



PORSGRUNN  
KOMMUNE

bypakke  
GRENLAND

OMRÅDEREGULERINGSPLAN

**KNUTEPUNKT**

**PORSGRUNN**

VINDANALYSE

Dokumentnr: KU206



VISTA  
ANALYSE

Norconsult 

**DYRVIK  
ARKITEKTER**

**Oppdragsgiver:** Porsgrunn Kommune  
**Oppdragsgivers kontaktperson:** Lars Martin Sørli  
**Rådgiver:** Norconsult AS, Kjørboveien 22, NO-1337 Sandvika  
**Oppdragsleder:** Aleksander Styrvold Kristoffersen  
**Fagansvarlig:** Nick Pedersen  
**Andre nøkkelpersoner:** Agsagan Ragunathan, Solveig Therese Eiane

D02	2023-05-15	Med tilleggsvurdering for 16 og 25 etasjer på felt SF9 - For godkjenning hos oppdragsgiver.	Agsagan Ragunathan	Solveig Therese Eiane	Kristoffer Rein
A01	2023-04-25	For intern kontroll	Agsagan Ragunathan	Nick Pedersen	Kristoffer Rein
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 planlagte bygningsvolumer for Knutepunkt Porsgrunn i Porsgrunn kommune. Analysen er basert på 3D CFD-simuleringer (Computational Fluid Dynamics) av området, der måten vinden strømmer inn mot og mellom byggene simuleres. Det er simulert for 12 vindretninger ved en gitt referansehastighet, og simuleringresultater for vindforsterkning er behandlet sammen med den lokale vindstatistikken.

Sluttproduktet av analysen er en kartlegging av vindkomfort og vindrelatert sikkerhet i planområdet, i henhold til Lawsons kriterier for vindkomfort. Planlagt arealbruk i planområdet kan vurderes opp mot vindkomfortklasse, noe som gjør det mulig å planlegge for eller tilpasse løsninger etter behov. Analysen er basert på simuleringer av bygningsvolumer mottatt i 3D-modell den 27. mars 2023.

Resultatene viser at det vil være god vindkomfort i planområdet, og det vil være komfortklasse C eller bedre i alle områder. Store deler av planområdet får komfortklasse B, og noen få steder har komfortklasse A. Komfortklasse A er bra egnet for sittende opphold over lang tid, som f.eks. ved uteservering. Klasse B er komfortabelt for sittende opphold som ved sittegrupper eller parkarealer. Klasse C er komfortabelt for stående opphold.

Enkelte områder i planområdet har komfortklasse C. Dette gjelder hovedsakelig rundt togstasjonen, men også på noen steder ved og mellom de nye byggene. Det er også blitt gjort en vurdering av to tilleggsscenarioer hvor et bygg på opprinnelig 12 planlagte etasjer innenfor felt SF9 heves til 16 og 25 etasjer. Resultatet viser at en høydeøkning til 25 etasjer nedgraderer komfortklassen fra B til C i en del av området rundt bygget på felt SF9. En høydeøkning til 16 etasjer vil gi tilsvarende, men noe svakere effekter på vindkomforten.

Hvis det planlegges stillesittende opphold i områdene med komfortklasse C bør lokale avbøtende tiltak som levegger eller skjermende beplantning vurderes.

Det er ingen områder i og rundt planområdet som er klassifisert som ukomfortable (klasse F).

Resultatene viser også at vindrelatert sikkerhet vil være god i hele planområdet. Dette gjelder alle scenarioene som er undersøkt i denne analysen.

## ► Innhold

<b>1</b>	<b>Introduksjon</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Vindforhold i området</b>	<b>11</b>
2.1	Beliggenhet	11
2.2	Vindstatistikk	12
<b>3</b>	<b>Resultater</b>	<b>14</b>
3.1	Vindforsterkning	14
3.2	Vindkomfort og -sikkerhet	15
3.2.1	Vindkomfort	16
3.2.2	Sikkerhet	19
3.3	Tilleggsvurdering 16 og 25 etasjer innenfor felt SF9 (BeHa-kvartalet)	20
<b>4</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>25</b>
<b>5</b>	<b>Referanser</b>	<b>26</b>
<b>6</b>	<b>Vedlegg – metode</b>	<b>27</b>
6.1	CFD-simuleringer	27
6.2	Beregningsmodell	27
6.3	Modelloppsett og grensebetingelser	29
6.4	Nøyaktighet av CFD-simuleringer	31
<b>7</b>	<b>Vedlegg – vindforsterkning</b>	<b>32</b>
7.1	Hovedscenario	32
7.1.1	Vind fra 0°	32
7.1.2	Vind fra 30°	33
7.1.3	Vind fra 60°	34
7.1.4	Vind fra 90°	35
7.1.5	Vind fra 120°	36
7.1.6	Vind fra 150°	37
7.1.7	Vind fra 180°	38
7.1.8	Vind fra 210°	39
7.1.9	Vind fra 240°	40
7.1.10	Vind fra 270°	41
7.1.11	Vind fra 300°	42
7.1.12	Vind fra 330°	43
7.2	Med 25 etasjer innenfor felt SF9 (BeHa-kvartalet)	44
7.2.1	Vind fra 0°	44
7.2.2	Vind fra 30°	45
7.2.3	Vind fra 60°	46
7.2.4	Vind fra 90°	47
7.2.5	Vind fra 120°	48
7.2.6	Vind fra 150°	49
7.2.7	Vind fra 180°	50

7.2.8	Vind fra 210°	51
7.2.9	Vind fra 240°	52
7.2.10	Vind fra 270°	53
7.2.11	Vind fra 300°	54
7.2.12	Vind fra 330°	55

# 1 Introduksjon

Det er utført en kvantitativ vindanalyse av planlagte bygningsvolumer for Knutepunkt Porsgrunn ved Porsgrunn sentrum. Dette er gjort som en del av konsekvensutredningen for områderegeringsplanen for Knutepunkt Porsgrunn. Resultatene av analysen er basert på 3D CFD-simuleringer av området.

Bygninger kan ha stor påvirkning på vinden og måten den oppleves i bymiljøet. Fasader kan dra ned vind til gatenivå og akselerere et vindfelt rundt bygningshjørner, samt skape uønsket turbulens. Samspill mellom flere bygg som står tett kan ha uventede konsekvenser på vinden, og gater eller åpne passasjer kan virke som vindtunneler, selv på finværsdager. Slike effekter kan ha stor betydning for arealbruk og trivsel.

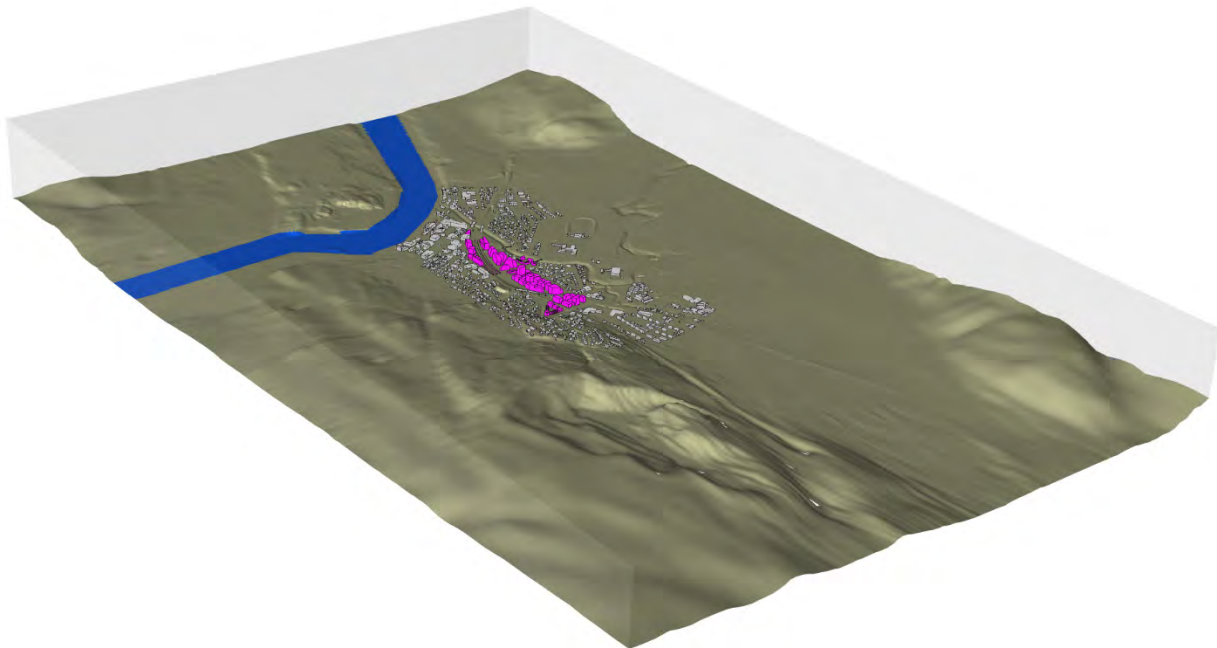
Overordnet sett avhenger vindforhold i et område av byggenes utforming, deres plassering i forhold til hverandre, terrenget og vindstatistikken i området. Dette er faktorer som inngår i CFD-analysen. Simuleringsresultatene er brukt i en beregning av «lokal vindforsterkning» for samtlige vindretninger og en statistisk behandling av resultatene ved bruk av lokale meteorologiske data.

Sluttproduktet av analysen er en kartlegging av vindkomfort og vindrelatert sikkerhet 1,5 m over bakken iht. Lawsons kriterier for vindkomfort (Lawsons kriterier er ansett som «industri-standard»). Kartene for vindkomfort og vindsikkerhet tar for seg effekten av strømningsbildet på gateplan, samt hyppighet av vindretning og styrke for et gjennomsnittsår.

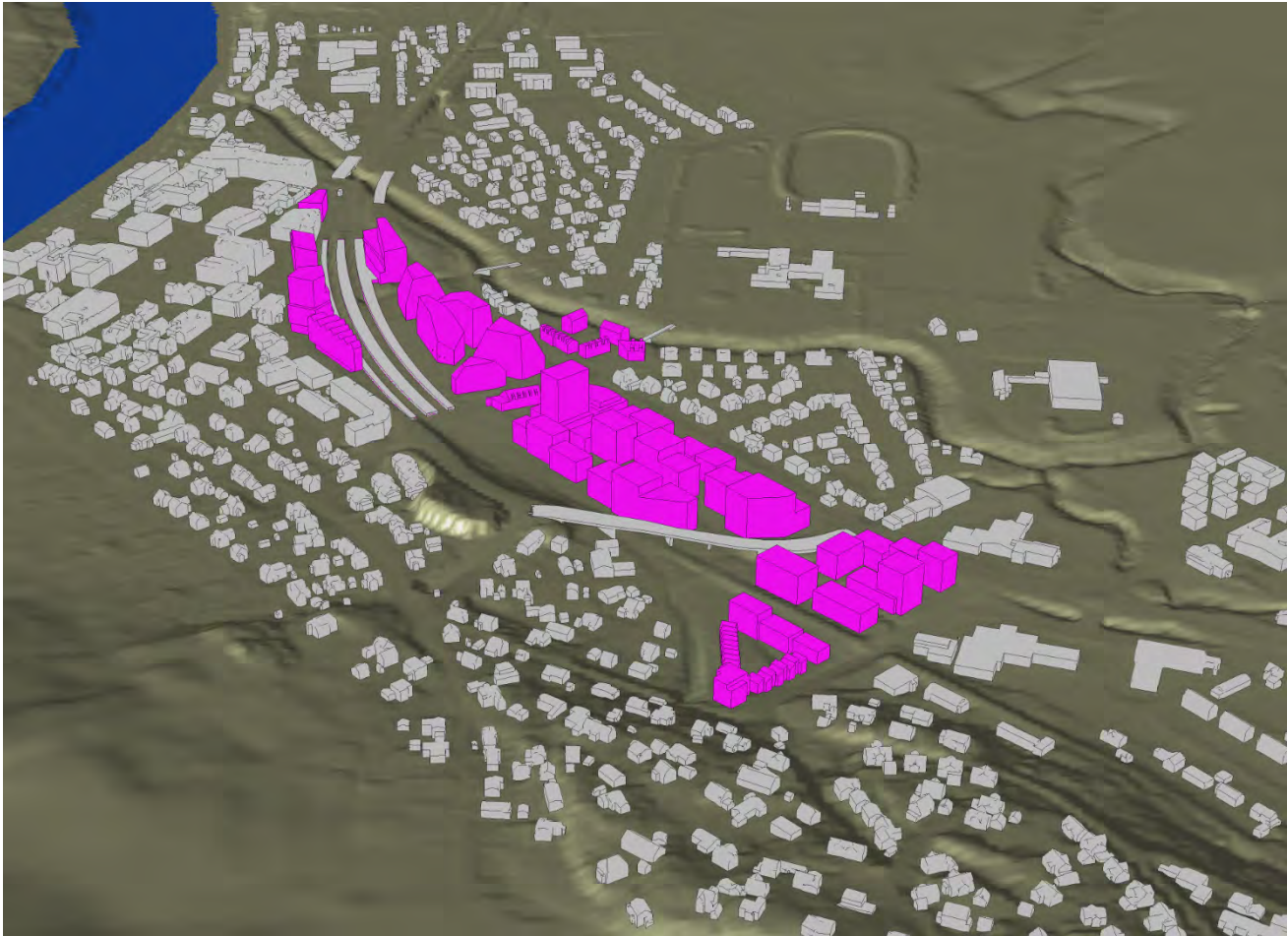
Oversikt over simuleringsmodellen er vist i figur 1, figur 2 og figur 4, hvor de planlagte bygningsvolumene for Knutepunkt Porsgrunn er vist i magenta og eksisterende bebyggelse er vist i grått. Simuleringsmodellen er basert på 3D-modell mottatt fra Dyrvik Arkitekter den 27. mars 2023.

I tillegg til dette er det i versjon D02 av denne rapporten blitt lagt til en vurdering av to andre utbyggingsscenarioer. Underveis i planprosessen er det kommet innspill om å vurdere å åpne for høyere bebyggelse innenfor reguleringsplanens felt SF9 (BeHa-kvartalet) markert med oransje rektangel i figur 4. Det er derfor blitt gjort en tilleggsvurdering hvor et bygg på 12 etasjer heves til 16 og 25 etasjer.

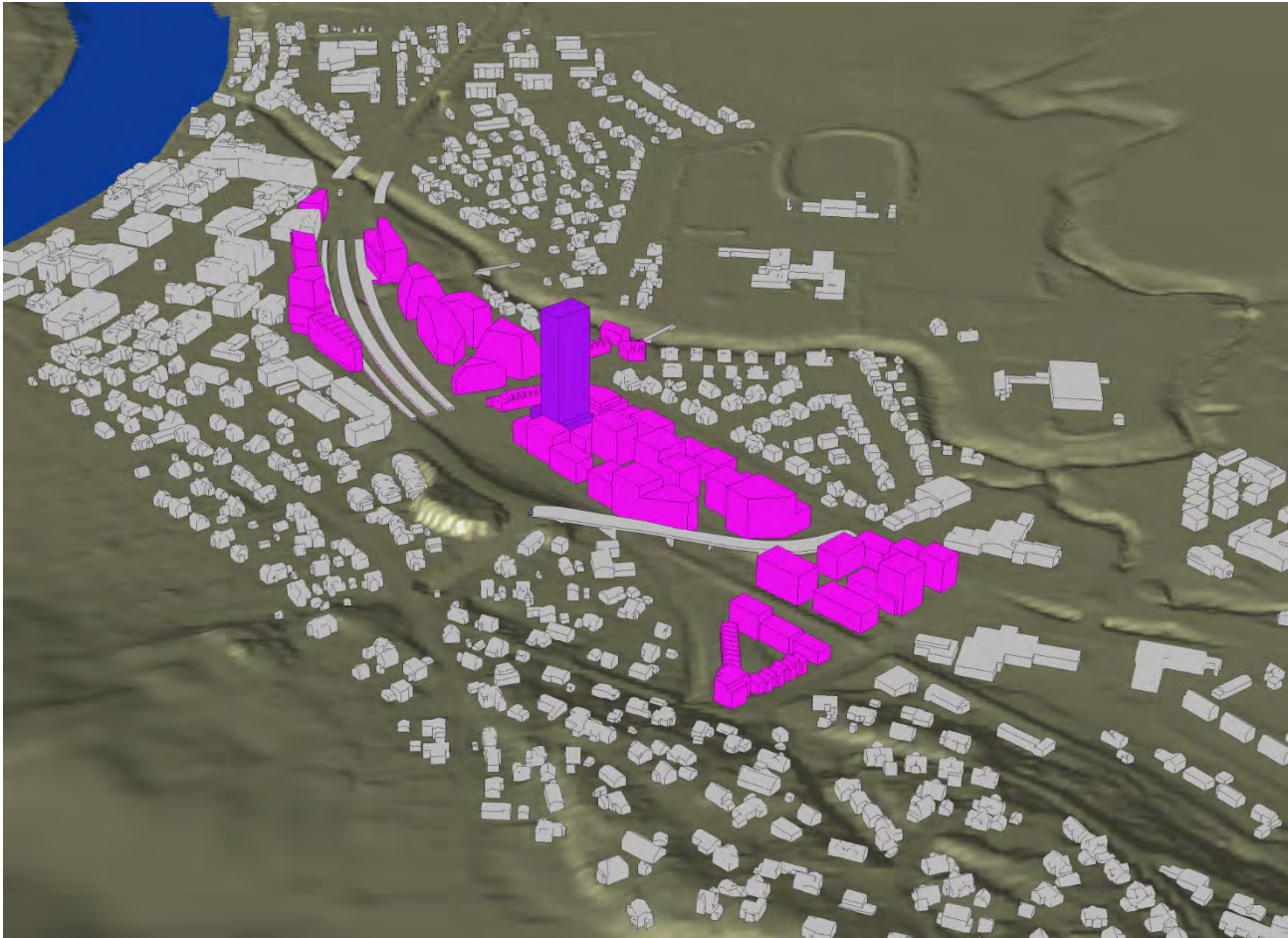
For å vurdere effekten av dette er det blitt utført en vindanalyse for scenariet med 25 etasjer. Simuleringsmodellen som er brukt for dette er vist i figur 3, og er basert på 3D-modell mottatt 3. mai 2023 med bygget som er hevet vist i lilla. Ettersom et bygg på 16 etasjer vil ha tilsvarende, men noe svakere effekter med hensyn til vindkomfort og sikkerhet som et bygg på 25 etasjer, kan resultatene fra vindanalysen med bygget på 25 etasjer brukes for å vurdere virkningen av et bygg på 16 etasjer. Resultatene fra tilleggsvurderingen er presentert i kap. 3.3.



Figur 1: Oversikt over CFD-modell for Knutepunkt Porsgrunn sett fra sør, med planlagte nye bygg i magenta og eksisterende nabobygg i grått.



Figur 2: Nærbilde av CFD-modell for Knutepunkt Porsgrunn sett fra sør, med planlagte nybygg i magenta og eksisterende nabobygg i grått.



Figur 3: Nærbilde av CFD-modell for Knutepunkt Porsgrunn for scenarioet med bygget på 25 etasjer på felt SF9 som er vist i lilla, resterende planlagte nybygg er vist i magenta og eksisterende nabobygg i grått. Området er sett fra sør.

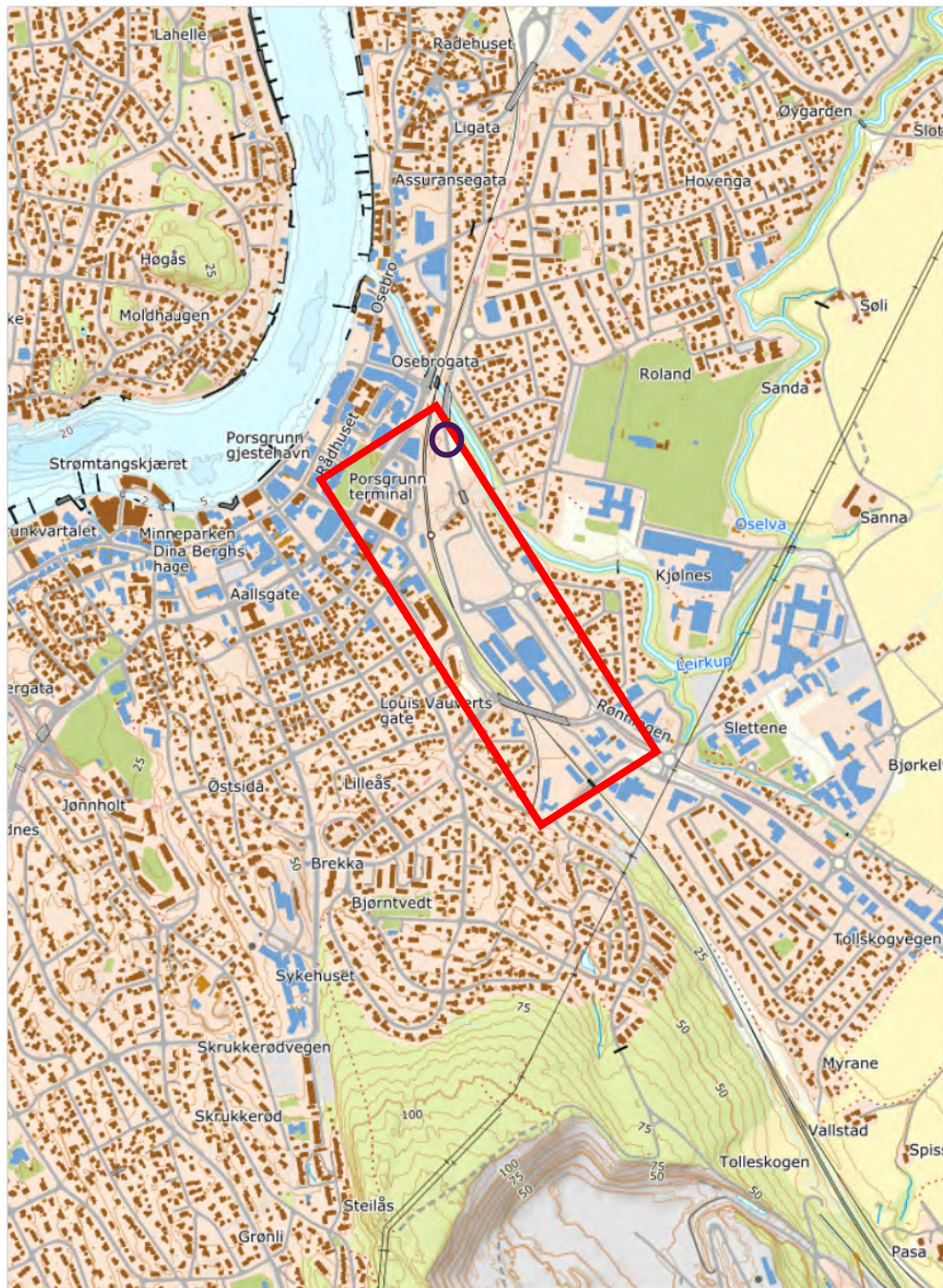


Figur 4: Oversikt over CFD-modell for Knutepunkt Porsgrunn sett ovenfra, med planlagte nye bygg i magenta, eksisterende nabobygg i grått og felt SF9 markert med oransje rektangel.

## 2 Vindforhold i området

### 2.1 Beliggenhet

Det analyserte området ligger ved Porsgrunn sentrum, og er vist med rødt rektangel i figur 5.



Senterposisjon: 194691.71, 6567582.56  
Koordinatsystem: EPSG:25833  
Utskriftsdato: 18.04.2023

0 100 200 300 400m

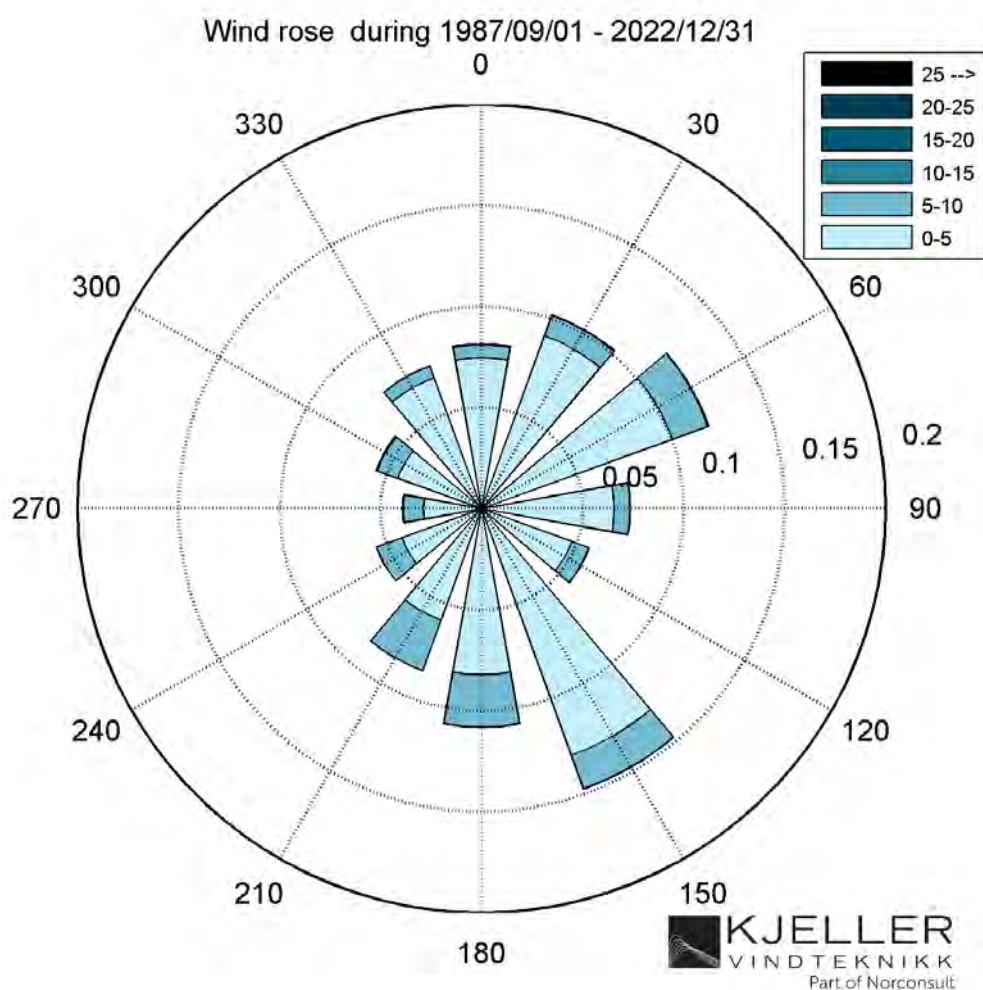
Kartverket

Figur 5: Kart over området. Det analyserte området er vist med rødt rektangel (© Kartverket). Nærmeste modellpunkt med vinddata som er brukt i analysen er markert med mørkelilla sirkel.

## 2.2 Vindstatistikk

Det er hentet relevant vindstatistikk til analysen fra Norconsults landsdekkende meteorologiske værmodell «KVT Meso». KVT Meso er meteorologiske datasett generert med den numeriske værmodellen WRF<sup>1</sup> (Weather Research and Forecasting model), hvor datasettet benyttet i denne analysen har en horisontal oppløsning på 1 km for en periode på 35 år. Datapunktet som er brukt i denne analysen er markert med mørkelilla sirkel i figur 5. Vindstatistikken er basert på simulerte meteorologiske data ved planområdet for perioden 1988-2022.

Figur 6 viser vindrose for området. Vindrosen viser hvor ofte det blåser fra ulike retninger og med hvilken styrke. For Porsgrunn sentrum oppstår det ikke klare fremherskende eller entydig dominante vindretninger, men man kan se at vind fra sør-sørøst og øst-nordøst oppstår noe mer hyppig enn fra andre retninger. Vind fra vestlige retninger oppstår mer sjeldent.



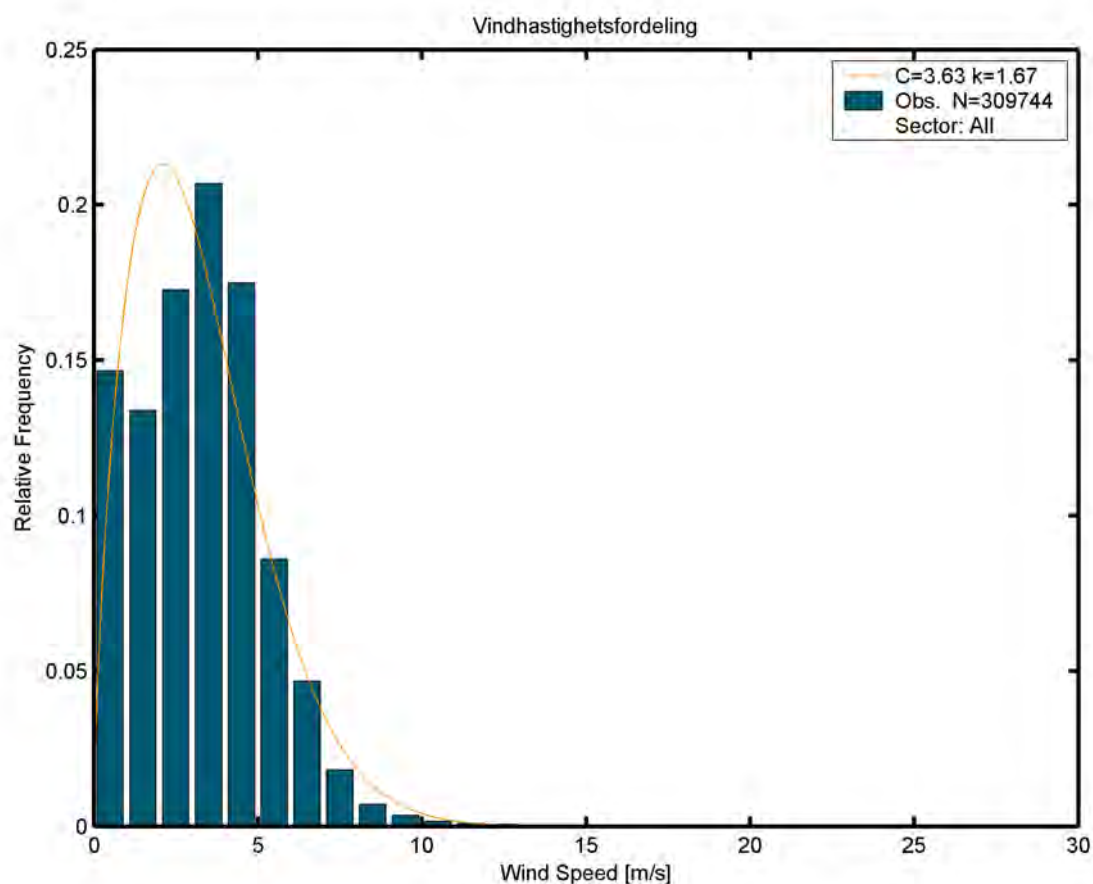
Figur 6: Vindrose for vind 10 m over bakken for et gjennomsnittsår ved planområdet i perioden 1988 til og med 2022.

Fordeling av vindhastighet mot andel av tid vises i figur 7. Gjennomsnittlig vindhastighet over året er 3,3 m/s.

Tabell 1 viser den simulerte frekvensfordelingen av timesmidlet vindhastighet og retning. Fra denne ser man at vind med lave hastigheter (< 2 m/s) forekommer omtrent 28 % av tiden mens vindhastigheter over 6 m/s inntreffer omtrent 8 % av tiden.

Vindhastigheten det refereres til her er vindhastighet i 10 meters høyde ( $U_{10}$ ).

<sup>1</sup> <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>



Figur 7: Andel av året ulike vindhastigheter forekommer 10 m over bakken ved planområdet. For perioden 1988 til 2022.

Tabell 1: Frekvensfordelingen for vind ved planområdet for et gjennomsnittsår.

VINDHASTIGHET (M/S)	SEKTOR												SUM	KUMULATIV
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330		
< 2	3.99 %	3.87 %	3.18 %	2.64 %	2.24 %	2.88 %	1.55 %	1.15 %	1.18 %	1.18 %	1.55 %	2.36 %	27.76 %	27.76 %
2 - 4	3.00 %	3.73 %	4.65 %	2.64 %	1.68 %	7.00 %	3.93 %	2.71 %	1.95 %	1.10 %	2.25 %	3.38 %	38.02 %	65.78 %
4 - 6	0.75 %	2.13 %	3.14 %	1.80 %	1.23 %	4.38 %	4.16 %	3.51 %	1.66 %	0.98 %	1.01 %	1.50 %	26.24 %	92.02 %
6 - 8	0.26 %	0.37 %	0.78 %	0.21 %	0.29 %	0.55 %	1.10 %	1.04 %	0.65 %	0.53 %	0.52 %	0.23 %	6.53 %	98.55 %
8 - 10	0.09 %	0.06 %	0.16 %	0.05 %	0.08 %	0.07 %	0.05 %	0.11 %	0.09 %	0.09 %	0.18 %	0.04 %	1.07 %	99.62 %
10 - 12	0.04 %	0.02 %	0.04 %	0.01 %	0.02 %	0.02 %	0.01 %	0.02 %	0.01 %	0.02 %	0.04 %	0.01 %	0.26 %	99.88 %
12 - 14	0.02 %	0.01 %	0.01 %	-	-	-	-	-	-	-	0.02 %	-	0.09 %	99.97 %
14 - 16	-	0.01 %	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02 %	99.99 %
16 - 18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01 %	100.00 %
18 - 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.00 %
> 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.00 %
<b>SUM</b>	9.67 %	10.73 %	11.68 %	5.76 %	3.66 %	13.18 %	10.45 %	9.82 %	5.67 %	3.90 %	5.99 %	9.49 %	100.00 %	

## 3 Resultater

### 3.1 Vindforsterkning

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

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

Resultatet viser dermed hvorvidt luften i kroppshøyde blir bremsset (verdier < 100 %) eller akselerert (verdier > 100 %) av byggene sammenlignet med den innkommende vinden.

Vindforsterkning i seg selv sier ikke noe om hvorvidt vindkomforten er god eller dårlig, men vindforsterkning inngår i beregningen av komfortklassene. En vindforsterkningsverdi på 50 % kan anses som en grenseverdi på et «bra skjermet» sted i et byområde.

Det er kjørt simuleringer for 12 vindretninger. Vindforsterkning er kalkulert for hver vindretning. Figurer for disse finnes som vedlegg i kapittel 7.

### 3.2 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 subjektiv, 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 syklistene 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).

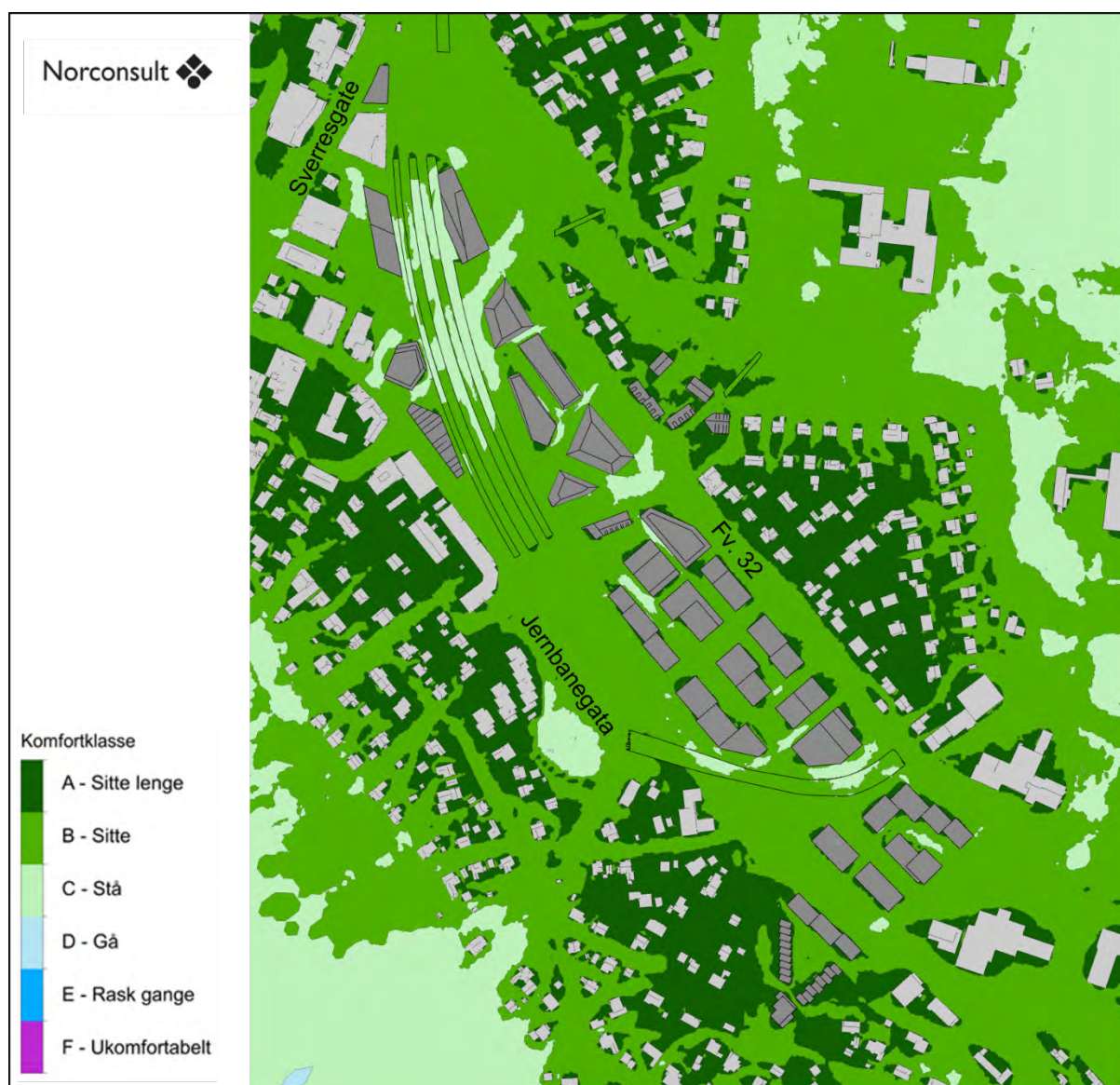
### 3.2.1 Vindkomfort

Vindkomfortkart i kroppshøyde (1,5 m) over planområdet for Knutepunkt Porsgrunn er vist i figur 8. En inndeling av dette kartet fra nord til sør er vist i figur 9 til figur 11. Vindkomfortkart under brua på Jernbanegata er vist i Figur 12. Disse figurene viser at planområdet hovedsakelig har komfortklasse B, og områdene mellom eksisterende småhusbebyggelse rundt planområdet har komfortklasse A. Komfortklasse A og B tilsier at områdene er egnet til sittende opphold.

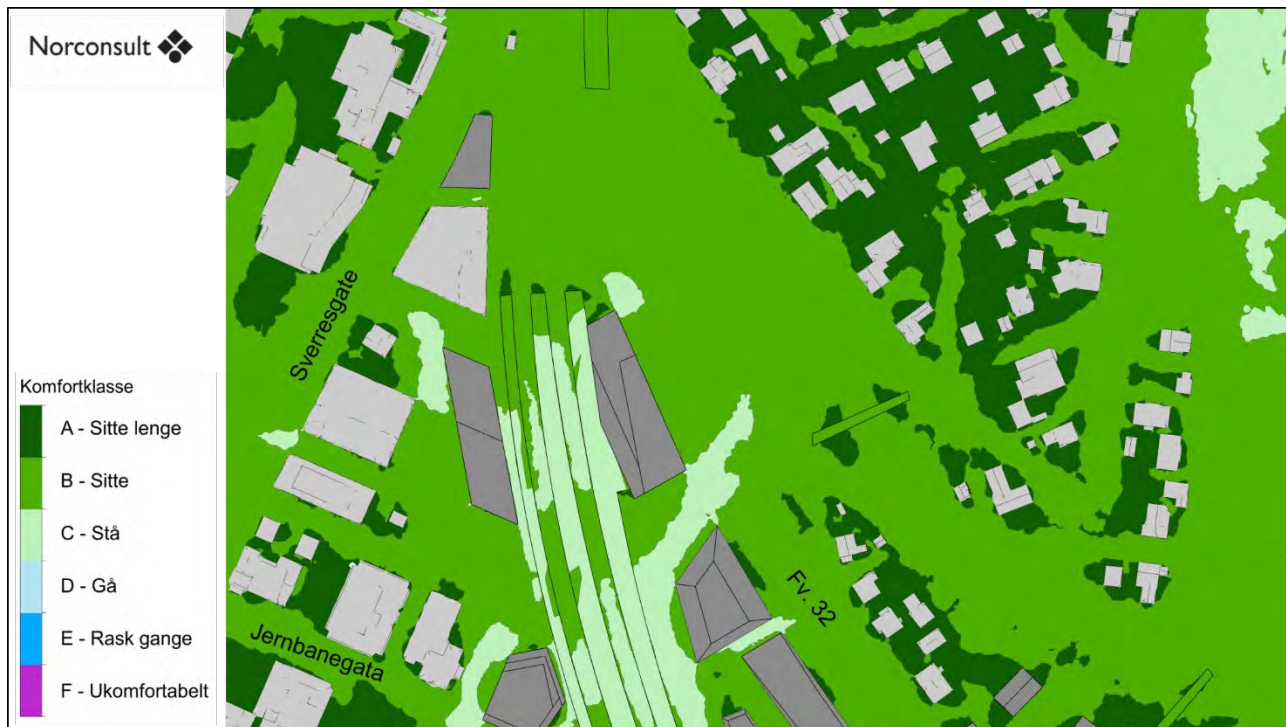
Enkelte områder i planområdet har komfortklasse C. Dette gjelder hovedsakelig rundt togstasjonen, men også på utvalgte steder ved og mellom de nye byggene. Disse områdene er egnet til stående opphold. Komfortklasse C eller bedre er egnet for togplattformen som en kortvarig venteplass.

Det er ingen områder i og rundt planområdet som er klassifisert som ukomfortable (klasse F).

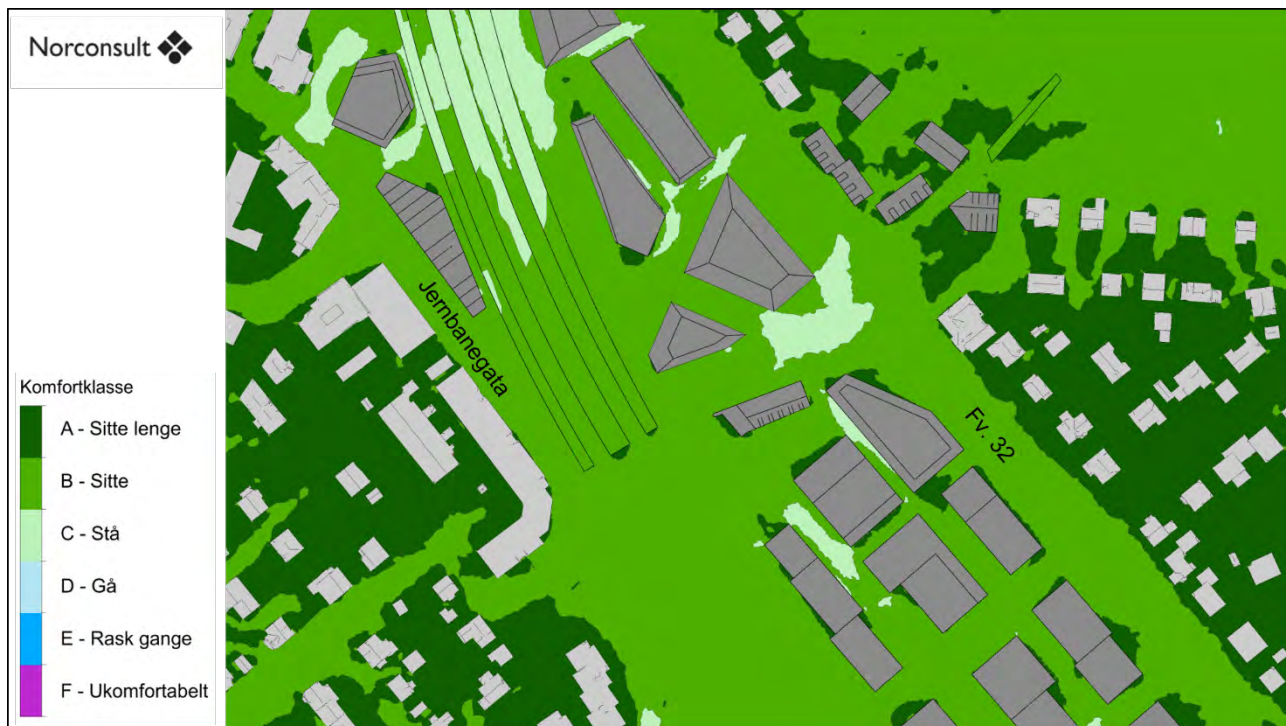
Hvis det planlegges stillesittende opphold i områdene med komfortklasse C bør lokale avbøtende tiltak som levegger eller skjermende beplantning vurderes.



Figur 8: Vindkomfortkart i kroppshøyde på bakkeplan for planområdet med nybygg i grått og nabobygg i lysegrått.



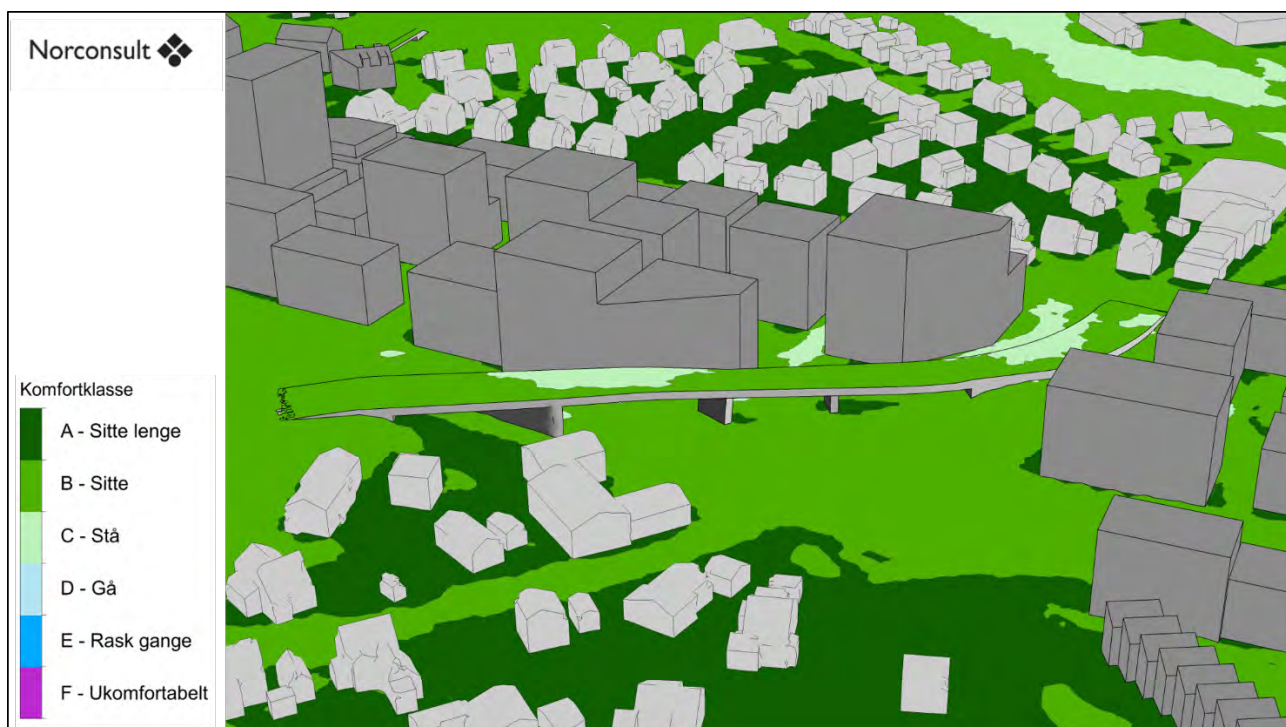
Figur 9: Vindkomfortkart i kroppshøyde på bakkeplan for nordlige del av planområdet.



Figur 10: Vindkomfortkart i kroppshøyde på bakkeplan for midtre del av planområdet.



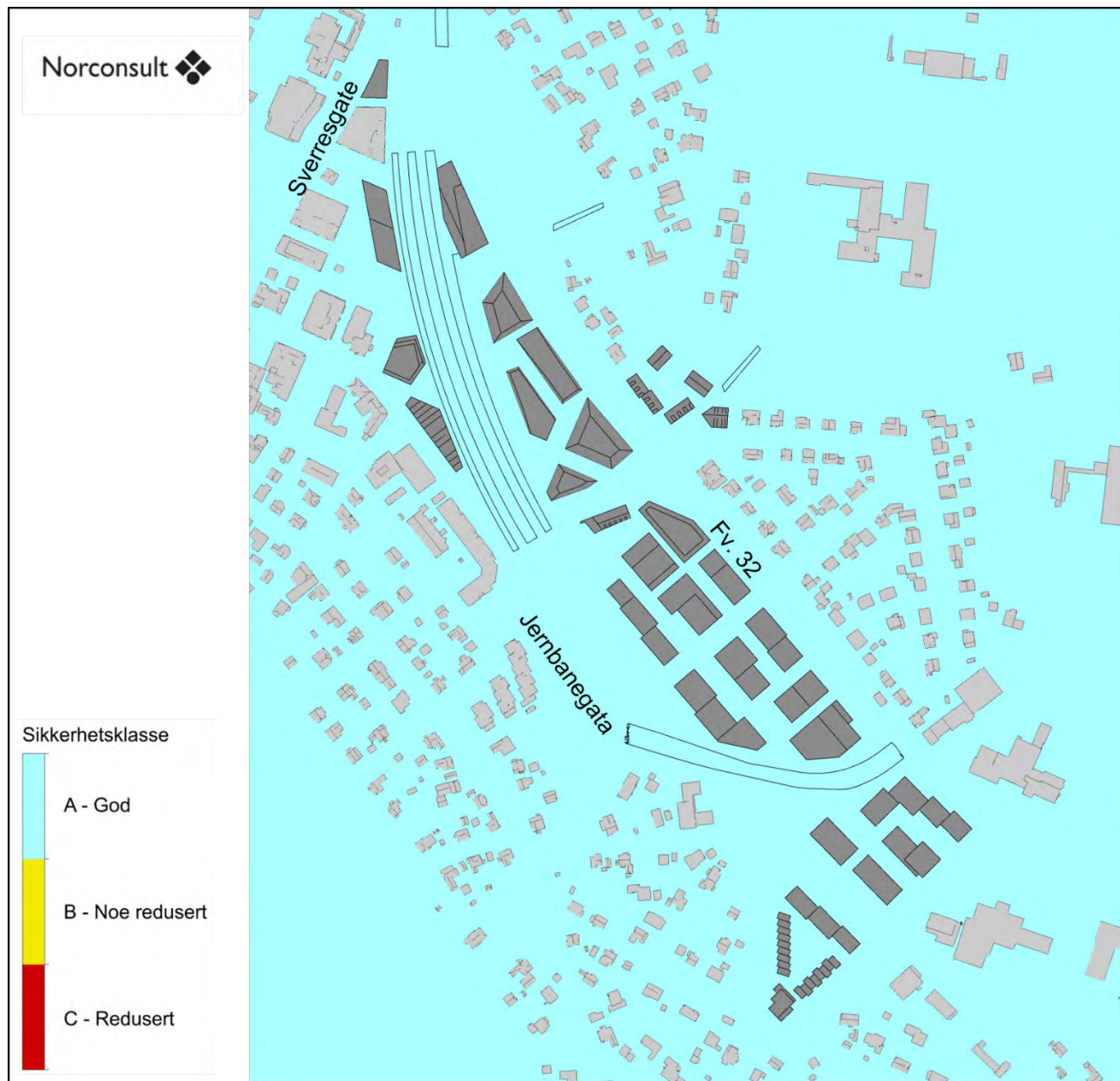
Figur 11: Vindkomfortkart i kroppshøyde på bakkeplan for sørlige del av planområdet.



Figur 12: Vindkomfortkart i kroppshøyde på bakkeplan under brua ved Jernbanegata.

### 3.2.2 Sikkerhet

Vindrelatert sikkerhetskart for Knutepunkt Porsgrunn er vist i figur 13. Hele området har sikkerhetsklasse A, som vil si at det er god vindrelatert sikkerhet for den generelle befolkningen i området.



Figur 13: Vindrelatert sikkerhetskart i kroppshøyde på bakkeplan for planområdet med nybygg i grått og nabobygg i lysegrått.

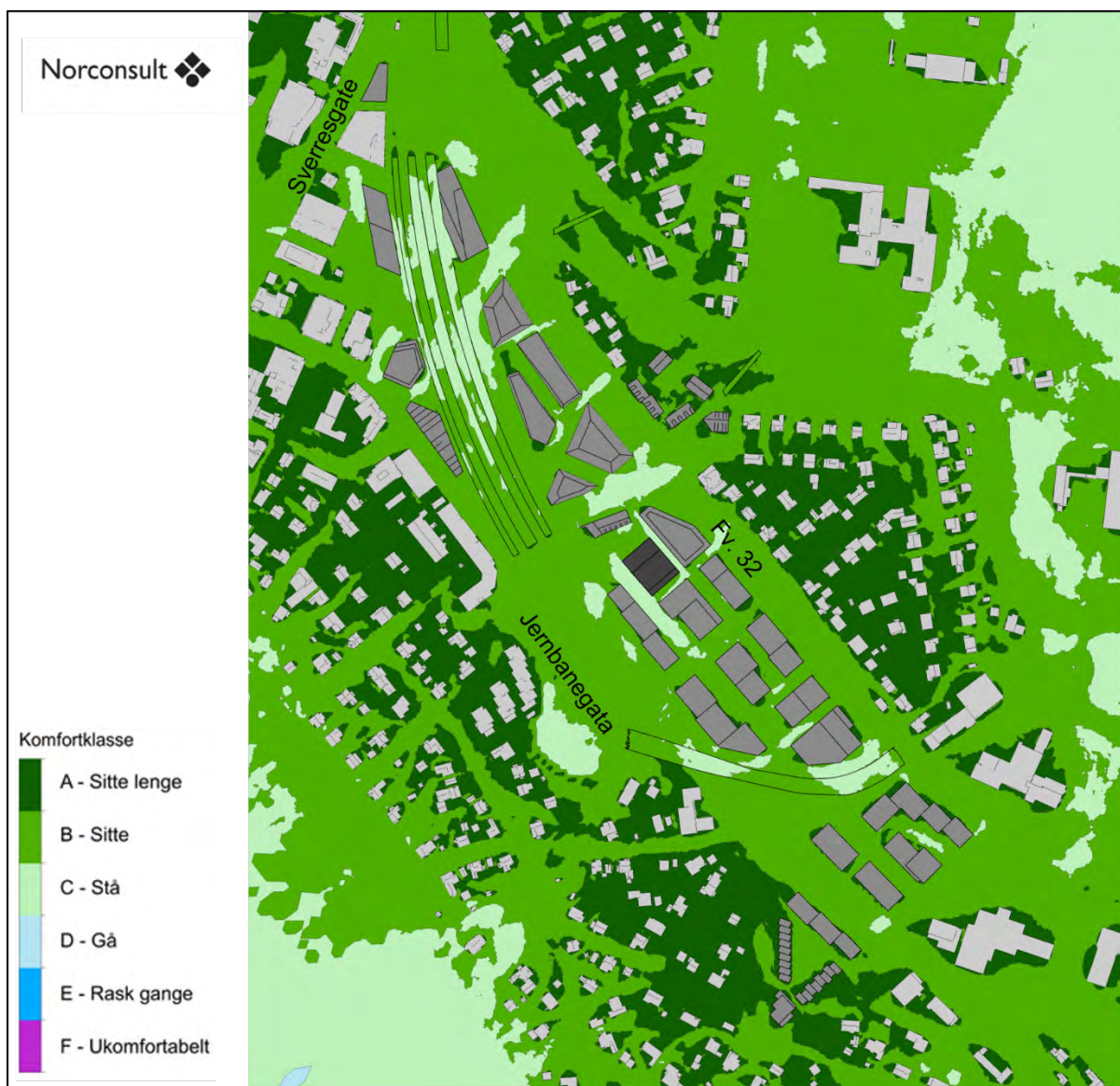
### 3.3 Tilleggsvurdering 16 og 25 etasjer innenfor felt SF9 (BeHa-kvartalet)

Vindkomfortkart i kroppshøyde (1,5 m) over planområdet for Knutepunkt Porsgrunn med bygget på 25 etasjer innenfor felt SF9 er vist i figur 14. En inndeling av dette kartet fra nord til sør er vist i figur 15 til figur 17. Vindkomfortkart under brua på Jernbanegata er vist i figur 18.

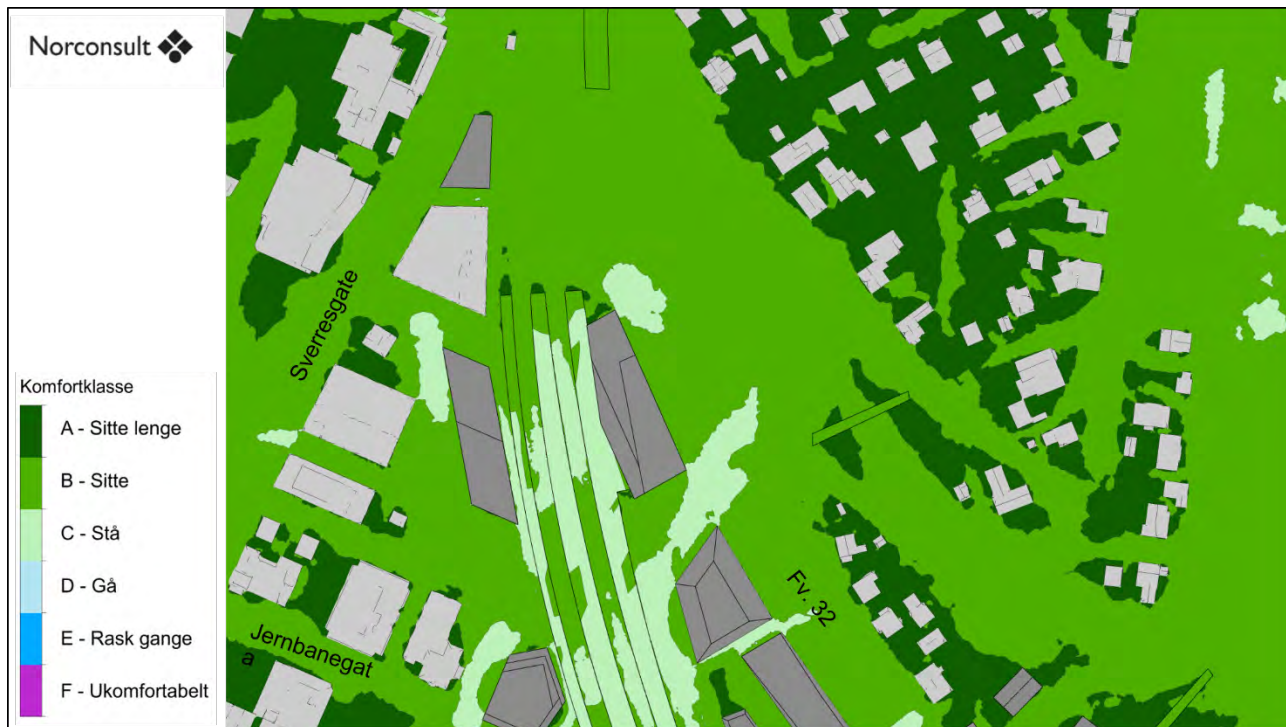
Sammenlignet med resultatene for det opprinnelige planlagte bygningsvolumet på 12 etasjer innenfor felt SF9, vil vindkomforten i gateløpene ved felt SF9 reduseres fra klasse B til C en del steder med et bygg på 25 etasjer. Denne effekten strekker seg også et stykke ned langs gateløpet sørvest for felt SF9, og utvider et område med komfortklasse C litt nord for feltet. Områder med komfortklasse C er egnet til stående opphold, og hvis det planlegges stillesittende opphold her bør lokale avbøtende tiltak som levegger eller skjermende beplantning vurderes.

Vindrelatert sikkerhetskart for Knutepunkt Porsgrunn med bygget på 25 etasjer på felt SF9 er vist i figur 19. Hele området har sikkerhetsklasse A. Høydeøkningen fra 12 til 25 etasjer medfører dermed ingen endring for den vindrelaterte sikkerheten i planområdet.

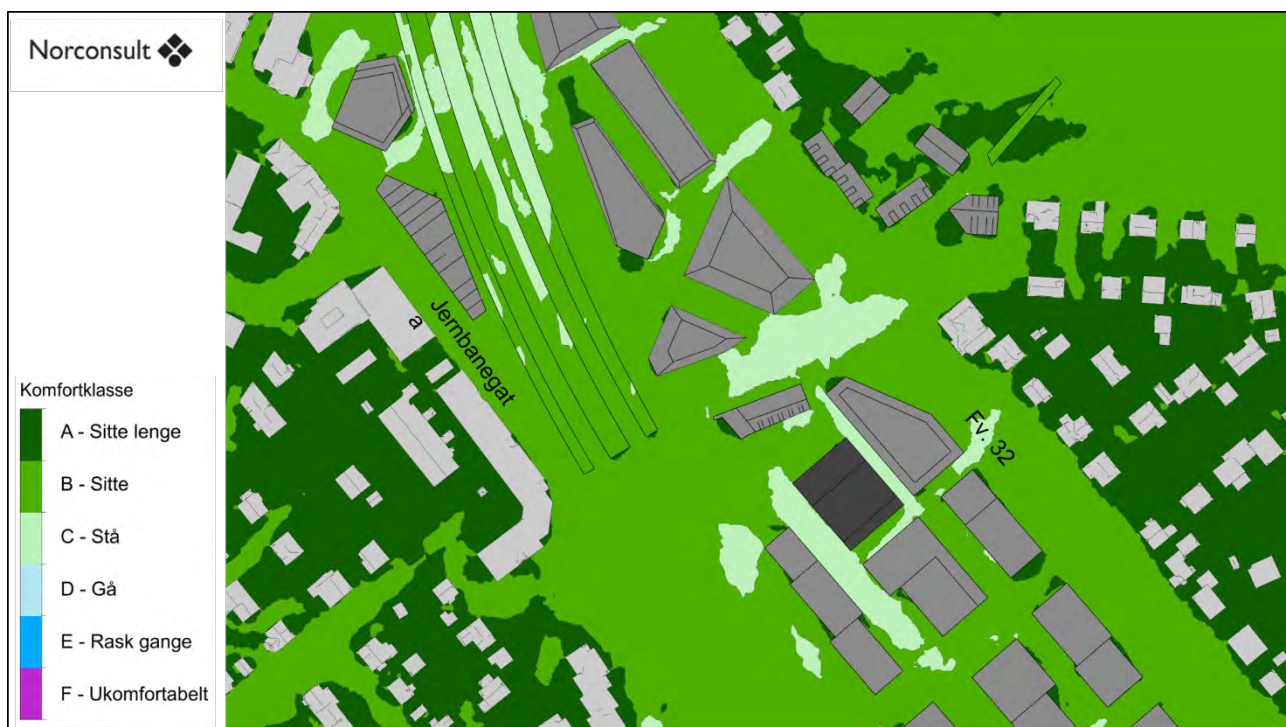
Resultatene for analysen med bygget på 25 etasjer på felt SF9 kan benyttes for å vurdere virkningen av bygget på 16 etasjer også, som vil ha tilsvarende, men noe svakere effekter.



Figur 14: Vindkomfortkart i kroppshøyde på bakkeplan for planområdet med bygget på 25 etasjer på felt SF9 i mørkegrått, resterende nybygg i grått og nabobygg i lysegrått.



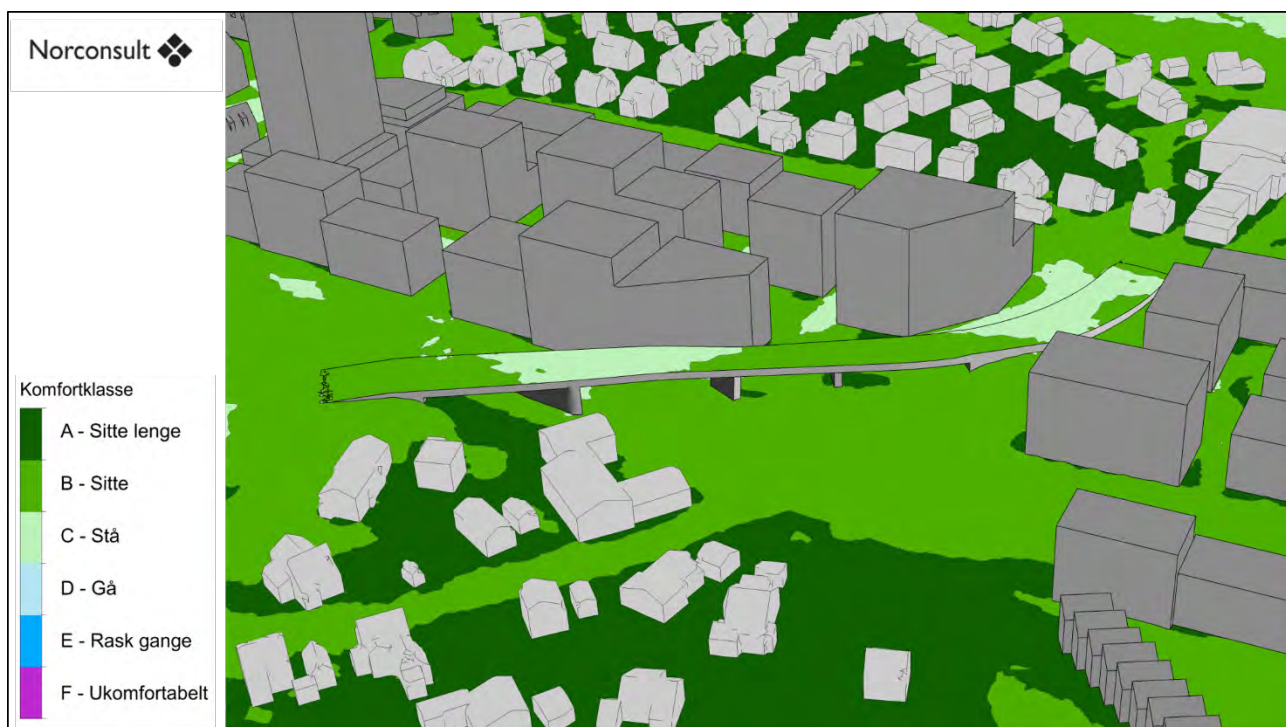
Figur 15: Vindkomfortkart i kroppshøyde på bakkeplan for nordlige del av planområdet med 25 etasjer på felt SF9.



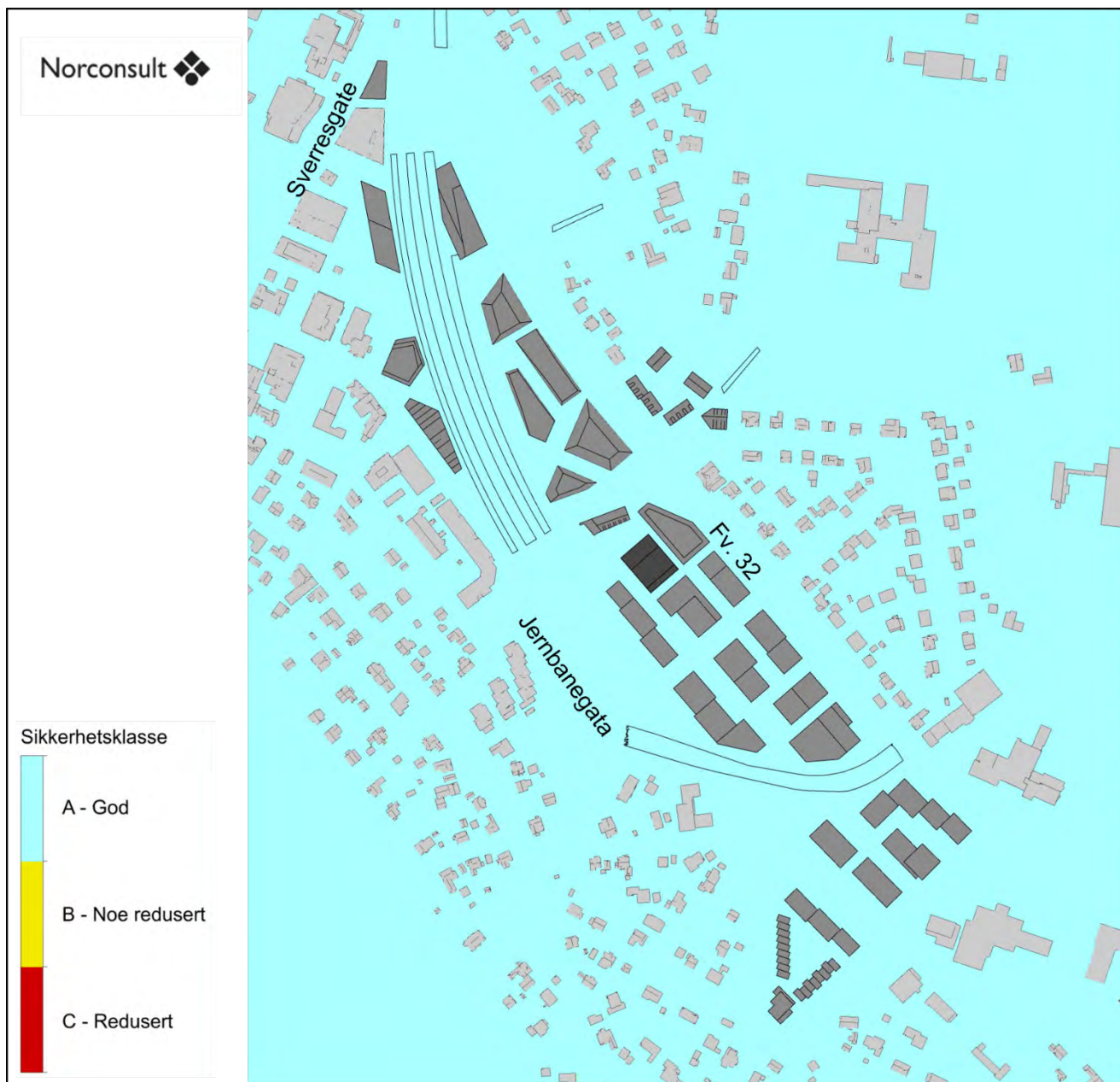
Figur 16: Vindkomfortkart i kroppshøyde på bakkeplan for midtre del av planområdet med 25 etasjer på felt SF9.



Figur 17: Vindkomfortkart i kroppshøyde på bakkeplan for sørlige del av planområdet med 25 etasjer på felt SF9.



Figur 18: Vindkomfortkart i kroppshøyde på bakkeplan under brua ved Jernbanegata med 25 etasjer på felt SF9.



Figur 19: Vindrelatert sikkerhetskart i kroppshøyde på bakkeplan for planområdet med bygget på 25 etasjer på felt SF9 i mørkegrått, resterende nybygg i grått og nabobygg i lysegrått.

## 4 Konklusjon

Det er utført en kvantitativ vindanalyse av planlagte bygningsvolumer for Knutepunkt Porsgrunn ved Porsgrunn sentrum. Resultatene viser at det vil være god vindkomfort i planområdet, og det vil være komfortklasse C eller bedre i alle områder. Store deler av planområdet får komfortklasse B, og noen utvalgte steder komfortklasse A. Komfortklasse A er bra egnet for sittende opphold over lang tid, som f.eks. ved uteservering. Klasse B er komfortabelt for sittende opphold som ved sittegrupper eller parkarealer. Klasse C er komfortabelt for stående opphold.

Enkelte områder i planområdet har komfortklasse C. Dette gjelder hovedsakelig rundt togstasjonen, men også på utvalgte steder ved og mellom de nye byggene.

I vurderingen av to tilleggsscenarioer, hvor et bygg på opprinnelig 12 etasjer innenfor felt SF9 heves til 16 og 25 etasjer, er resultatet at en høydeøkning til 25 etasjer nedgraderer komfortklassen fra B til C i en del av området rundt bygget på felt SF9. Scenarioet på 16 etasjer vil gi tilsvarende, men noe svakere effekter på vindkomforten.

Hvis det planlegges stillesittende opphold i områdene med komfortklasse C bør lokale avbøtende tiltak som levegger eller skjermende beplantning vurderes.

Det er ingen områder i og rundt planområdet som er klassifisert som ukomfortable (klasse F).

Resultatene viser også at vindrelatert sikkerhet vil være god i hele planområdet. Dette gjelder alle scenarioene som er undersøkt i denne analysen.

## 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 CFX<sup>2</sup> 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 løsningsens kvalitet. I dette arbeidet er det benyttet RANS<sup>3</sup>-modellering med en SST<sup>4</sup> 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 middelvinden i området, samt 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 20.

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.

Nabobygg i et rektangel på ca. 1,7 km x 0,8 km rundt planområdet er inkludert i modellen. Bygninger lengre bort ble modellert som en økt effektiv terrengruhet.

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 tilfellet hadde totalt simulert område en størrelse på ca. 4,3 km x 2,8 km.

Dette området er delt inn i to domener, ett ytre og ett indre. I det ytre domenet er det brukt strukturerte heksaedriske celler med en oppløsning på mellom 5,0 – 80,0 m i horisontal retning og på mellom 0,8 m – 18 m i vertikal retning (0,8 m i de nederste lagene langs terrenget).

Det indre domenet er 1,9 km x 1,0 km stort. Meshet som er benyttet her består av et hybrid-mesh av ustrukturerte tetraedre med prismatiske celler i nærheten av bygninger. Dette meshet er vist i figur 21. Meshet har en oppløsning på mellom 0,25 – 1,0 m i områdene nærmest nybyggene, og opp mot 4,0 m lengre vekk. Vertikal oppløsning i grensesjiktet langs terrenget er ca. 1,0 m. Totalt antall celler i meshet er ca. 30 millioner.

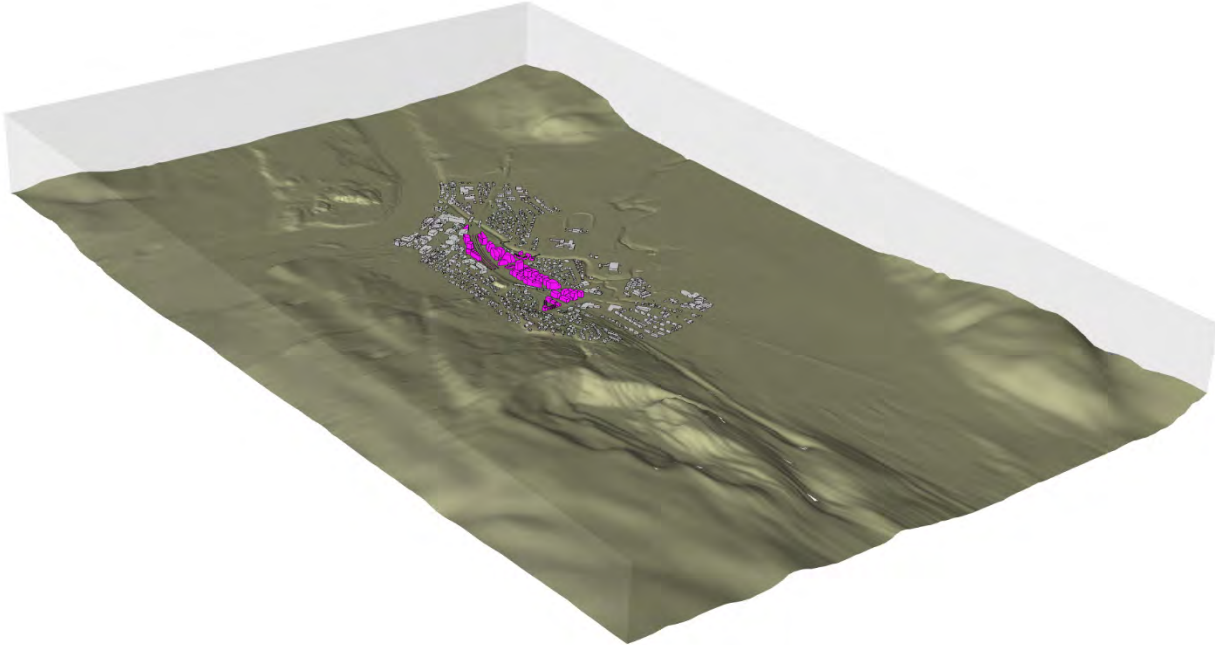
Det er ikke tatt med beplantning i modellen. Storskala beplantning (størrelsesorden «skog») er implisitt inkludert via terrengruhet (se Tabell 4), men lokal beplantning (hekker, bed, individuelle trær plantet langs gater osv.) er ikke inkludert. Dette er vanlig praksis i vindmodellering fordi det er mange usikkerheter rundt beplantnings vindpåvirkning. Usikkerheter som type trær, størrelse/høyde på trekrone, bladtetthet, hvorvidt trærne utvikler seg over tid, sesongvariasjoner osv. er vanskelig å fastslå.

<sup>2</sup> <http://www.ansys.com>

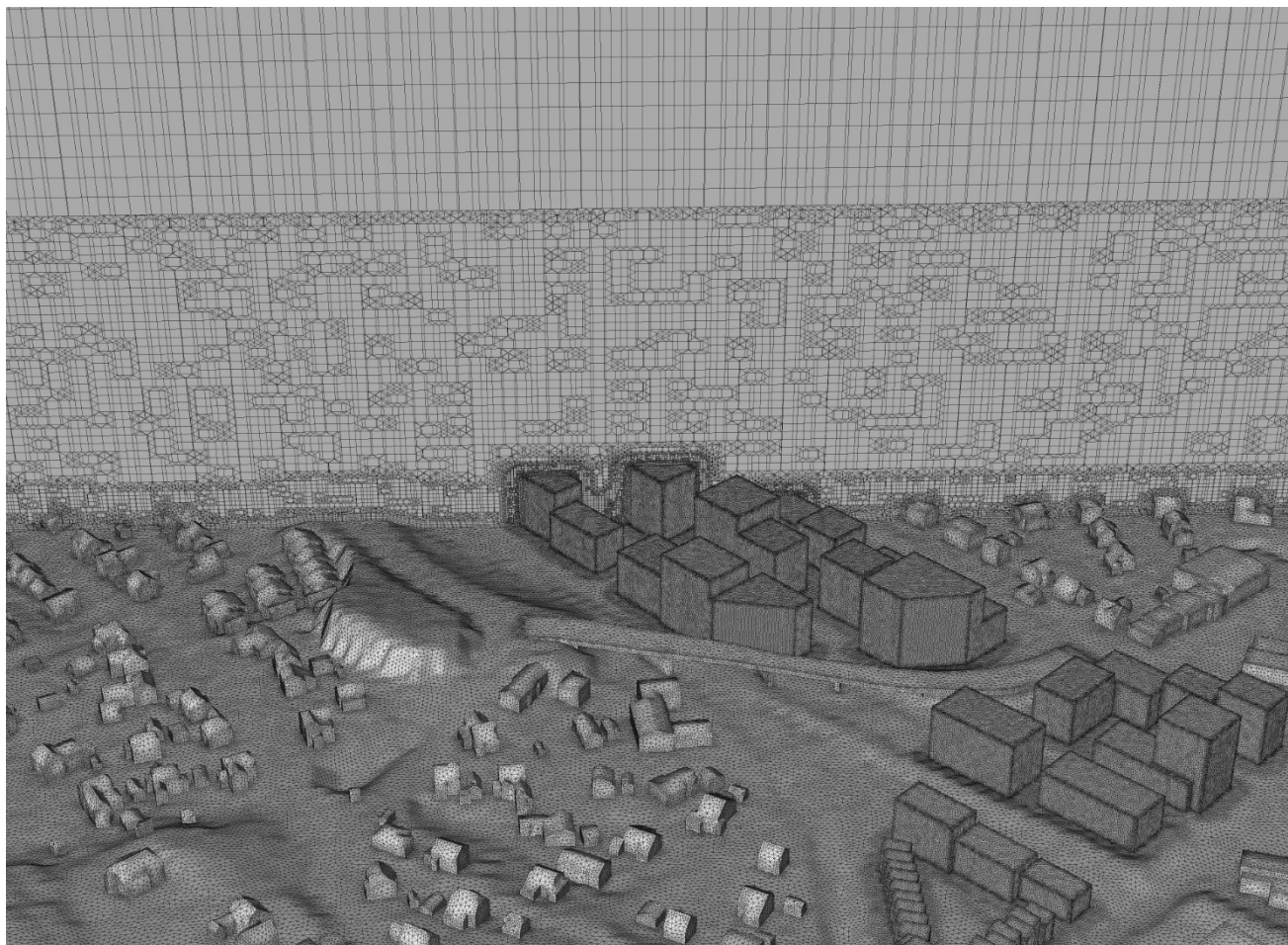
<sup>3</sup> Reynolds-averaged Navier-Stokes, dvs. Reynoldsmidlet Navier-Stokes.

<sup>4</sup> Shear Stress Transport, en kombinasjon av k-epsilon-modell i fristrøm og k-omega-modell langs vegger.

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



Figur 20: Oversikt over CFD-modellen. Sett fra sør.



Figur 21: Visualisering av «meshet», vist på overflater samt et snitt gjennom volumet

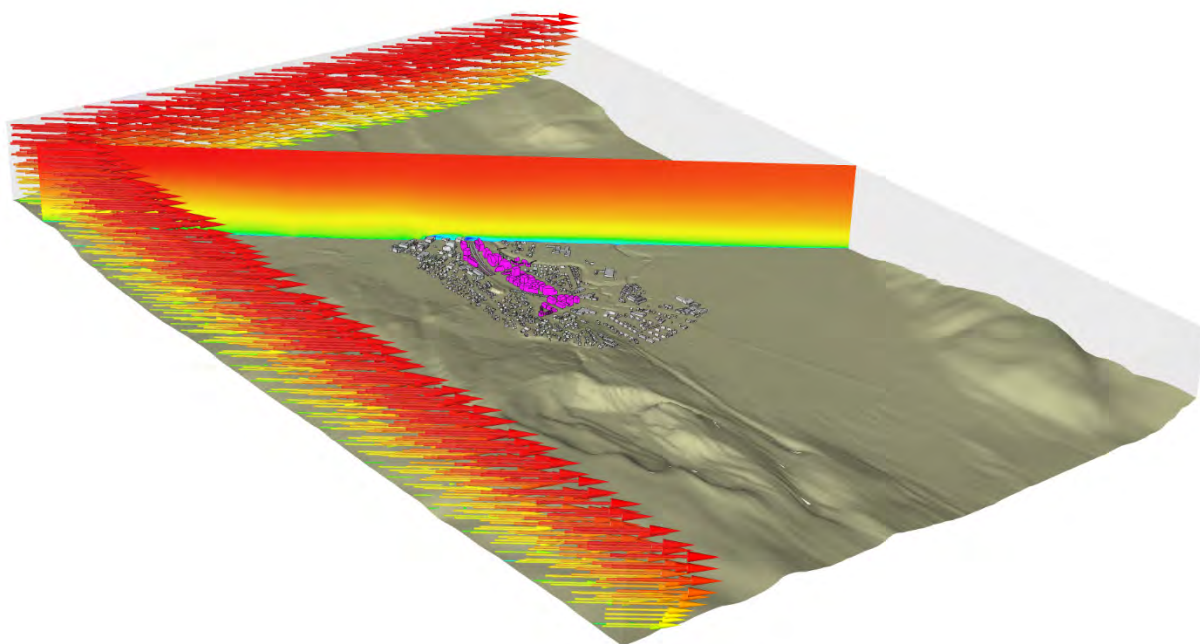
### 6.3 Modelloppsett og grensebetingelser

For alle innløp, utløp, og overflater i modellen må et antall fysiske forhold spesifiseres. I dette tilfellet ble vindhastighet, vindretning og turbulensvariable ( $k$  og  $\epsilon$ ) 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 22 og med vind fra vest. Vindhastighet og turbulens på innløpet er låst til profilene vist i figur 23. 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].

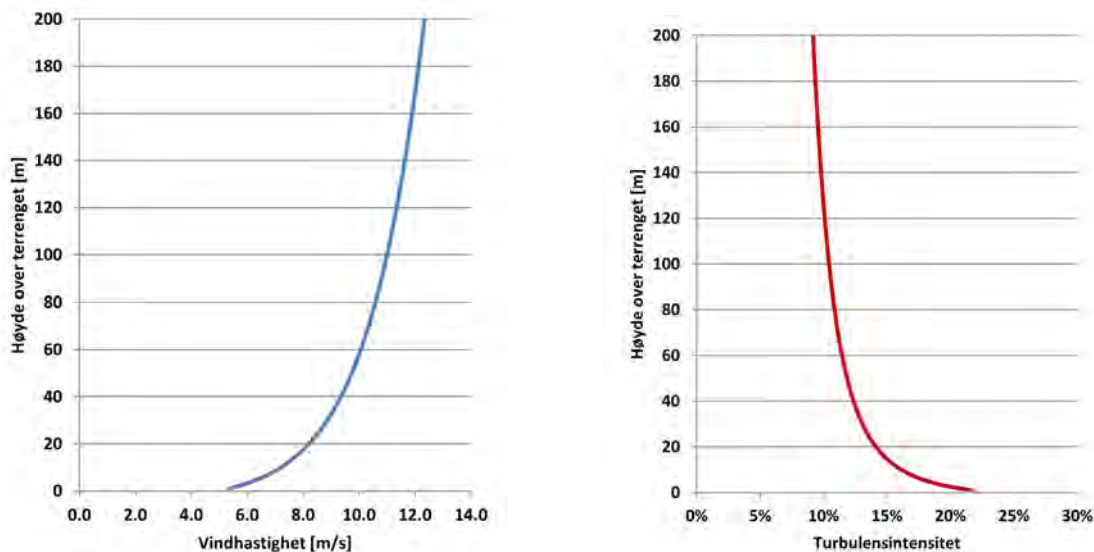
Tabell 4: Grensebetingelser brukt i CFD-beregningene.

Grensebetingelse	Verdi
Innløp	Atmosfærisk hastighets- og turbulensprofil (se figur 23)
Utløp og toppen av domenet	Trykkbetingelse (0 Pa relativt trykk)
Vindstyrke ved 58 m høyde	10 m/s
Vindretninger	0° - 330°, med 30° intervall
Ruhet på bakken ( $z_0$ ) <sup>5</sup>	$z_0 = 0,3$ m for bebyggelse og skog. $z_0 = 0,05$ m for landbruksområder $z_0 = 0,001$ m for vann/sjø



Figur 22: Modellvolum med illustrasjon av grensebetingelser og tverrsnitt med vindhastigheten, her med vind fra vest.

<sup>5</sup> Fundamentals of Atmospheric Modeling. 2nd Edition, Mark Z. Jacobson, Stanford University, California, ISBN:9780521548656, 2005



Figur 23: Grensebetingelser for hastighet og turbulens, her vist med en ruhet langs bakken som tilsvarer en implisitt modellering av nabobebyggelse.

## 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 simuleringsmodellen og feil i den numeriske beregningen.

Mulige kilder til usikkerhet i sammensetningen av simuleringsmodellen 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 simuleringsmodellen), og (ii) ved bruk av validert og kvalitetssikret CFD-programvare (som minimerer potensialet for feil i den numeriske beregningen).

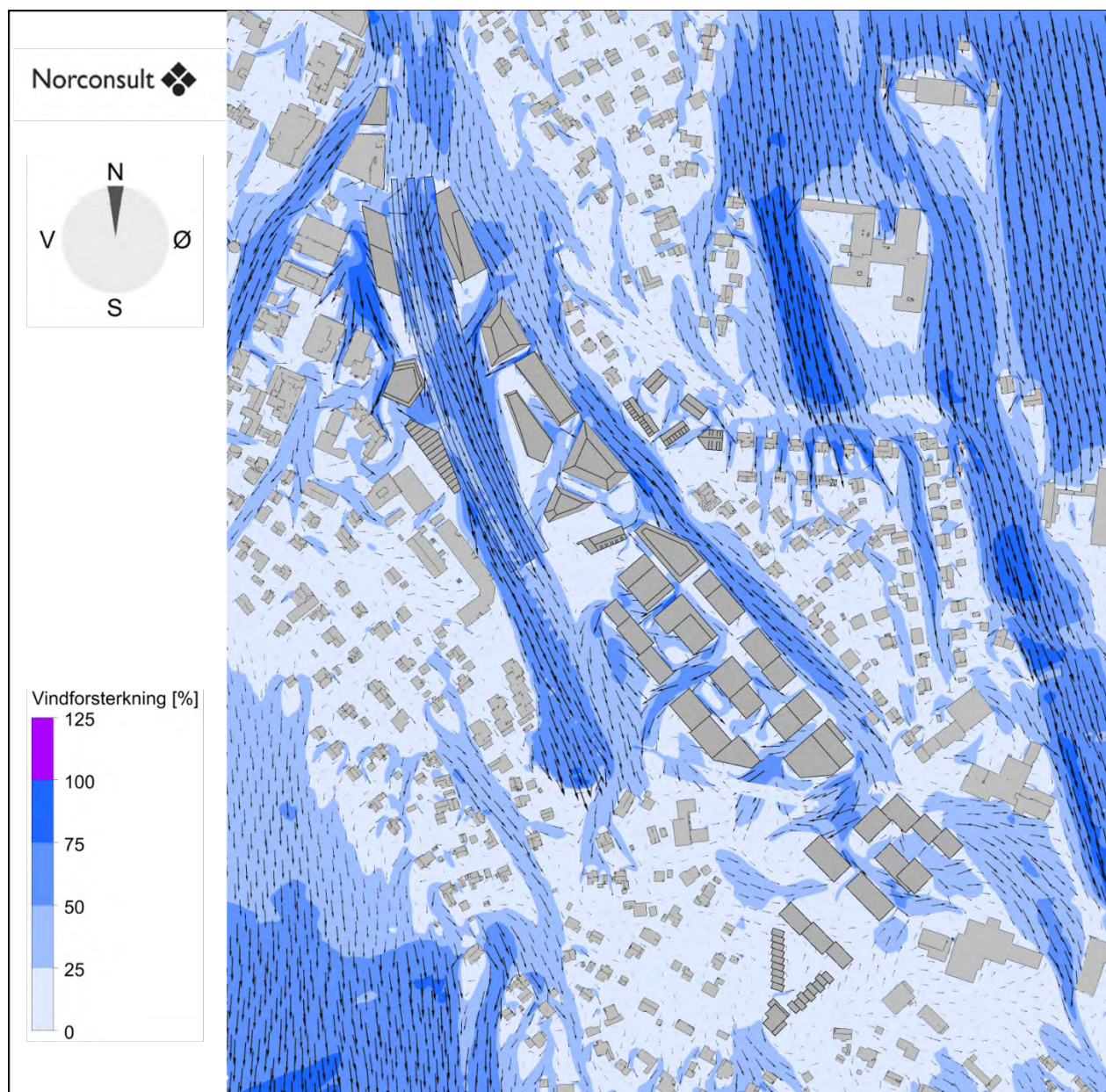
Basert på vår erfaring er ofte den største usikkerhetskilden inngangsdataene. Spørsmål som f.eks. vil utstyret faktisk produsere den spesifiserte varmemengden eller vil viften klare å opprettholde den spesifiserte volumstrømmen når den er i drift.

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 strømnings tekniske systemer i en konseptuell designfase.

## 7 Vedlegg – vindforsterkning

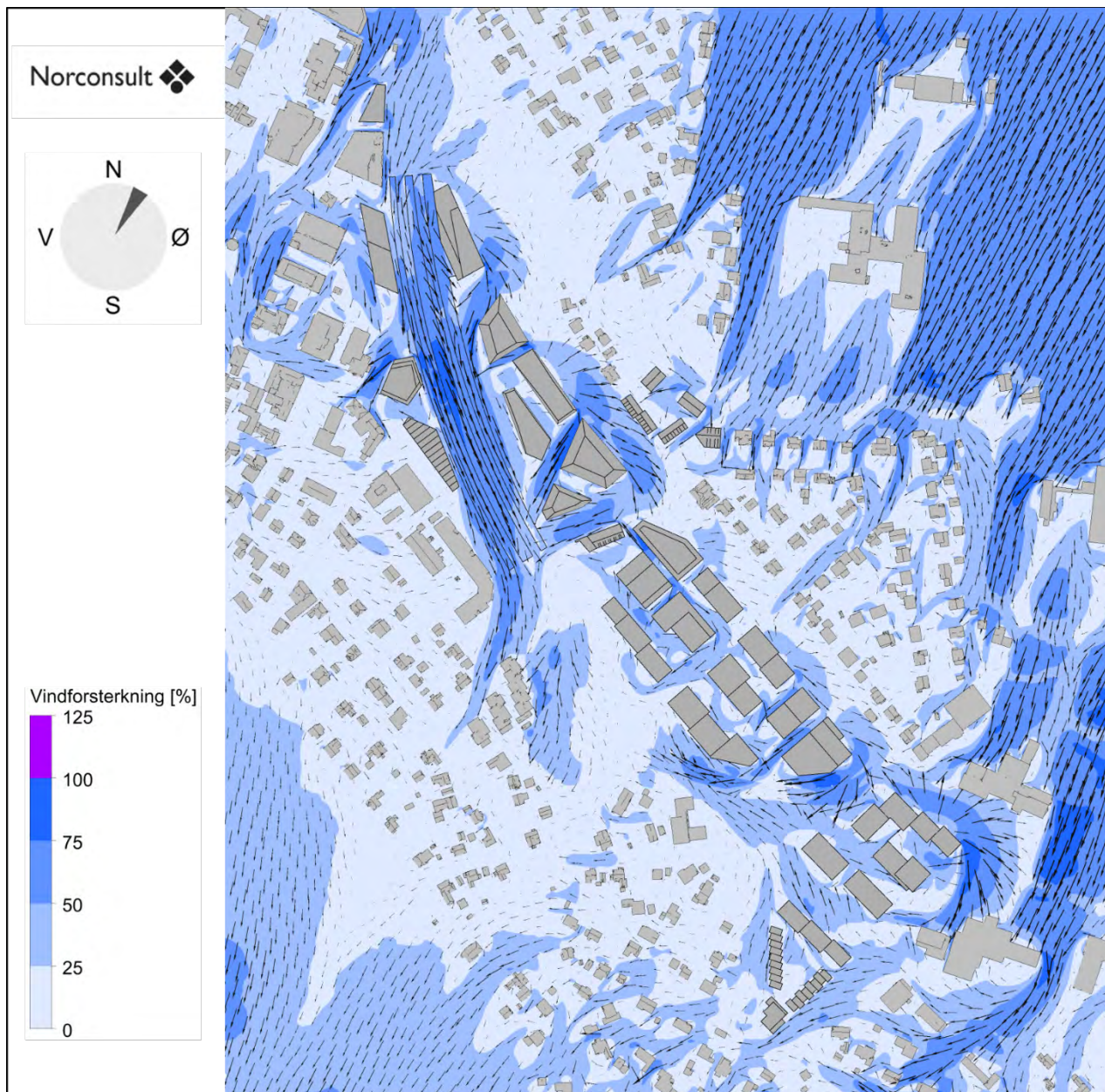
### 7.1 Hovedscenario

#### 7.1.1 Vind fra 0°



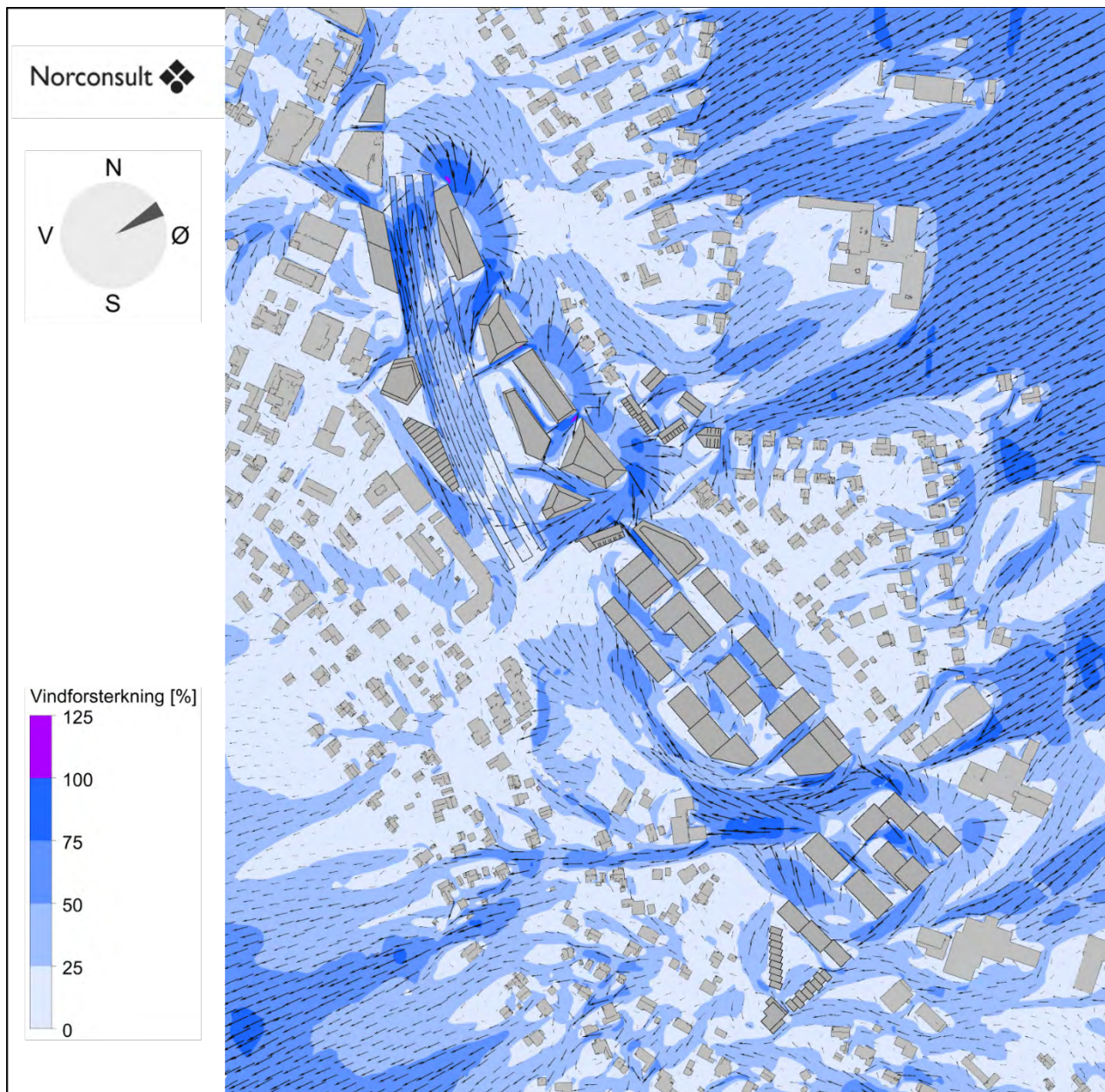
Figur 24: Vindforsterkning og strømningsspiler for Knutepunkt Porsgrunn ved vind fra 0°.

### 7.1.2 Vind fra 30°



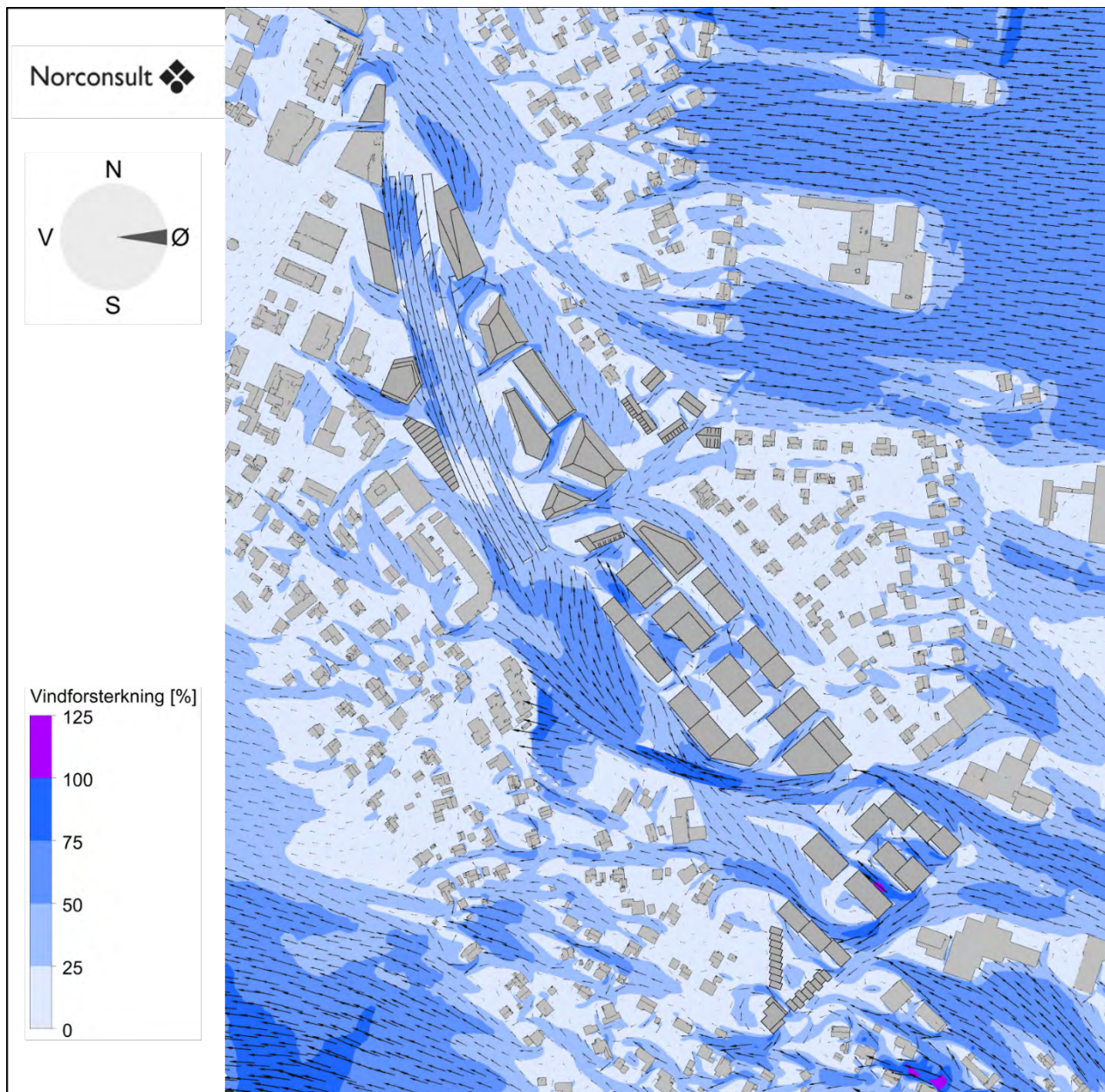
Figur 25: Vindforsterkning og strømningpiler for Knutepunkt Porsgrunn ved vind fra 30°.

### 7.1.3 Vind fra 60°



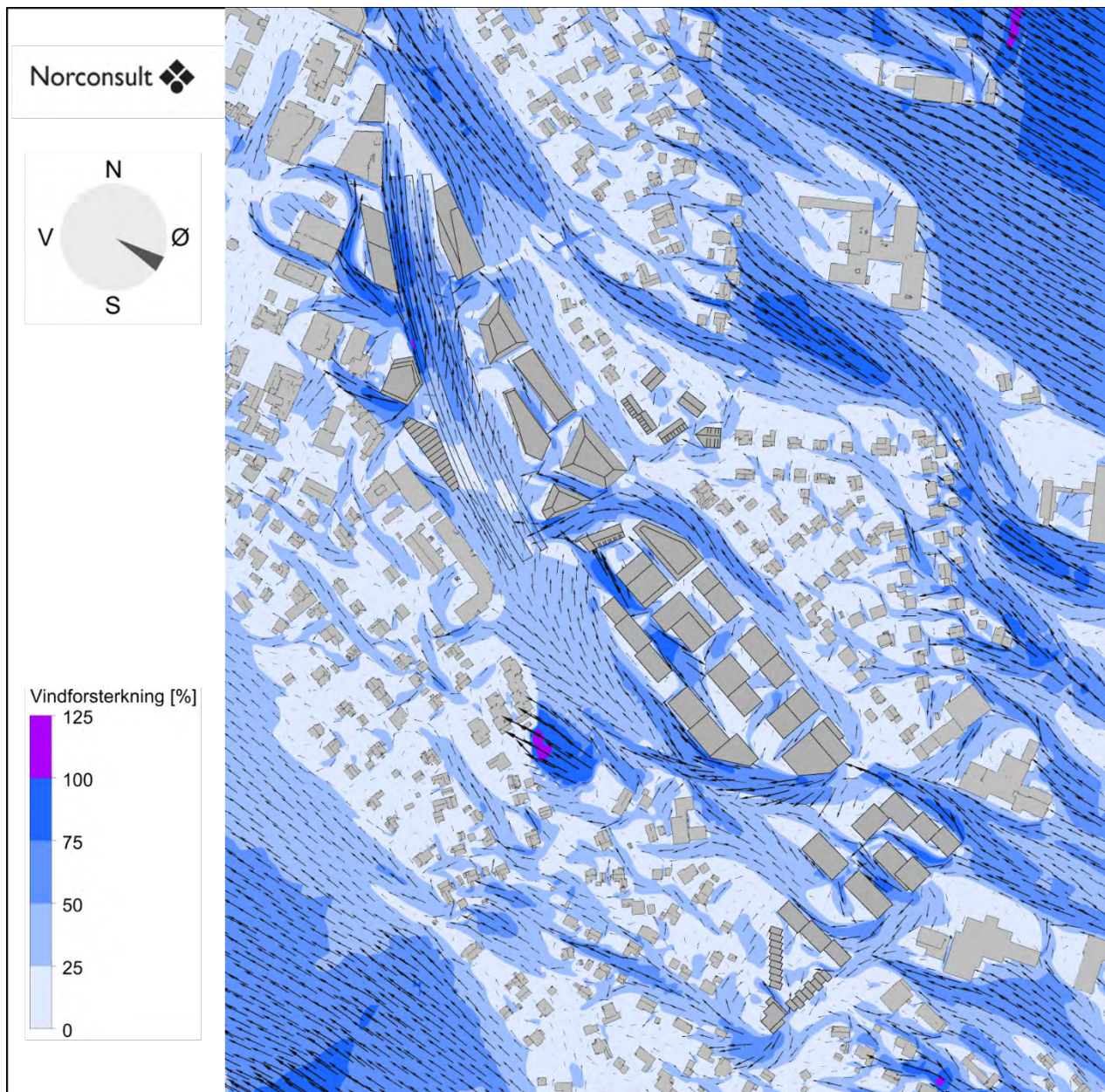
Figur 26: Vindforsterkning og strømningpiler for Knutepunkt Porsgrunn ved vind fra 60°.

### 7.1.4 Vind fra 90°



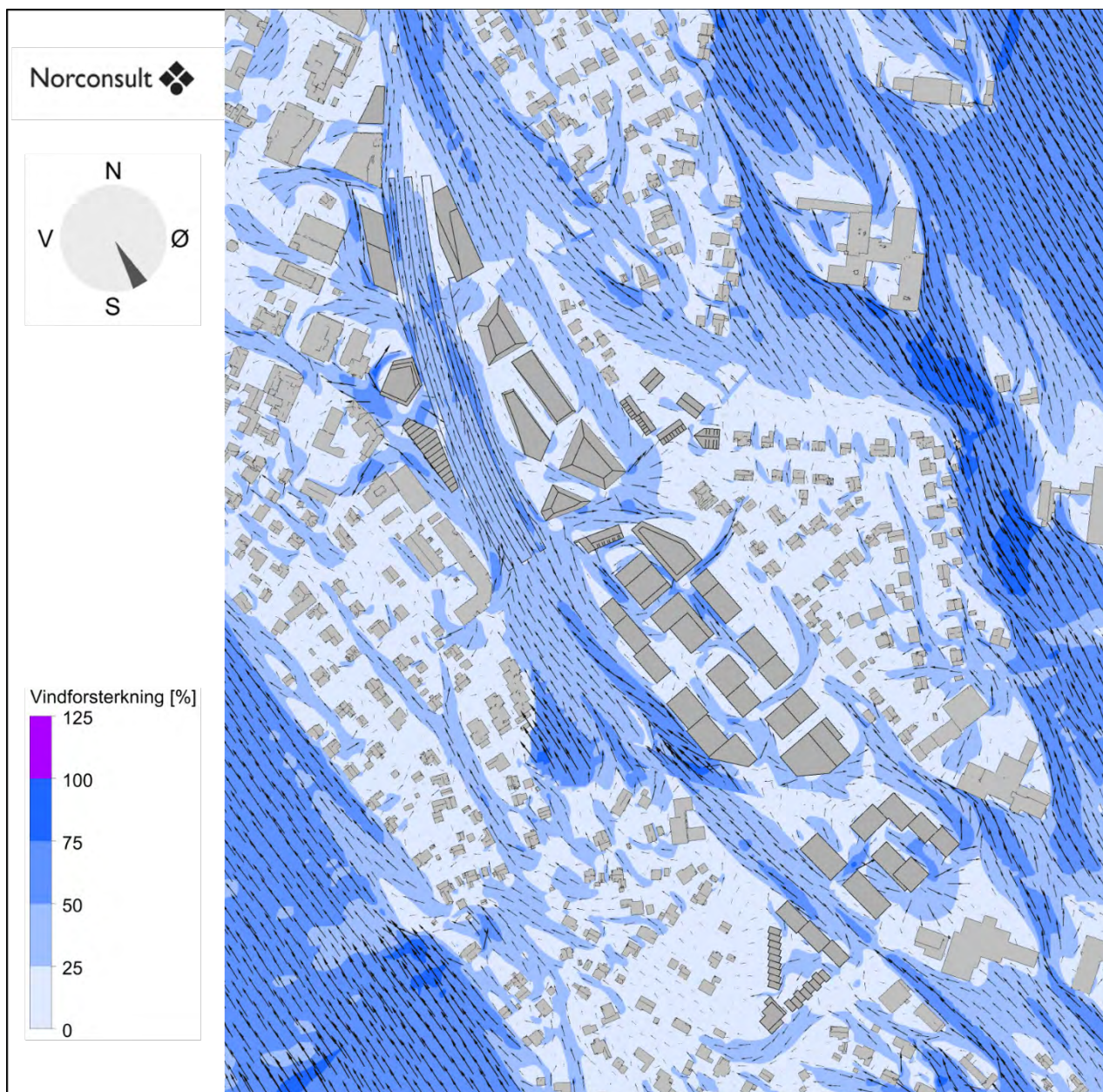
Figur 27: Vindforsterkning og strømningpiler for Knutepunkt Porsgrunn ved vind fra 90°.

### 7.1.5 Vind fra 120°



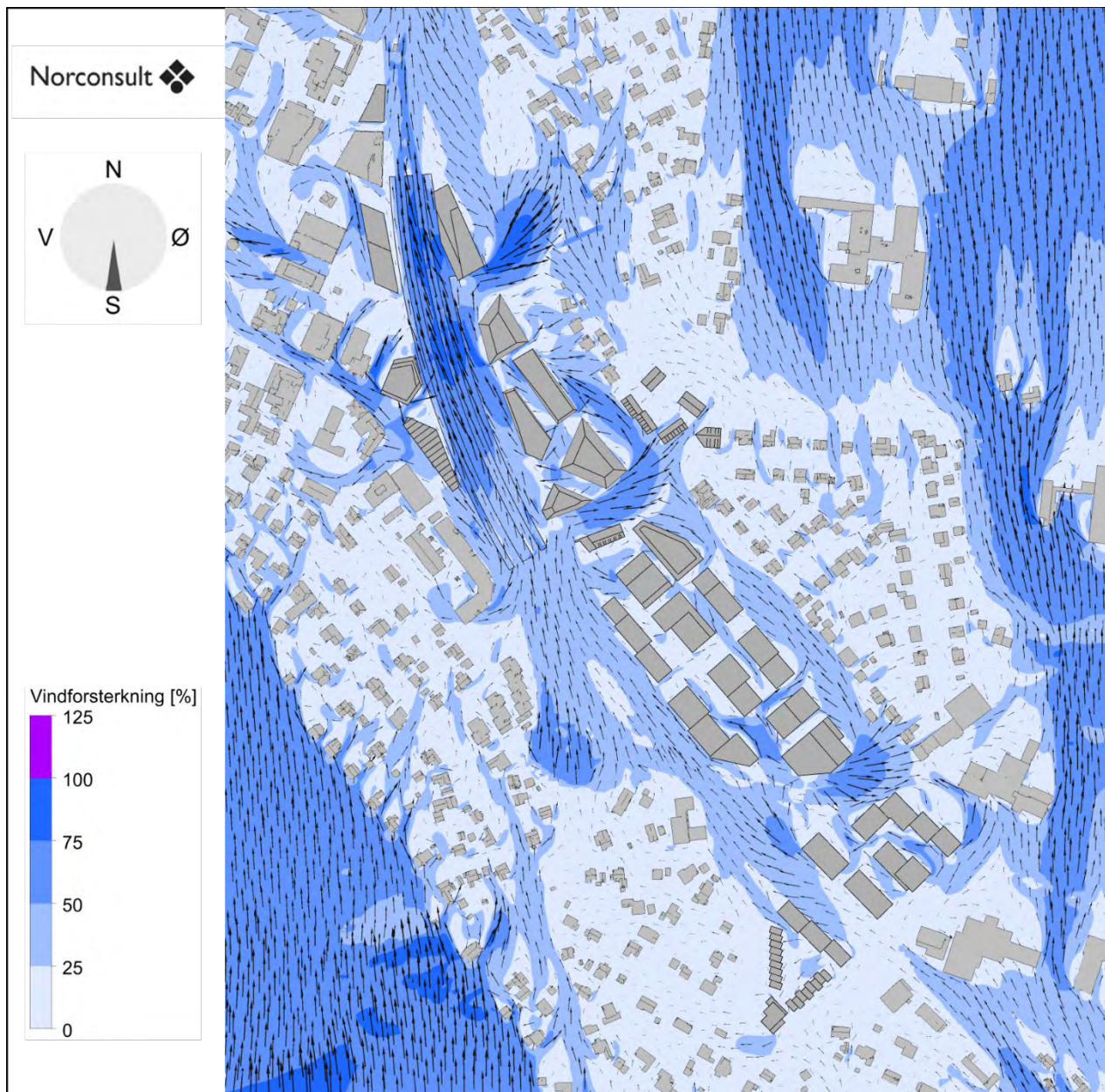
Figur 28: Vindforsterkning og strømningpiler for Knutepunkt Porsgrunn ved vind fra 120°.

### 7.1.6 Vind fra 150°



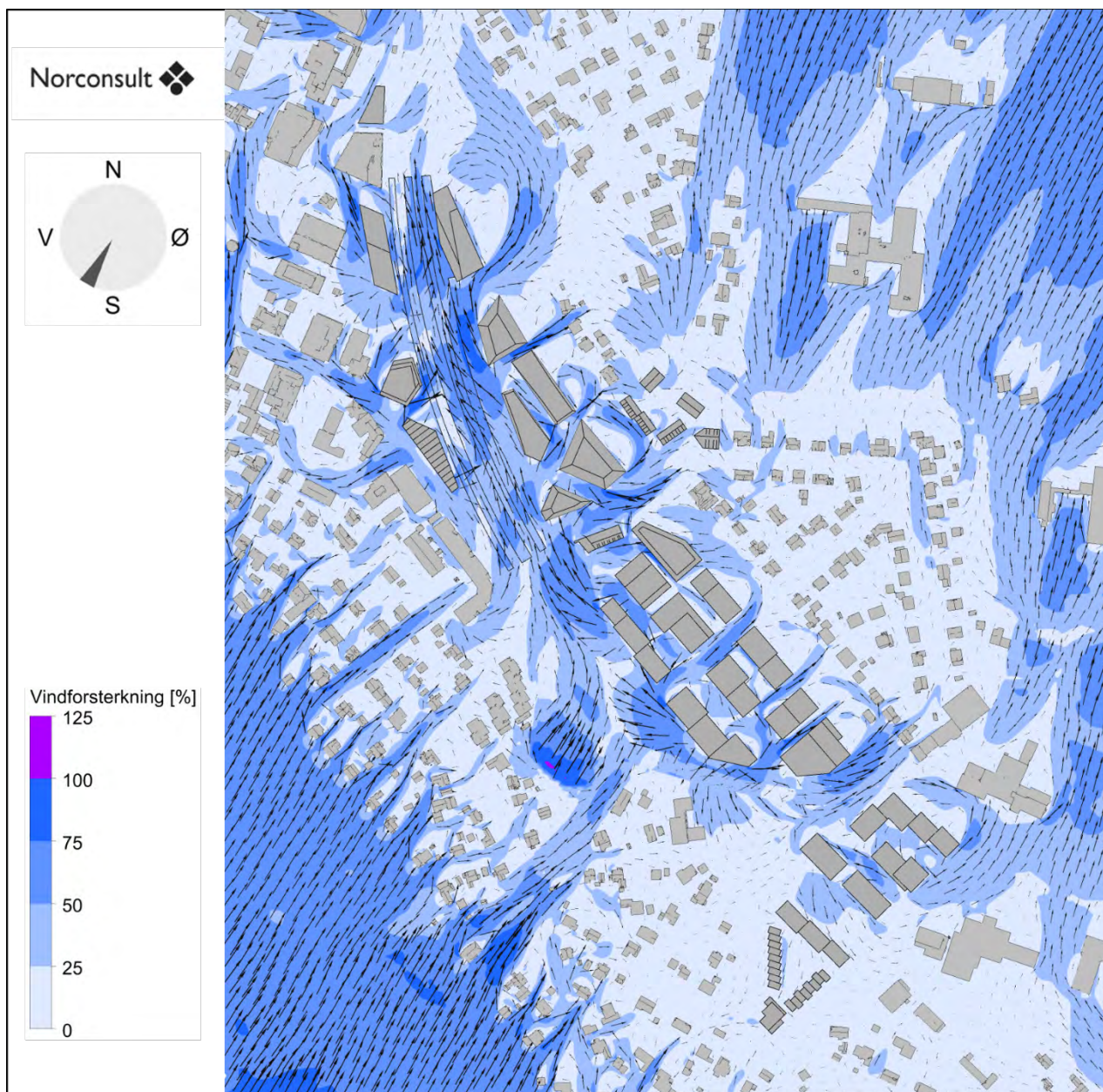
Figur 29: Vindforsterkning og strømningpiler for Knutepunkt Porsgrunn ved vind fra 150°.

### 7.1.7 Vind fra 180°



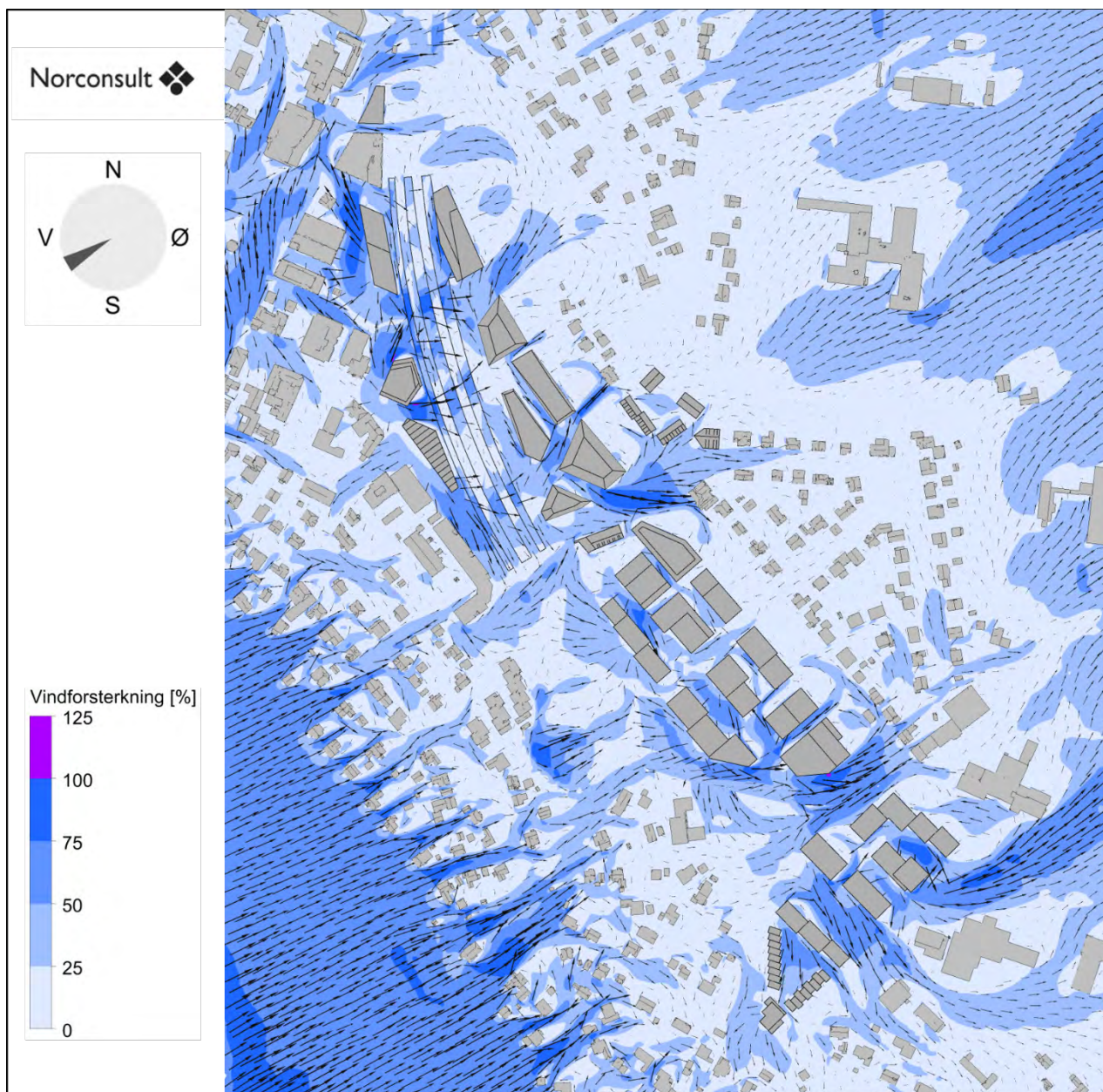
Figur 30: Vindforsterkning og strømningpiler for Knutepunkt Porsgrunn ved vind fra 180°.

### 7.1.8 Vind fra 210°



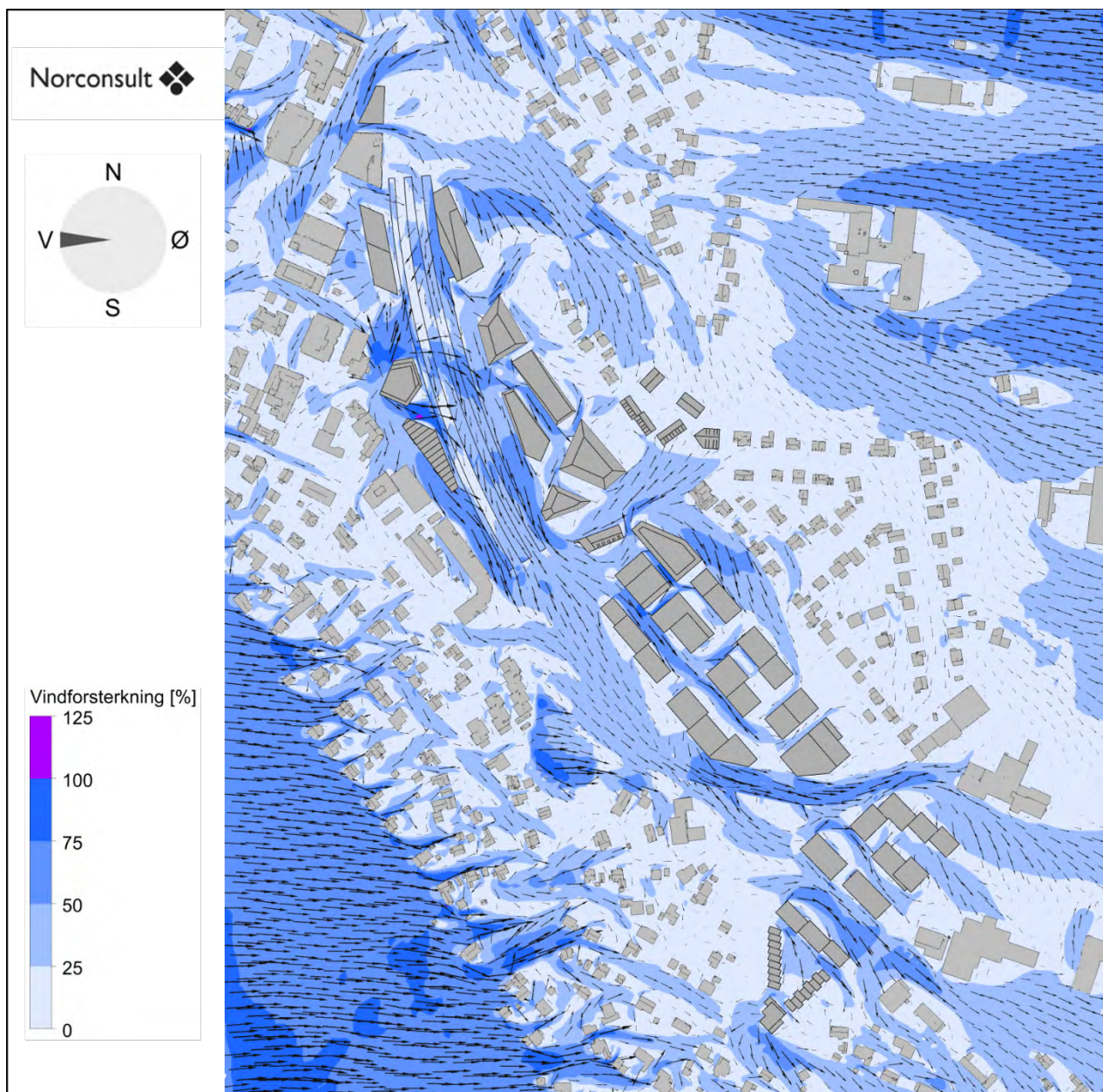
Figur 31: Vindforsterkning og strømningpiler for Knutepunkt Porsgrunn ved vind fra 210°.

### 7.1.9 Vind fra 240°



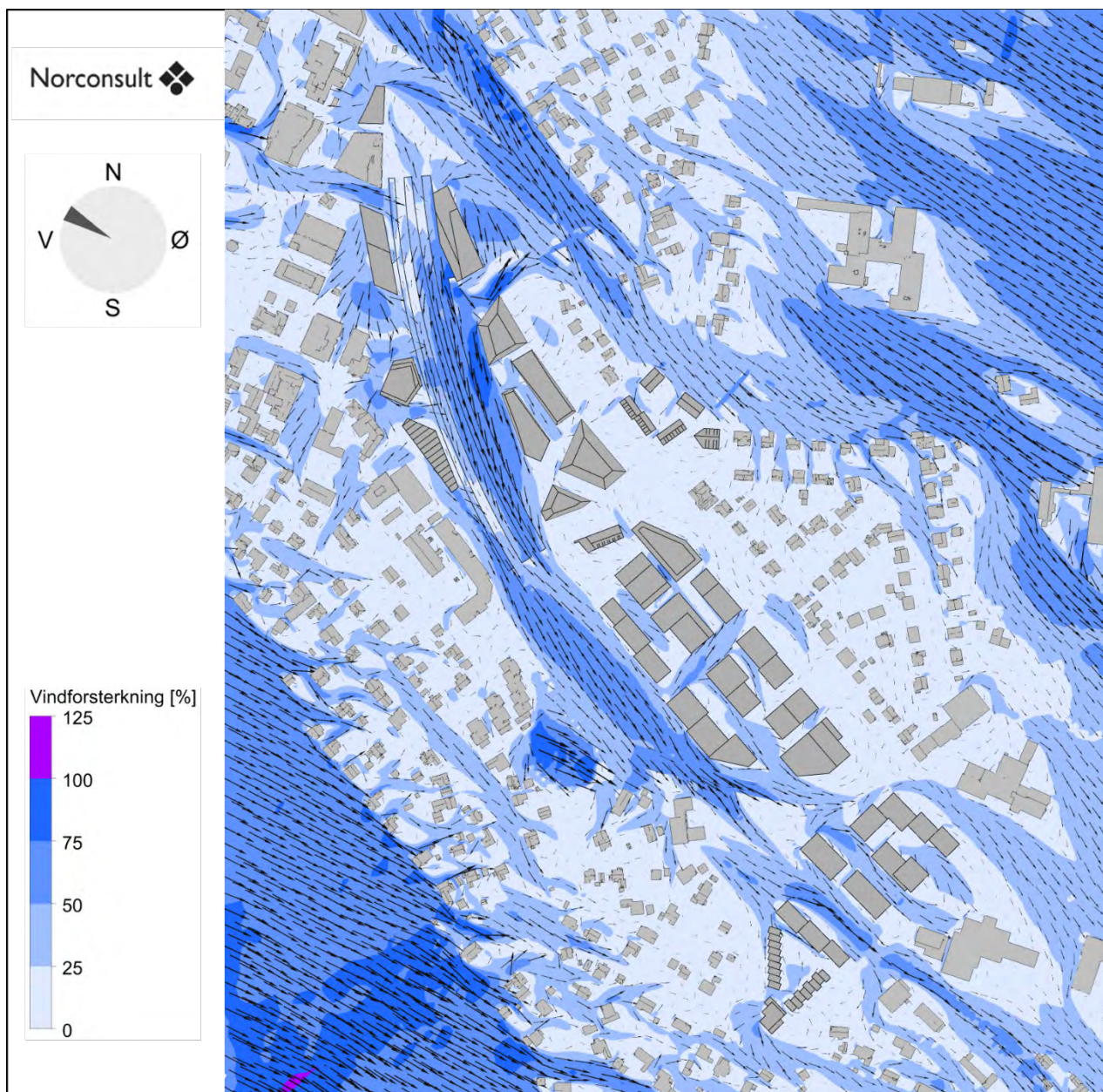
Figur 32: Vindforsterkning og strømningpiler for Knutepunkt Porsgrunn ved vind fra 240°.

### 7.1.10 Vind fra 270°



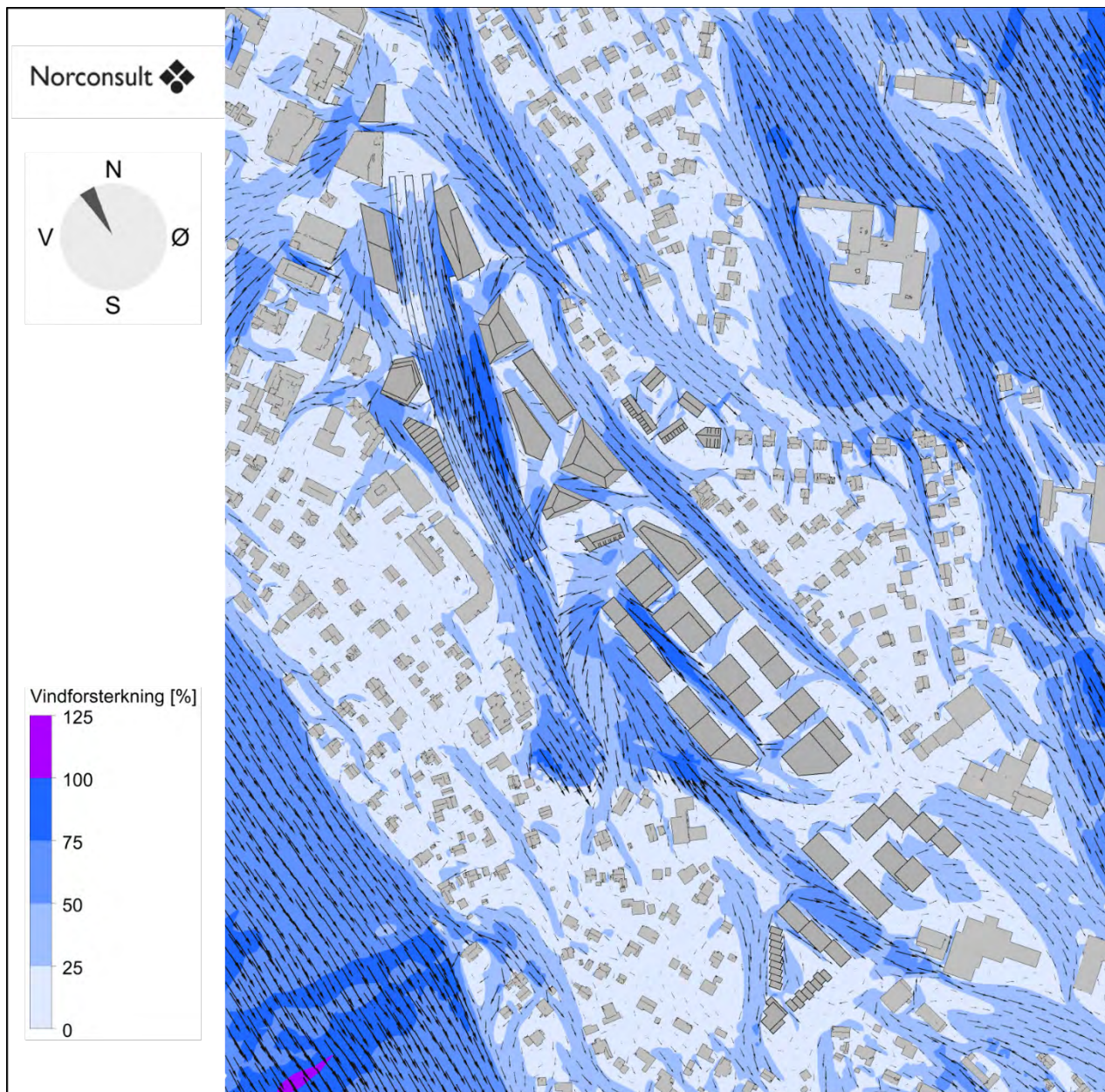
Figur 33: Vindforsterkning og strømningpiler for Knutepunkt Porsgrunn ved vind fra 270°.

### 7.1.11 Vind fra 300°



Figur 34: Vindforsterkning og strømningpiler for Knutepunkt Porsgrunn ved vind fra 300°.

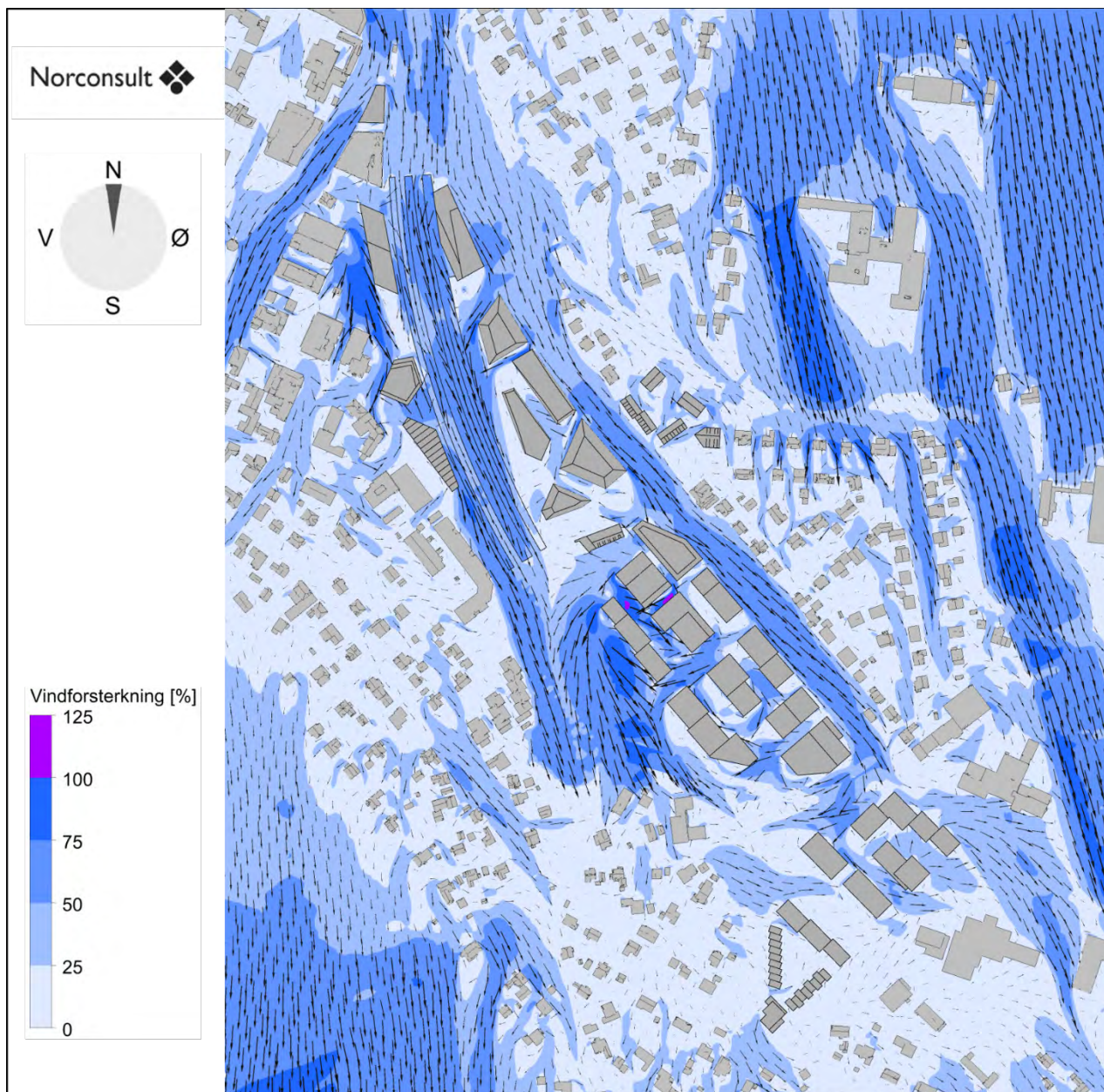
### 7.1.12 Vind fra 330°



Figur 35: Vindforsterkning og strømningpiler for Knutepunkt Porsgrunn ved vind fra 330°.

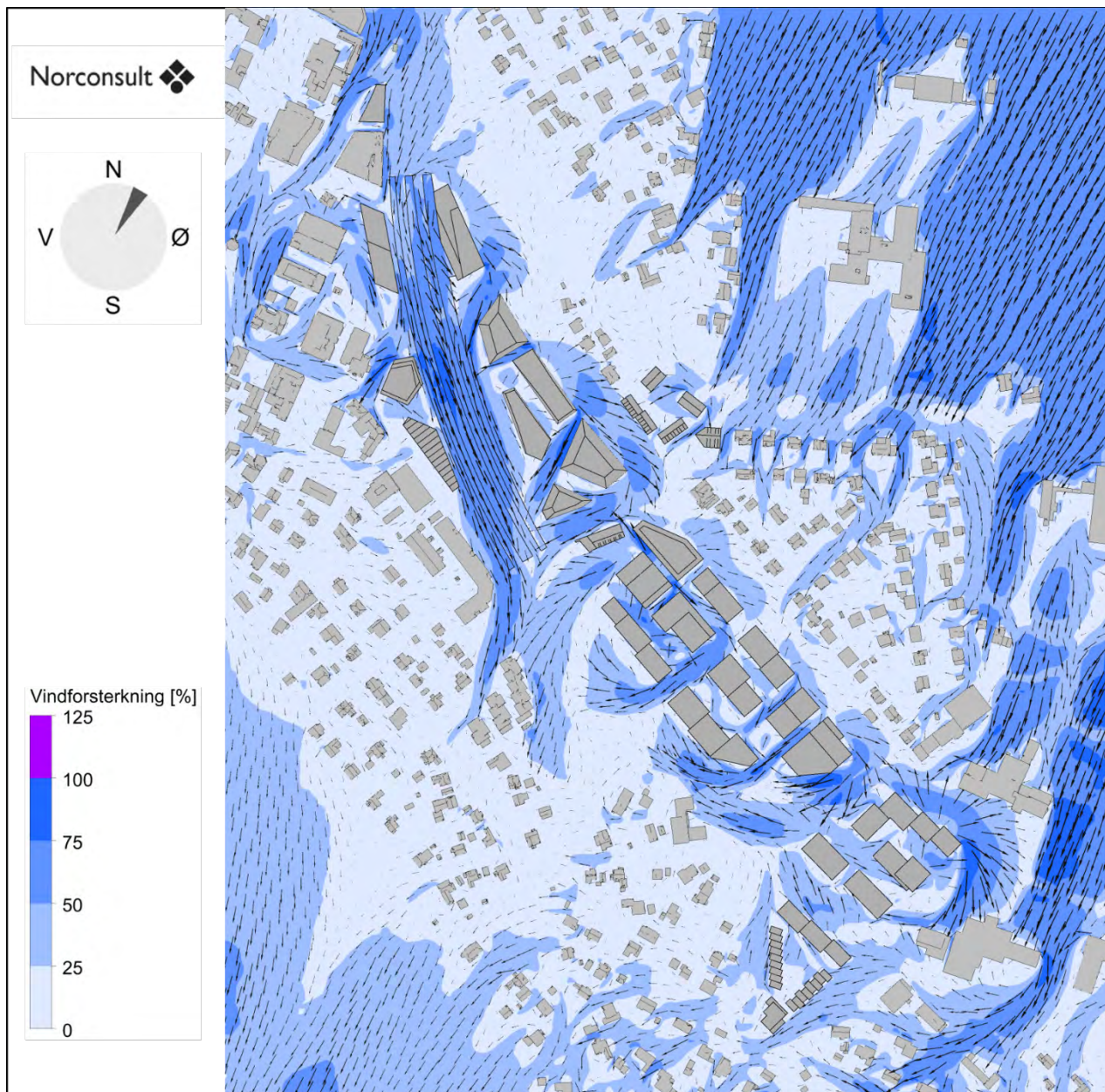
## 7.2 Med 25 etasjer innenfor felt SF9 (BeHa-kvartalet)

### 7.2.1 Vind fra 0°



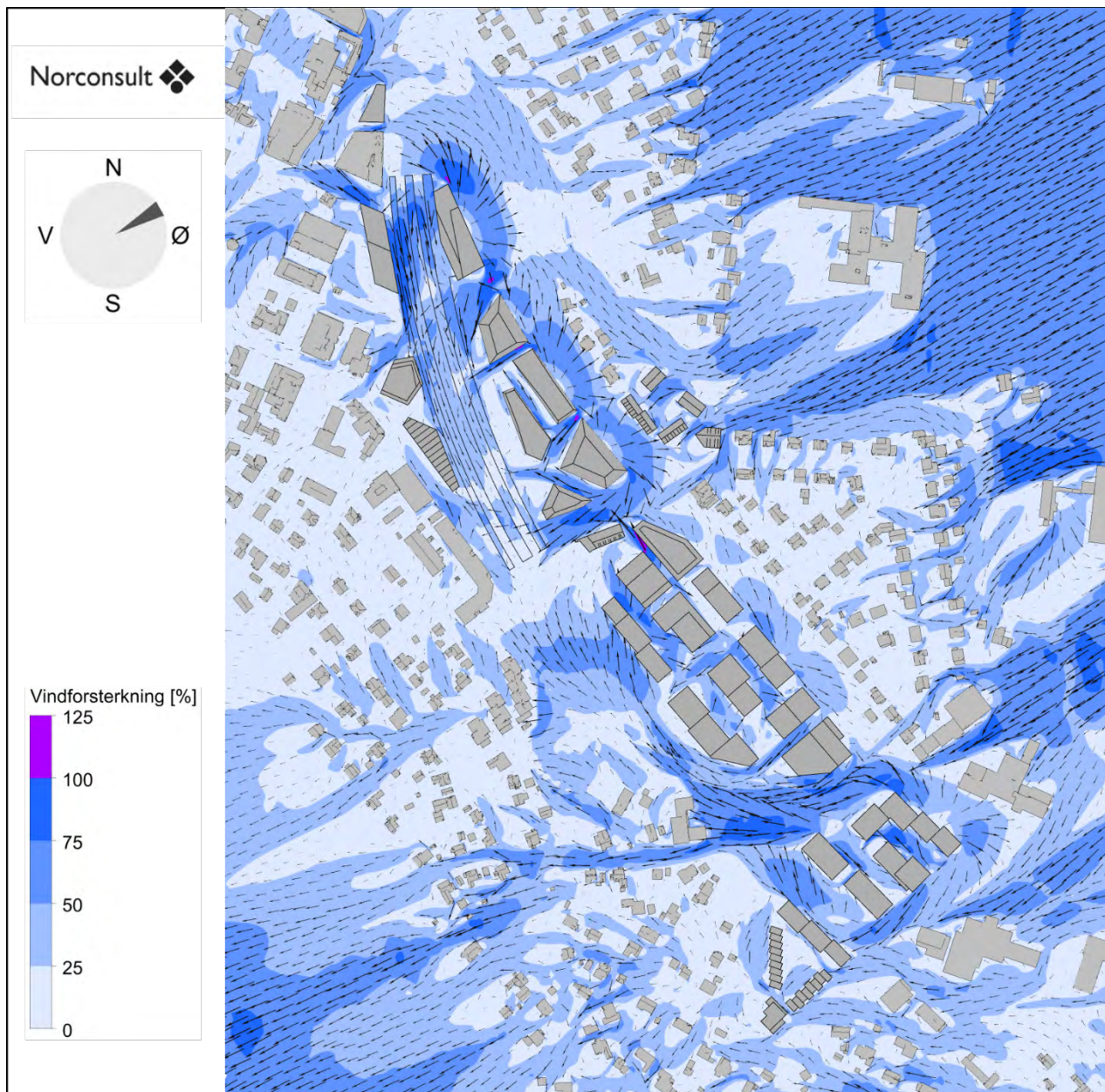
Figur 36: Vindforsterkning og strømningspiler for Knutepunkt Porsgrunn ved vind fra 0°.

### 7.2.2 Vind fra 30°



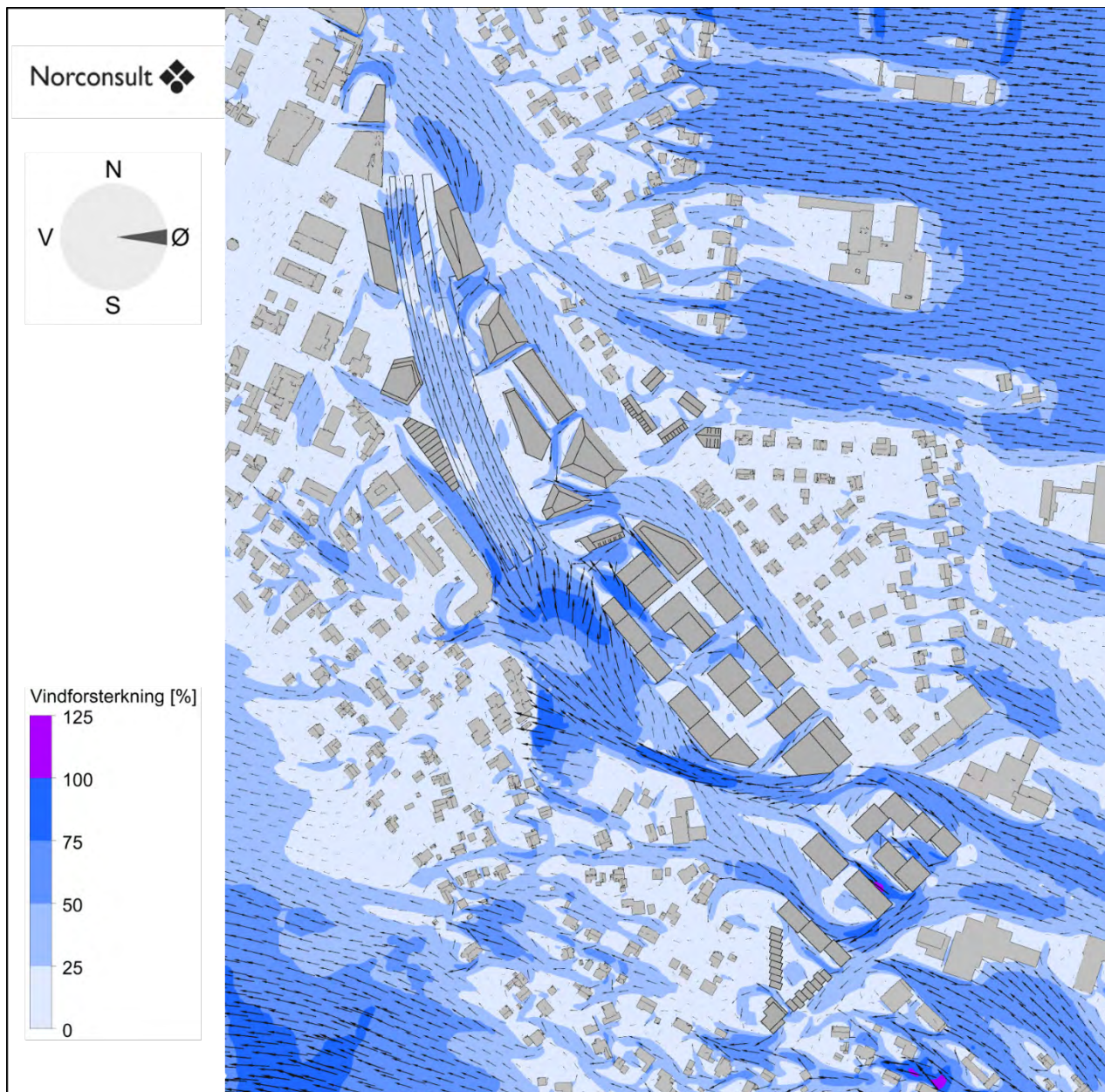
Figur 37: Vindforsterkning og strømningpiler for Knutepunkt Porsgrunn ved vind fra 30°.

### 7.2.3 Vind fra 60°



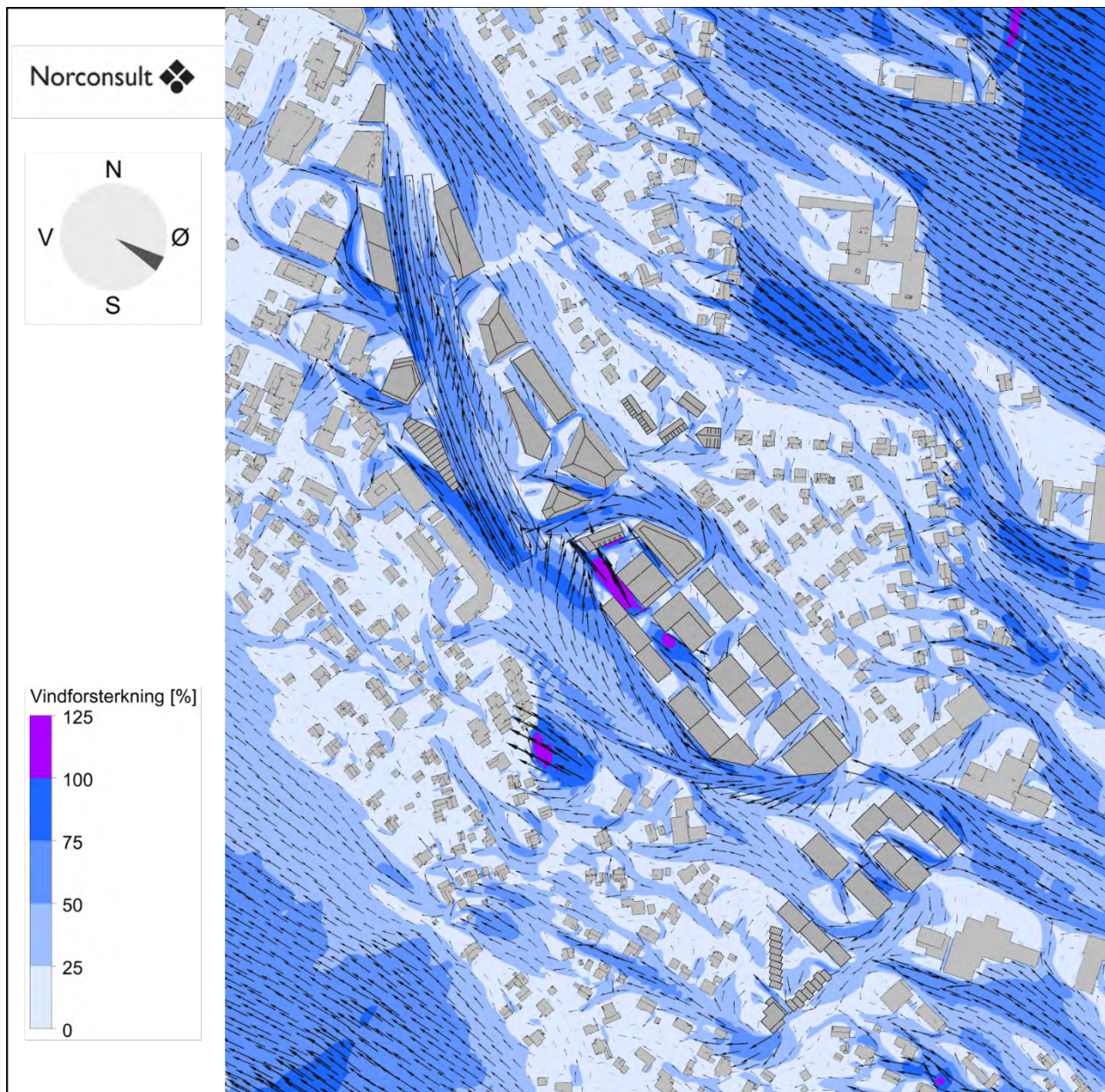
Figur 38: Vindforsterkning og strømningpiler for Knutepunkt Porsgrunn ved vind fra 60°.

### 7.2.4 Vind fra 90°



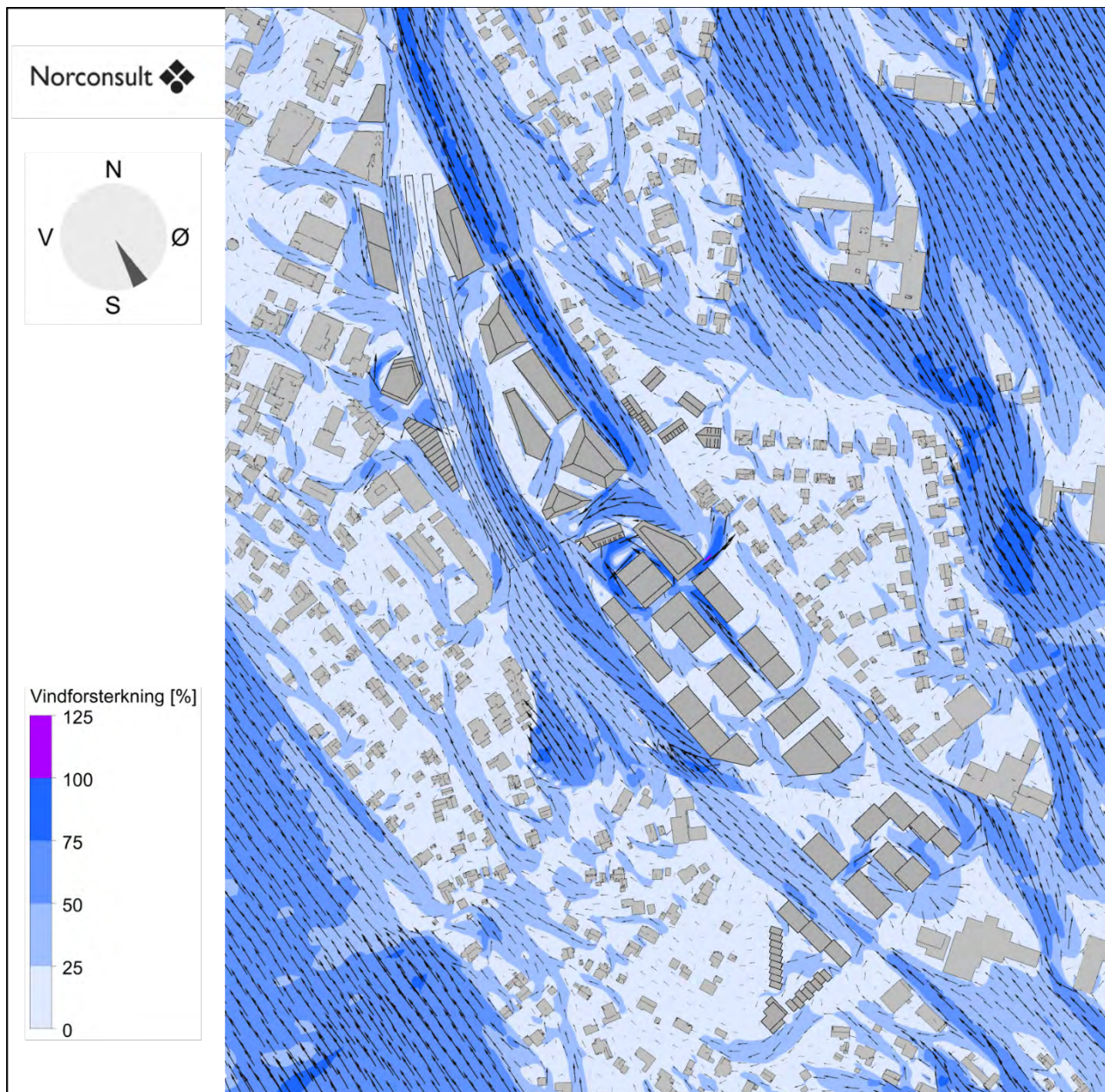
Figur 39: Vindforsterkning og strømningpiler for Knutepunkt Porsgrunn ved vind fra 90°.

### 7.2.5 Vind fra 120°



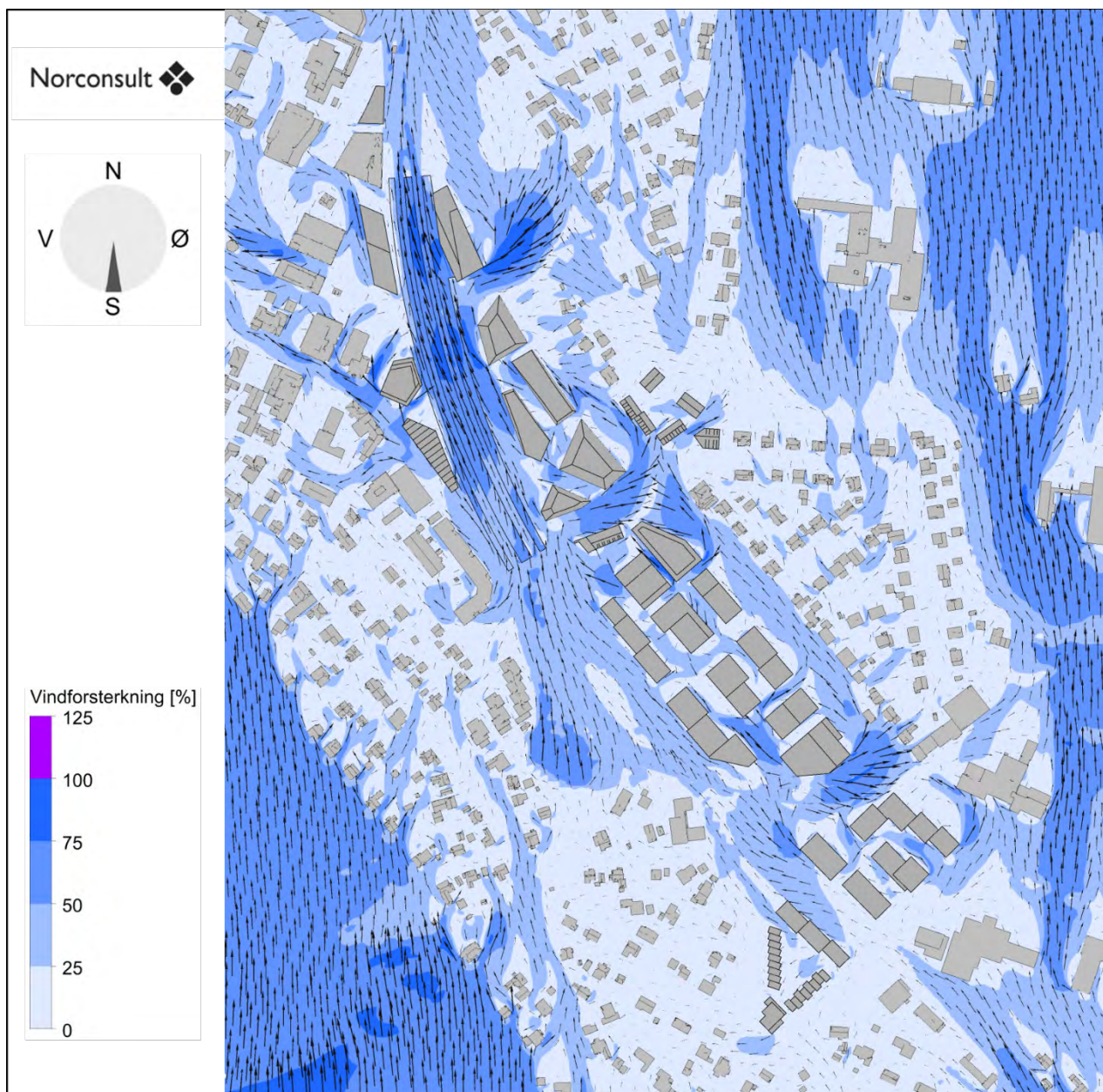
Figur 40: Vindforsterkning og strømningpiler for Knutepunkt Porsgrunn ved vind fra 120°.

### 7.2.6 Vind fra 150°



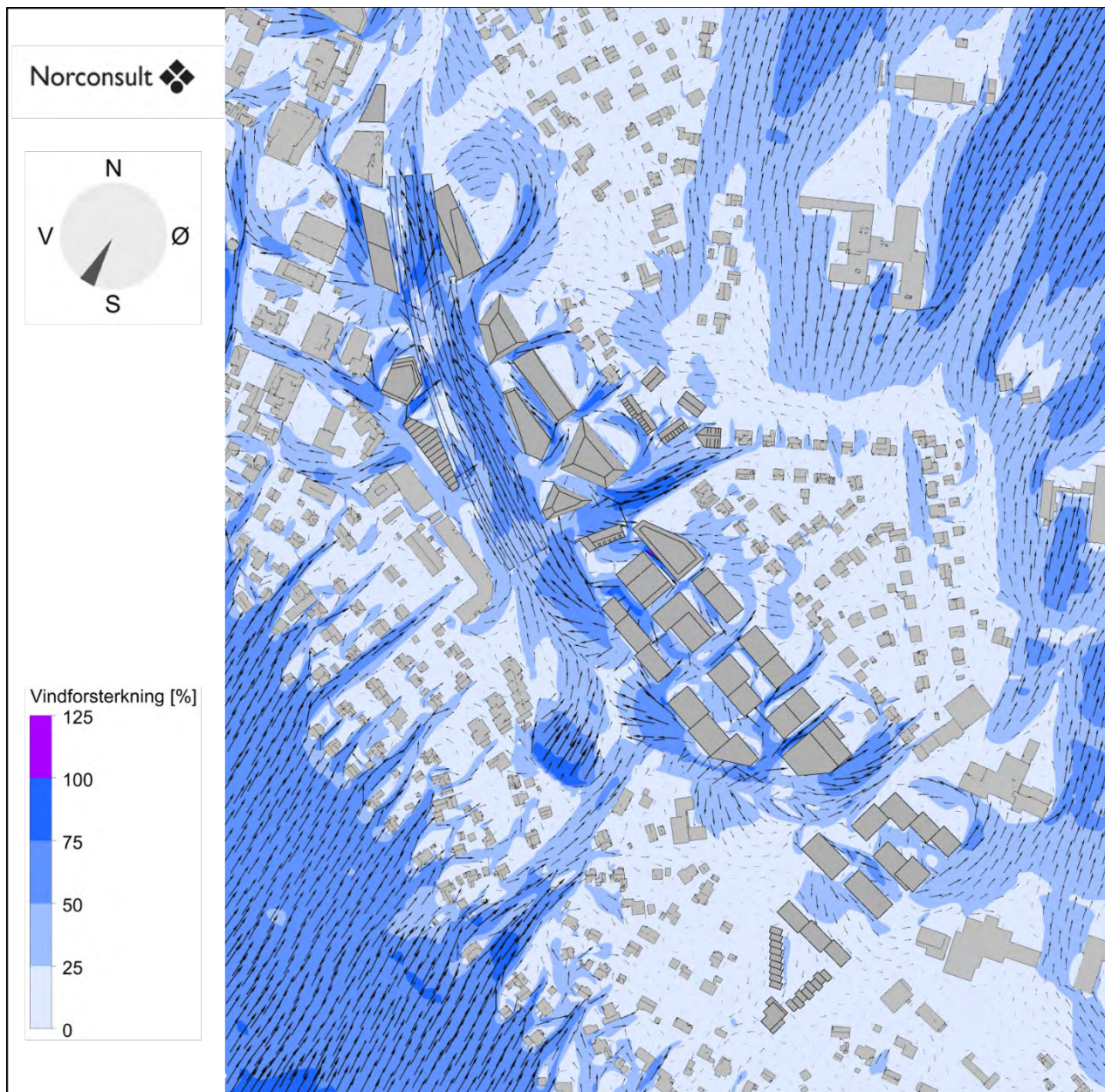
Figur 41: Vindforsterkning og strømningpiler for Knutepunkt Porsgrunn ved vind fra 150°.

### 7.2.7 Vind fra 180°



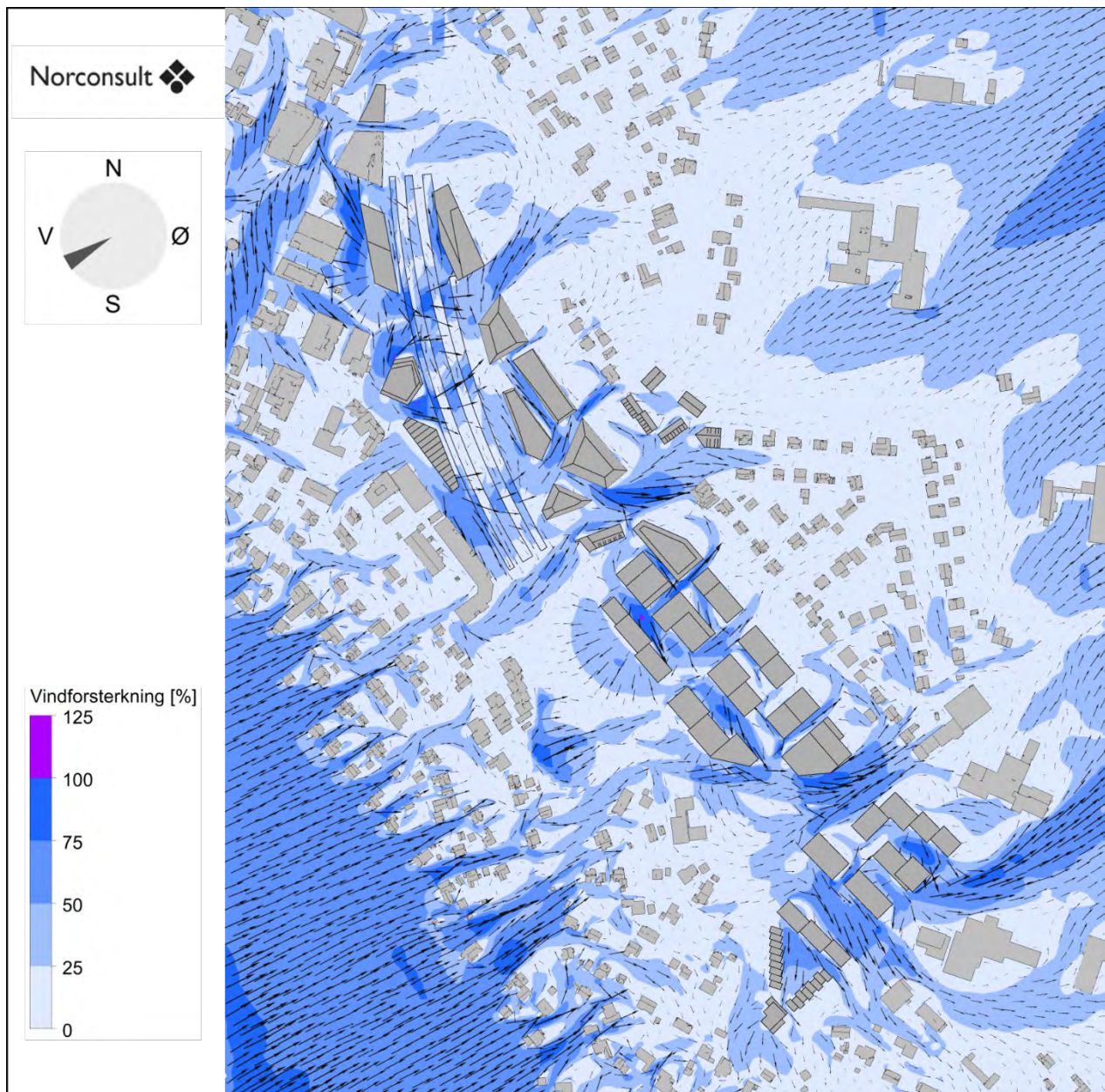
Figur 42: Vindforsterkning og strømningpiler for Knutepunkt Porsgrunn ved vind fra 180°.

### 7.2.8 Vind fra 210°



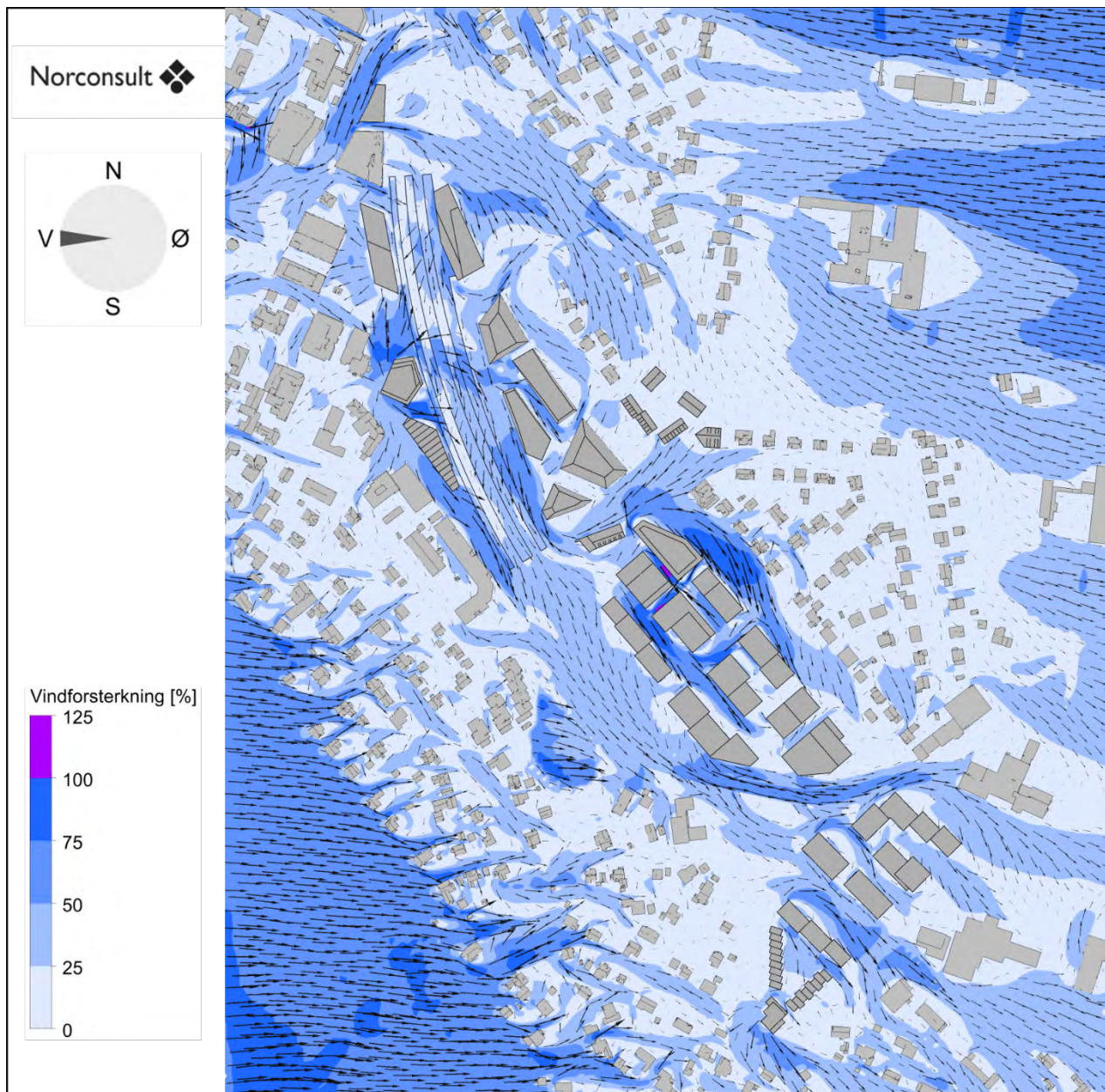
Figur 43: Vindforsterkning og strømningpiler for Knutepunkt Porsgrunn ved vind fra 210°.

### 7.2.9 Vind fra 240°



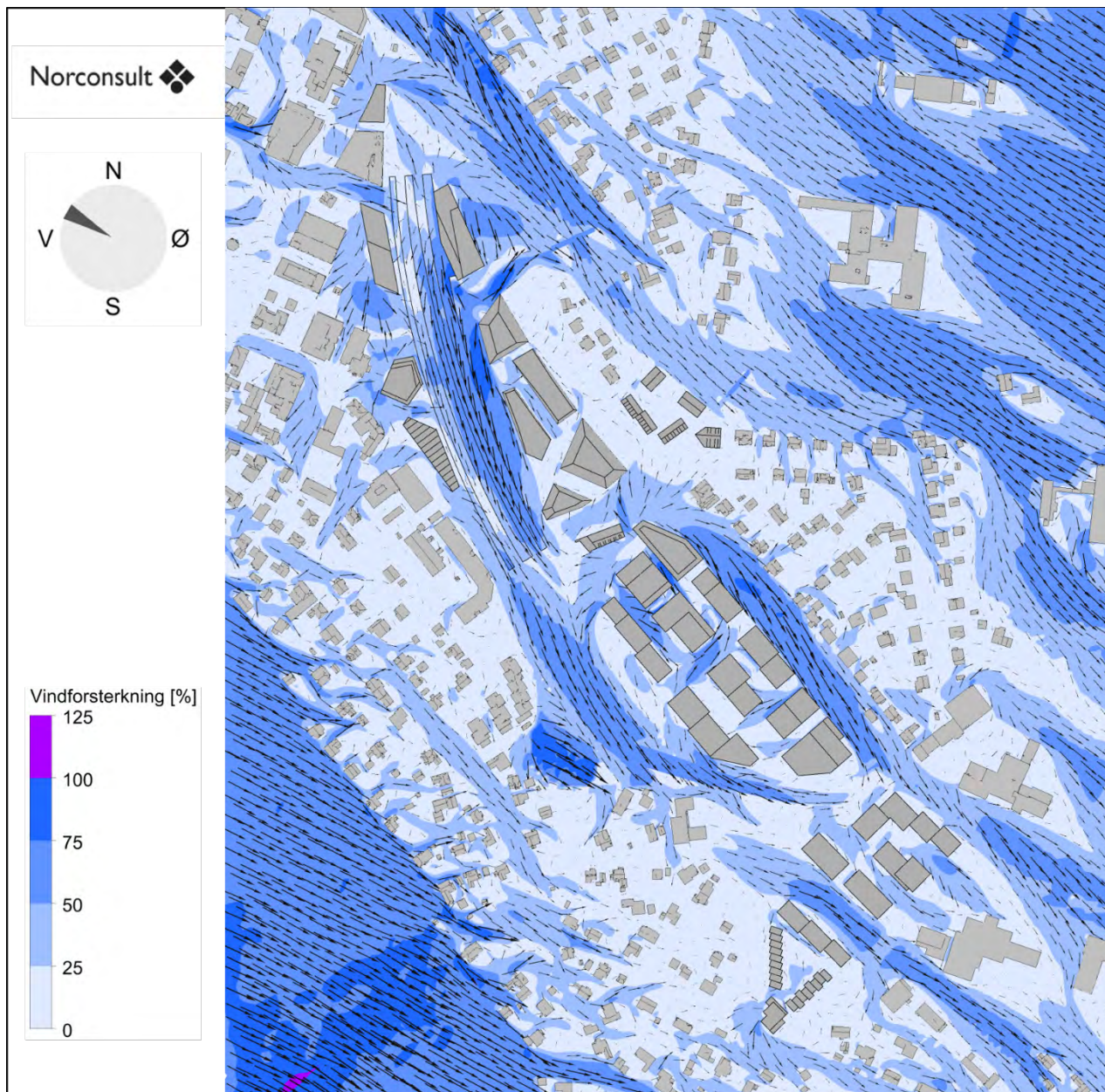
Figur 44: Vindforsterkning og strømningpiler for Knutepunkt Porsgrunn ved vind fra 240°.

### 7.2.10 Vind fra 270°



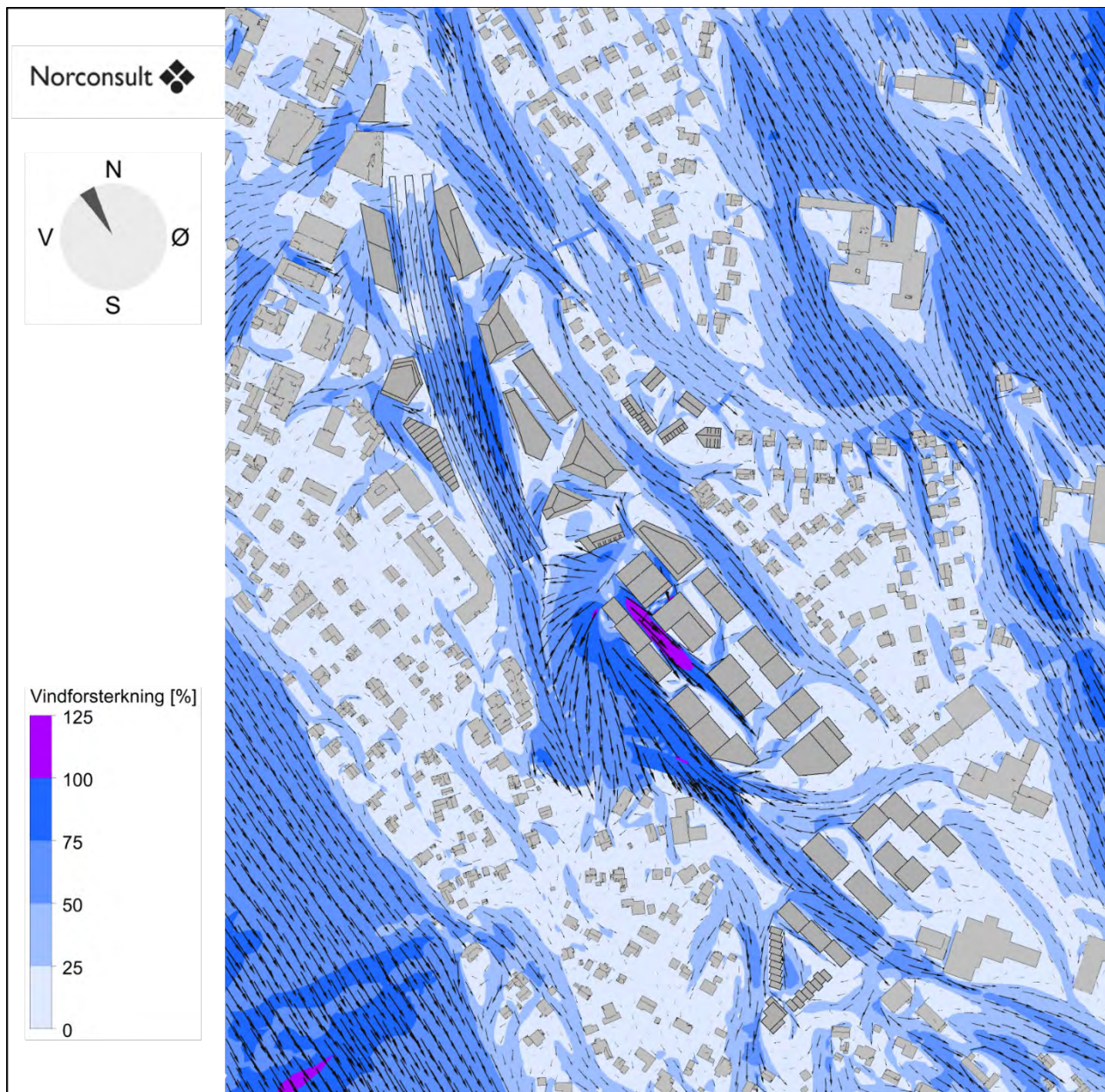
Figur 45: Vindforsterkning og strømningpiler for Knutepunkt Porsgrunn ved vind fra 270°.

### 7.2.11 Vind fra 300°



Figur 46: Vindforsterkning og strømningpiler for Knutepunkt Porsgrunn ved vind fra 300°.

### 7.2.12 Vind fra 330°



Figur 47: Vindforsterkning og strømningpiler for Knutepunkt Porsgrunn ved vind fra 330°.



**PORSGRUNN  
KOMMUNE**

## **Servicesenteret**

35 54 70 00

## **Besøksadresse**

Storgata 153

3915 Porsgrunn

## **Postadresse**

Postboks 128

3901 Porsgrunn

[www.porsgrunn.kommune.no](http://www.porsgrunn.kommune.no)

