

ENERGI VIBORG KRAFTVARME A/S KULDESPREDNINGSANALYSE AF VARMEPUMPEENHED, TAPHEDEVEJ

Projekt navn	EVK, Varmepumpe Taghedevej
Projektnr.	1100029287-010
Modtager	Energi Viborg Kraftvarme A/S
Dokumenttype	Rapport
Version	1
Dato	2020-10-07
Udarbejdet af	DPL
Kontrolleret af	SLH
Godkendt af	ARM
Beskrivelse	Endelig udgave

INDHOLD

1.	Introduktion	1
2.	Resume	3
3.	Metodebeskrivelse	4
4.	Resultater for recirkulation mellem afkast og luftindtag	6
5.	Resultater for kuldespredning	8
5.1	Resultatplot for alle vindretninger	9

1. Introduktion

Energi Viborg Kraftvarme A/S påtænker at etablere en varmepumpeenhed til levering af fjernvarme på forsyningsnettet. Varmepumpeenheden i denne analyse er placeret mellem Nordre Ringvej og Randersvej øst for Viborg. Området nær varmepumpeenheden er karakteriseret ved få bygninger og beplantninger. Varmepumpens fordampereenhed udføres som en "luftkøler", hvor udeluften trækkes (eller blæses) gennem fordamper-kredsen til fordampning af kølemidlet. Herved afkøles udeluften idet varme overføres til kølemidlet.

Der er regnet for opadrettet afkast fra fordampereenheden for at belyse hvordan dette valg vil påvirke kuldespredning i nærområdet og recirkulation af afkastluften tilbage til fordamperens luftindtag. Beregningerne er udført for 12 vindretninger med 30° interval, og ved en lav vindhastighed på 2 m/s i 10 m højde. Dette med den hensigt at repræsentere forhold med størst mulig afkøling i nærområdet, og værste betingelser for recirkulation mellem afkast og indtag, således at beregningerne kan betragtes som "værst tænkelige" scenarier.



Figur 1-1 Placering af varmepumpeanlæg.

Beregningerne gennemføres ved CFD (Computational Fluid Dynamics) analyse af strømnings- og opblandingsforholdene for følgende driftsscenarie:

Driftsscenarie:

Omgivelsesluft:

Temperatur $T_{omg} = 7 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Afkastluft:

Temperatur $T_{afg} = 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Energioptag $\dot{Q} = 4,76 \text{ MW}$

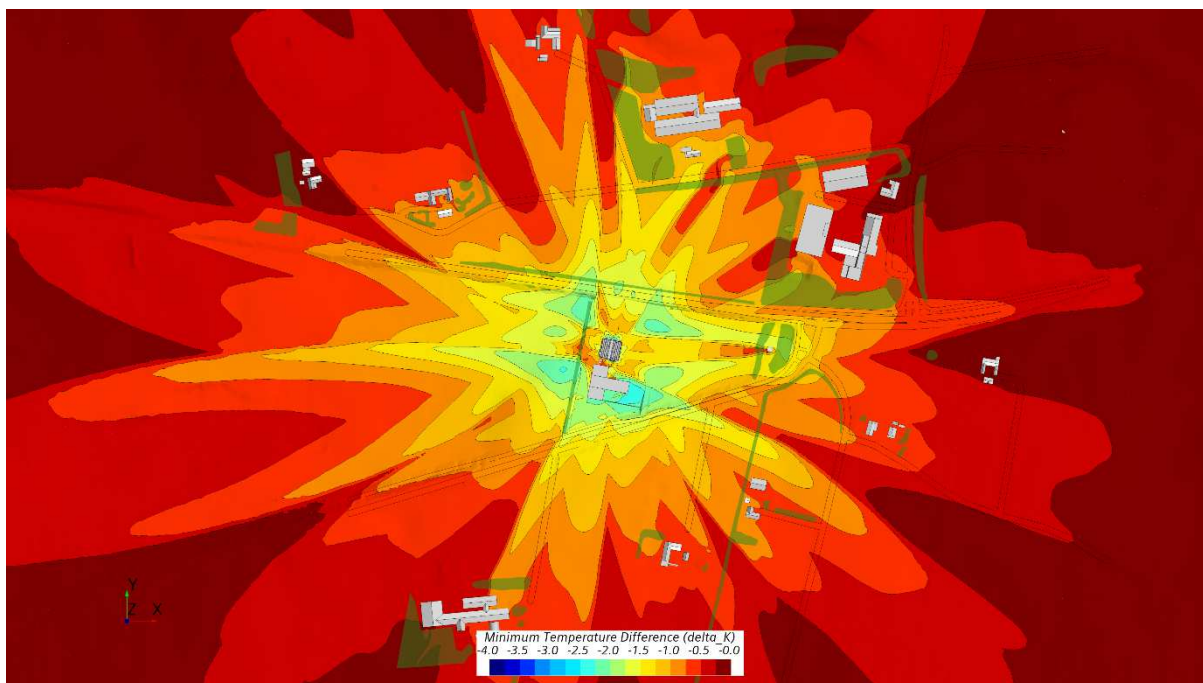
Massestrøm $\dot{m} = 1.184 \text{ kg/s}$ (3.380.140 m³/h)

2. Resume

Alle beregninger er foretaget med varmepumpen i maksimal drift (7 MW) og for en lav vindhastighed på 2 m/s i 10 m højde. Der er regnet for 12 vindretninger med 30° mellemrum.

Beregning af kortslutning mellem fordamperens afkast og fordamperens luftindtag er beregnet for opadrettet afkast. Beregningerne viser, at ved sådanne lave vindhastigheder udgør den recirkulerede luft gennem fordamperen mellem 6% og 13% af indsuget med en middelværdi på 9% for alle vindretninger samlet.

Beregning af kuldespredning i 2 m højde over terræn viser en relativ jævn fordeling af kuldespredningen i forhold til vindretningen. Dette skyldes den lave grad af bebyggelse og beplantning. Nabobygningerne er udsat for en afkøling under 1 °C, undtagen bygningen tættest mod øst som er udsat for en afkøling på 1,5 °C Nordre Ringvej nord for anlægget samt Randersvej syd for anlægget ses at være udsat for en afkøling under 2 °C.



Figur 2-1 Samlet plot over største temperaturdifferens (mindste absolutte temperatur) for alle 12 vindretninger kombineret.

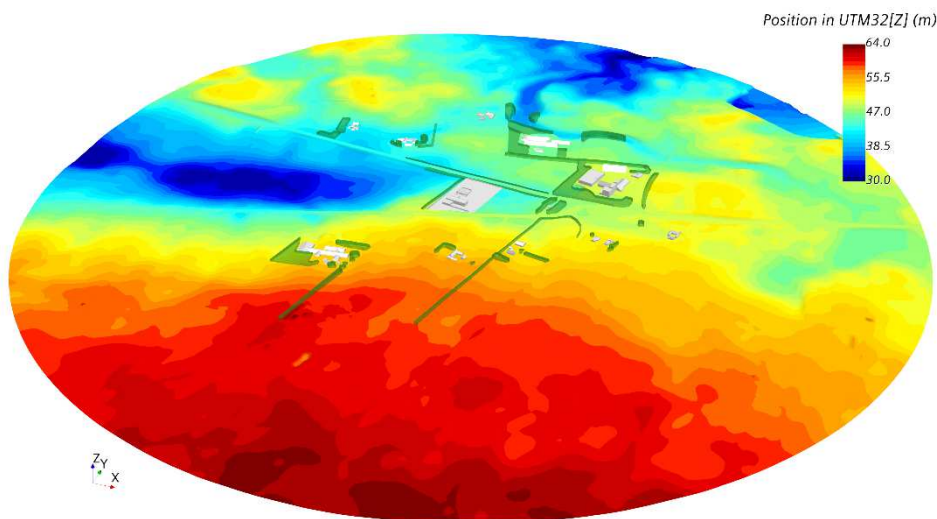
Det skal bemærkes at beregningerne ikke tager hensyn til at effekten af recirkulation alt andet lige vil medføre at afkastluften bliver koldere og at luftmængden vil forøges. Særligt for opadrettet afkast vil det betyde, at den beregnede kuldespredning kan være underestimeret, og desuden at den faktiske recirkulation muligvis er lidt større end beregnet.

Det skal dog også bemærkes, at beregningerne vil være stærkt afhængige af vindhastigheden. Stigende vindhastighed vil medføre et kraftigt fald i kuldespredning og recirkulation i alle tilfælde. Kuldespredning og økonomisk konsekvens af recirkulation kan derfor ikke baseres alene på det gennemregnede "worst case" scenarie.

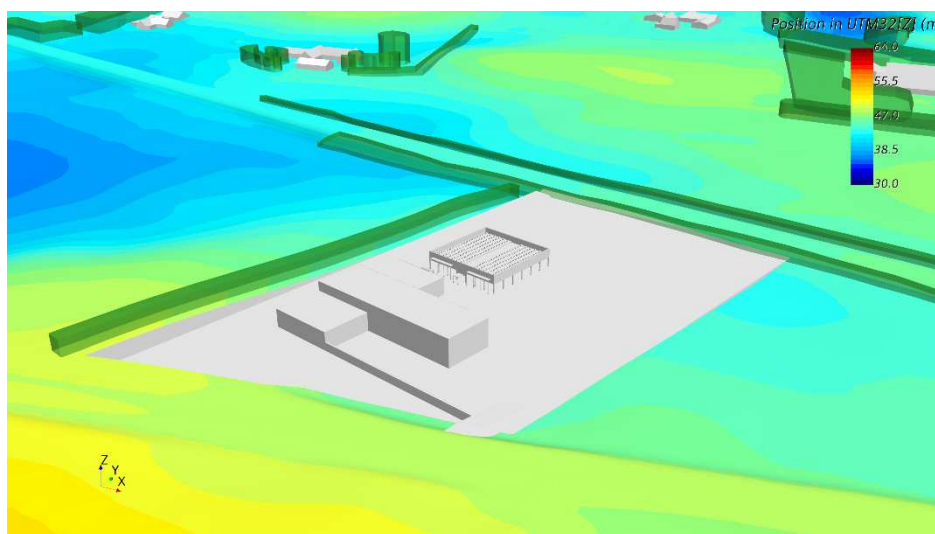
3. Metodebeskrivelse

CFD analyse anvendes rutinemæssigt til at undersøge strømnings- og opblandingsforhold i omgivelser. Metoden baserer sig på en diskret (digital) repræsentation af en geometri (strømningsdomænet), i hvilken de grundlæggende strømningsligninger løses numerisk.

Geometrien til CFD modellen omkring varmepumpeanlægget er fastlagt på baggrund af terrændata hentet fra kortforsyningen¹ samt bygningskonturer og højdekoter for øverste tagflade på bygninger indenfor en radius af 500 m omkring værket. Beregningsmodellen er ført ud til en afstand af ca. 1.000 m fra anlægget, idet dog kun bygninger indenfor 500 m afstand er medtaget som beskrevet ovenfor. Større beplantningsområder/skove er medtaget i beregningerne indenfor en afstand af 500 m fra anlægget. Beregningsdomænet er ført op til en højde af 500 m. Beregningsdomænets grundflade med terræn, bygninger og beplantning indenfor en radius af ca. 1.000 m omkring anlægget ses på Figur 3-1 og Figur 3-2.



Figur 3-1 Beregningsmodellens terrænflade, bygninger og beplantning omkring anlægget.



Figur 3-2 Nærbillede af anlægget og nærliggende beplantning.

¹ <https://kortforsyningen.dk/>

Fysikken benyttet til CFD beregningerne består af en inkompressibel ideal gas model, hvor udeluftens densitet kun afhænger af luftens temperatur. I beregningerne løses således direkte for temperaturen, der kun afhænger af opblanding mellem afkastluft og omgivelsesluft. Til modellering af atmosfærisk turbulens anvendes "Realizable K-Epsilon" modellen.

Et atmosfærisk vindprofil (grænselagsprofil) påtrykkes langs randene i den retning hvorfra vinden kommer, mens en trykrandbetingelse anvendes på de "frie rande" modsat vindretningen og i højden. En vindhastighed (u_{ref}) på 2 m/s i 10 m højde er brugt i analysen. Lufttemperaturen antages ensartet i højden, svarende til en "neutral atmosfære", hvor opdriftskræfter fra atmosfæriske temperaturforskelle ikke påvirker strømningen i terrænet og omkring bygninger. De eneste opdriftskræfter der således forekommer i beregningerne, er dem der hidrører fra temperaturforskellen mellem udeluften og afkastluften. Vindprofilet ($u(z)$) og turbulente størrelser (k & ε) er defineret som:

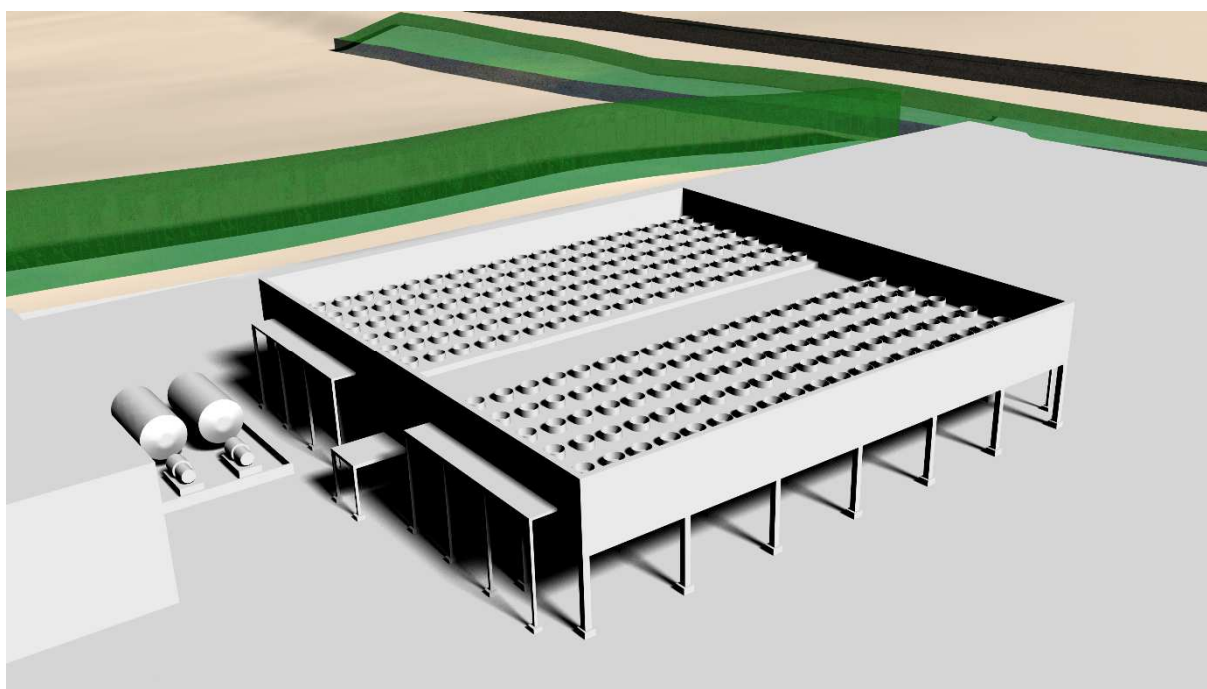
$$u(z) = \frac{u^*}{\kappa} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad , \quad u^* = \frac{\kappa u_{ref}}{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_0}\right)} \quad , \quad k = \frac{u^{*2}}{\sqrt{C_\mu}} \quad , \quad \varepsilon(z) = \frac{u^{*3}}{\kappa z}$$

Beplantning er modelleret som porøse områder, med uniform modstand svarende til ensartet bevoksning. Modstanden er defineret som:

$$\frac{\Delta P}{L} = 0,35 \text{m}^{-1} \frac{1}{2} \rho u^2$$

hvor $\Delta P/L$ er tryktab pr længdeenhed, ρ er luftens densitet, u er luftens lokale hastighed.

Den nuværende fordampereenheds samlede tværsnitsareal ($L \times B$) på undersiden er 557 m² og ventilatorenes frie areal på oversiden er 152,7 m². Ved opadrettet afkast bliver hastigheden 6,15 m/s grundet det reducerede frie tværsnitsareal. Der påtrykkes samme massestrøm på indsugning til og afkast fra fordampereenhed/ventilatorer.



Figur 3-3 Nærbillede af fordampereenheden.

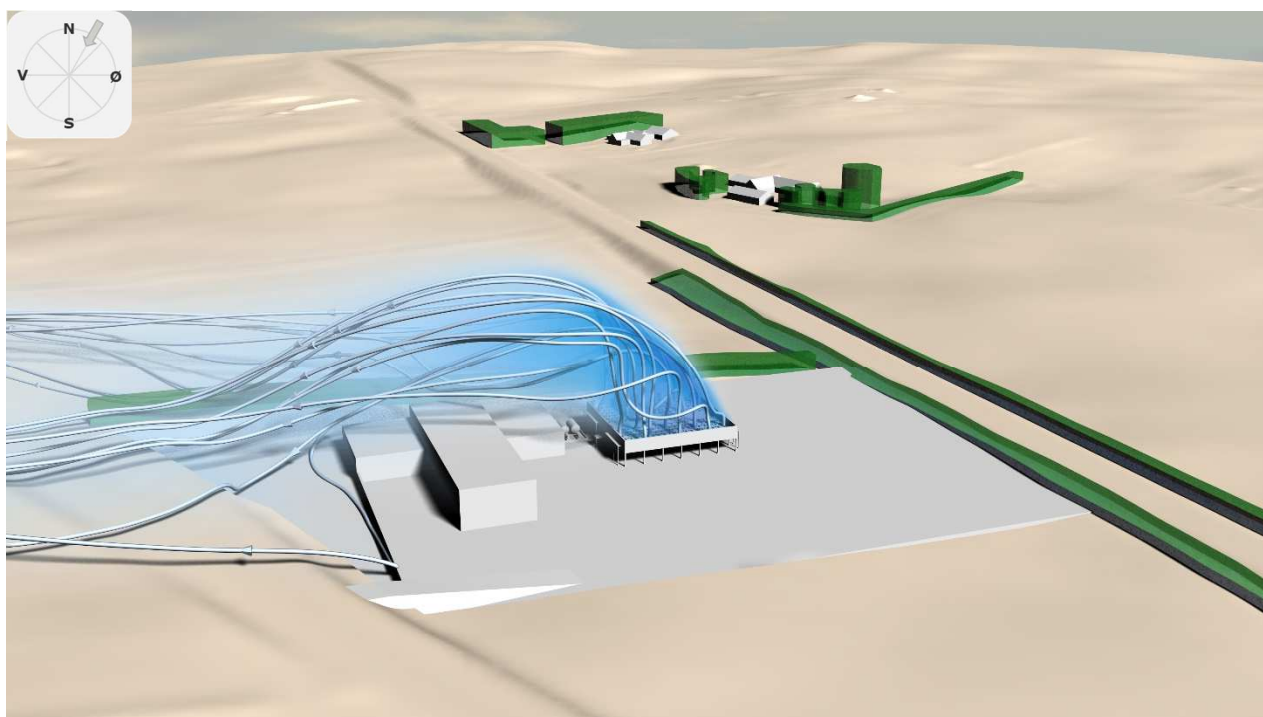
4. Resultater for recirkulation mellem afkast og luftindtag

Fordamper-enhederne er placeret på 3 m høje ben. Det giver en middel tilstrømningshastighed gennem siderne på 3,1 m/s. Afstrømningshastigheden og/eller tilstrømningshastigheden er således 2-3 gange højere end vindhastigheden (2 m/s) i 10 m referencehøjde i de analyserede scenarier, hvilket betyder at vinden ikke har dominerende effekt på lokale strømningsforhold, idet dog større bygninger eller terrængenstande kan give variationer i vindfeltet.

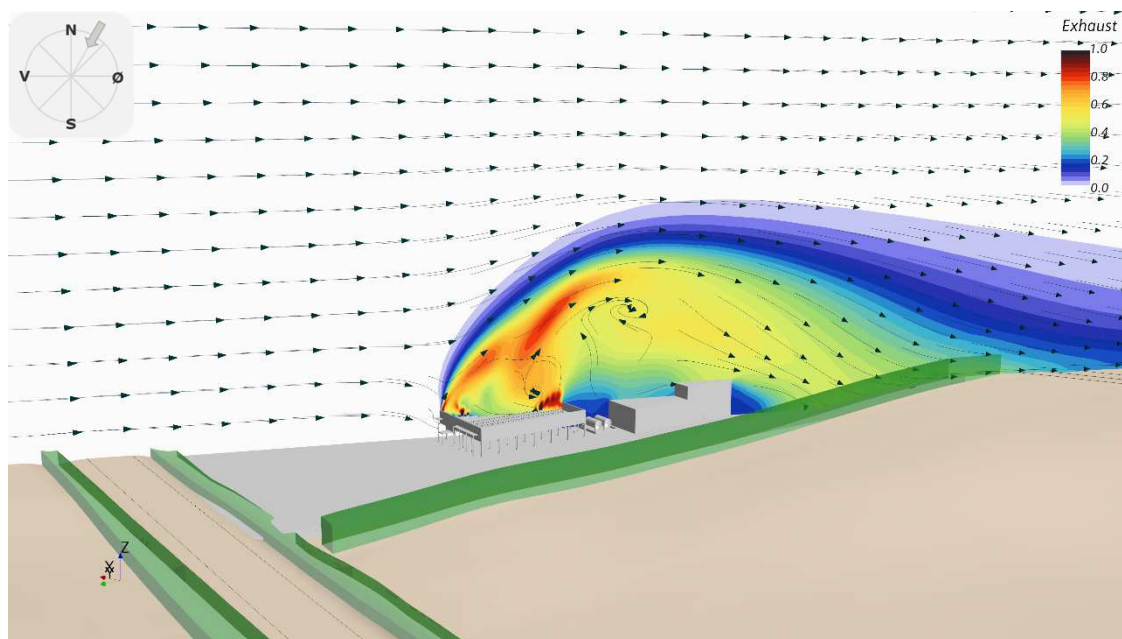
Det skal her bemærkes, at beregningerne er udført for fastholdt volumen-flow og temperatur på tilgangsluften, og altså uden hensyntagen til fordamperens afhængighed af disse forhold. En krydskobling (recirkulation) vil have indvirkning herpå, da dette vil medføre koldere tilgangsluft end ellers, og derved krav om højere volumen-flow hvis fordamperen skulle levere samme ydelse.

Ved opadrettet afkast kan recirkulation opstå ved at den tungere afkastluft søger ned og trækkes tilbage ind under fordamperen. Også her kan recirkulation opstå (eller forværres) ved læ-zoner som ovenfor beskrevet.

Den nedkølede luft er illustreret ved oversigtplot på Figur 4-1 for vindretning 30°. På Figur 4-2 ses en visualisering af koncentrationen af afkastluft i et lodret plan gennem fordamperen parallelt med vindretningen, også for vindretning 30°. Plottene viser, at ved den lave vindhastighed er suget fra fordamperens underside ved opadrettet afkast kraftigt nok til at dominere strømningsfeltet lokalt omkring fordamperen. Den høje afkasthastighed gør dog, at det kun er mindre mængder afkastluft der recirkuleres.



Figur 4-1 Illustration af nedkøling (undertemperatur) i forhold til omgivelserne.

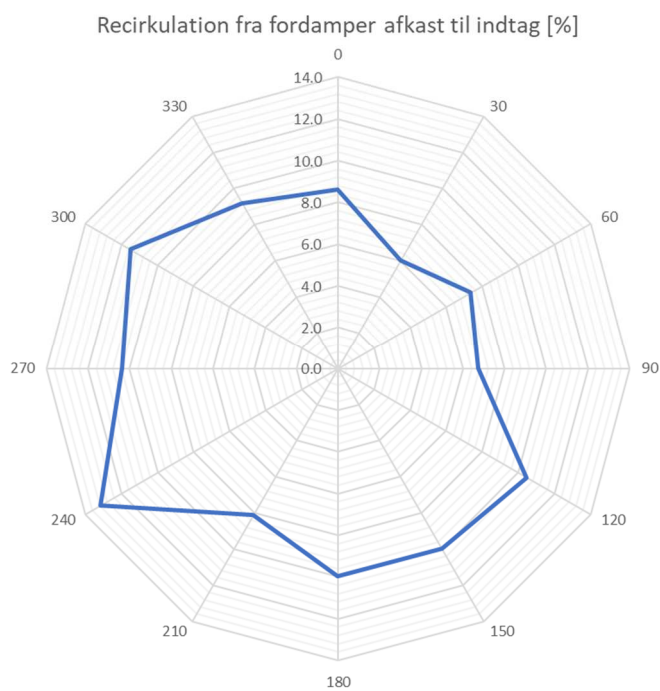


Figur 4-2 Koncentration af afkastluft i et lodret plan gennem fordamperen.

Andelen af recirkuleret afkastluft som helhed for fordamperen er opgjort for hver vindretning og samlet i Tabel 4-1. Resultaterne viser, at ved opadrettet afkast er andelen af recirkuleret luft mellem 6,0% og 13,2% med en aritmetisk middelværdi på 9,3%. Der er ikke regnet på den statistiske forekomst af lav vindhastighed fra de behandlede vindretninger, der således er vægtet ens.

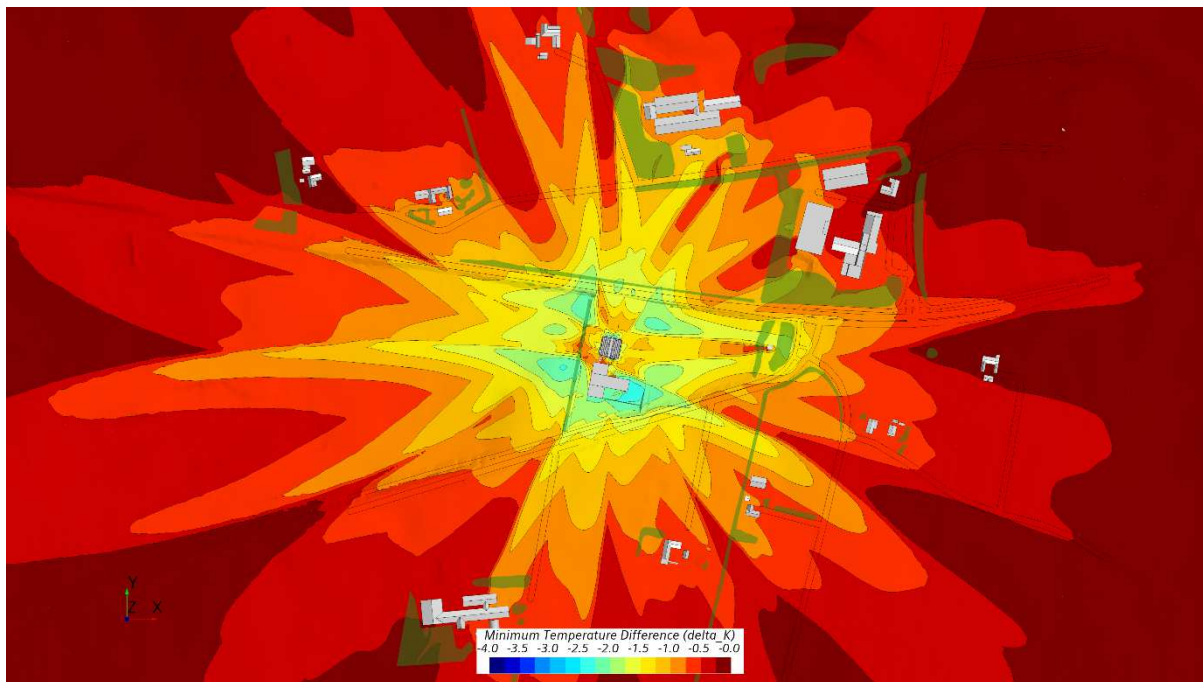
Tabel 4-1 Recirkulation (kortslutning) fra fordampers afkast til luftindtaget og vindrosefordeling.

Vindretning	Recirkulation
[°]	[%]
0	8,6
30	6,0
60	7,4
90	6,7
120	10,5
150	10,0
180	10,0
210	8,1
240	13,2
270	10,4
300	11,5
330	9,2
Middel	9,3



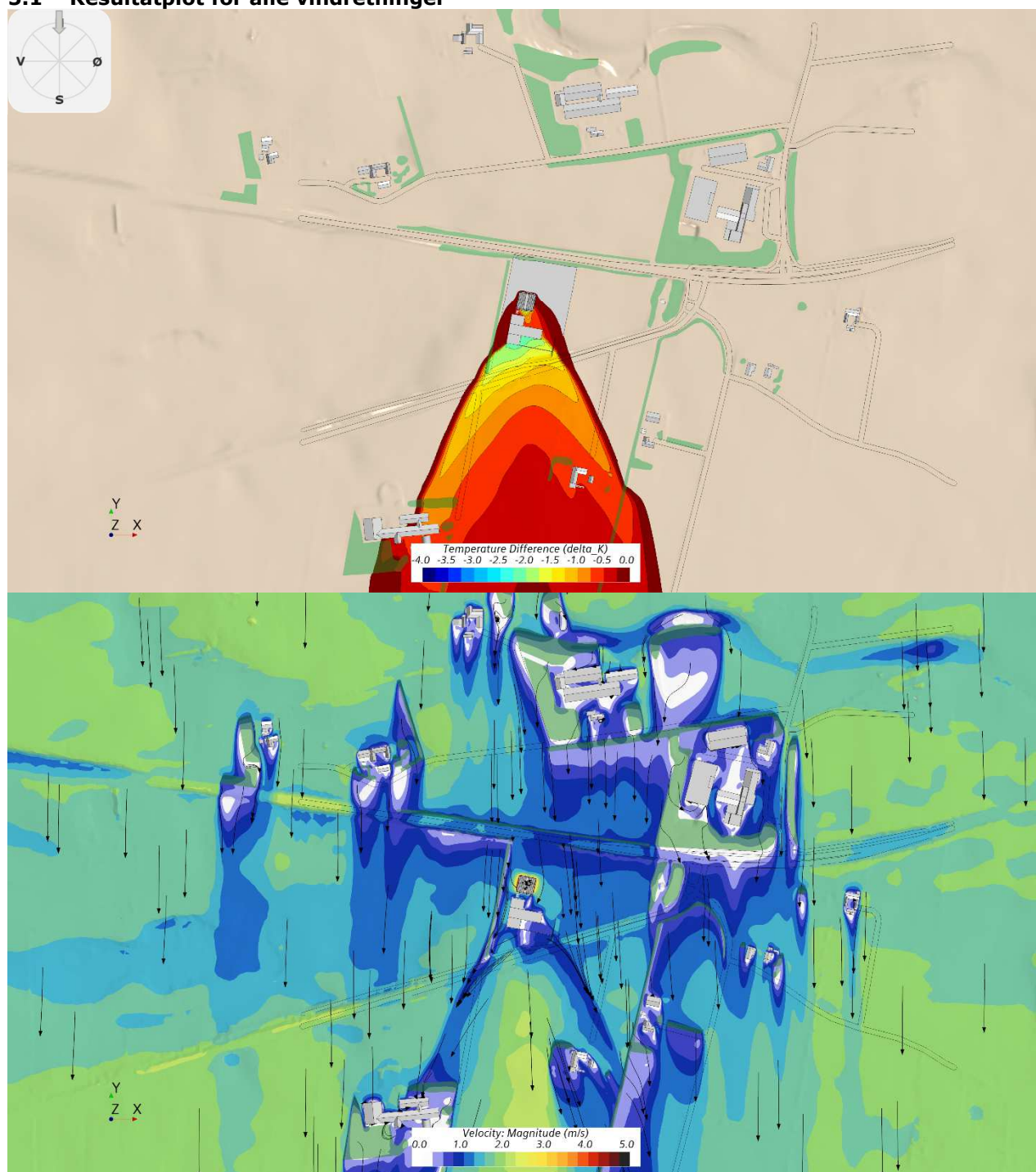
5. Resultater for kuldespredning

Resultater for temperaturdifferens i forhold til omgivelsernes temperatur samt hastighedsfelt i 2 m højde over terræn for de 12 vindretninger er vist på Figur 5-2 til Figur 5-13. Beregningerne er sammenfattet i ét plot for hver afkastretning, hvor den største afkøling for hver af de 12 vindretninger vises. Plottet i Figur 5-1 viser derved varmepumpens indflydelsesområde, ved *worst-case* betingelser.

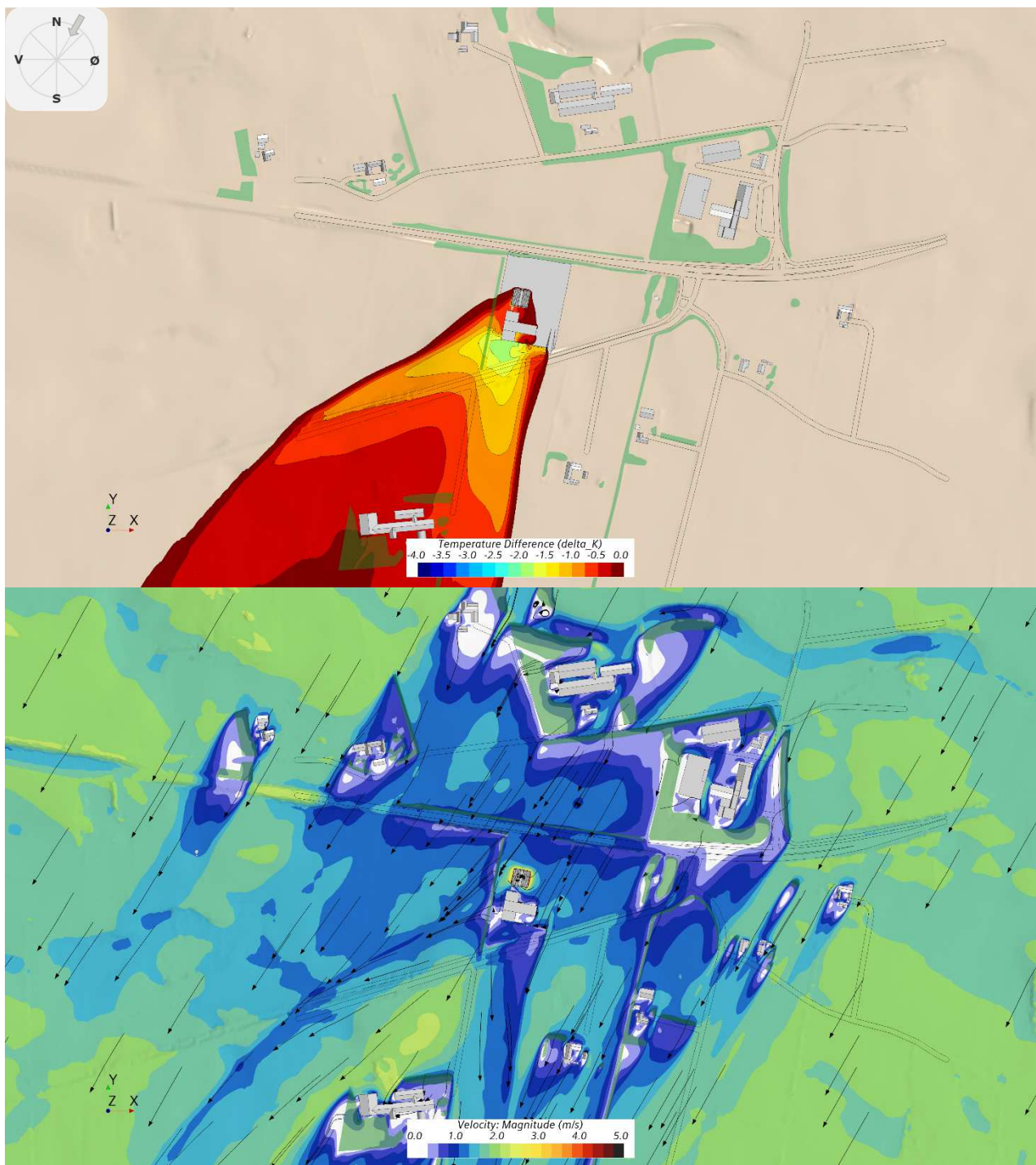


Figur 5-1 Samlet plot over største temperaturdifferens (mindste absolutte temperatur) for alle 12 vindretninger kombineret.

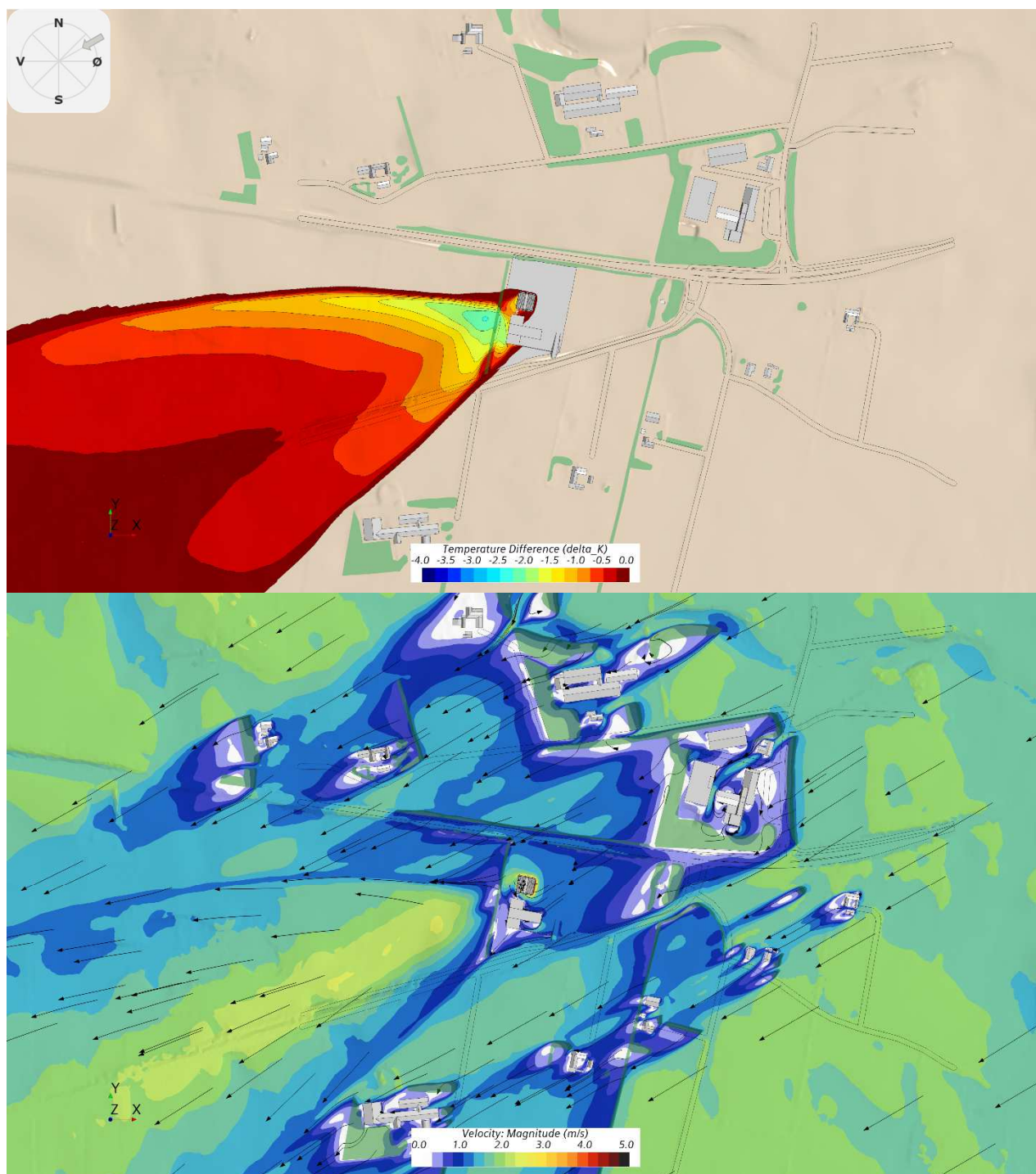
5.1 Resultatplot for alle vindretninger



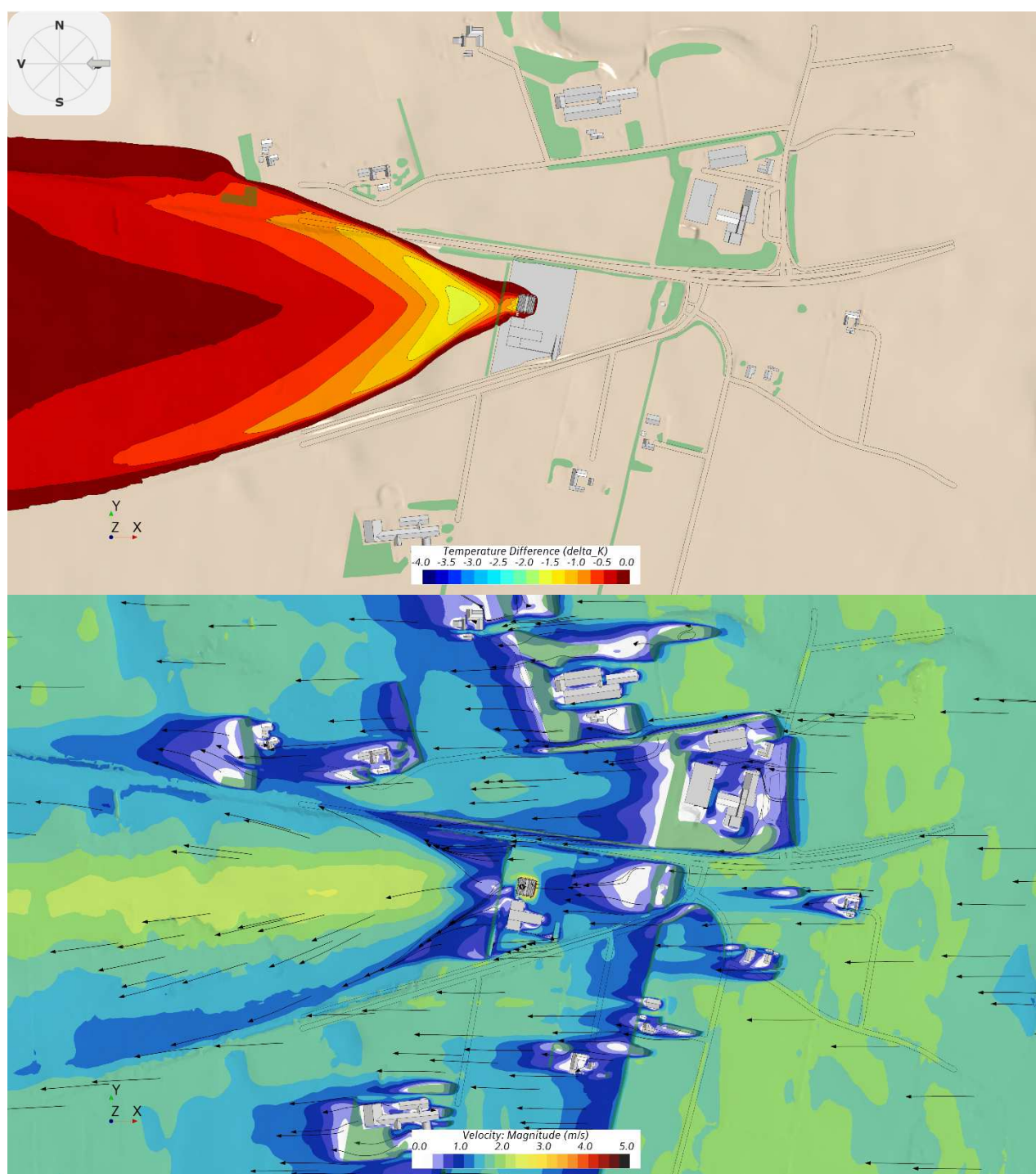
Figur 5-2 Temperaturdifferens relativt til omgivelserne og hastighedsfelt i 2 m højde over terræn ved vind fra nord (0°).



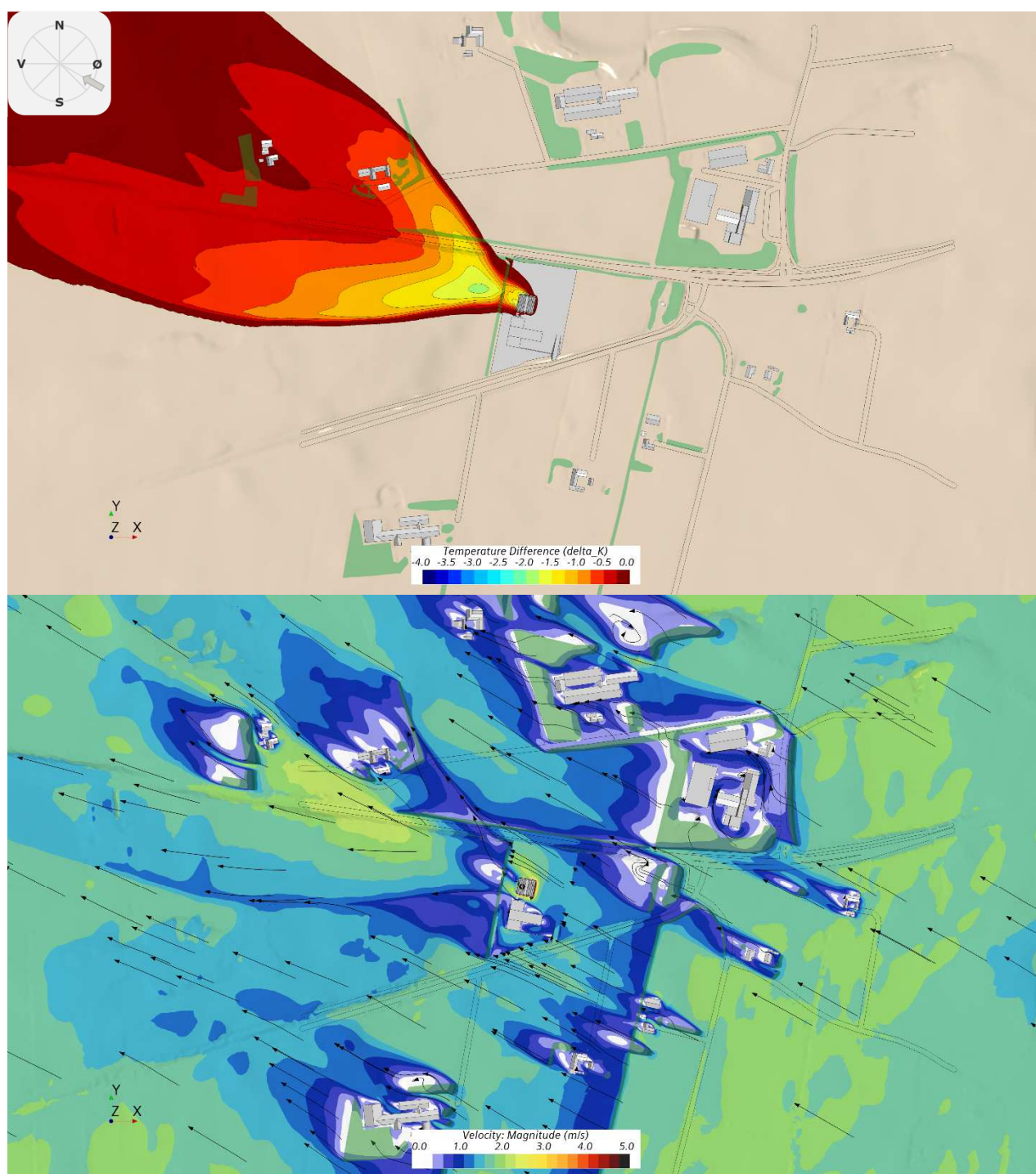
Figur 5-3 Temperaturdifferens relativt til omgivelserne og hastighedsfelt i 2 m højde over terræn ved vind fra nordøst (30°)



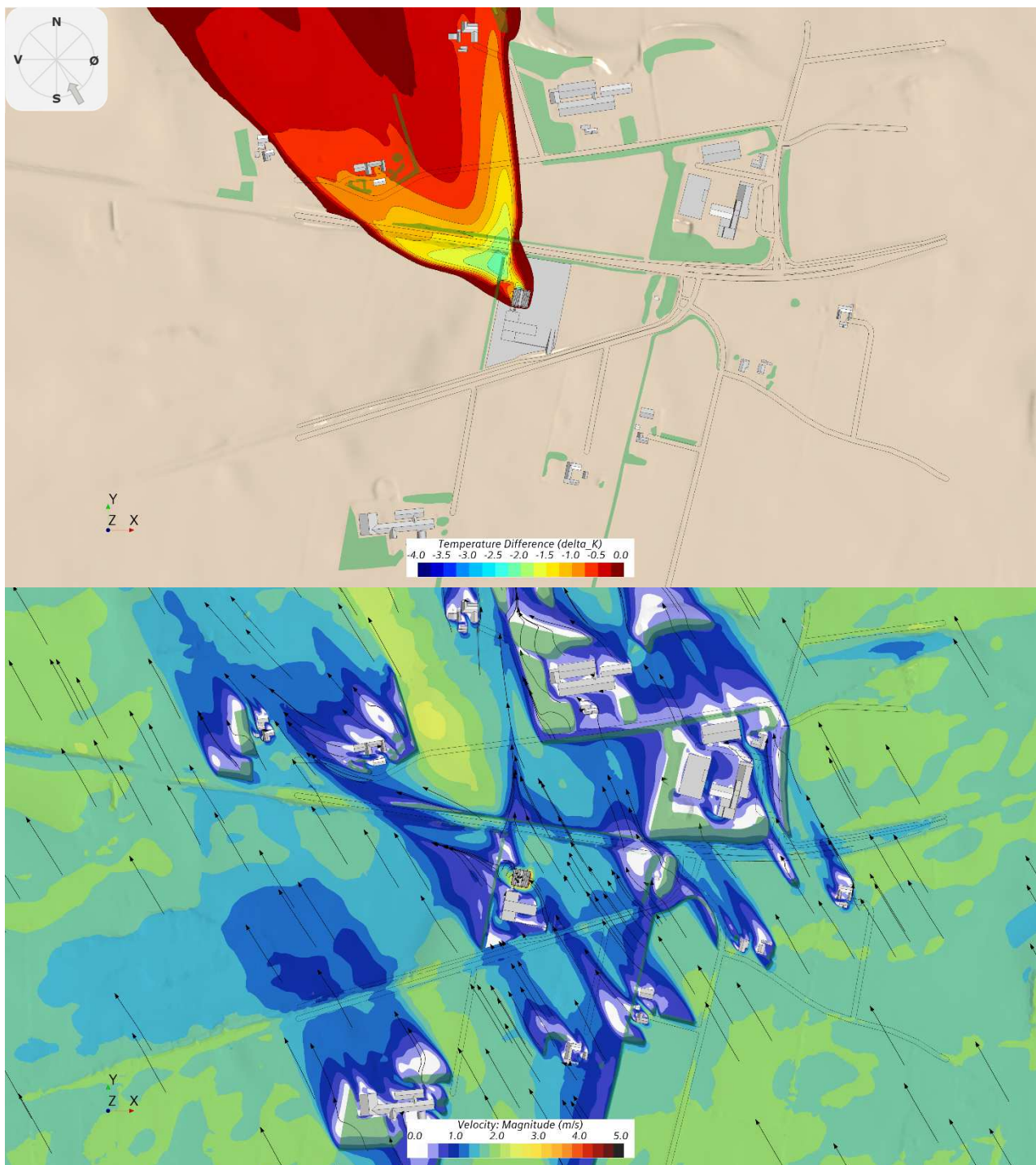
Figur 5-4 Temperaturdifferens relativt til omgivelserne og hastighedsfelt i 2 m højde over terræn ved vind fra nordøst (60°).



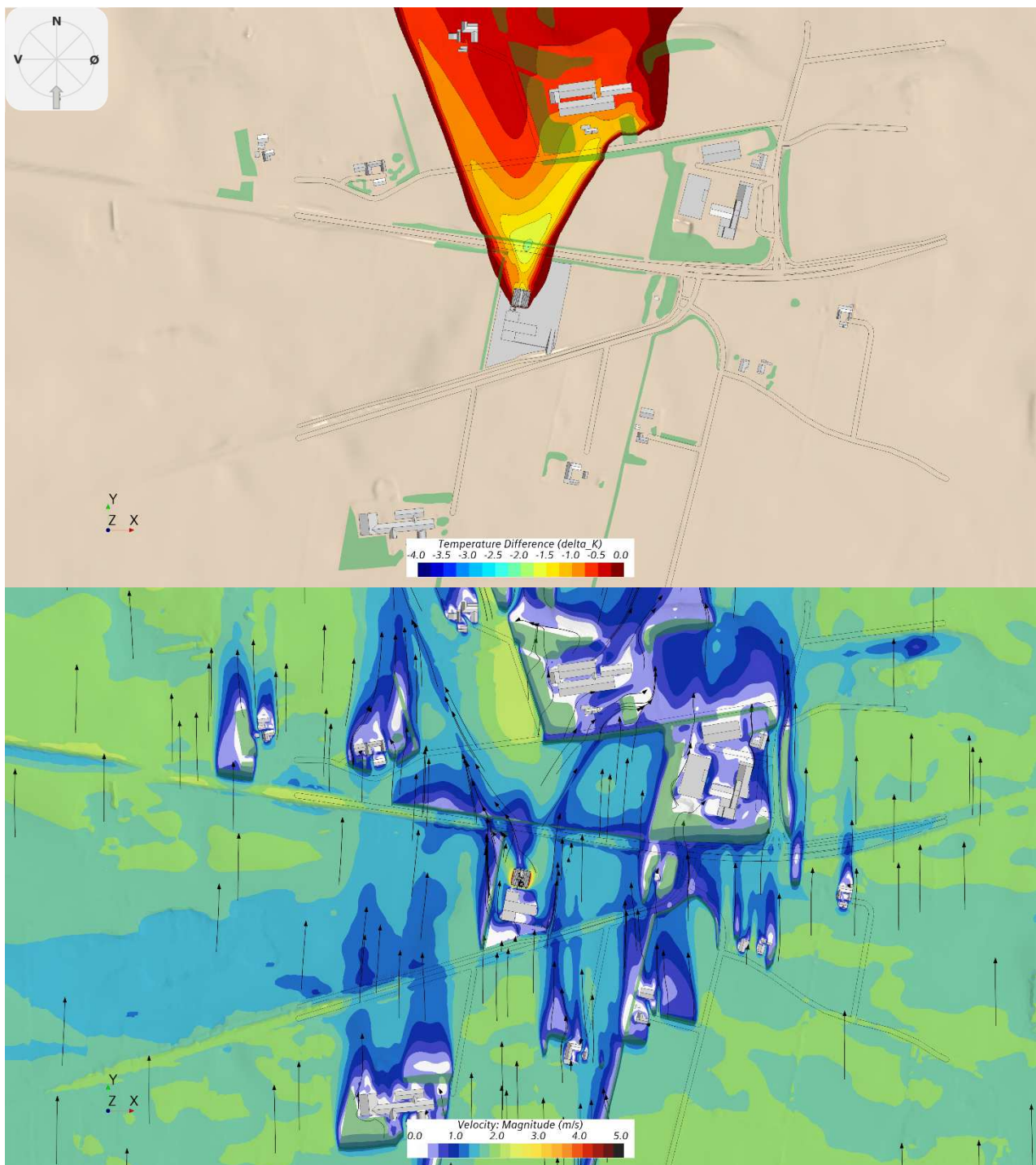
Figur 5-5 Temperaturdifferens relativt til omgivelserne og hastighedsfelt i 2 m højde over terræn ved vind fra øst (90°).



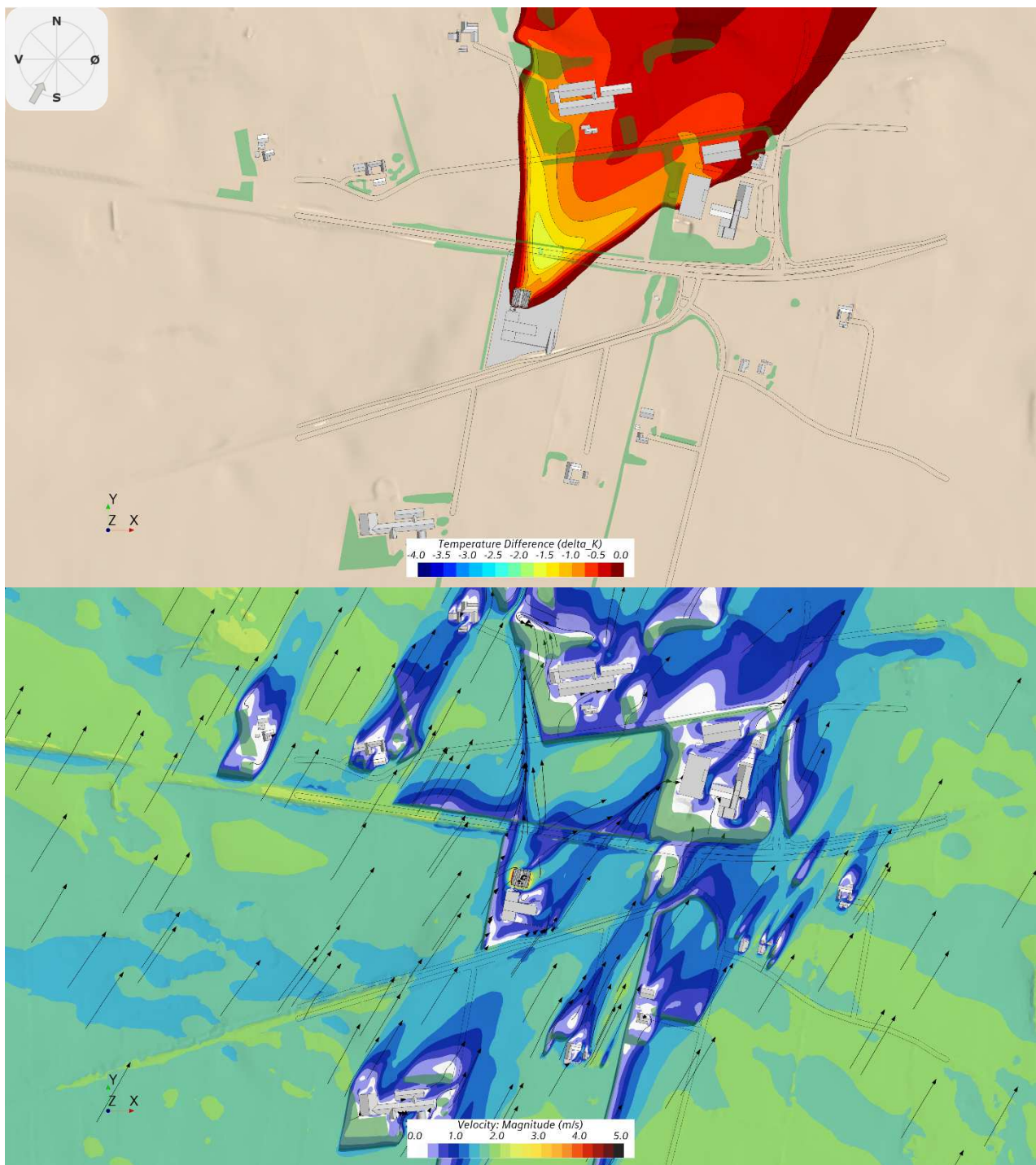
Figur 5-6 Temperaturdifferens relativt til omgivelserne og hastighedsfelt i 2 m højde over terræn ved vind fra sydøst (120°).



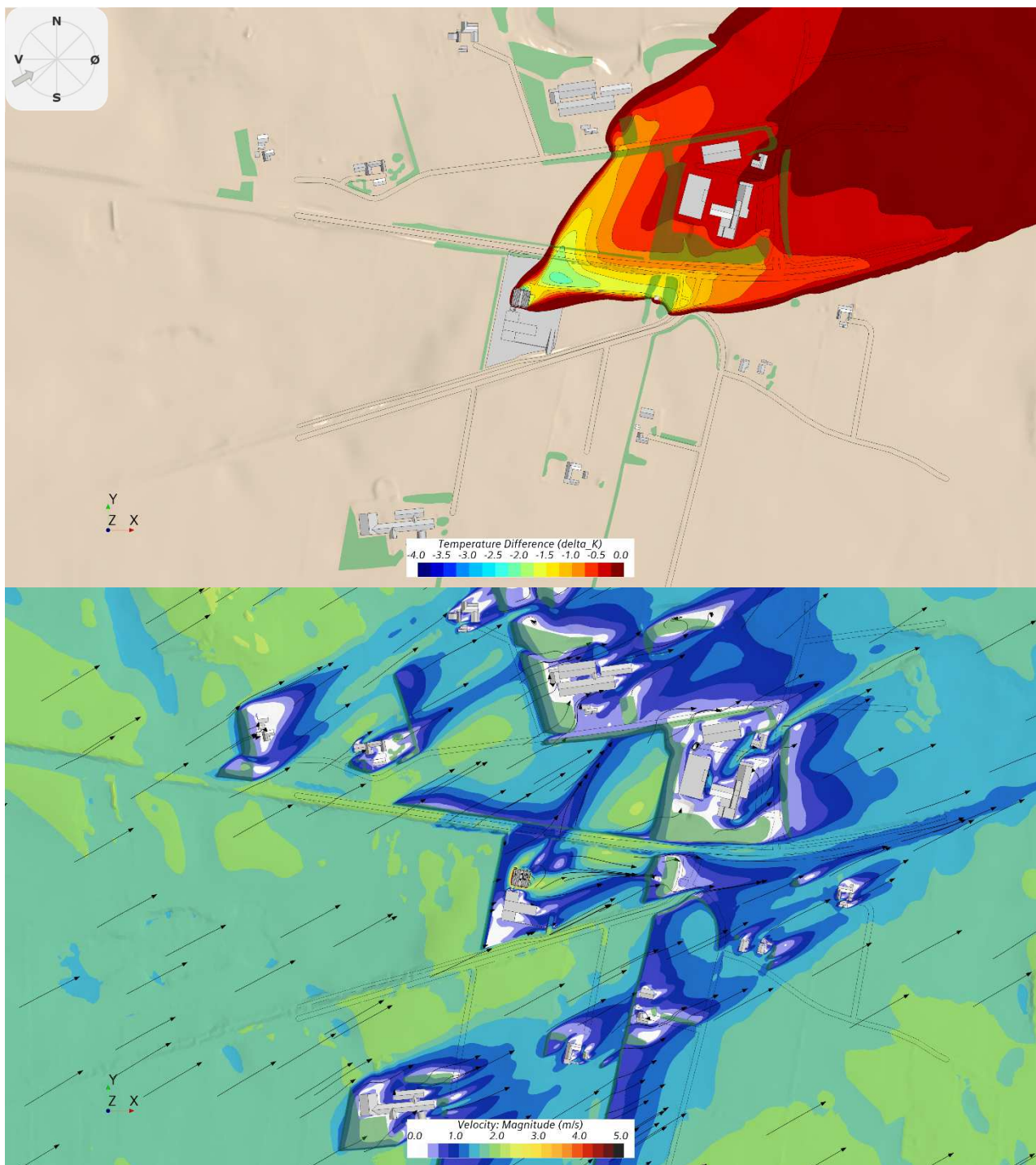
Figur 5-7 Temperaturdifferens relativt til omgivelserne og hastighedsfelt i 2 m højde over terræn ved vind fra sydøst (150°).



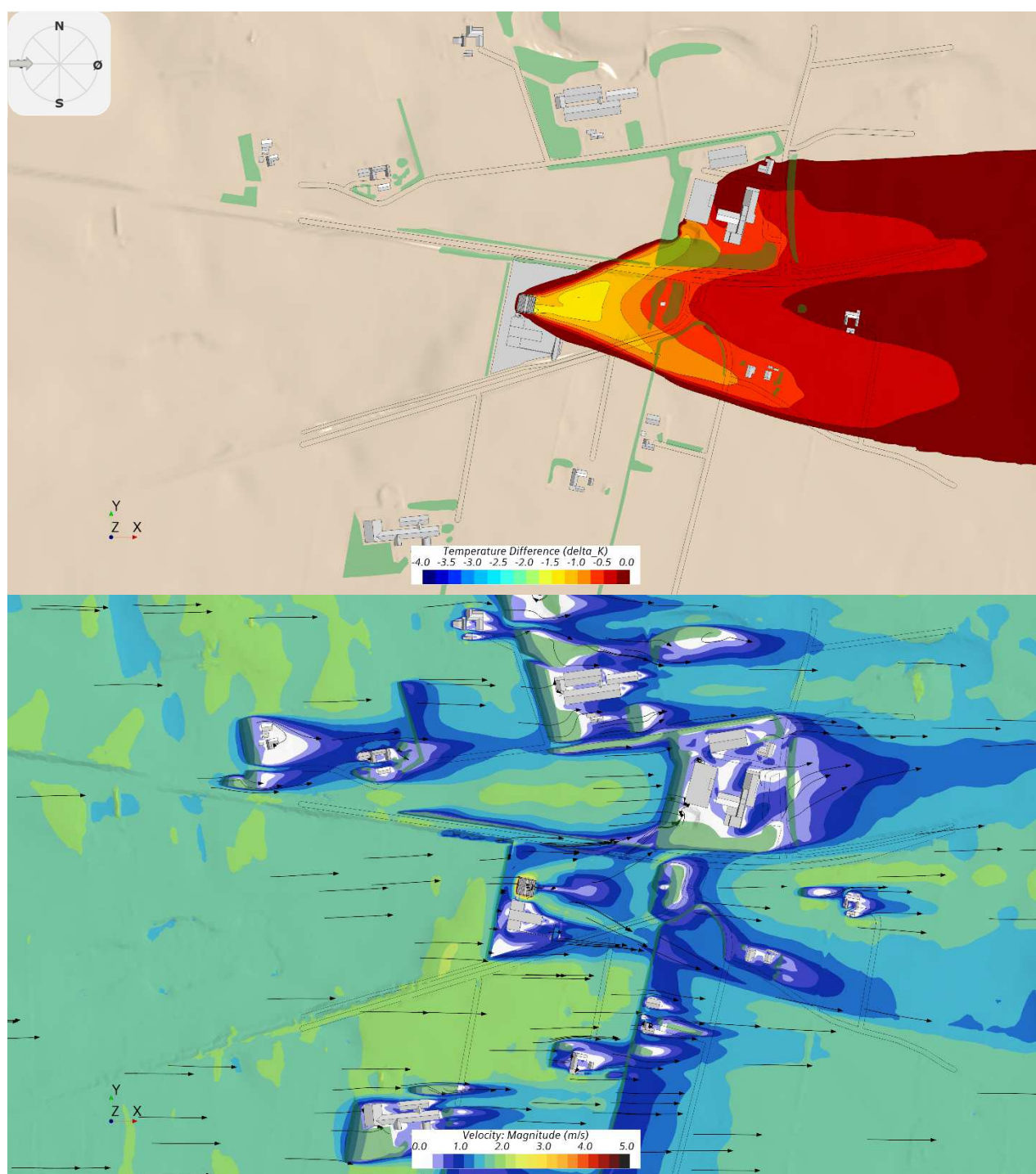
Figur 5-8 Temperaturdifferens relativt til omgivelserne og hastighedsfelt i 2 m højde over terræn ved vind fra syd (180°).



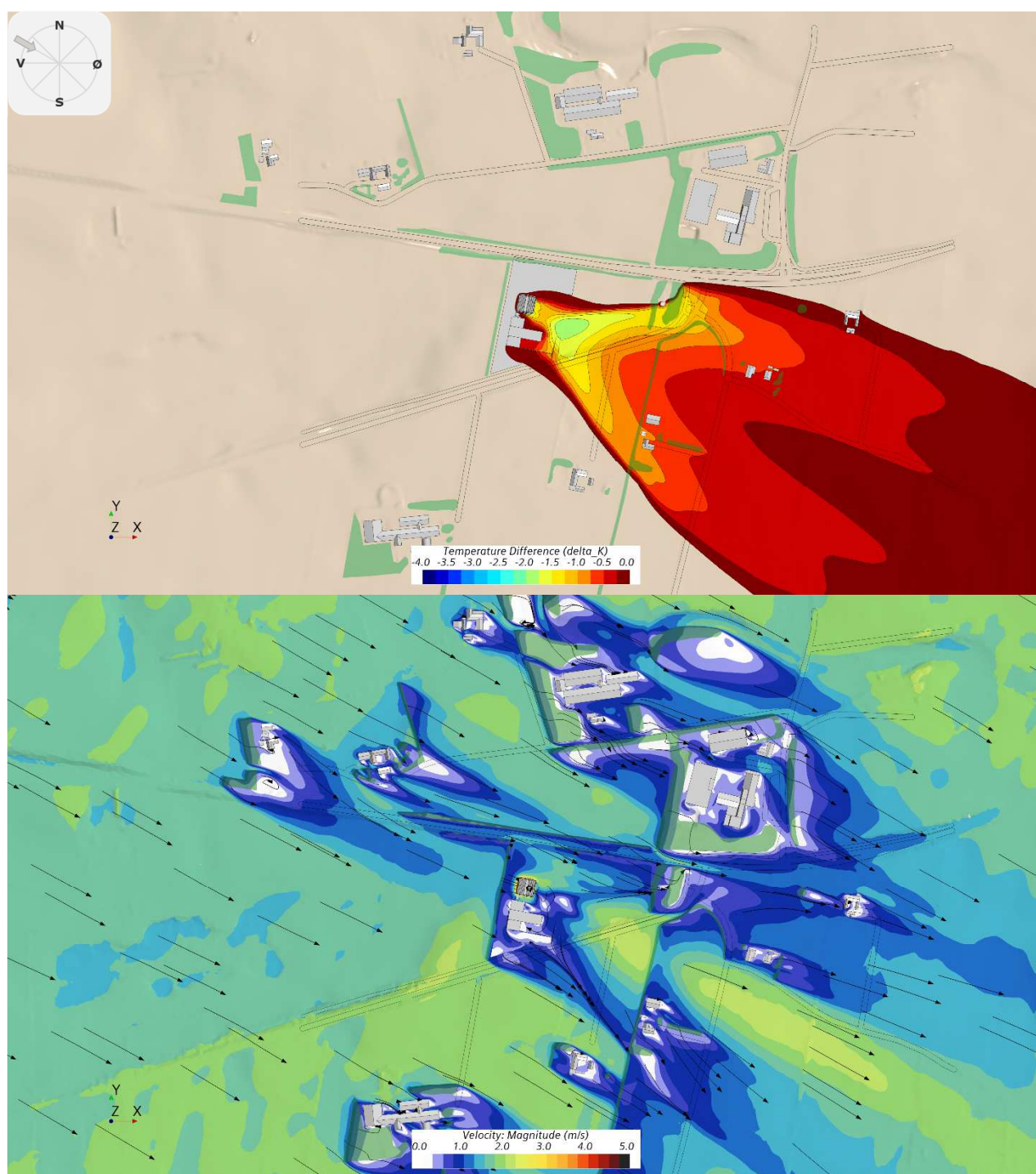
Figur 5-9 Temperaturdifferens relativt til omgivelserne og hastighedsfelt i 2 m højde over terræn ved vind fra sydvest (210°).



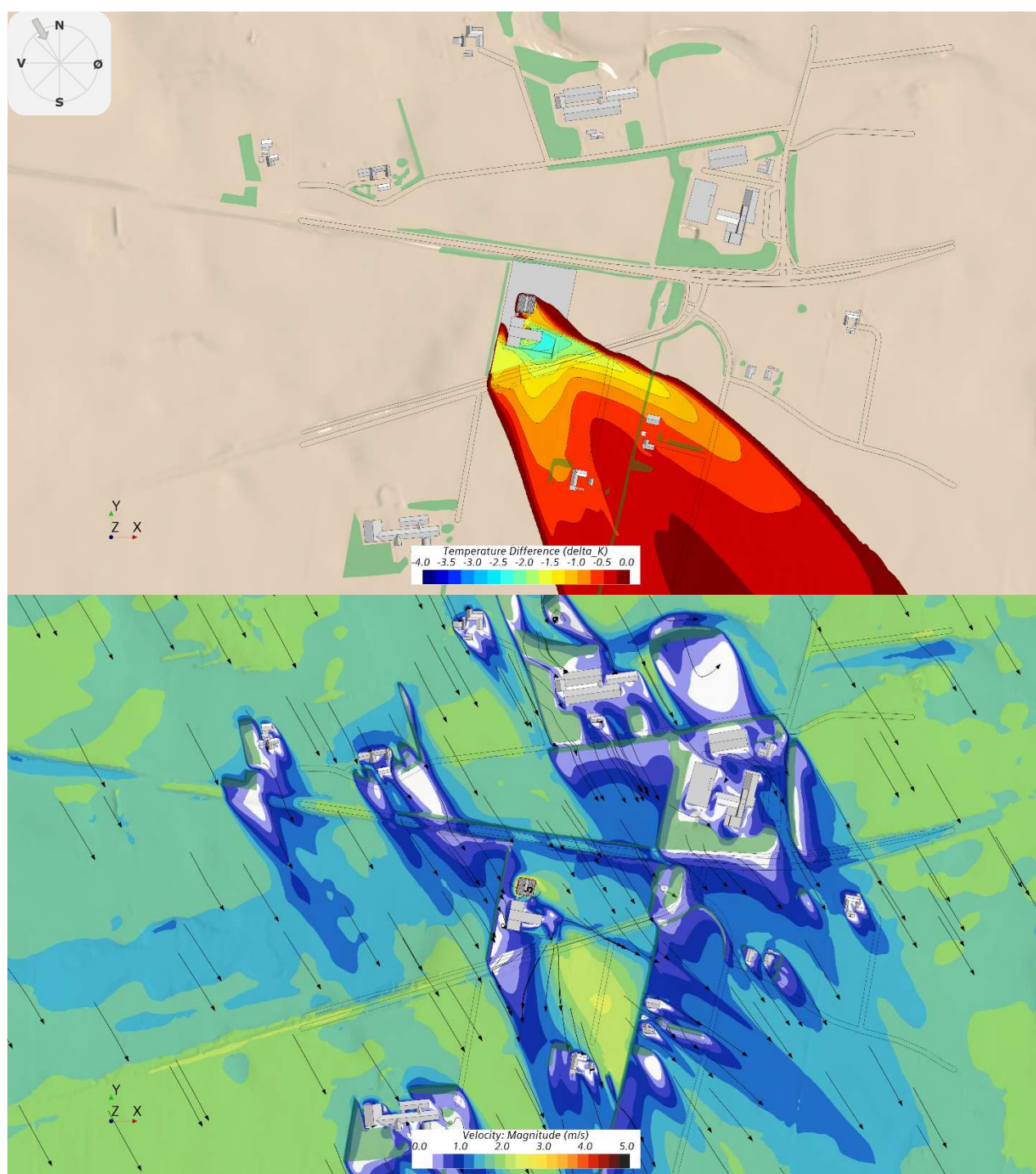
Figur 5-10 Temperaturdifferens relativt til omgivelserne og hastighedsfelt i 2 m højde over terræn ved vind fra sydvest (240°).



Figur 5-11 Temperaturdifferens relativt til omgivelserne og hastighedsfelt i 2 m højde over terræn ved vind fra vest (270°).



Figur 5-12 Temperaturdifferentens relativt til omgivelserne og hastighedsfelt i 2 m højde over terræn ved vind fra nordvest (300°).



Figur 5-13 Temperaturdifferenti relativt til omgivelserne og hastighedsfelt i 2 m højde over terræn ved vind fra nordvest (330°).