

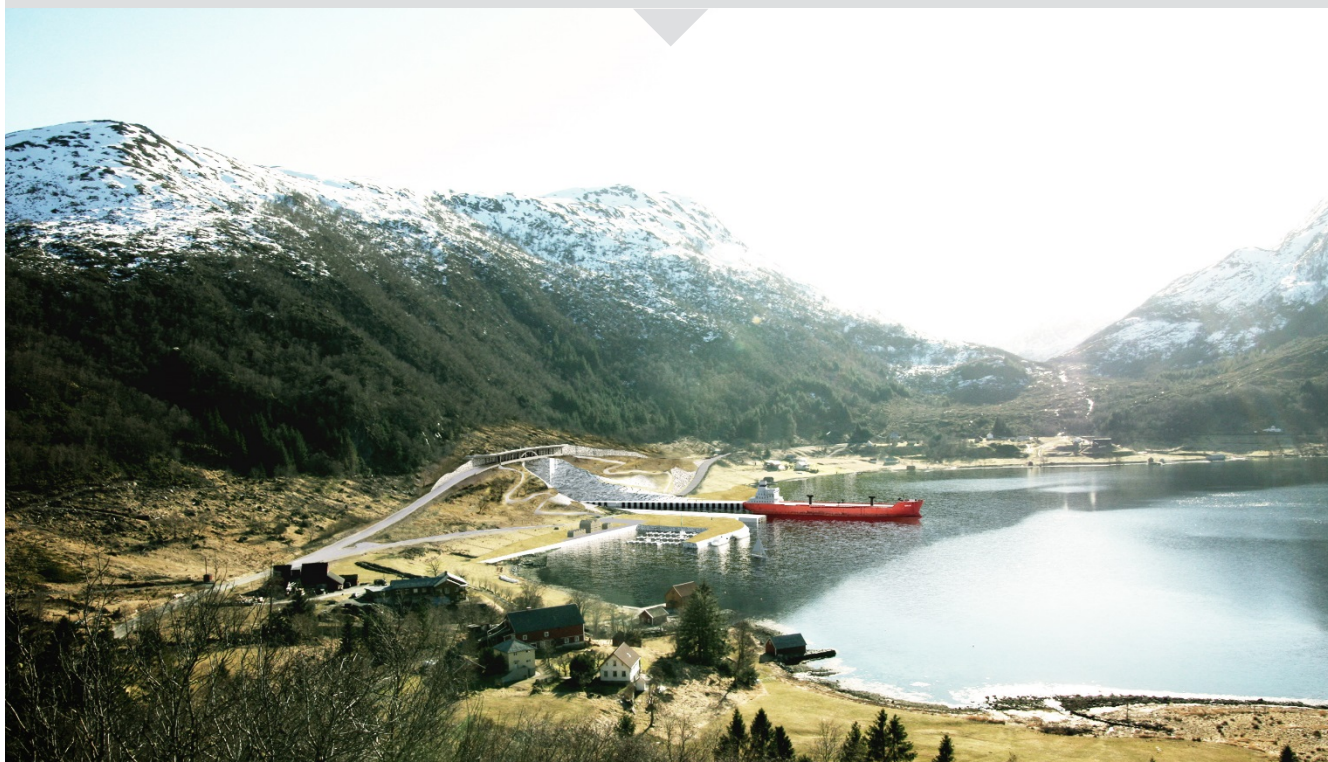


KYSTVERKET

Stad Skipstunnel

Teknisk forprosjekt

VEDLEGG J – CFD STUDIE AF BANK OG SQUAT-EFFEKTER



Oppdragsnr.: 5161743 Dokumentnr.: 001-J Versjon: J01
2017-01-08



CFD studie af bank og squat-effekter

Dr. Techn. Olav Olsen AS

FORCE 116-25182-2C / JFO / 22 December 2016

Project No. and Title of Report:

FORCE 116-25182-2C
CFD studie af bank og squat-effekter

Client:
Dr. Techn. Olav Olsen AS

Client's Ref.:
Anette Fjeld

Author(s):
Janne Flensborg Otzen
Thomas Ingvorsen
Pablo Esquivel de Pablo

Date: 22 December 2016

Approved by:

Rev.	Description	By	Checked	Approved	Date
C	Revised version	PDP	JFO	CDS	22 december 2016
B	Final version	PDP	JFO	CDS	16 november 2016
A	Issued for Client's Comments	PDP	TI	CDS	30 september 2016

Keywords:
Squat effect, RANS CFD Calculations

Classification:

- Open
 Internal
 Confidential

Indholdsfortegnelse:

side:

1.	INTRODUKTION.....	1
2.	RESUME OG KONKLUSIONER FOR CONTAINERSKIBET DTC.....	3
2.1.	DTC i center med 12.0m vanddybde	6
2.2.	DTC tæt på fender med 12.0m vanddybde	7
2.3.	DTC i center med 13.21m vanddybde	8
2.4.	DTC tæt på fender med 13.21m vanddybde	9
3.	RESUME OG KONKLUSIONER FOR FÆRGEN MIDNATSOL	10
3.1.	Midnatsol i center med 12.0m vanddybde	13
3.2.	Midnatsol tæt på fender med 12.0m vanddybde	14
3.3.	Midnatsol i center med 13.21m vanddybde.....	15
3.4.	Midnatsol tæt på fender med 13.21m vanddybde.....	16
4.	SKIBENES HOVEDDIMENSIONER.....	17
5.	REFERENCER.....	18

APPENDIX:

Page	APPENDIX A – Strømprofiler	Columns	Strøm	Dybde	Fart
A1	Strømfordeling uden søjler d=12.00m	Nej	2kn mod	12.00m	NA
A1	Strømfordeling uden søjler d=13.21m	Nej	2kn mod	13.21m	NA

Page	Appendix B – Containership	Kondition	Strøm	Dybde	Fart
B1-3	Hastigheder ved AP	Centreret	0kn mod	12.00m	2 knob
B4-6	Hastigheder ved nulkryds	Centreret	0kn mod	12.00m	2 knob
B7-9	Hastigheder ved FP	Centreret	0kn mod	12.00m	2 knob
B10-12	Hastigheder ved AP	Centreret	0kn mod	12.00m	3 knob
B13-15	Hastigheder ved nulkryds	Centreret	0kn mod	12.00m	3 knob
B16-18	Hastigheder ved FP	Centreret	0kn mod	12.00m	3 knob
B19-21	Hastigheder ved AP	Centreret	0kn mod	12.00m	4 knob
B22-24	Hastigheder ved nulkryds	Centreret	0kn mod	12.00m	4 knob
B25-27	Hastigheder ved FP	Centreret	0kn mod	12.00m	4 knob
B28-30	Hastigheder ved AP	Centreret	2kn mod	12.00m	3 knob
B31-33	Hastigheder ved nulkryds	Centreret	2kn mod	12.00m	3 knob
B34-36	Hastigheder ved FP	Centreret	2kn mod	12.00m	3 knob

Page	Appendix C – Containership	Kondition	Strøm	Dybde	Fart
C1-3	Hastigheder ved AP	Tæt på fender	0kn mod	12.00m	2 knob
C4-6	Hastigheder ved nul kryds	Tæt på fender	0kn mod	12.00m	2 knob
C7-9	Hastigheder ved FP	Tæt på fender	0kn mod	12.00m	2 knob
C10-12	Hastigheder ved AP	Tæt på fender	0kn mod	12.00m	3 knob
C13-15	Hastigheder ved nul kryds	Tæt på fender	0kn mod	12.00m	3 knob
C16-18	Hastigheder ved FP	Tæt på fender	0kn mod	12.00m	3 knob
C19-21	Hastigheder ved AP	Tæt på fender	0kn mod	12.00m	4 knob
C22-24	Hastigheder ved nul kryds	Tæt på fender	0kn mod	12.00m	4 knob
C25-27	Hastigheder ved FP	Tæt på fender	0kn mod	12.00m	4 knob
C28-30	Hastigheder ved AP	Tæt på fender	2kn mod	12.00m	3 knob
C31-33	Hastigheder ved nul kryds	Tæt på fender	2kn mod	12.00m	3 knob
C34-36	Hastigheder ved FP	Tæt på fender	2kn mod	12.00m	3 knob

Page	Appendix D – Containership	Kondition	Strøm	Dybde	Fart
D1-3	Hastigheder ved AP	Centreret	0kn mod	13.21m	2 knob
D4-6	Hastigheder ved nul kryds	Centreret	0kn mod	13.21m	2 knob
D7-9	Hastigheder ved FP	Centreret	0kn mod	13.21m	2 knob
D10-12	Hastigheder ved AP	Centreret	0kn mod	13.21m	3 knob
D13-15	Hastigheder ved nul kryds	Centreret	0kn mod	13.21m	3 knob
D16-18	Hastigheder ved FP	Centreret	0kn mod	13.21m	3 knob
D19-21	Hastigheder ved AP	Centreret	0kn mod	13.21m	4 knob
D22-24	Hastigheder ved nul kryds	Centreret	0kn mod	13.21m	4 knob
D25-27	Hastigheder ved FP	Centreret	0kn mod	13.21m	4 knob
D28-30	Hastigheder ved AP	Centreret	2kn mod	13.21m	3 knob
D31-33	Hastigheder ved nul kryds	Centreret	2kn mod	13.21m	3 knob
D34-36	Hastigheder ved FP	Centreret	2kn mod	13.21m	3 knob

Page	Appendix E – Containership	Kondition	Strøm	Dybde	Fart
E1-3	Hastigheder ved AP	Tæt på fender	0kn mod	13.21m	2 knob
E4-6	Hastigheder ved nul kryds	Tæt på fender	0kn mod	13.21m	2 knob
E7-9	Hastigheder ved FP	Tæt på fender	0kn mod	13.21m	2 knob
E10-12	Hastigheder ved AP	Tæt på fender	0kn mod	13.21m	3 knob
E13-15	Hastigheder ved nul kryds	Tæt på fender	0kn mod	13.21m	3 knob
E16-18	Hastigheder ved FP	Tæt på fender	0kn mod	13.21m	3 knob
E19-21	Hastigheder ved AP	Tæt på fender	0kn mod	13.21m	4 knob
E22-24	Hastigheder ved nul kryds	Tæt på fender	0kn mod	13.21m	4 knob
E25-27	Hastigheder ved FP	Tæt på fender	0kn mod	13.21m	4 knob
E28-30	Hastigheder ved AP	Tæt på fender	2kn mod	13.21m	3 knob
E31-33	Hastigheder ved nul kryds	Tæt på fender	2kn mod	13.21m	3 knob
E34-36	Hastigheder ved FP	Tæt på fender	2kn mod	13.21m	3 knob

Page	Appendix F – Midnatsol	Kondition	Strøm	Dybde	Fart
F1-3	Hastigheder ved AP	Centreret	0kn mod	12.00m	2 knob
F4-6	Hastigheder ved nul kryds	Centreret	0kn mod	12.00m	2 knob
F7-9	Hastigheder ved FP	Centreret	0kn mod	12.00m	2 knob
F10-12	Hastigheder ved AP	Centreret	0kn mod	12.00m	3 knob
F13-15	Hastigheder ved nul kryds	Centreret	0kn mod	12.00m	3 knob
F16-18	Hastigheder ved FP	Centreret	0kn mod	12.00m	3 knob
F19-21	Hastigheder ved AP	Centreret	0kn mod	12.00m	4 knob
F22-24	Hastigheder ved nul kryds	Centreret	0kn mod	12.00m	4 knob
F25-27	Hastigheder ved FP	Centreret	0kn mod	12.00m	4 knob
F28-30	Hastigheder ved AP	Centreret	2kn mod	12.00m	3 knob
F31-33	Hastigheder ved nul kryds	Centreret	2kn mod	12.00m	3 knob
F34-36	Hastigheder ved FP	Centreret	2kn mod	12.00m	3 knob

Page	Appendix G – Midnatsol	Kondition	Strøm	Dybde	Fart
G1-3	Hastigheder ved AP	Tæt på fender	0kn mod	12.00m	2 knob
G4-6	Hastigheder ved nul kryds	Tæt på fender	0kn mod	12.00m	2 knob
G7-9	Hastigheder ved FP	Tæt på fender	0kn mod	12.00m	2 knob
G10-12	Hastigheder ved AP	Tæt på fender	0kn mod	12.00m	3 knob
G13-15	Hastigheder ved nul kryds	Tæt på fender	0kn mod	12.00m	3 knob
G16-18	Hastigheder ved FP	Tæt på fender	0kn mod	12.00m	3 knob
G19-21	Hastigheder ved AP	Tæt på fender	0kn mod	12.00m	4 knob
G22-24	Hastigheder ved nul kryds	Tæt på fender	0kn mod	12.00m	4 knob
G25-27	Hastigheder ved FP	Tæt på fender	0kn mod	12.00m	4 knob
G28-30	Hastigheder ved AP	Tæt på fender	2kn mod	12.00m	3 knob
G31-33	Hastigheder ved nul kryds	Tæt på fender	2kn mod	12.00m	3 knob
G34-36	Hastigheder ved FP	Tæt på fender	2kn mod	12.00m	3 knob

Page	Appendix H – Midnatsol	Kondition	Strøm	Dybde	Fart
H1-3	Hastigheder ved AP	Centreret	0kn mod	13.21m	2 knob
H4-6	Hastigheder ved nul kryds	Centreret	0kn mod	13.21m	2 knob
H7-9	Hastigheder ved FP	Centreret	0kn mod	13.21m	2 knob
H10-12	Hastigheder ved AP	Centreret	0kn mod	13.21m	3 knob
H13-15	Hastigheder ved nul kryds	Centreret	0kn mod	13.21m	3 knob
H16-18	Hastigheder ved FP	Centreret	0kn mod	13.21m	3 knob
H19-21	Hastigheder ved AP	Centreret	0kn mod	13.21m	4 knob
H22-24	Hastigheder ved nul kryds	Centreret	0kn mod	13.21m	4 knob
H25-27	Hastigheder ved FP	Centreret	0kn mod	13.21m	4 knob
H28-30	Hastigheder ved AP	Centreret	2kn mod	13.21m	3 knob
H31-33	Hastigheder ved nul kryds	Centreret	2kn mod	13.21m	3 knob
H34-36	Hastigheder ved FP	Centreret	2kn mod	13.21m	3 knob

Page	Appendix I – Midnatsol	Kondition	Strøm	Dybde	Fart
I1-3	Hastigheder ved AP	Tæt på fender	0kn mod	13.21m	2 knob
I4-6	Hastigheder ved nulkryds	Tæt på fender	0kn mod	13.21m	2 knob
I7-9	Hastigheder ved FP	Tæt på fender	0kn mod	13.21m	2 knob
I10-12	Hastigheder ved AP	Tæt på fender	0kn mod	13.21m	3 knob
I13-15	Hastigheder ved nulkryds	Tæt på fender	0kn mod	13.21m	3 knob
I16-18	Hastigheder ved FP	Tæt på fender	0kn mod	13.21m	3 knob
I19-21	Hastigheder ved AP	Tæt på fender	0kn mod	13.21m	4 knob
I22-24	Hastigheder ved nulkryds	Tæt på fender	0kn mod	13.21m	4 knob
I25-27	Hastigheder ved FP	Tæt på fender	0kn mod	13.21m	4 knob
I28-30	Hastigheder ved AP	Tæt på fender	2kn mod	13.21m	3 knob
I31-33	Hastigheder ved nulkryds	Tæt på fender	2kn mod	13.21m	3 knob
I34-36	Hastigheder ved FP	Tæt på fender	2kn mod	13.21m	3 knob

1. Introduktion

Dr. Techn. Olav Olsen AS har bedt FORCE Technology, Division for Maritim Industri (DMI), om at udfører en numerisk undersøgelse af de hydrodynamiske kræfter og sætningen ved sejlads igennem Stad tunnelen med henholdsvis en færge og et containerskib.

Denne rapport beskriver de endelige beregninger udført for at undersøge hvilken indflydelse tunnelen har på sejladsen.

Studie blev gennemført med et containerskib og en færge uden strøm og i modstrøm med varierende skibshastighed over grunden. Indledende til disse beregninger, blev der udført et mindre benchmark studie med containerskibet i tunnelen for at undersøge indflydelsen af søjler i tunnelen. Disse resultater er ikke inkluderet i denne rapport, men kan findes i rapporten 116-29182-1B (Se reference /1/).

Arbejdet blev udført i overensstemmelse med FORCE Technology's quotation 116-25182-C dateret 27 maj 2016.

Benchmark studiet blev udført i løbet af juli 2016. Hovedstudiet blev udført fra september til november 2016.

RANS baseret CFD beregninger

CFD beregningerne blev foretaget med den kommercielle software STAR-CCM+ 10.06.009, som er den kode vi bruger til alle vores maritime CFD beregninger. STAR-CCM+ er en Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) kode, som både inkluderer viskose effekter og frie overflader.

STAR-CCM+ er en finite volume code, som løser Reynolds Averaged Navier-Stokes, (RANS), sammen med kontinuitetsligningerne i integral form. For at inkludere de viskose effekter i beregningerne er det nødvendigt at modellere turbulensen, hvilket gøres ved hjælp af en to-lignings $k-\omega$ model. De frie overflader er også inkluderet i beregningerne ved hjælp af en "two-phase volume of fluid" (VOF) model. Der blev brugt overlappende beregningsnet (overset mesh) for at kunne simulere skibets bevægelse langs skibets og vertikalt.

Beregningerne blev udført i modelskala (1:27,5), hvilket er standard for RANS beregninger.

Strømningen i tunnelen blev indledningsvis evalueret uden fri overflade (dvs. kun undervandsdelen) og uden skib for at bestemme strømningfordelingen, når strømning er udviklet et stykke inde i tunnelen (se Appendix A). Beregningerne blev udført for to vanddybder og for begge dybder blev der anvendt en ruhed på 0.5m på siderne og 0.15m i bunden.

Den beregnede udviklede strømning blev herefter udtaget i et tværsnit i tunnelen og derefter påtrykt som indløbsbetingelse for de endelige beregninger med skib og hvori overfladen var fri. Dvs. for de to vanddybder, blev der holdt en konstant flowrate igennem tunnelen.

Skibene blev modelleret i "bare hull" konditioner, dvs. uden ror. Propellerne blev modelleret som actuator disks med samme propeller karakteristisk som åbenvands forsøgene. Skibenes hastigheder blev fikseret tilsvarende et normalt modstandsforsøg.

Skibene blev placeret henholdsvis i midten af tunnelen samt tættest muligt på den ene fender. I situationen "tæt på fender" blev afstand beregnet på følgende måde:

$$Y_{offCL} = \frac{B_{Tunnel} - B_{Skib}}{2} - \Delta Y_{FENDER} = \frac{36m - B_{Skib}}{2} - 4,75m$$

RANS beregningerne blev udført ved følgende hastigheder og konditioner, se Tabel 1.1.

Kondition no.	Driftvinkel	Y_{DTC} [m]	Y_{MNS} [m]	Dybde [m]	Strøm [kn]	Skibshastighed [kn]
Centeret	Ingen drift	0.000	0.000	12.00	0.0	2.0, 3.0, 4.0
Centeret	Ingen drift	0.000	0.000	12.00	2.0	3.0
Tæt på fender	Ingen drift	2.119	2.500	12.00	0.0	2.0, 3.0, 4.0
Tæt på fender	Ingen drift	2.119	2.500	12.00	2.0	3.0
Centeret	Ingen drift	0.000	0.000	13.21	0.0	2.0, 3.0, 4.0
Centeret	Ingen drift	0.000	0.000	13.21	2.0	3.0
Tæt på fender	Ingen drift	2.119	2.500	13.21	0.0	2.0, 3.0, 4.0
Tæt på fender	Ingen drift	2.119	2.500	13.21	2.0	3.0

Tabel 1.1. Konditioner og hastigheder. (Y angiver afstanden fra CL af tunnelen, hvor Y_{DTC} er Y værdierne for DTC containerskibet og Y_{MNS} er Y værdierne for færgeren Midnatsol)

Resultaterne af beregningerne blev evalueret på baggrund af:

- Kræfter på skibet
- Sætning af skibet
- Hastigheder omkring skroget ved henholdsvis AP, FP og nulkryds.

Output:		Skaleret / non-dimensionaliseret med:
X'	X kraft	$X / (\frac{1}{2} \rho L_{PP}^2 U^2)$
Y'	Y kraft	$Y / (\frac{1}{2} \rho L_{PP}^2 U^2)$
N'	N moment	$N / (\frac{1}{2} \rho L_{PP}^3 U^2)$
T_{FP}'	Dybgang ved FP	T_{FP} / L_{PP}
T_{AP}'	Dybgang ved AP	T_{AP} / L_{PP}
Z_{FP}'	Sætning ved FP	Z_{FP} / L_{PP}
Z_{AP}'	Sætning ved AP	Z_{AP} / L_{PP}
u'	Longitudinal hastighed	u / U
v'	Lateral hastighed	v / U
w'	Vertikal hastighed	w / U

Tabel 1.2 Non-dimensionalisering af output variable.

Hastigheden, som er brugt til at non-dimensionalisere med, er totalhastigheden, dvs. skibshastighed plus strømhastighed.

2. Resume og konklusioner for containerskibet DTC

Resultaterne af beregningerne er summeret nedenfor for hver kondition.

Hastighederne omkring skibet i de fire situationer uden og med strøm, samt for de to vanddybder ses i Appendix B til E.

Af plottene i appendix ses det tydeligt at hastighederne omkring skibet er væsentlig mindre i situationen uden strøm end i situationen med strøm. Tilsvarende skabes der også en del mere turbuens omkring skibet i situationen med strøm end uden.

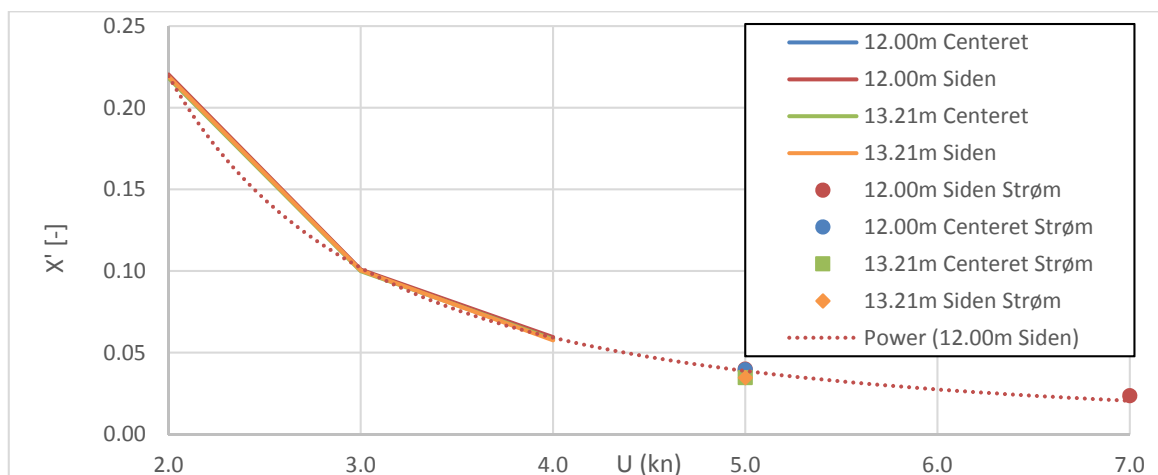
Af plottene ses det også at bølgerne genereret af skibet er lidt højere i konditionen hvor skibet er tæt på fenderen end hvor skibet er midt i tunnelen.

I de følgende figurer summeres resultaterne af simuleringerne for DTC skibet. Detaljerne for hver kurve i figurerne kan findes i tabellerne i de efterfølgende undersektioner.

Figur 2-1 viser den non-dimensionale modstand på skibet under sejladsen gennem tunnelen.

Der ses tydeligt en pæn trend for modstanden og modstanden på skibet i konditionen med strøm følger fint de ekstrapolerede værdier ved samme totalhastighed uden strøm.

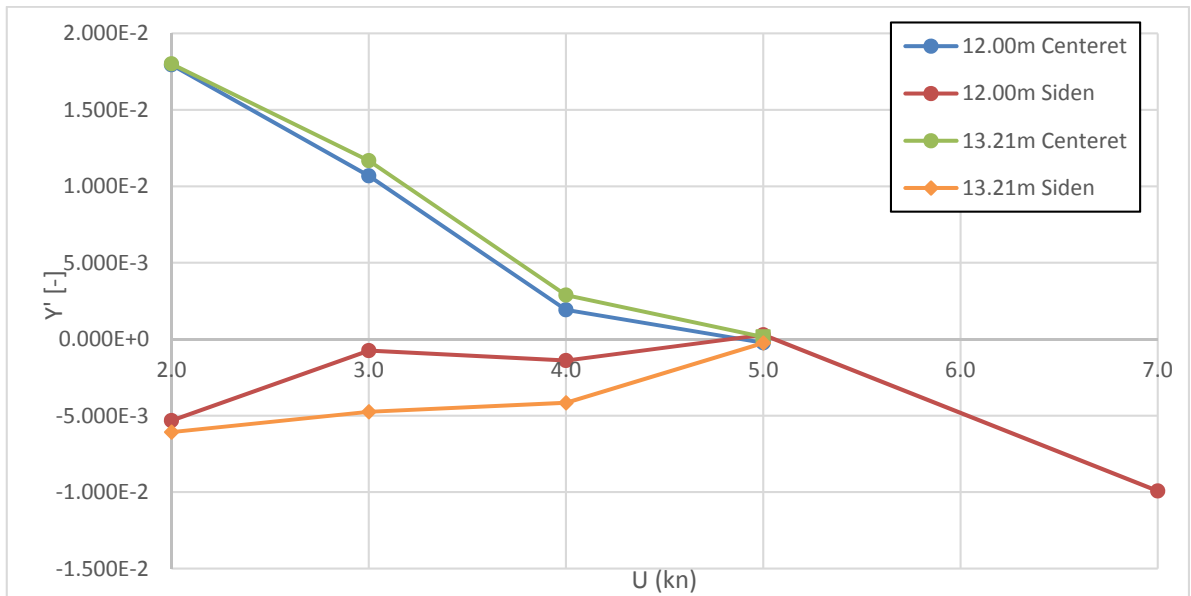
Pakked værdierne ud til fuldskala størrelser, stiger modstanden på skibet svagt med øget hastighed.



Figur 2-1 Non dimensionale X kraft. 5kn betyder 3kn skibshastighed + 2kn strøm og tilsvarende 7kn betyder 5kn skibshastighed + 2kn strøm.

Figur 2-2 viser den non-dimensionale sidekraft på skibet.

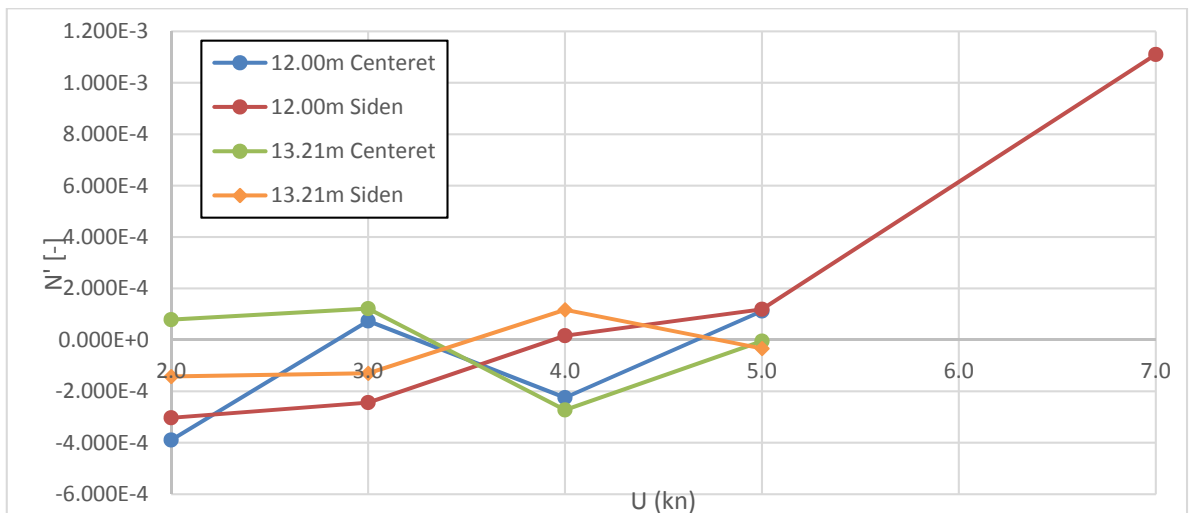
Af figuren ses det at sidekræfterne på skibet forårsaget af forskydningen ud imod fenderen er i samme størrelsesorden som sidekraften genereret af skibets skrue. Var skibet blevet skubbet ud til den anden fender ville den positive Y-kraft fra skruen være blevet forstærket af fenderen i stedet for udlignet som det ses af Figur 2-2. I og med fenderkræfterne er i samme størrelsesorden som sidekraften pga. skruen, forventes roret at kunne kompensere ved sejlads gennem tunnelen.



Figur 2-2 Non-dimensional Y kraft. 5kn betyder 3kn skibshastighed + 2kn strøm og tilsvarende 7kn betyder 5kn skibshastighed + 2kn strøm.

Figur 2-3 viser det non-dimensionale yaw moment på skibet.

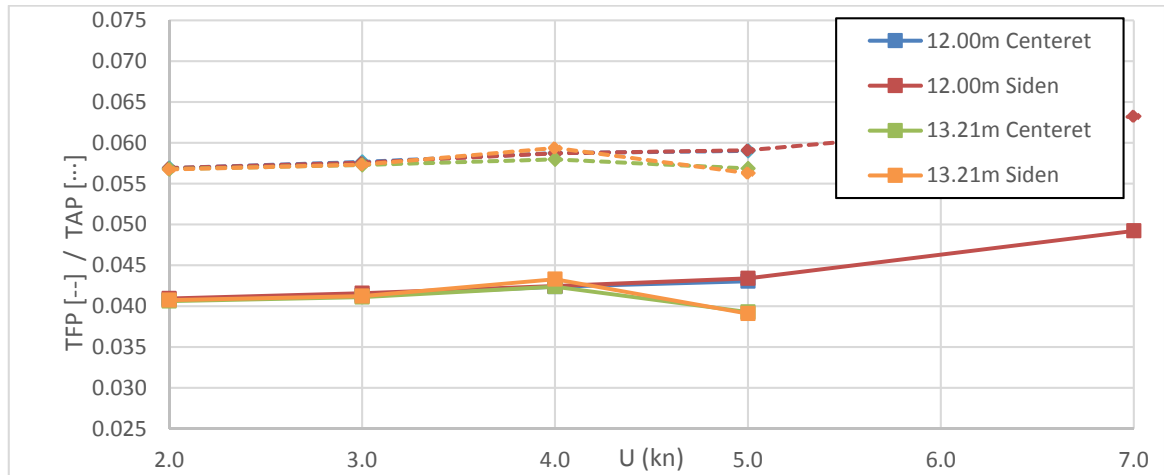
Af figuren ses det at momentet på skibet er af meget lille størrelsesorden. Når skibet er placeret i midten ligger momentet og fluktuere omkring nul. Ved placeringen tæt på fenderen viser der sig en lille tendens i kurverne, men når der sammenlignes med størrelsesordenen af momentet når skibet er placeret i midten, så må det antages at effekten af tunnelsiden er næsten ubetydelig. Kun ved meget høje hastigheder (7kn) ses en markant effekt, men denne hastighed formodes urealistisk i tunnelen på grund af høj modstand i forhold til fremdrivningspower.



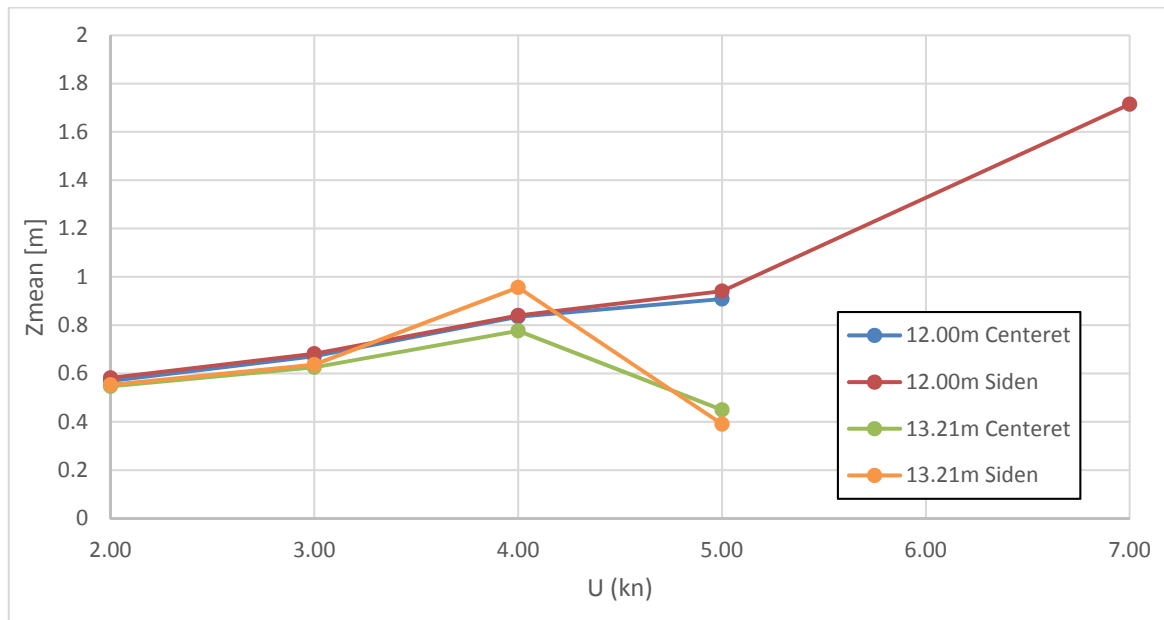
Figur 2-3 Non-dimensional N moment. 5kn betyder 3kn skibshastighed + 2kn strøm og tilsvarende 7kn betyder 5kn skibshastighed + 2kn strøm.

Figur 2-4 viser den non-dimensionale dybgang ved henholdsvis FP og AP. Tilsvarende vises middel sætning i fuldskala i Figur 2-5. Trenden i de to figurer er helt ens, Figur 2-5 er inkluderet for bedre at illustrere tendensen og give en bedre ide om størrelsen af sætningen.

I de tre tilfælde (2kn, 3kn og 4kn) uden strøm øges sætning som funktion af hastigheden af skibet, hvilket er som forventet. I tilfældet med strøm, skaber strømmen større ændringer i hastighedsfordelingen omkring skibet og især i tilfældet med den største vanddybde mindskes sætningseffekten i forhold til conditionerne uden strøm. På intet tidspunkt, selv ikke ved 7kn, er der indikationer på at skibet grundstøder under sejladsen.



Figur 2-4 Non-dimensional dybgang ved FP (optrukket linje) og AP (prikket linje).



Figur 2-5 Fuldskala middel-sætning (ved nulkræds).

2.1. DTC i center med 12.00m vanddybde

Viskose CFD beregninger blev udført for DTC containerskibet i Stad tunnelen. DTC skibet havde en dybgang på 7.00m og ingen trim. Nedenstående tabeller (Tabel 2.1 og 2.2) viser resultaterne for skibet placeret i midten af tunnelen, dvs. med lige stor afstand til begge fendere, og ved vanddybden 12.00m.

I simuleringen med modstrøm blev modstrøms hastighedsprofilen beregnet separat i et forstudie og derefter påtrykt ved indløbet af beregningerne.

U (kn)	2.00	3.00	4.00	3.00
Strøm (kn)	0.00	0.00	0.00	2.00
X'	$2.193 \cdot 10^{-1}$	$1.005 \cdot 10^{-1}$	$5.883 \cdot 10^{-2}$	$3.943 \cdot 10^{-2}$
Y'	$1.795 \cdot 10^{-2}$	$1.069 \cdot 10^{-2}$	$1.927 \cdot 10^{-3}$	$-2.353 \cdot 10^{-4}$
N'	$-3.892 \cdot 10^{-4}$	$7.362 \cdot 10^{-5}$	$-2.245 \cdot 10^{-4}$	$1.123 \cdot 10^{-4}$
T_{FP}'	$4.078 \cdot 10^{-2}$	$4.133 \cdot 10^{-2}$	$4.238 \cdot 10^{-2}$	$9.581 \cdot 10^{-2}$
T_{AP}'	$5.691 \cdot 10^{-2}$	$5.768 \cdot 10^{-2}$	$5.875 \cdot 10^{-2}$	$1.118 \cdot 10^{-1}$
Z_{FP}'	$-4.391 \cdot 10^{-3}$	$-3.840 \cdot 10^{-3}$	$-2.794 \cdot 10^{-3}$	$-2.123 \cdot 10^{-3}$
Z_{AP}'	$5.691 \cdot 10^{-2}$	$1.251 \cdot 10^{-2}$	$1.357 \cdot 10^{-2}$	$1.385 \cdot 10^{-2}$

Tabel 2.1 Non-dimensional sætning og kræfter ved forskellige hastigheder for DTC skibet i Stad tunnelen. Vanddybden var 12.00m og skibet var centeret midt i tunnelen.

U (kn)	2.00	3.00	4.00	3.00
Strøm (kn)	0.00	0.00	0.00	2.00
X [kN]	2859.21	2948.30	3068.45	3213.75
Y [kN]	234.07	313.64	100.50	-19.17
N [kN·m]	-786.39	334.67	-1814.20	1418.21
T_{FP} [m]	6.320	6.405	6.567	6.671
T_{AP} [m]	8.819	8.938	9.104	9.146
Z_{FP} [m]	-0.680	-0.595	-0.433	-0.329
Z_{AP} [m]	1.819	1.938	2.104	2.146

Tabel 2.2 Fuldskala sætning og kræfter ved forskellige hastigheder for DTC skibet i Stad tunnelen. Vanddybden var 12.00m og skibet er centeret midt i tunnelen.

Skaleringen til fuldskala er gjort ved ren Froude skalering, dvs. den tager ikke hensyn til eller korrigerer for eventuelle skalaeffekter.

Alle plottene for skibet i midten af tunnelen ved 12m vanddybde er vist i Appendix B. Plottene viser hastigheds komponenterne (u, v og w) ved nulkræds, FP og AP. Plottene er i modelskala, men de giver et tydeligt billede af flowforholdene omkring skibet.

2.2. DTC tæt på fender med 12.00m vanddybde

Viskose CFD beregninger blev udført for DTC containerskibet i Stad tunnelen. DTC skibet havde en dybgang på 7.00m og ingen trim. Nedenstående tabeller (Tabel 2.3 og 2.4) viser resultaterne for skibet placeret i tættest muligt på den ene fender og ved vanddybden 12.00m.

I simuleringerne med modstrøm blev modstrømhastighedsprofilen beregnet separat i et forstudie og derefter påtrykt ved indløbet af beregningerne.

U (kn)	2.00	3.00	4.00	3.00	5.00
Strøm (kn)	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00
X'	$2.203 \cdot 10^{-1}$	$1.009 \cdot 10^{-1}$	$5.957 \cdot 10^{-2}$	$3.981 \cdot 10^{-2}$	$2.362 \cdot 10^{-2}$
Y'	$-5.317 \cdot 10^{-4}$	$-7.452 \cdot 10^{-4}$	$-1.392 \cdot 10^{-3}$	$2.936 \cdot 10^{-4}$	$-9.926 \cdot 10^{-3}$
N'	$-3.025 \cdot 10^{-4}$	$-2.436 \cdot 10^{-4}$	$1.689 \cdot 10^{-5}$	$1.191 \cdot 10^{-4}$	$1.111 \cdot 10^{-3}$
T_{FP}'	$4.094 \cdot 10^{-2}$	$4.159 \cdot 10^{-2}$	$4.247 \cdot 10^{-2}$	$4.340 \cdot 10^{-2}$	$4.923 \cdot 10^{-2}$
T_{AP}'	$5.692 \cdot 10^{-2}$	$5.756 \cdot 10^{-2}$	$5.873 \cdot 10^{-2}$	$5.910 \cdot 10^{-2}$	$6.325 \cdot 10^{-2}$
Z_{FP}'	$-4.237 \cdot 10^{-3}$	$-3.585 \cdot 10^{-3}$	$-2.703 \cdot 10^{-3}$	$-1.774 \cdot 10^{-3}$	$4.052 \cdot 10^{-3}$
Z_{AP}'	$1.175 \cdot 10^{-2}$	$1.239 \cdot 10^{-2}$	$1.355 \cdot 10^{-2}$	$1.392 \cdot 10^{-2}$	$1.808 \cdot 10^{-2}$

Tabel 2.3 Non-dimensional sætning og kræfter ved forskellige hastigheder for DTC skibet i Stad tunnelen. Vanddybden var 12.00m og skibet var tættest muligt på den ene fender.

U (kn)	2.00	3.00	4.00	3.00	5.00
Strøm (kn)	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00
X [kN]	2872.83	2961.18	3107.13	3244.17	3773.05
Y [kN]	-69.33	-21.86	-72.63	23.92	-1585.50
N [kN·m]	-611.27	-1107.67	136.52	1504.66	27488.49
T_{FP} [m]	6.343	6.444	6.581	6.725	7.628
T_{AP} [m]	8.820	8.920	9.100	9.157	9.802
Z_{FP} [m]	-0.657	-0.556	-0.419	-0.275	0.628
Z_{AP} [m]	1.820	1.920	2.100	2.157	2.802

Tabel 2.4 Fuldskalasætning og kræfter ved forskellige hastigheder for DTC skibet i Stad tunnelen. Vanddybden var 12.00m og skibet var tættest muligt på den ene fender.

Skaleringen til fuldskala er gjort ved ren Froude skalering, dvs. den tager ikke hensyn til eller korrigerer for eventuelle skalaeffekter.

Alle plottene for skibet tæt på fenderen ved 12m vanddybde er vist i Appendix C. Plottene viser hastigheds komponenterne (u, v og w) ved nulkræds, FP og AP. Plottene er i modelskala, men de giver et tydeligt billede af flowforholdene omkring skibet.

2.3. DTC i center med 13.21m vanddybde

Viskose CFD beregninger blev udført for DTC containerskibet i Stad tunnelen. DTC skibet havde en dybgang på 7.00m og ingen trim. Nedenstående tabeller (Tabel 2.5 og 2.6) viser resultaterne for skibet placeret i midten af tunnelen, dvs. med lige stor afstand til begge fendere, og ved vanddybden 13.21m.

I simuleringen med modstrøm blev modstrømhastighedsprofilen beregnet separat i et forstudie og derefter påtrykt ved indløbet af beregningerne.

U (kn)	2.00	3.00	4.00	3.00
Strøm (kn)	0.00	0.00	0.00	2.00
X'	$2.182 \cdot 10^{-1}$	$9.997 \cdot 10^{-2}$	$5.832 \cdot 10^{-2}$	$3.466 \cdot 10^{-2}$
Y'	$1.802 \cdot 10^{-2}$	$1.169 \cdot 10^{-2}$	$2.894 \cdot 10^{-3}$	$1.466 \cdot 10^{-4}$
N'	$7.865 \cdot 10^{-5}$	$1.217 \cdot 10^{-4}$	$-2.722 \cdot 10^{-4}$	$-4.246 \cdot 10^{-6}$
T_{FP}'	$4.061 \cdot 10^{-2}$	$4.112 \cdot 10^{-2}$	$4.239 \cdot 10^{-2}$	$3.929 \cdot 10^{-2}$
T_{AP}'	$5.679 \cdot 10^{-2}$	$5.731 \cdot 10^{-2}$	$5.798 \cdot 10^{-2}$	$5.686 \cdot 10^{-2}$
Z_{FP}'	$-4.559 \cdot 10^{-3}$	$-4.055 \cdot 10^{-3}$	$-2.781 \cdot 10^{-3}$	$-5.880 \cdot 10^{-3}$
Z_{AP}'	$1.162 \cdot 10^{-2}$	$1.213 \cdot 10^{-2}$	$1.280 \cdot 10^{-2}$	$1.169 \cdot 10^{-2}$

Tabel 2.5 Non-dimensional sætning og kræfter ved forskellige hastigheder for DTC skibet i Stad tunnelen. Vanddybden var 13.21m og skibet var centeret midt i tunnelen.

U (kn)	2.00	3.00	4.00	3.00
Strøm (kn)	0.00	0.00	0.00	2.00
X [kN]	2776.10	2947.37	2776.10	2824.55
Y [kN]	-149.48	-139.01	-149.48	11.95
N [kN·m]	-587.25	-590.83	1761.75	-53.62
T_{FP} [m]	6.294	6.372	6.569	6.089
T_{AP} [m]	8.800	8.880	8.984	8.811
Z_{FP} [m]	-0.706	-0.628	-0.431	-0.911
Z_{AP} [m]	1.800	1.880	1.984	1.811

Tabel 2.6 Fuldskala sætning og kræfter ved forskellige hastigheder for DTC skibet i Stad tunnelen. Vanddybden var 13.21m og skibet var centeret midt i tunnelen.

Skaleringen til fuldskala er gjort ved ren Froude skalering, dvs. den tager ikke hensyn til eller korrigerer for eventuelle skalaeffekter.

Alle plottene for skibet i midten af tunnelen ved 13.21m vanddybde er vist i Appendix D. Plottene viser hastigheds komponenterne (u, v og w) ved nulkruds, FP og AP. Plottene er i modelskala, men de giver et tydeligt billede af flowforholdene omkring skibet.

2.4. DTC tæt på fender med 13.21m vanddybde

Viskose CFD beregninger blev udført for DTC containerskibet i Stad tunnelen. DTC skibet havde en dybgang på 7.00m og ingen trim. Nedenstående tabeller (Tabel 2.7 og 2.8) viser resultaterne for skibet placeret i tættest muligt på den ene fender og ved vanddybden 13.21m.

I simuleringen med modstrøm blev modstrøms hastighedsprofilen beregnet separat i et forstudie og derefter påtrykt ved indløbet af beregningerne.

U (kn)	2.00	3.00	4.00	3.00
Strøm (kn)	0.00	0.00	0.00	2.00
X'	$2.192 \cdot 10^{-1}$	$1.005 \cdot 10^{-1}$	$5.759 \cdot 10^{-2}$	$3.467 \cdot 10^{-2}$
Y'	$-6.075 \cdot 10^{-3}$	$-4.738 \cdot 10^{-3}$	$-4.160 \cdot 10^{-3}$	$-2.421 \cdot 10^{-4}$
N'	$-1.423 \cdot 10^{-4}$	$-1.300 \cdot 10^{-4}$	$1.175 \cdot 10^{-4}$	$-3.333 \cdot 10^{-5}$
T_{FP}'	$4.074 \cdot 10^{-2}$	$4.123 \cdot 10^{-2}$	$4.331 \cdot 10^{-2}$	$3.908 \cdot 10^{-2}$
T_{AP}'	$5.675 \cdot 10^{-2}$	$5.733 \cdot 10^{-2}$	$5.938 \cdot 10^{-2}$	$5.630 \cdot 10^{-2}$
Z_{FP}'	$-4.433 \cdot 10^{-3}$	$-3.939 \cdot 10^{-3}$	$-1.862 \cdot 10^{-3}$	$-6.088 \cdot 10^{-3}$
Z_{AP}'	$1.158 \cdot 10^{-2}$	$1.216 \cdot 10^{-2}$	$1.420 \cdot 10^{-2}$	$1.113 \cdot 10^{-2}$

Tabel 2.7 Non-dimensional sætning og kræfter ved forskellige hastigheder for DTC skibet i Stad tunnelen. Vanddybden var 13.21m og skibet var tættest muligt på den ene fender.

U (kn)	2.00	3.00	4.00	3.00
Strøm (kn)	0.00	0.00	0.00	2.00
X [kN]	2858.51	2947.37	3003.87	2825.24
Y [kN]	-79.21	-139.01	-216.98	-19.73
N [kN·m]	-287.50	-590.83	949.94	-420.87
T_{FP} [m]	6.313	6.390	6.711	6.057
T_{AP} [m]	8.794	8.884	9.201	8.725
Z_{FP} [m]	-0.687	-0.610	-0.289	-0.943
Z_{AP} [m]	1.794	1.884	2.201	1.725

Tabel 2.8 Fuldskala sætning og kræfter ved forskellige hastigheder for DTC skibet i Stad tunnelen. Vanddybden var 13.21m og skibet var tættest muligt på den ene fender.

Skaleringen til fuldskala er gjort ved ren Froude skalering, dvs. den tager ikke hensyn til eller korrigerer for eventuelle skalaeffekter.

Alle plottene for skibet tæt på fenderen ved 13.21m vanddybde er vist i Appendix E. Plottene viser hastigheds komponenterne (u, v og w) ved nulkræds, FP og AP. Plottene er i modelskala, men de giver et tydeligt billede af flowforholdene omkring skibet.

3. Resume og konklusioner for færgeren Midnatsol

Resultaterne af beregningerne er summeret nedenfor for hver kondition.

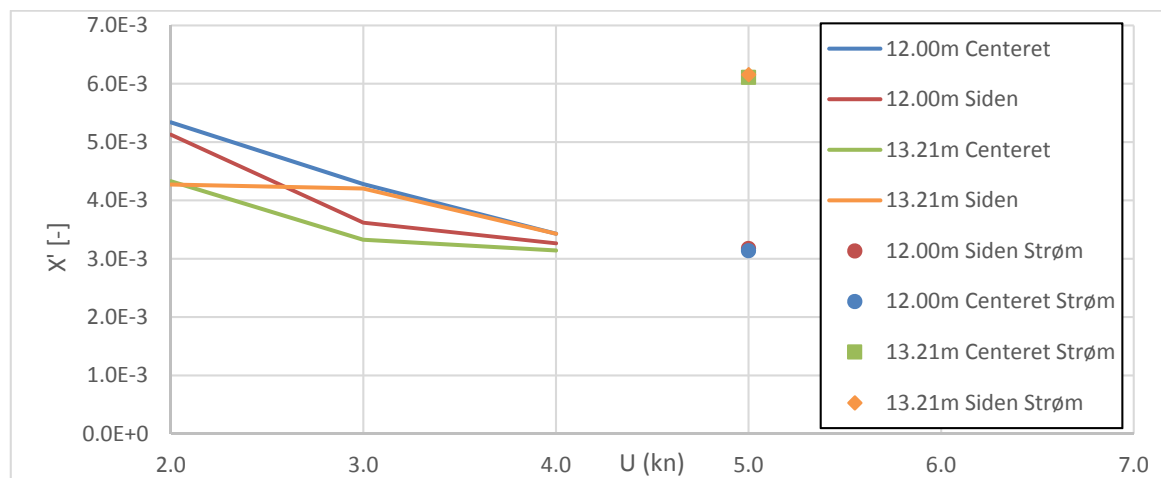
Hastighederne omkring skibet i de fire situationer uden og med strøm og to vanddybder ses i Appendix F til I.

Af plottene i appendix ses det tydeligt at hastighederne omkring skibet er væsentlig mindre i situationen uden strøm end i situationen med strøm. Ligesom for DTC skibet ændres hastighedsfeltet omkring skibet i situationen med strøm i forhold til i situationen uden strøm.

Desuden ses det tydeligt at bølgerne genereret af skibet er lidt højere i konditionen hvor skibet er tæt på fenderen end hvor skibet er midt i tunnelen.

I de følgende figurer opsummeres resultaterne af simuleringerne for Midnatsol. Detaljerne for hver kurve i figurerne kan findes i tabellerne i de efterfølgende undersektioner.

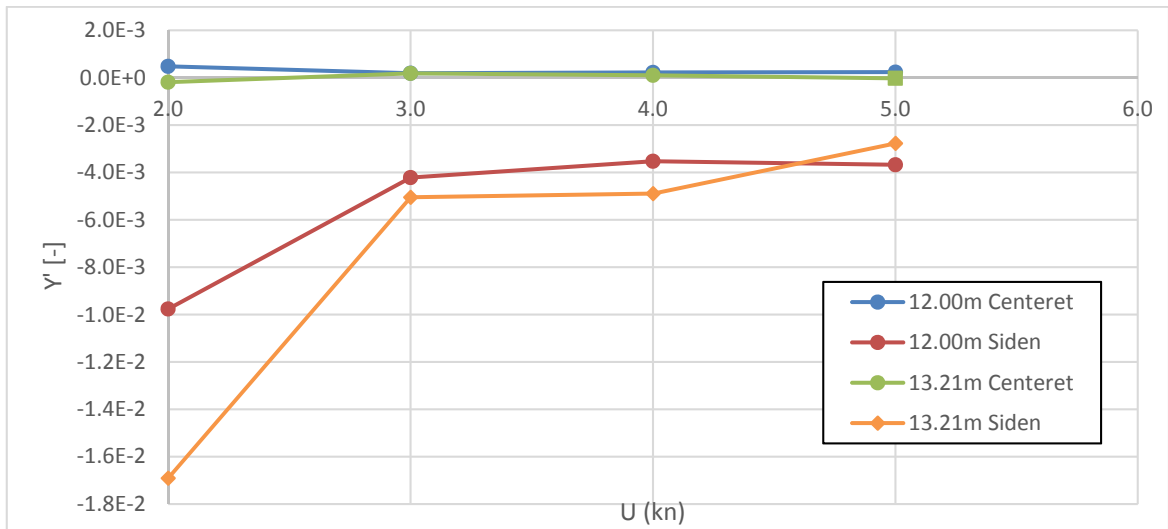
I Figur 3-1 vises modstanden på skibet som funktion af total hastigheden, dvs. plottet samler resultaterne både med og uden strøm. Midnatsol viser ikke helt samme trend som DTC skibet da Midnatsol, ved 13.21m vanddybden, synes at danne en del mere cross flow i modstrømmen, hvilket får modstanden til at stige og afvige fra trenden af de resterende resultater. Denne forskel i strømningen ses tydeligt i plottene G28-36 kontra I28-36 (i henholdsvis Appendix G og I). Betragtes værdierne i fuldskala (se tabel 3.1 til 3.8) stiger modstanden på skibet med øget hastighed helt som ventet.



Figur 3-1 Non-dimensional X kraft. 5kn betyder 3kn skibshastighed + 2kn strøm.

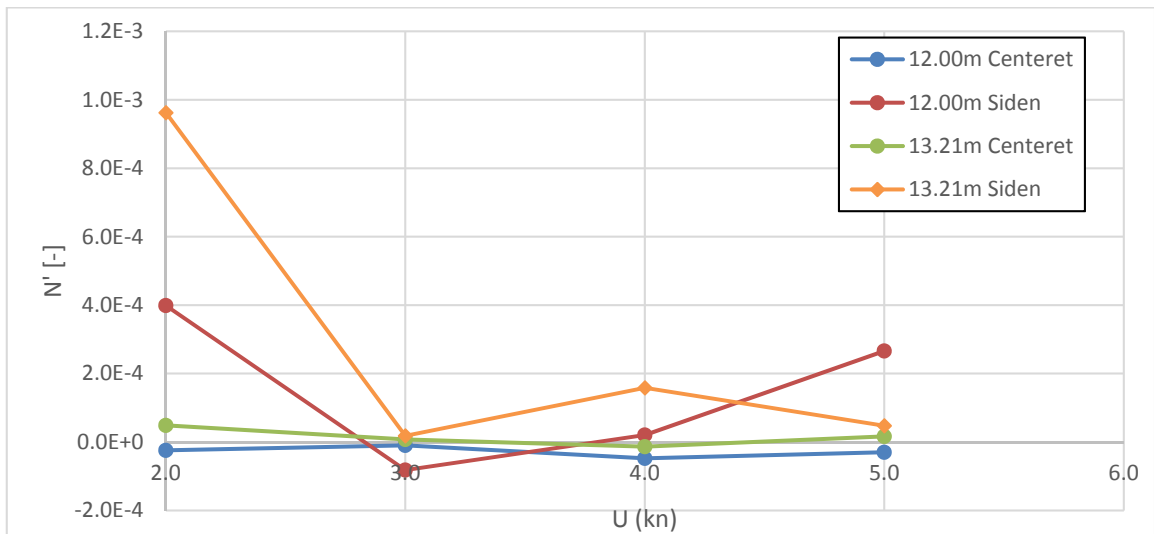
Figur 3-2 viser den non-dimensionale sidekræft på skibet.

Da skibet er et dobbeltskruet skib og dermed symmetrisk skal sidekræften, når skibet er placeret i centrum af tunnelen være ganske tæt på nul, hvilket også ses af figuren. I de to situationer tættest muligt på fenderen ses det at siden af tunnelen påvirker skibet. Størrelsesordenen på kræfterne er dog ikke af en sådanne størrelse at roret ikke burde kunne kompensere for dem ved sejlads gennem tunnelen.



Figur 3-2 Non-dimensional Y kraft. 5kn betyder 3kn skibshastighed + 2kn strøm.

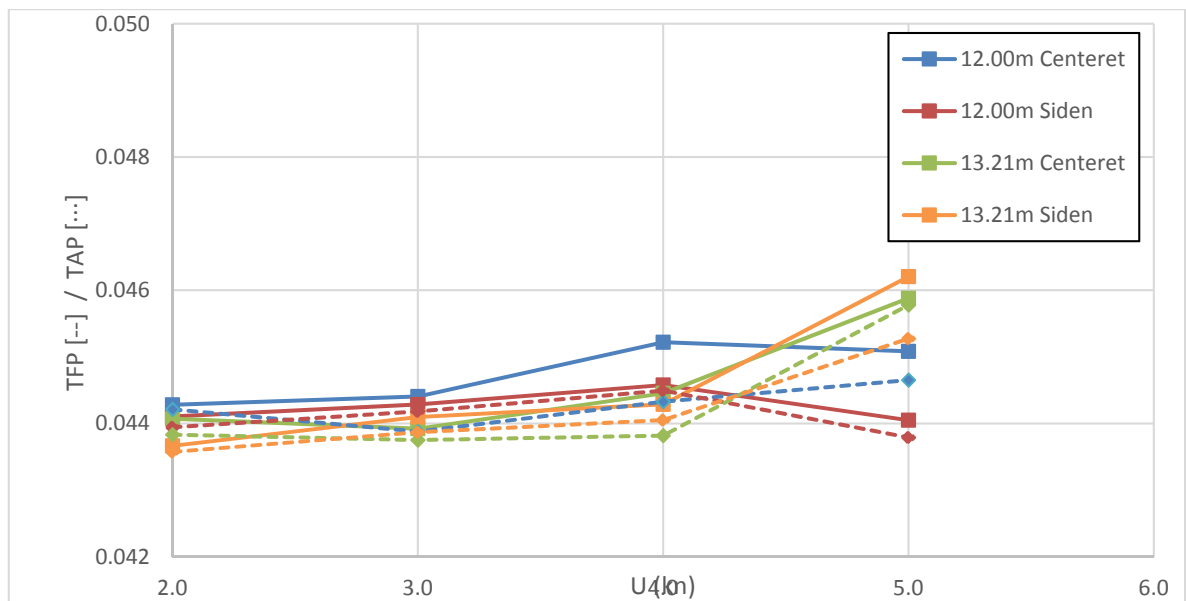
Figur 3-3 viser det non-dimensionale yaw moment på skibet ved forskellige hastigheder. Ligesom for Y kræfterne ses det at N momentet ligger og fluktuerer ganske tæt på nul i de to situationer hvor skibet er placeret midt i tunnelen. I situationerne tættest muligt på den ene fender afviger momentet fra nul, men som for sidekræfterne er størrelsesordenen på kræfterne forholdsvis små.



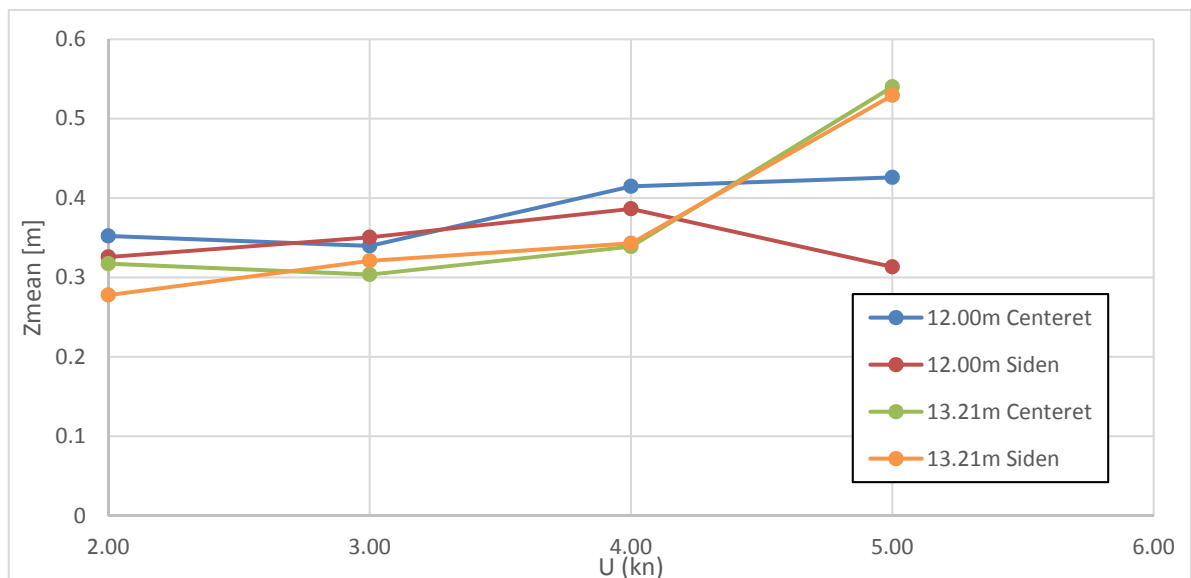
Figur 3-3 Non-dimensional N moment. 5kn betyder 3kn skibshastighed + 2kn strøm.

Figur 3-2 viser den non-dimensionale dybgang ved FP og AP. Tilsvarende vises middel sætning i fuldskala i Figur 3-5. Trenden i de to figurer er helt ens da sætningen blot er den dynamiske dybgang minus den initiale dybgang. Figur 3-5 er inkluderet for bedre at illustrere tendensen og give en bedre ide om størrelsen af sætningen.

For de tre situationer uden strøm i tunnelen (2kn, 3kn og 4kn) synes der at være en svagt stigende tendens for sætningen som funktion af hastigheden, hvilket tydeligst ses i Figur 3-5. Der er ikke den store forskel på sætningen for og agter, dvs. skibet har kun et ganske svagt trim. Der ses en øget sætning ved 13.21m vanddybde med strøm, hvilket er i tråd med den øgede modstand set i Figur 3-1. Afvigelserne i situationerne med strøm formodes at skyldes det øgede cross flow skibet pga. strømmen. Den reelle variation er dog ganske lille og skibet udviser ikke risiko for grundstødning.



Figur 3-4 Non-dimensional dybgang ved FP (optrukket linje) og AP (prikket linje)



Figur 3-5 Fuldskala middel-sætning (ved nulkræds).

3.1. Midnatsol i center med 12.0m vanddybde

Viskose CFD beregninger blev udført for færgeren Midnatsol i Stad tunnelen. Midnatsol havde en dybgang på 4.90m og ingen trim. Nedenstående tabeller (Tabel 3.1 og 3.2) viser resultaterne for skibet placeret i midten af tunnelen, dvs. med lige stor afstand til begge fendere, og ved vanddybden 12.00m.

I simuleringen med modstrøm blev modstrømhastighedsprofilen beregnet separat i et forstudie og derefter påtrykt ved indløbet af beregningerne.

U (kn)	2.00	3.00	4.00	3.00
Strøm (kn)	0.00	0.00	0.00	2.00
X'	$5.340 \cdot 10^{-3}$	$4.281 \cdot 10^{-3}$	$3.431 \cdot 10^{-3}$	$3.137 \cdot 10^{-3}$
Y'	$4.817 \cdot 10^{-4}$	$1.936 \cdot 10^{-4}$	$2.221 \cdot 10^{-4}$	$2.412 \cdot 10^{-4}$
N'	$-2.412 \cdot 10^{-5}$	$-9.787 \cdot 10^{-6}$	$-4.757 \cdot 10^{-5}$	$-3.013 \cdot 10^{-5}$
$T_{Z_{FP}}'$	$4.428 \cdot 10^{-2}$	$4.441 \cdot 10^{-2}$	$4.522 \cdot 10^{-2}$	$4.508 \cdot 10^{-2}$
T_{AP}'	$4.421 \cdot 10^{-2}$	$4.388 \cdot 10^{-2}$	$4.433 \cdot 10^{-2}$	$4.465 \cdot 10^{-2}$
z_{FP}'	$3.000 \cdot 10^{-3}$	$3.126 \cdot 10^{-3}$	$3.939 \cdot 10^{-3}$	$3.803 \cdot 10^{-3}$
z_{AP}'	$2.934 \cdot 10^{-3}$	$2.599 \cdot 10^{-3}$	$3.049 \cdot 10^{-3}$	$3.373 \cdot 10^{-3}$

Tabel 3.1 Non-dimensional sætning og kræfter ved forskellige hastigheder for Midnatsol i Stad tunnelen. Vanddybden var 12.00m og skibet var centeret midt i tunnelen.

U (kn)	2.00	3.00	4.00	3.00
Strøm (kn)	0.00	0.00	0.00	2.00
X [kN]	40.86	73.70	104.99	150.00
Y [kN]	3.69	3.33	6.80	11.53
N [kN·m]	-21.91	-20.00	-172.81	-171.02
T_{FP} [m]	5.256	5.271	5.368	5.351
T_{AP} [m]	5.248	5.208	5.262	5.300
z_{FP} [m]	0.356	0.371	0.468	0.451
z_{AP} [m]	0.348	0.308	0.362	0.400

Tabel 3.2 Fuldskala sætning og kræfter ved forskellige hastigheder for Midnatsol i Stad tunnelen. Vanddybden var 12.00m og skibet var centeret midt i tunnelen.

Skaleringen til fuldskala er gjort ved ren Froude skalering, dvs. den tager ikke hensyn til eller korrigerer for eventuelle skalaeffekter.

Alle plottene for skibet i midten af tunnelen ved 12m vanddybde er vist i Appendix F. Plottene viser hastigheds komponenterne (u, v og w) ved nulkræds, FP og AP. Plottene er i modelskala, men de giver et tydeligt billede af flowforholdene omkring skibet.

3.2. Midnatsol tæt på fender med 12.0m vanddybde

Viskose CFD beregninger blev udført for færgen Midnatsol i Stad tunnelen. Midnatsol havde en dybgang på 4.90m og ingen trim. Nedenstående tabeller (Tabel 3.3 og 3.4) viser resultaterne for skibet placeret i tættest muligt på den ene fender og ved vanddybden 12.00m.

I simuleringerne med modstrøm blev modstrømhastighedsprofilen beregnet separat i et forstudie og derefter påtrykt ved indløbet af beregningerne.

U (kn)	2.00	3.00	4.00	3.00
Strøm (kn)	0.00	0.00	0.00	2.00
X'	$5.127 \cdot 10^{-3}$	$3.618 \cdot 10^{-3}$	$3.265 \cdot 10^{-3}$	$3.175 \cdot 10^{-3}$
Y'	$-9.764 \cdot 10^{-3}$	$-4.216 \cdot 10^{-3}$	$-3.523 \cdot 10^{-3}$	$-3.672 \cdot 10^{-3}$
N'	$3.990 \cdot 10^{-4}$	$-8.197 \cdot 10^{-5}$	$2.068 \cdot 10^{-5}$	$2.663 \cdot 10^{-4}$
$T_{Z_{FP}}'$	$4.410 \cdot 10^{-2}$	$4.429 \cdot 10^{-2}$	$4.458 \cdot 10^{-2}$	$4.405 \cdot 10^{-2}$
T_{AP}'	$4.395 \cdot 10^{-2}$	$4.418 \cdot 10^{-2}$	$4.450 \cdot 10^{-2}$	$4.379 \cdot 10^{-2}$
z_{FP}'	$2.824 \cdot 10^{-3}$	$3.004 \cdot 10^{-3}$	$3.298 \cdot 10^{-3}$	$2.768 \cdot 10^{-3}$
z_{AP}'	$2.665 \cdot 10^{-3}$	$2.902 \cdot 10^{-3}$	$3.215 \cdot 10^{-3}$	$2.509 \cdot 10^{-3}$

Tabel 3.3 Non-dimensional sætning og kræfter ved forskellige hastigheder for Midnatsol i Stad tunnelen. Vanddybden var 12.00m og skibet var tættest muligt på den ene fender.

U (kn)	2.00	3.00	4.00	3.00
Strøm (kn)	0.00	0.00	0.00	2.00
X [kN]	39.23	62.29	99.92	151.84
Y [kN]	-74.70	-72.58	-107.81	-175.57
N [kN·m]	362.38	-167.49	75.11	1511.71
T_{FP} [m]	5.235	5.257	5.292	5.229
T_{AP} [m]	5.216	5.245	5.282	5.198
z_{FP} [m]	0.335	0.357	0.392	0.329
z_{AP} [m]	0.316	0.345	0.382	0.298

Tabel 3.4 Fuldskala sætning og kræfter ved forskellige hastigheder for Midnatsol i Stad tunnelen. Vanddybden var 12.00m og skibet var tættest muligt på den ene fender.

Skaleringen til fuldskala er gjort ved ren Froude skalering, dvs. den tager ikke hensyn til eller korrigerer for eventuelle skalaeffekter.

Alle plottene for skibet tæt på fenderen ved 12m vanddybde er vist i Appendix G. Plottene viser hastigheds komponenterne (u, v og w) ved nulkræds, FP og AP. Plottene er i modelskala, men de giver et tydeligt billede af flowforholdene omkring skibet.

3.3. Midnatsol i center med 13.21m vanddybde

Viskose CFD beregninger blev udført for færgeren Midnatsol i Stad tunnelen. Midnatsol havde en dybgang på 4.90m og ingen trim. Nedenstående tabeller (Tabel 3.5 og 3.6) viser resultaterne for skibet placeret i midten af tunnelen, dvs. med lige stor afstand til begge fendere, og ved vanddybden 13.21m.

I simuleringen med modstrøm blev modstrøms hastighedsprofilen beregnet separat i et forstudie og derefter påtrykt ved indløbet af beregningerne.

U (kn)	2.00	3.00	4.00	3.00
Strøm (kn)	0.00	0.00	0.00	2.00
X'	$4.329 \cdot 10^{-3}$	$3.327 \cdot 10^{-3}$	$3.143 \cdot 10^{-3}$	$6.362 \cdot 10^{-3}$
Y'	$-1.844 \cdot 10^{-4}$	$1.841 \cdot 10^{-4}$	$1.005 \cdot 10^{-4}$	$-2.373 \cdot 10^{-5}$
N'	$4.855 \cdot 10^{-5}$	$7.264 \cdot 10^{-6}$	$-1.342 \cdot 10^{-5}$	$1.653 \cdot 10^{-5}$
$T_{Z_{FP}}'$	$4.407 \cdot 10^{-2}$	$4.392 \cdot 10^{-2}$	$4.445 \cdot 10^{-2}$	$4.588 \cdot 10^{-2}$
T_{AP}'	$4.383 \cdot 10^{-2}$	$4.375 \cdot 10^{-2}$	$4.382 \cdot 10^{-2}$	$4.578 \cdot 10^{-2}$
z_{FP}'	$2.792 \cdot 10^{-3}$	$2.643 \cdot 10^{-3}$	$3.173 \cdot 10^{-3}$	$4.600 \cdot 10^{-3}$
z_{AP}'	$2.554 \cdot 10^{-3}$	$2.471 \cdot 10^{-3}$	$2.538 \cdot 10^{-3}$	$4.498 \cdot 10^{-3}$

Tabel 3.5 Non-dimensional sætning og kræfter ved forskellige hastigheder for Midnatsol i Stad tunnelen. Vanddybden var 13.21m og skibet var centeret midt i tunnelen.

U (kn)	2.00	3.00	4.00	3.00
Strøm (kn)	0.00	0.00	0.00	2.00
X [kN]	33.12	57.27	96.17	292.04
Y [kN]	-1.41	3.17	3.08	-1.13
N [kN·m]	44.09	14.84	-48.76	93.81
T_{FP} [m]	5.231	5.214	5.277	5.446
T_{AP} [m]	5.203	5.193	5.201	5.434
z_{FP} [m]	0.331	0.314	0.377	0.546
z_{AP} [m]	0.303	0.293	0.301	0.534

Tabel 3.6 Fuldskala sætning og kræfter ved forskellige hastigheder for Midnatsol i Stad tunnelen. Vanddybden var 13.21m og skibet var centeret midt i tunnelen.

Skaleringen til fuldskala er gjort ved ren Froude skalering, dvs. den tager ikke hensyn til eller korrigerer for eventuelle skalaeffekter.

Alle plottene for skibet i midten af tunnelen ved 13.21m vanddybde er vist i Appendix H. Plottene viser hastigheds komponenterne (u, v og w) ved nul kryds, FP og AP. Plottene er i modelskala, men de giver et tydeligt billede af flowforholdene omkring skibet.

3.4. Midnatsol tæt på fender med 13.21m vanddybde

Viskose CFD beregninger blev udført for færgen Midnatsol i Stad tunnelen. Midnatsol havde en dybgang på 4.90m og ingen trim. Nedenstående tabeller (Tabel 3.7 og 3.8) viser resultaterne for skibet placeret i tættest muligt på den ene fender og ved vanddybden 13.21m.

I simuleringerne med modstrøm blev modstrømhastighedsprofilen beregnet separat i et forstudie og derefter påtrykt ved indløbet af beregningerne.

U (kn)	2.00	3.00	4.00	3.00
Strøm (kn)	0.00	0.00	0.00	2.00
X'	$4.272 \cdot 10^{-3}$	$4.203 \cdot 10^{-3}$	$3.431 \cdot 10^{-3}$	$6.417 \cdot 10^{-3}$
Y'	$-1.691 \cdot 10^{-2}$	$-5.044 \cdot 10^{-3}$	$-4.889 \cdot 10^{-3}$	$-2.771 \cdot 10^{-3}$
N'	$9.627 \cdot 10^{-4}$	$1.830 \cdot 10^{-5}$	$1.587 \cdot 10^{-4}$	$4.783 \cdot 10^{-5}$
$T_{Z_{FP}}'$	$4.367 \cdot 10^{-2}$	$4.410 \cdot 10^{-2}$	$4.429 \cdot 10^{-2}$	$4.621 \cdot 10^{-2}$
T_{AP}'	$4.357 \cdot 10^{-2}$	$4.387 \cdot 10^{-2}$	$4.405 \cdot 10^{-2}$	$4.527 \cdot 10^{-2}$
Z_{FP}'	$2.385 \cdot 10^{-3}$	$2.818 \cdot 10^{-3}$	$3.006 \cdot 10^{-3}$	$4.926 \cdot 10^{-3}$
Z_{AP}'	$2.294 \cdot 10^{-3}$	$2.590 \cdot 10^{-3}$	$2.771 \cdot 10^{-3}$	$3.994 \cdot 10^{-3}$

Tabel 3.7 Non-dimensional sætning og kræfter ved forskellige hastigheder for Midnatsol i Stad tunnelen. Vanddybden var 13.21m og skibet var tættest muligt på den ene fender.

U (kn)	2.00	3.00	4.00	3.00
Strøm (kn)	0.00	0.00	0.00	2.00
X [kN]	32.68	72.35	104.99	294.43
Y [kN]	-129.38	-86.82	-149.63	-132.52
N [kN·m]	874.31	37.39	576.57	271.50
T_{FP} [m]	5.183	5.235	5.257	5.485
T_{AP} [m]	5.172	5.207	5.229	5.374
Z_{FP} [m]	0.283	0.335	0.357	0.585
Z_{AP} [m]	0.272	0.307	0.329	0.474

Tabel 3.8 Fuldskala sætning og kræfter ved forskellige hastigheder for Midnatsol i Stad tunnelen. Vanddybden var 13.21m og skibet var tættest muligt på den ene fender.

Skaleringen til fuldskala er gjort ved ren Froude skalering, dvs. den tager ikke hensyn til eller korrigerer for eventuelle skalaeffekter.

Alle plottene for skibet tæt på fenderen ved 13.21m vanddybde er vist i Appendix I. Plottene viser hastigheds komponenterne (u, v og w) ved nulkræds, FP og AP. Plottene er i modelskala, men de giver et tydeligt billede af flowforholdene omkring skibet.

4. Skibenes hoveddimensioner

Skiberne er et containerskib med en total længde på 162.74m og en færge, MS Midnatsol, med en total længde på 135.75m.

Geometrien for containerskibet er baseret på skibet Duisburg Test Case (DTC) og skaleret ned således det passer til Stad tunnelen. Skaleringen er sat efter en DTC model bygget af MARINTEK i skala 1:63.0.

Da tunnelen er modelleret i skala 1:27.5 (også tilsvarende modelforsøg udført af MARINTEK), så er fuldskala skibet anvendt egentlig blot DTC skibet i skala 1: $(63/27.5) = 1:2.290909$.

Skalaen for færgen MS Midnatsol er 1:27.5, tilsvarende skalaen for tunnelen.

Hoveddimensionerne for skiberne i den teoretiske fuldskala (så det passer i tunnelen) er som følgende:

Design kondition		DTC	Midnatsol
Længde, L_{OA}	[m]	156,90	135,75
Længde, L_{PP}	[m]	154,96	118,70
Længde, L_{WL}	[m]	157,94	129,52
Bredde, B_{mid}	[m]	23,50	21,50
Dygbang, lige køl, T	[m]	7,000	4,900
Displacement, ∇	[m ³]	16435	8355,4
LCB (fra AP)	[m]	75,168	54,113
Vandplansareal, A_{WL}	[m ²]	4198	3057

5. Referencer

Ref. /1/: FORCE Technology Report no. 116-25182-1B, "CFD studie af bank og squat-effekter", August 2016.

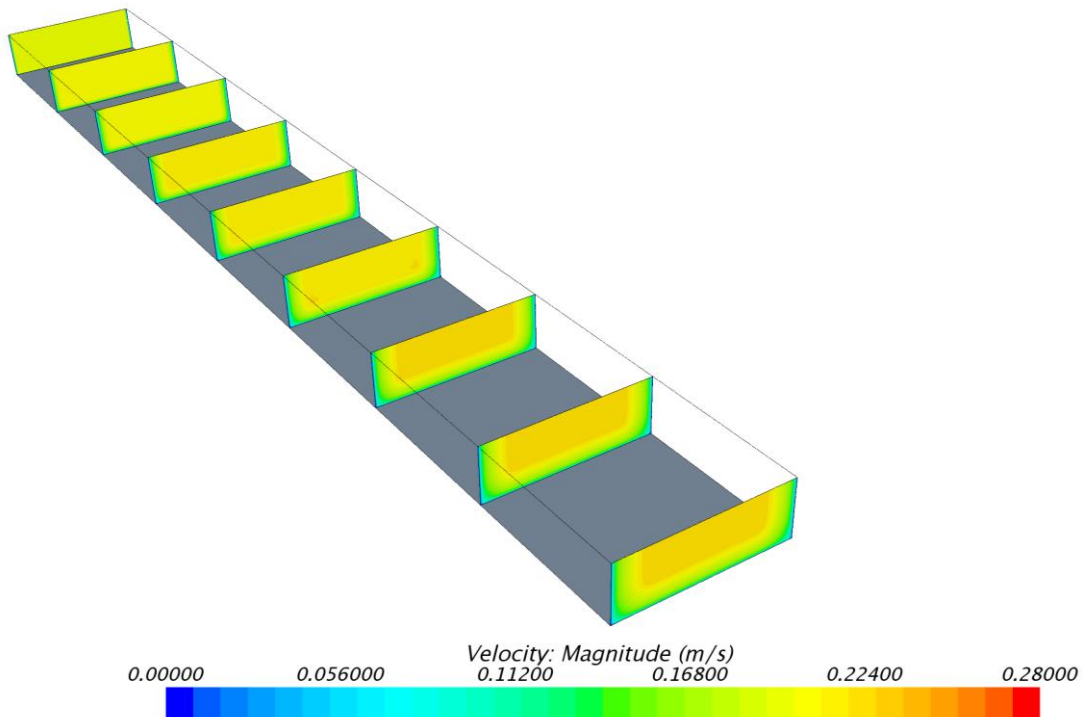
APPENDIX - A

Resultater af CFD Beregninger

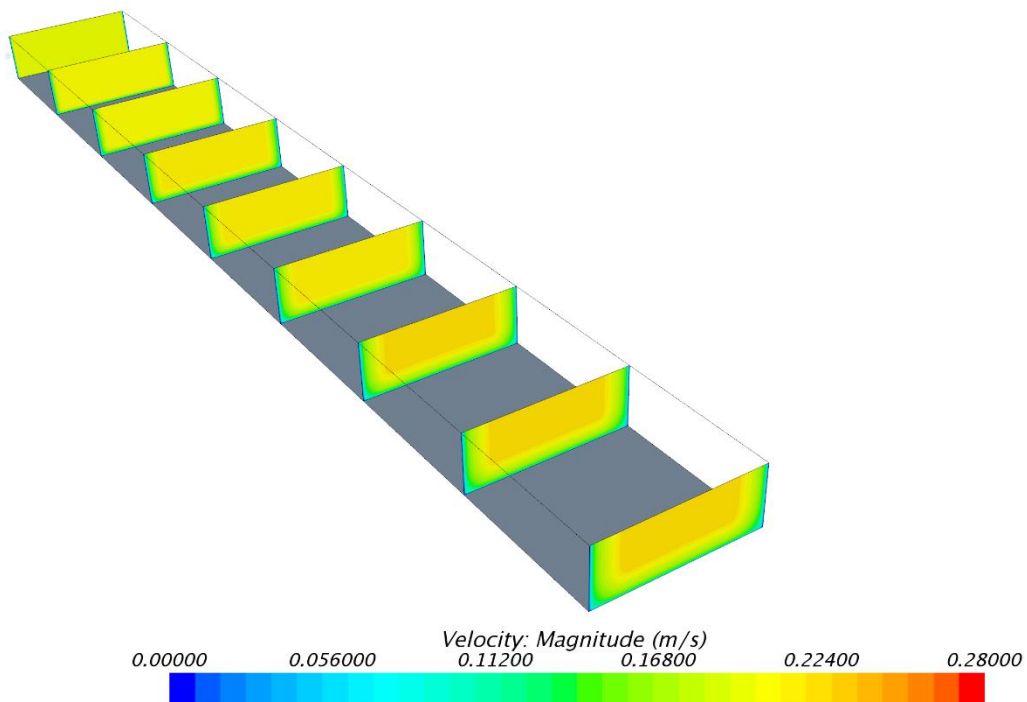
Evaluering af strømningfordelingen uden søjler i to vanddybder

2kn modstrøm

**Evaluering af strømingsfordeling. 2kn modstrøm uden søjler.
Vanddybde 12.00m (Modelskala)**



**Evaluering af strømingsfordeling. 2kn modstrøm uden søjler.
Vanddybde 13.21m (Modelskala)**



APPENDIX B

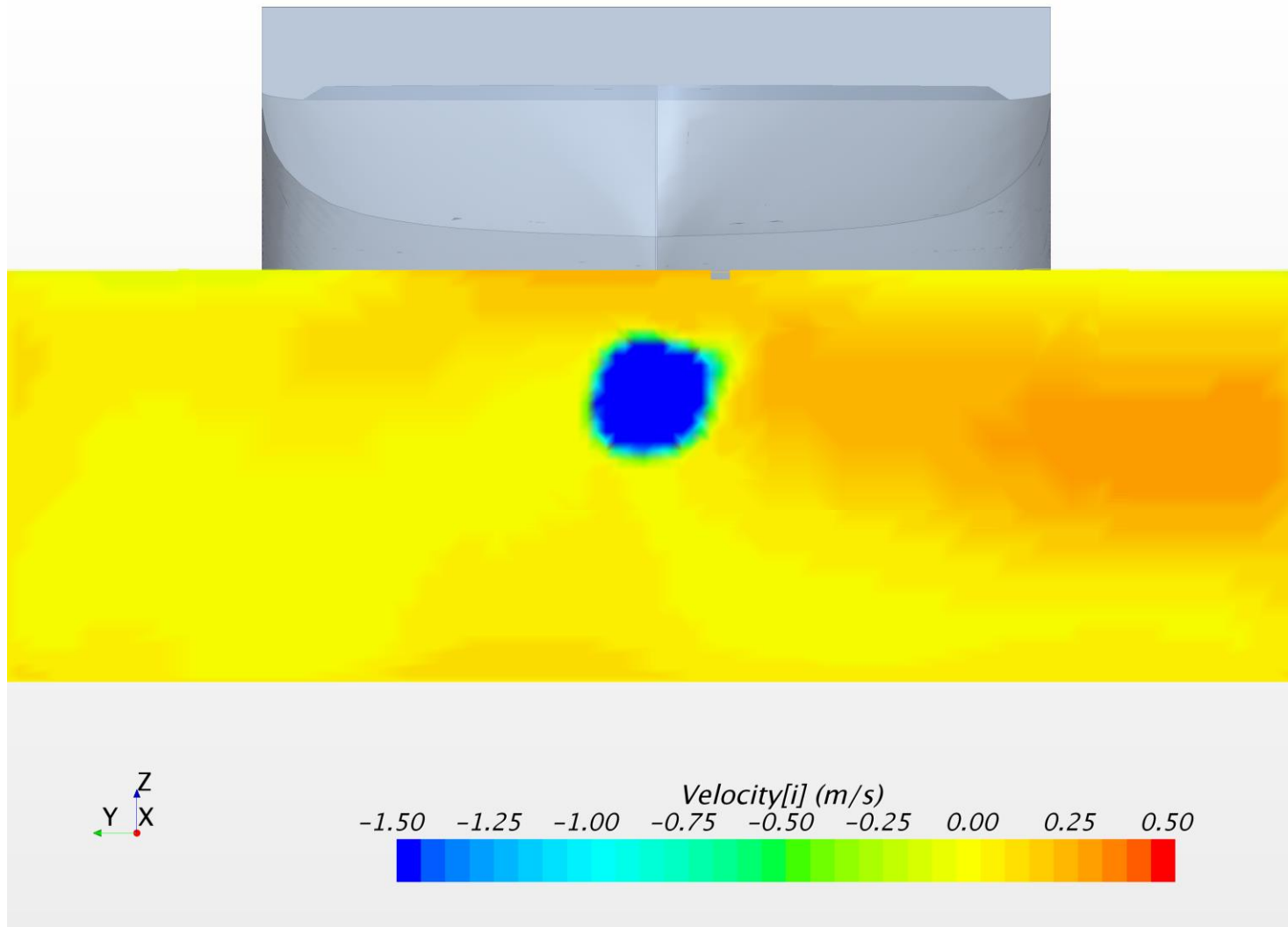
Resultater af CFD Beregninger

**Model DTC
Kondition: Centeret
Uden Søjler
Vanddybde: 12.00m**

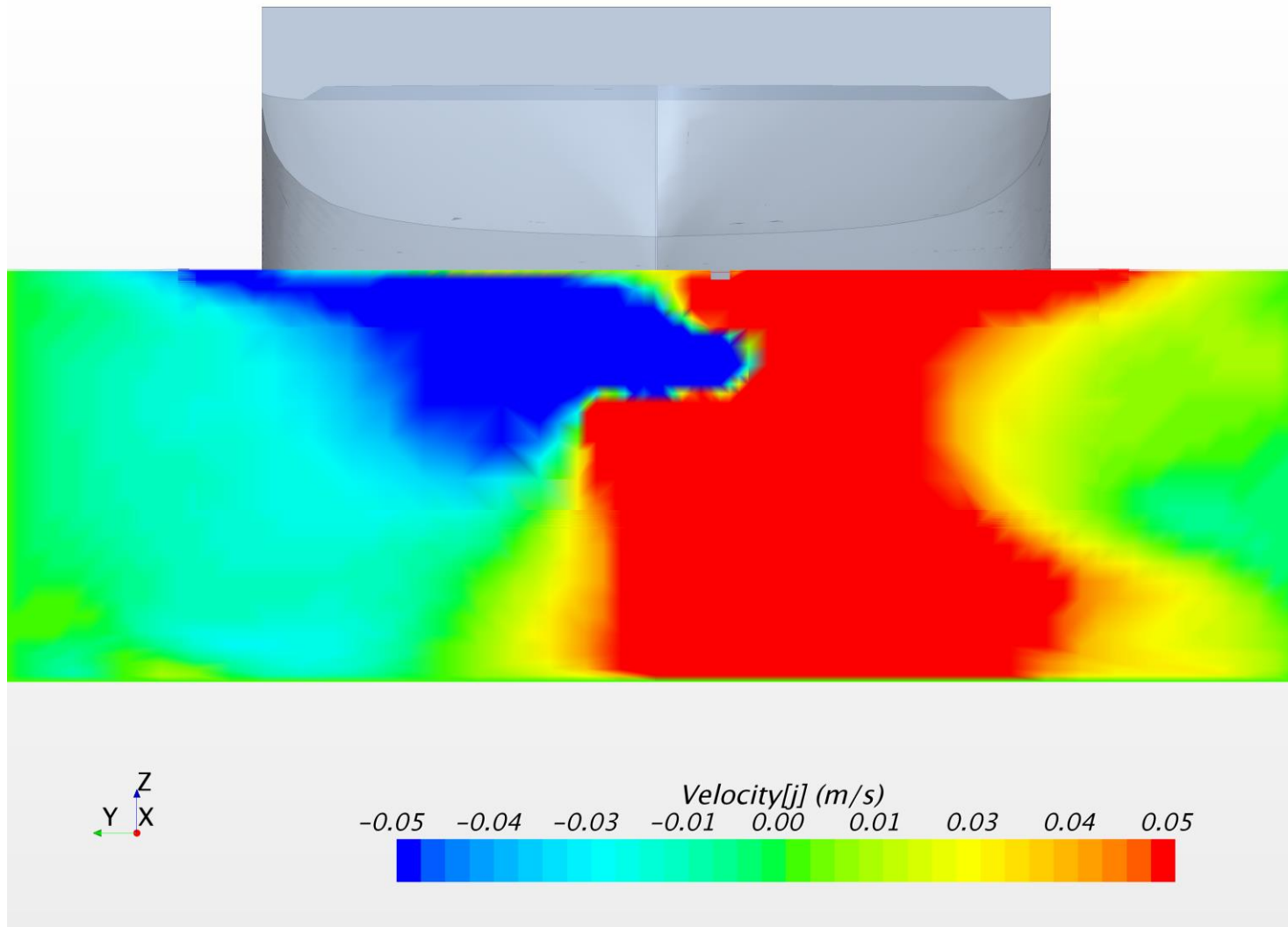
2kn modstrøm eller uden strøm

Skibshastighed: 2; 3; 4kn

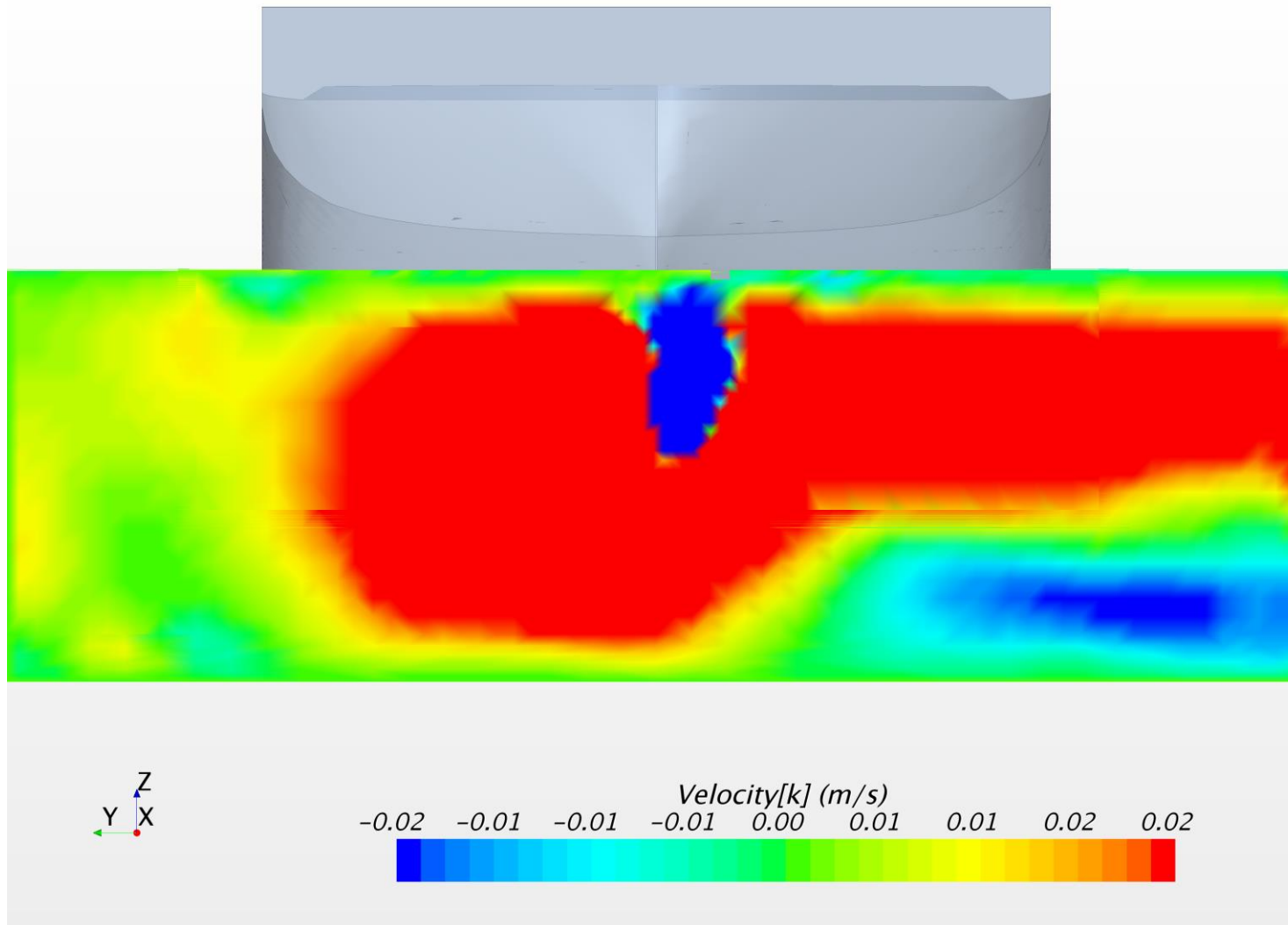
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



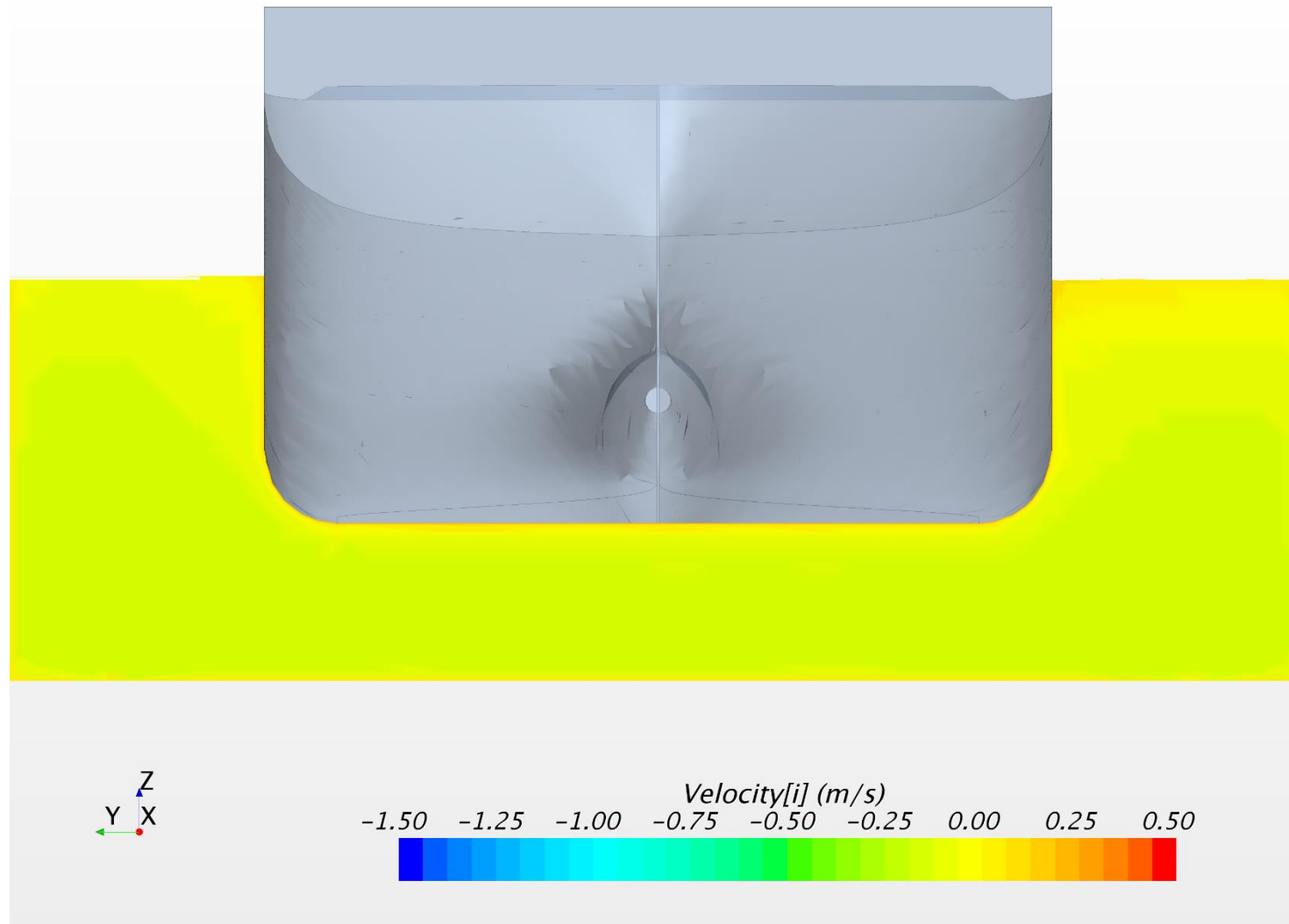
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Lateral hastighed (V komponent) ved AP



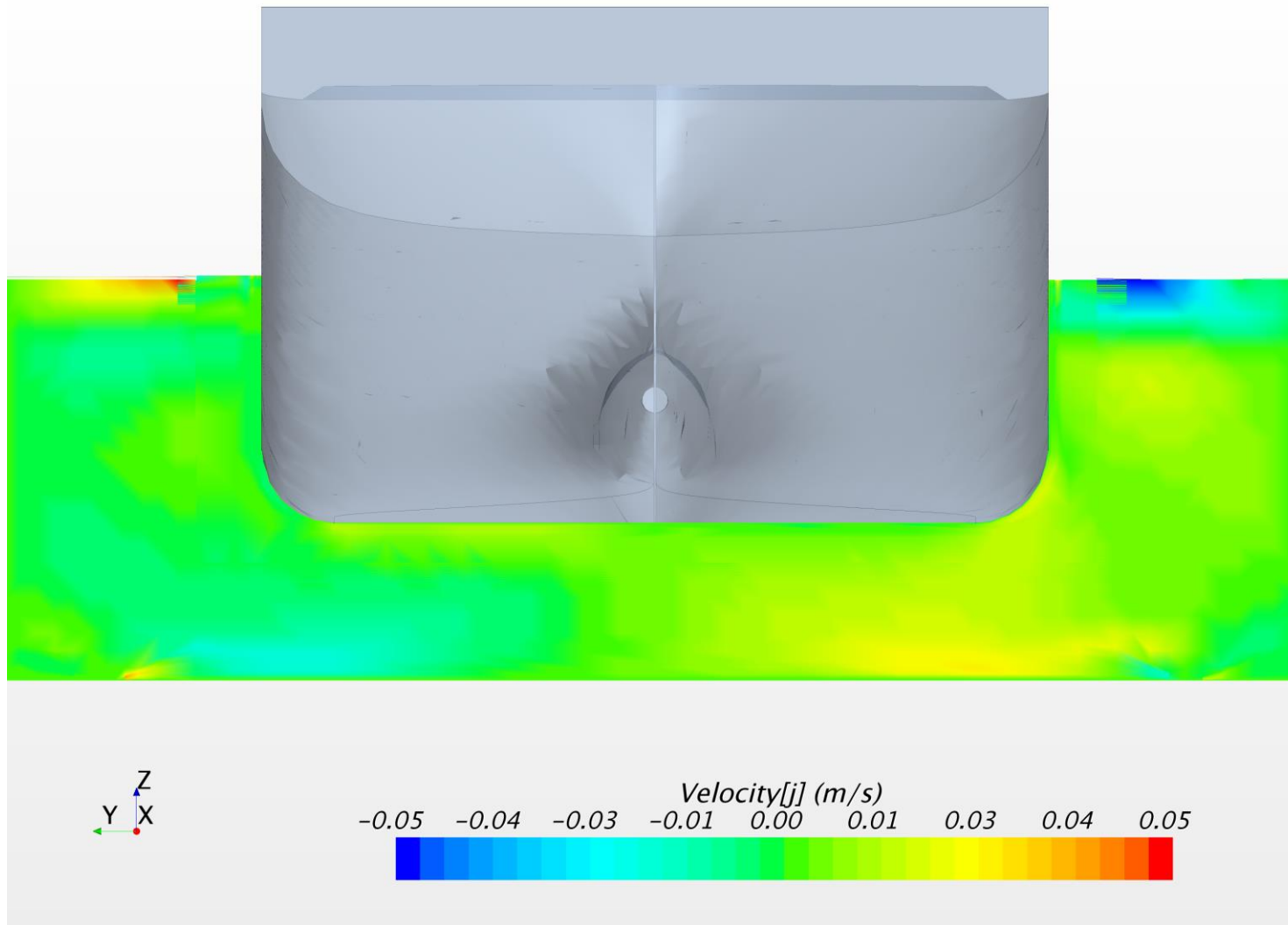
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



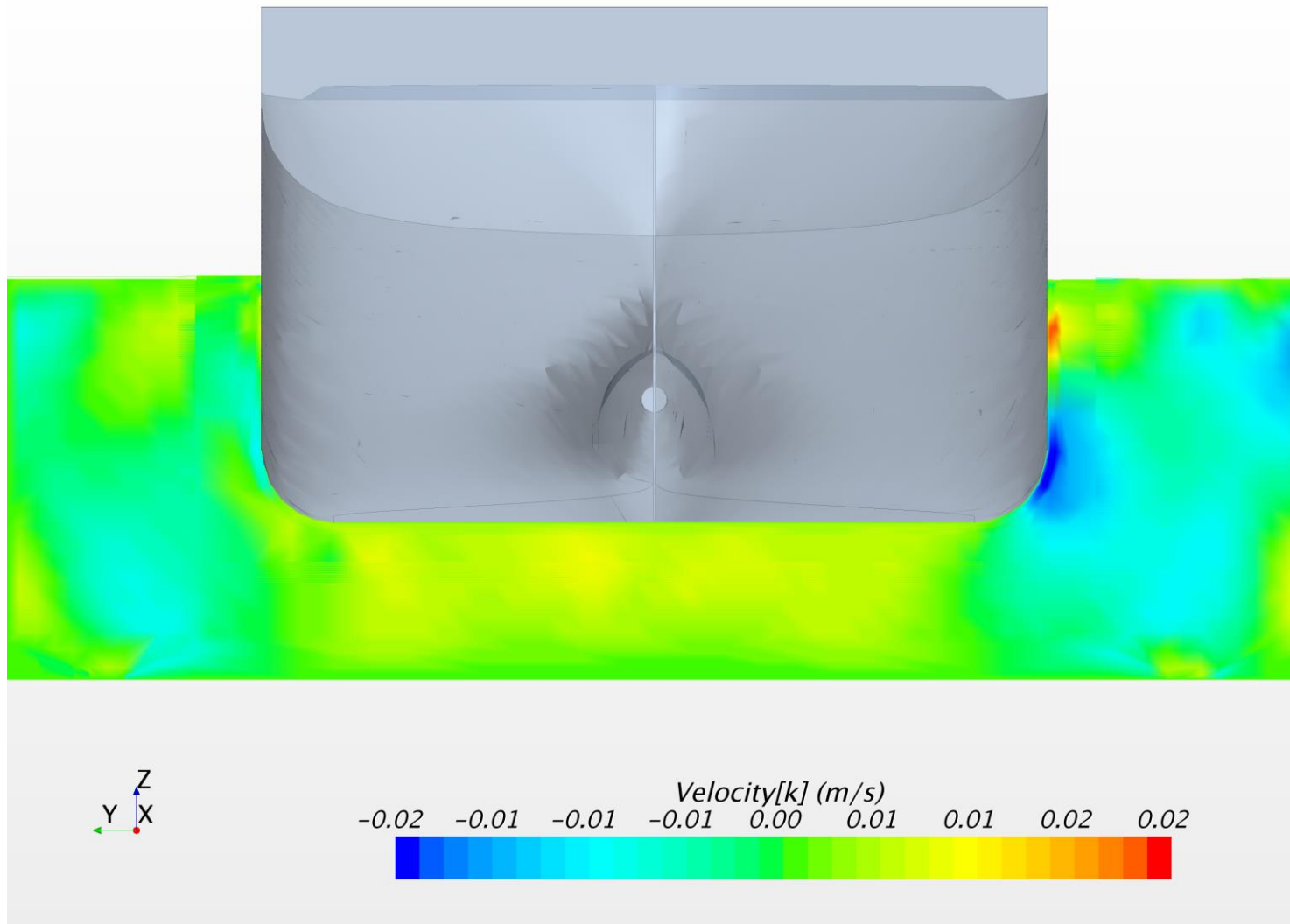
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



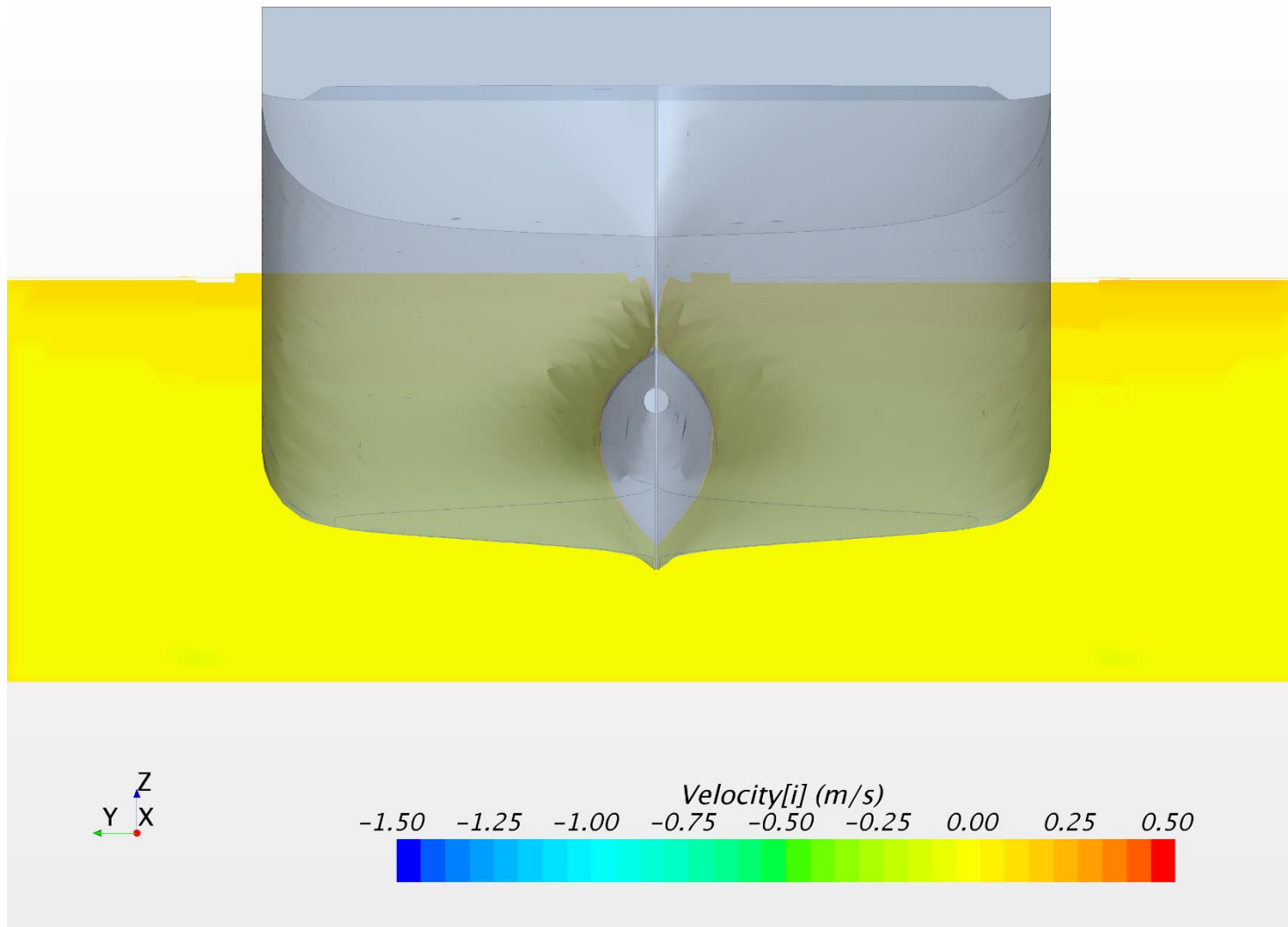
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Lateral hastighed (V komponent) ved NK



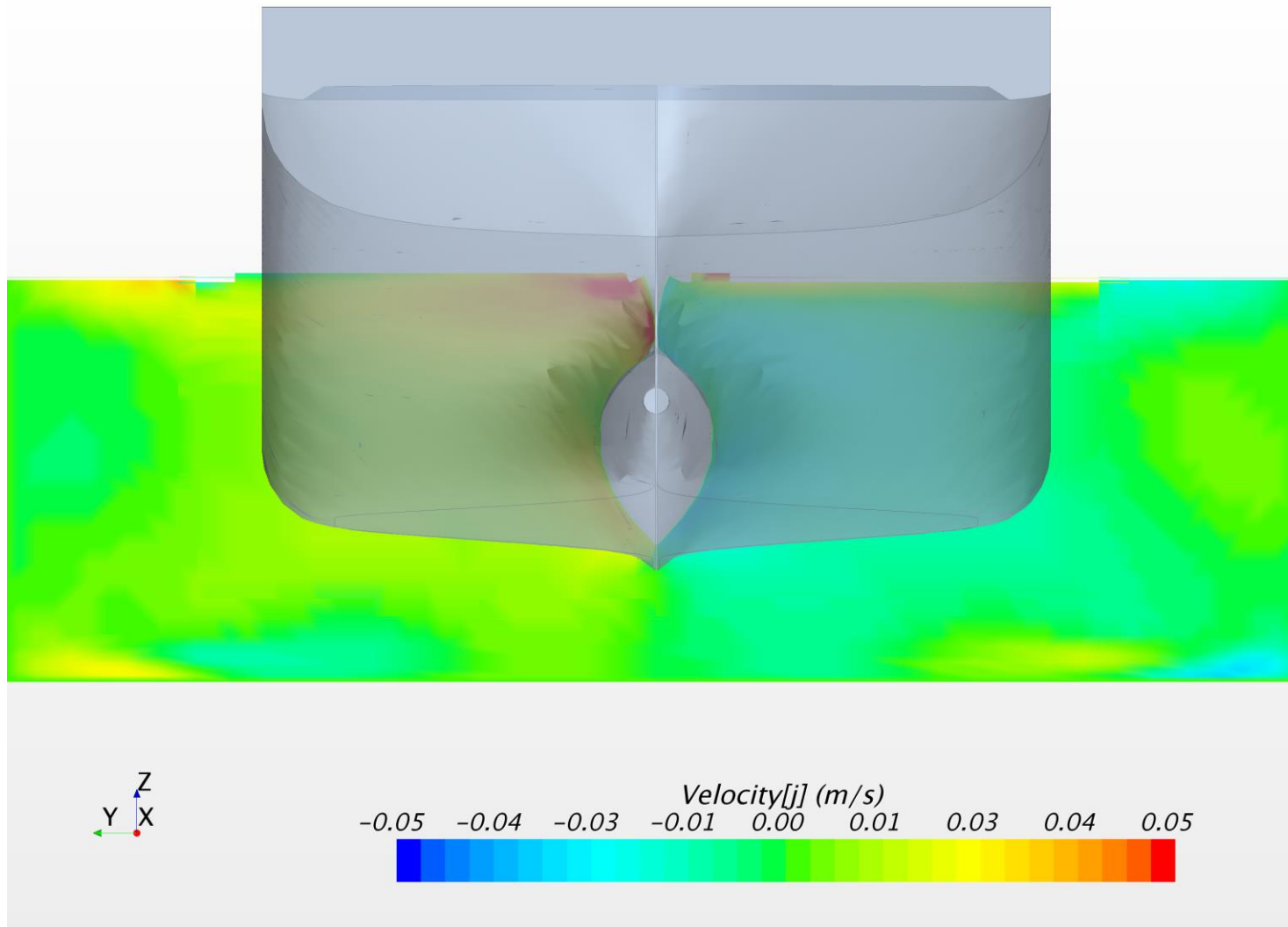
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



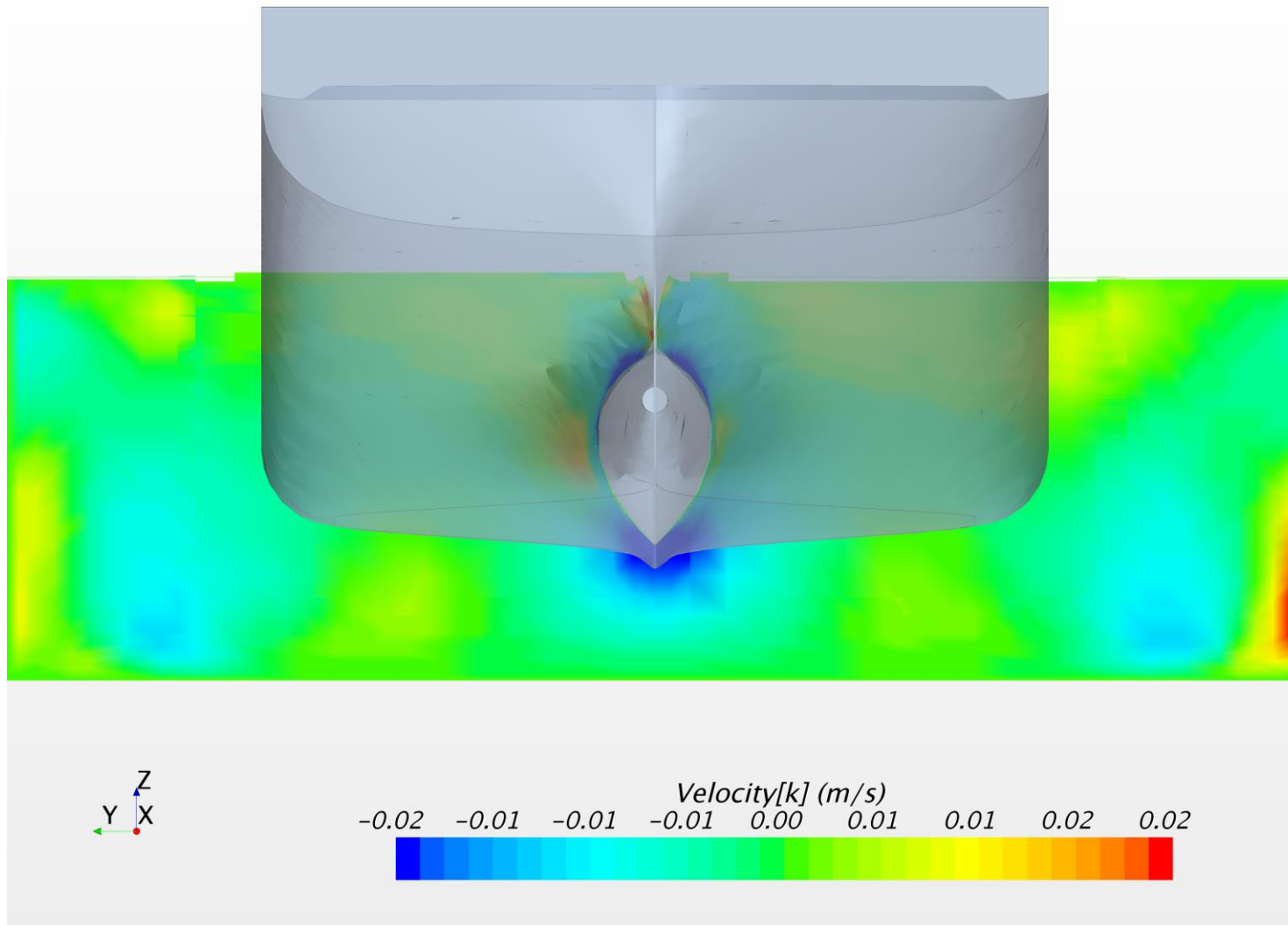
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



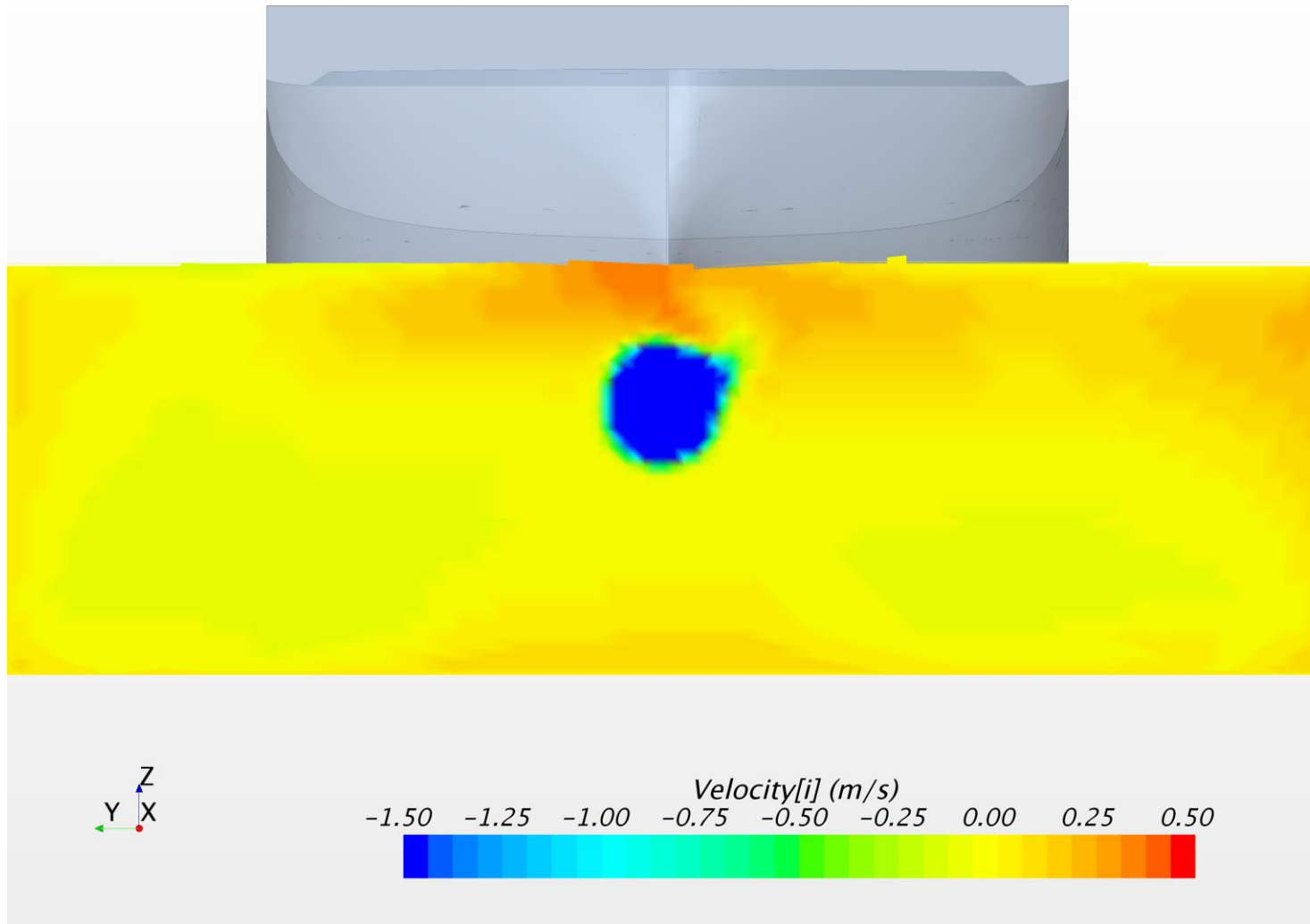
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Lateral hastighed (V komponent) ved FP



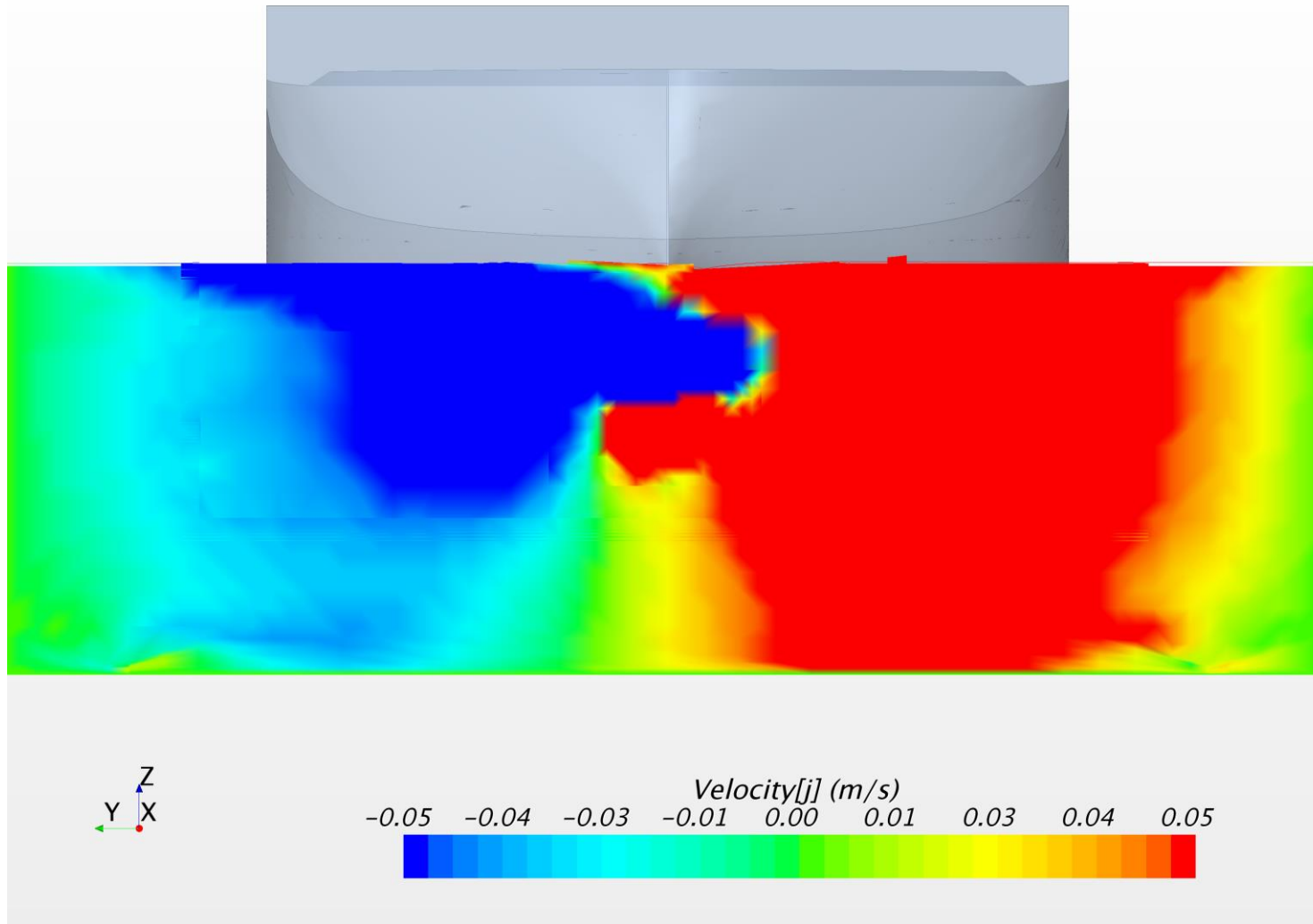
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



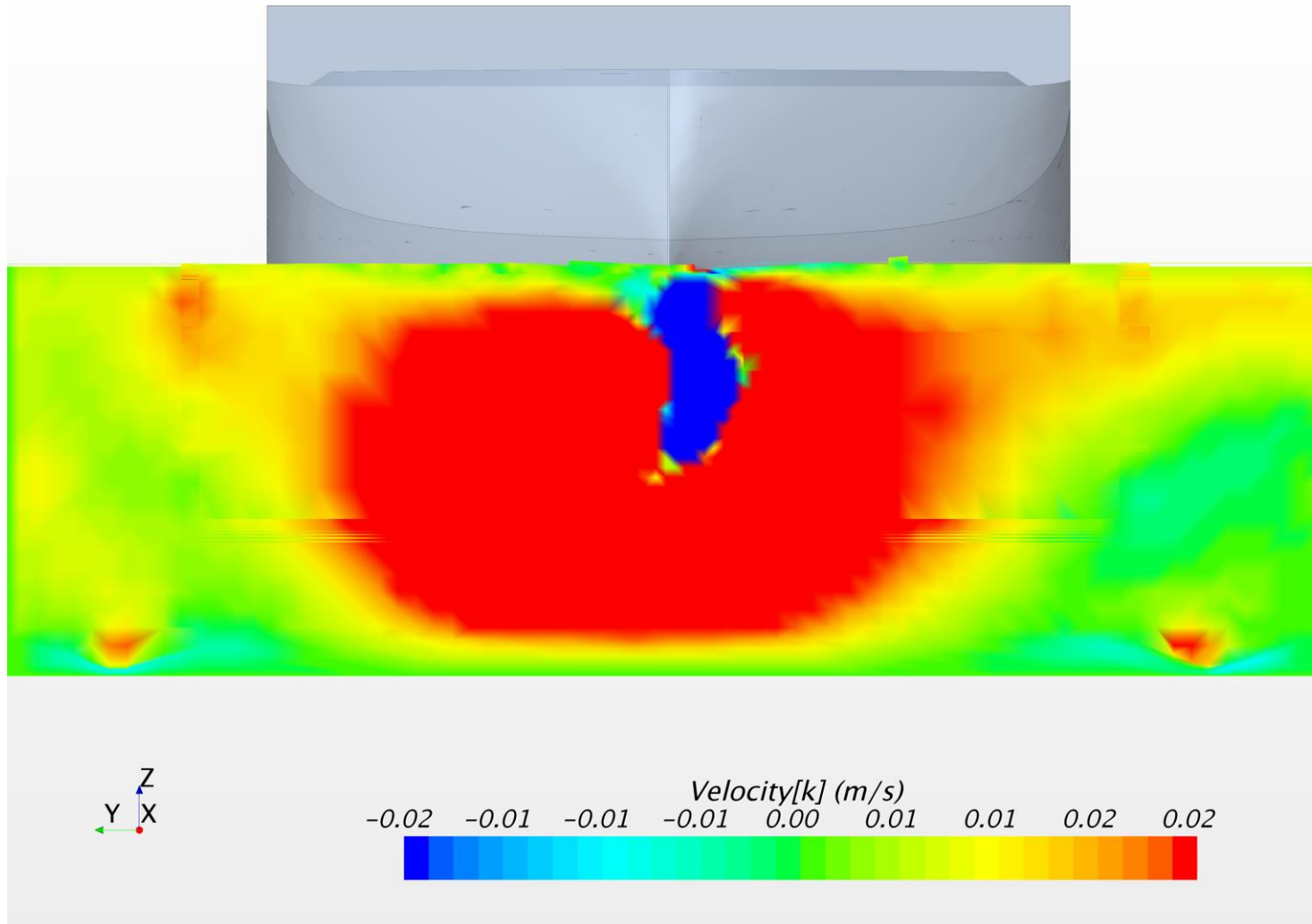
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



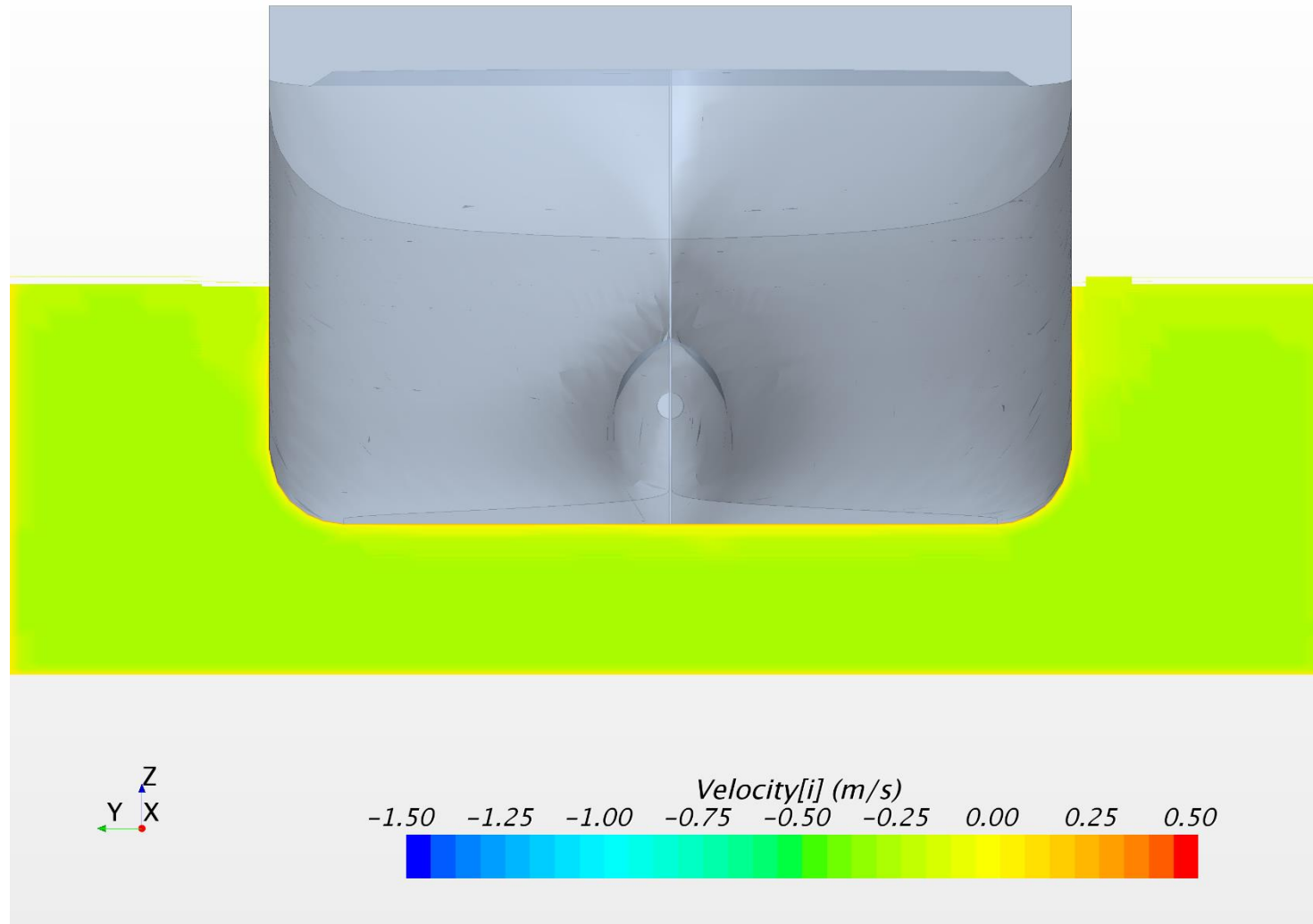
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved AP



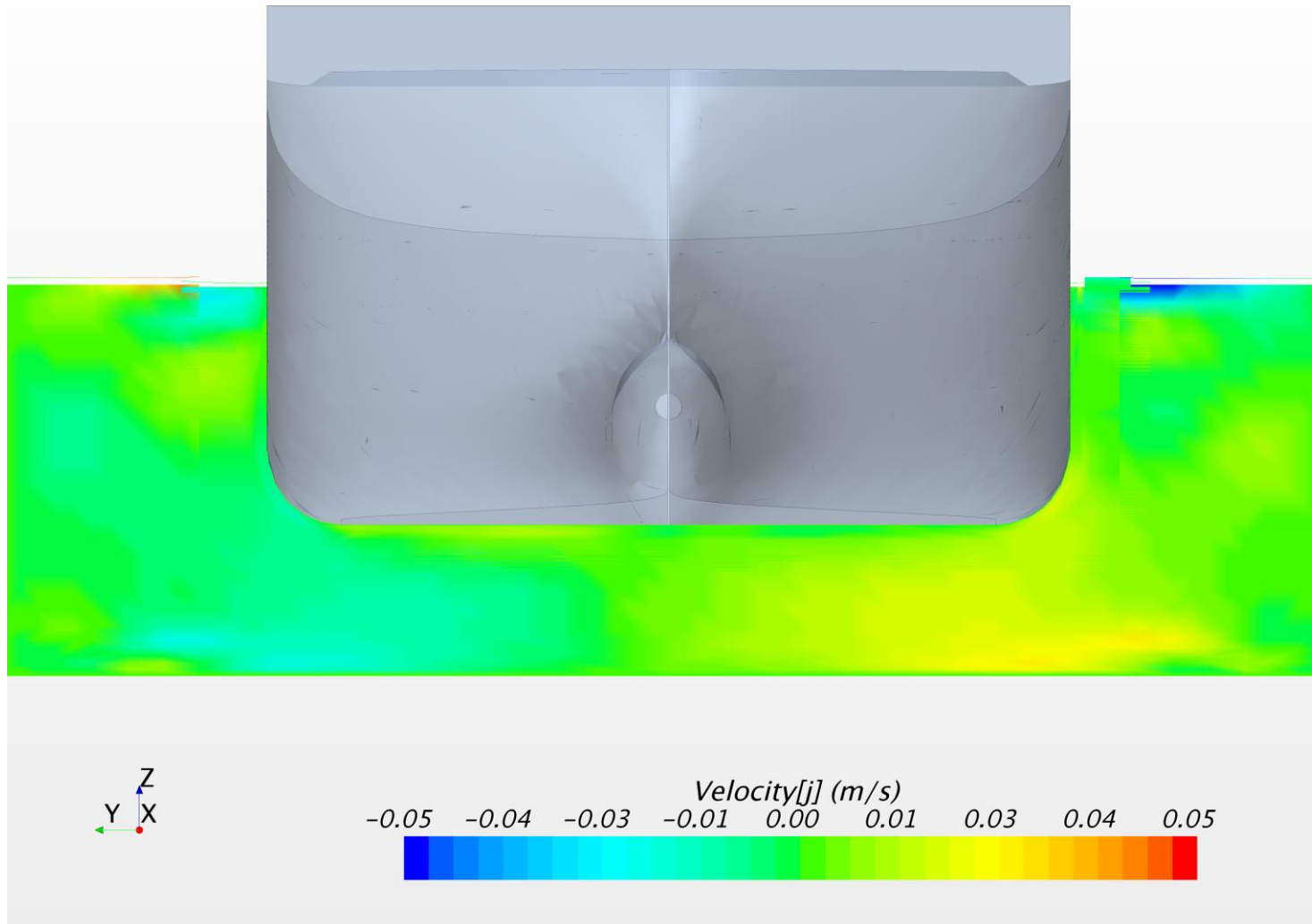
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



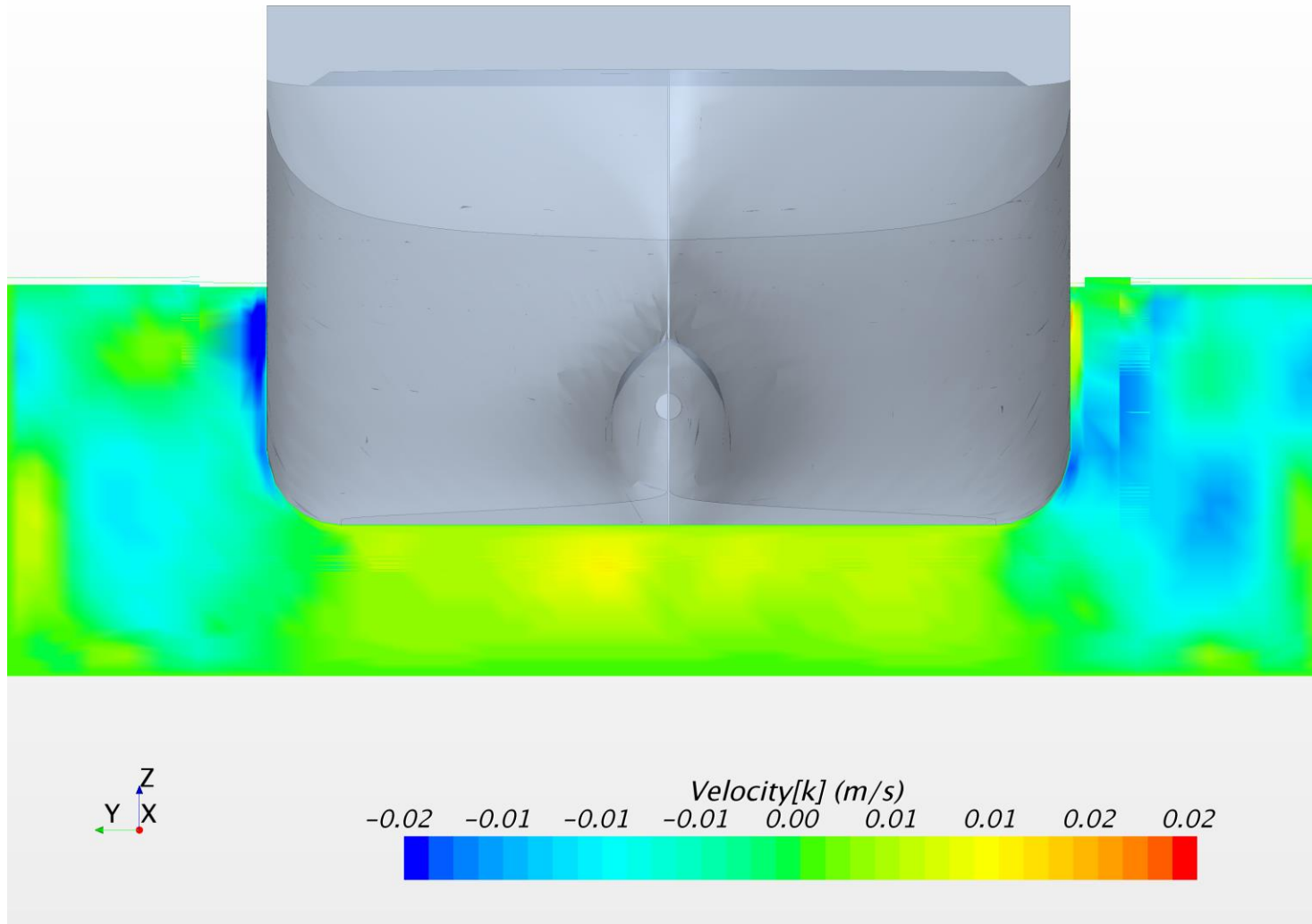
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



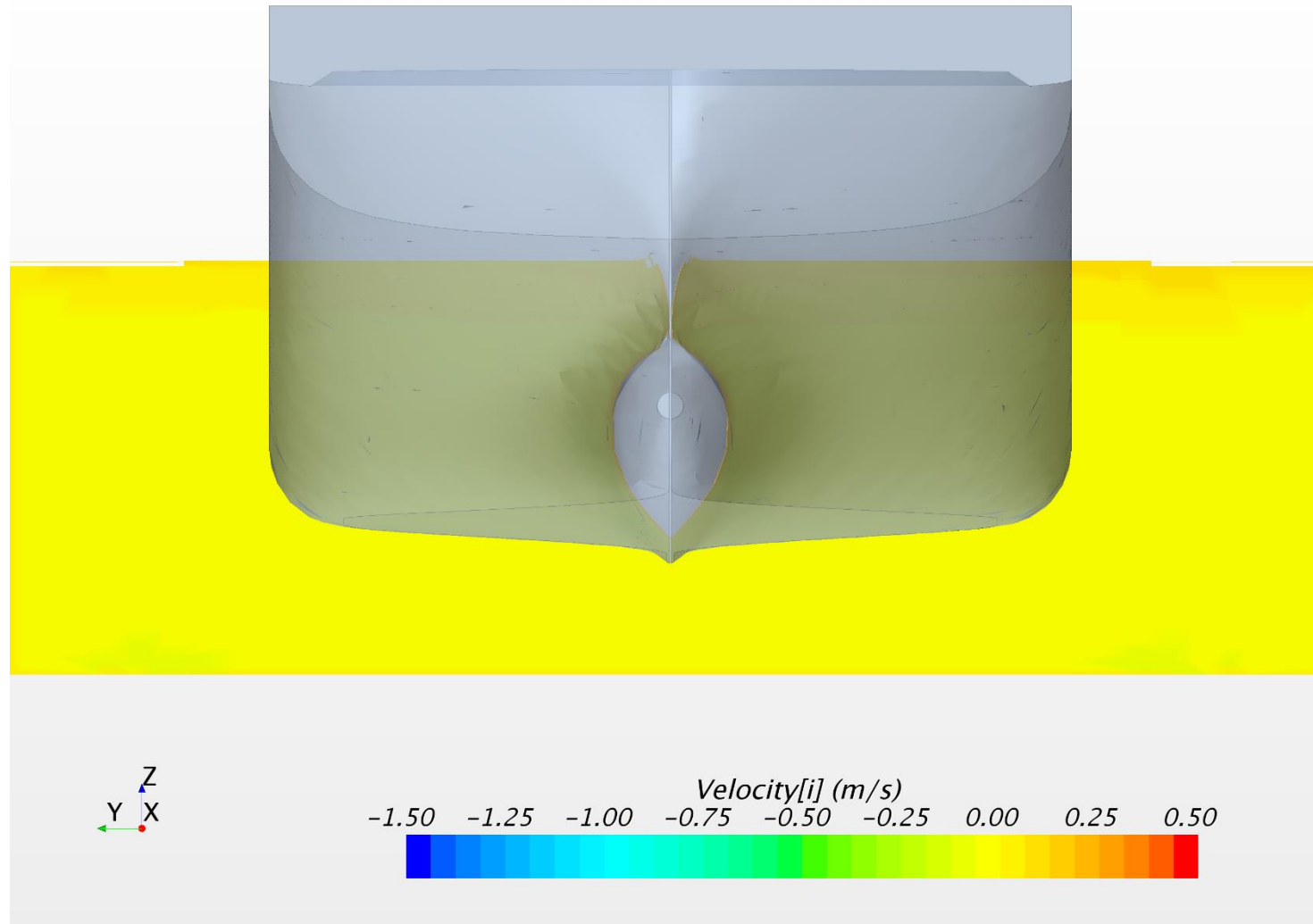
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved NK



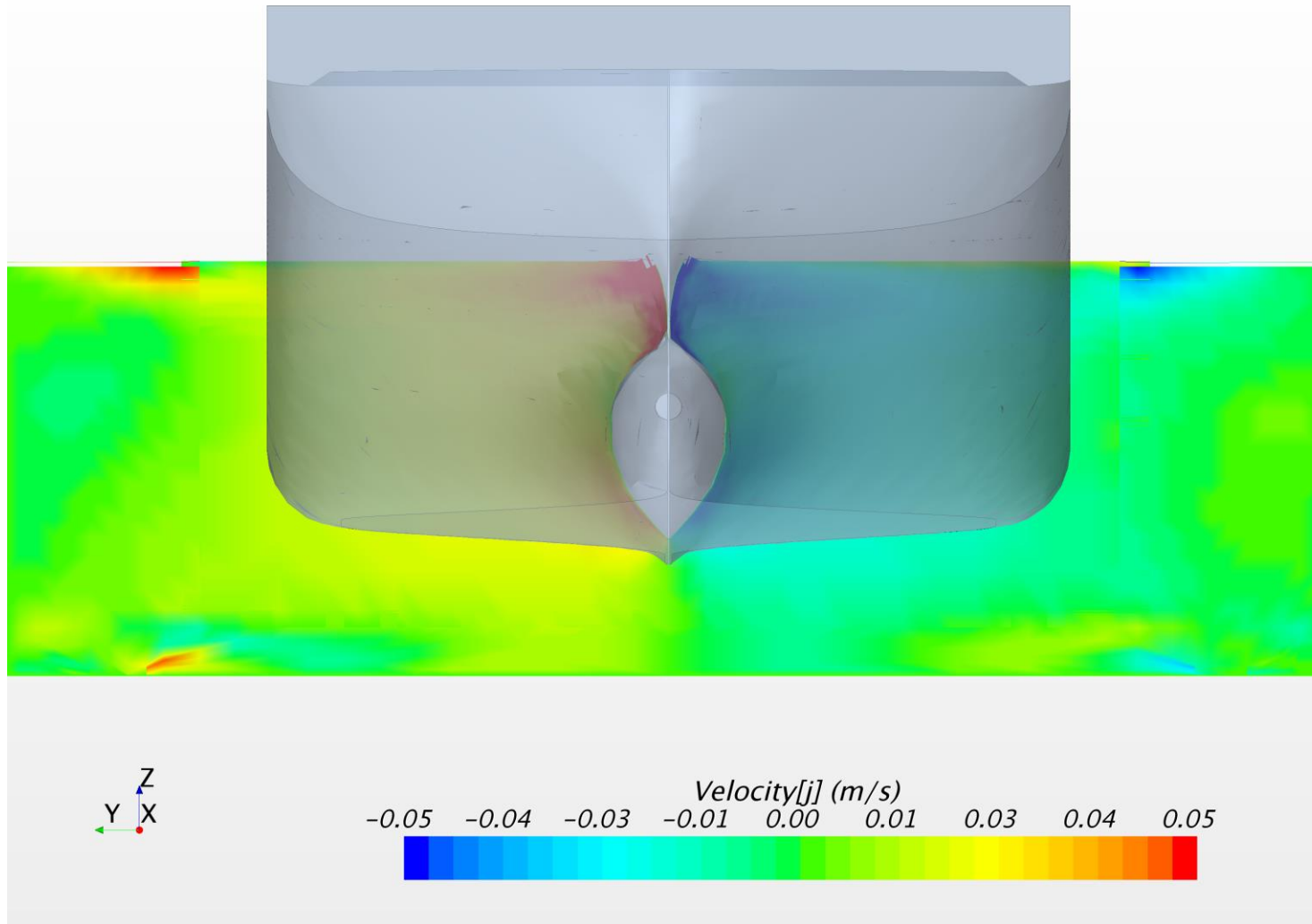
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



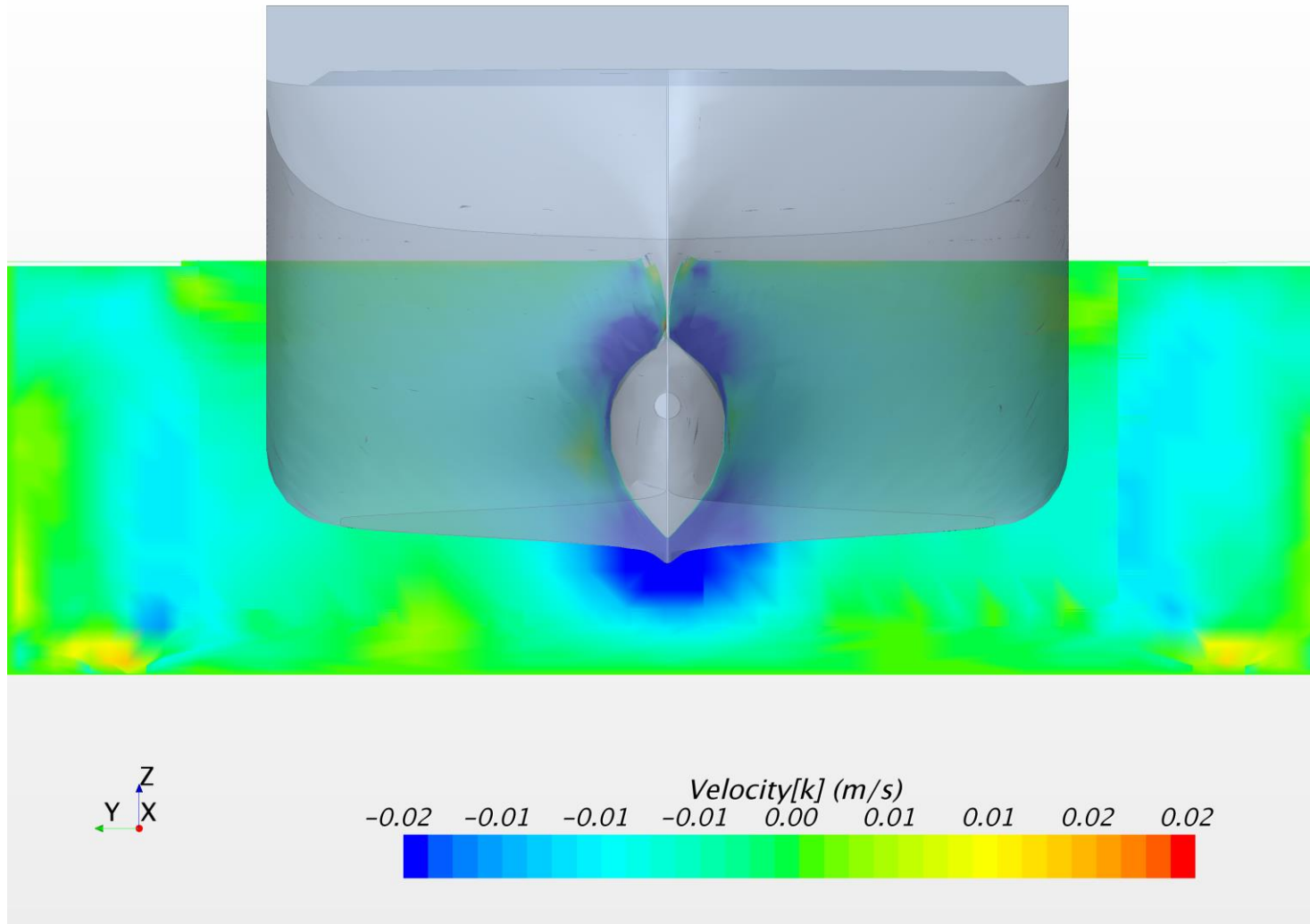
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



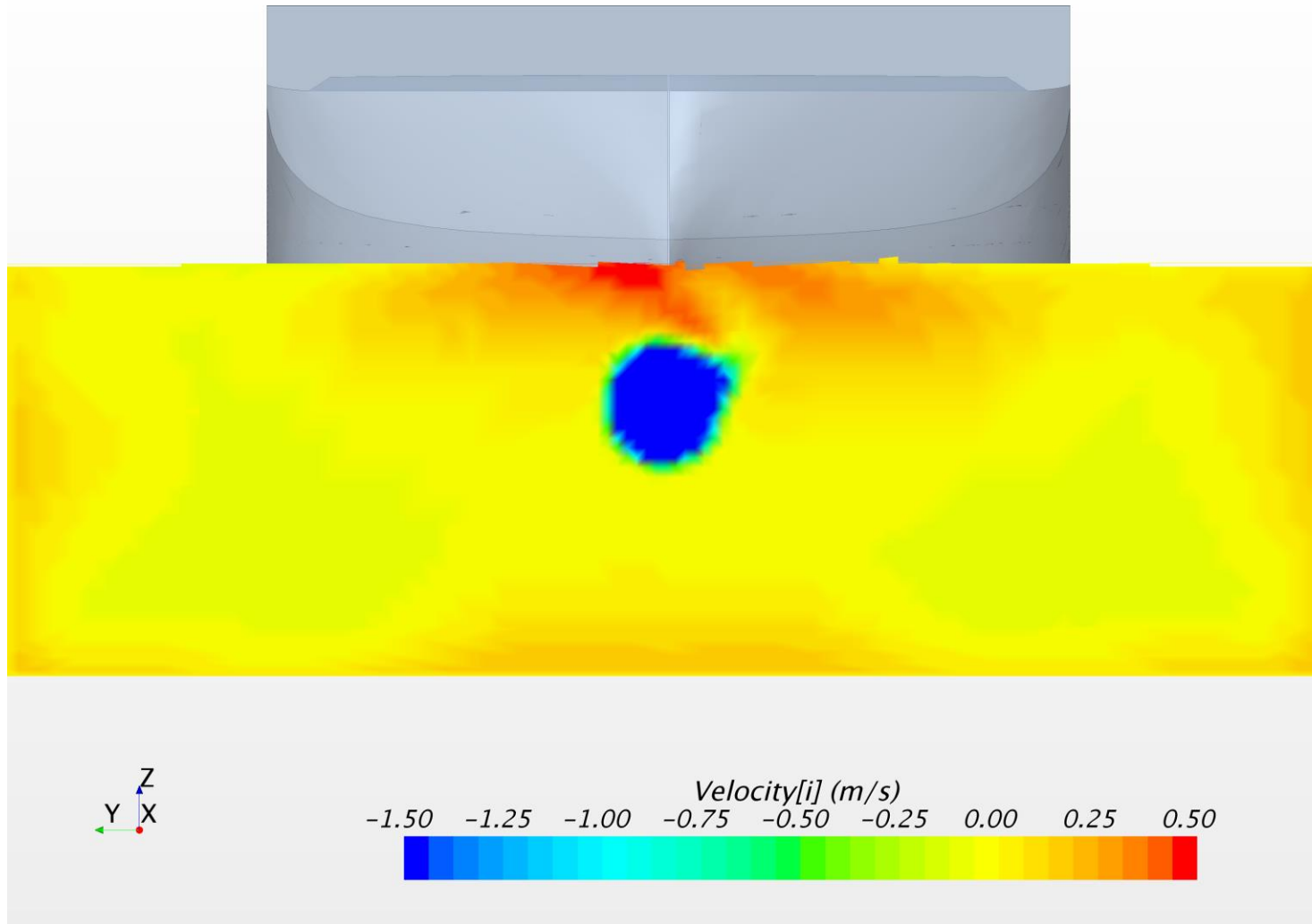
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved FP



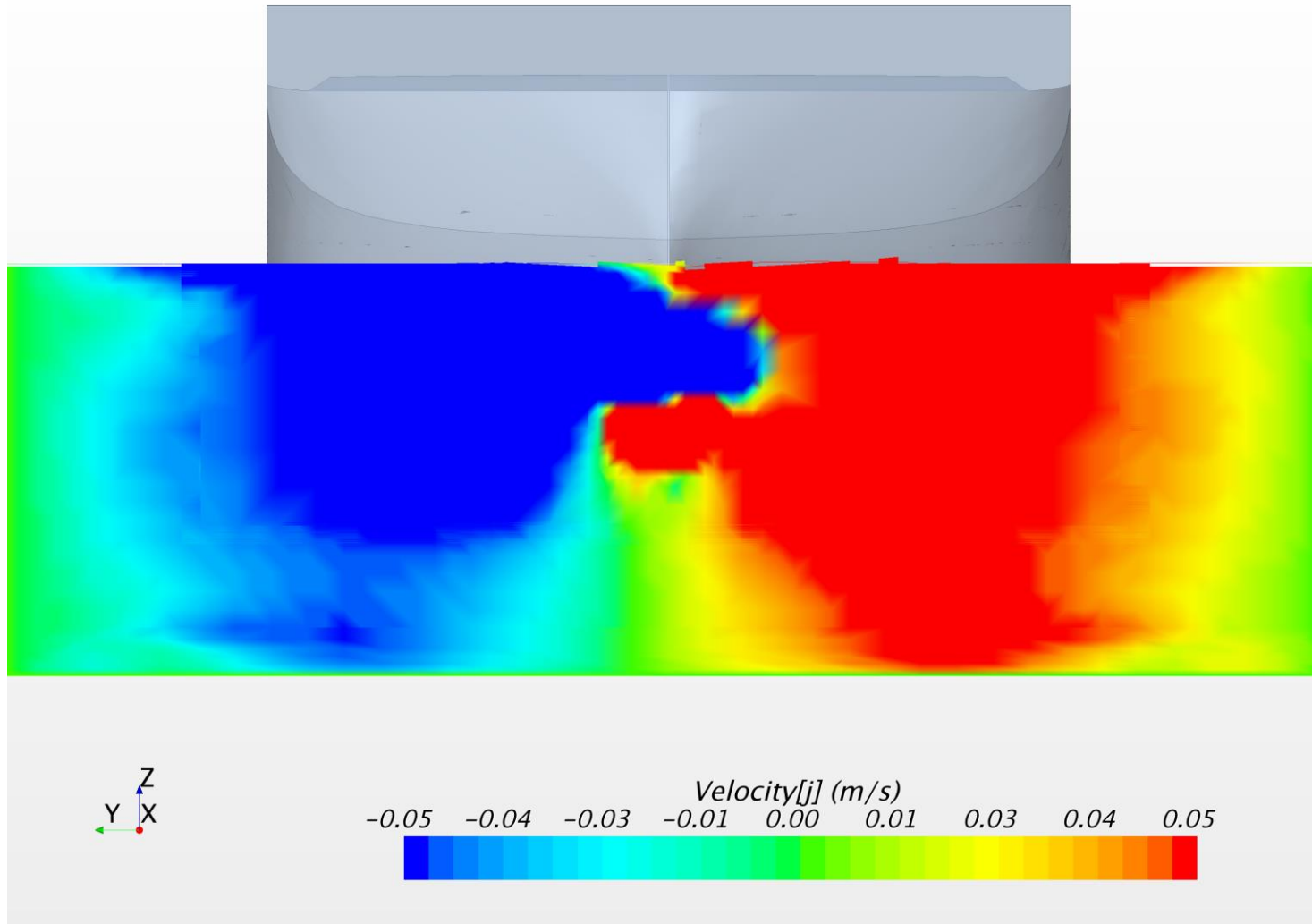
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



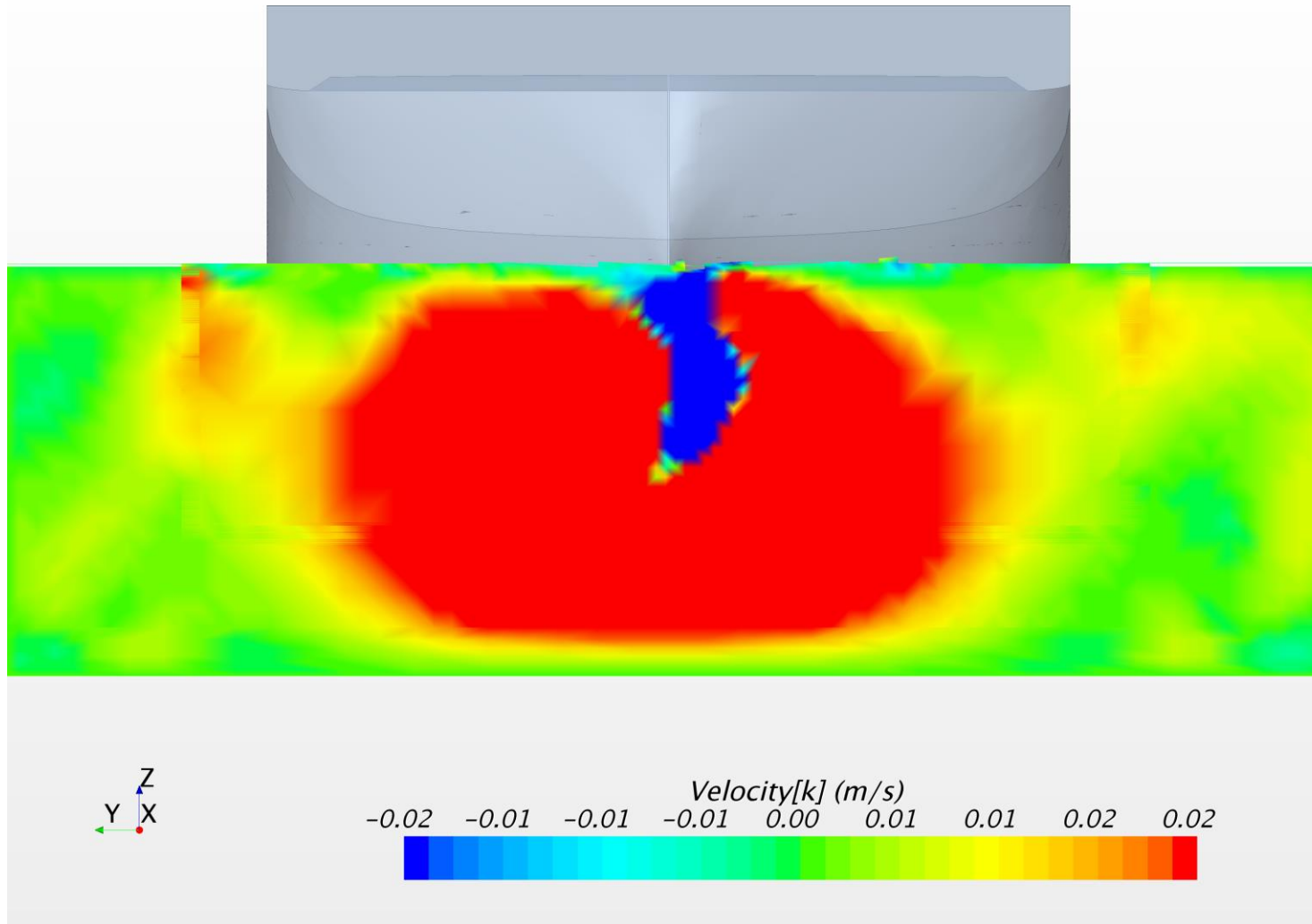
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



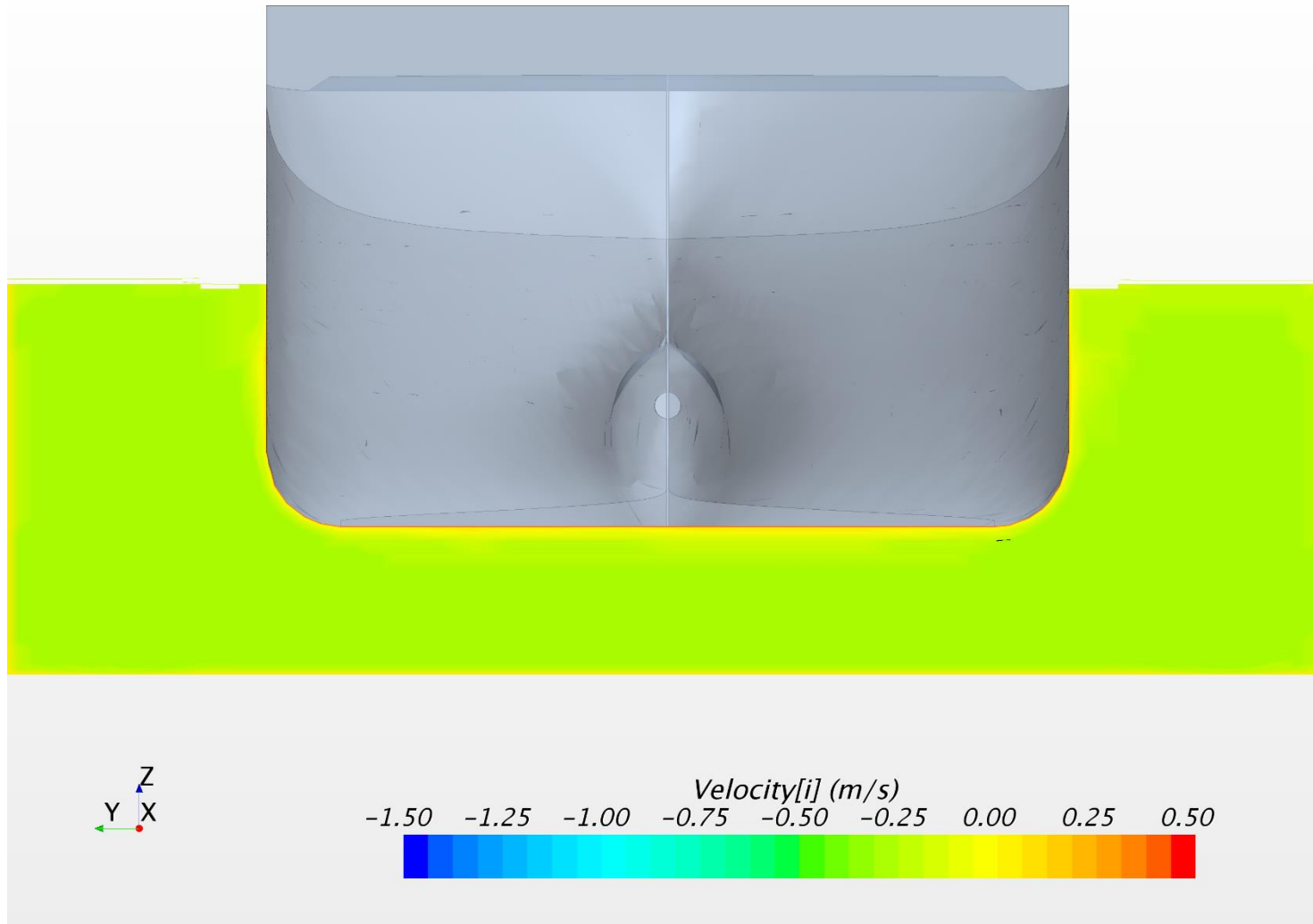
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Lateral hastighed (V komponent) ved AP



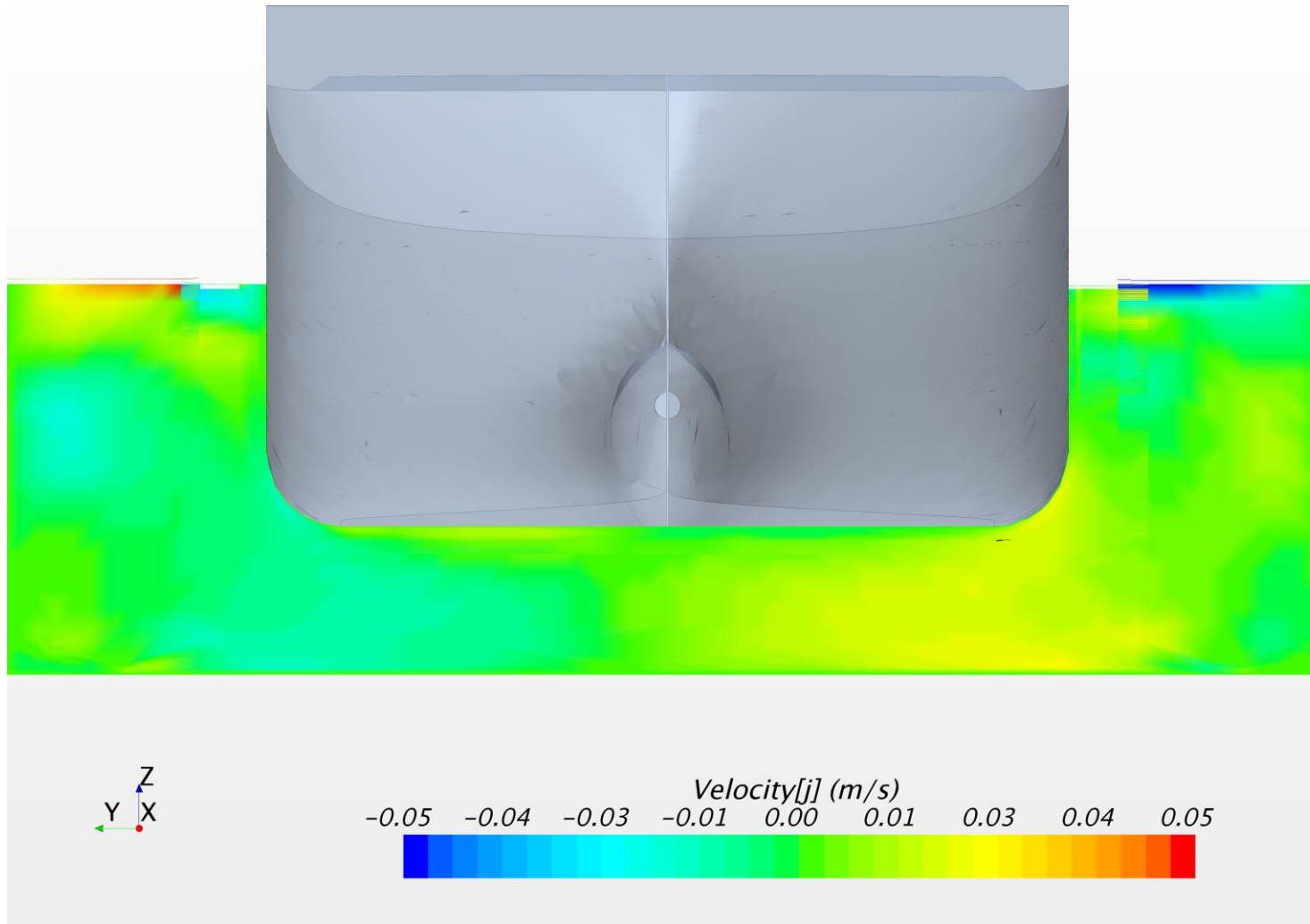
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



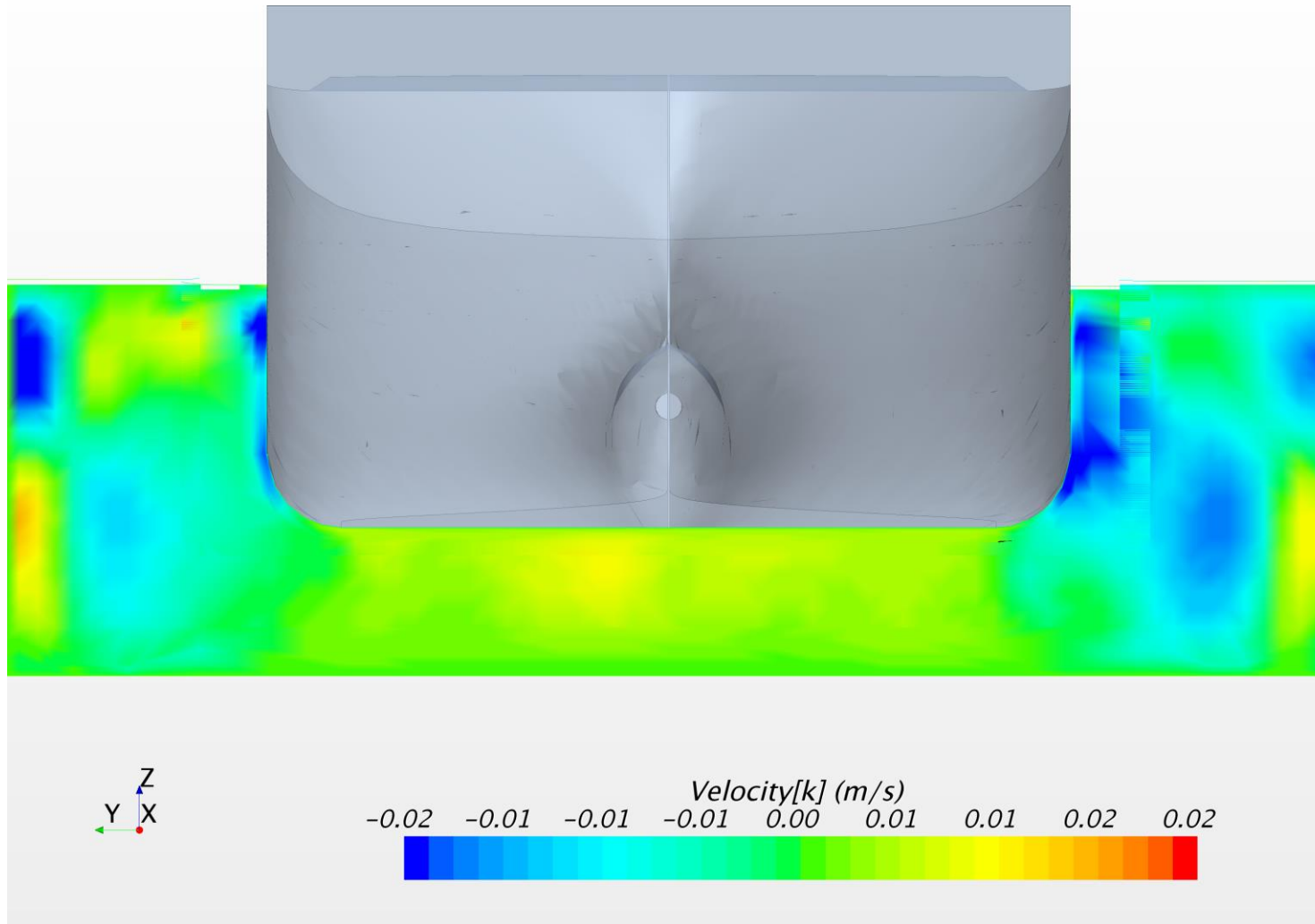
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



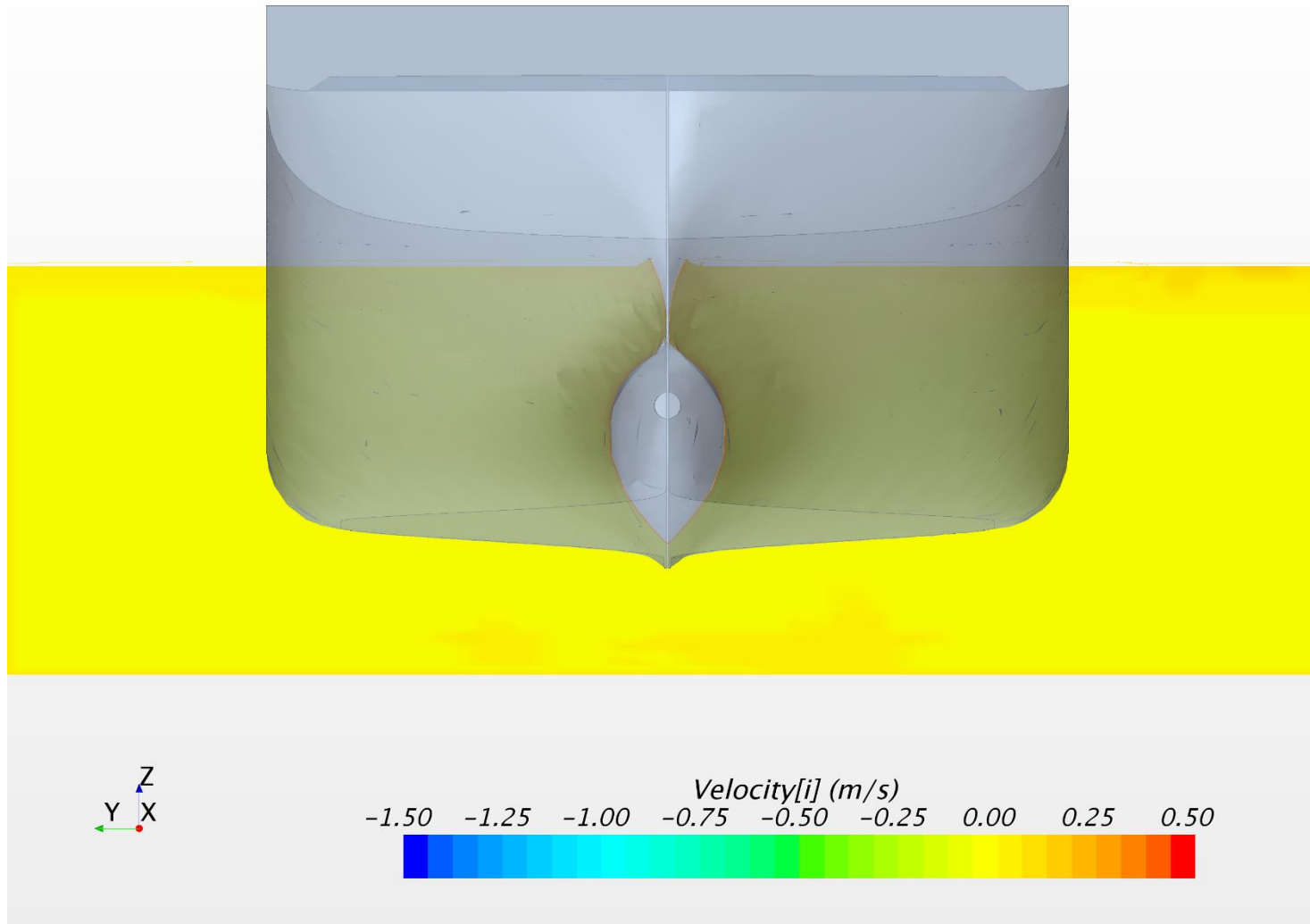
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Lateral hastighed (V komponent) ved NK



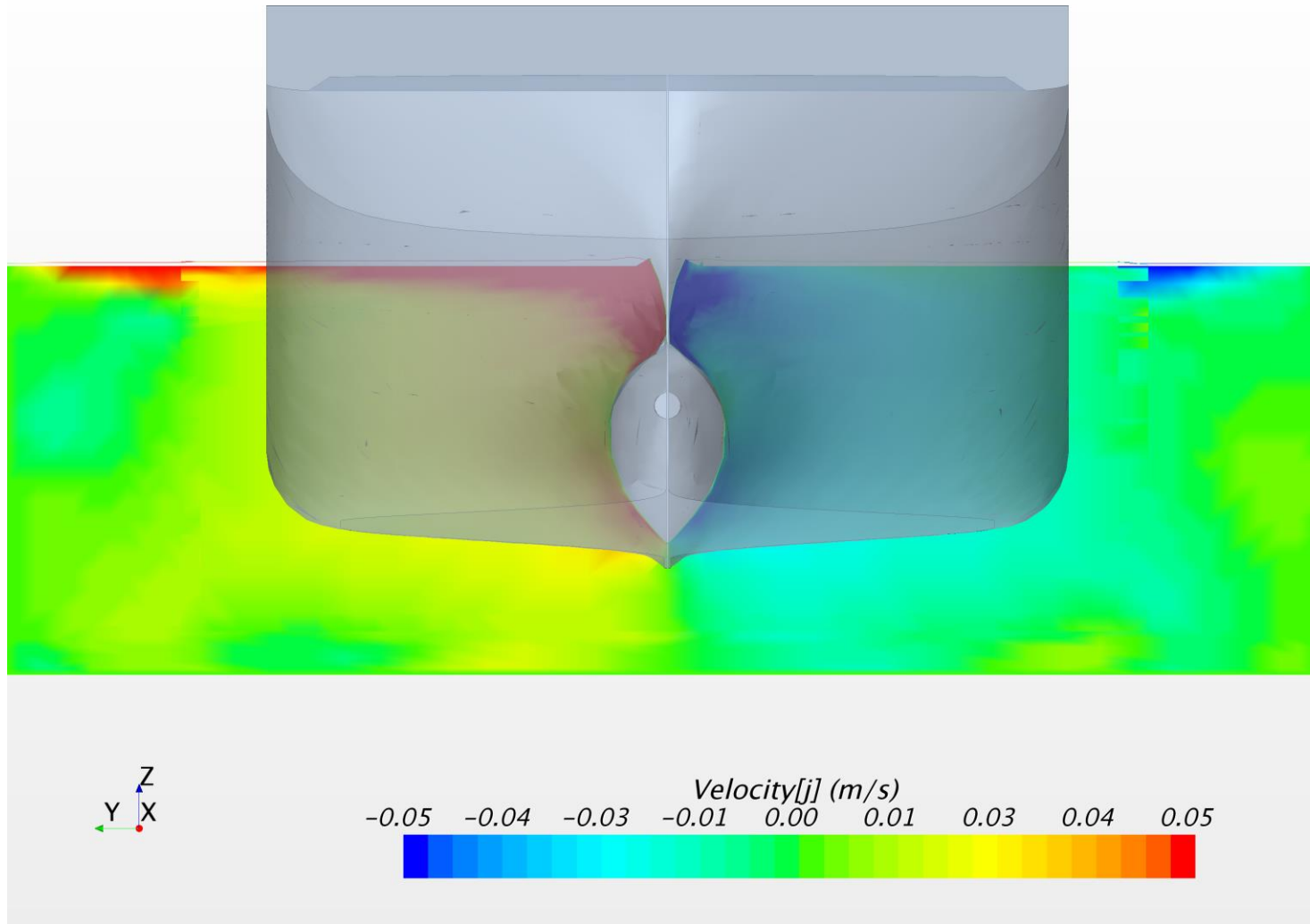
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



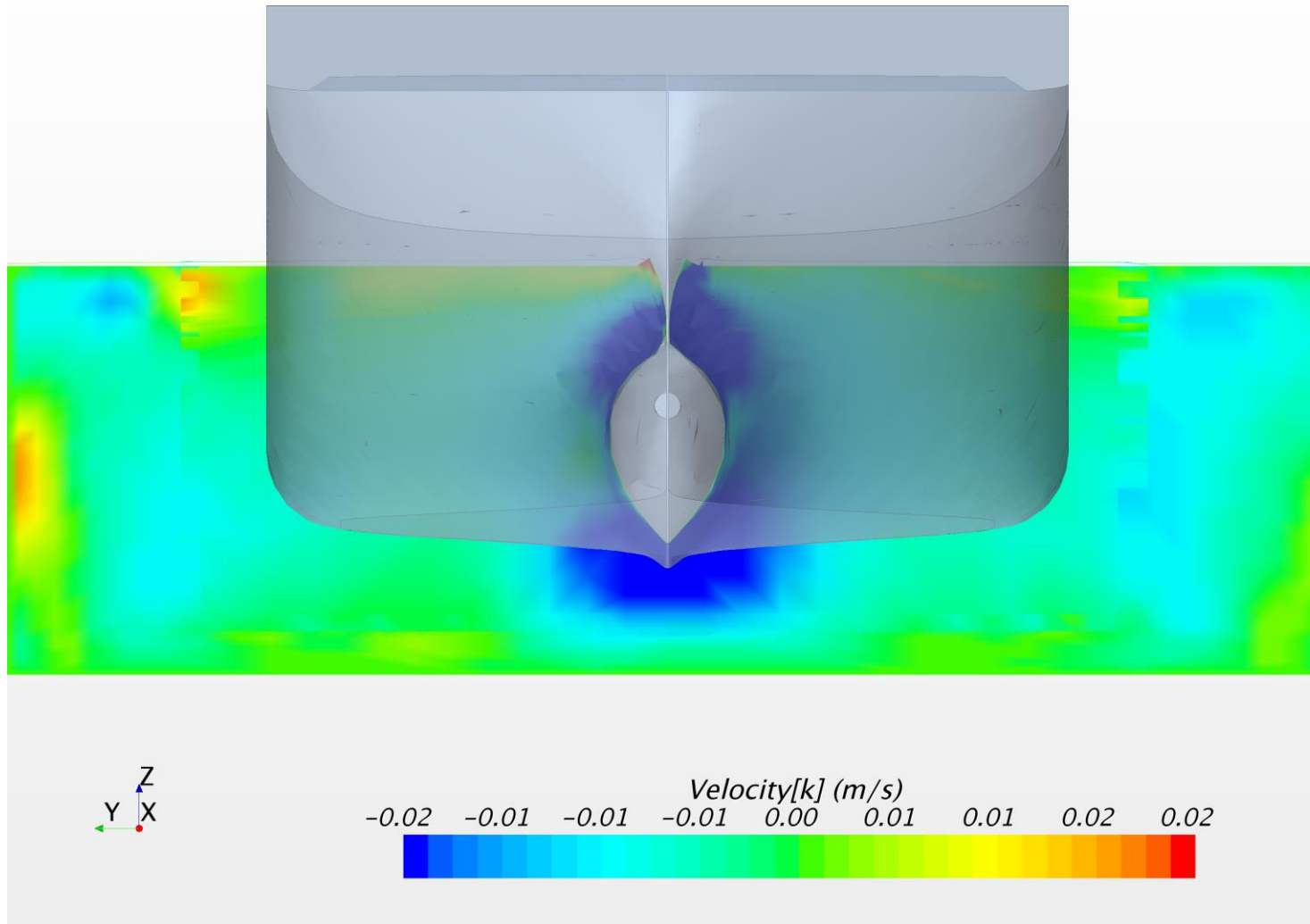
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



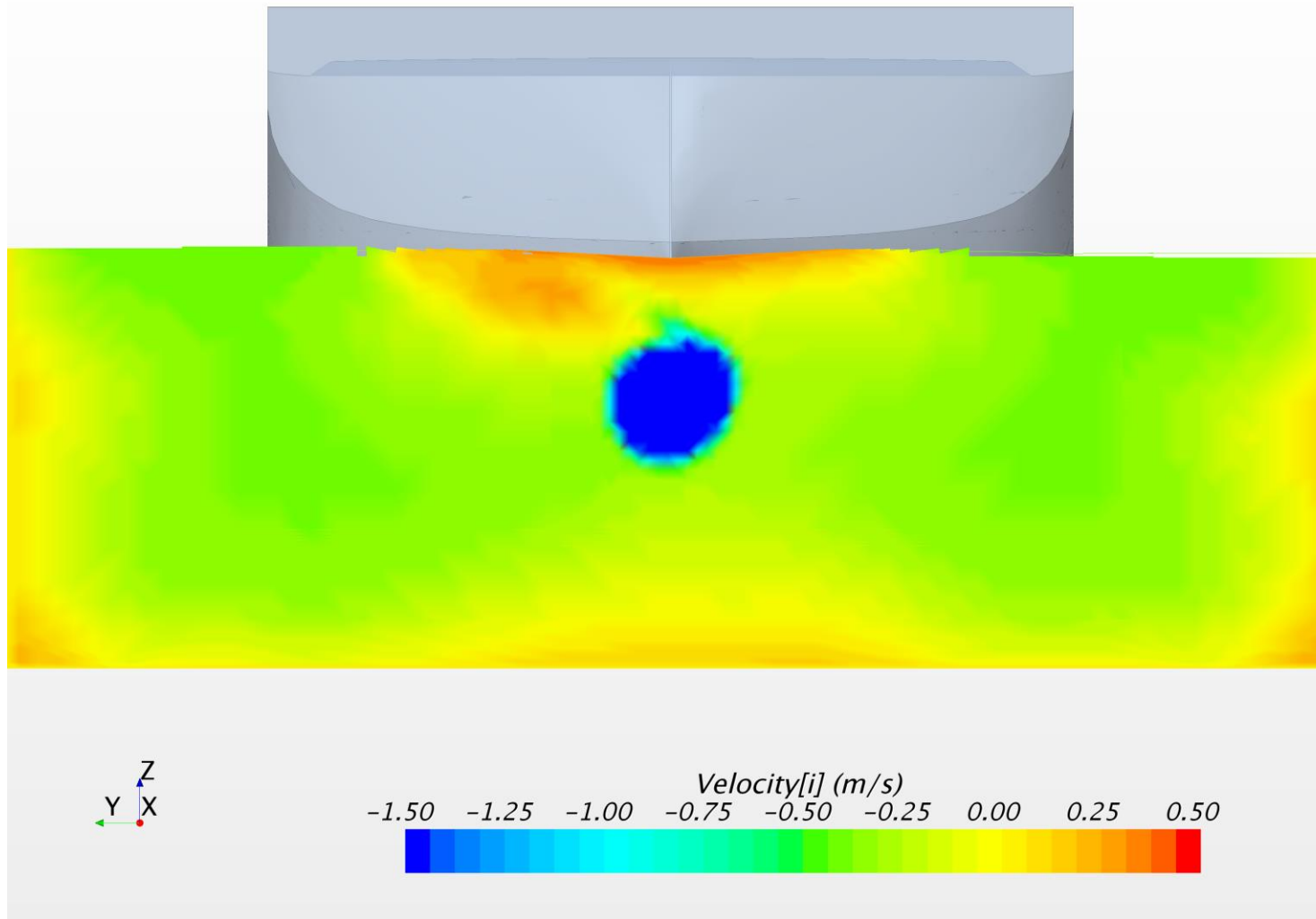
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Lateral hastighed (V komponent) ved FP



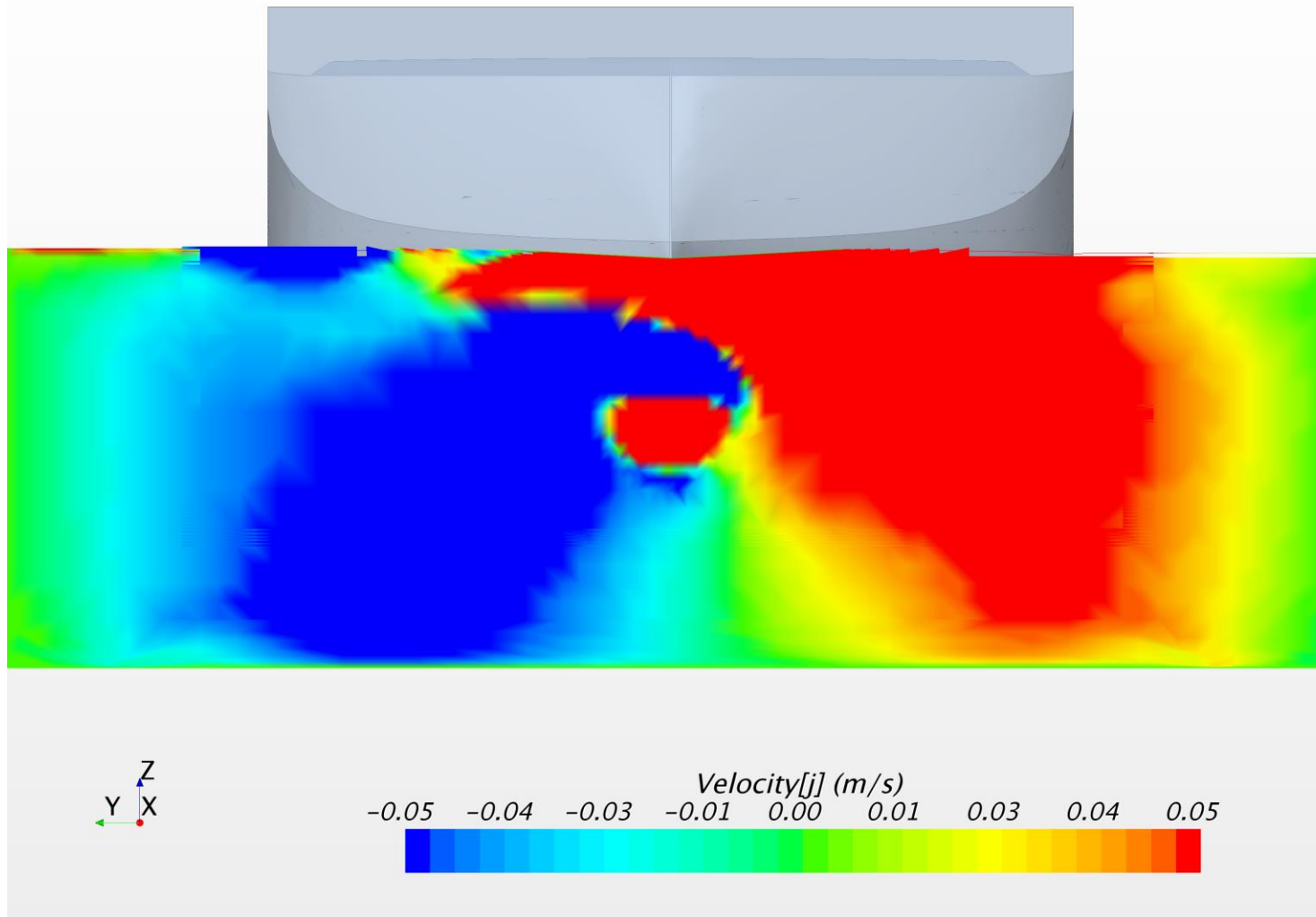
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



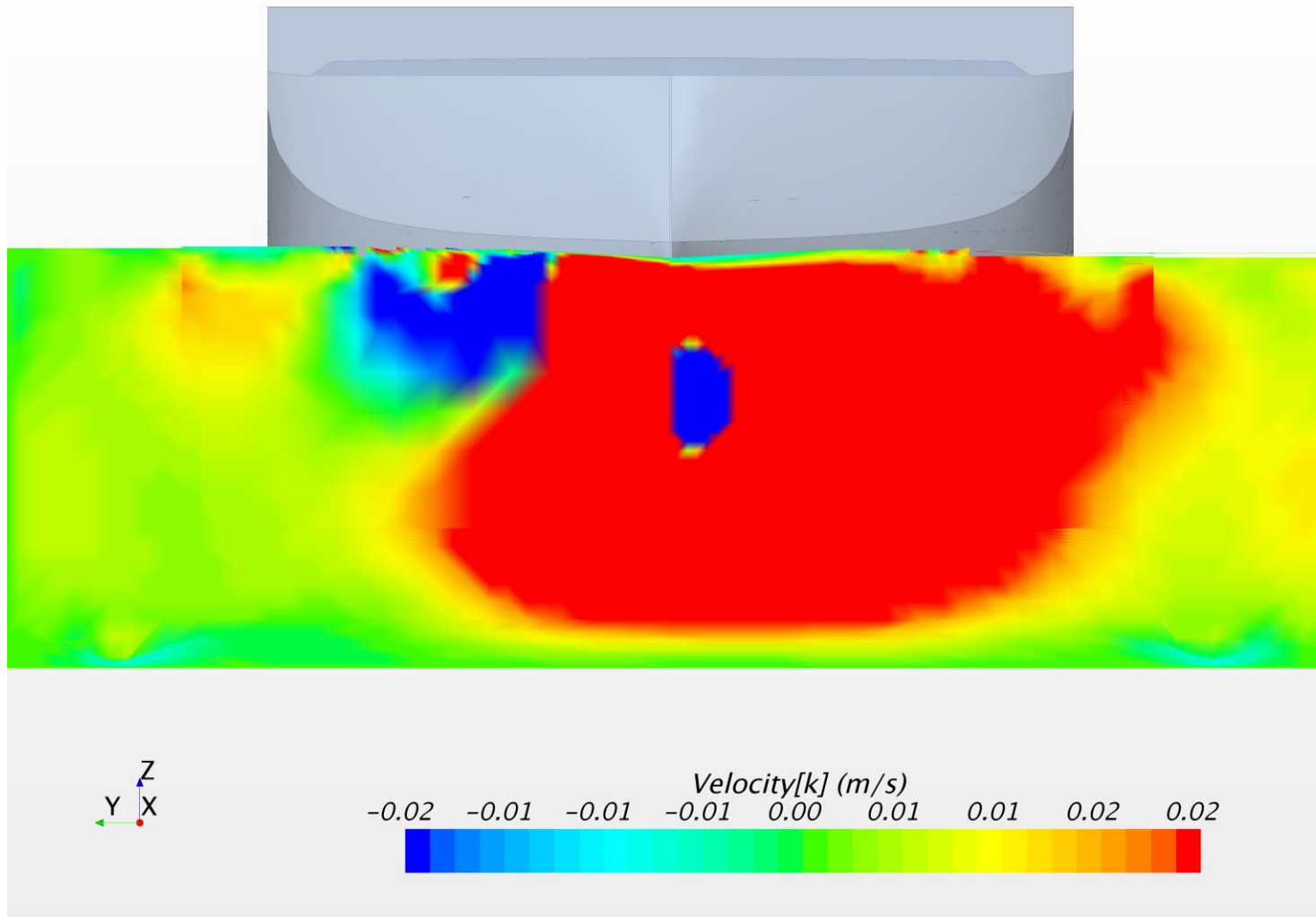
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



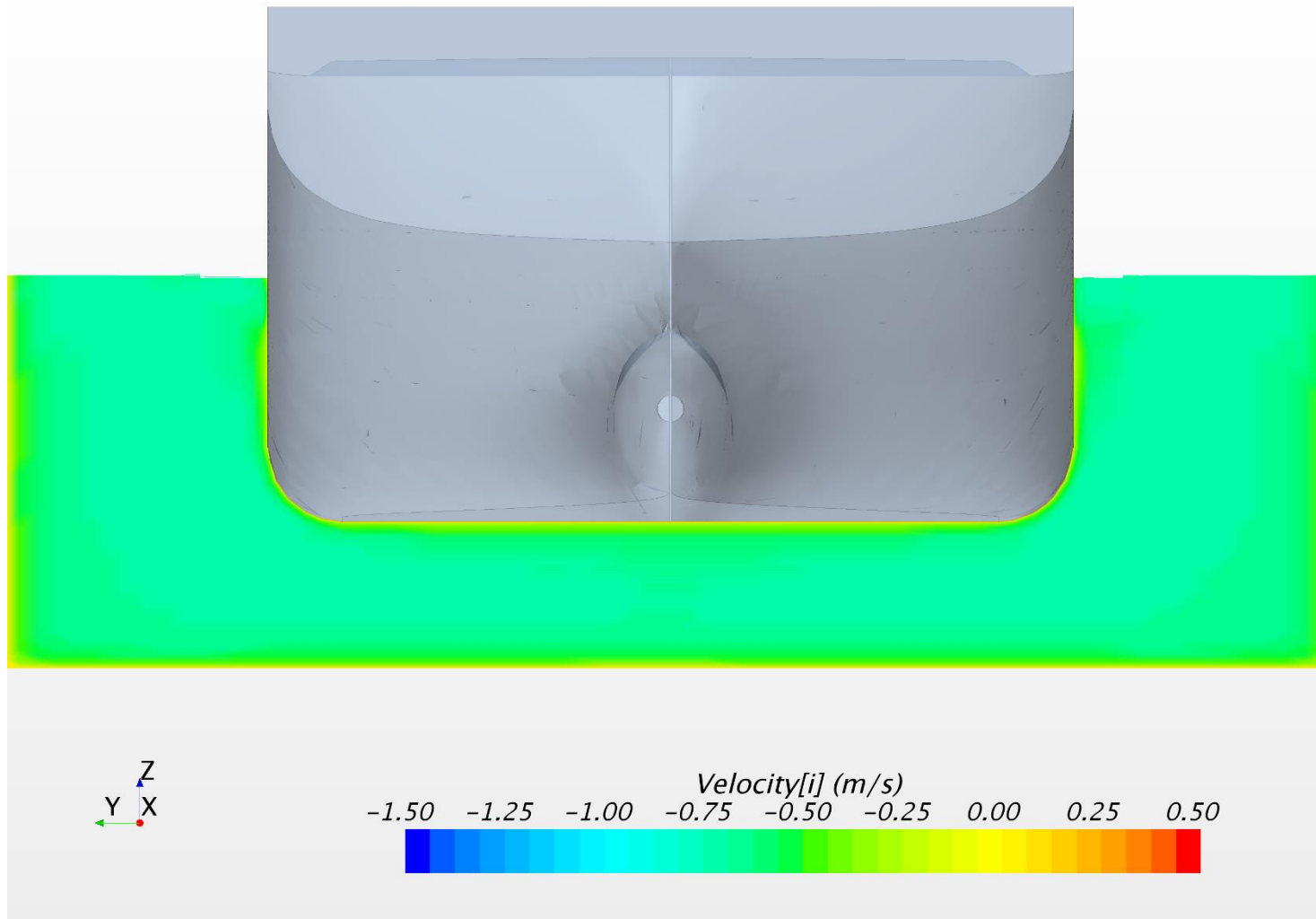
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved AP



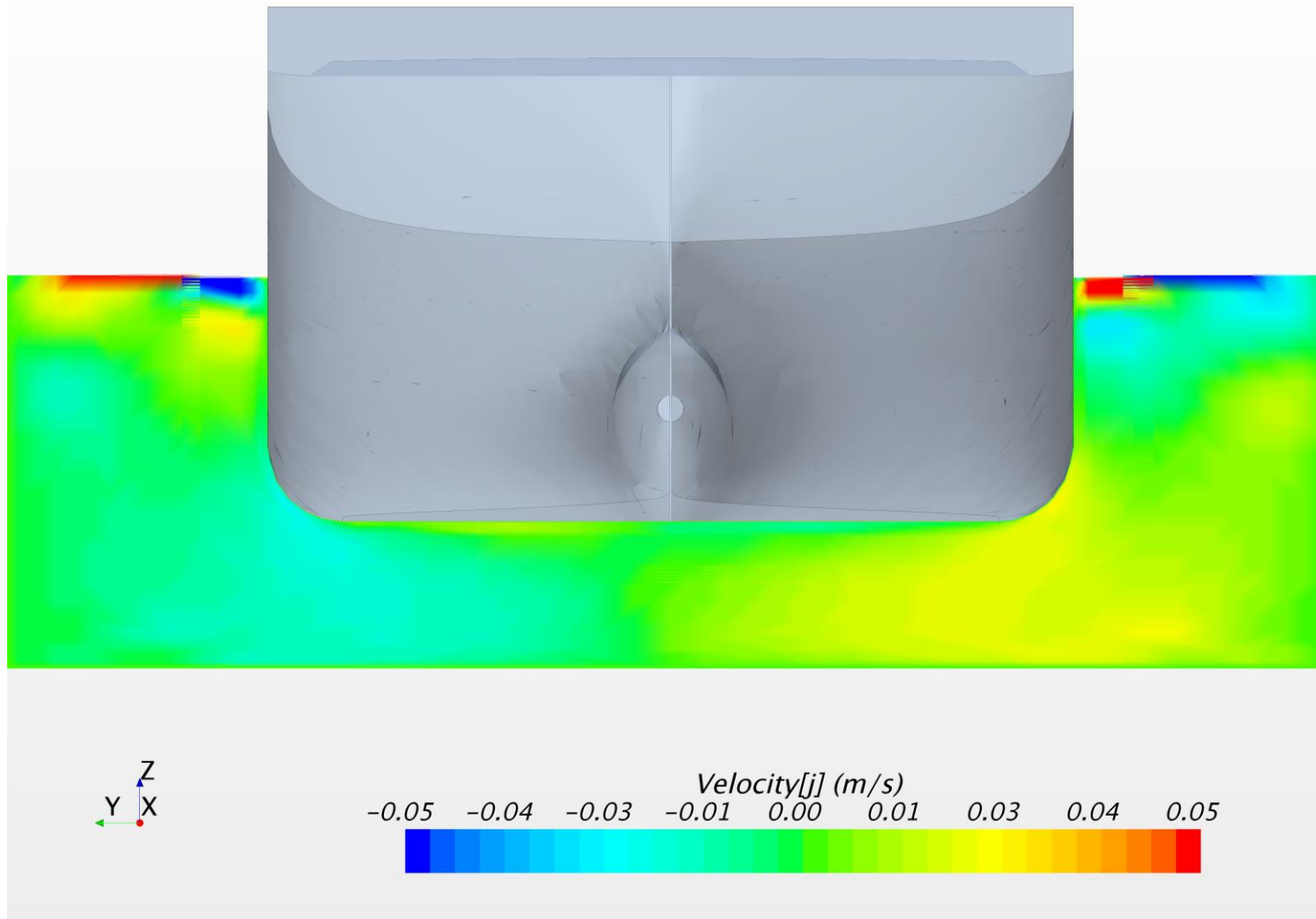
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



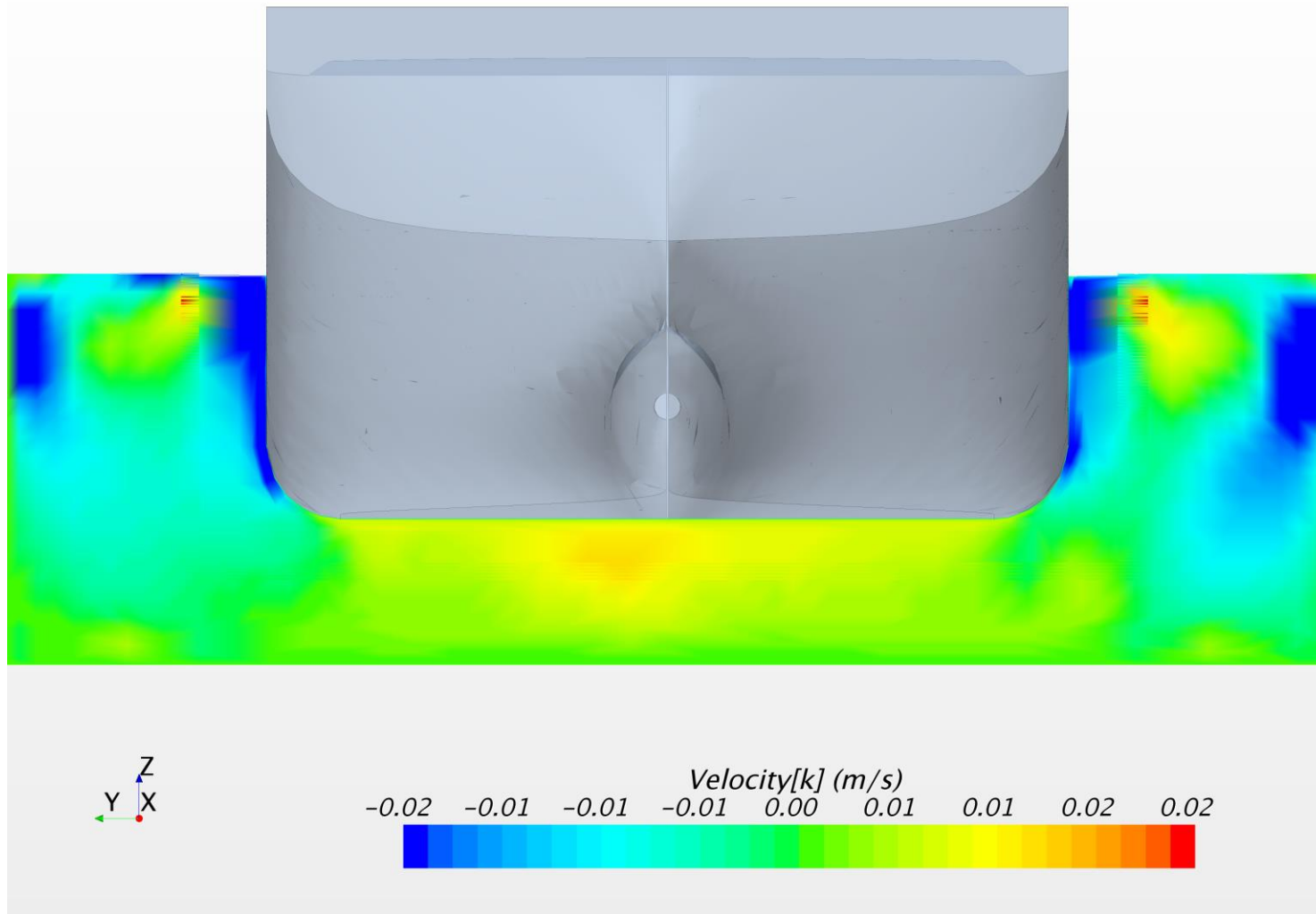
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



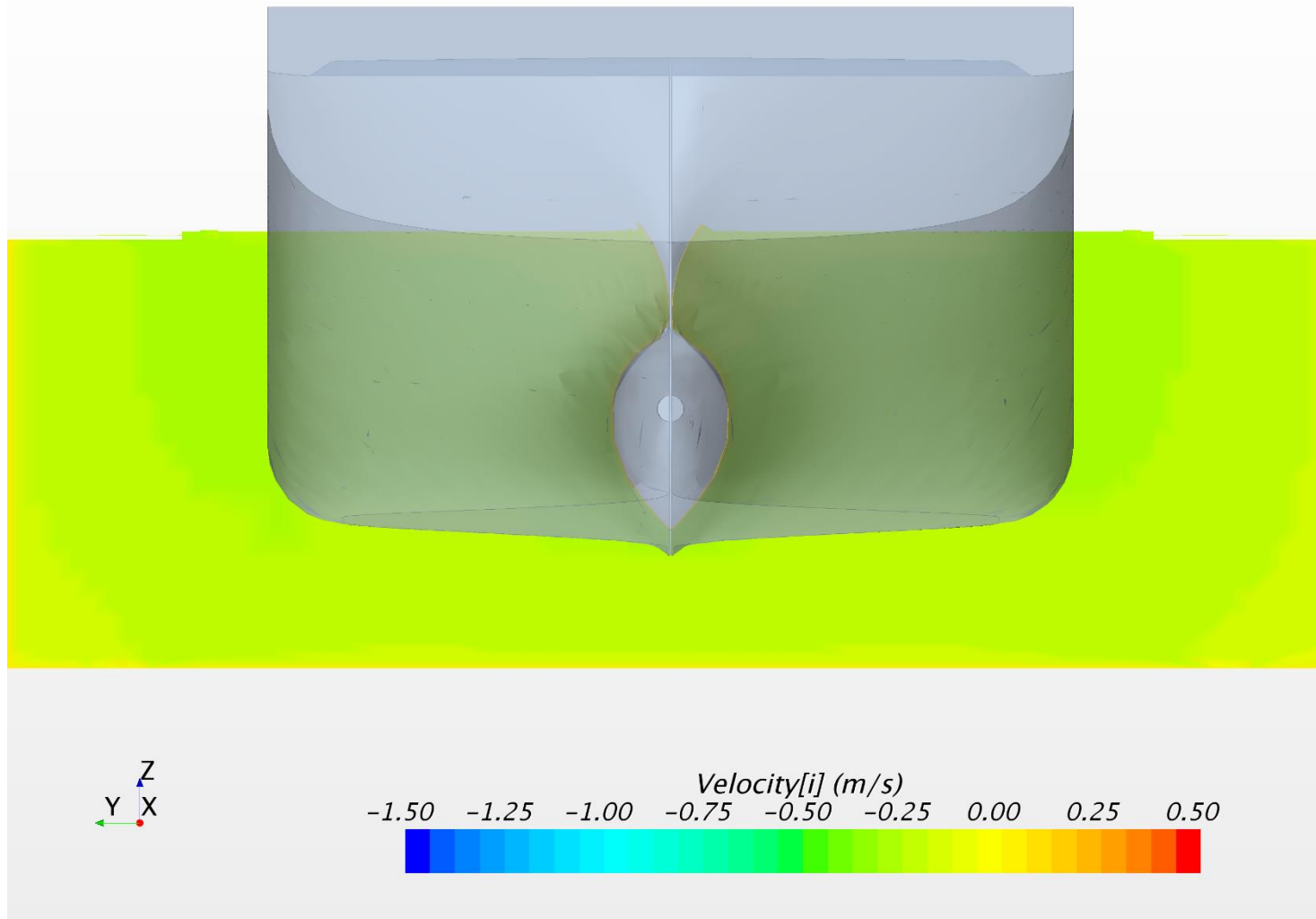
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved NK



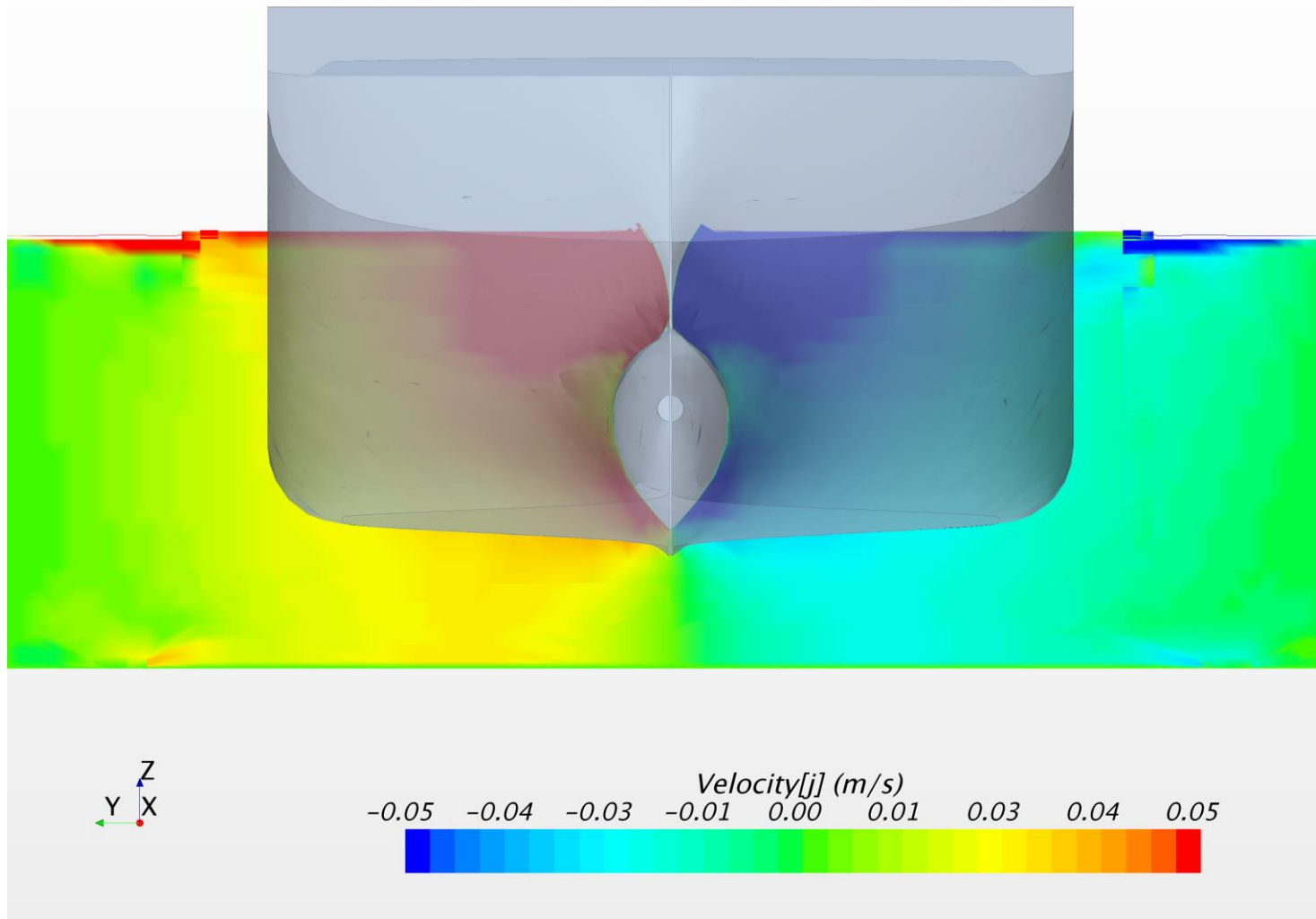
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



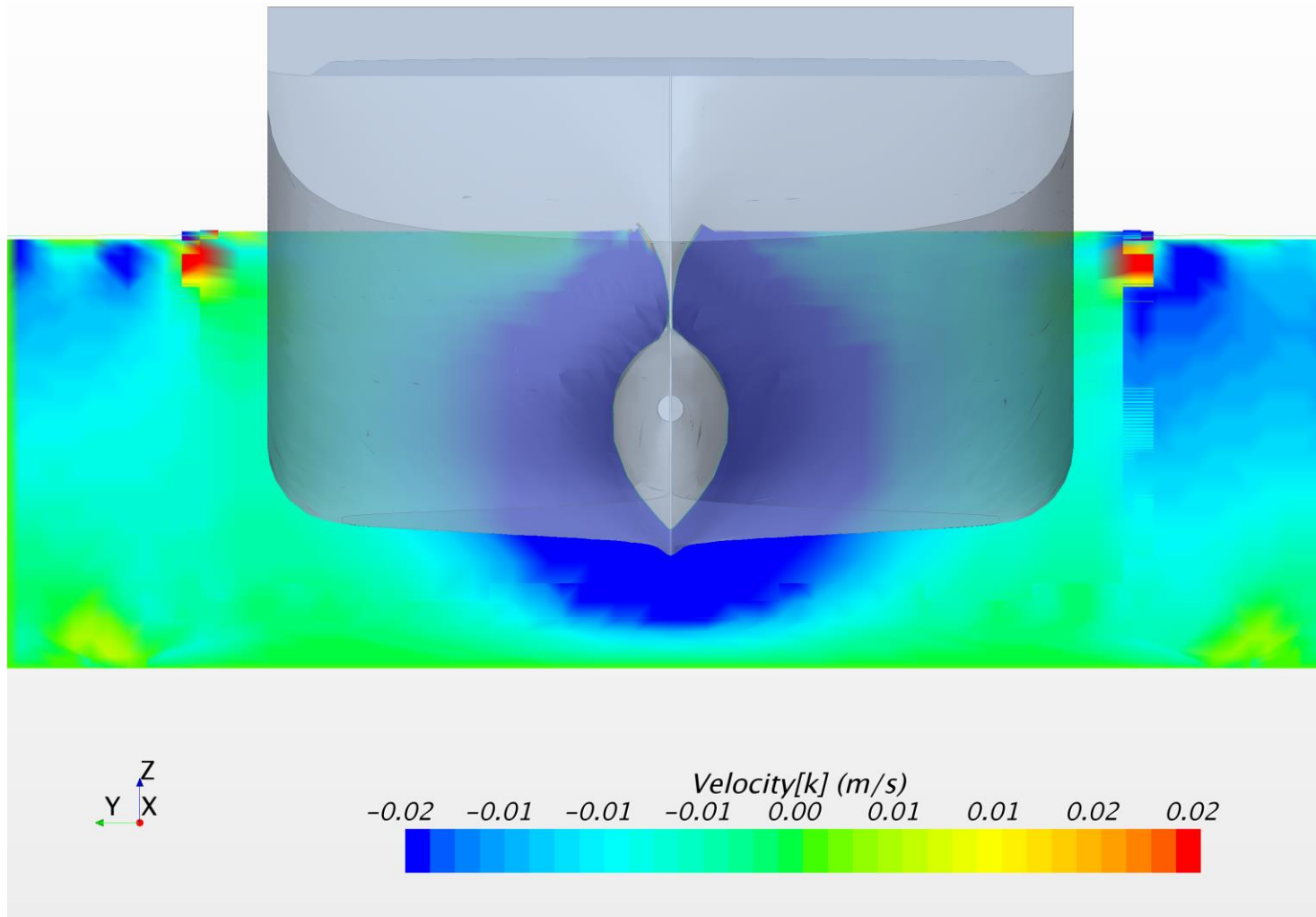
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved FP



Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



APPENDIX C

Resultater af CFD Beregninger

Model DTC

Kondition: Tæt på fender

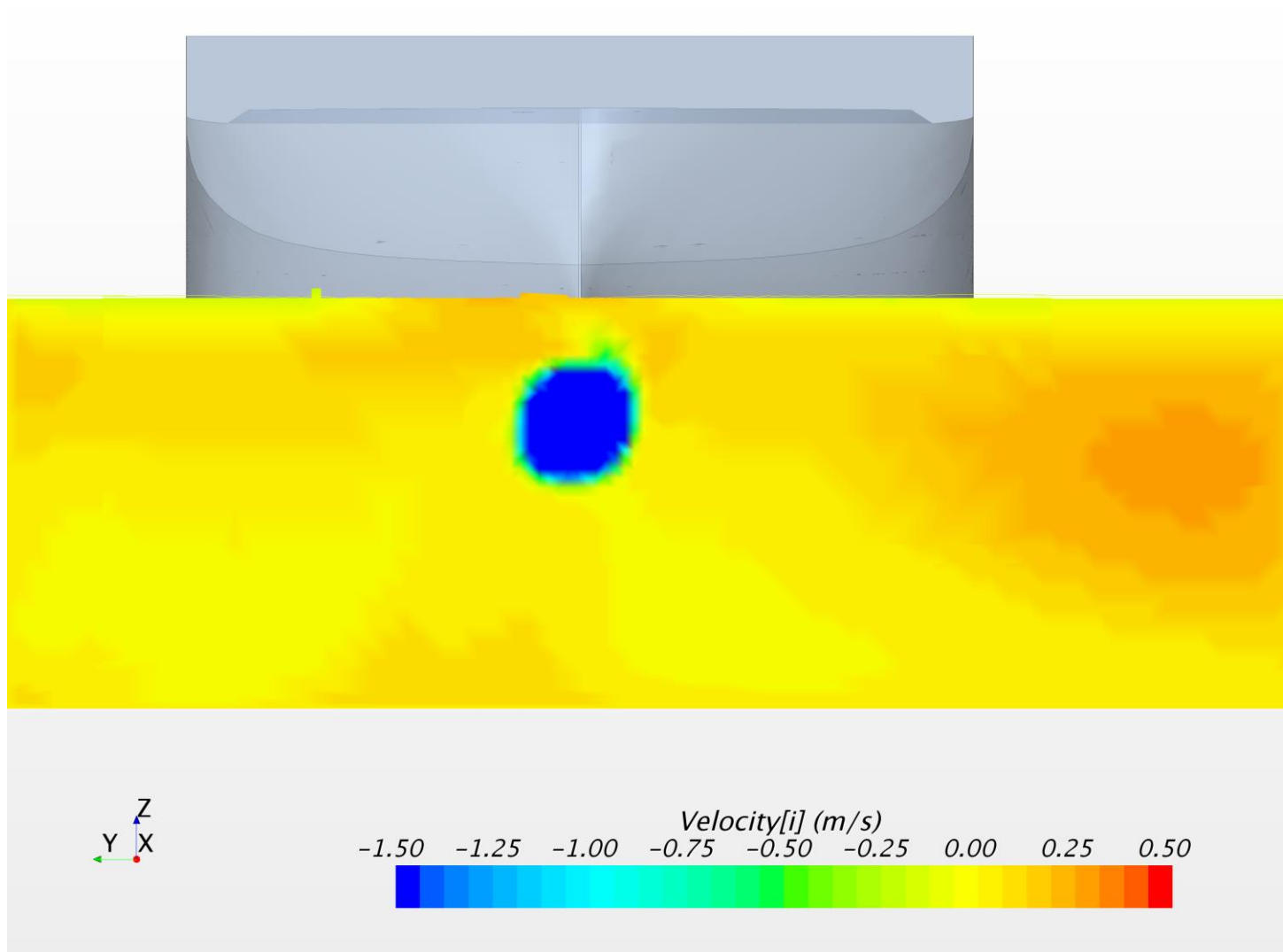
Uden Søjler

Vanddybde: 12.00m

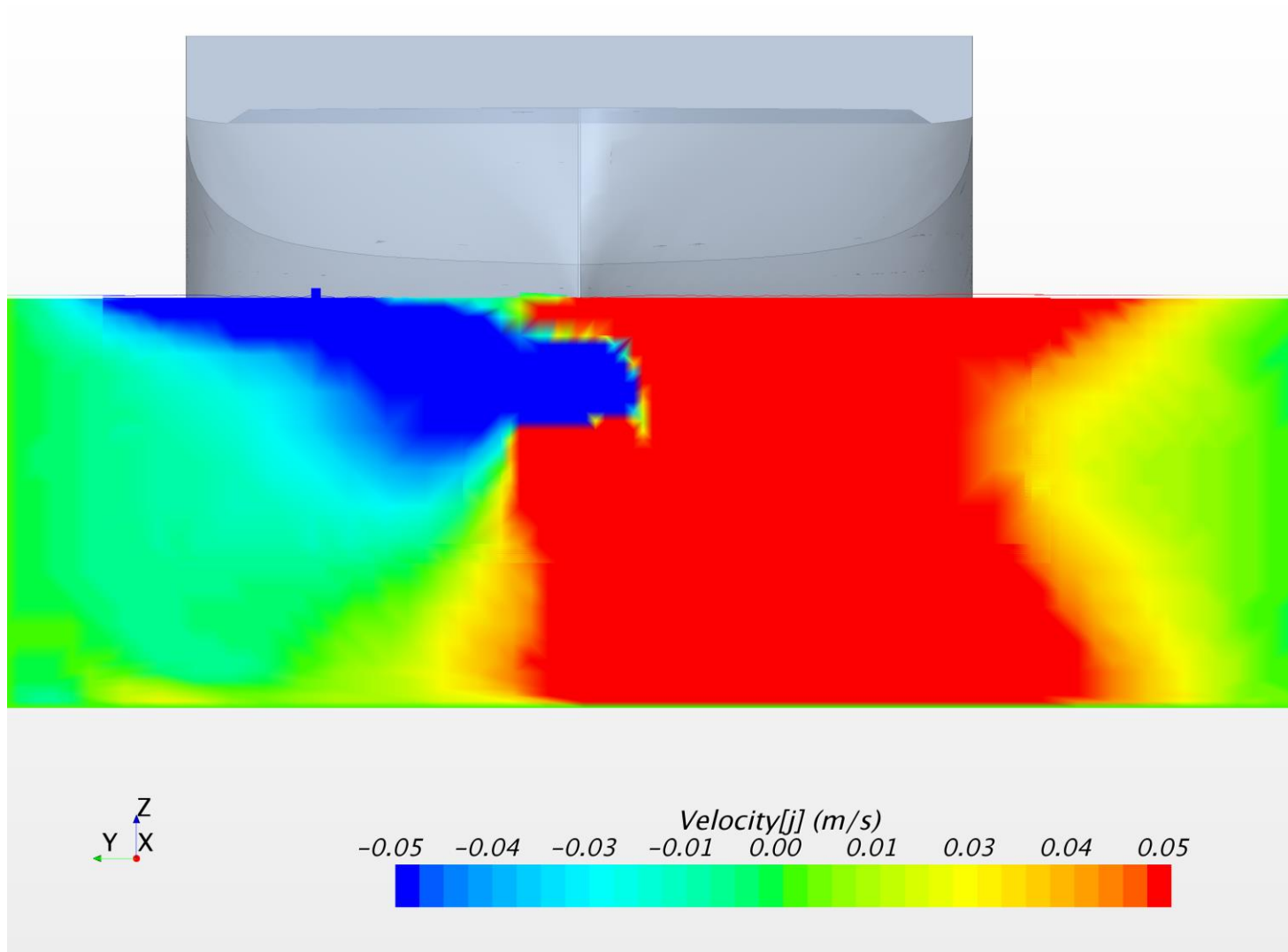
2kn modstrøm eller uden strøm

Skibshastighed: 2; 3; 4kn

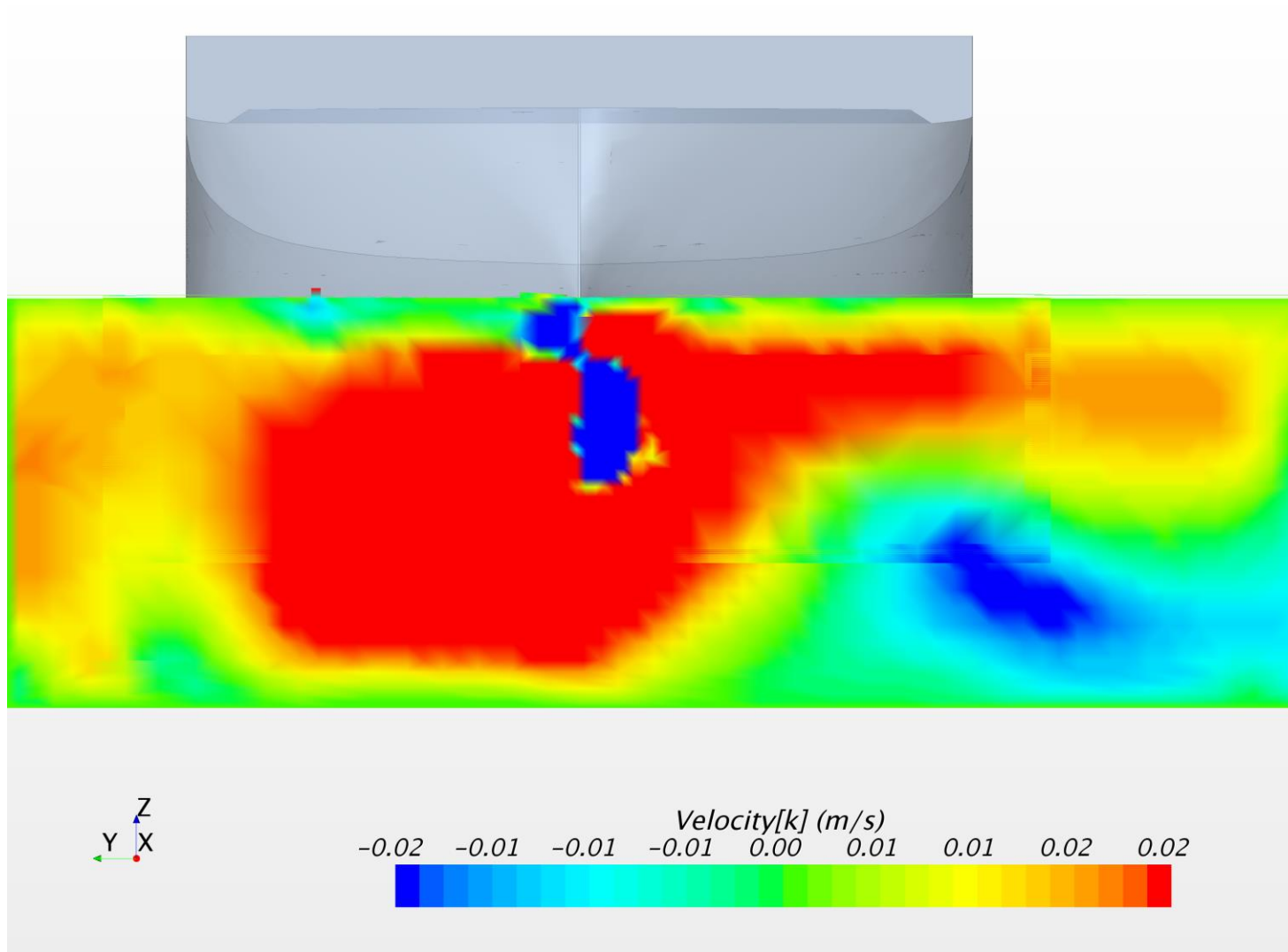
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



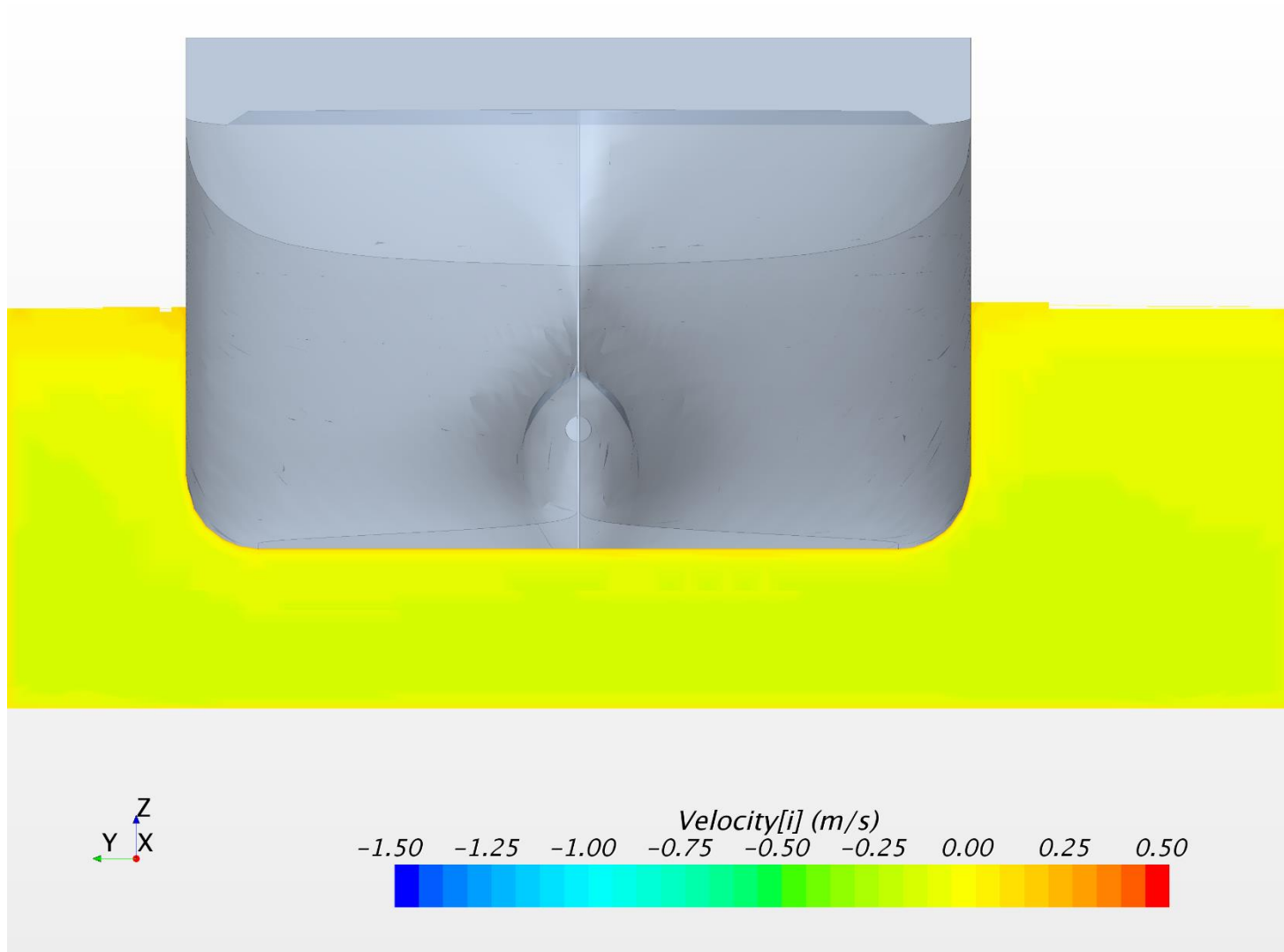
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Lateral hastighed (V komponent) ved AP



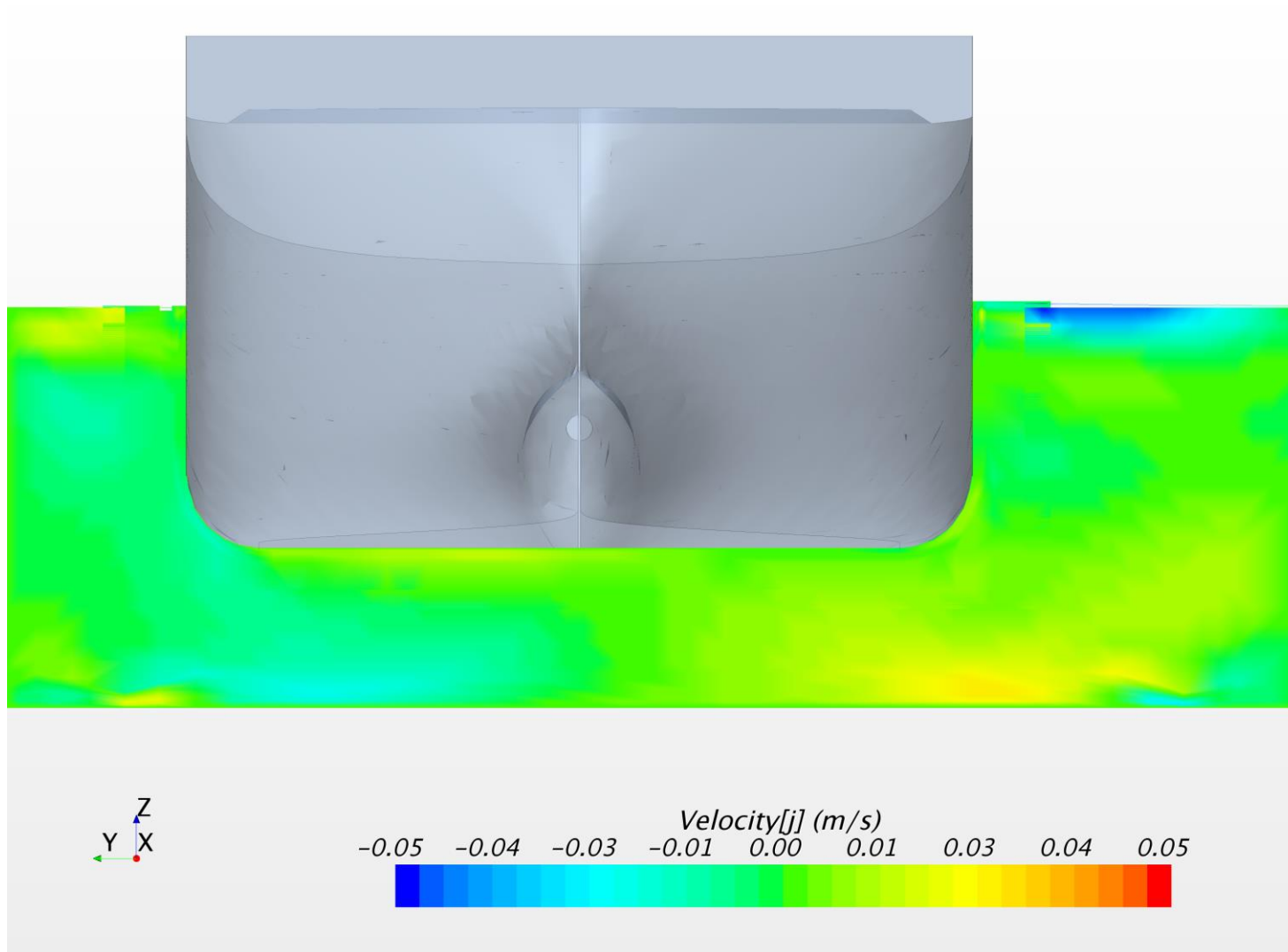
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



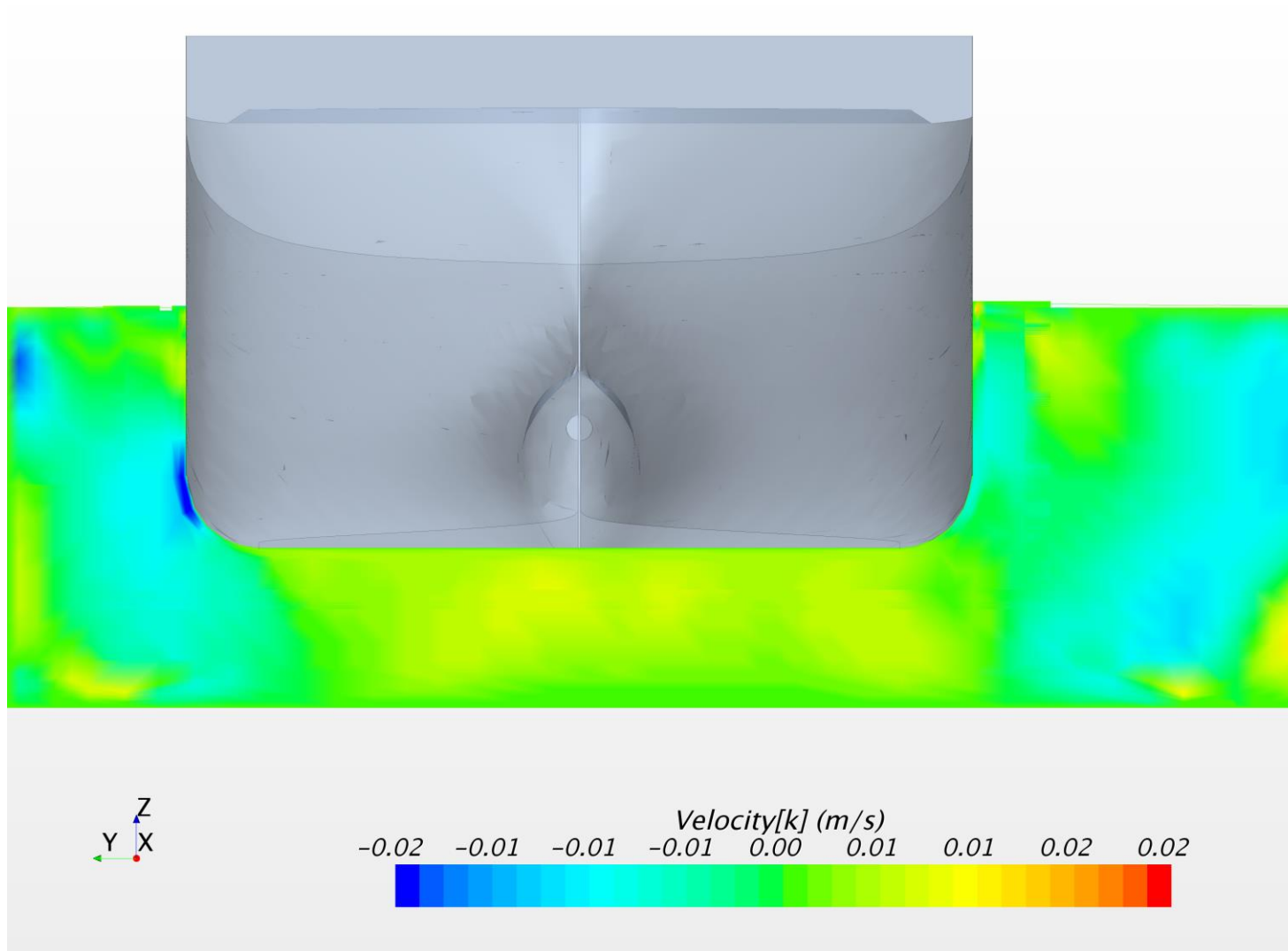
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



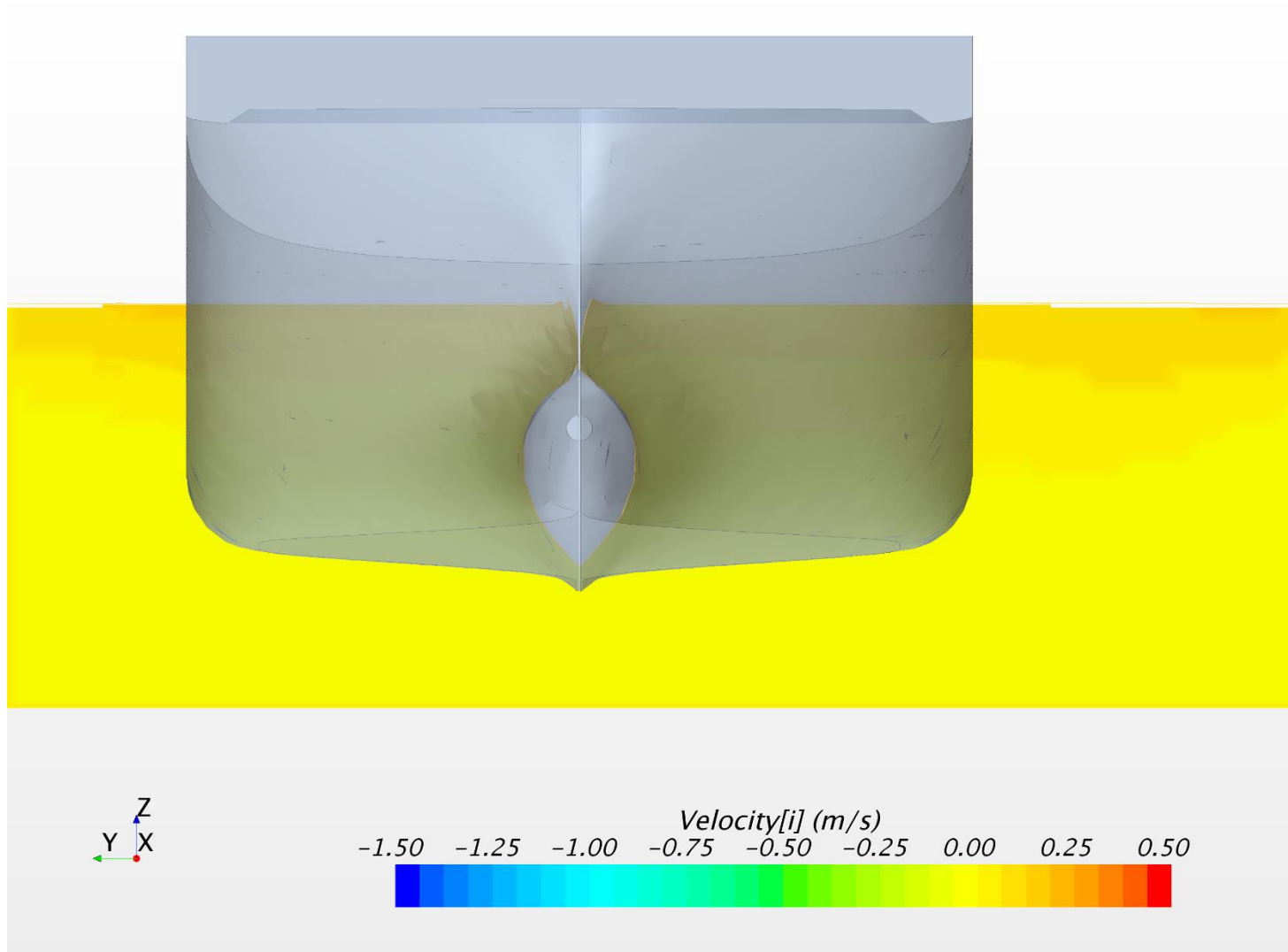
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Lateral hastighed (V komponent) ved NK



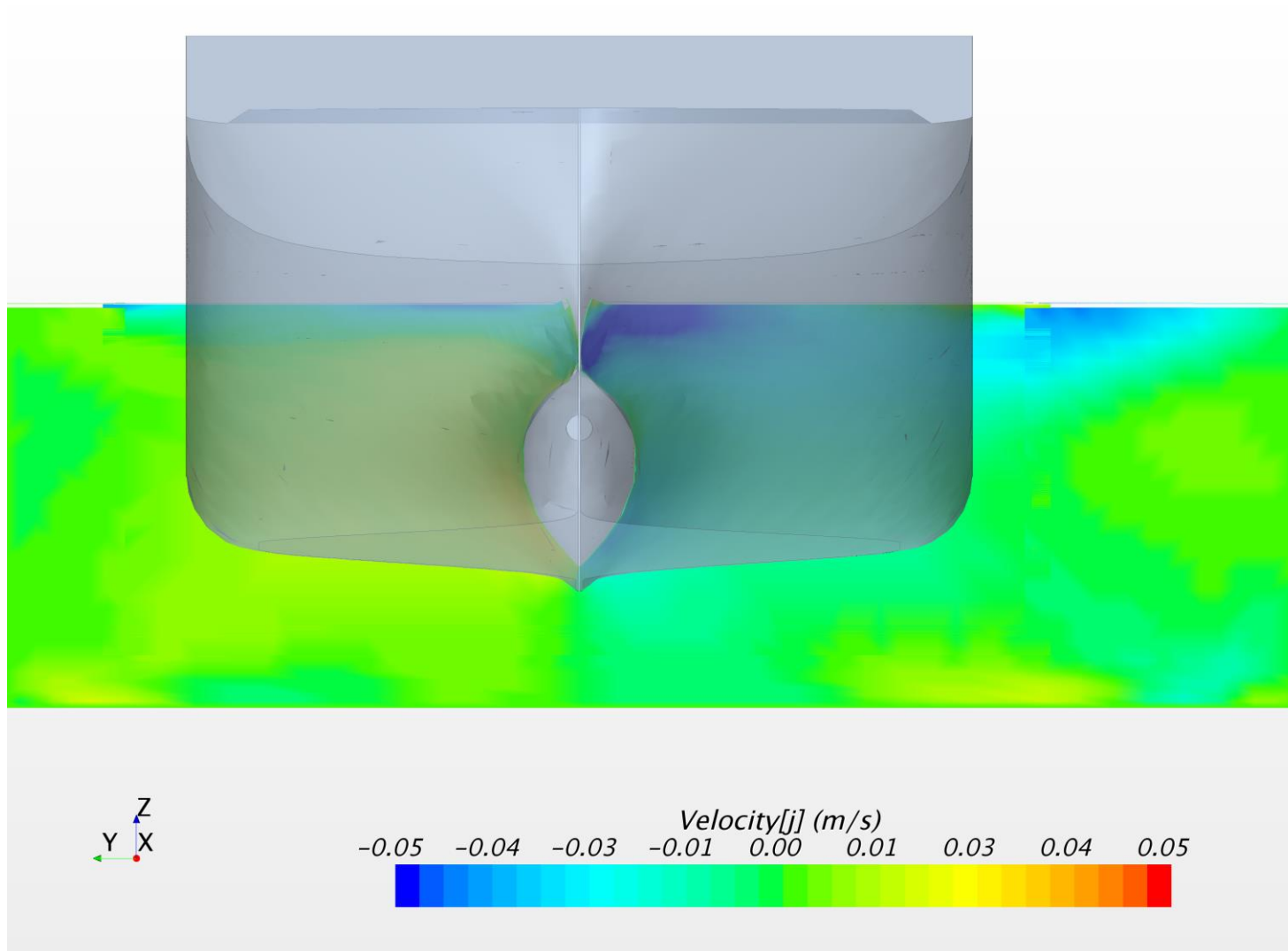
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



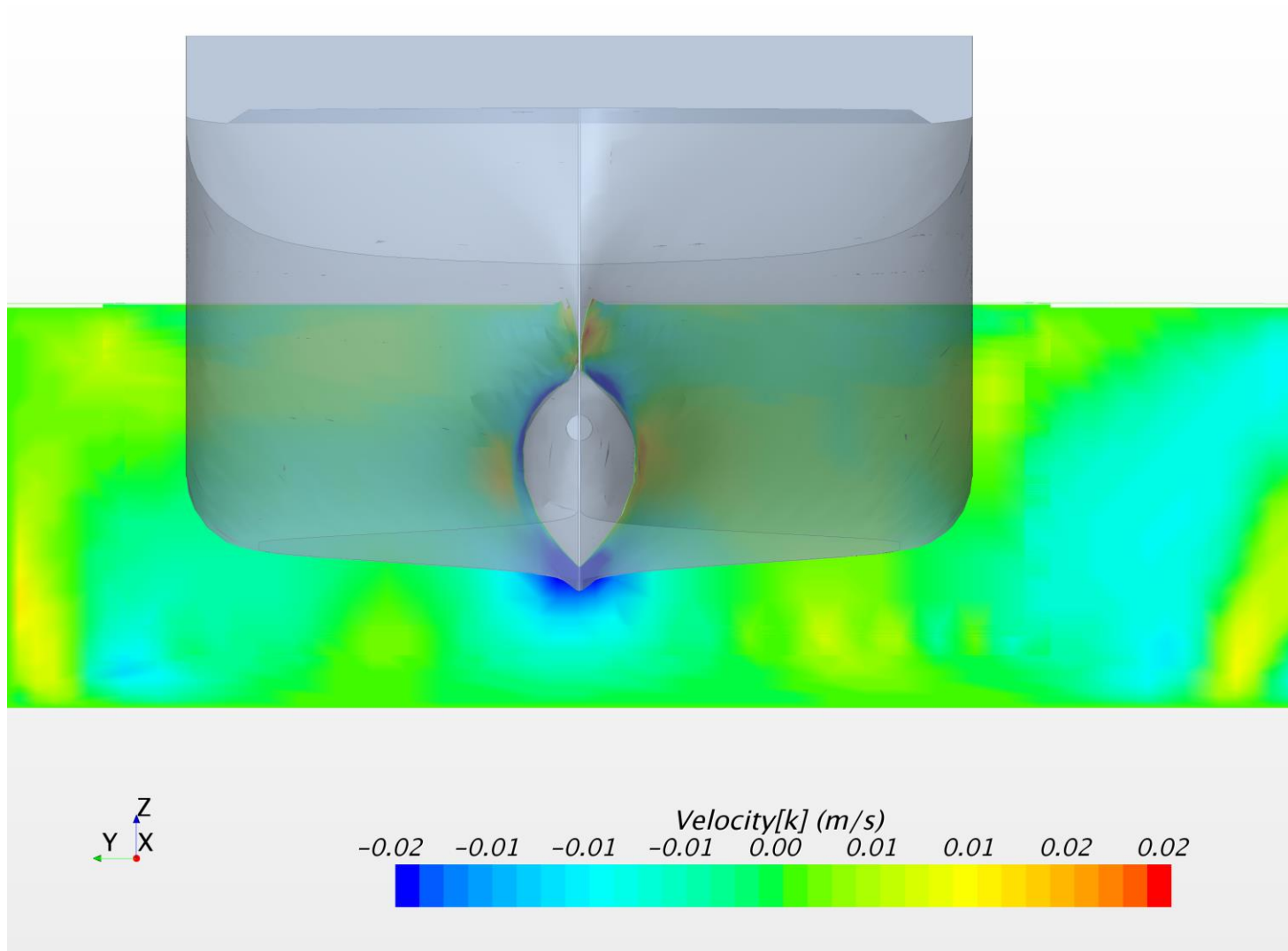
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



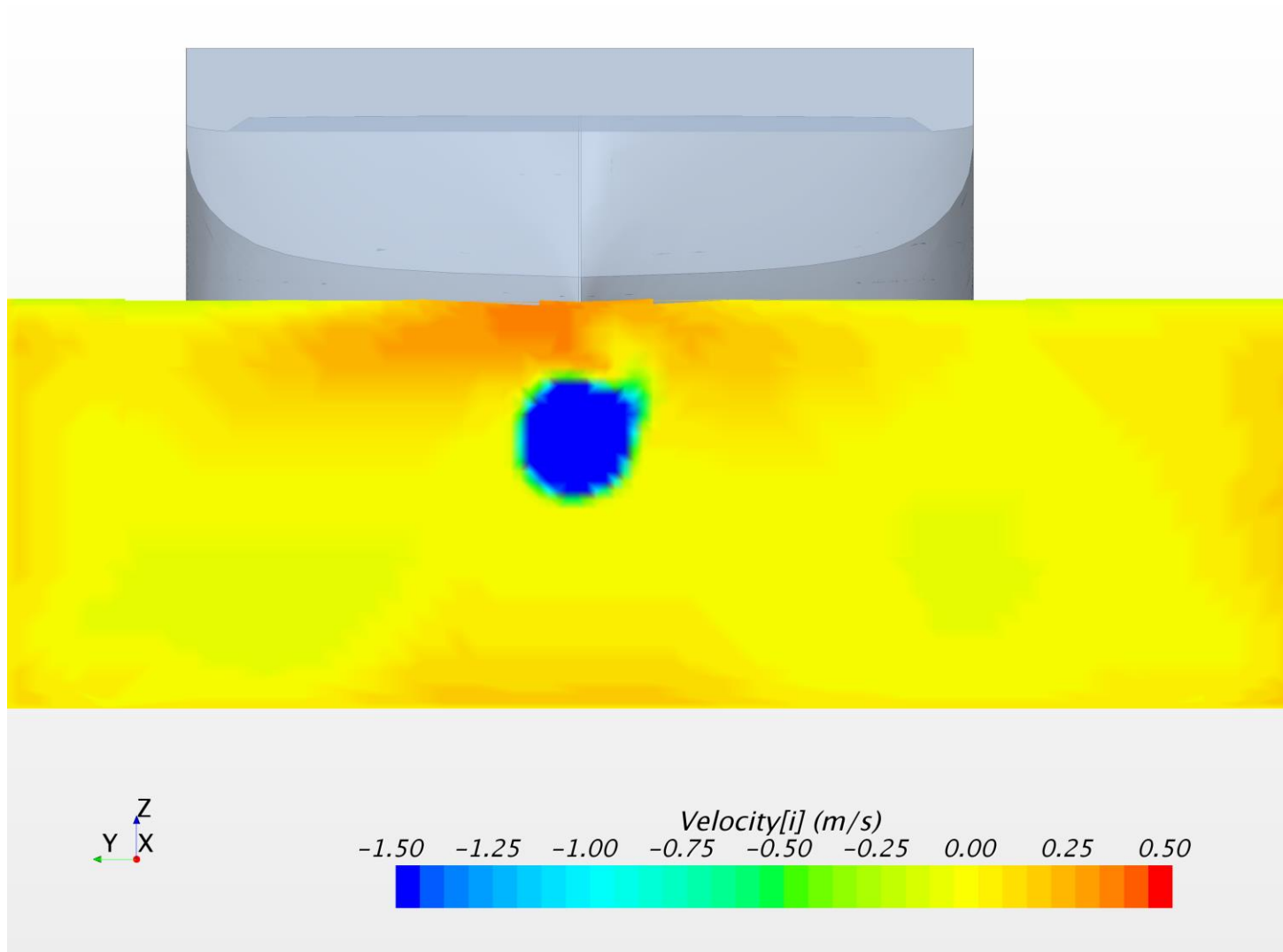
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Lateral hastighed (V komponent) ved FP



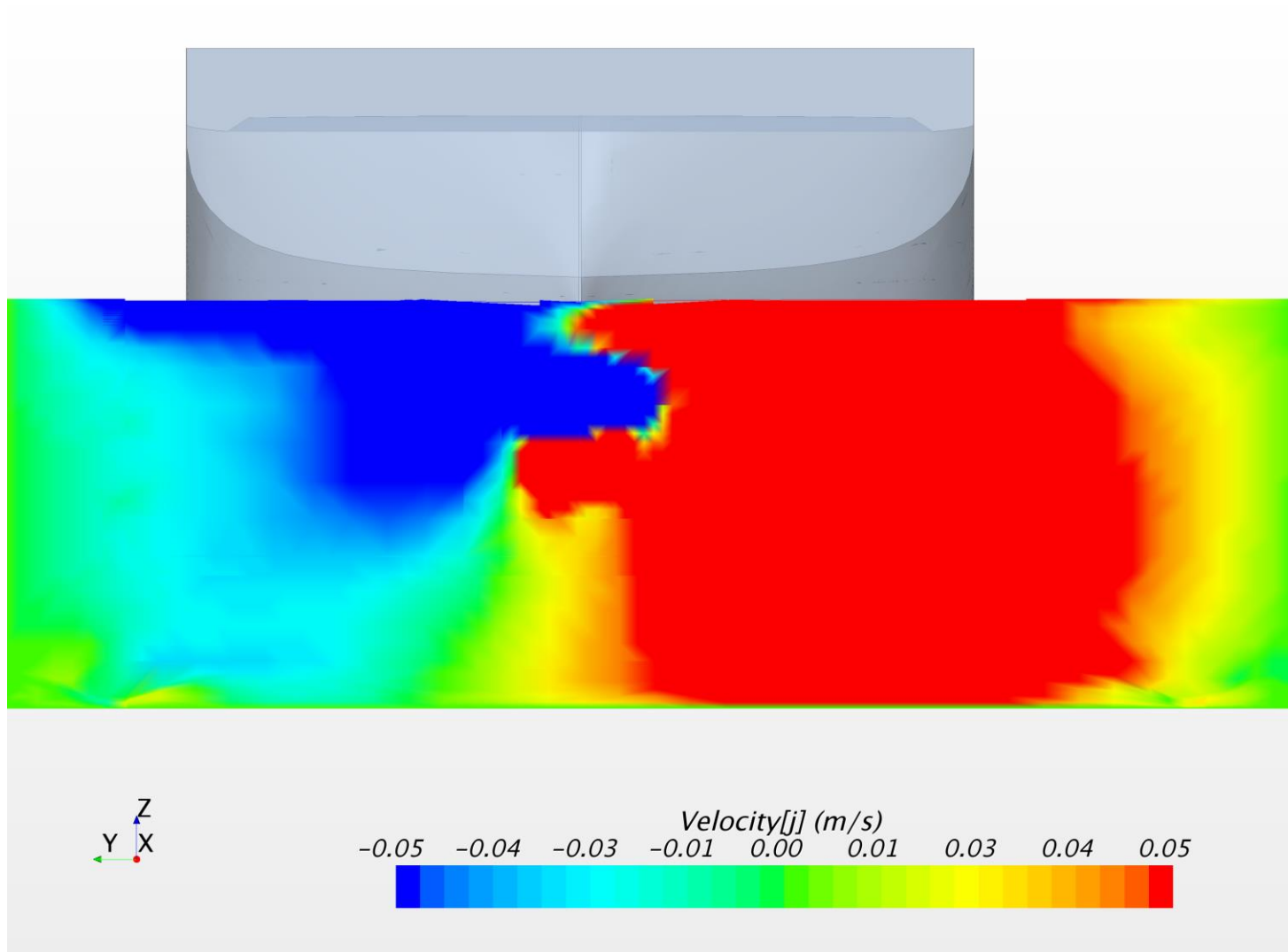
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



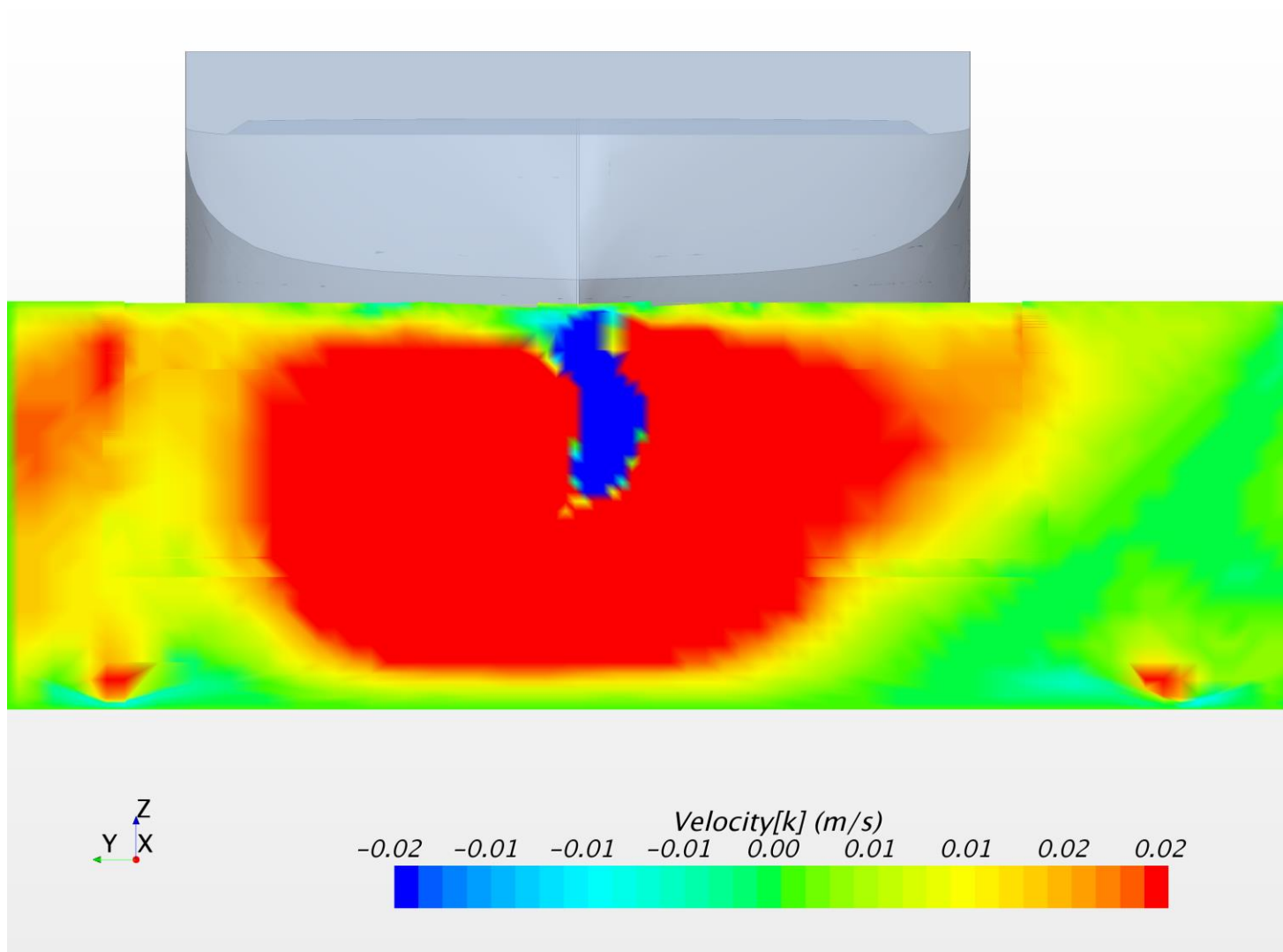
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



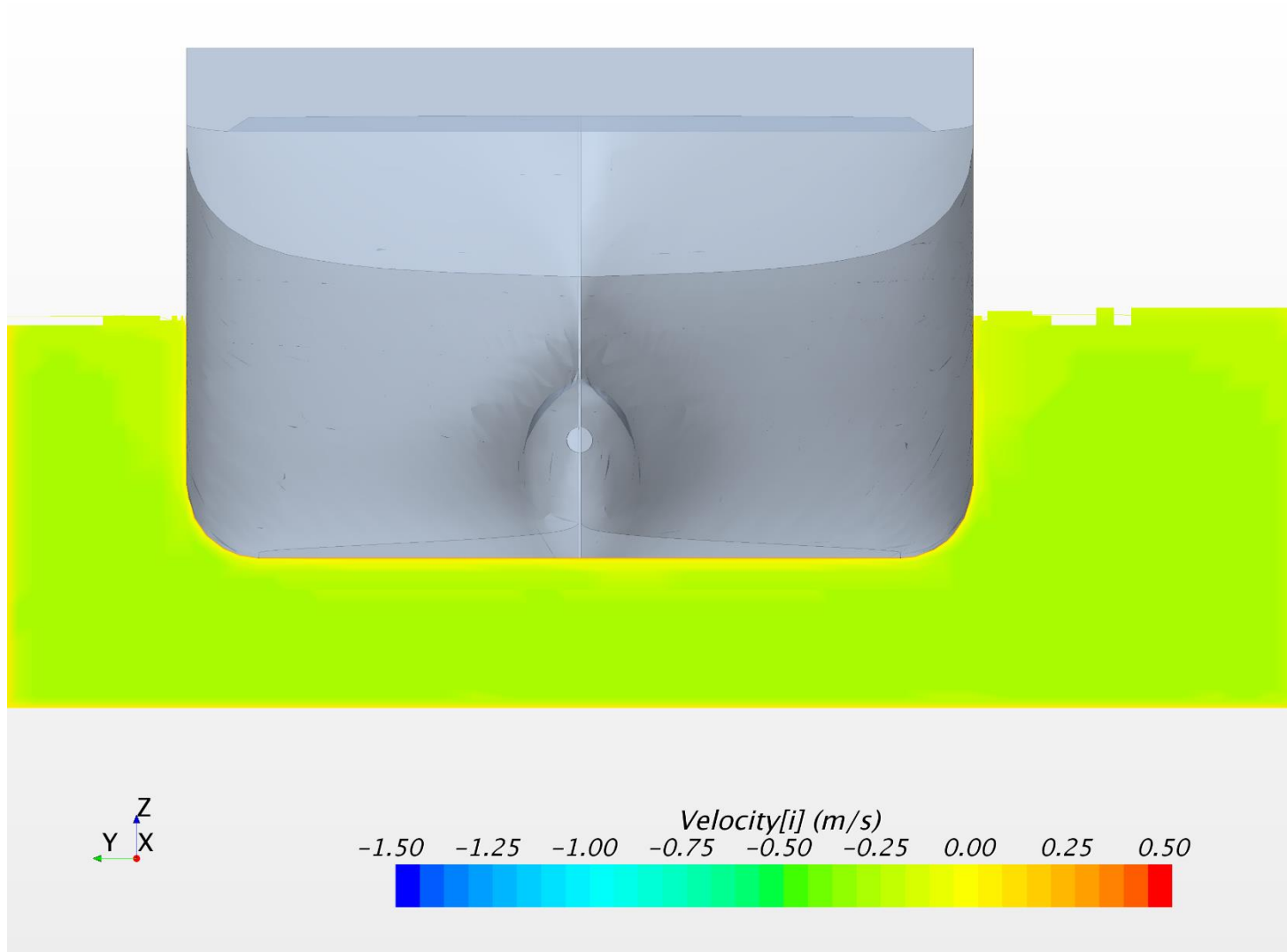
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved AP



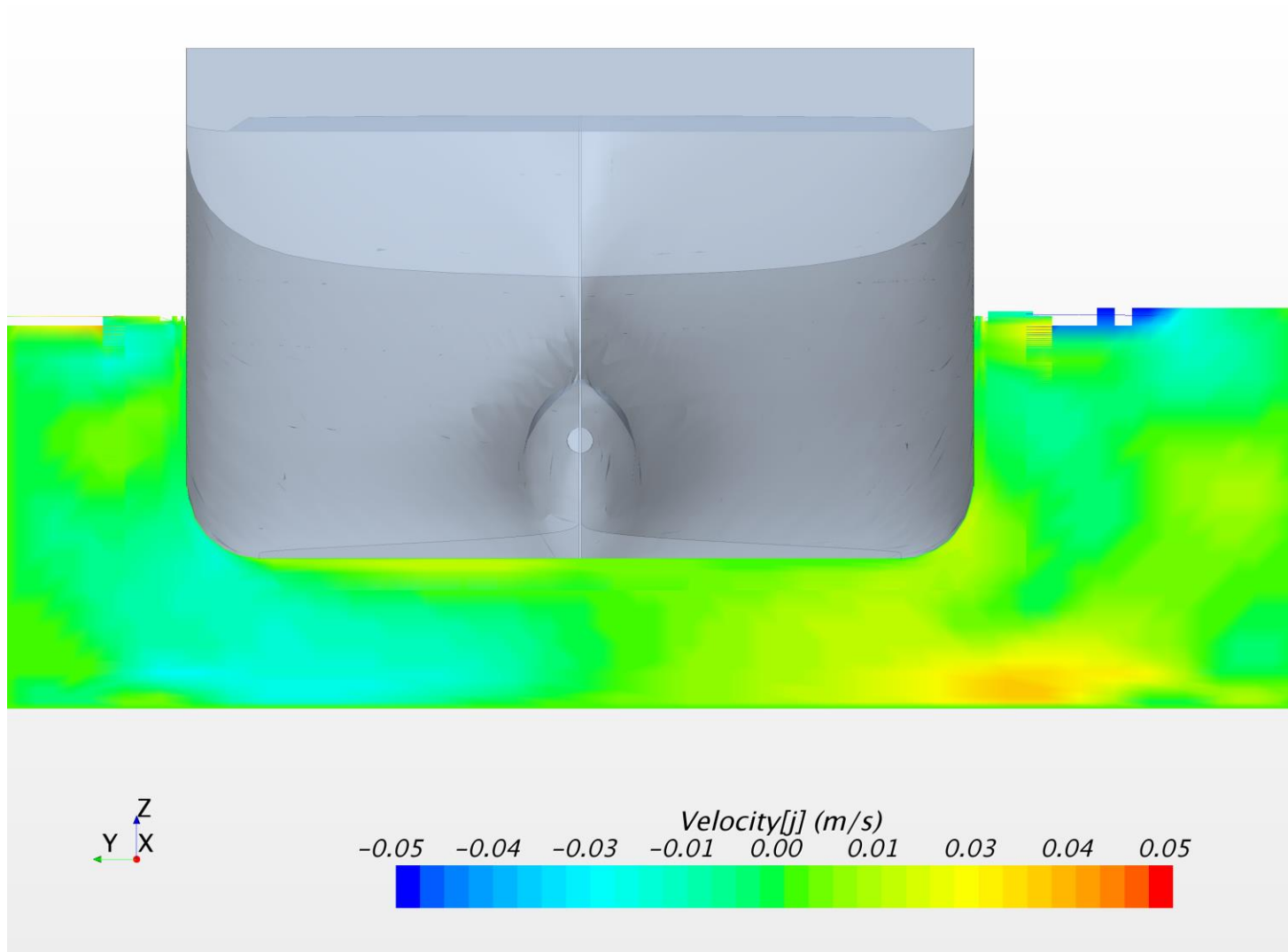
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



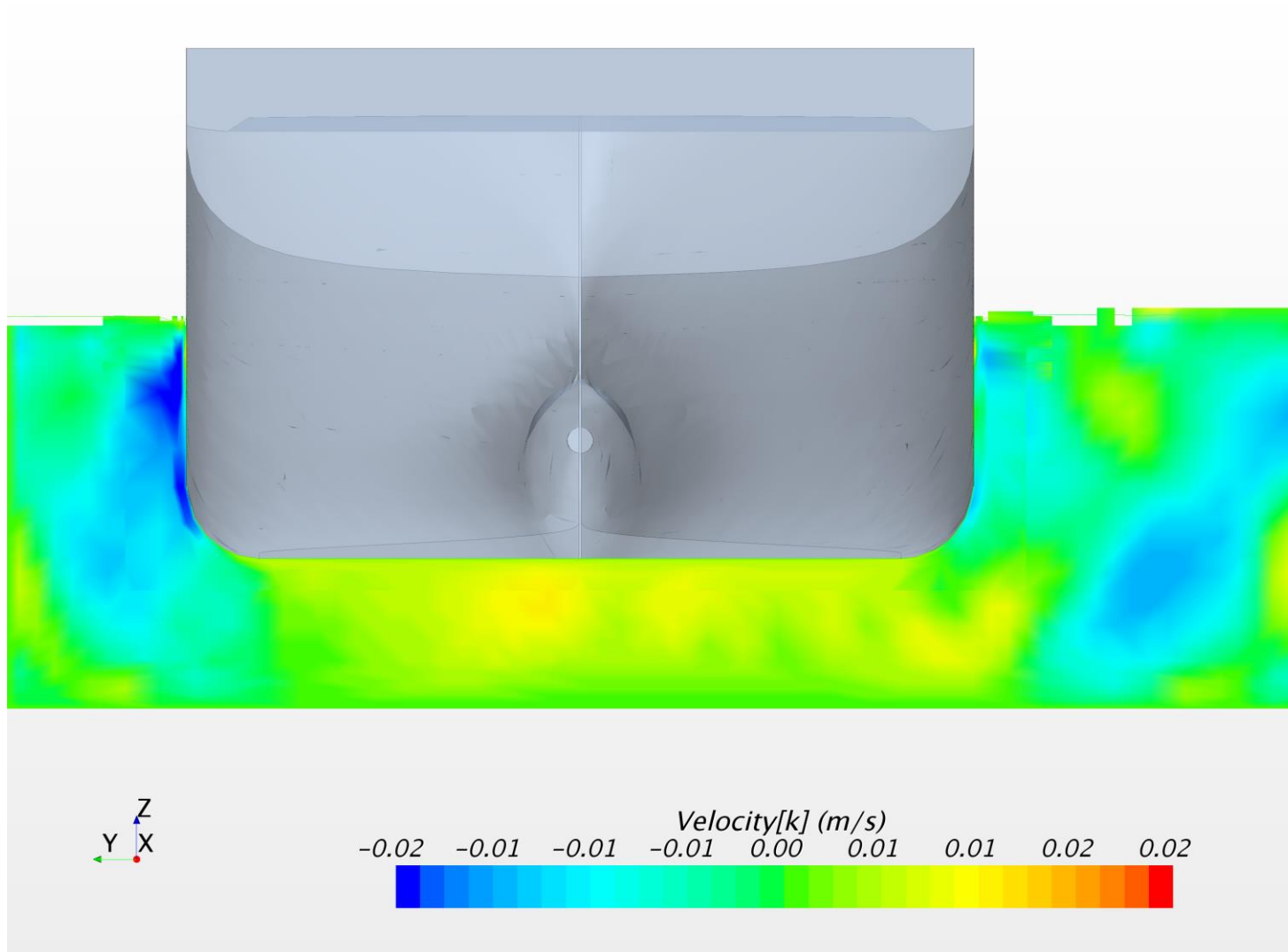
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



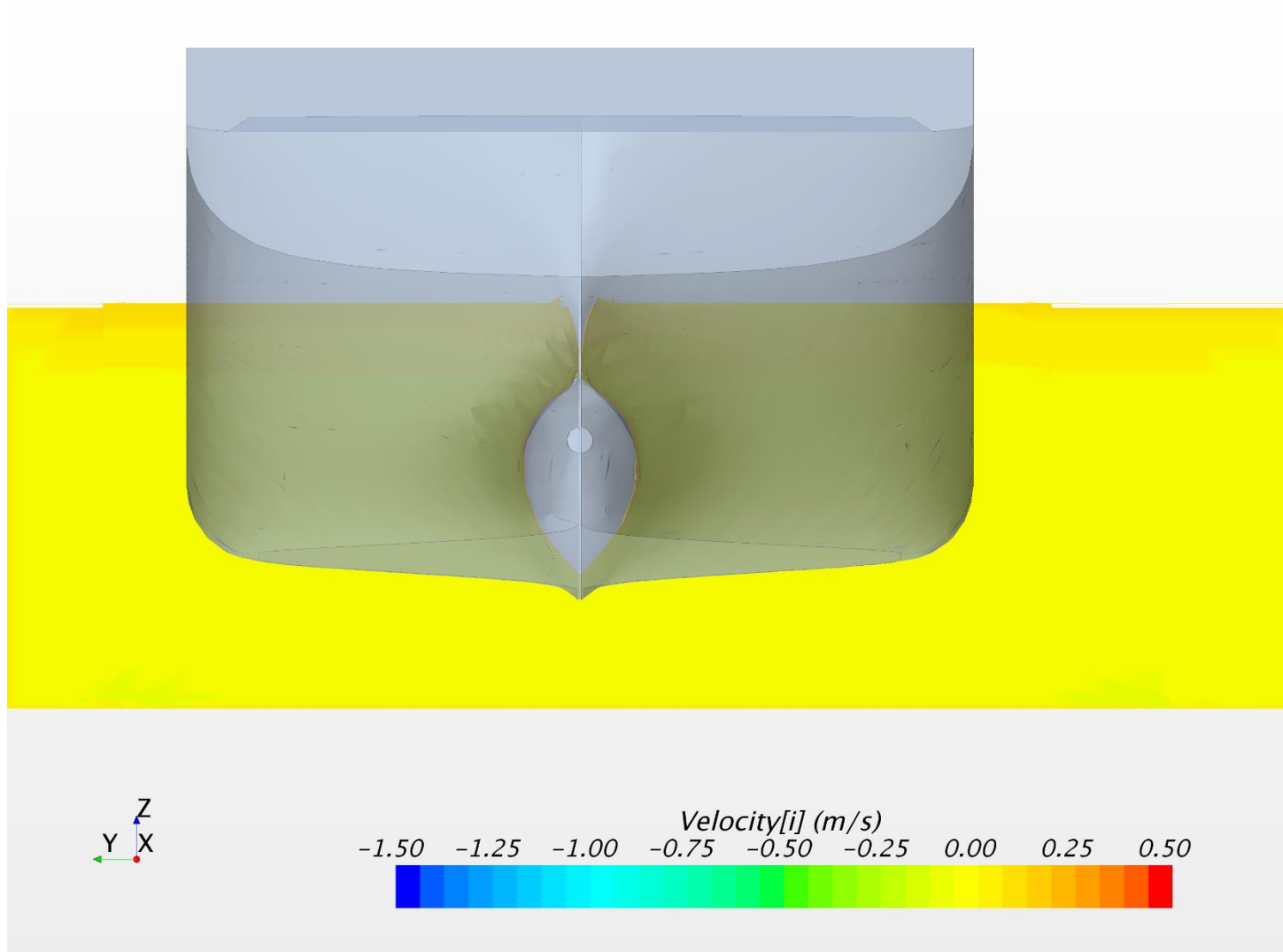
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved NK



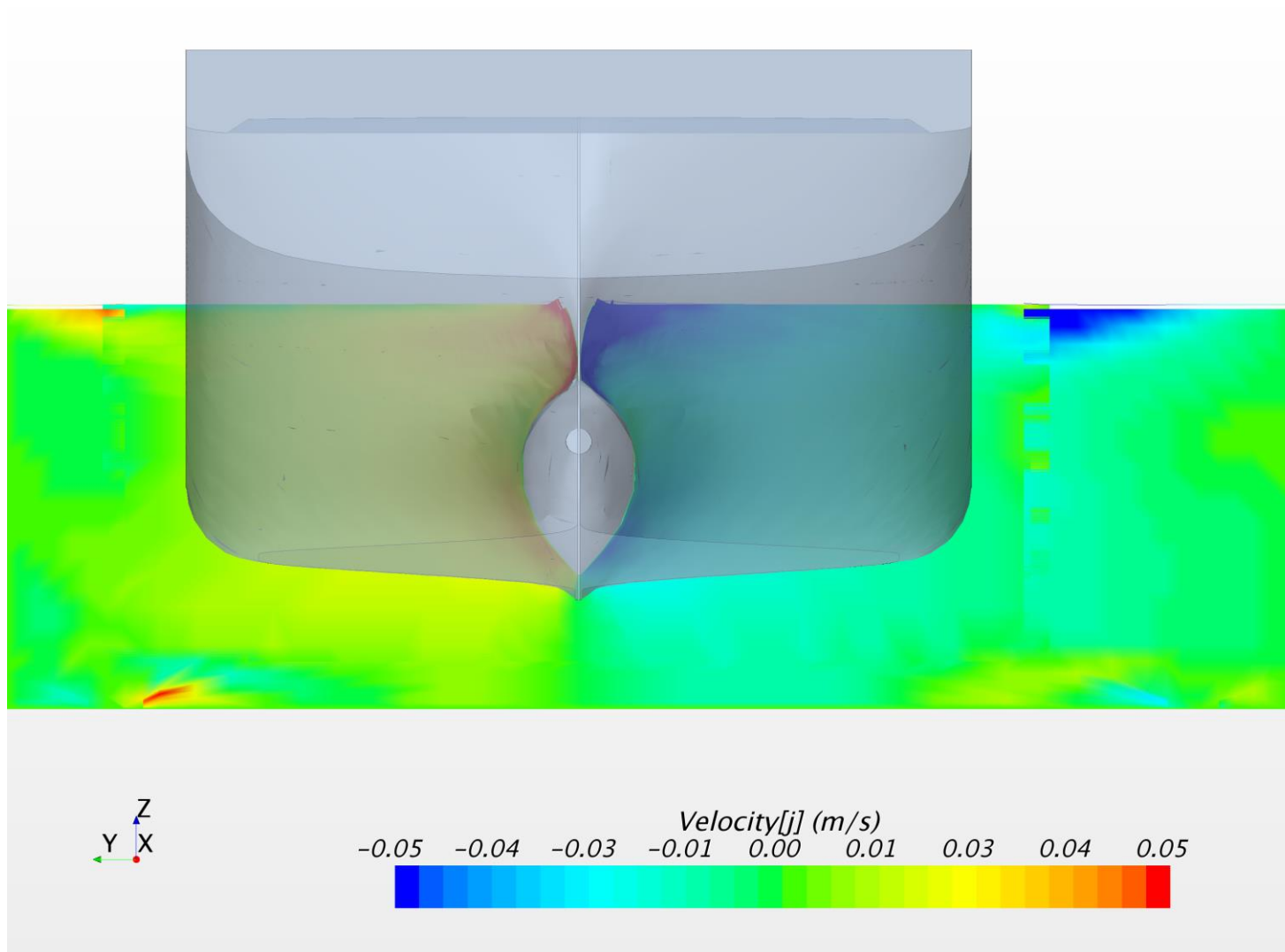
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



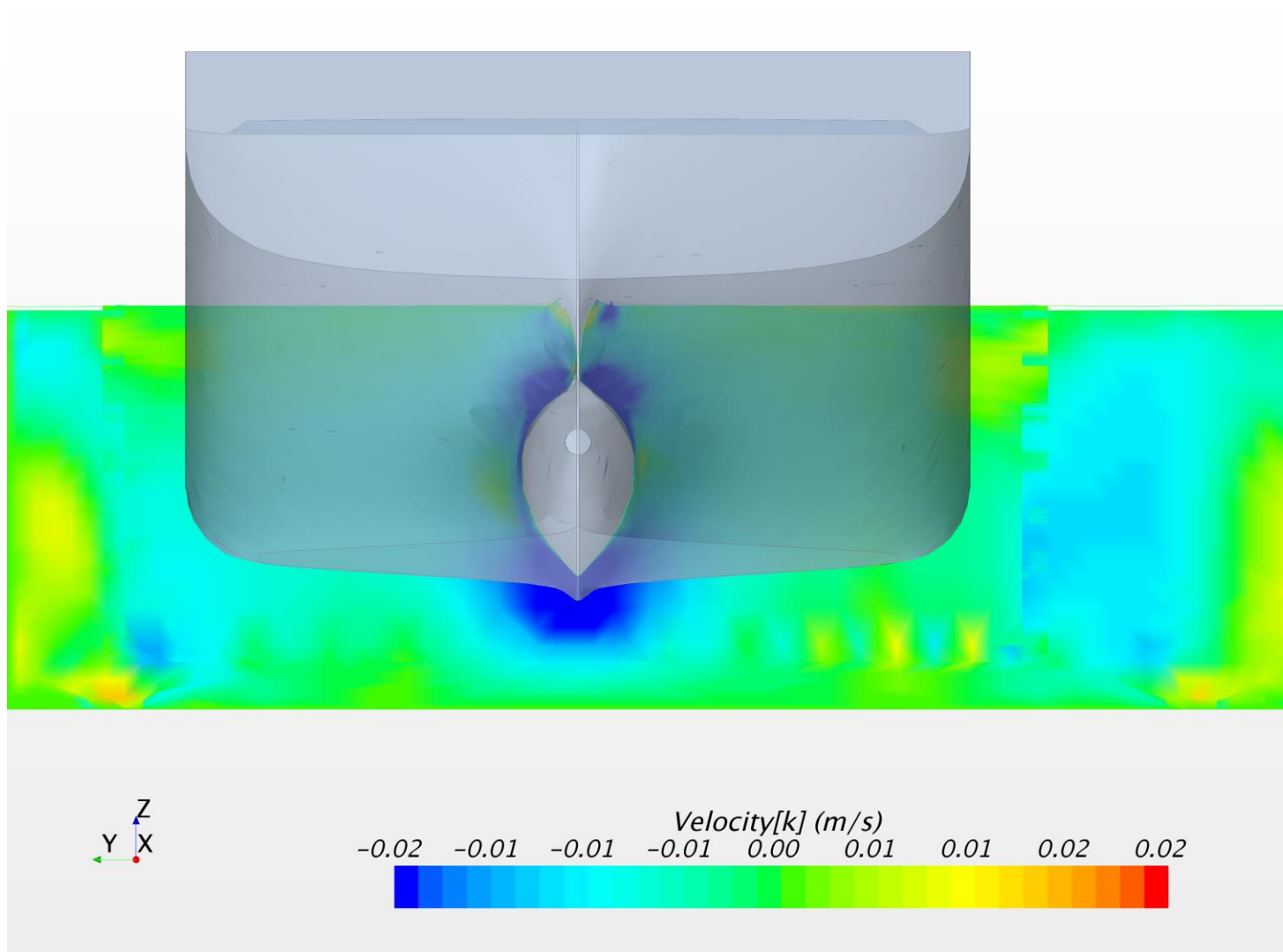
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



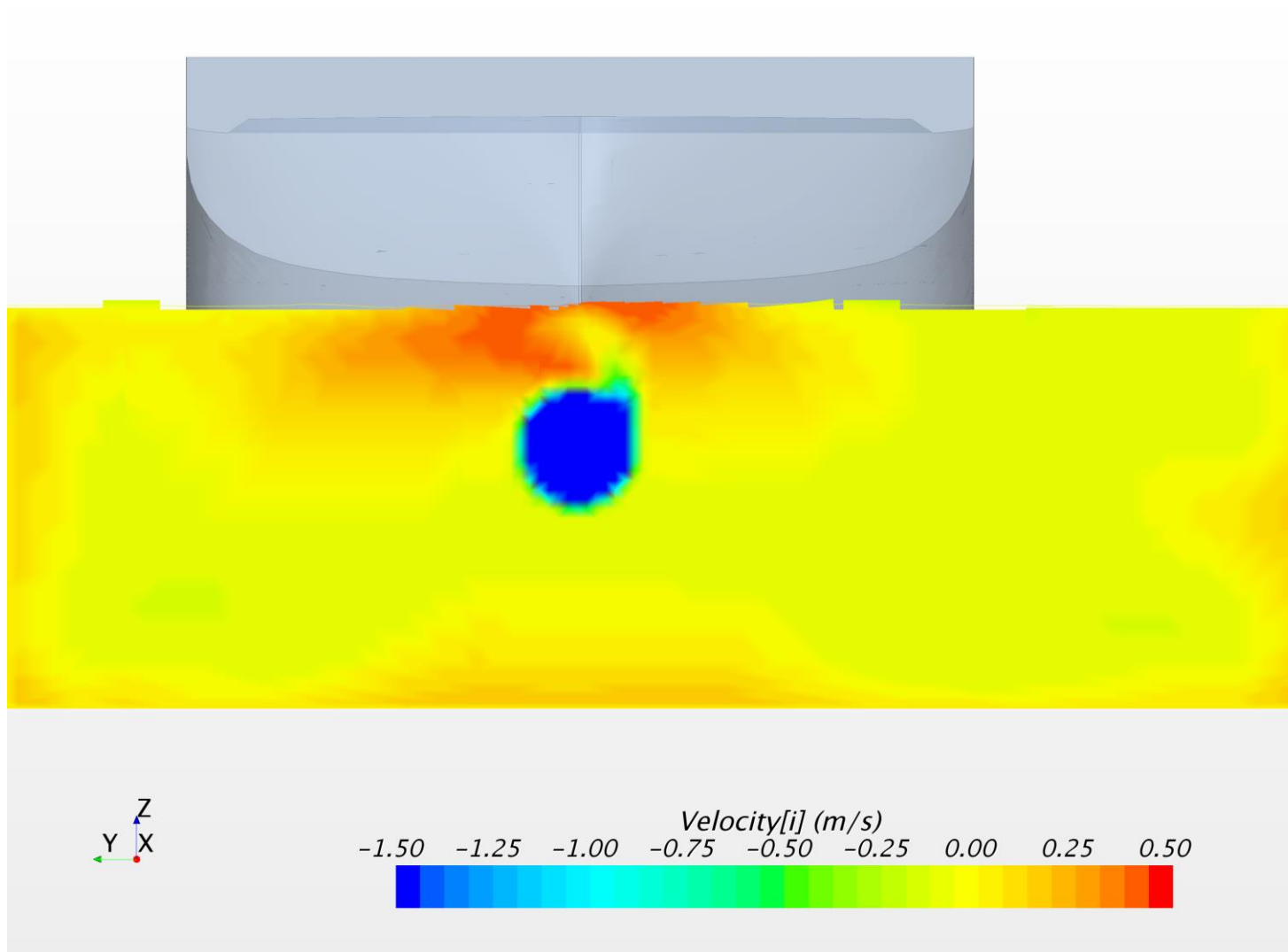
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved FP



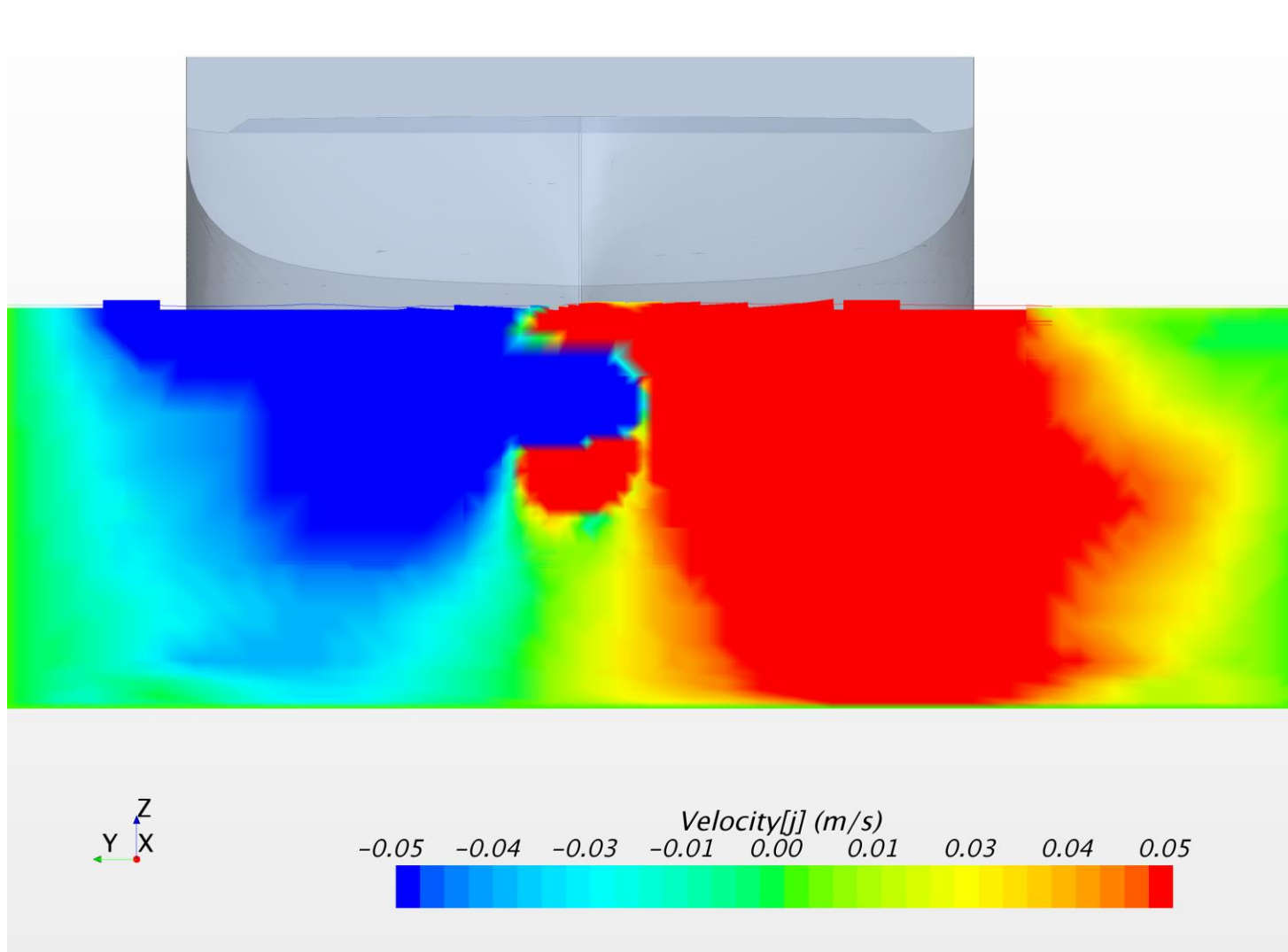
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



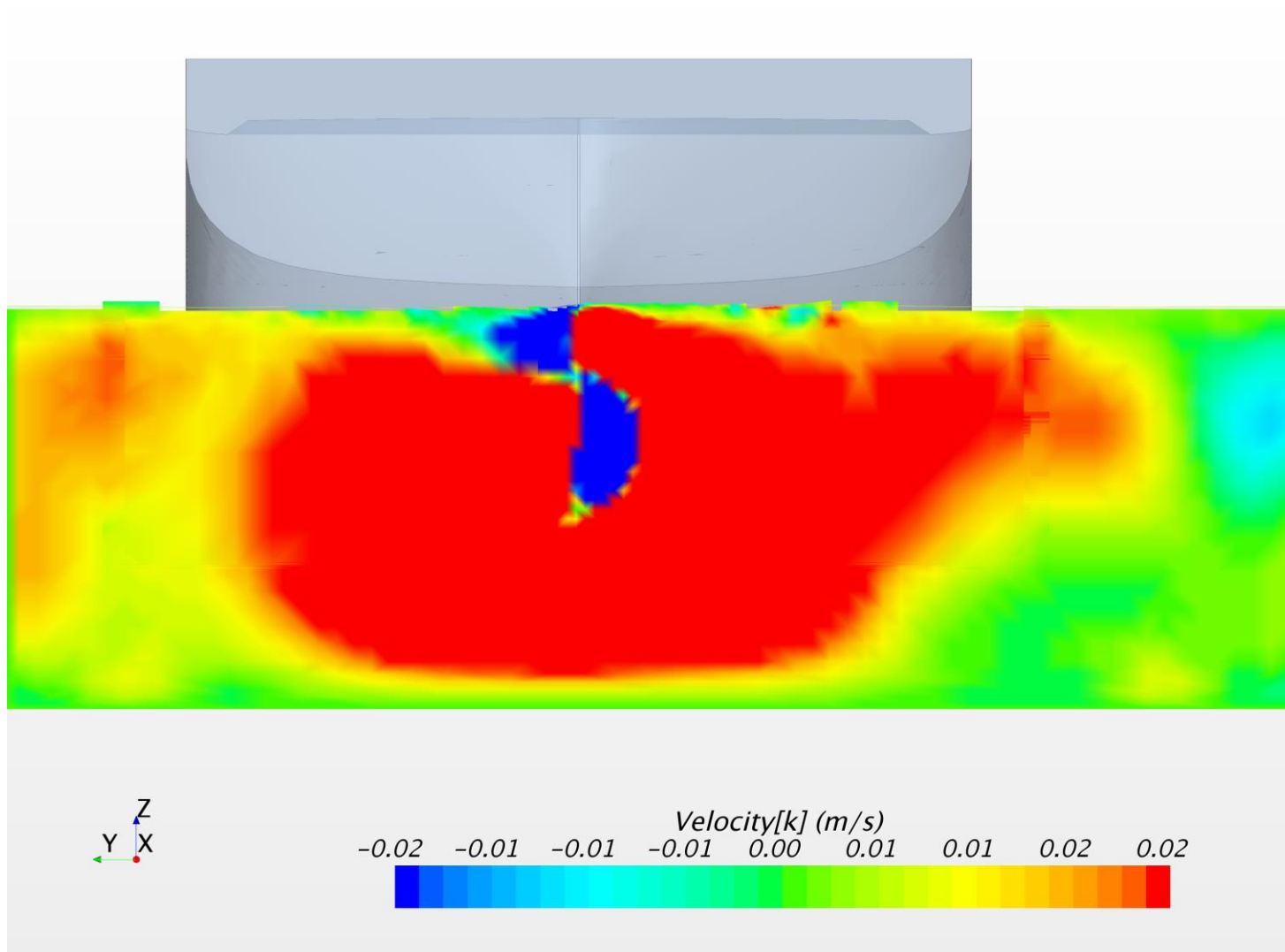
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



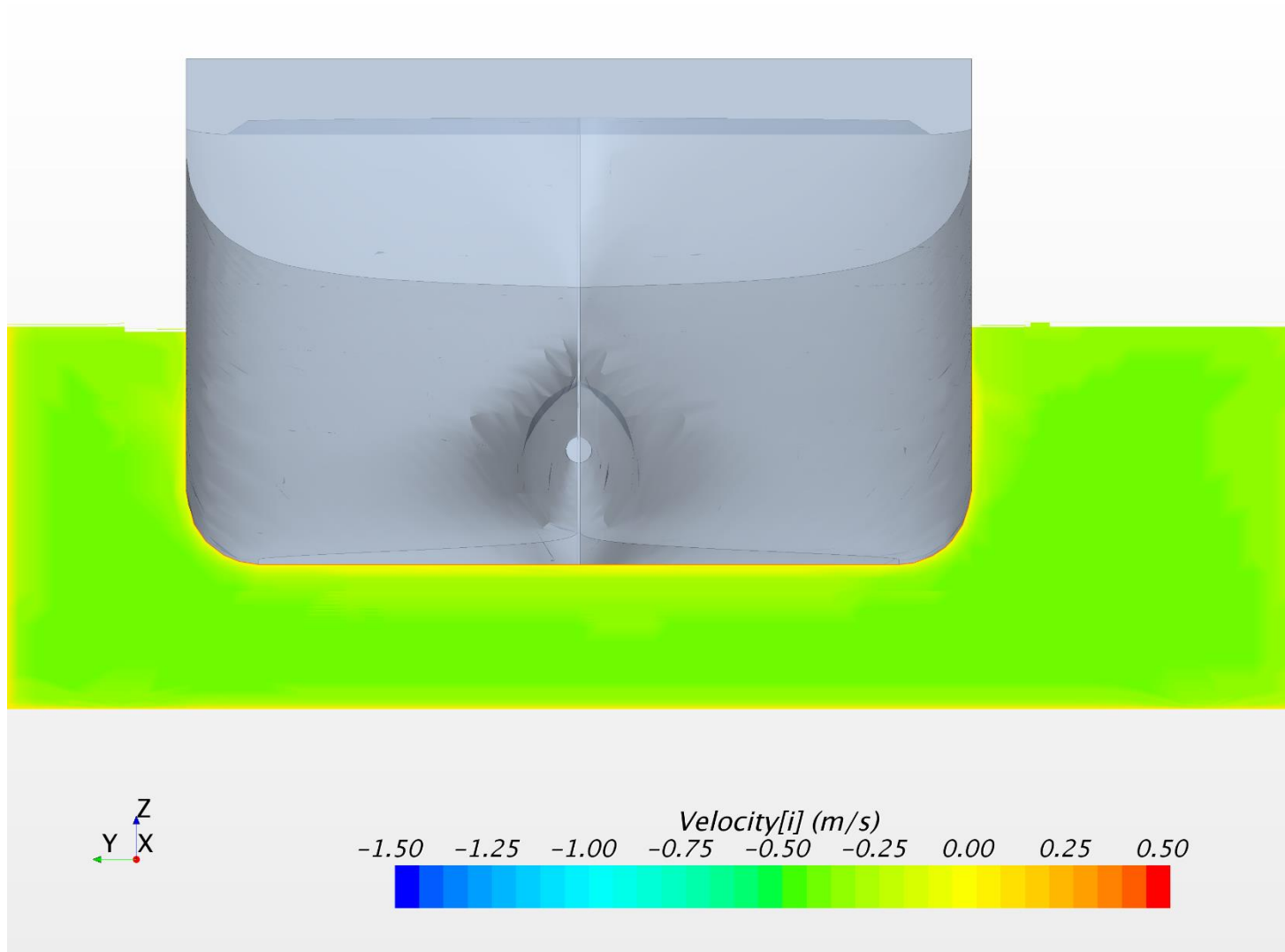
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Lateral hastighed (V komponent) ved AP



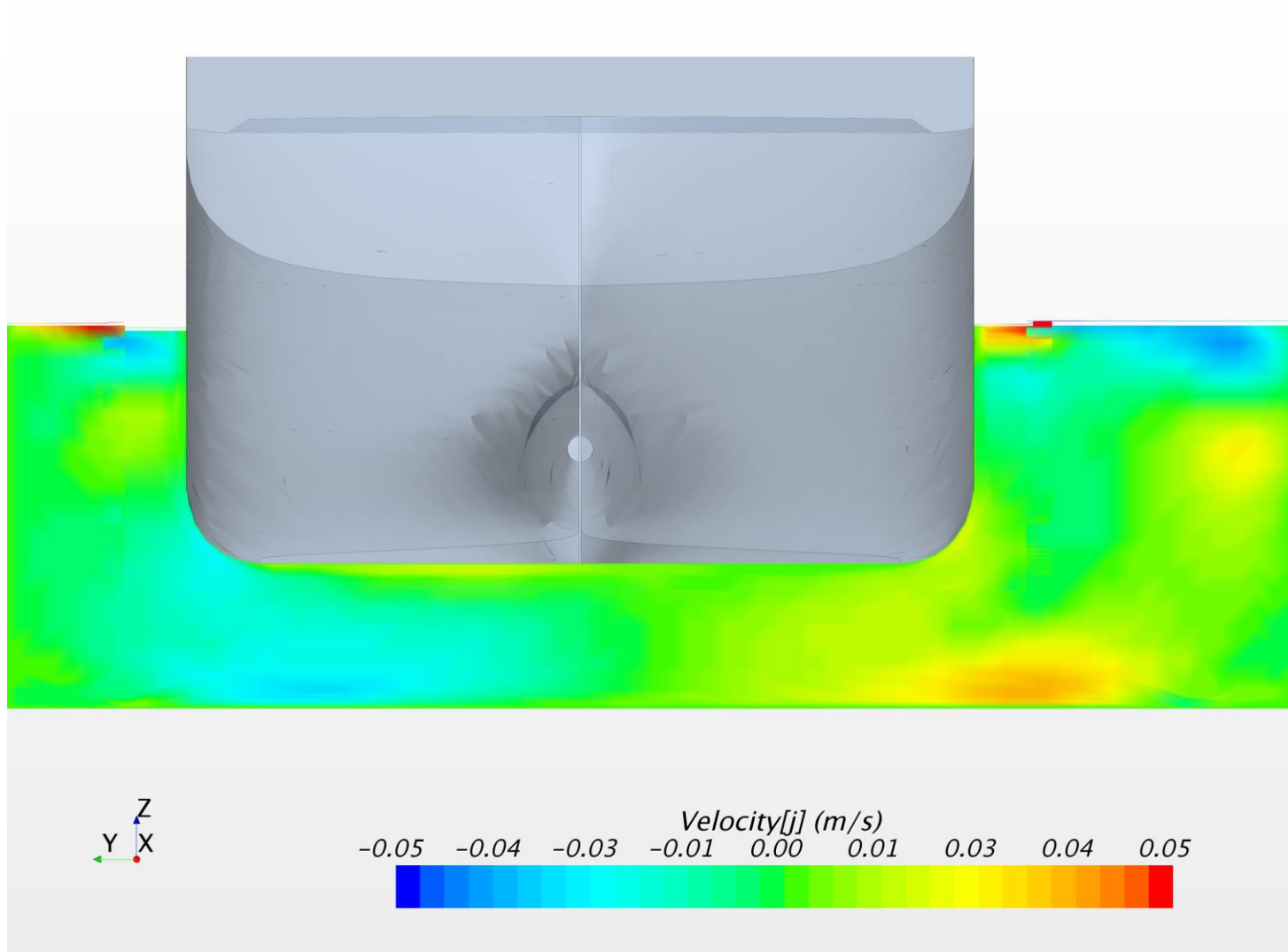
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



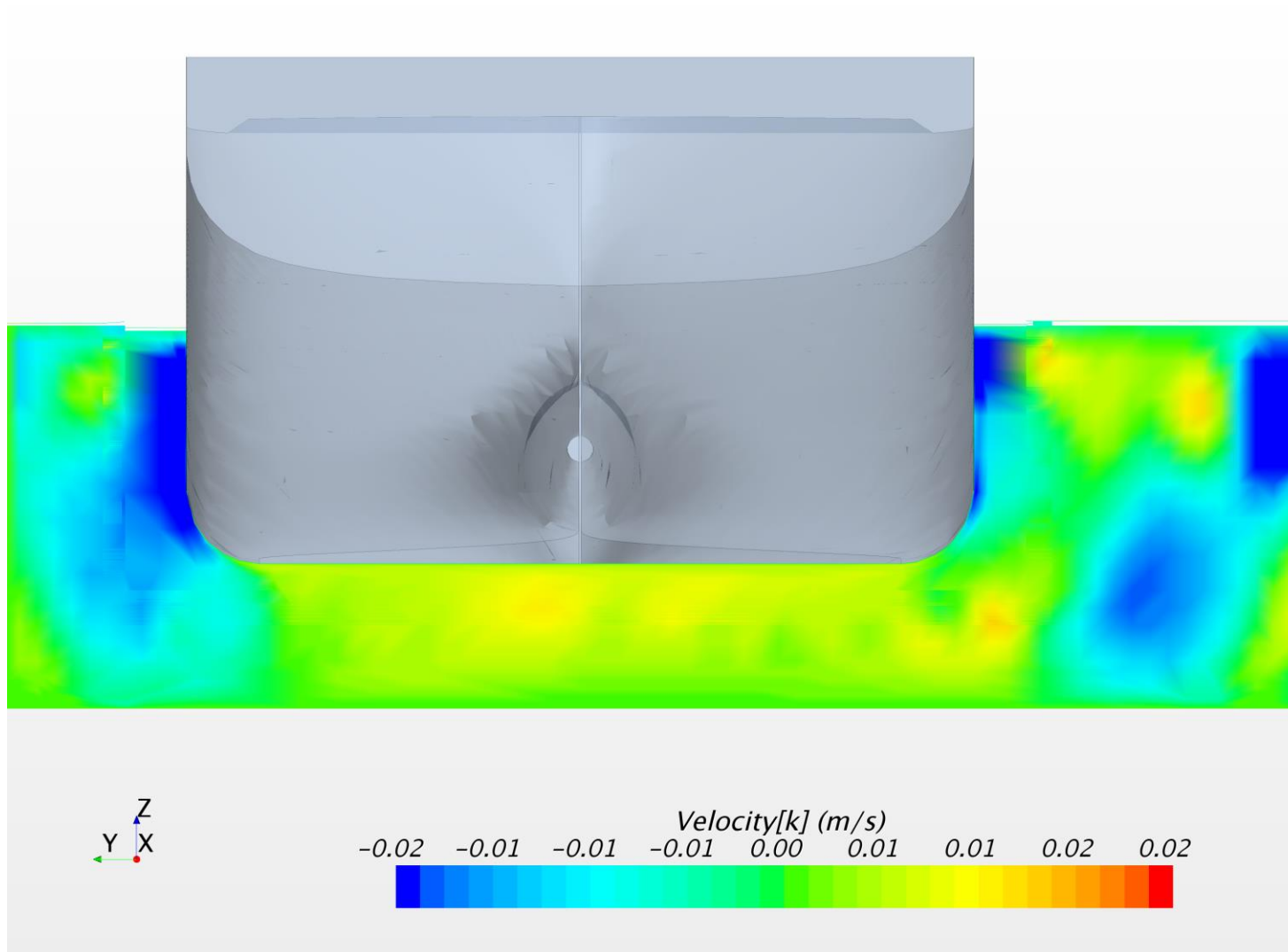
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



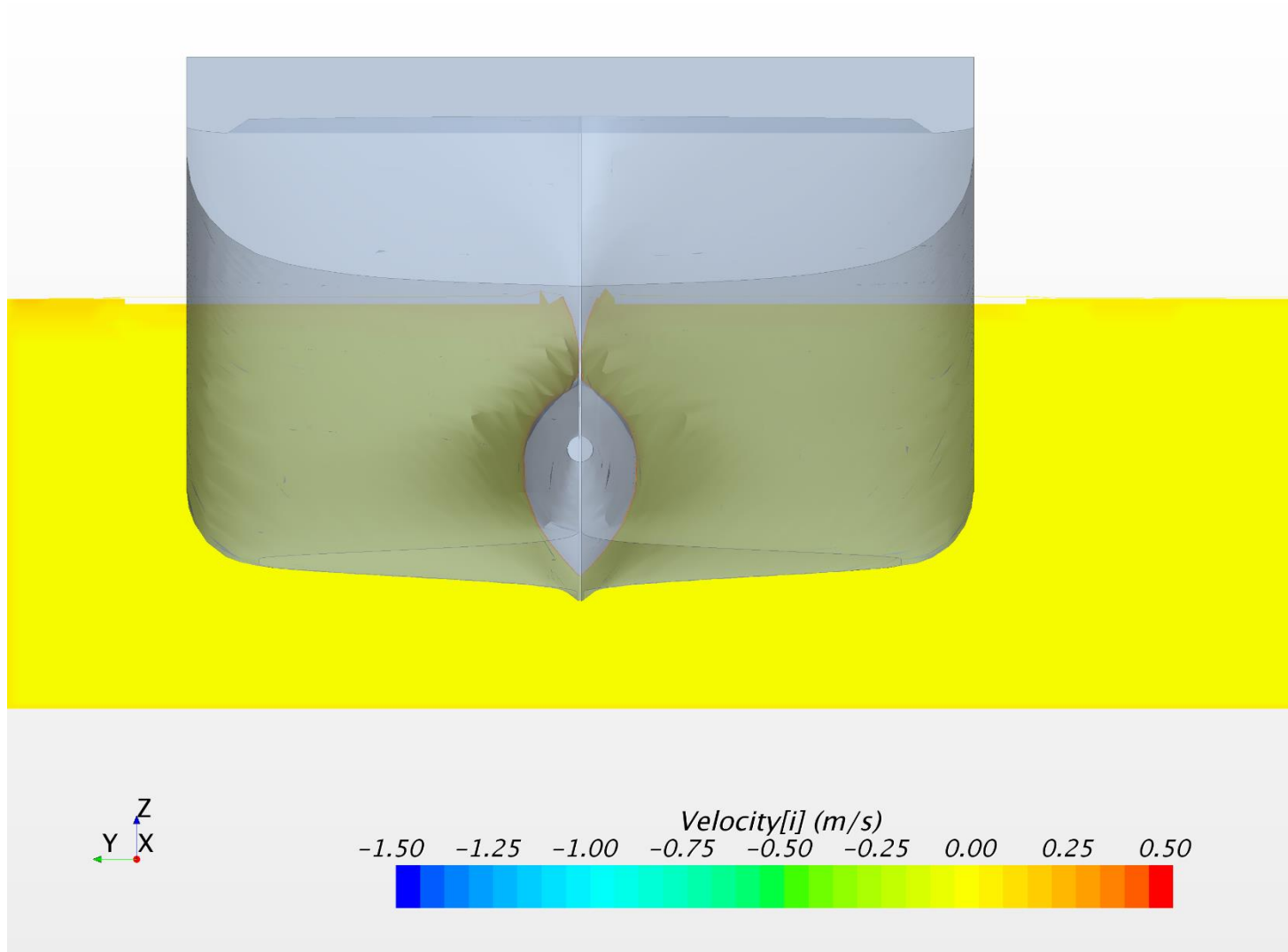
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Lateral hastighed (V komponent) ved NK



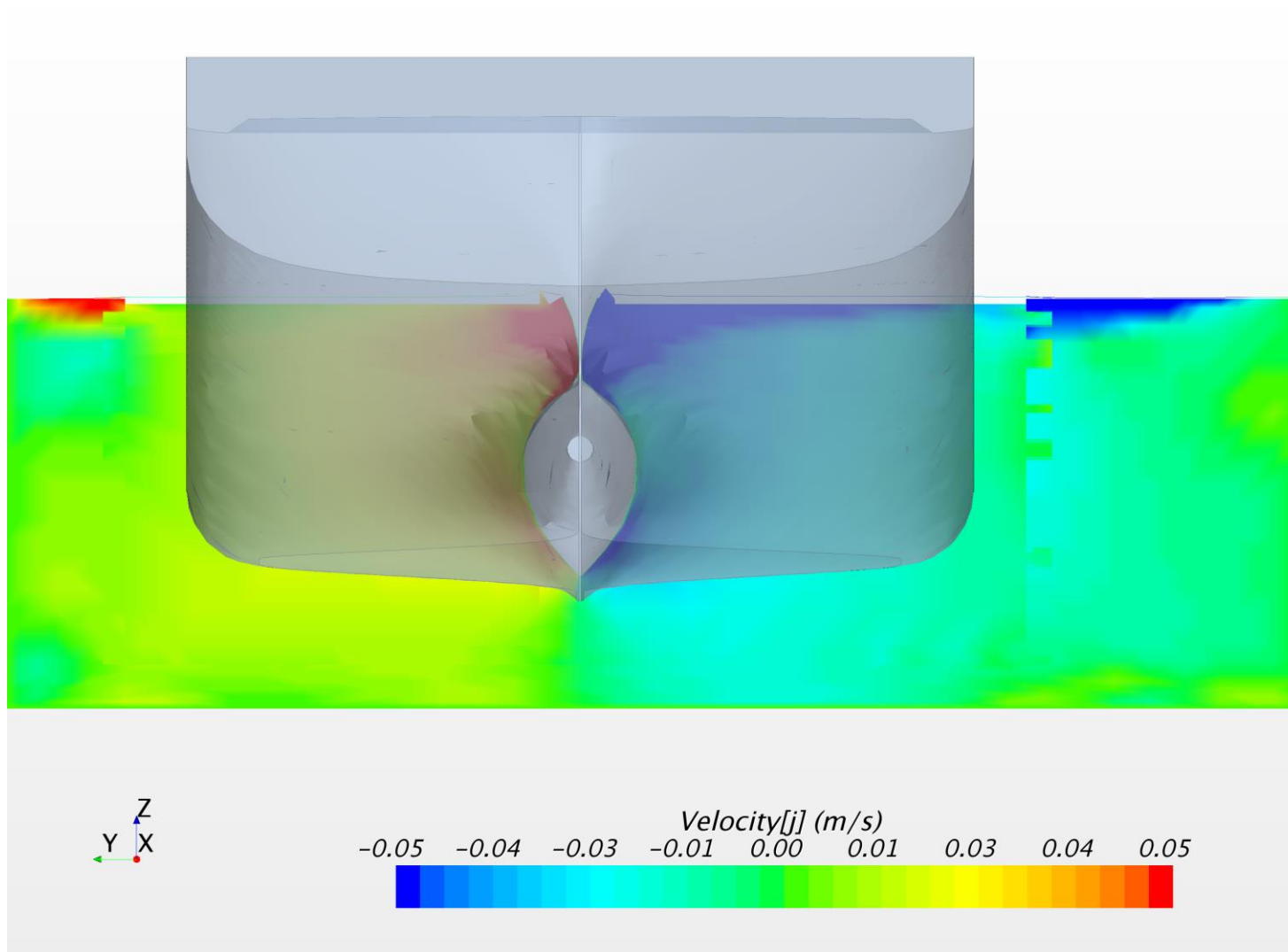
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



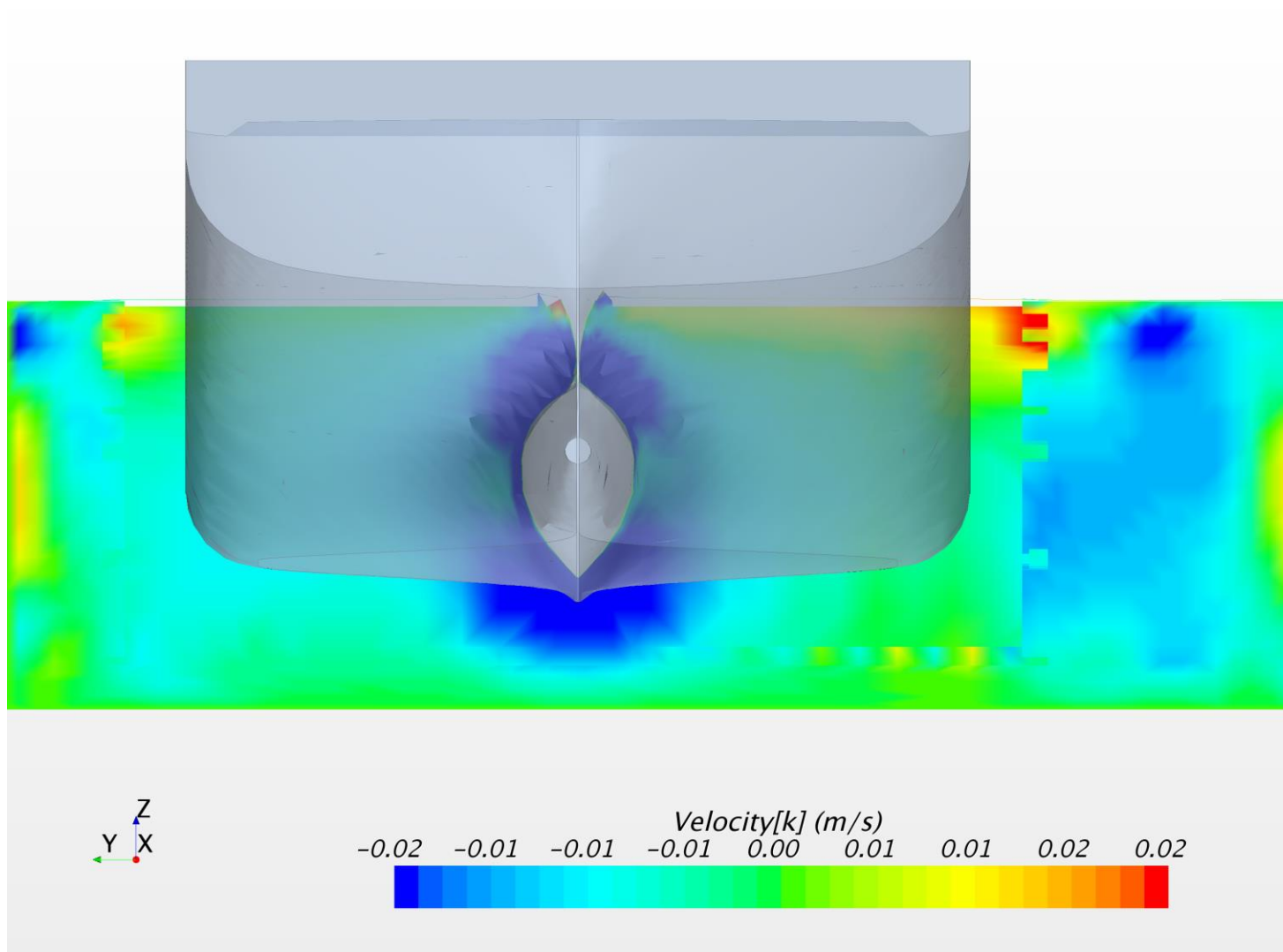
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



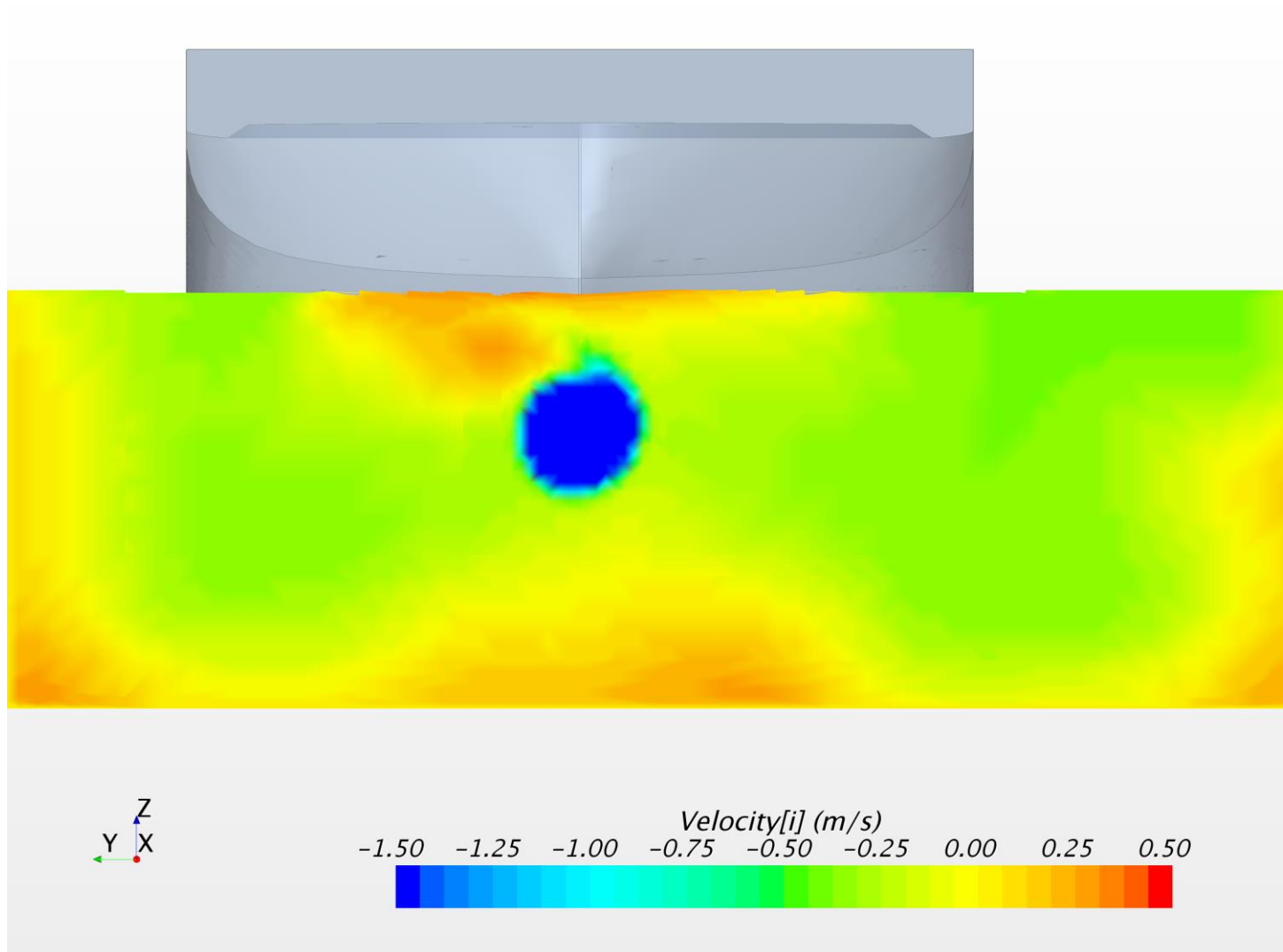
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Lateral hastighed (V komponent) ved FP



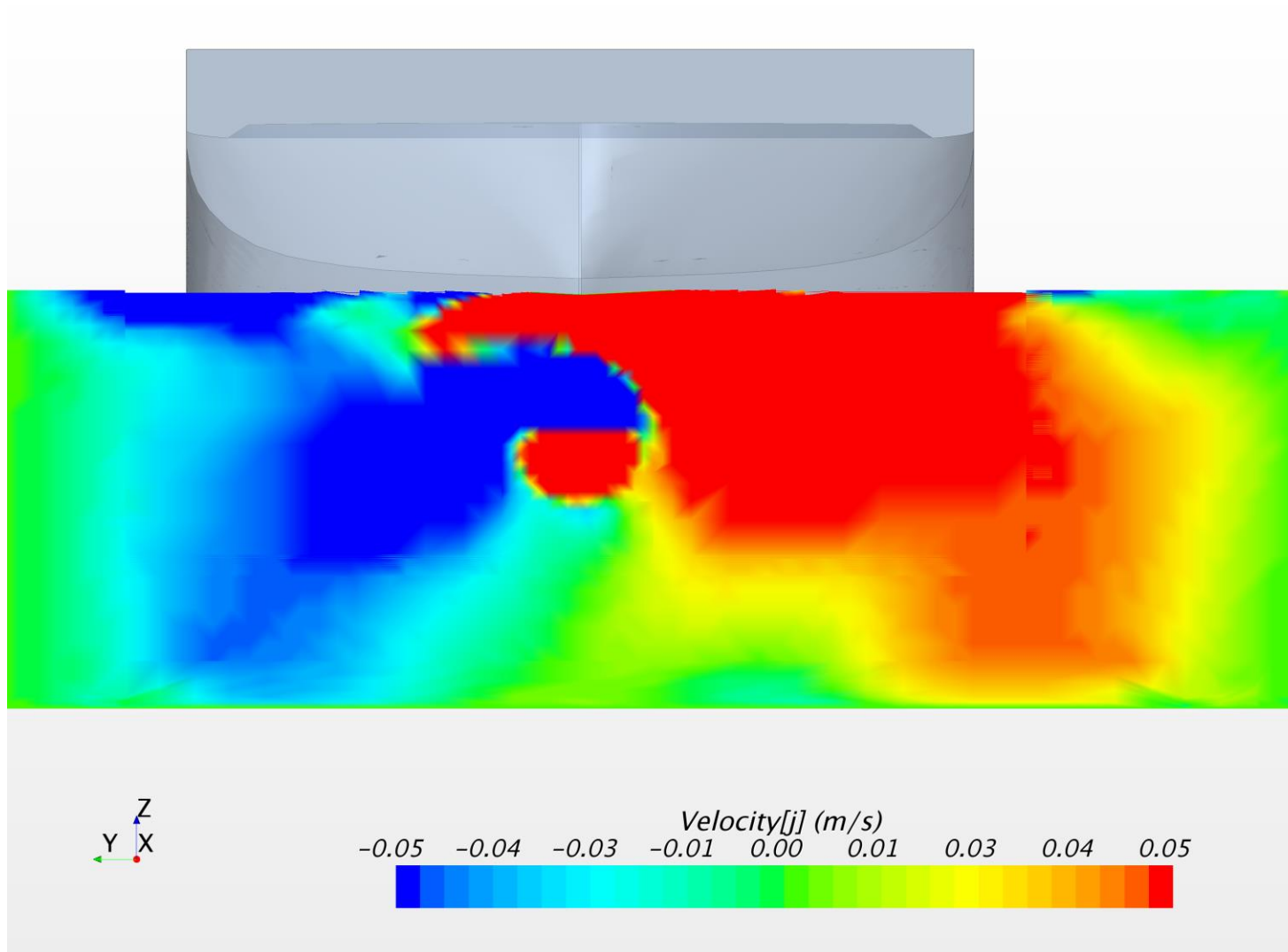
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



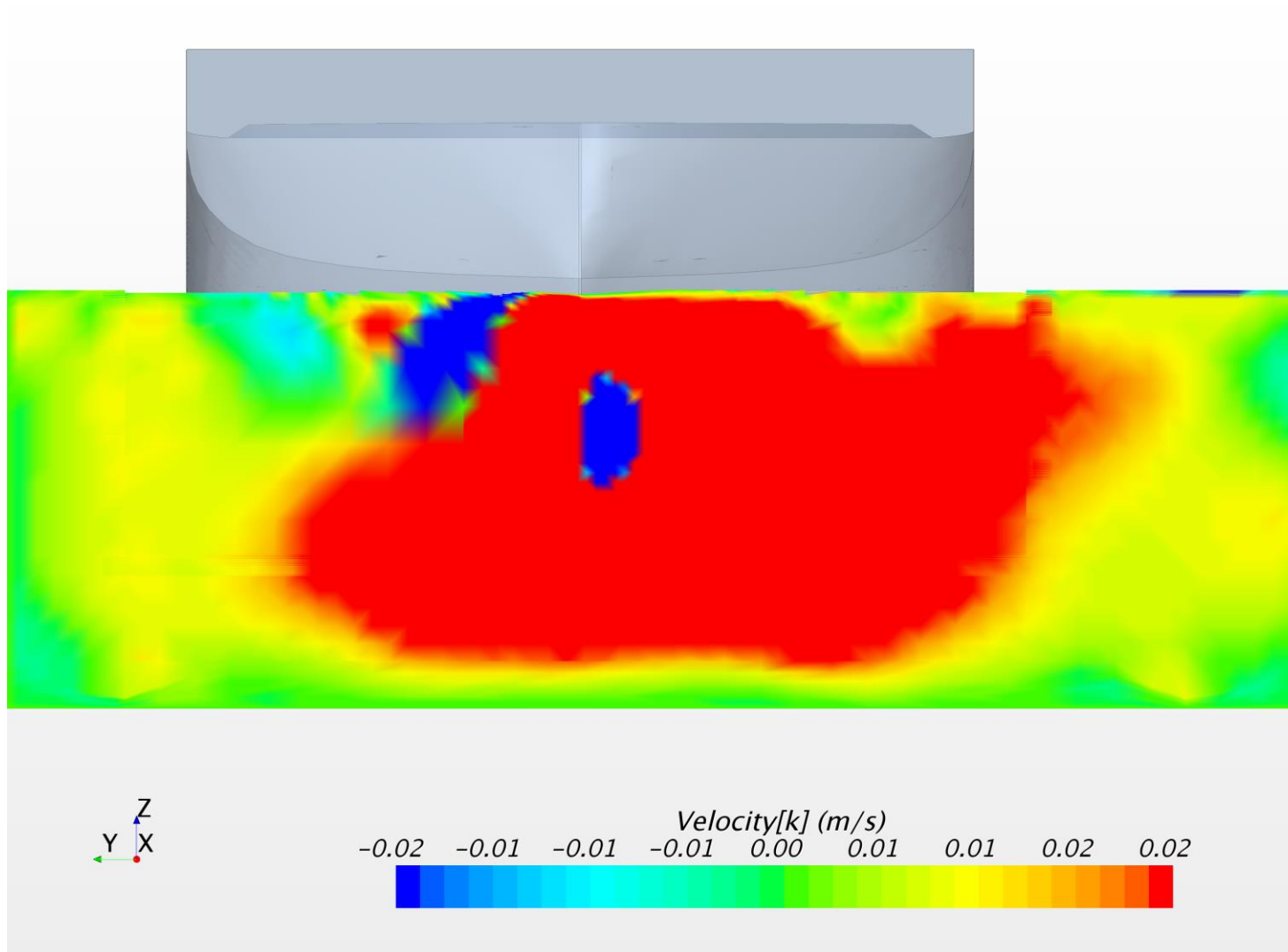
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



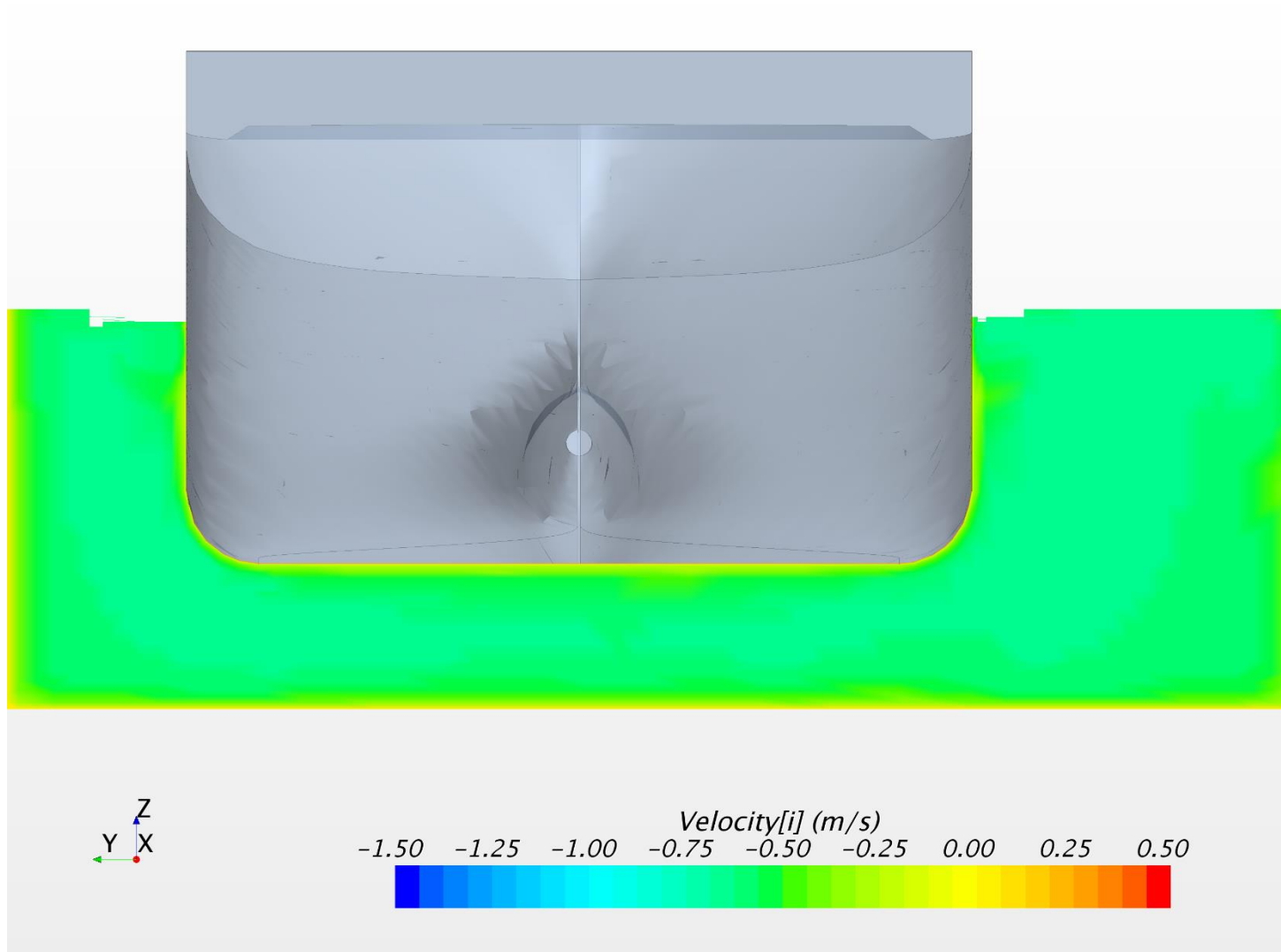
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved AP



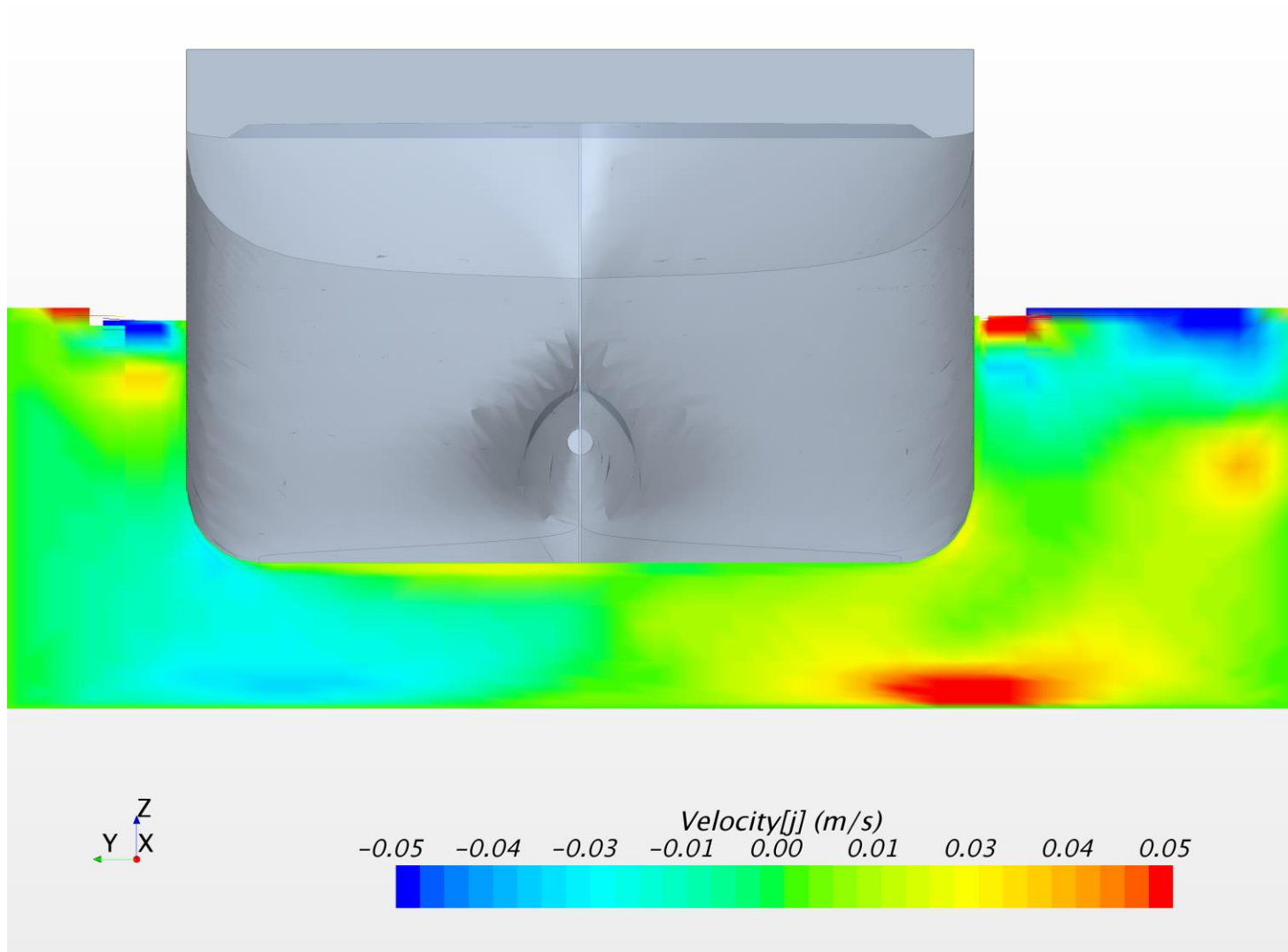
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



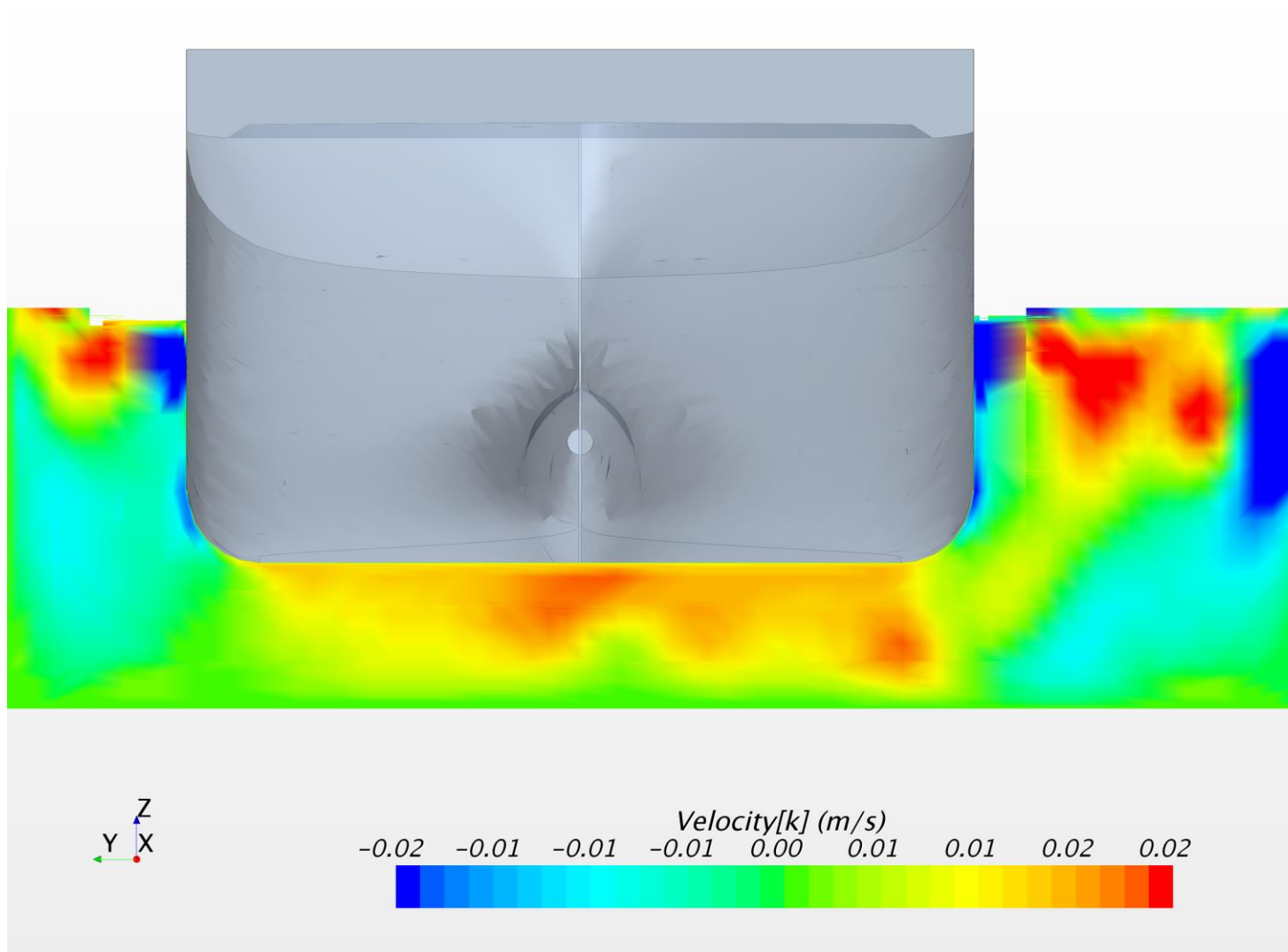
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



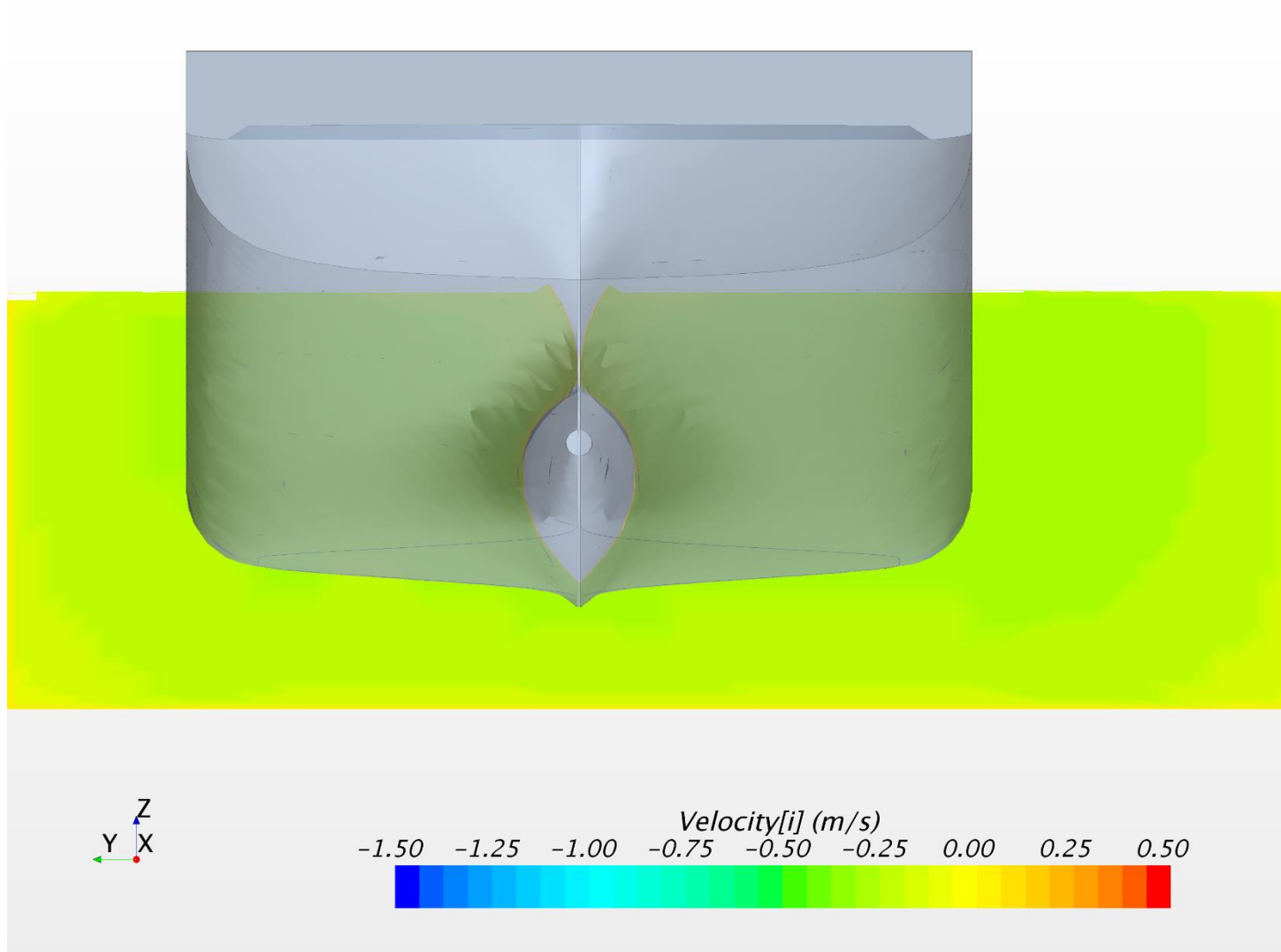
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved NK



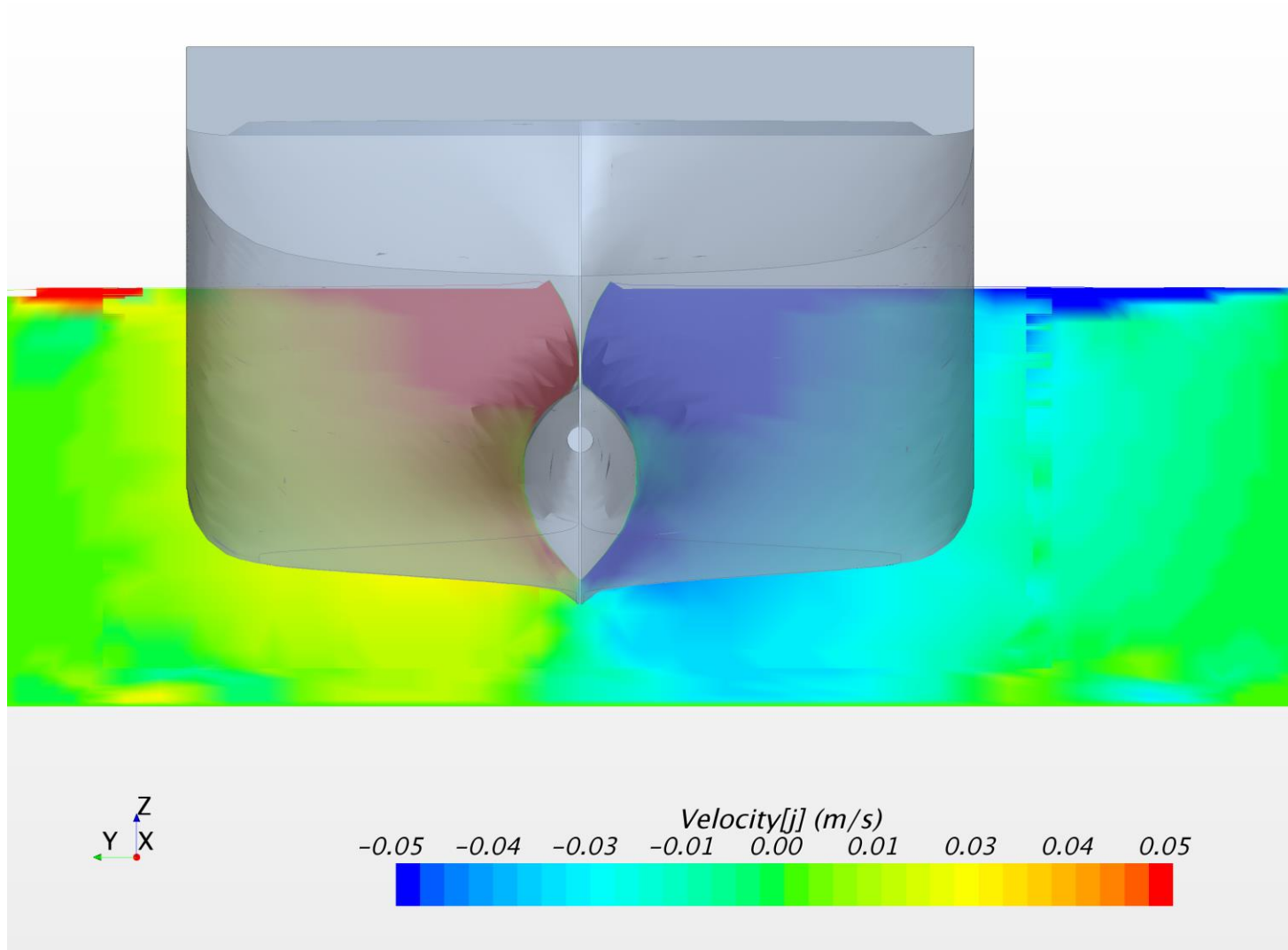
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



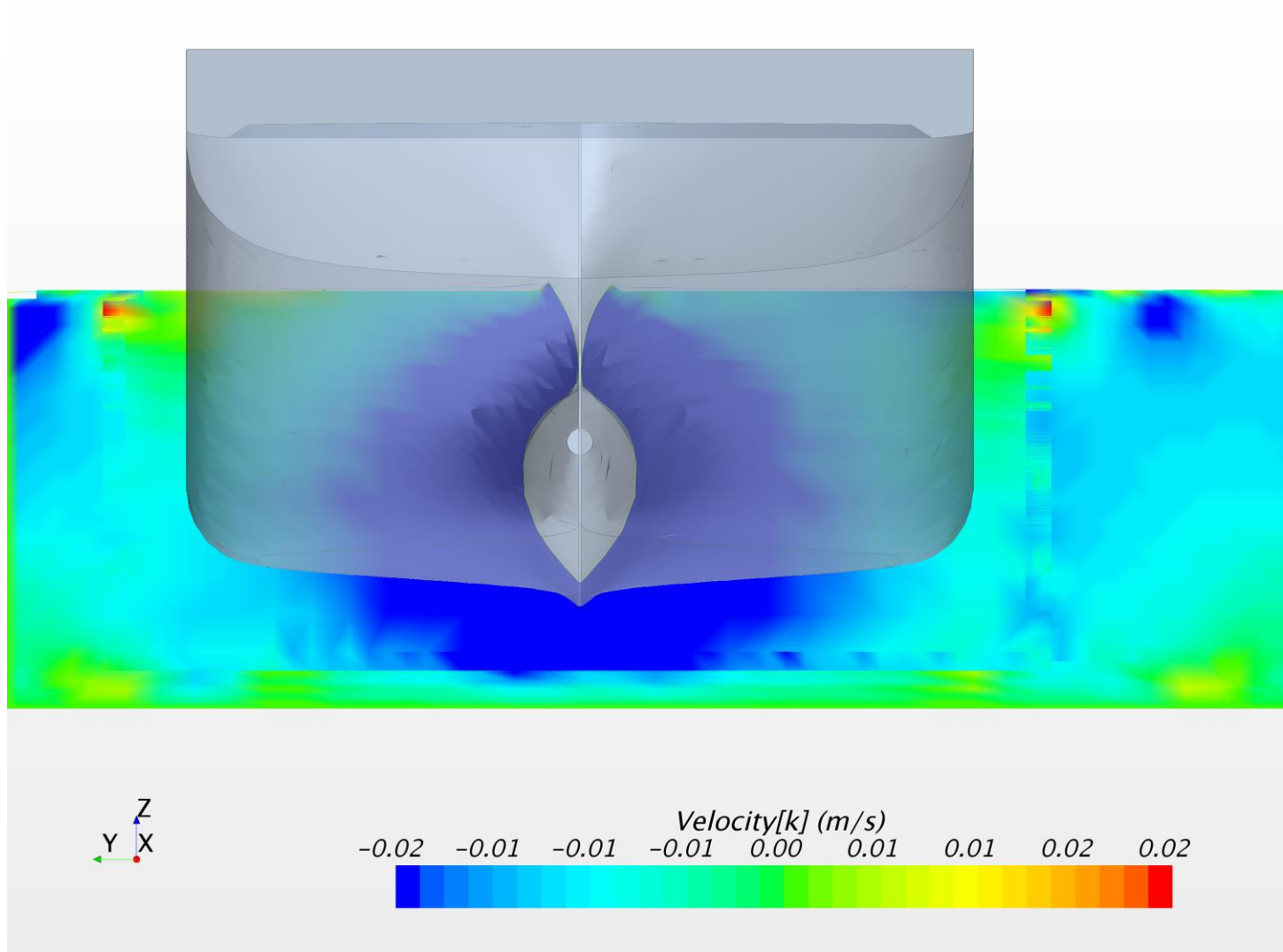
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved FP



Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



APPENDIX D

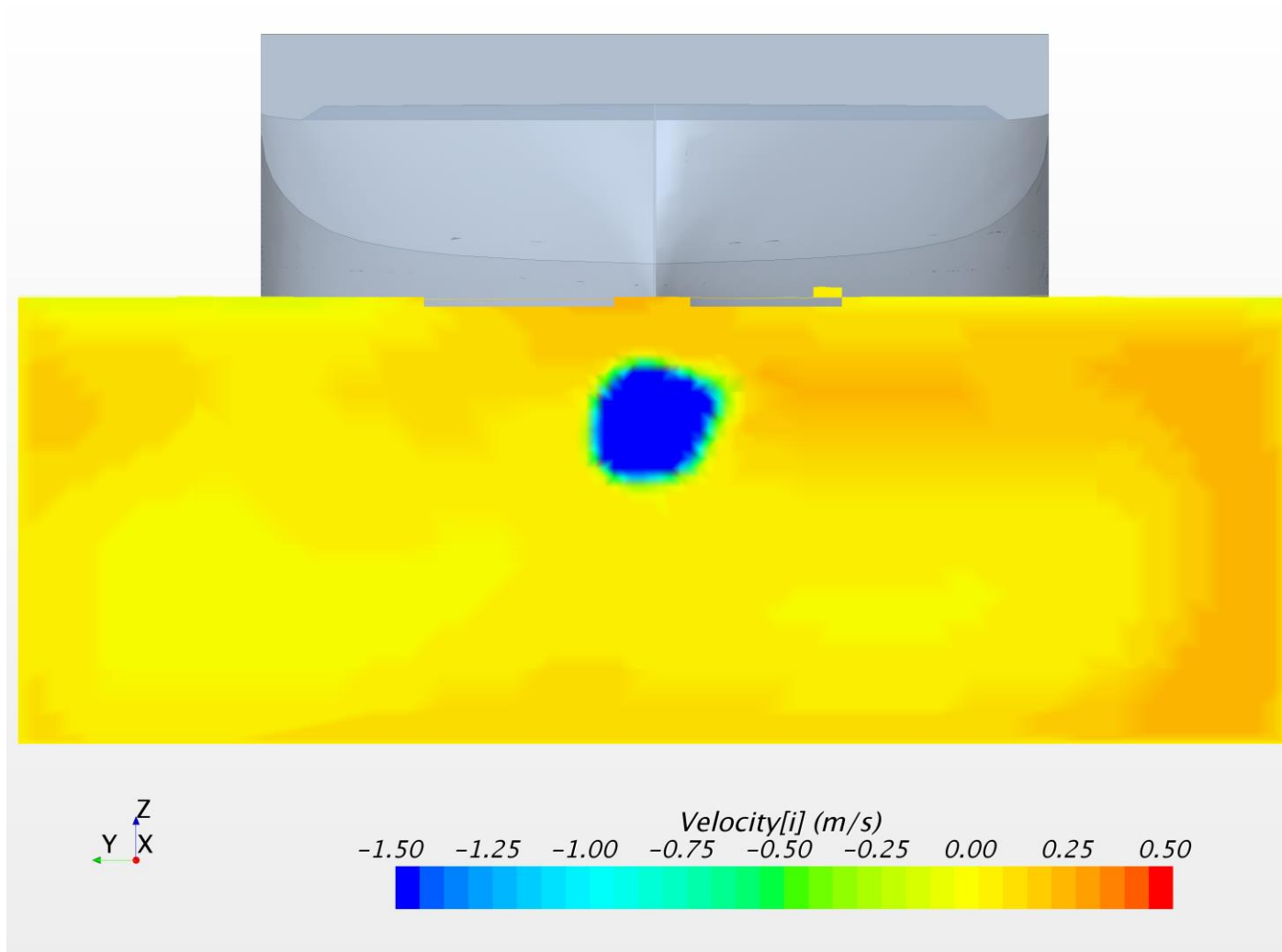
Resultater af CFD Beregninger

**Model DTC
Kondition: Centeret
Uden Søjler
Vanddybde: 13.21m**

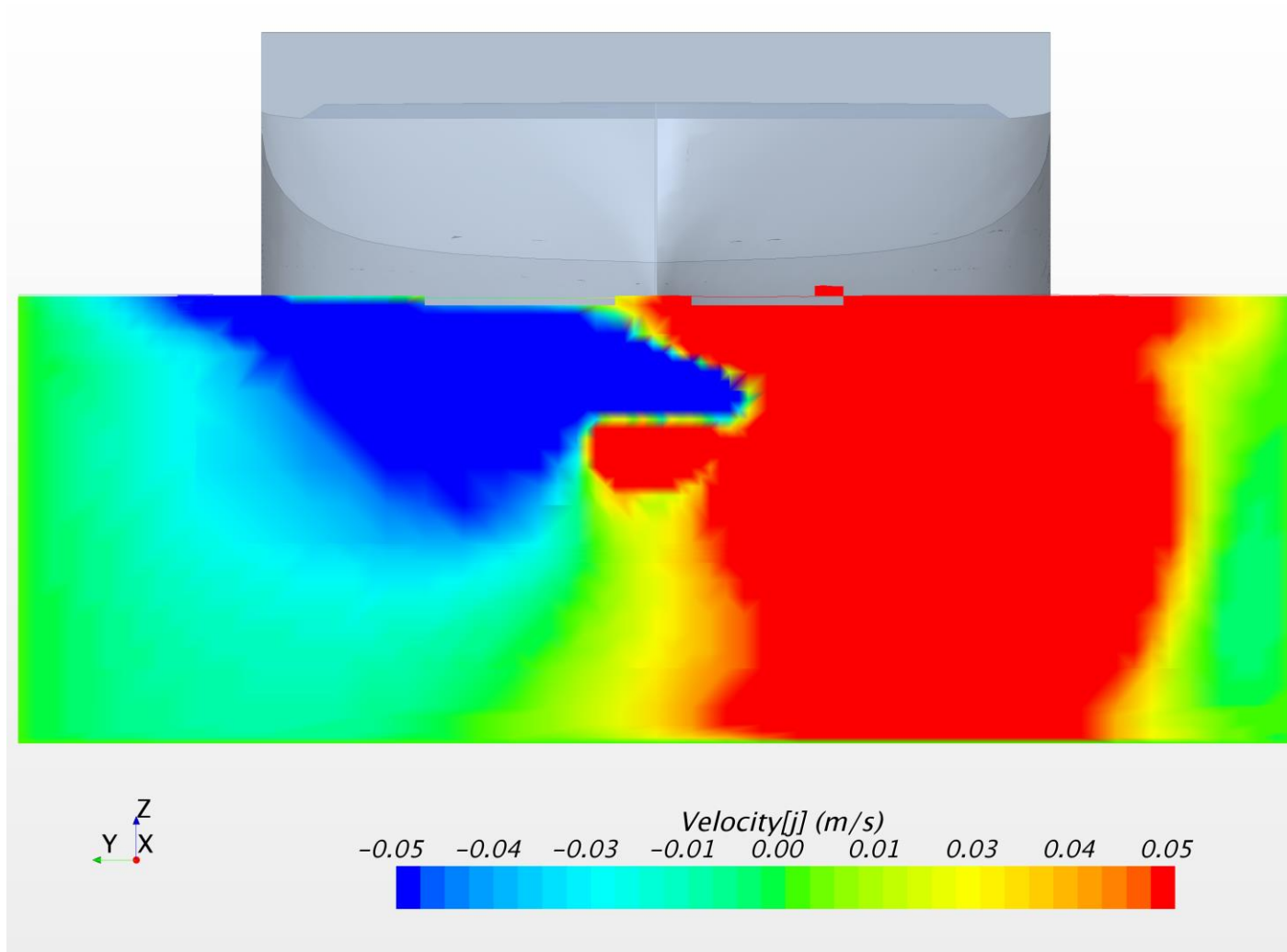
2kn modstrøm eller uden strøm

Skibshastighed: 2; 3; 4kn

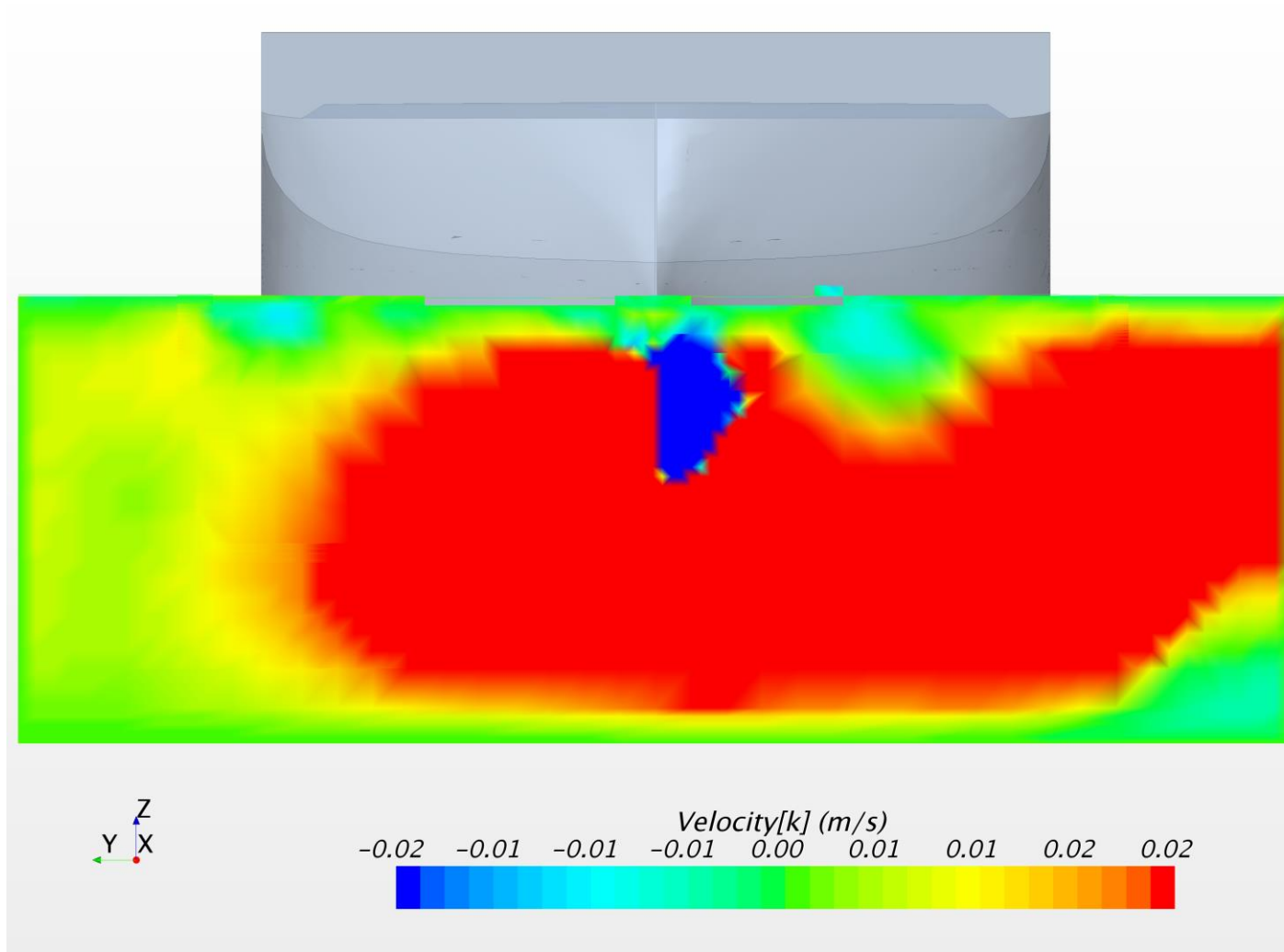
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



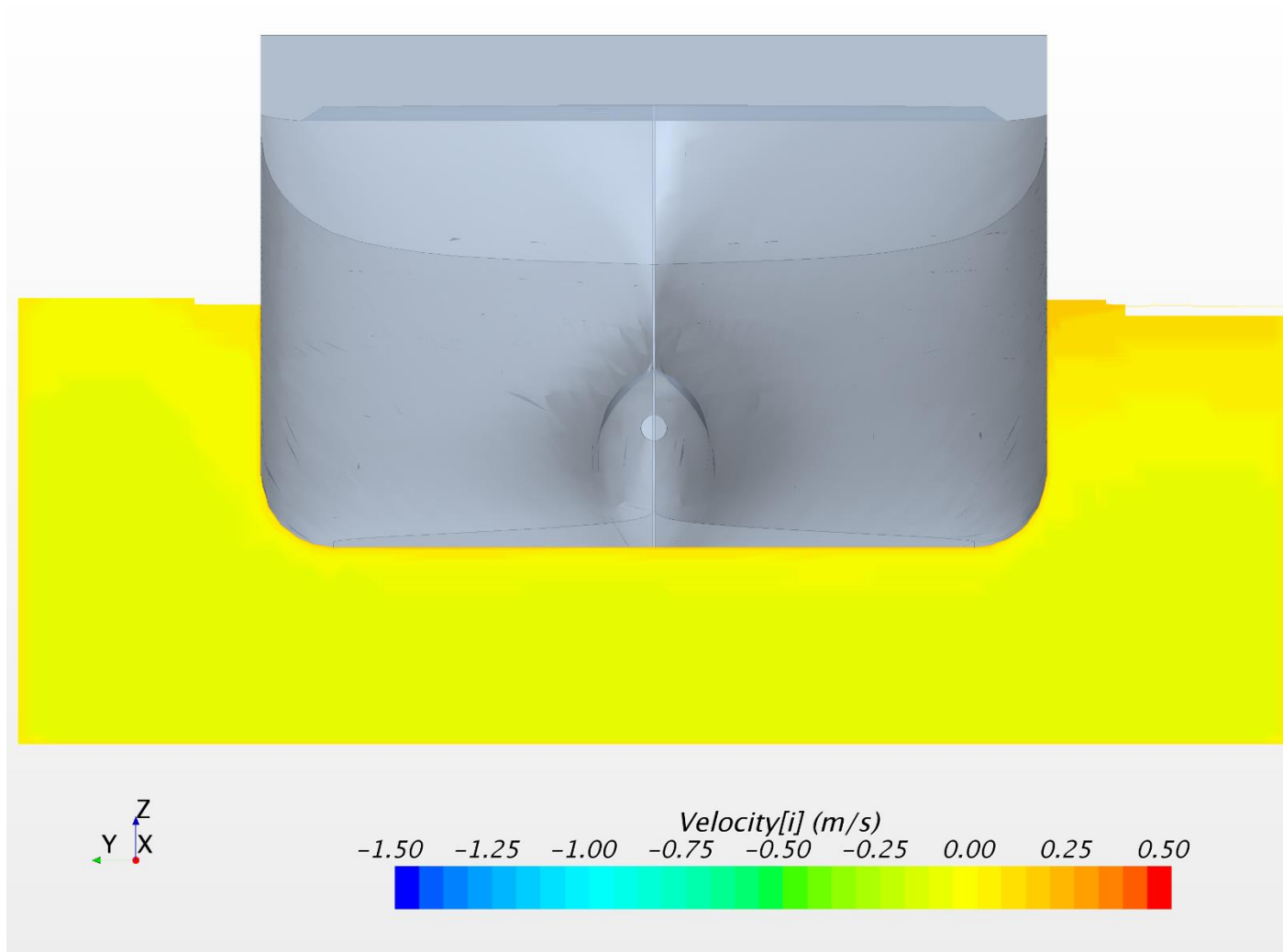
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



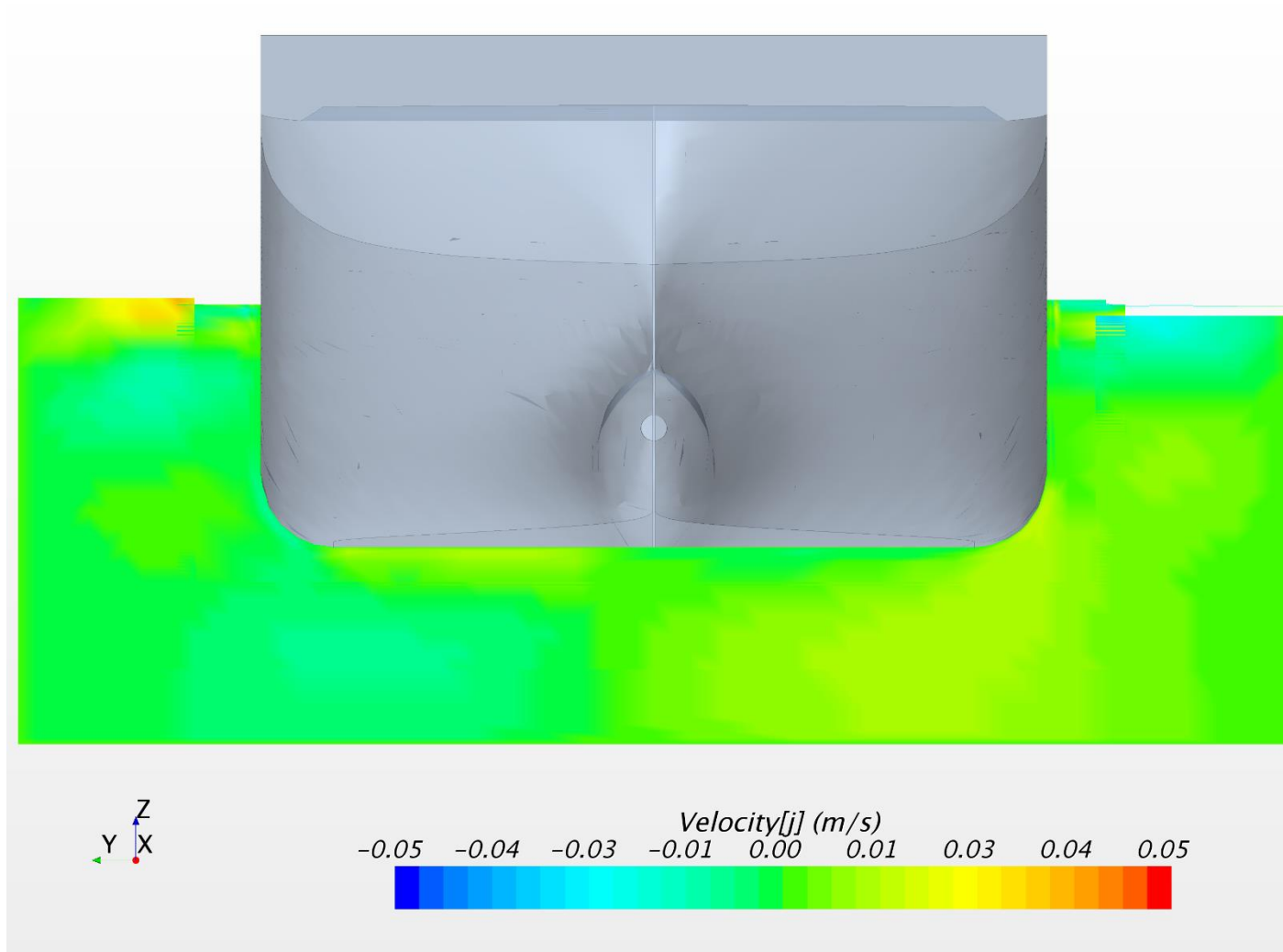
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



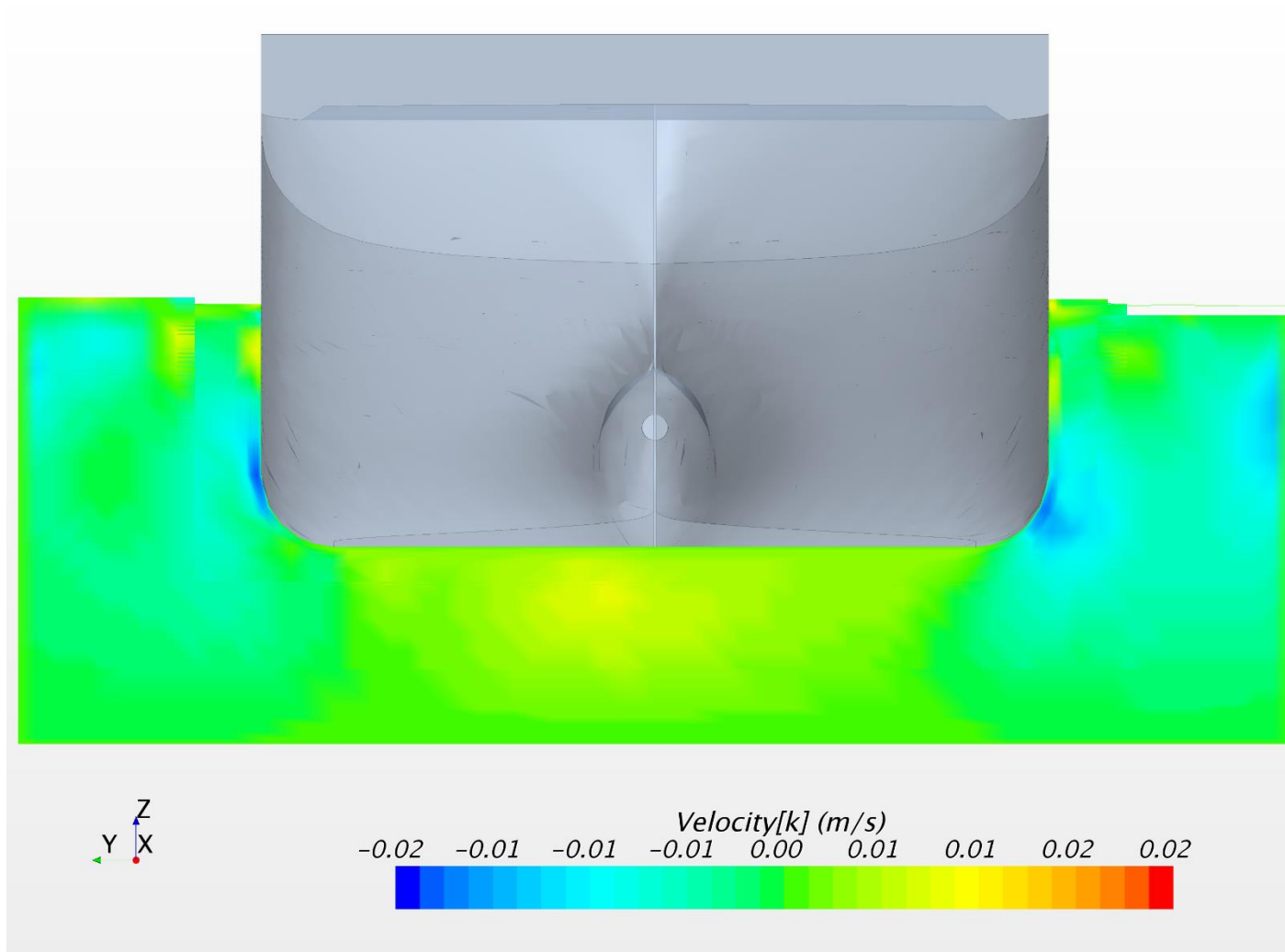
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



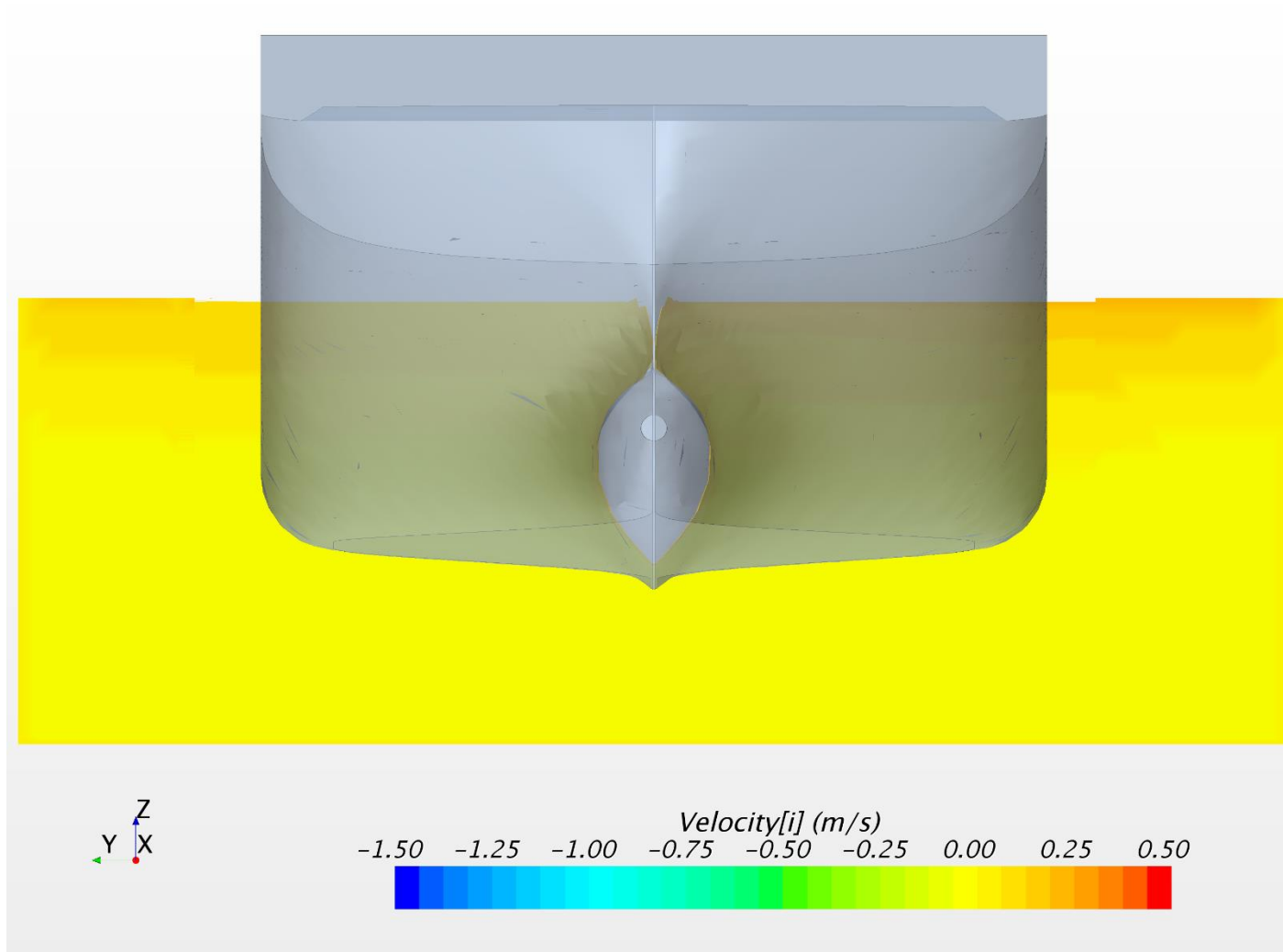
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



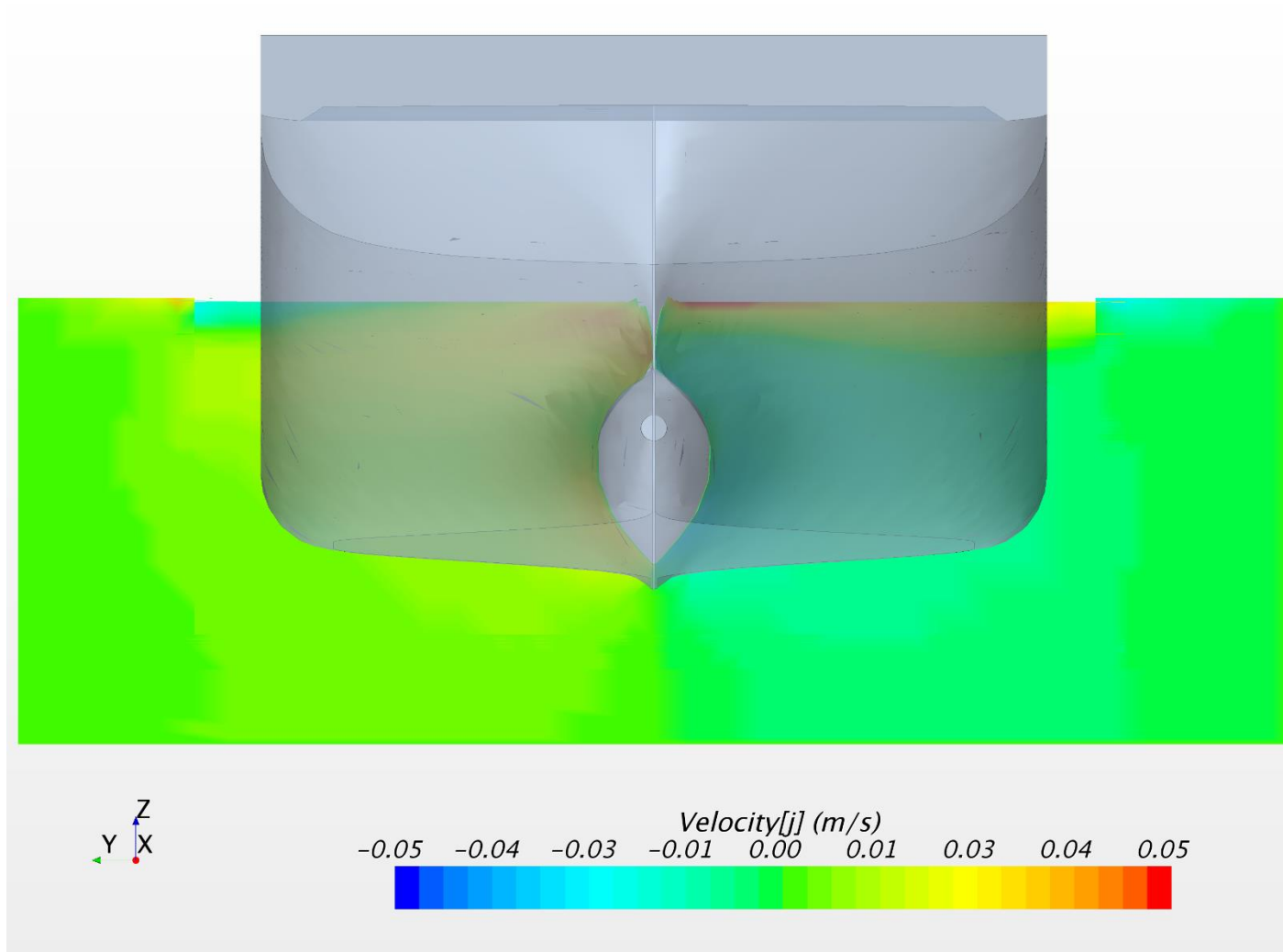
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



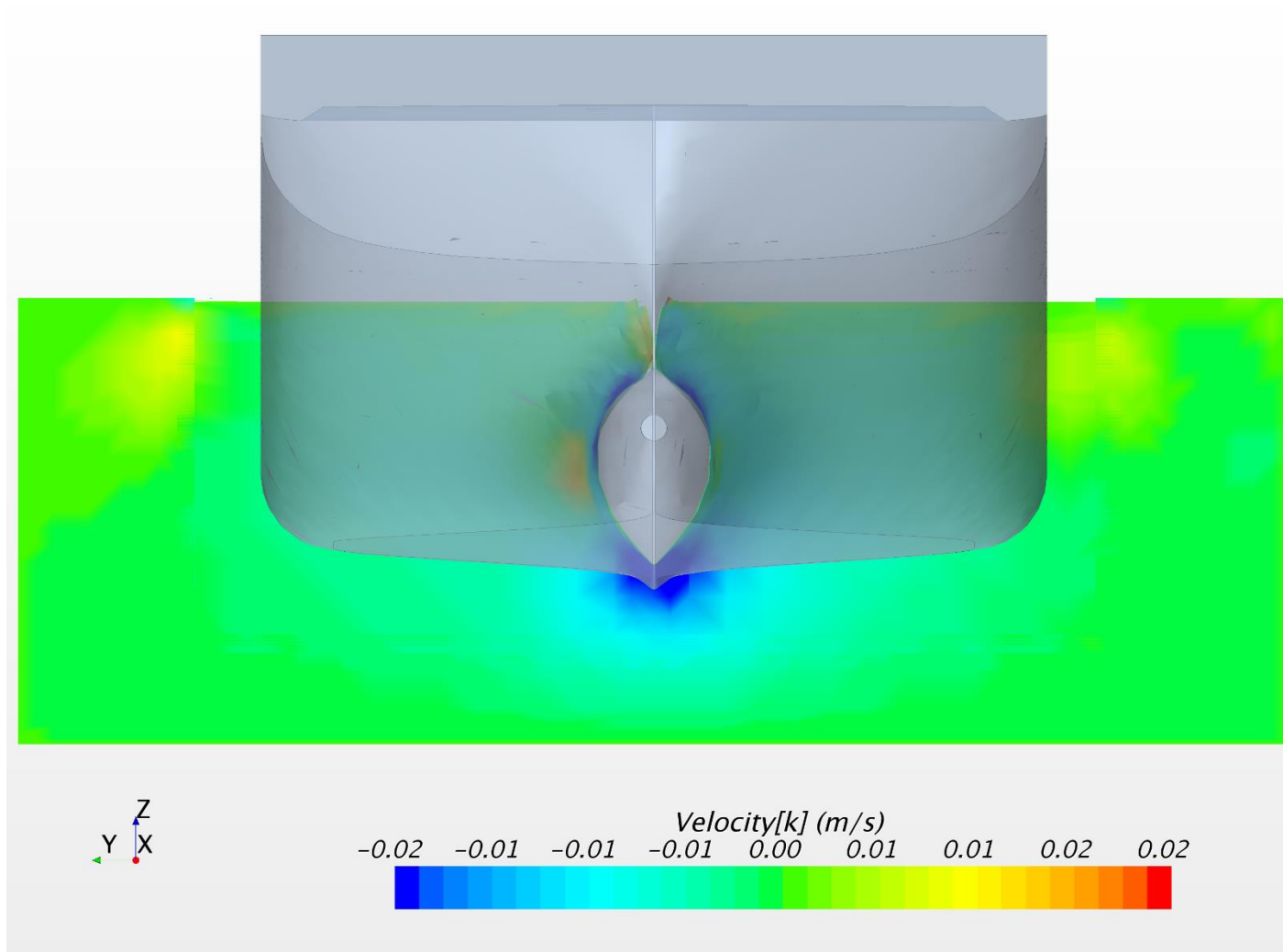
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



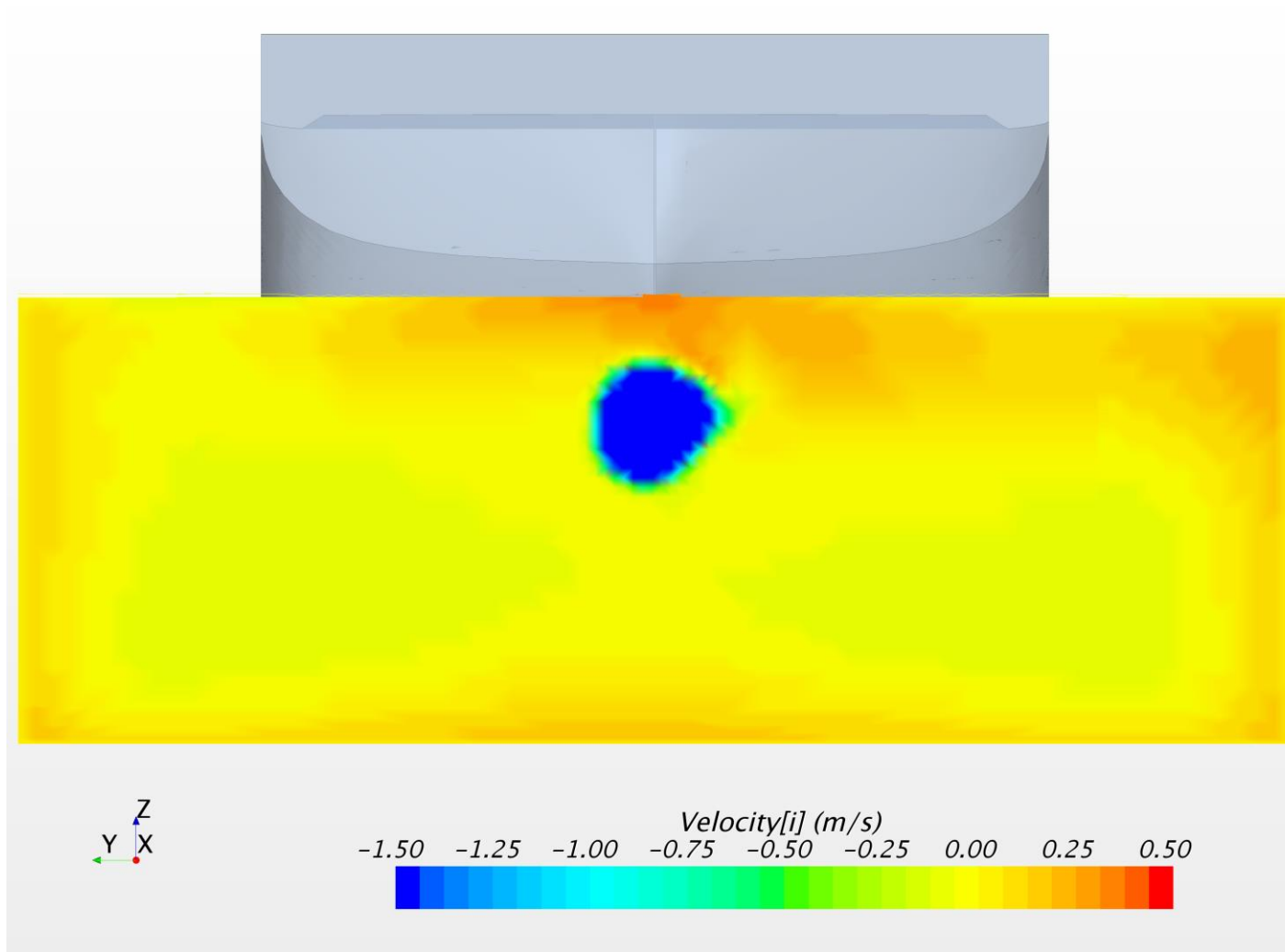
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



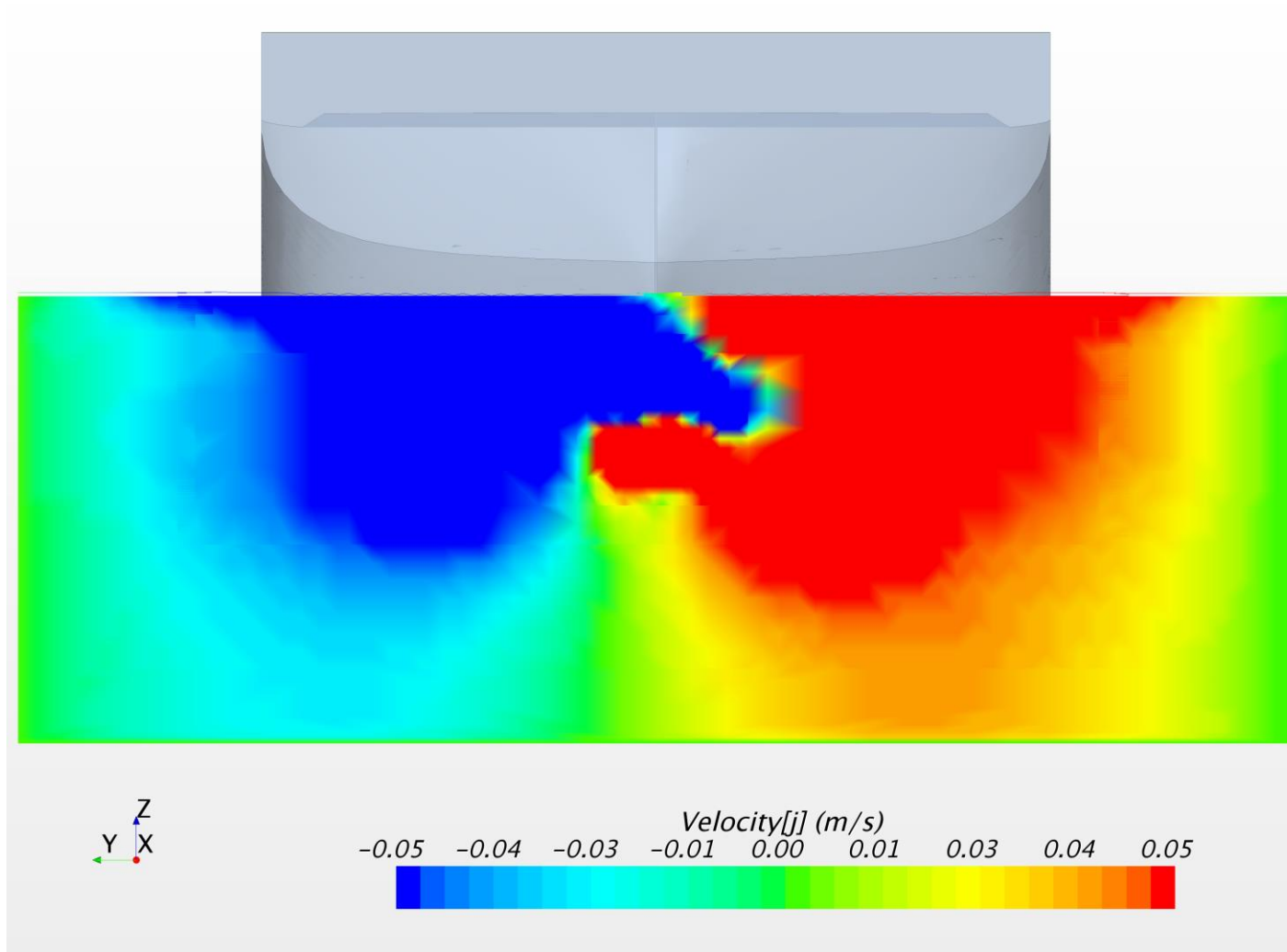
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



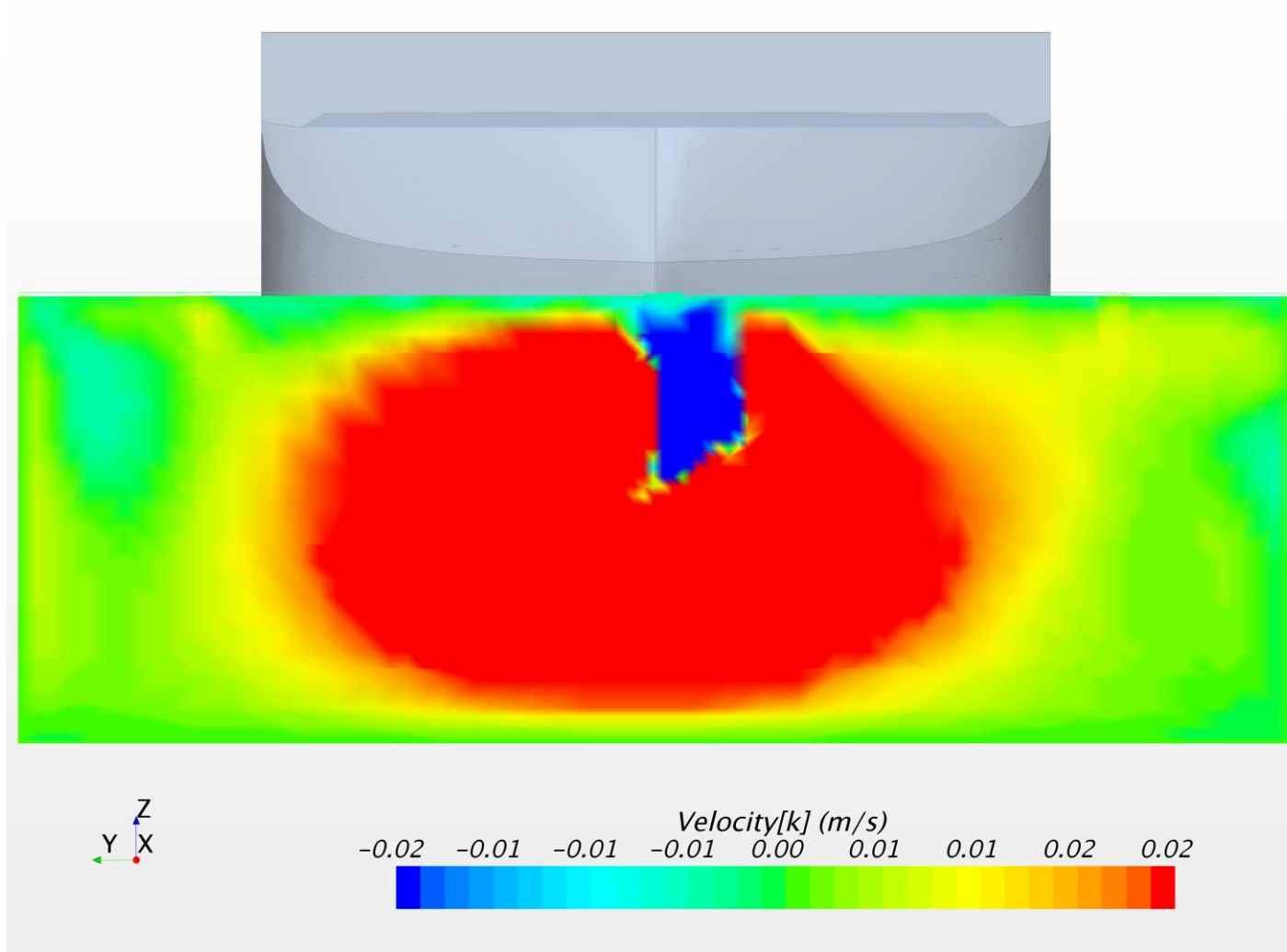
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



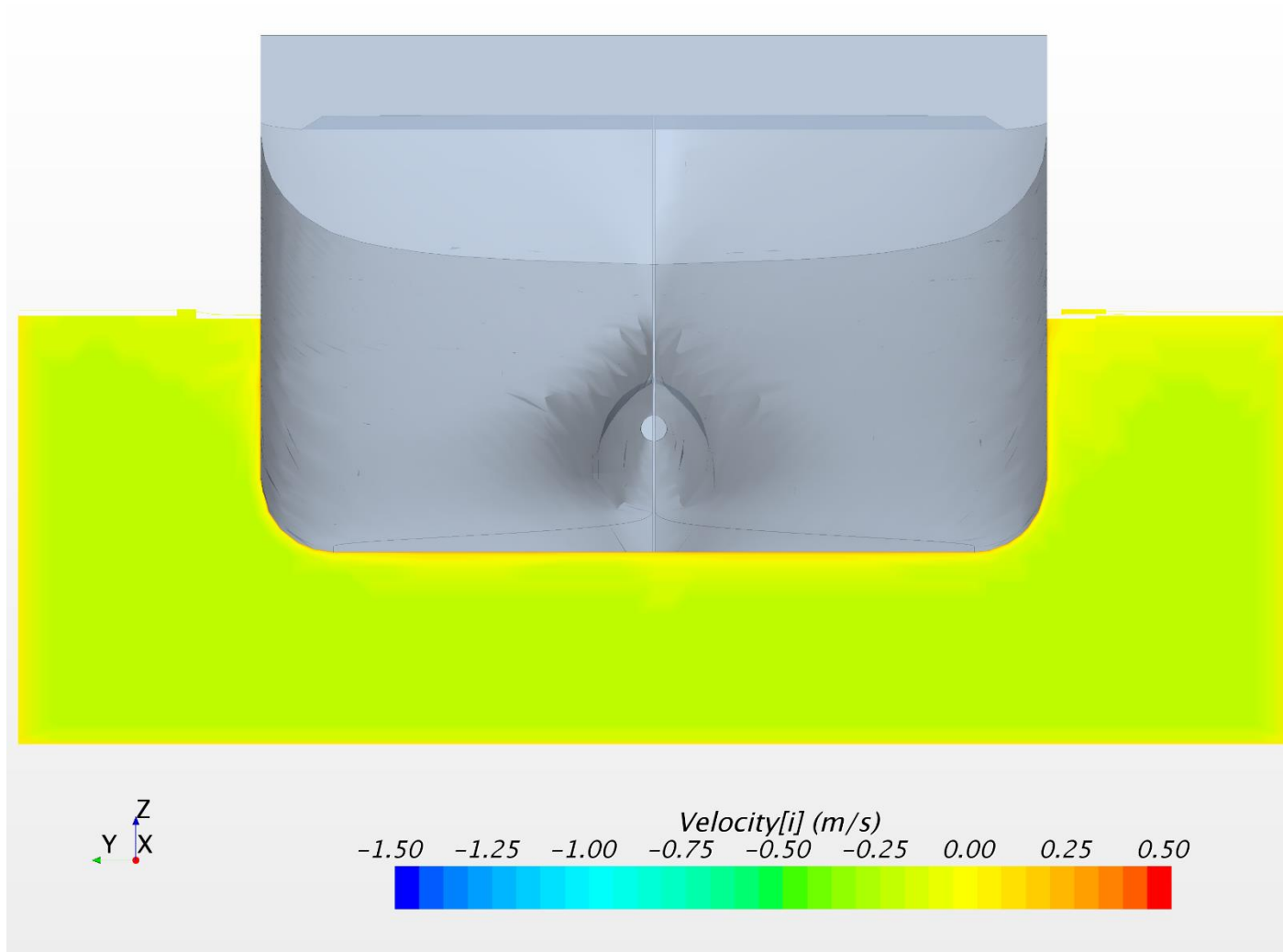
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



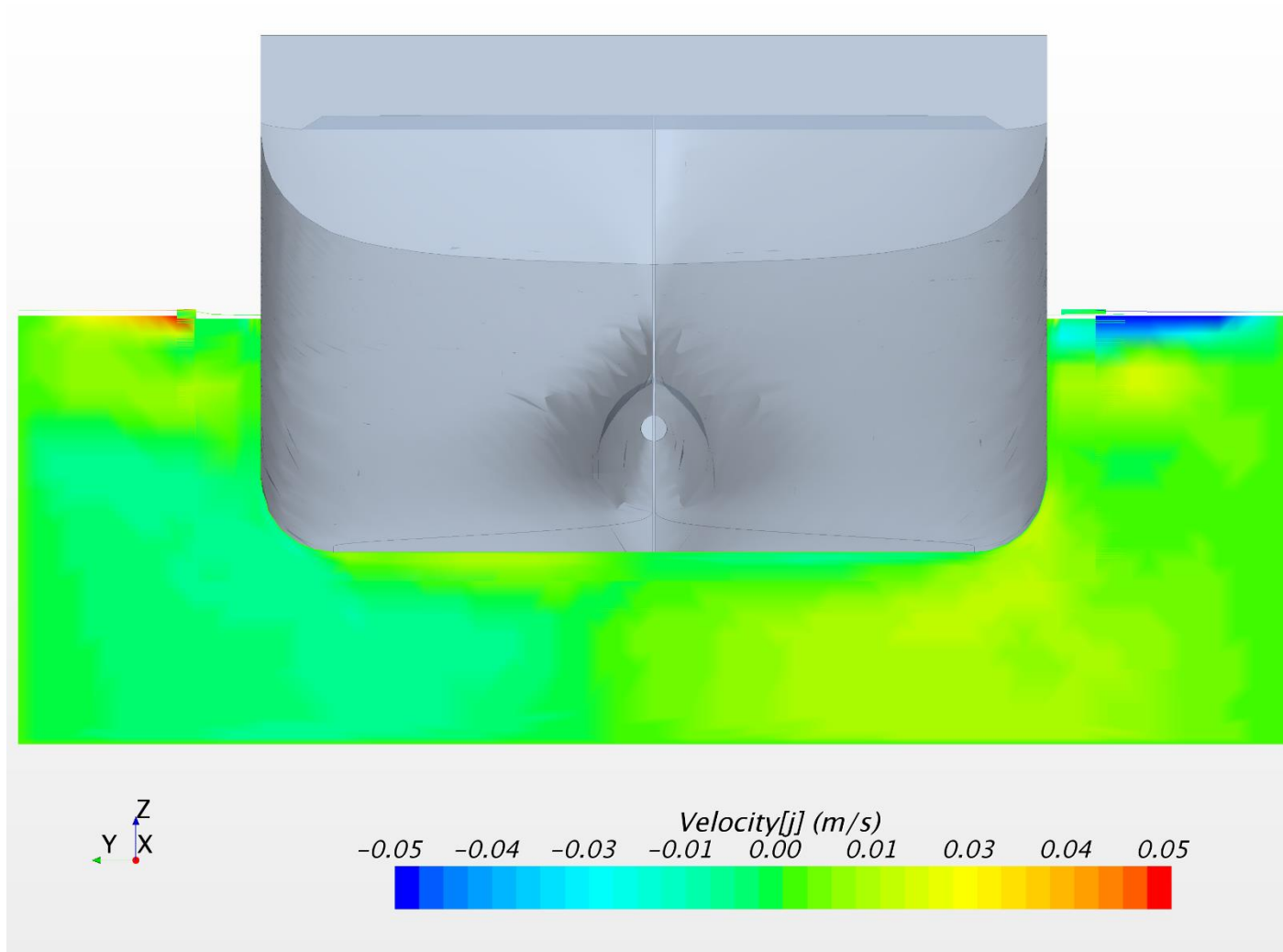
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



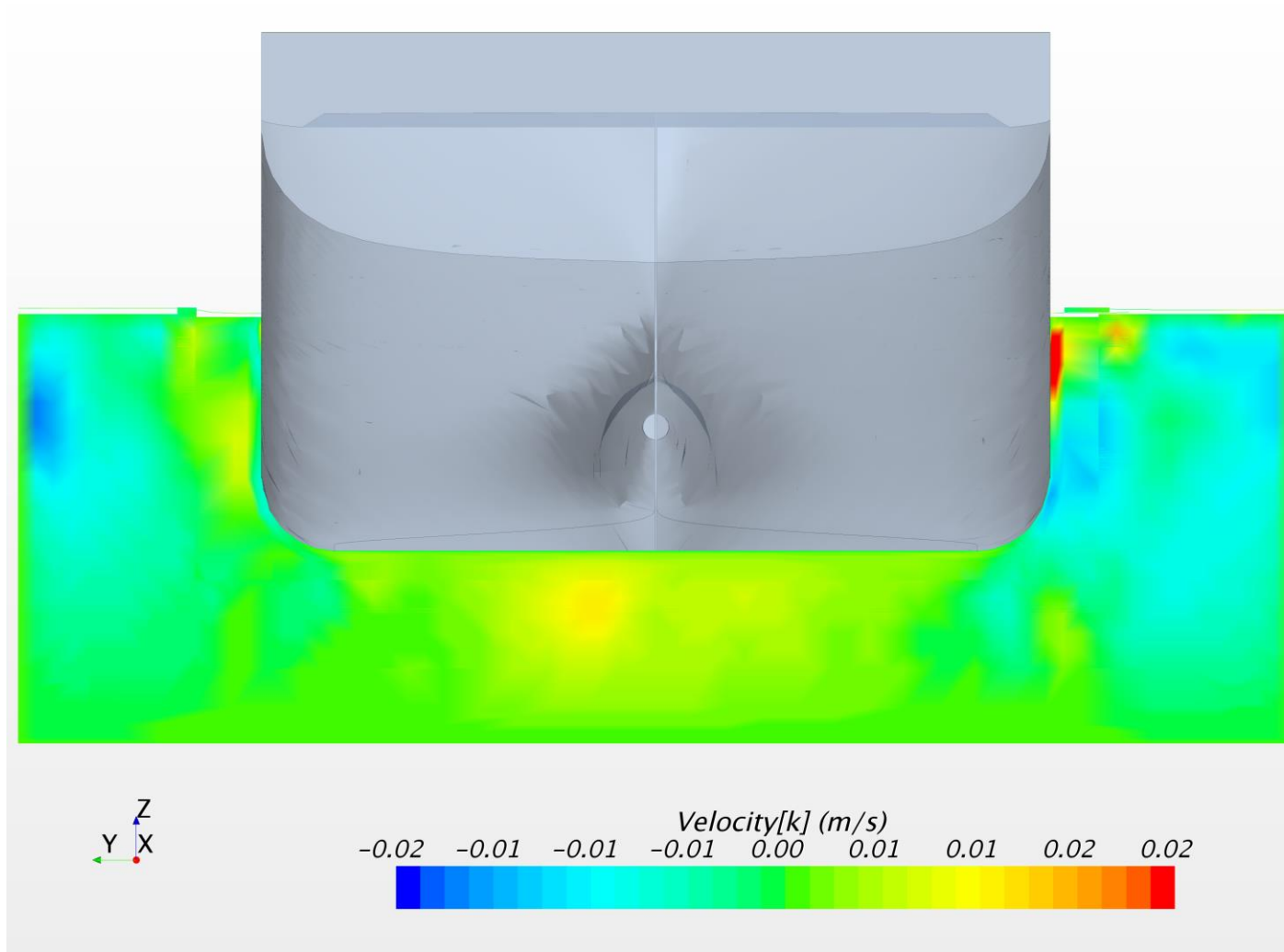
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



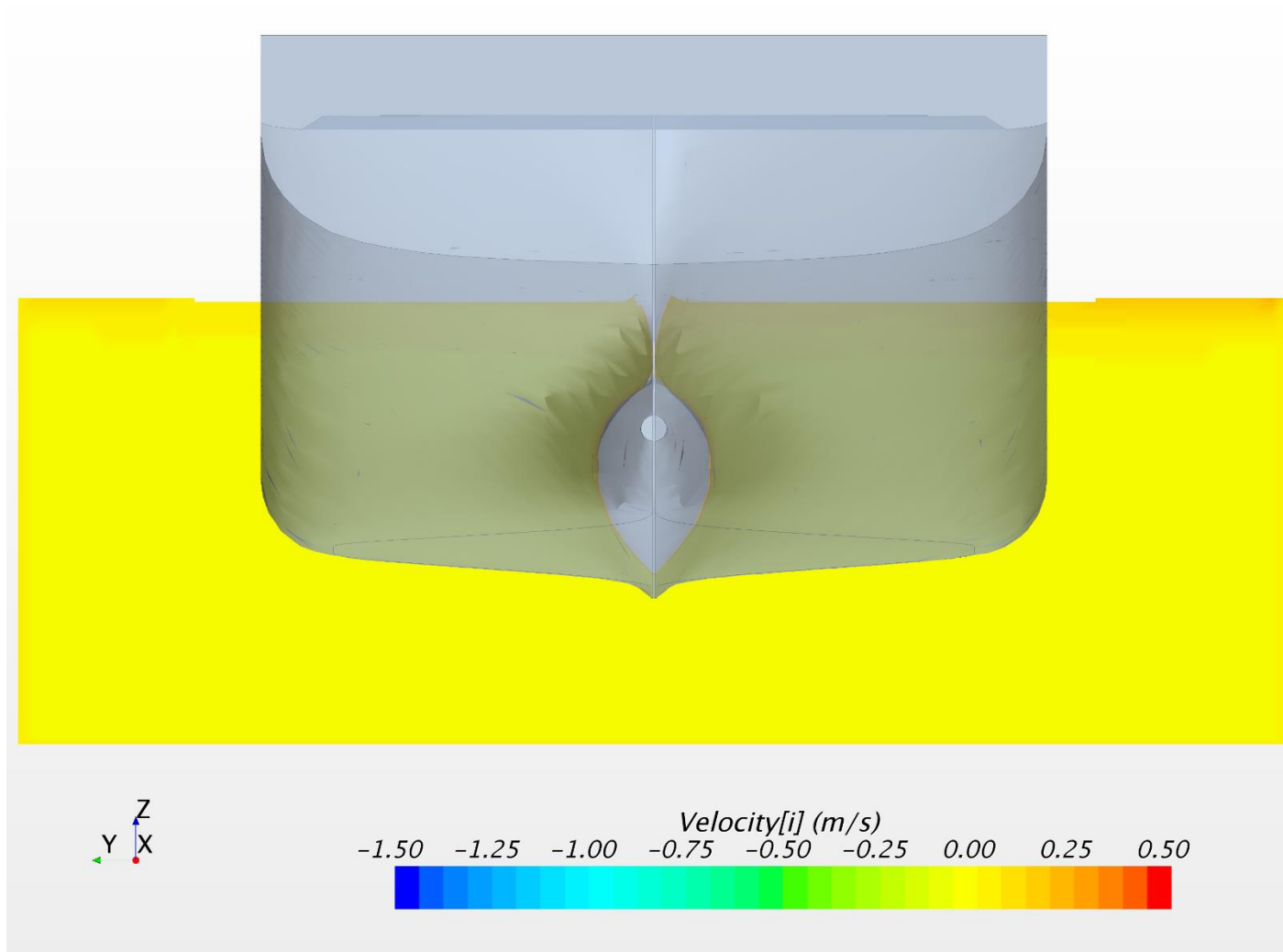
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



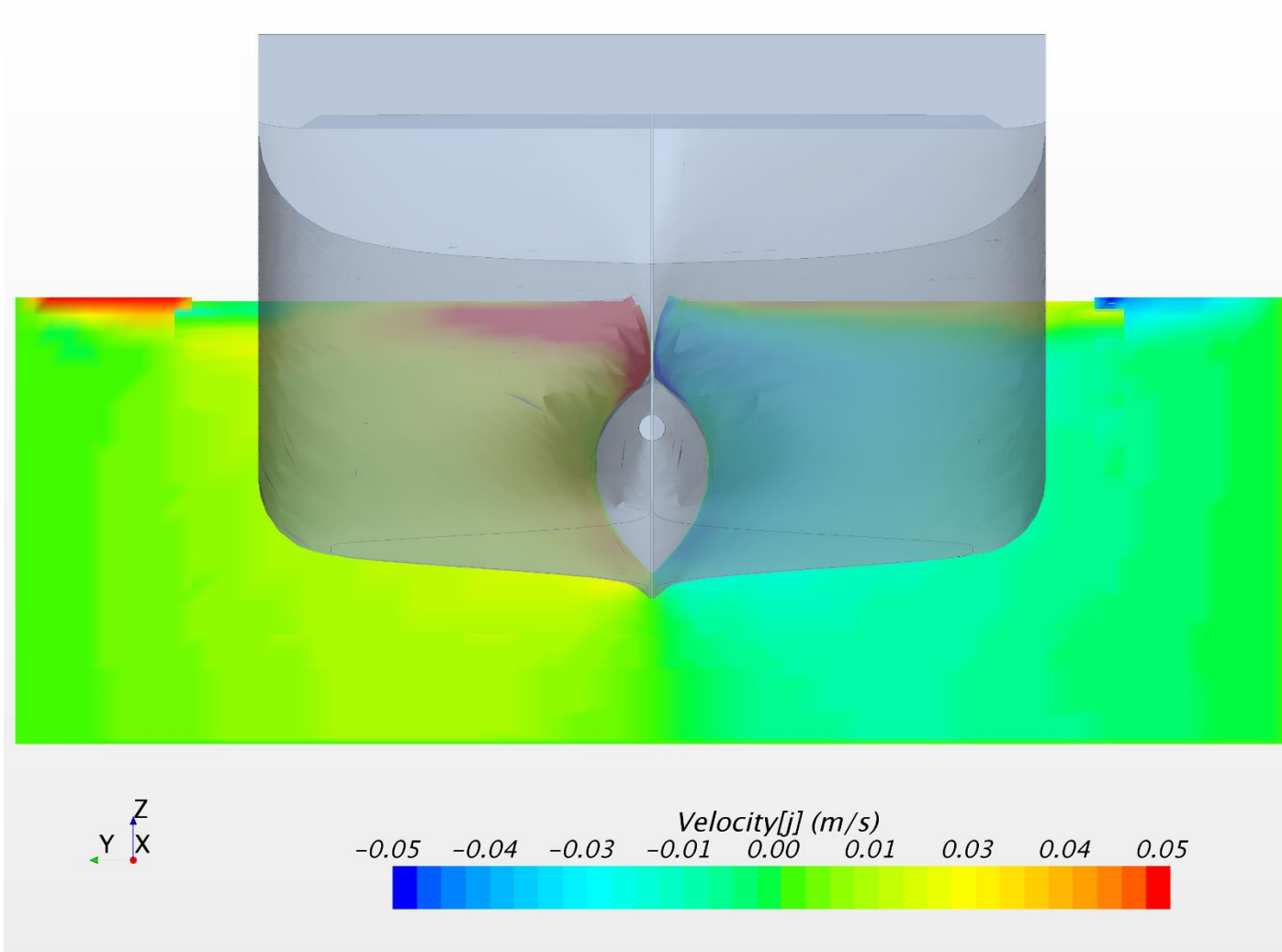
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



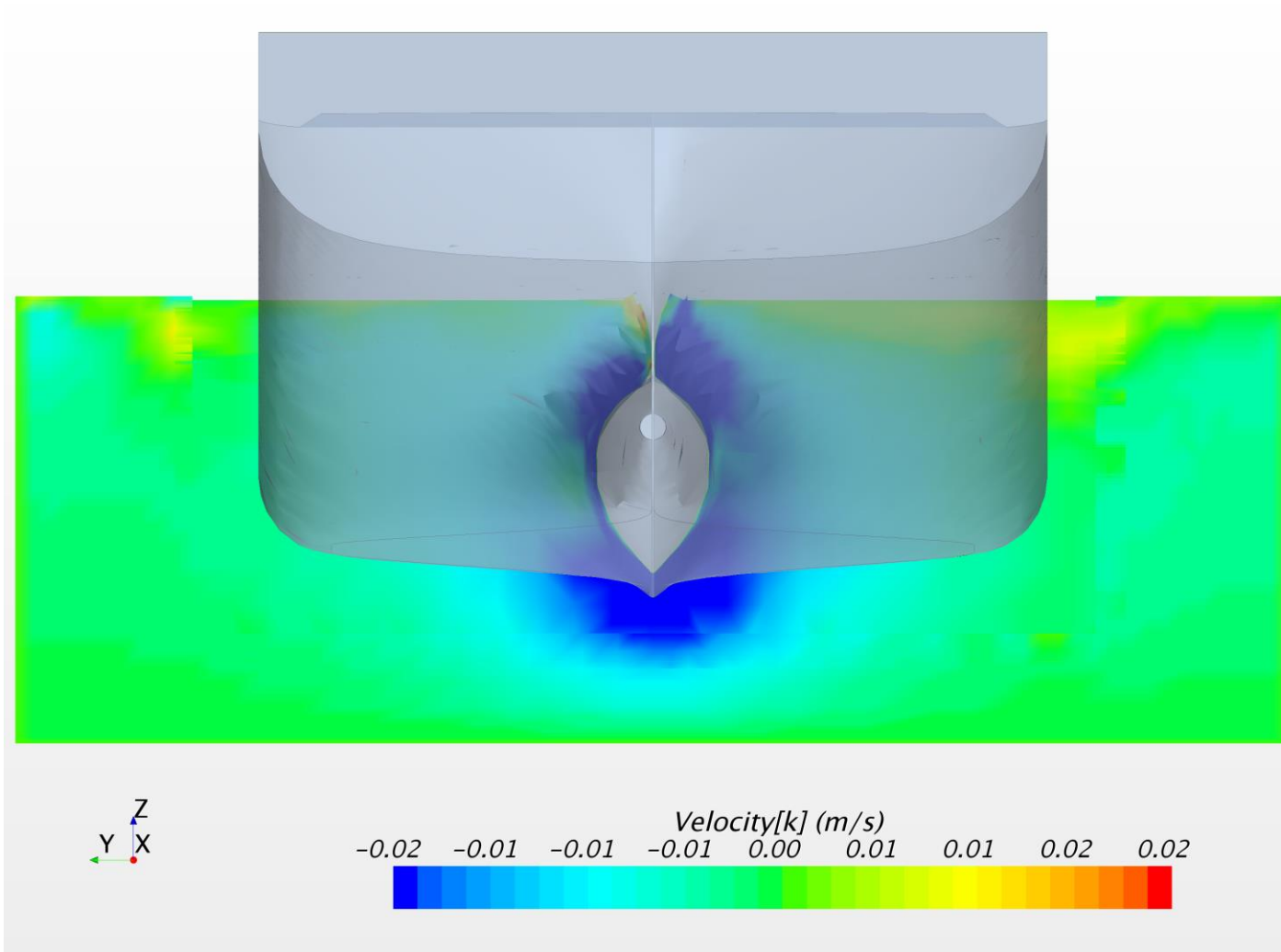
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



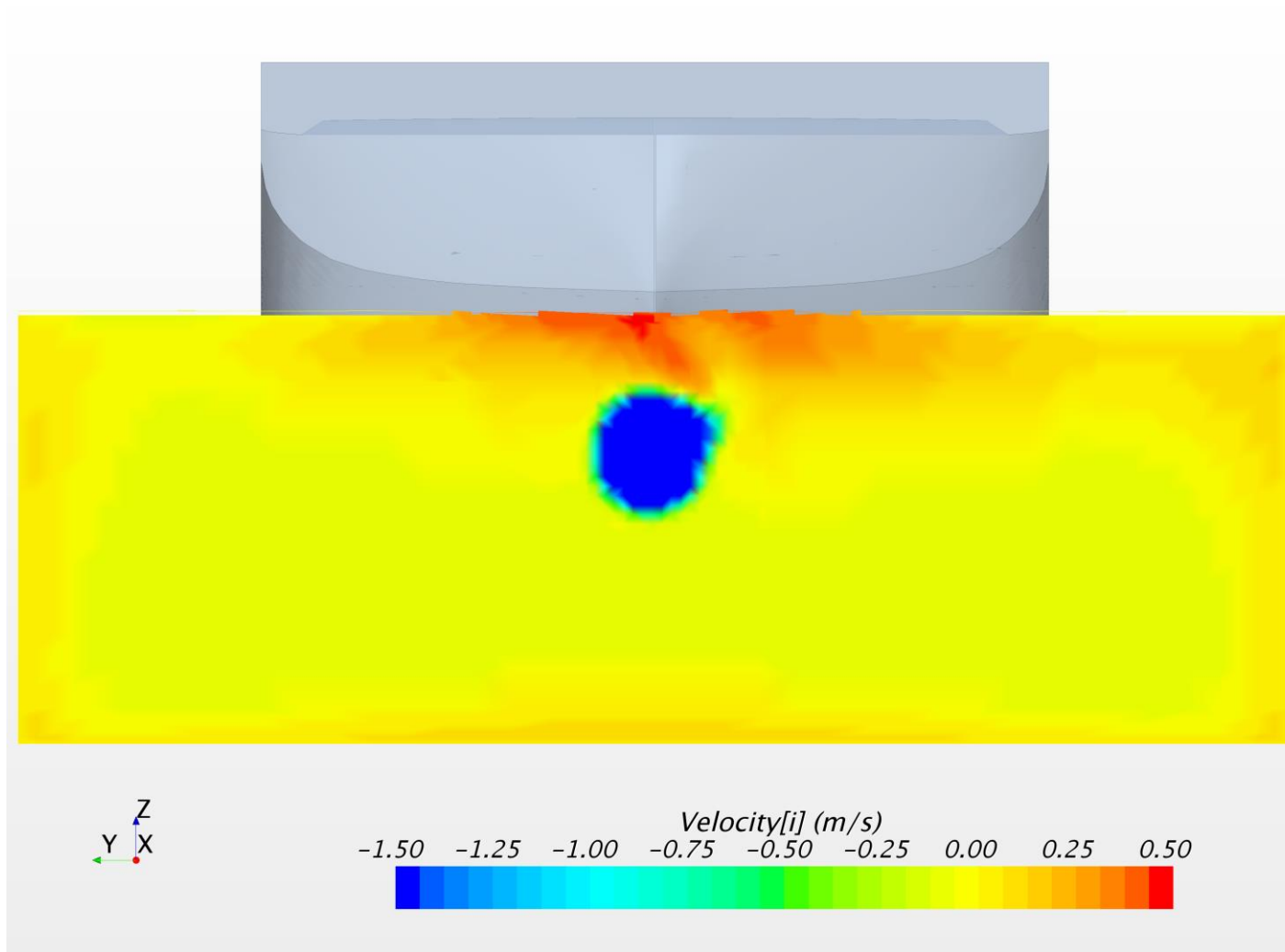
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



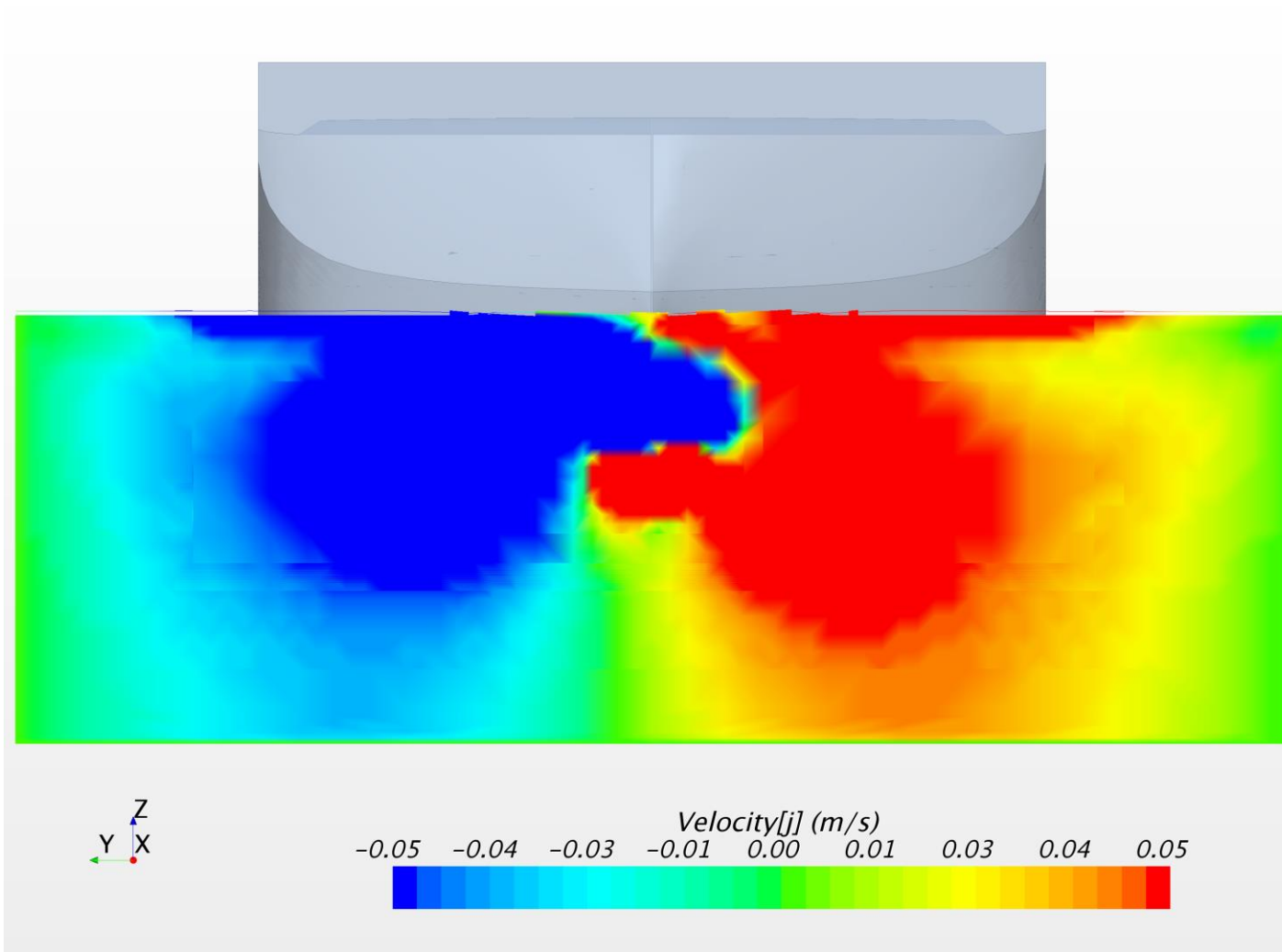
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



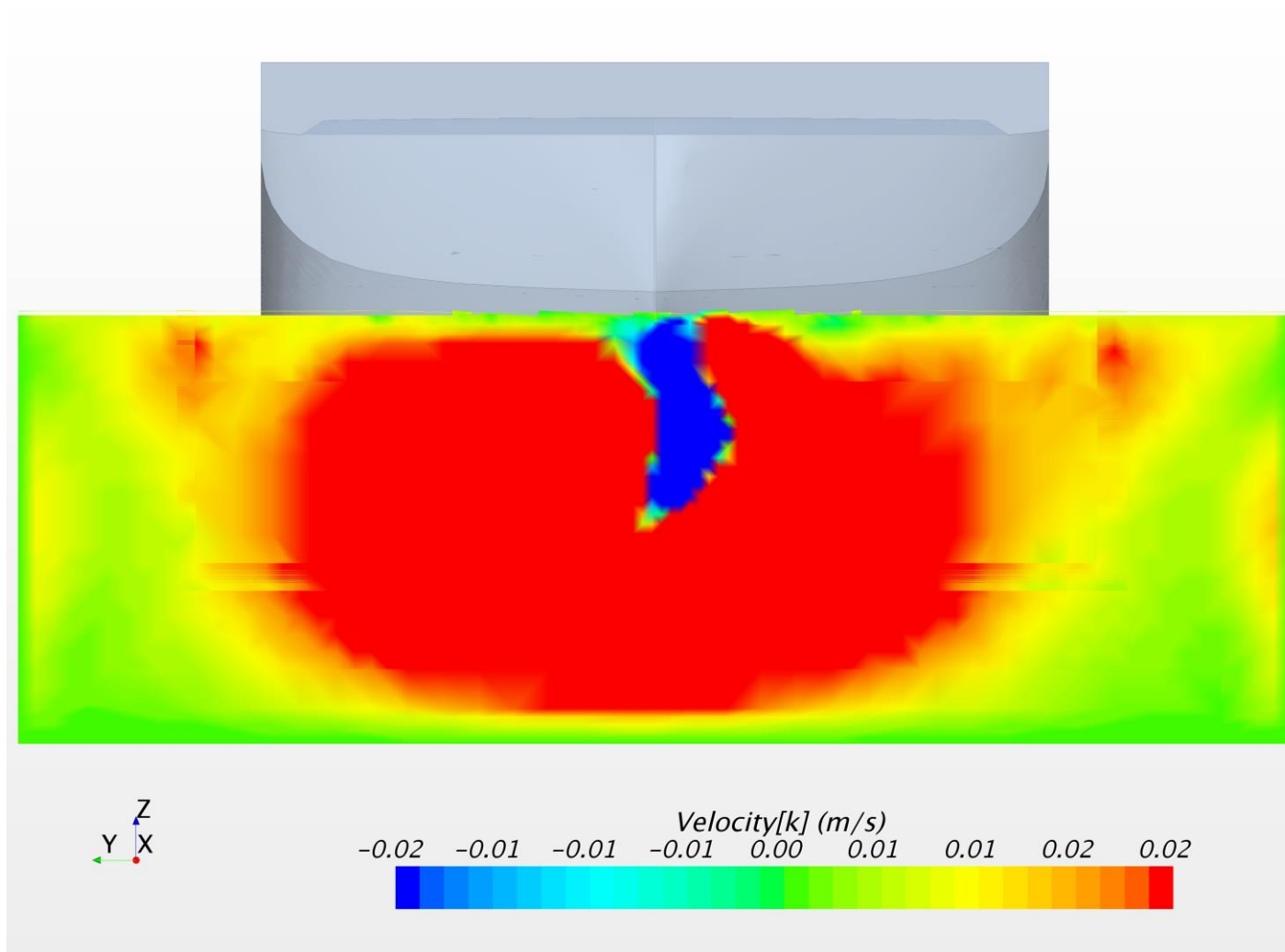
Uden strøm. Skibshastighed: 4 knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



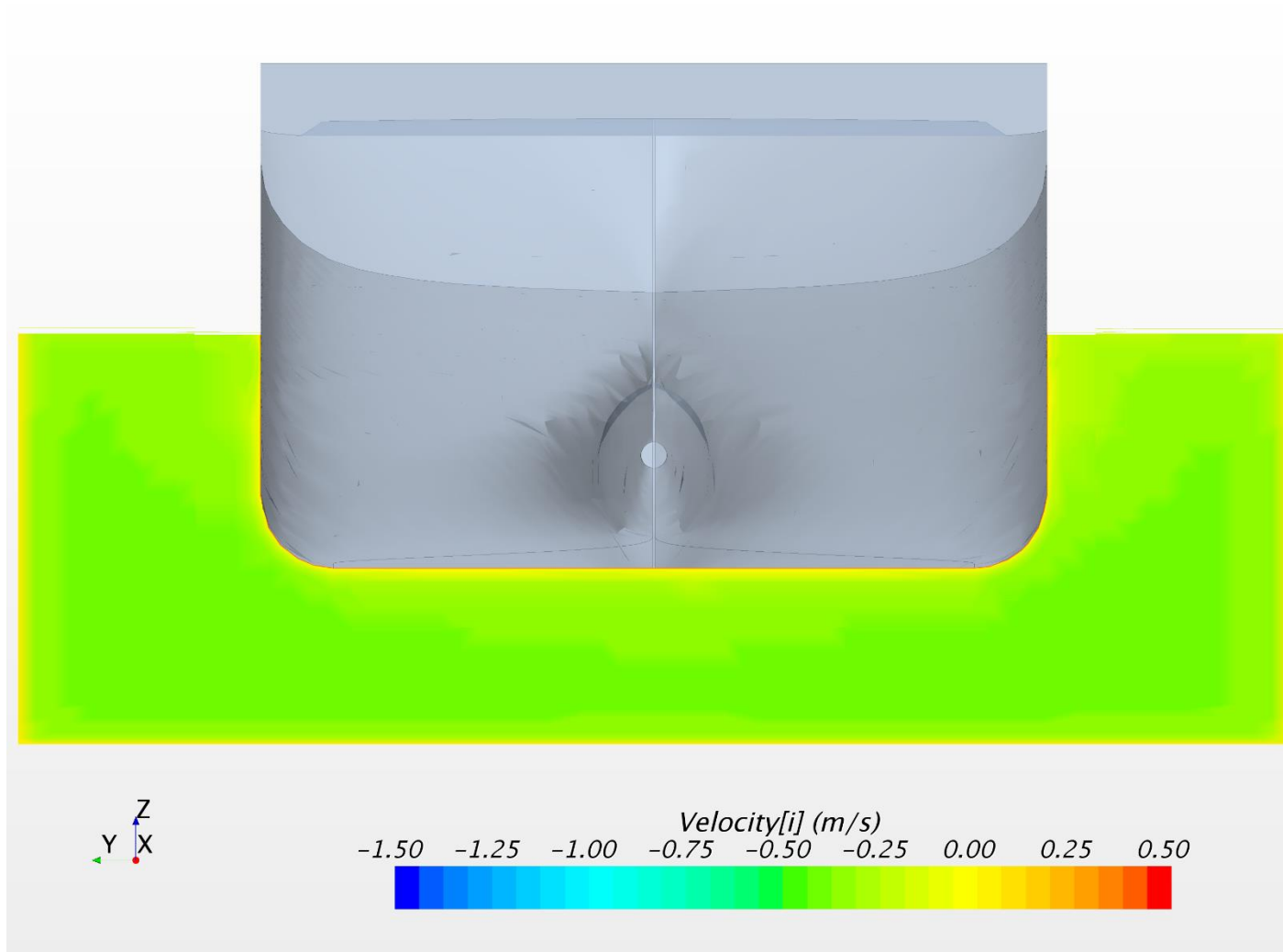
Uden strøm. Skibshastighed: 4 knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



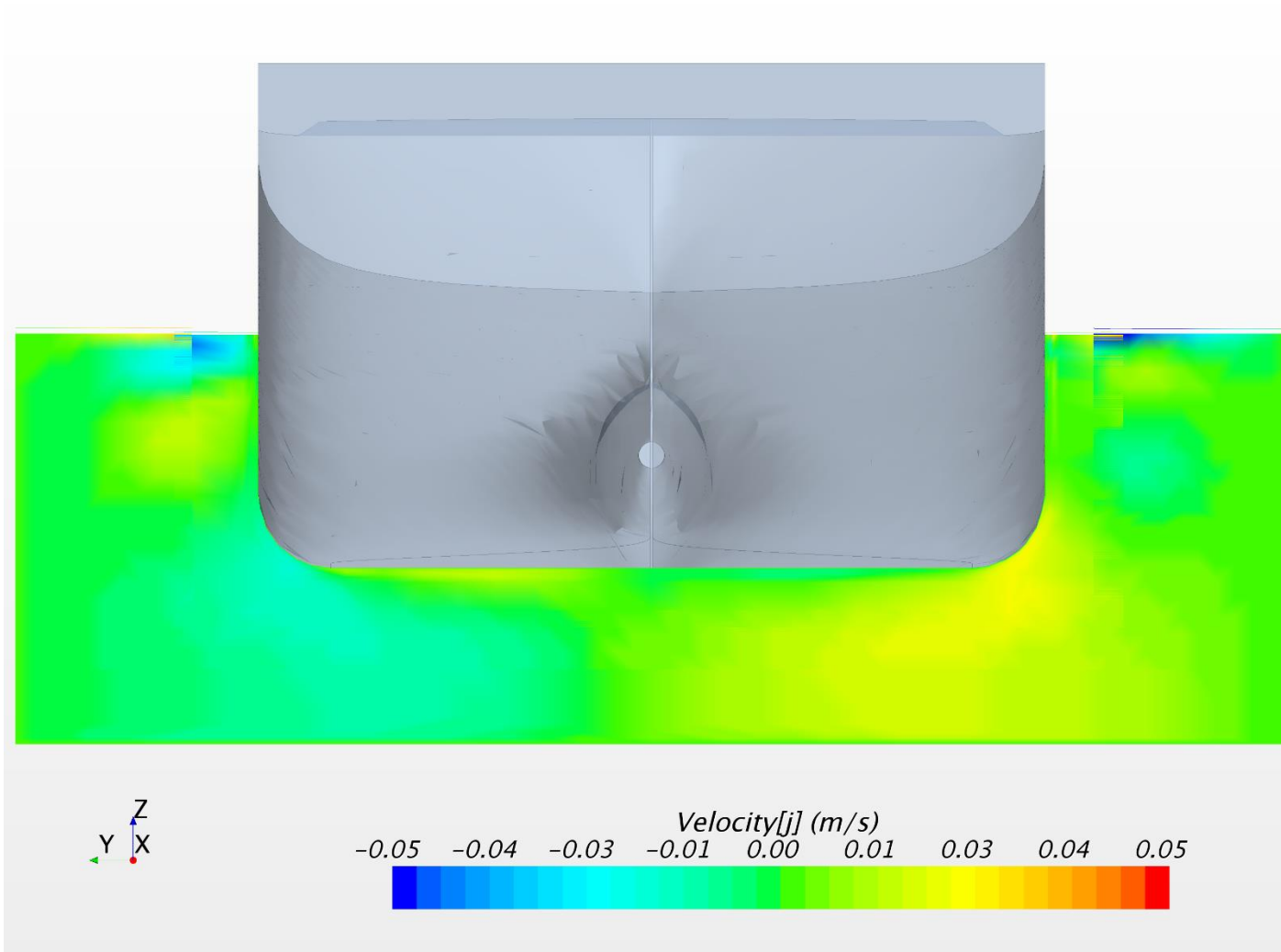
Uden strøm. Skibshastighed: 4 knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



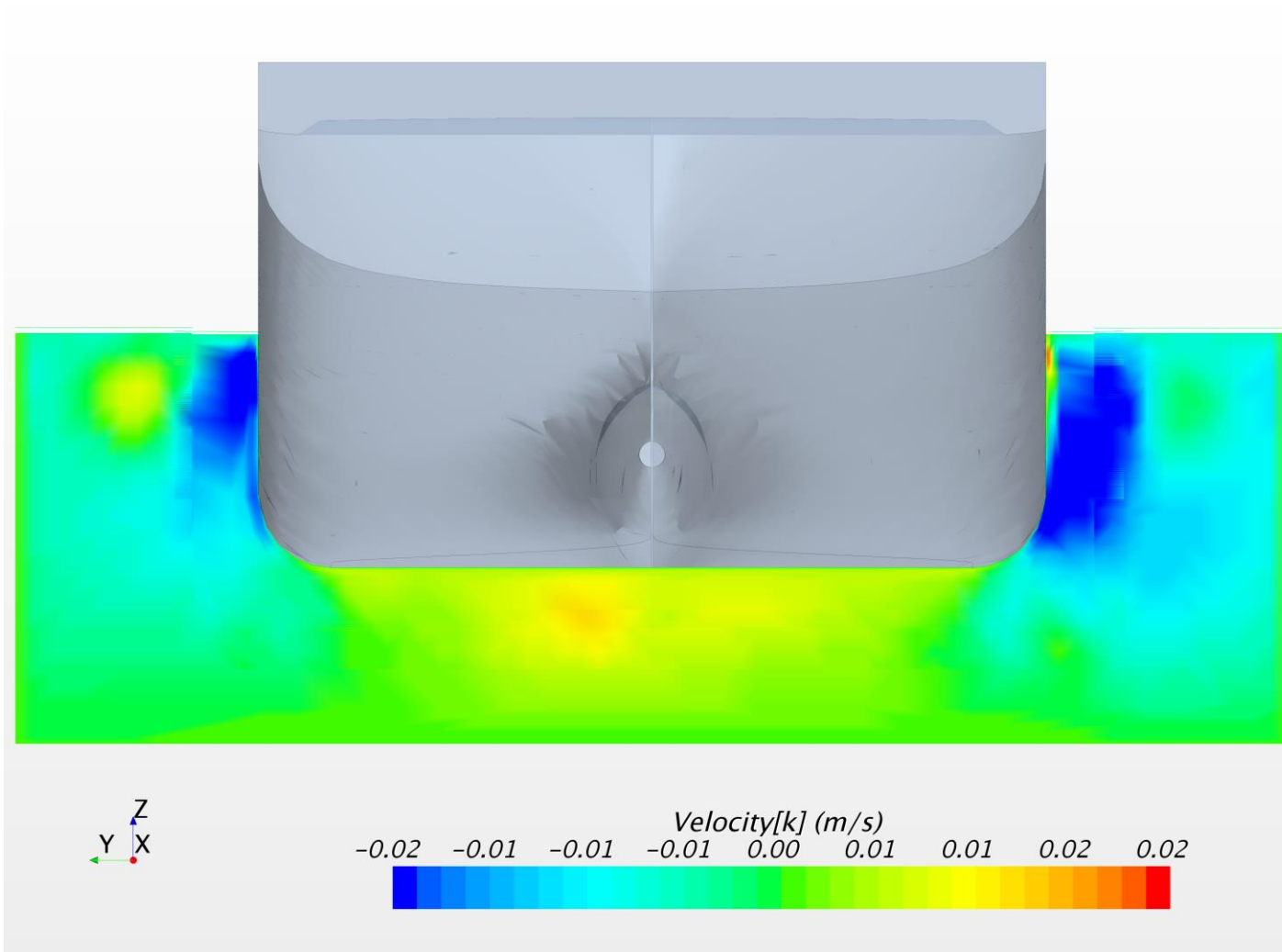
Uden strøm. Skibshastighed: 4 knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



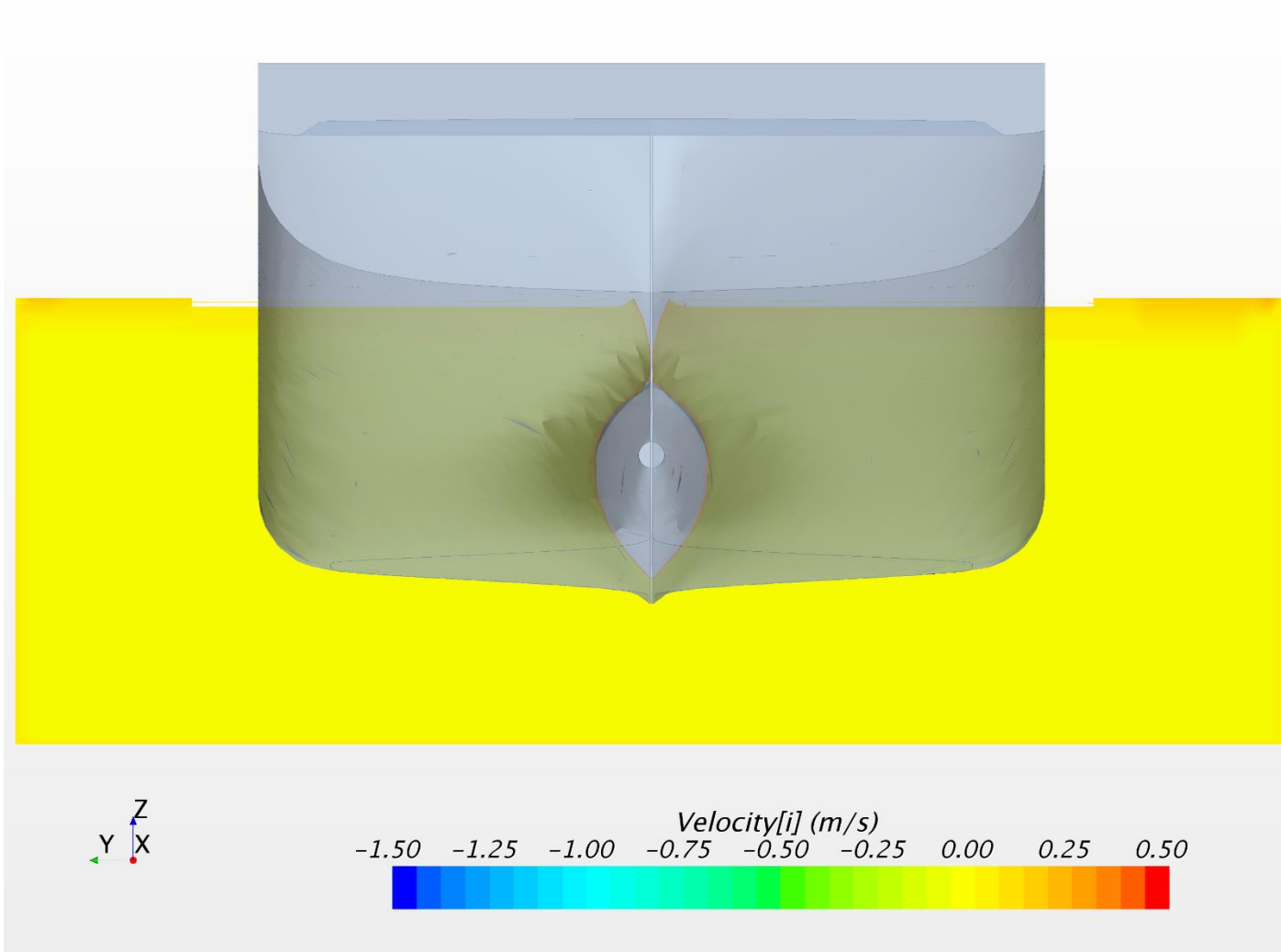
Uden strøm. Skibshastighed: 4 knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



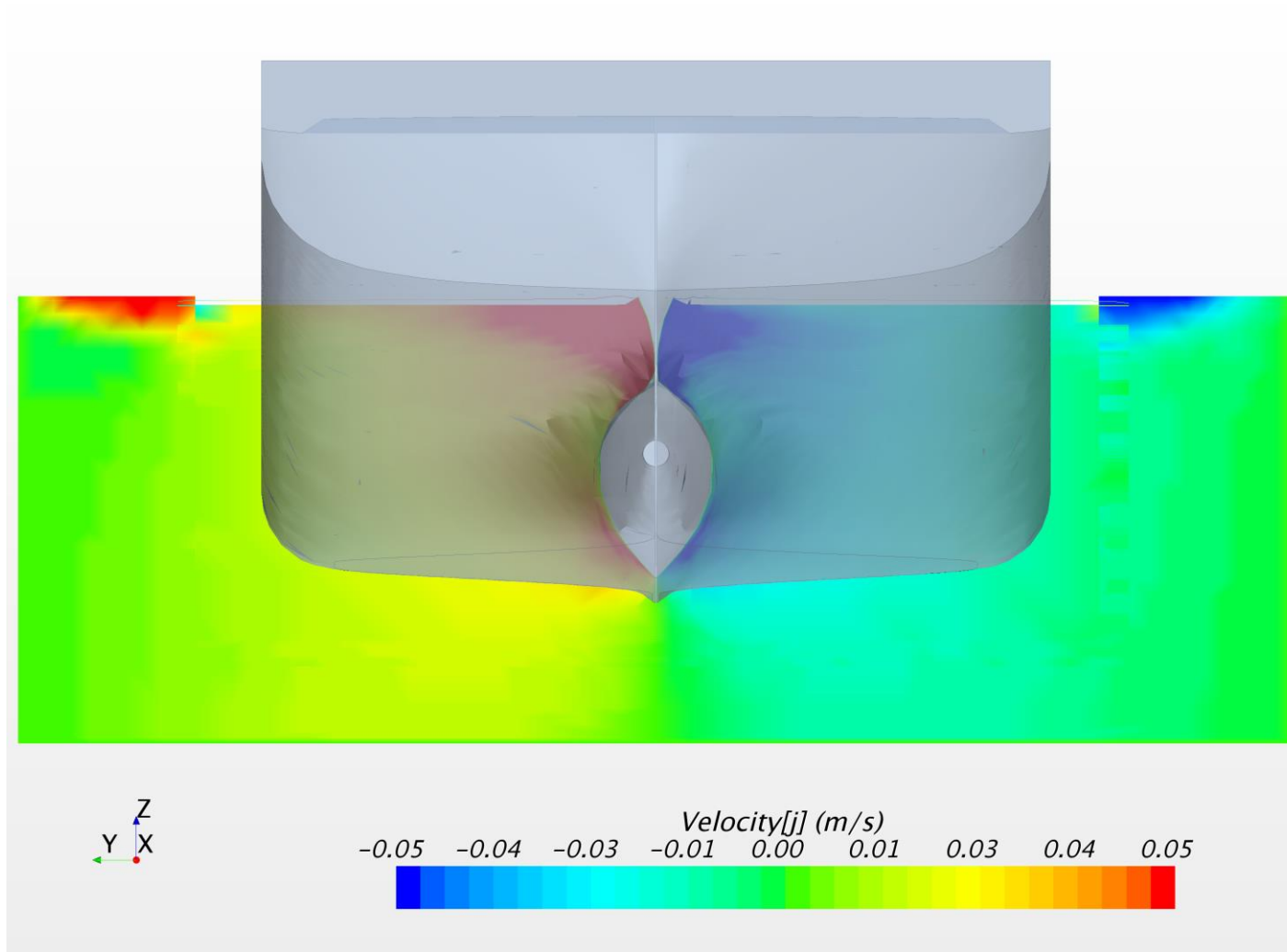
Uden strøm. Skibshastighed: 4 knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



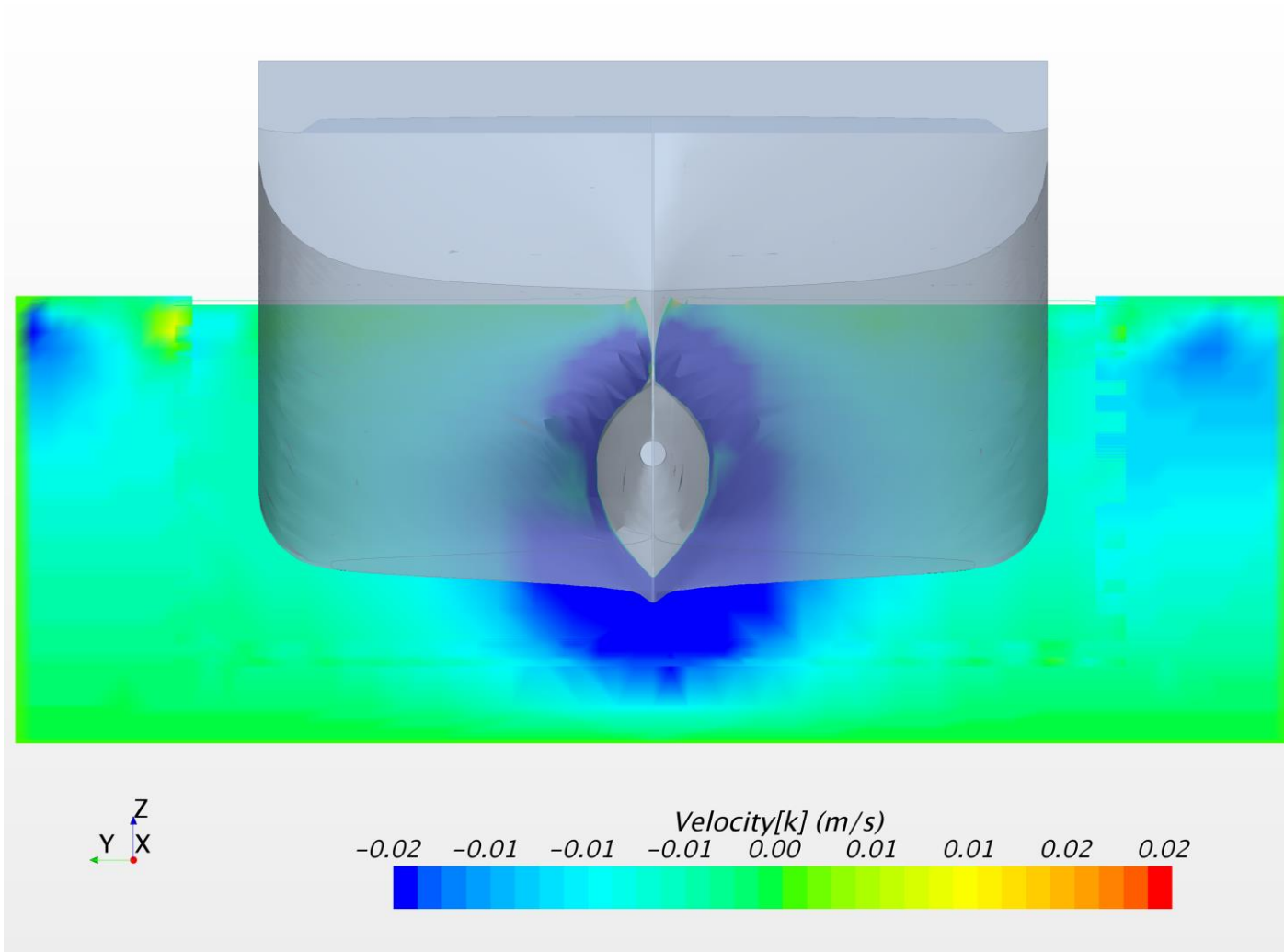
Uden strøm. Skibshastighed: 4 knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



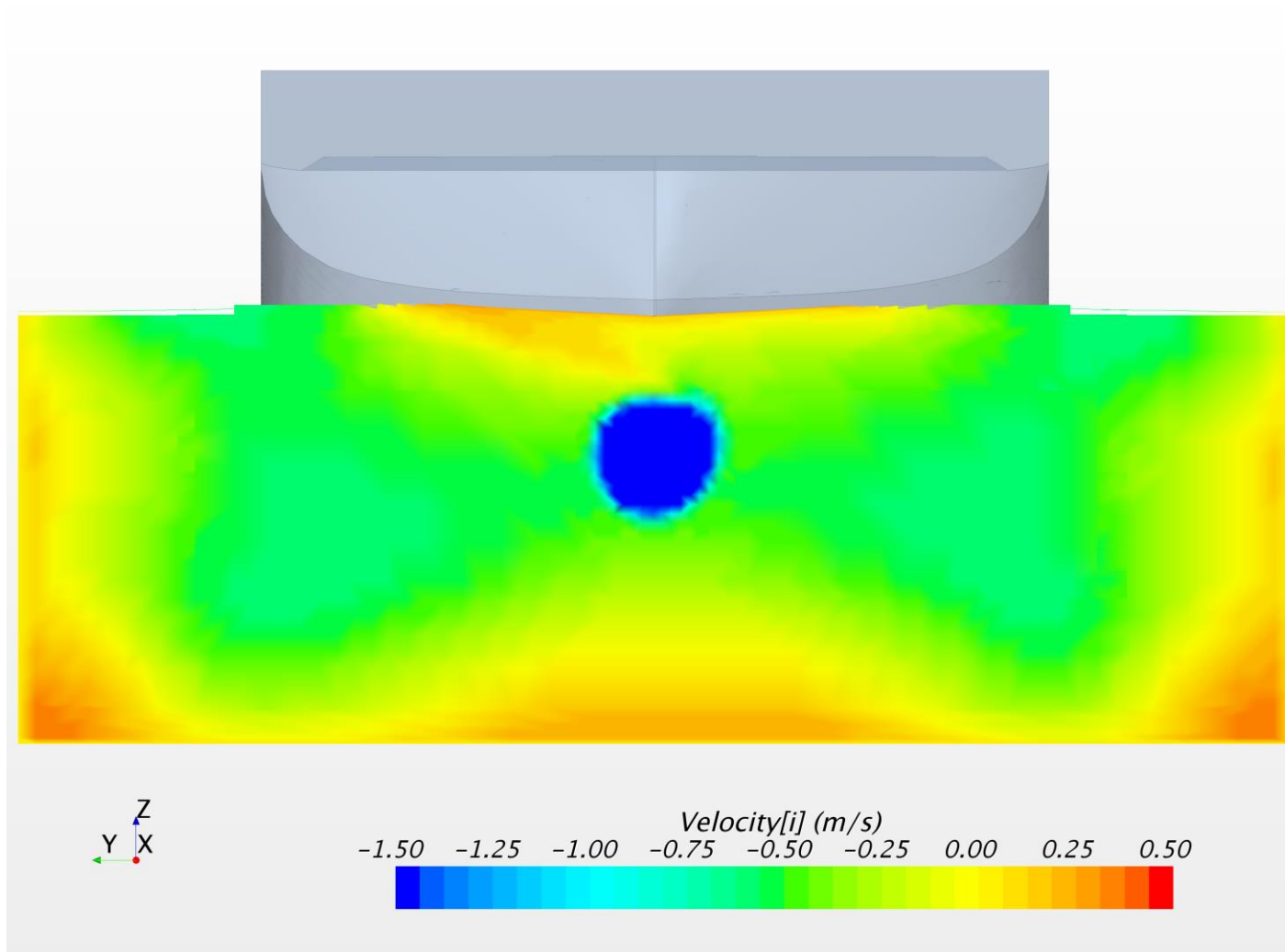
Uden strøm. Skibshastighed: 4 knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



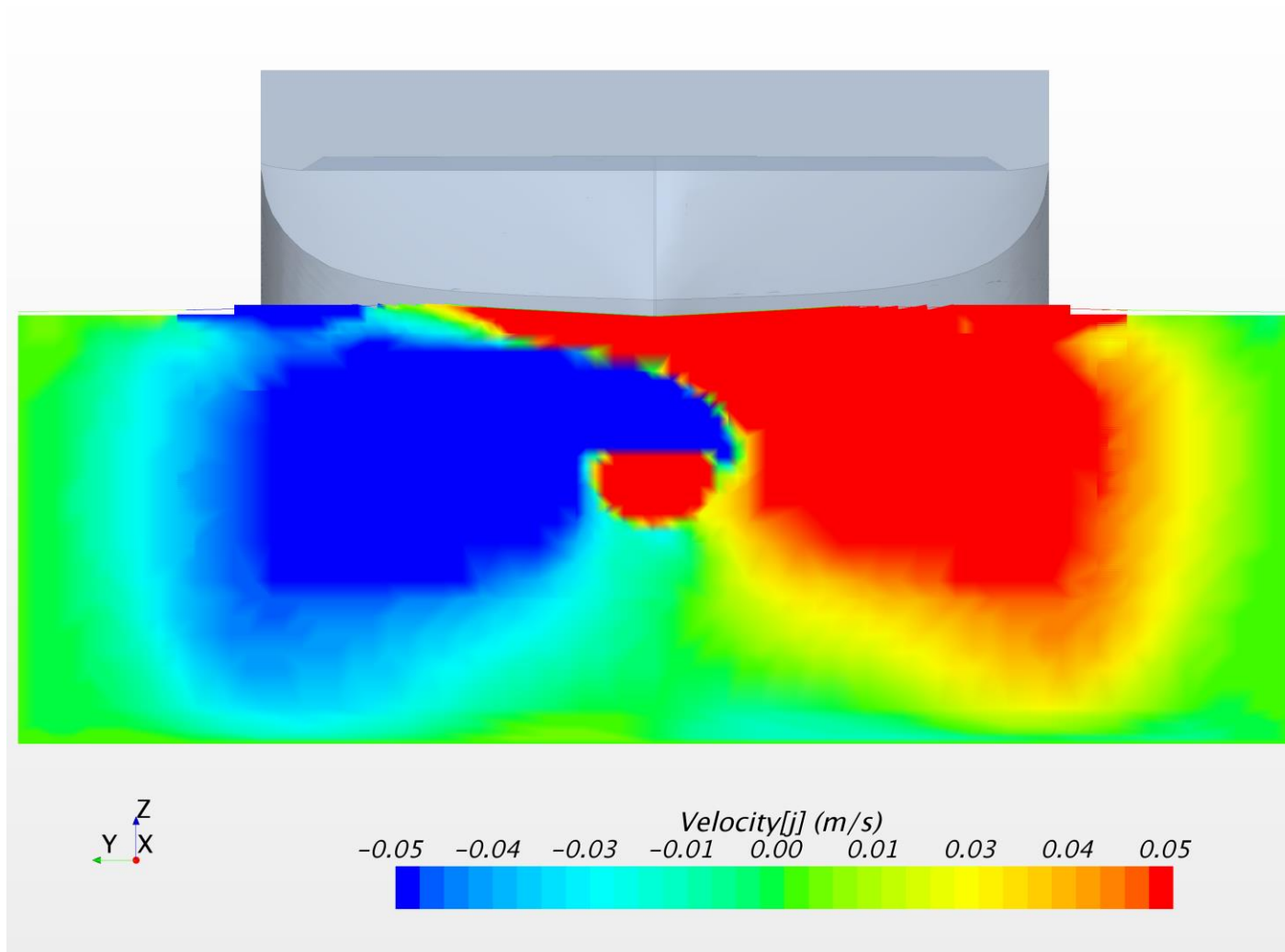
Uden strøm. Skibshastighed: 4 knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



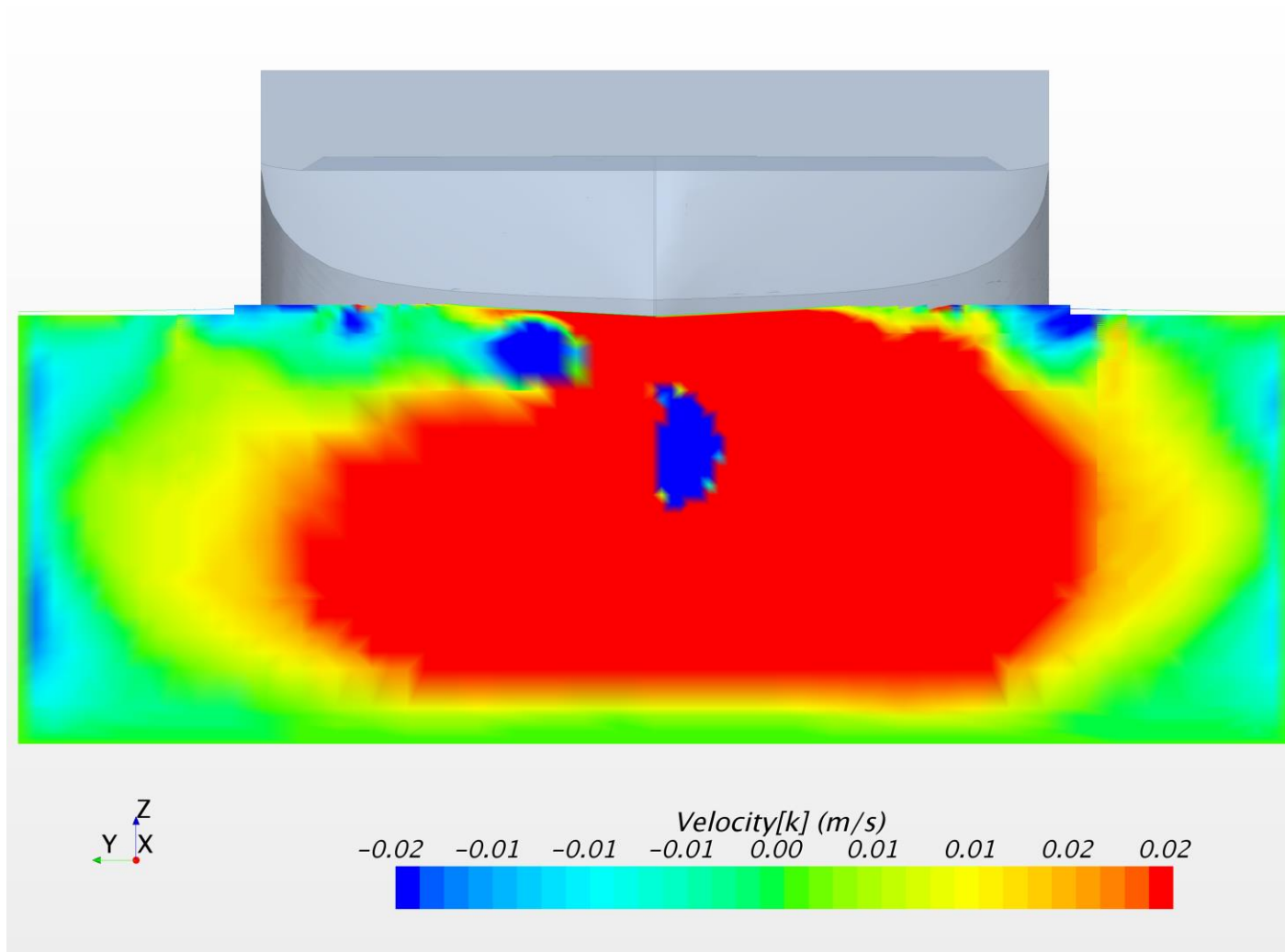
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



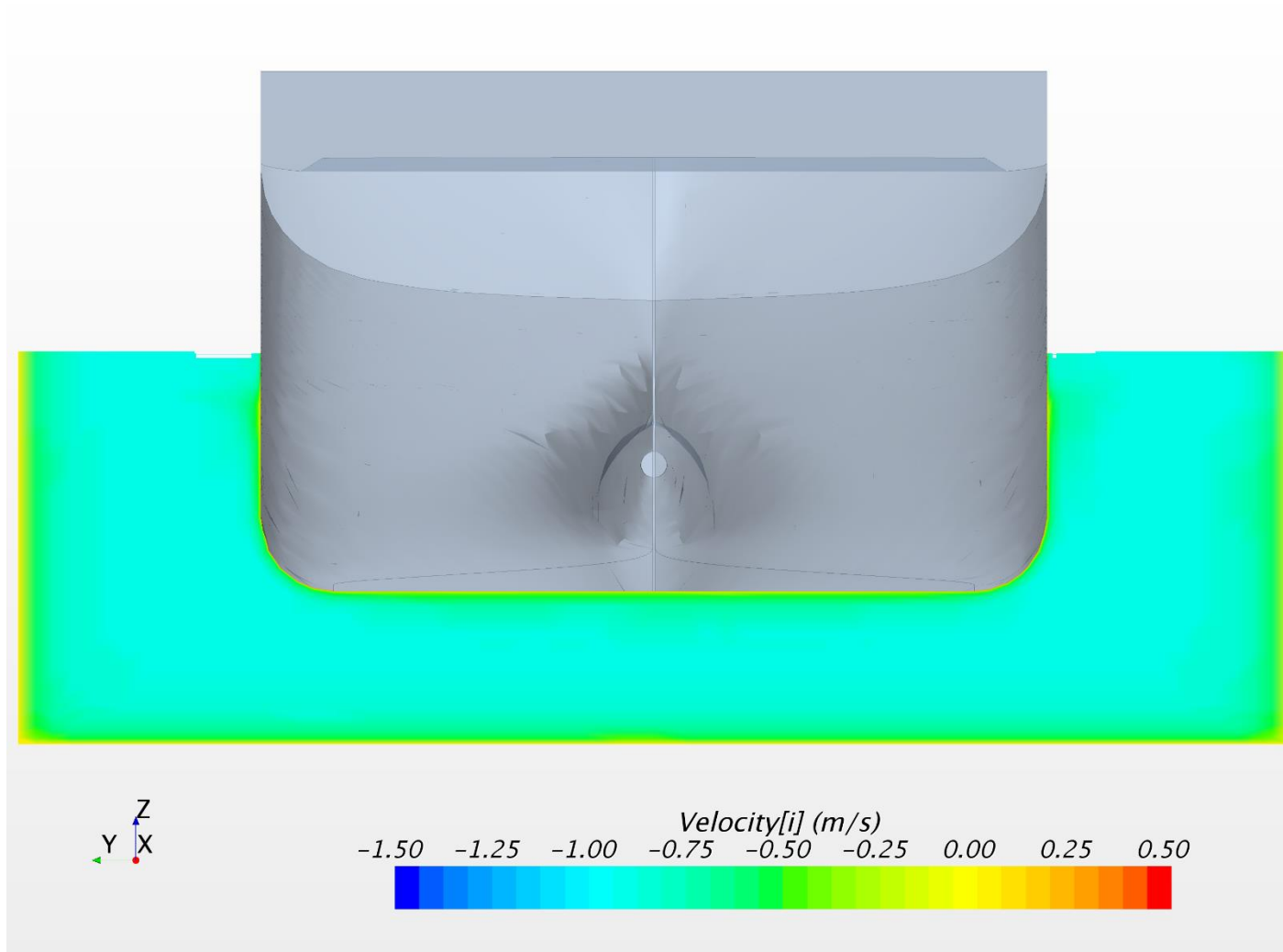
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



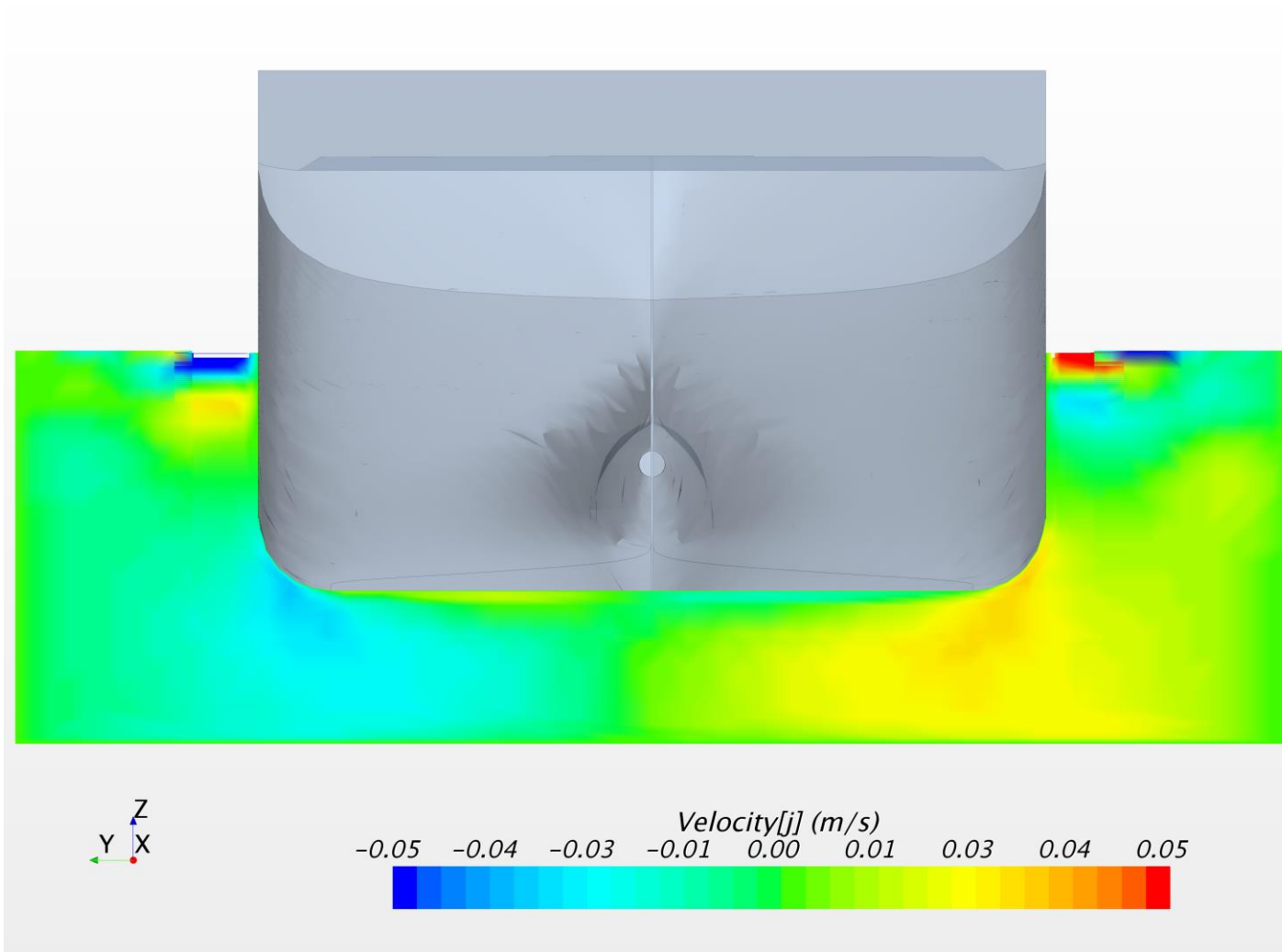
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



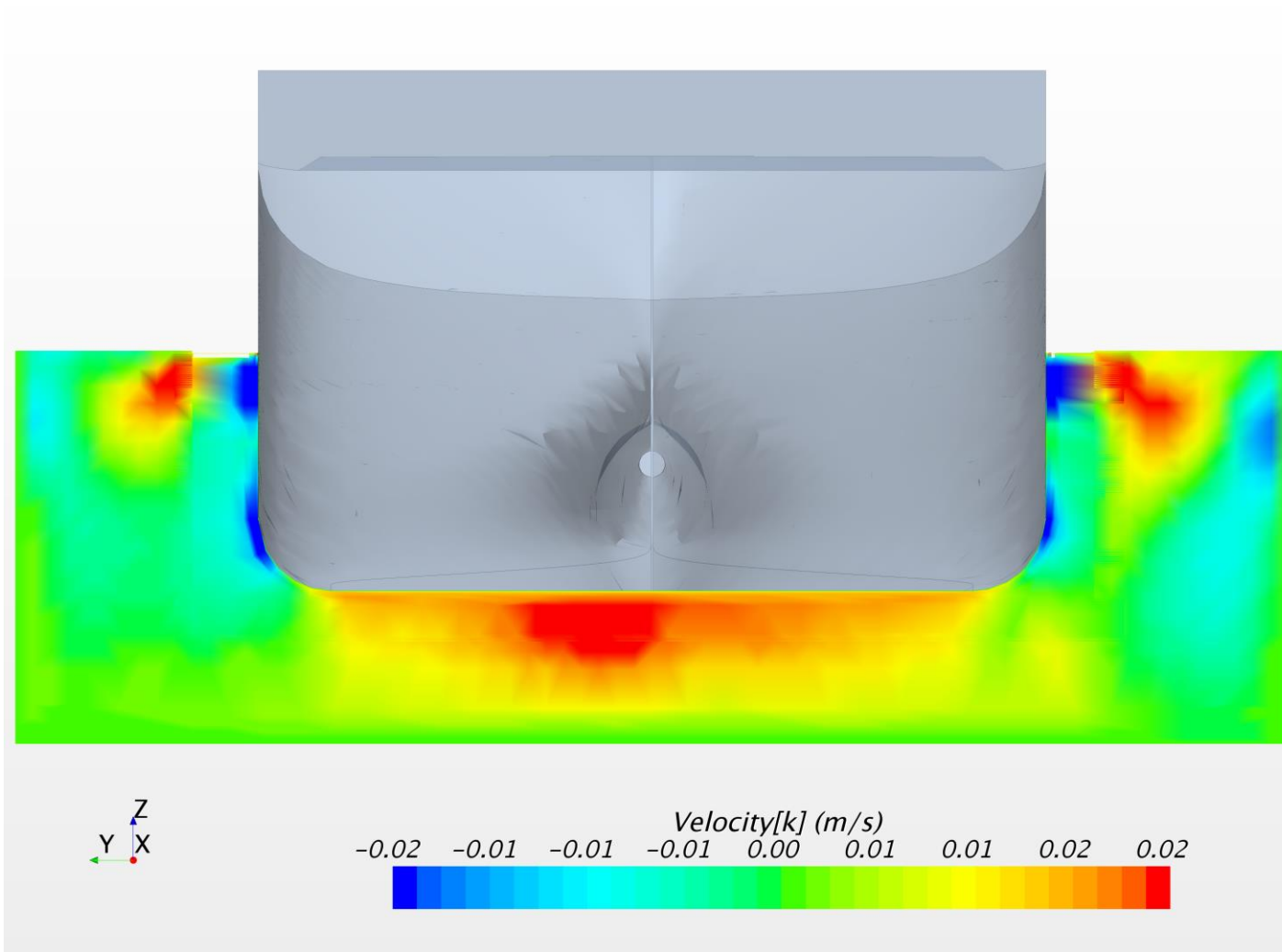
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



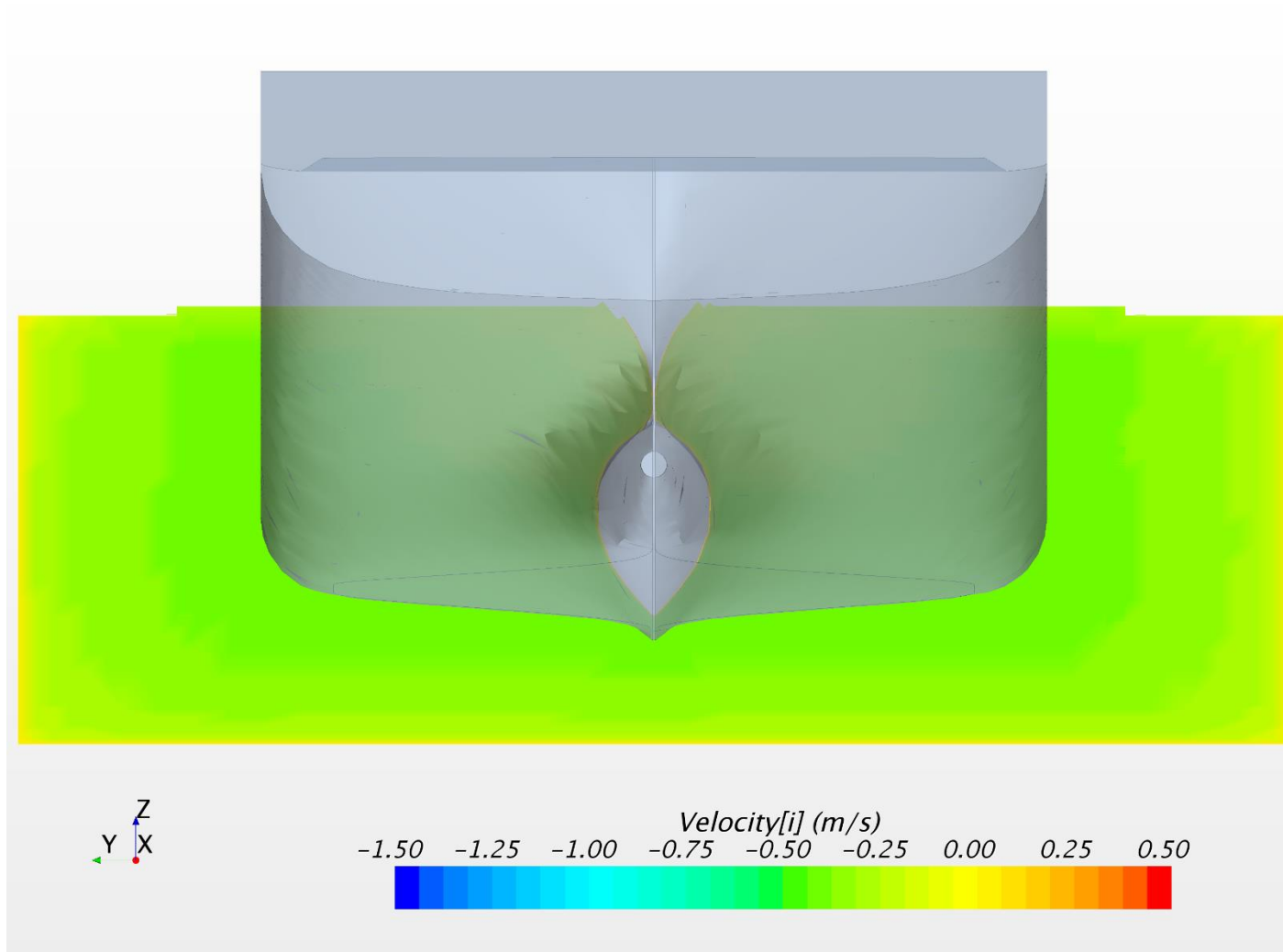
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



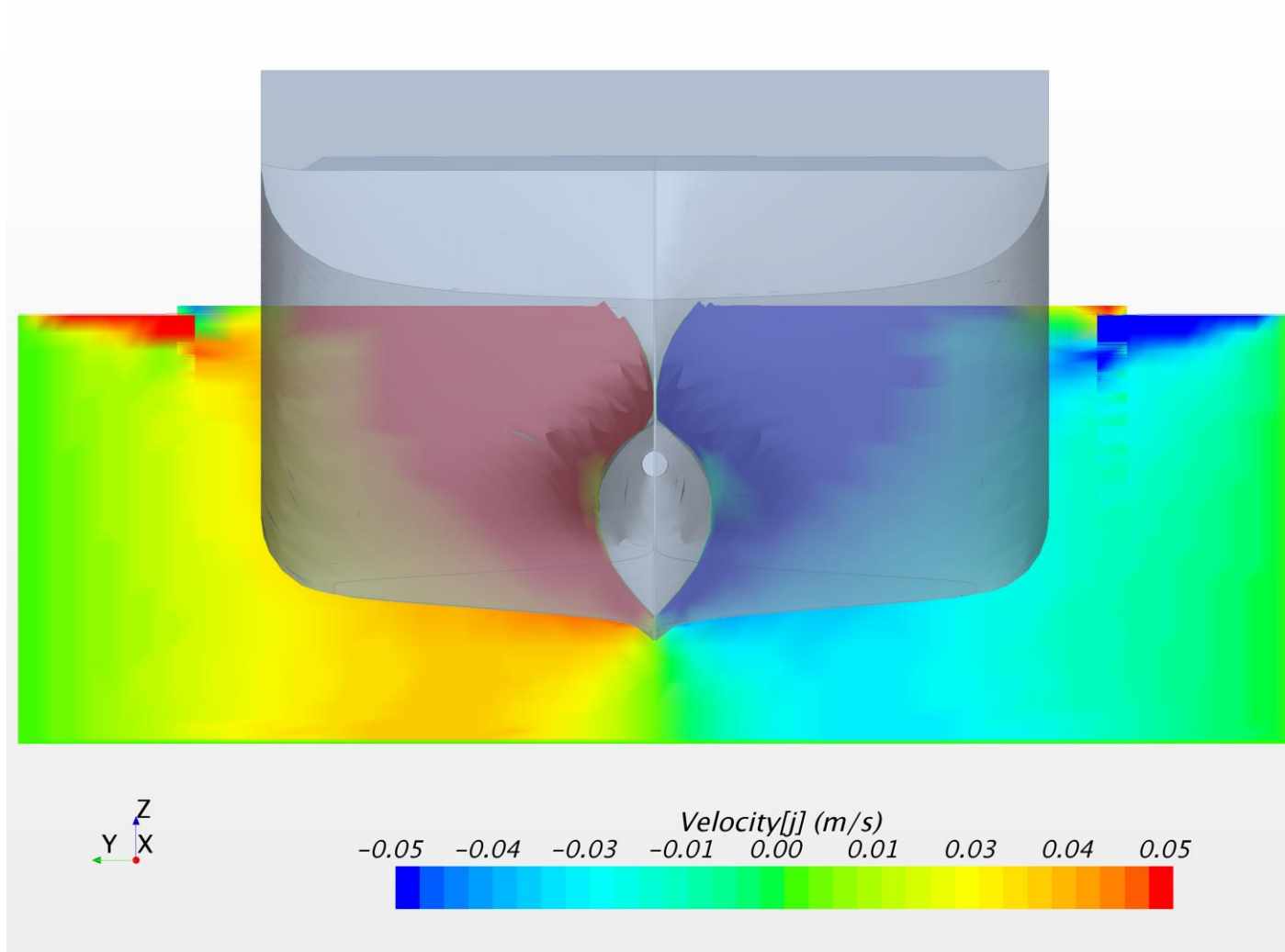
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



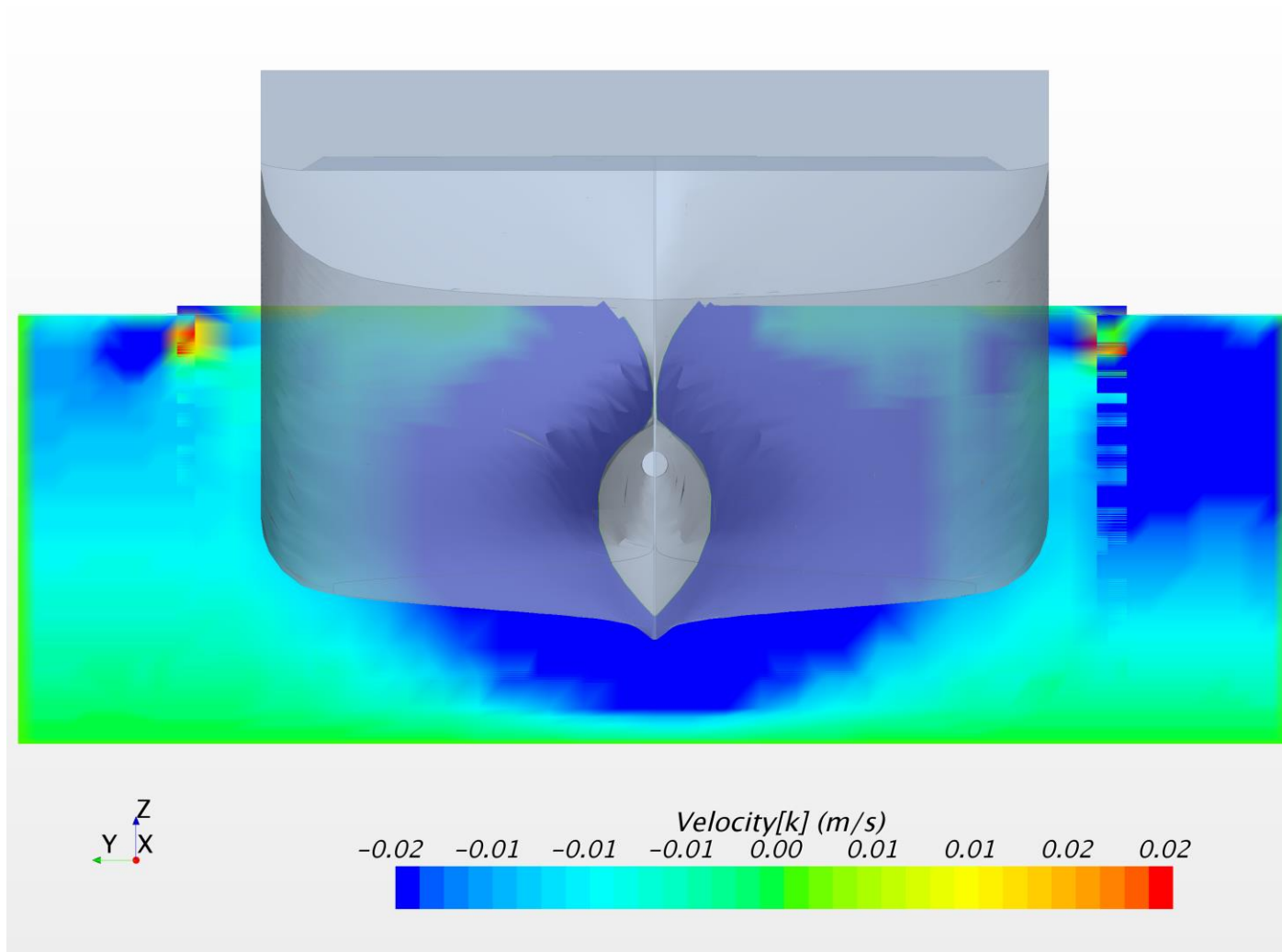
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



APPENDIX E

Resultater af CFD Beregninger

Model DTC

Kondition: Tæt på fender

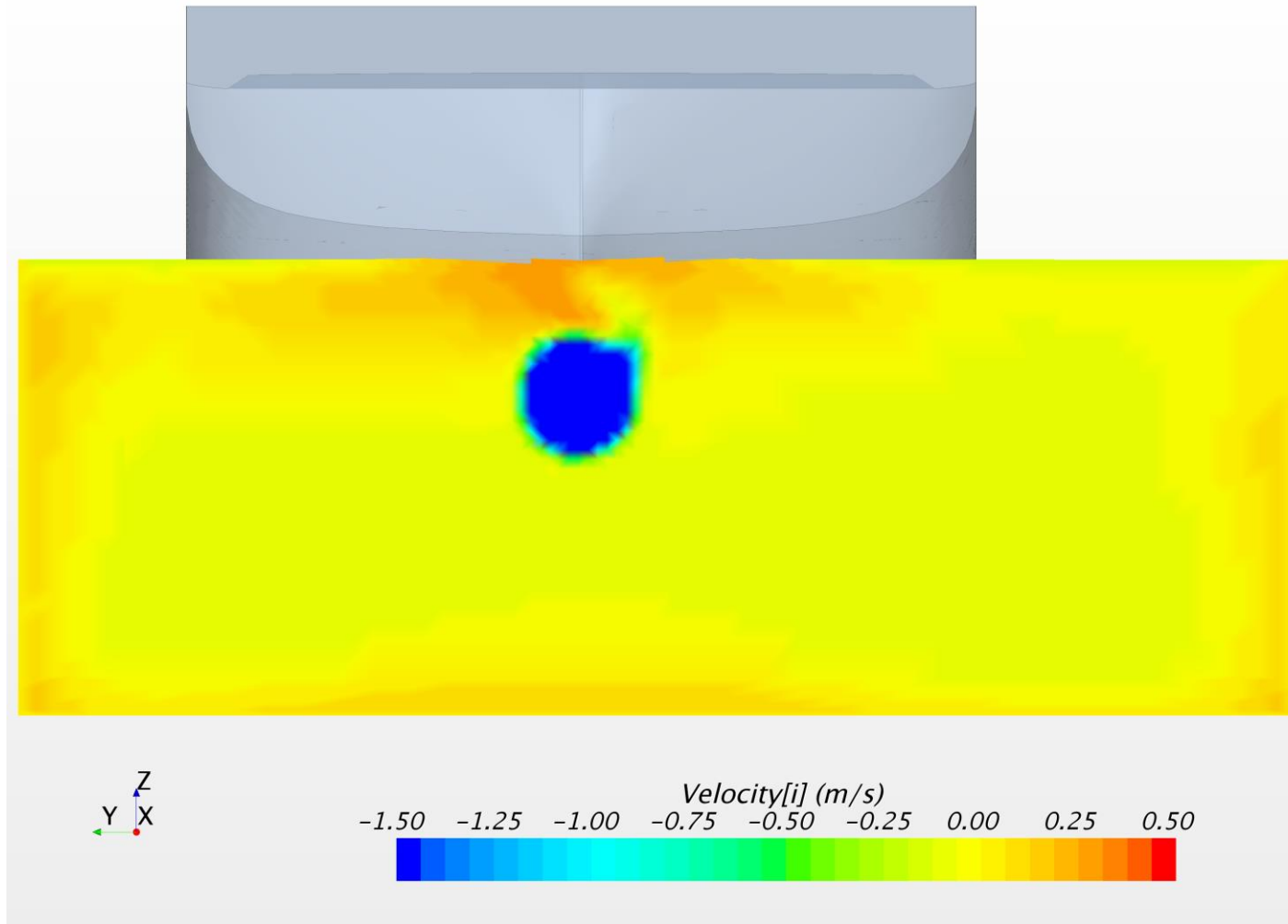
Uden Søjler

Vanddybde: 13.21m

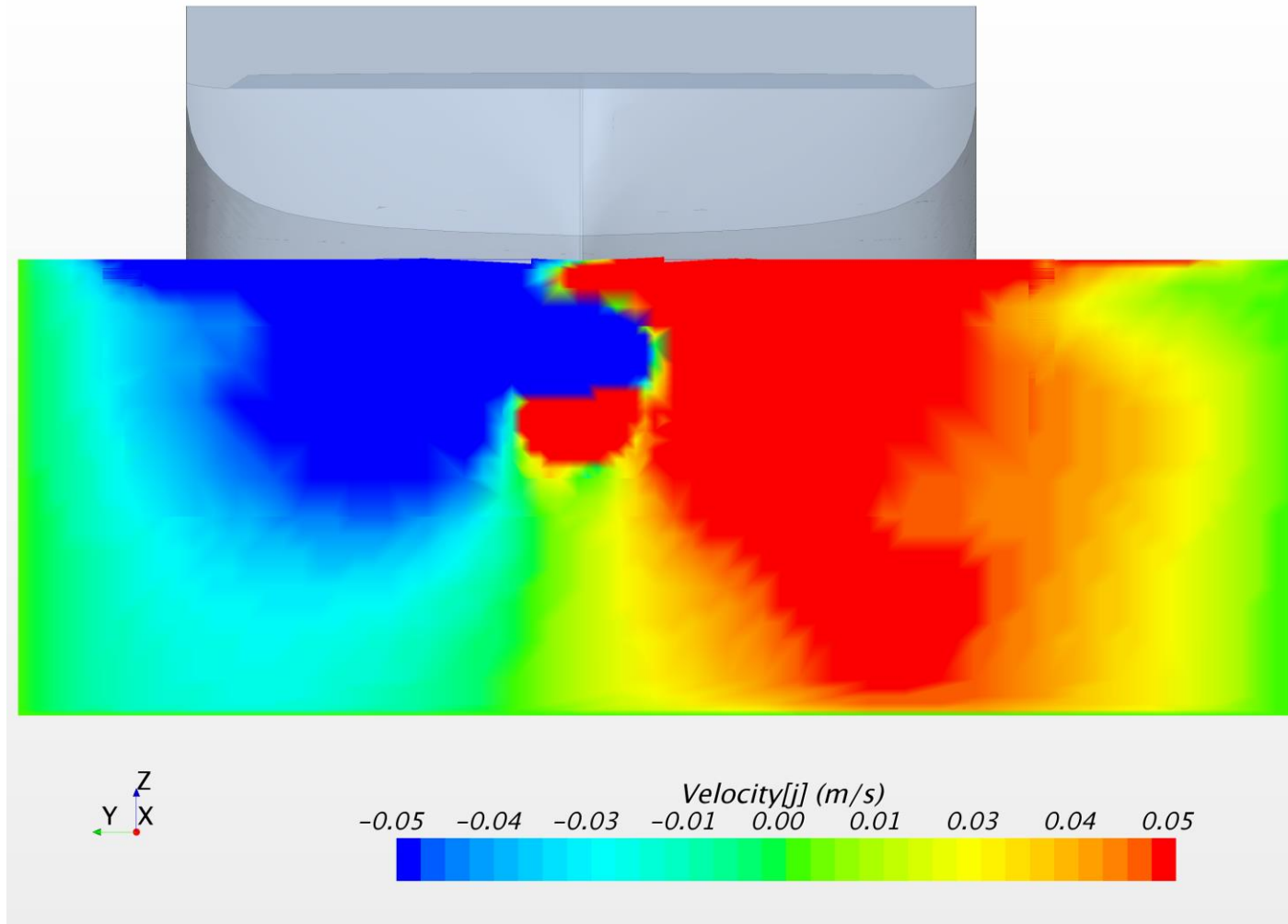
2kn modstrøm eller uden strøm

Skibshastighed: 2; 3; 4kn

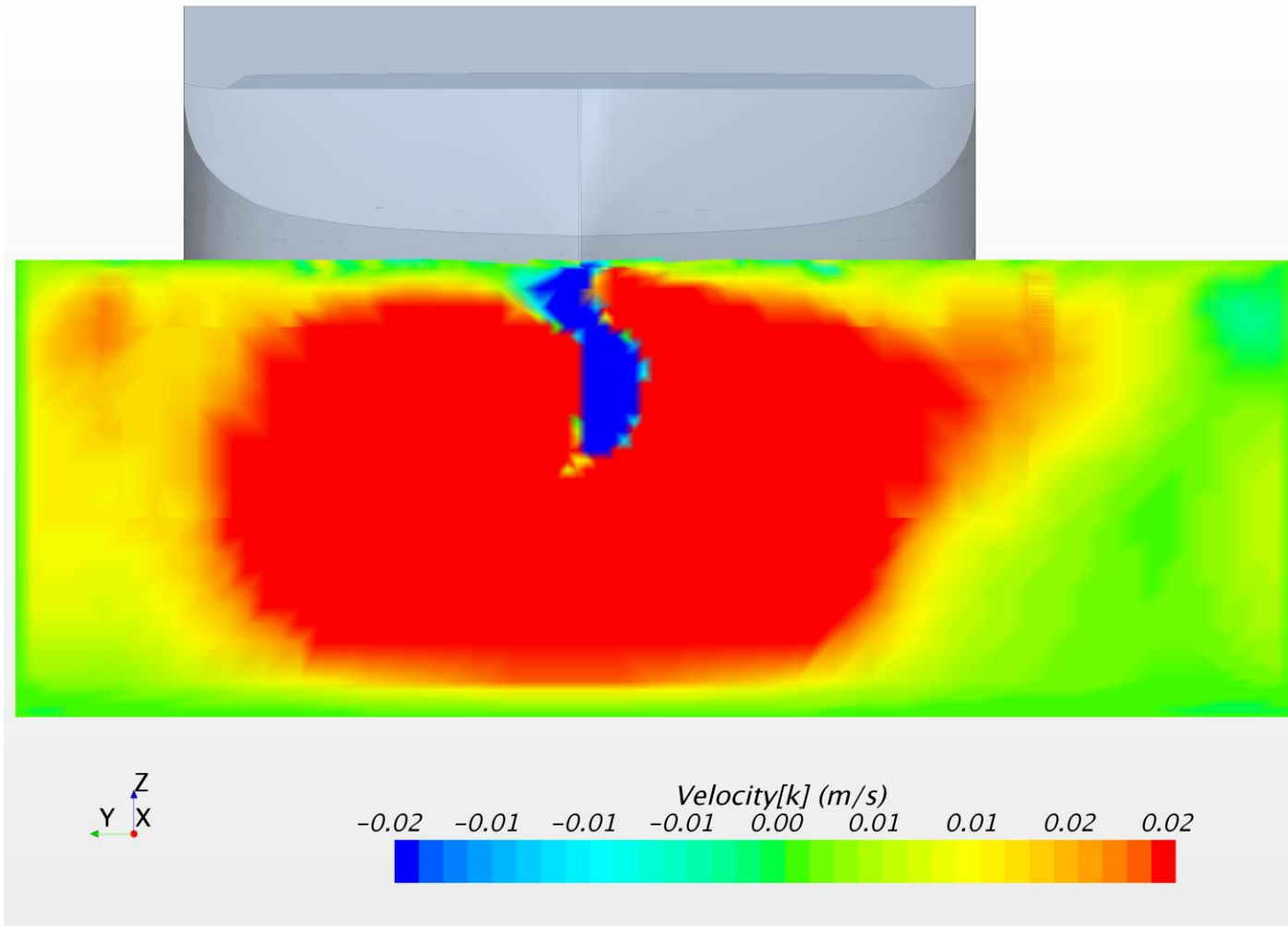
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



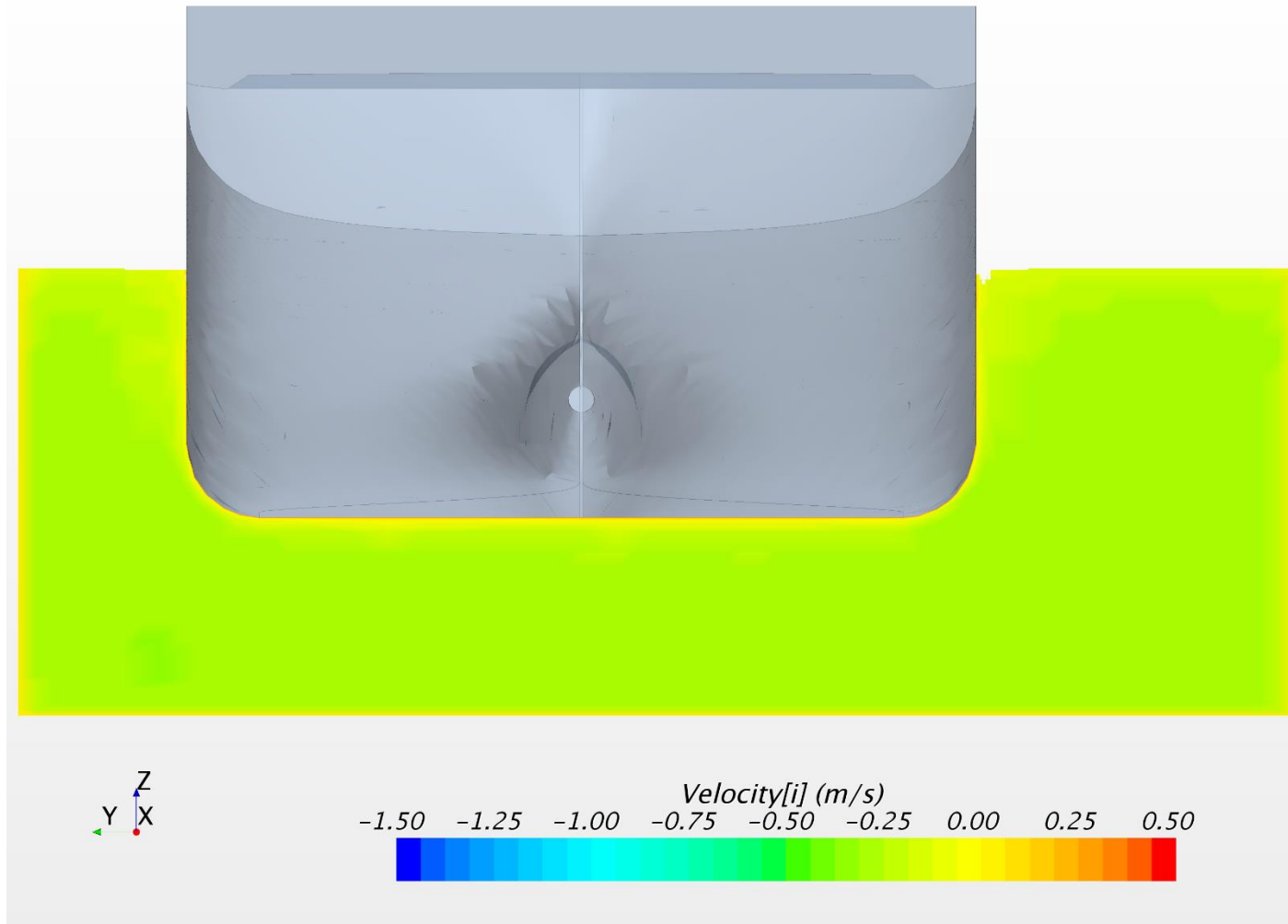
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved AP



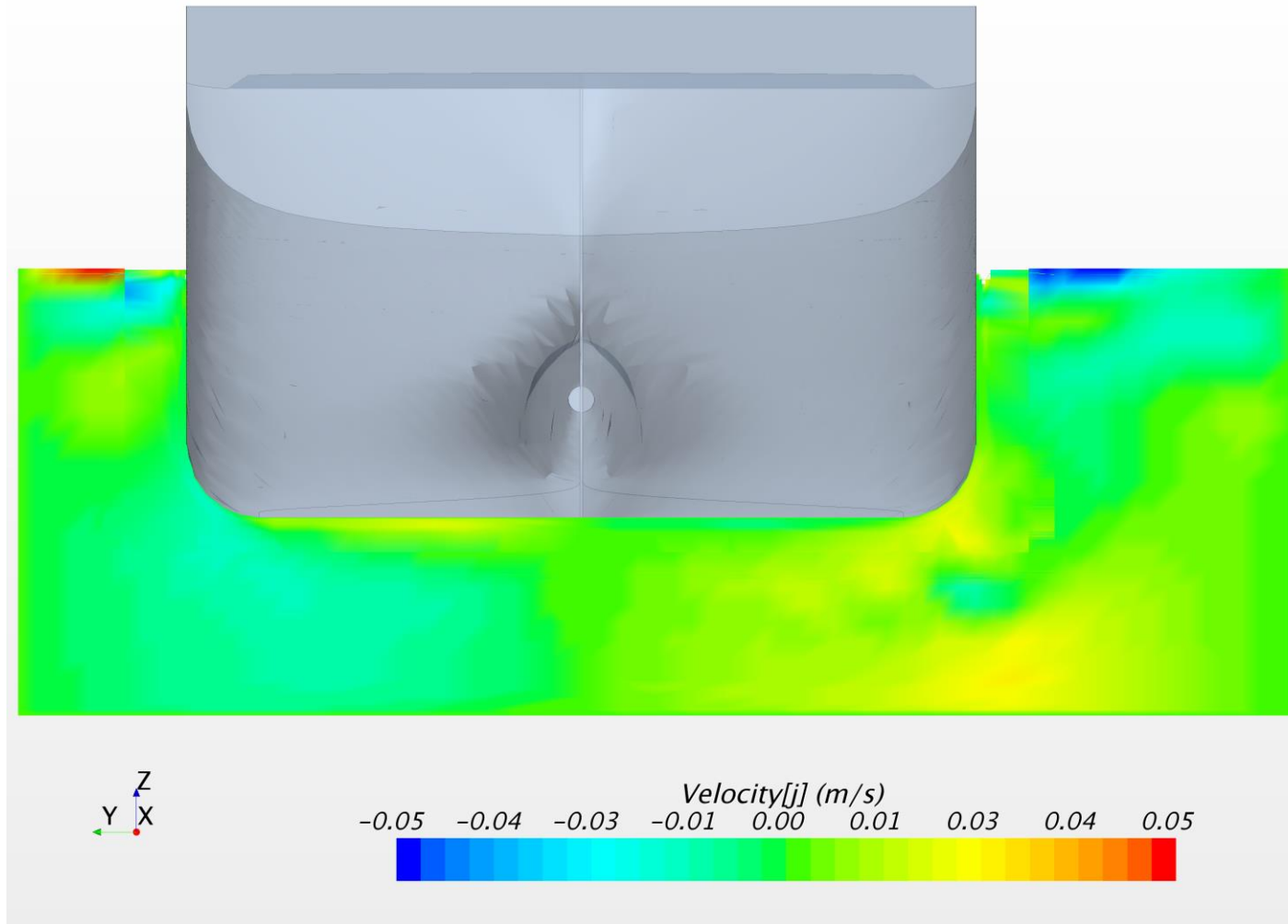
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



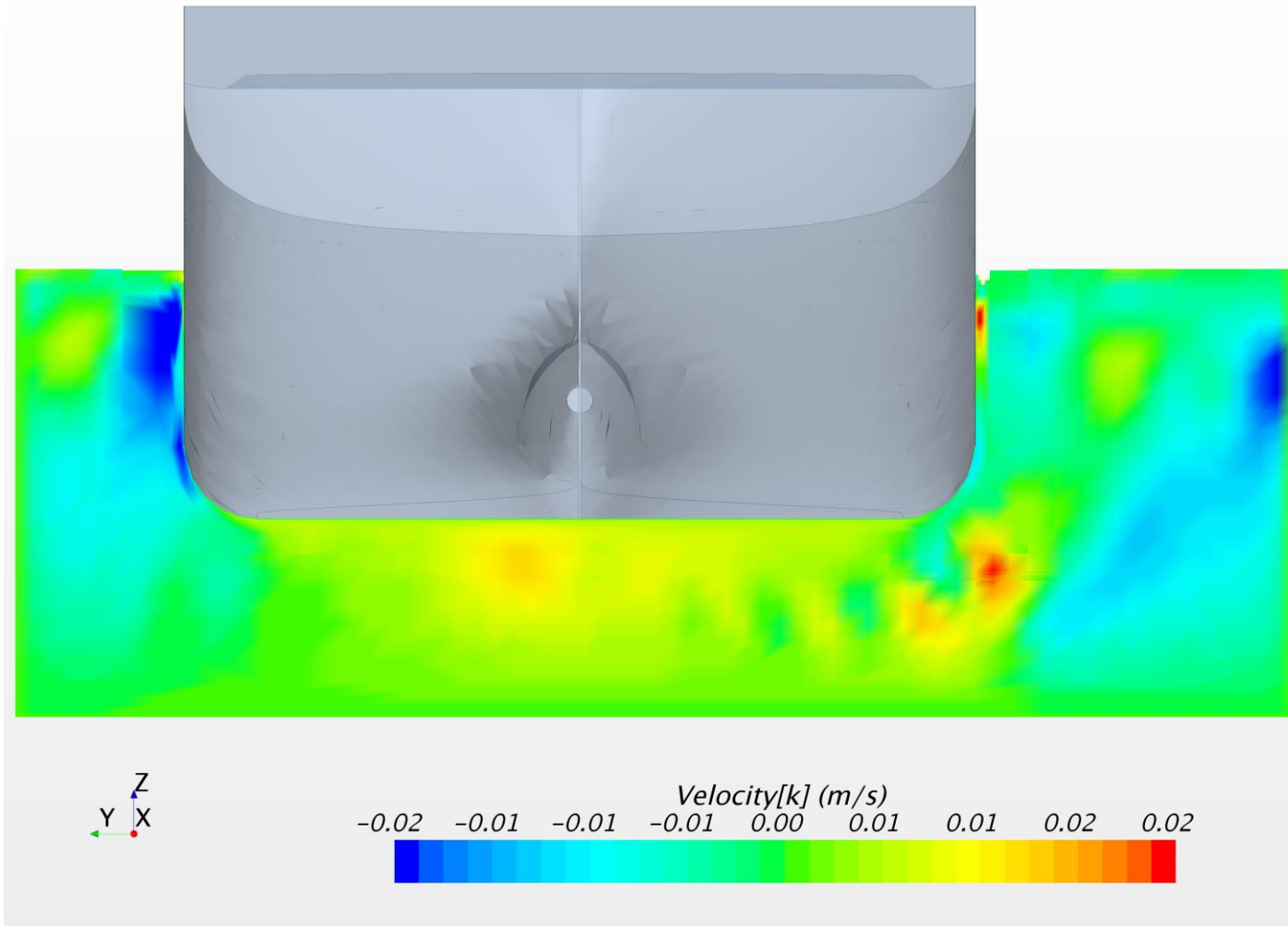
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



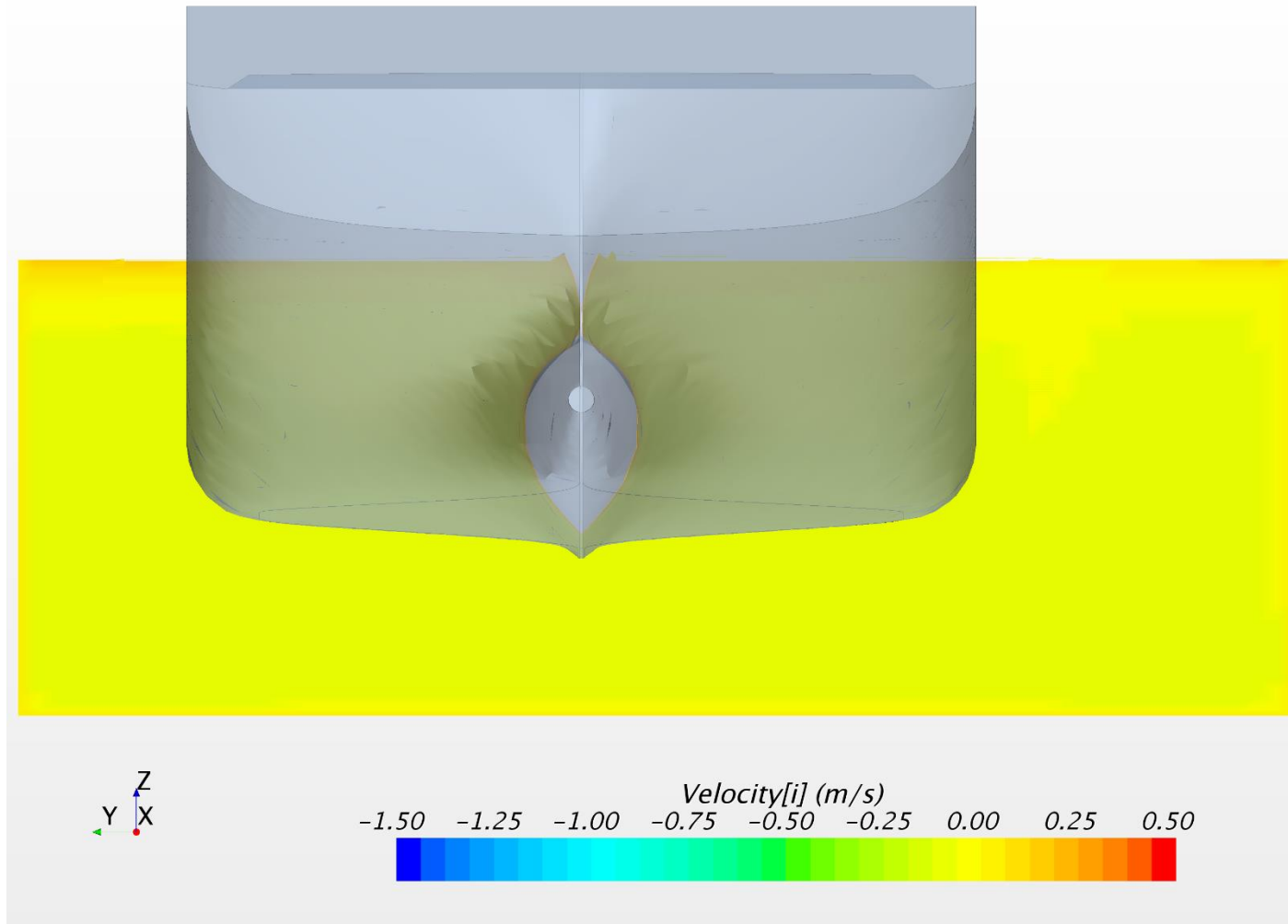
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved NK



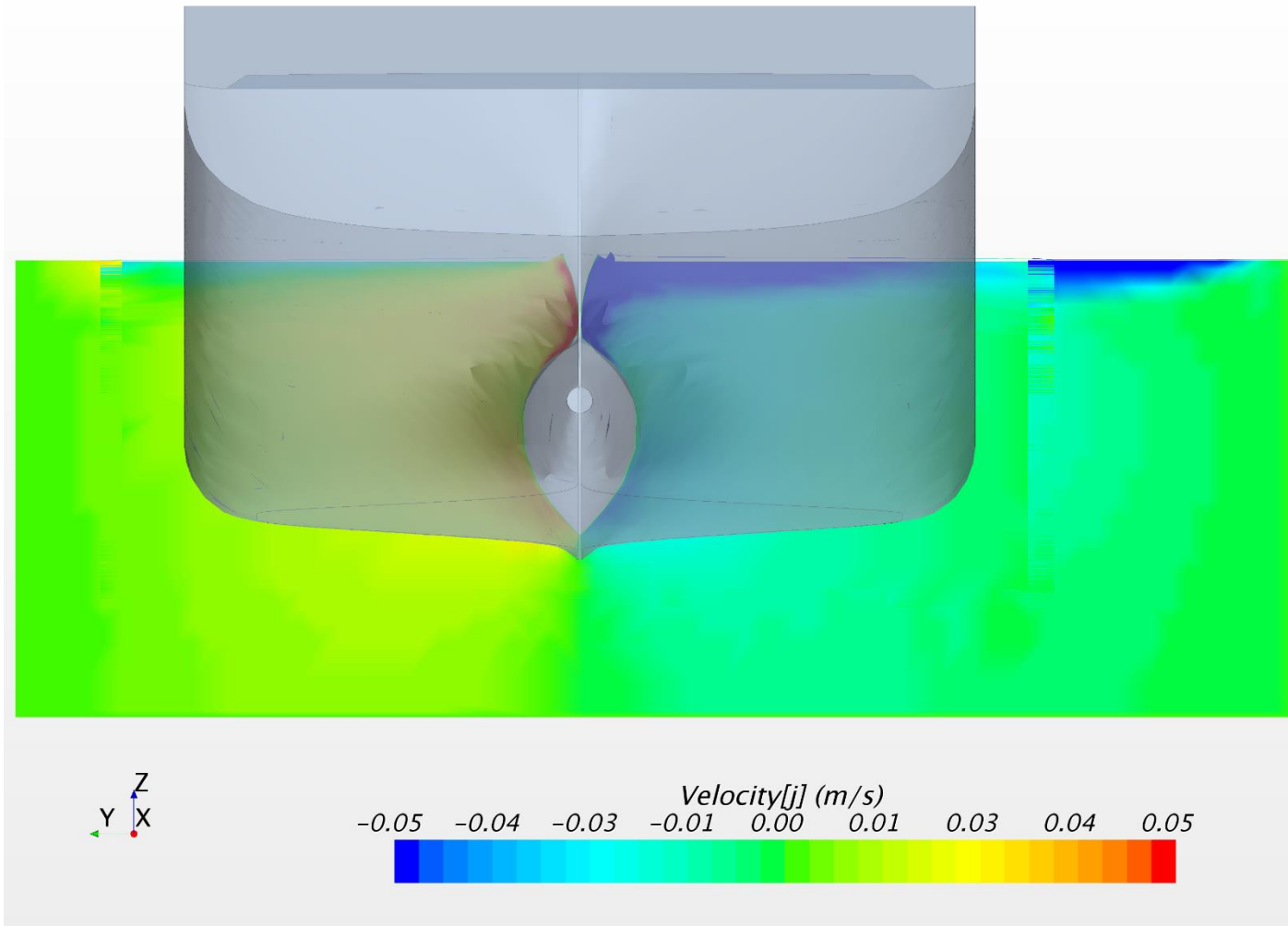
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



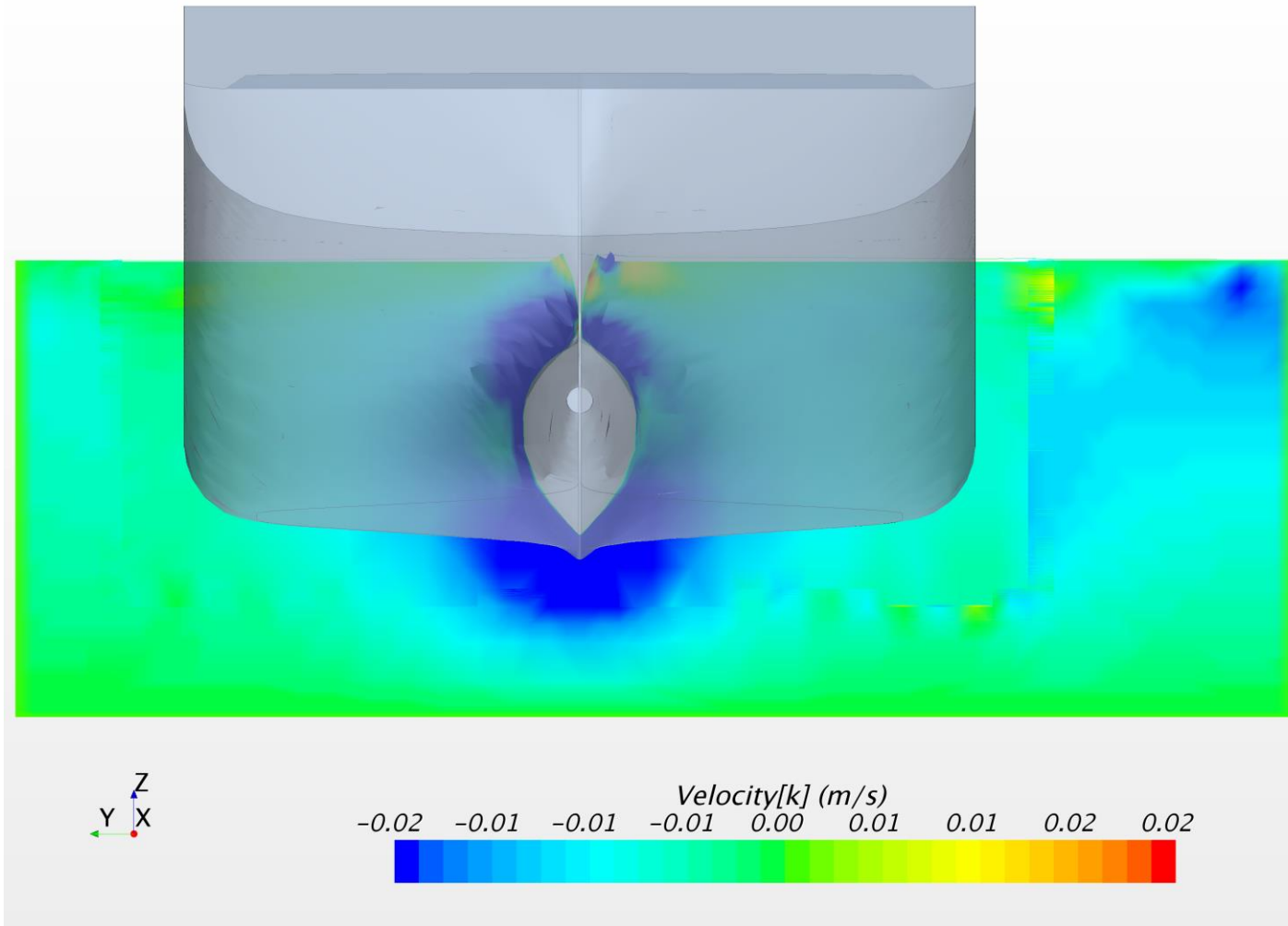
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



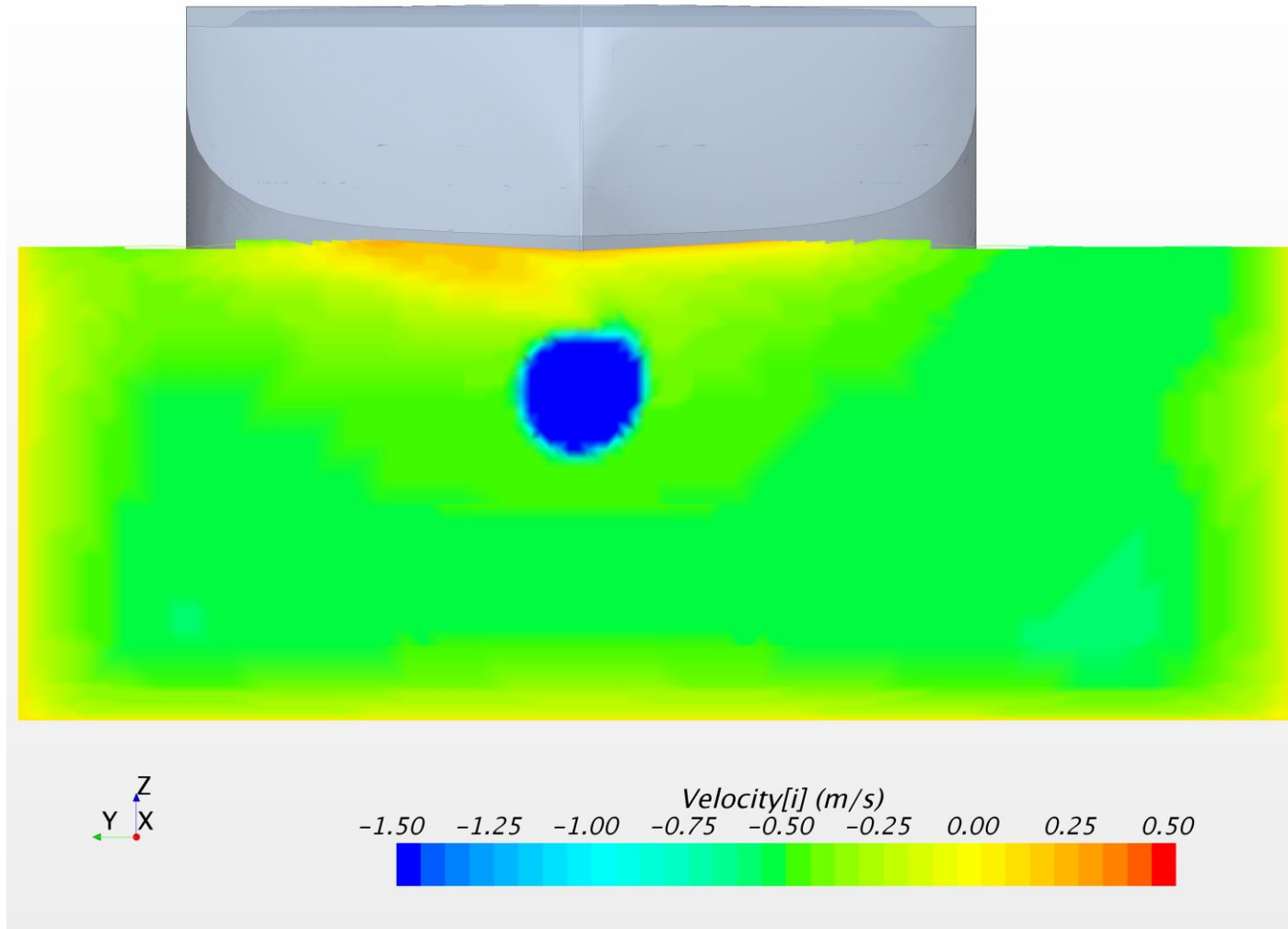
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved FP



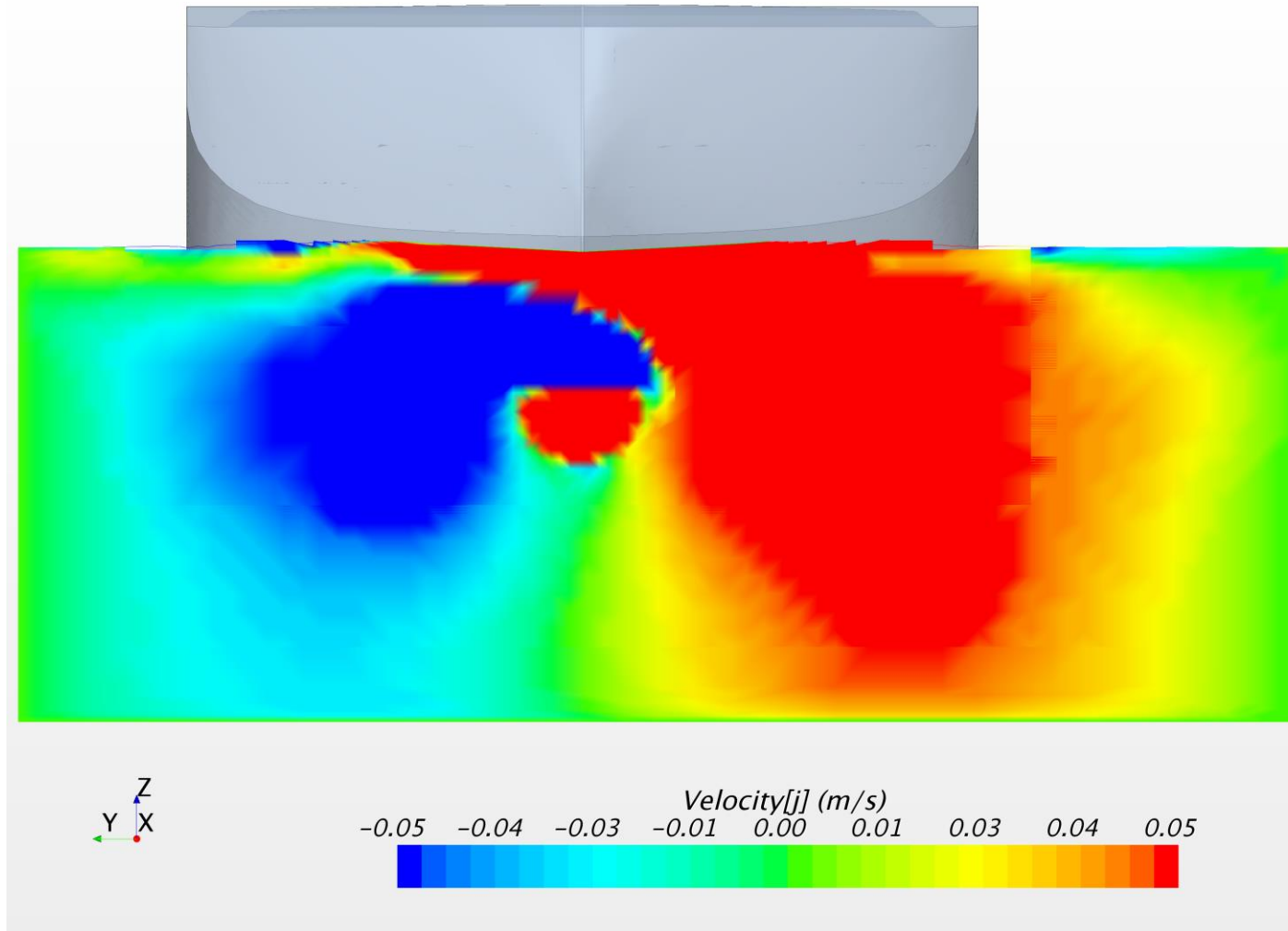
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



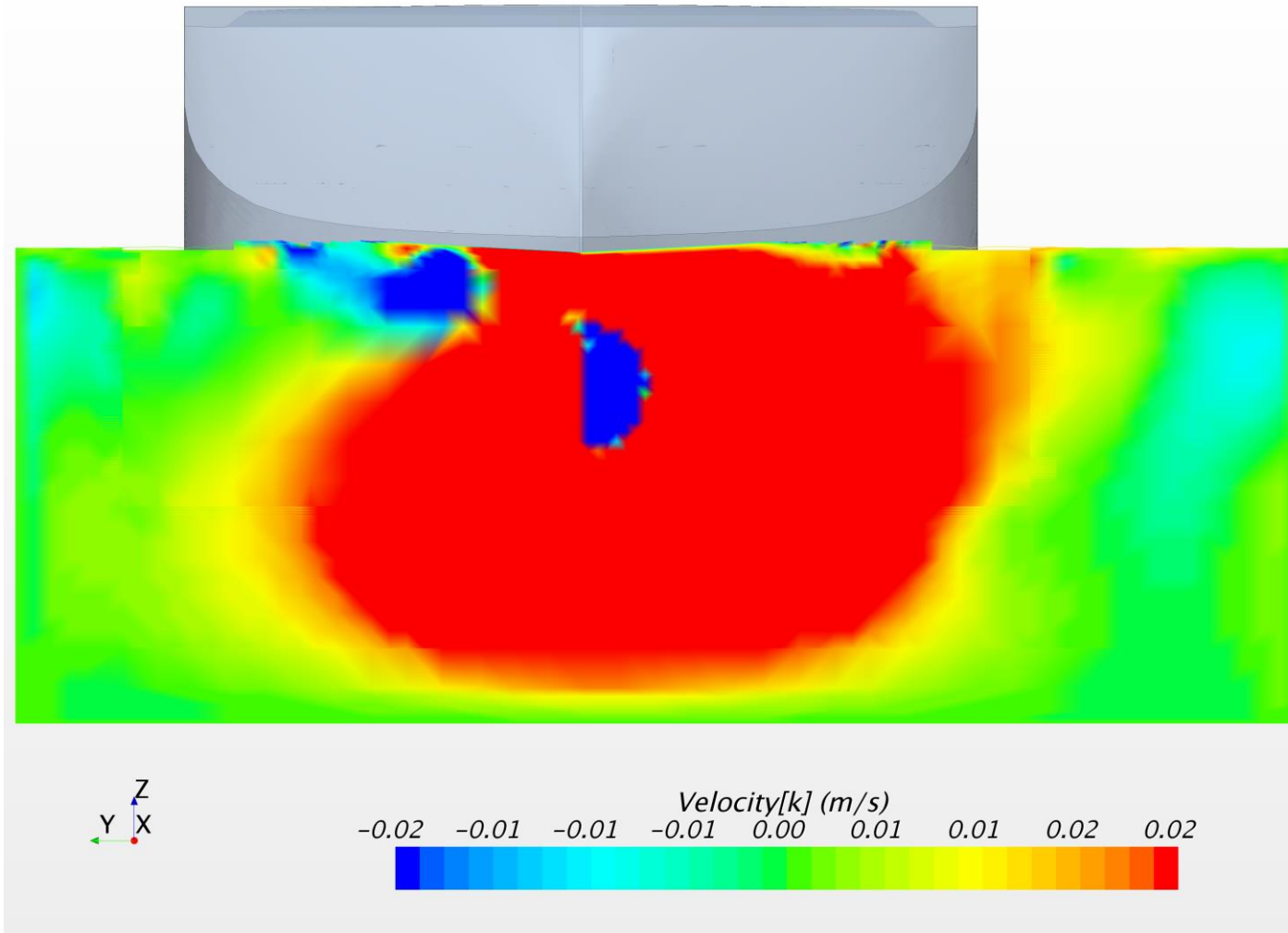
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



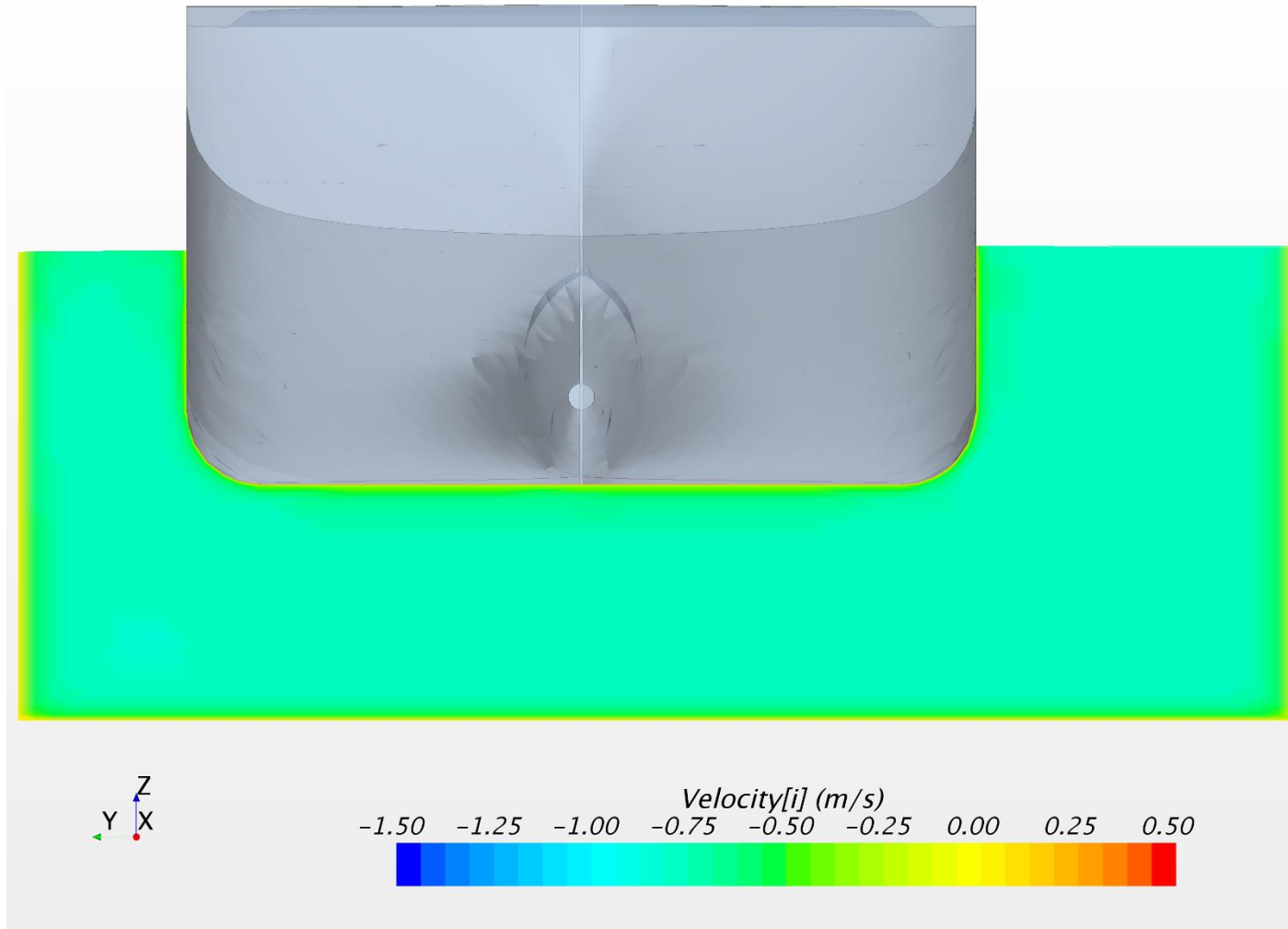
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved AP



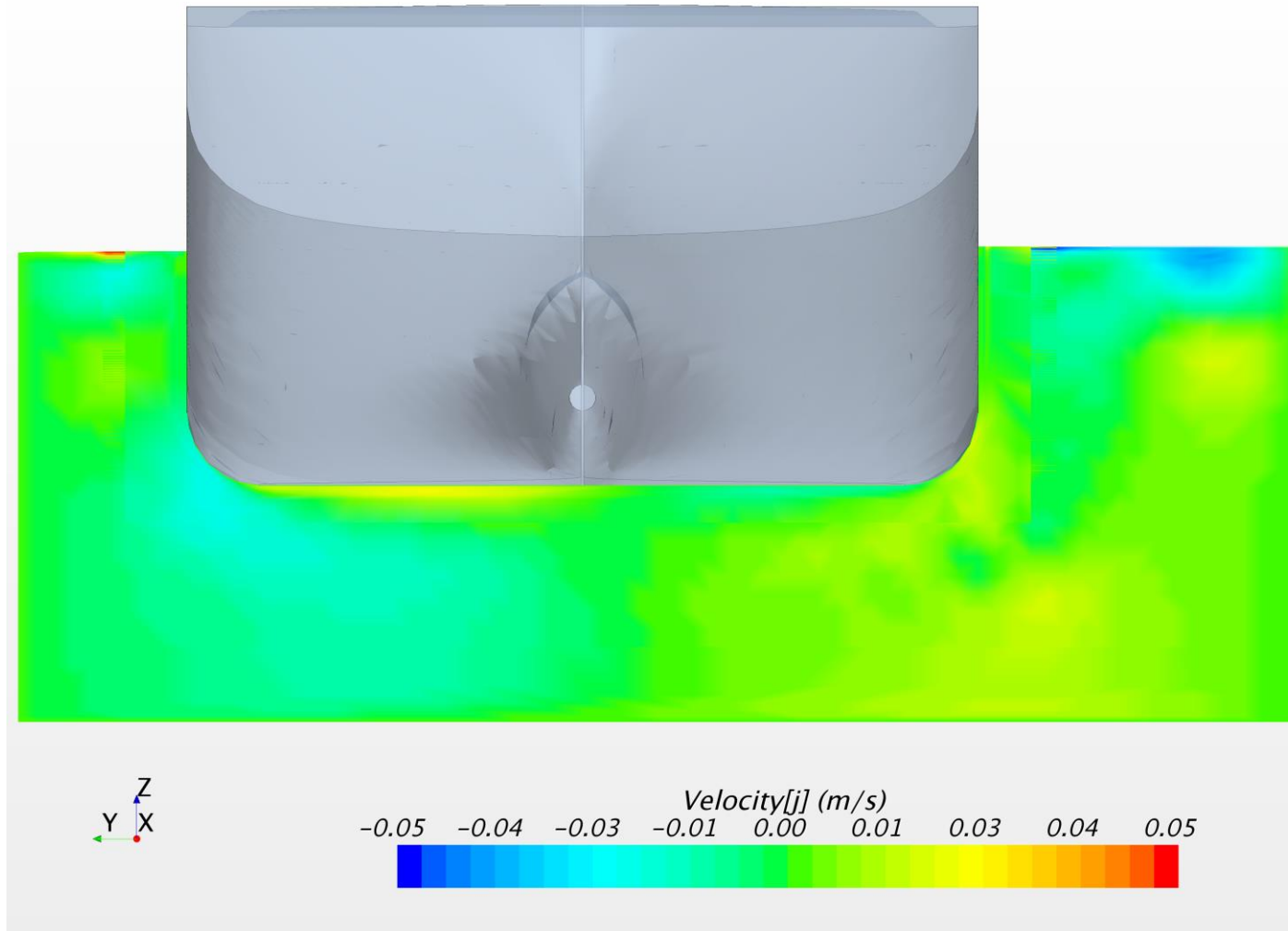
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



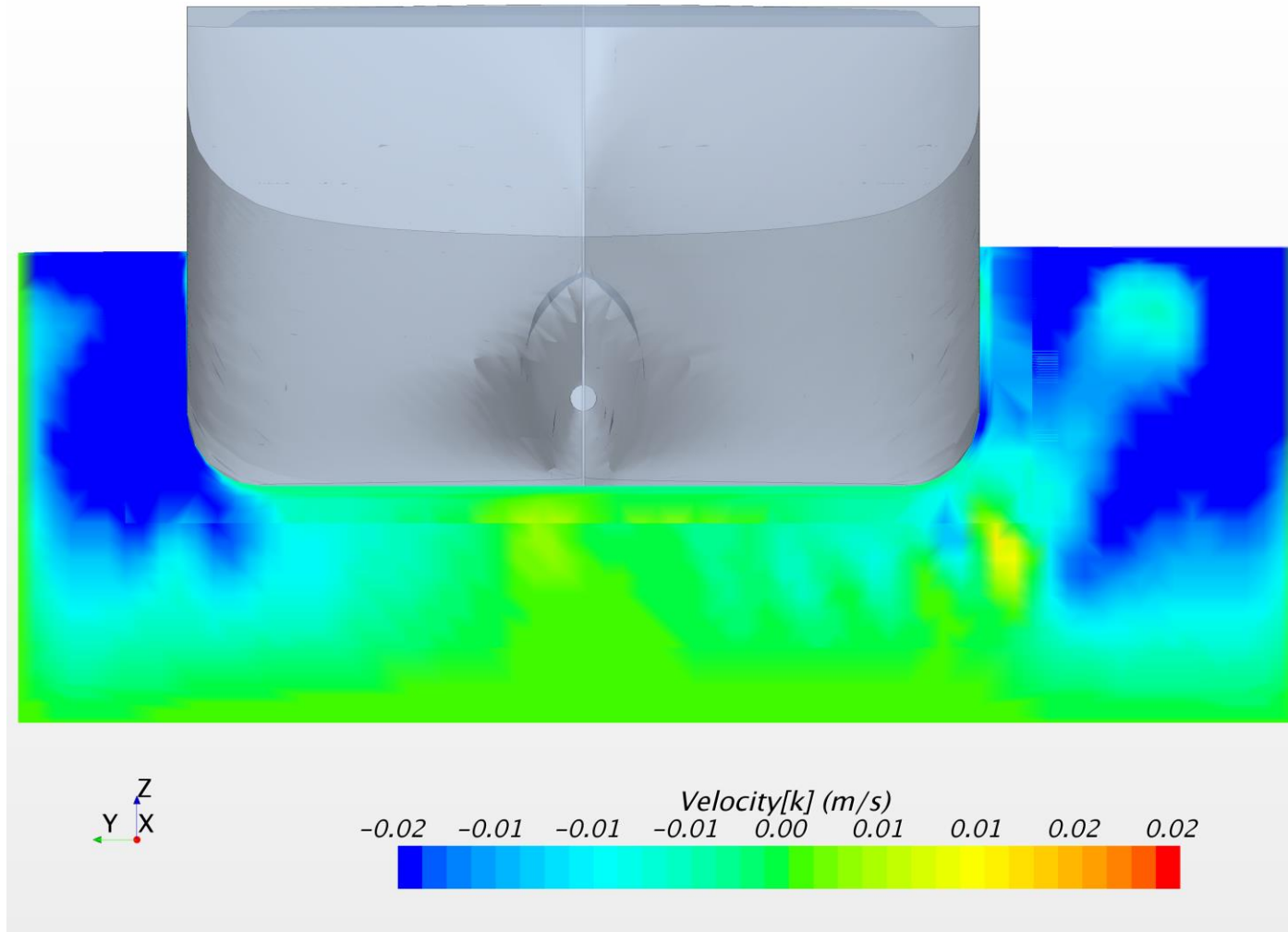
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



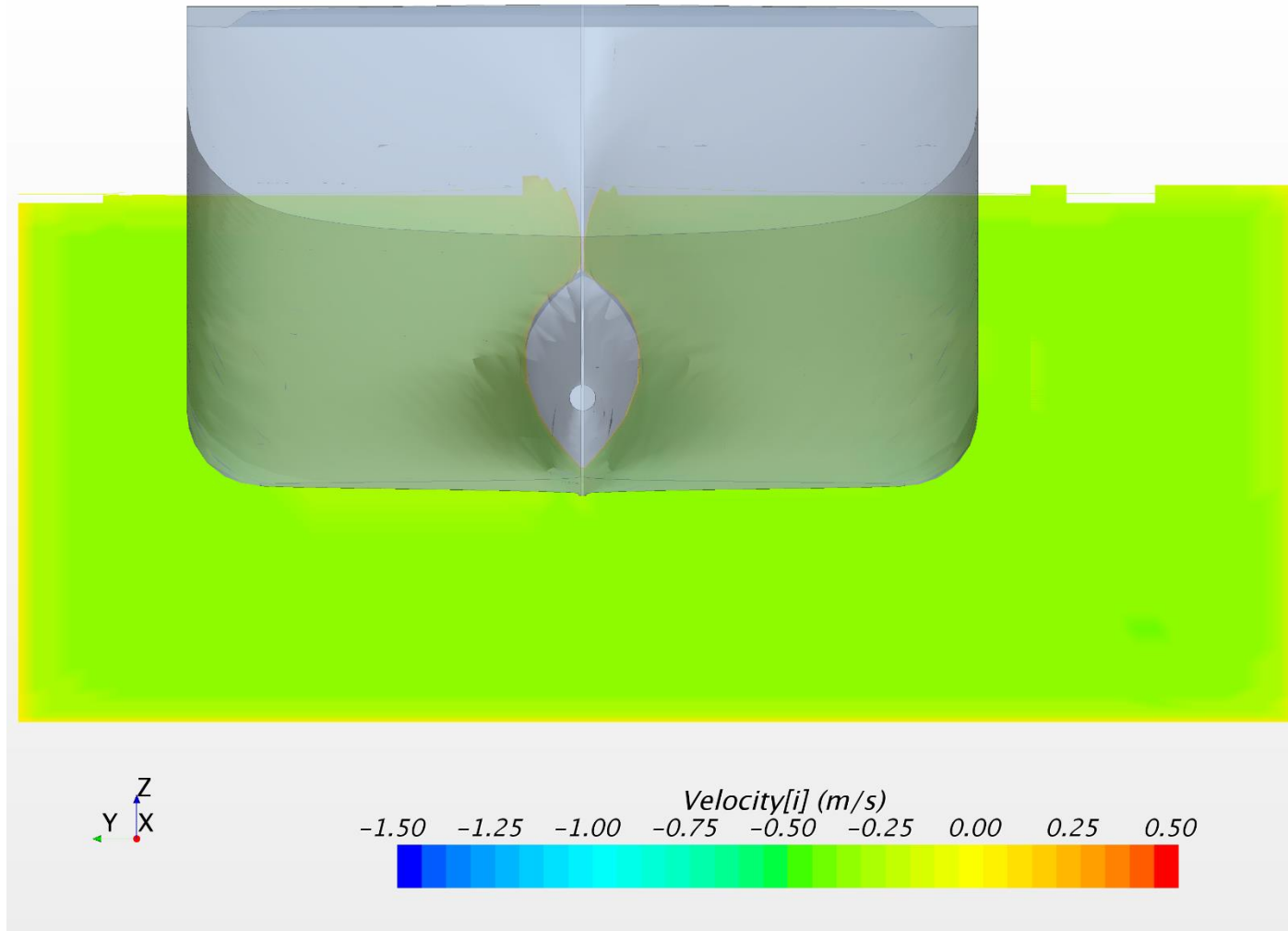
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved NK



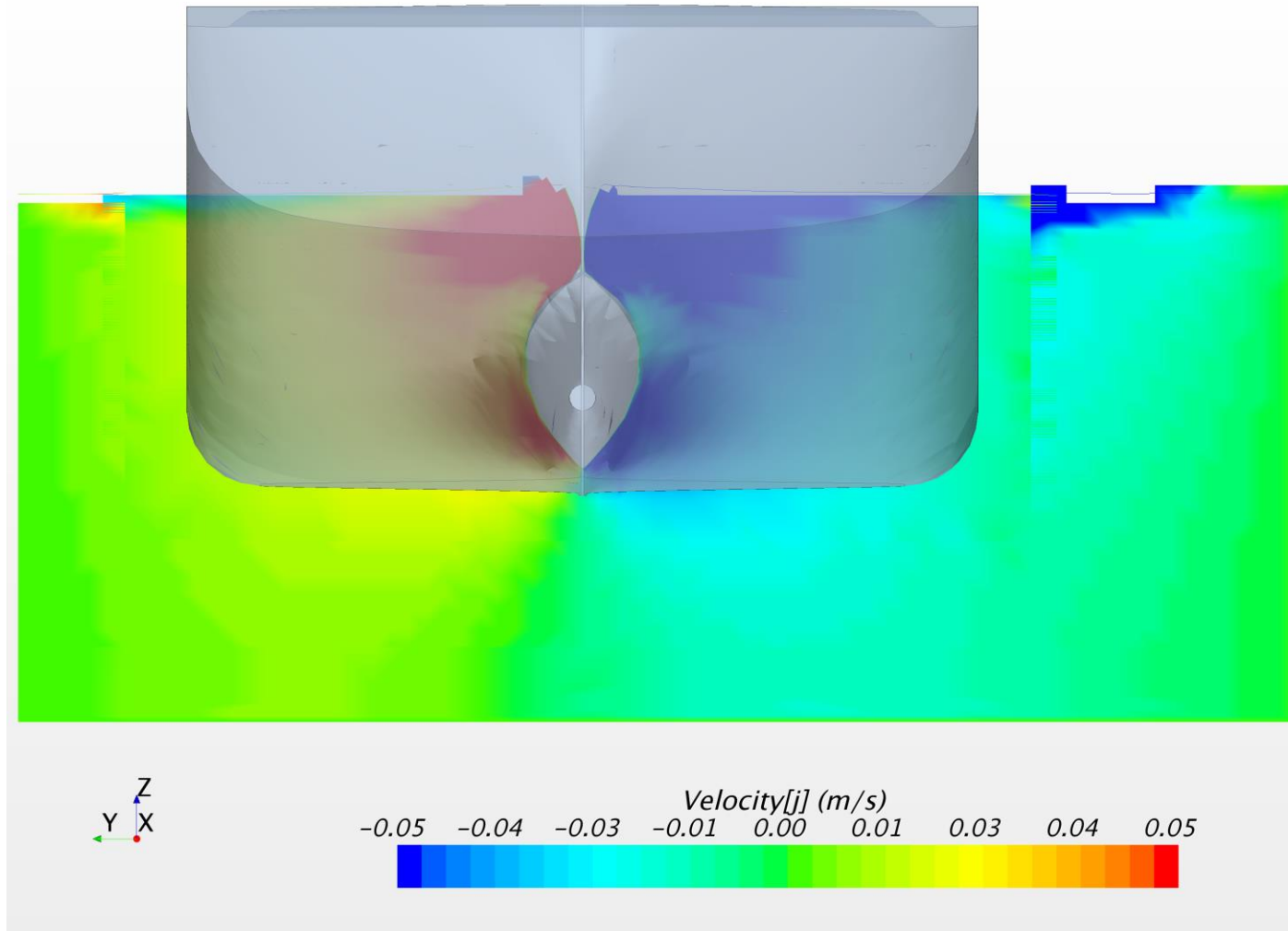
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



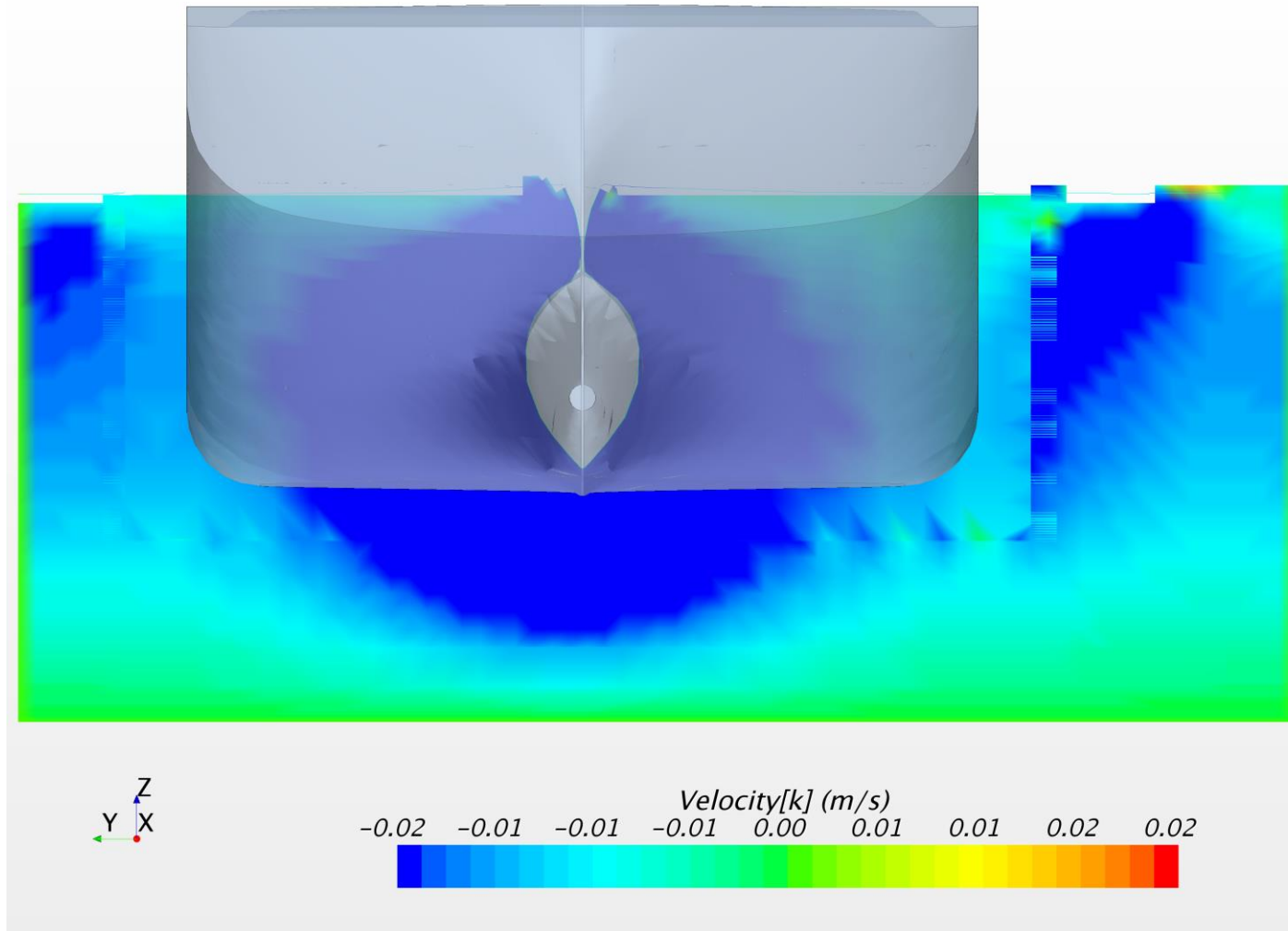
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved FP



Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



APPENDIX F

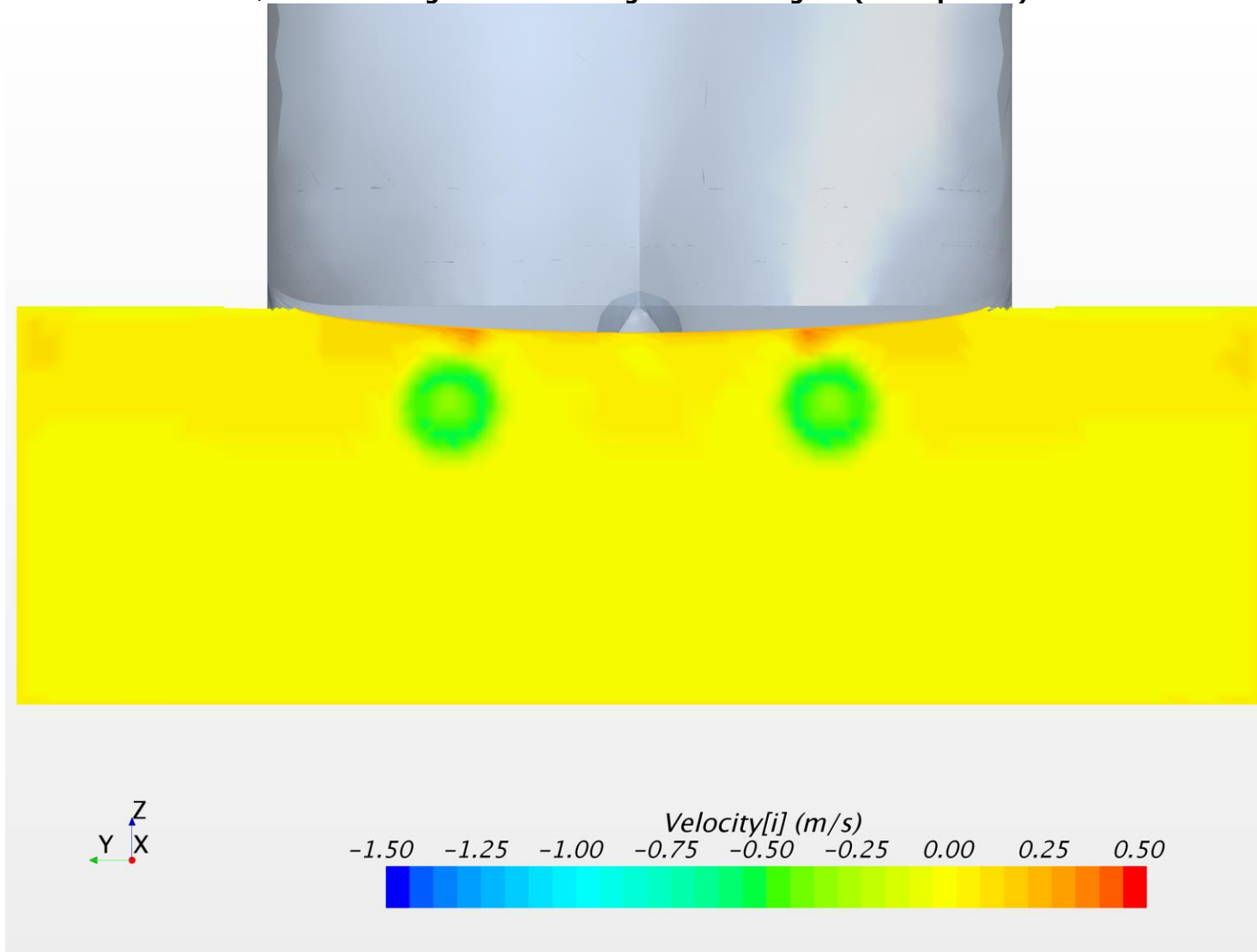
Resultater af CFD Beregninger

**Model Midnatsol
Kondition: Centeret
Uden Søjler
Vanddybde: 12.00m**

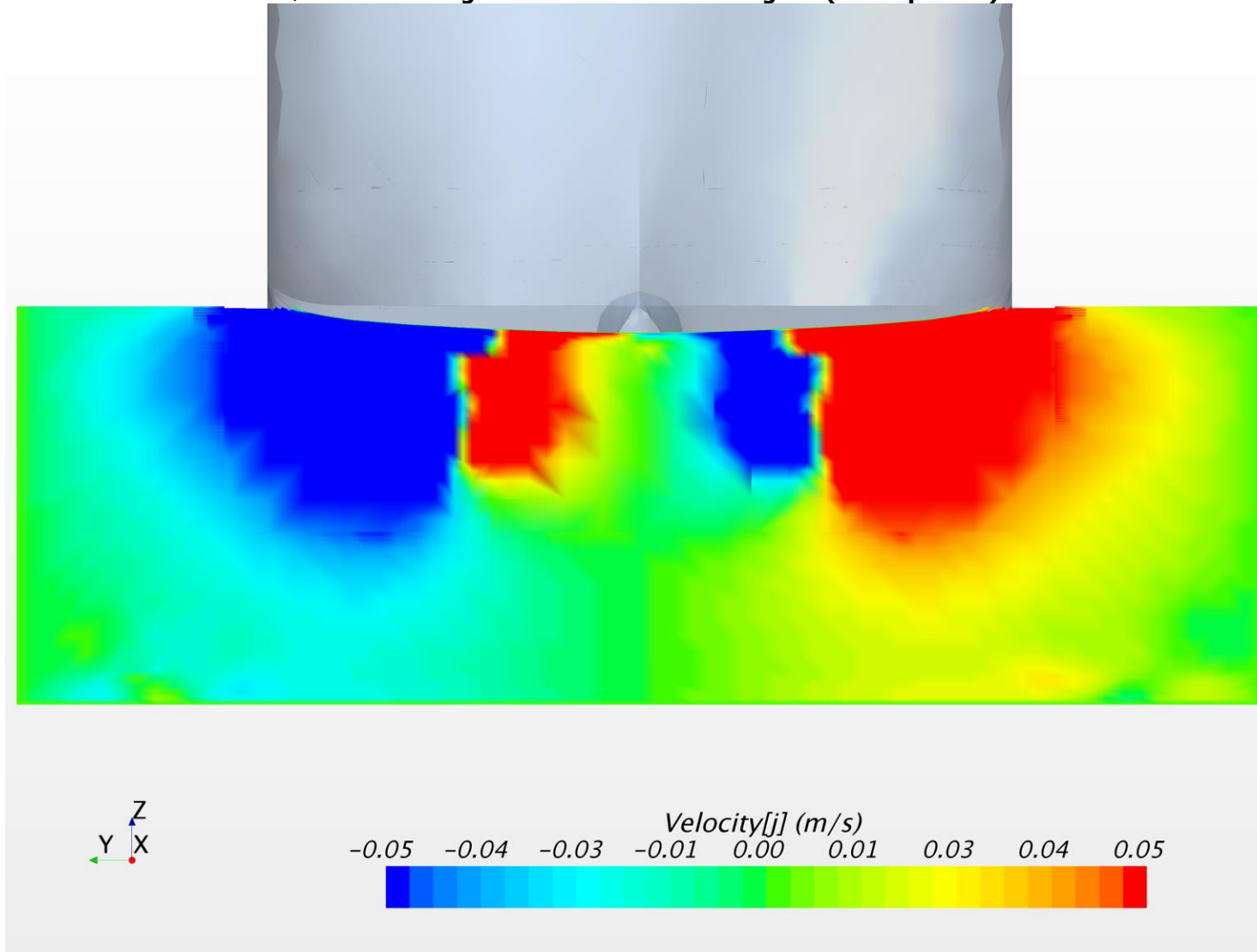
2kn modstrøm eller uden strøm

Skibshastighed: 2; 3; 4kn

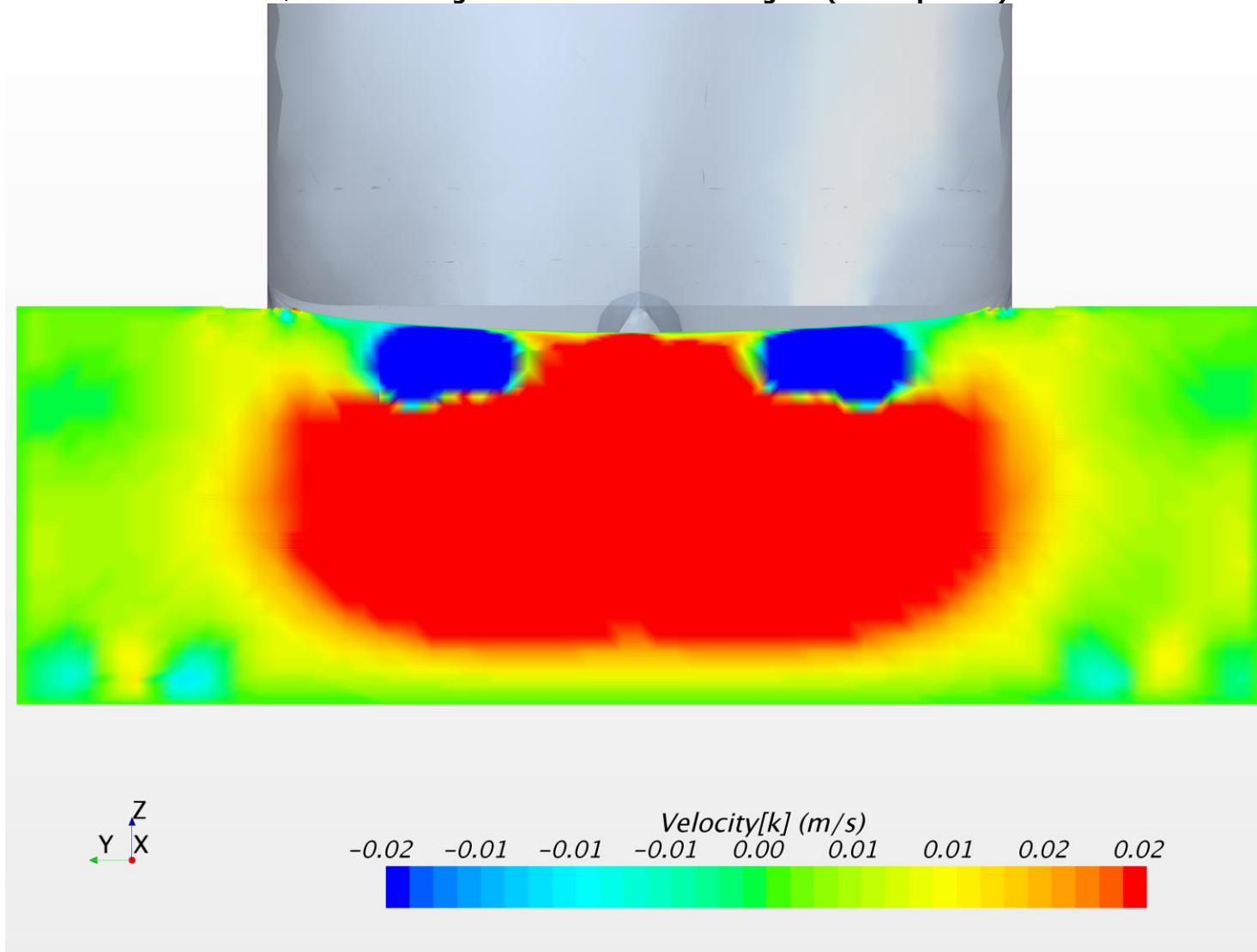
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



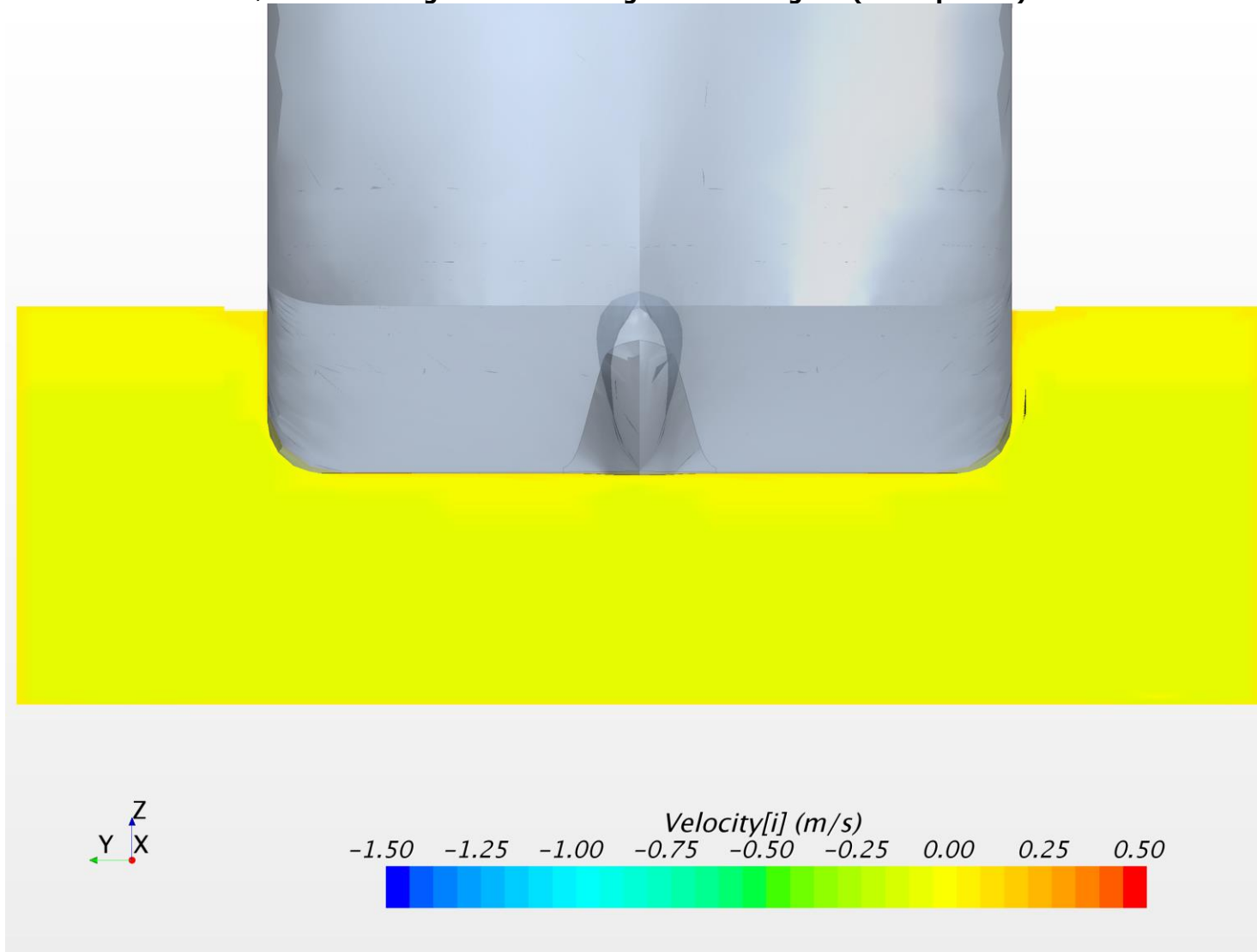
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Lateral hastighed (V komponent) ved AP



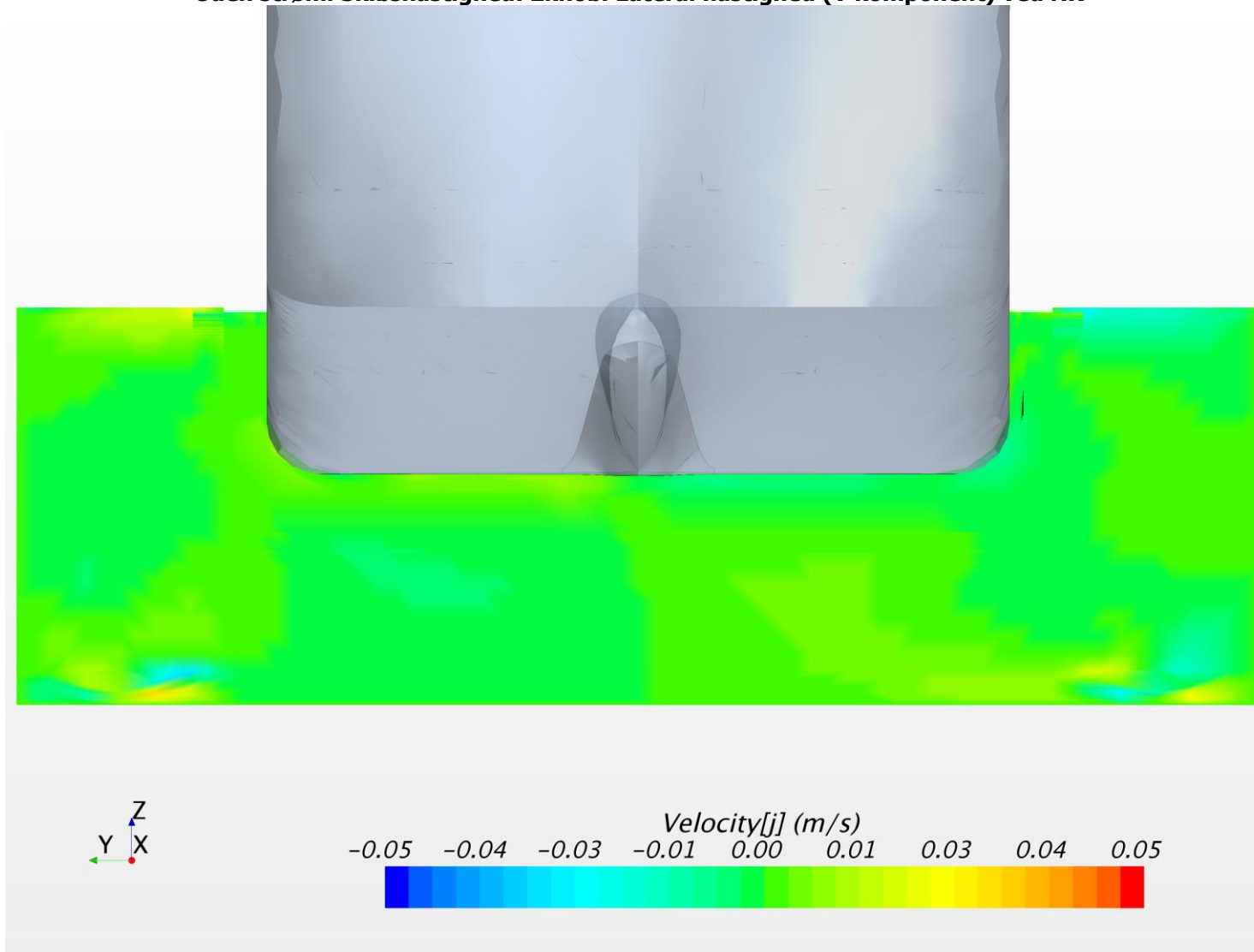
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



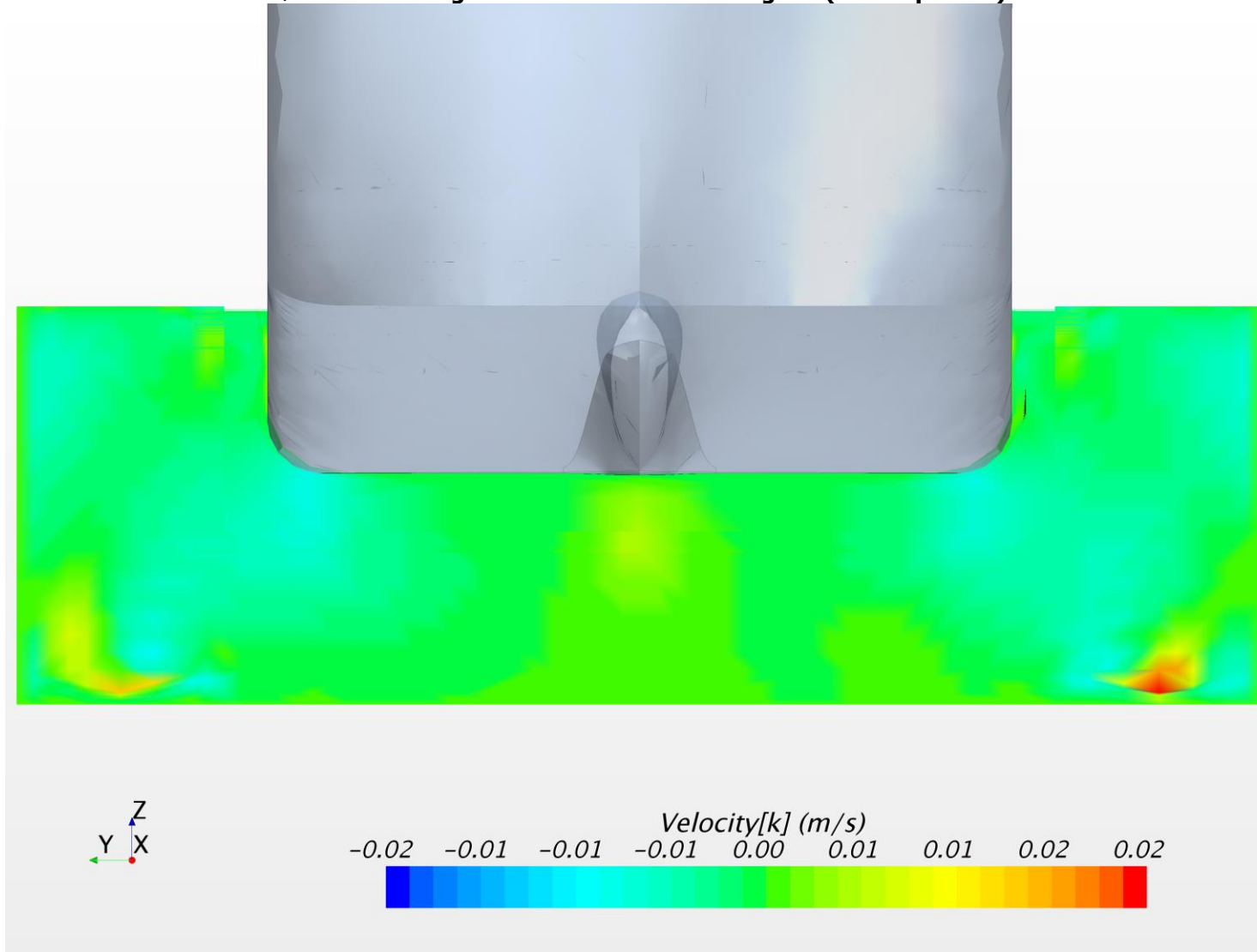
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



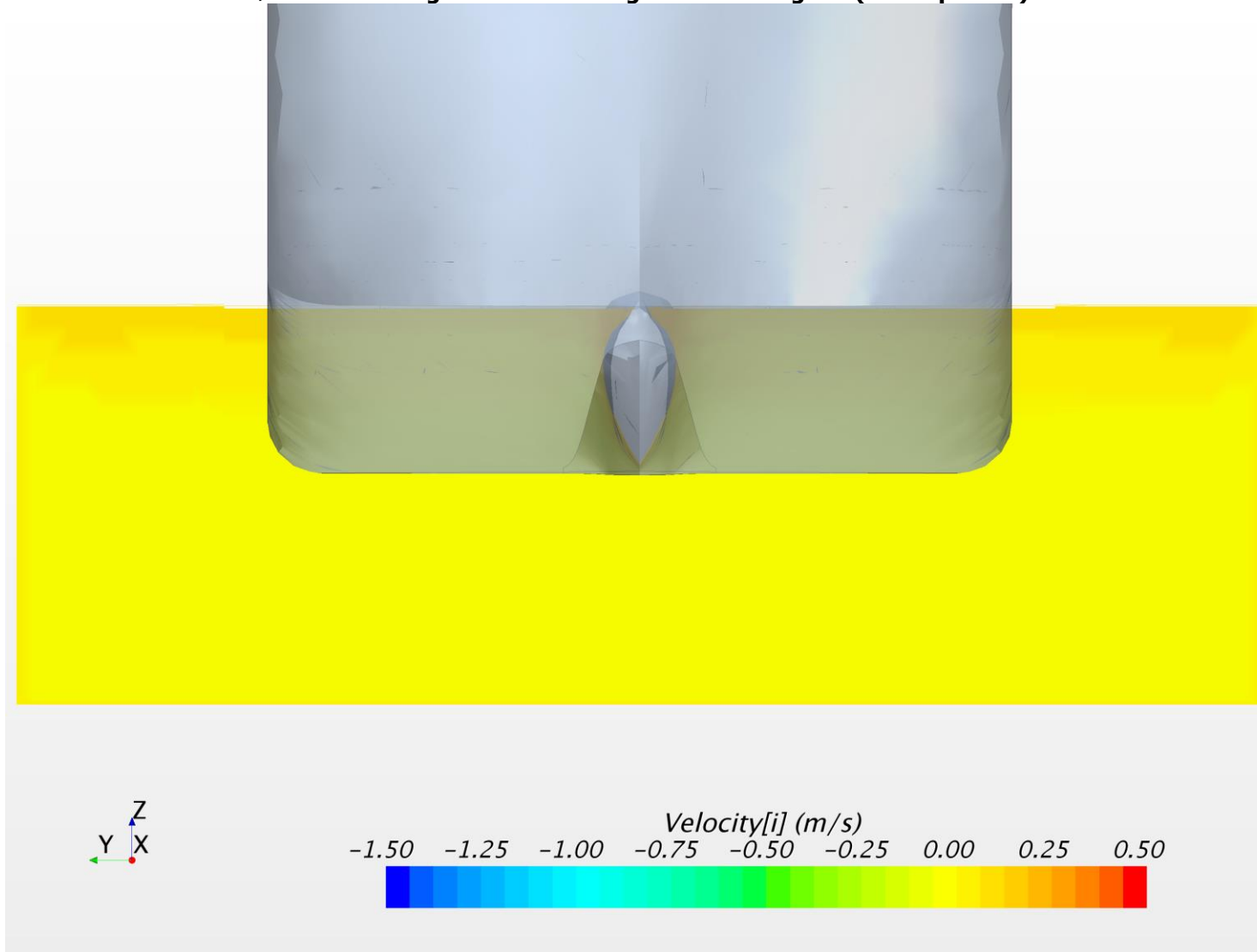
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Lateral hastighed (V komponent) ved NK



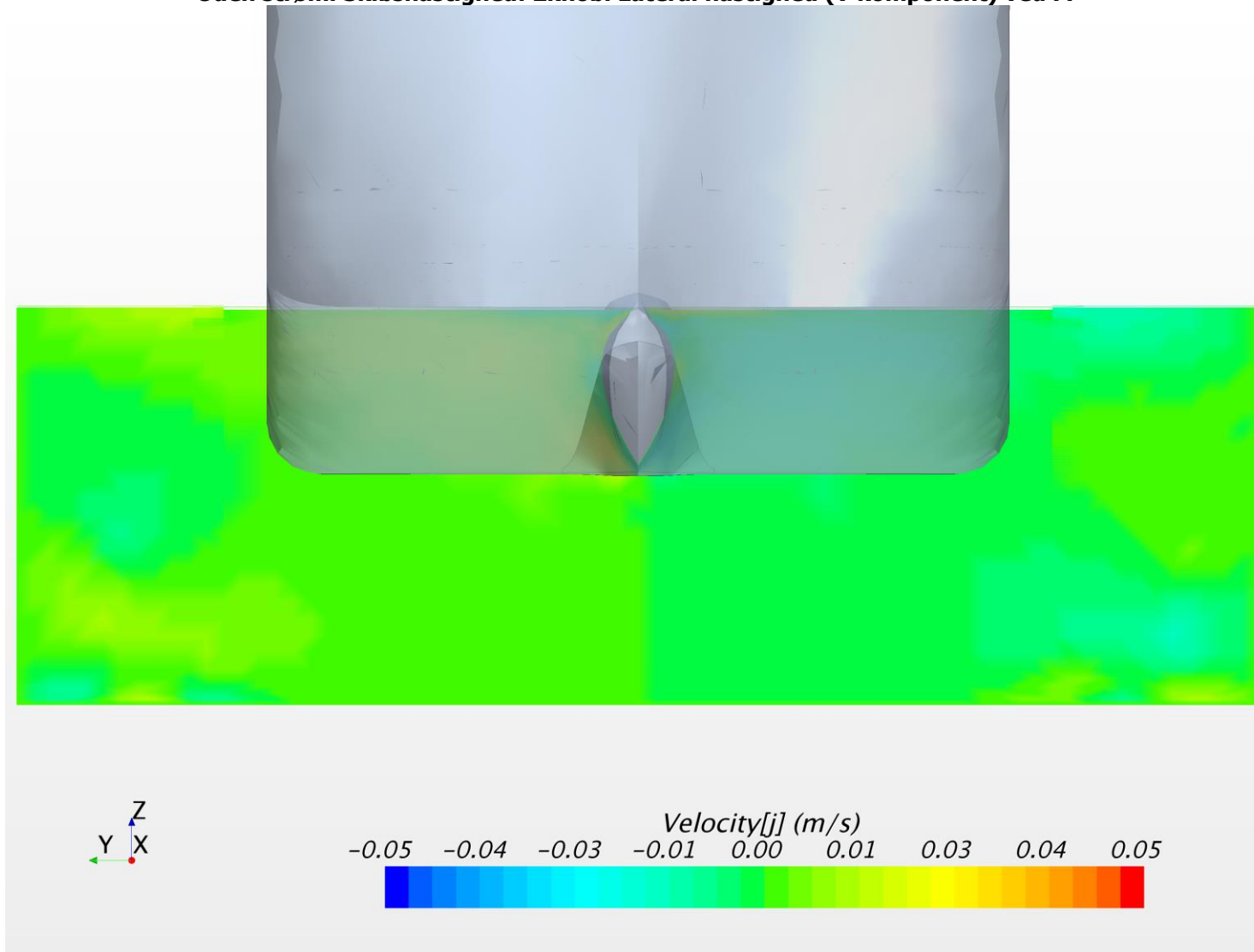
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



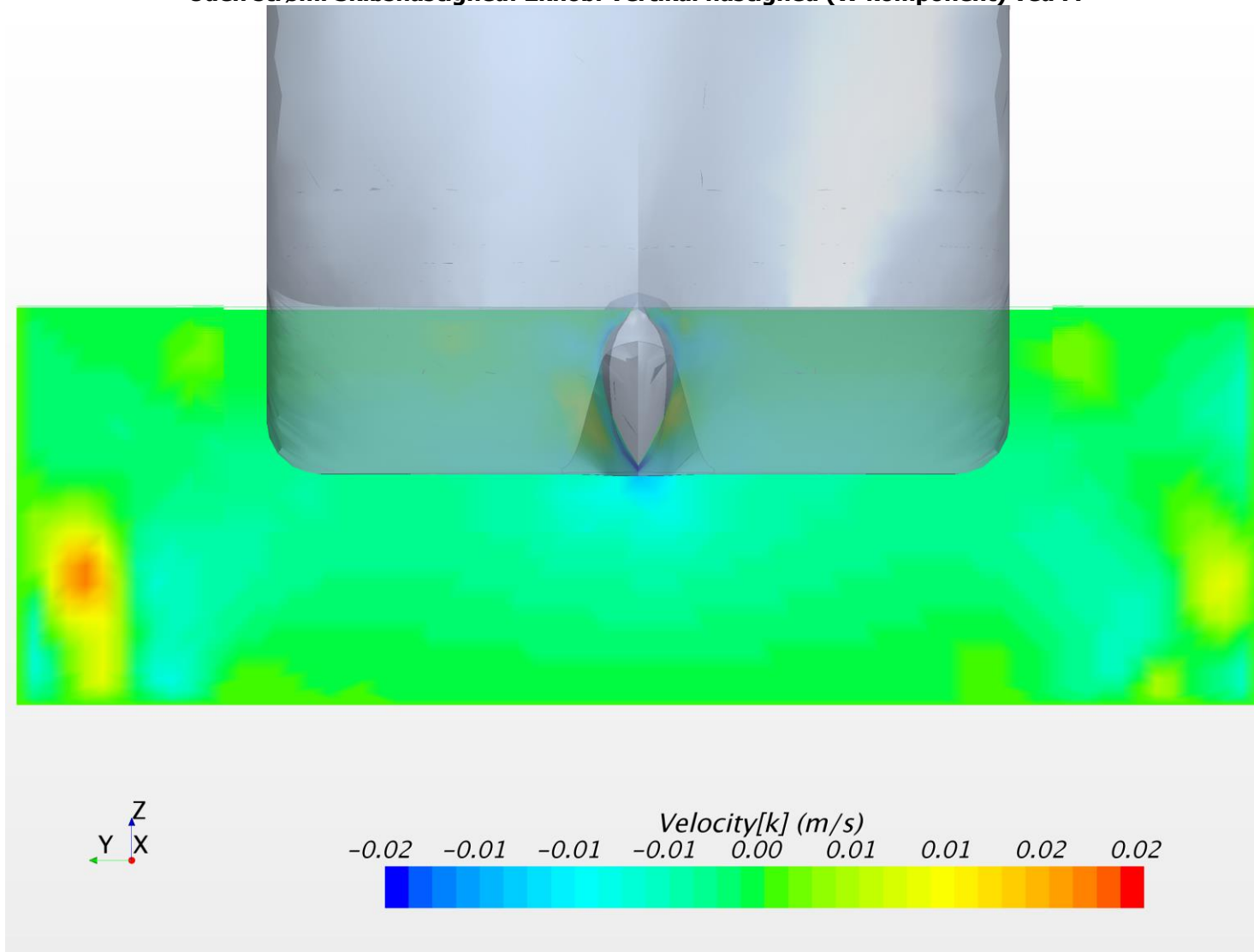
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



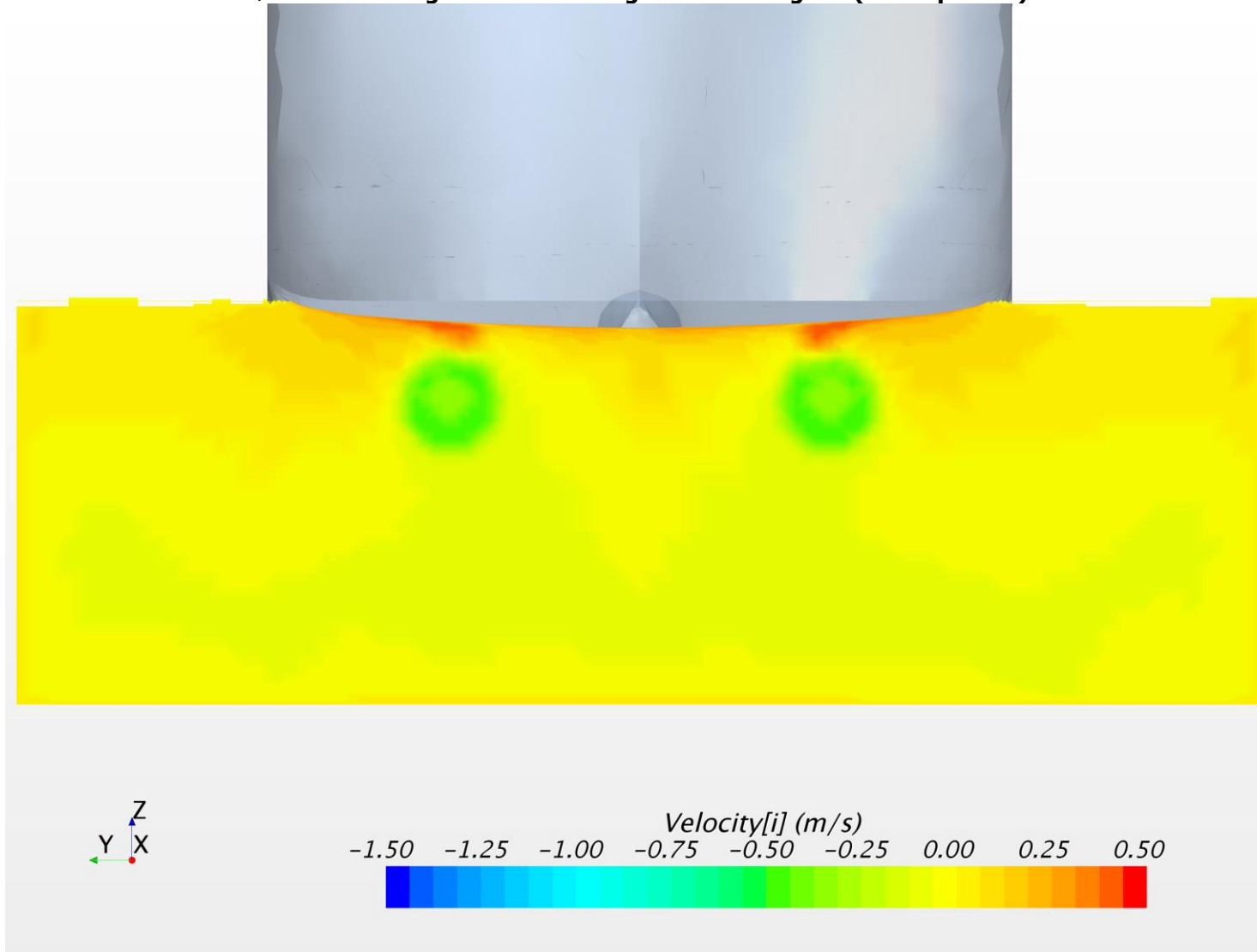
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Lateral hastighed (V komponent) ved FP



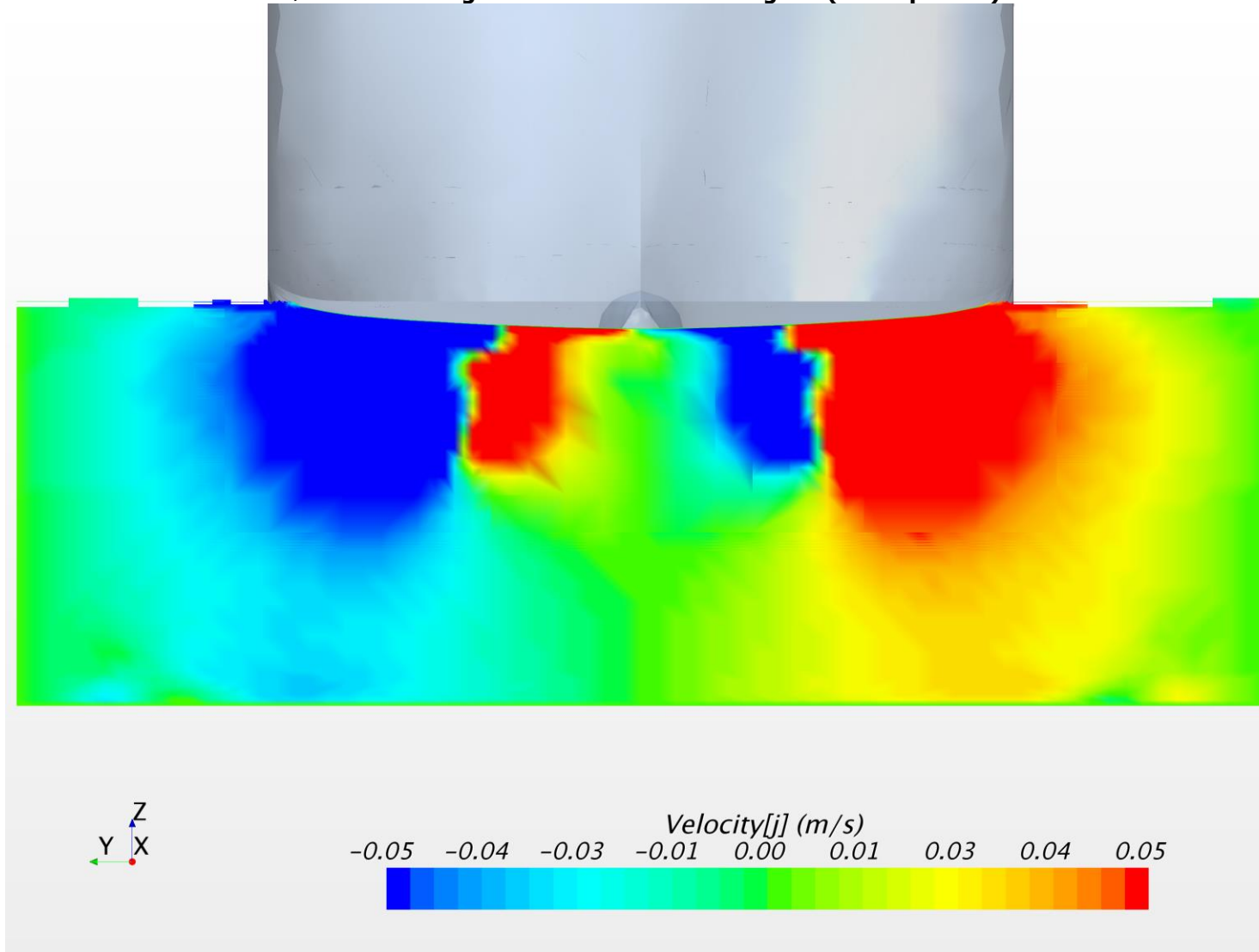
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



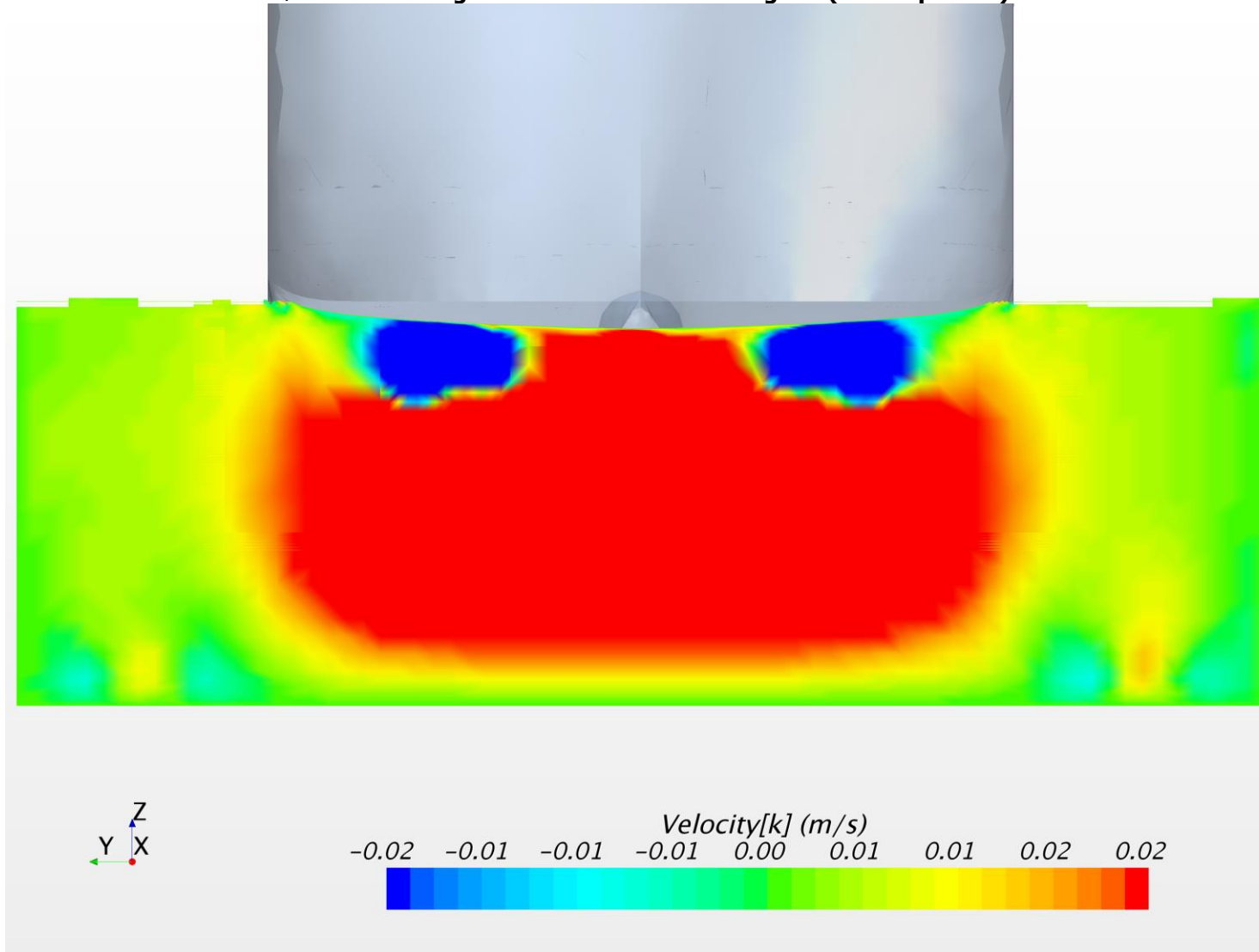
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



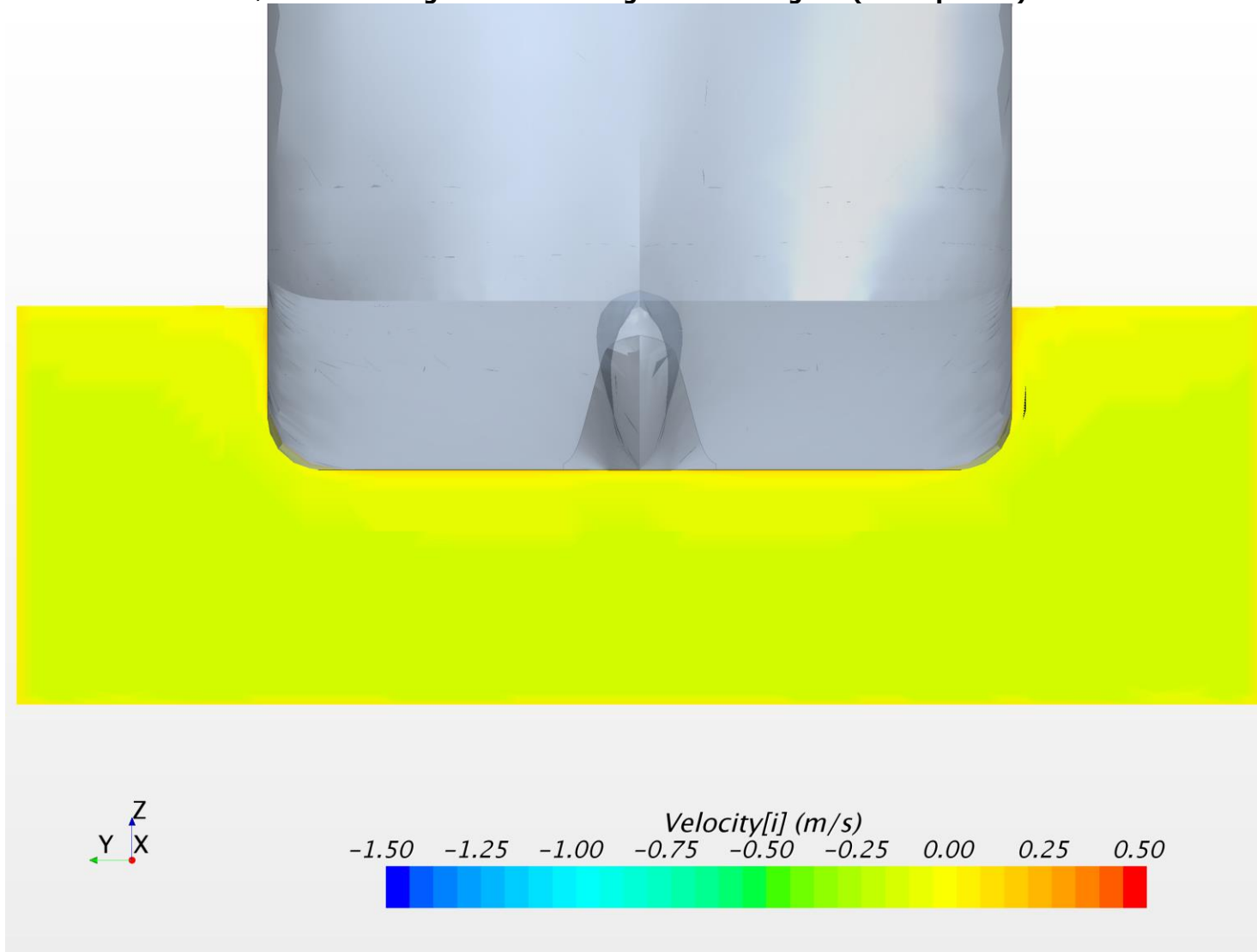
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved AP



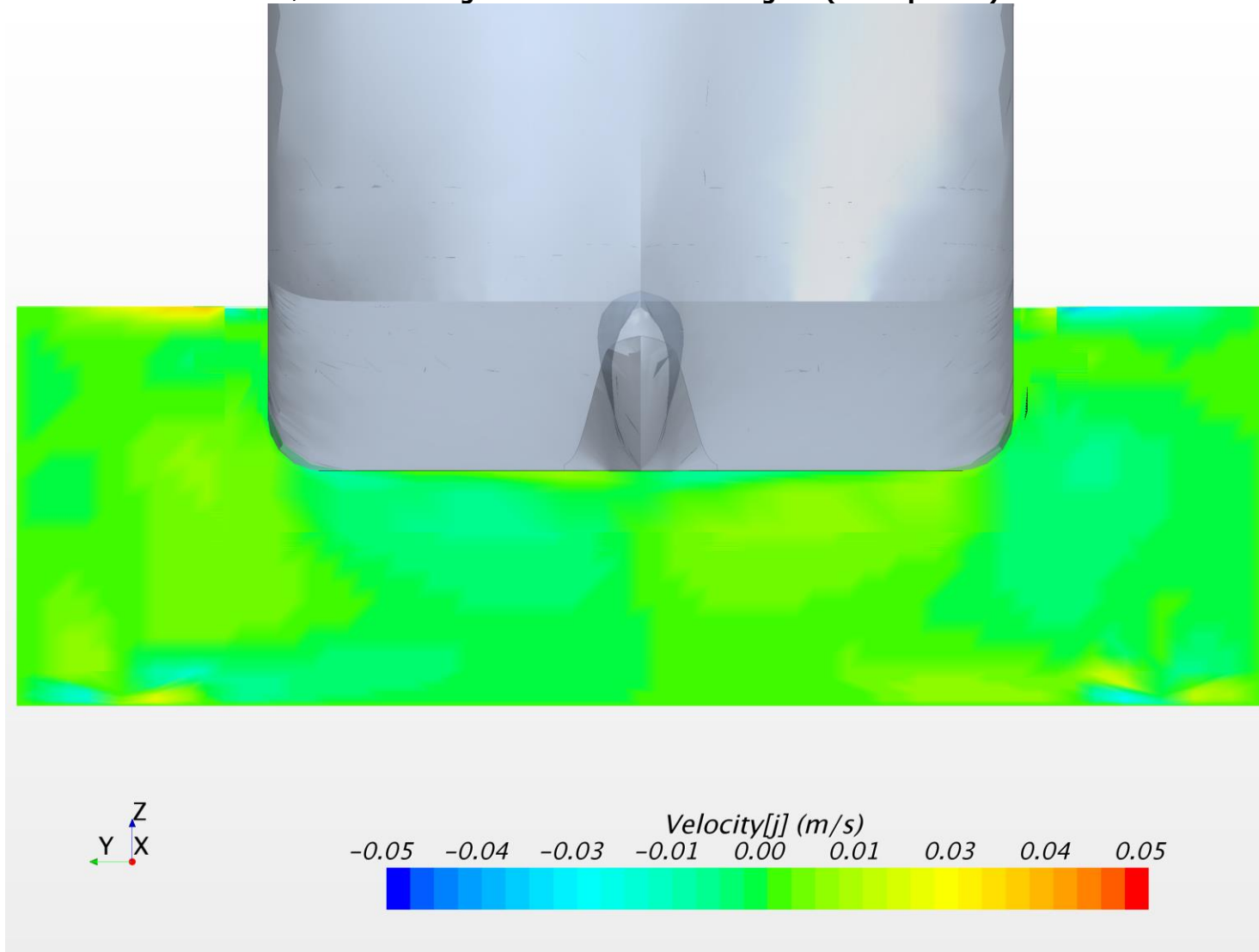
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



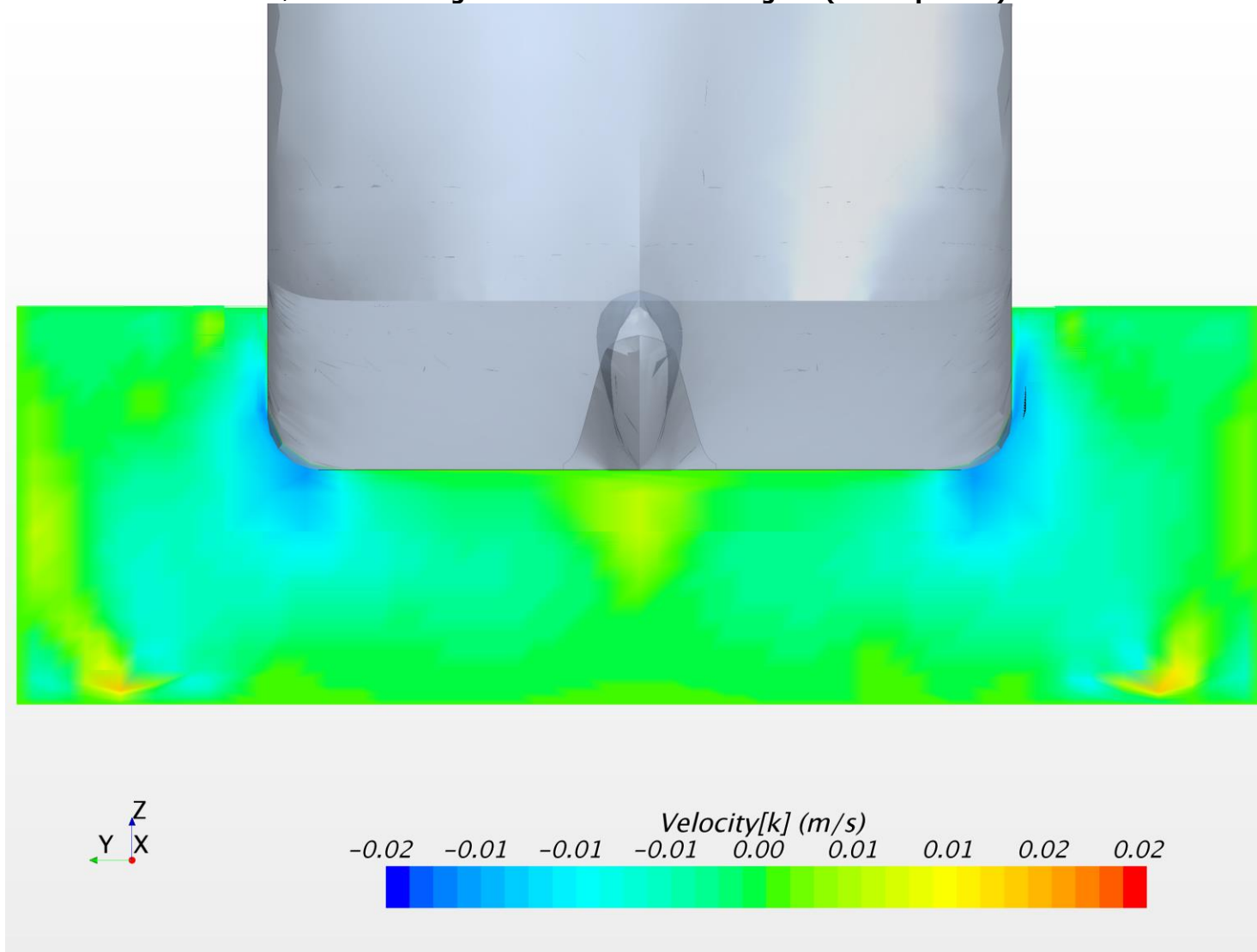
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



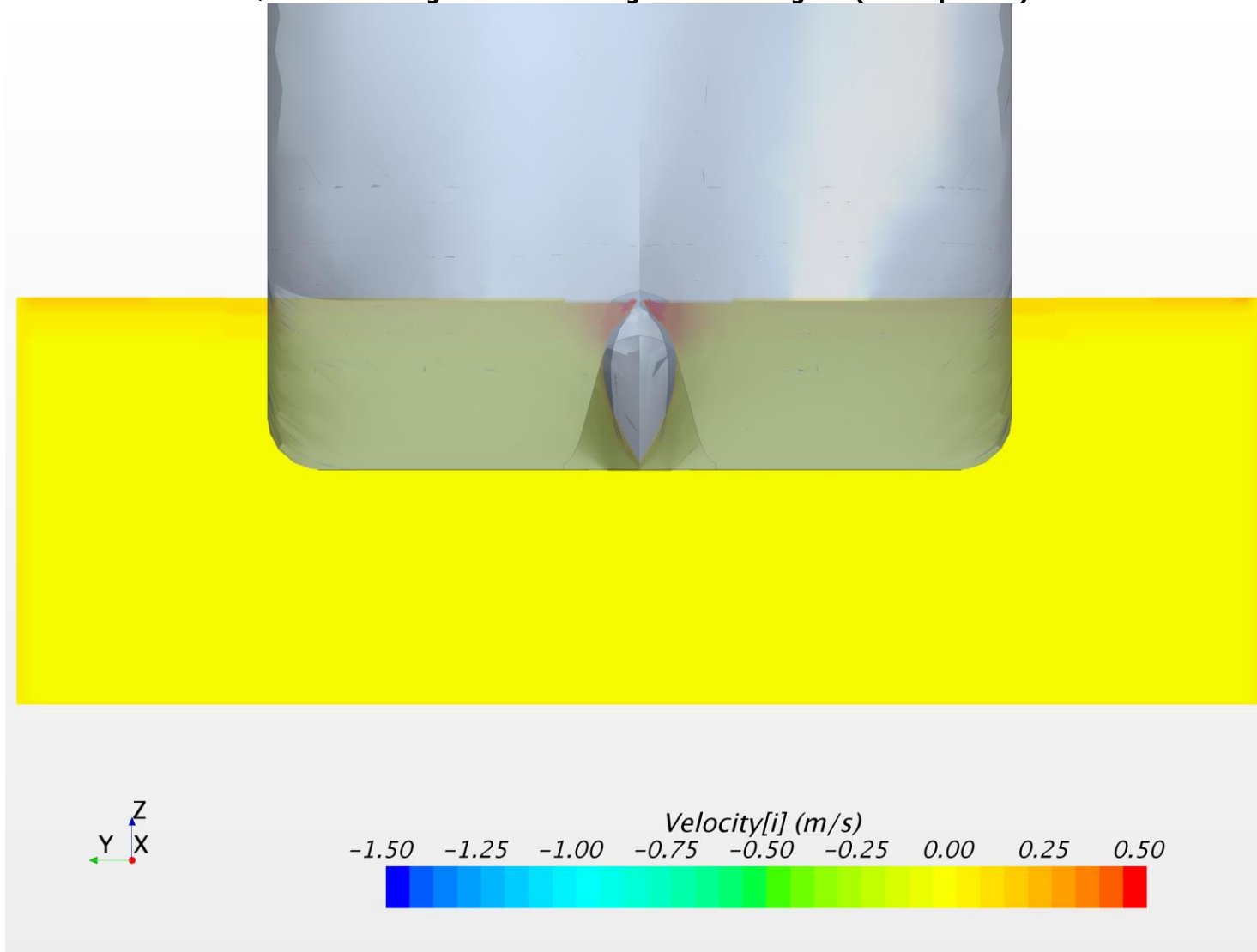
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved NK



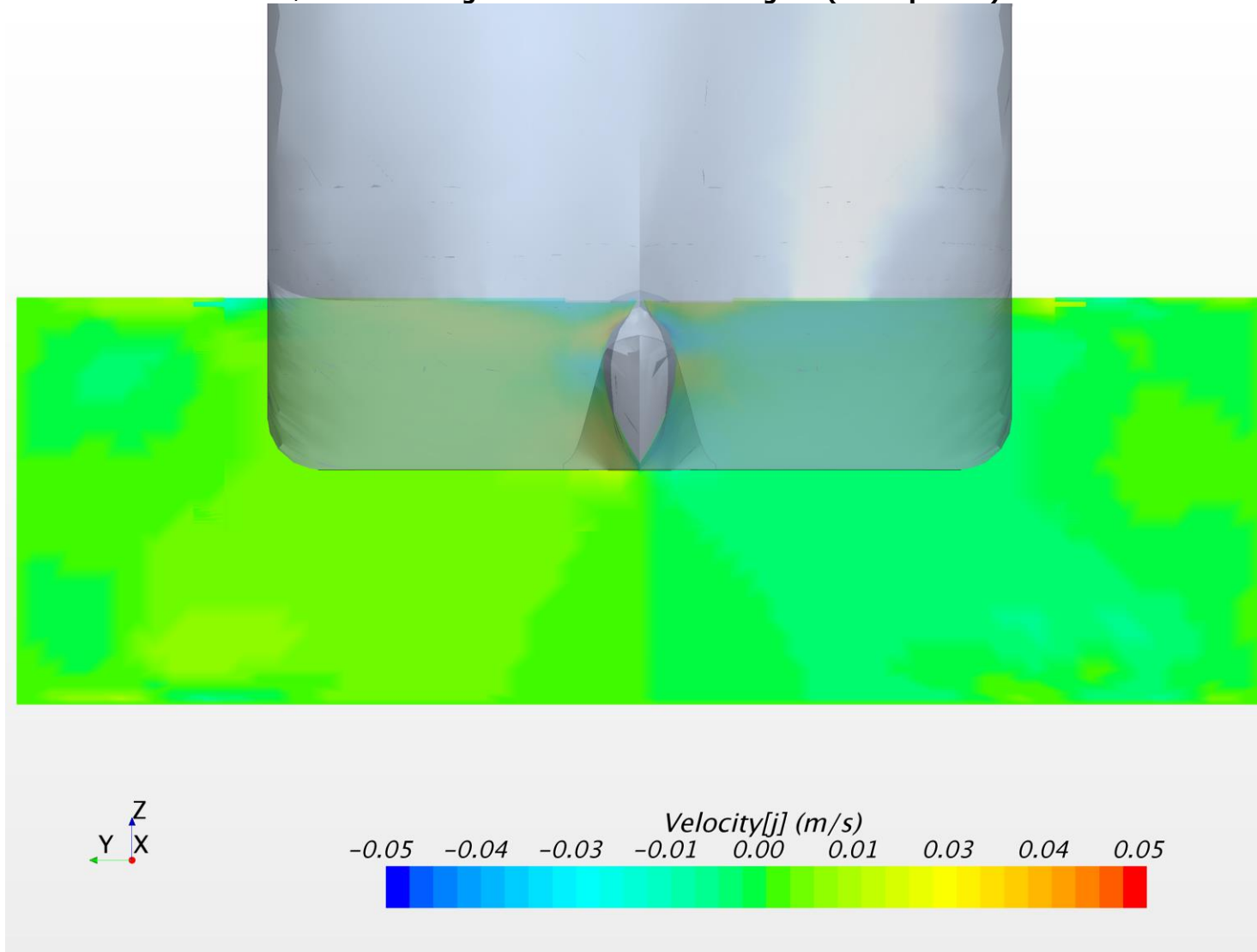
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



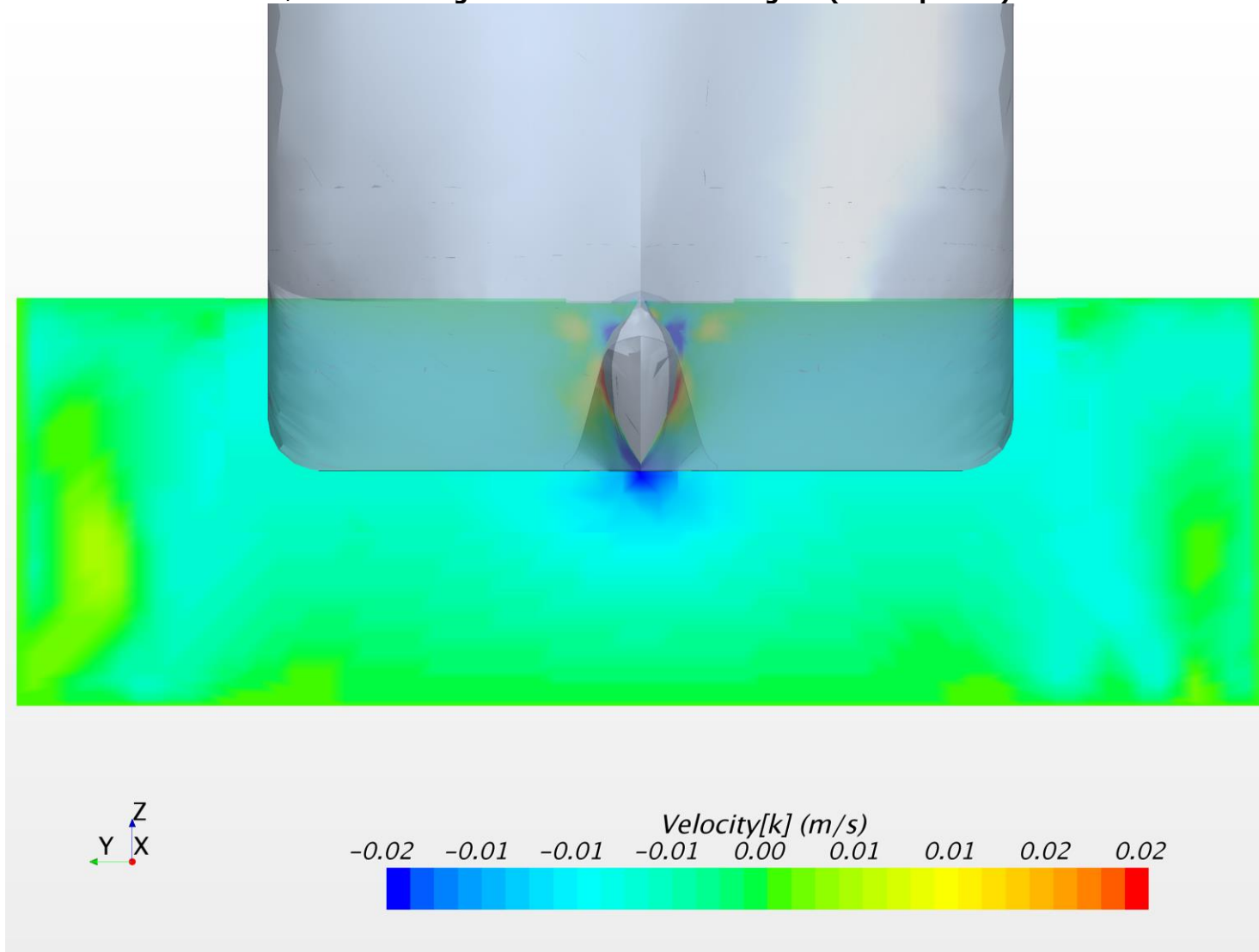
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



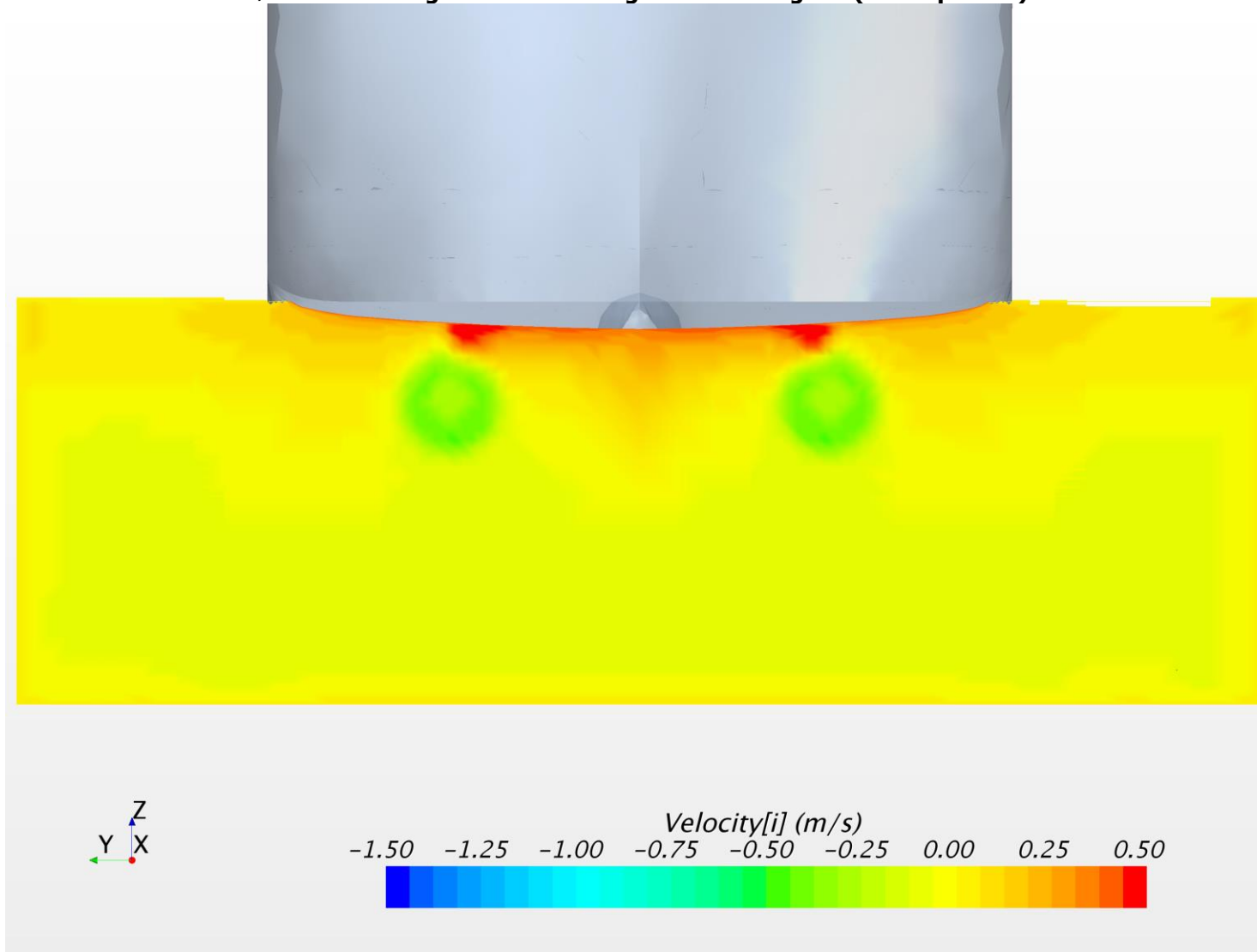
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved FP



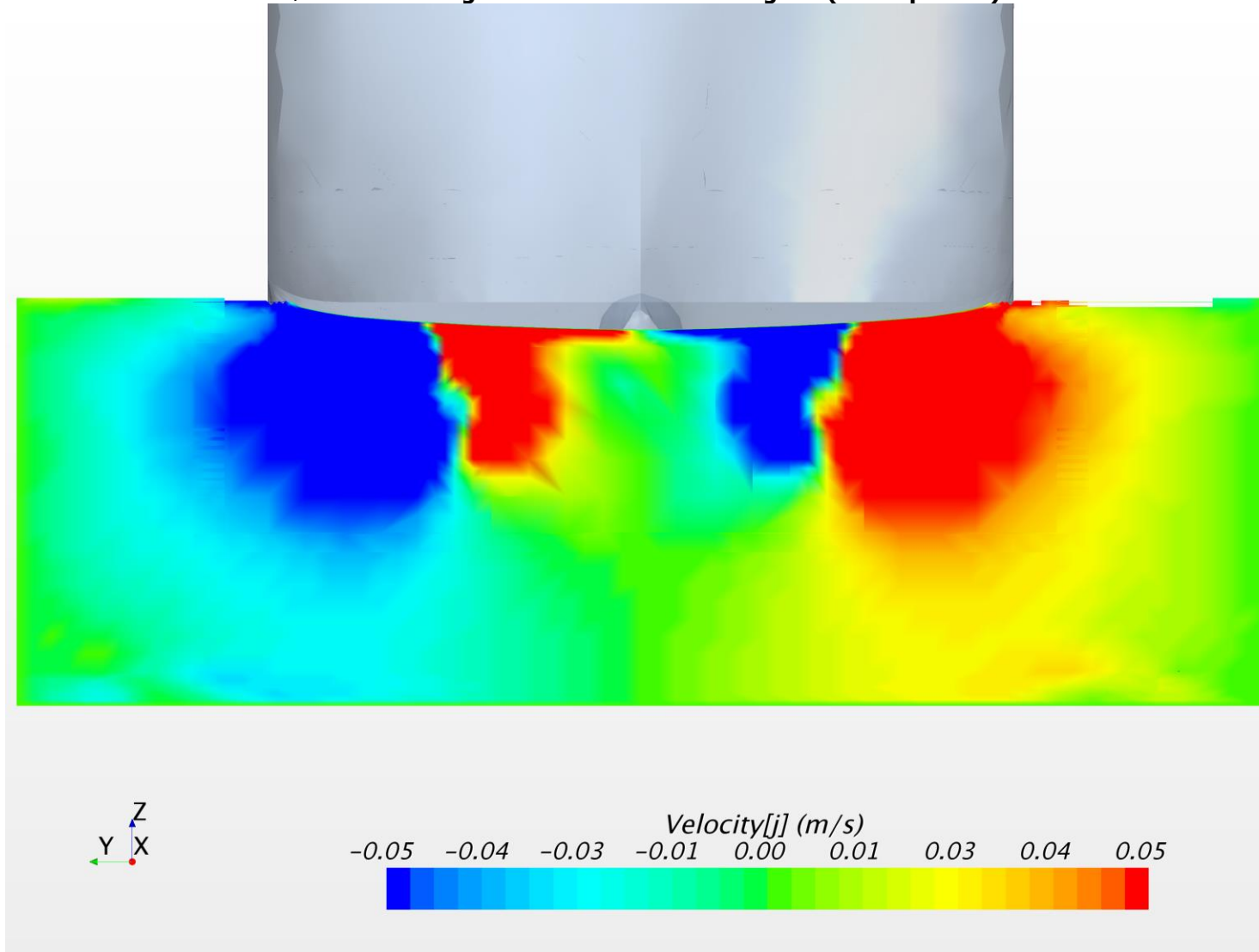
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



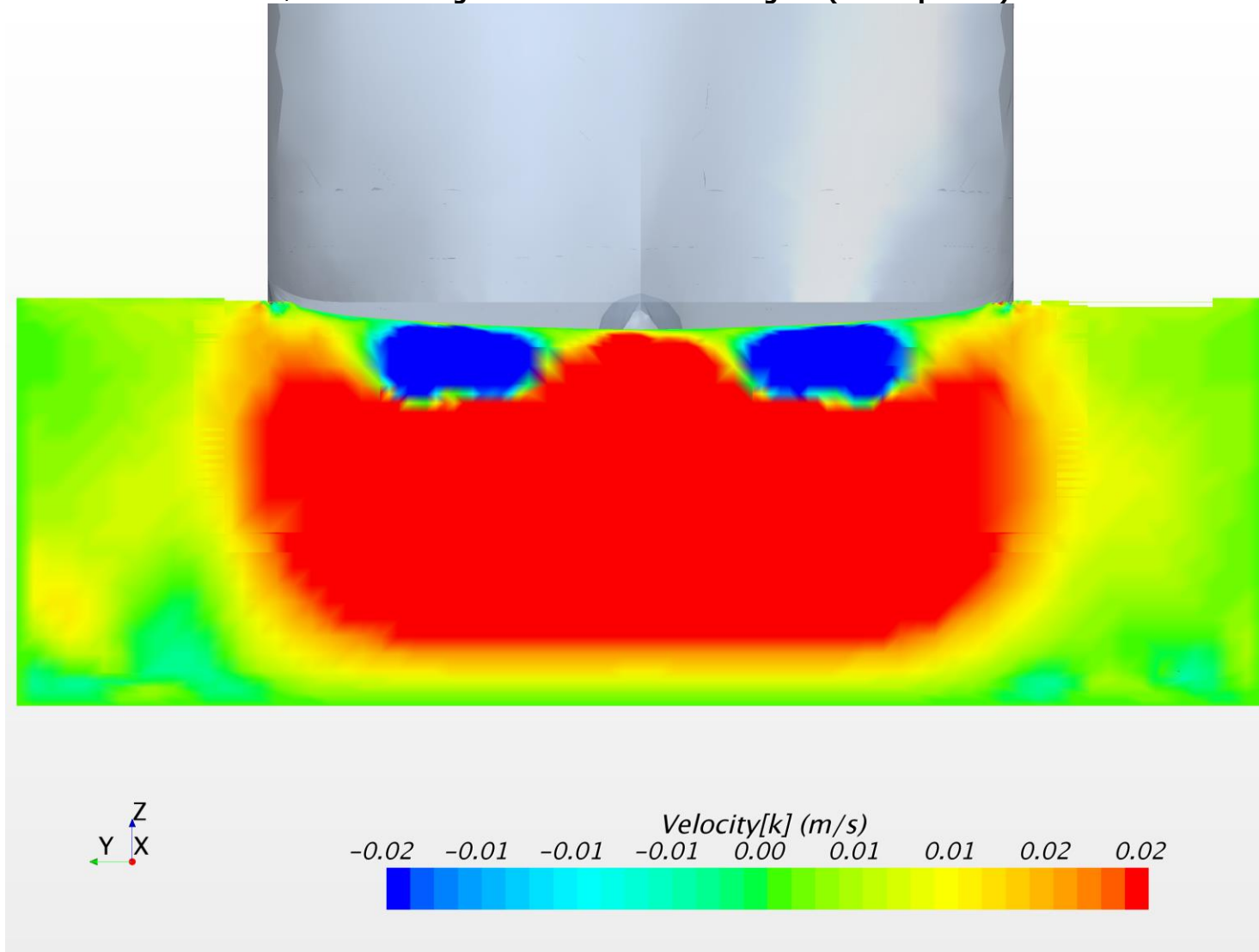
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



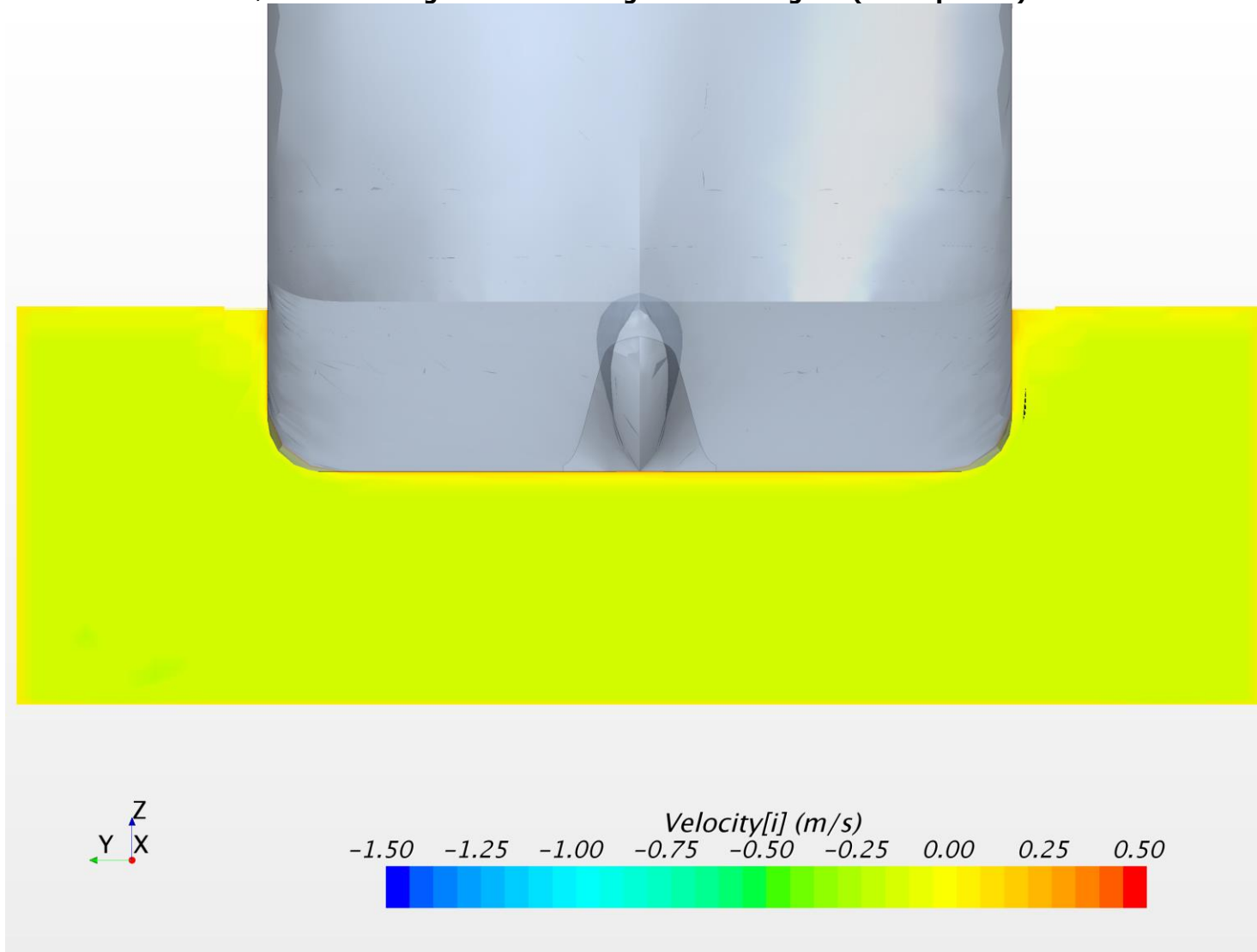
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Lateral hastighed (V komponent) ved AP



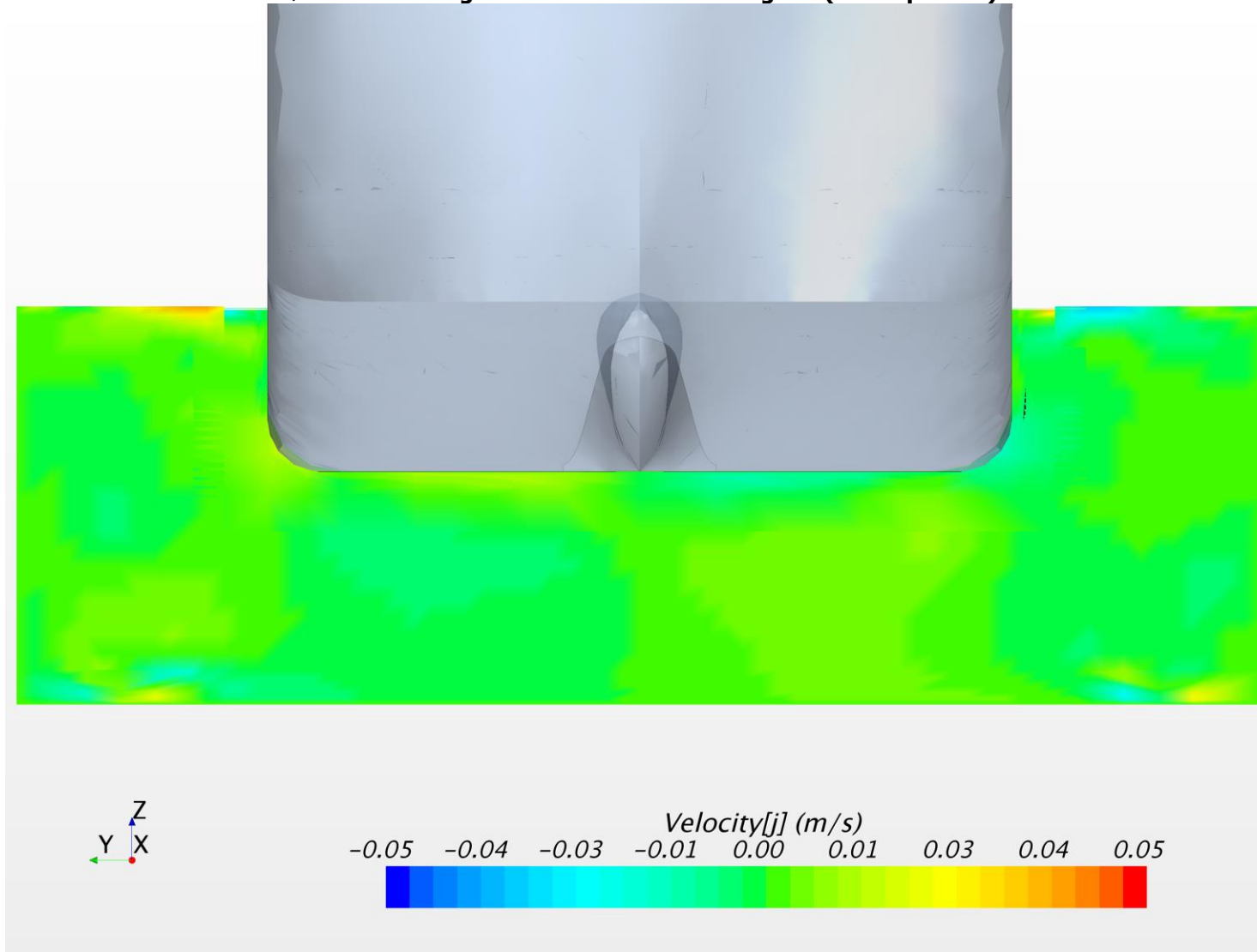
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



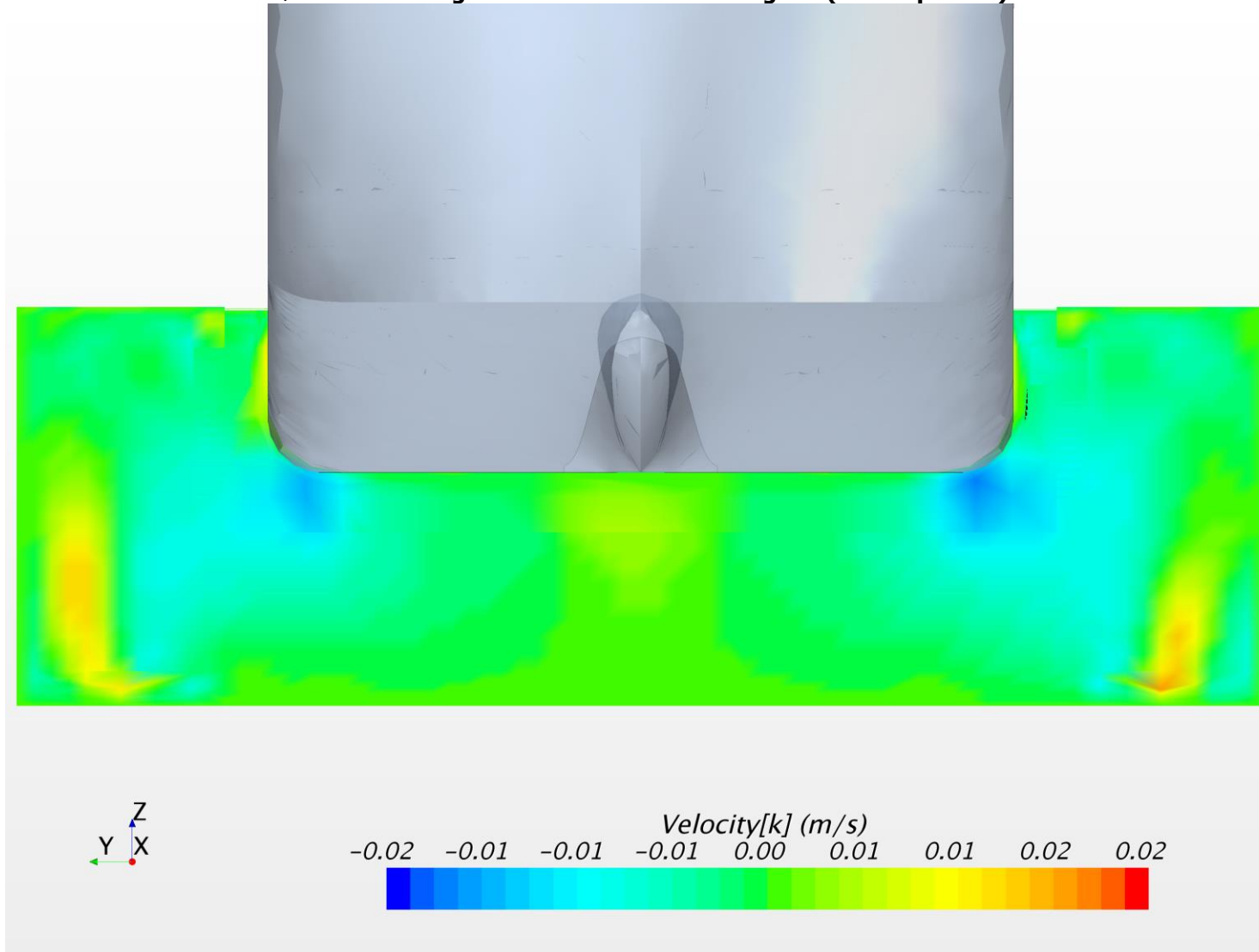
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



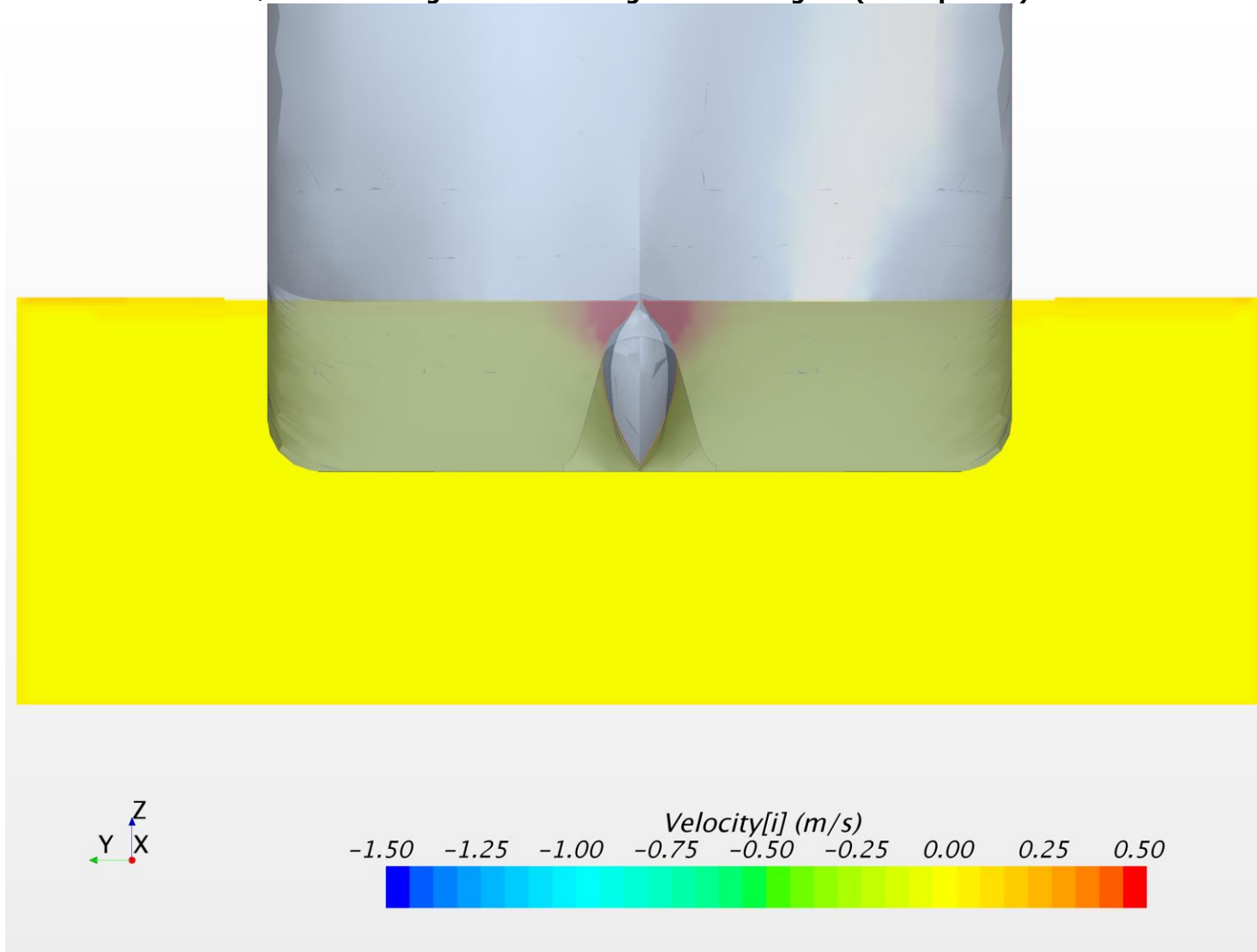
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Lateral hastighed (V komponent) ved NK



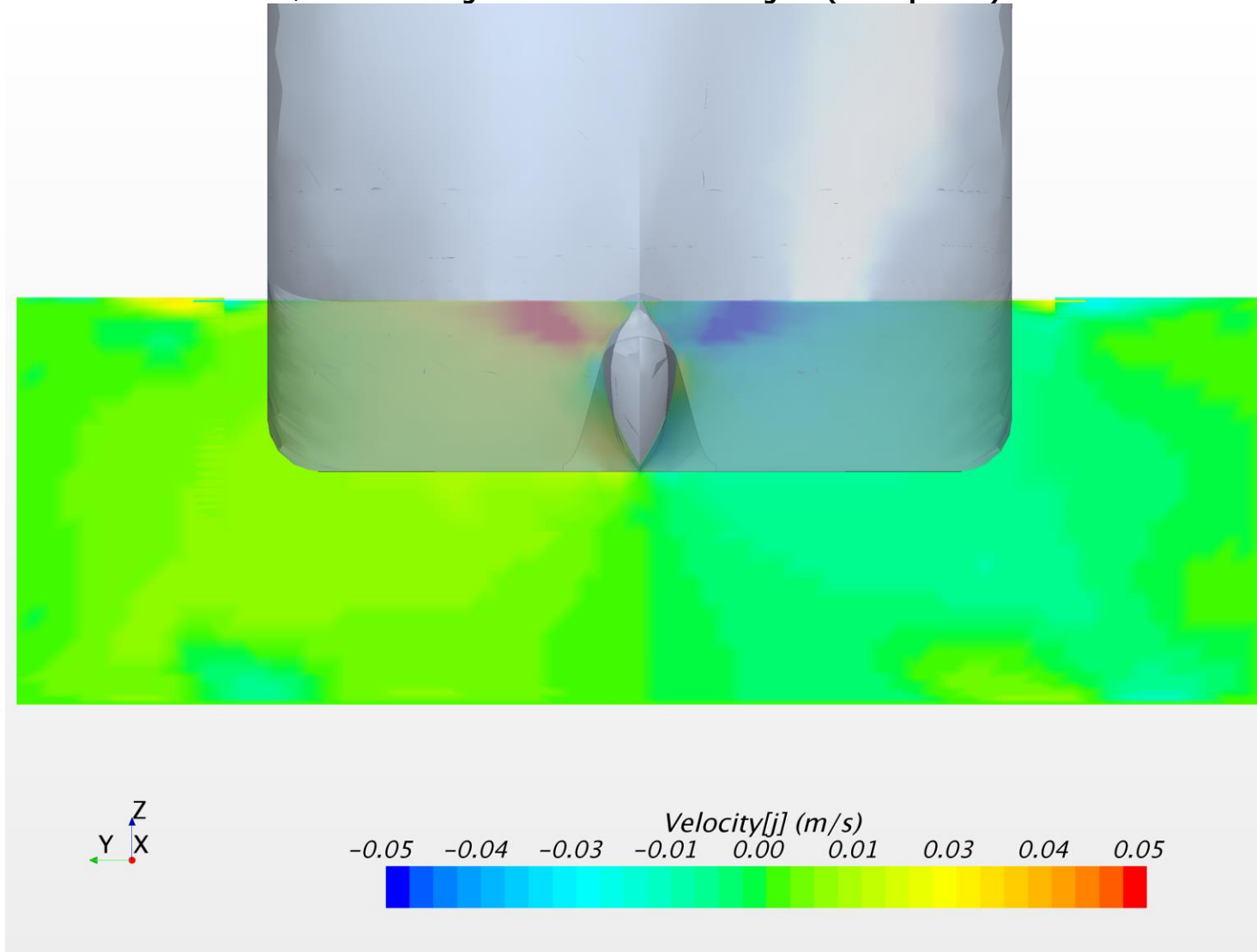
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



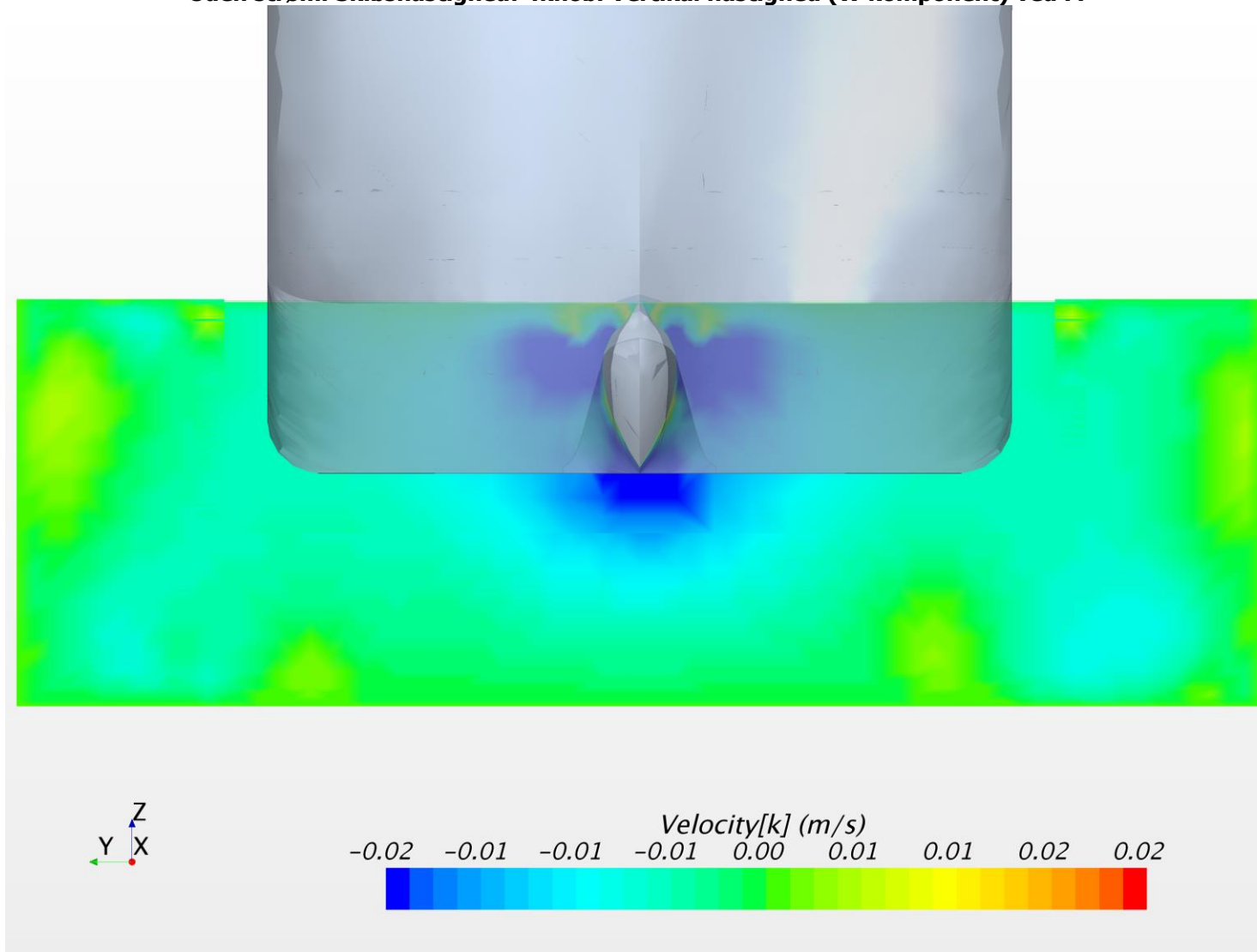
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



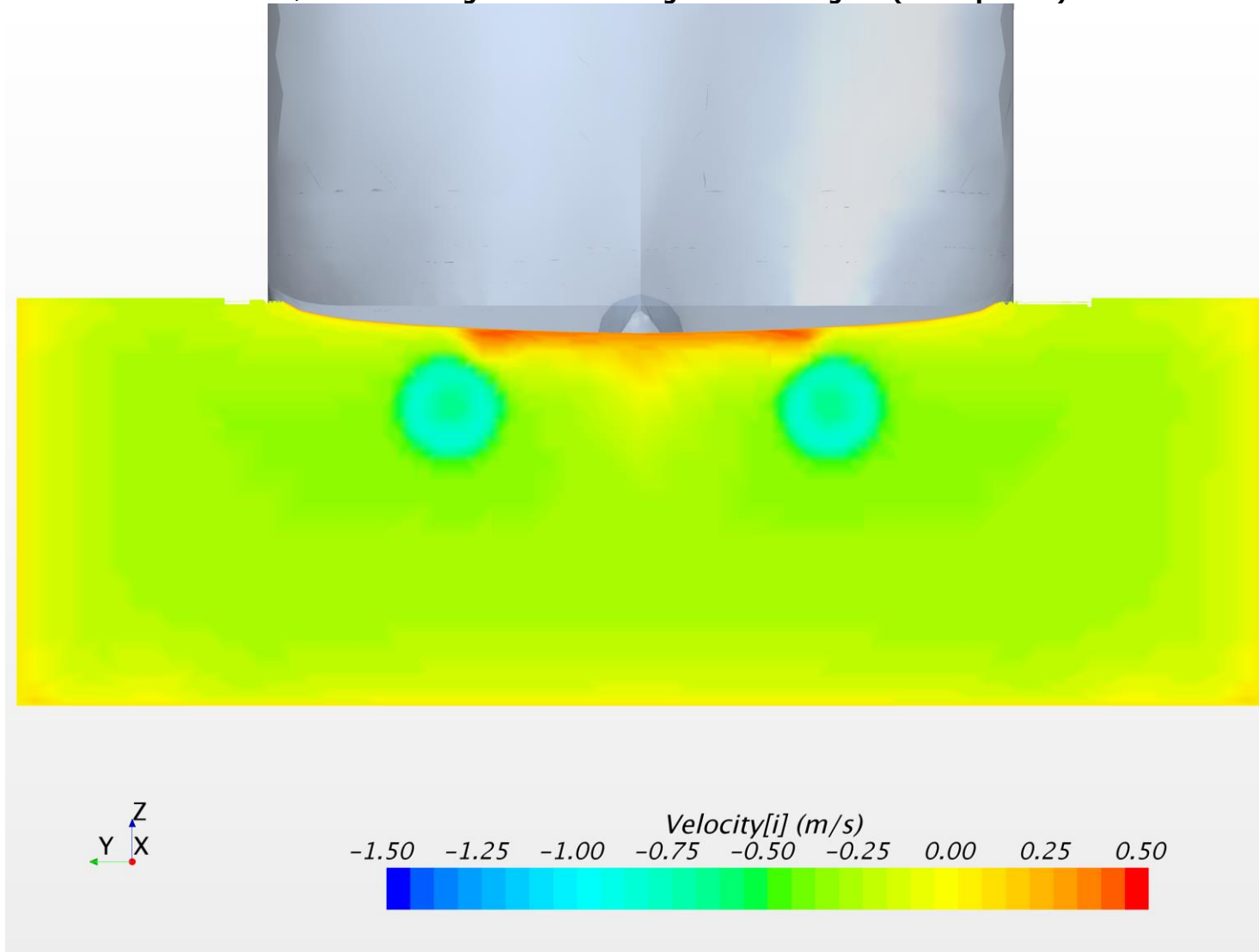
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Lateral hastighed (V komponent) ved FP



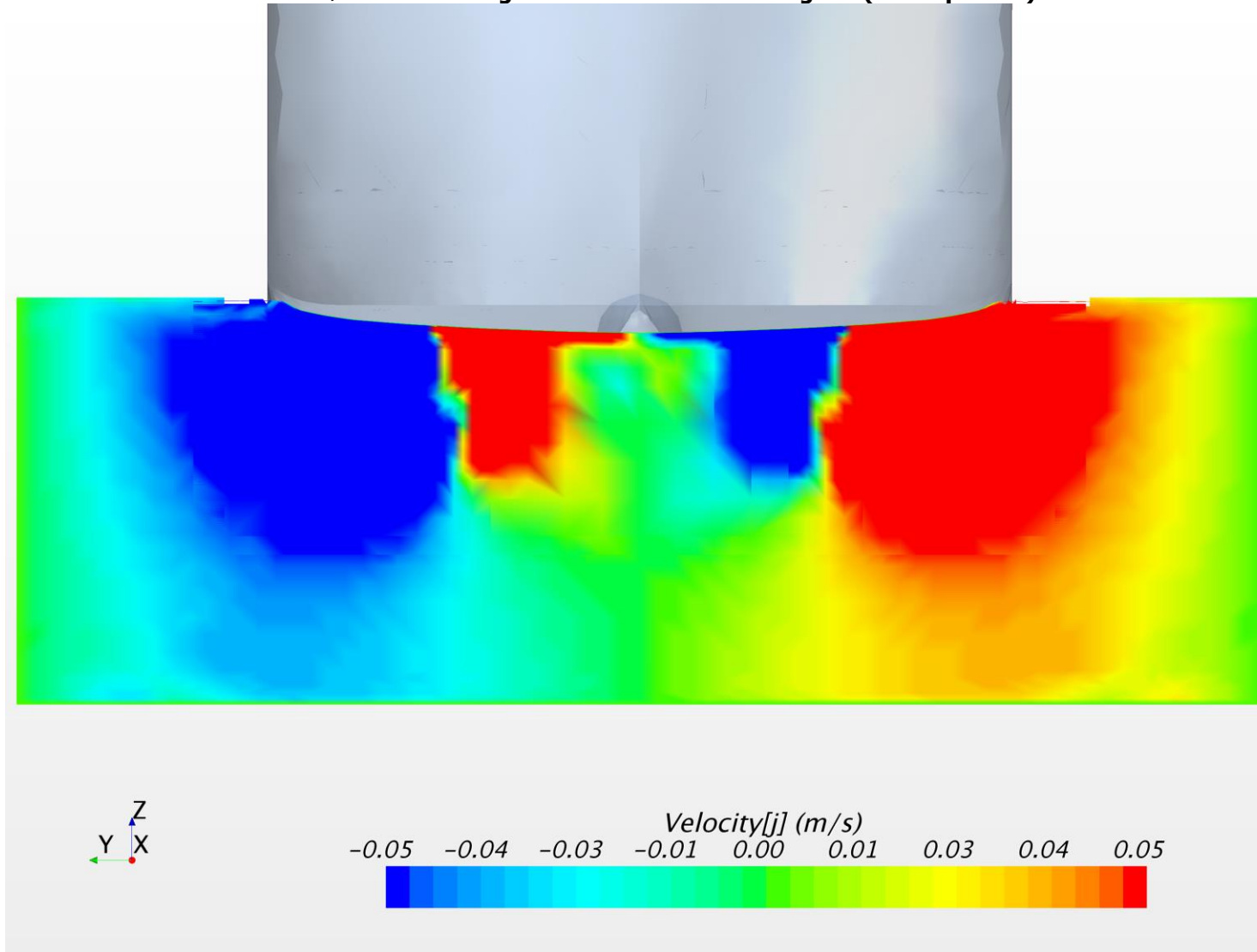
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



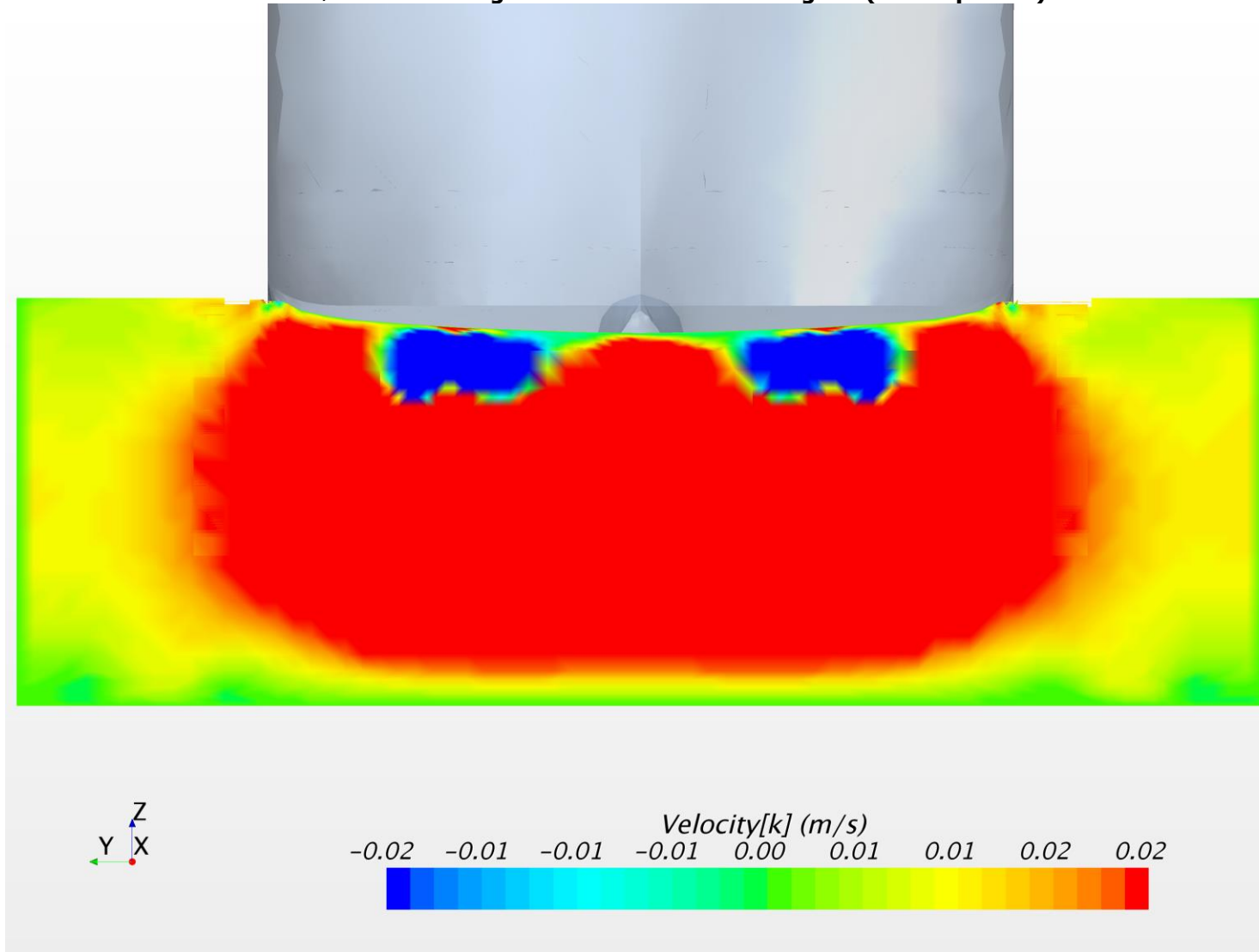
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



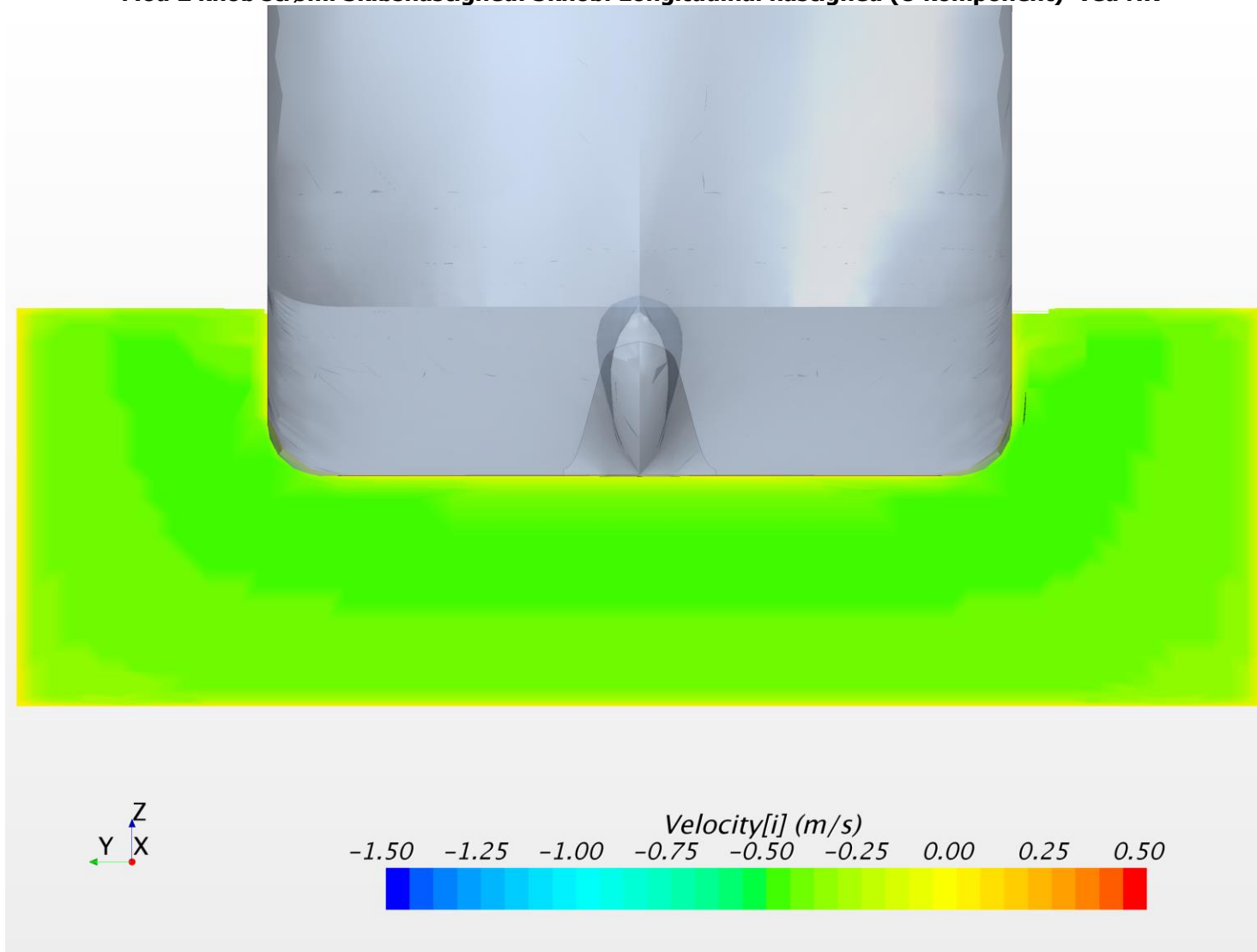
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved AP



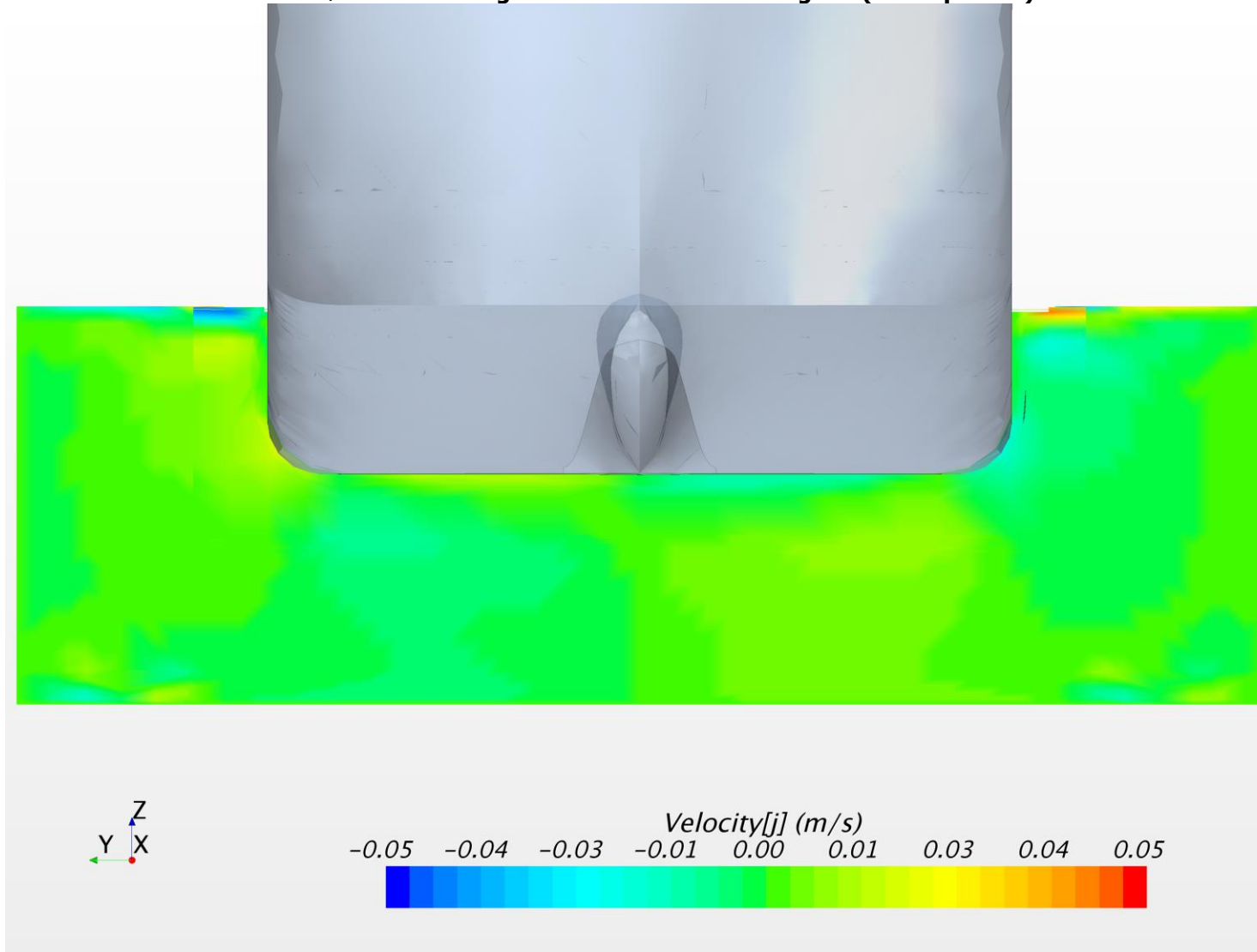
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



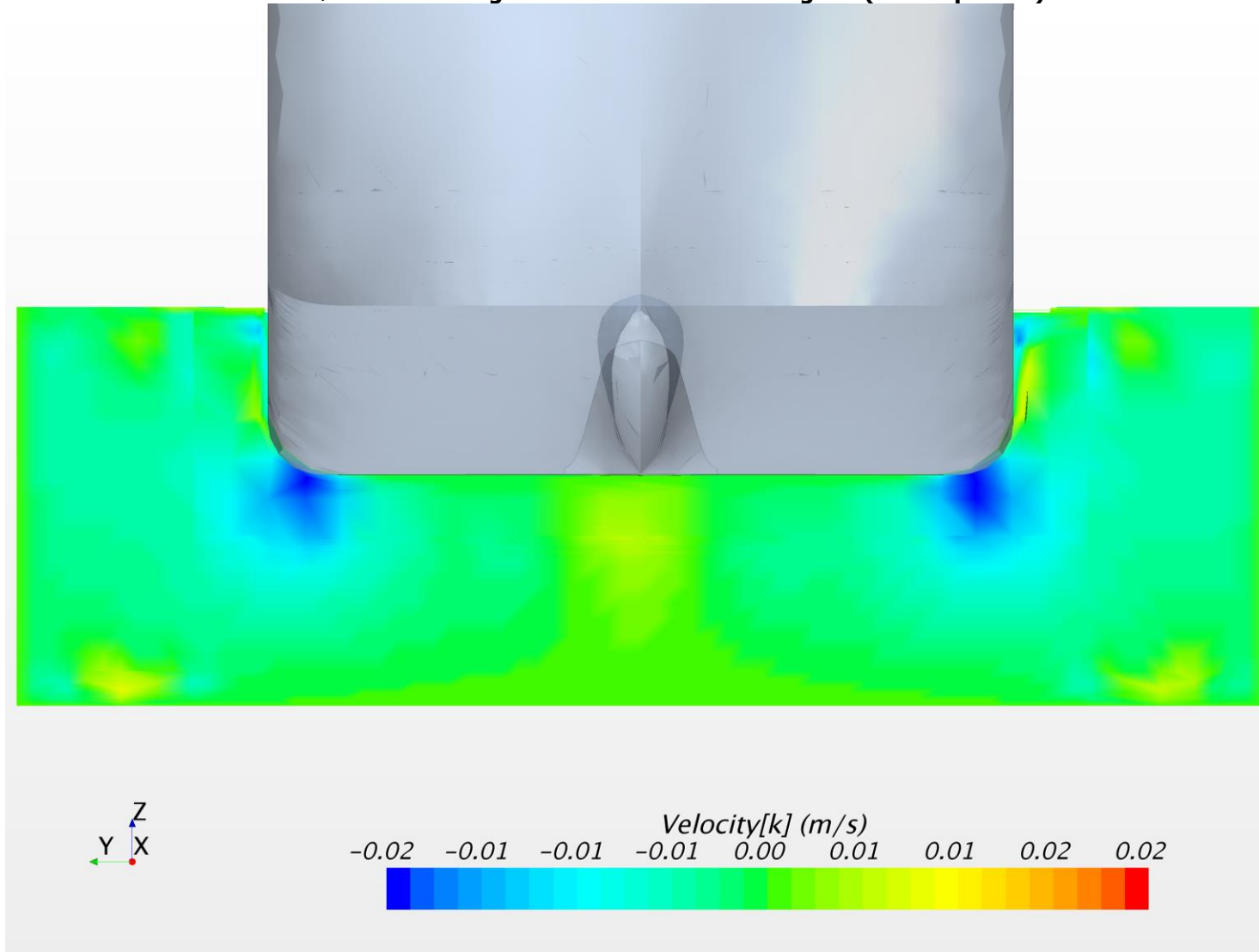
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



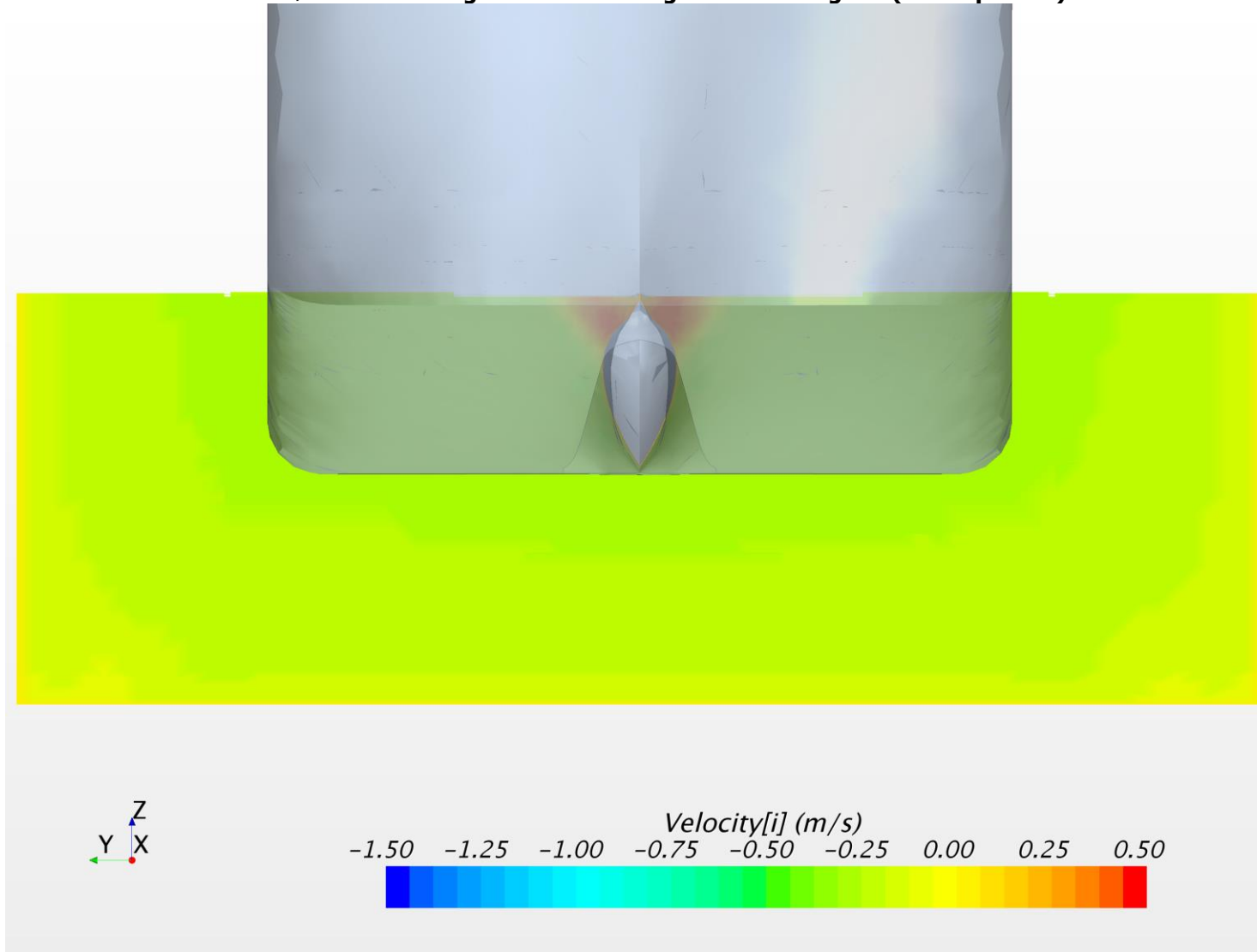
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved NK



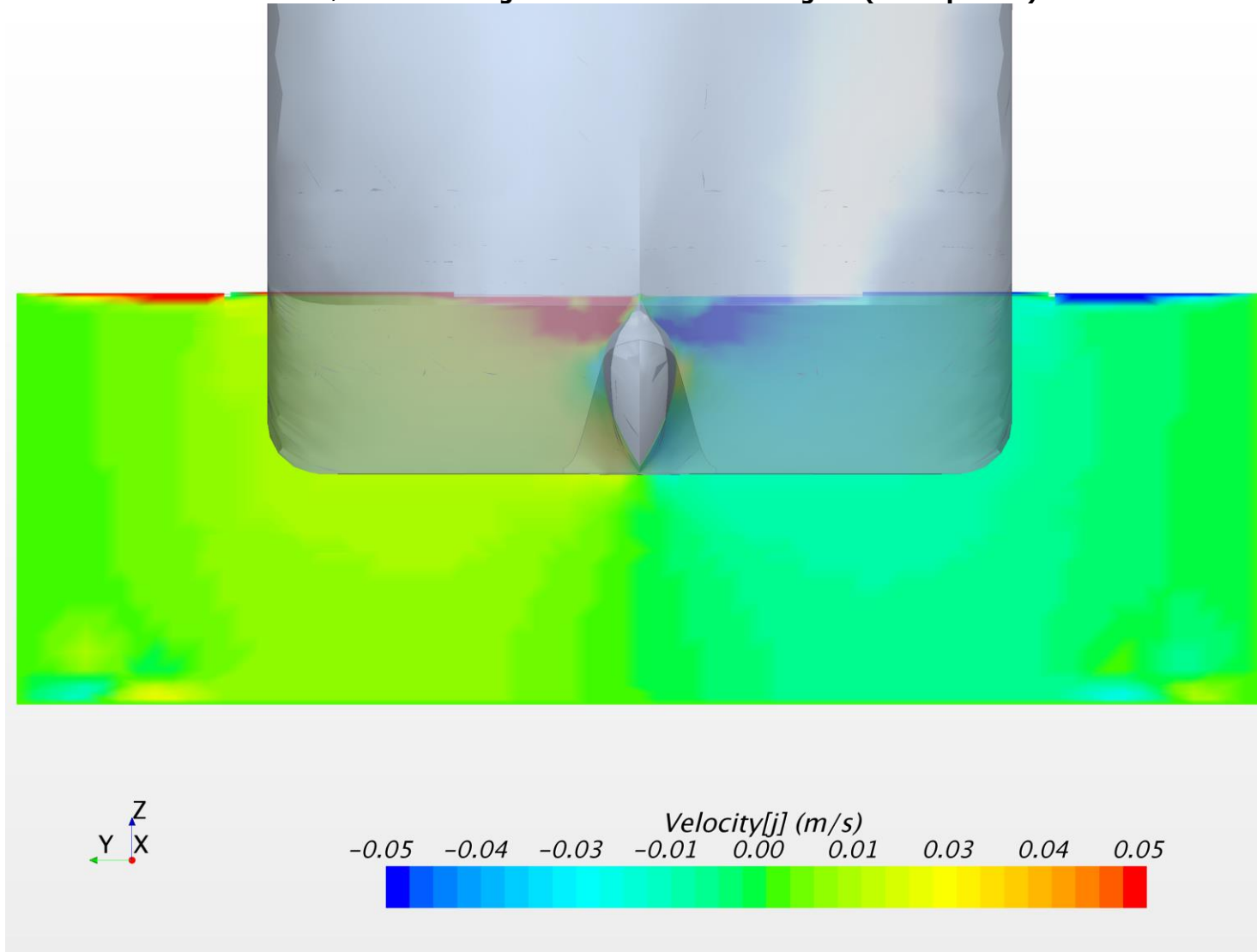
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



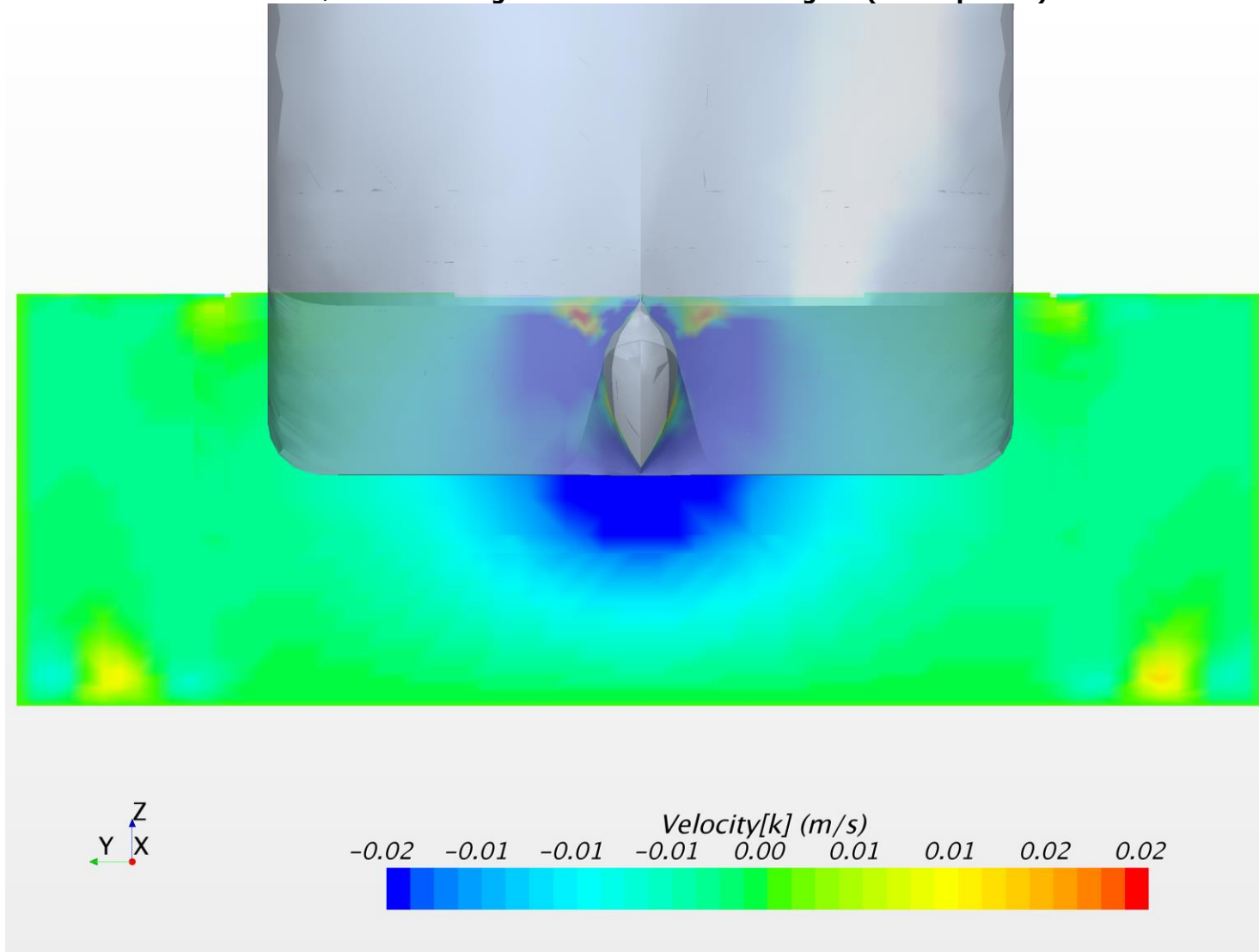
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved FP



Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



APPENDIX G

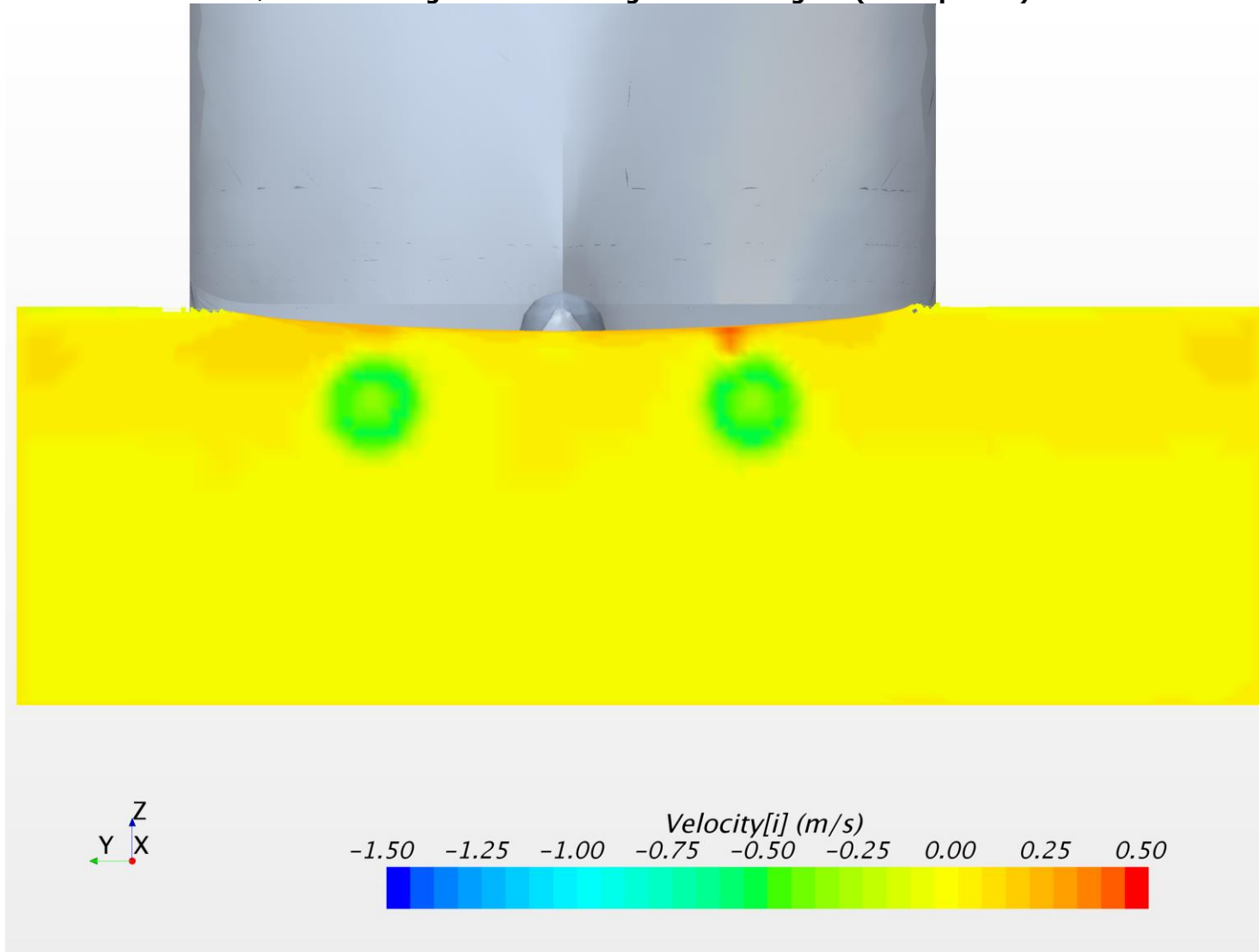
Resultater af CFD Beregninger

**Model Midnatsol
Kondition: Tæt på fender
Uden Søjler
Vanddybde: 12.00m**

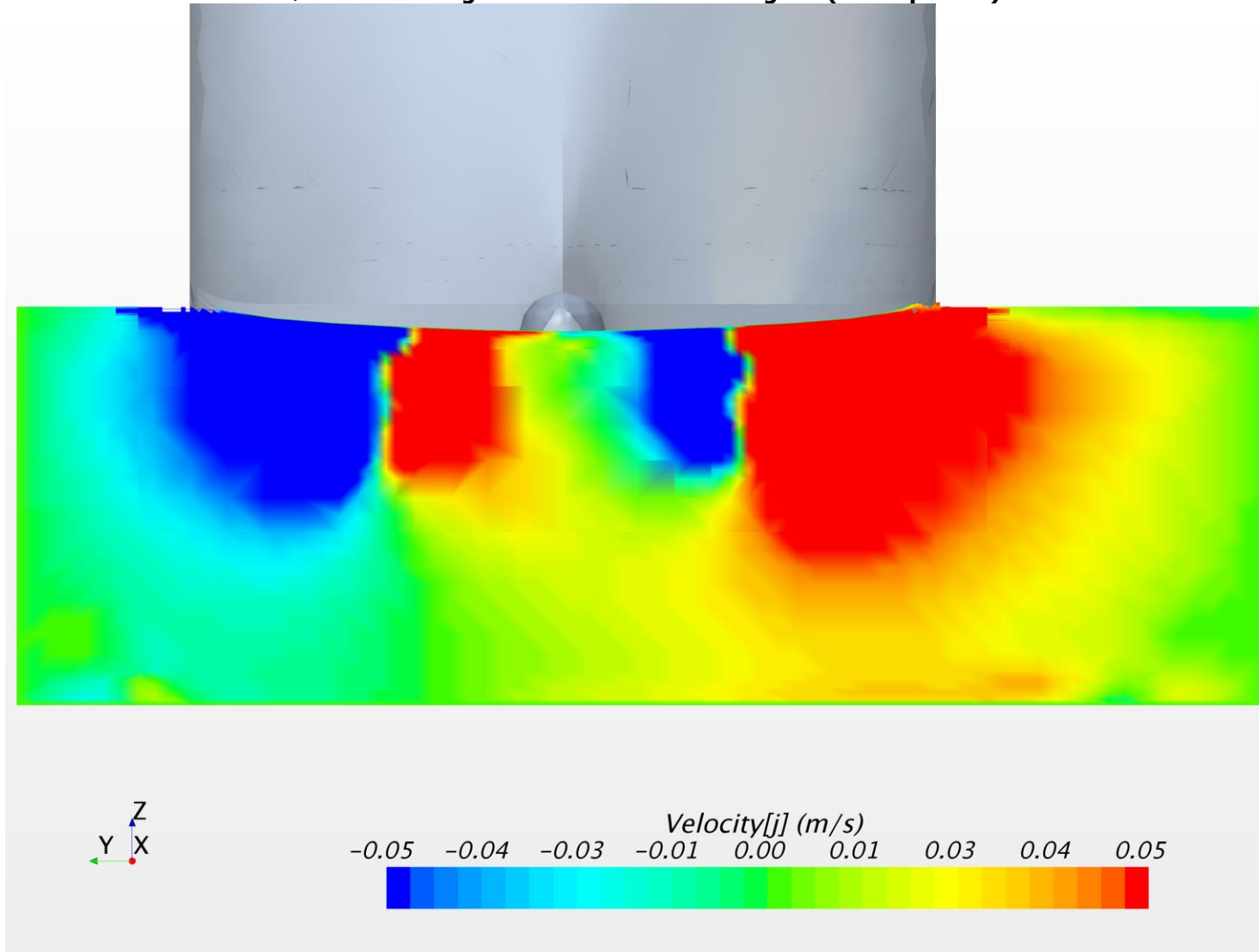
2kn modstrøm eller uden strøm

Skibshastighed: 2; 3; 4kn

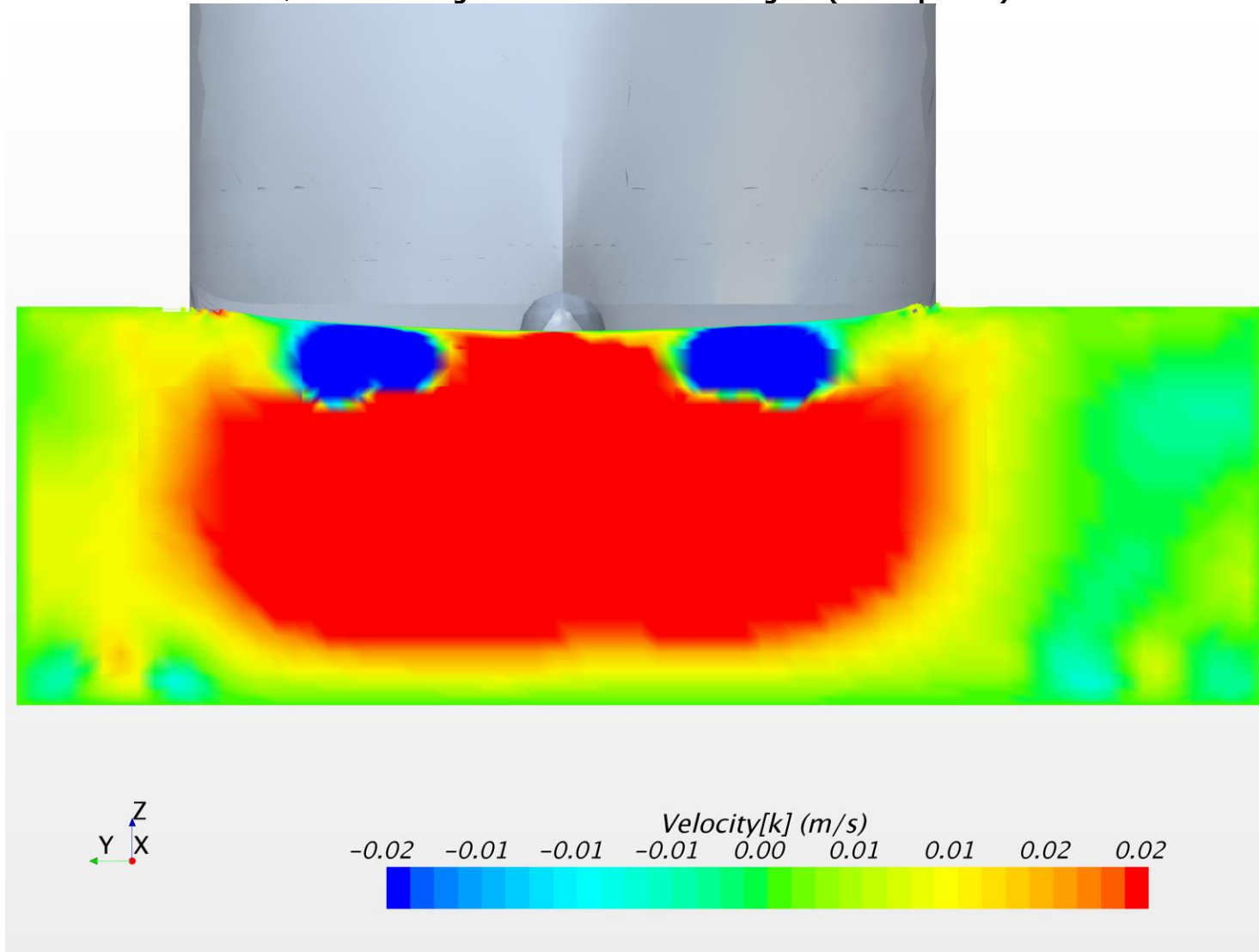
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



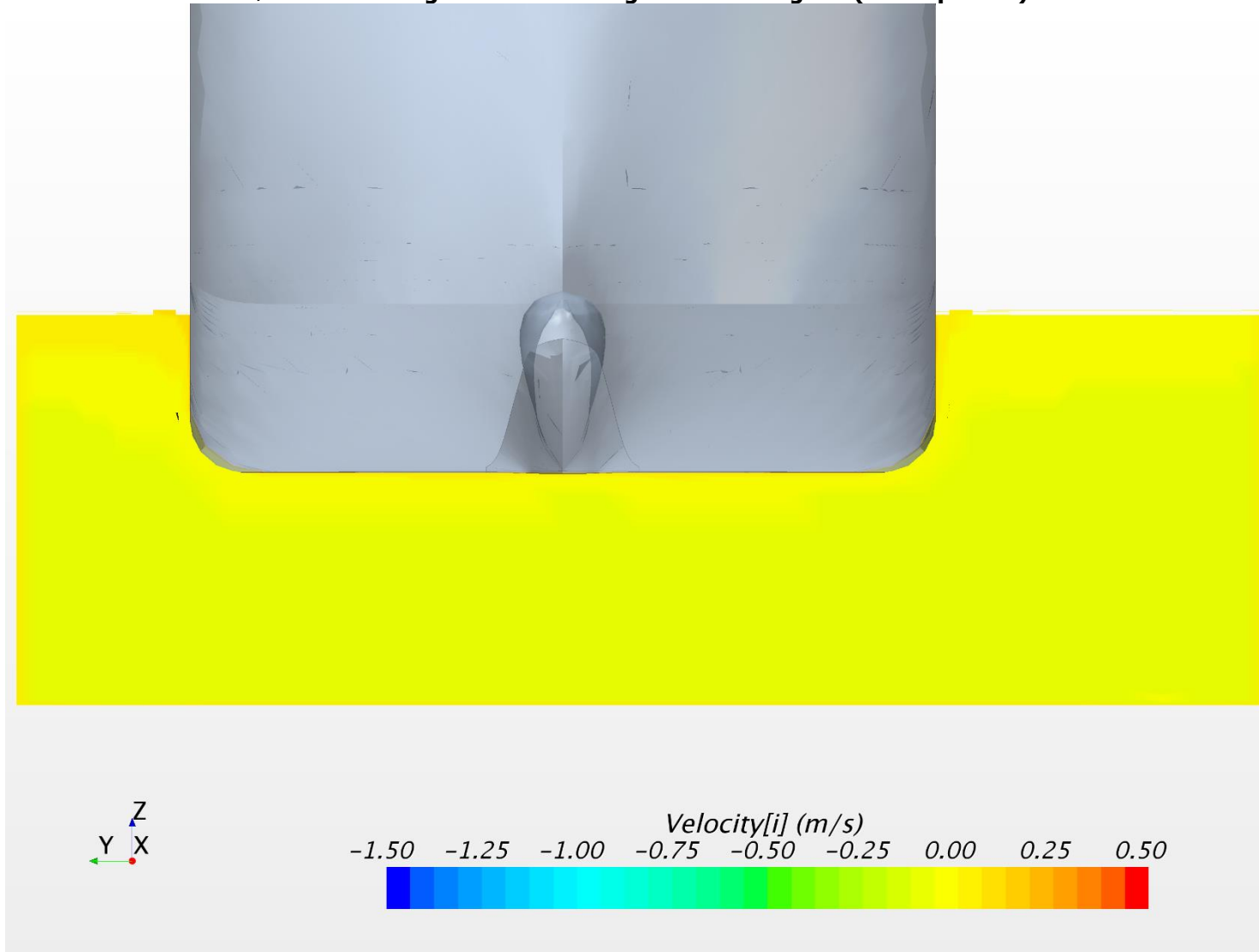
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Lateral hastighed (V komponent) ved AP



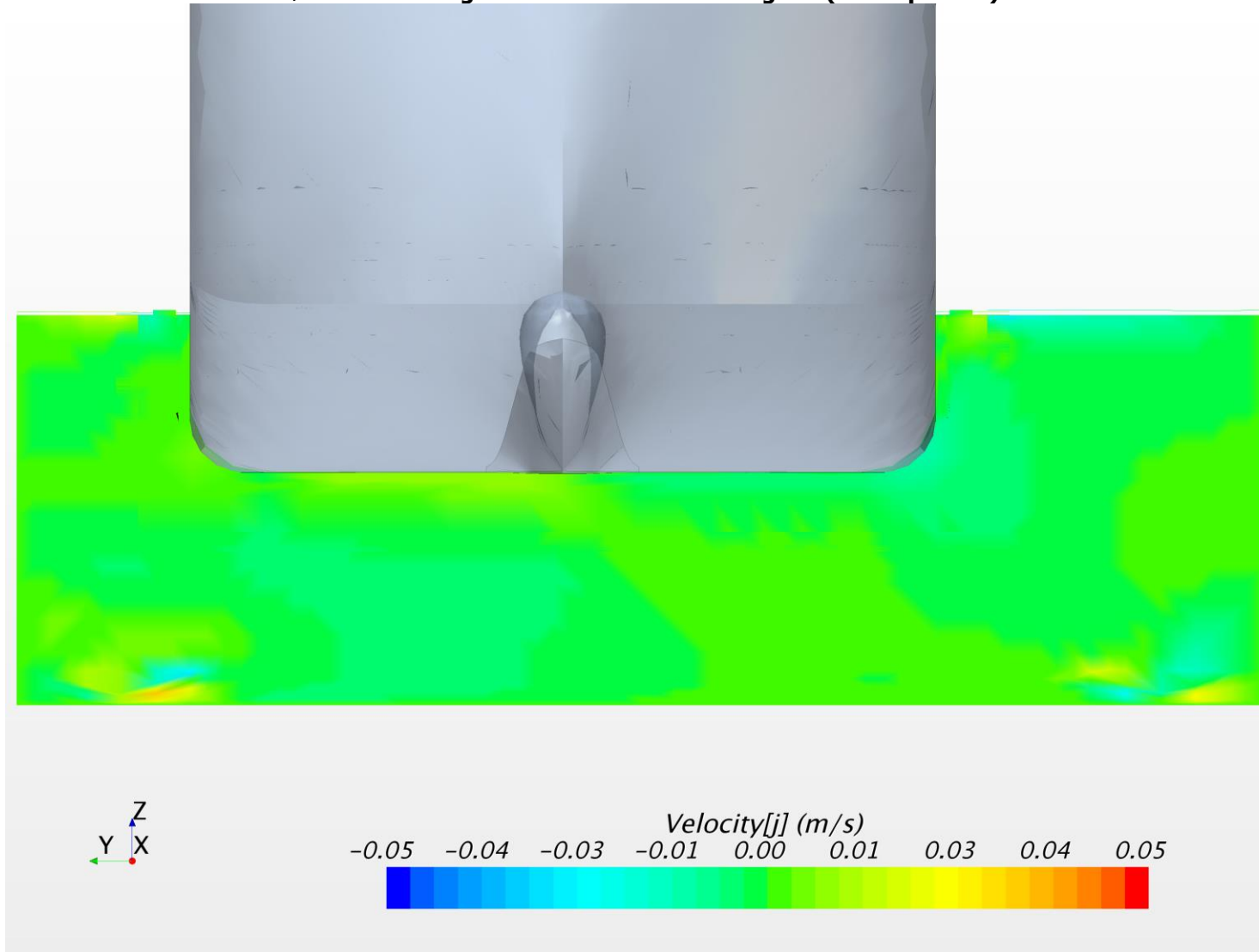
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



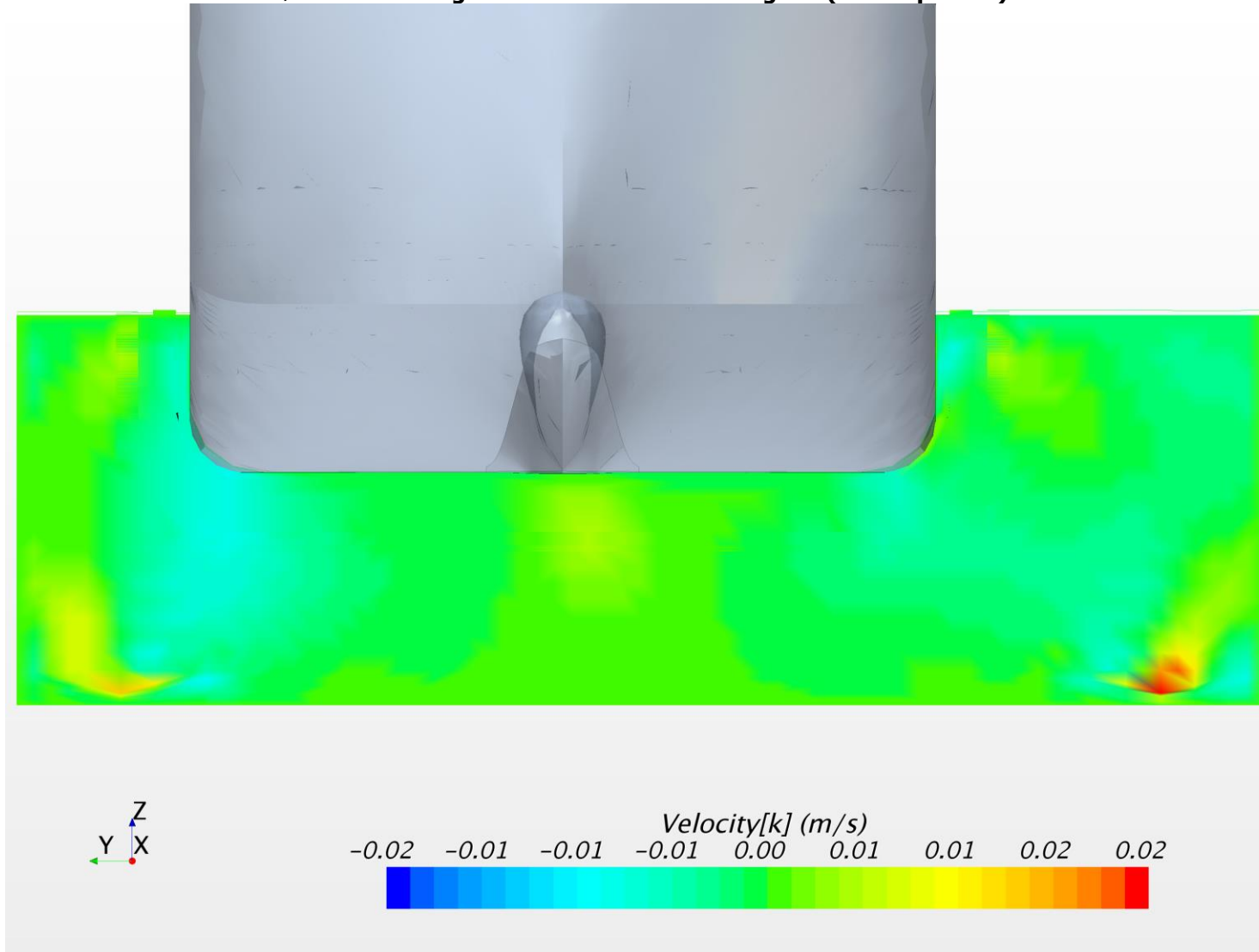
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



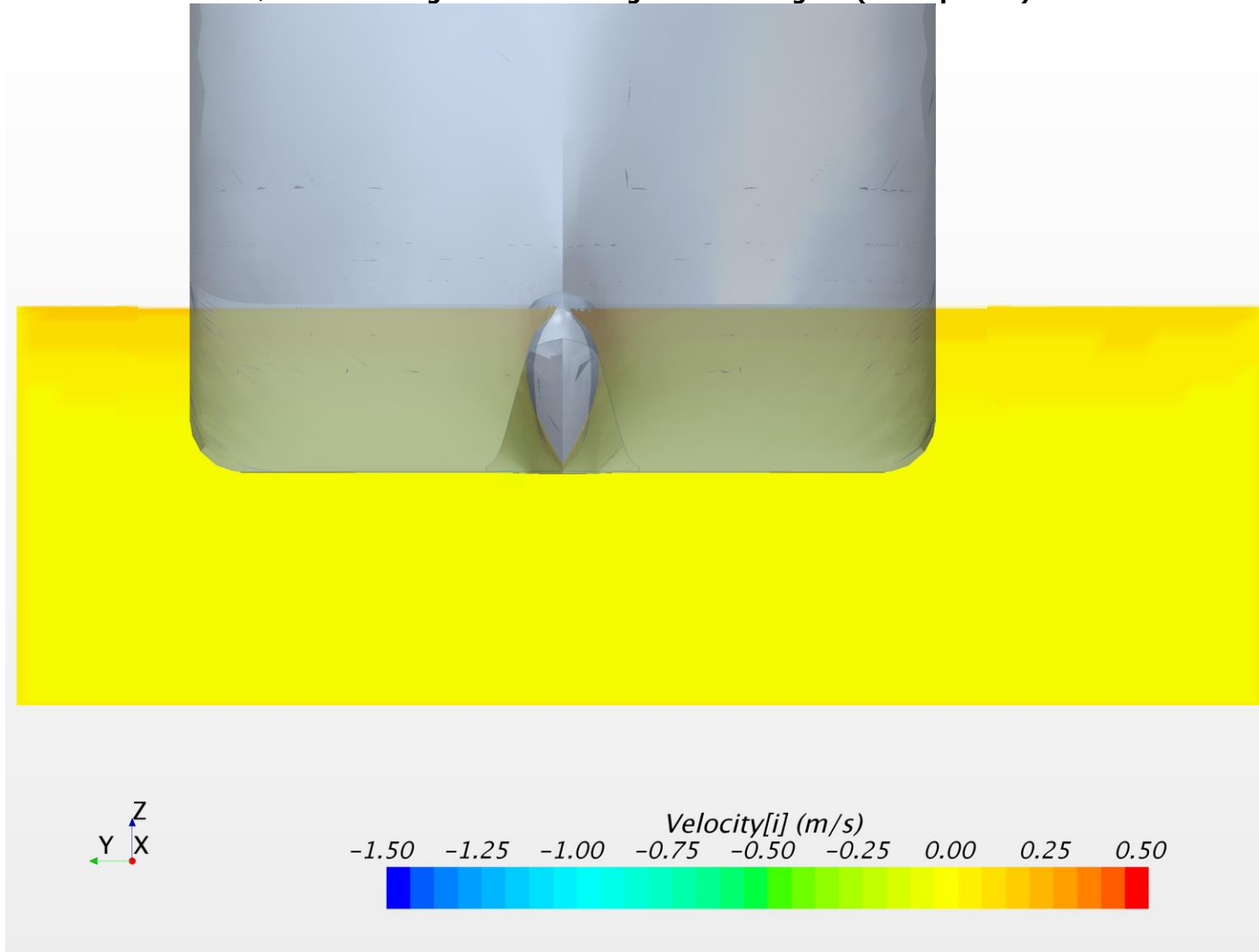
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Lateral hastighed (V komponent) ved NK



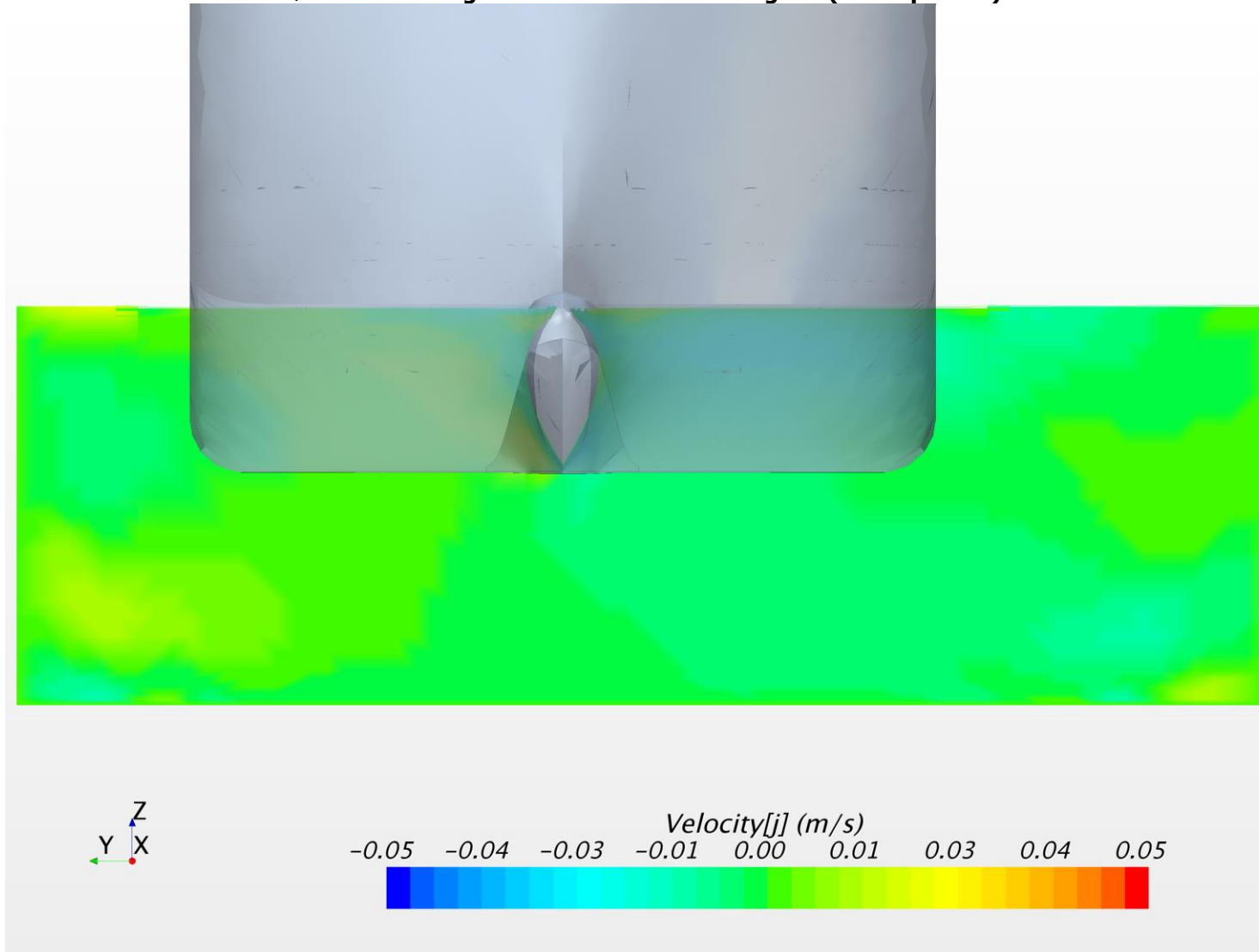
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



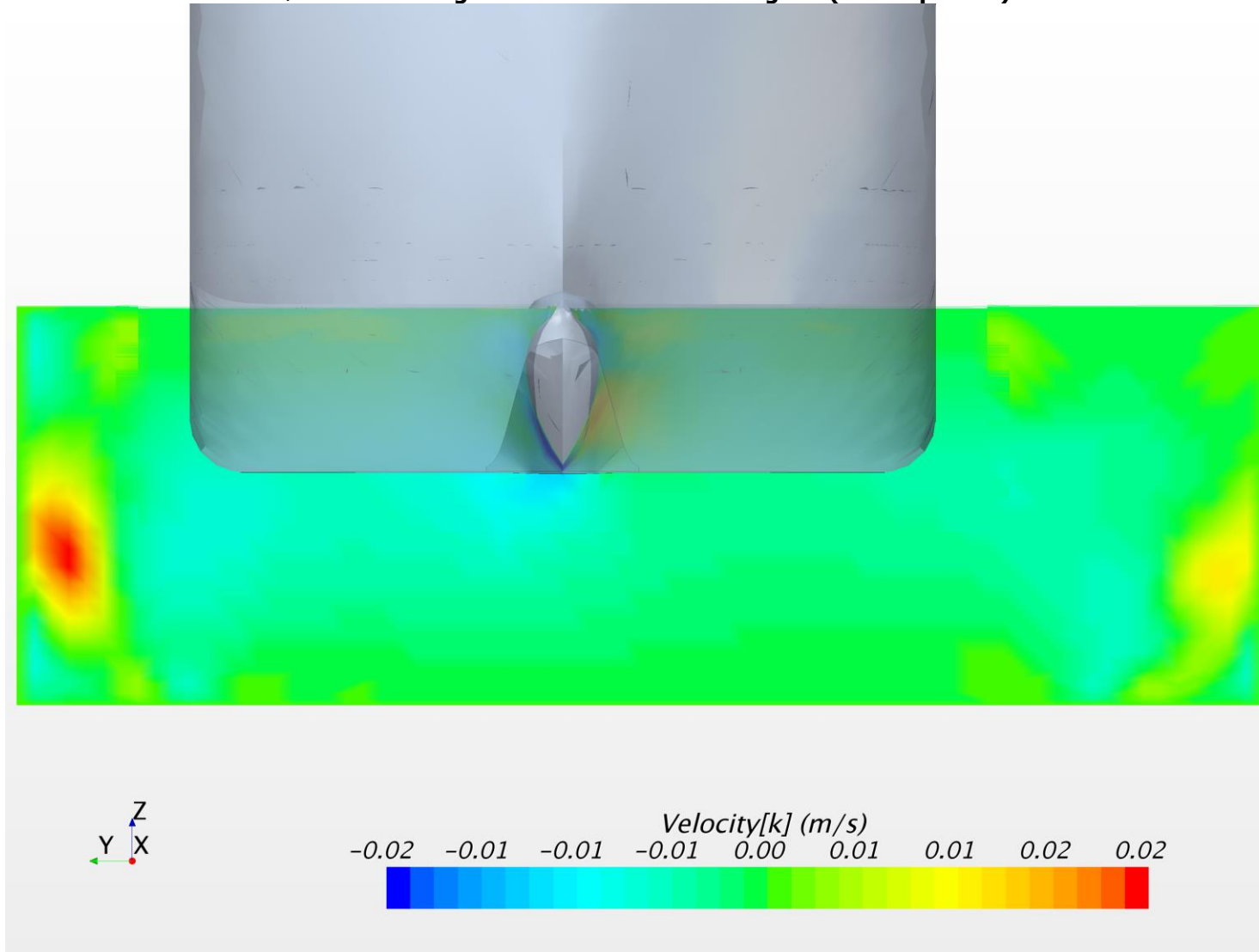
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



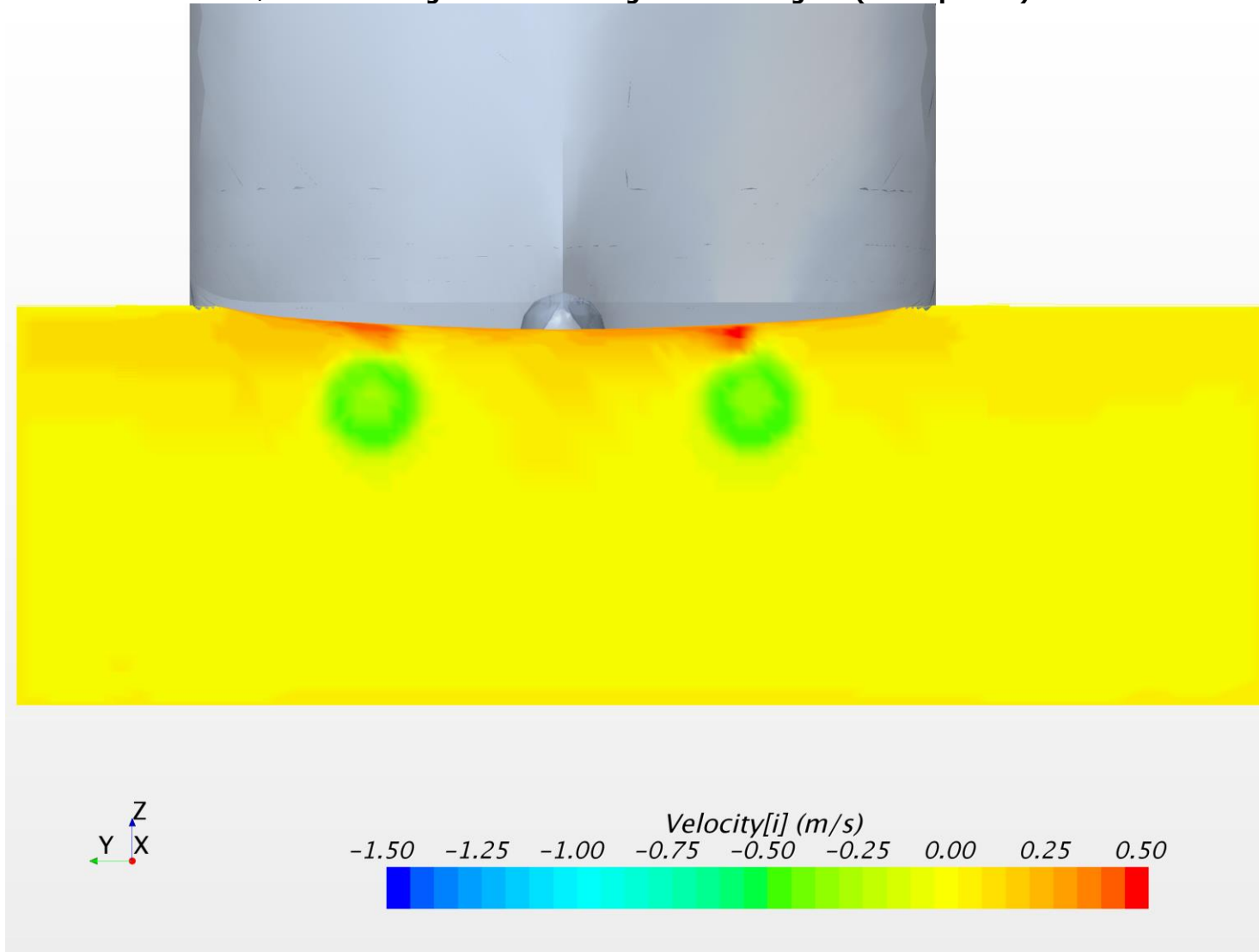
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Lateral hastighed (V komponent) ved FP



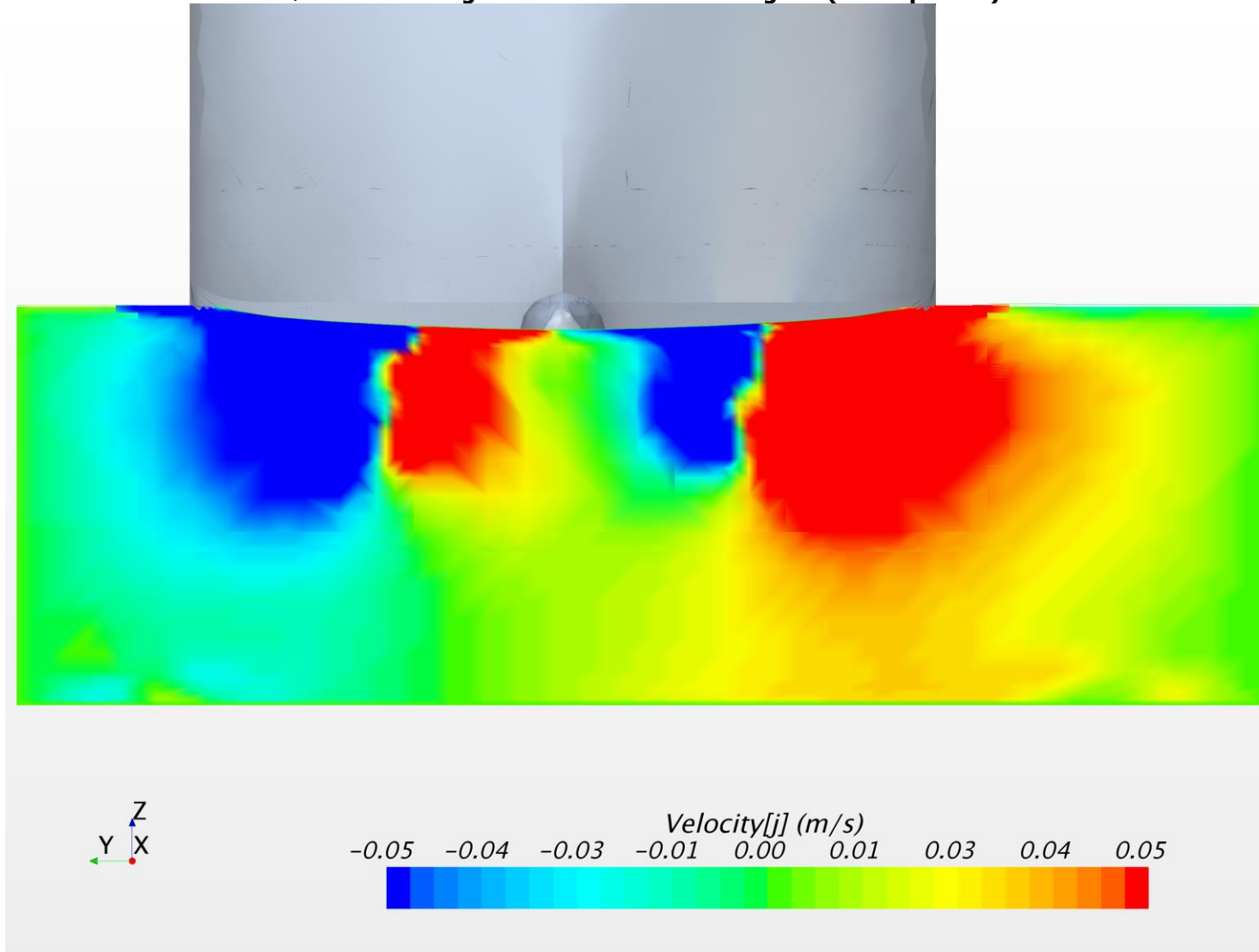
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



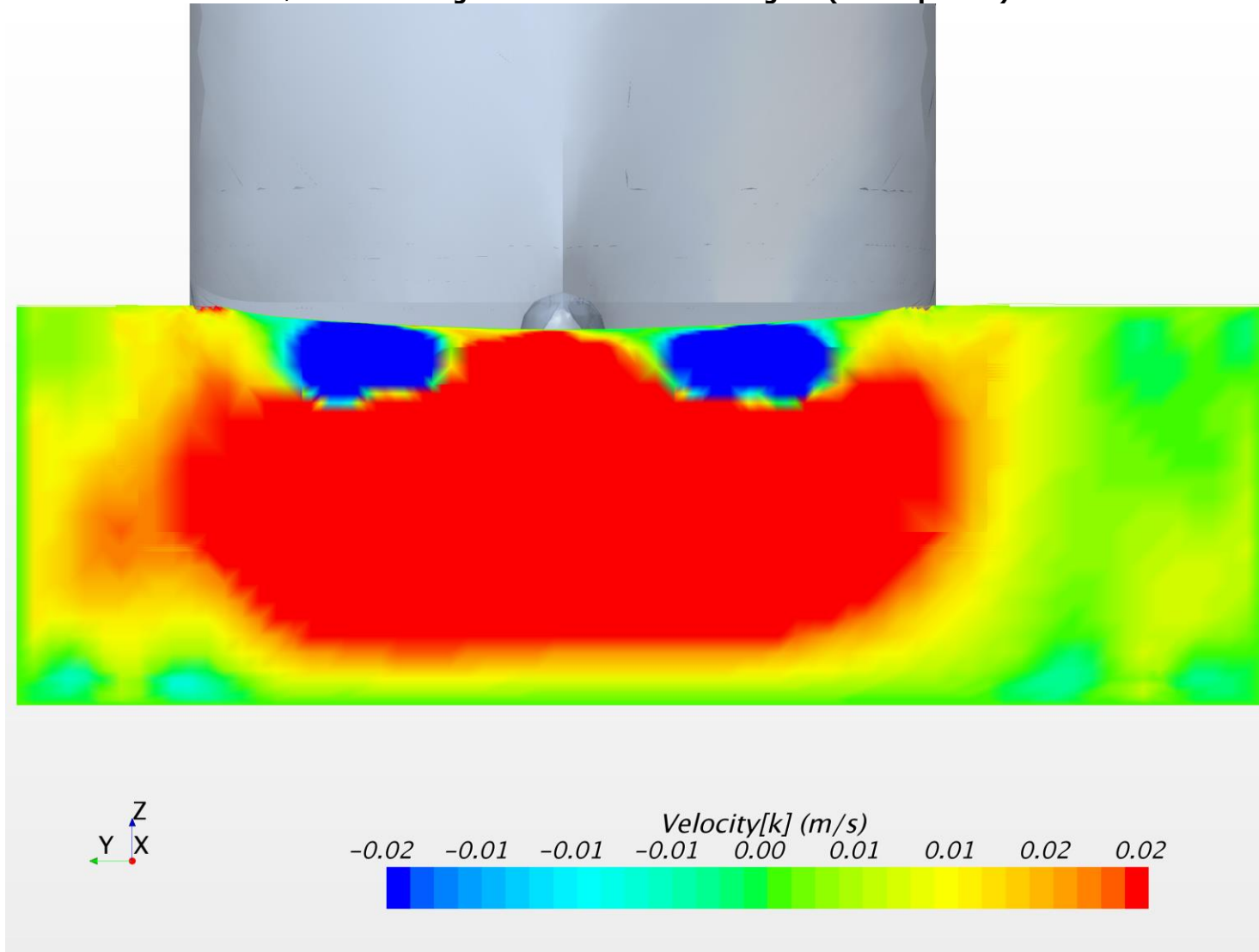
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



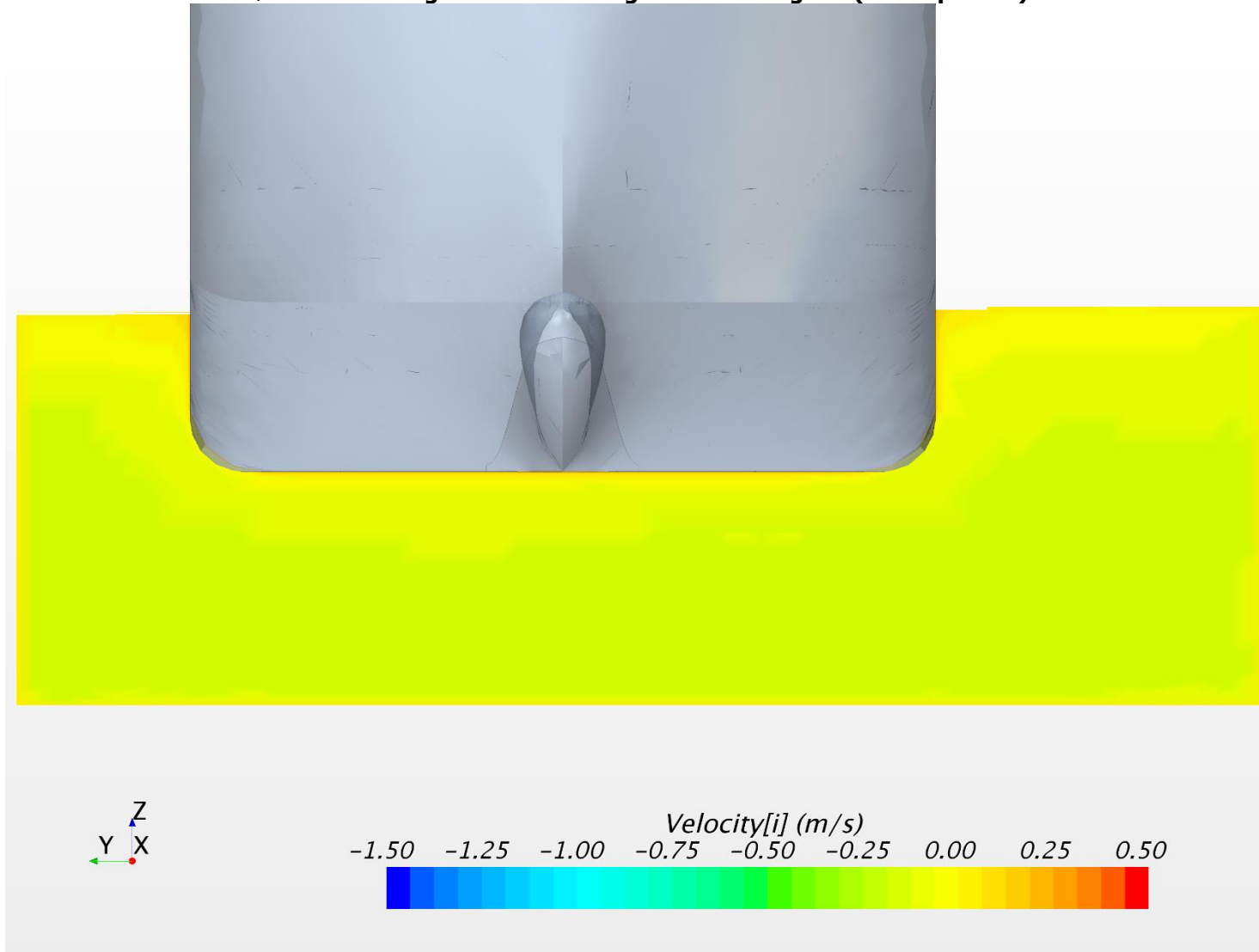
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved AP



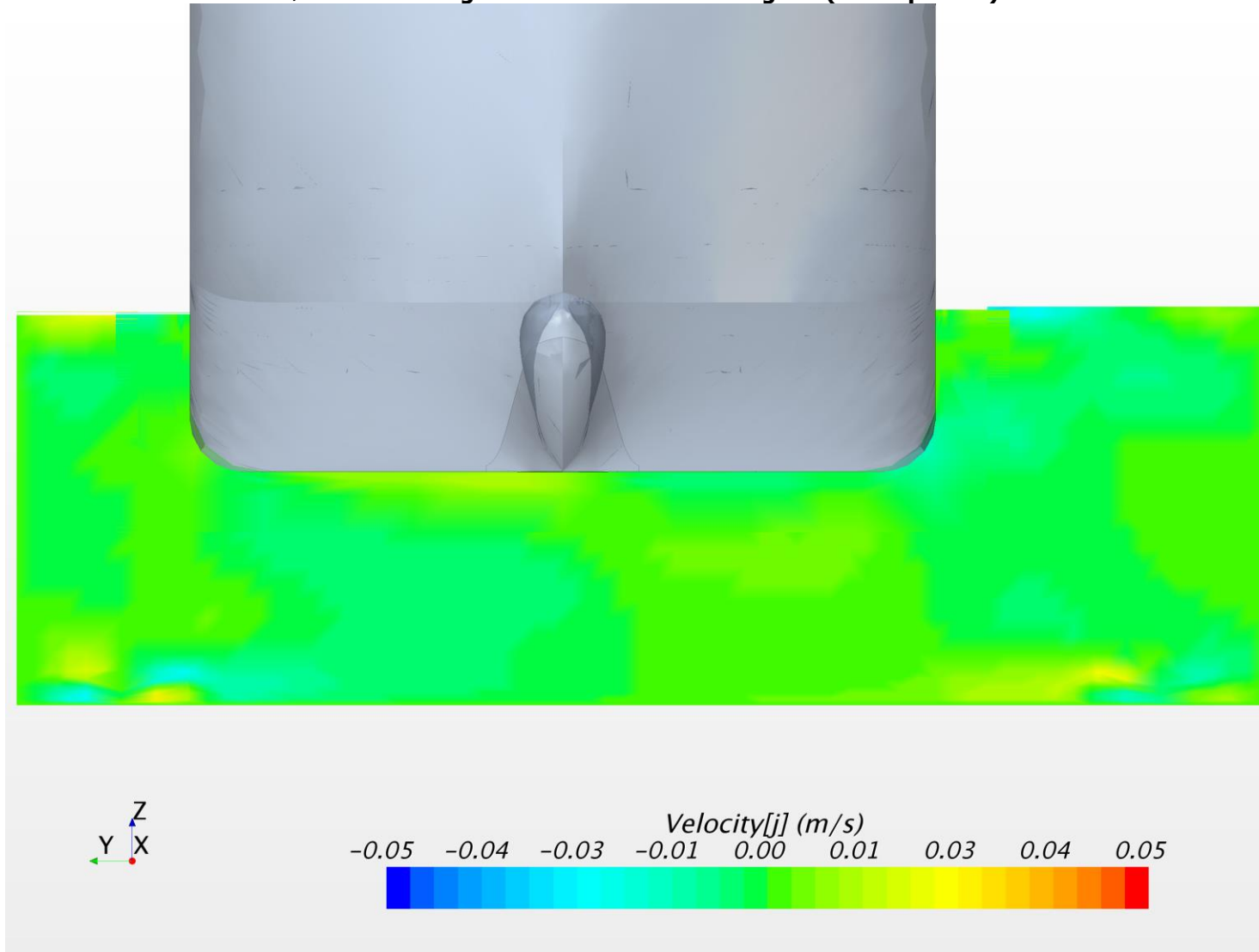
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



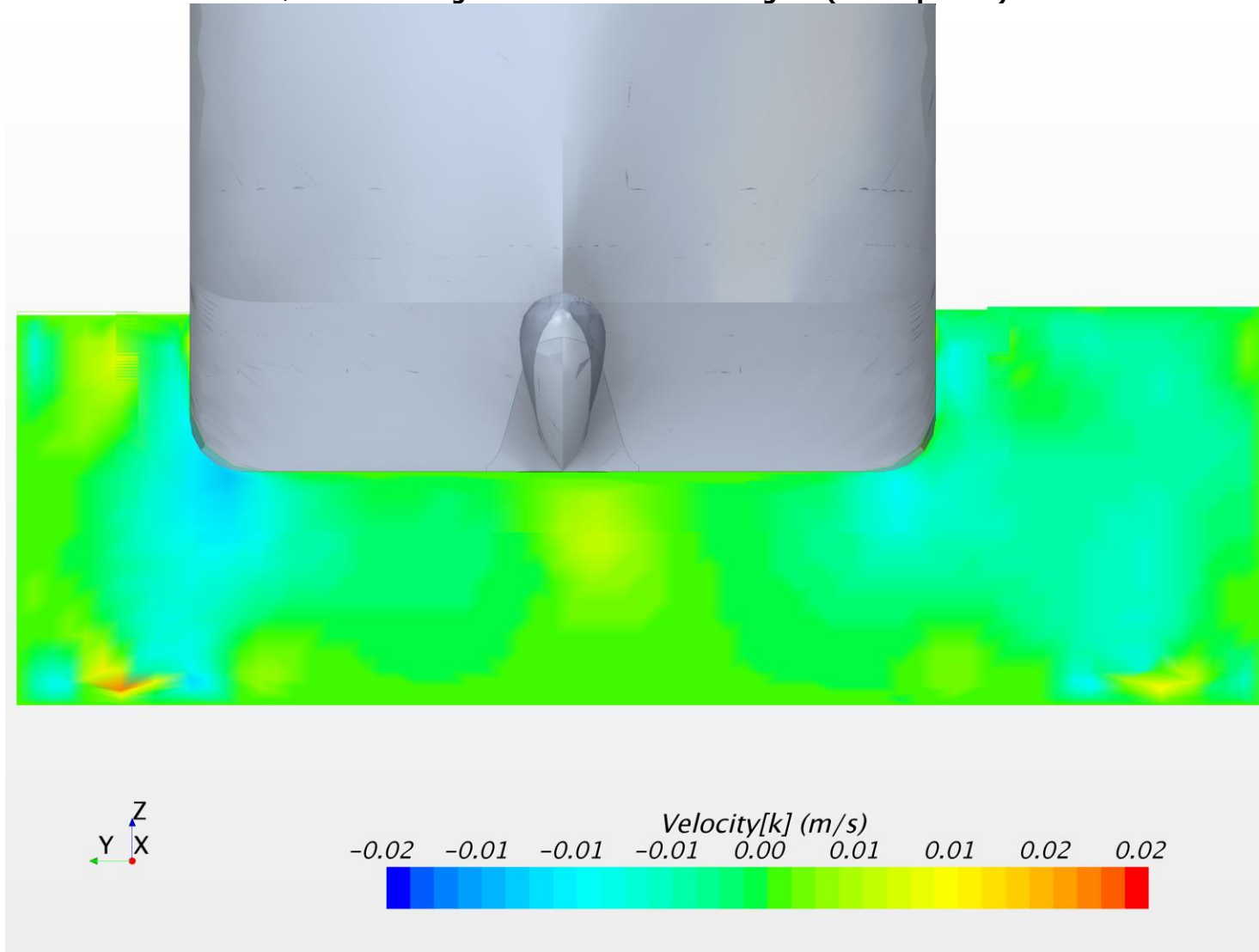
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



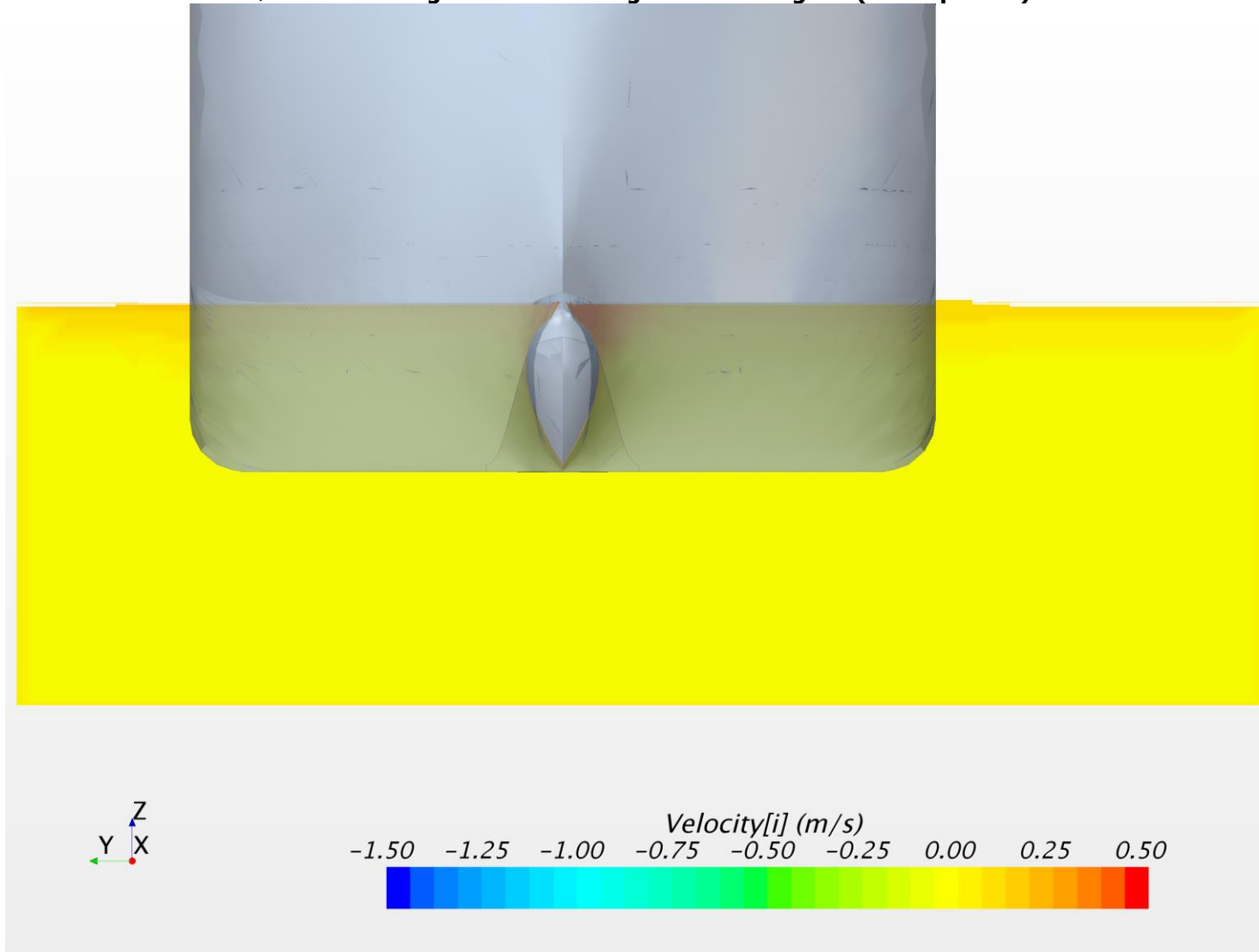
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved NK



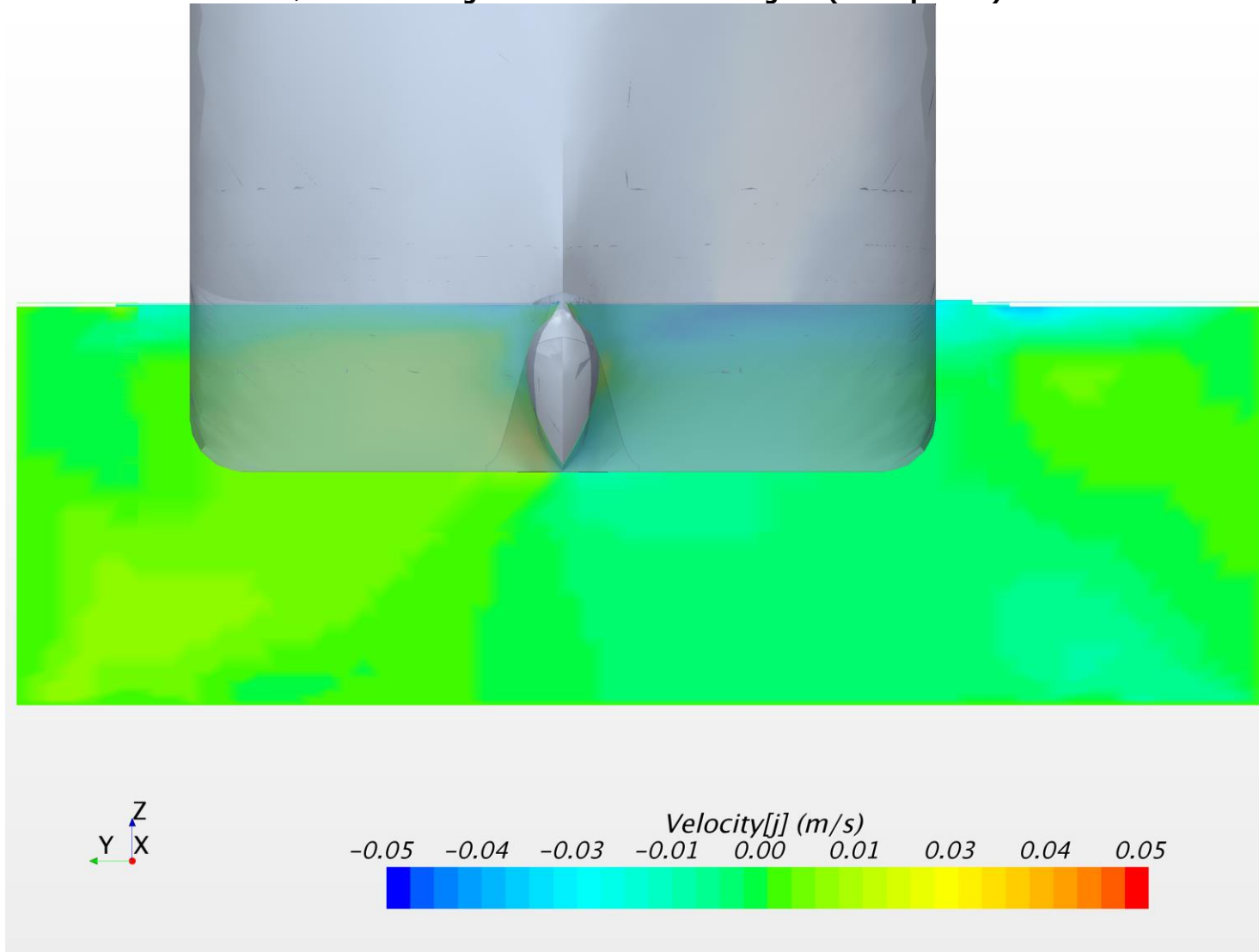
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



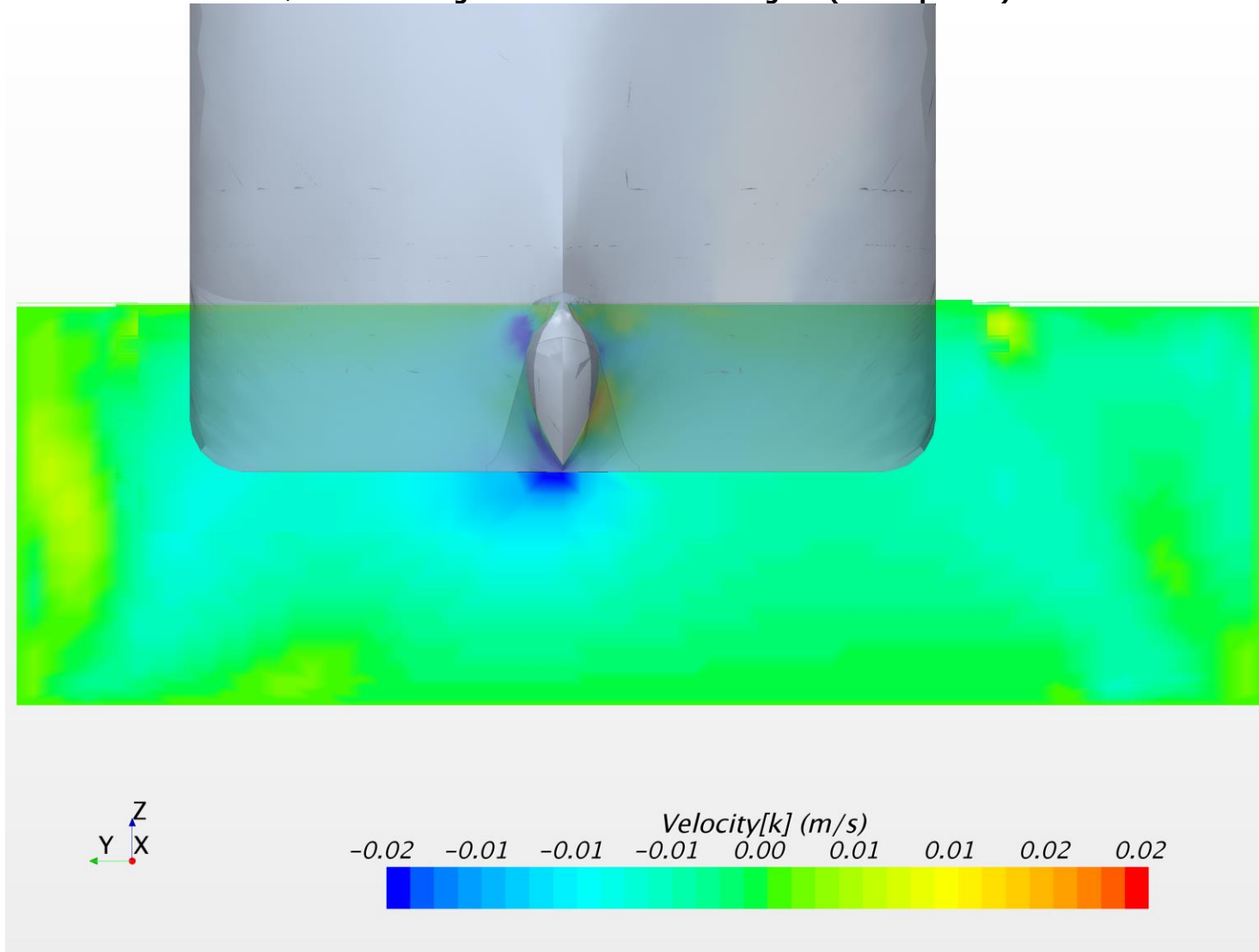
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



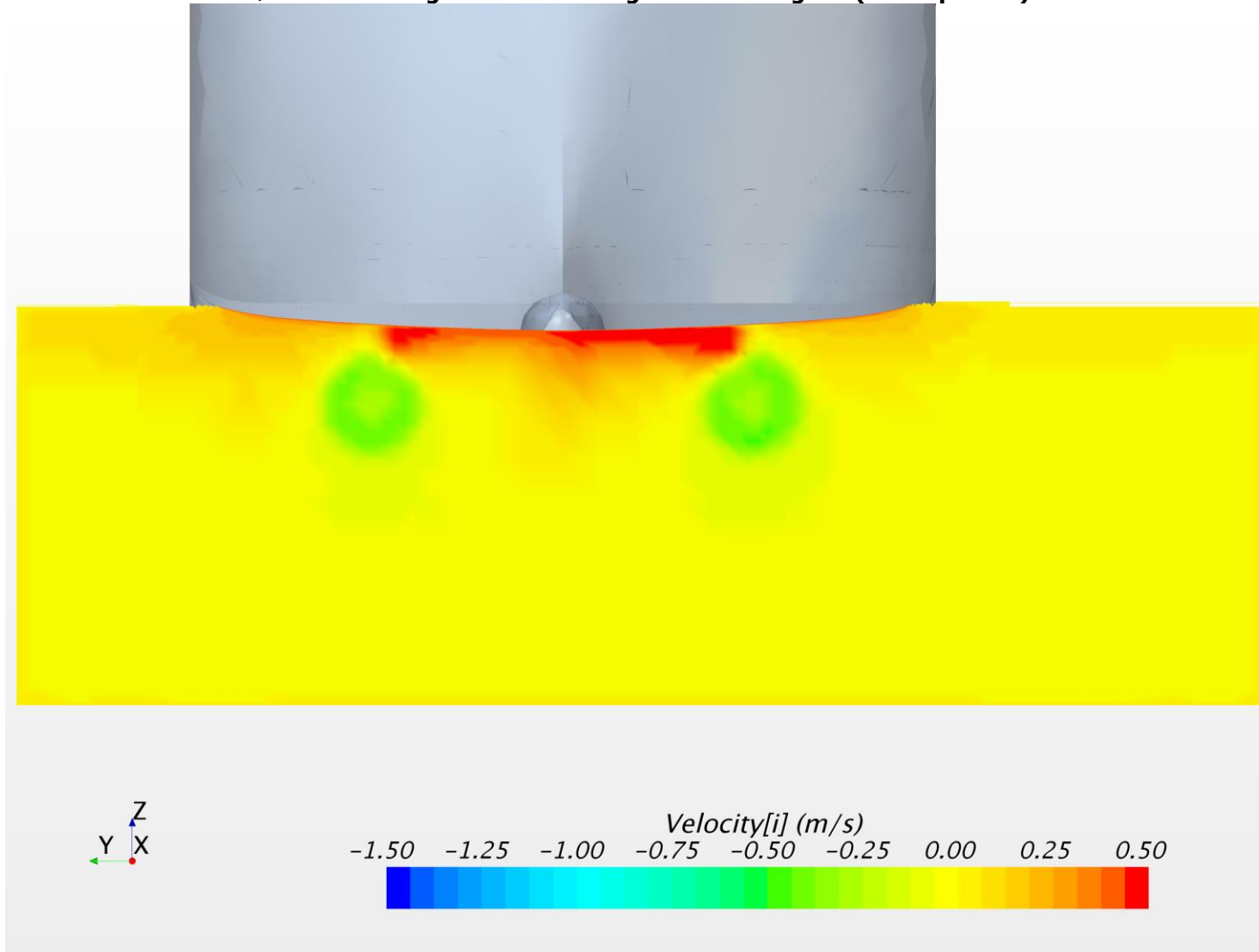
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved FP



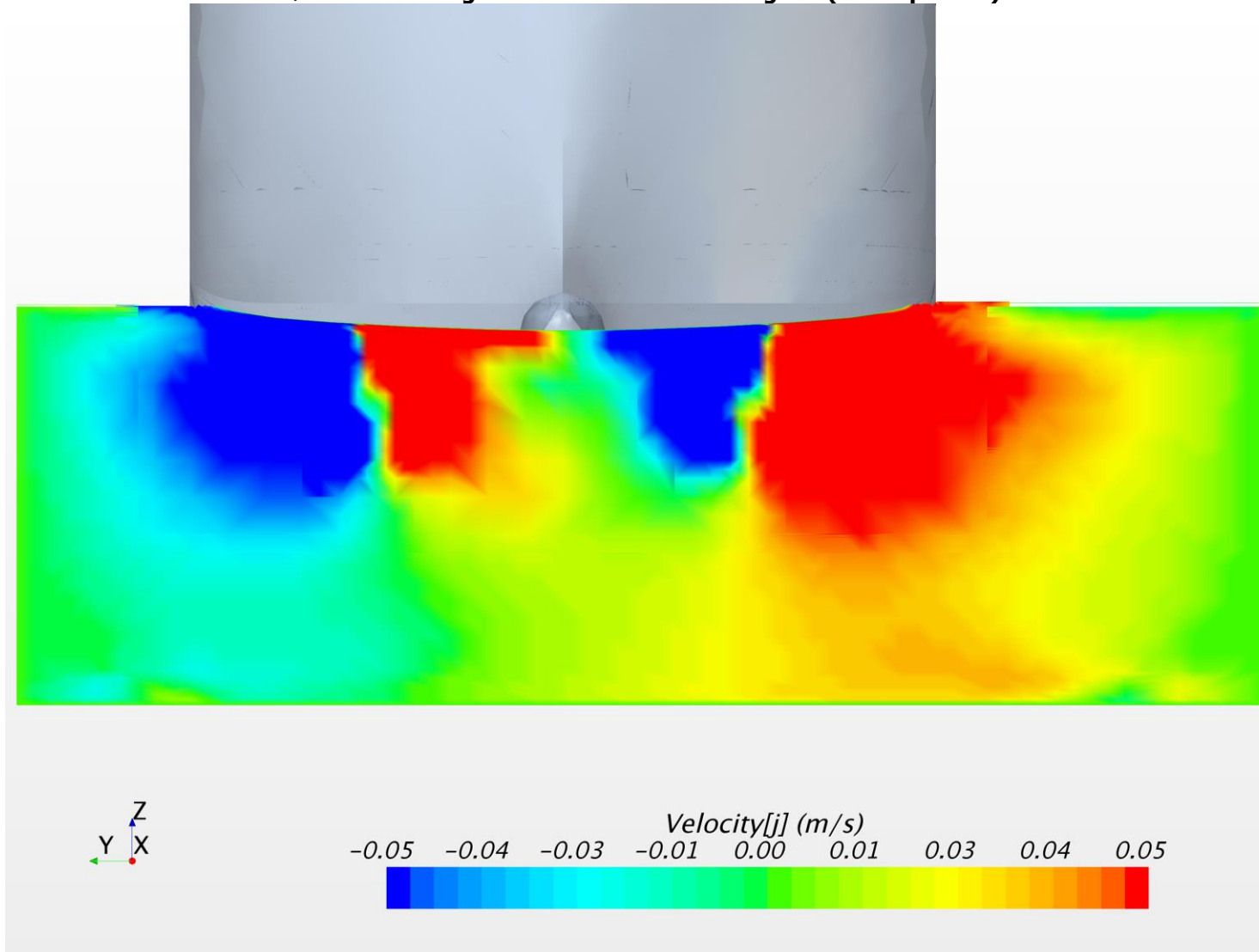
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



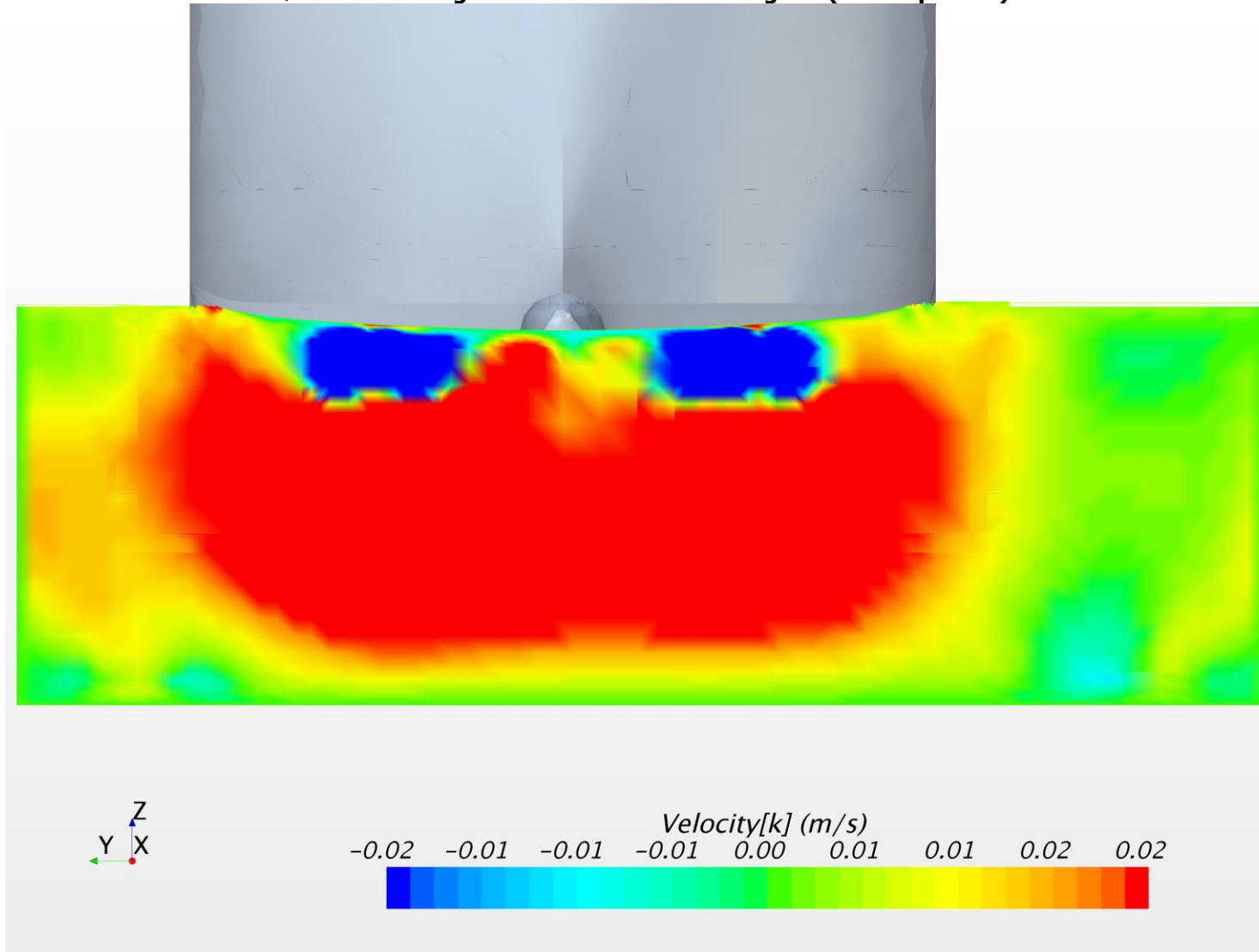
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



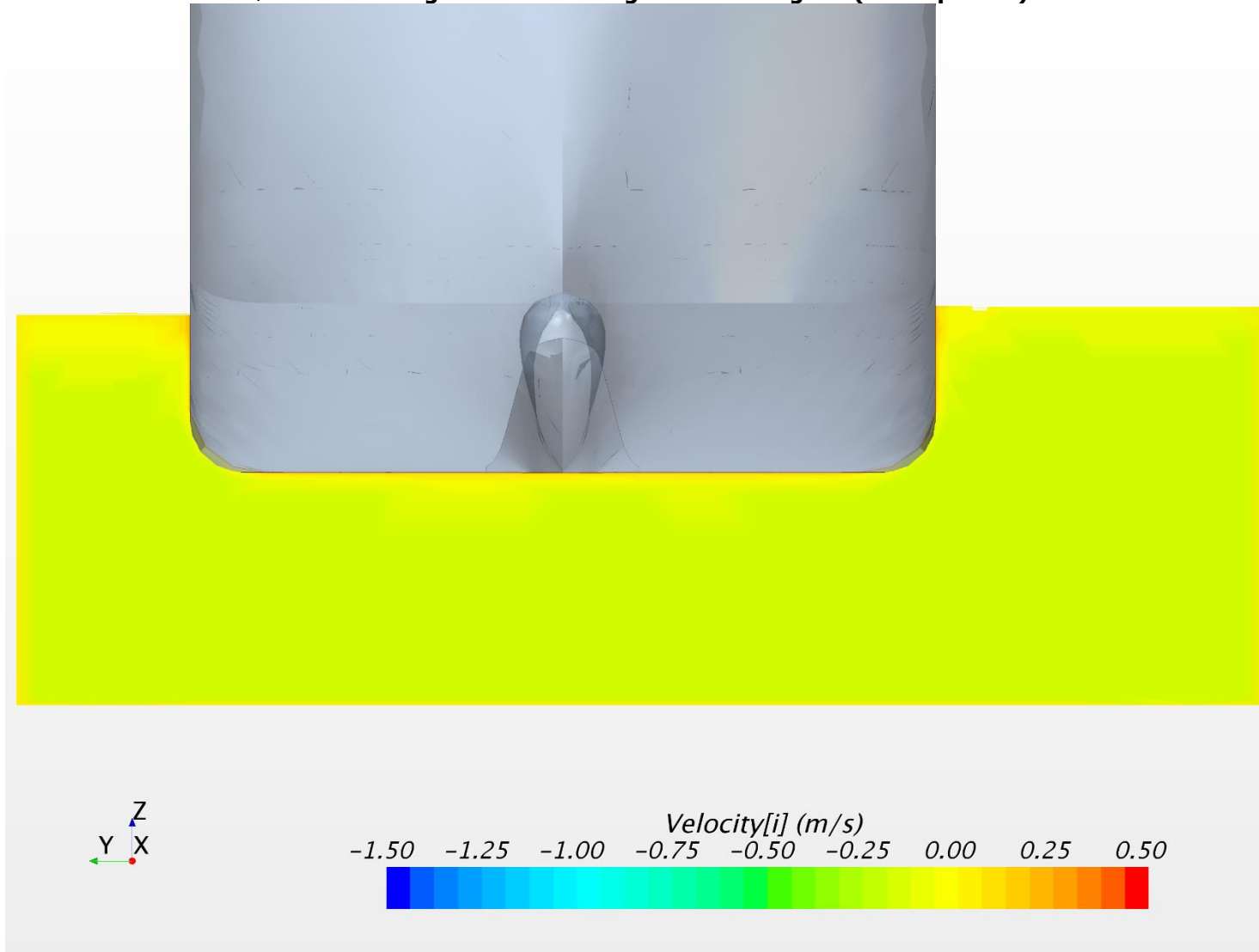
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Lateral hastighed (V komponent) ved AP



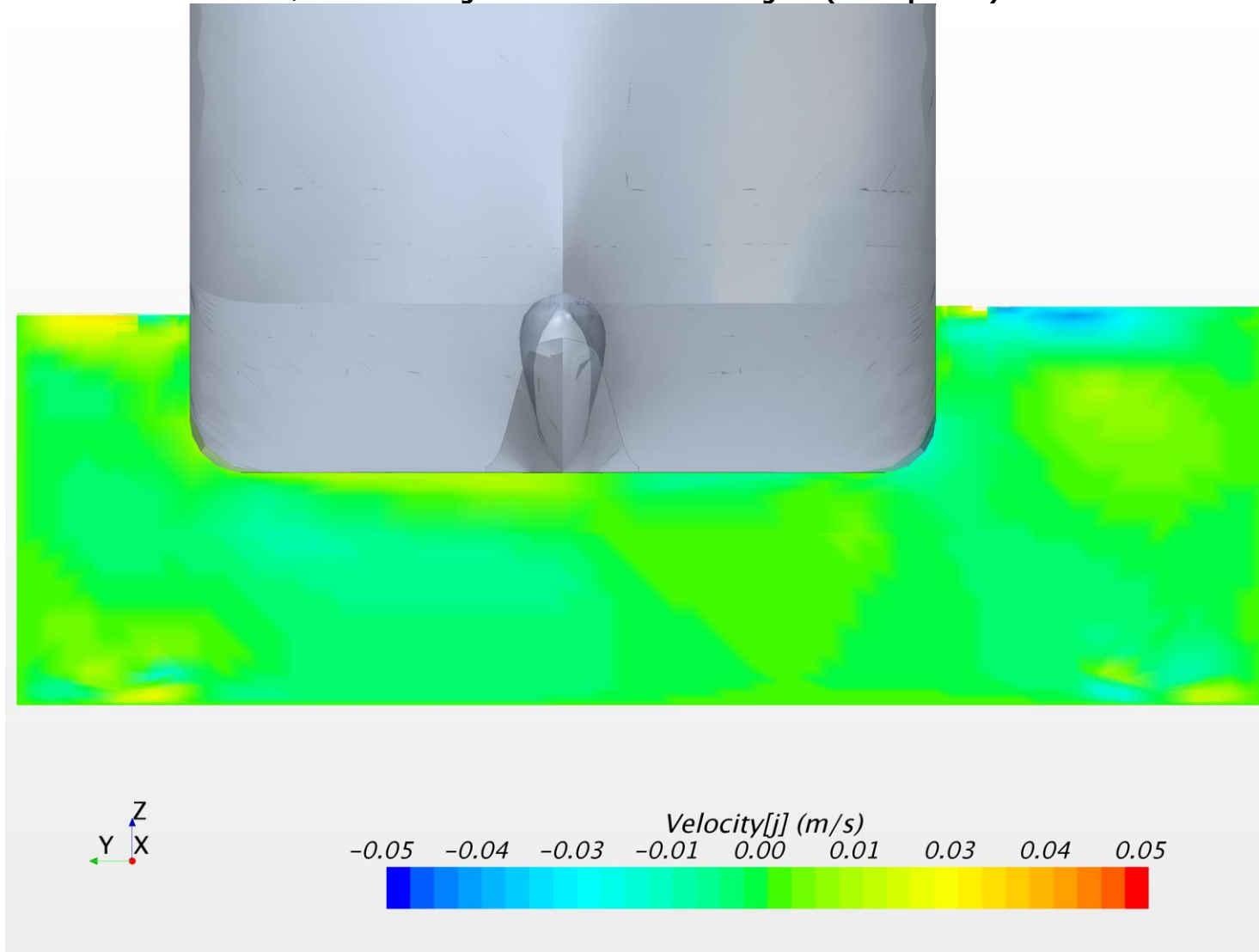
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



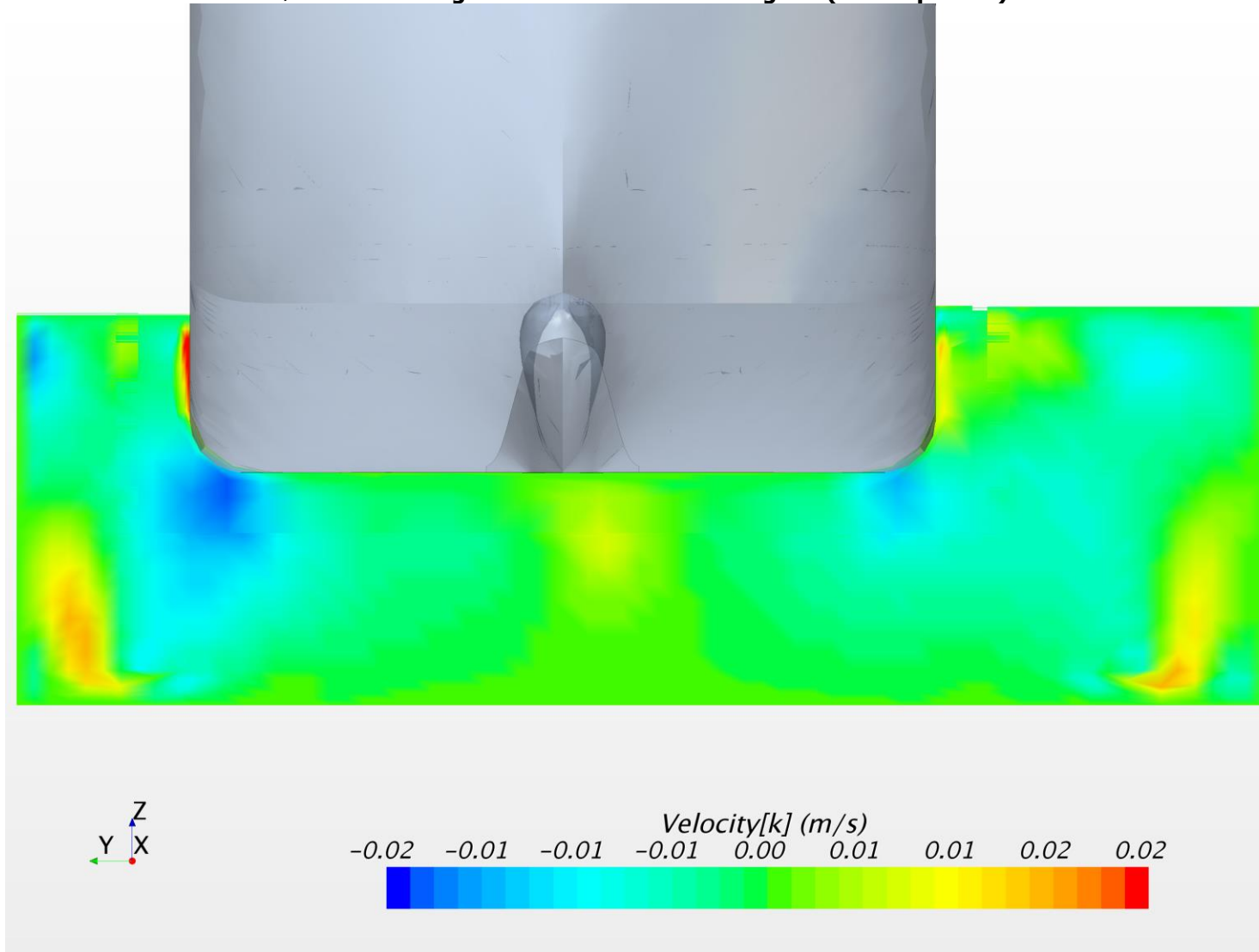
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



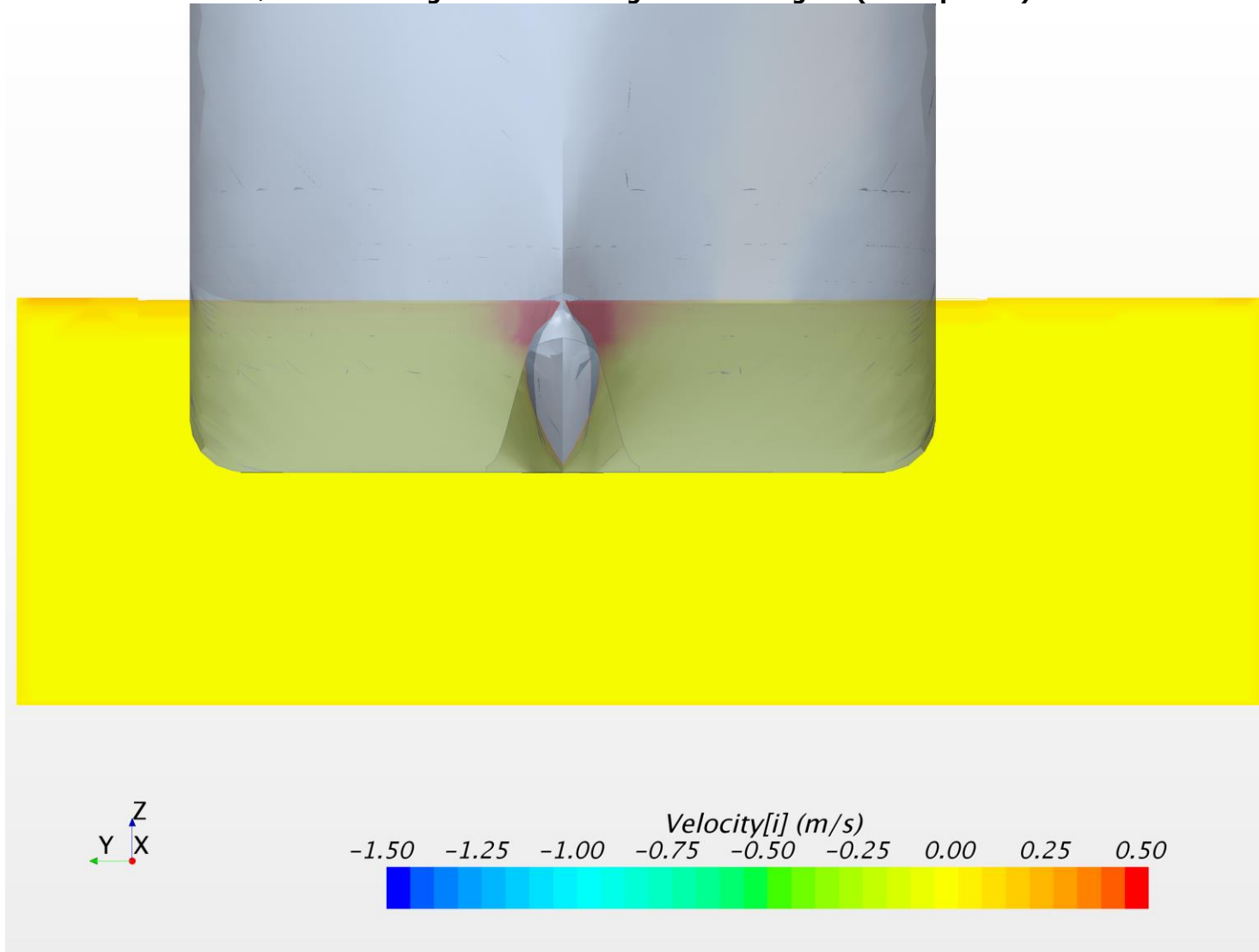
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Lateral hastighed (V komponent) ved NK



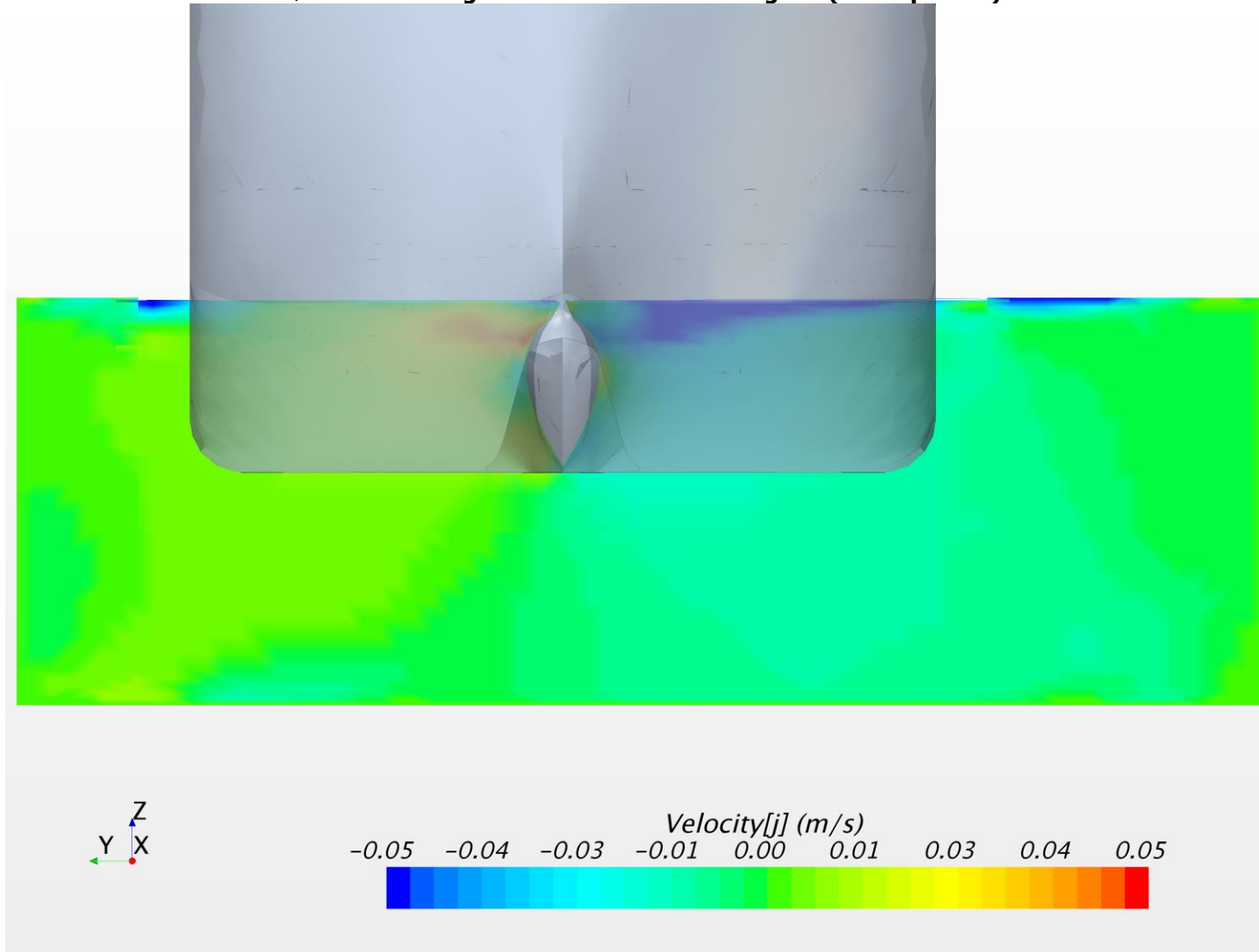
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



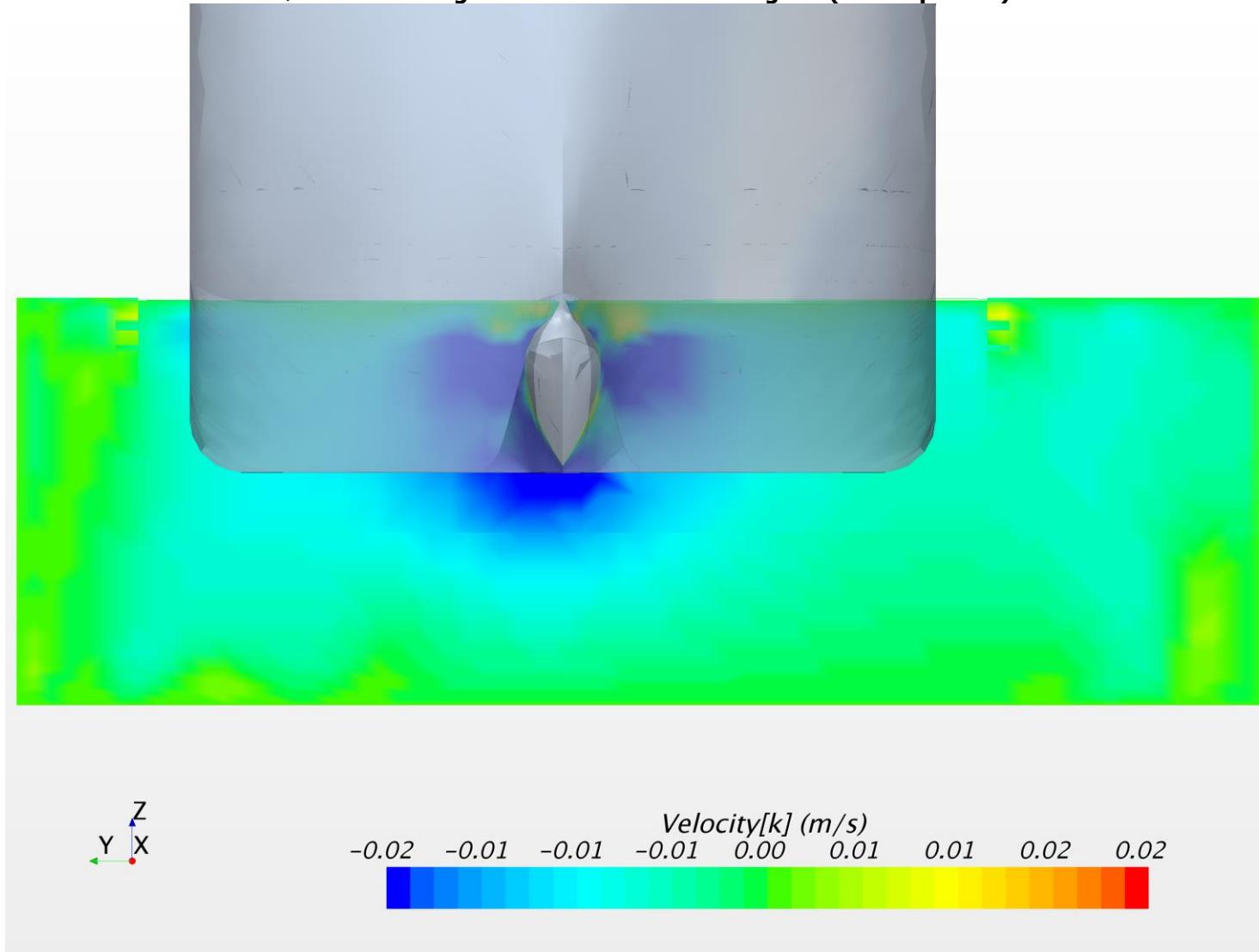
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



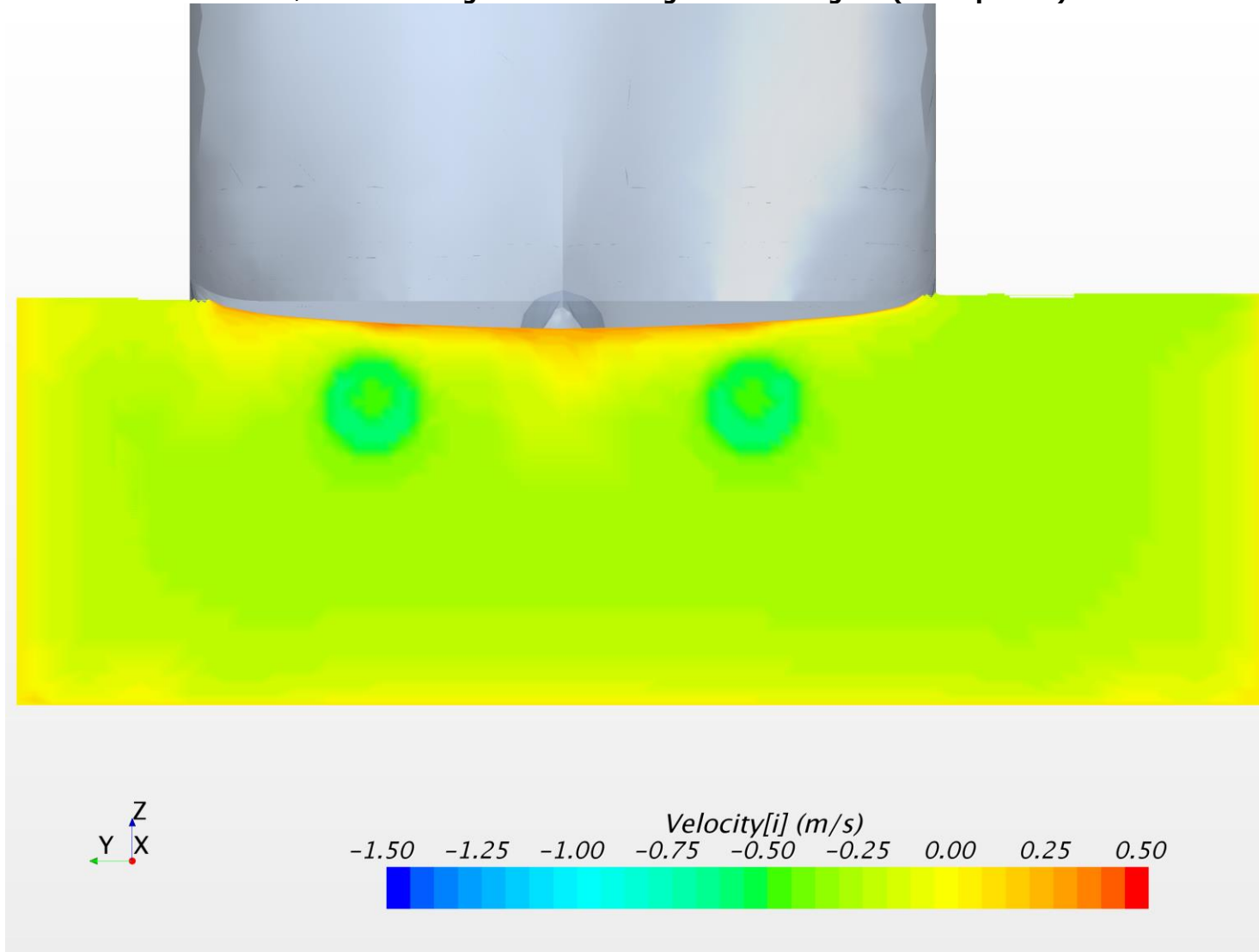
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Lateral hastighed (V komponent) ved FP



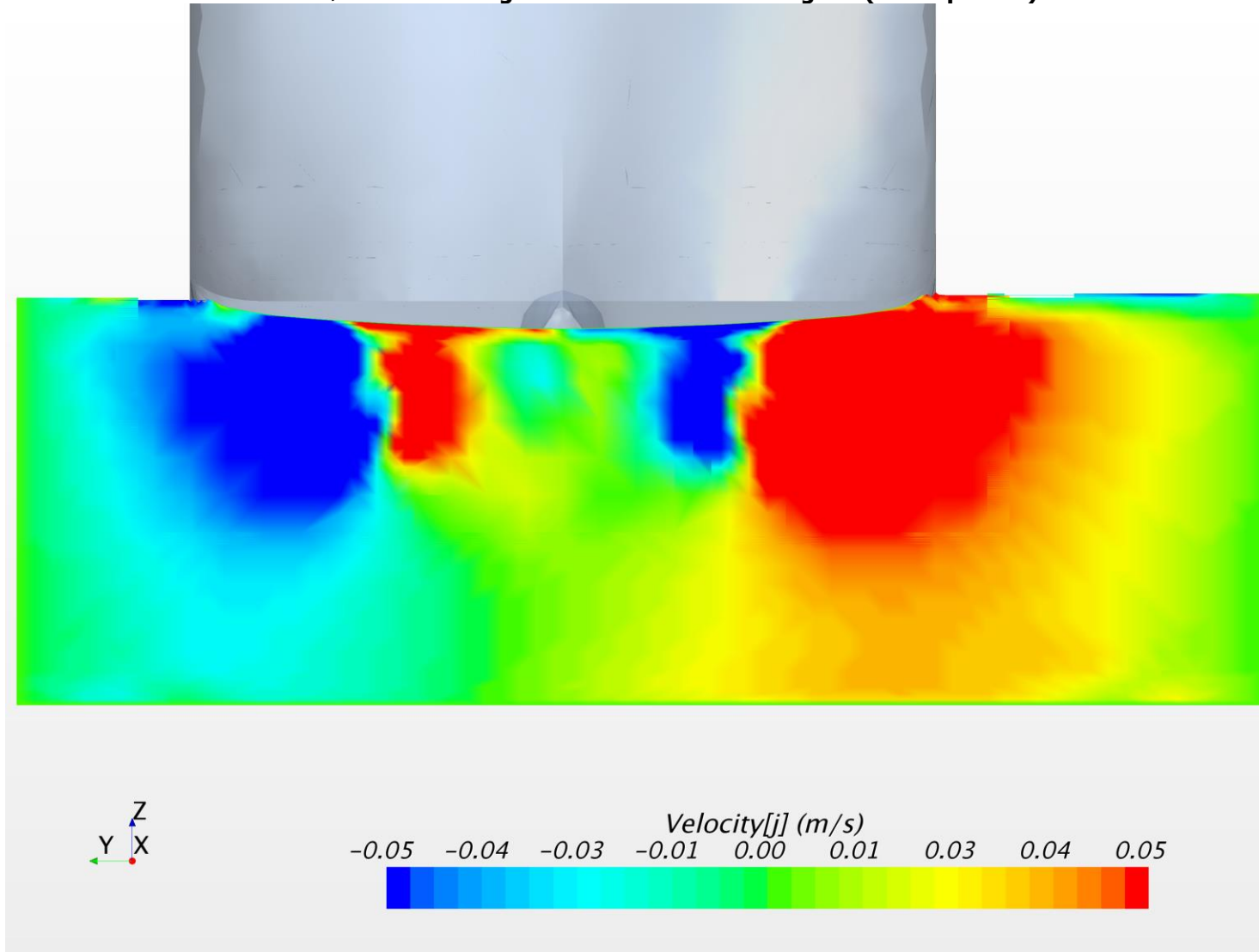
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



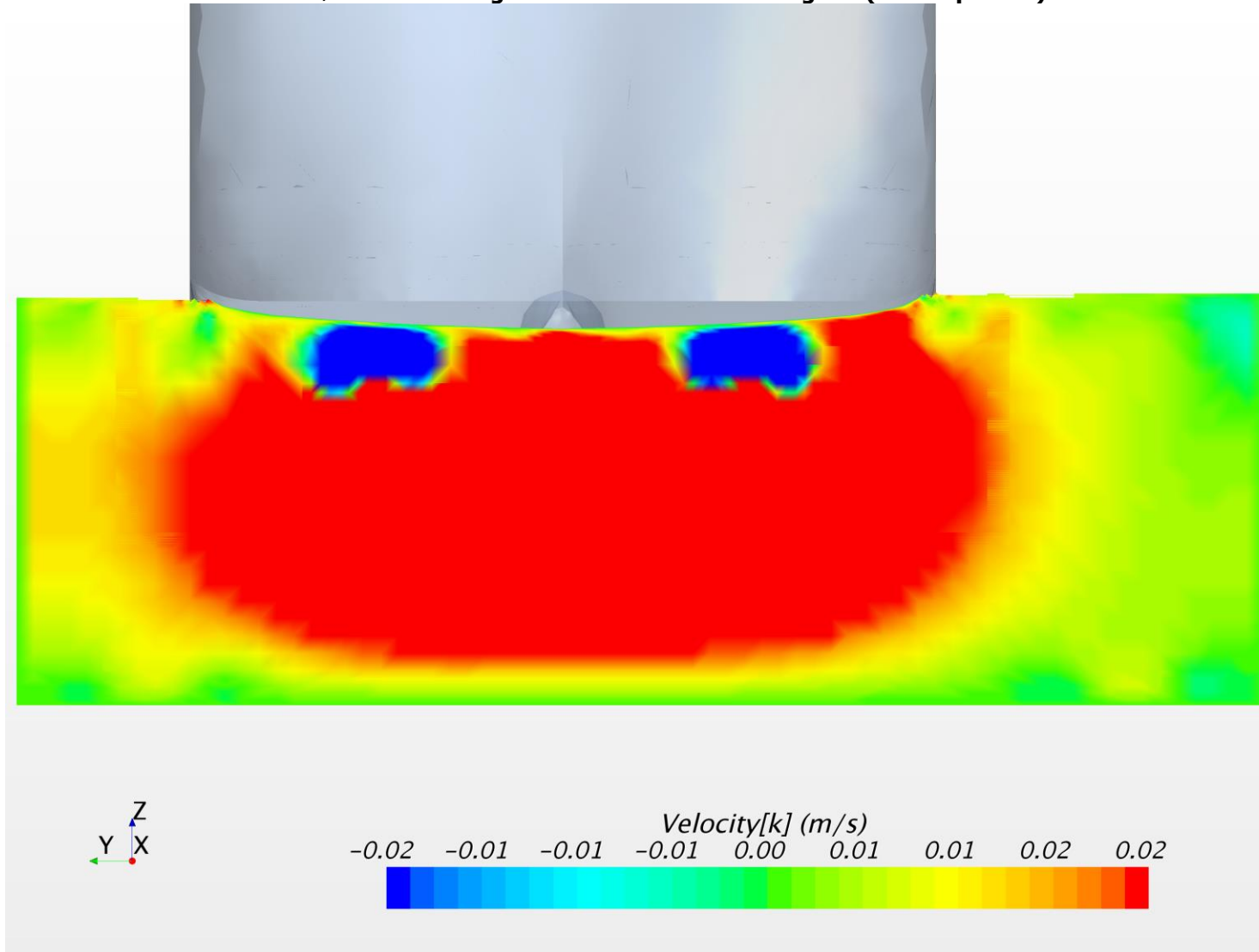
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



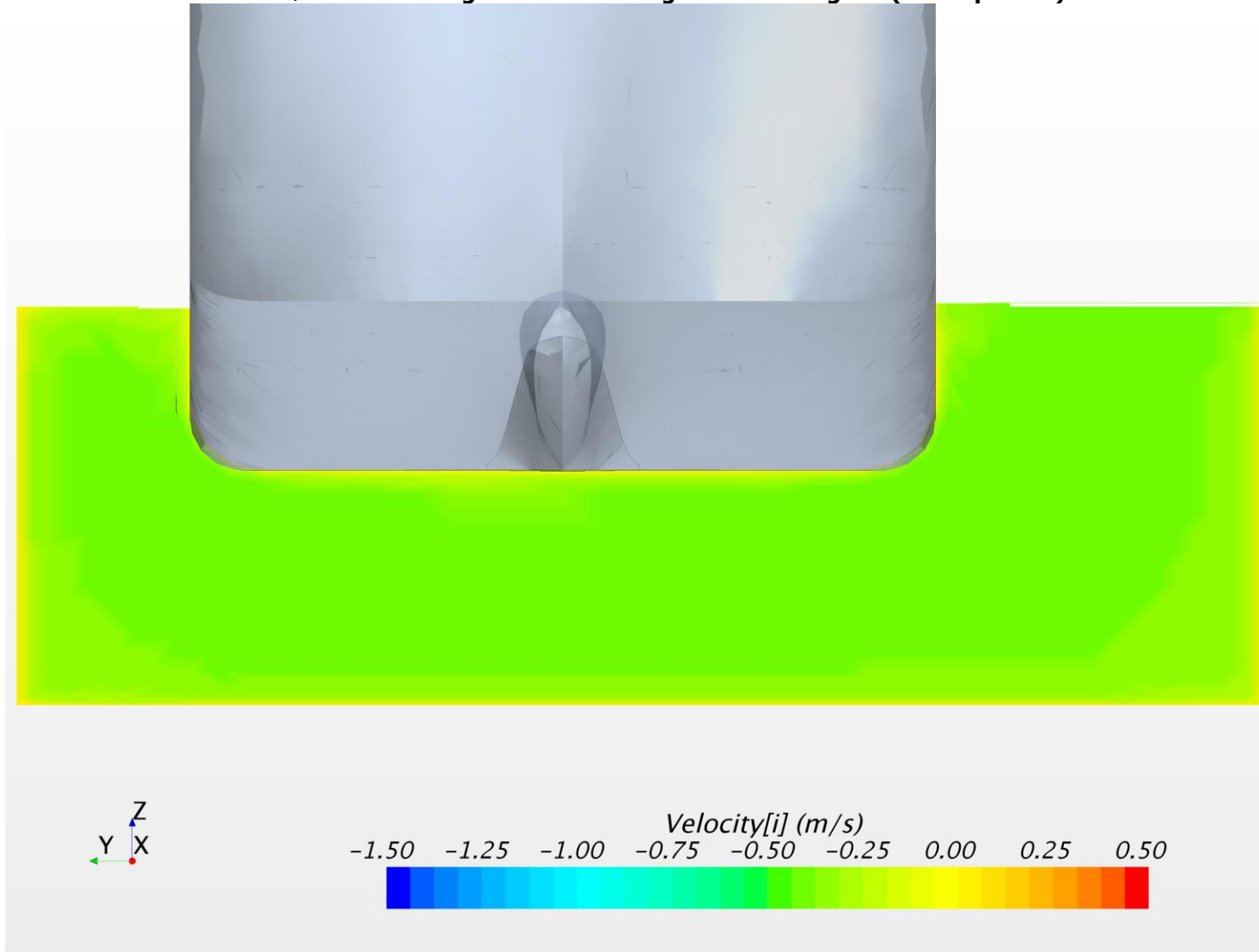
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved AP



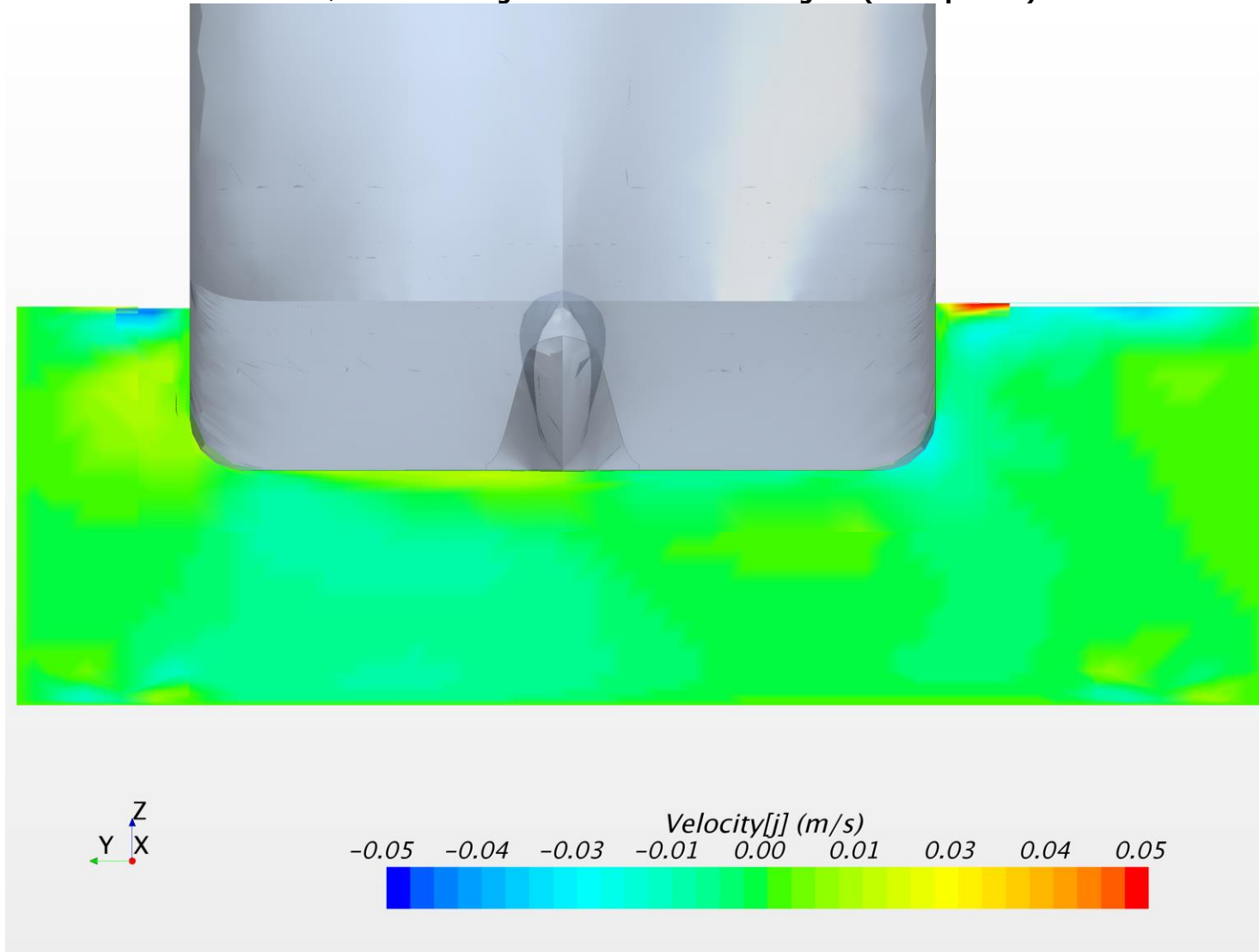
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



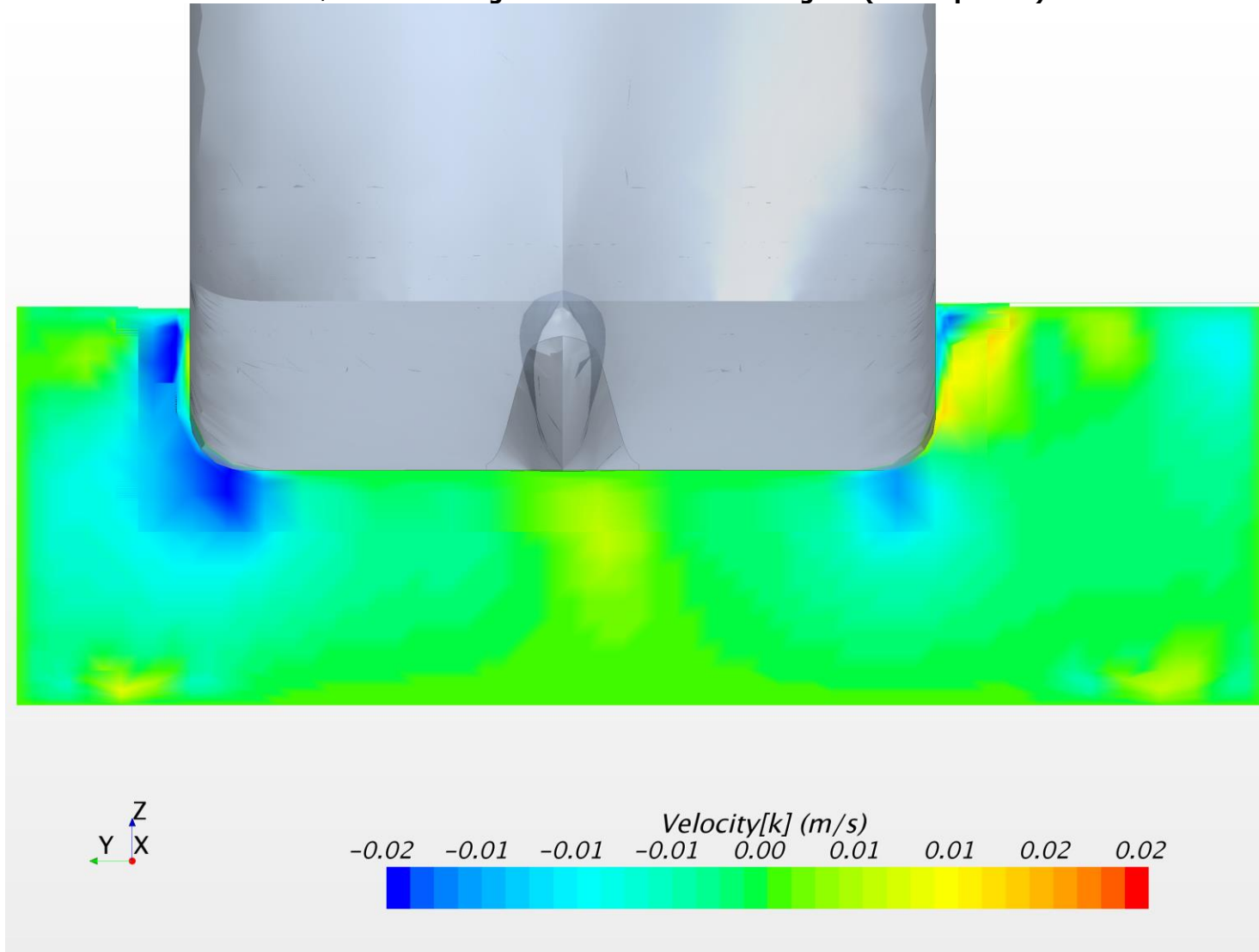
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



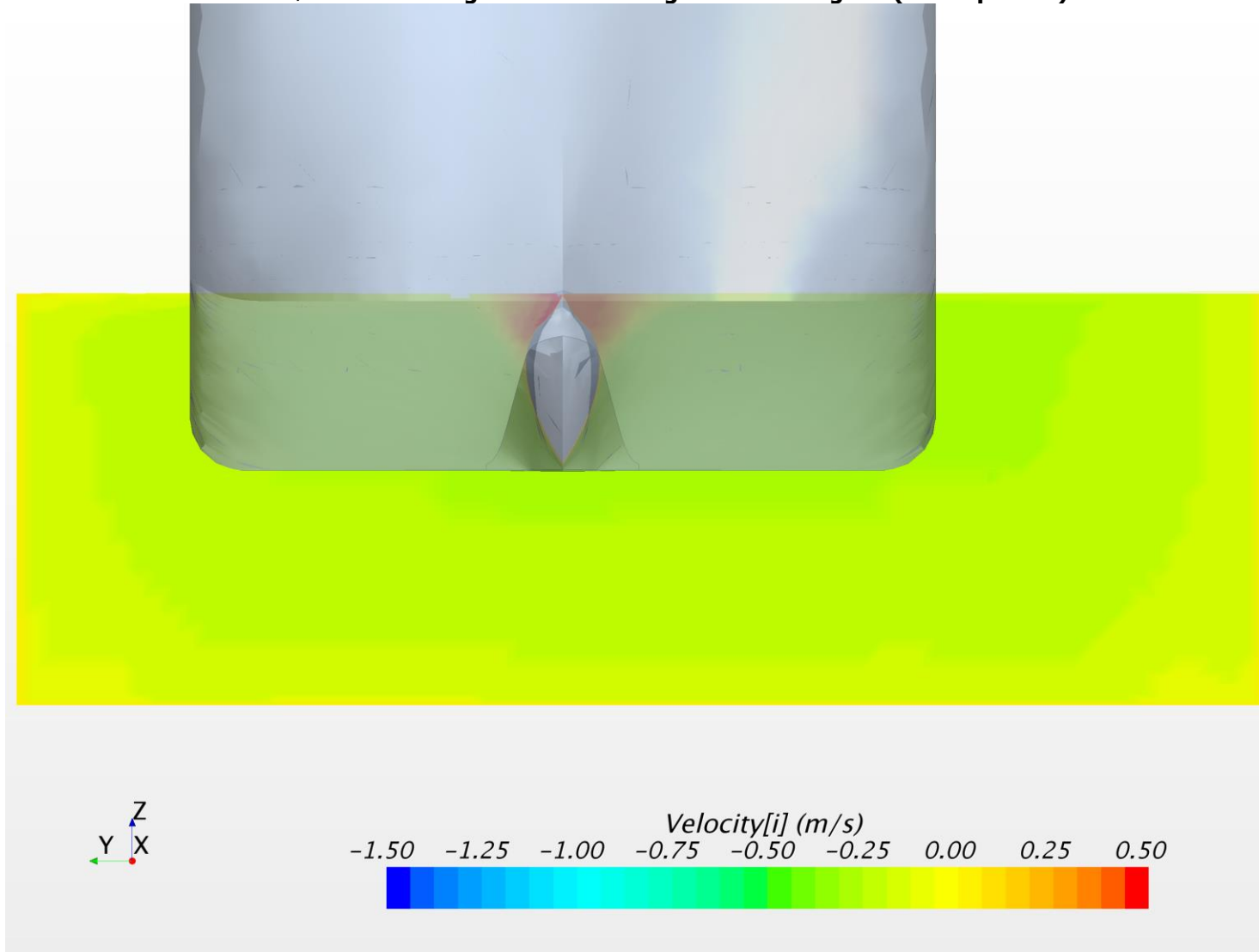
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved NK



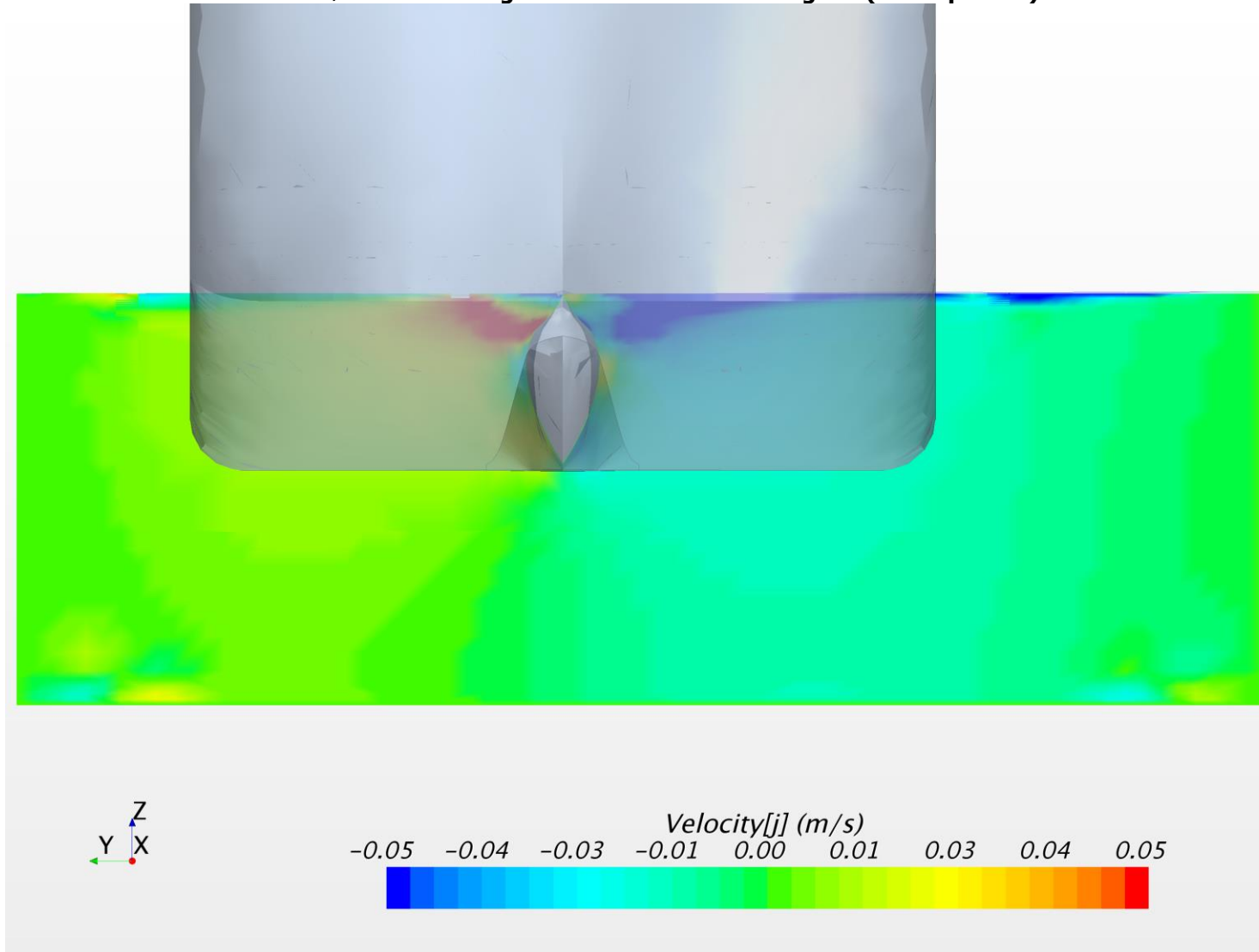
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



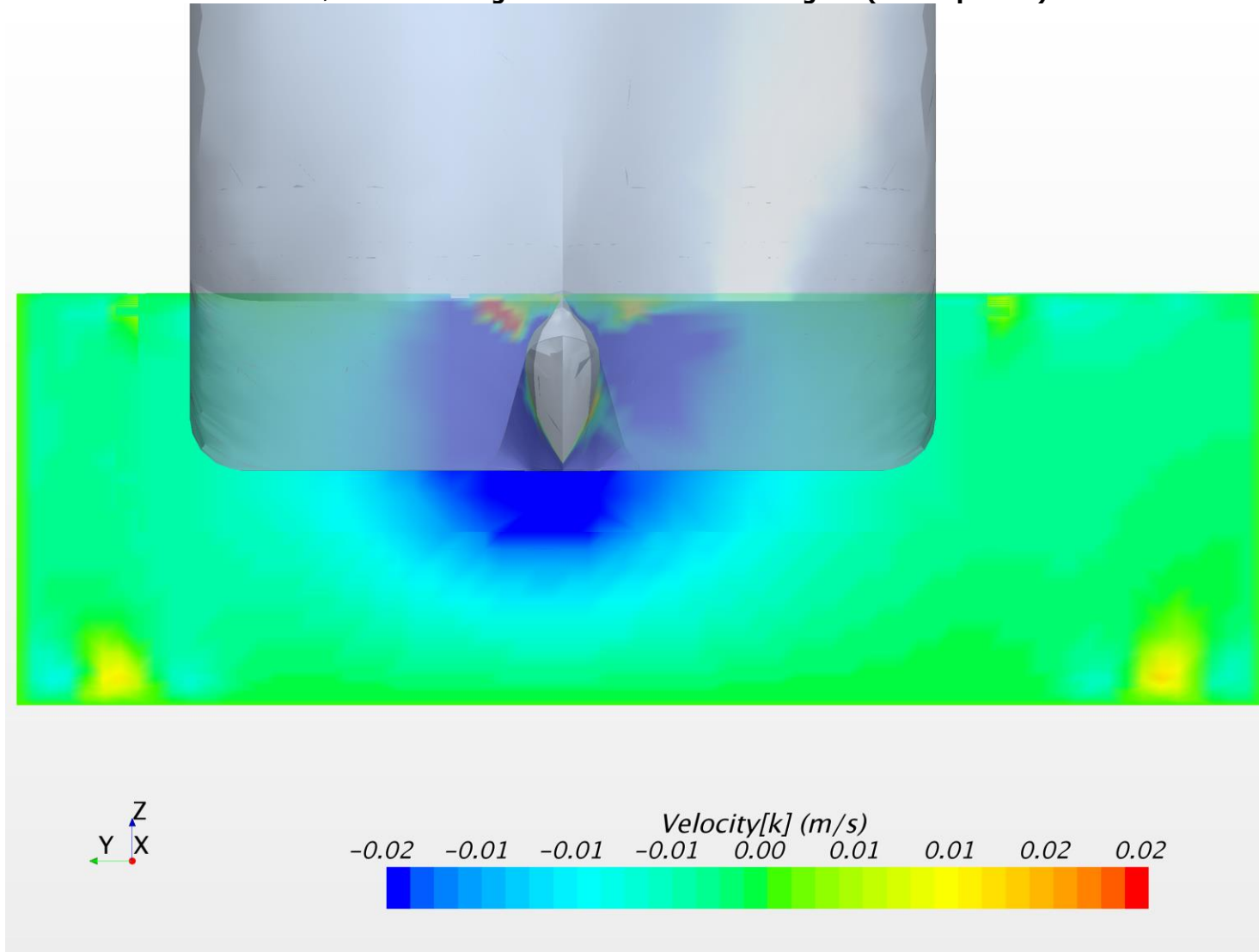
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved FP



Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



APPENDIX H

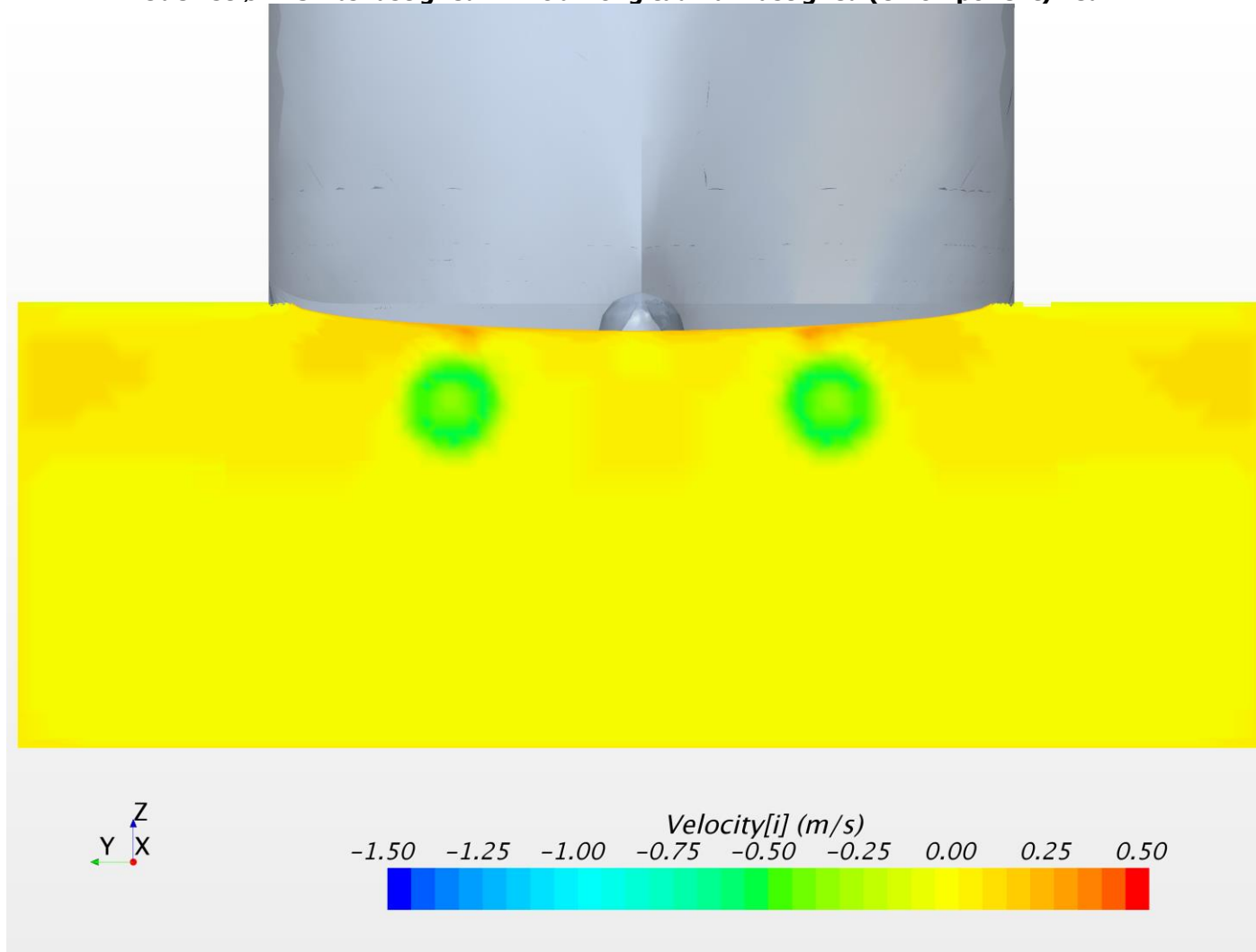
Resultater af CFD Beregninger

**Model Midnatsol
Kondition: Centeret
Uden Søjler
Vanddybde: 13.21m**

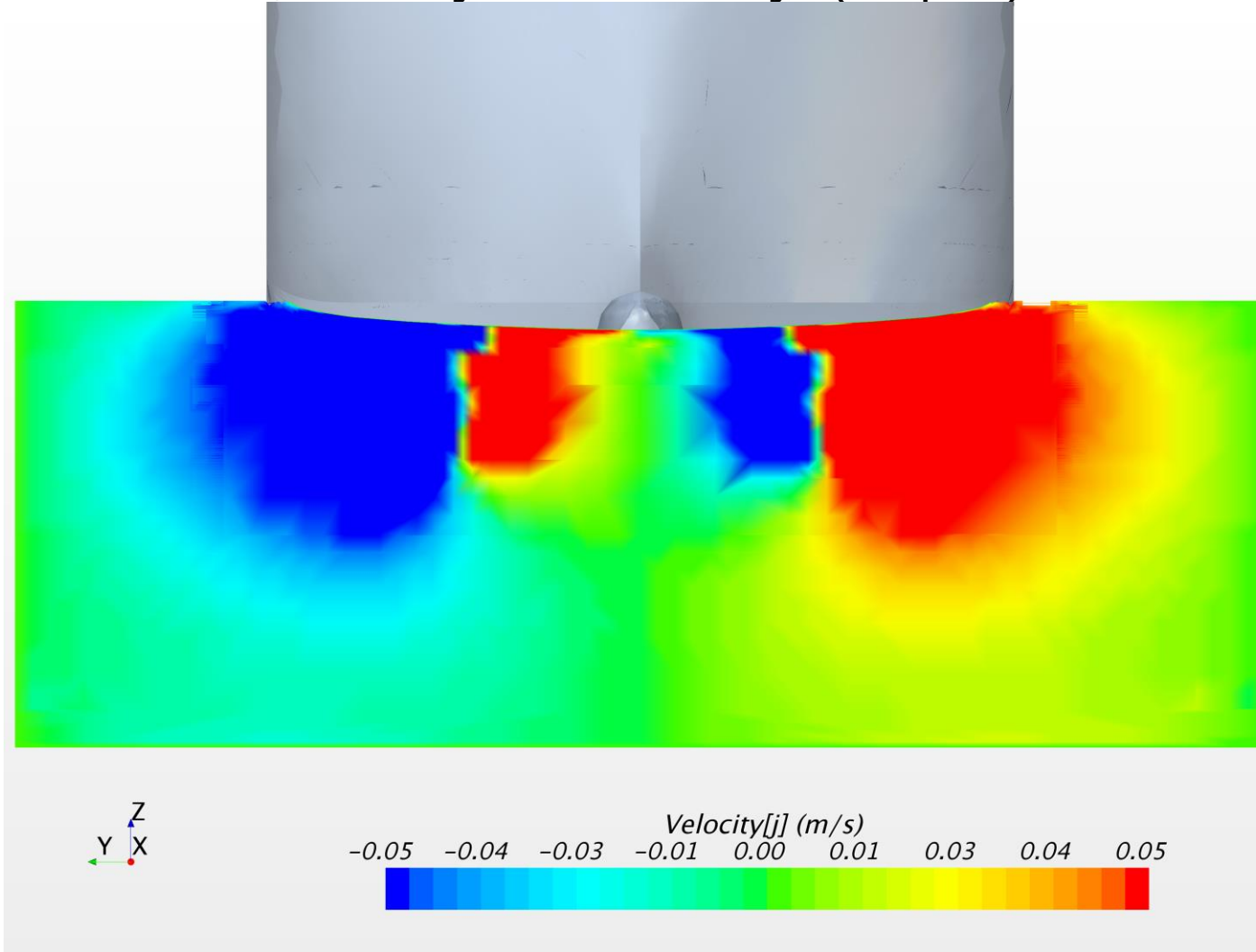
2kn modstrøm eller uden strøm

Skibshastighed: 2; 3; 4kn

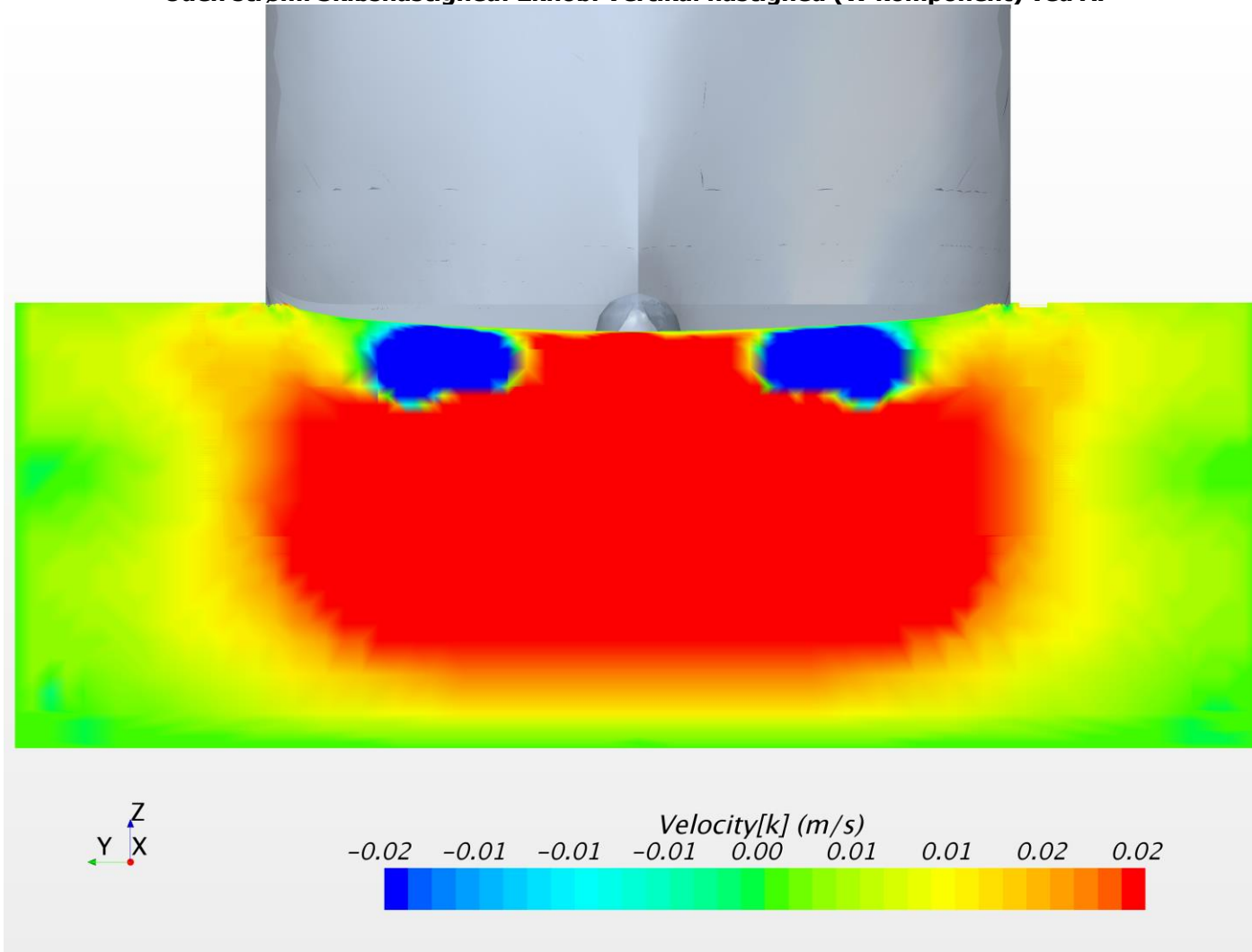
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



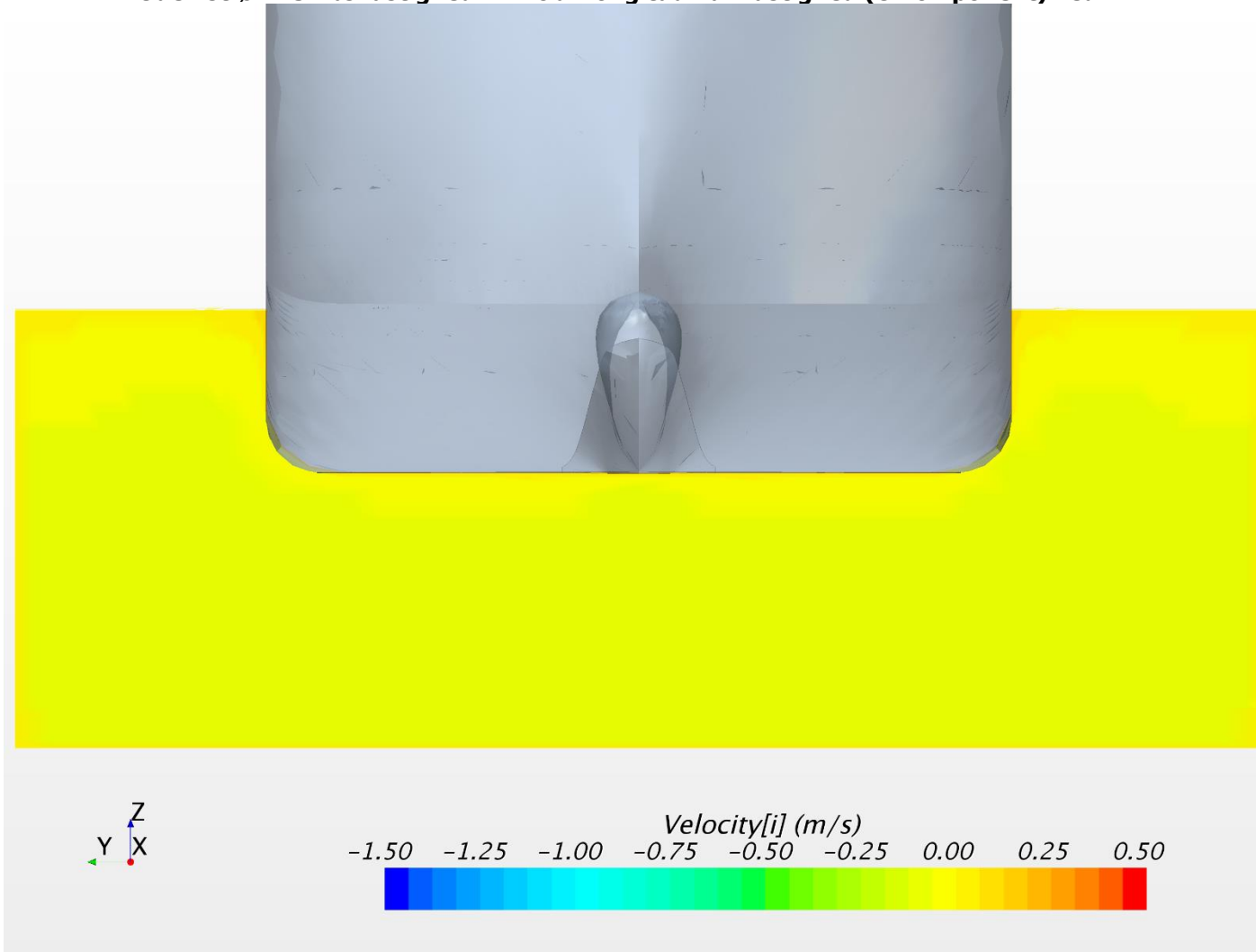
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Lateral hastighed (V komponent) ved AP



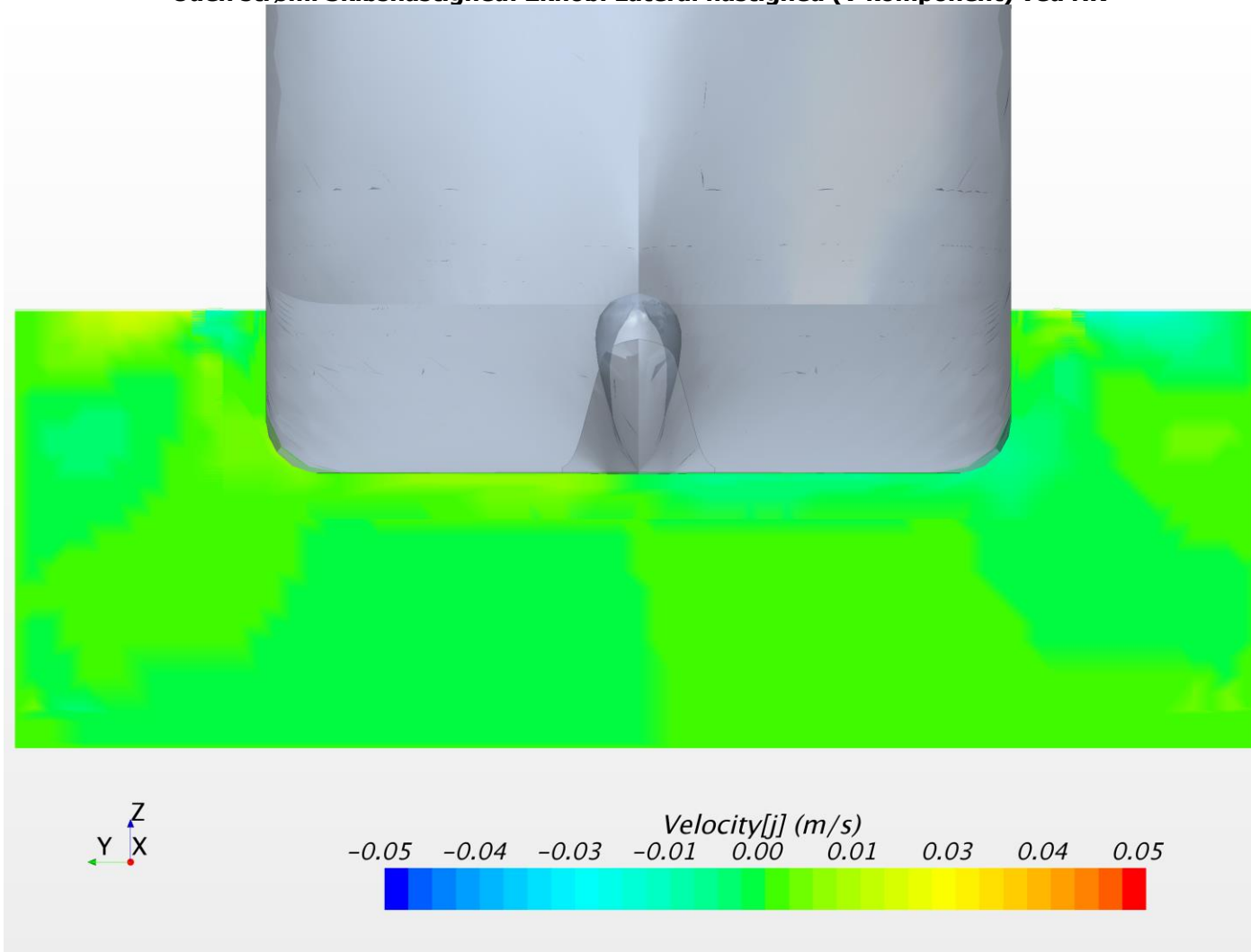
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



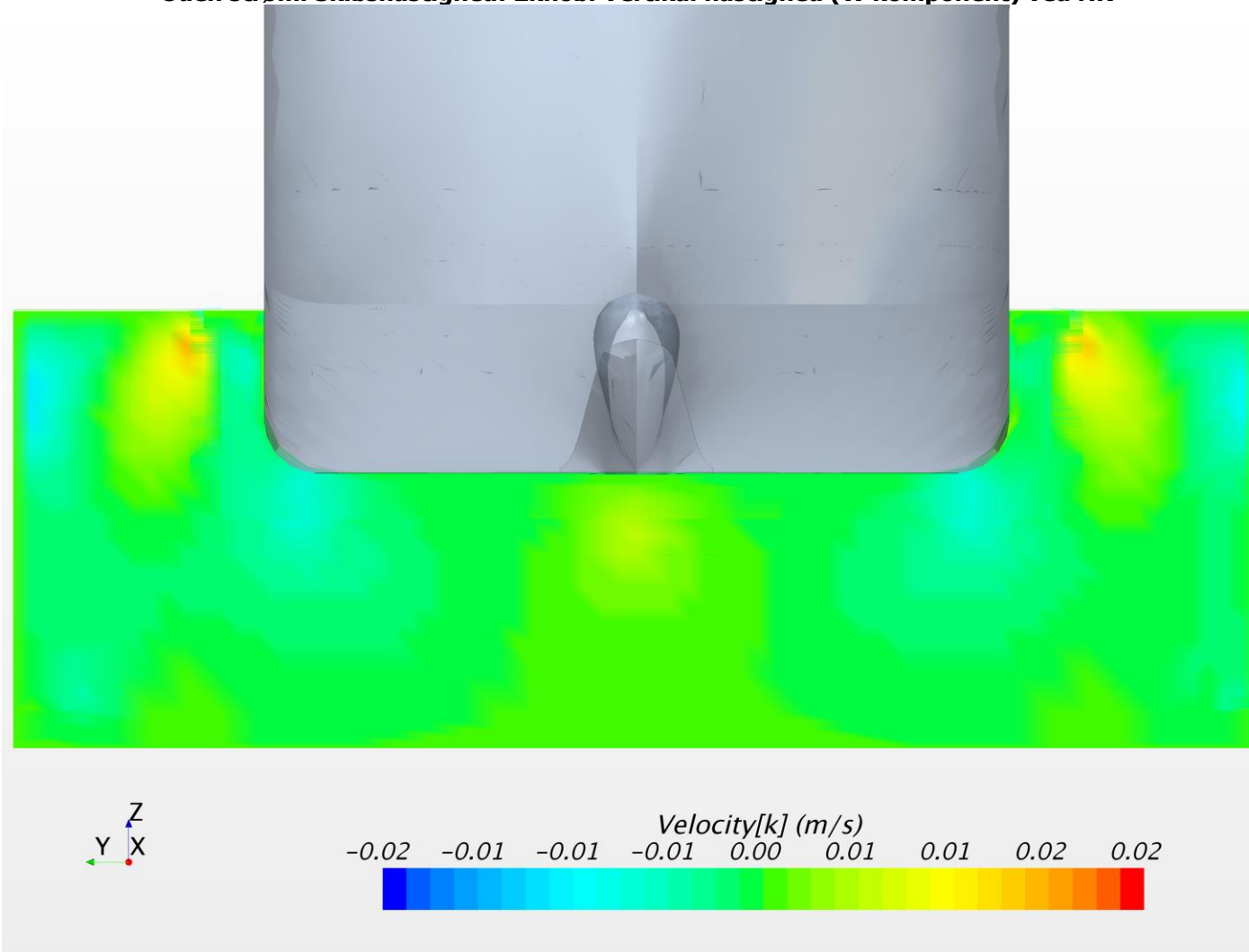
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



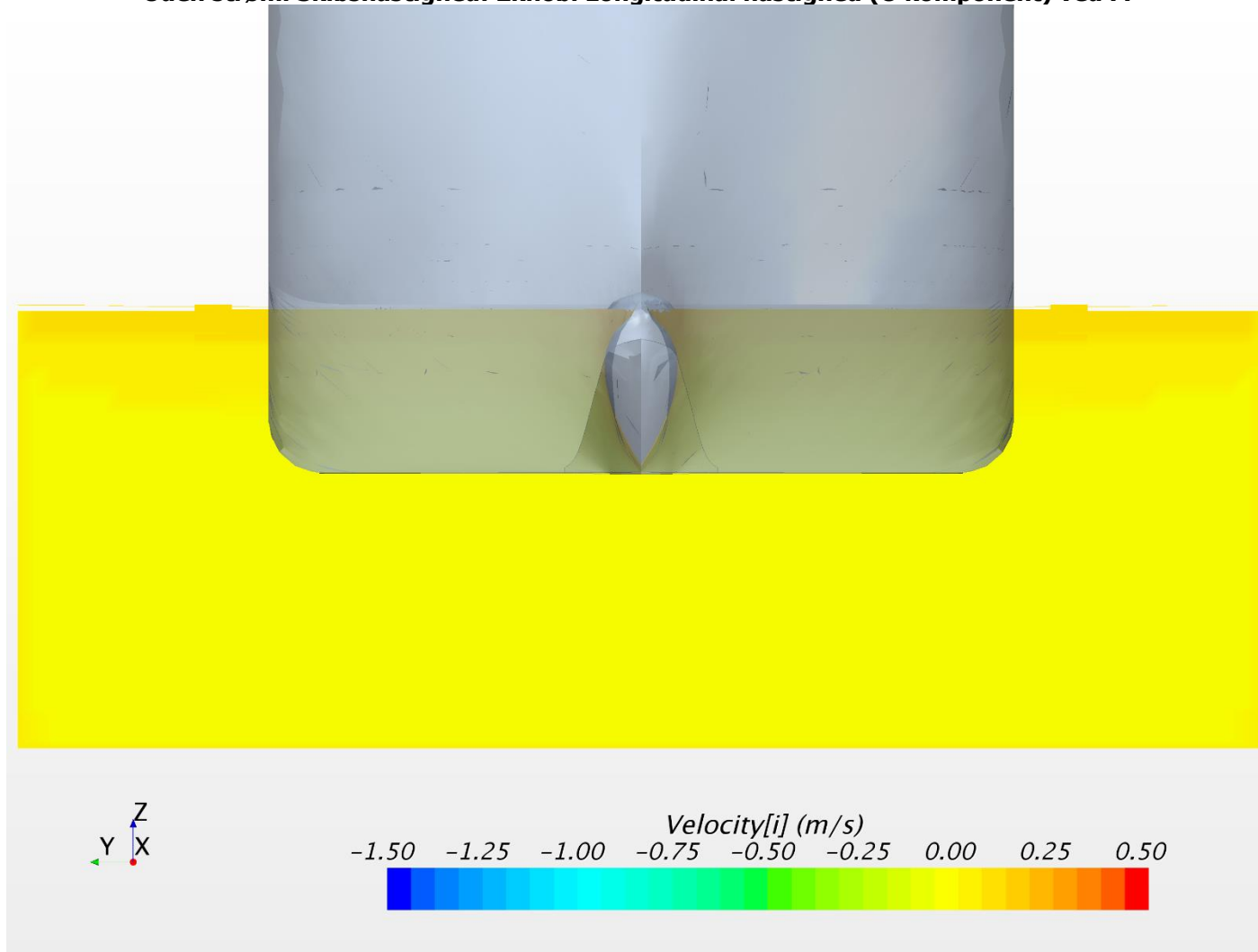
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Lateral hastighed (V komponent) ved NK



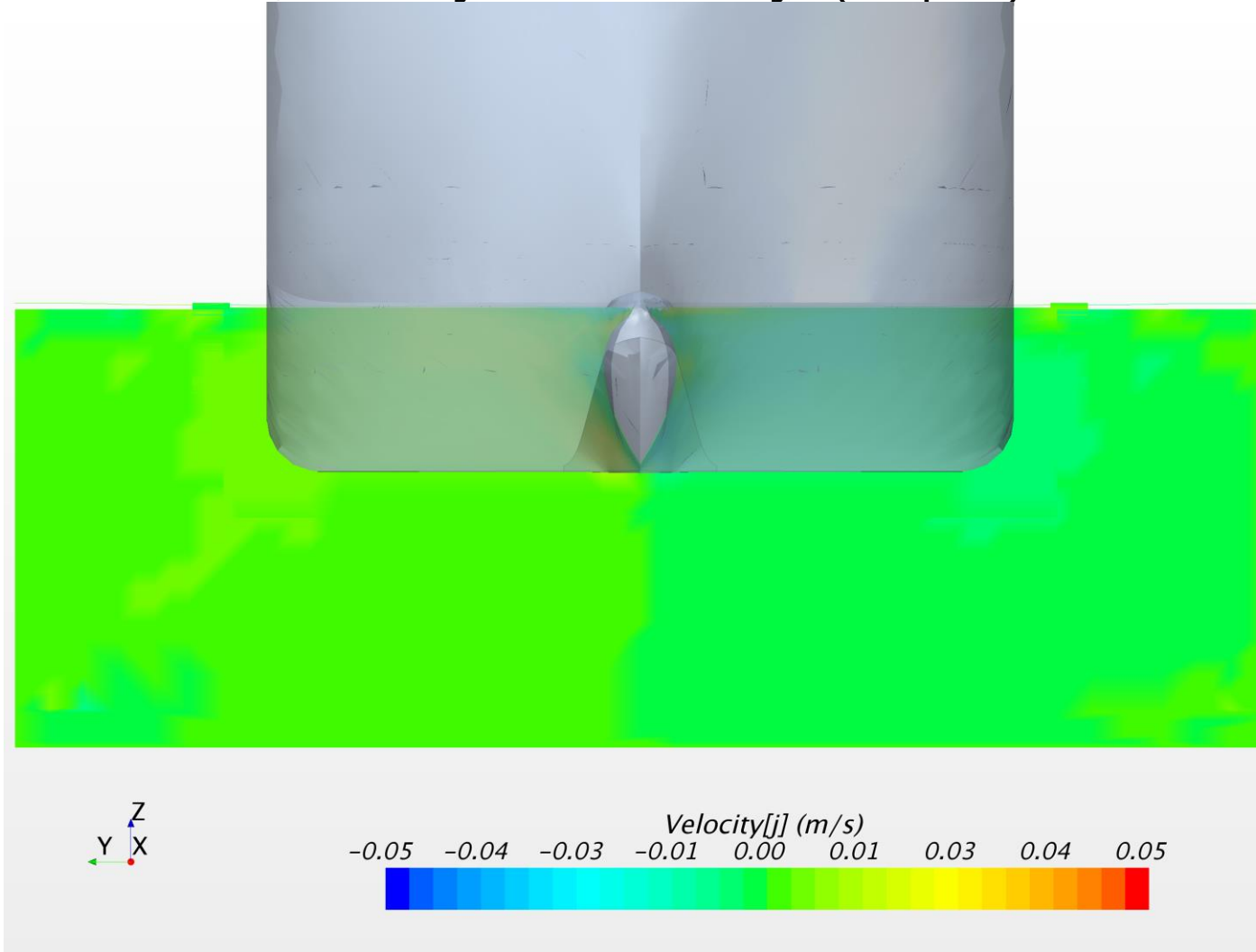
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



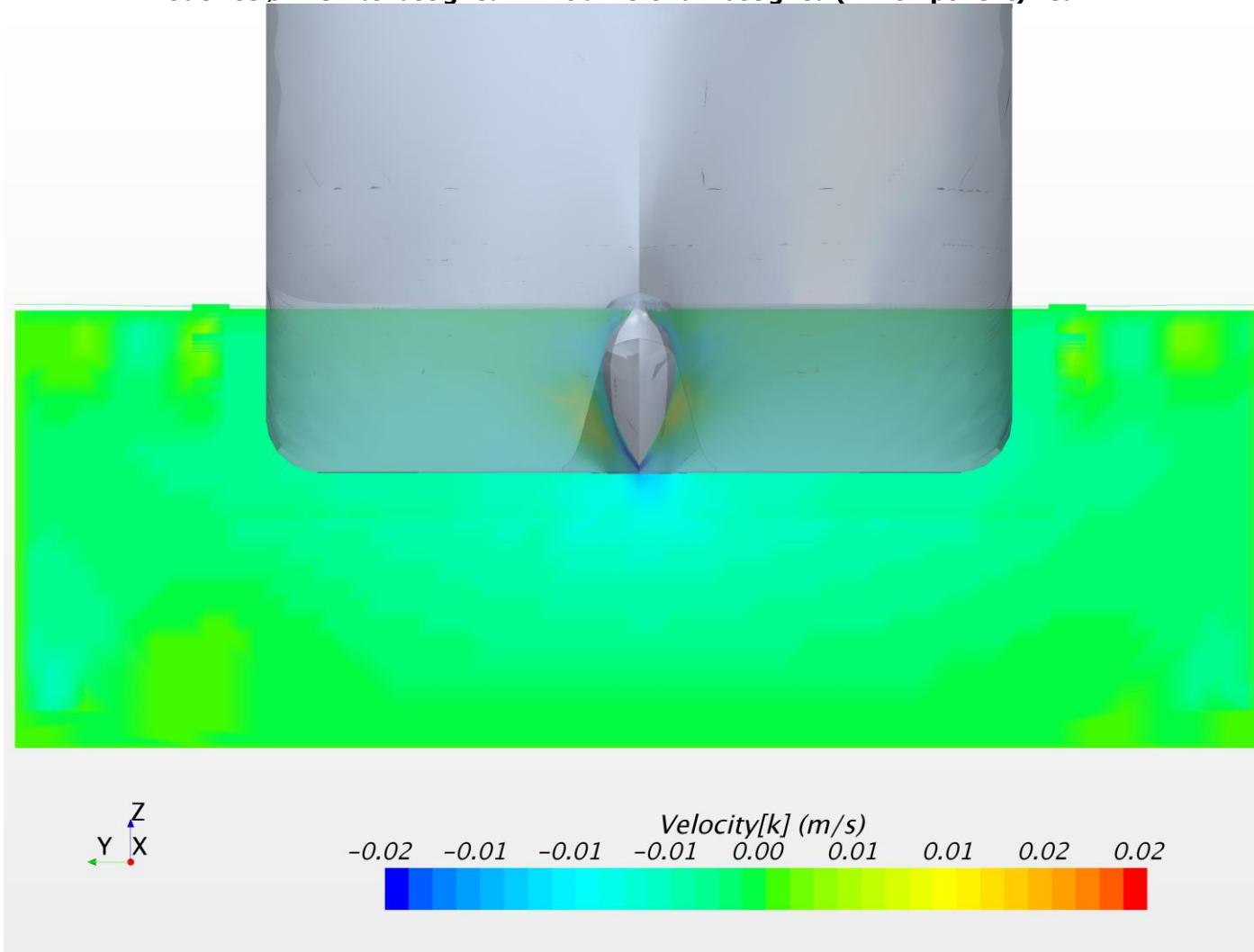
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



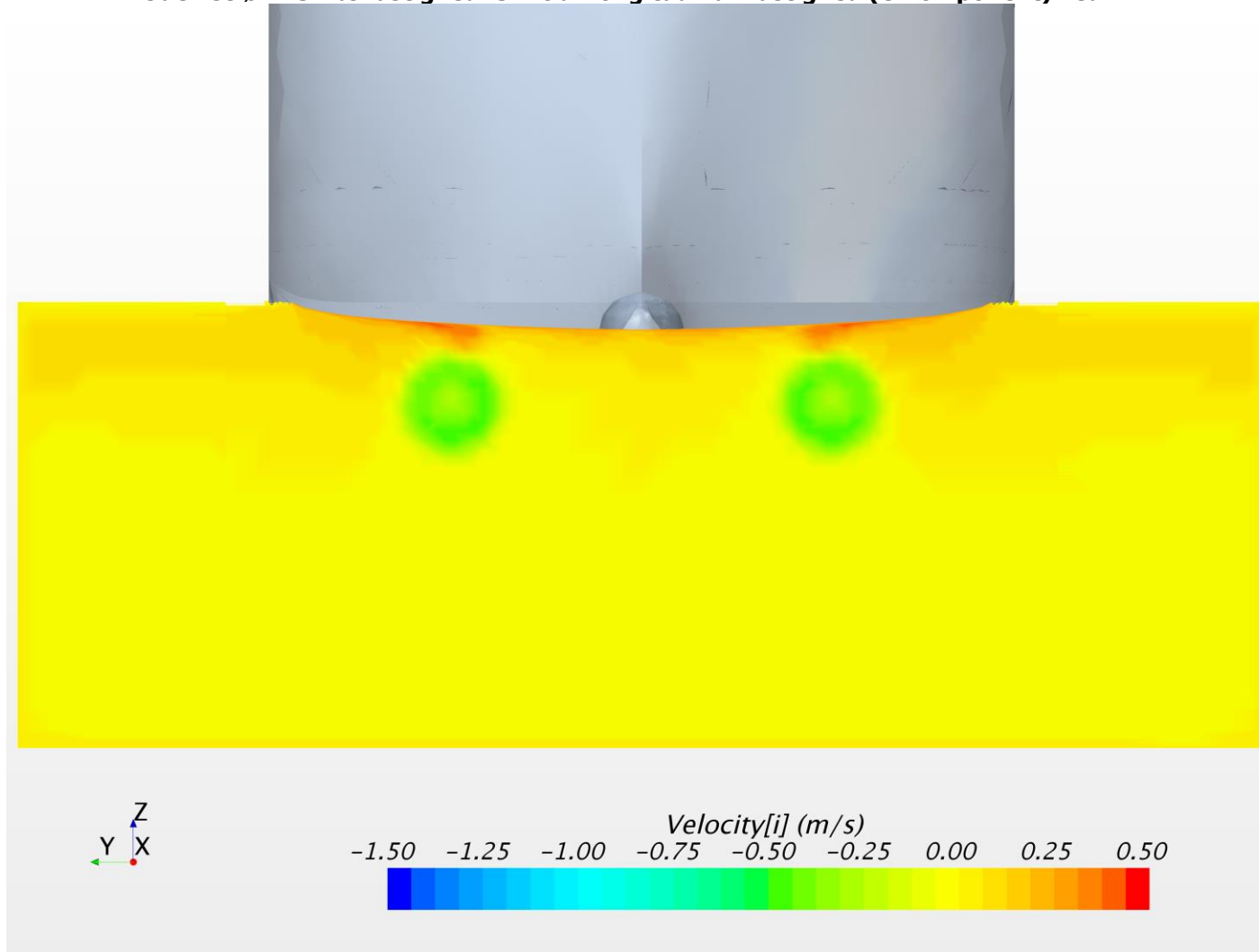
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Lateral hastighed (V komponent) ved FP



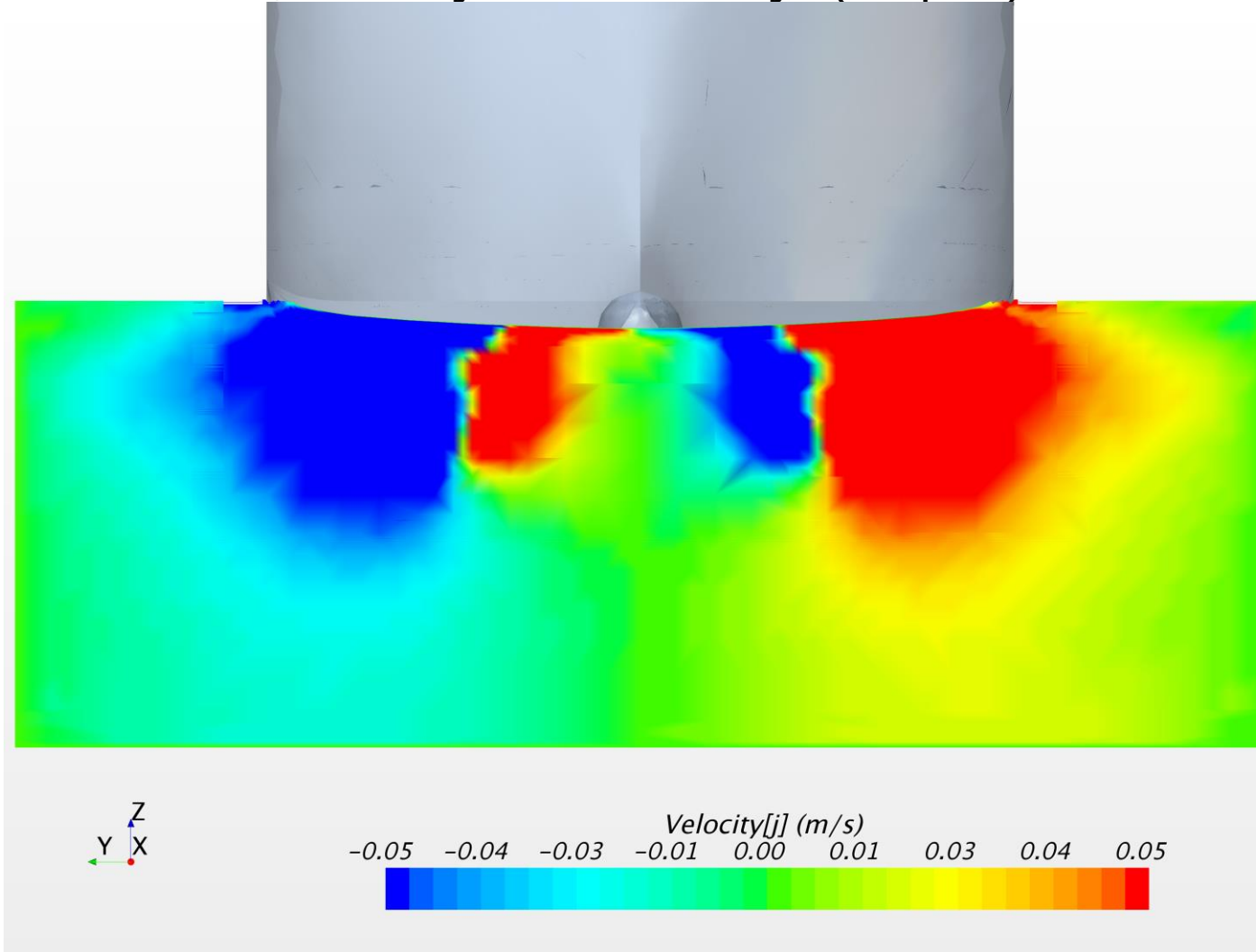
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



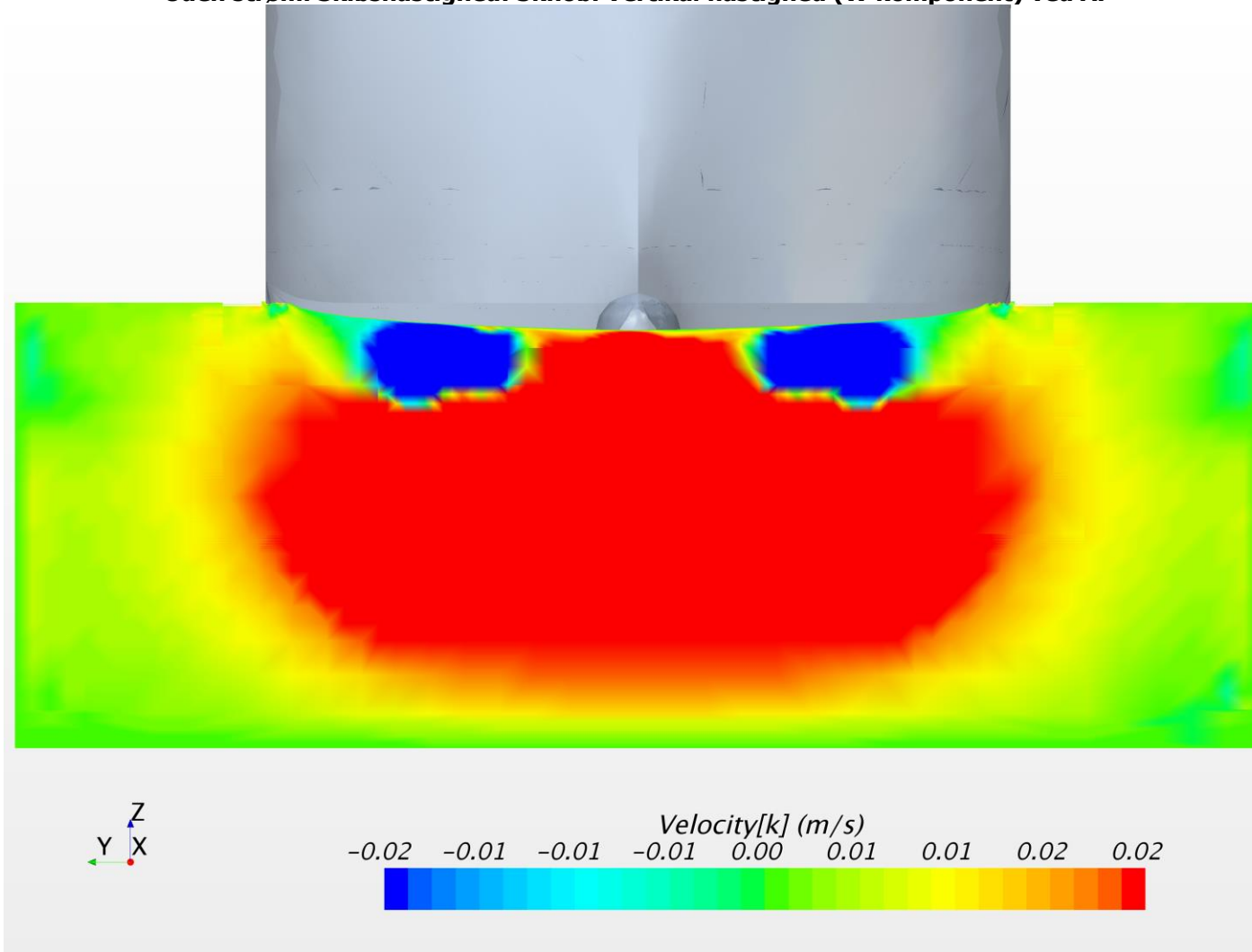
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



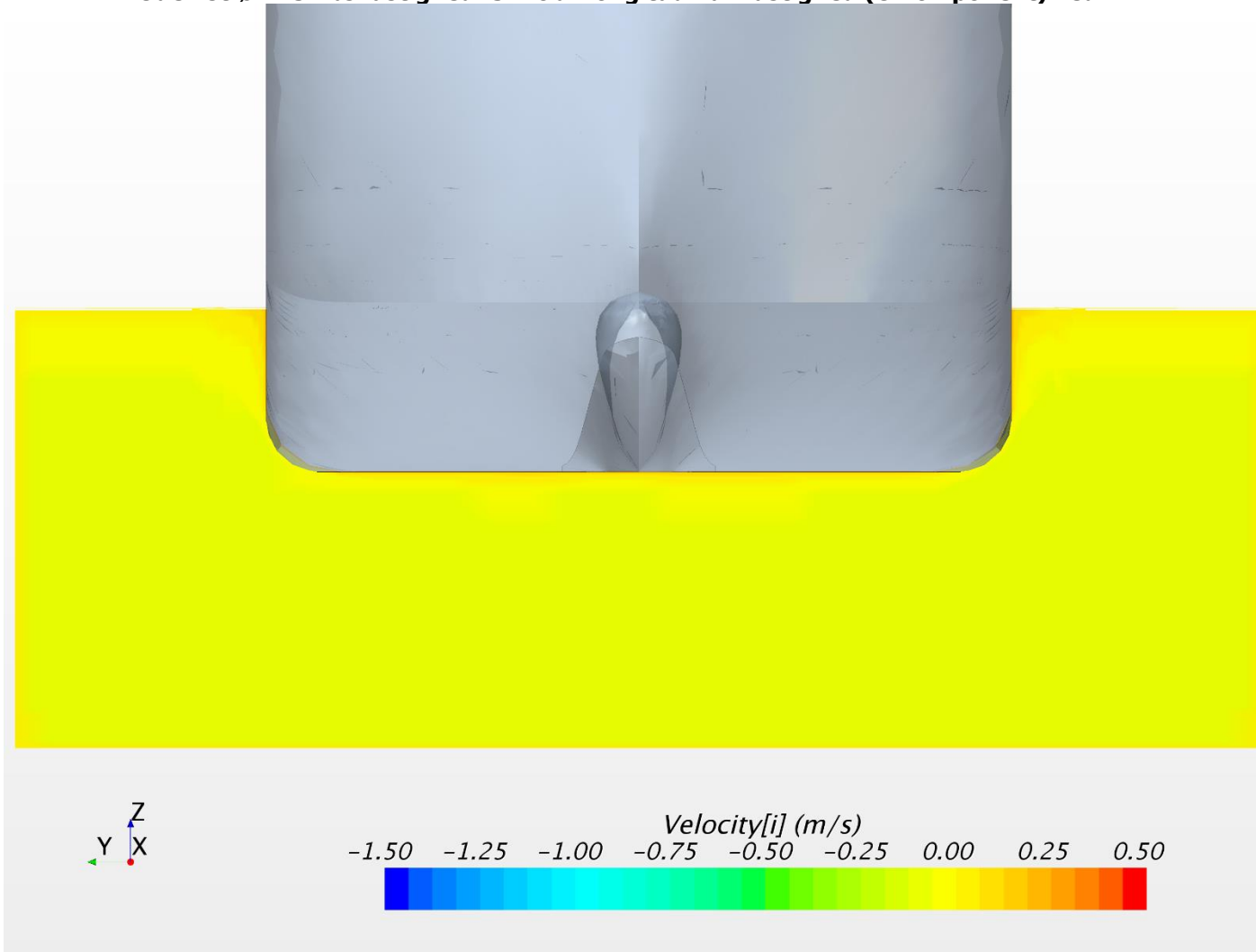
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved AP



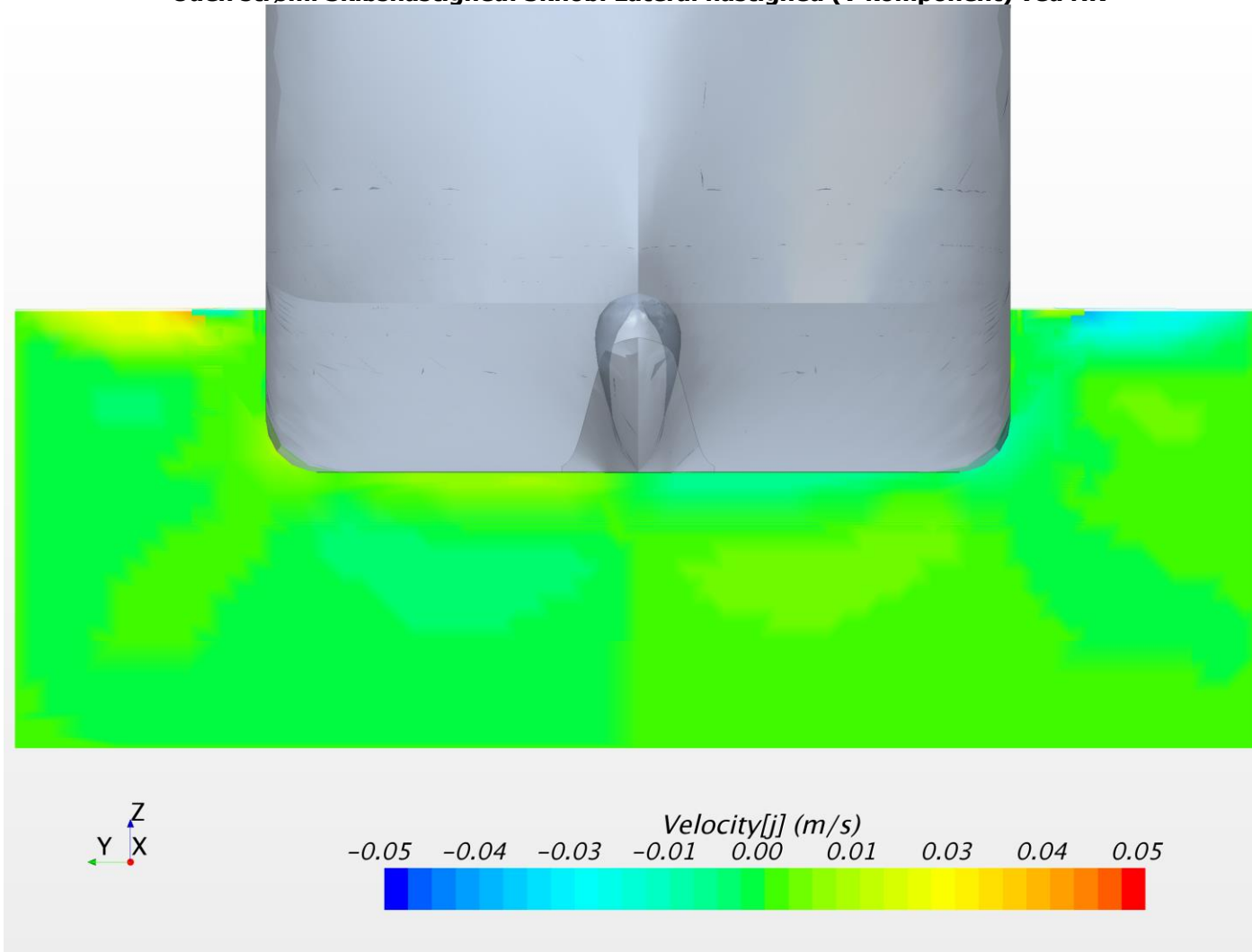
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



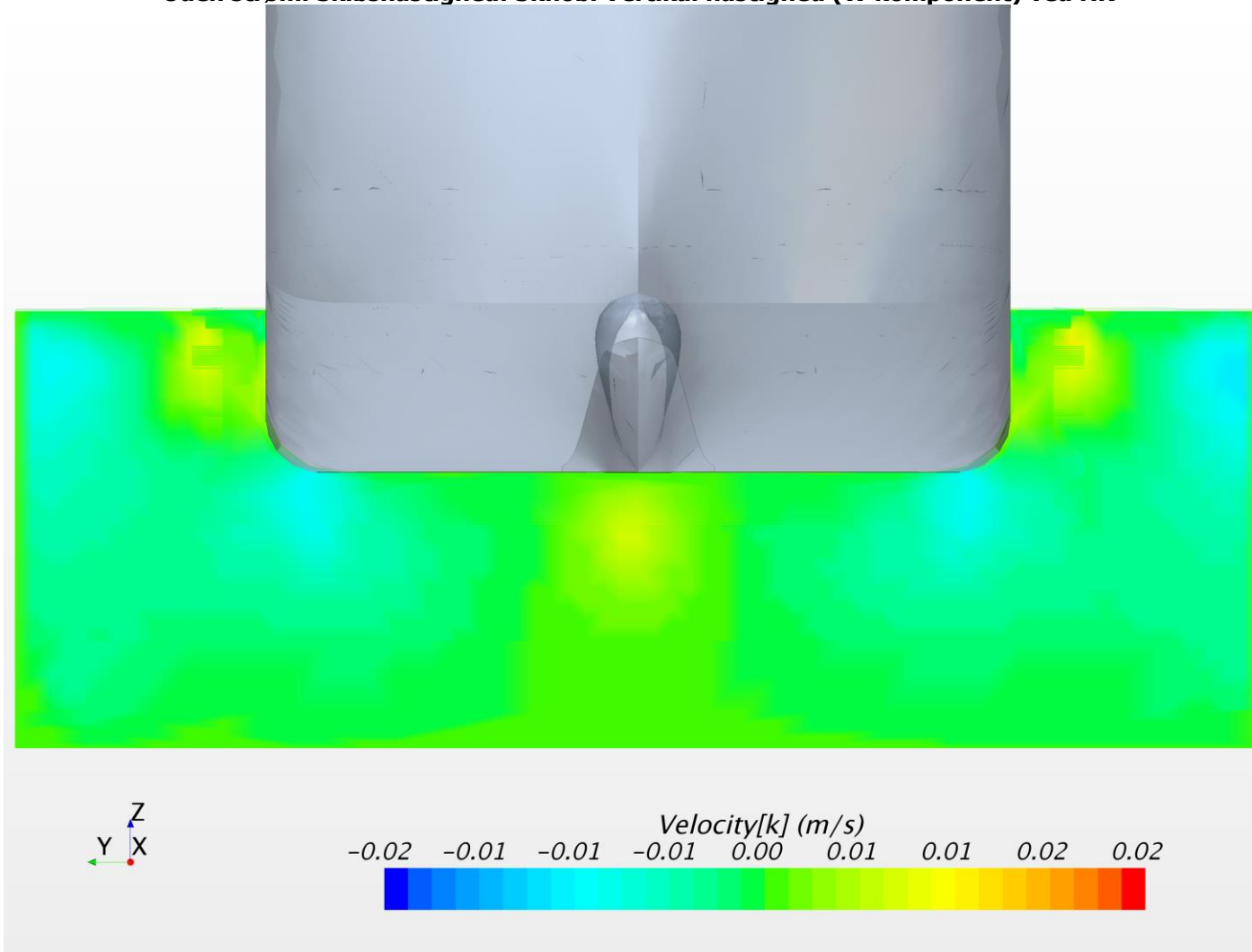
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



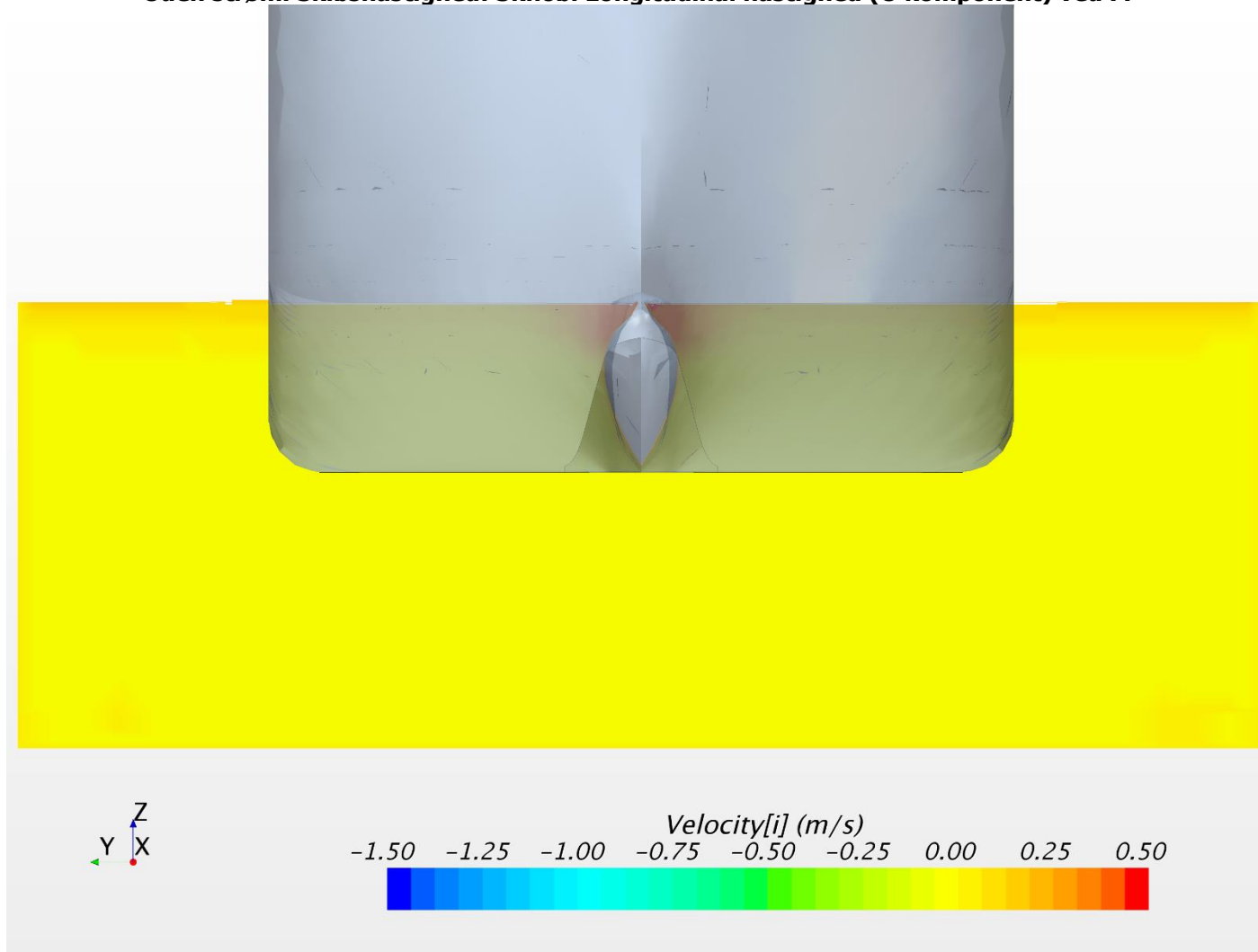
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved NK



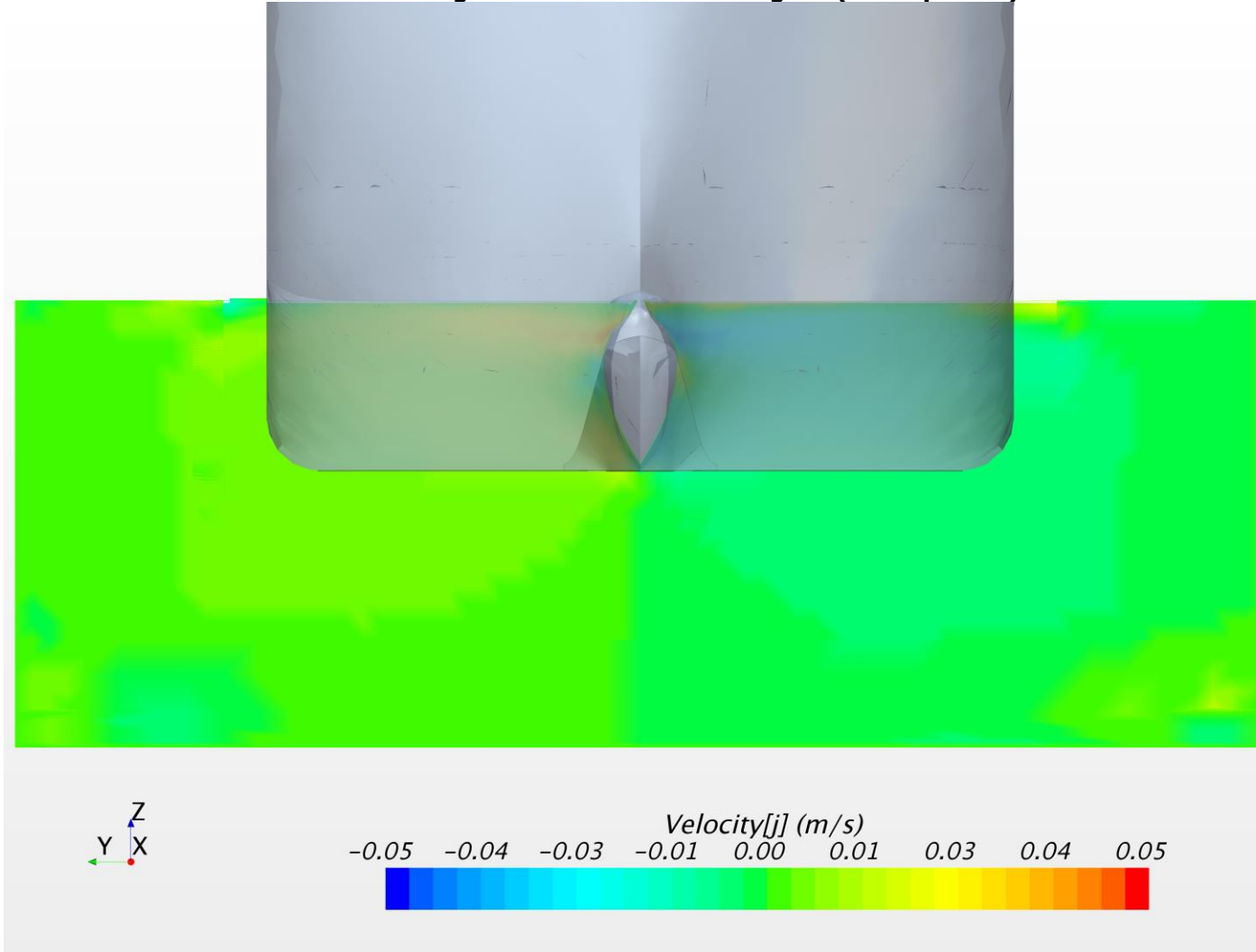
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



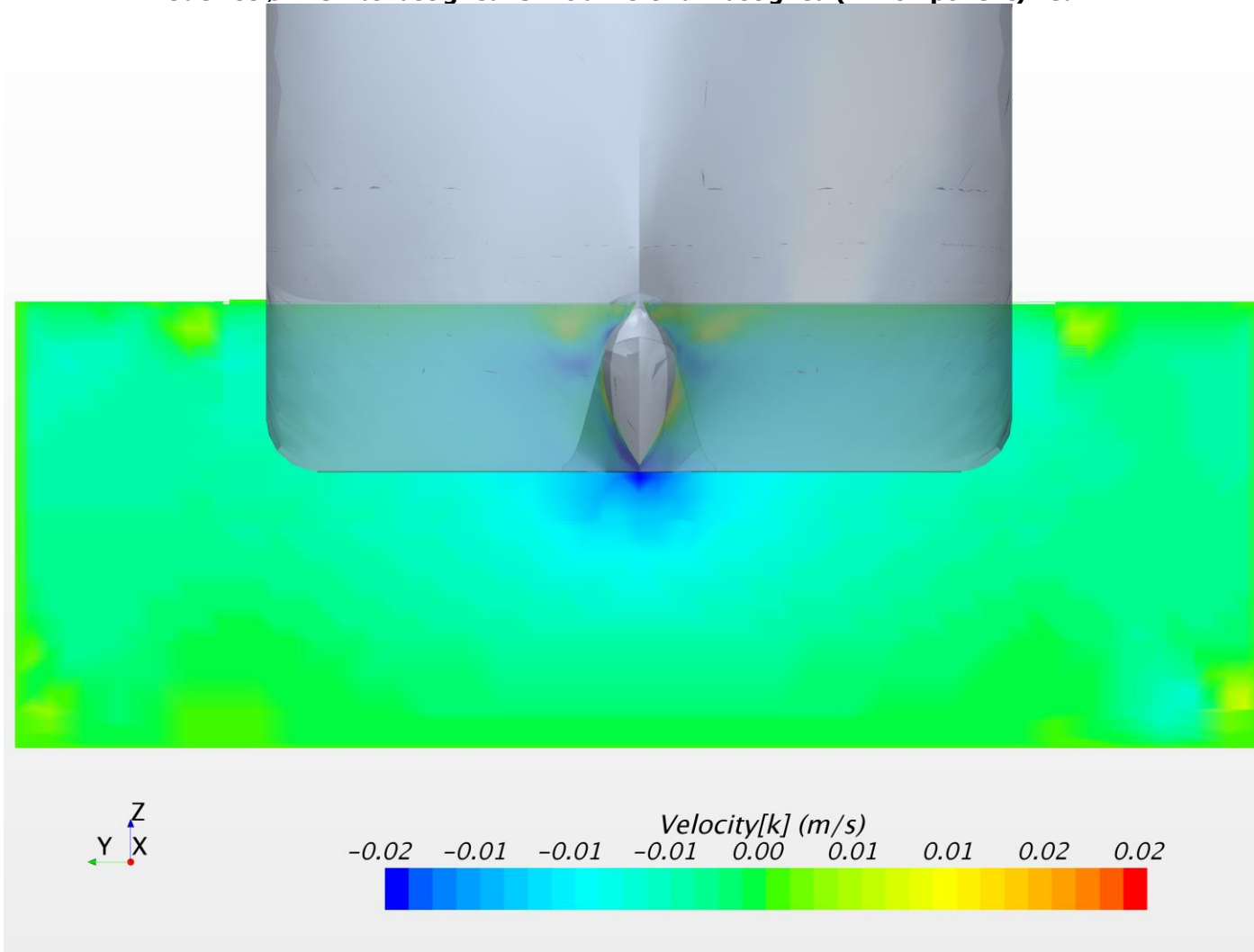
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



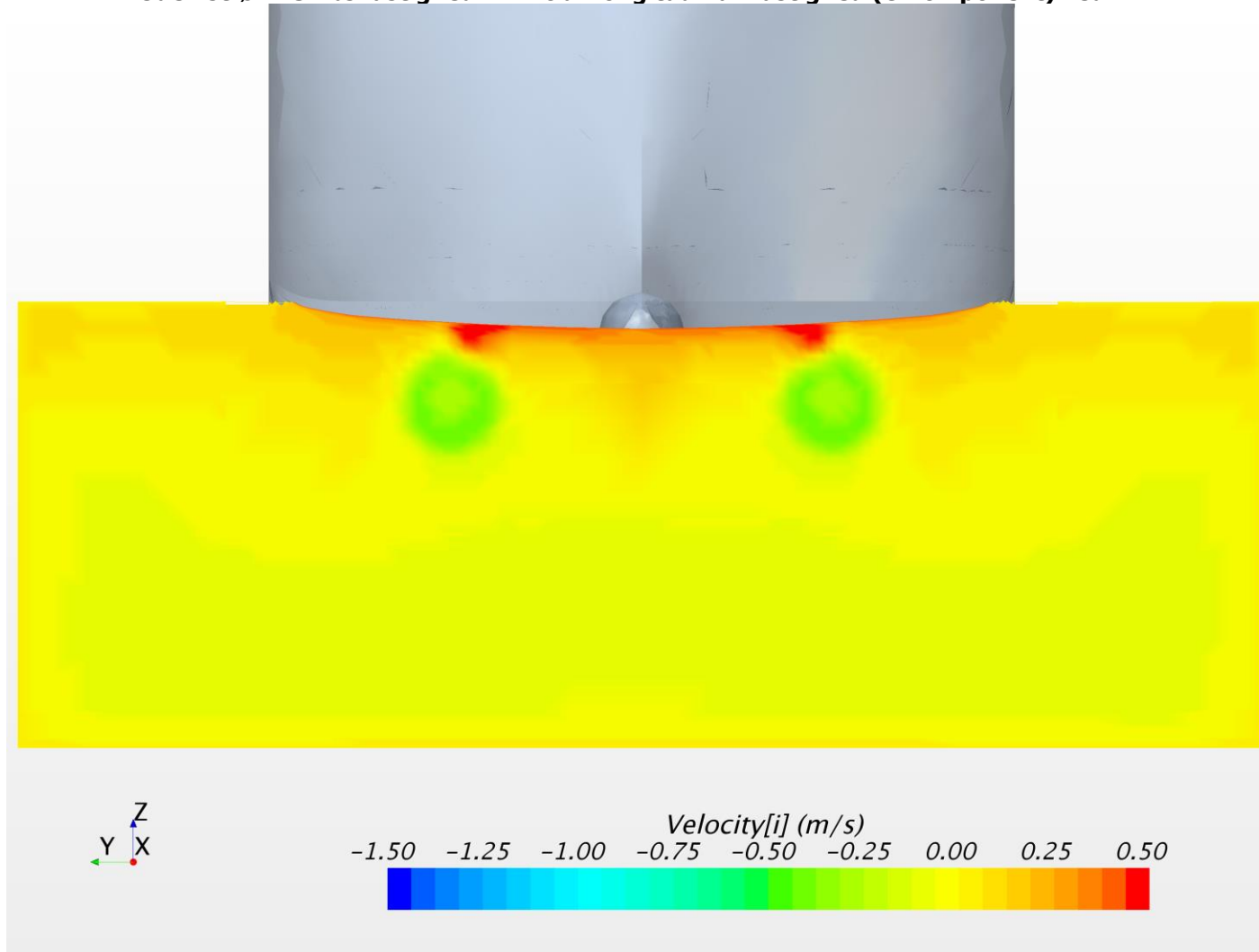
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved FP



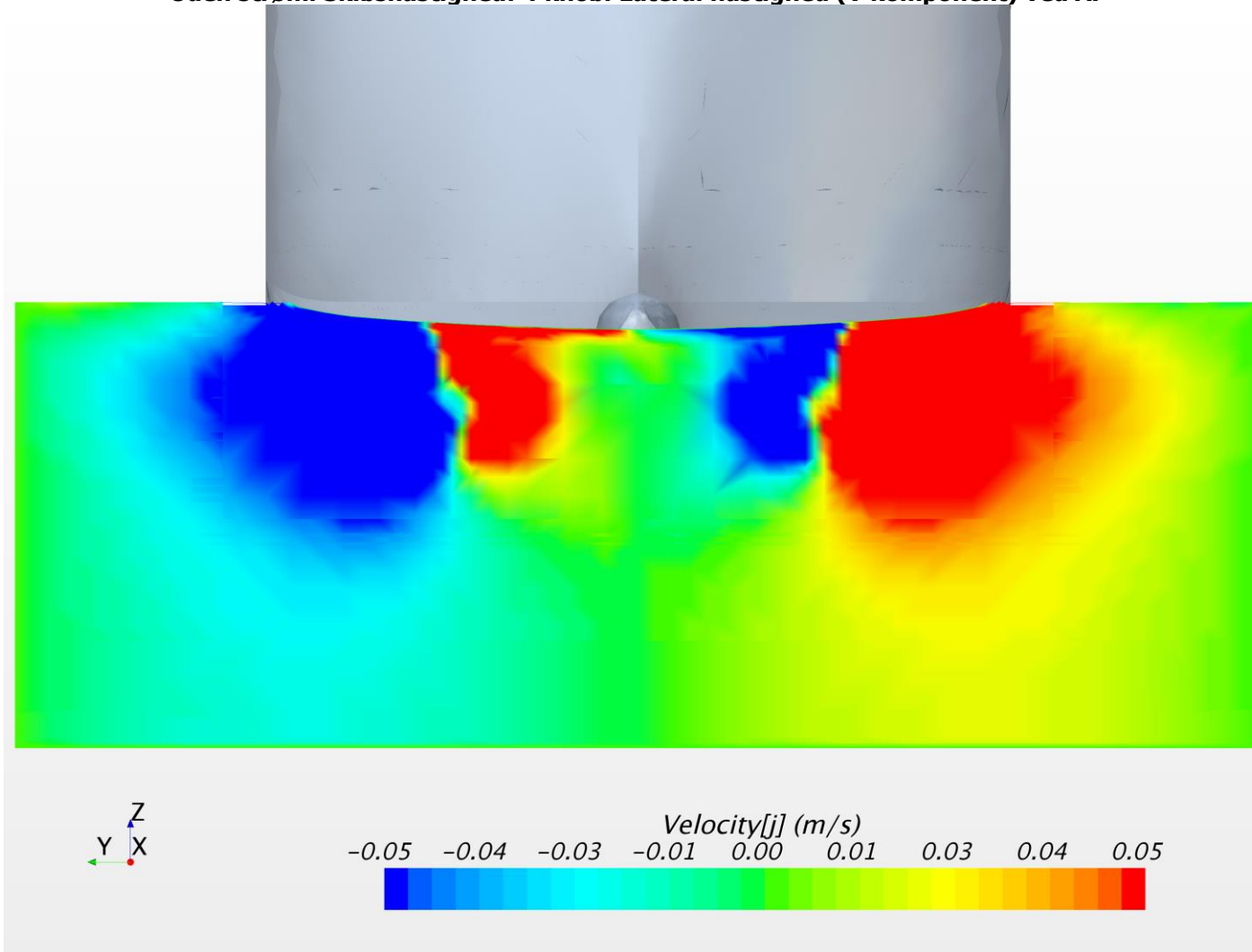
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



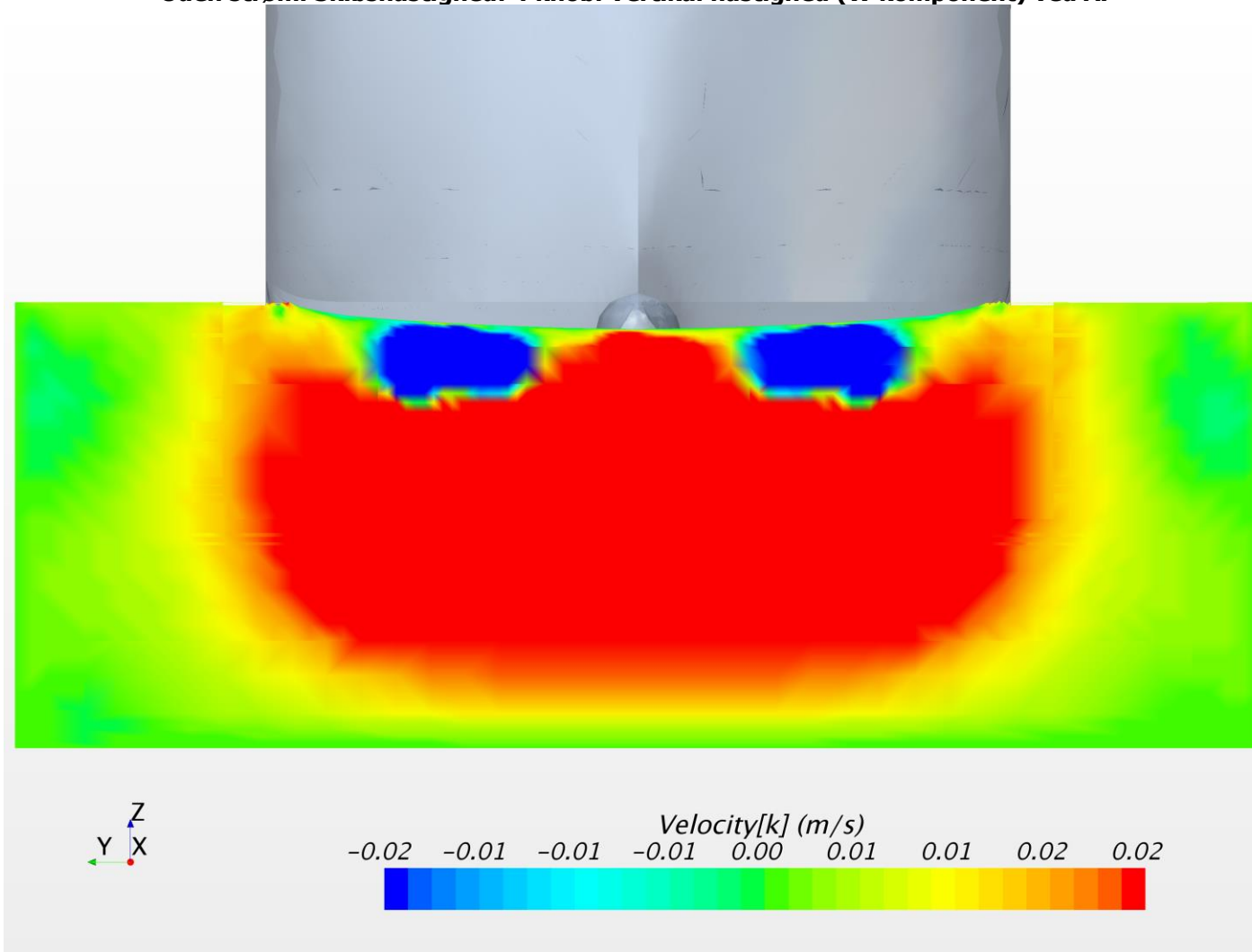
Uden strøm. Skibshastighed: 4 knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



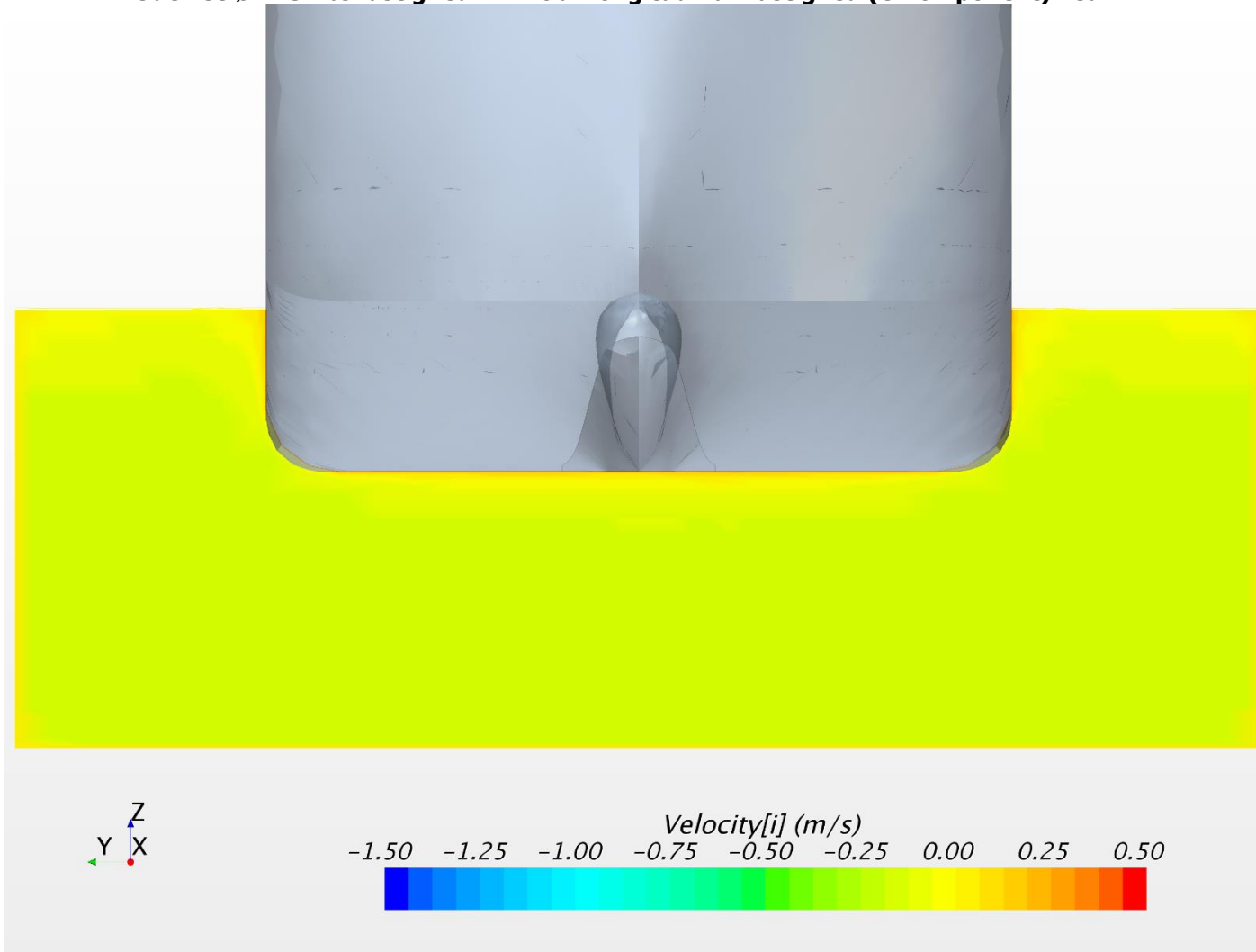
Uden strøm. Skibshastighed: 4 knob. Lateral hastighed (V komponent) ved AP



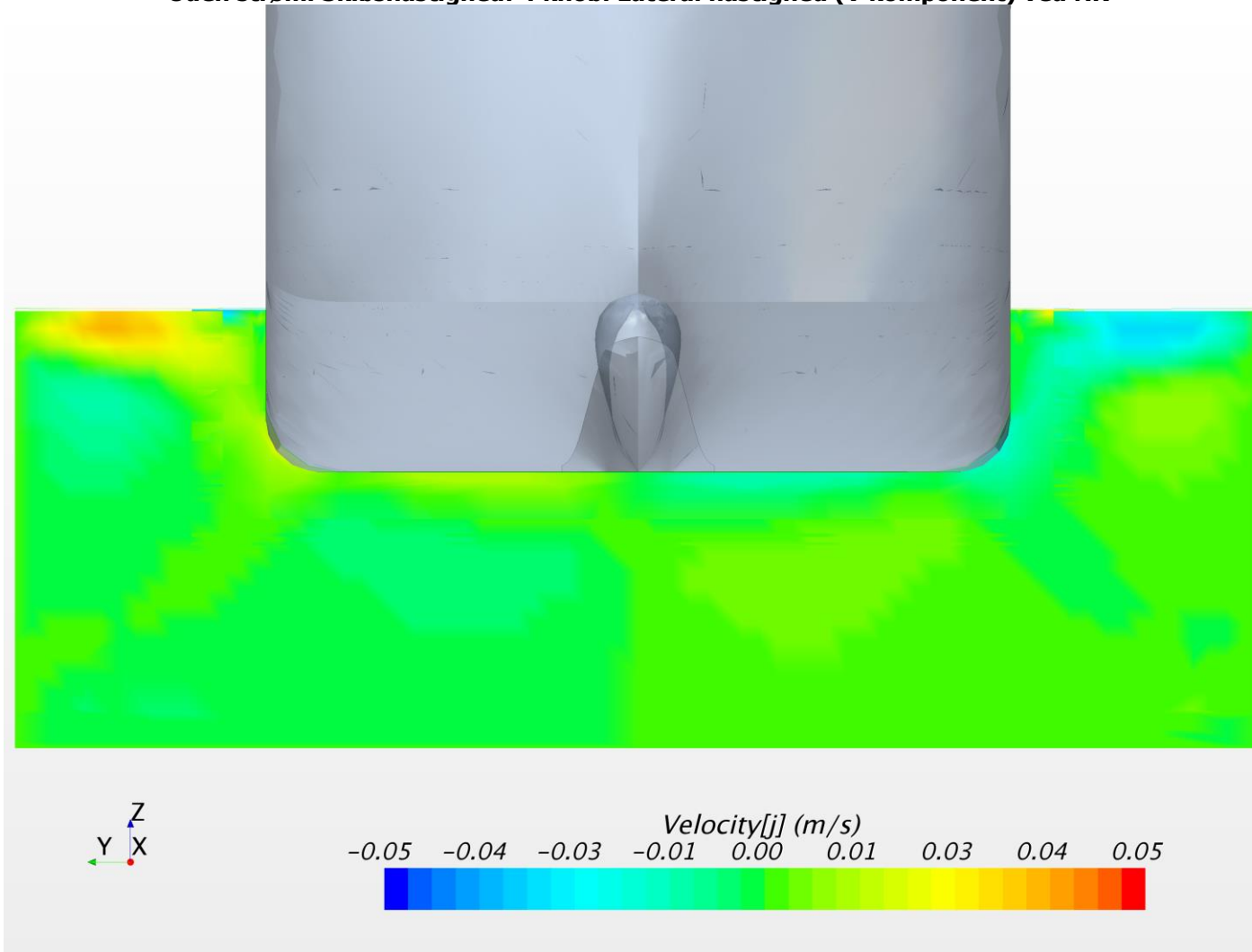
Uden strøm. Skibshastighed: 4 knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



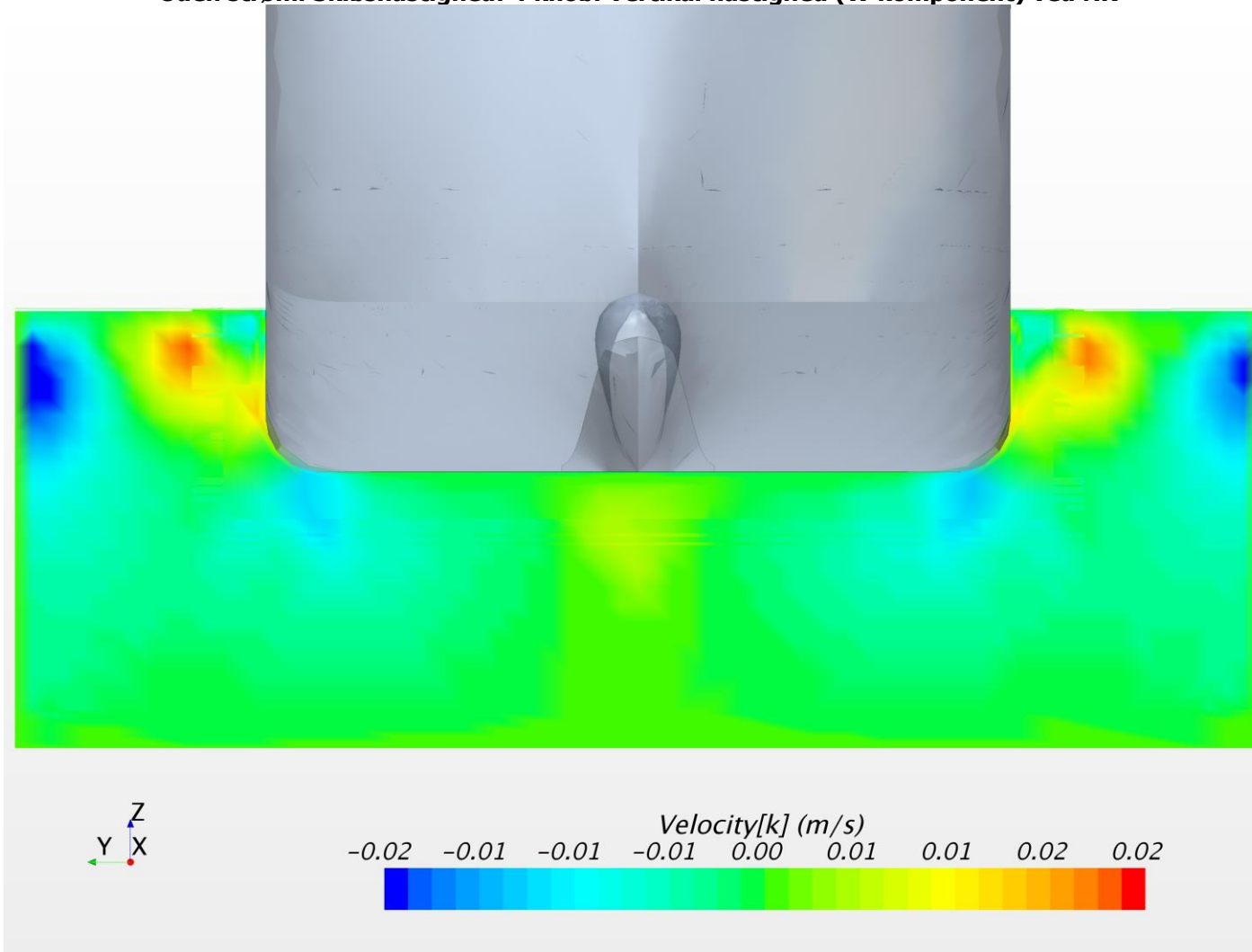
Uden strøm. Skibshastighed: 4 knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



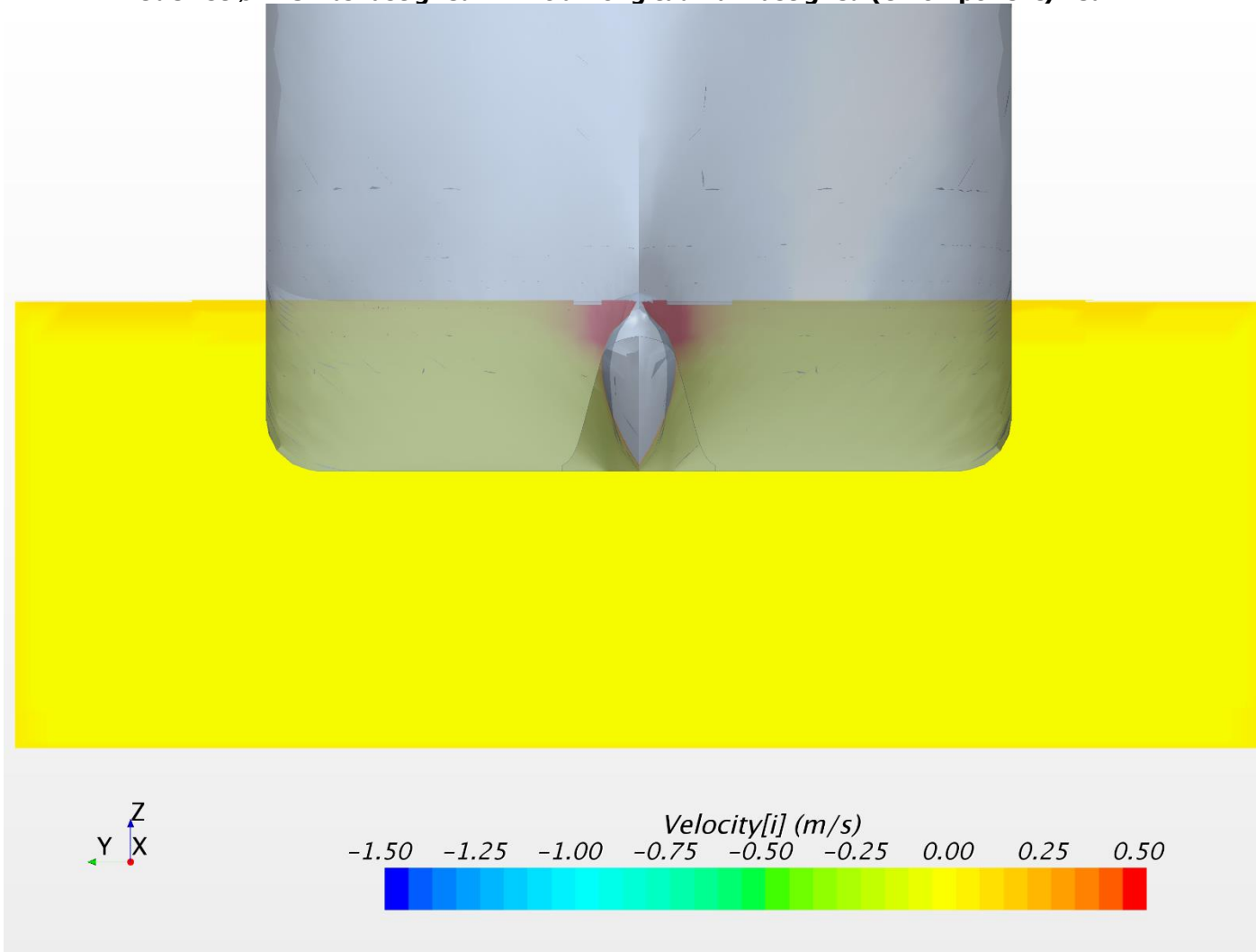
Uden strøm. Skibshastighed: 4 knob. Lateral hastighed (V komponent) ved NK



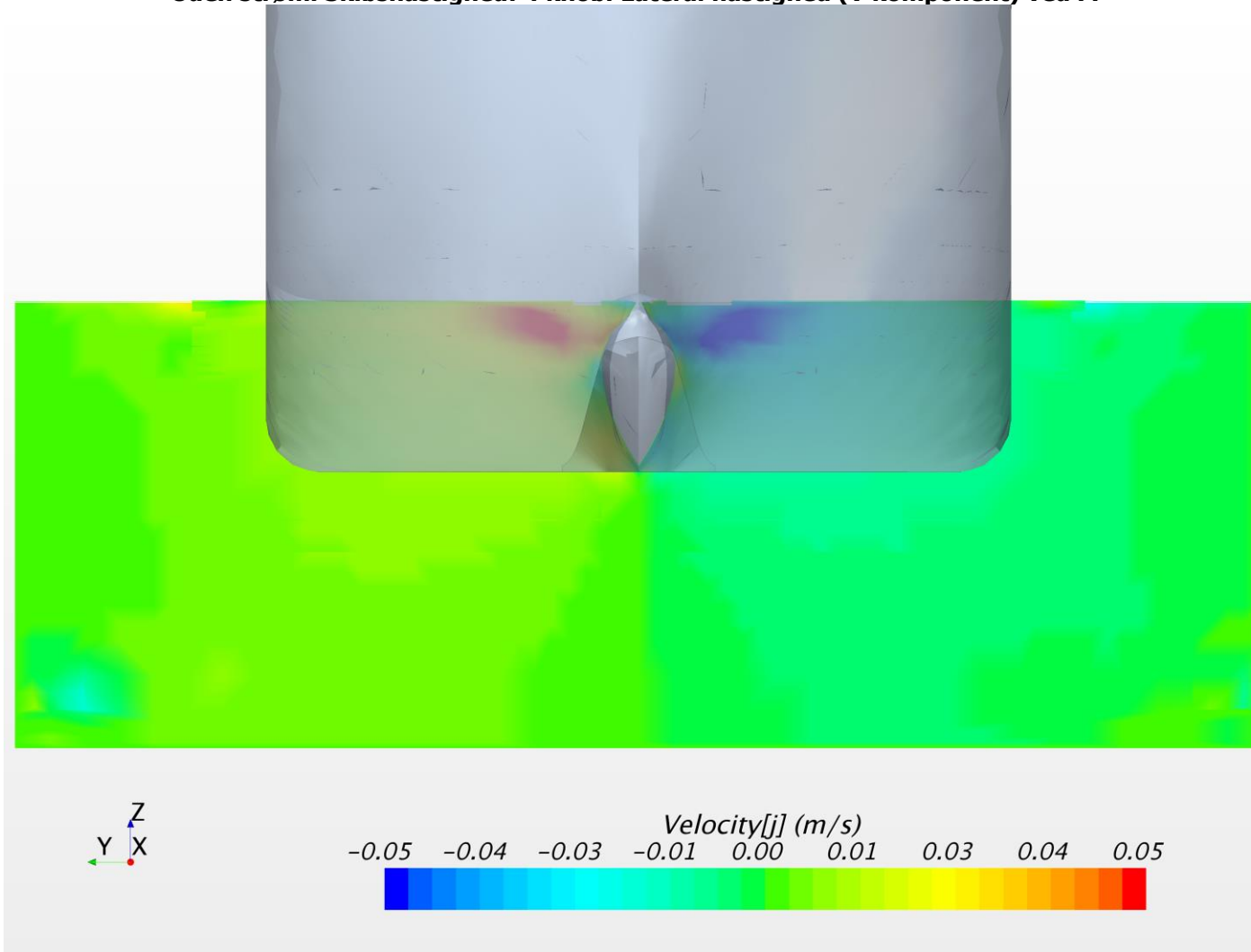
Uden strøm. Skibshastighed: 4 knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



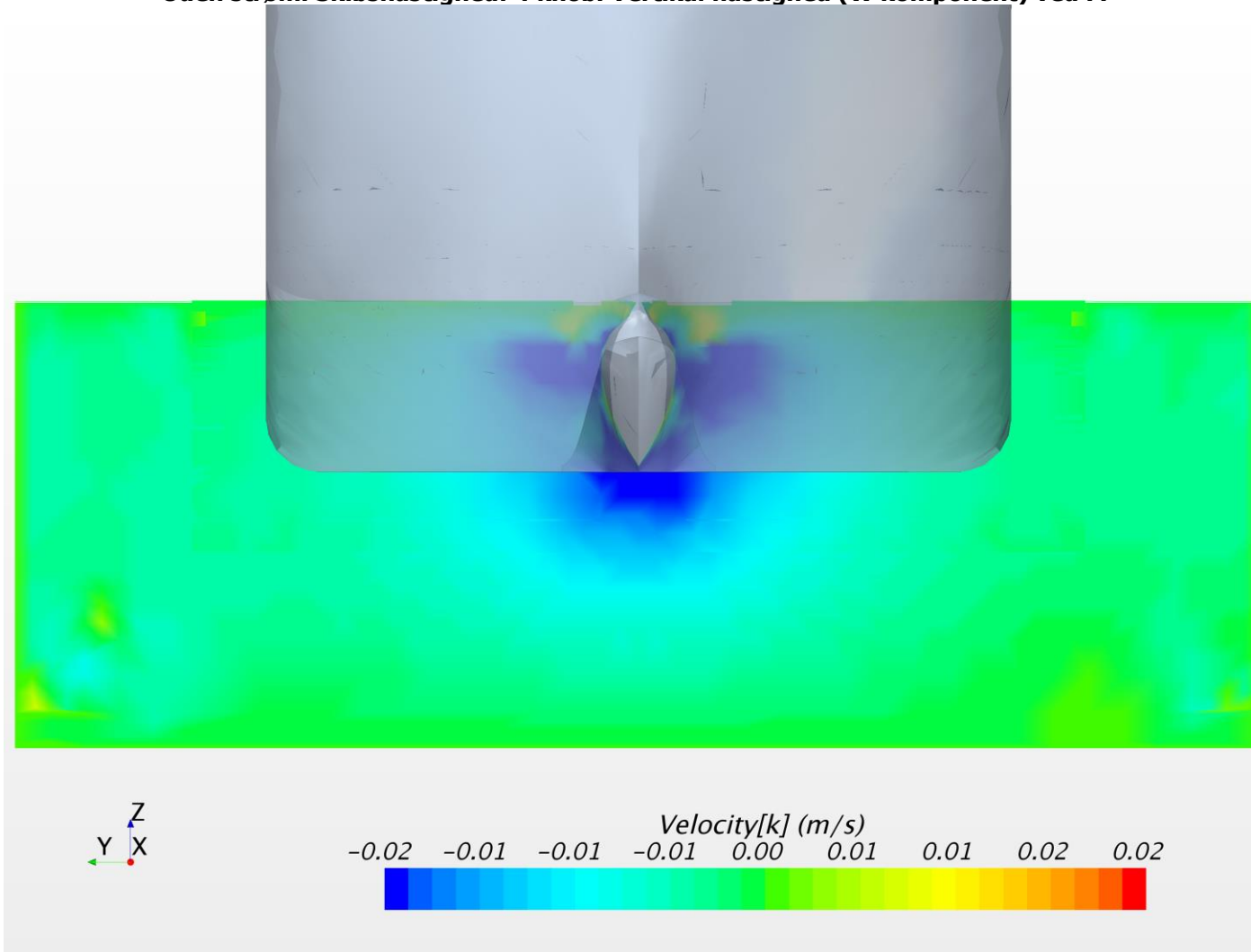
Uden strøm. Skibshastighed: 4 knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



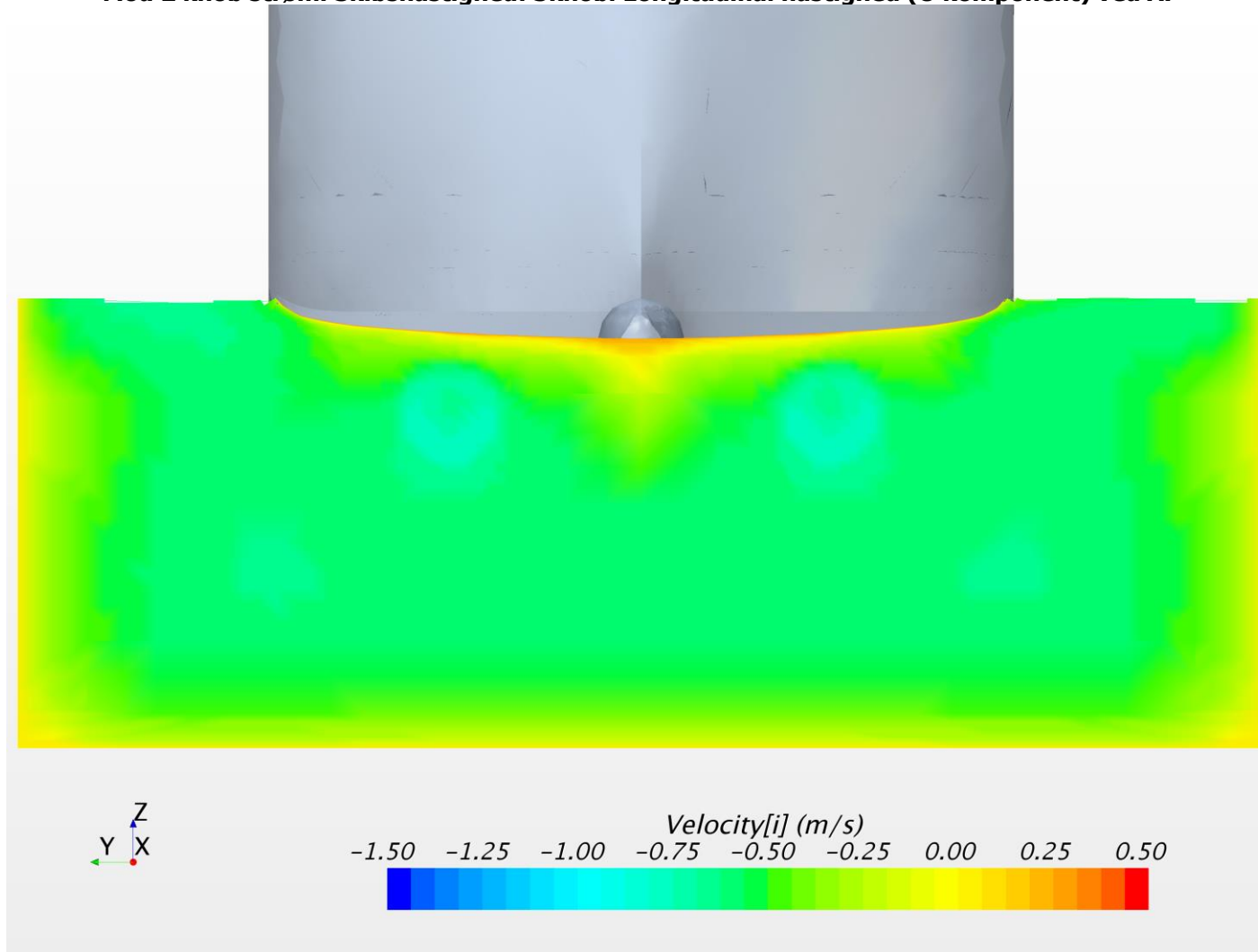
Uden strøm. Skibshastighed: 4 knob. Lateral hastighed (V komponent) ved FP



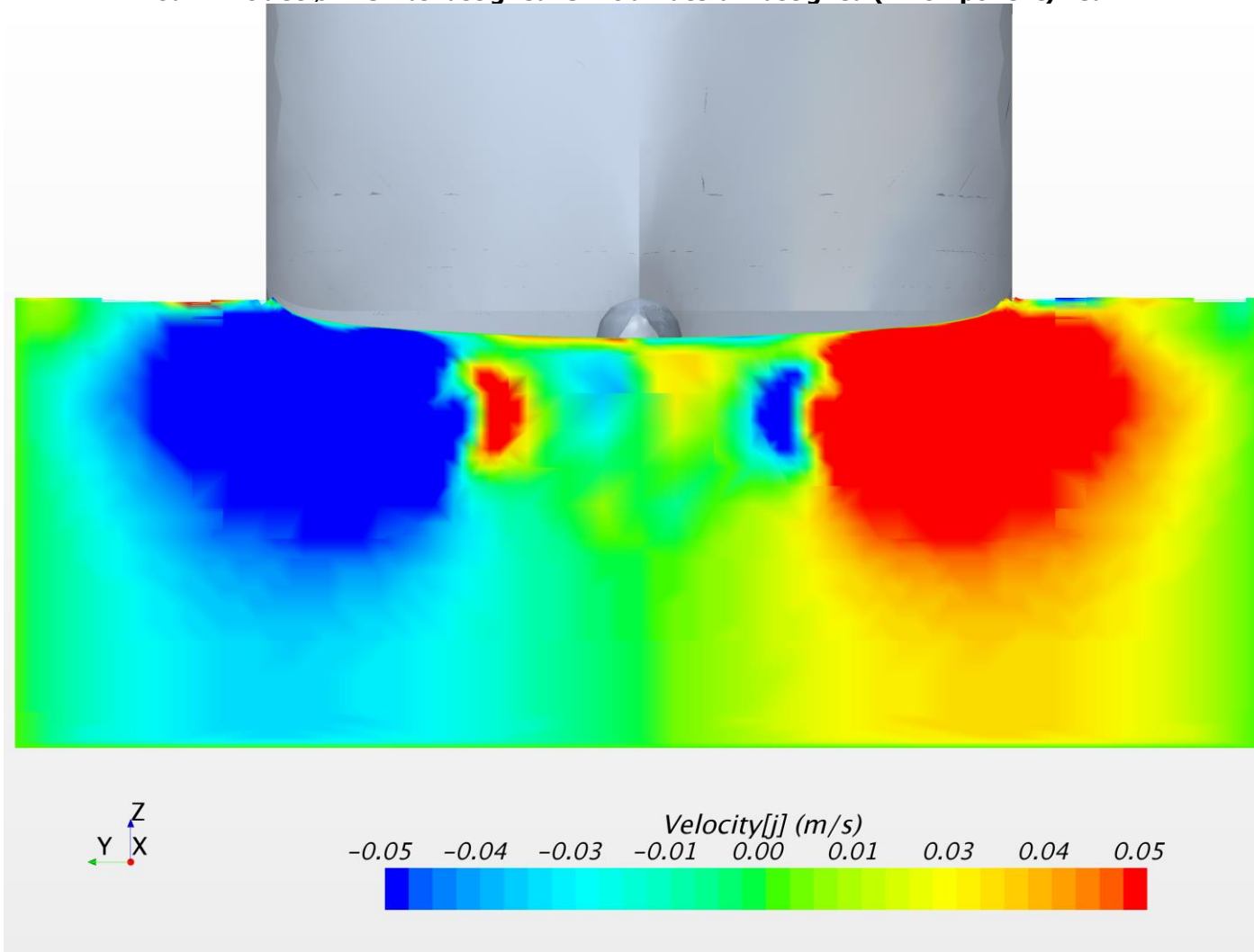
Uden strøm. Skibshastighed: 4 knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



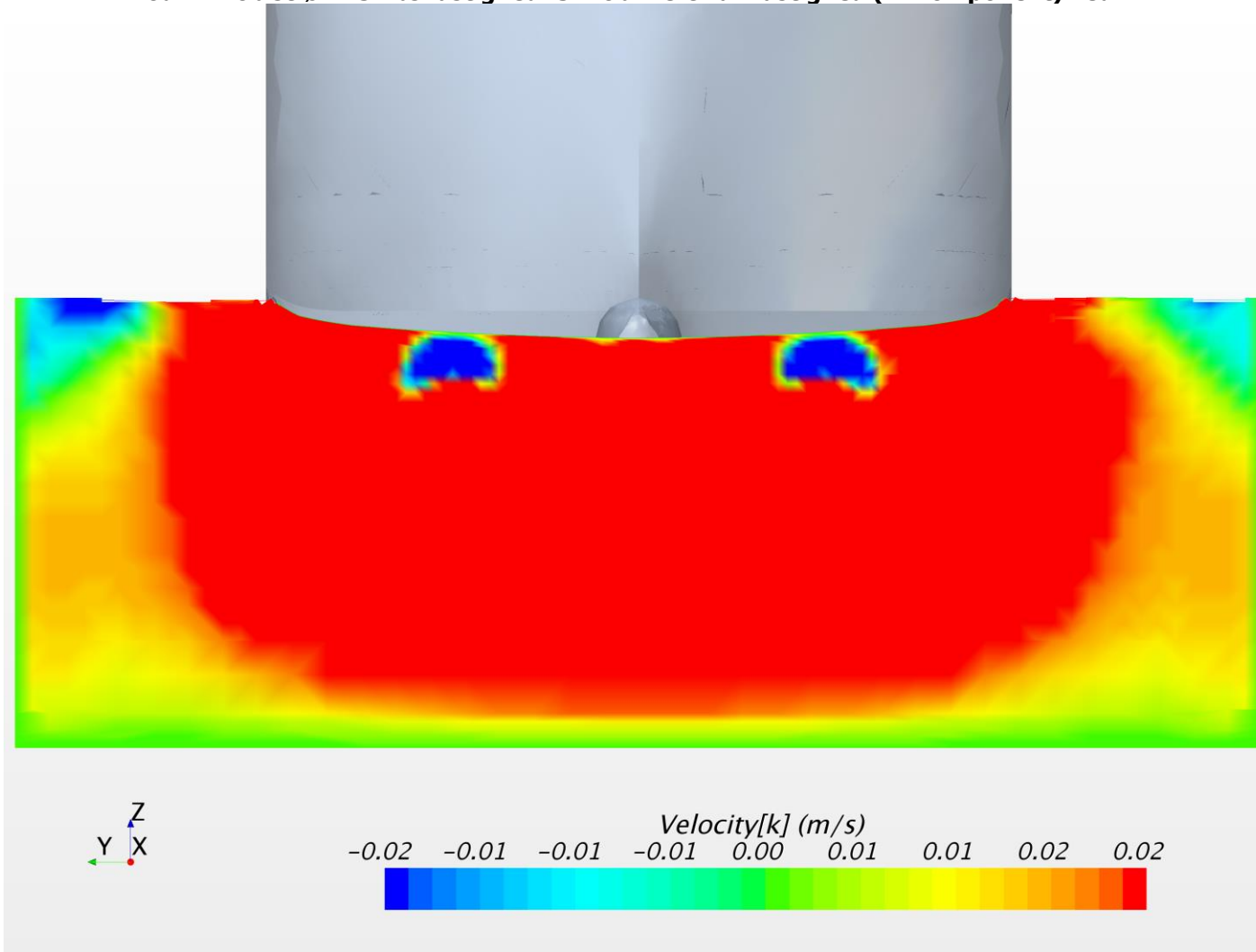
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



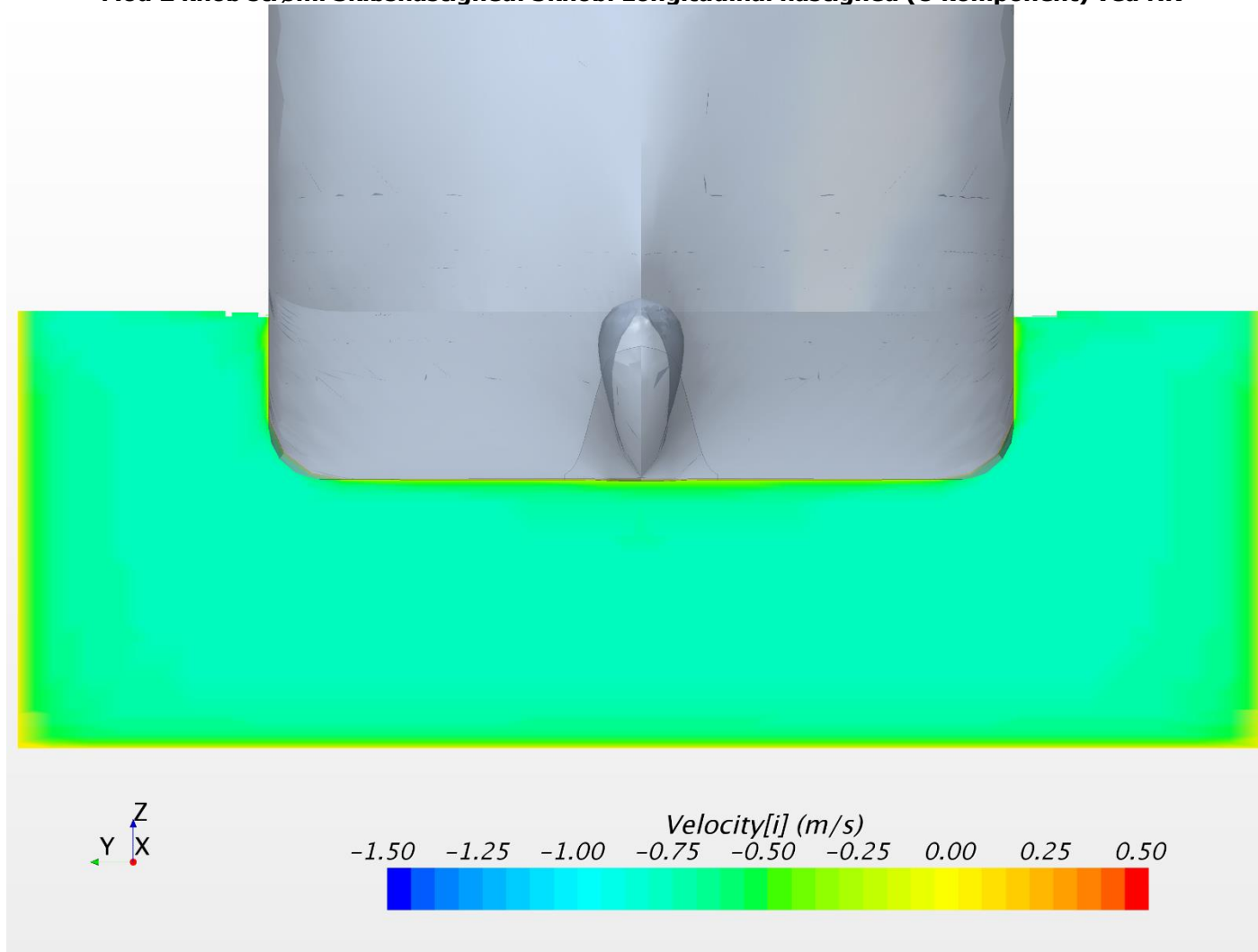
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved AP



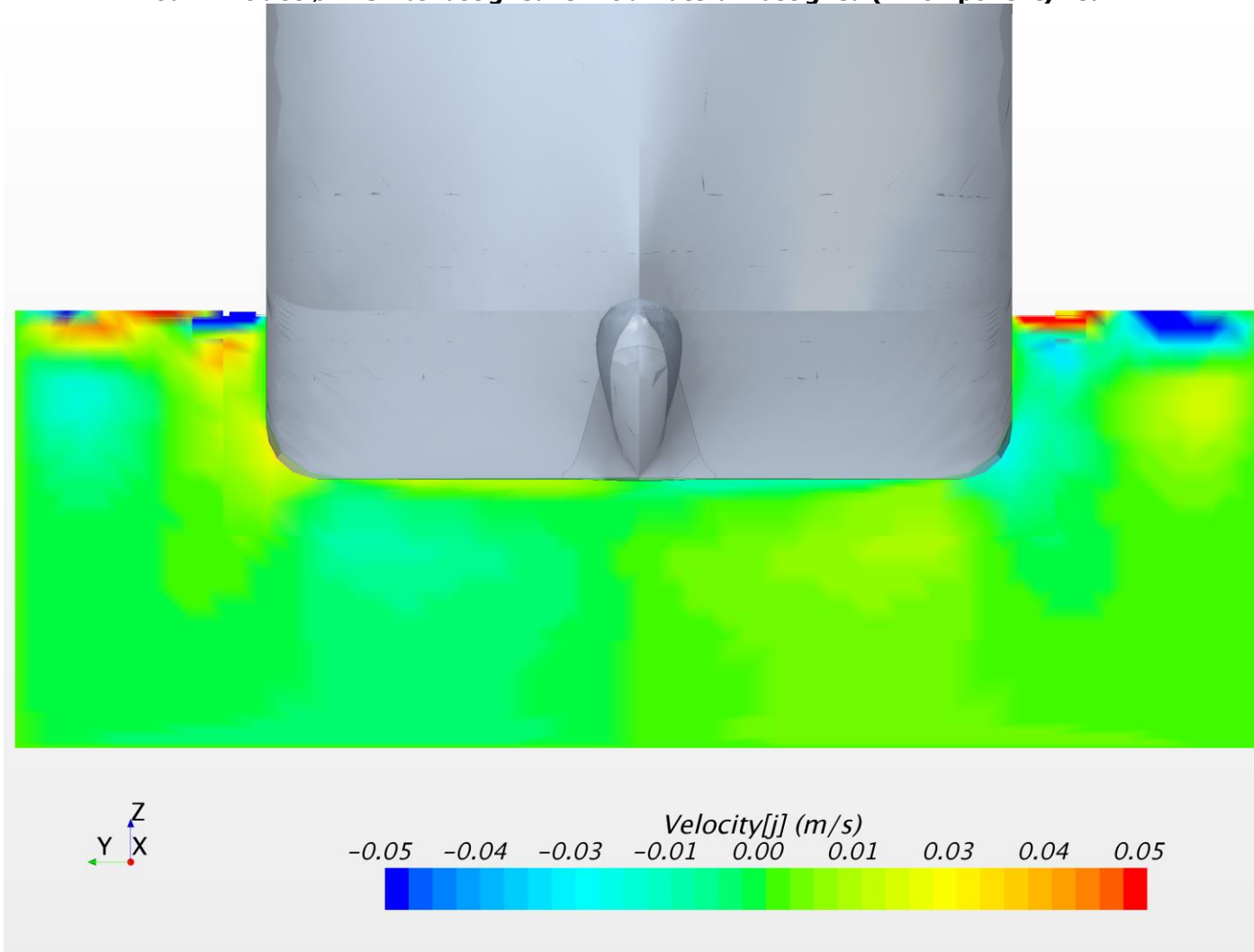
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



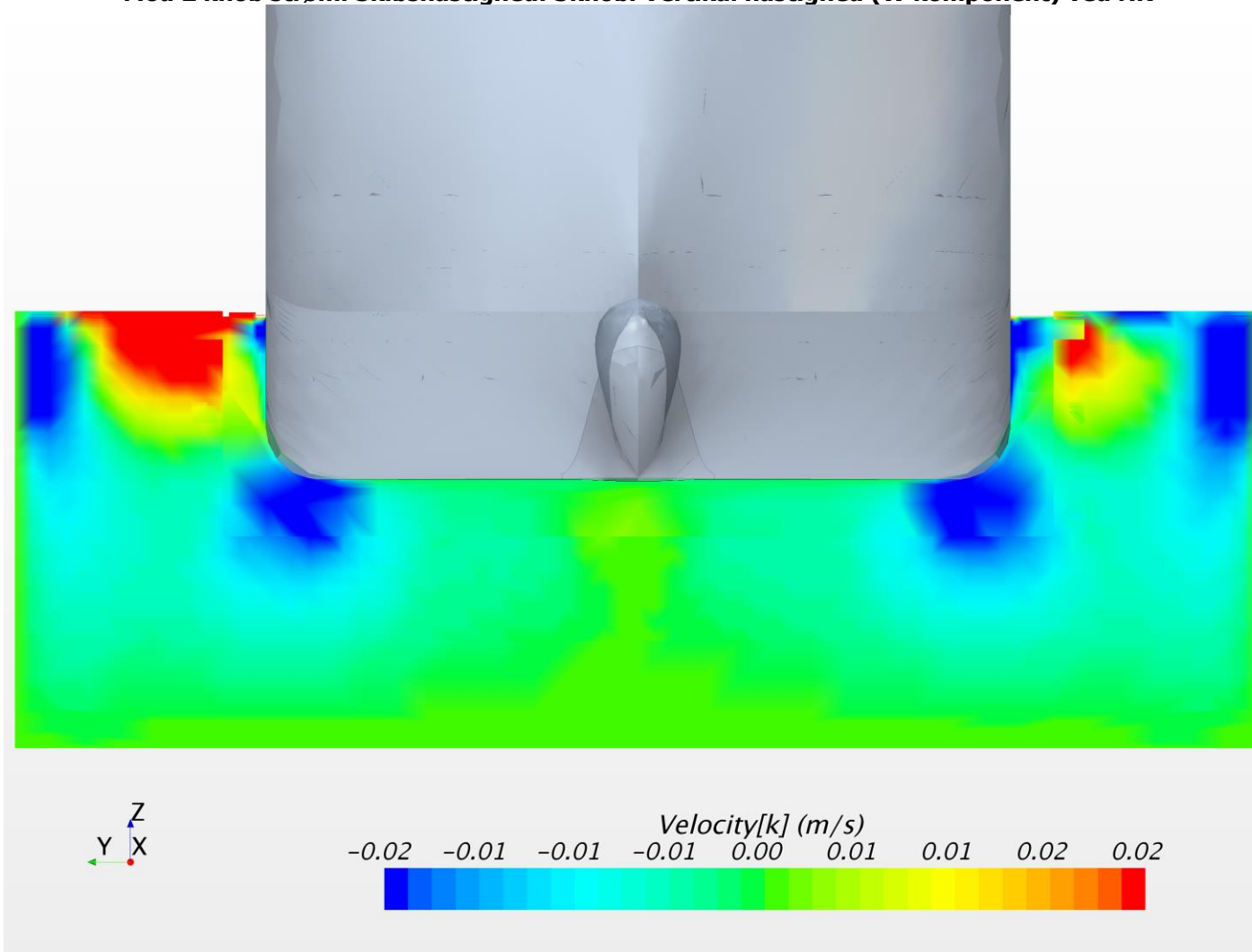
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



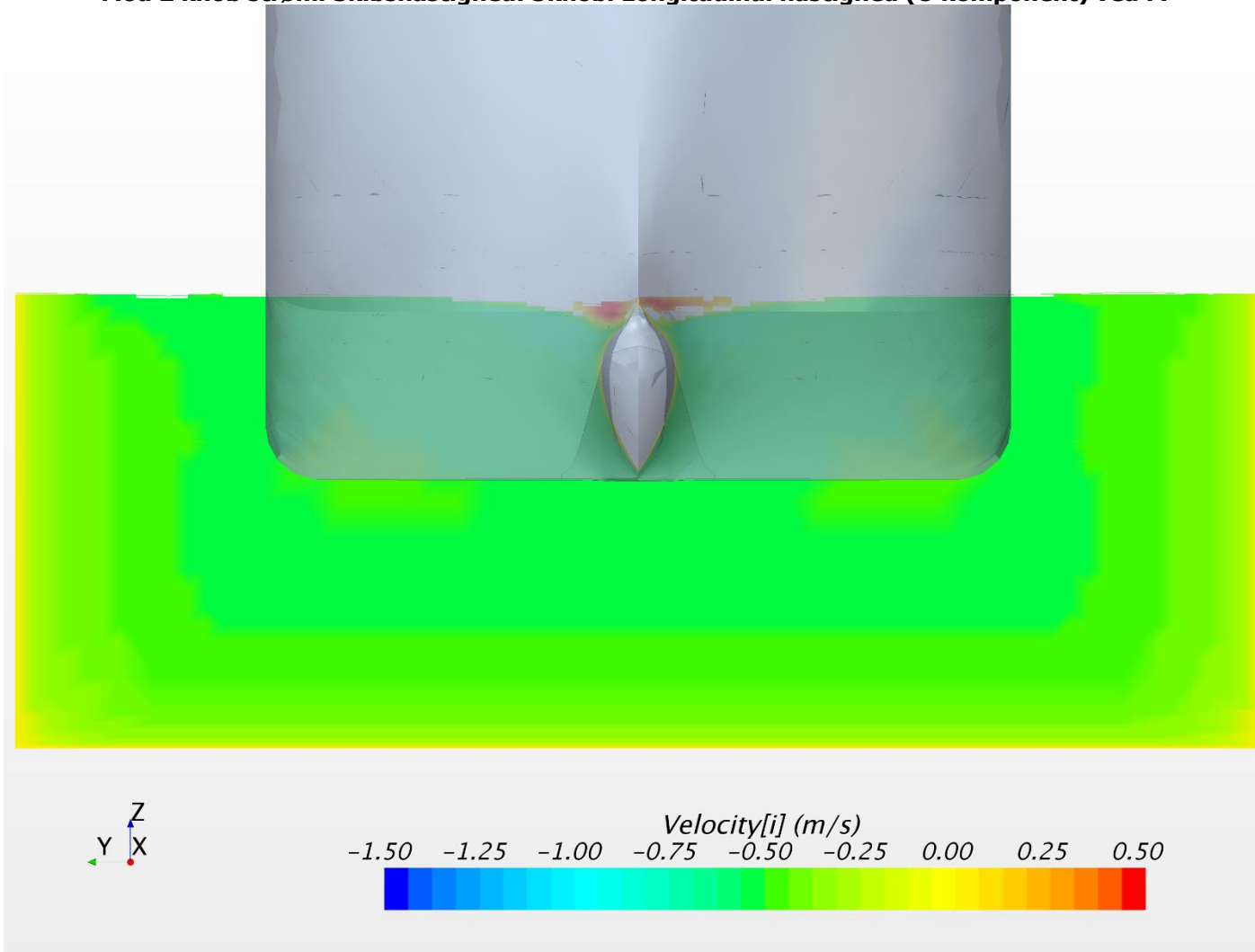
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved NK



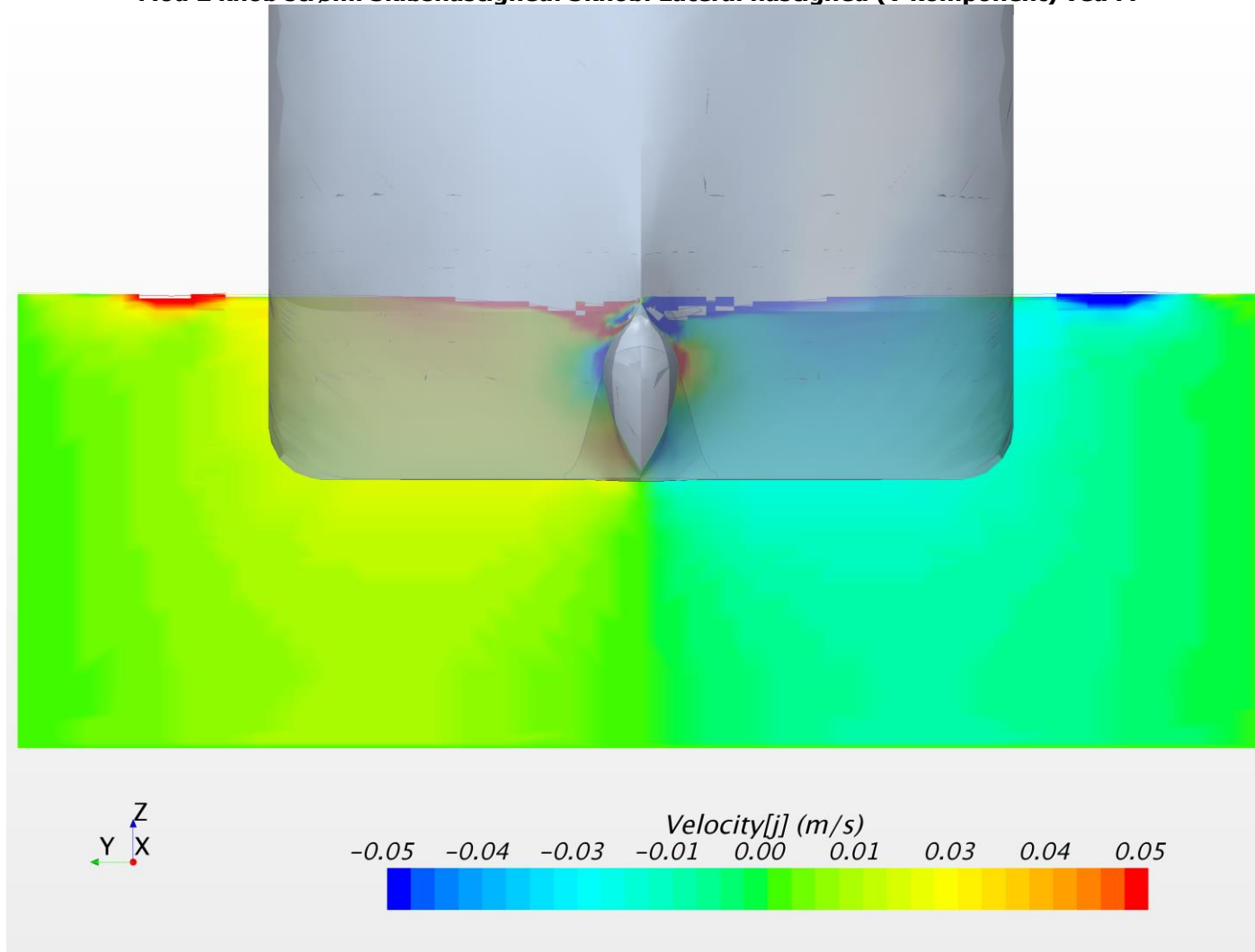
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



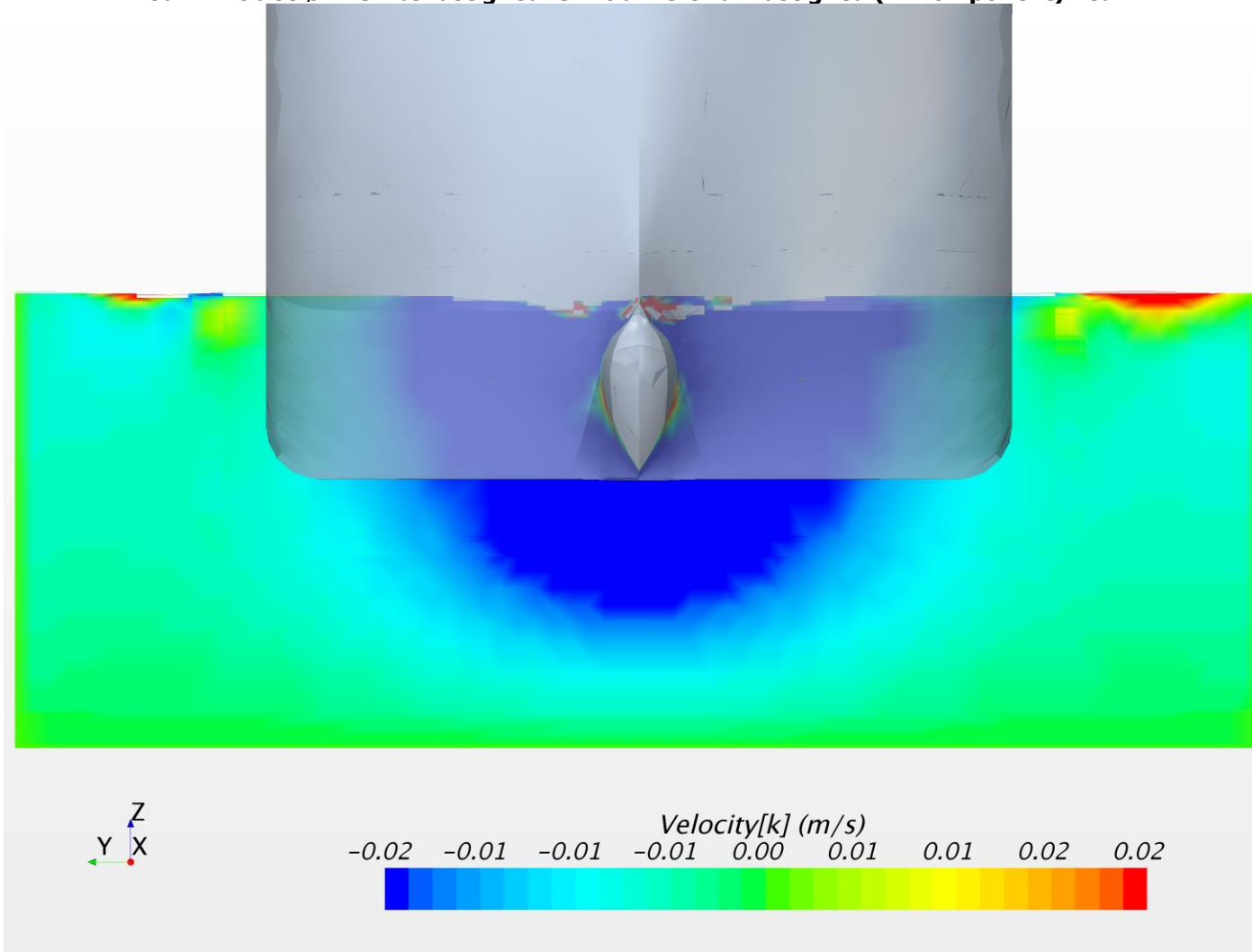
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved FP



Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



APPENDIX I

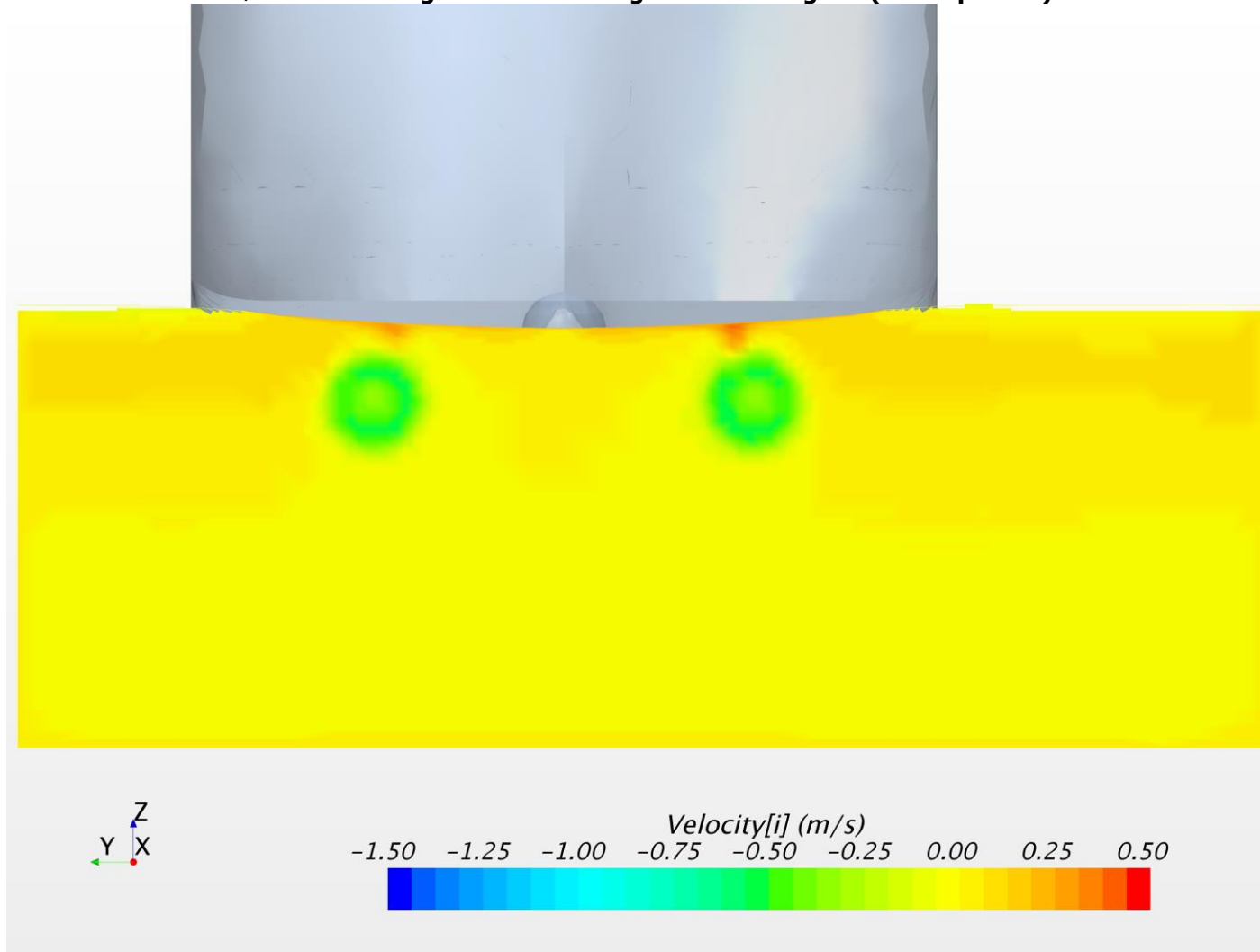
Resultater af CFD Beregninger

**Model Midnatsol
Kondition: Tæt på fender
Uden Søjler
Vanddybde: 13.21m**

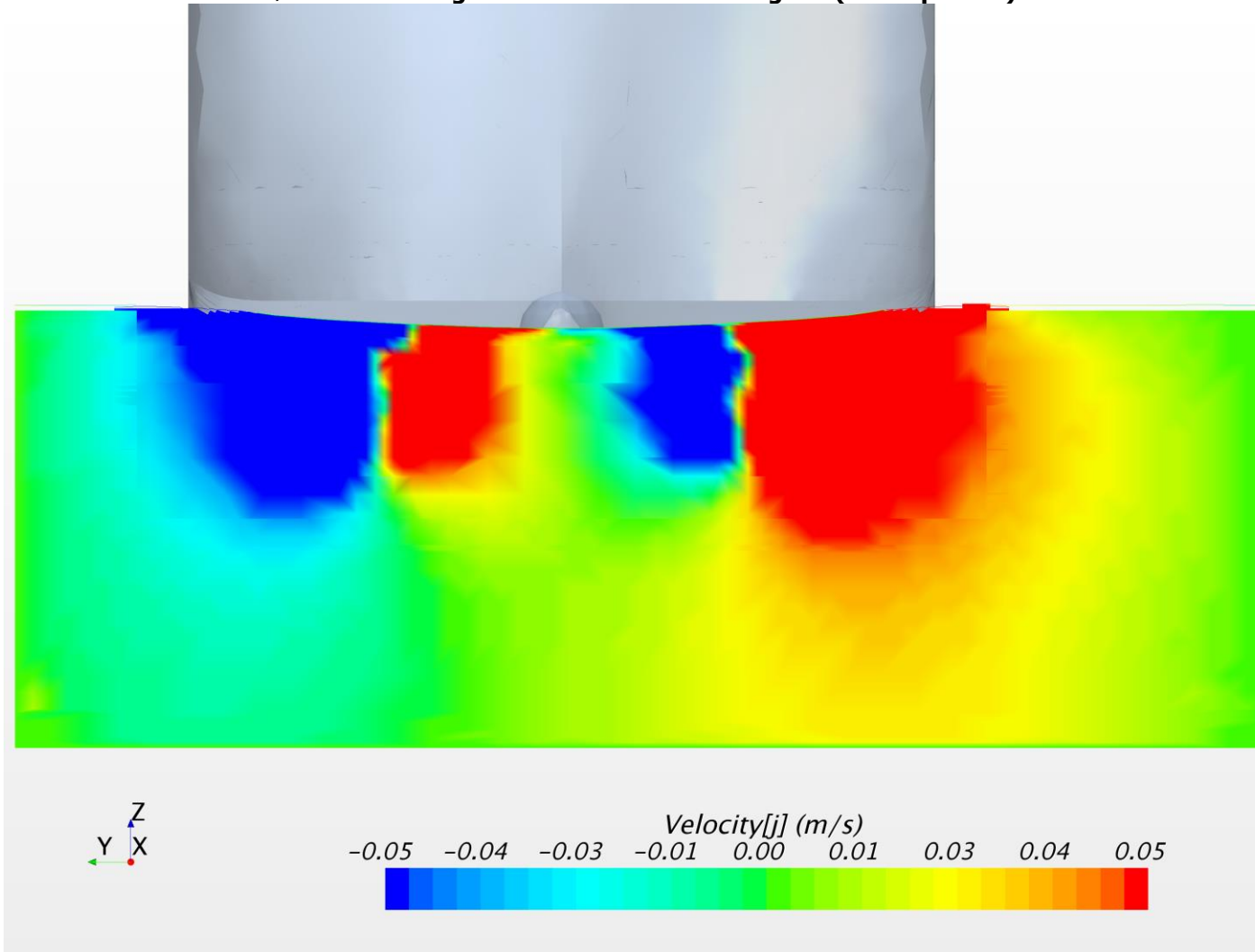
2kn modstrøm eller uden strøm

Skibshastighed: 2; 3; 4kn

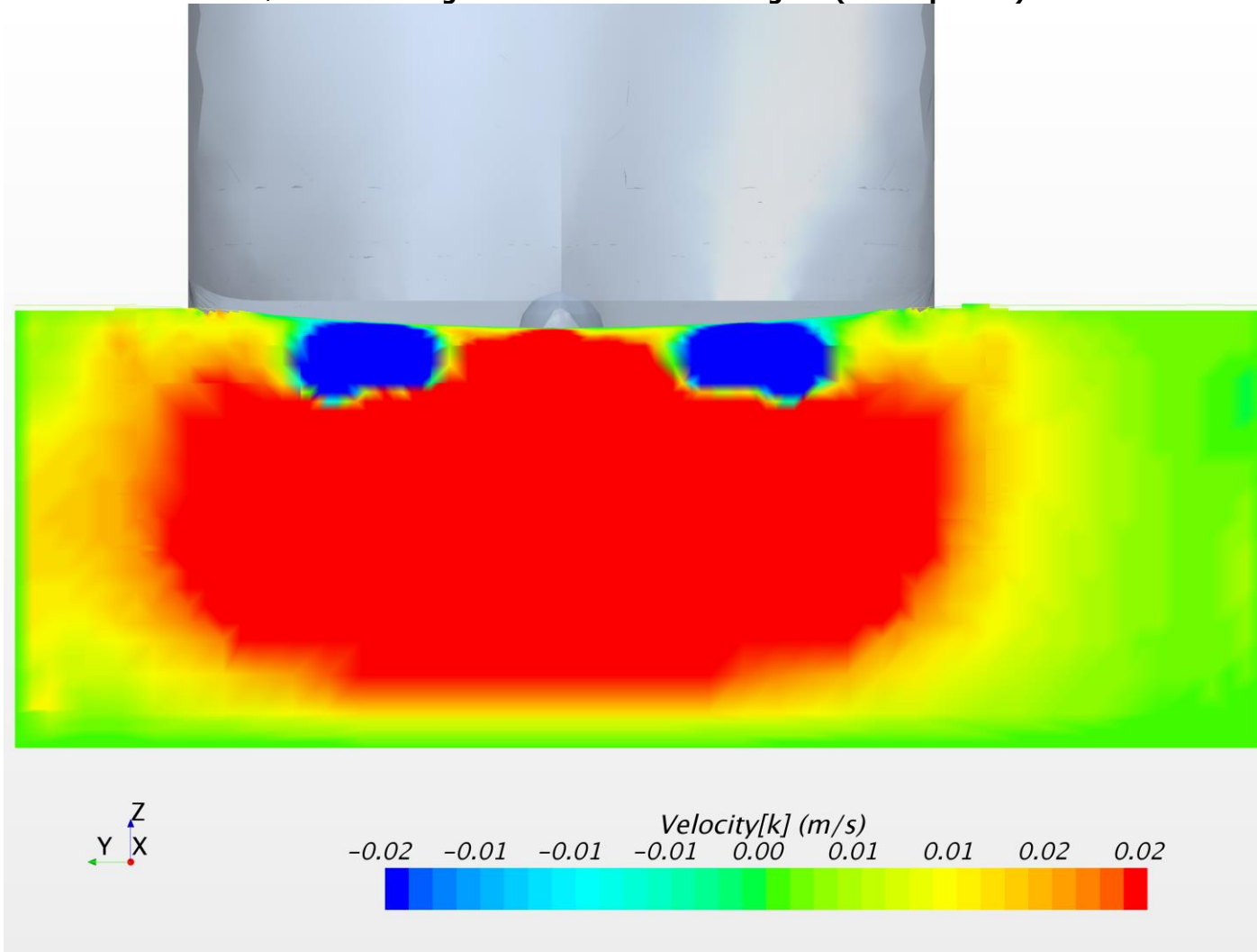
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



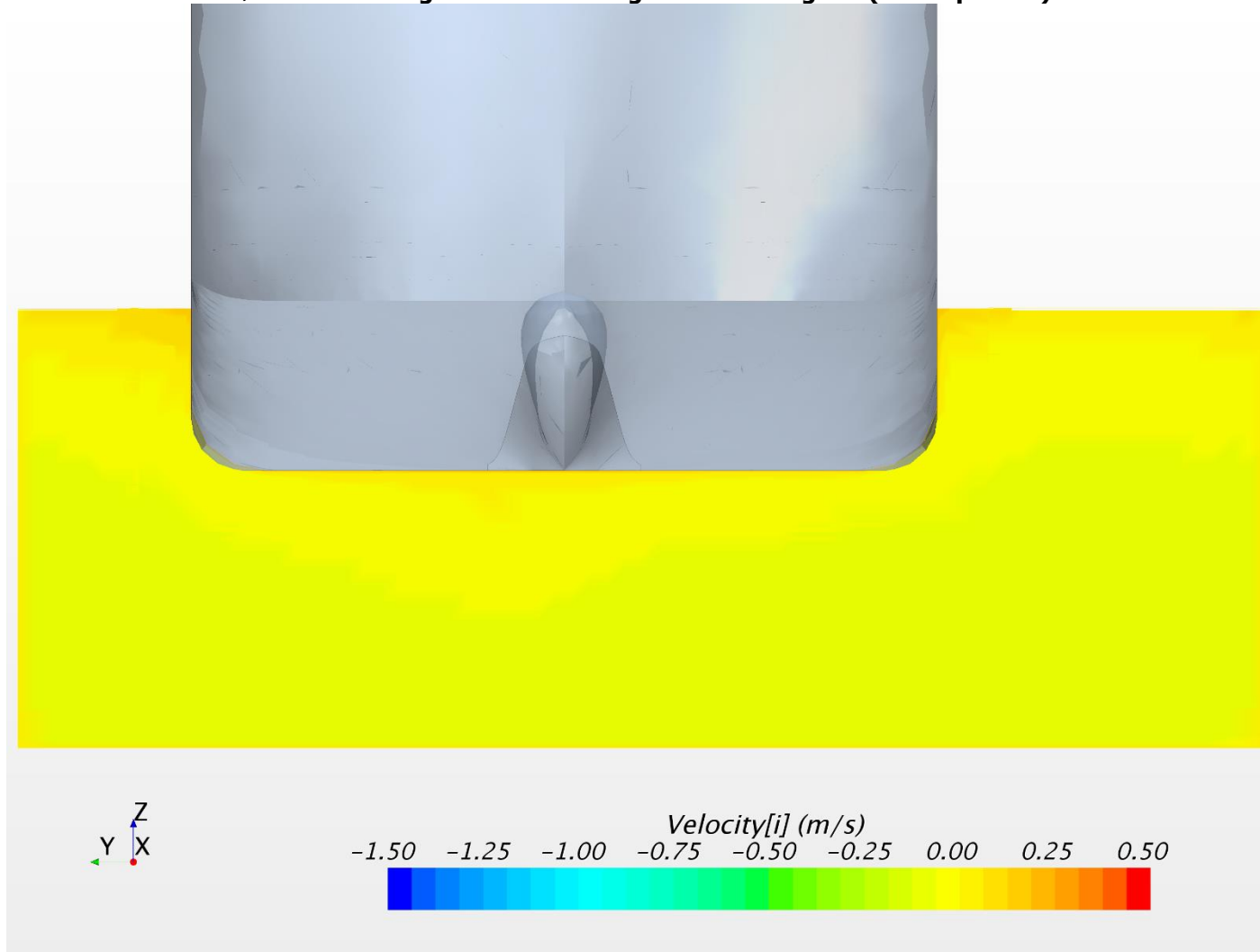
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Lateral hastighed (V komponent) ved AP



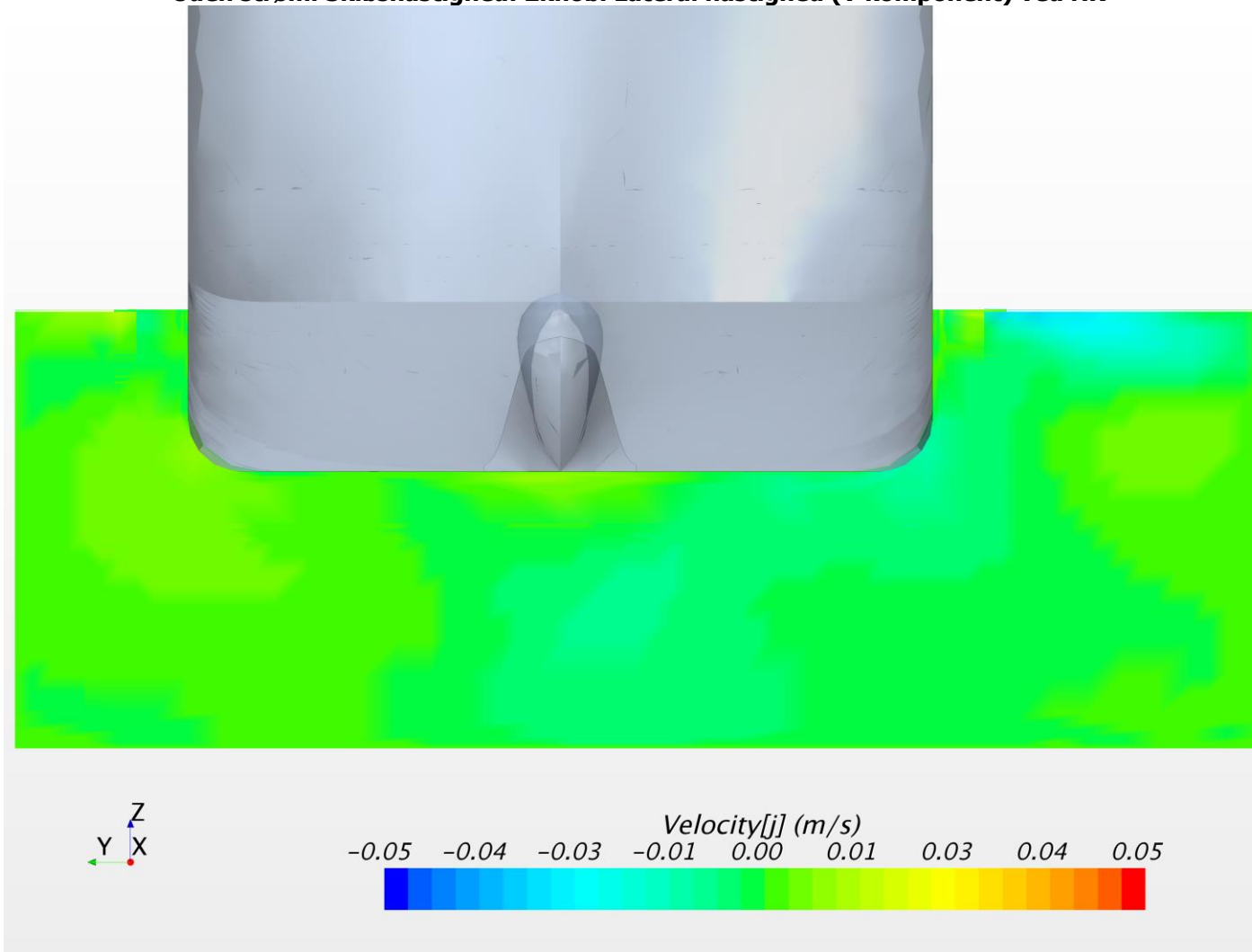
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



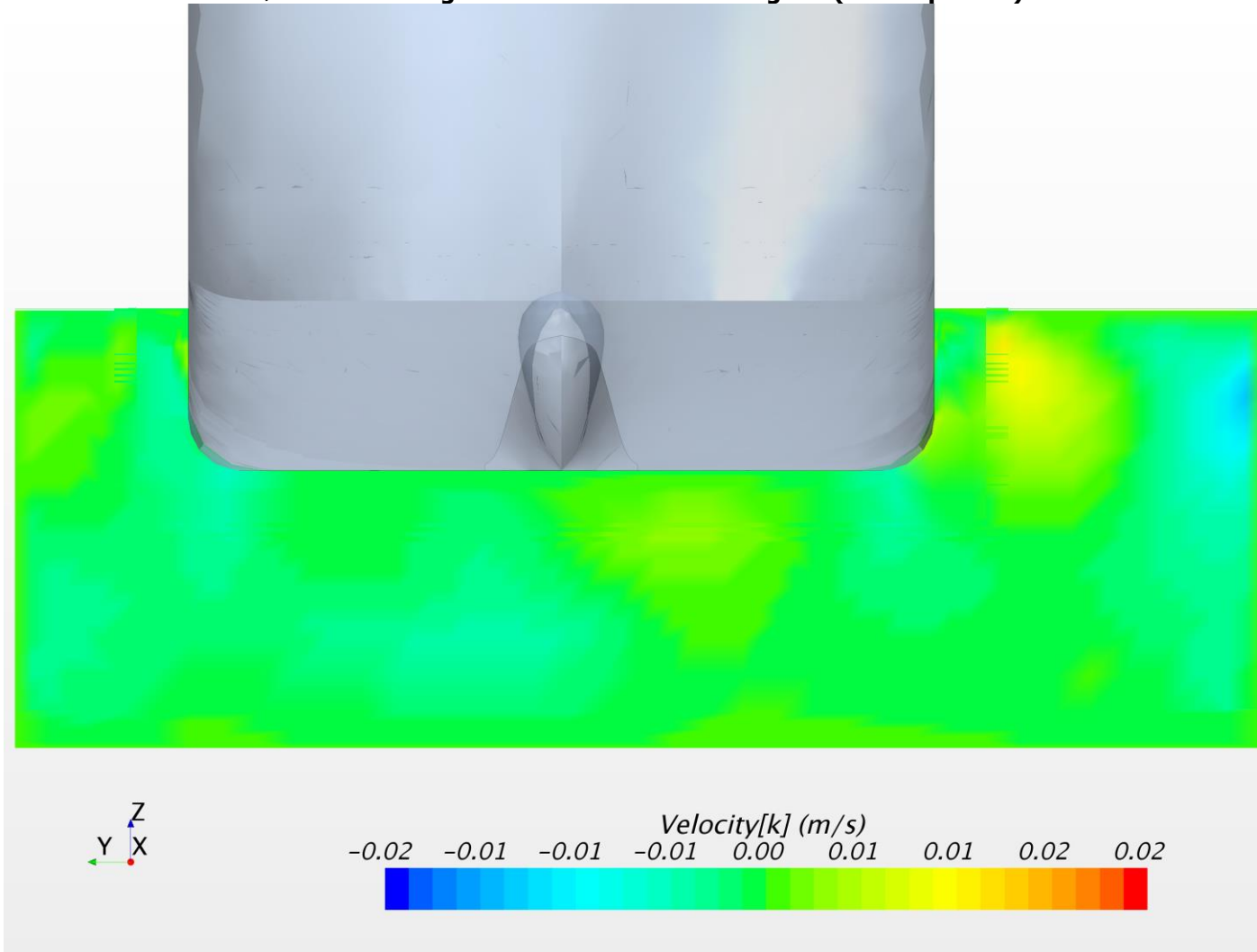
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



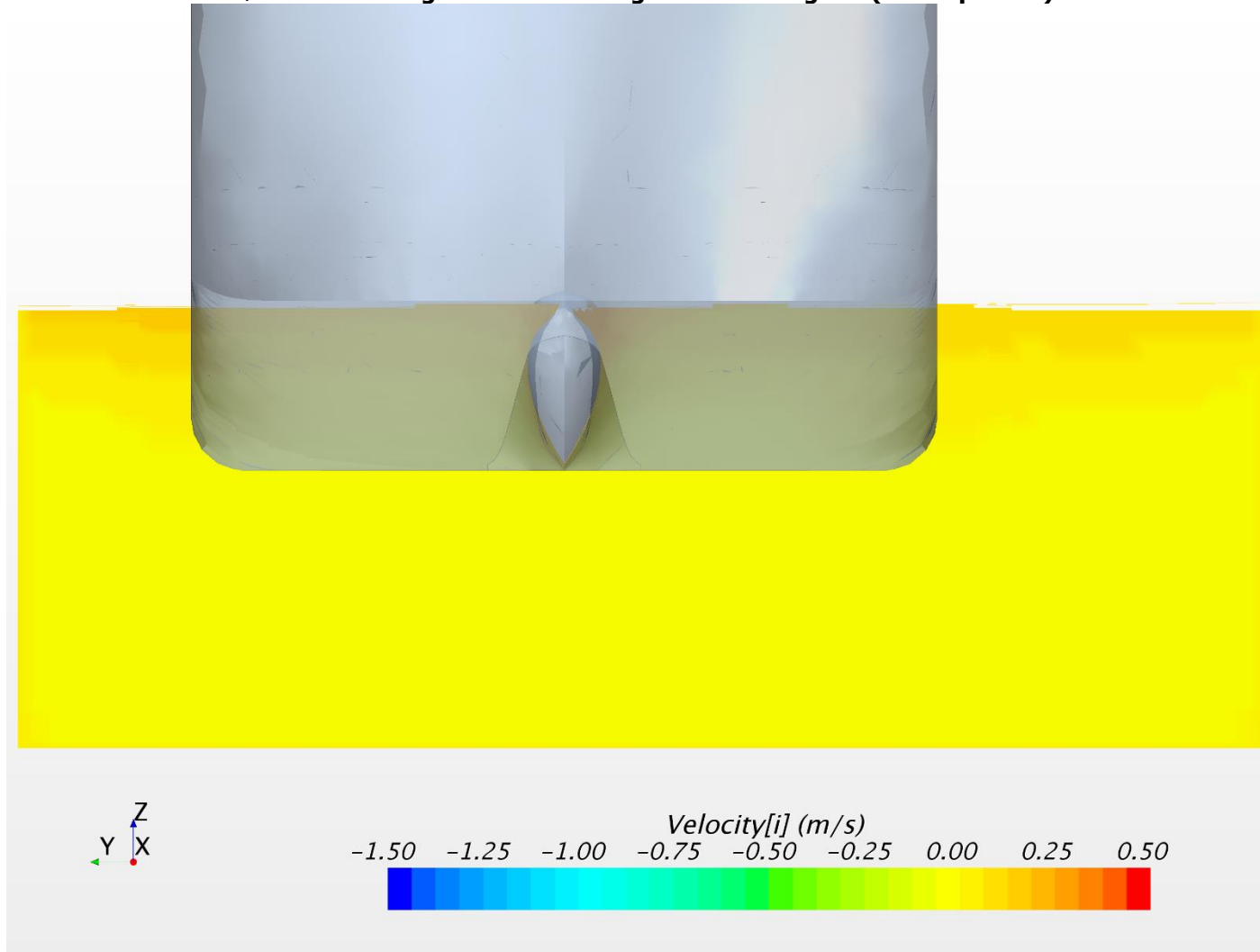
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Lateral hastighed (V komponent) ved NK



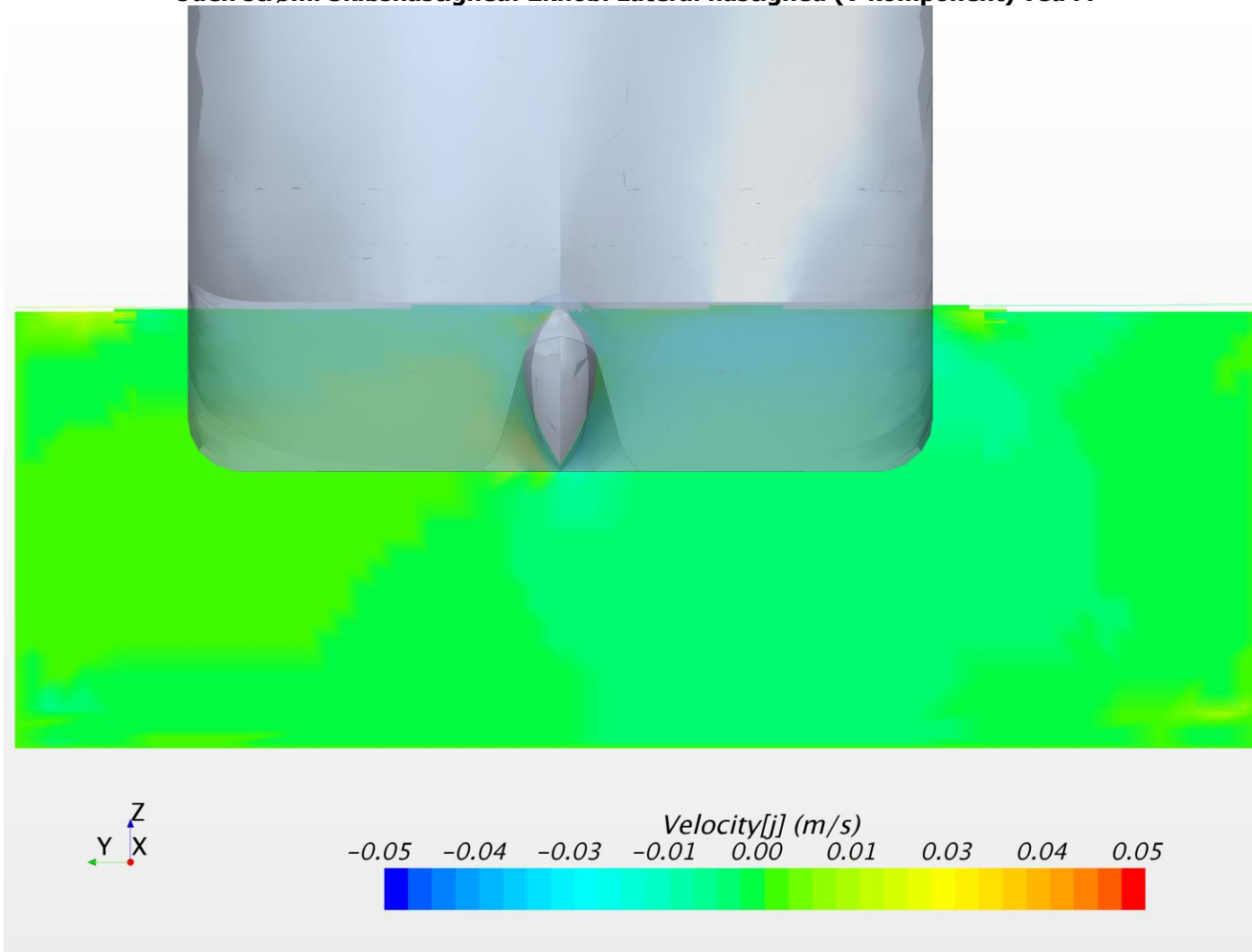
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



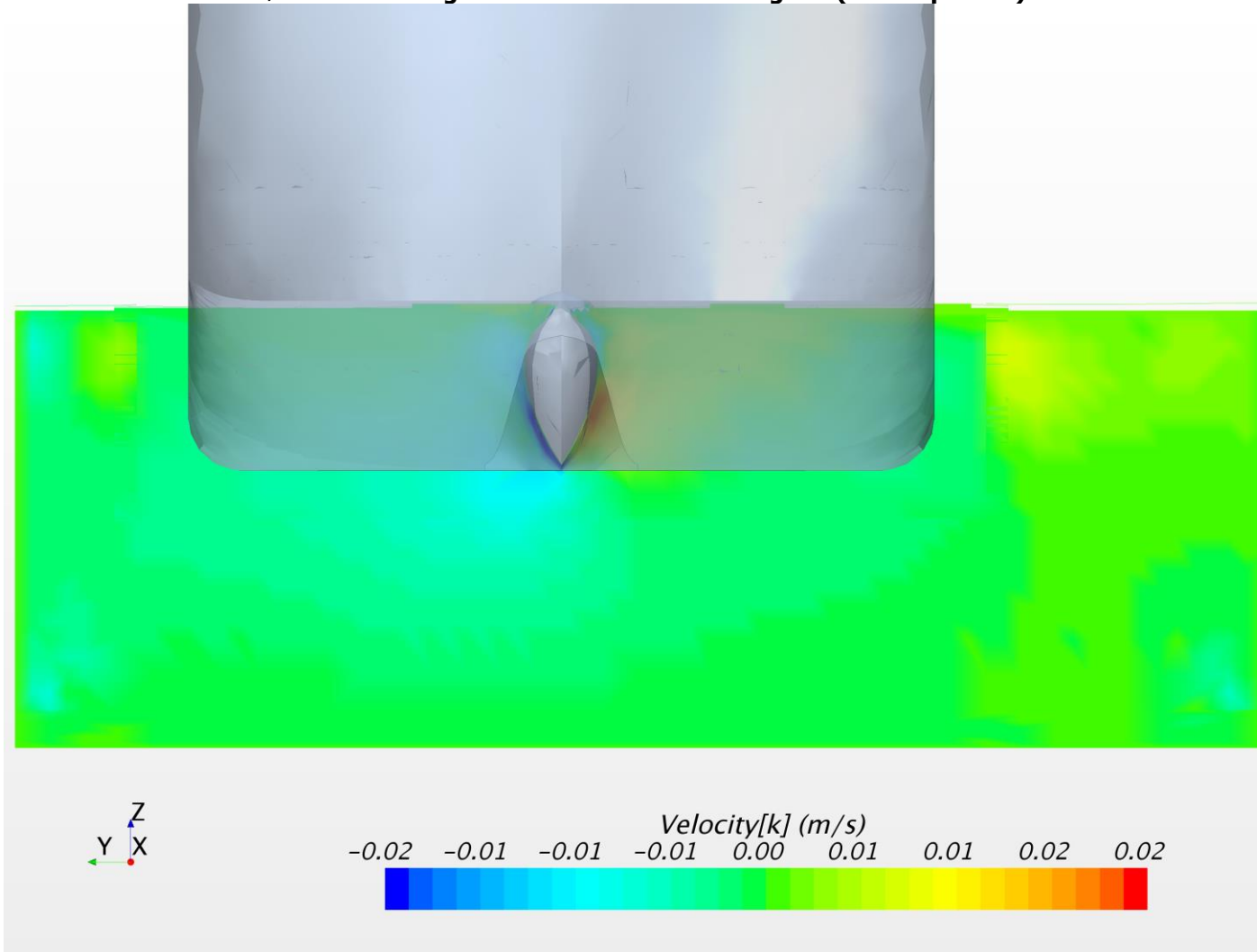
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



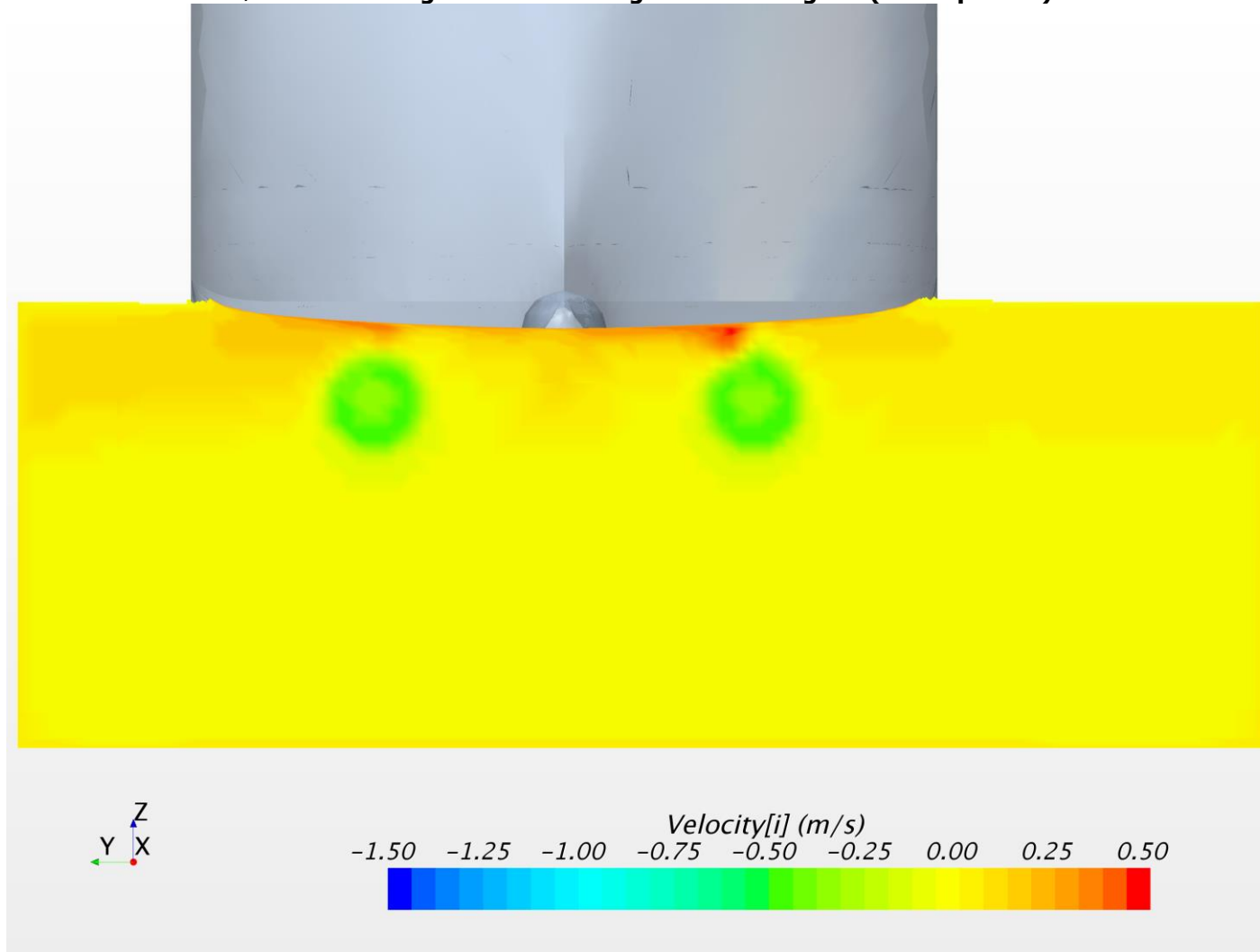
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Lateral hastighed (V komponent) ved FP



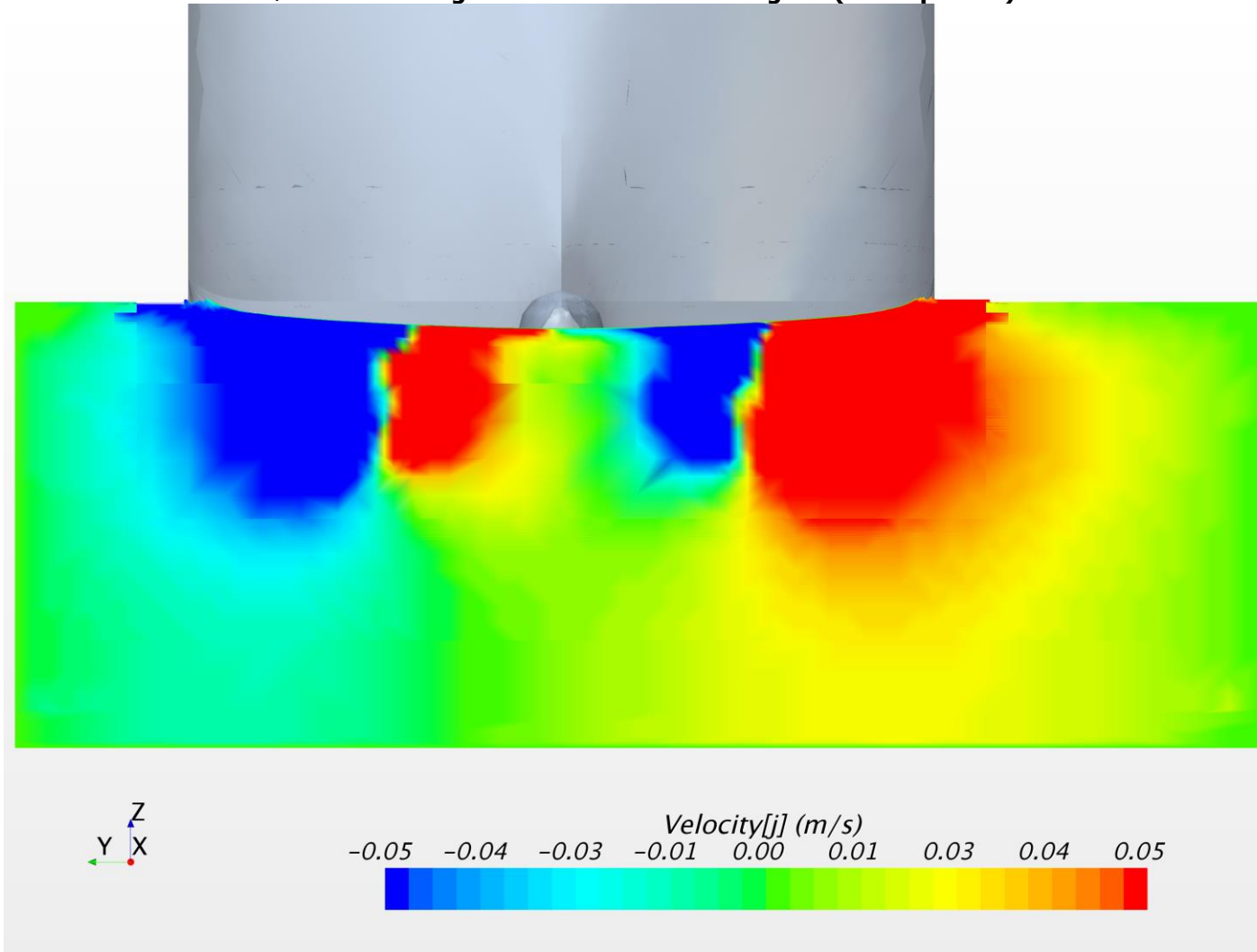
Uden strøm. Skibshastighed: 2knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



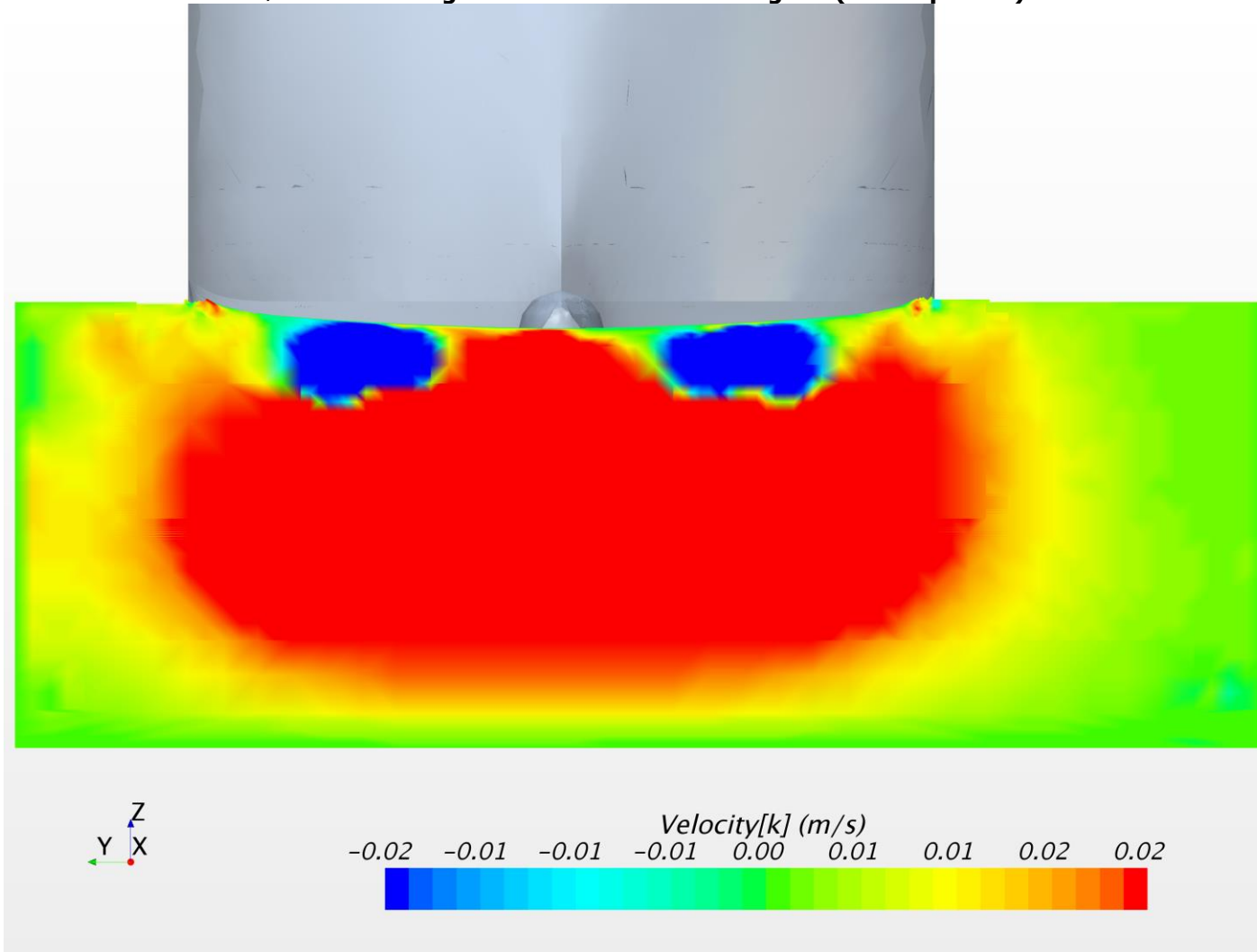
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



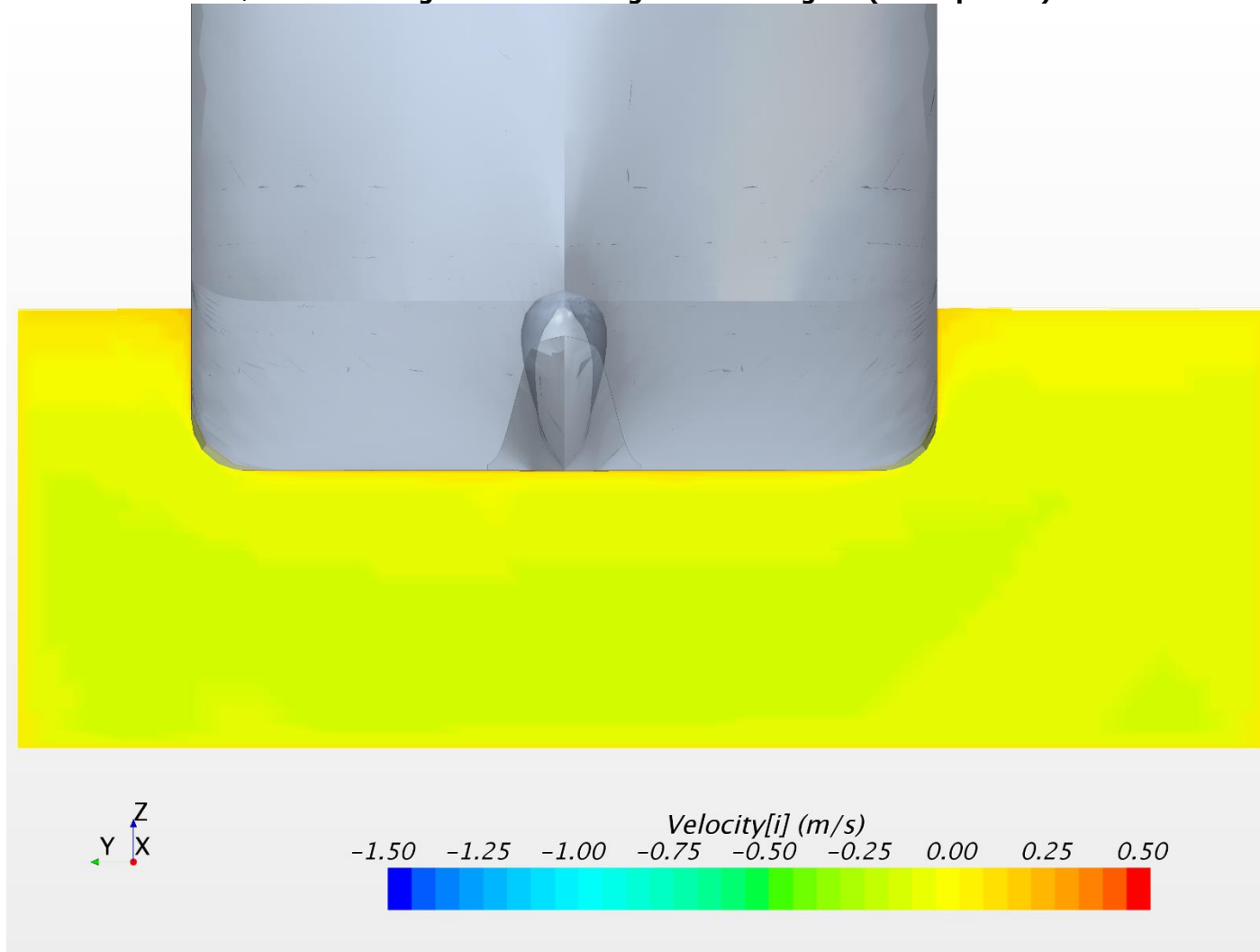
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved AP



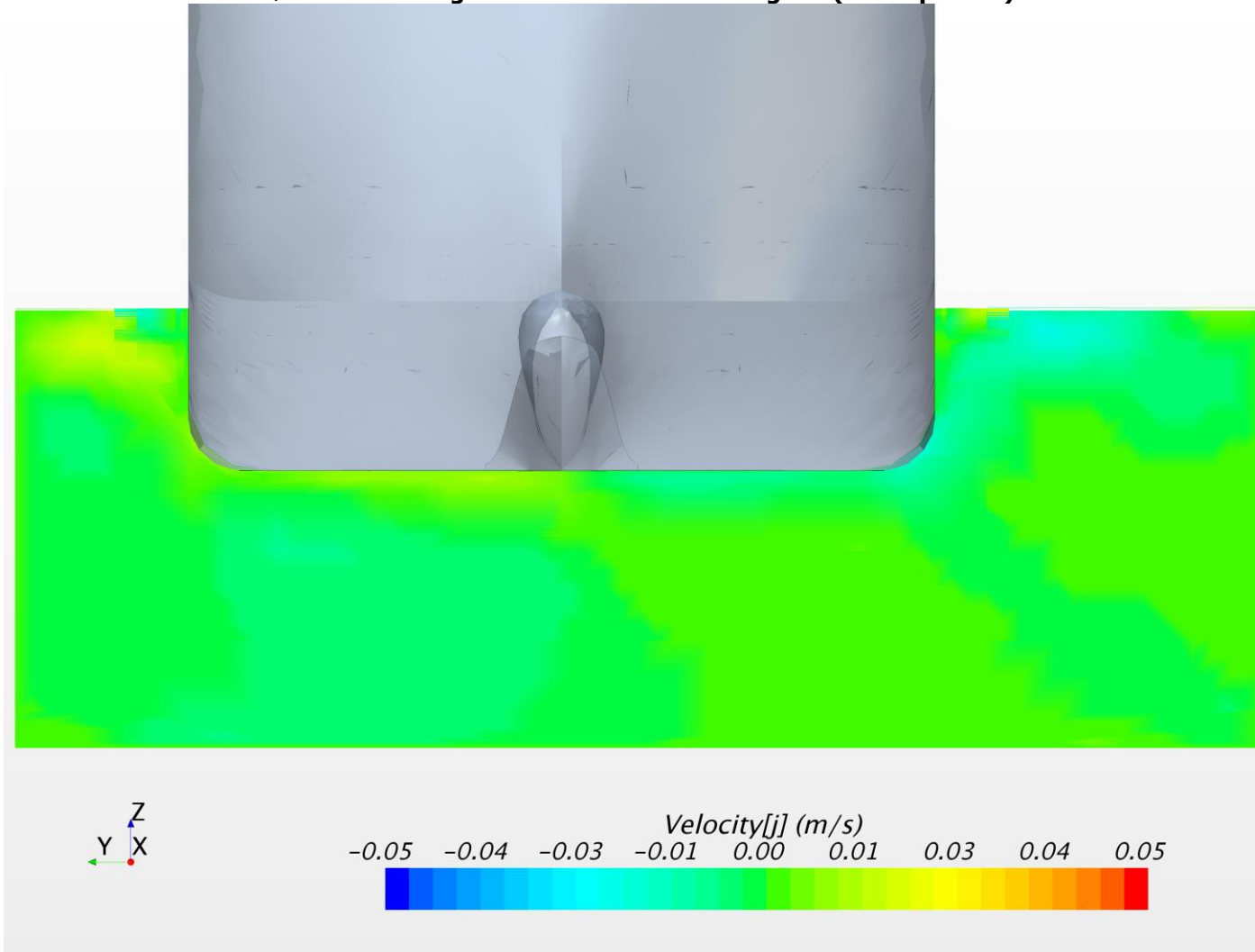
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



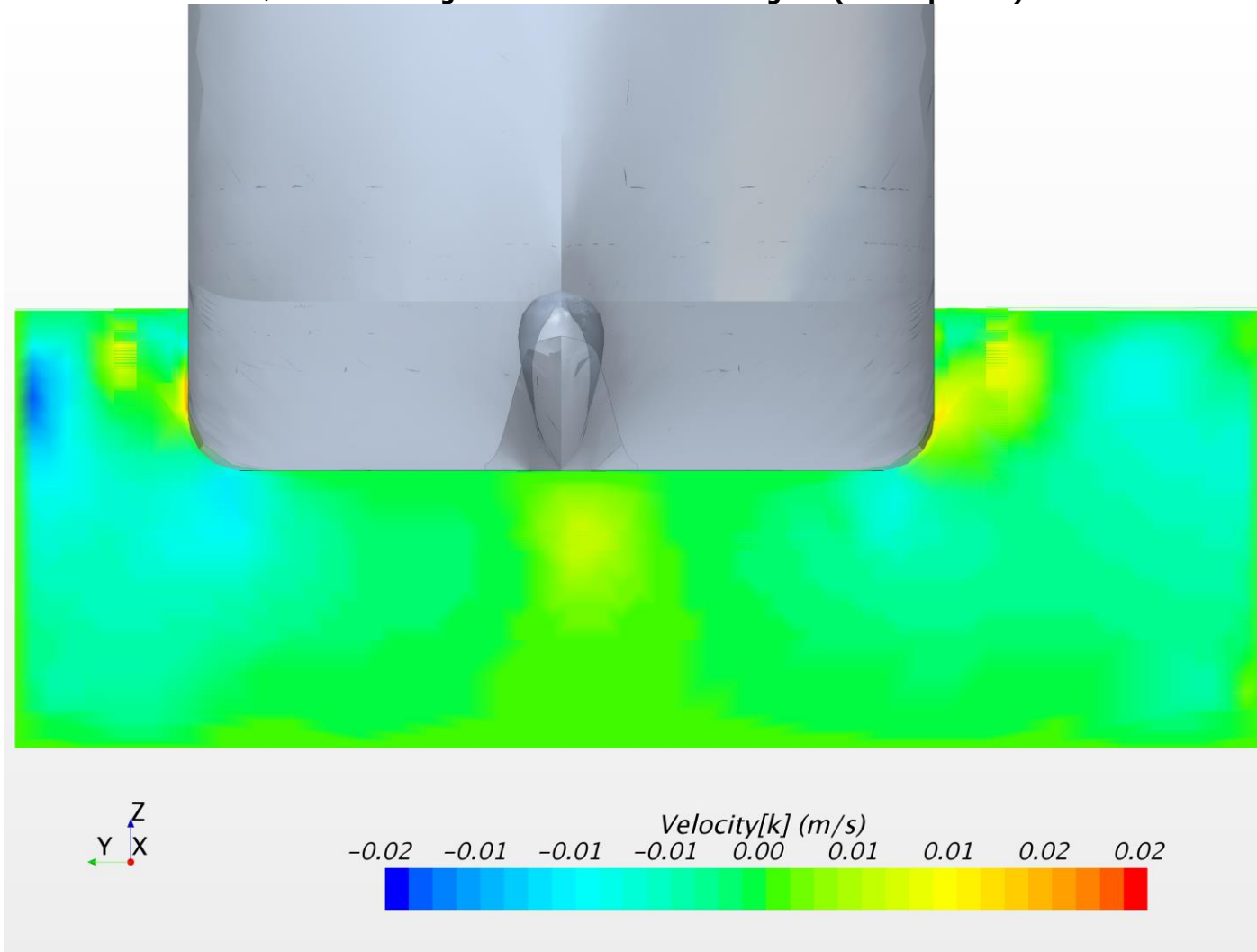
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



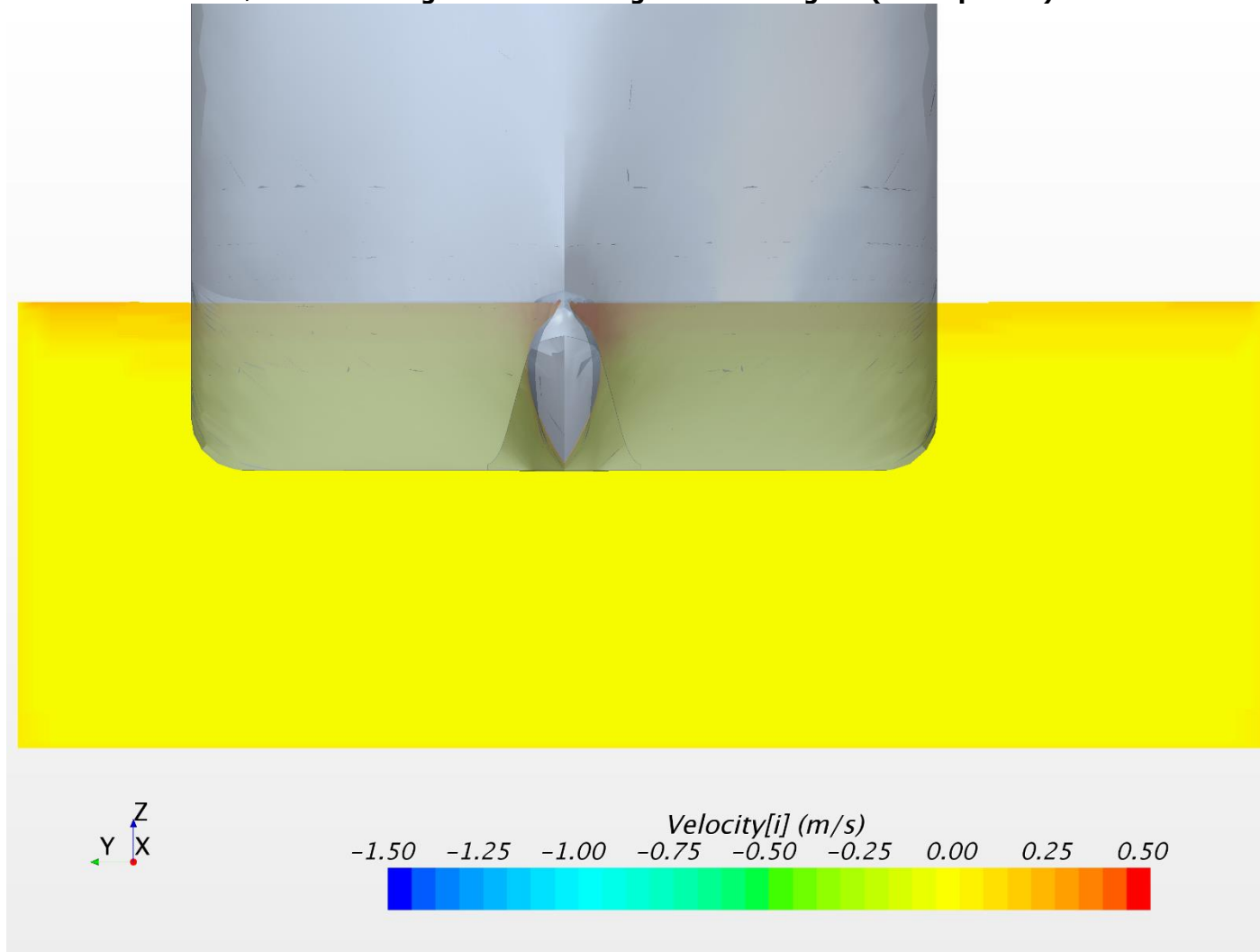
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved NK



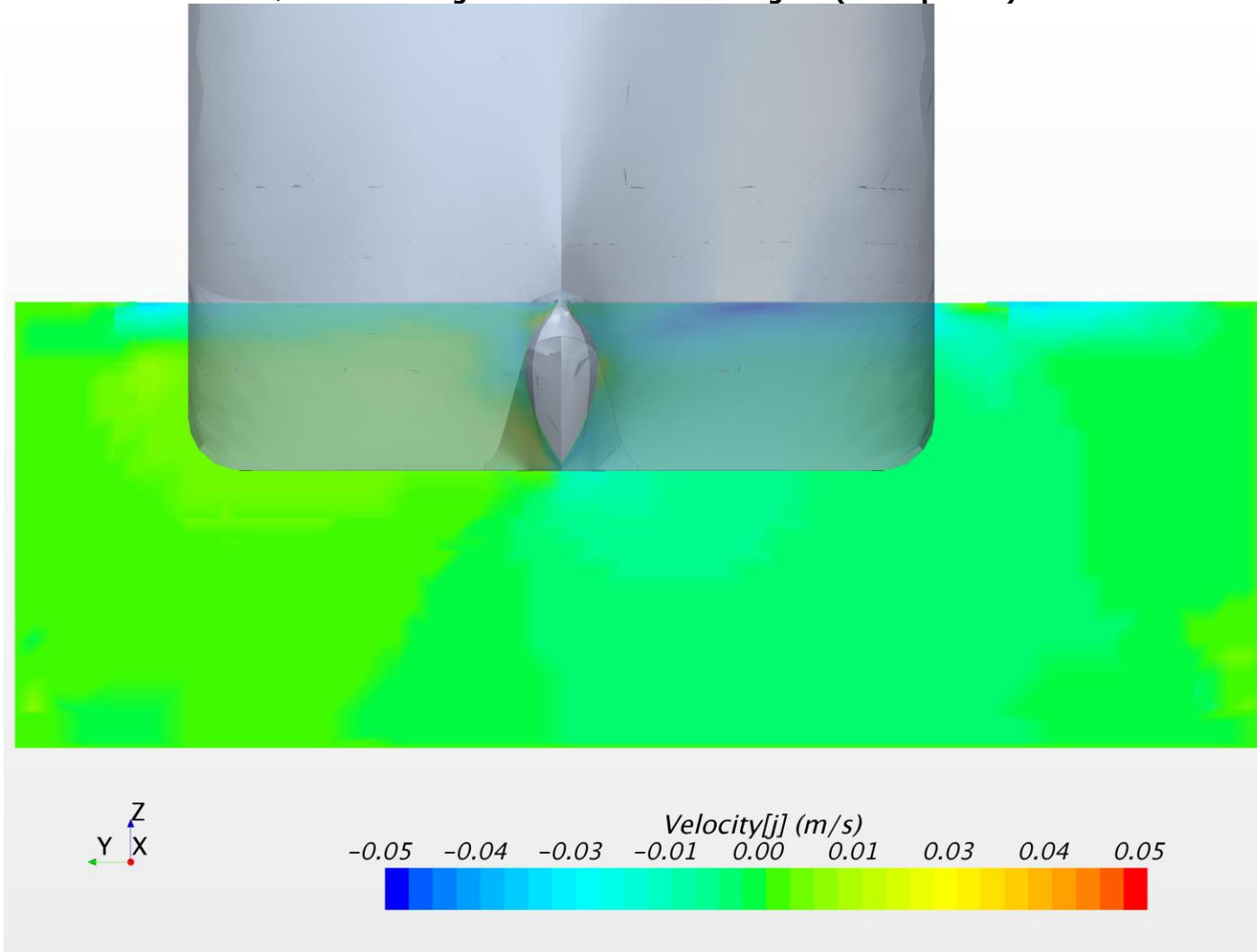
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



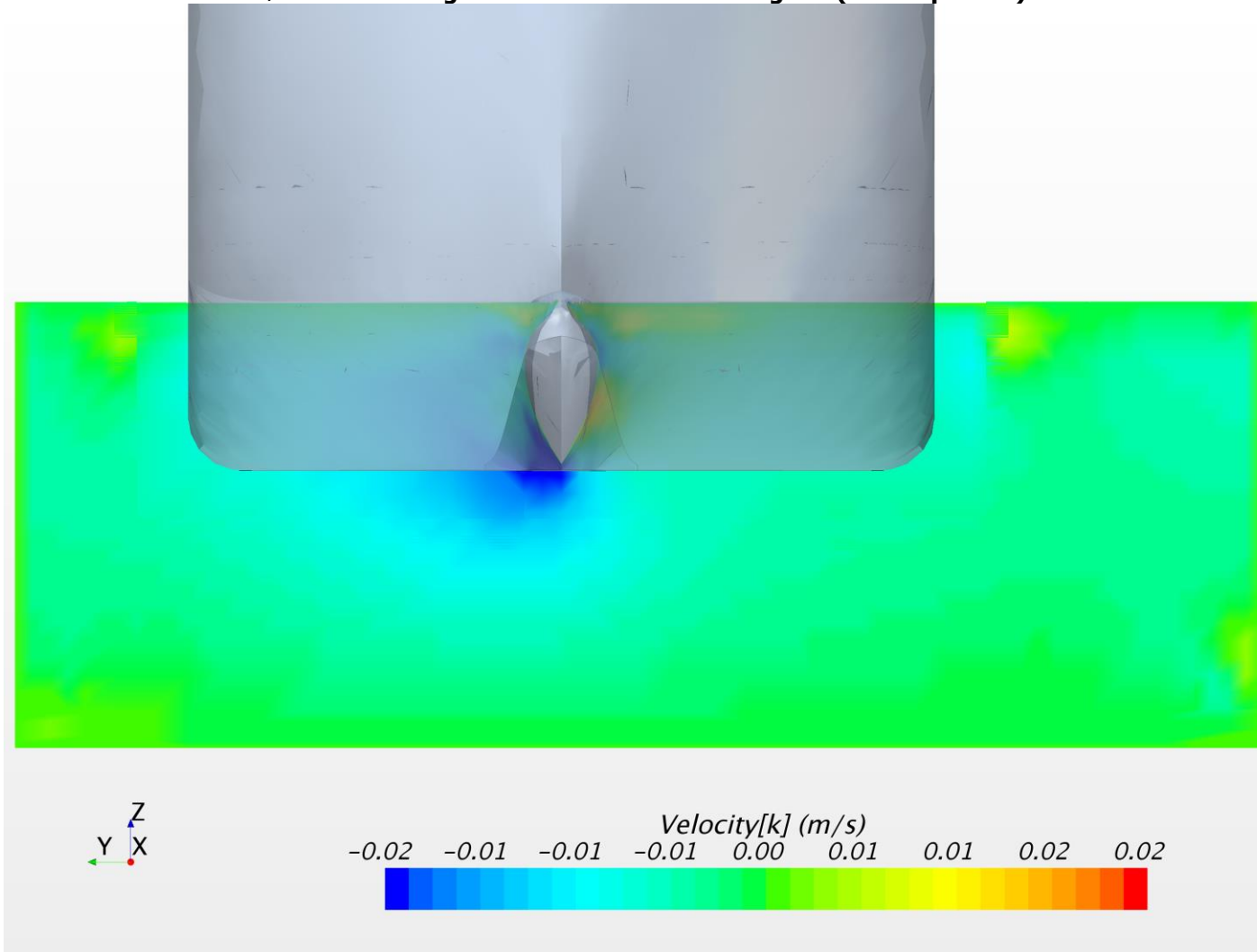
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



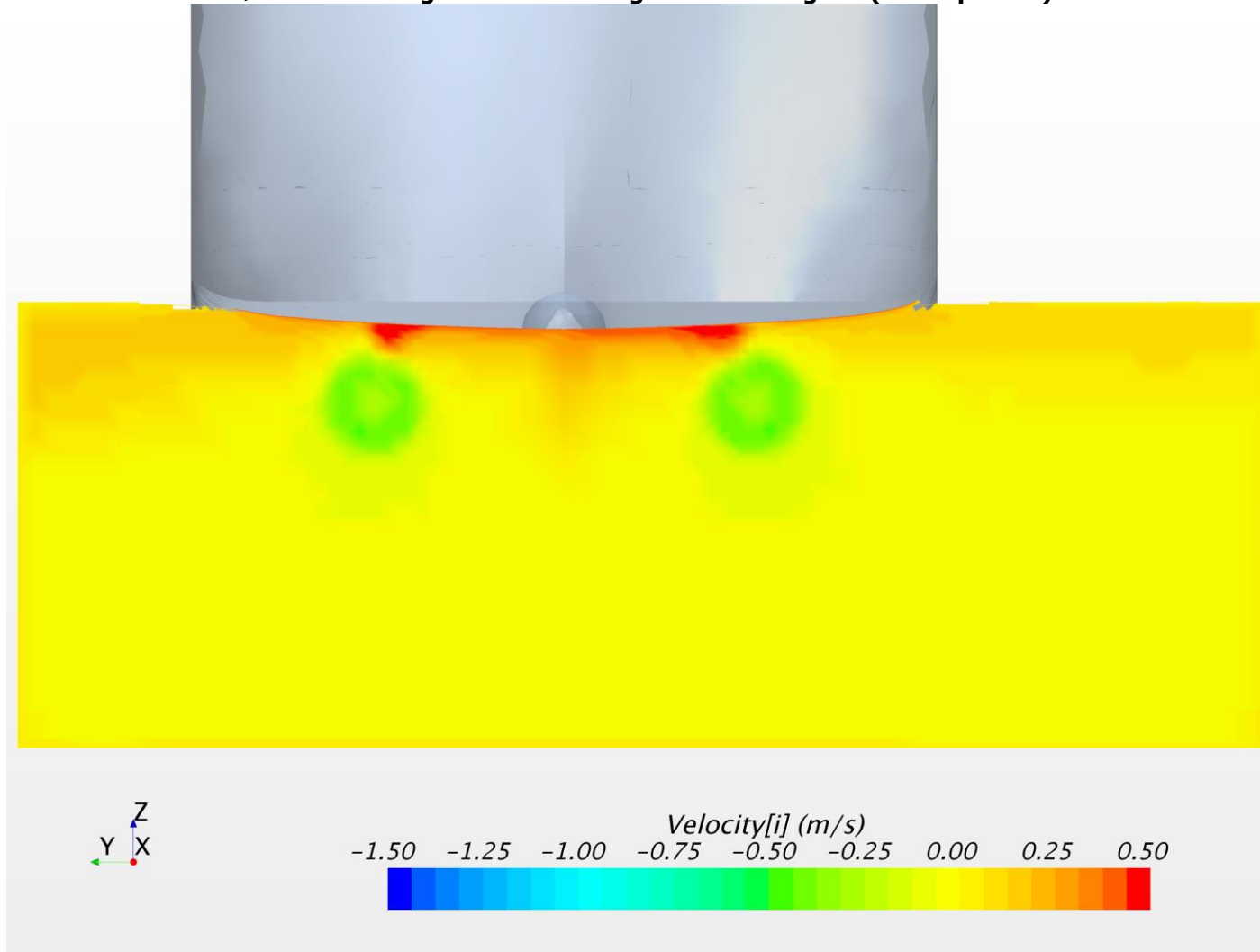
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved FP



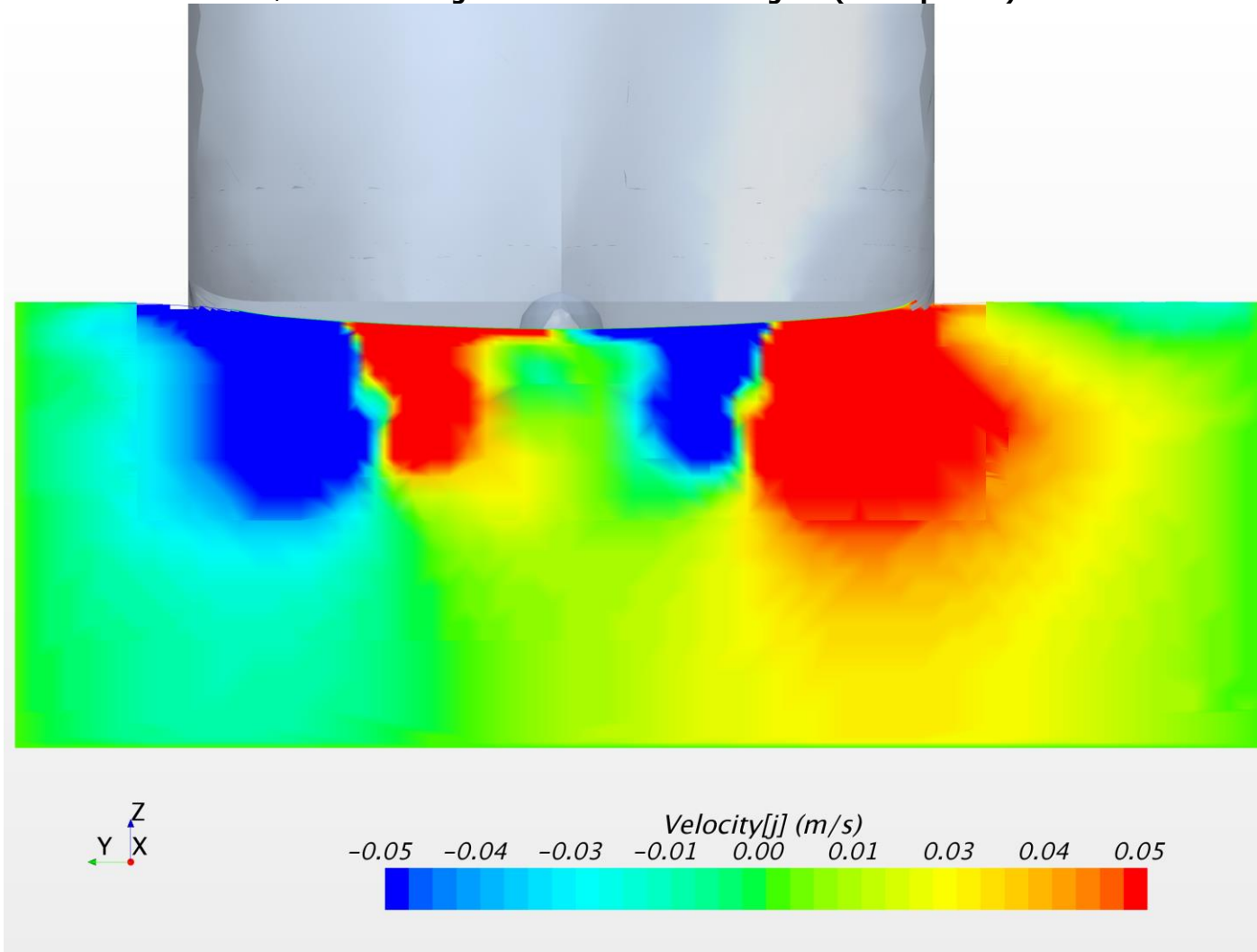
Uden strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



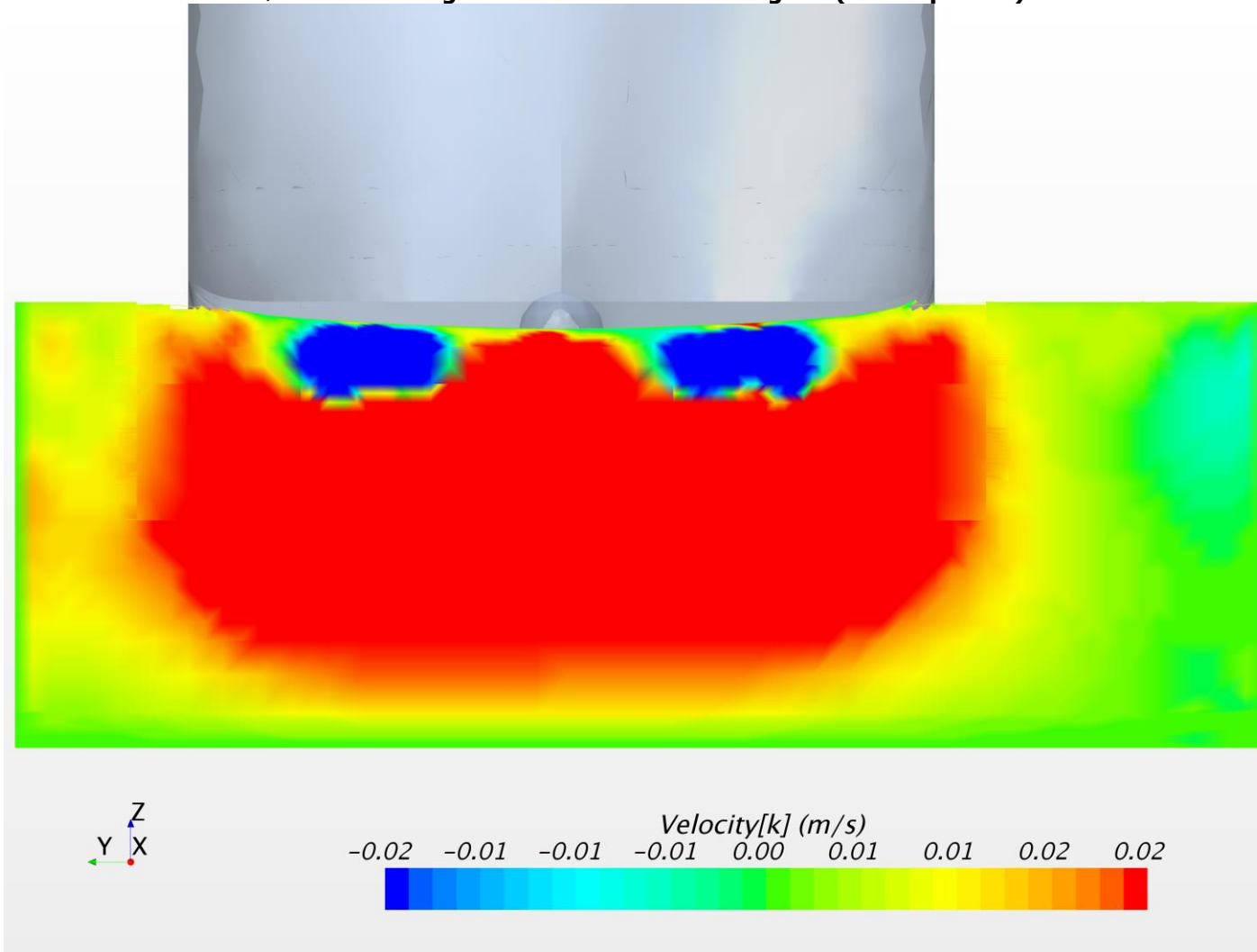
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



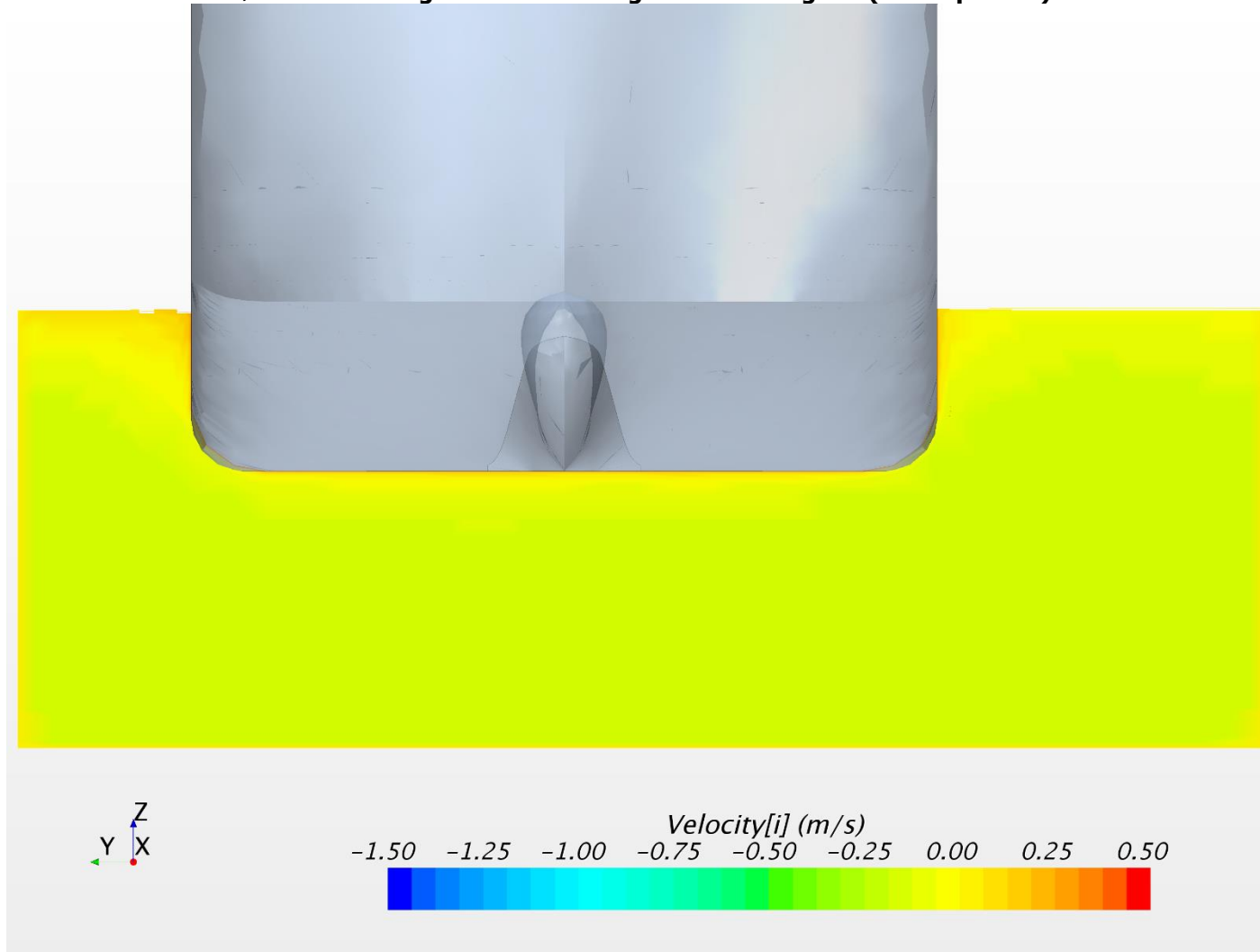
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Lateral hastighed (V komponent) ved AP



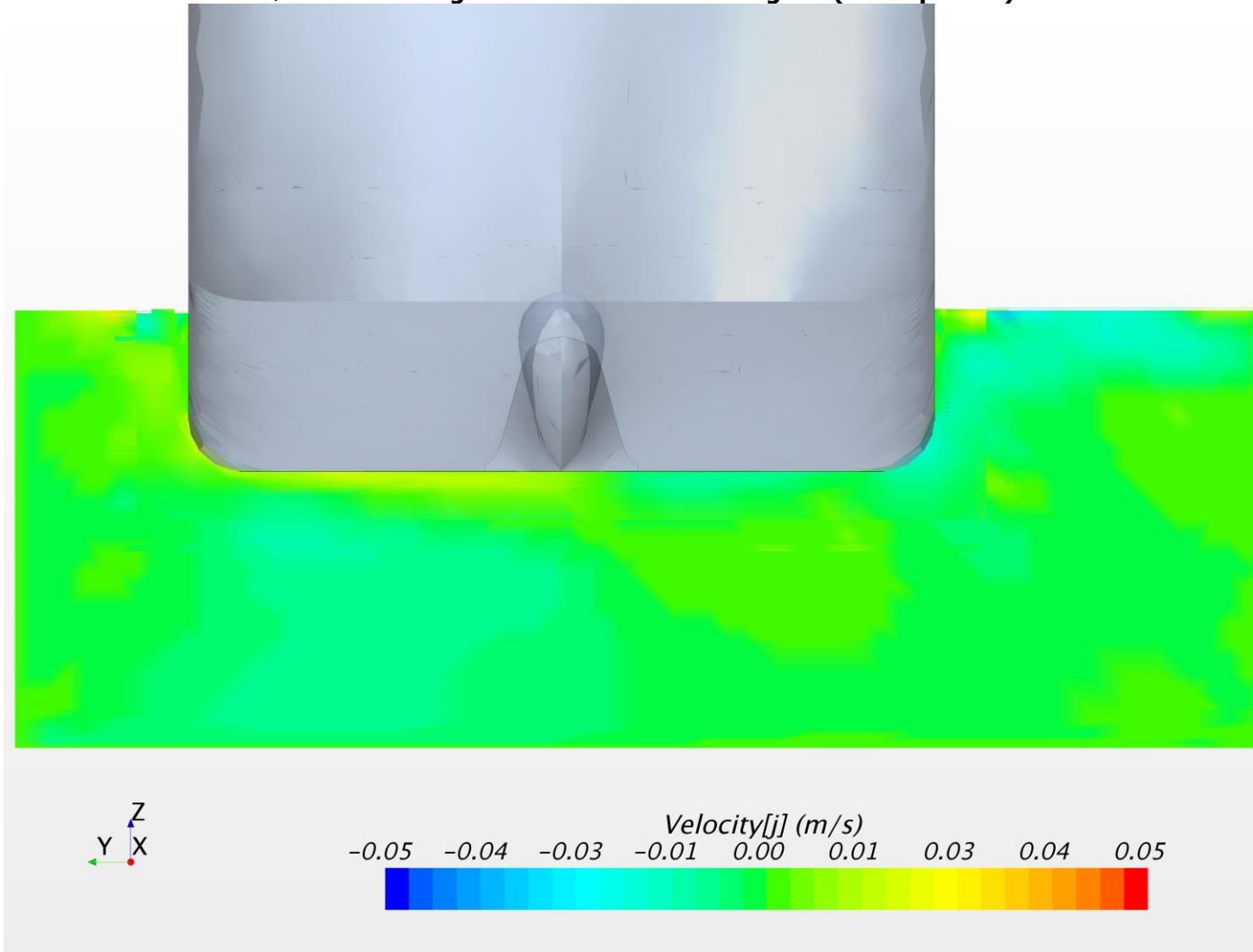
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



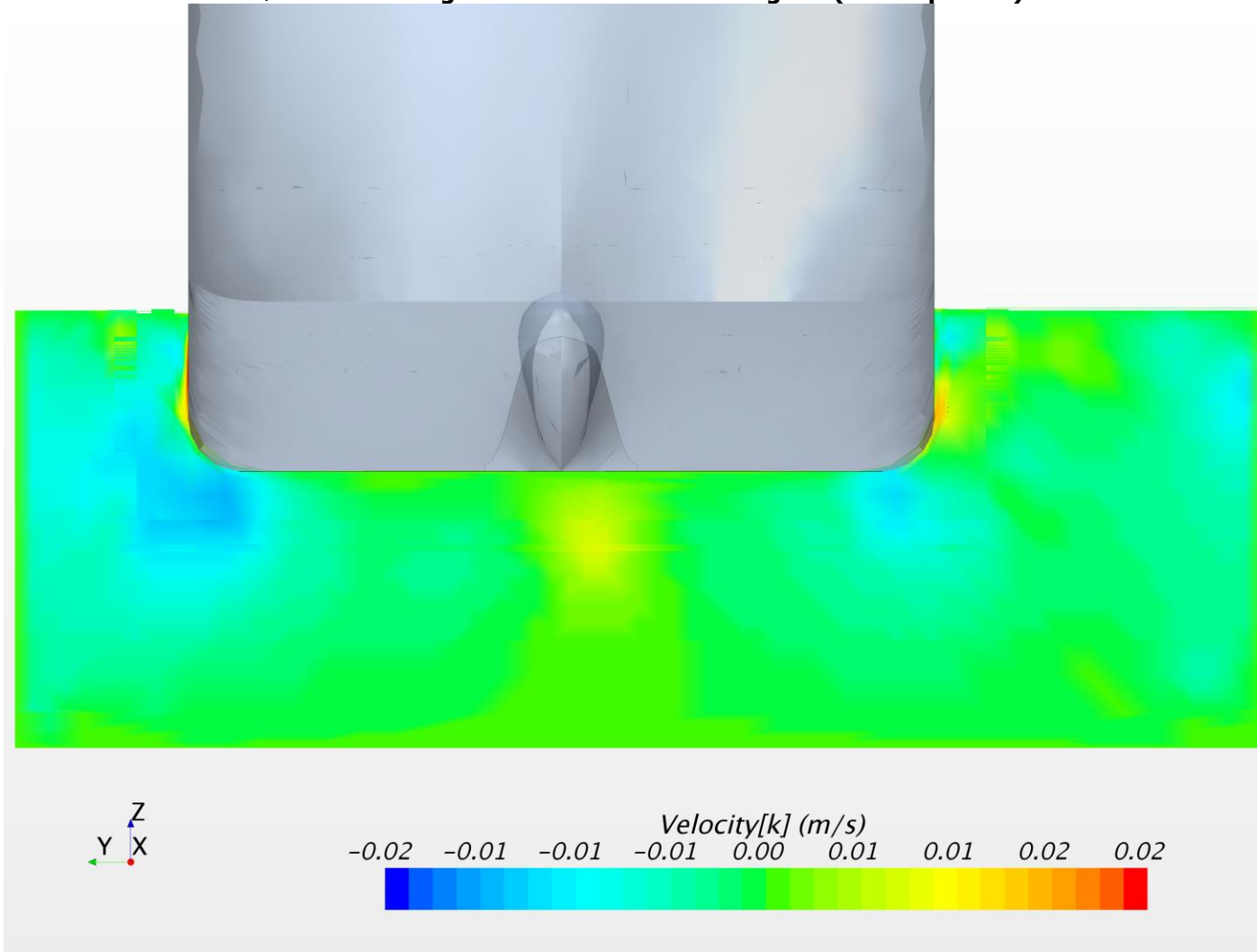
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



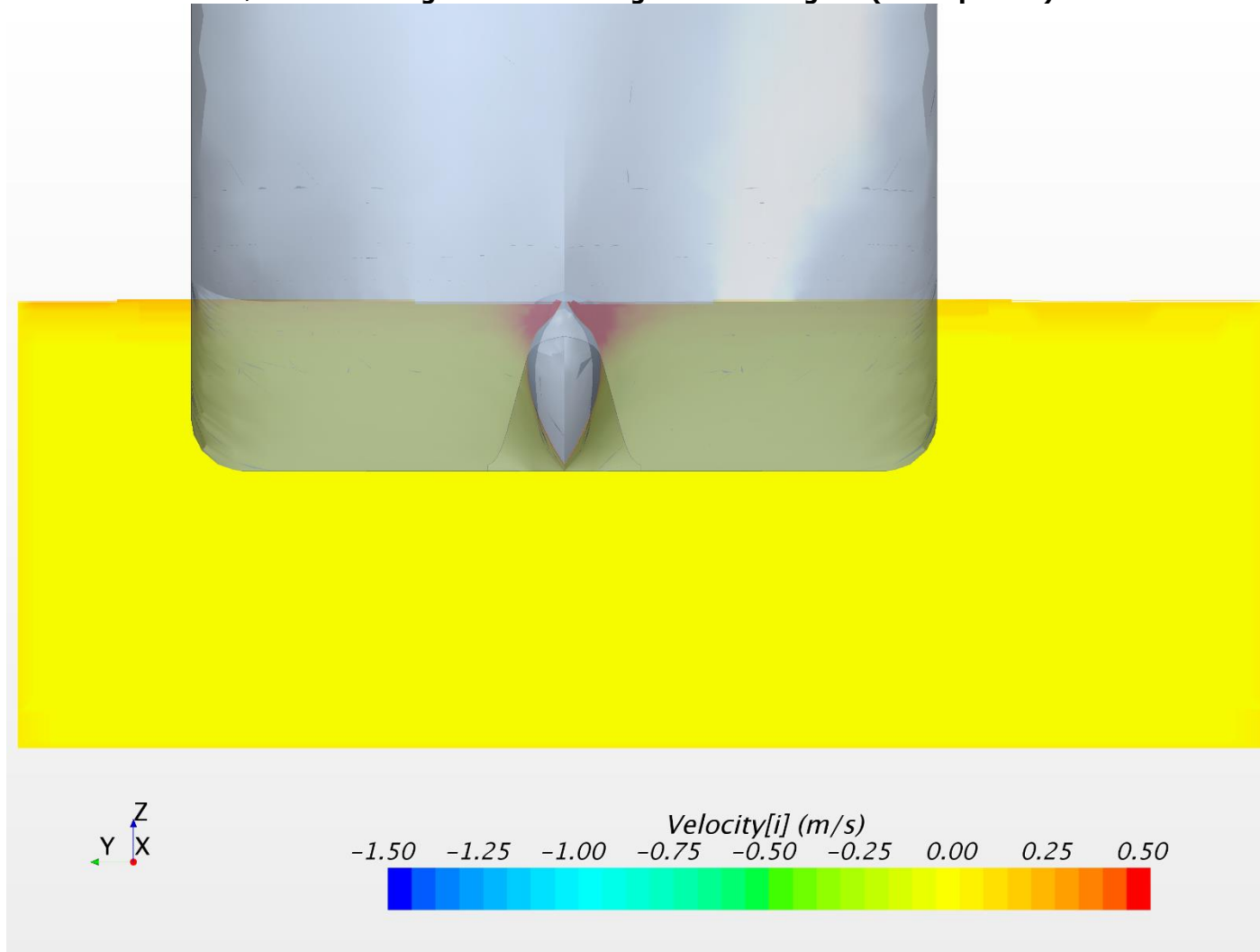
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Lateral hastighed (V komponent) ved NK



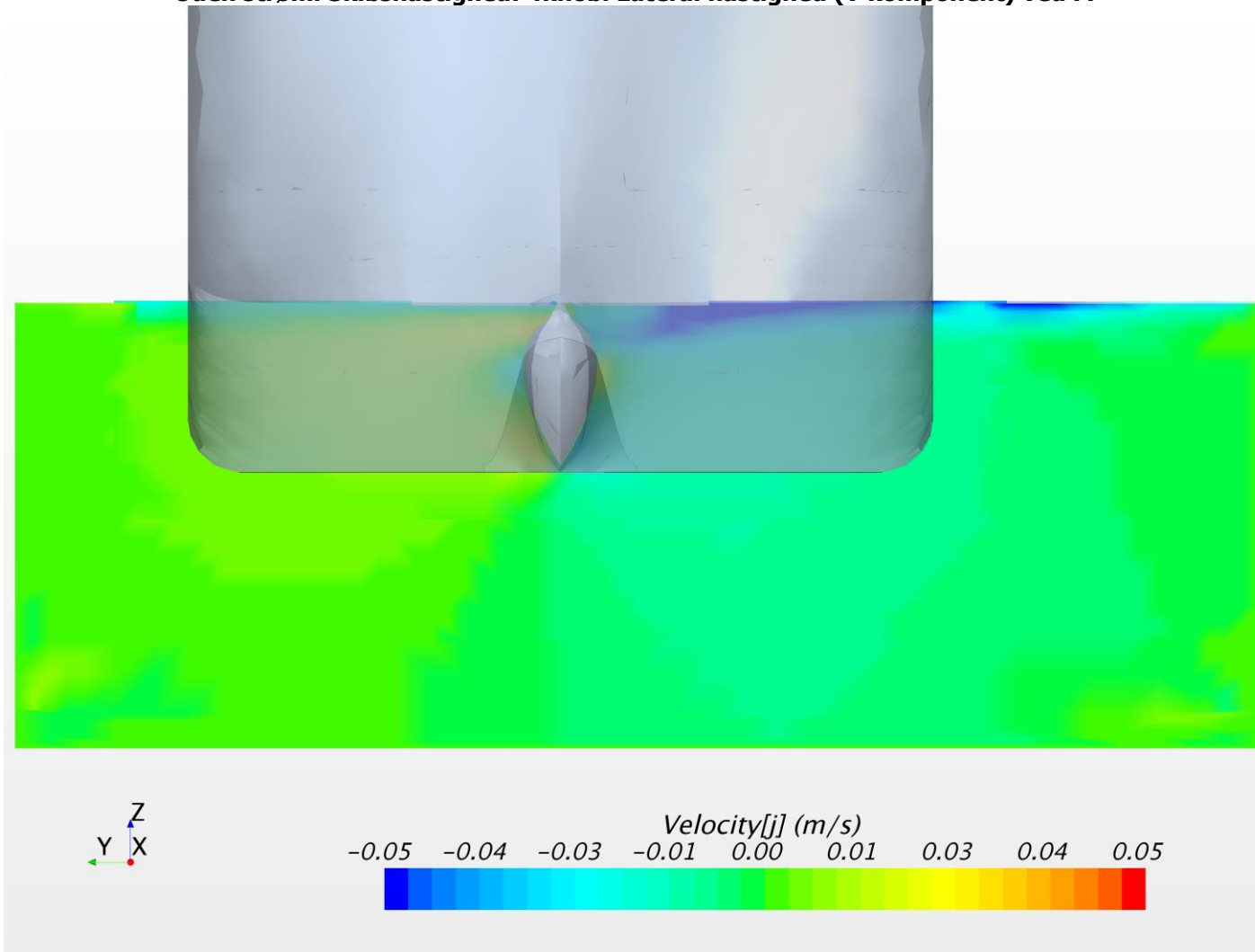
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



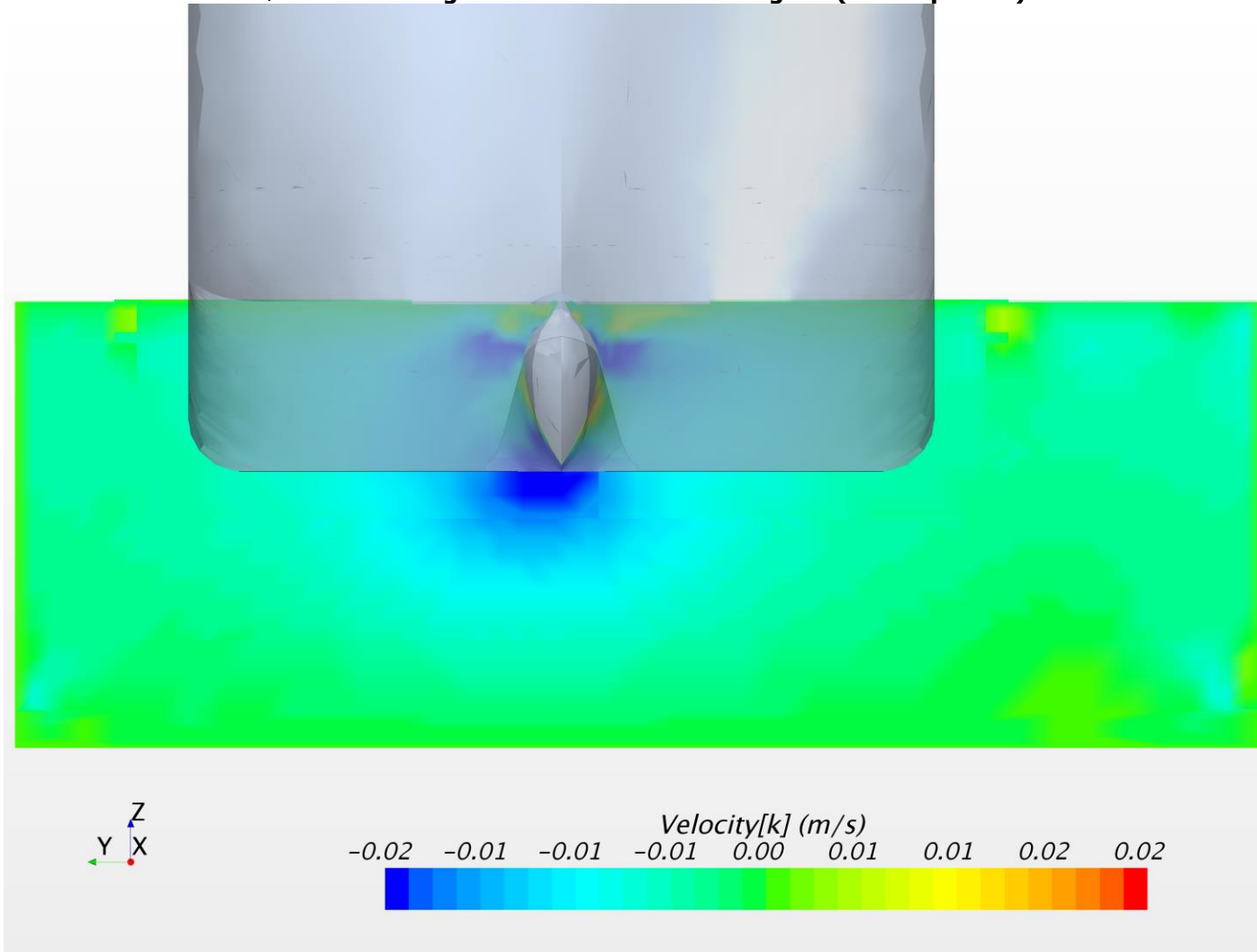
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



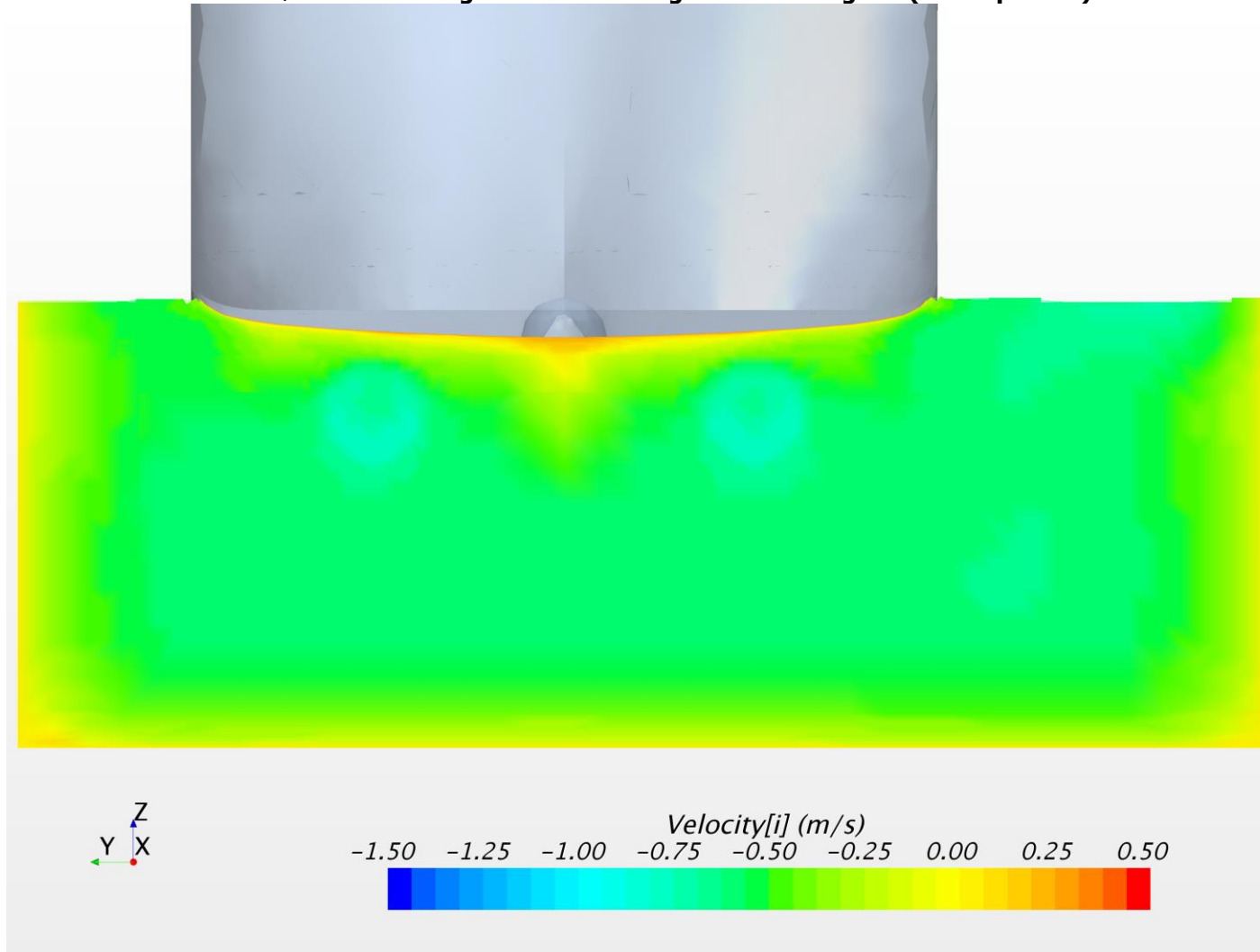
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Lateral hastighed (V komponent) ved FP



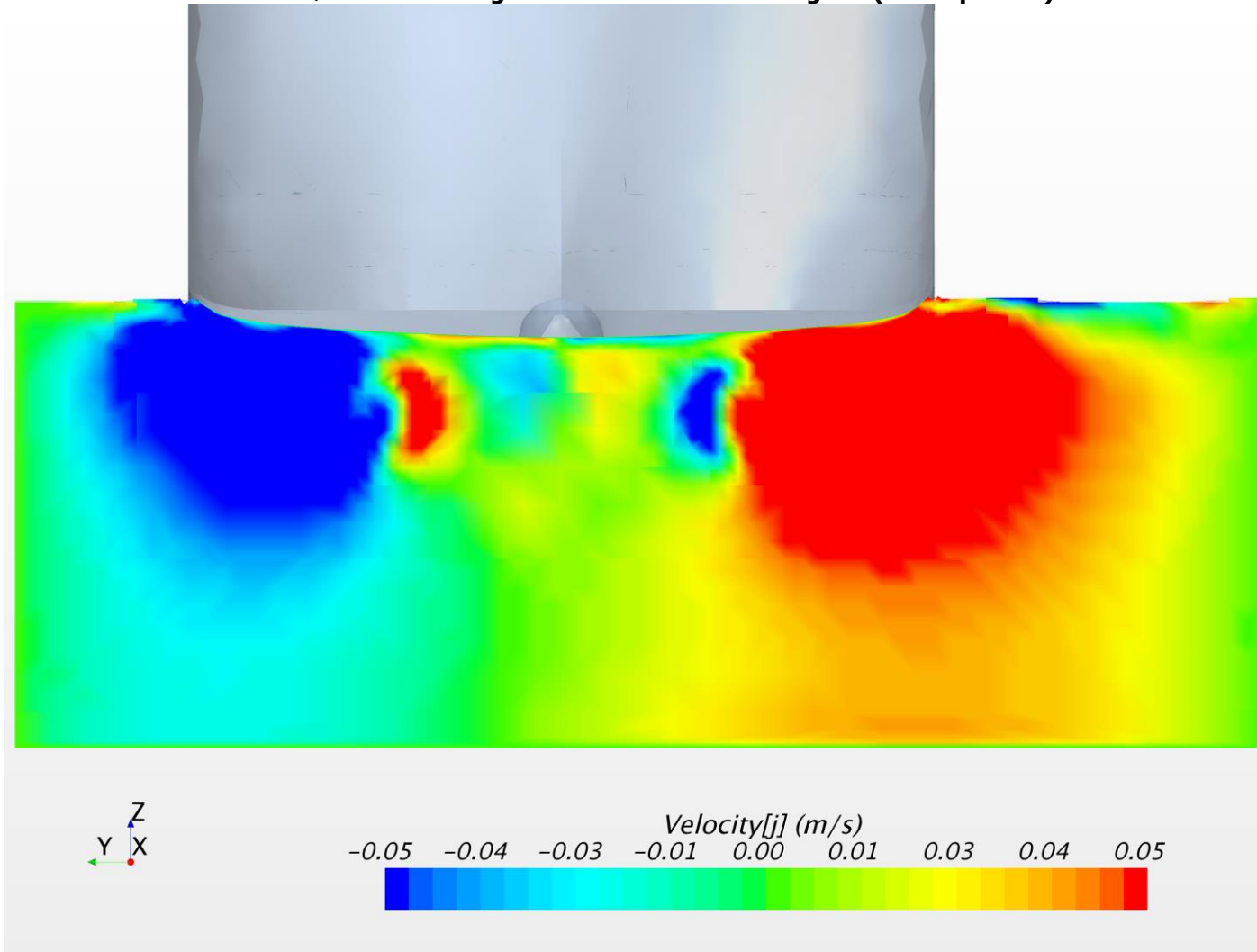
Uden strøm. Skibshastighed: 4knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP



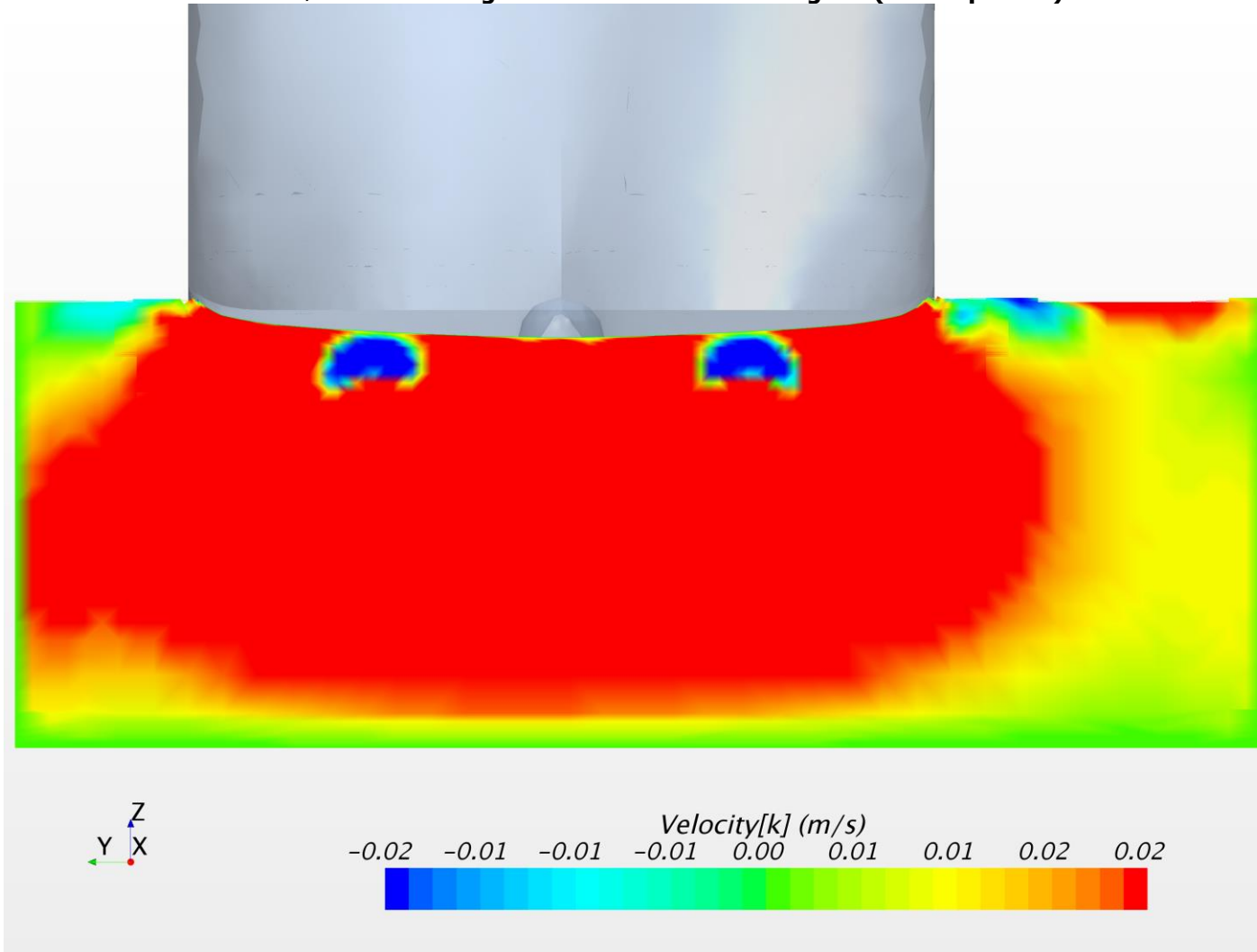
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved AP



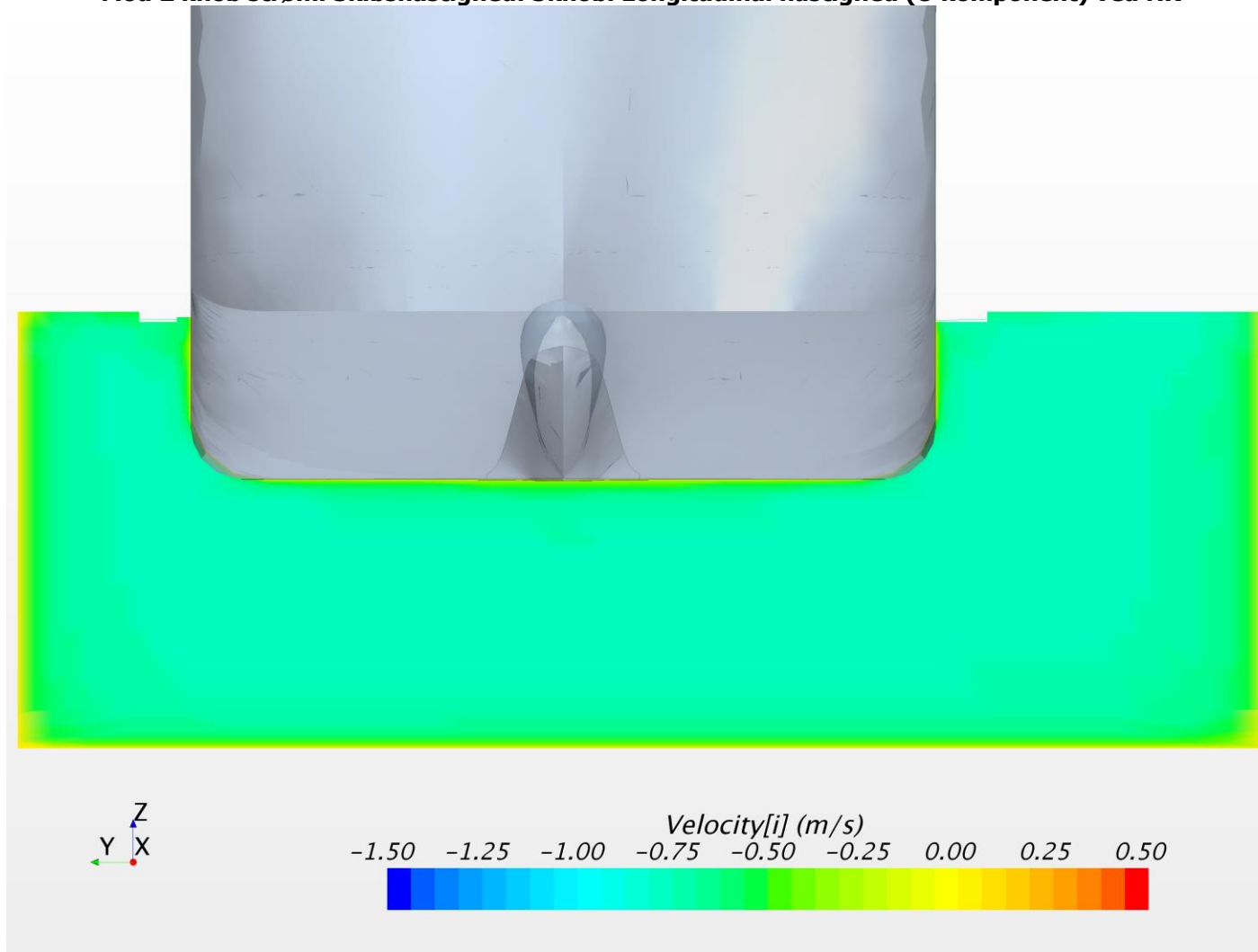
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved AP



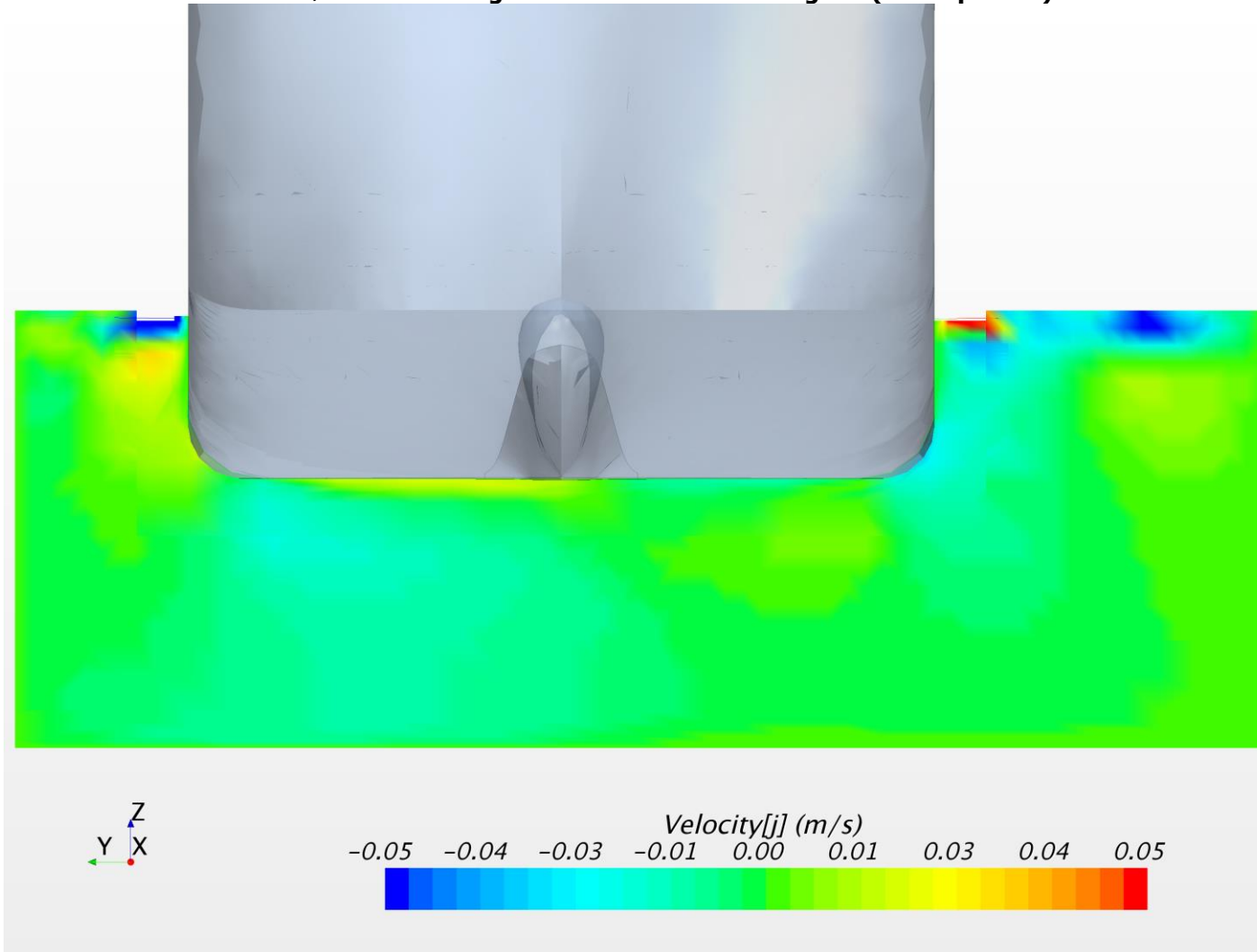
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved AP



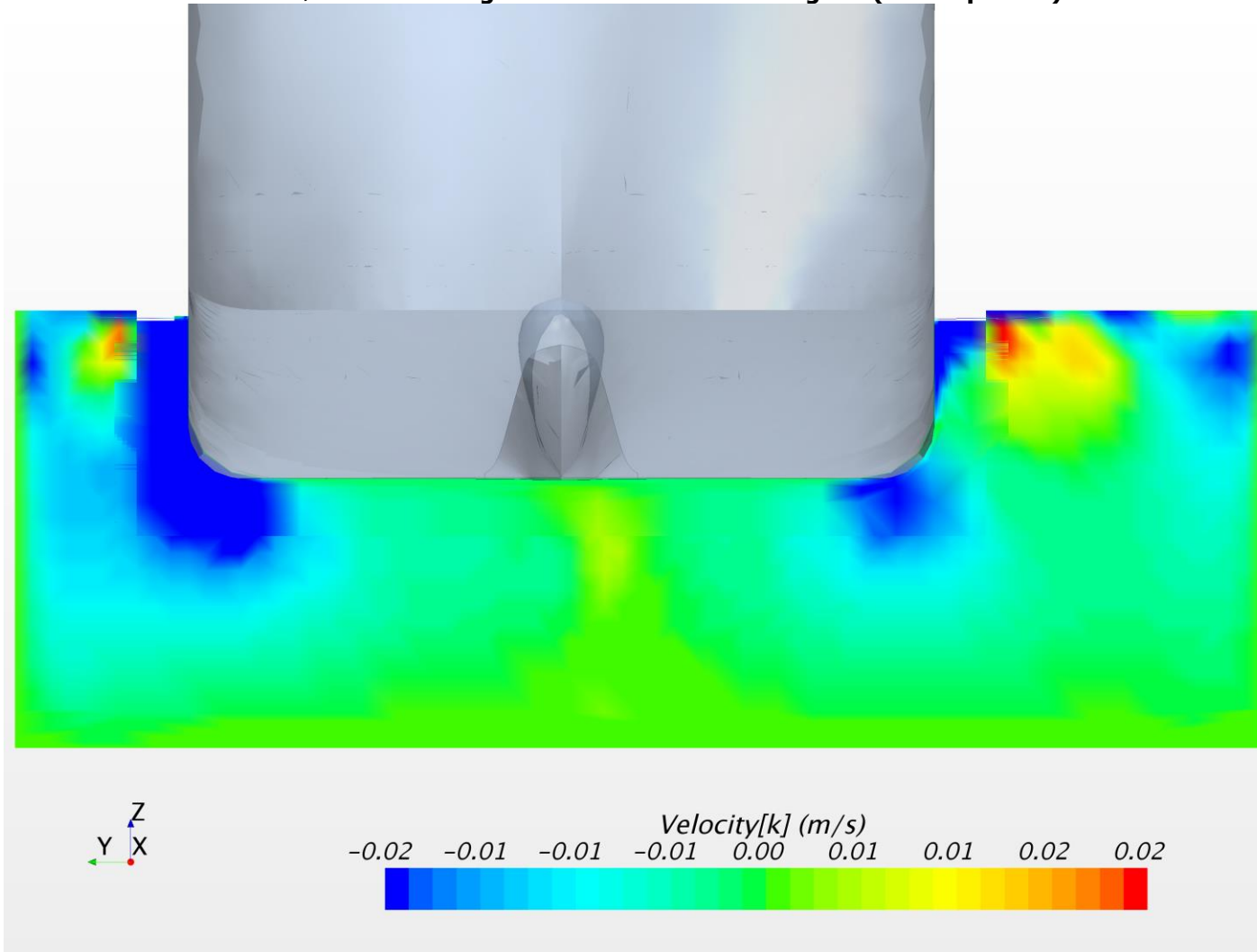
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved NK



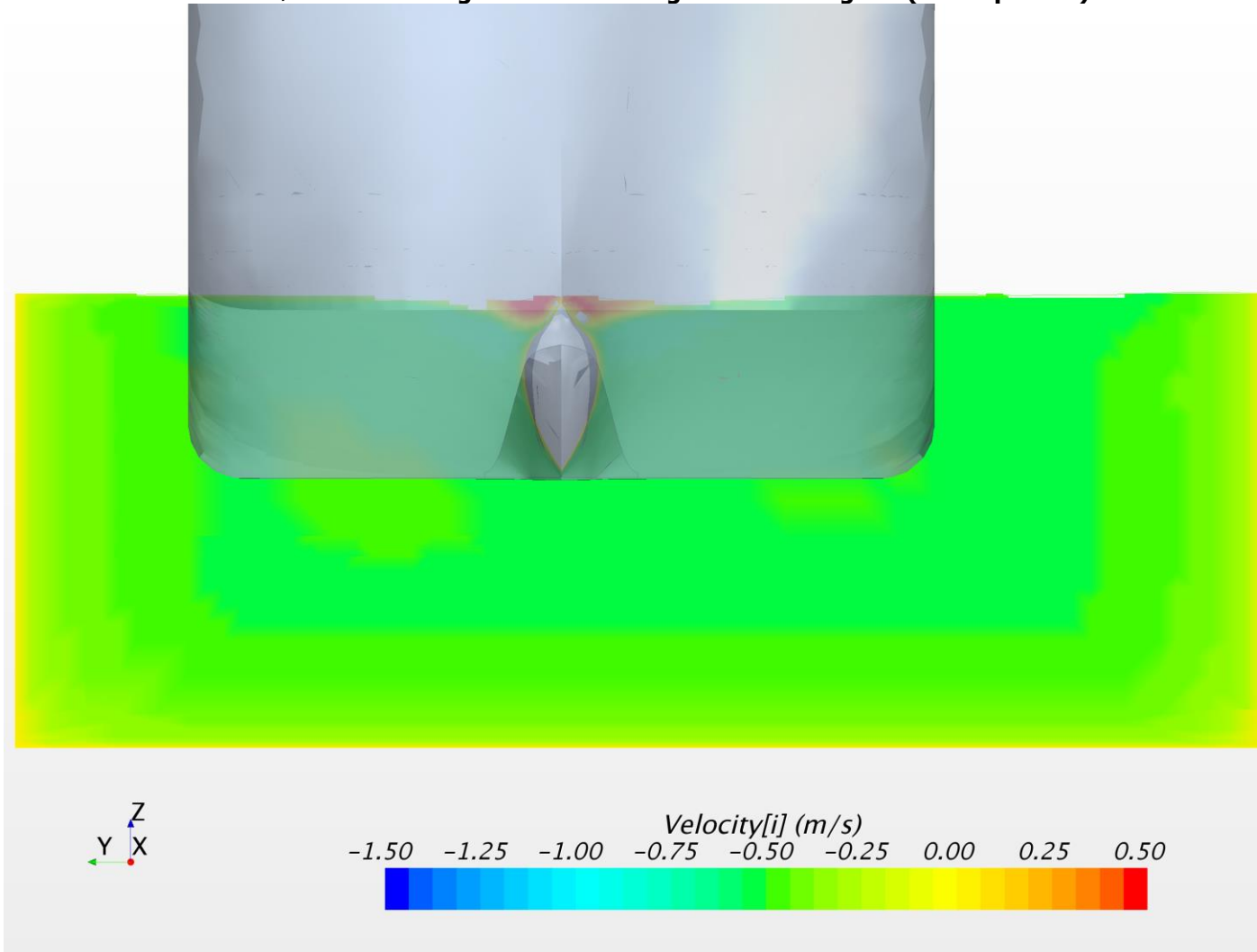
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved NK



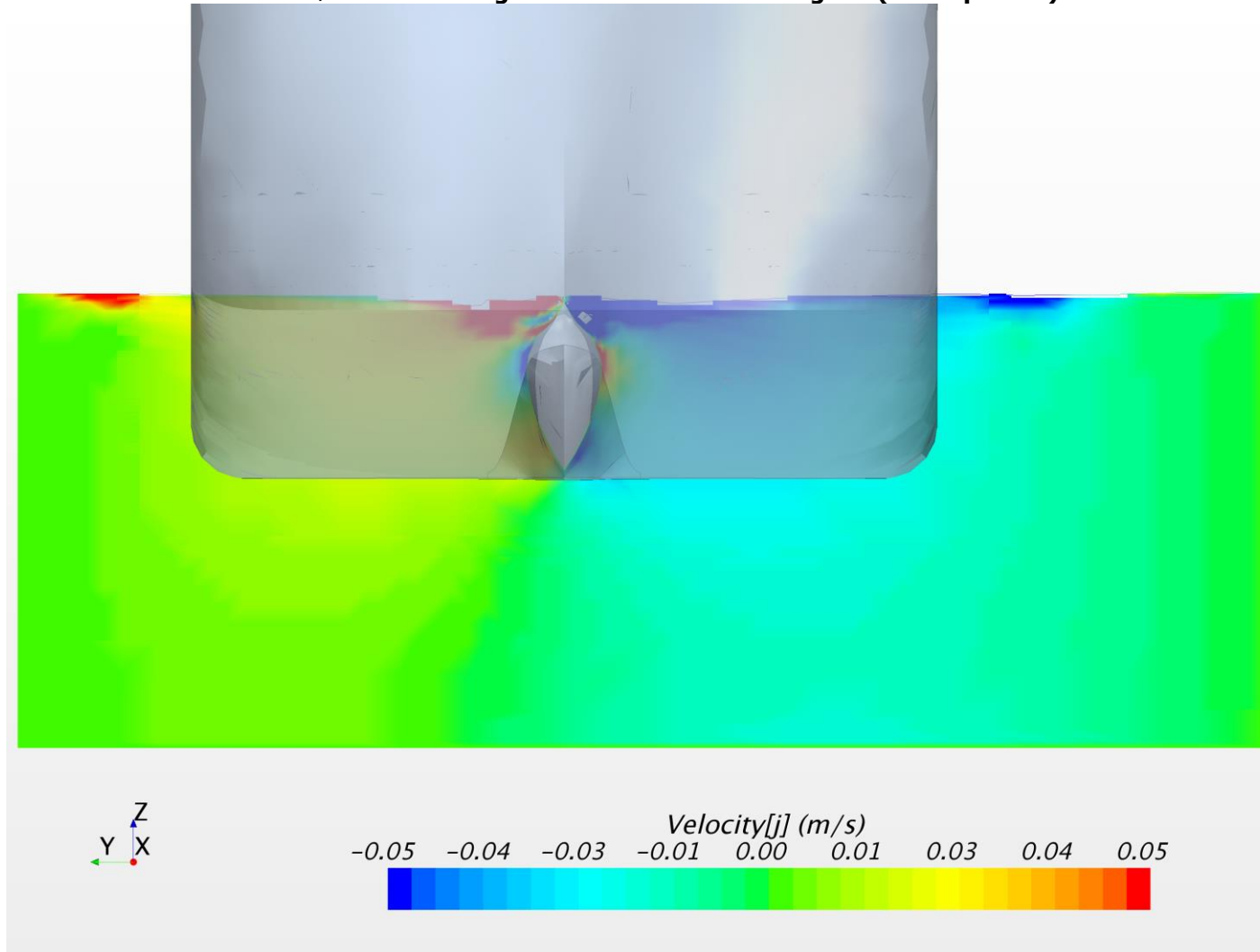
Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved NK



Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Longitudinal hastighed (U komponent) ved FP



Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Lateral hastighed (V komponent) ved FP



Mod 2 knob strøm. Skibshastighed: 3knob. Vertikal hastighed (W komponent) ved FP

