

PÅVIRKNING AF KYSTMORFOLOGI VED RØNNE FRA HURTIGFÆRGEN EXPRESS 5

MAJ 2022



Projektnavn	Kystmorfologi notat Rønne
Kunde	Molslinjen
Projektleder	Sanne Kjellerup
Projektnummer	22000899
Til	Kystdirektoratet
Udarbejdet af	Sebastian Westh
Kvalitetssikret af	Anders Jensen
Godkendt af	Lea Bjerre Schmidt
Version	1
Versionsdato	31-05-2022
Første udgivelsesdato	

FORORD

Nærværende notat er et tillæg til rapporten ”Vurdering af miljømæssige påvirkninger på Natura-2000 områder på ruten Rønne-Ystad ved indsættelse af den ny hurtigfærge Express 5 (H423)”.

I forbindelse med ansøgningen om drift af den nye hurtigfærge Express 5 på ruten mellem Rønne og Ystad, har WSP fået til opgave at udarbejde en vurdering af eventuelle påvirkninger forårsaget af hurtigfærgen på kystmorfologien ved kysten omkring Rønne. Formålet med nærværende notat er at fremlægge denne vurdering.

INDHOLD

FORORD.....	3
1 INTRODUCTION	5
2 KYSTEN VED RØNNE	6
3 VINDGENEREREDE BØLGER.....	9
4 FÆRGEGENEREREDE BØLGER	11
4.1 Kølvandsbølger fra Express 5.....	11
4.2 Tværtransport	13
4.3 Langstransport	13
5 SAMMENLIGNING AF BØLGER I RELATION TIL MORFOLOGI.....	15
6 KONKLUSION	17
7 REFERENCER	18

1 INTRODUKTION

Hurtigfærger udgør en vigtig del af den danske infrastruktur, og binder landsdelene sammen.

Kølvandsbølger fra hurtigfærger har vist sig at have væsentlige påvirkninger på de kystmorfologiske forhold flere steder i verden (Parnell & Kofoed-Hansen, 2001; Soomere, 2005), hvorfor potentielle påvirkninger bør vurderes i forbindelse med sejlads.

Kølvandsbølger fra hurtigfærger har en væsentlig længere periode end både naturligt forekomne bølger og kølvandsbølger fra andre skibe i dansk farvand. I områder der har lav eksponeringsgrad, hvor den naturlige bølgeenergi er begrænset, kan færgegenererede bølger stå for en markant del af transporten af sediment og dermed ændre kystmorfologien (Kirkegaard, 1998). Afhængig af de eksisterende forhold kan dette både resultere i erosion og aflejring (Kirkegaard, 1998; Parnell et al., 2007; Soomere, 2005).

I nærværende notat undersøges det eksisterende bølgeklima ved Rønne med henblik på at sammenligne de naturligt forekomne vindgenererede bølger med de færgegenererede kølvandsbølger. På baggrund heraf vurderes potentielle påvirkninger fra hurtigfærger på de kystmorfologiske forhold ved kysten nord og syd for Rønne.

2 KYSTEN VED RØNNE

Den undersøgte kyststrækning strækker sig fra ca. 10 km nord for Rønne forbi Hasle til ca. 3-4 km sydøst for Rønne til sommerhusområdet Stampen (Fig. 1). Undersøgelsesområdet tager afsæt i det område, der blev lavet bølgemodellering for i forbindelse med dokumentation af færgens overholdelse af søfartsstyrelsens lovkrav til maksimum bølgehøjder forårsaget af færgen, og som er rapporteret i "Wake wash study, Express 5" (WSP, 2022). Kølvandsbølgerne fra hurtigfærgen vil nord og syd for dette område have begrænset størrelse grundet bølgediffraktion.

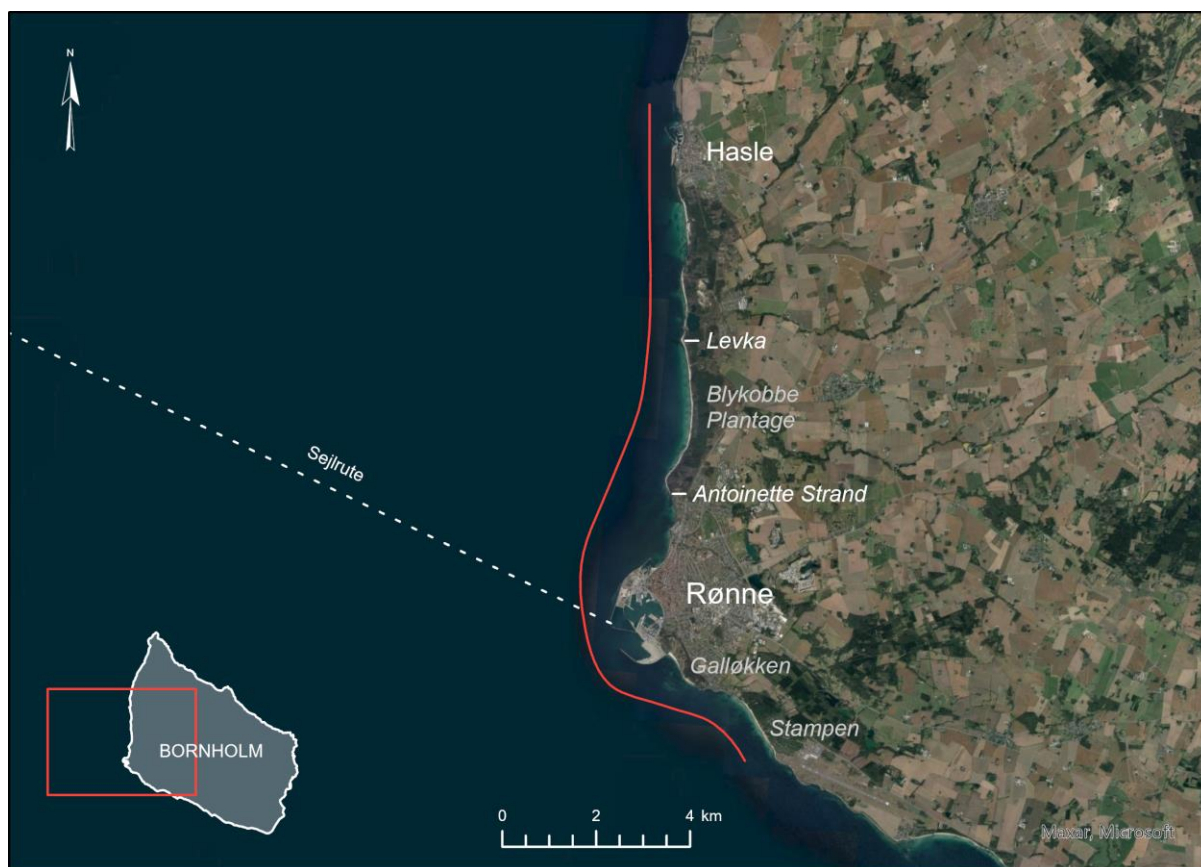
Kysten nord for Rønne består overvejende af ca. 15-20 m bred sandstrand med bagvedliggende klitter og underliggende geologiske lag fra juratiden, der visse steder langs kysten kan ses blotlagt på strandplanet eller som rev under daglig vande i brændingszonen. Hele området mellem Rønne og Hasle har tidligere været præget af sandflugt, og vidner om områdets eksponerede karakter. Området er i dag primært tilgroet, som det ses ved f.eks. Blykobbø Plantage (Naturstyrelsen, 2022). Selve den kyststrækning, der ligger ud for den nordlige del af Rønne by er overvejende klinter, der i de fleste tilfælde er sikret med skråningsbeskyttelse, og med kun få steder, hvor der er en egentlig strand til stede.

Kysten umiddelbart syd for Rønne havn, Galløkken, består af sandstrand med høfder, med en bagvedliggende ca. 10 m høj klint med geologiske lag fra juratiden. Sydøst her for er der en strækning på ca. 1 km med skråningsbeskyttelse uden egentlig sandstrand, hvorefter området ved Stampen består af en ca. 15-20 bred sandstrand.

Hele strækningen er med de vestvendte kyster udsat for et højt energiniveau med mulighed for store bølger og kraftige vinde.

Kystlinjen på strækningen har været relativt stabil de sidste mange årtier, dog har der været en moderat til stor kronisk erosion ved klinterne nord og syd for Rønne, som er blevet bremsset af høfder og skråningsbeskyttelse. Ved Blykobbø Plantage samt nord her for mod Hasle har der været større områder med fremrykning af kysten på 0-20 cm/år, desuden en lille til moderat erosion visse steder. Ved Stampen har tilbagerykningen været lille til moderat med ca. 5 cm/år (Kystatlas, 2022).

Nord for Rønne er der en netto sedimenttransportretning mod nord, mens der syd for Rønne er en netto sedimenttransportretning mod syd (Kystatlas, 2022).



Figur 1. Oversigtskort over undersøgelsesområdet (orange linje) på Bornholm.



Figur 2. Billede taget ud for Blykobbe Plantage ved Levka med retning mod syd med Rønne i horisonten. Billedet blev taget d. 8. april 2022 ved stiv kuling og med en bølgehøjde på ca. 2,7 m.

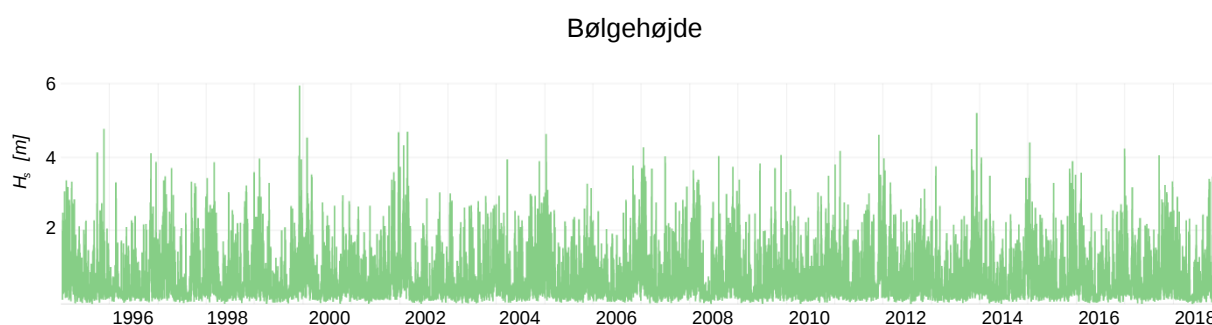


Figur 3. Billede fra taget fra klint ud for det nordlige Rønne ved Antoinette Strand med retning mod nordvest. Billedet blev taget d. 8. april 2022 ved stiv kuling og med en bølgehøjde på ca. 2,7 m. Længst væk i billedet kan det ses, at bølgerne bryder som følge af Hvideodde Rev.

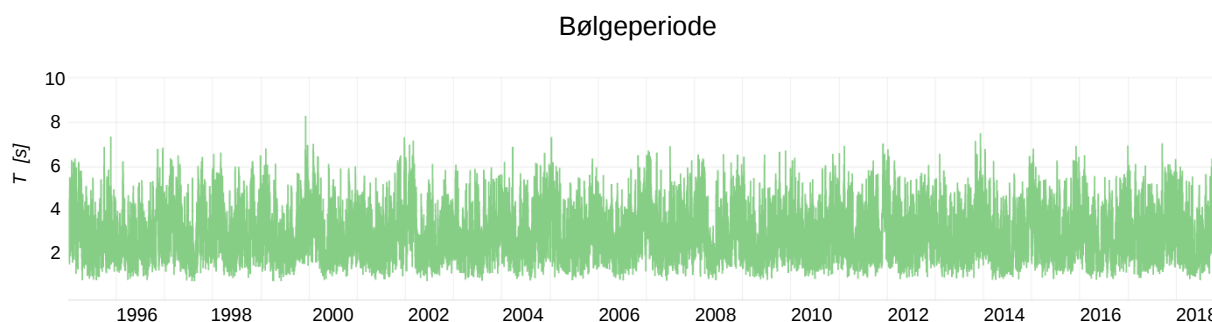
3 VINDGENEREREDE BØLGER

Som følge af et langt frit stræk samt kraftige og hyppige vinde fra vest er eksponeringsgraden ved Rønne stor med relativt høje bølger. Bølge bliver ofte over 2 m, og der registreres mere eller mindre årligt signifikante bølgehøjder op mod 4 m. Ved enkelte events kan den signifikante bølgehøjde komme op på 5-6 m (Fig. 4). 25 % af tiden er bølgehøjden større end 1 m. Typiske bølgeperioder ligger på mellem 2-6 s (Fig. 5). Både de højeste og hyppigste bølger kommer fra vest og vest-syd-vest (Fig. 6).

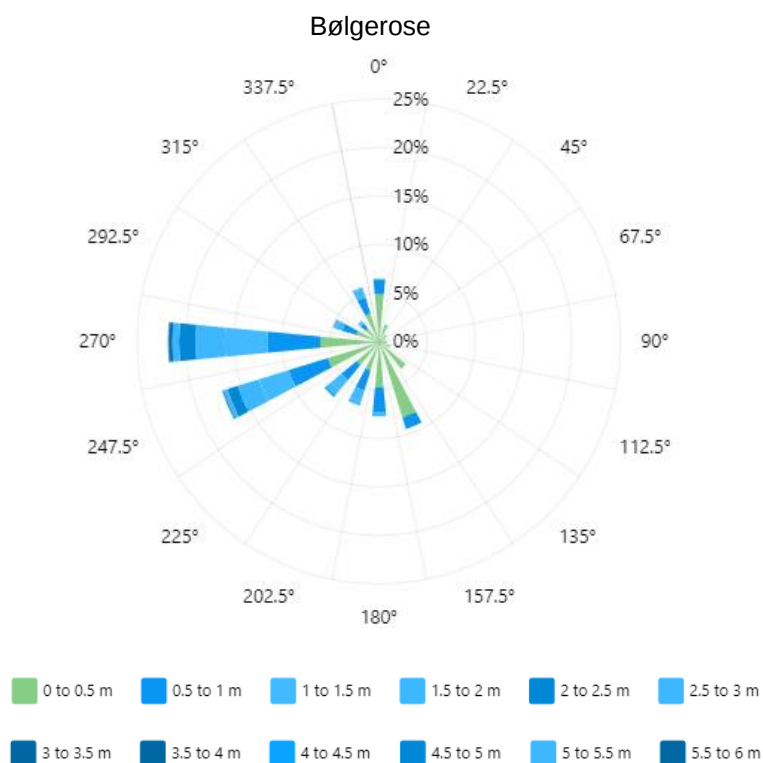
De vindgenererede bølger påvirker bunden, skaber vandbevægelse og transporterer sediment til en vis dybde, hvorefter bølger kun har begrænset effekt på de kystmorfologiske forhold. Denne dybde betegnes den aktive dybde, og defineres ved hvor bunden ikke væsentligt ændrer form. Ved Bornholm er den aktive dybde ca. 4,3 m (DHI, Hasløv & Kjærsgaard, 2015).



Figur 4. Modelleret signifikant bølgehøjde [m] umiddelbart vest for Rønne ved en dybde på ca. 15 m. Kilde: Metocean-on-demand (2022).



Figur 5. Modelleret gennemsnits bølgeperiode [s] umiddelbart vest for Rønne ved en dybde på ca. 15 m. Kilde: Metocean-on-demand (2022).



Figur 6. Bølgerose med modelleret signifikant bølgehøjde [m] fordelt på retning. umiddelbart vest for Rønne ved en dybde på ca. 15 m. Kilde: Metocean-on-demand (2022).

4 FÆRGEGENEREREDE BØLGER

Hurtigfærger som Express 5 med en servicefart på omkring 40 knob vil generere kølvandsbølger. Hurtigfærgerne genererer oftest bølger med længere bølgelængder og bølgeperioder end de konventionelle færger genererer. Bølgerne fra hurtigfærger, som Express 5 og øvrige lignende hurtigfærger (Express 1, 2, 3, 4 og Max Mols) vil ved servicefarten på omkring 40 knob typisk bestå af tre bølgegrupper, som har bølgeperioder på henholdsvis 7-10 s, 4-5 s og 2-3 s. Kølvandsbølgernes bølgeperiode og bølgehøjde afhænger af hurtigfærgens størrelse, hastighed og vanddybden.

I forbindelse med godkendelsen af driften af Express 5 på ruten Rønne – Ystad, har WSP udført modellering af færgens kølvandsbølger. Modelarbejdet er udført på vegne af Austal Ships PTY Limited som har bygget og leveret Express 5. Bølgemodelleringen er udført i overensstemmelse med Bekendtgørelse nr. 307 af 1.05.1997, hvoraf det fremgår at rederiet skal opfylde krav til den maksimale bølgehøjde som de færgeskabte bølger kan nå på 3 meters vanddybde ud for kysten. Modelleringen er gennemført med brug af MIKE modellen fra DHI A/S som er et anerkendt modelværktøj for den slags arbejde.

Modelberegningerne er gennemført for en række færehastigheder langs ruten fra færgen forlader Rønne med kurs mod Ystad til bølgerne ikke længere når de danske kyster samt for ankomst fra Ystad til anløb af Rønne Havn. Ved modelberegningerne er anvendt typiske hastigheder for færgen samt hastigheder som giver de største mulige kølvandsbølger. Bølgemodelleringen viser at Express 5 ikke genererer bølger som overskrider myndighedernes krav nogen steder på den danske kyst.

4.1 KØLVANDSBØLGER FRA EXPRESS 5

Express 5 vil generere kølvandsbølger ved ankomst og afgang fra Rønne Havn. Fra modellering af kølvandsbølgerne er det vist, at det primært er ruten med ankomst til Rønne, der vil generere bølger, der bevæger sig mod land. Ruten med afgang fra Rønne vil generere bølger, der overvejende bevæger sig væk fra kysten. I relation til påvirkninger på kystmorfologien, er ruten med afgang fra Rønne derfor af minimal betydning.

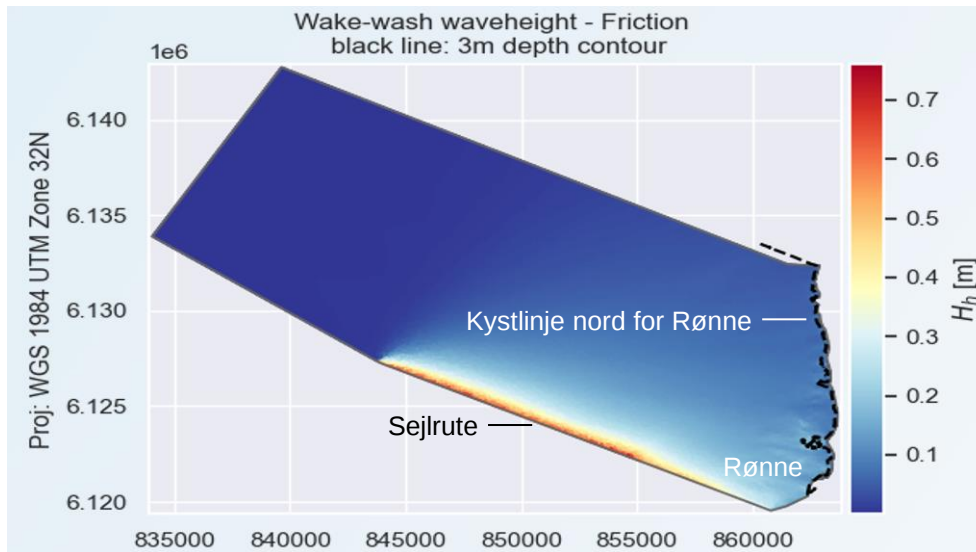
Med ankomst til Rønne vil de færgenerede bølger opleves som et bølgetog, der varer 5-10 min. Som nævnt ovenfor, vil bølgetoget først bestå af 5-10 regelmæssige langperiode bølger (Fig. 7), efterfulgt af bølger med kortere perioder. Modellering har vist, at retningen er tæt på at være rent østgående. Det er bølger med lang periode, der i højere grad har potentiale til at transportere sediment, hvorfor bølger med kort periode er mindre relevante i forhold til de kystmorfologiske forhold.

Fra modellering af kølvandsbølger vides, at den maksimale bølgehøjde vil være 0,5-0,6 m, mens bølgeperioden maksimalt vil være ca. 12-13 s. Overordnet er bølgerne størst tættest på sejlruten, hvorefter bølgehøjden falder eksponentielt med afstanden til sejlruten (Kirkegaard et al., 1998). Når bølgerne bevæger sig længere ind mod kysten, vil der ske diffraktion og refraktion, som vil reducere bølgehøjden til ca. 0,25-0,3 m med samme periode ved 3-m dybdekurven (Fig. 8). Når bølgerne bevæger sig ind på lavere vand, vil bølgerne i højere grad blive påvirket af friktion fra bunden og bølgerne vil blive asymmetriske, og der vil ske en shoaling-effekt. Dette medfører at hastigheden falder, og bølgehøjden bliver forøget. Som hovedregel vil bølgerne bryde når dybden er 1,3 gange bølgehøjden. På en kyst med en lav hældning vil de færgenererede bølger bryde forholdsvis langt ude f.eks. over en revle, men langs kysten ved Rønne, vil bølgerne i de fleste tilfælde først bryde forholdsvis tæt på land grundet en lidt højere hældning på strandplanet. Baseret på erfaring vil dette ofte være som styrtbrænding.

De færgenererede bølger vil som regel have et større opskyl på stranden end tilsvarende vindgenererede bølger med samme bølgehøjde.



Figur 7. Eksempel på færgenererede kølvandsbølger fra hurtigfærge på forholdsvis lavt vand på ruten mellem Sjællands Odde og Århus. Bølgerne har en lang periode på omkring 10 s. Dronebillede taget ved Skødshoved d. 16. maj 2022.



Figur 8. Eksempel på bølgemodellering af bølgehøjder ved kysten nord for Rønne på ruten Ystad – Rønne med en servicefart på 40 knob. Figur fra "Wake wash study, Express 5".

4.2 TVÆRTRANSPORT

Når færgebølgerne bevæger sig fra dybt vand ind mod kysten, vil bølgerne skabe en symmetrisk frem- og tilbagegående vandbevægelse ved henholdsvis bølgetop og bølgetrug, som aftager ned igennem vandsøjlen. De færgegenererede bølger med lang periode vil have potentiale til lige akkurat at sætte den fineste sandfraktion (0,7-1,0 mm) i bevægelse på 5 m dybt vand.

Når bølgerne kommer ind på lavere vand før de bryder, vil den indadgående vandbevægelse være større end den udadgående grundet bølgenes asymmetri. Forudsat at sedimentet kan sættes i bevægelse ved bunden af vandbevægelsen, resulterer dette i en netto indadgående sedimenttransport mod land.

Under normale omstændigheder med brydende vindgenererede bølger vil der blive skabt en udadgående strøm, den såkaldte understrøm. Denne understrøm når ikke at blive udviklet under passage af de færgegenererede bølger pga. den relativt korte varighed af bølgetoget. Returløbet sker først efter bølgetoget har passeret. Selv ved brydende færgegenererede bølger vil der derfor være en netto indadgående sedimenttransport (Kirkegaard et al., 1998).

4.3 LANGSTRANSPORT

Ved vindgenererede bølger med en ikke vinkelret retning på kysten, vil der blive skabt en kystparallel strøm i brændingszonen. Denne strøm når ikke at blive etableret under de relativt korte bølgetog med de færgegenererede bølger. Derimod kan der i opskylszonen ske en transport af sediment parallelt med kysten ved bølgenes skrå zigzag bevægelse i opskylszonen. Det er dog alment kendt, at kun en

mindre del af den kystparallelle sedimenttransport sker i opskylszonen og langt den største del af langstransporten sker i brændingzonen, hvorfor kystparallel sedimenttransport forårsaget af færgeregnerede bølger er minimal (Kirkegaard et al., 1998).

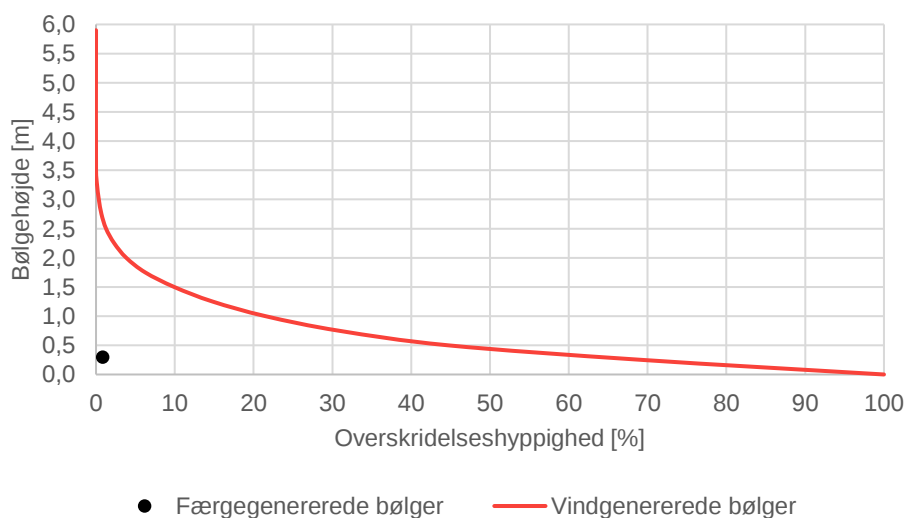
5 SAMMENLIGNING AF BØLGER I RELATION TIL MORFOLOGI

De færgenererede bølger vil have længere bølgeperiode end de vindgenererede bølger. Naturligt forekommende vindgenererede bølger med samme periode ses kun i de større oceaner som dønninger. Færgenererede bølger med tilsvarende bølgehøjder som de vindgenererede bølger vil dermed have et større transportpotentiale end de vindgenererede bølger pga. den længere periode, der især gør sig gældende på lidt dybere vand på mere end et par meters dybde.

De færgenererede bølger vil som beskrevet have en indadgående sedimenttransport og dermed en overordnet opbyggende effekt. De vil have tendens til at gøre kystprofilet stejlere og aflejre sediment i opskylszonen (Kirkegaard et al., 1998).

Ved kyster der har en lav eksponeringsgrad, kan de færgenererede bølger have væsentlig påvirkning på kystmorfologien (DHI, Hasløv & Kjærsgaard, 2015; Kirkegaard, 1998). Der er eksempler på både aflejring og erosion forårsaget af færgenererede bølger fra hurtigfærger (International Navigation Association, 2015).

De færgenererede bølgehøjder ved Rønne overgås dog betragteligt af de vindgenererede bølgehøjder, der ca. 75 % af tiden er større end 0,25 m (Fig. 9). Fra Kirkegaard et al. (1998) vides det, at hvis bølgeklimate er domineret af vindgenererede bølger, hvilket må siges at være tilfældet ved Rønne, så er de opbyggende effekter ved de færgenererede bølger modsvaret af de naturligt forekommende vindgenererede bølger.



Figur 9. Overskridelseshyppighed for vind- og færgenererede bølgehøjder. De vindgenererede bølgehøjder er karakteriseret ved den signifikante bølgehøjde [H_s] på ca. 15 m dybde, mens de færgenererede bølger er karakteriseret ved den maksimale bølgehøjde H_{max} på 3 m dybde. Forskellen i karakterisering vurderes i denne sammenhæng at være uvæsentligt.

Nærværende vurdering er baseret på en sammenligning af bølgehøjder og hyppighed. Dog skal det bemærkes, at sammenhængen mellem bølgehøjde og sedimenttransport, og dermed kystmorfologien, er ikke-lineær. Sedimenttransporten er betinget af den indkomne bølgeenergi, der afhænger af bølgehøjden i minimum 2. potens.

Den samlede mængde energi i de vindgenererede bølger, overstiger dermed langt energien i de færgenererede bølger, og det må derfor vurderes, at de færgenererede bølger ikke har nogen væsentlig påvirkning på kystmorfologien ved Rønne.

6 KONKLUSION

Det kan konkluderes, at kølvandsbølger fra Express 5 ikke har nogen væsentlig påvirkning på kystmorfologien ved Rønne. Express 5 genererer flere typer bølger, hvoraf bølger med lang periode på op til 12-13 s og bølgehøjde på 0,25-0,30 m har størst potentiale til at transportere sediment. Transporten vil som udgangspunkt være rettet mod land. Bølger som disse vil dog forekomme under 1 % af tiden. Påvirkninger forårsaget af hurtigfærgens kølvandsbølger på kystmorfologien ved kysten omkring Rønne, vurderes til at være ubetydelig i forhold til de naturligt forekomne vindgenererede bølger, der medfører et højt energiniveau. Bølgerne er omkring 75 % af tiden over 0,25 m høje og under kraftige storme kan bølgehøjden nå op på 4-6 m. Den samlede mængde energi i de naturligt forekomne vindgenererede bølger overstiger langt energien i de færgenererede bølger.

7 REFERENCER

DHI, Hasløv & Kjærsgaard (2015): Kystdynamik og kystbeskyttelse Naturlige erosions- og oversvømmelsesprocesser – beskyttelsesmetoders virkning og økonomi. *Kystdirektoratet, Miljø- og Fødevareministeriet*.

International Navigation Association (2015): Guidelines for managing wake wash from high-speed vessels. *Report of Working Group 41 of the Maritime Navigation Commission*.

Kirkegaard et al. (1998): Wake wash of high-speed craft in coastal areas. *Coastal Engineering*.

Kystatlas (2022): Kystdirektoratets Kystatlas. *Kystdirektoratet, Miljøministeriet*. [Kystdirektoratets Kystatlas \(arcgis.com\)](https://kystatlas.arcgis.com/) Besøgt d. 20-05-2022.

Metoccean-on-demand (2022): Wave analytics. *DHI*. <https://www.metoccean-on-demand.com/>

Naturstyrelsen (2022): Historie – Blykobbe. *Naturstyrelsen, Miljøministeriet*. <https://naturstyrelsen.dk/naturoplevelser/naturguider/blykobbe/historie/> Besøgt 20-05-2022.

Parnell & Kofoed-Hansen (2001): Wakes from large high-speed ferries in confined coastal waters: Management approaches with examples from New Zealand and Denmark. *Journal of Coastal Management*, 29, 217-237.

Parnell, McDonald & Burke (2007): Shoreline effects of vessel wakes, Marlborough Sounds, New Zealand. *Journal of Coastal Research*.

Soomere (2005): Fast Ferry Traffic as a Qualitatively New Forcing Factor of Environmental Processes in Non-Tidal Sea Areas: A Case Study in Tallinn Bay, Baltic Sea. *Environmental Fluid Mechanics*.

WSP (2022): Wake wash study, Express 5. *WSP Danmark*.