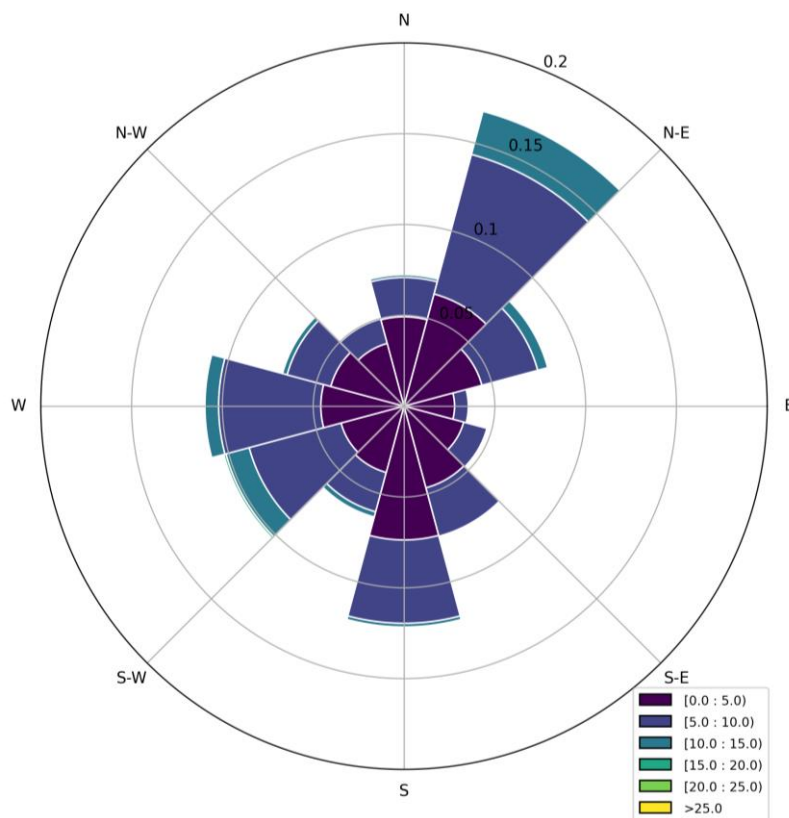


Figur 4: Planområdet er vist med rødt rektangel, og meteorologiske målestasjon (Andøya lufthavn) med lilla prikk (© Kartverket).

2.2 Vindstatistikk

Figur 5 viser statistisk fordeling av vindforhold for sommerperioden mai til og med september fra målestasjonen til Meteorologisk institutt på Andøya lufthavn. Vindhastigheten det refereres til her er vindhastighet i 10 meters høyde (U_{10}). Vindrosen viser hvor ofte det blåser fra ulike retninger, og med hvilken styrke.

Den fremherskende vindretningen i den analyserte sommerperioden er fra nord-nordøst (NNØ), mens sørøstlige og nordvestlige vinder oppstår sjeldent.

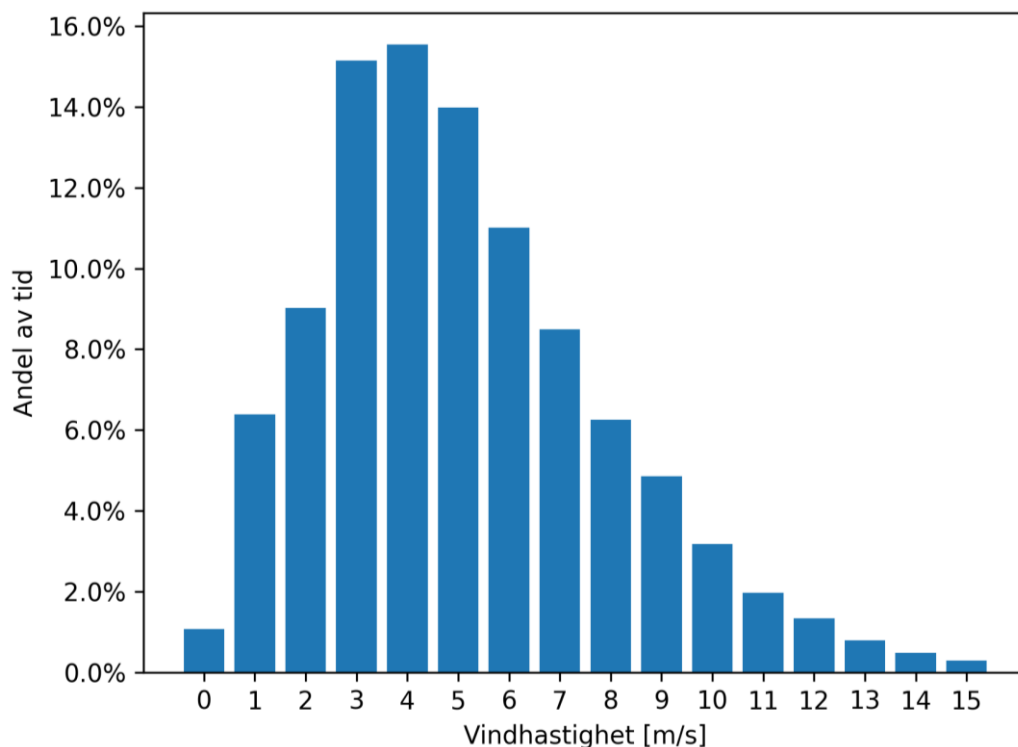


Figur 5: Vindrose for sommermånedene mai til og med september 10 m over bakken for perioden 2004 til og med 2022.

Fordeling av vindhastighet mot andel av tid vises i figur 6. Gjennomsnittlig vindhastighet for sommerperioden mai til og med september er 5,2 m/s. Dette er en relativt høy vindhastighet sammenlignet med resten av Norge. Gjennomsnittet for hele året er enda høyere og ligger på 6,0 m/s.

Tabell 1 viser den målte frekvensfordeling av timesmidlet vindhastighet i løpet av sommerperioden mai til og med september. Fra denne ser man at vind med lave hastigheter (< 2 m/s) forekommer sjeldent (under 10 % av tiden), mens det blåser vind med hastighet over 5 m/s omtrent halve perioden.

De sterkeste vindhastighetene (opptil 16 – 20 m/s) inntreffer relativt sjeldent (0,04 % av året), og oppstår som regel ved vind fra sørvestlige retninger samt NNØ.



Figur 6: Andel av sommerperioden mai til og med september med ulike vindhastigheter som forekommer i 10 m høyde over bakken. Målte data fra perioden 2004 til og med 2022.

Tabell 1: Frekvensfordelingen for vind for en gjennomsnittlig sommerperiode (mai til og med september) av målte data for 2004 til og med 2022.

	SEKTOR													
VINDHASTIGHET (M/S)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	SUM	KUMULATIV
< 2	1.16 %	0.78 %	0.73 %	0.80 %	0.84 %	0.86 %	0.97 %	0.80 %	0.64 %	0.64 %	0.63 %	0.69 %	9.5 %	9.53 %
2 - 4	2.59 %	3.73 %	2.62 %	1.64 %	1.88 %	2.42 %	4.06 %	2.10 %	1.73 %	2.09 %	2.33 %	2.07 %	29.2 %	38.8 %
4 - 6	2.06 %	3.74 %	1.92 %	0.57 %	1.19 %	2.61 %	4.19 %	1.64 %	2.51 %	3.70 %	2.09 %	1.38 %	27.6 %	66.4 %
6 - 8	0.90 %	3.40 %	1.40 %	0.34 %	0.63 %	1.22 %	1.99 %	0.97 %	2.34 %	2.54 %	1.09 %	0.56 %	17.4 %	83.8 %
8 - 10	0.39 %	2.69 %	0.95 %	0.19 %	0.19 %	0.31 %	0.74 %	0.51 %	1.59 %	1.24 %	0.52 %	0.27 %	9.60 %	93.4 %
10 - 12	0.11 %	1.62 %	0.42 %	0.04 %	0.05 %	0.04 %	0.15 %	0.19 %	0.84 %	0.47 %	0.21 %	0.07 %	4.21 %	97.6 %
12 - 14	0.03 %	0.67 %	0.12 %	0.01 %	0.01 %	0.01 %	0.04 %	0.09 %	0.39 %	0.24 %	0.05 %	0.01 %	1.68 %	99.3 %
14 - 16	0.02 %	0.23 %	0.04 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.01 %	0.05 %	0.16 %	0.06 %	0.02 %	0.00 %	0.60 %	99.8 %
16 - 18	0.00 %	0.01 %	0.01 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.01 %	0.04 %	0.02 %	0.01 %	0.00 %	0.10 %	100 %
18 - 20	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.01 %	0.02 %	0.01 %	0.00 %	0.00 %	0.03 %	100 %
> 20	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.01 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.01 %	100 %
SUM	7.26 %	16.9 %	8.21 %	3.60 %	4.78 %	7.47 %	12.2 %	6.36 %	10.3 %	11.0 %	6.94 %	5.06 %	100 %	

3 Resultater

3.1 Vindforsterkning

Vindforsterkning er et relativt mål på hvor høy vindhastigheten er i kroppshøyde (1,5 m) i forhold til vindhastigheten ved målemasten på 10 meters høyde (altså den vanlige referansehøyden til vindmålinger):

$$\text{Vindforsterkning} = \frac{\text{lokal vindstyrke i kroppshøyde}}{\text{referansevind på 10 meters høyde}} \cdot 100 \%$$

Målemastet ligger uforstyrret i terrenget. Resultatet for vindforsterkningen gir dermed en pekepinn på hvorvidt luften i kroppshøyde blir bremset (verdier < 100 %) eller akselerert (verdier > 100 %) av byggene og terrenget sammenlignet med vinden i åpent lende.

Vindforsterkning i seg selv sier ikke noe om hvorvidt vindkomforten er god eller dårlig, men vindforsterkning inngår i beregningen av komfortklassene.

Det er kjørt simuleringer for 12 vindretninger. Vindforsterkning er kalkulert for hver vindretning. I dette delkapitlet presenteres resultater ved vind fra utvalgte vindretninger for å gi en forståelse av strømningsbildet på Andenes sentrum, Tore Hundsgate og skoletomten på Andenes skole. Figurer for resterende vindretninger finnes i vedlegg.

3.2 Vindforsterkning fra nordøstlige retninger

Vind fra nord-nordøst er den vindretningen som forekommer oftest. I tillegg har vi sett på vindretning øst-nordøst etter ønske fra Andøy kommune. Vindforsterkningen fra disse retningene er vist i figur 7 til figur 12.

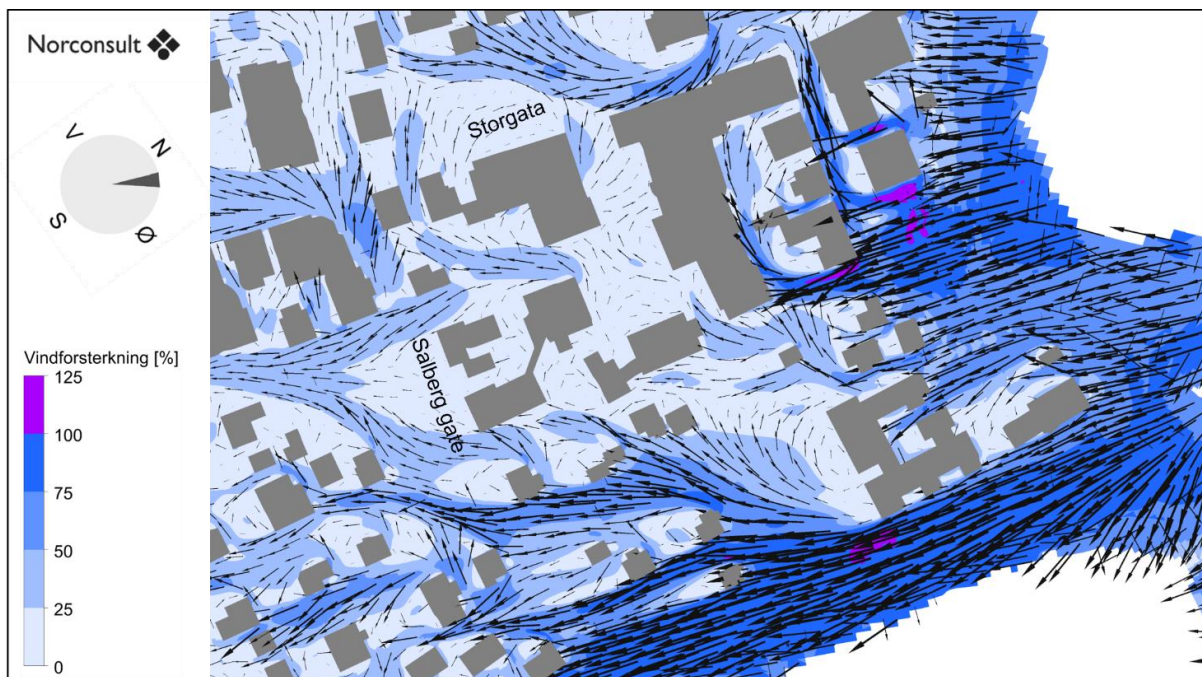
Fra figur 7 ser vi at ved vind fra nord-nordøst gir den første raden av bygninger langs kystlinjen god skjermingseffekt for resten av sentrumsområdet. Vi ser likevel at enkelte gateløp er mer vindutsatt da dem ligger nesten parallelt med vindretningen. Av de større gateløpene gjelder dette store deler av Storgata, og midtre del av Falcksgate. Det oppstår en liten korridoreffekt ved Hans Oluf Lind monument som blir med noe nedstrøms frem til området rett øst for Andenes helsesenter. Figur 8 viser vindforsterkningen for området rundt Tore Hundsgate. Den viser at Tore Hundsgate er godt skjermet for vind fra nord-nordøst. Figuren viser også at den delen av Prinsensgate som ligger nord for Tore Hundsgate ikke er skjermet mot denne vindretningen, siden vi ser vindforsterkningsverdier opptil 125 %. Det samme gjelder delen av Salbergs gate som ligger helt øst for bebyggelsene.

På figur 9 og figur 12 ser man at skoletomten ligger vindutsatt på området nærmest kysten med vindforsterkningsverdier opptil 100 %. Midtre del av skoletomten ligger også litt vindutsatt når det blåser fra nordøst retning med vindforsterkningsverdier opptil 75 %. Hvis man bygger i øst og nord på tomten vil det sannsynligvis føre til noe skjerming ved vind fra nordøstlige retninger.

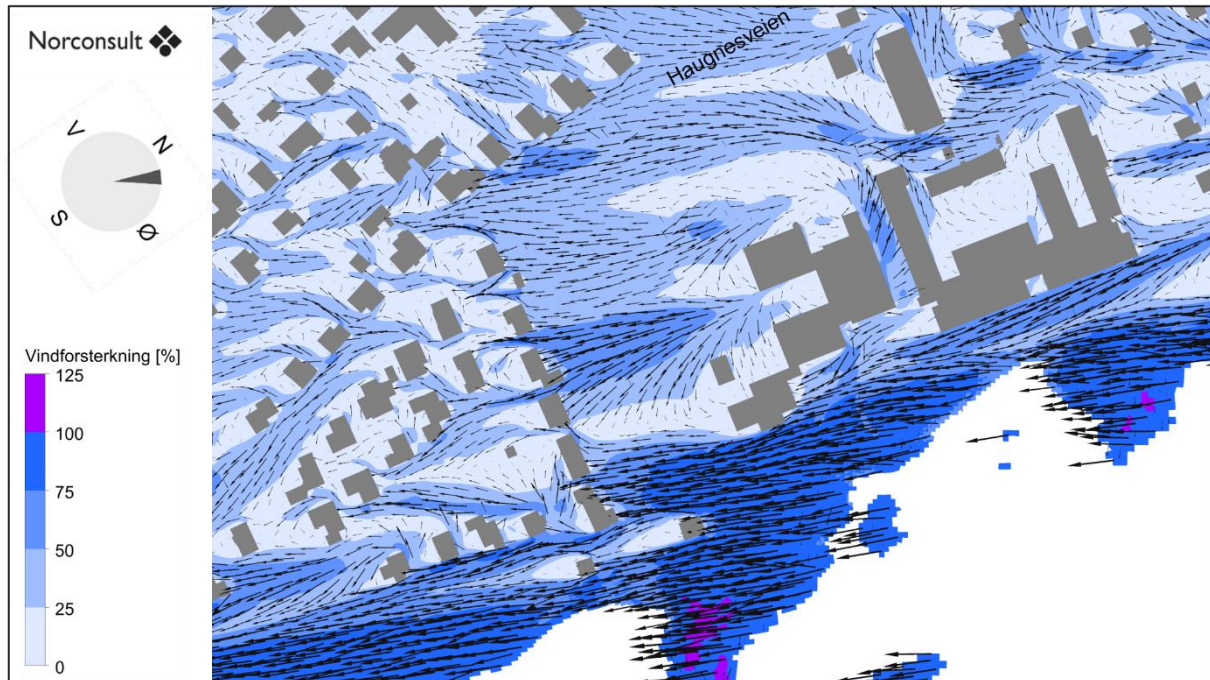
Et oversiktsbilde av vindforsterkningen ved vind fra øst-nordøst ser vi i figur 10. Det er ingen hovedgateløp som går parallelt med denne vindretningen, vi ser derfor at disse gateløpene er bedre skjermet mot vinden. Naturlig nok er området øst i sentrum mer utsatt for vind fra denne vindretningen enn med vind fra nord-nordøst. Men de første radene med bebyggelse som vinden treffer gir god vindskjerming i resten av sentrumsområdet. Figur 11 viser vindforsterkningen for området rundt Tore Hundsgate. Den viser at Tore Hundsgate er noe mer utsatt for vind fra øst-nordøst enn nord-nordøst, men vindforsterkningsverdiene holder seg under 50 %. Dette er å anse som god skjerming mot vind. Østsiden av Salbergs gate er derimot ganske vindutsatt med vindforsterkningsverdier opp mot 100 %.



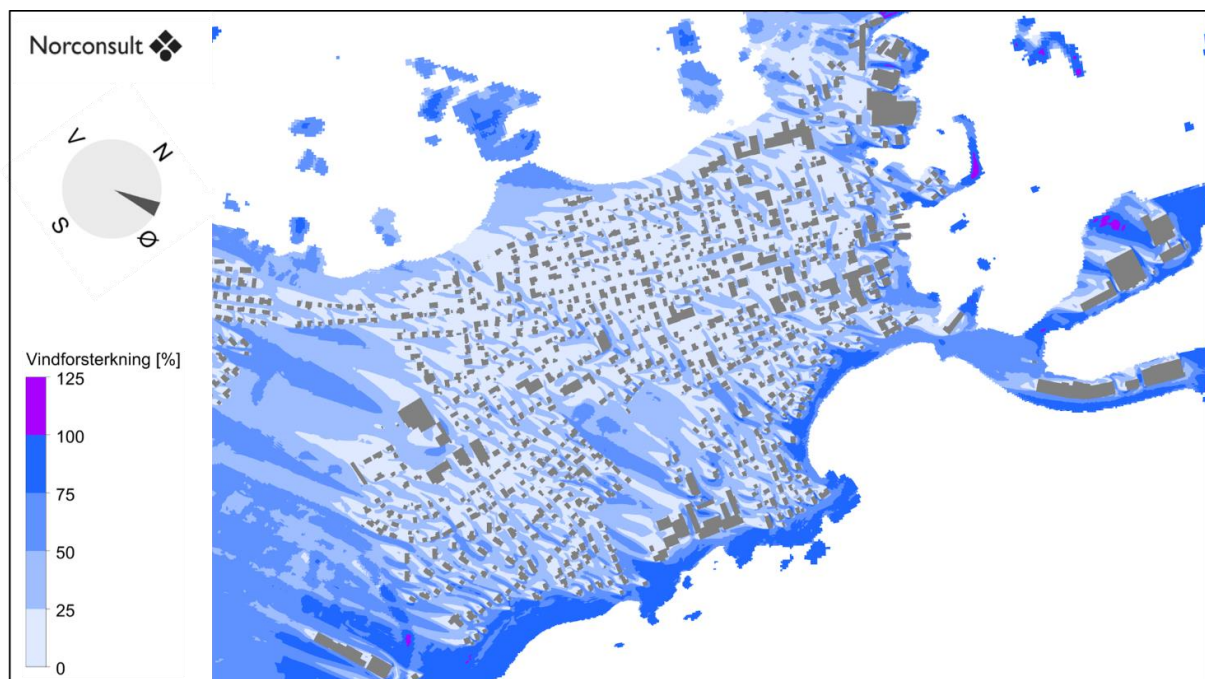
Figur 7: Vindforsterkningskart i kroppshøyde over Andenes sentrum ved vind fra nord-nordøst (vind fra 30°).



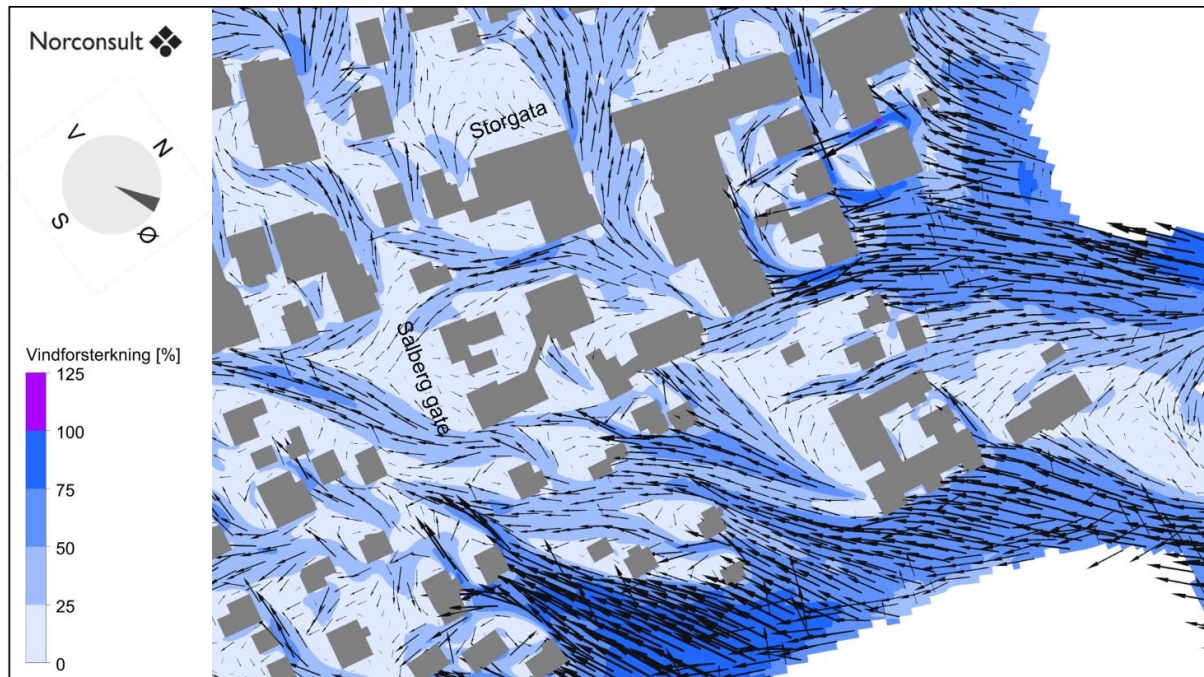
Figur 8: Vindforsterkning og strømningspiler i kroppshøyde i området rundt Tore Hundsgate ved vind fra nord-nordøst (vind fra 30°).



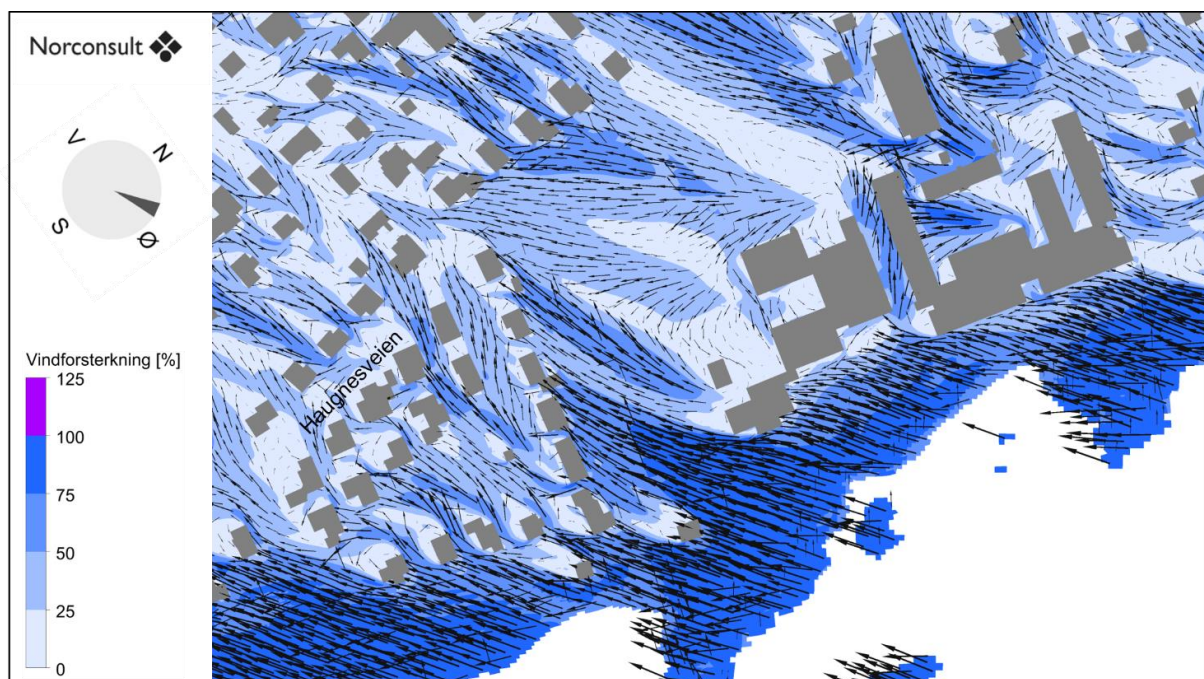
Figur 9: Vindforsterkning og strømningspiler i kroppshøyde i området rundt Andenes skoletomt ved vind fra nord-nordøst (vind fra 30°).



Figur 10: Vindforsterkningskart i kroppshøyde over Andenes sentrum ved vind fra øst-nordøst (vind fra 60°).



Figur 11: Vindforsterkning og strømningspiler i kroppshøyde i området rundt Tore Hundsgate ved vind fra øst-nordøst (vind fra 60°).



Figur 12: Vindforsterkning og strømningspiler i kroppshøyde i området rundt Andenes skoletomt ved vind fra øst-nordøst (vind fra 60°).

3.3 Vindkomfort og sikkerhet

Vindkomfort beskriver hvordan vindhastigheten oppleves av mennesker, og er basert på effekten av de mekaniske kreftene utøvd av vinden. Vindkomfort beskriver hvorvidt, og hvor ofte, disse kreftene blir plagsomme. Beregningene tar dessuten hensyn til at stillesittende folk på f.eks. en benk opplever vind annerledes enn de som går raskt i en gate.

En persons opplevelse og bedømmelse av når vinden begynner å bli plagsom er subjektivt, og det finnes flere metoder for analyse av vindkomfort (se f.eks. [Blocken and Carmeliet, 2004]). Dette begrepet tar ikke for seg komfort relatert til termiske eller akustiske effekter, men disse faktorene kan også spille en viktig rolle i overordnet «komfort». Et av de mest utbredte sett med komfortkriterier, brukt som industristandard for vindanalyser i dag, er fra Lawson [Lawson, 1990]. Disse kriteriene definerer seks komfortklasser basert på timesmidlet vindhastighet i kroppshøyde (1,5 m). Komfortklassene definerer grenser for akseptable hastigheter for forskjellige aktiviteter og områder, se tabell 2. Grensene er et resultat av omfattende forskning.

Hvis det blåser over grenseverdiene på et sted mer enn 5 % av året, klassifiseres området som ukomfortabelt for den aktuelle aktivitetskategorien. I slike tilfeller bør vindskjermingstiltak vurderes.

Tabell 2: Lawsons kriterier for vindkomfort [Lawson, 1990].

Timesmidlet vindhastighet i kroppshøyde 95 % av året	Komfort-klasse	Aktivitet	Områdebeskrivelse
< 2 m/s	A	Sitte – lange opphold	<u>Veldig god komfort</u> - steder for lange stillesittende opphold som balkonger eller uteservering.
2 – 4 m/s	B	Sitte	<u>God komfort</u> - steder for stillesittende bruk som er behagelig store deler av året. Park, fellesområder, sittegrupper osv.
4 – 6 m/s	C	Stå	<u>Akseptabel komfort for stående</u> – steder der man er i ro, men befinner seg relativt kort tid. Inngangspartier, holdeplasser.
6 – 8 m/s	D	Gå	<u>Akseptabel komfort for gående</u> – steder der folk skal kunne gå uten ubehag. På fortau, ned gågater, i shoppingområder osv.
8 – 10 m/s	E	Rask gange	<u>Redusert komfort</u> – steder som er vindutsatt, der man kun skal gå raskt gjennom som eksponerte veier og parkeringsplasser.
> 10 m/s	F	-	<u>Ukomfortabelt.</u>

Lawsons kriterier gir også grenser for når vinden påvirker menneskers evne til å gå eller holde balansen. Hvis det blåser over verdiene i Tabell 3 i mer enn to timer i året er området ansett for å ha redusert sikkerhet.

Tabell 3: Lawsons kriterier for vindsikkerhet [Lawson, 1990].

Timesmidlet vindhastighet i kroppshøyde 99.978 % av året	Sikkerhets-klasse	Områdebeskrivelse
< 15 m/s	A	God sikkerhet for generell befolkning.
15 – 20 m/s	B	Redusert sikkerhet for spesielt utsatte, som syklister eller eldre mennesker.
> 20 m/s	C	Redusert sikkerhet for generell befolkning.

Merk at i tilfeller der bygninger forårsaker redusert sikkerhet på bakkeplan er dette generelt sett på dager det allerede blåser kraftig (typisk for styrke «stiv kuling» eller høyere).

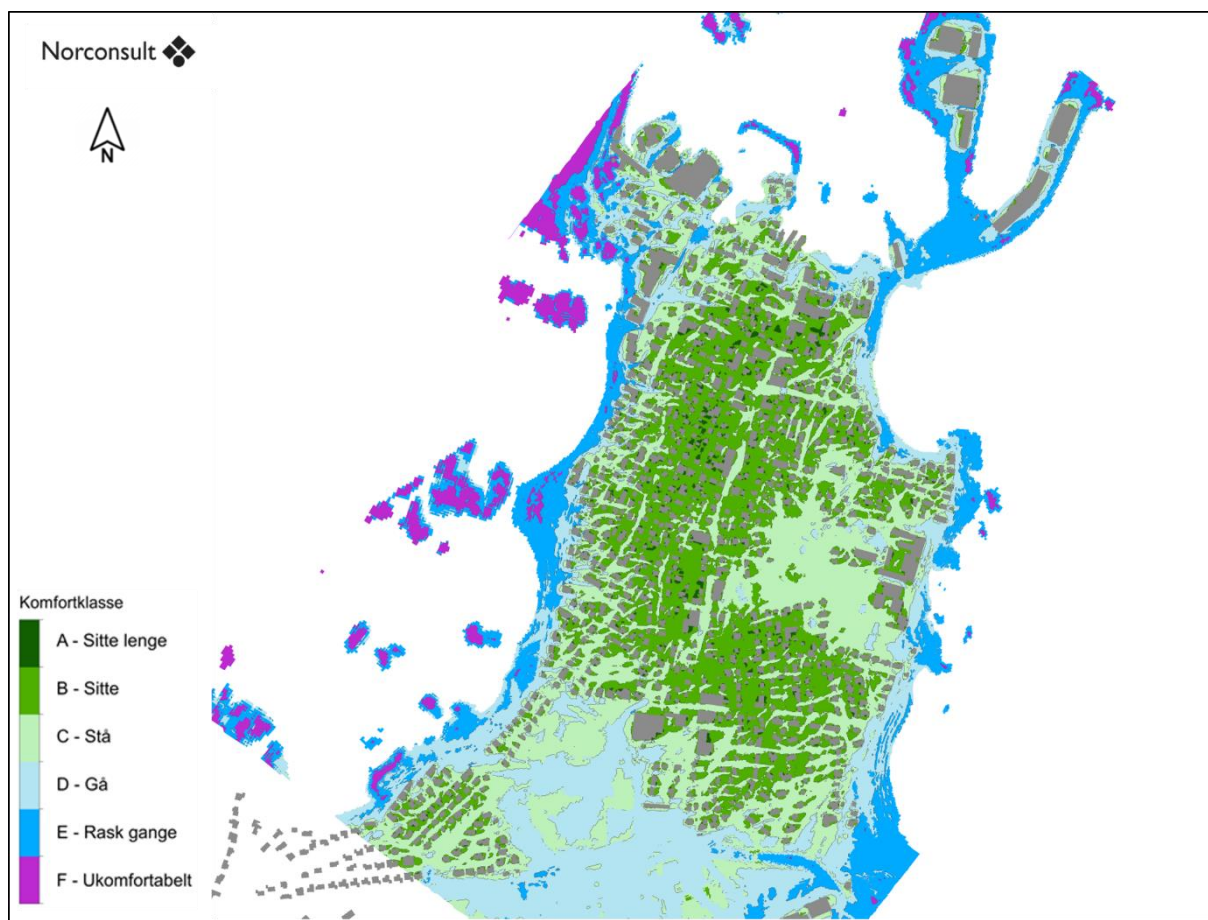
3.3.1 Vindkomfort

Vindkomfortkart over Andenes sentrum for sommerperioden mai til og med september er vist i figur 13. En inndeling av dette kartet i fire områder fra nord til sør er vist i figur 14 til figur 17. Disse figurene viser at de ytterste radene med bebyggelse gir en god skjermingseffekt ved kroppshøyde. Dette gjør at man får god vindkomfort i store deler av det indre sentrumsområdet, med komfortklasse A eller B som betyr at vindforholdene i området er egnet til stillesittende opphold på sommerstid. Mer åpne områder i sentrumsområdet har komfortklasse C eller D. Dette gjelder gravplassen og idrettsplassen i sentrum. Områder med komfortklasse C og D har vindforhold som egner seg til ikke stillesittende aktiviteter. Området mot sjøen og frem til bebyggelsen, samt havna i nordøstspissen har komfortklasse D og E. Disse områdene er beregnet til at man burde holde et middels til høyt aktivitetsnivå.

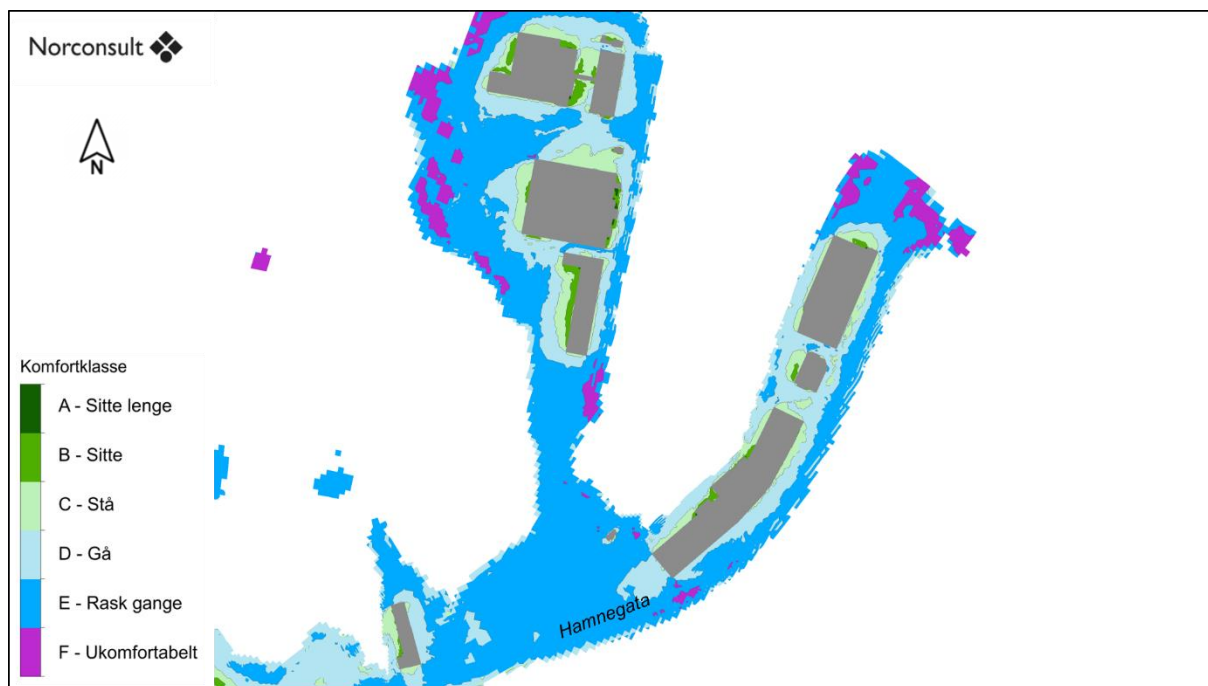
Det er enkelte områder som er klassifisert som ukomfortable (klasse F), men disse ligger helt mot havet.

Et forstørret vindkomfortkart over området rundt Tore Hundsgate er vist i figur 18. Figuren viser at store deler av Tore Hundsgate har komfortklasse A eller B, som betyr at vindforholdene i området er egnet til stillesittende aktiviteter. Nærme krysset mot Storgata får Tore Hundsgate komfortklasse C. Man antar at det ikke trengs noen skjermingstiltak på Tore Hundsgate for å at veien skal bli brukt som gågate ved eksisterende bygningssituasjon.

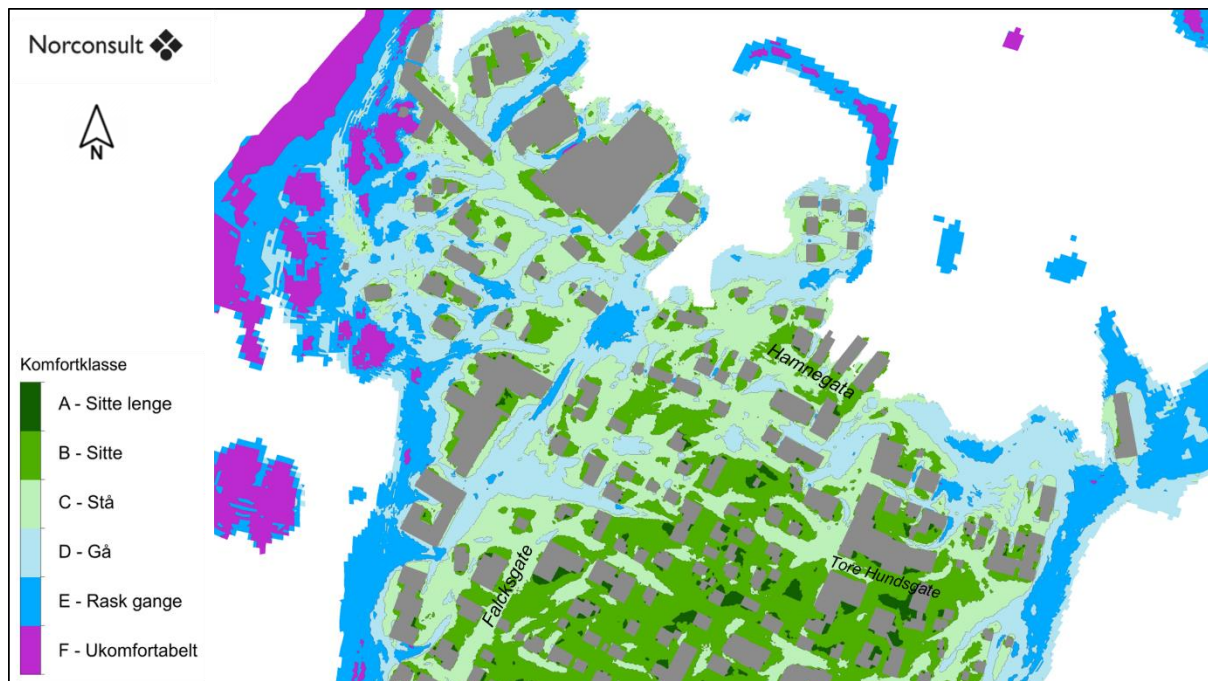
Vindkomfortkartet i figur 19 viser området rundt skoletomten til Andenes skole. Mesteparten av skoletomten har komfortklasse C. Enkelte områder i midten og helt øst på tomten har komfortklasse D. Komfortklasse C og D egner seg til ikke stillesittende aktiviteter slik bygningssituasjonen er i dag. Med bebyggelse på tomten vil sannsynligvis vindforholdene bli noe bedret, spesielt hvis det blir bygget på øst og nordsiden av tomten.



Figur 13: Vindkomfortkart i kroppshøyde for bakkeplan for Andenes sentrum.



Figur 14: Vindkomfortkart i kroppshøyde for bakkeplan for havnen på nordøstspissen i Andenes sentrum.



Figur 15: Vindkomfortkart i kroppshøyde for bakkeplan for nordsiden av Andenes sentrum.



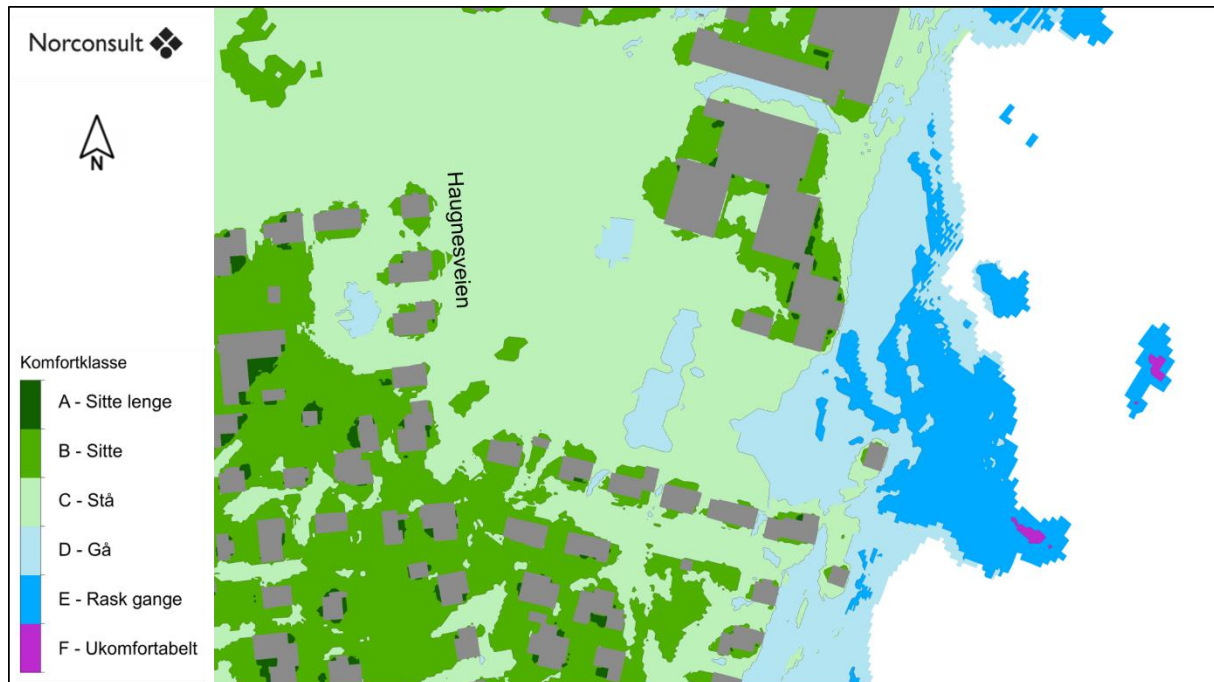
Figur 16: Vindkomfortkart i kroppshøyde for bakkeplan for midtre delen av Andenes sentrum.



Figur 17: Vindkomfortkart i kroppshøyde for bakkeplan for sørsiden av Andenes sentrum.



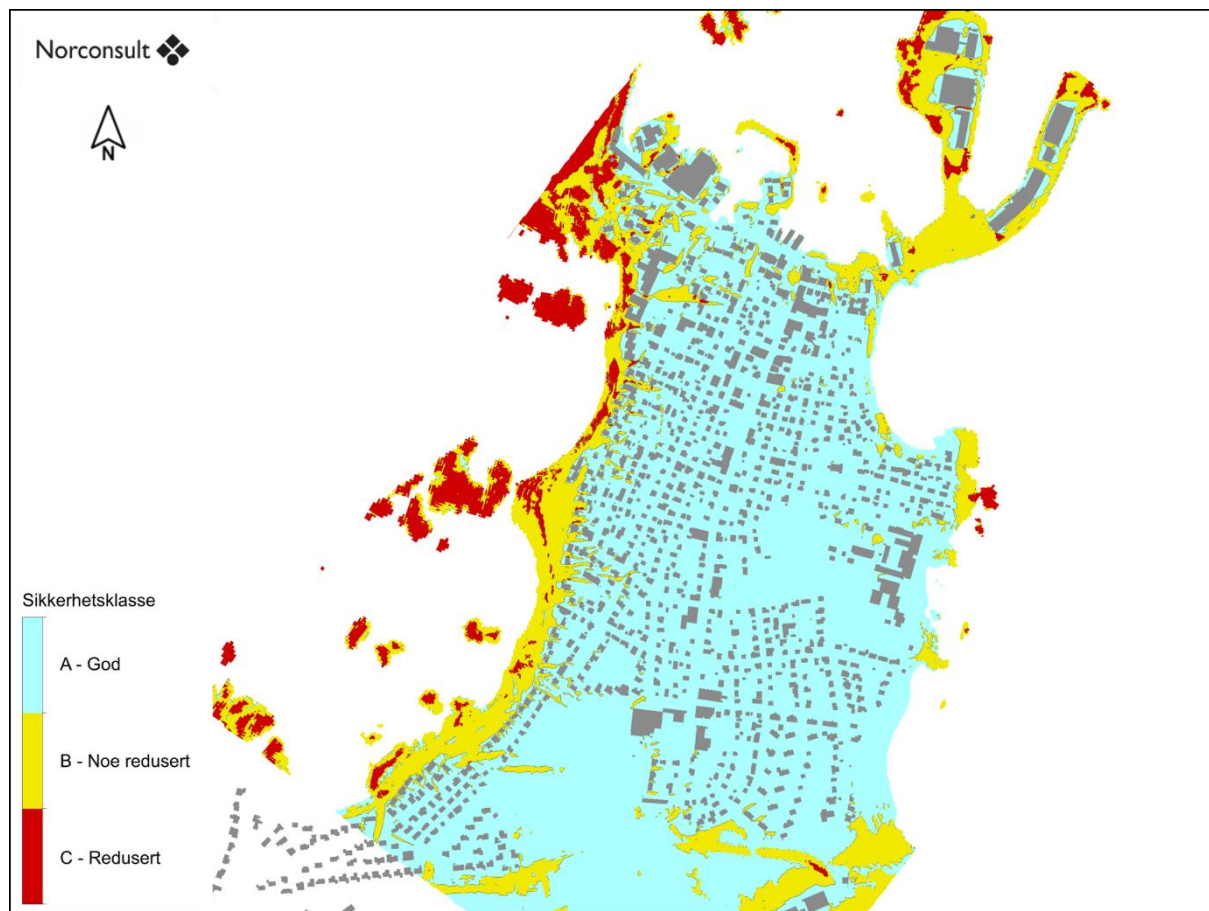
Figur 18: Vindkomfortkart i kroppshøyde for bakkeplan i området rundt Tore Hundsgate.



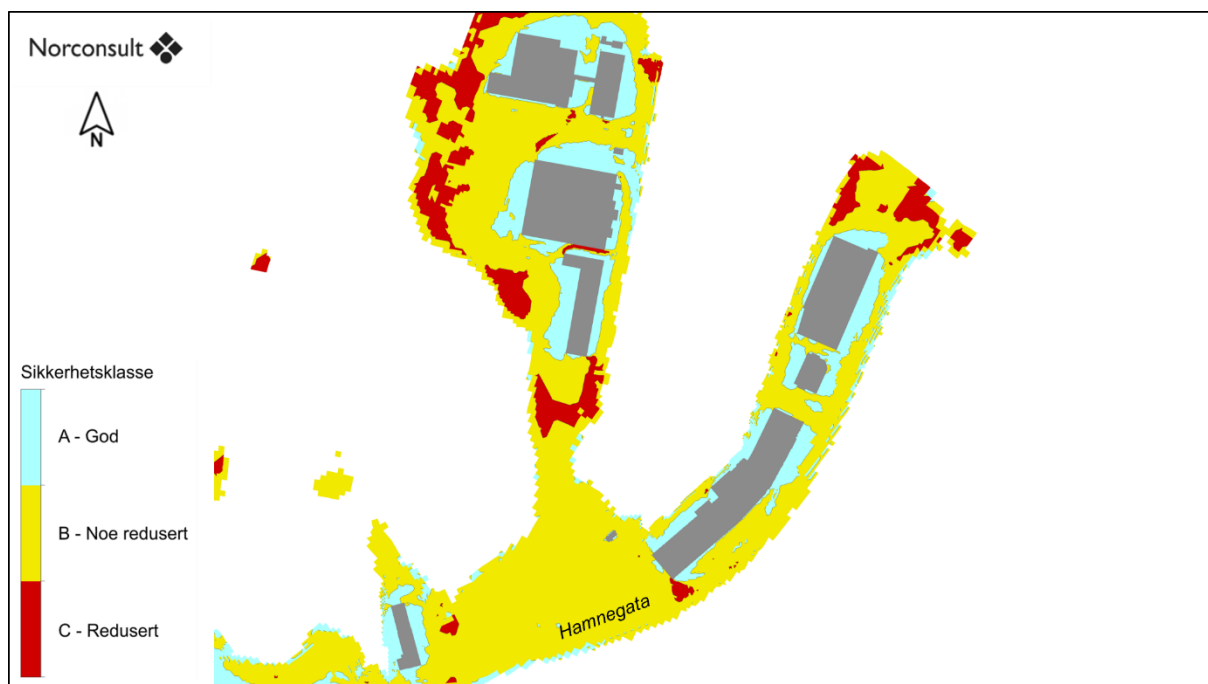
Figur 19: Vindkomfortkart i kroppshøyde for bakkeplan på skoletomten til Andenes skole.

3.3.2 Sikkerhet

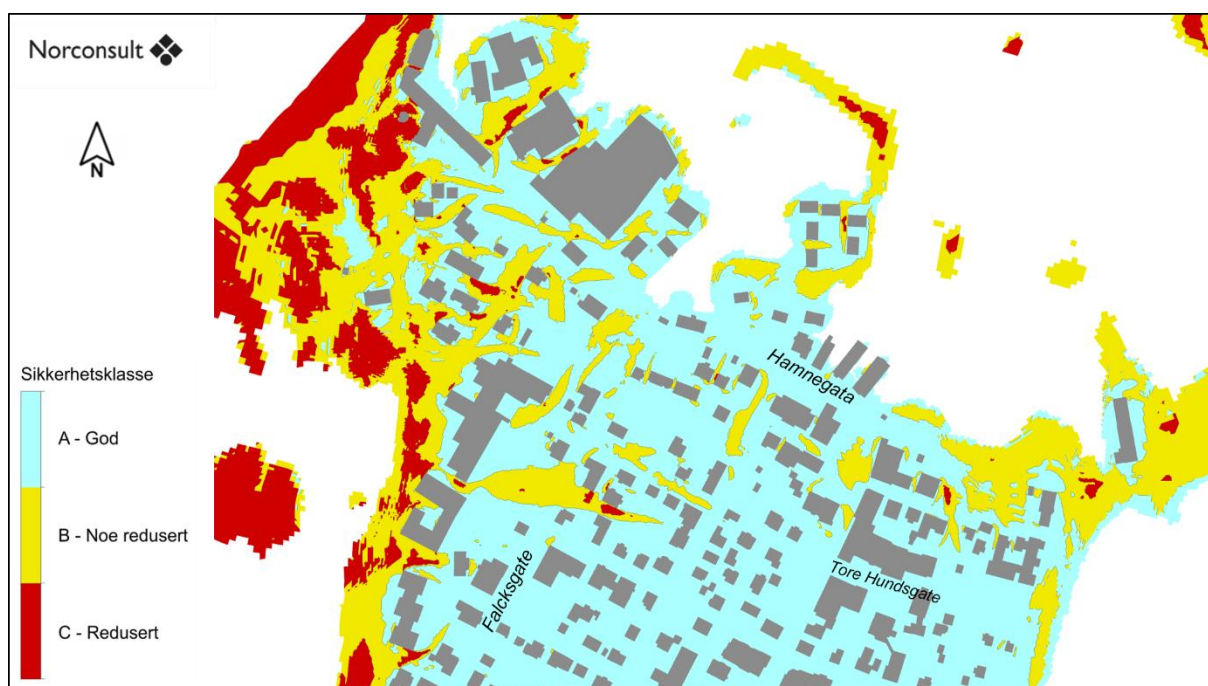
Vindrelaterte sikkerhetskart for Andenes sentrum er vist i figur 20. En inndeling av dette kartet i fire deler er vist i figur 21 til figur 24, mens figur 25 og figur 26 viser området rundt henholdsvis Tore Hundsgate og Andenes skoleomt. Fra disse figurene ser man at stort sett hele området innenfor den ytterste bebyggelsen langs kystlinjen har sikkerhetsklasse A, altså god sikkerhet for den generelle befolkningen. Helt ved kysten har man noen områder med sikkerhetsklasse B og C, som betyr at det er noe redusert til redusert sikkerhet.



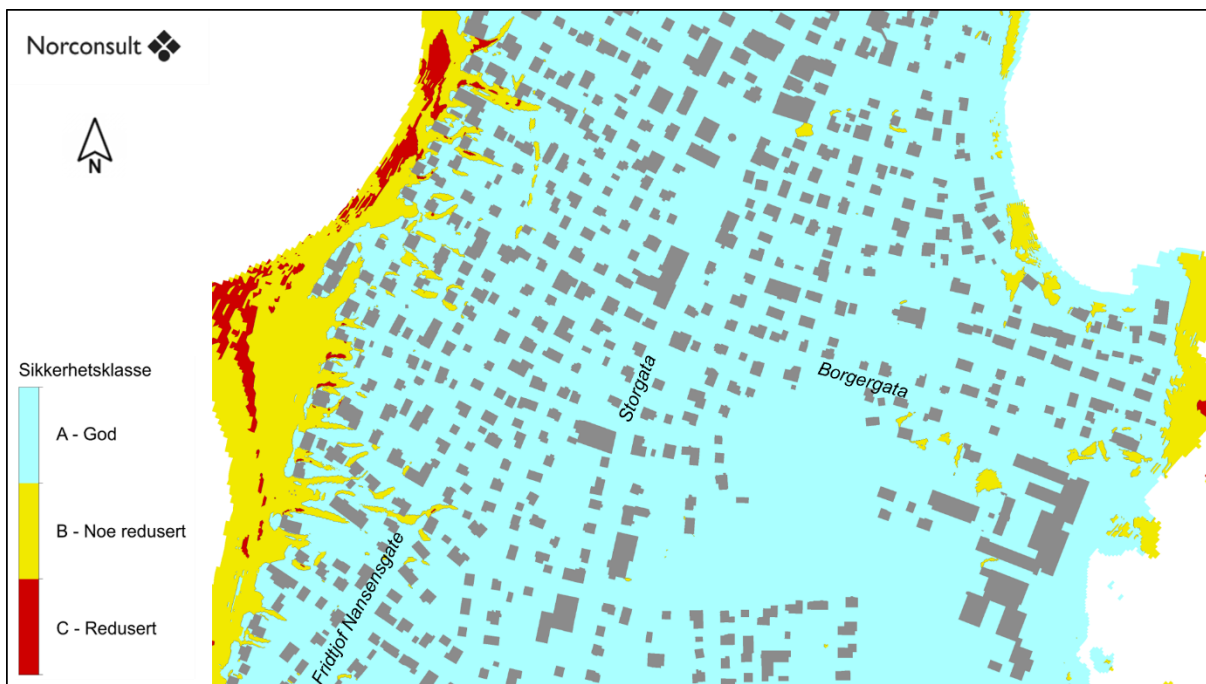
Figur 20: Vindrelatert sikkerhetskart i kroppshøyde for bakkeplan for Andenes sentrum.



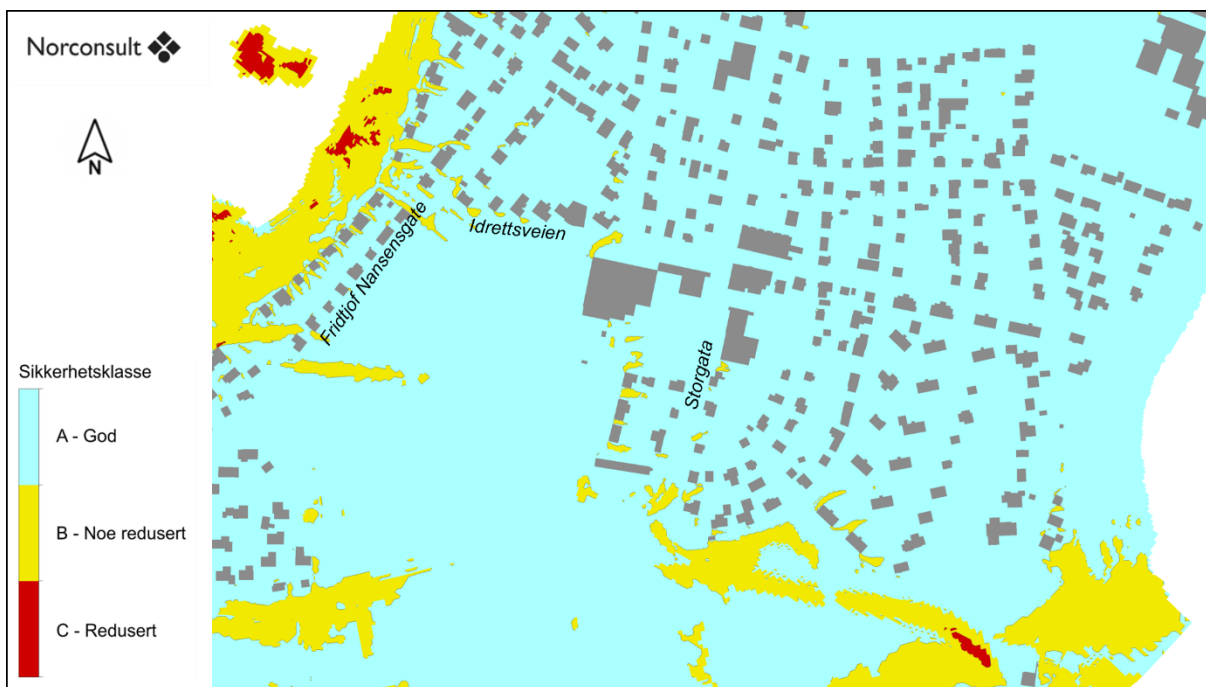
Figur 21: Vindrelatert sikkerhetskart i kroppshøyde for bakkeplan for havnen på nordøstspissen i Andenes sentrum.



Figur 22: Vindrelatert sikkerhetskart i kroppshøyde for bakkeplan for nordsiden av Andenes sentrum.



Figur 23: Vindrelatert sikkerhetskart i kroppshøyde for bakkeplan for midtre delen av Andenes sentrum.



Figur 24: Vindrelatert sikkerhetskart i kroppshøyde for bakkeplan for sørsiden av Andenes sentrum.



Figur 25: Vindrelatert sikkerhetskart i kroppshøyde for bakkeplan i området rundt Tore Hundgate.



Figur 26: Vindrelatert sikkerhetskart i kroppshøyde for bakkeplan på skoletomten til Andenes skole.

4 Konklusjon

Det er utført en kvantitativ vindanalyse av Andenes sentrum i Andøy kommune med eksisterende bygningsmasse. Analysen er utført med fokus på strømningsbildet og vindkomfort på bakkeplan i sentrumsområdet. Det er lagt spesiell vekt på Tore Hundsgate som skal mulig bli en gågate, samt skoletomten til Andenes skole. Det er kun sommerperioden, mai til og med september, som er hensyntatt i analysen.

Resultatene er basert på 3D CFD-simuleringer (Computational Fluid Dynamics) av dagens bebyggelse i området, med en beregning av vindforsterkning for ulike vindretninger og en statistisk behandling av resultatene ved bruk av vinddata fra vindmåler på Andøy lufthavn. Sluttproduktet av analysen er en kartlegging av vindkomfort og vindrelatert sikkerhet i Andenes sentrum, i henhold til internasjonal standard og komfortklasser.

Resultatene viser at det er god vindkomfort i de tettbygde sentrale områdene av Andenes sentrum i sommerperioden mai til og med september. De åpne områdene i det indre sentrumsområdet har noe dårligere vindkomfort, med komfortklasse C og D. Dette gjelder hovedsakelig gravplassen og idrettsplassen. Disse områdene er dermed lite egnet til stillesittende opphold. Områdene på yttersiden av bebyggelsene mot havet har vindkomfortklasse D og E. Disse områdene er dermed ikke bra egnet til sittende eller lengre opphold, med mindre tiltak for lokal vindskjerming etableres. Den vindrelaterte sikkerheten i disse områdene er noe redusert til redusert, men for resten av Andenes sentrum er den god for den generelle befolkningen.

Kommunen ønsker å se på mulighetene til å gjøre om Tore Hundsgate til en gågate og gi en vurdering på vindforholdene på skoletomten til Andenes skole. For Tore Hundsgate er både vindkomforten og den vindrelaterte sikkerheten god. Det kreves derfor ingen vindskjermingstiltak for å bruke gata som gågate i sommerperioden mai til og med september slik bygningssituasjonen er i dag. Skoletomten er en god del mer vindutsatt med komfortklasse på C og D, men med god vindrelatert sikkerhet slik bygningssituasjonen er i dag. Vindforholdene vil sannsynligvis bli bedre hvis det kommer bebyggelse på tomten, spesielt hvis det bygges helt øst og nord på tomten. For å estimere effekten av eventuell bebyggelsen på tomten bør det gjøres nye CFD-simuleringer.

5 Referanser

Counihan, J., 1975. Adiabatic atmospheric boundary layers: A review and analysis of data from the period 1880-1972, Atmospheric Environment, Vol.79, pp. 871-905

Blocken, B. and Carmeliet, J., 2004. Pedestrian wind environment around buildings: Literature review and practical examples. Journal of Thermal Envelope and Building Science 28(2): 107-159.

Jacobsen, Mark Z., Fundamentals of Atmospheric Modeling, 2nd Edition, Stanford University, California, ISBN:9780521548656, 2005

Lawson, T.V., 1990. The Determination of the wind environment of a building complex before construction, Department of Aerospace Engineering, University of Bristol, Report Number TVL 9025.

6 Vedlegg – metode

6.1 CFD-simuleringer

Beregningene i denne rapporten er utført ved CFD-simuleringer. CFD er en forkortelse for det engelske uttrykket «Computational Fluid Dynamics». Denne typen analyse innebærer at de fundamentale likningene for fluiders bevegelse («Navier-Stokes' likninger») løses ved numerisk iterasjon.

Norconsult benytter den ledende programvarepakken ANSYS CFX¹ for slike analyser, og har lang erfaring med CFD-analyser for lokalklima.

Ved slike simuleringer er turbulensmodellering og konstruksjon av beregningsnett (engelsk «mesh» eller «grid») svært viktig for løsningens kvalitet. I dette arbeidet er det benyttet RANS²-modellering med en SST³ turbulensmodell. Dette er å anse som å være innenfor kategorien «industristandard» i metodikk for slik modellering.

CFD er brukt i dette tilfellet for å beregne vindfeltet rundt byggene for relevante vindretninger og hastigheter. Resultatene er brukt videre i en statistisk beregning for vindkomfort og sikkerhet, analysert iht. internasjonal standard.

6.2 Beregningsmodell

Beregningsmodellen ble konstruert ut fra CAD-modell av planområdet, samt digital terrengdata. Den endelige modellen er vist i figur 27.

Det er i første rekke proporsjonene til byggene, dvs. høyde i forhold til bredde, bredde på passasjer mellom bygg i forhold til høyder på fasader osv., som er avgjørende for hvordan vinden påvirkes. Overflatedetaljer har derimot relativt liten virkning.

Bebyggelse i og rundt Andenes sentrum som utgjør ett rektangel på ca. 1,3 km x 2,4 km er inkludert i modellen.

Total utstrekning av en slik modell blir valgt ut fra erfaring, slik at avstanden til yttergrensene er stor nok til at strømmingen i simuleringen kan finne sin naturlige vei forbi geometrien (dvs. slik at modellområdets utstrekning ikke har innvirkning på løsningen).

I dette tilfelle var totalt simulert område ca. 2,0 km x 2,9 km med en høyde på ca. 300 m.

Dette området er delt inn i to domener, ett ytre og ett indre. Dette er gjort for å begrense antall beregningsceller uten å tape kvalitet på resultatet.

I det ytre domenet er det brukt strukturerte heksaedriske celler med en oppløsning på 7,1 m i horisontal retning og på mellom 0,4 m – 15 m i vertikal retning (0,4 m i det nederste lagene langs terrenget).

Det indre domenet er 1,4 km x 2,5 km stort. Meshet som er benyttet her består av ekstruderte prismatiske celler. Dette meshet har en oppløsning på 1,0 m nærme bebyggelse, og opp mot 6,0 m lengre vekk. Vertikal oppløsning i grensesjiktet langs terrenget er ca. 0,5 m. Totalt antall beregningsceller i meshet er ca. 56 millioner.

Det er ikke tatt med beplantning i modellen. Storskala beplantning (størrelsesorden «skog») er implisitt inkludert via terrengruhet (se tabell 4), men lokal beplantning (hekker, bed, individuelle trær plantet langs gater osv.) er ikke inkludert. Dette er vanlig praksis i vindmodellering fordi det er mange usikkerheter rundt beplantnings vindpåvirkning. Usikkerheter som type trær, størrelse/høyde på

¹ <http://www.ansys.com>

² Reynolds-averaged Navier-Stokes, dvs. Reynoldsmidlet Navier-Stokes.

³ Shear Stress Transport, en kombinasjon av k-epsilon-modell i fristrøm og k-omega-modell langs vegger.

trekrone, bladtetthet, hvorvidt trærne utvikler seg over tid, sesongvariasjoner osv. er vanskelig å fastslå.

Strategisk beplantning som f.eks. nærstående trær kombinert med hekk for å tette under trekrone kan derimot ha positiv innvirkning på opplevd vindkomfort, og kan vurderes som tiltak der nødvendig.

6.3 Modelloppsett og grensebetingelser

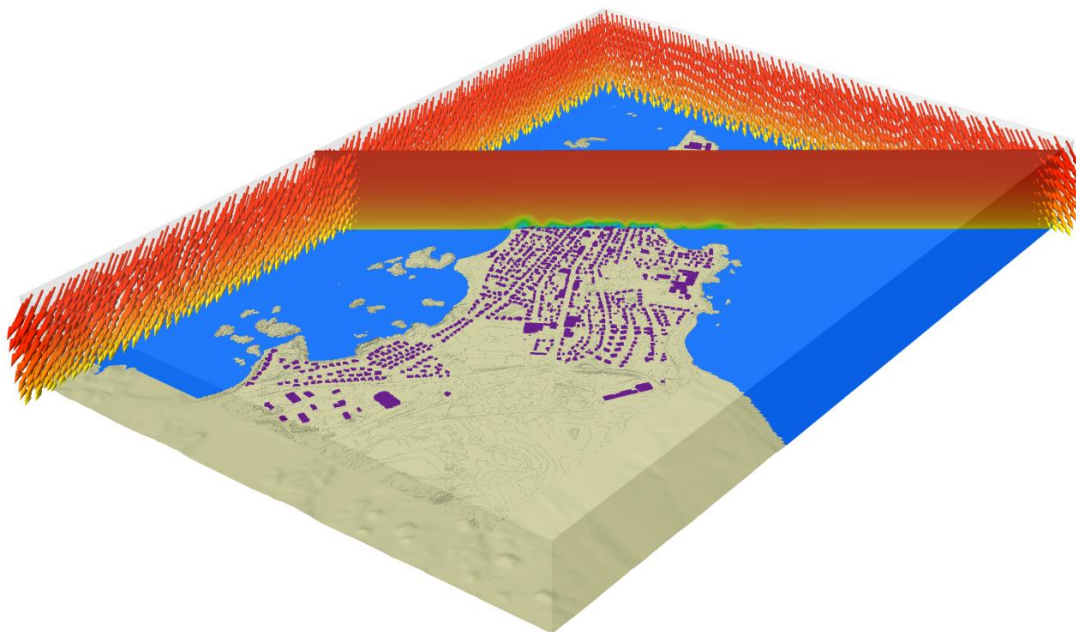
For alle innløp, utløp, og overflater i modellen må et antall fysiske forhold spesifiseres. I dette tilfellet ble vindhastighet, vindretning og turbulensvariable (k og ϵ) spesifisert for den siden vinden kommer fra. For utløpet på nedstrøms side, samt toppen av volumet, ble det definert trykkbetingelser slik at vinden var fri til å komme inn og ut av disse flatene avhengig av hvordan strømmingen finner veien gjennom volumet.

Modellvolumet er vist i figur 27 og med vind fra nord. Vindhastighet og turbulens på innløpet er låst til profilene vist i figur 28. Profilene er satt opp for å svare til karakteristiske forhold i den aktuelle typen terreng og bakken er representert med en aerodynamisk ruhet som stemmer godt overens med dette profilet og fullskaladata [Counihan, 1975 og Fundamentals of Atmospheric Modeling, 2005].

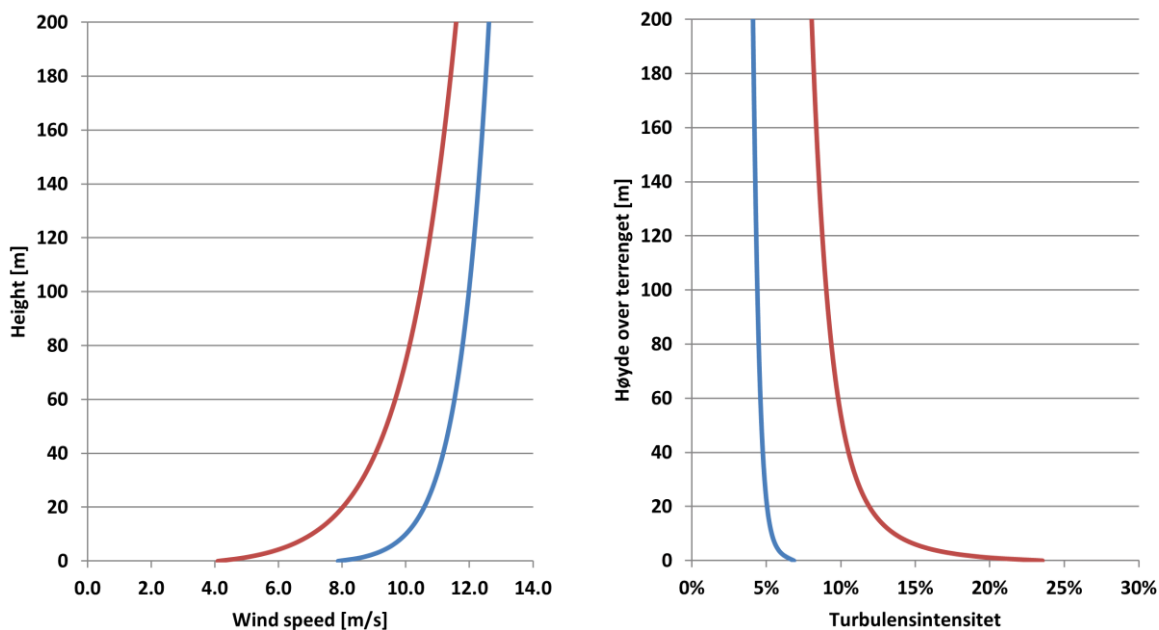
Tabell 4: Grensebetingelser brukt i CFD-beregningene.

Grensebetingelse	Verdi
Innløp	Atmosfærisk hastighets- og turbulensprofil (se figur 28)
Utløp og toppen av domenet	Trykkbetingelse (0 Pa relativt trykk)
Vindstyrke ved 10 m høyde	10 m/s på vinden som treffer målemasten nedstrøms
Vindretninger	0° - 330°, med 30° intervall
Ruhet på bakken (z_0) ⁴	$z_0 = 0,12$ m for gresslandskap. $z_0 = 0,0001$ m vann.

⁴ Fundamentals of Atmospheric Modeling. 2nd Edition, Mark Z. Jacobson, Stanford University, California, ISBN:9780521548656, 2005



Figur 27: Modellvolum med illustrasjon av grensebetingelser og tverrsnitt med vindhastigheten, her med vind fra nord.



Figur 28: Grensebetingelser for vindhastighet og turbulens, her vist med for ruhet langs bakken som tilsvarer en implisitt modellering av vann og gresslandskap i henholdsvis blå og rød.

6.4 Nøyaktighet av CFD-simuleringer

En CFD-simulering er en datamodell som prøver å tilnærme fysikken i et komplisert strømningsbilde, som ellers ikke er mulig å løse analytisk. Som med andre numeriske modeller finnes det kilder av potensiell usikkerhet som kan påvirke svaret. Disse usikkerhetene kan deles i to grupper: feil i sammensetningen av simuleringssmodellen og feil i den numeriske beregningen.

Mulige kilder til usikkerhet i sammensetningen av simuleringssmodellen kan inkludere:

- Geometriforenklinger og valg av representative geometridetaljer
- Valg av modell for f.eks. viskositet, turbulens, kjemi, termodynamikk osv.
- Forutsetninger for grense- og startbetingelser (dvs. inngangsdata)

Mulig kilder til usikkerhet i numerisk beregning kan inkludere:

- Diskretiseringsfeil, som oppstår når en deler fluiddomenet i et nett / rutenett av celleelementer, og tilnærmer løsningen av differensiallikningene for disse elementene
- Feil ved avrunding av datamaskinen
- Programmeringsfeil

For å maksimere nøyaktigheten til en CFD-analyse er det viktig å minimere disse usikkerhetene. De to enkleste måtene å gjøre dette på er: (i) å sikre at ingeniøren som utfører analysen har en passende ekspertbakgrunn innen både numerisk modellering og fluiddynamikk (som minimerer potensialet for usikkerhet i sammensetningen av simuleringssmodellen), og (ii) ved bruk av validert og kvalitetssikret CFD-programvare (som minimerer potensialet for feil i den numeriske beregningen).

Basert på vår erfaring er ofte den største usikkerhetskilden inngangsdataene. Spørsmål som f.eks. vil utstyret faktisk produsere den spesifiserte varmemengden eller vil viften klare å opprettholde den spesifiserte volumstrømmen når den er i drift.

På grunn av den generelle kompleksiteten i simuleringen er det ikke praktisk mulig å presentere resultatene med passende usikkerhetsgrenser ($\pm x.xx\%$), uten en form for fysiske forsøk som simuleringen kan kalibreres opp mot. Den nåværende analysen er utført av CFD-eksperter, og generelle «best practice» metoder er brukt. De presenterte resultatene er så nøyaktig som de praktisk talt kan bli med hensyn til omfang og tidsbruk i arbeidet, samt tilgjengelig inputdata. Generelt sett er CFD-simulering den mest nøyaktige og tilgjengelige metoden for å analysere strømningsstekniske systemer i en konseptuell designfase.

7 Vedlegg – vindforsterkning

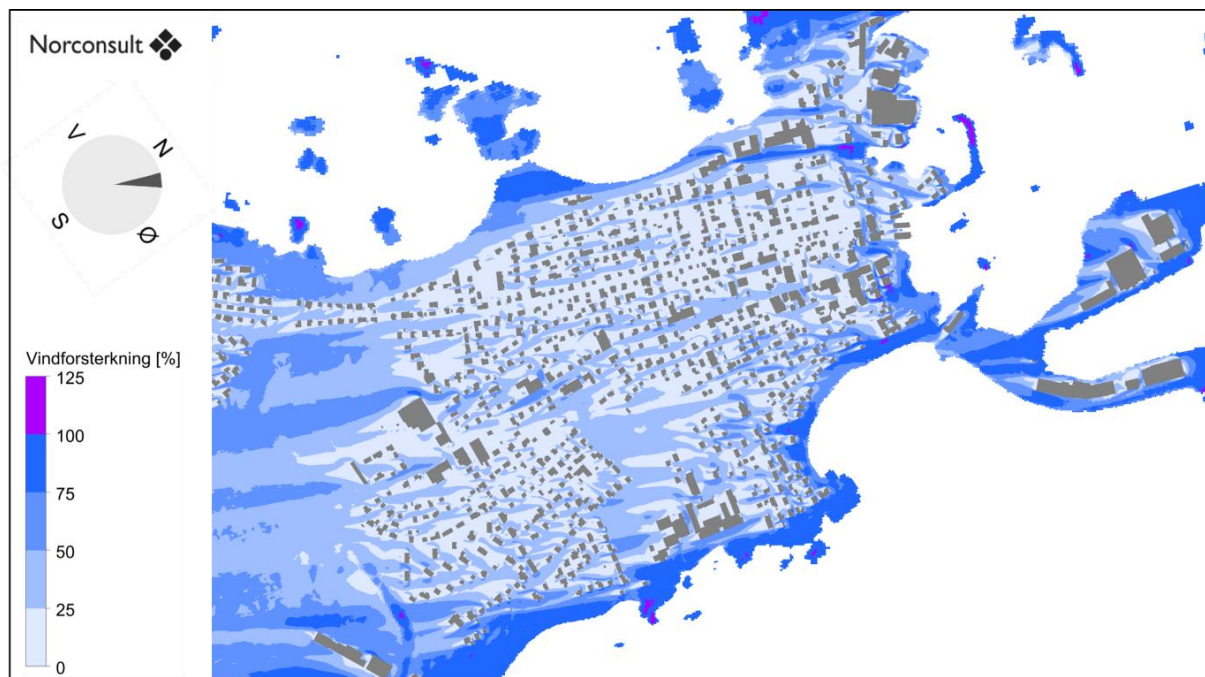
7.1 Andenes sentrum

7.1.1 Vind fra 0°



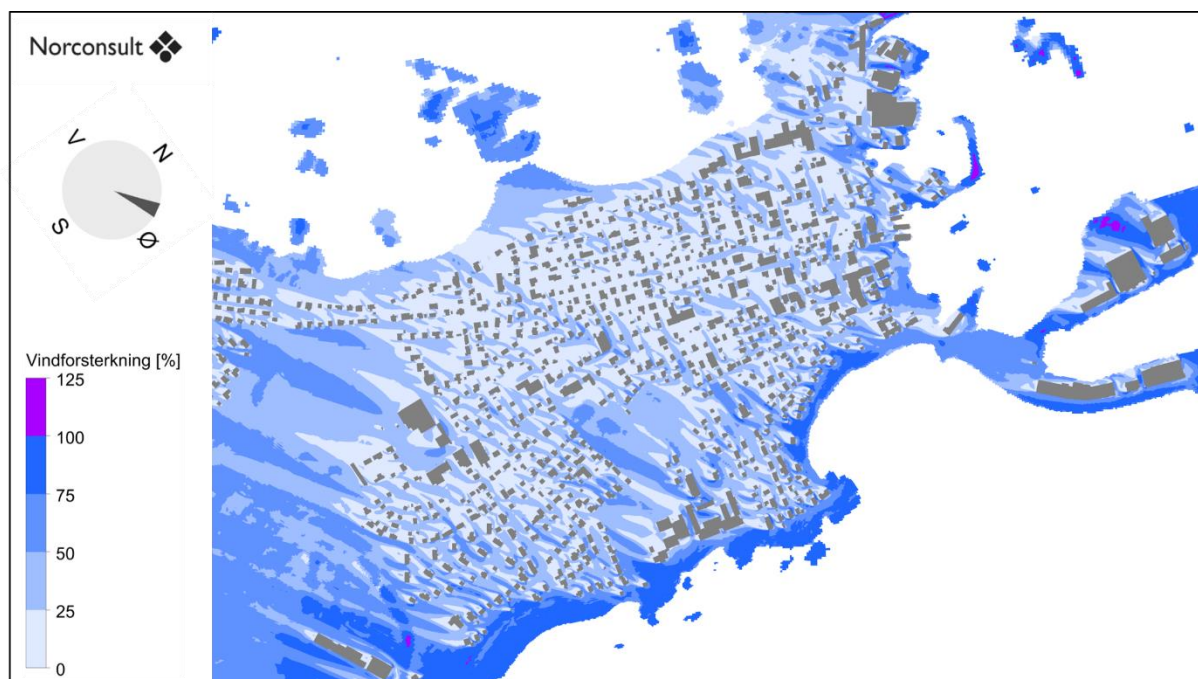
Figur 29: Vindforsterkning ved vind fra 0°.

7.1.2 Vind fra 30°



Figur 30: Vindforsterkning ved vind fra 30°.

7.1.3 Vind fra 60°



Figur 31: Vindforsterkning ved vind fra 60°.

7.1.4 Vind fra 90°



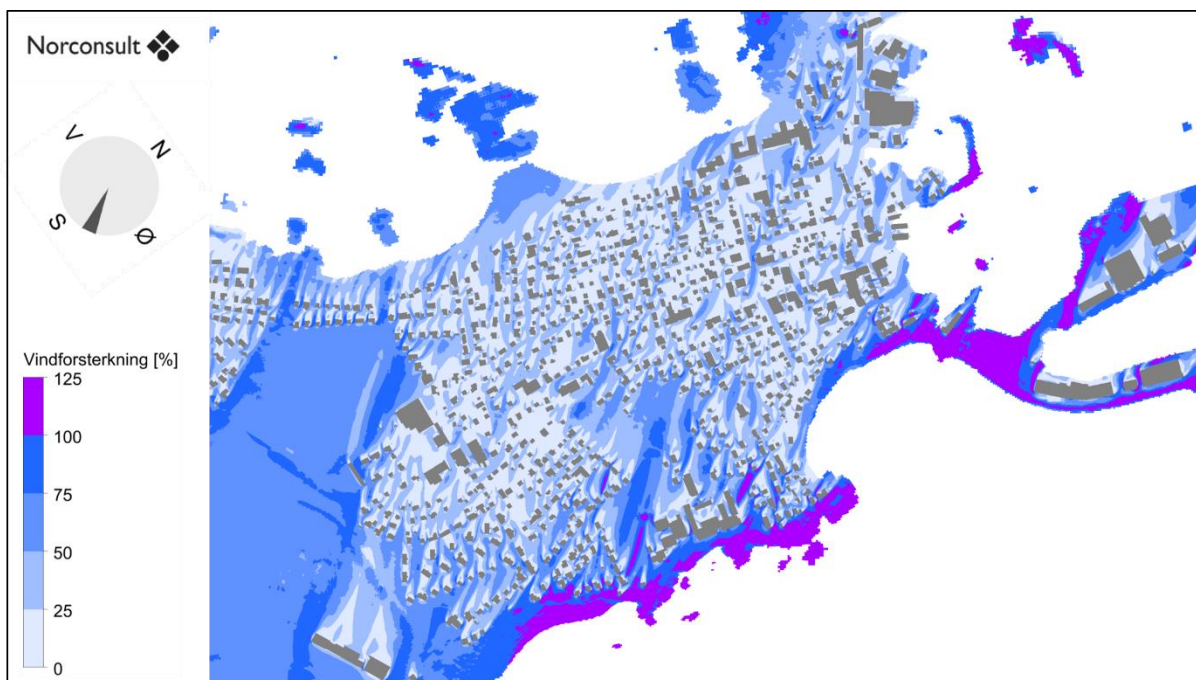
Figur 32: Vindforsterkning ved vind fra 90°.

7.1.5 Vind fra 120°



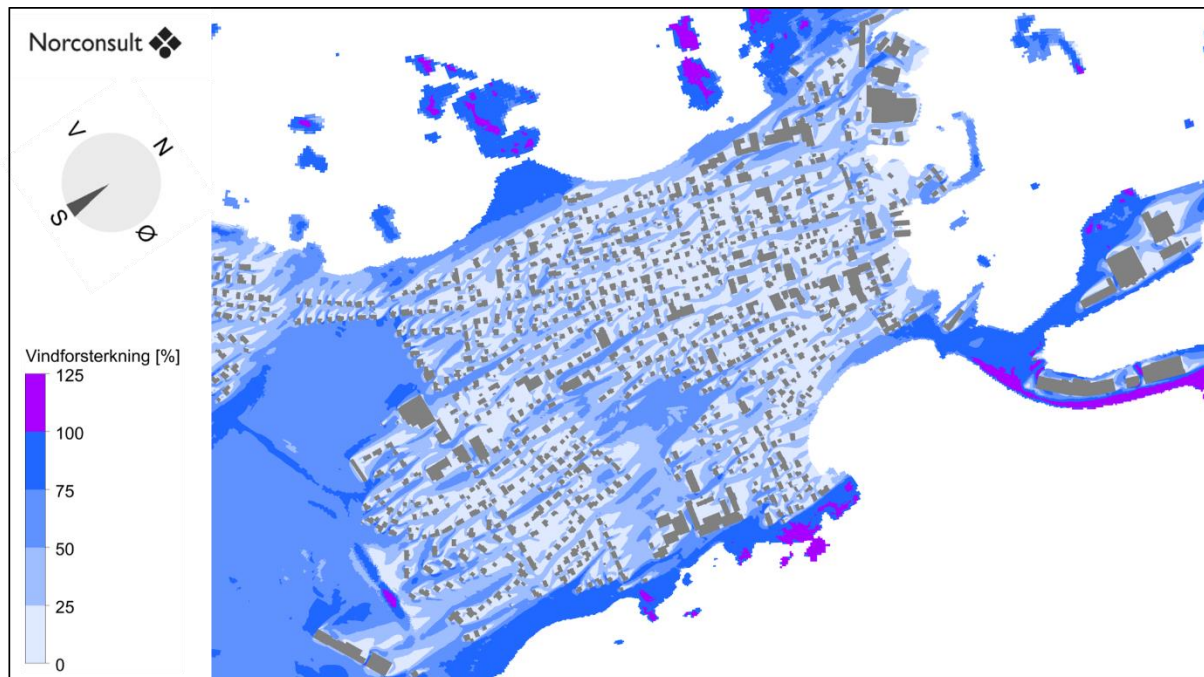
Figur 33: Vindforsterkning ved vind fra 120°.

7.1.6 Vind fra 150°



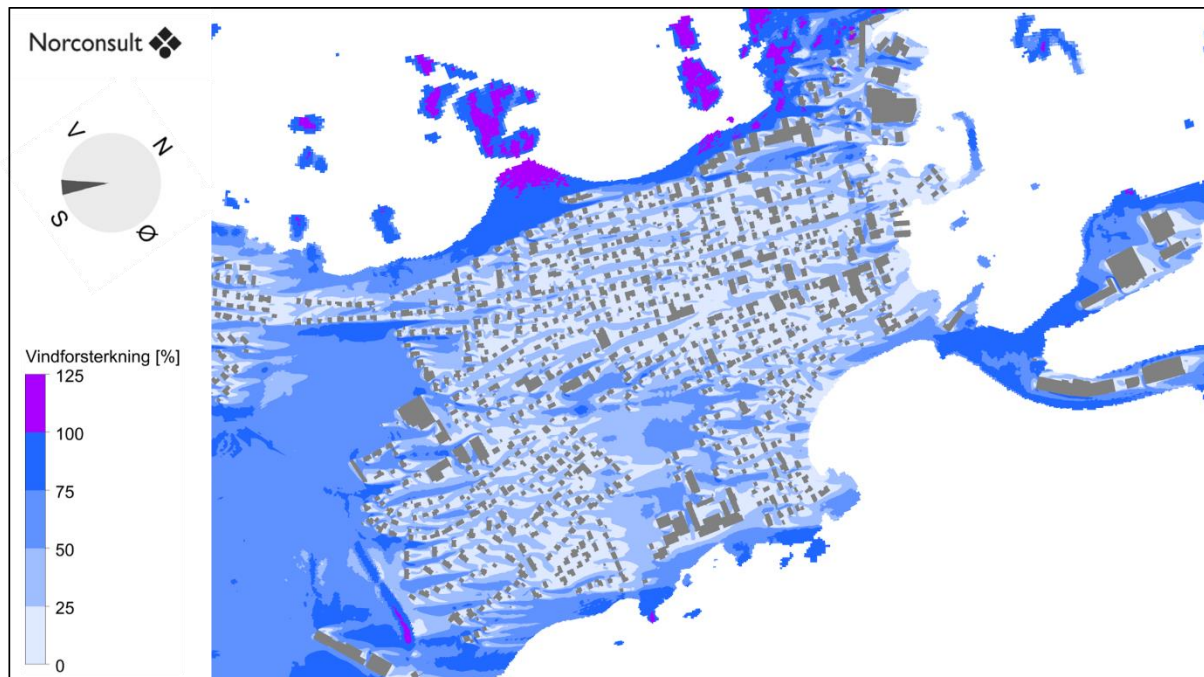
Figur 34: Vindforsterkning ved vind fra 150°.

7.1.7 Vind fra 180°



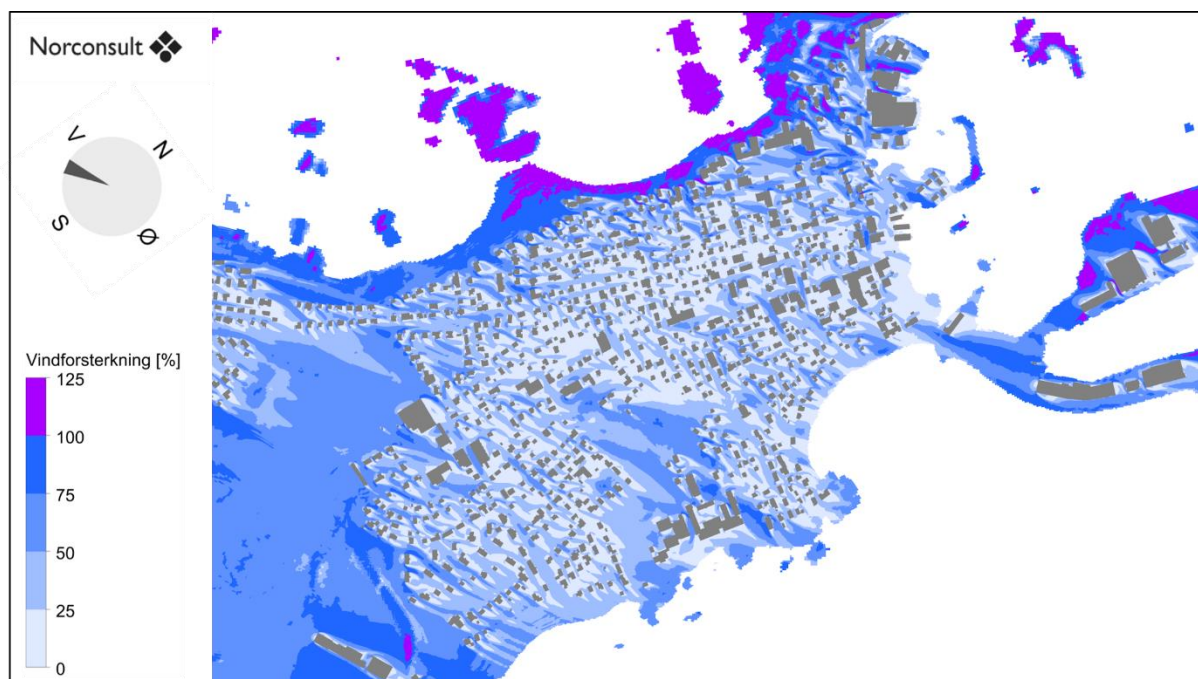
Figur 35: Vindforsterkning ved vind fra 180°.

7.1.8 Vind fra 210°



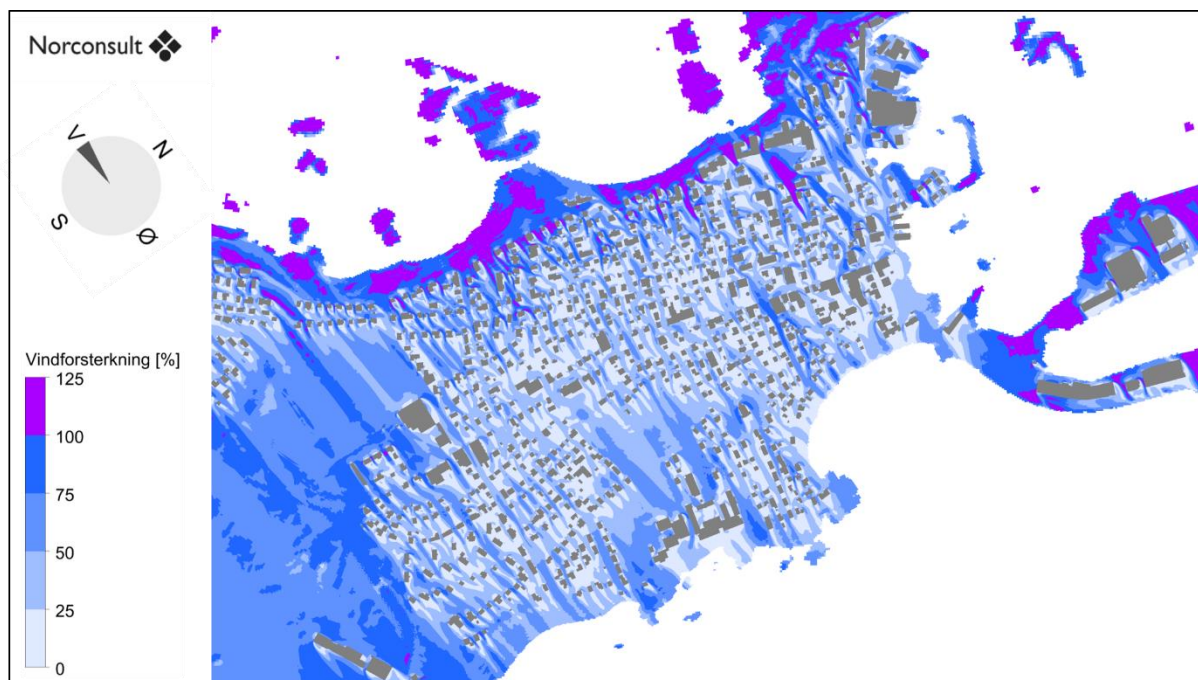
Figur 36: Vindforsterkning ved vind fra 210°.

7.1.9 Vind fra 240°



Figur 37: Vindforsterkning ved vind fra 240°.

7.1.10 Vind fra 270°



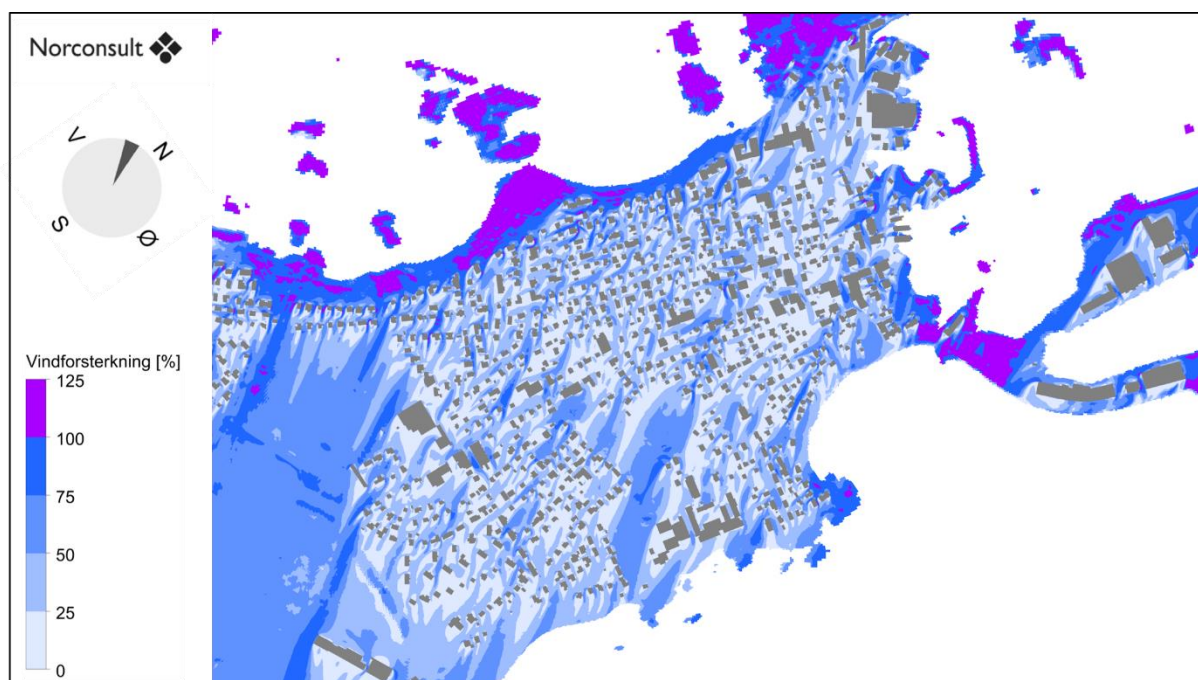
Figur 38: Vindforsterkning ved vind fra 270°.

7.1.11 Vind fra 300°



Figur 39: Vindforsterkning ved vind fra 300°.

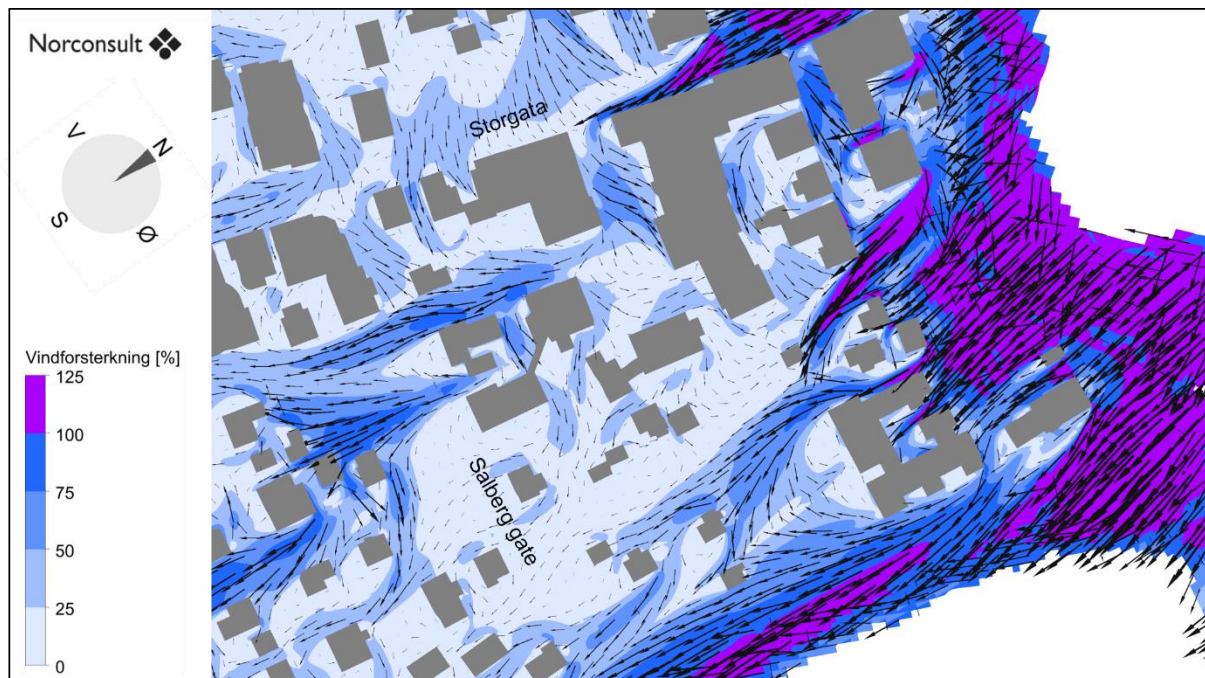
7.1.12 Vind fra 330°



Figur 40: Vindforsterkning ved vind fra 330°.

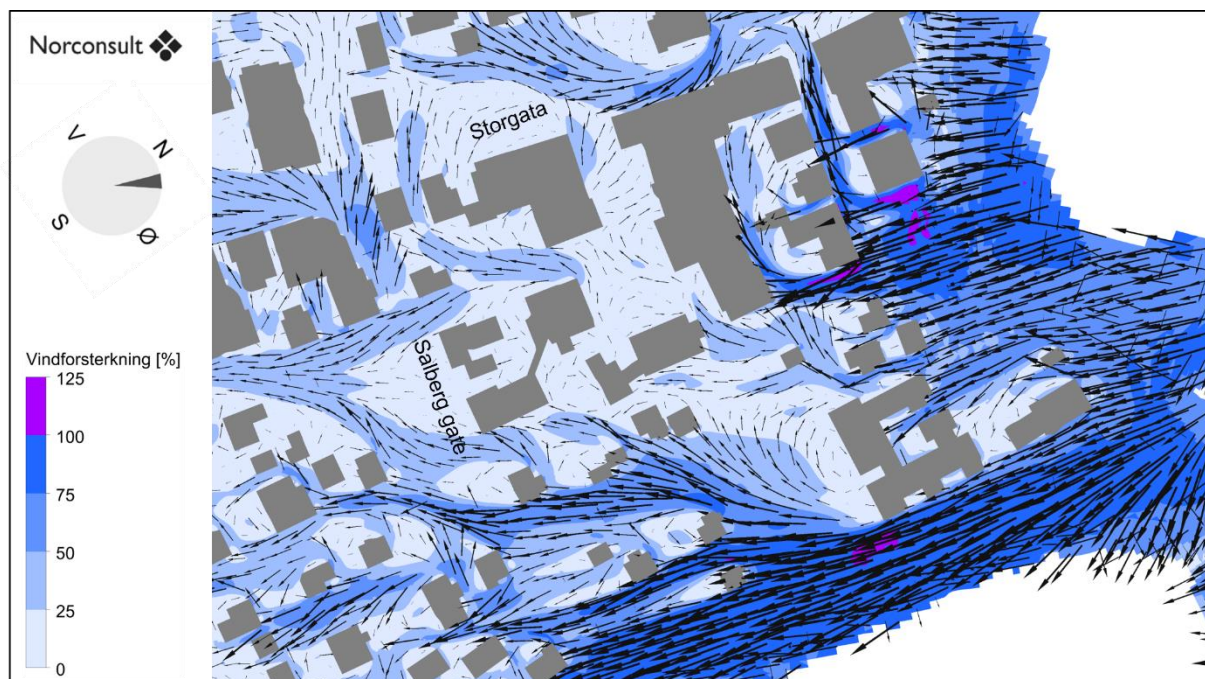
7.2 Tore Hundsgate

7.2.1 Vind fra 0°



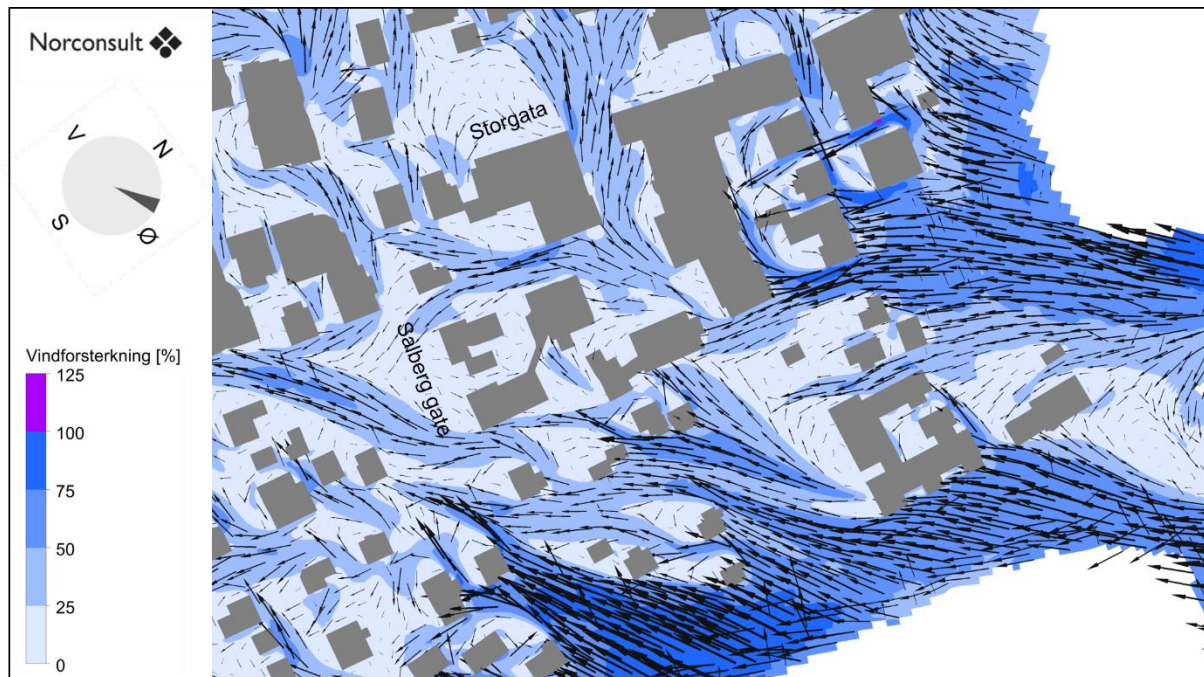
Figur 41: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 0°.

7.2.2 Vind fra 30°



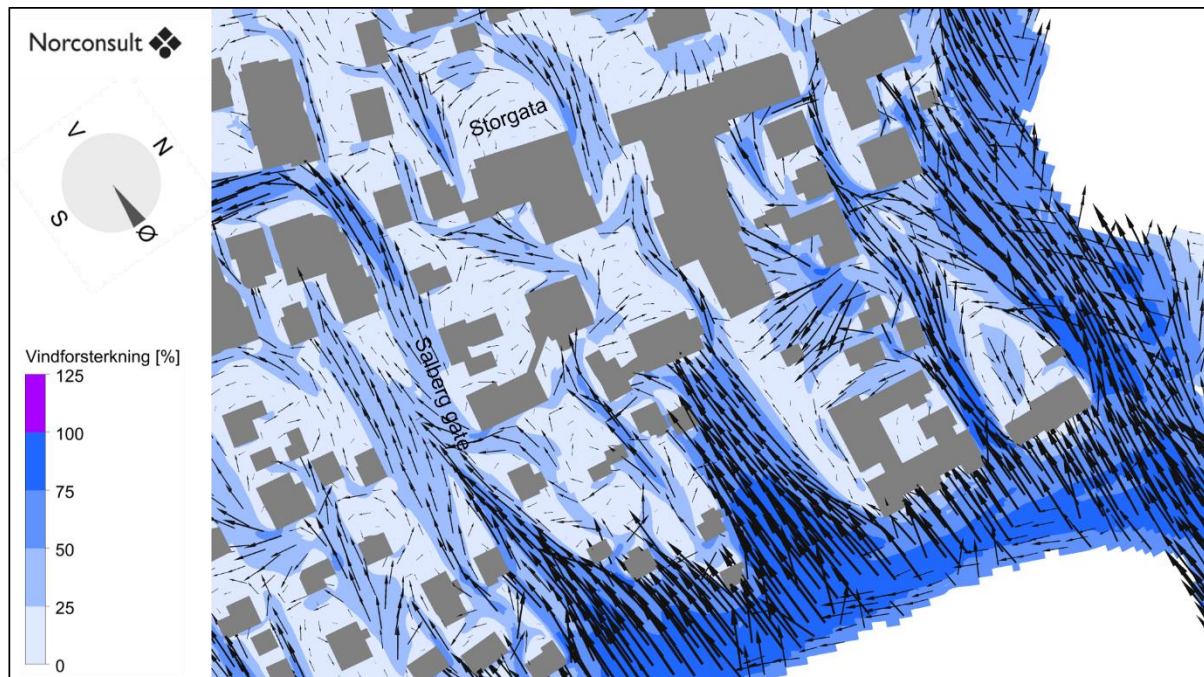
Figur 42: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 30°.

7.2.3 Vind fra 60°



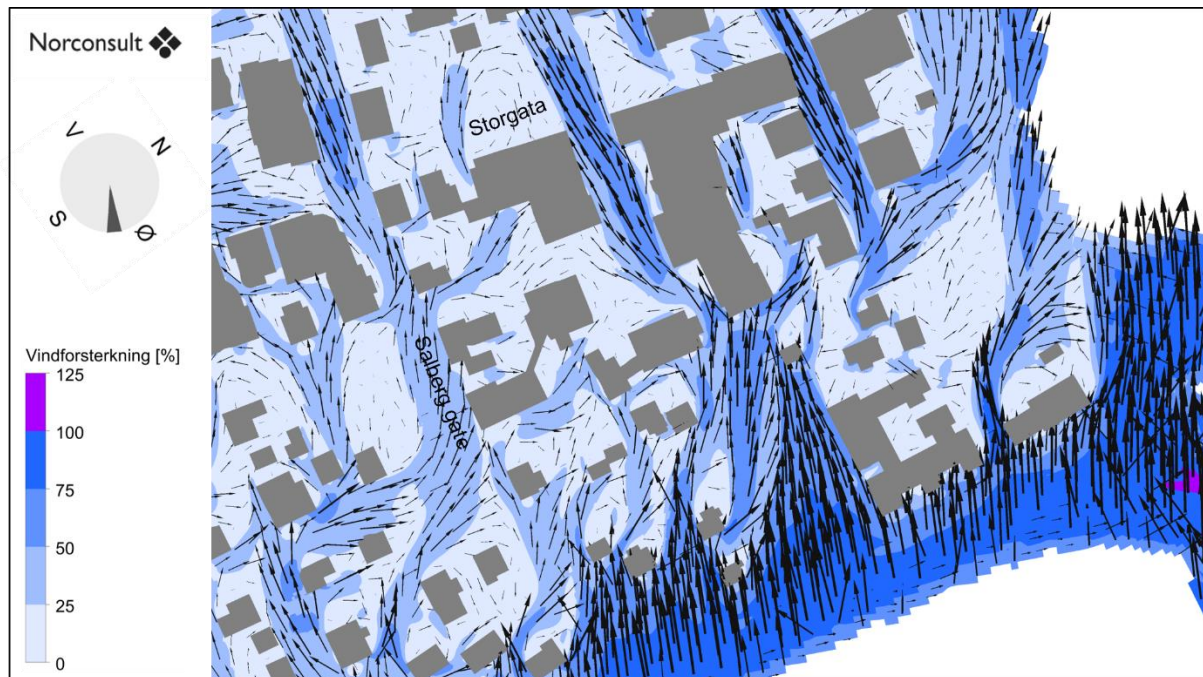
Figur 43: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 60°.

7.2.4 Vind fra 90°



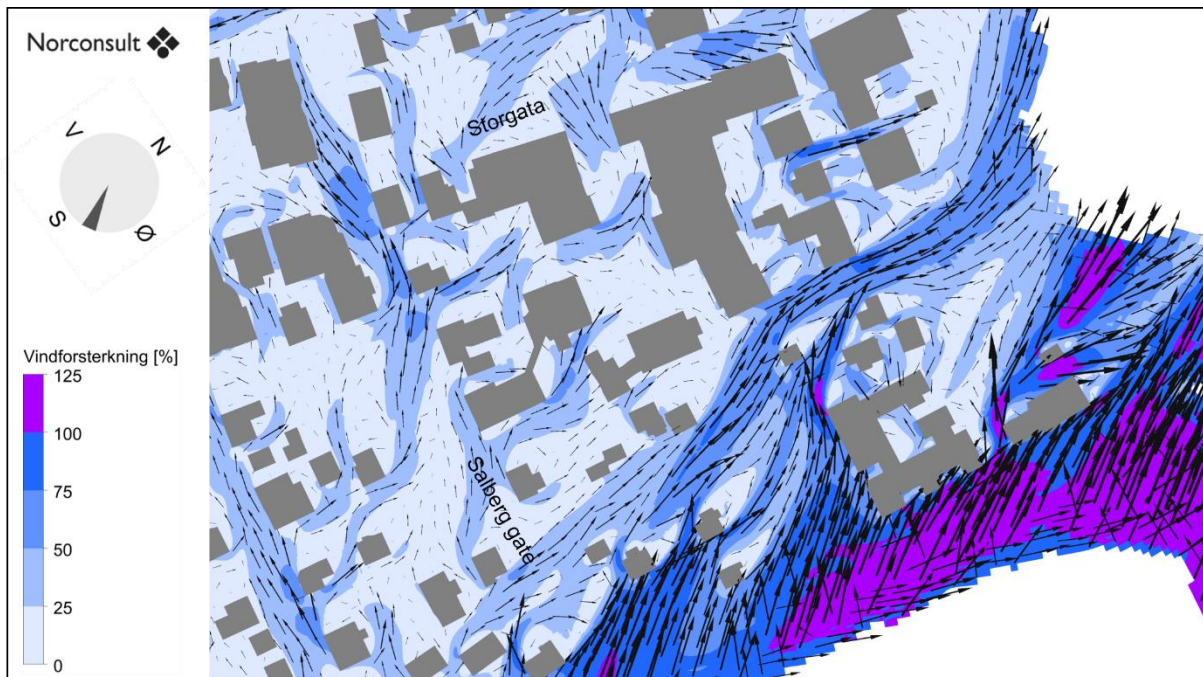
Figur 44: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 90°.

7.2.5 Vind fra 120°



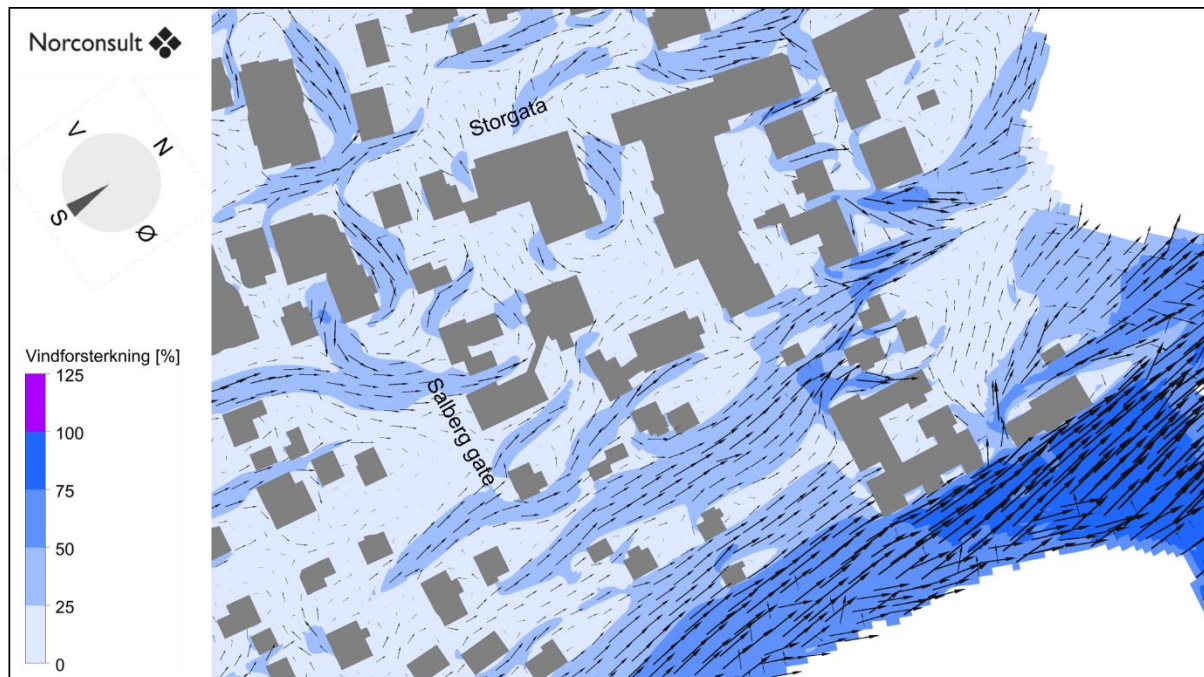
Figur 45: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 120°.

7.2.6 Vind fra 150°



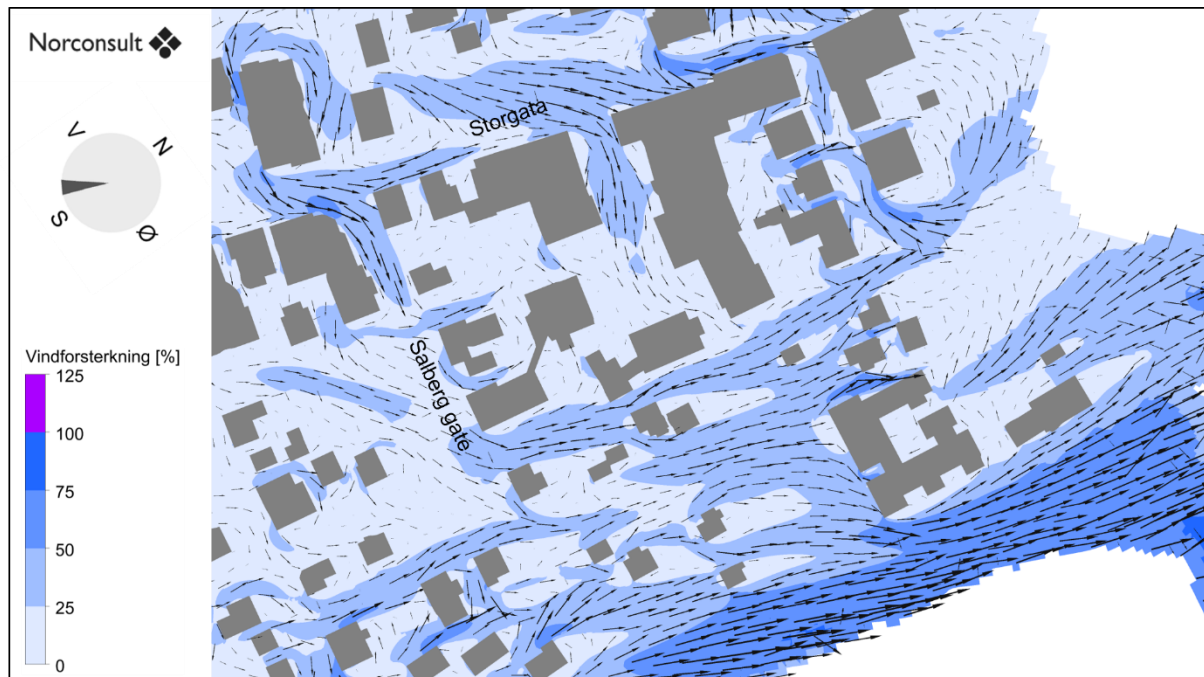
Figur 46: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 150°.

7.2.7 Vind fra 180°



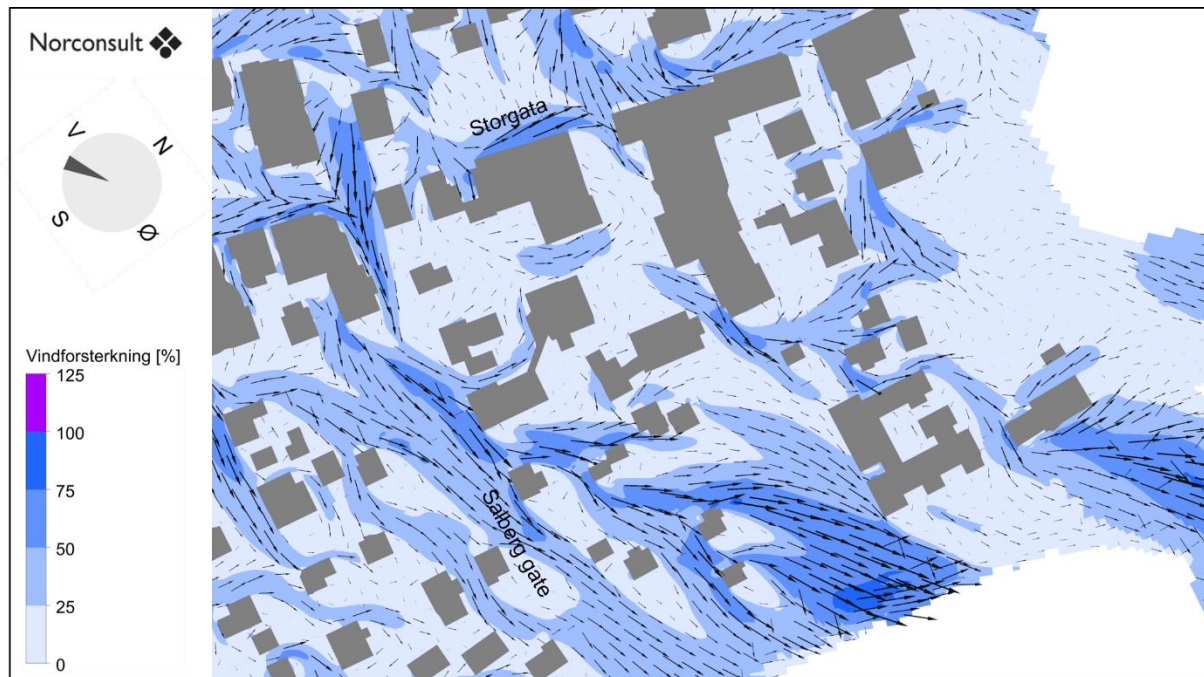
Figur 47: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 180°.

7.2.8 Vind fra 210°



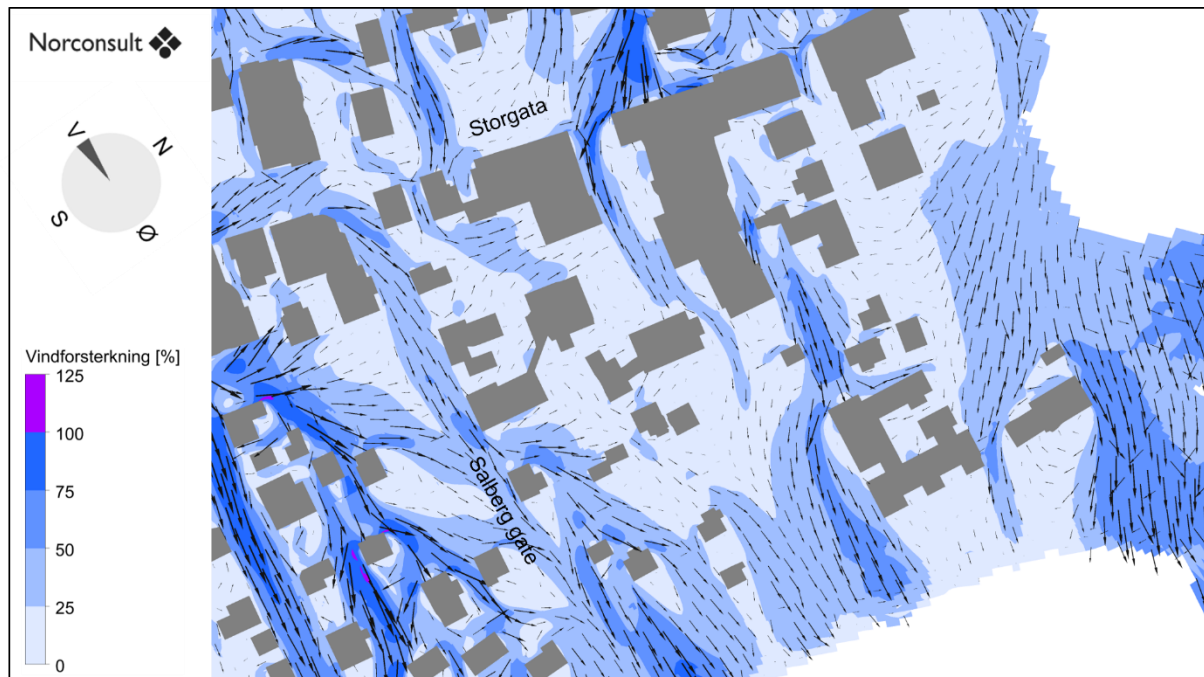
Figur 48: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 210°.

7.2.9 Vind fra 240°



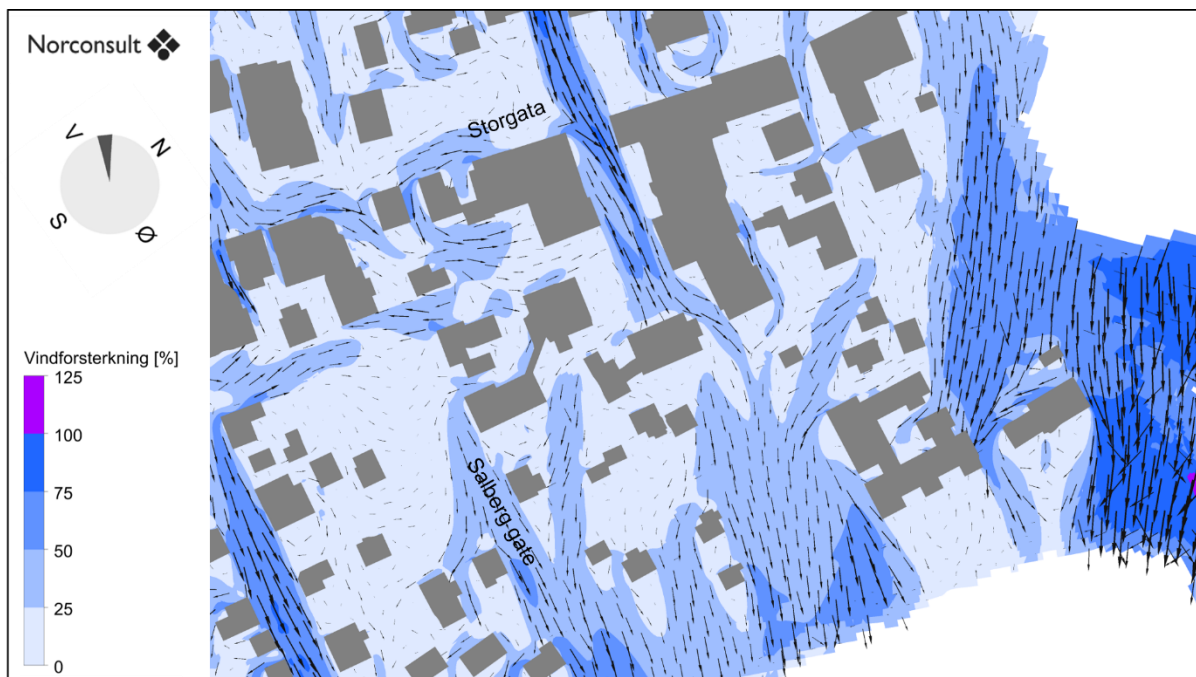
Figur 49: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 240°.

7.2.10 Vind fra 270°



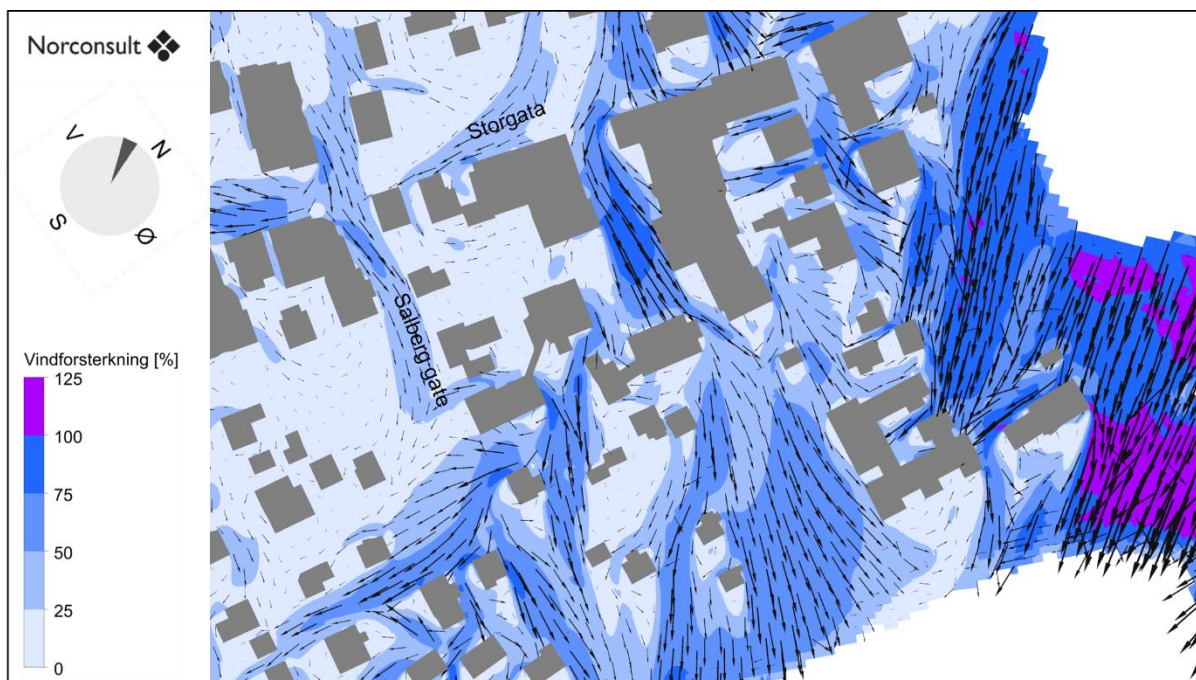
Figur 50: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 270°.

7.2.11 Vind fra 300°



Figur 51: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 300°.

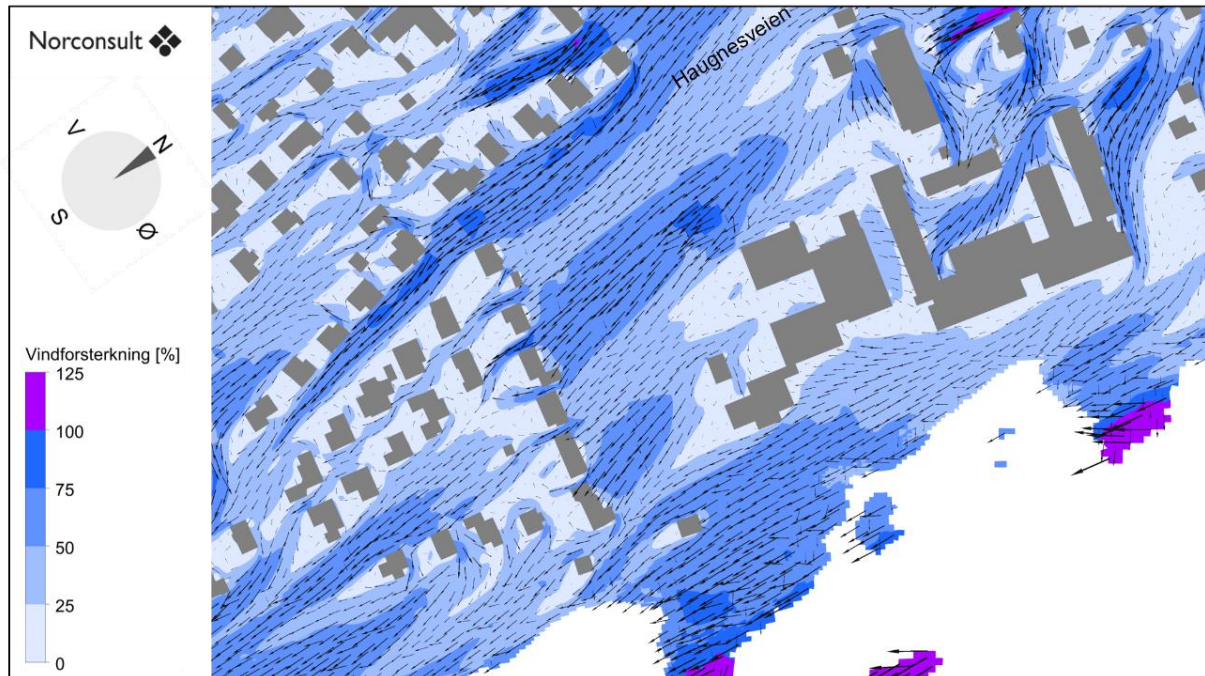
7.2.12 Vind fra 330°



Figur 52: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 330°.

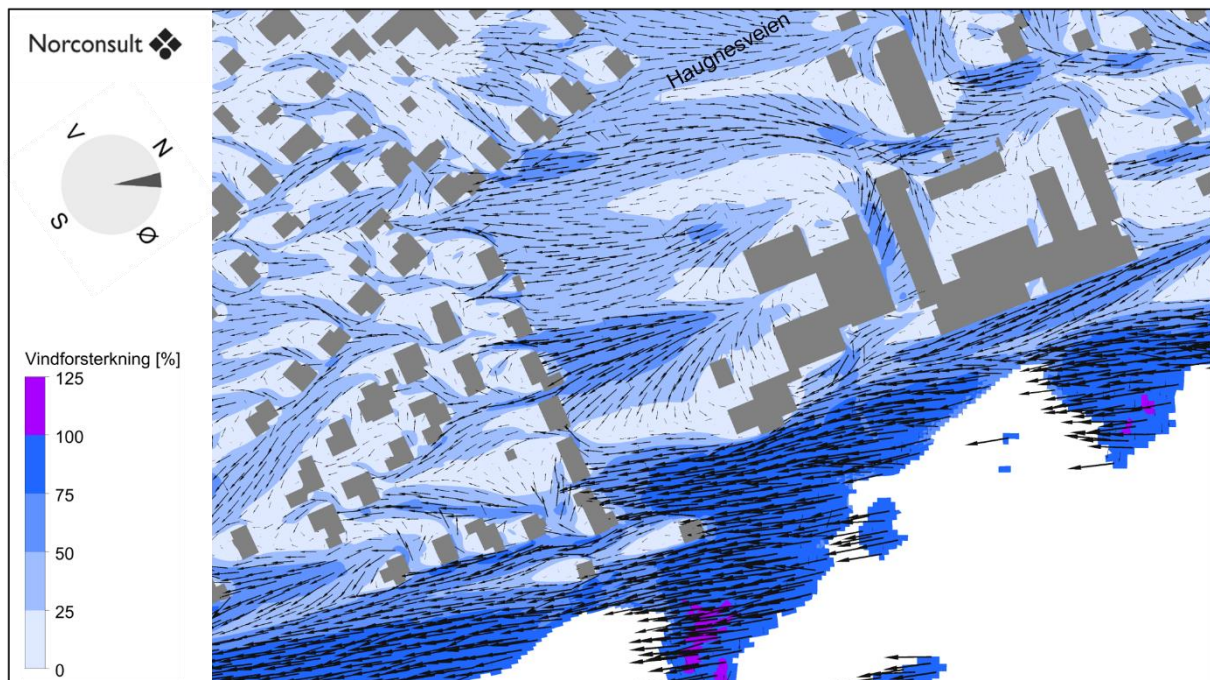
7.3 Andenes skoletomt

7.3.1 Vind fra 0°



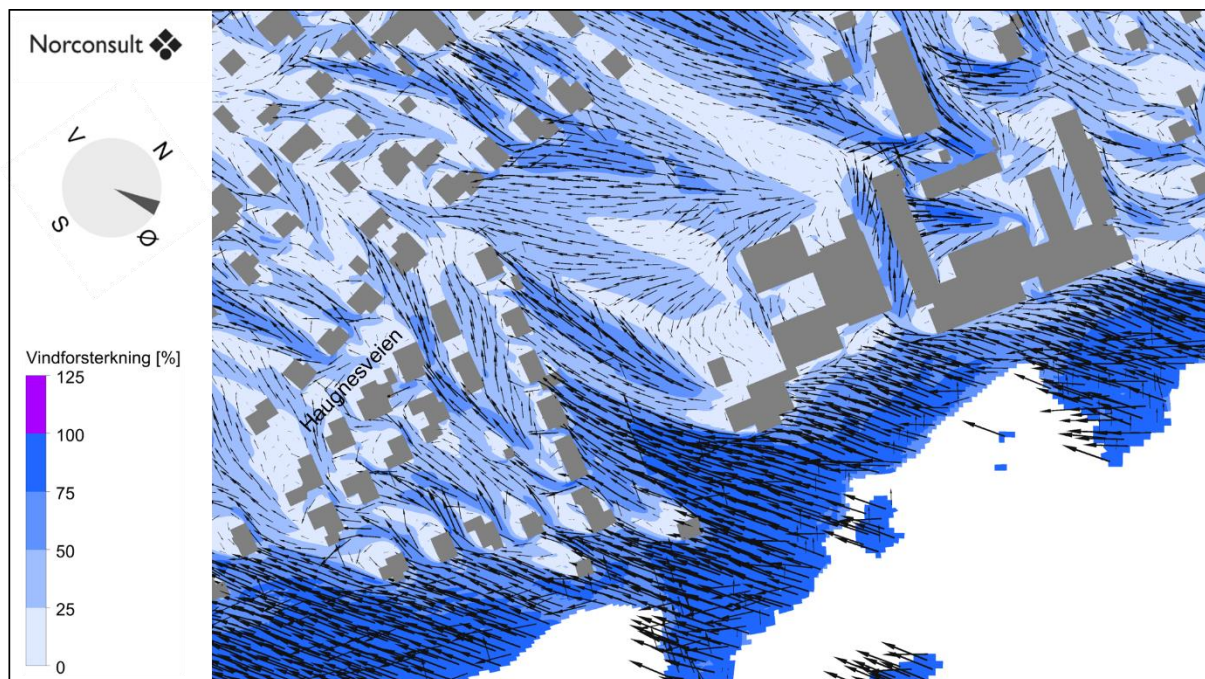
Figur 53: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 0°.

7.3.2 Vind fra 30°



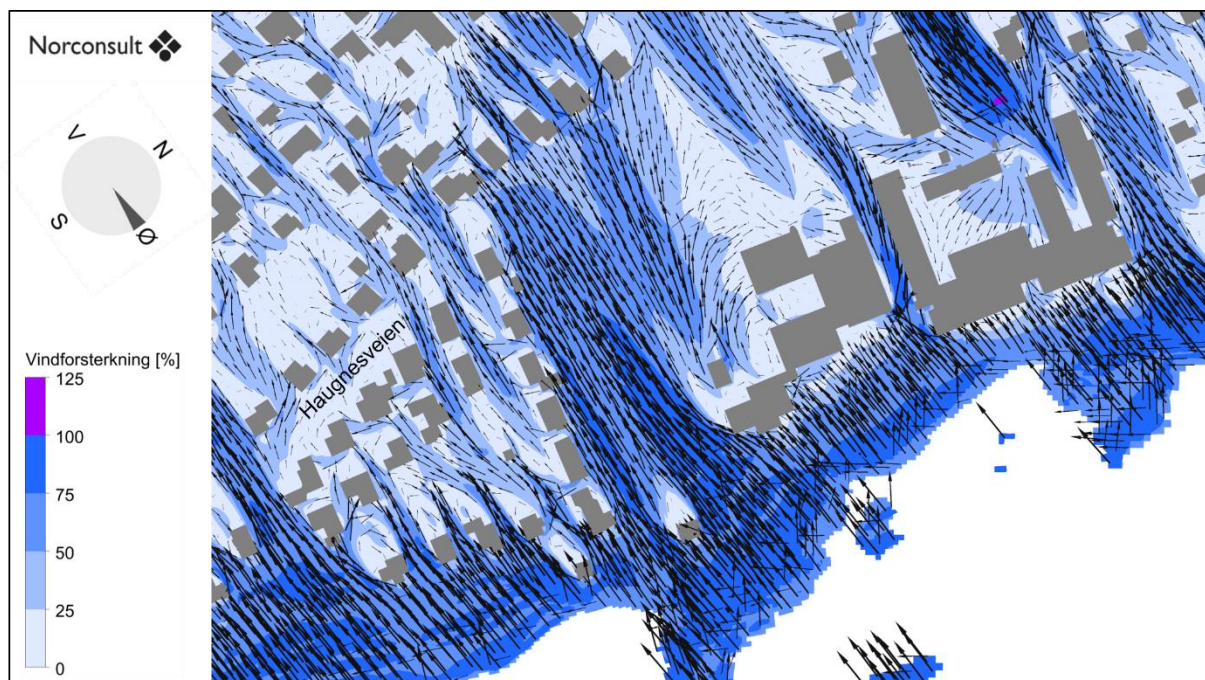
Figur 54: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 30°.

7.3.3 Vind fra 60°



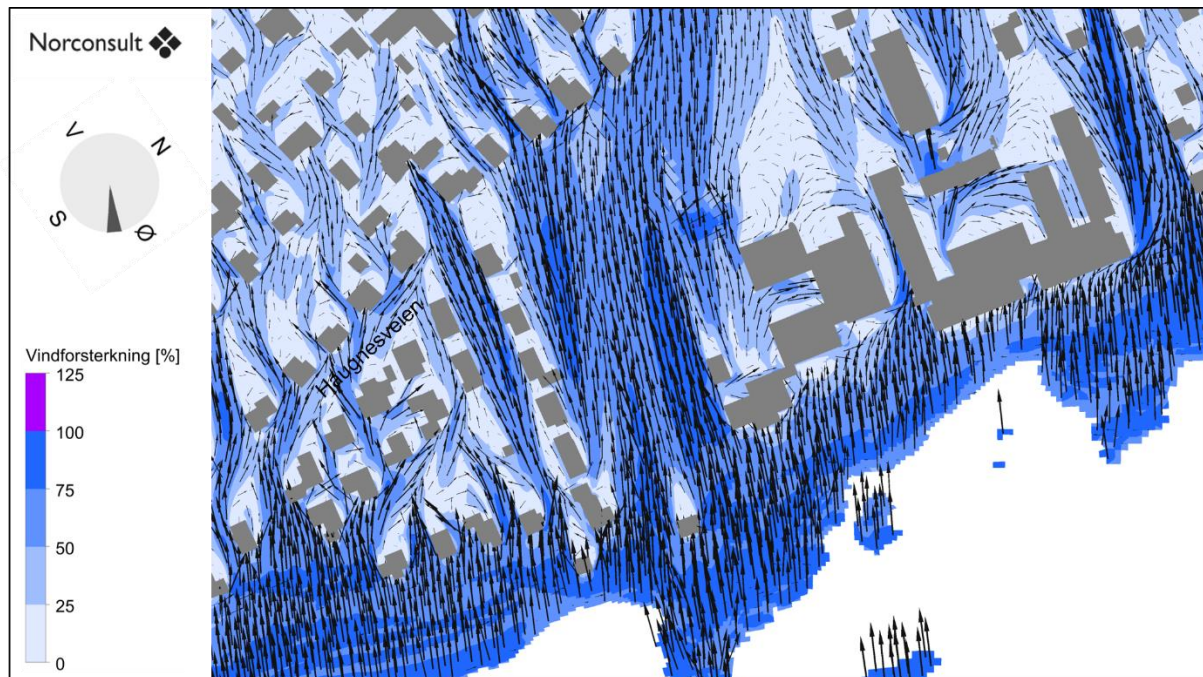
Figur 55: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 60°.

7.3.4 Vind fra 90°



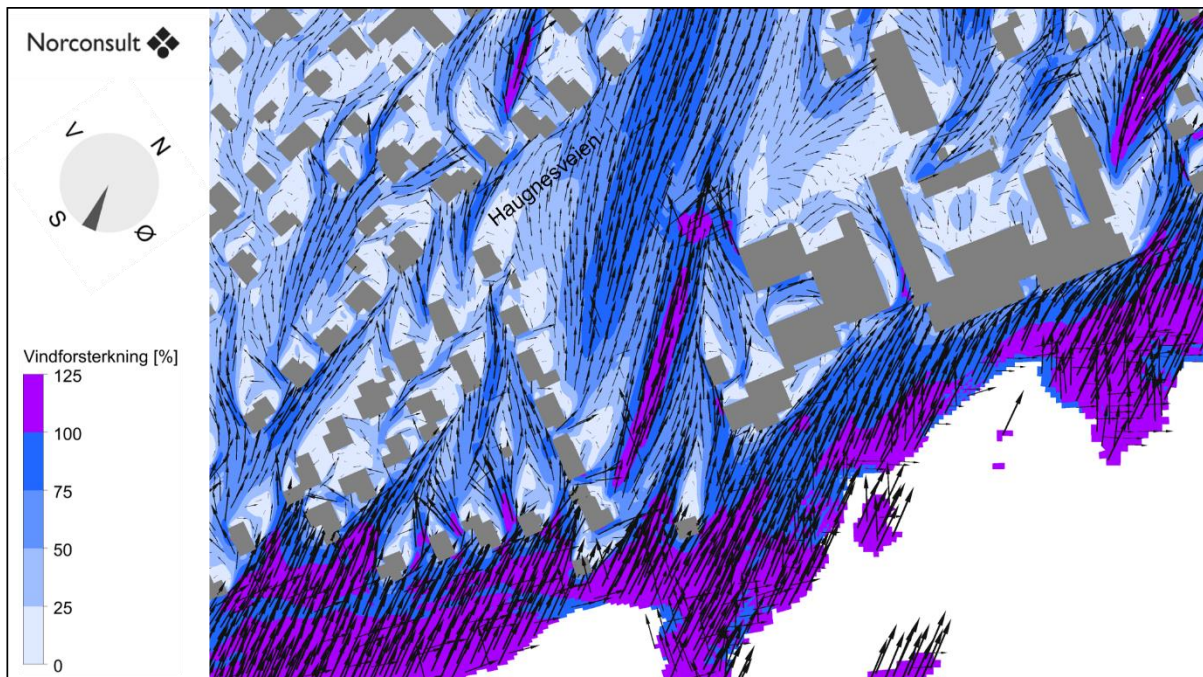
Figur 56: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 90°.

7.3.5 Vind fra 120°



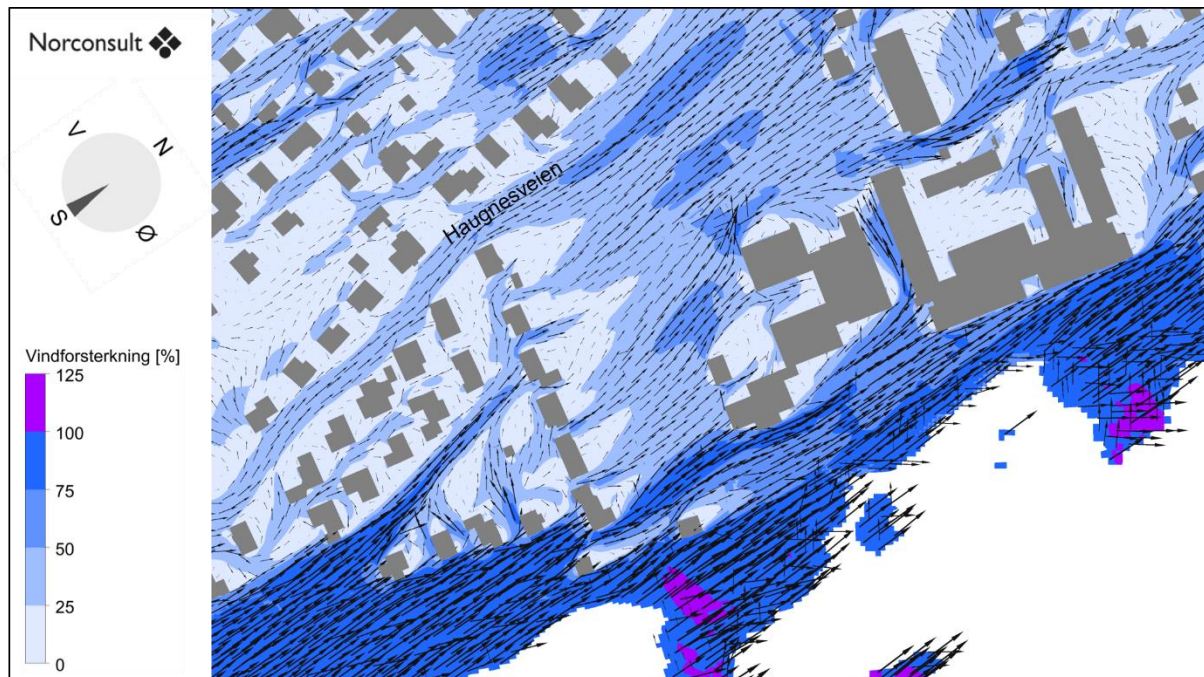
Figur 57: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 120°.

7.3.6 Vind fra 150°



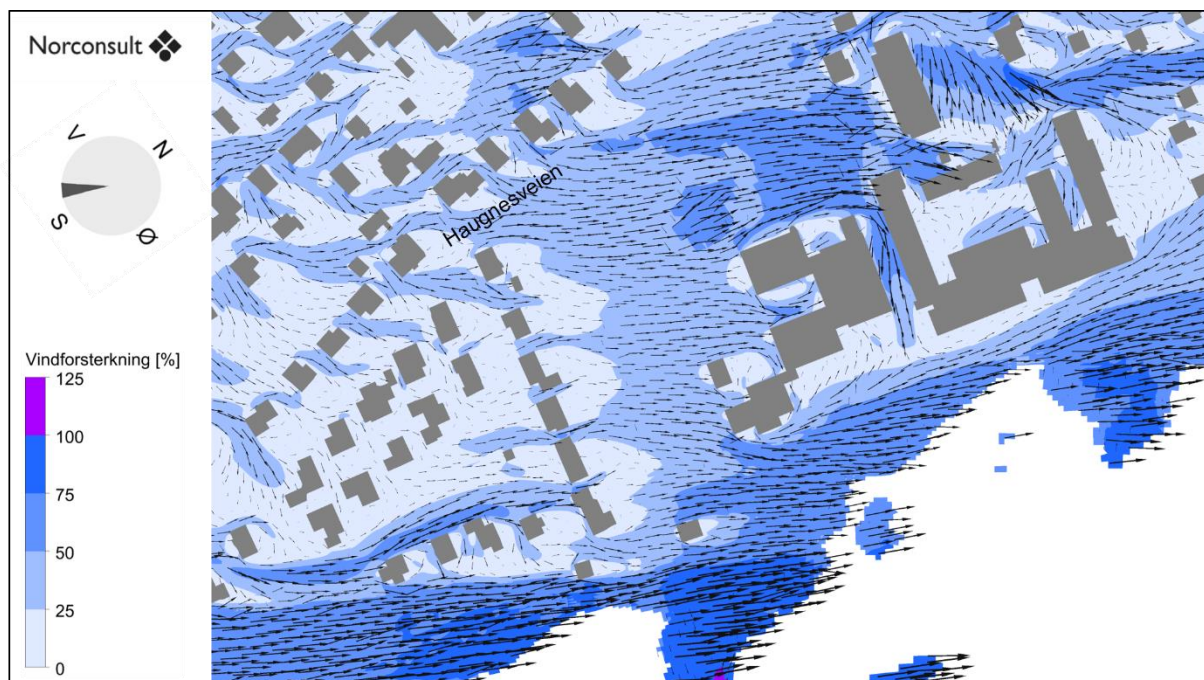
Figur 58: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 150°.

7.3.7 Vind fra 180°



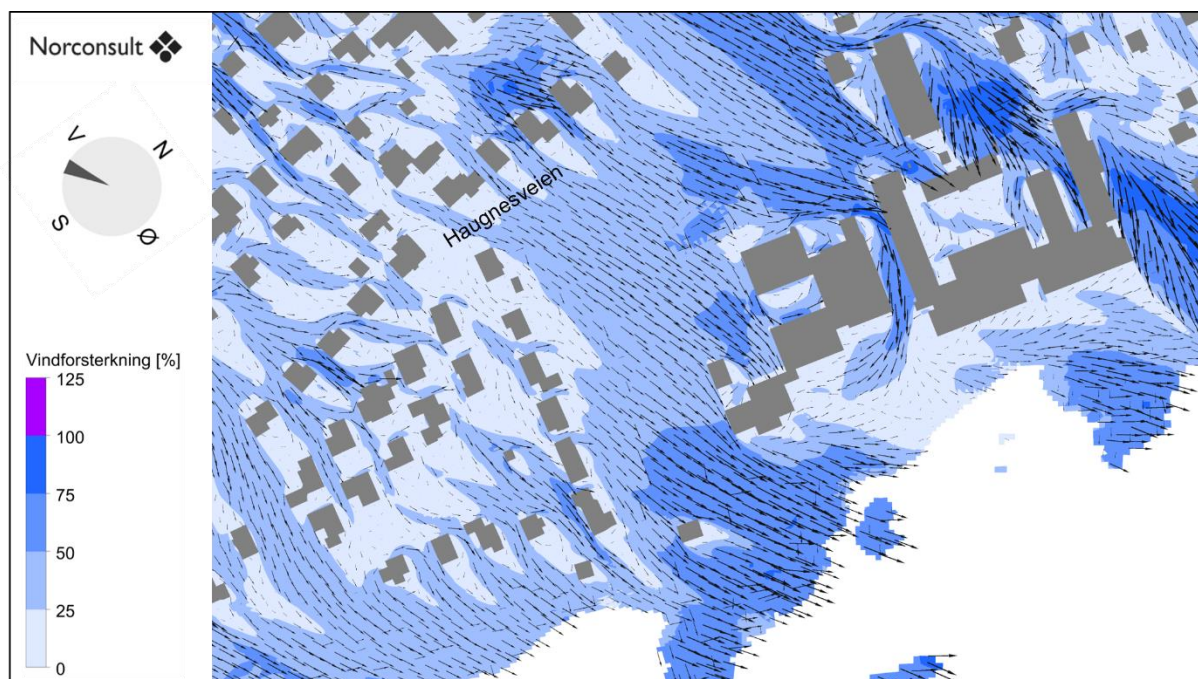
Figur 59: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 180°.

7.3.8 Vind fra 210°



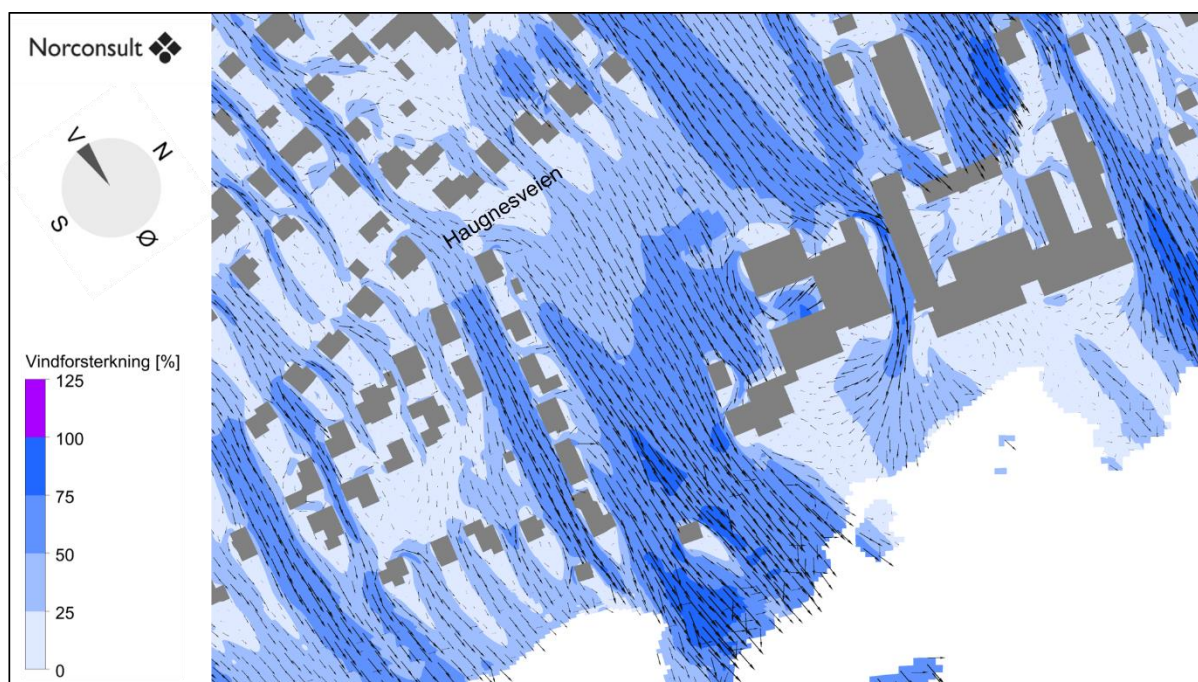
Figur 60: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 210°.

7.3.9 Vind fra 240°



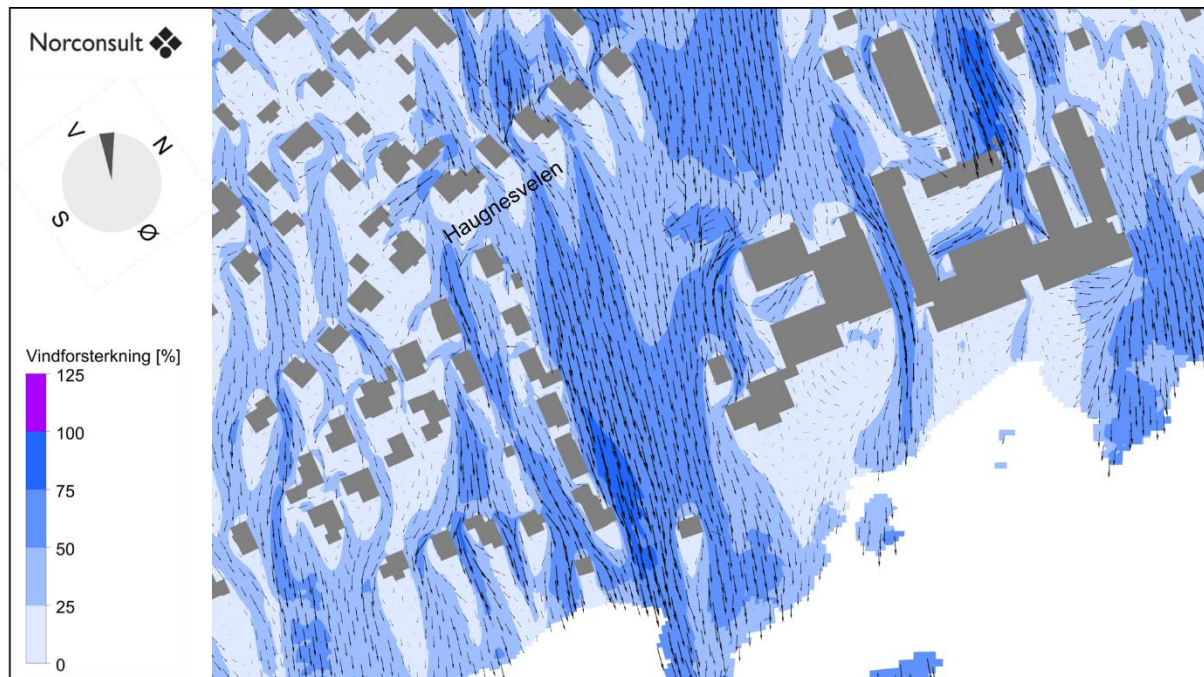
Figur 61: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 240°.

7.3.10 Vind fra 270°



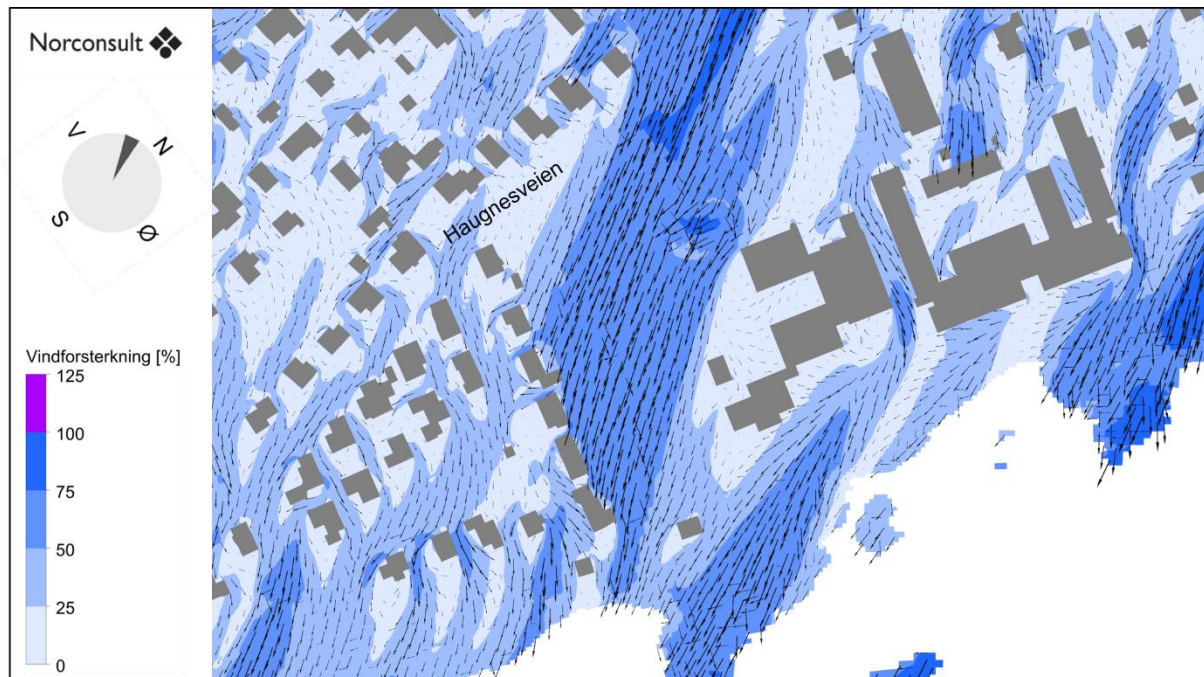
Figur 62: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 270°.

7.3.11 Vind fra 300°



Figur 63: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 300°.

7.3.12 Vind fra 330°



Figur 64: Vindforsterkning og strømningspiler ved vind fra 330°.