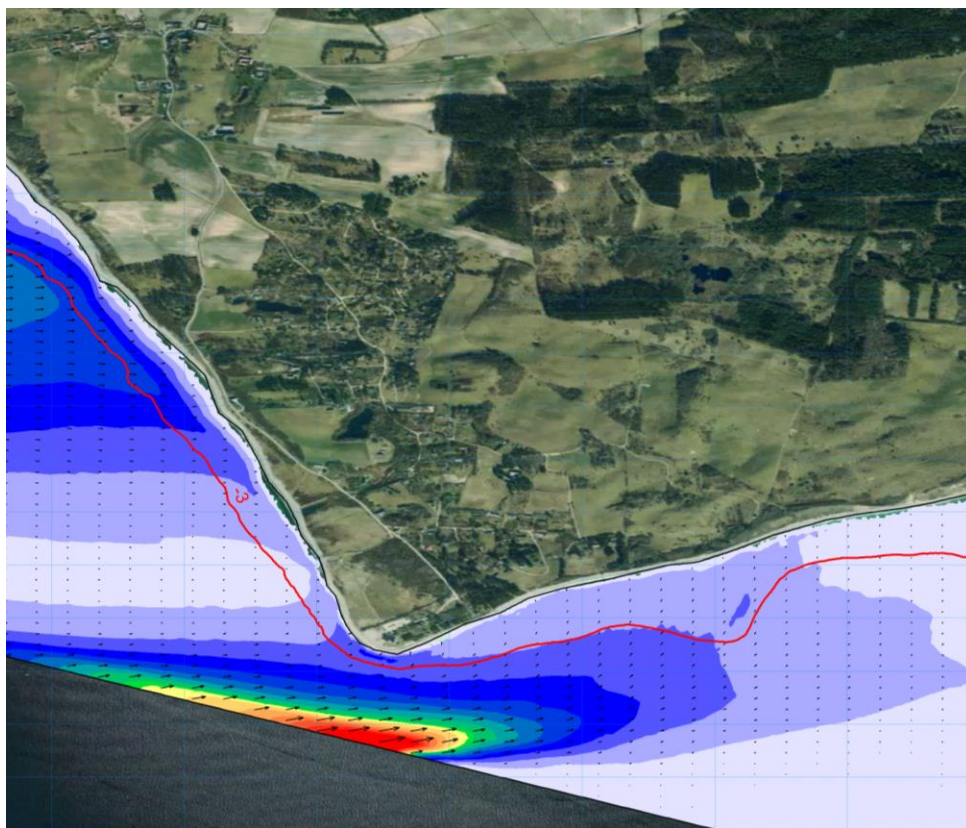


Beregning af bølger fra Molslinjens færger ved Sletterhage ved alternativ nordlig rute

Rapport
Projektnr. 22005031

12 Juni 2024

Udarbejdet for WSP Danmark A/S



Beregning af bølger fra Molslinjens færger ved Sletterhage ved alternativ nordlig rute

Rapport

WSP Danmark A/S Projektnr. 22005031

Udarbejdet for: WSP Danmark A/S

Repræsenteret ved: Sanne Kjellerup

Kontaktperson:	Peter Sloth, prs@dhigroup.com
Projektleder:	Peter Sloth
Kvalitetsansvarlig:	Jesper Ulrik Fuchs
Udarbejdet af:	Peter Sloth
Projektnr.:	11831473
Godkendt af:	Jesper Ulrik Fuchs
Godkendelsesdato:	12 juni 2024
Revision:	Final 1.0

11831473-Bølger fra Molslinjens færger ved Sletterhage

Indholdsfortegnelse

1	Indledning.....	1
2	Grundlag for undersøgelsen	2
2.1	Hurtigfærgerne	2
2.2	Navigationsforhold	2
2.3	Tilladelig bølgehøjde på 3 m vanddybde	3
3	Analyse af bølgeforhold langs ruten	4
3.1	Bølgegenerering og -henfald	4
3.2	Modellering af bølgetransformation og -henfald langs rute.....	4
3.3	Opstilling af modeller	4
4	Resultater	6
4.1	Bølgehøjder på 3m vanddybde	6
4.2	Konklusion	8
5	Referencer	1

Contents

1	Indledning.....	1
2	Grundlag for undersøgelsen	2
2.1	Hurtigfærgerne	2
2.2	Navigationsforhold	2
2.3	Tilladelig bølgehøjde på 3 m vanddybde	3
3	Analyse af bølgeforhold langs ruten	4
3.1	Bølgegenerering og -henfald	4
3.2	Modellering af bølgetransformation og -henfald langs rute.....	4
3.3	Opstilling af modeller	4
4	Resultater	6
4.1	Bølgehøjder på 3m vanddybde	6
4.2	Konklusion	8
5	Referencer	1

Figurer

Figur 1.1	Nuværende (grøn) og alternativ (gul) rute ved passage af Sletterhage. Fra [1]	1
Figur 2.1	Alternativ nordlig rute. Fra [1]	2
Figur 3.1	Eksempel på model-batymetri.....	5
Figur 3.2	Eksempel på modelopløsning	5
Figur 4.1	Beregnete bølgehøjder (m). Vektorer angiver bølgeretningen	6
Figur 4.2	Beregnete bølgehøjder (m) . Vektorer angiver bølgeretningen	7
Figur 4.3	Beregnete bølgehøjder (m) . Vektorer angiver bølgeretningen	7
Figur 4.4	Beregnete bølgehøjder (m). Vektorer angiver bølgeretningen	8

Tabeller

Tabel 2.1	Færgedimensioner	2
Tabel 2.2	Ruteplan	3

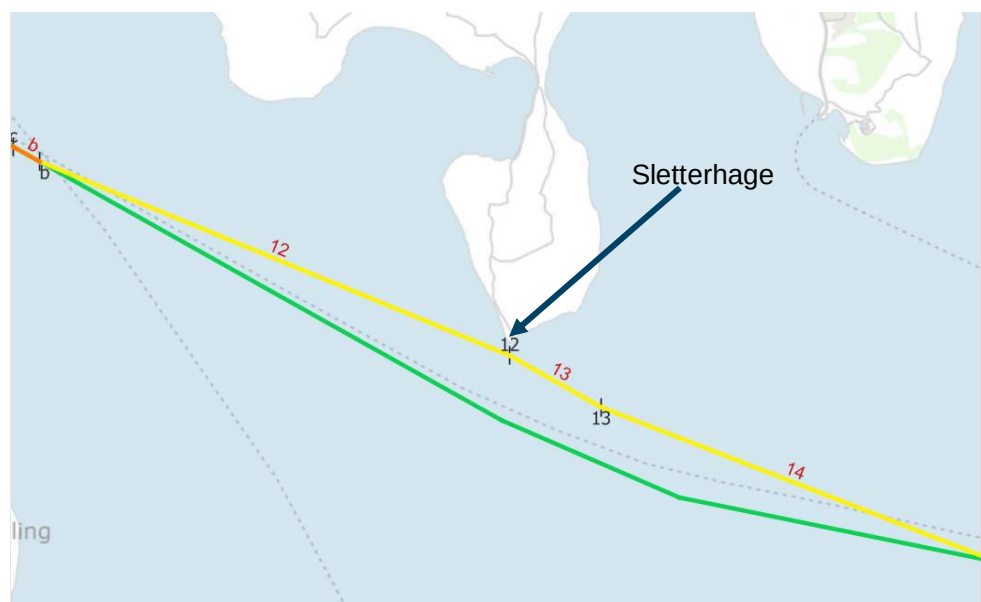
1 Indledning

Molslinjen ønsker at benytte en alternativ rute for sine hurtigfærger på strækningen mellem Odden og Århus. På den alternative rute sejles med en lavere fart end på den nuværende rute, og på den alternative rute sejles der tættere på Sletterhage. Derfor har WSP DANMARK A/S, på vegne af Molslinjen, anmodet DHI A/S om beregning af bølgeforholdene på 3m vanddybde ved Sletterhage til brug for myndighedsgodkendelse for den ny alternative færgerute.

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

Ruten vil blive benyttet af de tre færger: Express 2, Express 3 og Express 4.

Den nuværende og den alternative rute er vist på Figur 1.1.



Figur 1.1 Nuværende (grøn) og alternativ (gul) rute ved passage af Sletterhage. Fra [1]

På den nuværende rute sejles der med en fart på max. 42 knob, mens der på den alternative rute sejles med max. 24 knob.

2 Grundlag for undersøgelsen

2.1 Hurtigfærgerne

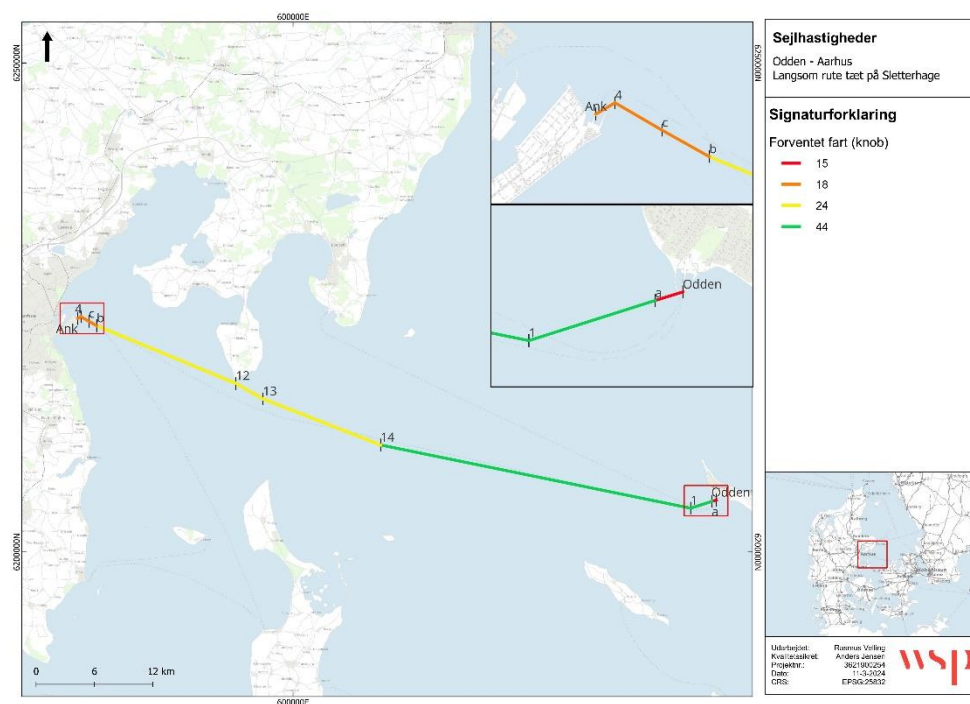
Ruten vil blive benyttet af de tre færger: Express 2, Express 3 og Express 4. Færgernes hoveddimensioner er angivet i Tabel 2.1. Det ses, at forskellene mellem de tre færger er marginale, hvorfor resultaterne præsenteres i denne rapport anses gældende for alle tre færger.

Tabel 2.1 Færgedimensioner

Dimension	Express 2	Express 3	Express 4
Længde, overalt	112,6m	109,4m	109,0m
Længde, vandlinje	105,6m	103,2	105,0
Bredde	30,5m	30,5m	30,9m
Dybgang	3,5m	3,5m	3,4m

2.2 Navigationsforhold

Nærværende undersøgelse er gennemført for det alternative ruteforløb – se Figur 1.1 og Figur 2.1. Alene strækningen tæt ved Sletterhage er medtaget i undersøgelsen.



Figur 2.1 Alternativ nordlig rute. Fra [1]

Tabel 2.2 Ruteplan

Nærværende undersøgelser inkluderer alene strækningen tæt på Sletterhage, dvs. den østlige del af WPb-WP12 samt WP12-WP13.

WP	Lat.	Long.	Distance (sm)	Forventet fart (knob)
Odden	55° 58.30 N	11° 17.96 Ø	0.26	15
a	55° 58.23 N	11° 17.50 Ø	1.23	33-44
1	55° 57.90 N	11° 15.40 Ø	17.56	33-44
14	56° 01.88 N	10° 44.95 Ø	7.01	24
13	56° 04.58 N	10° 33.42 Ø	1.73	24
12	56° 05.46 N	10° 30.77 Ø	8.36	24
b	56° 08.80 N	10° 17.08 Ø	0.5	18
c	56° 09.05 N	10° 16.31 Ø	0.5	18
4	56° 09.31 N	10° 15.54 Ø	0.53	18
Ank	56° 09.210 N	10° 15.22 Ø		

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

For en karakteristisk bølgeperiode på 6,5 s, svarende til en sejlhastighed, V_s , på 24 knob, vil den tilladelige maksimale bølgehøjde på 3 m vanddybde være **$H_{max} = 0,42$ m.**

3 Analyse af bølgeforhold langs ruten

3.1 Bølgegenerering og -henfald

Sammenhængen mellem færgernes fart, vanddybde og den maksimale genererede bølgehøjde er tidligere blevet beregnet udfra bl.a. målinger og CFD beregninger (bl.a. [2] og [3]). De beregnede bølger vurderes at repræsentere de største bølge, som genereres af de tre færger.

Som følge af, at bølgerne har en endelig udstrækning, 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.

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.

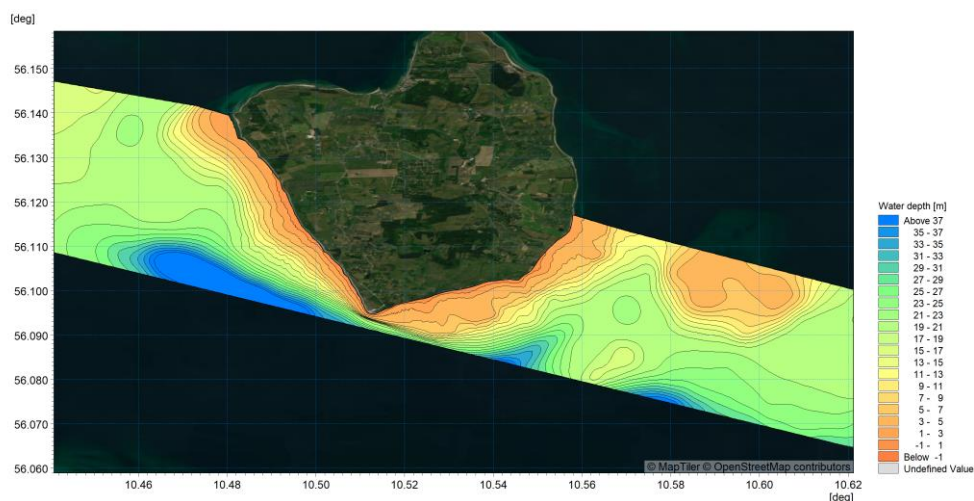
MIKE 21 SW er en spektral bølgemodel, som beskriver en række af de vigtigste fysiske processer, som påvirker bølgerne under deres udbredelse fra sejlruen ind til kysten. Refraktion, shoaling og bølgebrydning er således inkluderet. Bundfriktion er ikke medtaget i simuleringerne, hvilket betyder, at resultaterne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

3.3 Opstilling af modeller

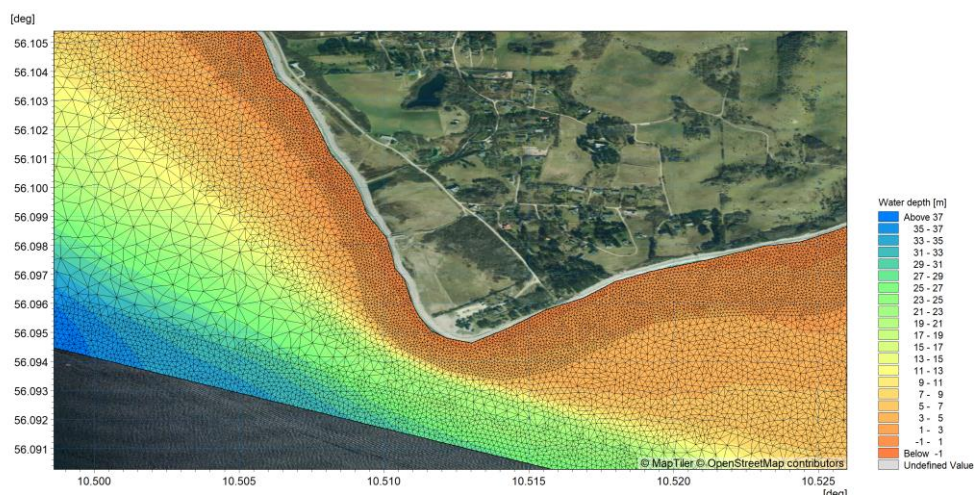
Baseret på digitale søkort samt data baseret på satellitdata/billeder blev der opstillet modeller til beregning af bølgeudbredelsen fra sejlruen.

Det er alene strækningen tæt på Sletterhage, som er inkluderet i denne undersøgelse, idet bølger fra de øvrige strækninger vurderes ikke at nå Sletterhage med nogen nævneværdig bølgehøjde.

Der er opstillet separate modeller for delstrækningerne mellem WPb-WP12 og WP12-WP13. Figur 3.1 viser et eksempel på modelområde og dybdeforhold, og Figur 3.2 viser eksempel på den anvendte modelopløsning.



Figur 3.1 Eksempel på model-batymetri
Dybder ift. DVR90. Anvendt til modellering af strækningen WPb-WP12.



Figur 3.2 Eksempel på modelopløsning
Anvendt til modellering af strækningen WPb-WP12.

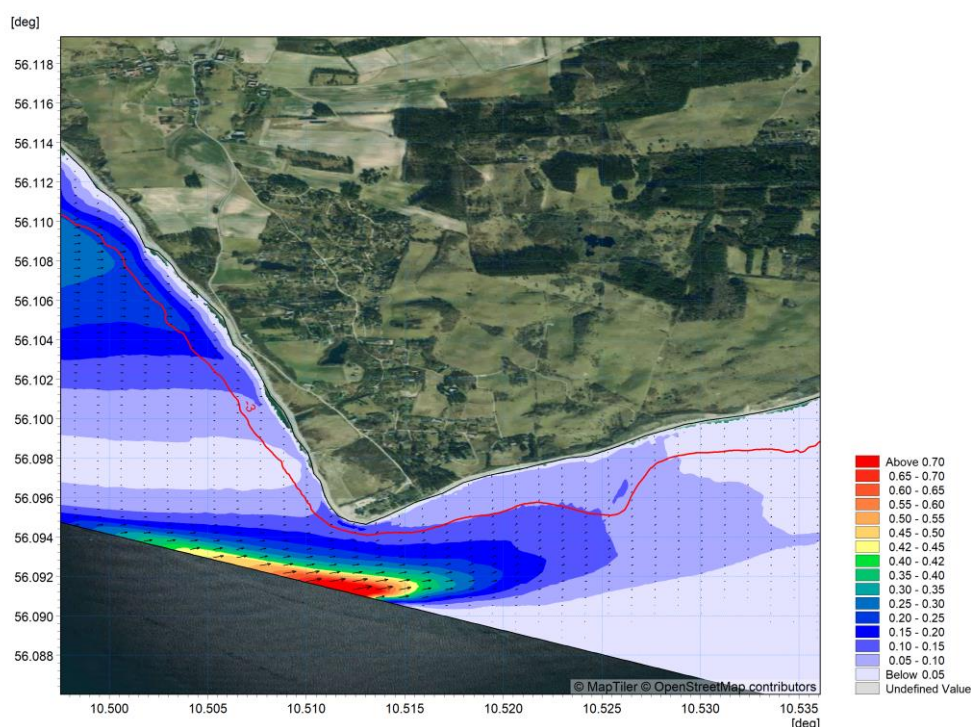
4 Resultater

I det følgende er resultater af bølgeberegningerne præsenteret som plot af bølgehøjderne under transmissionen fra sejlrueten ind mod land til 3 m dybde-konturen.

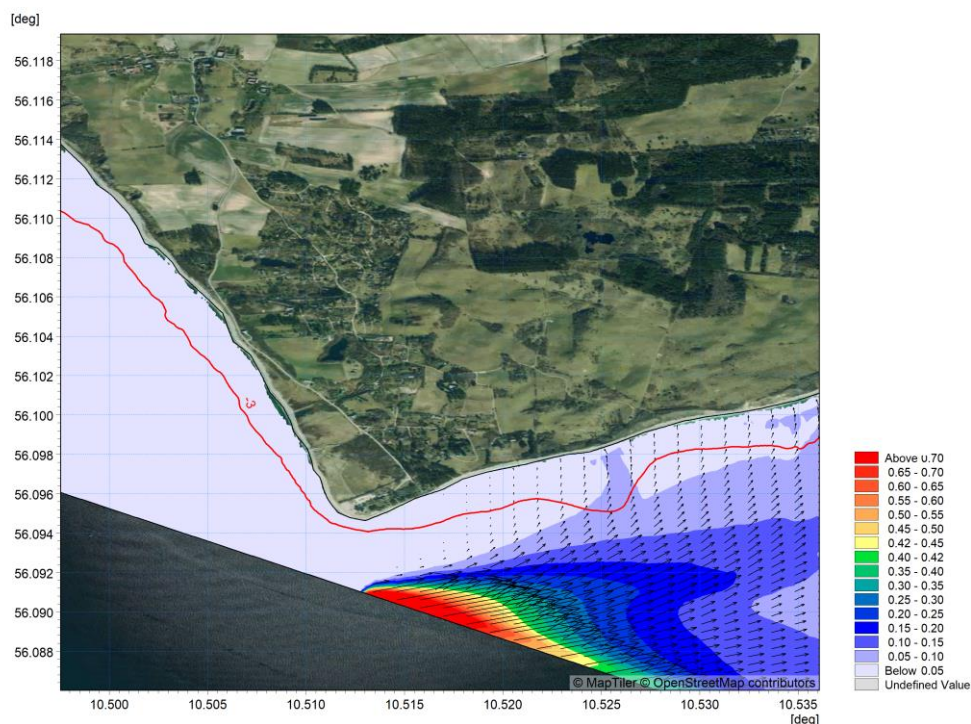
4.1 Bølgehøjder på 3m vanddybde

Resultaterne af bølgemodelleringen er vist på Figur 4.1 - Figur 4.4.

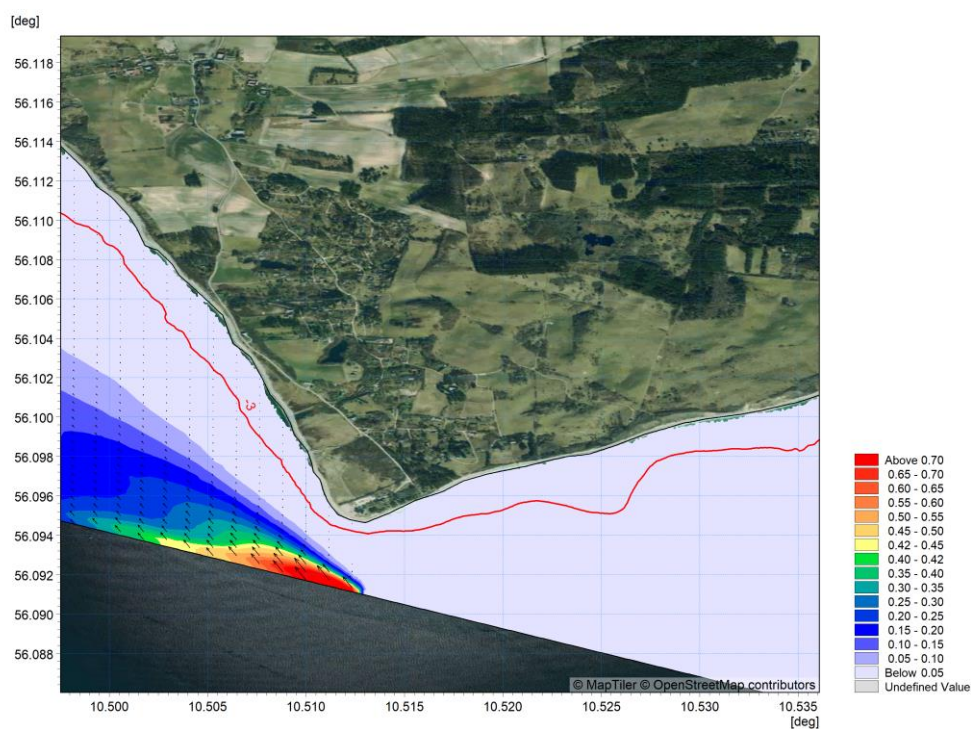
Som beskrevet i afsnit 3.2, er den tilladelige bølgehøjde på 3m vanddybde med den aktuelle sejlhastighed på 24kn 0,42m. I de følgende figurer svarer denne bølgehøjde til overgangen fra grøn til gul i farveskalaen. 3m-dybdekonturen er markeret som en rød streg på figurerne



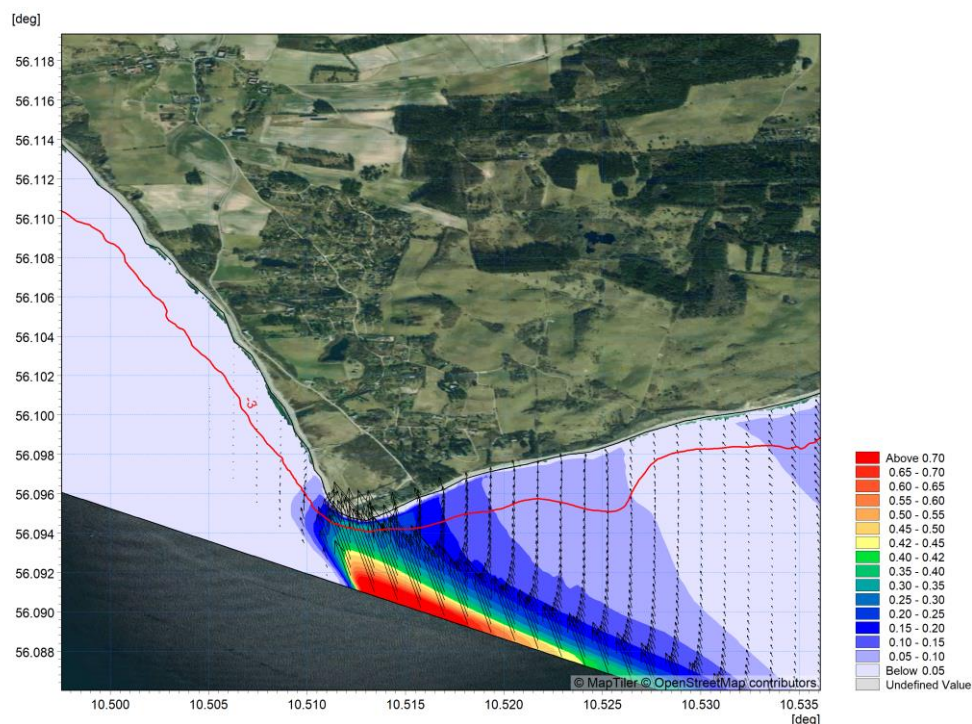
Figur 4.1 Beregnede bølgehøjder (m). Vektorer angiver bølgeretningen Strækningen WPb-WP12. Østgående kurs. Fart: 24kn. 3m-dybdekonturen er markeret med rødt.



Figur 4.2 Beregnede bølgehøjder (m) . Vektorer angiver bølgeretningen Strækningen WP12-WP13. Østgående kurs. Fart: 24kn. 3m-dybdekonturen er markeret med rødt.



Figur 4.3 Beregnede bølgehøjder (m) . Vektorer angiver bølgeretningen Strækningen WP12-WPb. Vestgående kurs. Fart: 24kn. 3m-dybdekonturen er markeret med rødt.



Figur 4.4 Beregnede bølgehøjder (m). Vektorer angiver bølgeretningen
Strækningen WP13-WP12. Vestgående kurs. Fart: 24kn. 3m-
dybdekonturen er markeret med rødt.

4.2 Konklusion

De gennemførte beregninger viser, at bølgehøjde-kriteriet på 3m vanddybde ikke forventes overskredet med den alternative rute- og fartplan.

5 Referencer

- [1] WSP, »Lavere fart og alternativ rute på Odden-Århus ruten: Konsekvenser for bølger, sediment og kystmorfologi og miljø.,« 2024.
- [2] DHI, »Assessment of Wake Wash Height along the Routes Ebeltoft-Sj. Odde and Aarhus-Sj. Odde caused by HSC Incat 112 Hull #066 Ferry,« DHI, 2012.
- [3] ORBICON, »Modellering af kølvandsbølger fra Molslinjens hurtigfærge Express 4 på ruten Aarhus-Odden-retur,« 2019.
- [4] ORBICON, »Kølvandsbølger fra ny hurtigfærge KatExpress 3,« 2016.