

# Vurdering af bølgeforhold ifm. miljøgodkendelse af ny hurtigfærge på ruten Sælvig-Tunø-Aarhus



Samsø Rederi  
Endelig Rapport  
April 2021

Denne rapport er udarbejdet under DHI's ledelsessystem, som er certificeret af Bureau Veritas  
for overensstemmelse med ISO 9001 for kvalitetsledelse

ISO 9001  
Management System Certification

BUREAU VERITAS  
Certification Denmark A/S



## Vurdering af bølgeforhold ifm. miljøgodkendelse af ny hurtigfærge på ruten Sælvig- Tunø-Aarhus

Udarbejdet for                      Samsø Rederi  
Repræsenteret ved              Poul Jensen

---

|                    |                    |
|--------------------|--------------------|
| Projektleder       | Peter Sloth        |
| Kvalitetsansvarlig | Jesper Ulrik Fuchs |

|                  |              |
|------------------|--------------|
| Projektnummer    | 11823709     |
| Godkendelsesdato | 6/4-2021     |
| Revision         | Endelig: 2.0 |
| Klassifikation   | Fortrolig    |

## INDHOLDSFORTEGNELSE

|          |                                                                 |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Indledning .....</b>                                         | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>Grundlag for undersøgelsen .....</b>                         | <b>2</b>  |
| 2.1      | Hurtigfærgen .....                                              | 2         |
| 2.2      | Navigationsforhold .....                                        | 3         |
| 2.2.1    | Alternativ A ruteplan .....                                     | 3         |
| 2.2.2    | Alternativ B ruteplan .....                                     | 5         |
| 2.3      | Tilladelig bølgehøjde på 3 m vanddybde .....                    | 7         |
| <b>3</b> | <b>Analyse af bølgeforhold langs ruten.....</b>                 | <b>9</b>  |
| 3.1      | Bølgegenerering og -henfald .....                               | 9         |
| 3.2      | Modellering af bølgetransformation og -henfald langs rute ..... | 11        |
| 3.2.1    | Opstilling af modeller .....                                    | 11        |
| 3.2.2    | Randbetingelser .....                                           | 11        |
| <b>4</b> | <b>Resultater.....</b>                                          | <b>13</b> |
| 4.1      | Alternativ A ruteplan.....                                      | 13        |
| 4.1.1    | Sælvig-Aarhus-Sælvig .....                                      | 13        |
| 4.1.2    | Sælvig-Tunø-Aarhus og retur. ....                               | 17        |
| 4.2      | Alternativ B ruteplan.....                                      | 22        |
| 4.2.1    | Sælvig-Aarhus-Sælvig .....                                      | 22        |
| 4.2.2    | Sælvig-Tunø-Aarhus og retur. ....                               | 28        |
| 4.3      | Konklusioner vedr. bølgehøjde-kriteriet på 3 m vanddybde. ....  | 34        |
| 4.4      | Vurdering af bølgerelaterede miljøpåvirkninger .....            | 34        |
| 4.4.1    | Påvirkning på Natura 2000 områder .....                         | 34        |
| 4.4.2    | Partikelhastigheder på havbunden langs ruten .....              | 35        |
| 4.4.3    | Bølgeenergi på kysterne .....                                   | 35        |

## FIGURER

|            |                                                                                                                                                                                                                       |    |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figur 2.1  | Incat Crowther 35.....                                                                                                                                                                                                | 2  |
| Figur 2.2  | Hurtigfærgens ruter. Rød: Sælvig-Tunø-Aarhus. Gul: Sælvig-Aarhus. Alternativ A ruteplan. ....                                                                                                                         | 3  |
| Figur 2.3  | Hurtigfærgens ruter. Rød: Sælvig-Tunø-Aarhus. Gul: Sælvig-Aarhus. Tæt ved Aarhus. Alternativ A ruteplan.....                                                                                                          | 4  |
| Figur 2.4  | Hurtigfærgens ruter. Rød: Sælvig-Tunø-Aarhus. Gul: Sælvig-Aarhus. Tæt ved Tunø. Alternativ A ruteplan.....                                                                                                            | 4  |
| Figur 2.5  | Hurtigfærgens ruter. Rød: Sælvig-Tunø-Aarhus. Gul: Sælvig-Aarhus. Tæt ved Sælvig. Alternativ A ruteplan.....                                                                                                          | 4  |
| Figur 2.6  | Grafisk præsentation af bølgehøjde-kriteriet på 3 m vanddybde: den tilladte maksimum-bølgehøjde som funktion af bølgeperioden. ....                                                                                   | 8  |
| Figur 3.1  | Eksempel på beregnet bølgefelt vha. CFD. Fra Incat Crowther. Hastighed: 25 knob. Vanddybde: 25 m. Farverne indikerer forskellige bølgehøjder. ....                                                                    | 9  |
| Figur 3.2  | Estimeret sammenhæng mellem det dybde-baserede Froude tal og den maksimale bølgehøjde. Punkter angiver resultater fra CFD-beregninger. Sammenhængen gælder i en afstand svarende til en skibslængde fra sejlruen..... | 10 |
| Figur 3.3  | Relativ bølgehøjdehenfald estimeret ved brug af sammenhængen, $H_{max} \propto r^{0,55}$ . Værdierne angiver bølgehøjde relativt til bølgehøjden én skibslængde fra ruten. ....                                       | 10 |
| Figur 3.4  | Dybdeforhold (mMSL). Røde linjer angiver færgens ruter. Koordinater: (m) WGS84 UTM32. Markeret rute: Alternativ A. ....                                                                                               | 12 |
| Figur 4.1  | Sælvig mole – N for Tunø. Fart = 25 knob.....                                                                                                                                                                         | 13 |
| Figur 4.2  | N for Tunø – Aarhus fairway. Fart = 25-18 knob. ....                                                                                                                                                                  | 14 |
| Figur 4.3  | Aarhus fairway – Aarhus forfyr. Fart = 18-16 knob. ....                                                                                                                                                               | 14 |
| Figur 4.4  | Aarhus forfyr – Aarhus fairway. Fart = 16-18 knob. ....                                                                                                                                                               | 15 |
| Figur 4.5  | Aarhus fairway - N for Tunø. Fart = 25 knob. ....                                                                                                                                                                     | 15 |
| Figur 4.6  | N for Tunø - Sælvig mole. Fart = 25-10 knob. Nederste figurer viser detaljer ved anløb til Sælvig. ....                                                                                                               | 16 |
| Figur 4.7  | Sælvig mole – Tunø SØ. Fart = 25-10 knob. ....                                                                                                                                                                        | 17 |
| Figur 4.8  | Tunø SØ – Tunø mole. Fart = 10 knob. ....                                                                                                                                                                             | 17 |
| Figur 4.9  | Tunø mole – Tunø Røn. Fart = 10-18 knob. ....                                                                                                                                                                         | 17 |
| Figur 4.10 | Tunø Røn – Tunø Knob. Fart = 18-25 knob. ....                                                                                                                                                                         | 18 |
| Figur 4.11 | Tunø Knob – Aarhus fairway. Fart = 25 knob. ....                                                                                                                                                                      | 18 |
| Figur 4.12 | Aarhus fairway – Tunø knob. Fart = 25 knob. ....                                                                                                                                                                      | 19 |
| Figur 4.13 | Tunø Knob - Tunø Røn. Fart = 25-18 knob. ....                                                                                                                                                                         | 20 |
| Figur 4.14 | Tunø Røn – Tunø mole Fart = 18-10 knob. ....                                                                                                                                                                          | 20 |
| Figur 4.15 | Tunø mole – Tunø SØ. Fart = 10 knob. ....                                                                                                                                                                             | 20 |
| Figur 4.16 | Tunø SØ – Sælvig Mole. Fart = 25-10 knob. ....                                                                                                                                                                        | 21 |
| Figur 4.17 | Sælvig mole – Sælvig N - N for Tunø. Fart = 10 - 25 knob. ....                                                                                                                                                        | 22 |
| Figur 4.18 | Sælvig mole – Sælvig N - N for Tunø. Fart = 10-29.5 knob. ....                                                                                                                                                        | 23 |
| Figur 4.19 | N for Tunø – Aarhus fairway. Fart = 25 knob.....                                                                                                                                                                      | 23 |
| Figur 4.20 | N for Tunø – Aarhus fairway. Fart = 29.5 knob.....                                                                                                                                                                    | 24 |
| Figur 4.21 | Aarhus fairway – Aarhus fairway midt - Aarhus forfyr. Fart = 25 - 18 knob. ....                                                                                                                                       | 24 |
| Figur 4.22 | Aarhus fairway - N for Tunø. Fart = 25 knob. ....                                                                                                                                                                     | 25 |
| Figur 4.23 | Aarhus fairway - N for Tunø. Fart = 29.5 knob. ....                                                                                                                                                                   | 25 |
| Figur 4.24 | N for Tunø - Sælvig mole. Fart = 25-10 knob. Nederste figurer viser detaljer ved anløb til Sælvig. ....                                                                                                               | 26 |
| Figur 4.25 | N for Tunø - Sælvig mole. Fart = 29.5-10 knob. Nederste figurer viser detaljer ved anløb til Sælvig. ....                                                                                                             | 27 |
| Figur 4.26 | Sælvig N – Tunø SØ. Fart = 25-10 knob. ....                                                                                                                                                                           | 28 |
| Figur 4.27 | Sælvig N – Tunø SØ. Fart = 29,5-10 knob. ....                                                                                                                                                                         | 29 |
| Figur 4.28 | Tunø mole – Tunø Røn. Fart = 10 knob. ....                                                                                                                                                                            | 30 |
| Figur 4.29 | Tunø Røn – Tunø Knob. Fart = 10 knob.....                                                                                                                                                                             | 30 |
| Figur 4.30 | Tunø Knob – Aarhus fairway. Fart = 29,5 knob. ....                                                                                                                                                                    | 30 |

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figur 4.31 | Aarhus fairway – Tunø knob. Fart = 25 knob. ....                                                                                                                                                                                                                  | 31 |
| Figur 4.32 | Aarhus fairway – Tunø knob. Fart = 29,5 knob. ....                                                                                                                                                                                                                | 32 |
| Figur 4.33 | Tunø Knob - Tunø Røn. Fart = 10 knob. ....                                                                                                                                                                                                                        | 32 |
| Figur 4.34 | Tunø Røn – Tunø mole Fart = 10 knob. ....                                                                                                                                                                                                                         | 33 |
| Figur 4.35 | Tunø SØ – Sælvig N. Fart = 25-10 knob. ....                                                                                                                                                                                                                       | 33 |
| Figur 4.36 | Tunø SØ – Sælvig N. Fart = 29,5-10 knob. ....                                                                                                                                                                                                                     | 34 |
| Figur 4.37 | Natura 2000 områder tæt på sejlrueten. Figuren til venstre viser sejlrueten sammen med Natura 2000 området 194 (Mejl Flak), markeret med sort. ....                                                                                                               | 35 |
| Figur 4.38 | Overskridelsessandsynlighed (%) for bølgehøjder ved Sælvig. Naturligt forekommende bølger samt færgebølger. For de naturligt forekommende bølger er en signifikante bølgehøjde vist. For færgebølgerne er den maksimale bølgehøjde vist. ....                     | 37 |
| Figur 4.39 | Overskridelsessandsynlighed (%) for bølgehøjder ved kysten nord for Århus havn. Naturligt forekommende bølger samt færgebølger. For de naturligt forekommende bølger er en signifikante bølgehøjde vist. For færgebølgerne er den maksimale bølgehøjde vist. .... | 37 |
| Figur 4.40 | Overskridelsessandsynlighed (%) for bølgehøjder nord hhv. øst for Tunø. Naturligt forekommende bølger samt færgebølger. For de naturligt forekommende bølger er en signifikante bølgehøjde vist. For færgebølgerne er den maksimale bølgehøjde vist. ....         | 38 |

## TABELLER

|           |                                                                         |   |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------|---|
| Tabel 2.1 | Rute, fartplan og waypoints. <b>Alternativ A.</b> ....                  | 5 |
| Tabel 2.2 | Reviderede waypoints. Oktober 2020. ....                                | 5 |
| Tabel 2.3 | Rute, fartplan og waypoints. <b>Alternativ B.</b> Sælvig – Aarhus. .... | 6 |
| Tabel 2.4 | Rute, fartplan og waypoints. <b>Alternativ B.</b> Aarhus - Sælvig. .... | 7 |

## 1 Indledning

Samsø Rederi planlægger at indsætte en hurtigfærge på ruterne Sælvig-Tunø-Aarhus og Sælvig-Aarhus.

I den forbindelse har Samsø Rederi anmodet DHI om at vurdere bølgeforholdene på 3 m vanddybde langs sejlrueten samt bølgenes indvirkning på havbunden og kyster, til brug for myndighedsbehandlingen for den nye færgerute.

I denne rapport er resultaterne af beregningerne præsenteret sammen med en beskrivelse af forudsætningerne og den gennemførte modellering.

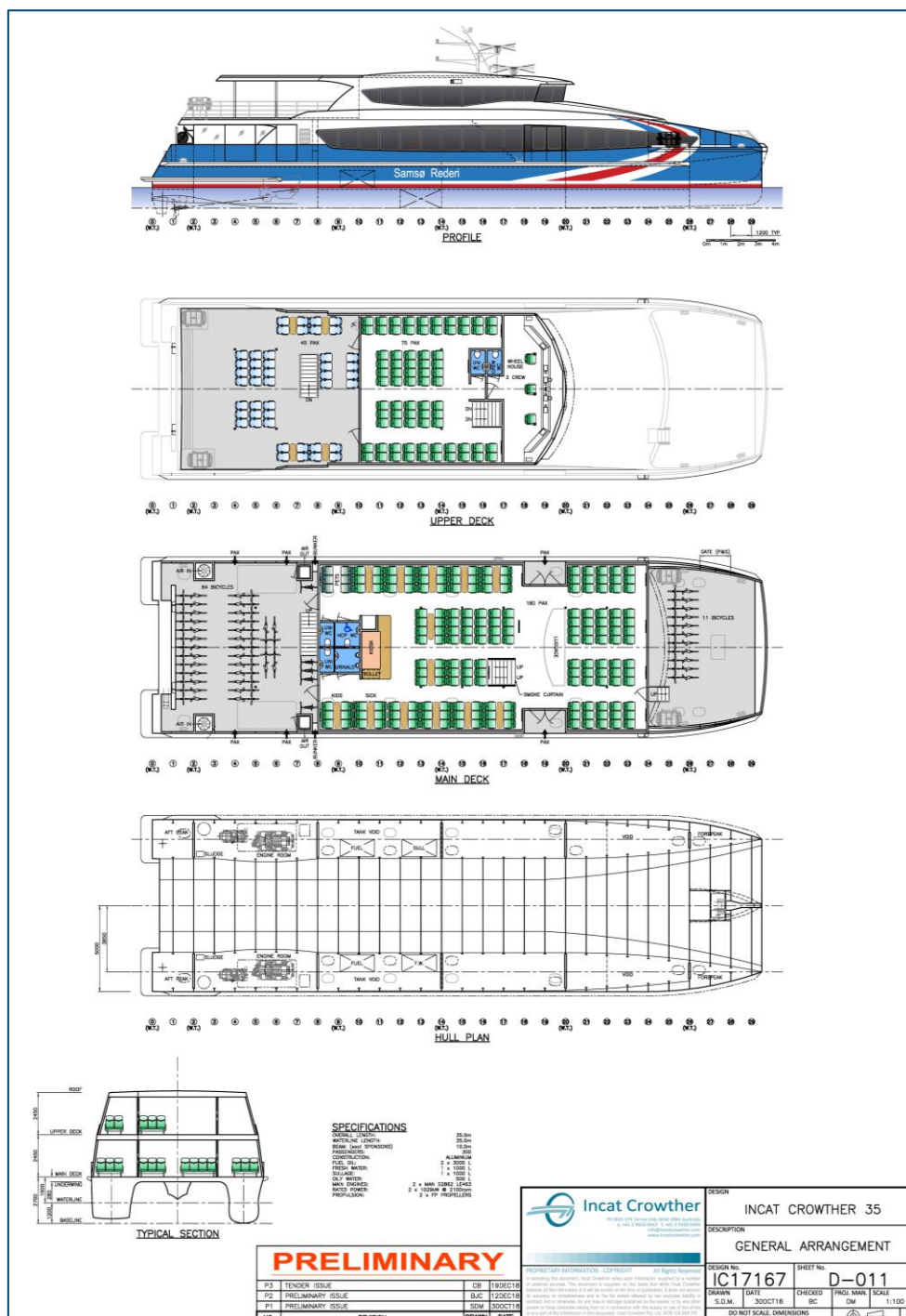
Nærværende undersøgelse blev gennemført for to ruteforløb – Alternativ A og Alternativ B. Baggrunden for dette var en ændret rute- og fartplan i marts 2021 samt et ønske om at undersøge effekten af at øge farten fra 25 knob til 29,5 knob på udvalgte strækninger.

## 2 Grundlag for undersøgelsen

## 2.1 Hurtigfærgen

Hurtigfærgeruten skal besejles af en Incat Crowther 35 katamaran.

Færgen har en vandlinjelængde på 35,4 m (Loa = 36,3m), bredde 10,0 m, dybgang 1,2 m. Servicefarten er 25 knob og topfarten er 29,5 knob. Færgen er vist på Figur 2.1.



Figur 2.1 Incat Crowther 35.

## 2.2 Navigationsforhold

Nærværende undersøgelse blev gennemført for to ruteforløb – Alternativ A og Alternativ B. Baggrunden for dette var en ændret rute- og fartplan i marts 2021 samt et ønske om at undersøge effekten af at øge farten fra 25 knob til 29,5 knob på udvalgte strækninger.

Følgende er antaget for accelerations- og decelerationsstrækninger: Acceleration/deceleration fra/til 10 kn til/fra 25 kn (ved Sælvig) foretages over en 0,2 sm strækning. Øvrige accelerations- og decelerationsstrækninger, ved Tunø og Aarhus, er antaget over 0,1 sm. Lineær acceleration/deceleration er antaget.

Der planlægges op til fem daglige ture på ruterne Sælvig-Aarhus og Aarhus-Sælvig og en tur på hver af ruterne Sælvig-Tunø-Aarhus og Aarhus-Tunø-Sælvig.

### 2.2.1 Alternativ A ruteplan.

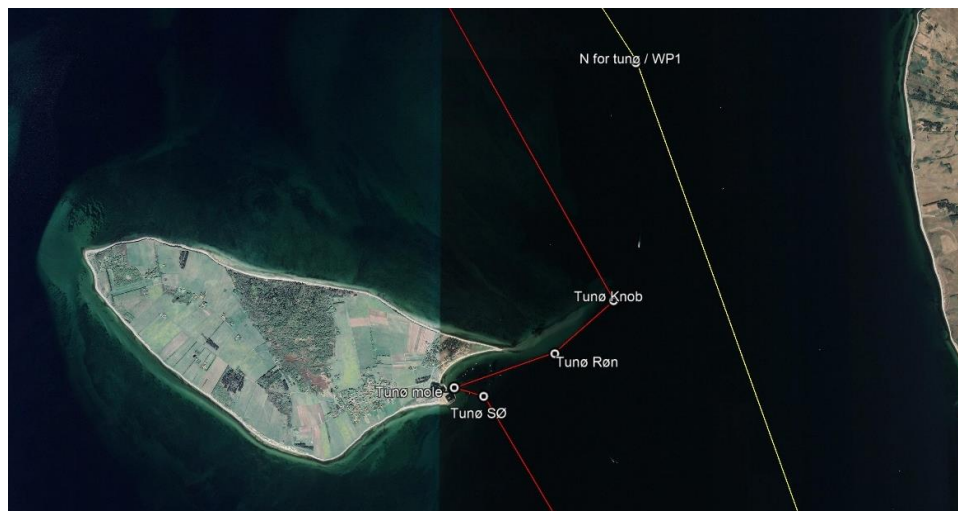
Hurtigfærgen vil benytte de to ruter som vist på Figur 2.2 - Figur 2.5. Tabel 2.1 viser waypoints og fartplan. Efter modellering af Alternativ A blev to waypoints flyttet: 'Aarhus fairway' og 'Tunø SØ'. De ændrede koordinater ses i Tabel 2.2. Det vurderes, at de ændrede waypoints ikke har betydning for undersøgelsens konklusioner.



Figur 2.2 Hurtigfærgens ruter. Rød: Sælvig-Tunø-Aarhus. Gul: Sælvig-Aarhus. Alternativ A ruteplan.



Figur 2.3 Hurtigfærgens ruter. Rød: Sælvig-Tunø-Aarhus. Gul: Sælvig-Aarhus. Tæt ved Aarhus. Alternativ A ruteplan.



Figur 2.4 Hurtigfærgens ruter. Rød: Sælvig-Tunø-Aarhus. Gul: Sælvig-Aarhus. Tæt ved Tunø. Alternativ A ruteplan.



Figur 2.5 Hurtigfærgens ruter. Rød: Sælvig-Tunø-Aarhus. Gul: Sælvig-Aarhus. Tæt ved Sælvig. Alternativ A ruteplan.

Tabel 2.1 Rute, fartplan og waypoints. **Alternativ A.**

| Waypoint               | Breddegrad | Længdegrad | Kurs (°N) | Hastighed, V <sub>s</sub> (Knob) | Distance (sm) |
|------------------------|------------|------------|-----------|----------------------------------|---------------|
| Sælvig - Aarhus        |            |            |           |                                  |               |
| Sælvig mole            | 55°51.95N  | 10°32.95E  |           |                                  |               |
| N for Tunø WP1         | 55°58.50N  | 10°28.90E  | 340.9     | 25                               | 6.95          |
| Aarhus fairway*        | 56°08.97N  | 10°17.00E  | 327.5     | 25                               | 12.43         |
| Aarhus forfyr          | 56°09.75N  | 10°14.15E  | 296.1     | 18                               | 1.78          |
| Indsejling             | 56°09.69N  | 10°13.82E  | 252.0     | 16                               | 0.19          |
| Indre havn             | 56°09.37N  | 10°13.00E  | 235.0     | 10                               | 0.56          |
| DOK1 kaj               | 56°09.27N  | 10°12.93E  | 201.3     | 8                                | 0.11          |
| Sælvig - Tunø - Aarhus |            |            |           |                                  |               |
| Sælvig mole            | 55°51.95N  | 10°32.95E  |           |                                  |               |
| Tunø SØ*               | 55°56.90N  | 10°27.60E  | 328.7     | 25                               | 5.79          |
| Tunø mole              | 55°56.94N  | 10°27.35E  | 285.9     | 10                               | 0.08          |
| Tunø havn ind/ud       | -          | -          | -         | -                                | -             |
| Tunø Røn               | 55°57.10N  | 10°28.20E  | 071.5     | 18                               | 0.49          |
| Tunø Knob              | 55°57.36N  | 10°28.83E  | 053.7     | 25                               | 0.36          |
| Aarhus fairway*        | 56°08.97N  | 10°17.00E  | 330.6     | 25                               | 13.38         |
| Aarhus forfyr          | 56°09.75N  | 10°14.15E  | 296.1     | 18                               | 1.78          |
| Indsejling             | 56°09.69N  | 10°13.82E  | 252.0     | 16                               | 0.19          |
| Indre havn             | 56°09.37N  | 10°13.00E  | 235.0     | 10                               | 0.56          |
| DOK1 kaj               | 56°09.27N  | 10°12.93E  | 201.3     | 8                                | 0.11          |

\* Ændret, oktober 2020 – se Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Reviderede waypoints. Oktober 2020.

| Waypoint       | Breddegrad | Længdegrad | Kurs (°N) | Hastighed, V <sub>s</sub> (Knob) | Distance (sm) |
|----------------|------------|------------|-----------|----------------------------------|---------------|
| Aarhus fairway | 56°08.92N  | 10°17.26E  | 330.7     | 25                               | 13.28         |
| Tunø SØ        | 55°56.95N  | 10°27.60E  | 329.0     | 25                               | 5.83          |

## 2.2.2 Alternativ B ruteplan

Alternativ B ruteplanen er defineret i Tabel 2.3 og Tabel 2.4. De primære ændringer i forhold til Alternativ A ruteplanen er lavere fart (10 knob) tæt ved land ved ankomst til og afgang fra Sælvig og Tunø samt ændret fart- og ruteforløb ved ankomst til Aarhus. I Alternativ B ruteplanen er ruten ved ankomst til Aarhus flyttet mod nord, og derfor er der angivet separate ruter for ankomst til hhv. afgang fra Aarhus. For de lange stræk, hvor der som udgangspunkt sejles 25 knob, er bølgerne også modelleret under antagelse af en fart på 29,5 knob.

Tabel 2.3 Rute, fartplan og waypoints. **Alternativ B.** Sælvig – Aarhus.

| Waypoint               | Breddegrad | Længdegrad | Kurs fra Samsø (°N) | Hastighed, V <sub>s</sub> (Knob) | Distance (sm) |
|------------------------|------------|------------|---------------------|----------------------------------|---------------|
| Sælvig - Aarhus        |            |            |                     |                                  |               |
| Sælvig mole            | 55°51.95N  | 10°32.95E  |                     |                                  |               |
| Sælvig N               | 55°52.52N  | 10°32,60E  | 341.0               | 10                               | 0.6           |
| N for Tunø             | 55°58.50N  | 10°28.90E  | 340.9               | 25 / 29.5                        | 6.3           |
| Aarhus fairway         | 56°08.92N  | 10°17.26E  | 328.0               | 25 / 29.5                        | 12.3          |
| Aarhus fairway midt    | 56°09.47N  | 10°15.80E  | 303.9               | 25                               | 1.0           |
| Aarhus forfyr          | 56°09.93N  | 10°14.55E  | 303.4               | 18                               | 0.8           |
| Indsejling             | 56°09.69N  | 10°13.82E  | 239.5               | 10                               | 0.5           |
| Indre havn             | 56°09.37N  | 10°13.00E  | 235.0               | 10                               | 0.6           |
| DOK1 kaj               | 56°09.27N  | 10°12.93E  | 201.3               | 8                                | 0.1           |
| Sælvig - Tunø – Aarhus |            |            |                     |                                  |               |
| Sælvig mole            | 55°51.95N  | 10°32.95E  |                     |                                  |               |
| Sælvig N               | 55°52.52N  | 10°32,60E  | 341.0               | 10                               | 0.6           |
| Tunø SØ                | 55°56.95N  | 10°27.60E  | 327.6               | 25 / 29.5                        | 5.3           |
| Tunø mole              | 55°56.94N  | 10°27.35E  | 265.9               | 10                               | 0.1           |
| Tunø havn ind/ud       | -          | -          | -                   | -                                | -             |
| Tunø mole              | 55°56.94N  | 10°27.35E  |                     |                                  |               |
| Tunø Røn               | 55°57.10N  | 10°28.20E  | 071.5               | 10                               | 0.5           |
| Tunø Knob              | 55°57.36N  | 10°28.83E  | 053,7               | 10                               | 0.4           |
| Aarhus fairway         | 56°08.92N  | 10°17.26E  | 330.7               | 25 / 29.5                        | 13.3          |
| Aarhus fairway midt    | 56°09.47N  | 10°15.80E  | 304.0               | 25                               | 1.0           |
| Aarhus forfyr          | 56°09.93N  | 10°14.55E  | 303.4               | 18                               | 0.8           |
| Indsejling             | 56°09.69N  | 10°13.82E  | 239.5               | 10                               | 0.5           |
| Indre havn             | 56°09.37N  | 10°13.00E  | 235.0               | 10                               | 0.6           |
| DOK1 kaj               | 56°09.27N  | 10°12.93E  | 201.3               | 8                                | 0.1           |

Tabel 2.4 Rute, fartplan og waypoints. **Alternativ B.** Aarhus - Sælvig.

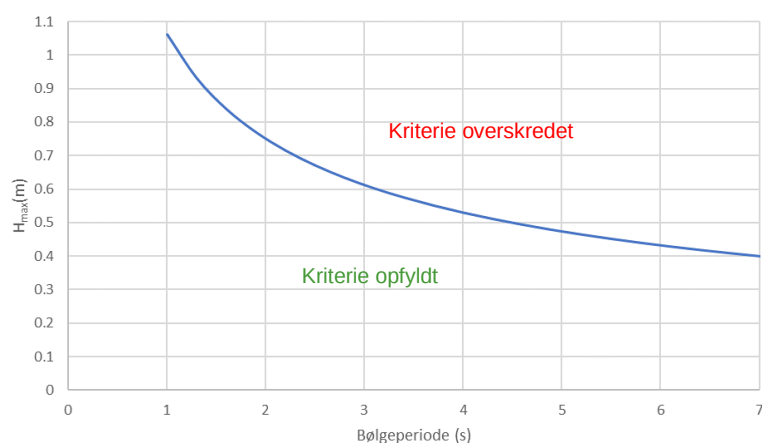
| Waypoint               | Breddegrad | Længdegrad | Kurs fra Samsø (°N) | Hastighed, $V_s$ (Knob) | Distance (sm) |
|------------------------|------------|------------|---------------------|-------------------------|---------------|
| Aarhus -Sælvig         |            |            |                     |                         |               |
| DOK1 kaj               | 56°09.27N  | 10°12.93E  |                     |                         |               |
| Indre havn             | 56°09.37N  | 10°13.00E  | 021.3               | 8                       | 0.1           |
| Indsejling             | 56°09.69N  | 10°13.82E  | 055.0               | 10                      | 0.6           |
| Aarhus Ø               | 56°09.75N  | 10°14.15E  | 072.0               | 10                      | 0.2           |
| Aarhus fairway midt1   | 56°09.34N  | 10°15.70E  | 115.4               | 18                      | 1.0           |
| Aarhus fairway         | 56°08.92N  | 10°17.26E  | 115.8               | 25                      | 1.0           |
| N for Tunø             | 55°58.50N  | 10°28.90E  | 148.0               | 25 / 29.5               | 12.3          |
| Sælvig N               | 55°52.52N  | 10°32.60E  | 160.8               | 25 / 29.5               | 6.3           |
| Sælvig mole            | 55°51.95N  | 10°32.95E  | 161.0               | 10                      | 0.6           |
| Aarhus - Tunø – Sælvig |            |            |                     |                         |               |
| DOK1 kaj               | 56°09.27N  | 10°12.93E  |                     |                         |               |
| Indre havn             | 56°09.37N  | 10°13.00E  | 021.3               | 8                       | 0.1           |
| Indsejling             | 56°09.69N  | 10°13.82E  | 055.0               | 10                      | 0.6           |
| Aarhus Ø               | 56°09.75N  | 10°14.15E  | 072.0               | 10                      | 0.5           |
| Aarhus fairway midt1   | 56°09.34N  | 10°15.70E  | 115.4               | 18                      | 1.0           |
| Aarhus fairway         | 56°08.92N  | 10°17.26E  | 115.8               | 25                      | 1.0           |
| Tunø Knob              | 55°57.36N  | 10°28.83E  | 150.7               | 25 / 29.5               | 12.3          |
| Tunø Røn               | 55°57.10N  | 10°28.20E  | 233.7               | 10                      | 0.5           |
| Tunø mole              | 55°56.94N  | 10°27.35E  | 251.5               | 10                      | 0.5           |
| Tunø havn ind/ud       | -          | -          | -                   | -                       | -             |
| Tunø mole              | 55°56.94N  | 10°27.35E  |                     |                         |               |
| Tunø SØ                | 55°56.95N  | 10°27.60E  | 085.9               | 10                      | 0.1           |
| Sælvig N               | 55°52.52N  | 10°32.60E  | 147.6               | 25 / 29.5               | 5.3           |
| Sælvig mole            | 55°51.95N  | 10°32.95E  | 161.0               | 10                      | 0.6           |

## 2.3 Tilladelig bølgehøjde på 3 m vanddybde

Søfartsstyrelsens krav til den maksimale tilladte bølgehøjde,  $H_{max}$ , på 3 m vanddybde er udtrykt som:

$$H_{max} \leq 0.5 \sqrt{\frac{4,5}{T}}$$

hvor  $T$  er en karakteristisk bølgeperiode repræsentativ for de genererede fægebølger. For en karakteristisk bølgeperiode på 6,75 s, svarende til  $V_s = 25$  knob, vil den tilladelige maksimale bølgehøjde på 3 m vanddybde således være  $H_{max} = 0,41$  m. Kriteriet er vist grafisk på Figur 2.6. Ved anløb af havnene er færgens fart 10-18 knob, hvilket resulterer i bølgeperioder på ca. 2,7 s – 5 s, hvilket betyder, at den tilladte bølgehøjde på 3 m vanddybde er  $H_{max} = \sim 0,48 - 0,65$  m i disse områder.



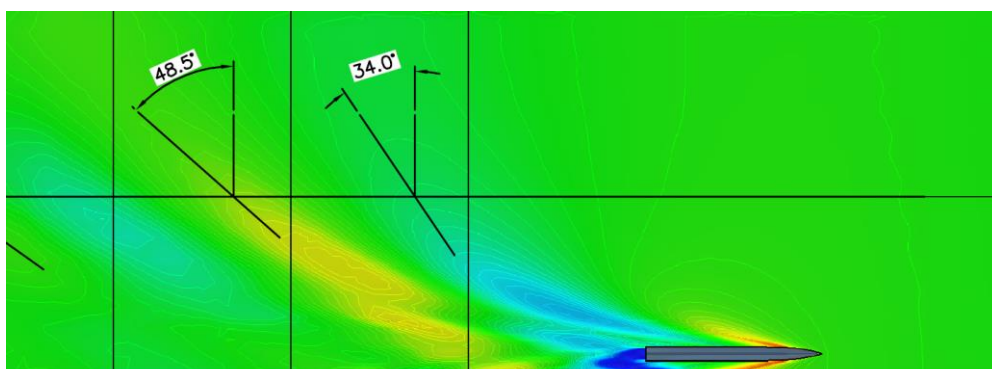
Figur 2.6 Grafisk præsentation af bølgehøjde-kriteriet på 3 m vanddybde: den tilladte maksimum-bølgehøjde som funktion af bølgeperioden.

### 3 Analyse af bølgeforhold langs ruten

#### 3.1 Bølgegenerering og -henfald

Baseret på CFD-beregninger af færgens bølgegenerering er sammenhængen mellem det dybde-baserede Froude tal og den maksimale genererede bølgehøjde som angivet på Figur 3.2.

CFD-beregninger blev gennemført af Incat Crowther, Australien, for Samsø Rederi, og resultaterne blev videregivet til DHI. Et eksempel fra CFD-beregningerne er gengivet på Figur 3.1.



Figur 3.1 Eksempel på beregnet bølgefelt vha. CFD. Fra Incat Crowther. Hastighed: 25 knob. Vanddybde: 25 m. Farverne indikerer forskellige bølgehøjder.

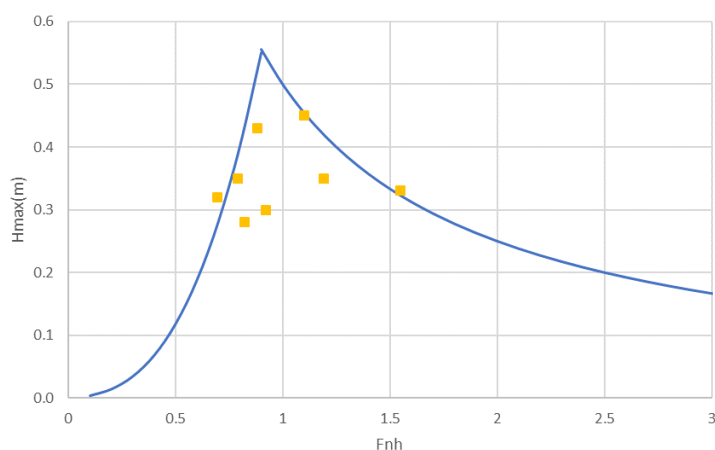
Det dybde-baserede Froude tal er defineret som:

$$F_{nh} = \frac{V_s}{\sqrt{gh}}$$

hvor:

$V_s$  er skibets fart (m/s),  
 $h$  er vanddybden (m) og  
 $g$  er tyngdeaccelerationen (9,82 m/s<sup>2</sup>).

Bølgeperioden er estimeret som  $T \sim 0,27 V_s$ , hvor  $V_s$  angiver skibets fart i knob.



Figur 3.2 Estimeret sammenhæng mellem det dybde-baserede Froude tal og den maksimale bølgehøjde. Punkter angiver resultater fra CFD-beregninger. Sammenhængen gælder i en afstand svarende til en skibslængde fra sejlruen.

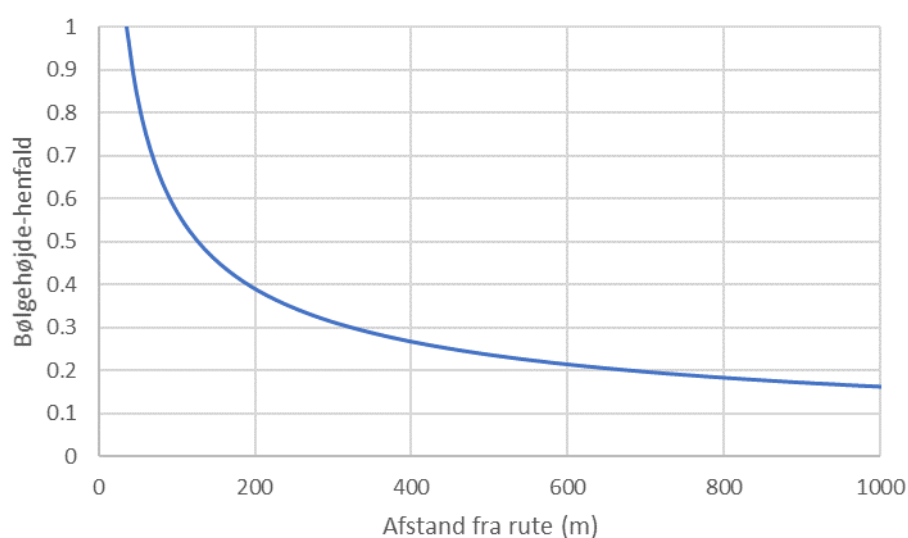
Bølgeudbredelsesretningen er estimeret på basis af:

$$\theta = 35,267(1 - \exp(12(F_{nh} - 1))) \text{ for } F_{nh} \leq 1$$

$$\theta = \arccos\left(\frac{1}{F_{nh}}\right) \text{ for } F_{nh} > 1$$

hvor  $\theta$  angiver udbredelsesretningen i forhold til skibets sejlretning.

Som følge af, at bølgerne har en endelig udstrækning (bølgerne er kortkammede), vil bølgehøjden aftage med afstanden,  $r$ , fra skibet. Bølgehenfaldet estimeres ved brug af sammenhængen,  $H_{max} \propto r^{-0.55}$ . Afstanden,  $r$ , er den geometriske afstand målt vinkelret på sejlruen. Bølgehenfaldet er vist grafisk på Figur 3.3.



Figur 3.3 Relativ bølgehøjdehenfald estimeret ved brug af sammenhængen,  $H_{max} \propto r^{-0.55}$ . Værdierne angiver bølgehøjde relativt til bølgehøjden én skibslængde fra ruten.

## 3.2 Modellering af bølgetransformation og -henfald langs rute

Bølgerne, der dannes af skibet, påvirkes og ændres med hensyn til højde, periode og retning under deres udbredelse ind imod kysterne som følge af de varierende vanddybdeforhold.

Disse ændringer er modelleret med DHI's bølgemodel, MIKE 21 SW, mens bølgegenerering og -henfald er baseret på de i afsnit 3.1 præsenterede sammenhænge.

MIKE 21 SW er en spektral bølgemodel, som beskriver en række af de vigtigste fysiske processer, som påvirker bølgerne under deres udbredelse fra sejlrueten ind til kysten. Refraktion, shoaling og bølgebrydning er således inkluderet. Bundfriktion er ikke medtaget i simuleringerne, hvilket betyder, at resultaterne vil være på den konservative side.

### 3.2.1 Opstilling af modeller

Baseret på digitale søkort samt data baseret på satellitdata/billeder blev der opstillet modeller til beregning af bølgeudbredelsen fra sejlruterne.

Traditionelt er der relativt få data i digitale søkort, hvad angår dybdeforholdene på lavt vand langs kysterne. Derfor blev der på vanddybder mindre end ca. 5 m anvendt data, som var baseret på satellitfotografier, da disse data vurderes at være mere nøjagtige end de tilgængelige søkort på disse lave vanddybder – bl.a. pga. den bedre dækning. Satellitdata var tilgængelige via DHI GRAS.

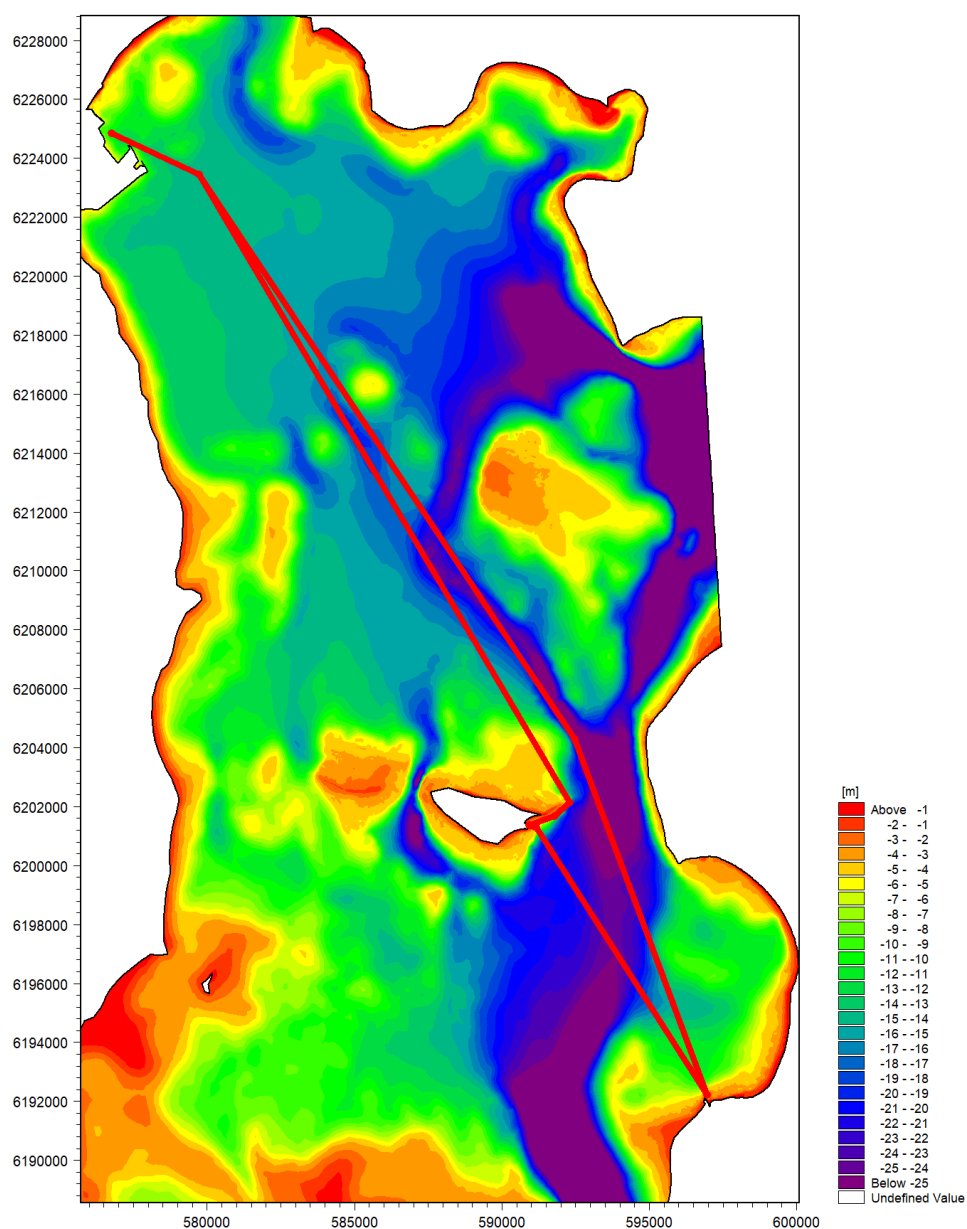
Dybdeforholdene langs ruterne samt i de tilstødende områder er vist på Figur 3.4.

Strækningen mellem Aarhus Forfyr og DOK1 Kaj er ikke modelleret idet denne strækning ikke er relevant hvad angår bølger på 3m vanddybde. Ligeledes er udgående sejlads fra Aarhus ikke modelleret indtil Aarhus Fairway.

### 3.2.2 Randbetingelser

Randbetingelsen til bølgesimuleringerne er angivet som bølgehøjde, -periode og -retning i en afstand af 36 m fra skibet, estimeret som angivet i afsnit 3.1.

På baggrund af vanddybden samt færgens fart langs ruten er det dybde-baserede Froude tal beregnet. Bølgehøjden for det pågældende Froude tal er dernæst bestemt på baggrund af Figur 3.1.



Figur 3.4 Dybdeforhold (mMSL). Røde linjer angiver færgets ruter. Koordinater: (m) WGS84 UTM32. Markeret rute: Alternativ A.

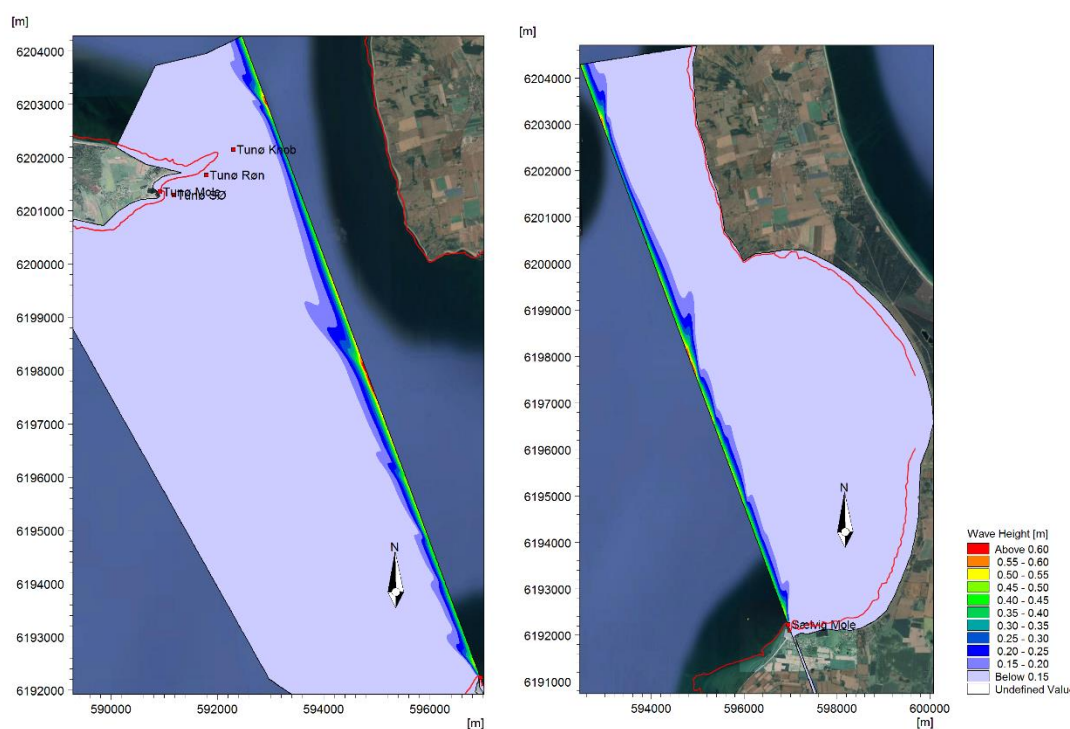
## 4 Resultater

I det følgende er resultater af bølgeberegningerne præsenteret som plot af bølgehøjde-transmissionen fra sejlruten ind mod land til 3 m dybdekonturen. 3 m dybdekonturen er markeret med rødt på figurene.

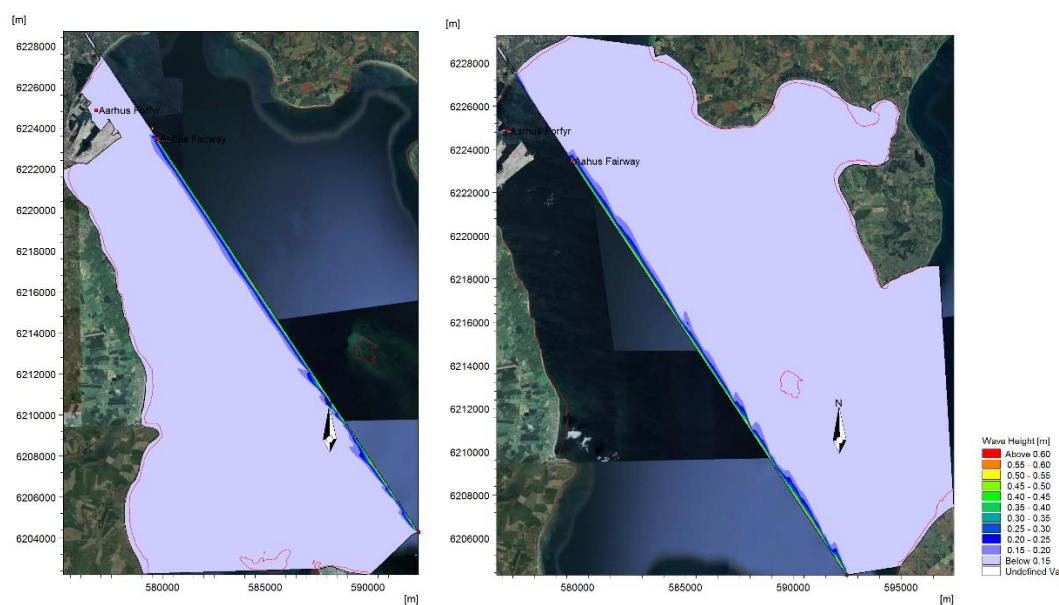
Resultaterne er ud over at være vist på figurer også leveret i digitalt format.

### 4.1 Alternativ A ruteplan

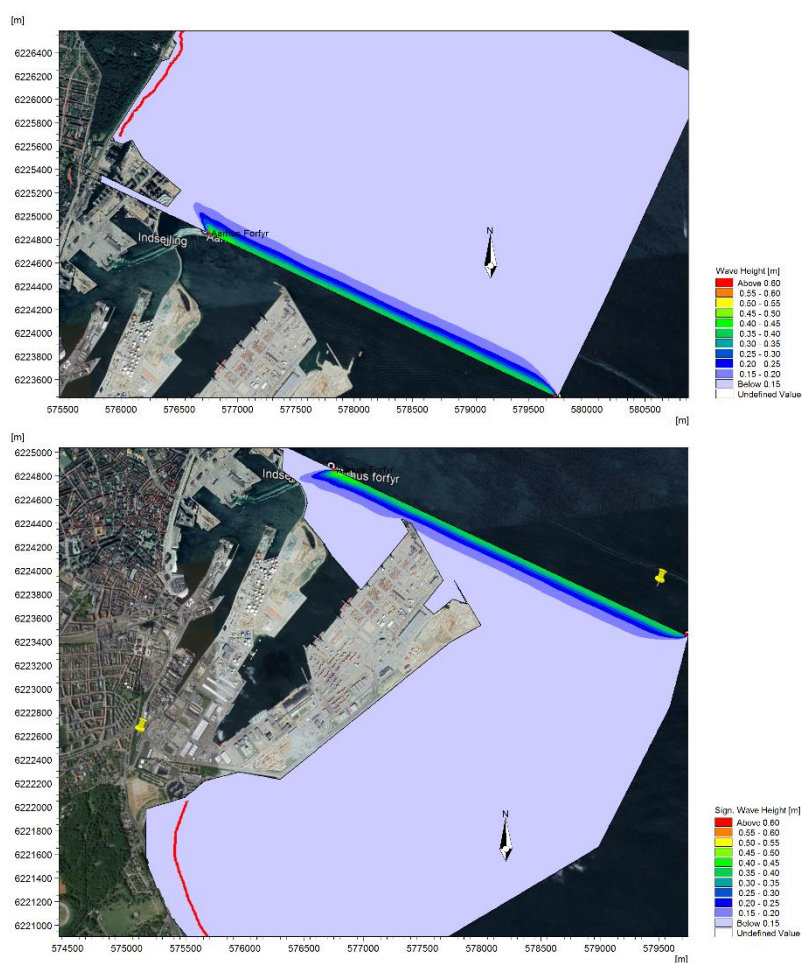
#### 4.1.1 Sælvig-Aarhus-Sælvig



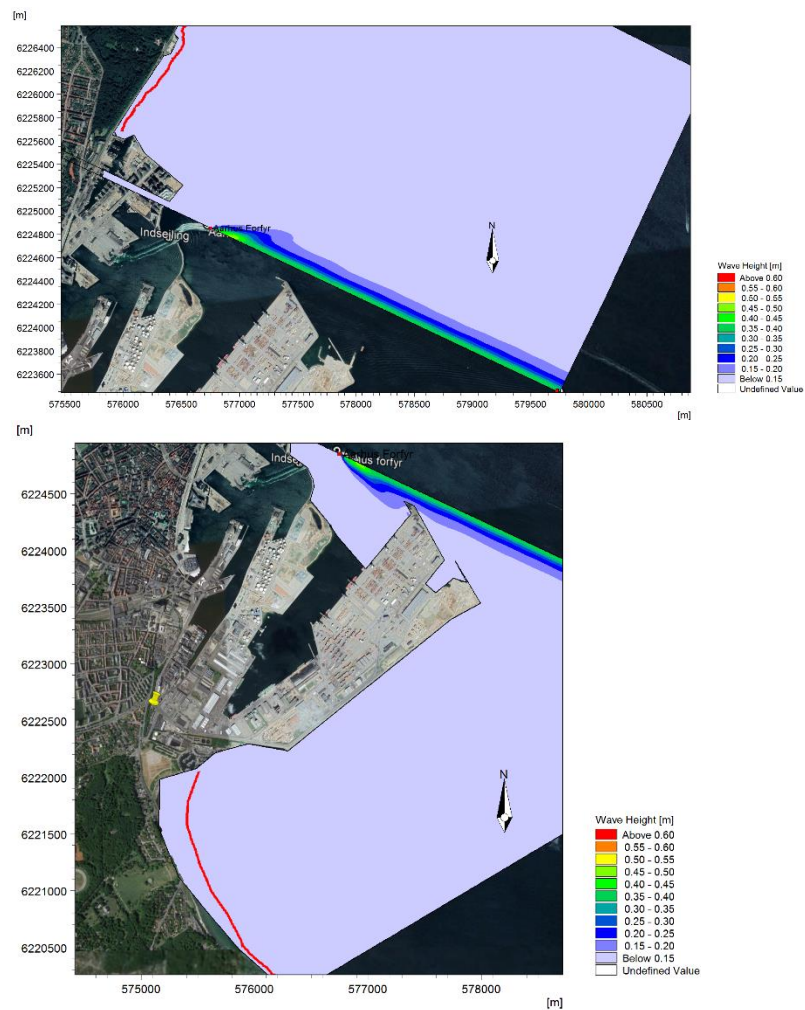
Figur 4.1 Sælvig mole – N for Tunø. Fart = 25 knob.



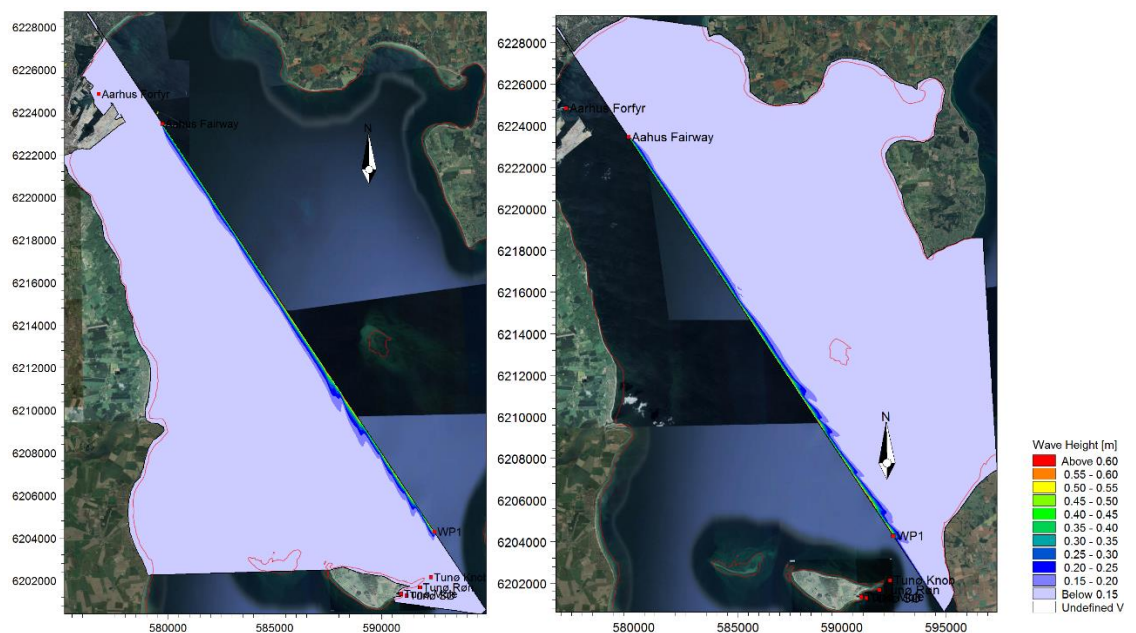
Figur 4.2 N for Tunø – Aarhus fairway. Fart = 25-18 knob.



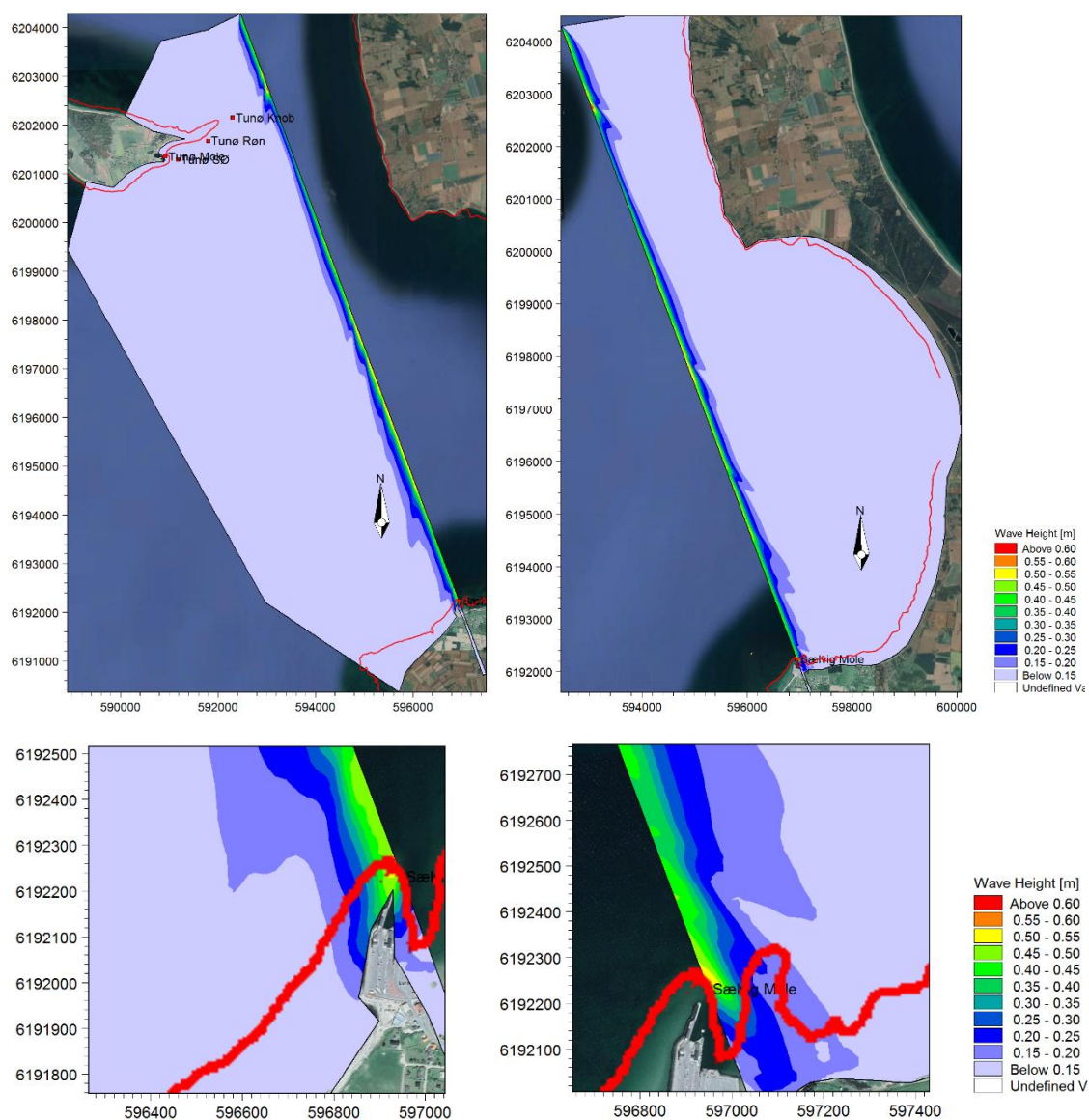
Figur 4.3 Aarhus fairway – Aarhus forfyr. Fart = 18-16 knob.



Figur 4.4 Aarhus foryr – Aarhus fairway. Fart = 16-18 knob.

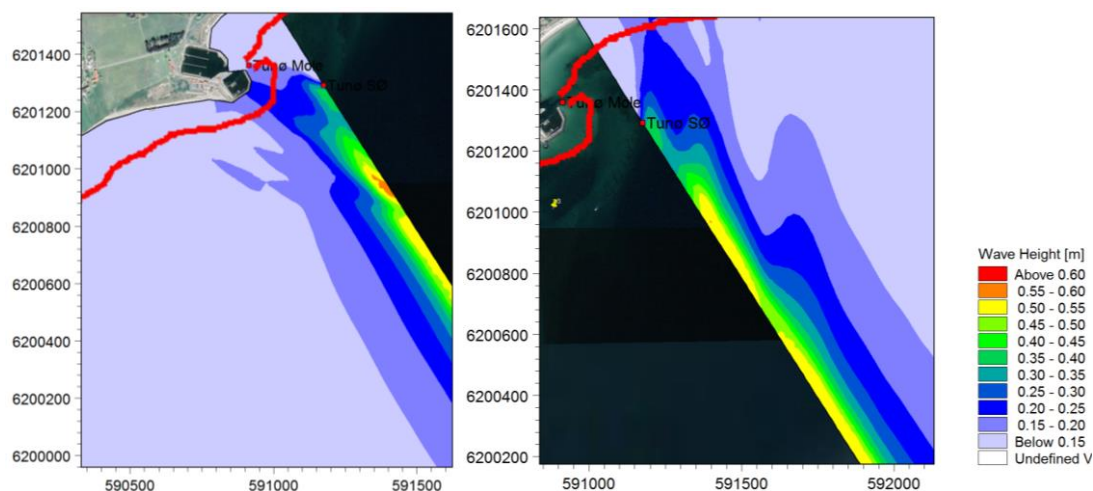


Figur 4.5 Aarhus fairway - N for Tunø. Fart = 25 knob.

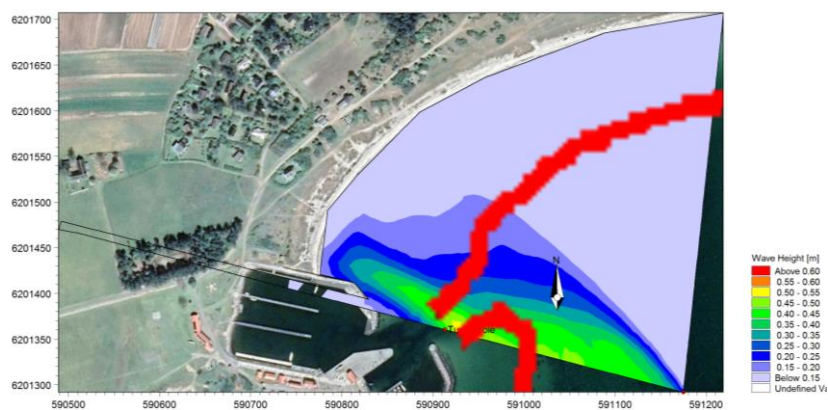


Figur 4.6 N for Tunø - Sælvig mole. Fart = 25-10 knob. Nederste figurer viser detaljer ved anløb til Sælvig.

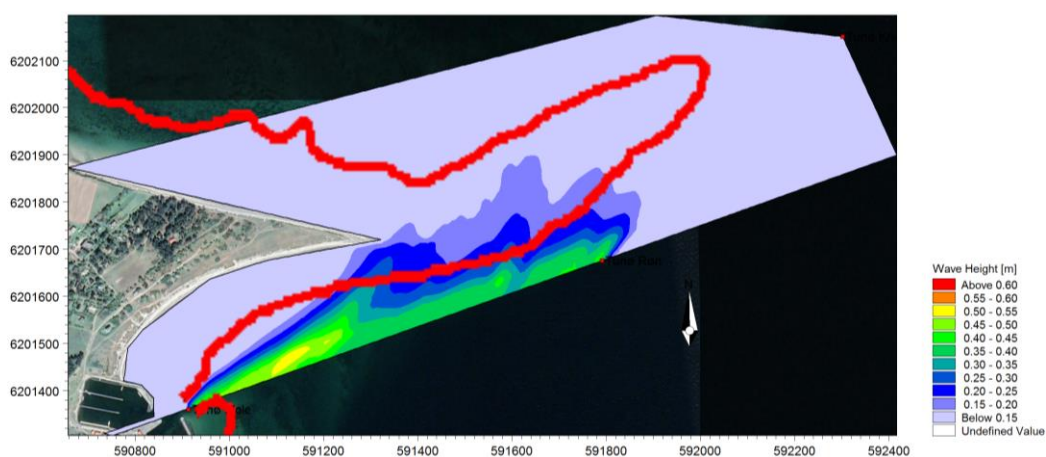
#### 4.1.2 Sælvig-Tunø-Aarhus og retur.



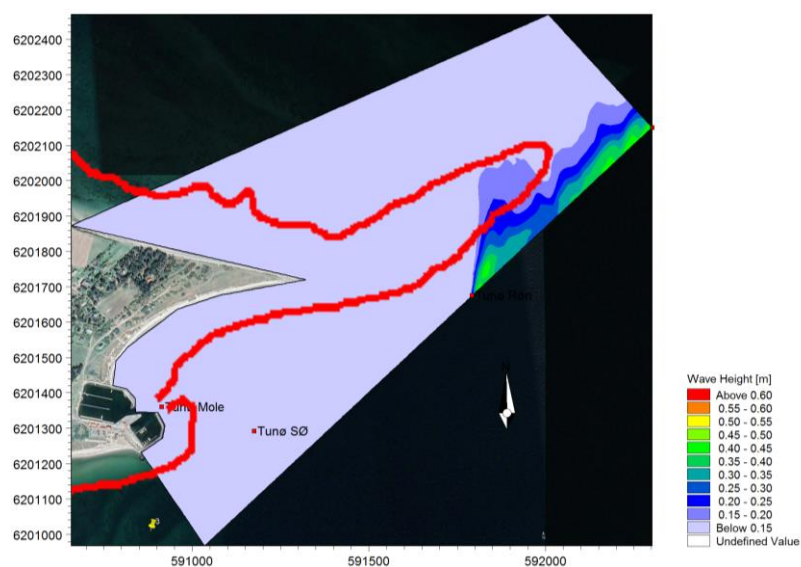
Figur 4.7 Sælvig mole – Tunø SØ. Fart = 25-10 knob.



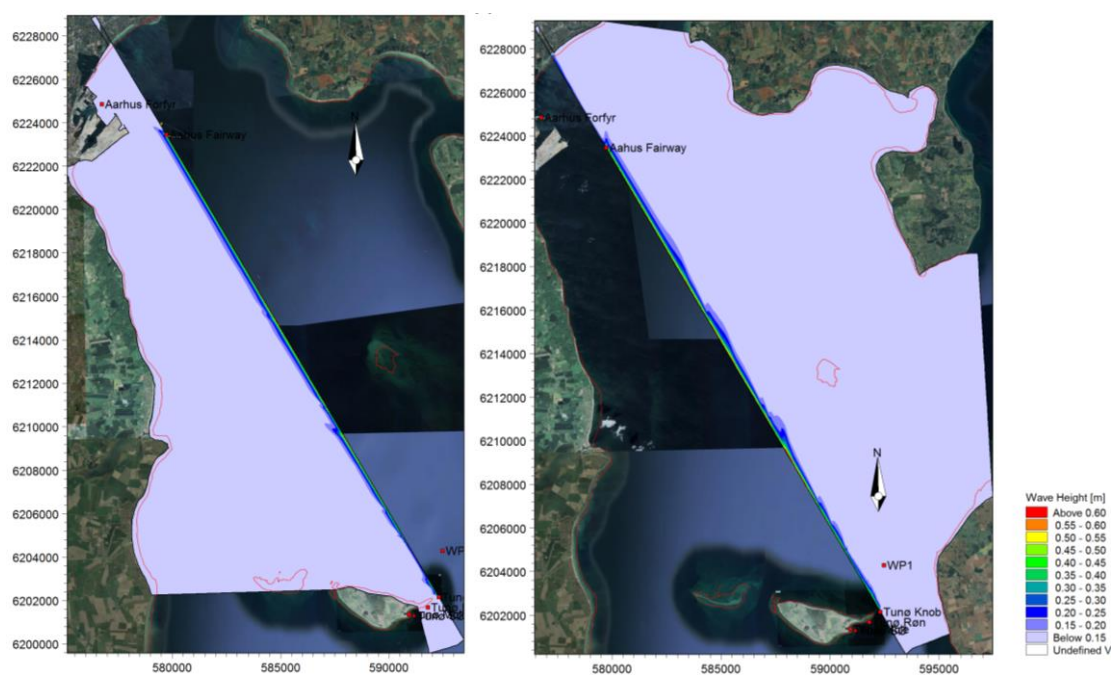
Figur 4.8 Tunø SØ – Tunø mole. Fart = 10 knob.



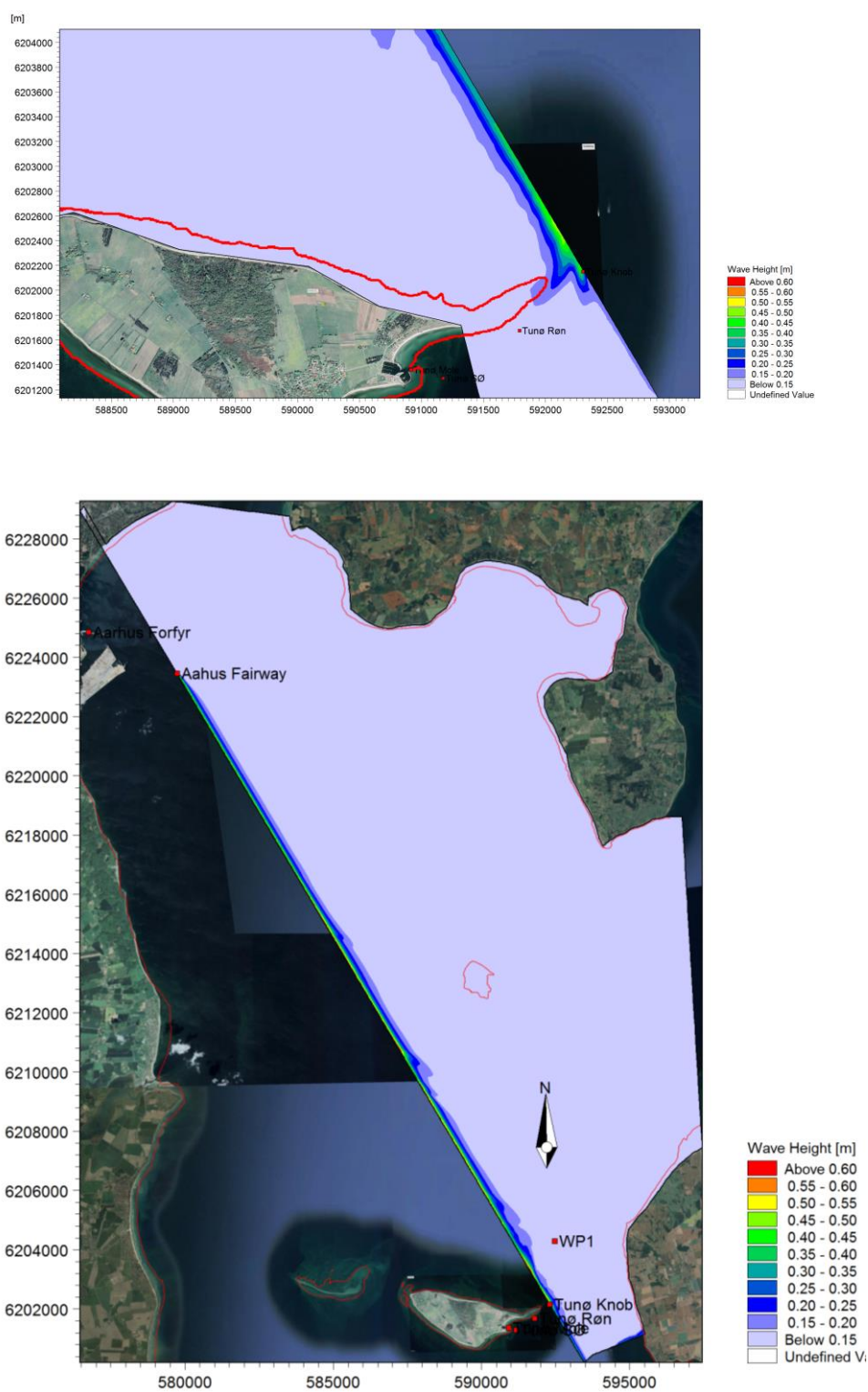
Figur 4.9 Tunø mole – Tunø Røn. Fart = 10-18 knob.



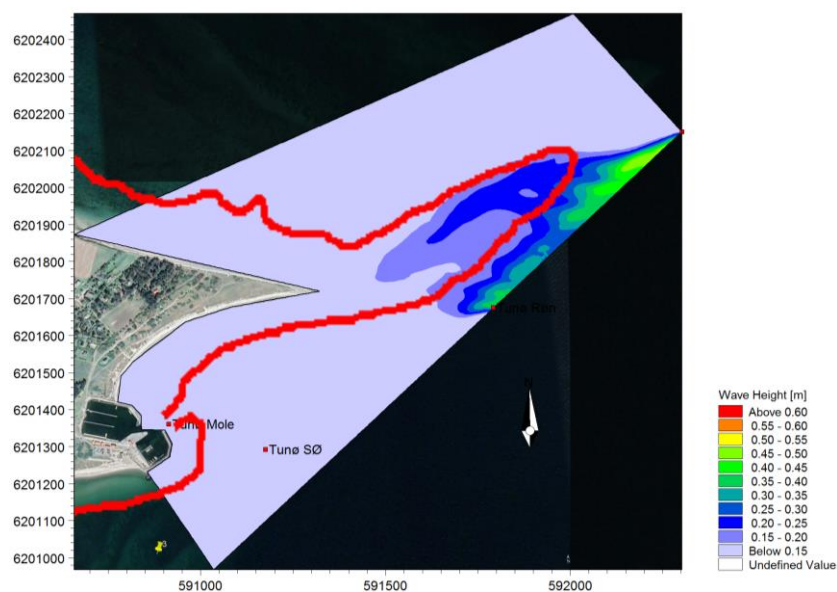
Figur 4.10 Tunø Røn – Tunø Knob. Fart = 18-25 knob.



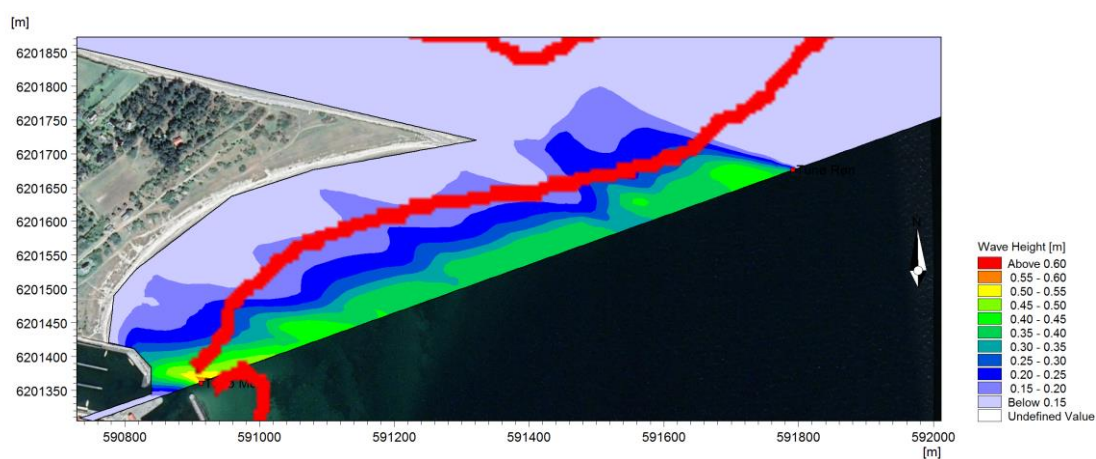
Figur 4.11 Tunø Knob – Aarhus fairway. Fart = 25 knob.



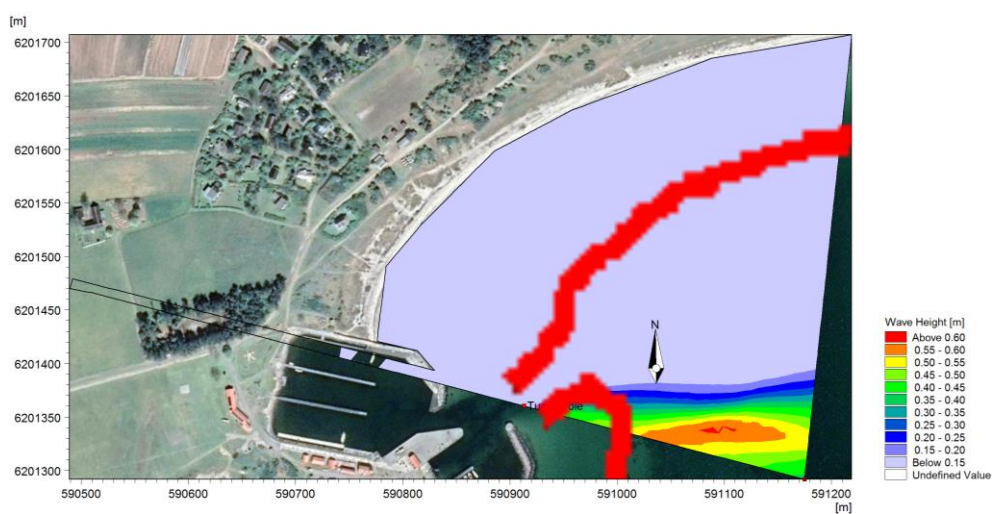
Figur 4.12 Aarhus fairway – Tunø knob. Fart = 25 knob.



Figur 4.13 Tunø Knob - Tunø Røn. Fart = 25-18 knob.



Figur 4.14 Tunø Røn – Tunø mole Fart = 18-10 knob.



Figur 4.15 Tunø mole – Tunø SØ. Fart = 10 knob.

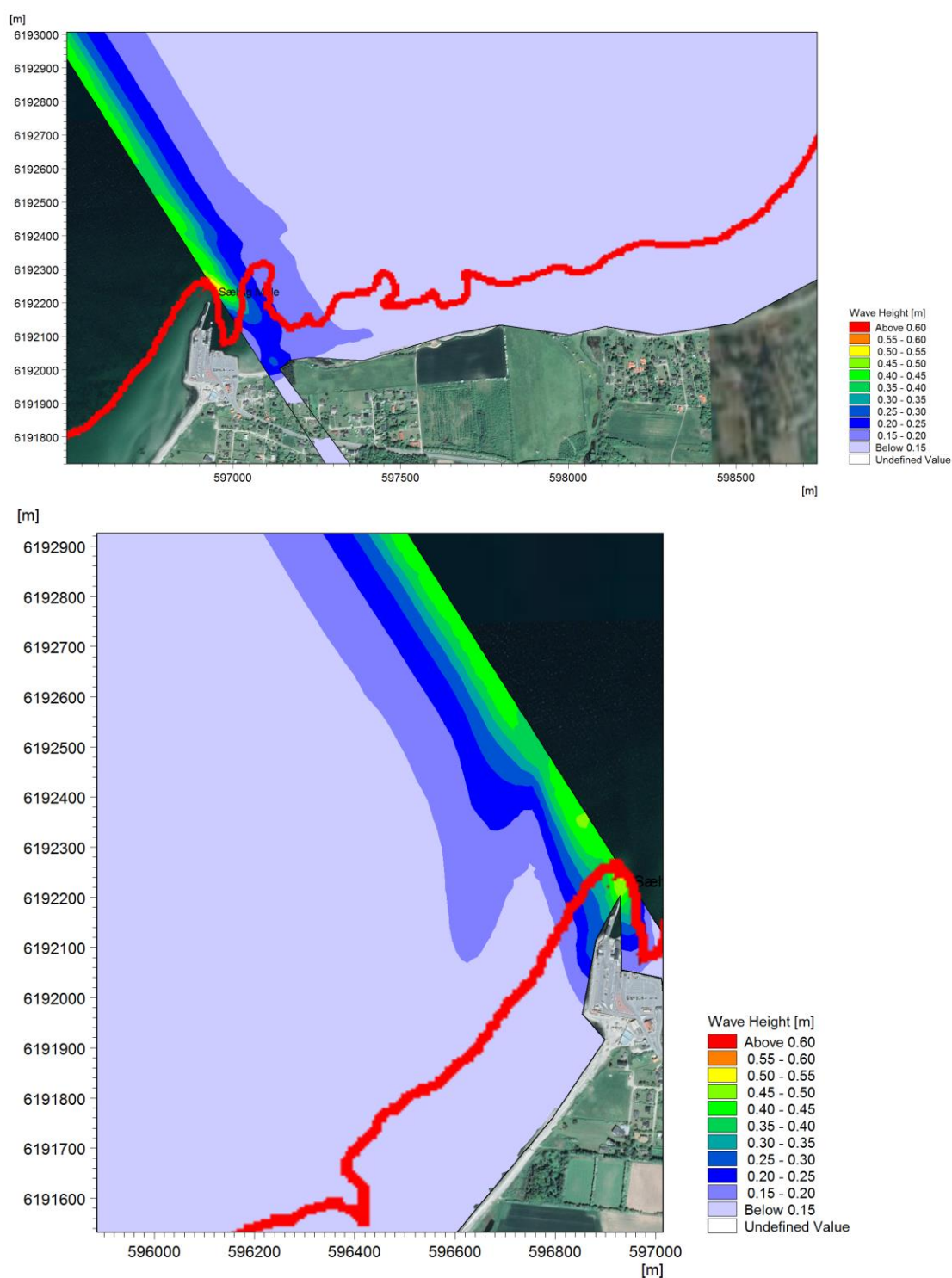
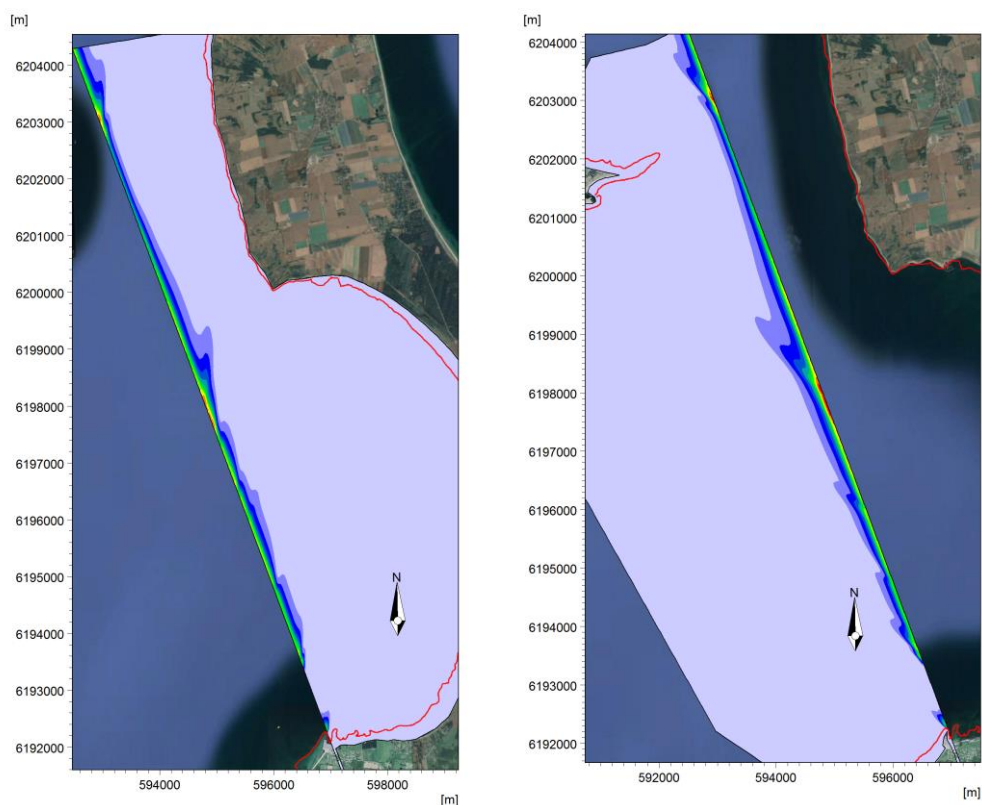


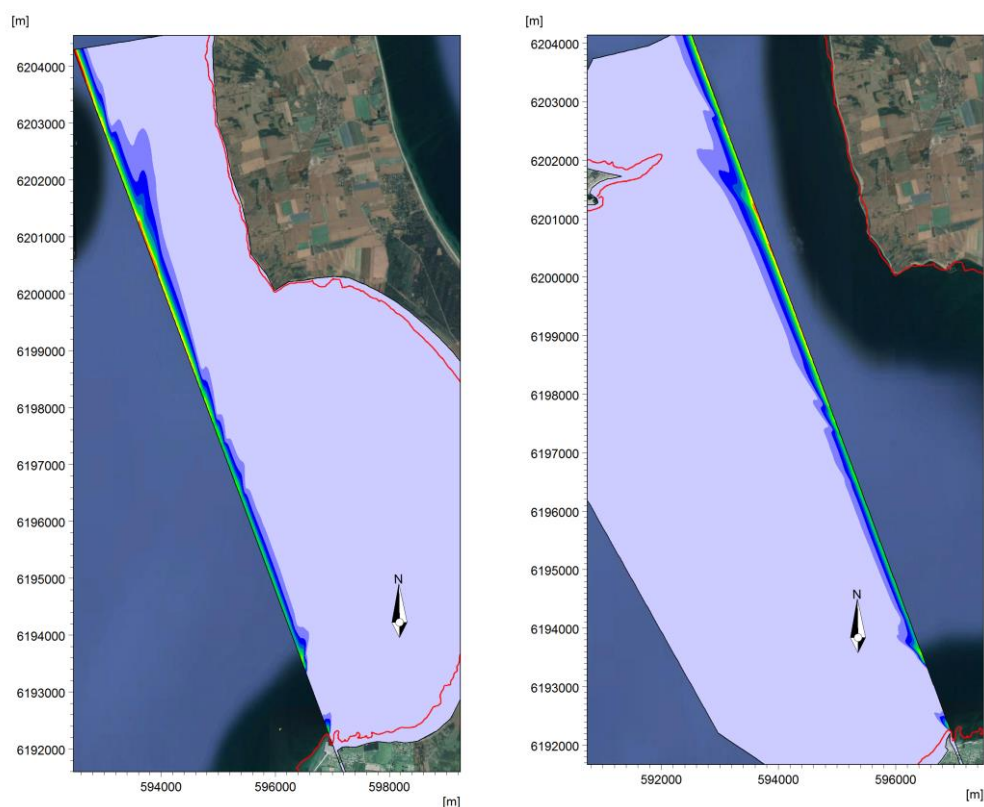
Figure 4.16 Tunø SØ – Sælvig Mole. Fart = 25-10 knob.

## 4.2 Alternativ B ruteplan

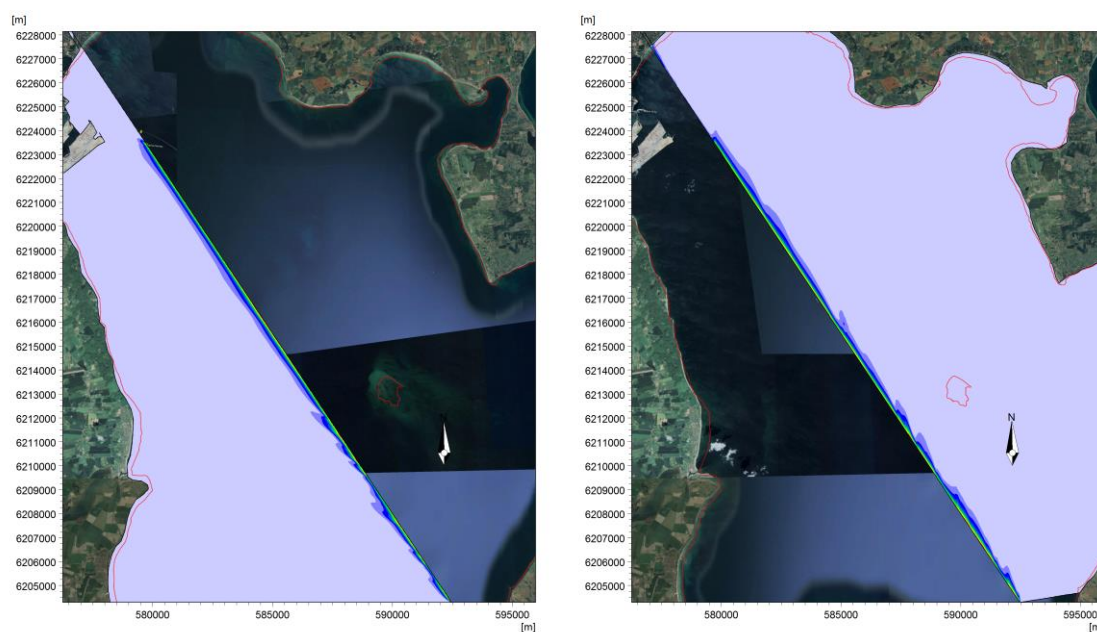
### 4.2.1 Sælvig-Aarhus-Sælvig



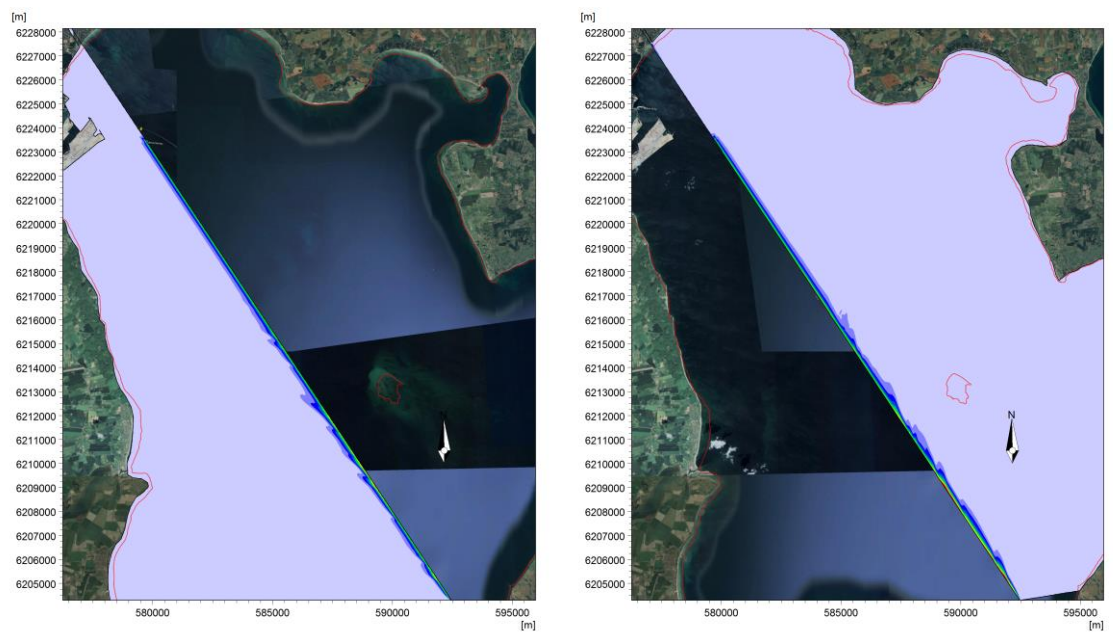
Figur 4.17 Sælvig mole – Sælvig N - N for Tunø. Fart = 10 - 25 knob.



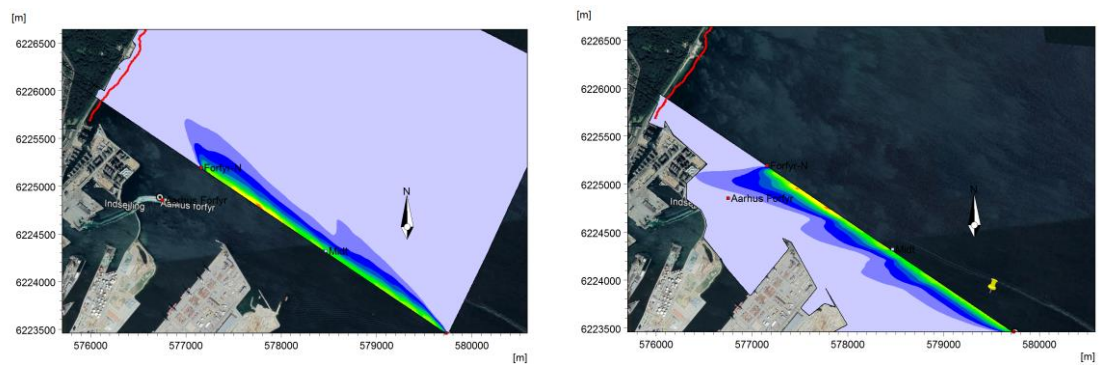
Figur 4.18 Sælvig mole – Sælvig N - N for Tunø. Fart = 10-29.5 knob.



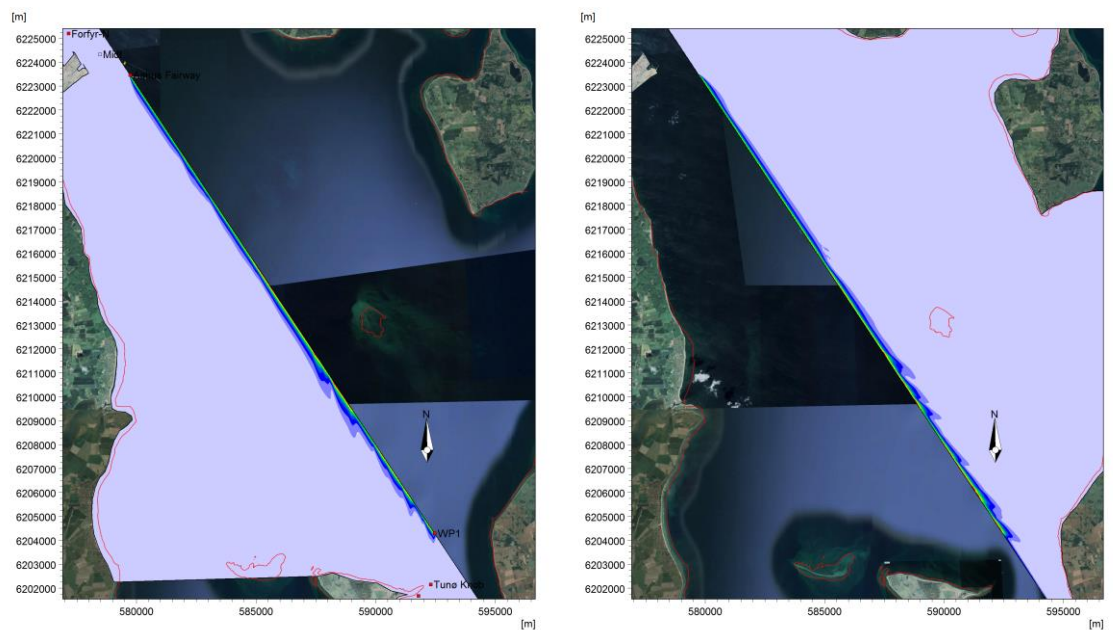
Figur 4.19 N for Tunø – Aarhus fairway. Fart = 25 knob.



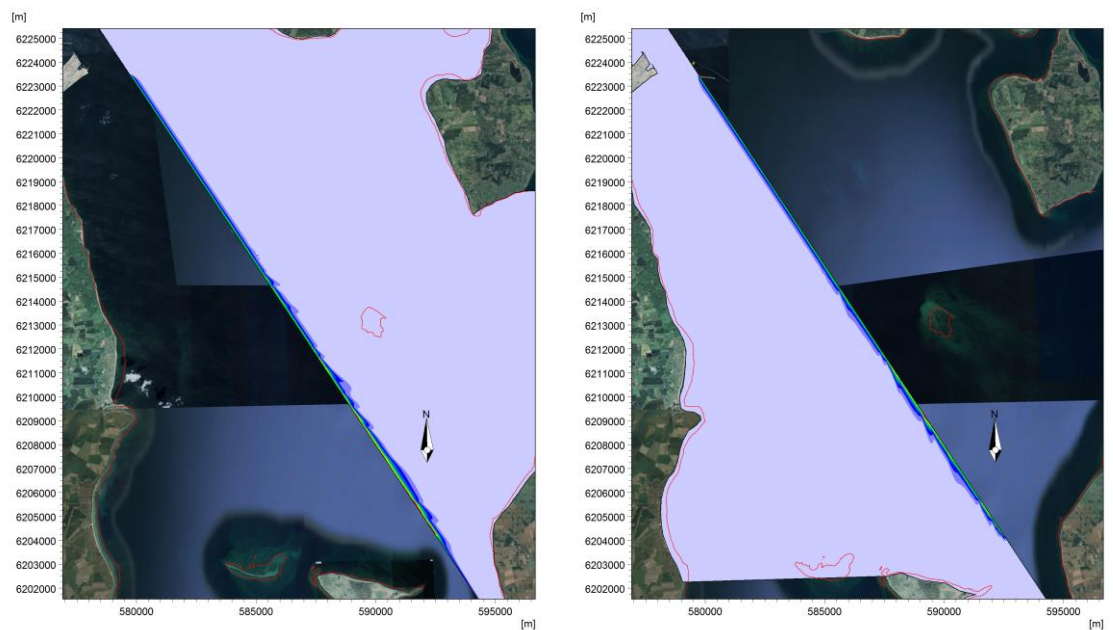
Figur 4.20 N for Tunø – Aarhus fairway. Fart = 29.5 knob.



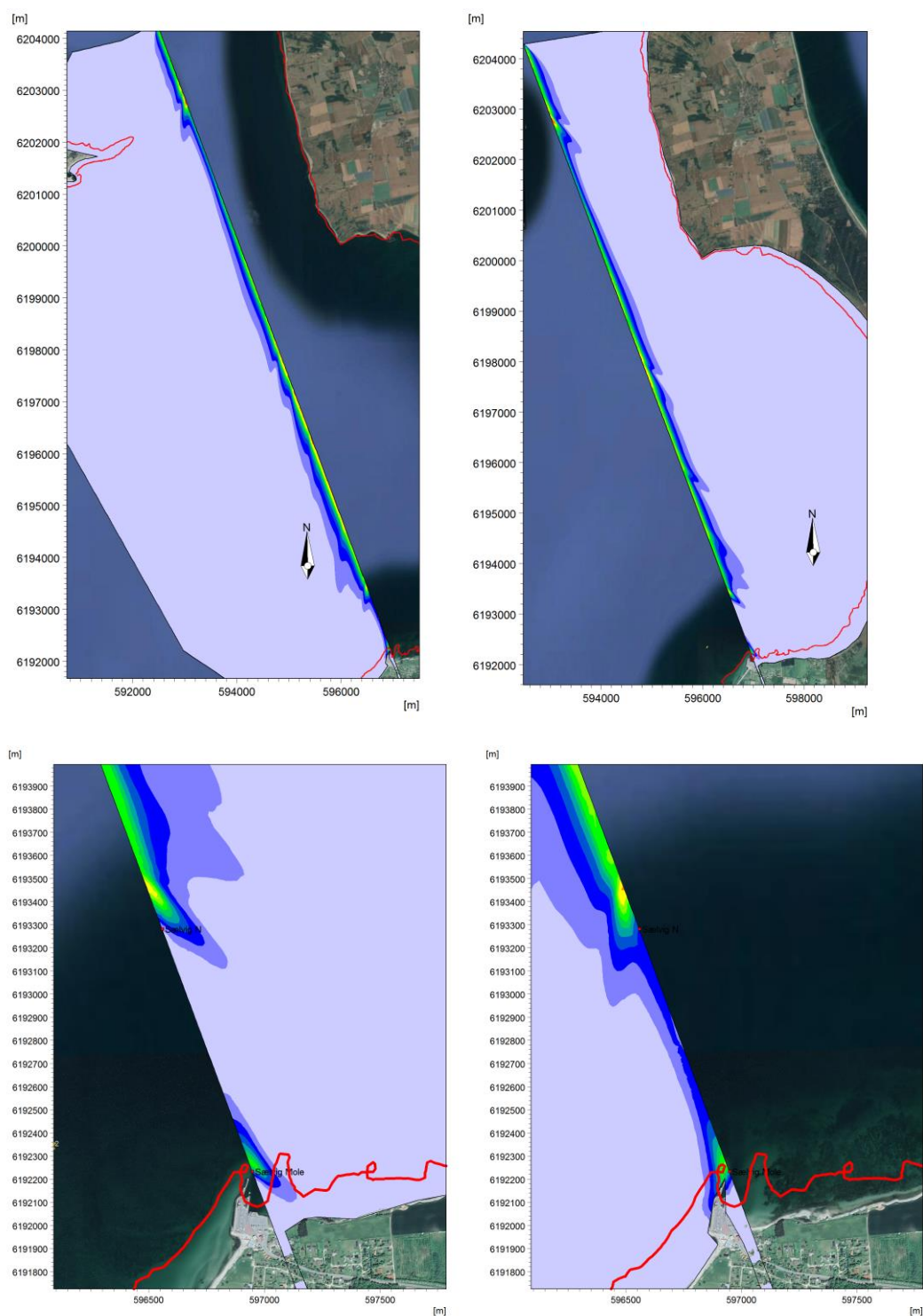
Figur 4.21 Aarhus fairway – Aarhus fairway midt - Aarhus forfyr. Fart = 25 - 18 knob.



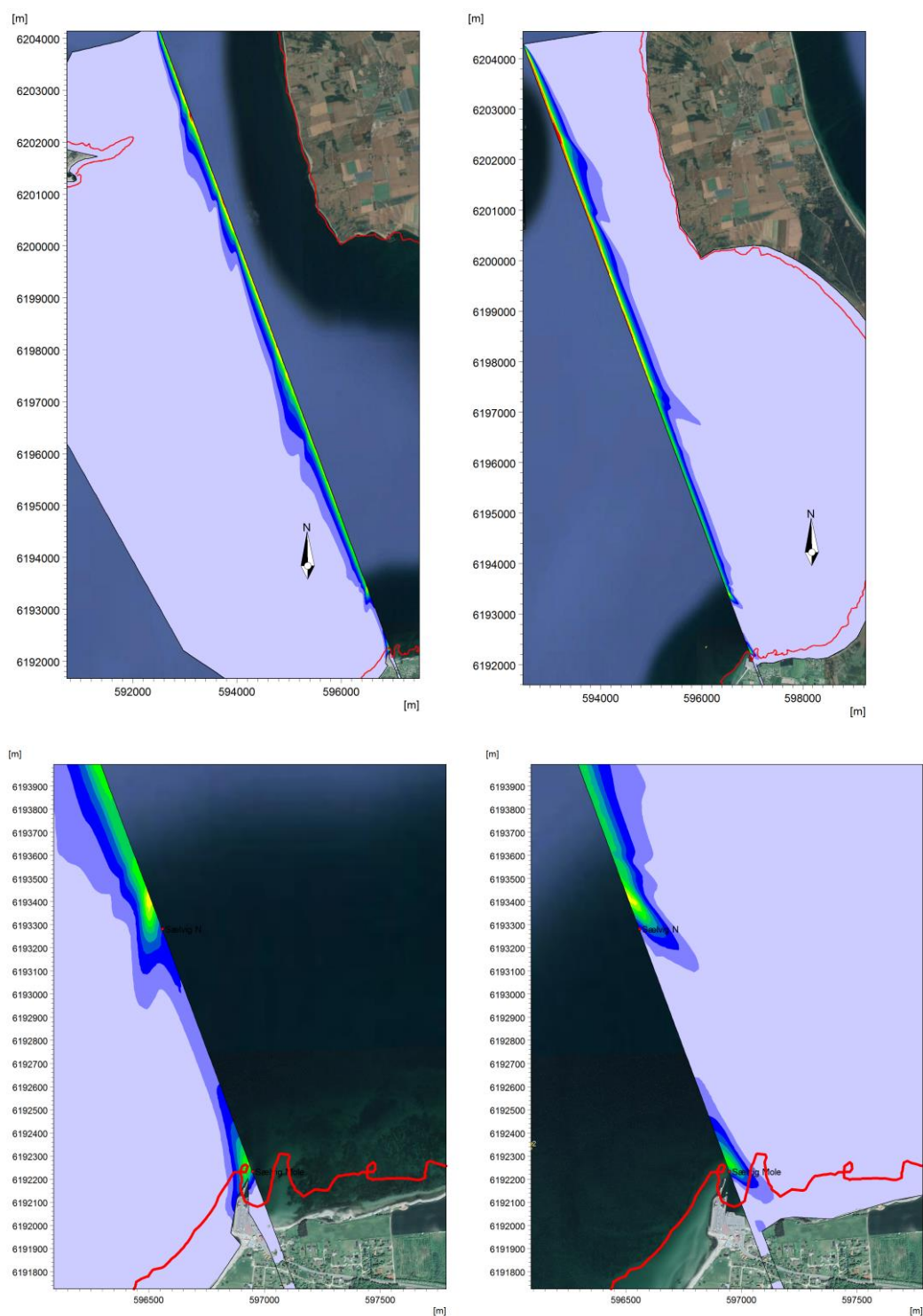
Figur 4.22 Aarhus fairway - N for Tunø. Fart = 25 knob.



Figur 4.23 Aarhus fairway - N for Tunø. Fart = 29.5 knob.

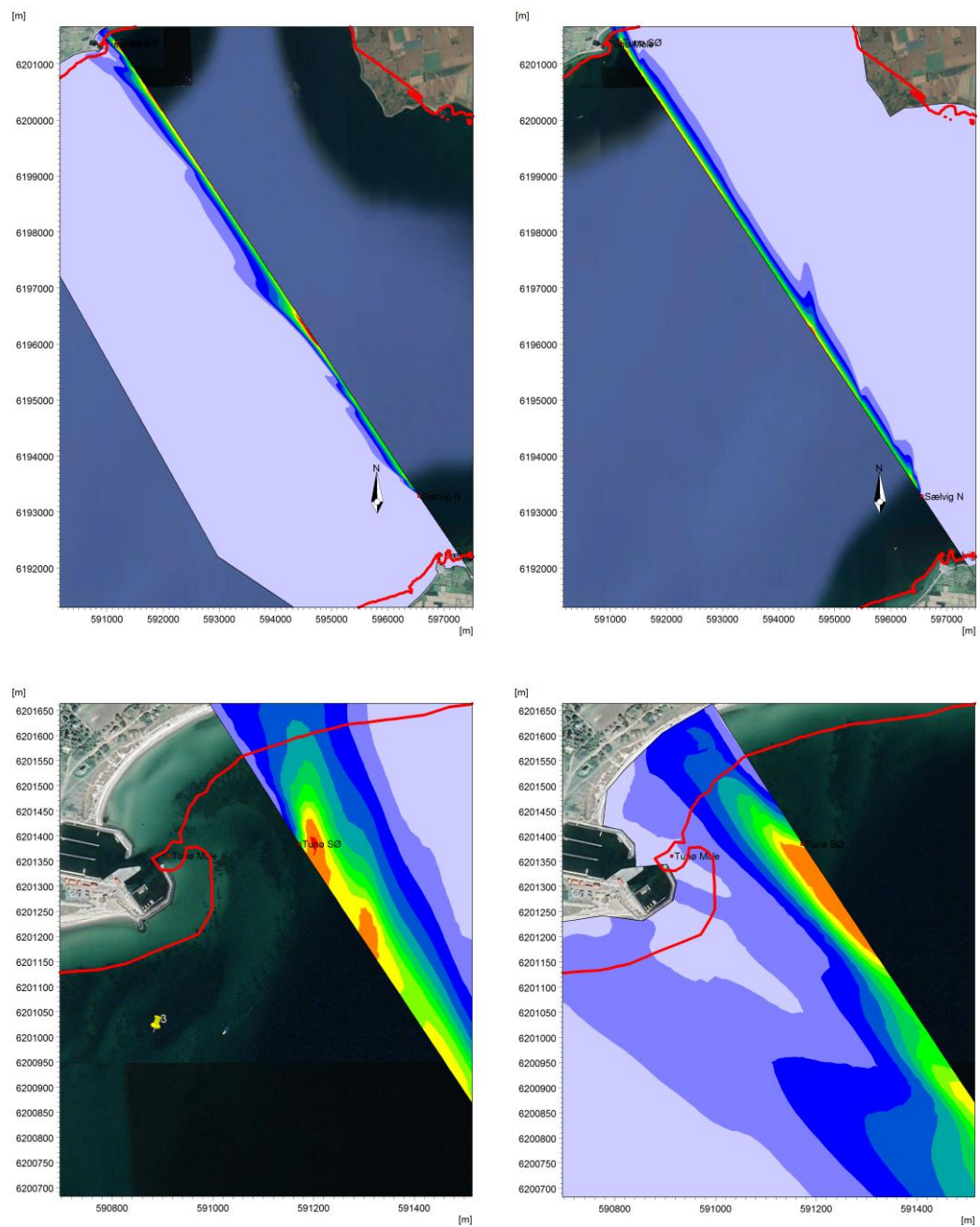


Figur 4.24 N for Tunø - Sælvig mole. Fart = 25-10 knob. Nederste figurer viser detaljer ved anløb til Sælvig.

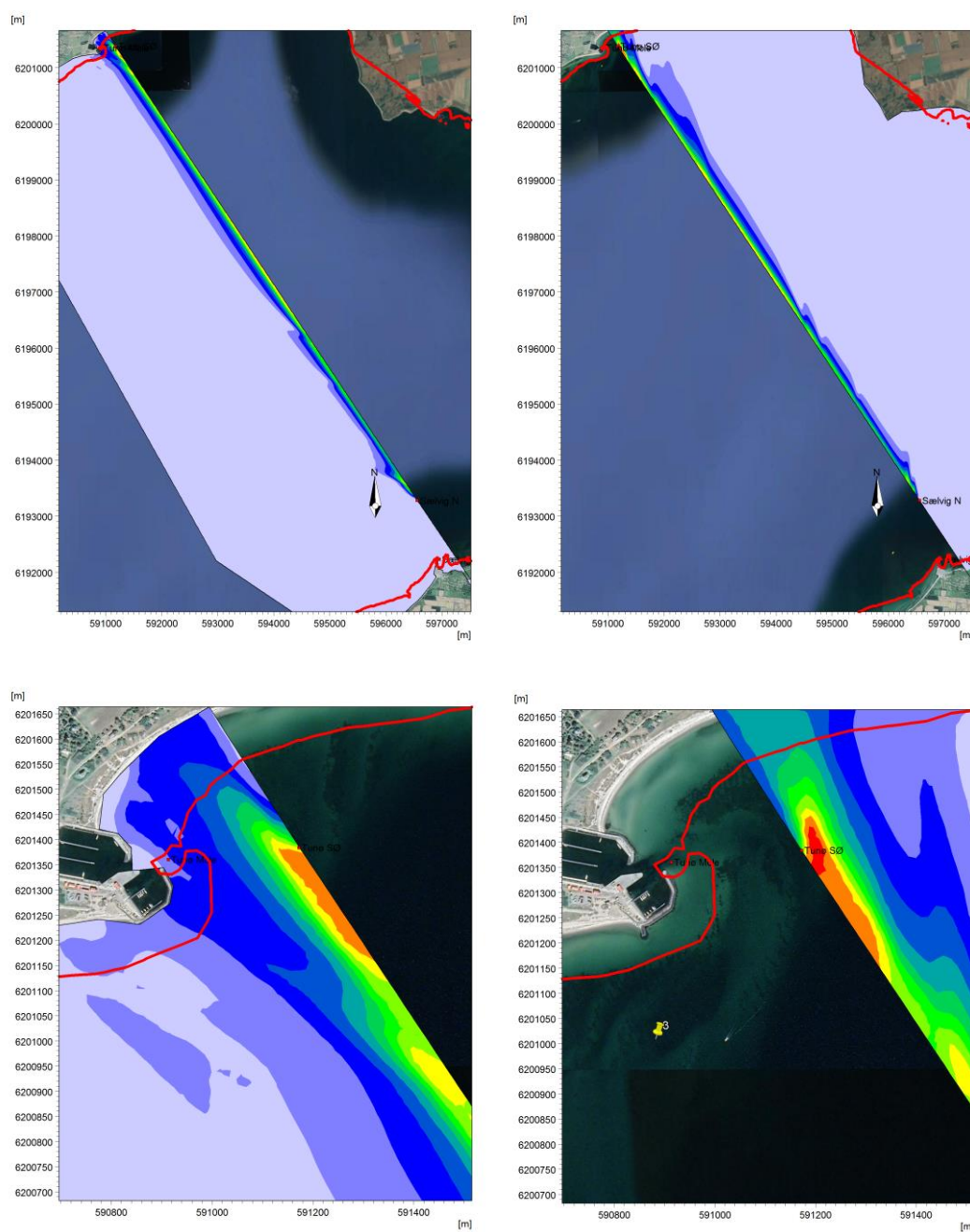


Figur 4.25 N for Tunø - Sælvig mole. Fart = 29.5-10 knob. Nederste figurer viser detaljer ved anløb til Sælvig.

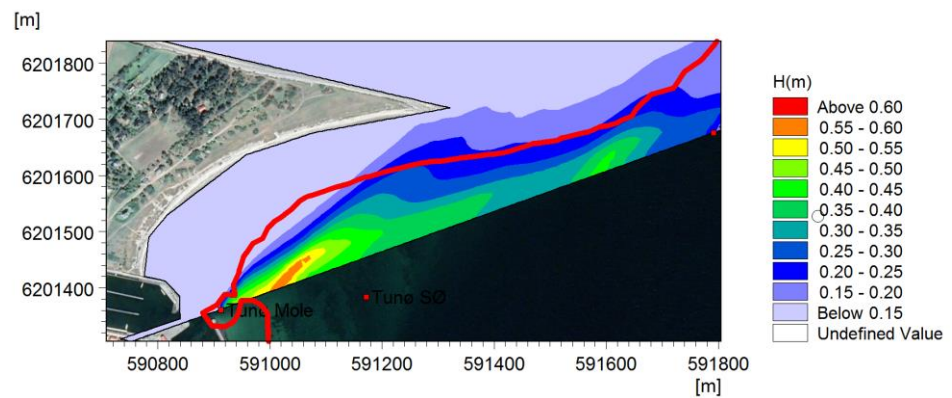
#### 4.2.2 Sælvig-Tunø-Aarhus og retur.



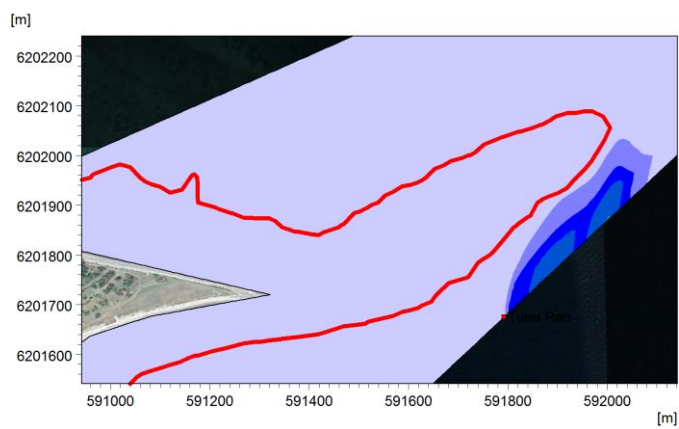
Figur 4.26 Sælvig N – Tunø SØ. Fart = 25-10 knob.



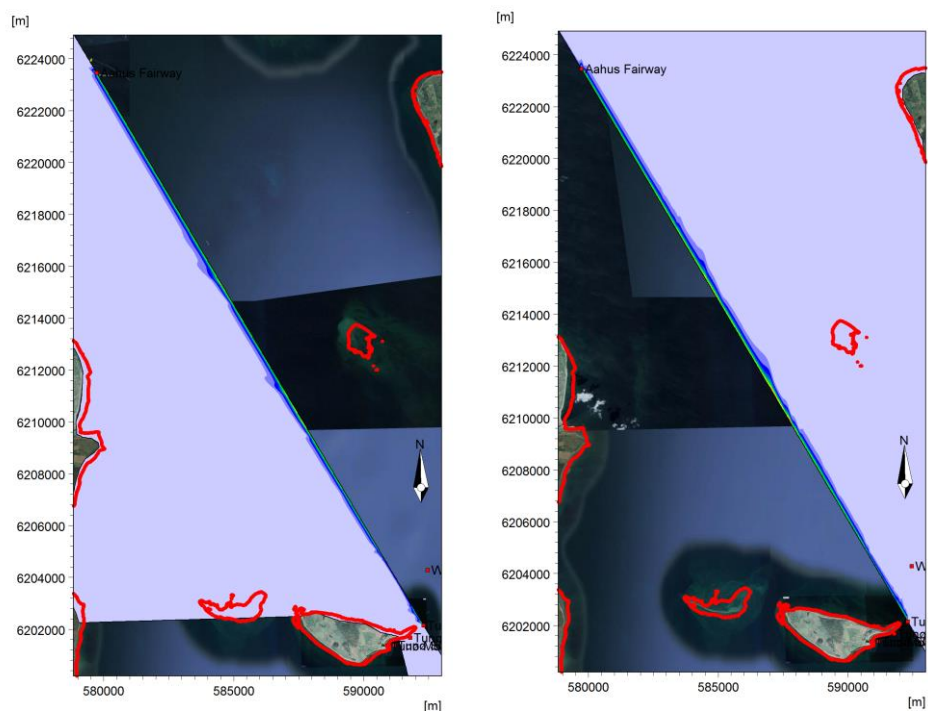
Figur 4.27 Sælvig N – Tunø SØ. Fart = 29,5-10 knob.



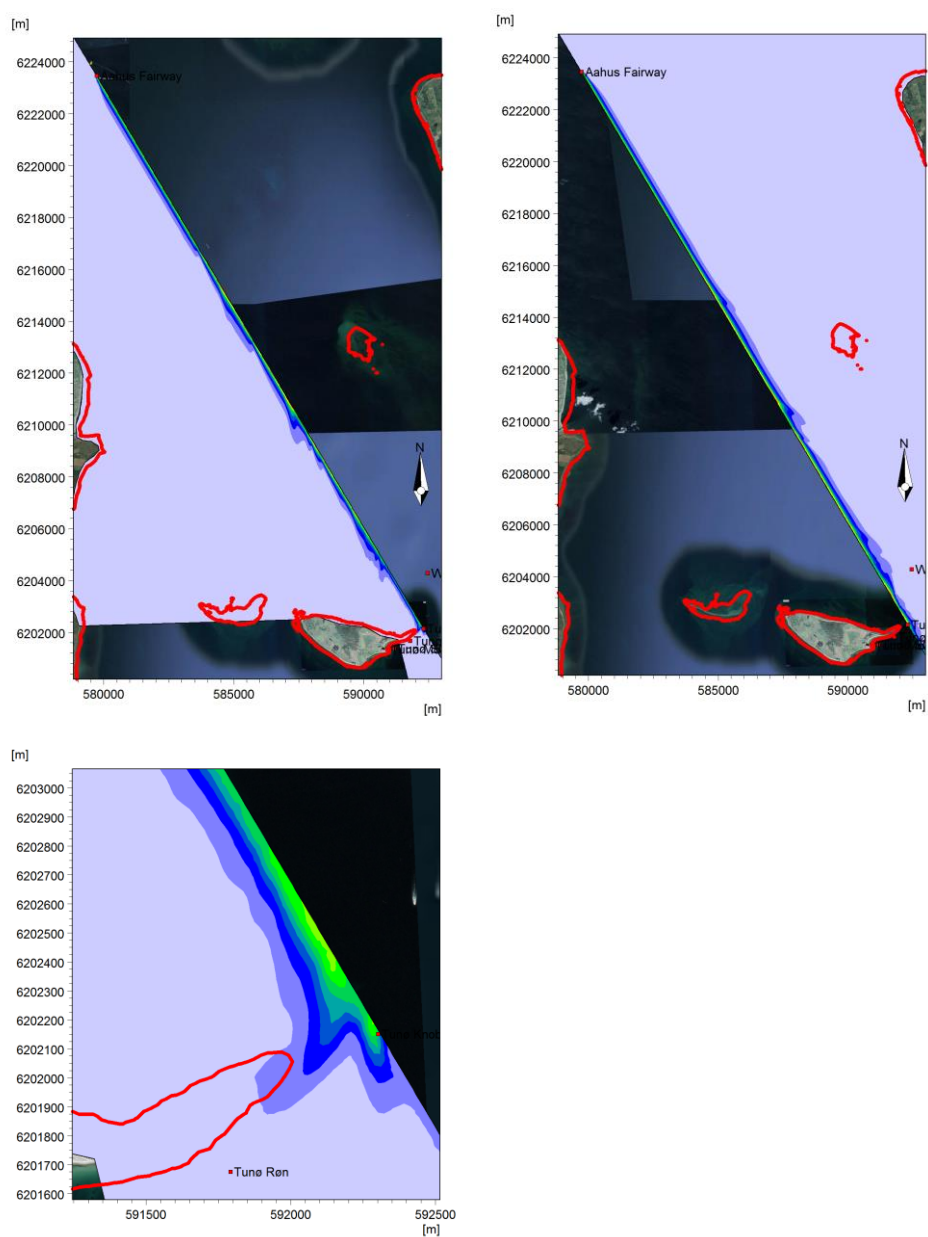
Figur 4.28 Tunø mole – Tunø Røn. Fart = 10 knob.



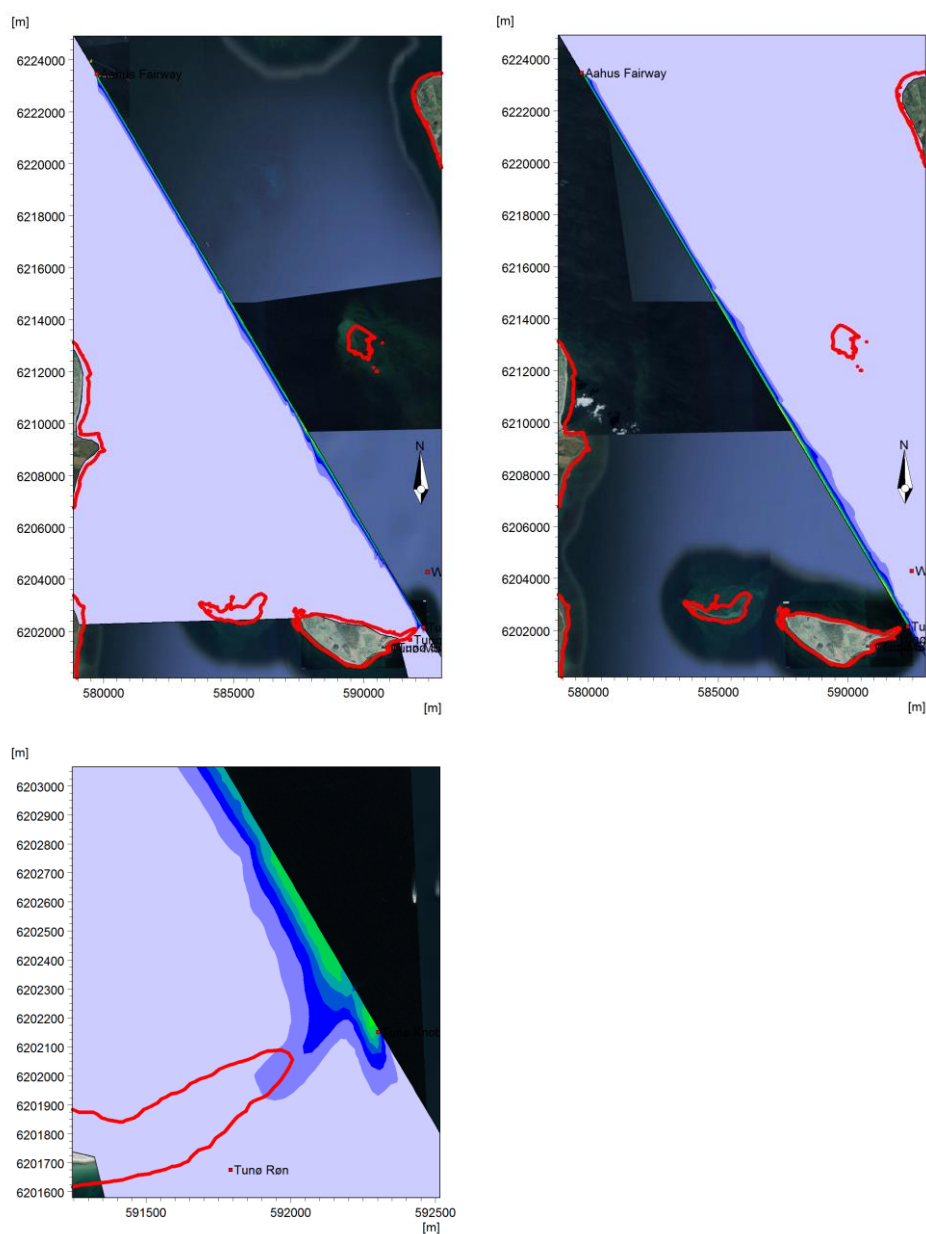
Figur 4.29 Tunø Røn – Tunø Knob. Fart = 10 knob.



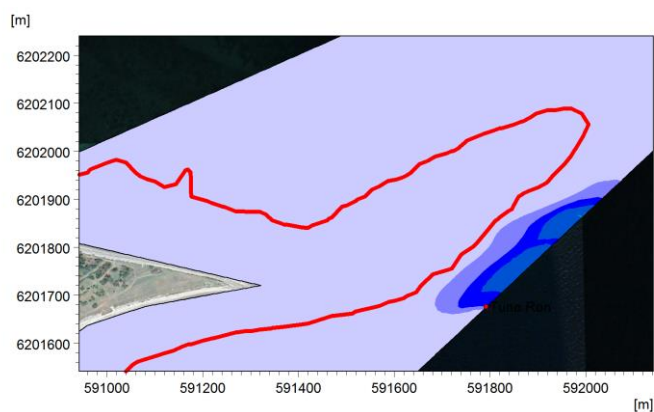
Figur 4.30 Tunø Knob – Aarhus fairway. Fart = 29,5 knob.



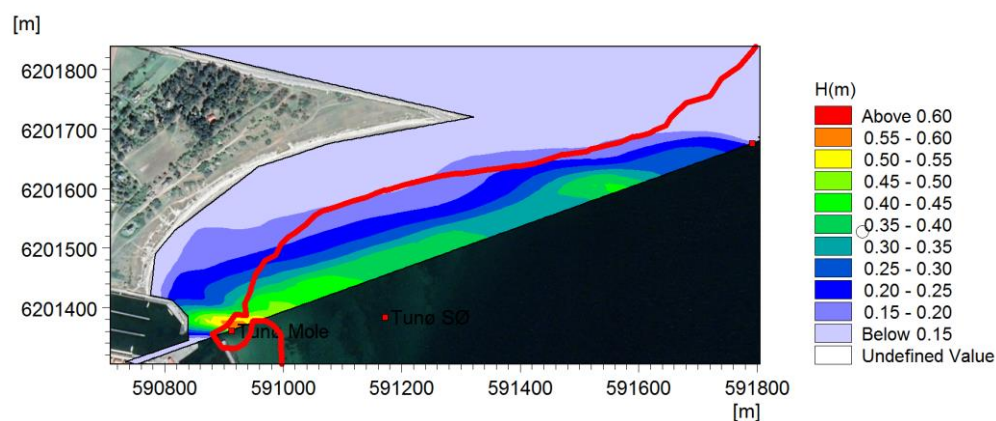
Figur 4.31 Aarhus fairway – Tunø knob. Fart = 25 knob.



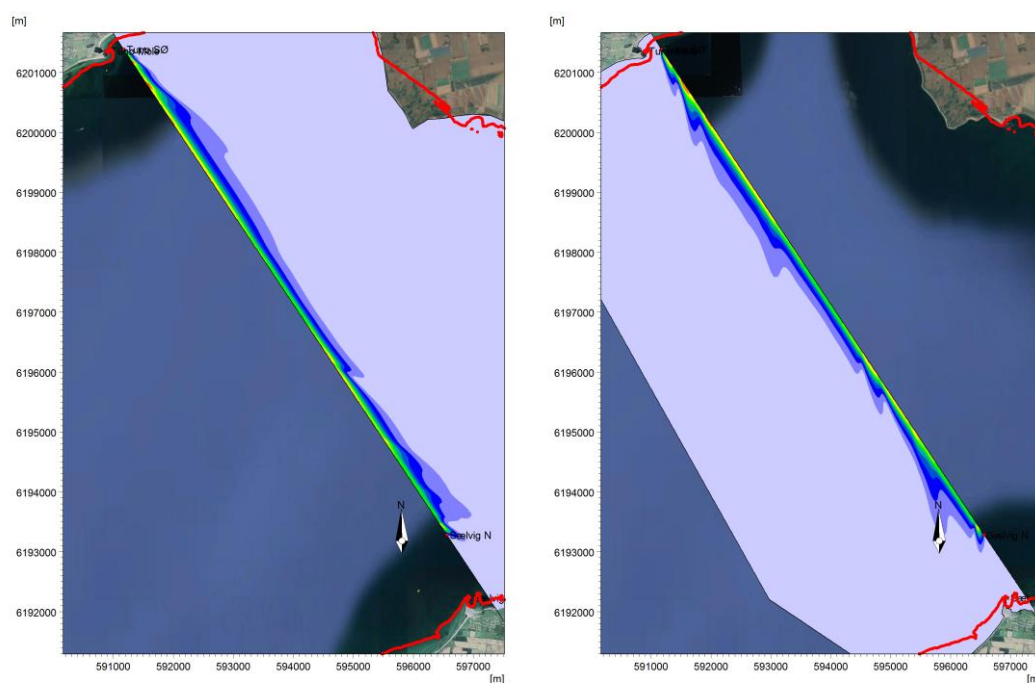
Figur 4.32 Aarhus fairway – Tunø knob. *Fart = 29,5 knob.*



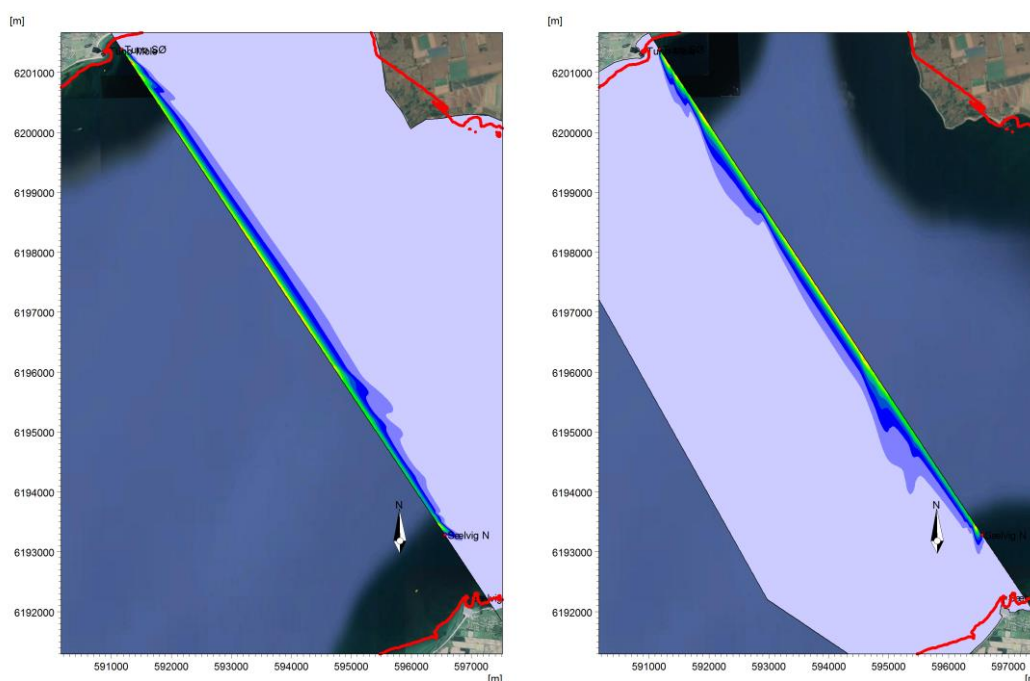
Figur 4.33 Tunø Knob - Tunø Røn. *Fart = 10 knob.*



Figur 4.34 Tunø Røn – Tunø mole *Fart = 10 knob.*



Figur 4.35 Tunø SØ – Sælvig N. *Fart = 25-10 knob.*



Figur 4.36 Tunø SØ – Sælvig N. Fart = 29,5-10 knob.

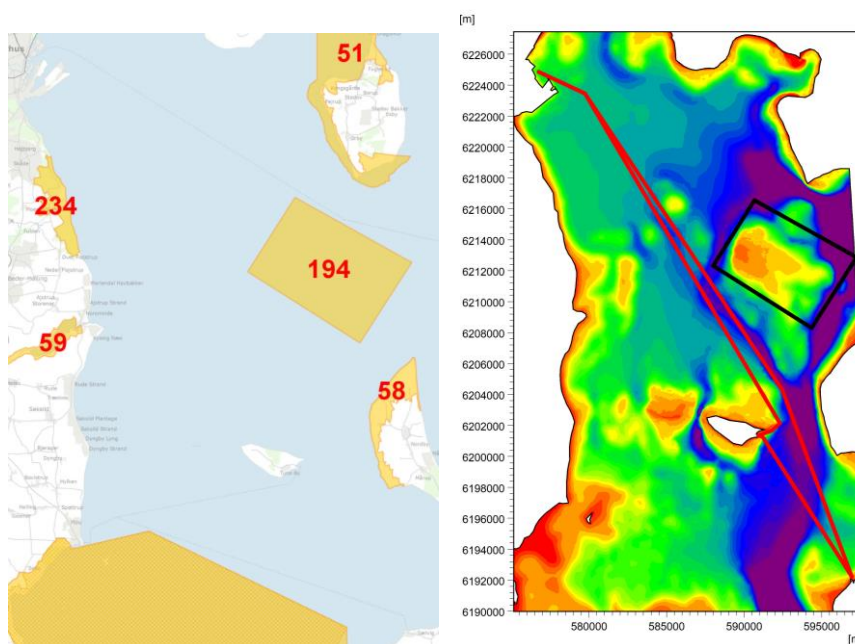
### 4.3 Konklusioner vedr. bølgehøjde-kriteriet på 3 m vanddybde.

Beregningerne viser, at bølgehøjde-kriteriet på 3 m vanddybde ikke overskrides noget sted langs ruterne. De største bølgehøjder tæt ved 3 m dybdekonturen optræder ved anløb til Sælvig og Tunø; bølgeperioden er her 3-5 s, hvilket betyder, at den tilladte bølgehøjde her er 0,5-0,6 m.

### 4.4 Vurdering af bølgerelaterede miljøpåvirkninger

#### 4.4.1 Påvirkning på Natura 2000 områder

Den planlagte rute passerer tæt forbi Natura 2000 område nr. 194 (Mejl Flak) – se Figur 4.37. Derfor er potentielle bølgerelaterede påvirkninger fra færgen på dette område vurderet. Mejl Flak er beliggende nordvest for Samsø og syd for Helgenæs og udgør et lavvandet marint habitat med en kombination af sten- og sandbund, som er omgivet af dybere vand.



Figur 4.37 Natura 2000 områder tæt på sejlruen. Figuren til venstre viser sejlruen sammen med Natura 2000 området 194 (Mejl Flak), markeret med sort.

De potentielle fysiske indvirkninger omfatter en kortvarig ændring af bølgeforholdene langs sejlruen ved hver passage af færgen pga. de af færgen genererede bølger.

For den rute, som ligger tættest på Mejl Flak, er der planlagt op til 10 én-vejs passager pr. dag. Idet det vurderes, at hver passage resulterer i ca. 10 bølger med en periode på 6-7 s, svarer dette til, at der optræder færge-genererede bølger i ca. 0,7% af tiden. De største færge-genererede bølger i området er 5-7 cm høje.

Til sammenligning er de vind-genererede bølger i området væsentlig større og hyppigere. Baseret på DHI's eksisterende vind-bølgemodeller findes det, at bølgehøjden ved Mejl Flak er større end 50 cm i ca. 30% af tiden. Bølgepåvirkning på flakket ville kunne optræde gennem ændringer i vandpartikelhastigheder ved havbunden, som potentielt ville kunne flytte på bundsedimenterne. Vandpartikelhastigheden ved havbunden afhænger af vanddybden, bølgehøjden og bølgeperioden. Modelleringen har vist, at de maksimale vandpartikelhastigheder ved havbunden på Mejl Flak, som relaterer sig til færgebølgerne, vil være af størrelsesordenen 0,05 m/s. Til sammenligning overskrider en maksimal vandpartikelhastighed på 0,2 m/s, som relaterer sig til vindbølgerne, i ca. 70% af tiden. Indvirkningerne af hurtigfærgesejladser på resuspension af sediment på flakket og på en tilhørende stigning i turbiditet vurderes derfor at være ubetydelige.

#### 4.4.2 Partikelhastigheder på havbunden langs ruten

Som for Mejl Flak vurderes det for hele ruten, at resuspension af sediment og tilhørende stigning i turbiditet som følge af færgebølgerne vil være ubetydelige. Dette skyldes de aktuelle vanddybder, de begrænsede færge-bølgehøjder og at vindbølgerne er væsentlig større og hyppigere end færgebølgerne.

#### 4.4.3 Bølgeenergi på kysterne

Færgebølgerne potentielle indvirkning på kysterne skal ses i relation til det på det pågældende sted typiske bølgeklime. Ved eksponerede kyster vil den energi, som kysten påvirkes af fra naturligt forekommende vindbølger, typisk være størrelsesordenen større end den energi, som

færgebølgerne bidrager med, og derfor vil færgebølgernes betydning for kysterne være ubetydelig. Derfor, har tidligere undersøgelser, selv med betydeligt større hurtigfærger - og tilhørende større bølger – da også vist dette. For dokumentation af, at dette også er tilfældet for nærværende rute, er der i det følgende gennemført sammenligninger af de naturligt forekommende bølger og de forventede færgebølger.

Fra DHI's databaser og modeller er der udtaget vindbølge-data for Sælvig, Tunø og Århus, for at kunne sammenligne de naturligt forekommende bølger med færgebølgerne.

Resultater er i det følgende præsenteret for en position ved:

- Sælvig,
- nordsiden af Tunø,
- østsiden af Tunø, samt
- kyststrækningen nord for Århus havn.

Ved øvrige kyststrækninger er færgebølgerne uden betydning.

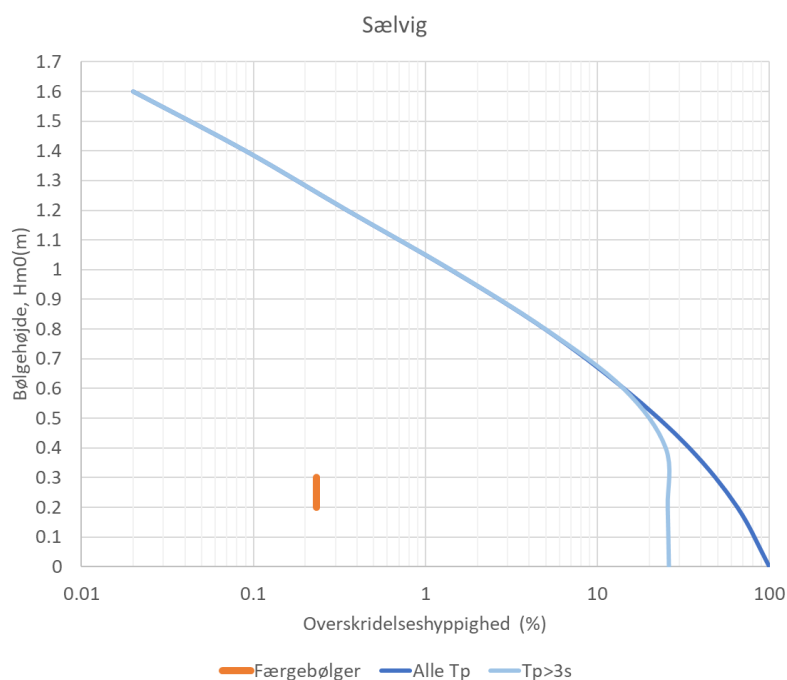
Ved de aktuelle kyster er bølgeperioden mellem 3s og 5s for færgebølgerne, og derfor er der i det følgende præsenteret resultater for alle bølgeperiode, hhv. for bølgeperioder > 3s for de naturligt forekommende bølger.

Der vil være op til 5 anløb til Sælvig og til Århus og 2 anløb til Tunø, og hver færgepassage vil generere ca. 10 bølger. Der vil altså optræde op til ca. 50 færgebølger dagligt ved Sælvig og Århus og 20 ved Tunø. Bølgeperioden vil være 3-5s. Hvis middel-bølgeperioden antages at være 4s, vil der således optræde bølger ved kysterne ved Sælvig og Århus i godt 3 minutter om dagen – og i godt 1 minut ved Tunø. Dette svarer til 0,23% hhv. 0,09% af tiden. Bølgehøjderne for færgebølgerne er i det følgende - konservativt - sat til at, være 0,2-0,3m ved kysterne.

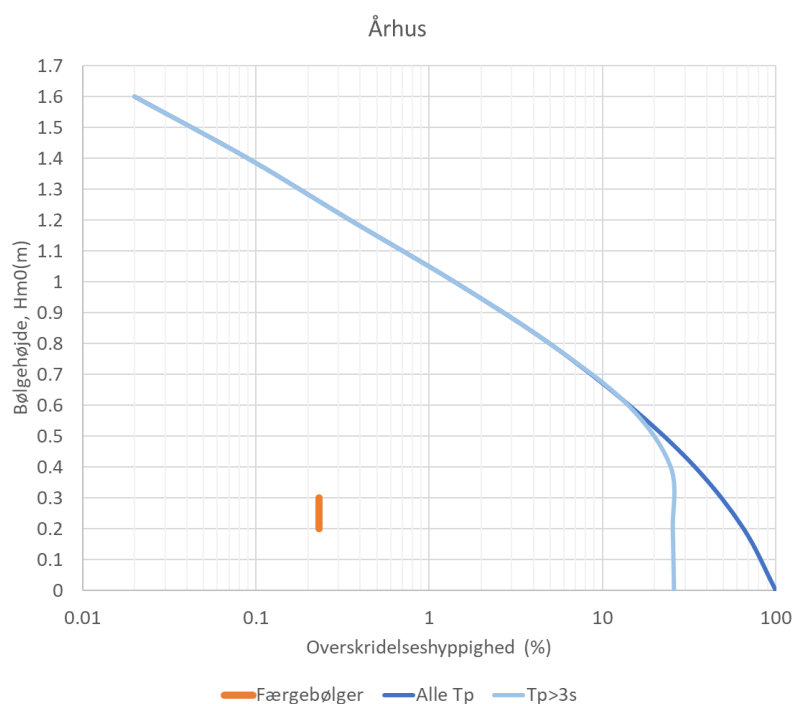
Figur 4.38 - Figur 4.40 viser sammenligninger af naturligt forekommende bølger og færgebølger for de udvalgte lokaliteter. Resultater for de naturligt forekommende bølger er vist som overskridelseshyppighed af signifikante bølgehøjder – altså hvor ofte en given signifikant bølgehøjde overskrides. For færgebølgerne er bølgehøjden på 0,2-0,3m angivet med den ovenfor beregnede hyppighed. Det skal bemærkes, at de beregnede og rapporterede færgebølgehøjder er de estimerede maksimale bølgehøjder i et bølgetog af færgebølger.

Som eksempel ses på Figur 4.38, at bølgehøjden for de naturligt forekommende bølger, som optræder med samme hyppighed som færgebølgerne, er tæt på 1,3m, hvor færgebølgerne er af størrelsesordenen 0,2-0,3m. På figuren kan også aflæses, at naturligt forekommende bølger med samme eller større bølgehøjde end færgebølgerne optræder i ca. 50% af tiden (mod 0,23% for færgebølgerne). Med andre ord optræder færgebølger på ca. 0,2m i ca. 20 timer om året ved Sælvig (med 5 daglige anløb, hver dag), hvor naturligt forekommende bølger med bølgehøjde større end 0,2m optræder i ca. 4400 timer årligt – altså mere end 200 gange hyppigere. Ses kun på naturligt forekommende bølger med  $T > 3s$ , er der stadig tale om at de naturligt forekommende bølger med bølgehøjde > 0,2m optræder mere end 100 gange oftere end færgebølgerne.

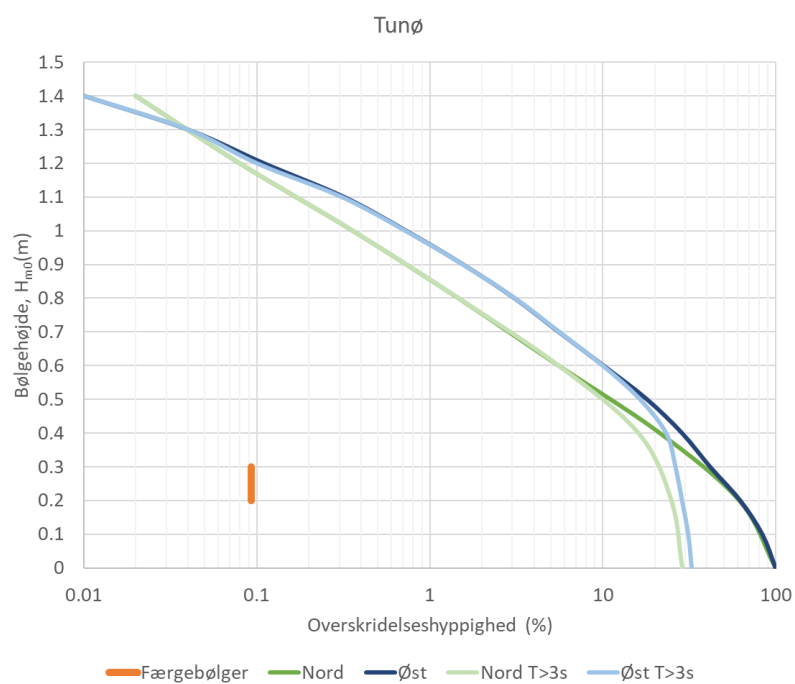
Derfor konkluderes det, at færgebølgernes indvirkning på kysternes erosionsforhold, sedimenttransport og morfologi er ubetydelig.



Figur 4.38 Overskridelsessandsynlighed (%) for bølgehøjder ved Sælvig. Naturligt forekommende bølger samt færgebølger. For de naturligt forekommende bølger er en signifikante bølgehøjde vist. For færgebølgerne er den maksimale bølgehøjde vist.



Figur 4.39 Overskridelsessandsynlighed (%) for bølgehøjder ved kysten nord for Århus havn. Naturligt forekommende bølger samt færgebølger. For de naturligt forekommende bølger er en signifikante bølgehøjde vist. For færgebølgerne er den maksimale bølgehøjde vist.



Figur 4.40 Overskridelsessandsynlighed (%) for bølgehøjder nord hhv. øst for Tunø. Naturligt forekommende bølger samt færgebølger. For de naturligt forekommende bølger er en signifikante bølgehøjde vist. For færgebølgerne er den maksimale bølgehøjde vist.