

Uppskattning av fartygsvågor vid insegling till Slite hamn och deras inverkan på omgivande stränder

Bakgrund

Heidelberg Materials avser att öka sjötransporterna till sin anläggning i Slite innebärande att fler och större fartyg kommer att angöra företagets hamn där. Föreliggande rapport syftar till att bedöma storleken på de vågor fartygen genererar i samband med insegling till hamnen och deras inverkan på närliggande stränder. Förhållandena svarande mot nuläge, nollalternativ och sökt verksamhet beträffande sjötransporten diskuteras enligt förutsättningar givna av Heidelberg Materials (2024).

Rapporten innehåller följande delar: Först diskuteras kort de olika typer av vågor som fartyg genererar och de beräkningsmetoder som använts för att uppskatta deras egenskaper, främst våghöjd och vågperiod. Därefter anges beräkningsförutsättningarna samt resultaten för de tre studerade alternativen (*i.e.*, nuläge, nollalternativ och sökt verksamhet) följt av en jämförelse med storleken på de vindgenererade vågorna. Påverkan från fartygsvågorna på omgivande stränder diskuteras sedan varefter effekten av en muddring av inseglingsrännan på fartygsvågorna utvärderas. Slutsatserna från studien redovisas därefter.

Det bör påpekas att föreliggande rapport endast undersökt fartygsvågorna och deras effekt på omgivande stränder. Lokala effekter av fartygens propellerstrålar på botten har inte bedömts.

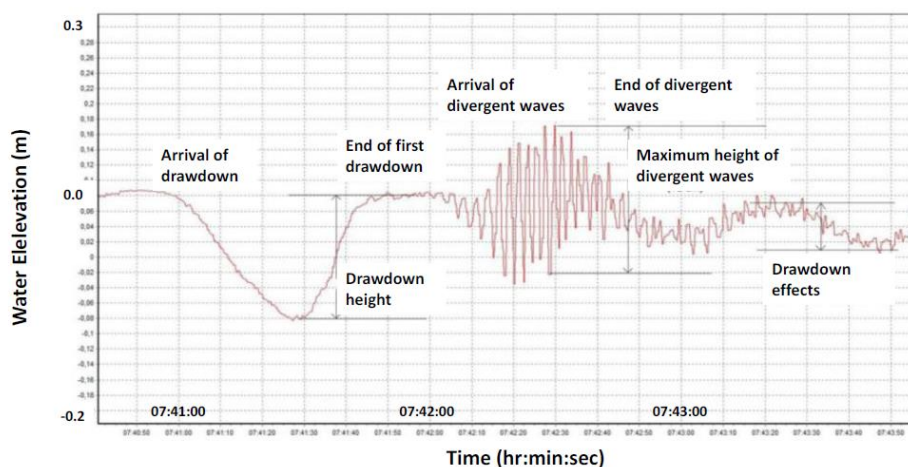
Fartygsvågor och deras storlek

Allmänt

Vid framdrift genererar ett fartyg olika typer av vågor som rör sig bort från fartyget och kan påverka närliggande stränder. Konventionella fartyg alstrar ett vågsystem som består av två typer av vågor med olika karaktär (Bertram, 2000), nämligen primära och sekundära vågor. De förra vågorna betecknas ofta som avsänkningsvågor, medan de senare utgörs av de vågor som genereras vid bogen (bogvågor) och vid aktern (häckvågor). Som exempel åskådliggör Figur 1 ett typiskt vågsystem som ett fartyg genererar in en begränsad farled.

Avsänkningsvågen bestäms av den vattenvolym fartyget undantränger vid framdrift och är relaterad till tryck- och hastighetsfördelningen längs fartygets skrov. Följaktligen är avsänkningsvågens längd approximativt lika med fartygets längd med vågtoppar svarande mot bogen och aktern. Avsänkningsvågen är av betydelse i begränsade farleder medan på öppet vatten är den försumbar.

Beträffande de sekundära vågorna dominerar normalt bogvågorna över häckvågorna; de senare avklingar också snabbare med avståndet från fartyget jämfört med de förra. På djupt vatten sprider sig bogvågorna från fartyget med en vinkel på cirka 35 grader från den kurs fartyget följer; denna vinkel tillsammans med fartygets hastighet bestämmer utbredningshastigheten hos bogvågorna.



Figur 1. Exempel på ett vågsystem genererat av ett fartyg i en begränsad farled där avsänkningsvågen ("drawdown") anländer först följt av de sekundära vågorna ("divergent waves") som domineras av bogvågorna (efter Larson *et al.*, 2017 och Granath, 2015).

Beräkningsmetoder

Det finns en rad olika metoder för att beräkna fartygsvågor, både för de primära och sekundära vågorna. För preliminära bedömningar används normalt analytiska/empiriska formler medan för mer detaljerade studier numeriska modeller utnyttjas (Almström *et al.*, 2021). Genom att använda de senare kan mer varierande input användas beträffande, till exempel, batymetri och fartygets karakteristika; dock är det svårt i numeriska modeller att samtidigt beskriva både primära och sekundära vågor eftersom de bestäms av olika tidsskalor (se Figur 1).

I föreliggande studie tillämpades analytiska/empiriska formler för att uppskatta vågornas egenskaper. Vad gäller avsnäkningsvågen användes uttryck från både USACE (2006) och Almström & Larson (2020) för att erhålla en uppskattning av hur mycket beräkningsresultaten kan variera beroende på de grundläggande antagandena, medan för de sekundära vågorna (bogvågen) formeln framtagen av PIANC (1987; se också Göransson *et al.*, 2013) tillämpades. Vad gäller avklingningen för bogvågen (*d.v.s.*, våghöjdens reduktion med avståndet från fartyget) utnyttjades den relation som Kriebel & Seelig (2005) tagit fram. För att bestämma approximativ storlek på de fartygsgenererade vågorna i denna undersökning bedöms att de använda formlerna ger tillräcklig noggrannhet.

De primära variablerna i formler för att bestämma avsnäkningsvågens höjd (s_D) och period (T_D) är fartygets hastighet, vattendjup och hur stor andel som fartyget upptar av farledens tvärsnittsarea (USACE, 2006). Ett begränsat antal studier har också presenterat hur avklingningen av vågen sker med avståndet från fartyget samt vågperioden (Almström & Larson, 2020).

Vad gäller bogvågens maximala höjd (H_m) bestäms den främst av fartygets hastighet och längd samt vattendjupet. Våghöjdens beroende av hastigheten är väldigt starkt, ofta till en potens av 3 eller 4, innebärande att reducerad hastighet hos fartyget ger en betydande reduktion av H_m . Vågperioden ges av fartygets hastighet och vågens utbredningsriktning relativt dess kurs.

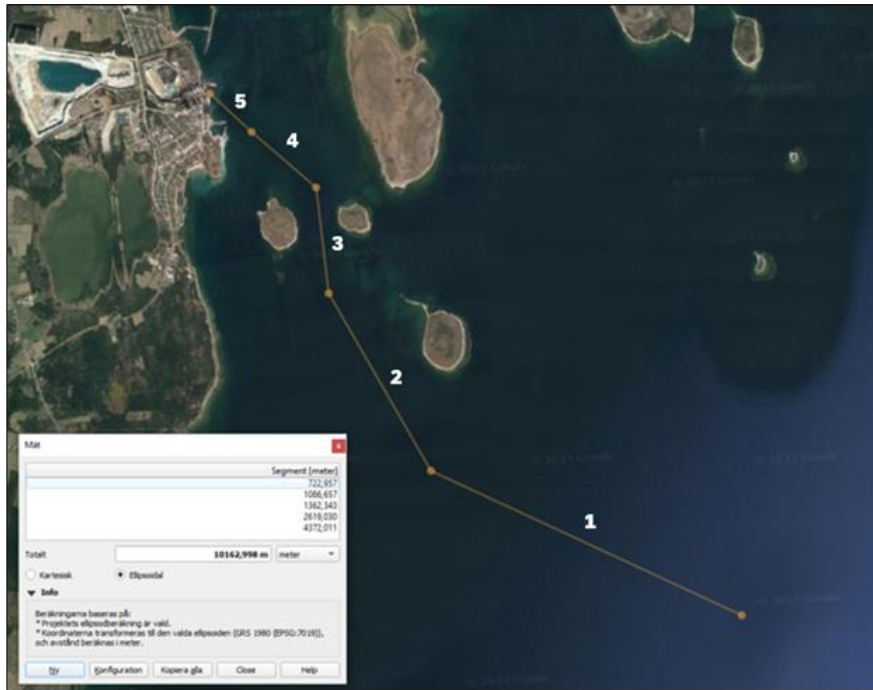
Vågförhållanden vid insegling till Slite hamn

Förutsättningar

Tekniska data har erhållits från Heidelberg Materials (2024) beträffande fartygens, antal anlöp, storlek, hastighet, och färdväg. Dessa tekniska data utgjorde underlag för de genomförda beräkningarna av fartygsvågor. Batymetrin för det studerade området förelåg också samt färdvägen för fartygens insegling till hamnen. Fartygets karakteristika bestod av längd (L_s), bredd (B_s), djupgående (d_s ; givet av vattendjup minus UKC - "Under Keel Clearance", vilket är avståndet mellan botten och fartygets köl) samt hastigheten (V_s). Vattendjup (d_o) samt farledens tvärsnittsarea (A_o) bestämdes från batymetrin; den senare parametern var bara av intresse för avsnäkningsvågen.

Figur 2 visar huvudsaklig färdvägen för fartygen in mot Slite hamn, där följande hastigheter gäller i de olika zonerna enligt numreringen i figuren:

1. $V_s = 10$ knop
2. $V_s = 8$ knop
3. $V_s = 6$ knop
4. $V_s = 5$ knop
5. $V_s < 4$ knop



Figur 2. Huvudsaklig färdväg för de studerade fartygen in mot Slite hamn (från Heidelberg Materials, 2024).

Eftersom en avsänkingsvåg av betydelse endast förekommer i farleder med begränsad vattenmassa gjordes bara beräkningar av denna våg för Zon 3 mellan öarna Enholmen och Grunnet. Tvärsnittsarean på farleden mellan dessa öar schematiserades med en rektangel bestående av ett medelvattendjup på 8 m och bredd på 500 m baserat på tillgänglig batymetri. Fartygets tvärsnittsarea antogs också vara approximativt rektangulär givet av fartygets bredd och dess djupgående.

Bogvågen uppskattades längs hela färdvägen, men eftersom den avklingar med avståndet från fartyget (y) ungefärligen som $(L_s/y)^{1/3}$ blir påverkan liten på stränder långt från fartyget. Ofta uppskattas bogvågen på ett avstånd från fartyget svarande mot $y = L_s$ som en referens i tillgängliga formler. Beträffande avklingning för avsänkingsvågen antas i en del formler en jämn avsänkning över hela farledens bredd (USACE, 2006), medan i ett fåtal formler avklingningen ingår i formeln (e.g., Almström & Larson, 2020).

För att uppskatta förändringen i den energi som fartygsvågorna tillför omgivande stränder för de olika alternativen beräknades energitransporten per längd strandlinje per år och jämfördes med nuläget. Det bör påpekas att en sådan jämförelse inte speglar den faktiska påverkan på stränder beträffande, till exempel, erosion, eftersom det är den absoluta nivån som avgör om en strand kommer att påverkas eller inte. Detta diskuteras vidare under påverkan på omgivande stränder.

De specifika förhållandena för varje alternativ redovisas separat i det följande tillsammans med beräkningsresultaten.

Nuläge

I nuläget angör 790 st fartyg hamnen per år, där fartygens längd varierar mellan 100 och 110 m och deras bredd mellan 14 och 16,5 m. För beräkning av fartygsvågorna användes $L_s = 110$ m och $B_s = 16,5$ m för att få en konservativ uppskattning av de genererade våghöjderna. Ett vattendjup på 10 m antogs i farleden, längs hela färdvägen, vilket ger en överskattning av bogvågen på djupare vatten (konservativt). Djupgåendet, som påverkar avsänkningsvågen, sattes lika med medelvattendjupet i den begränsade farleden mellan Enholmen och Grunnet (8 m), vilket också torde ge en konservativ uppskattning av våghöjden.

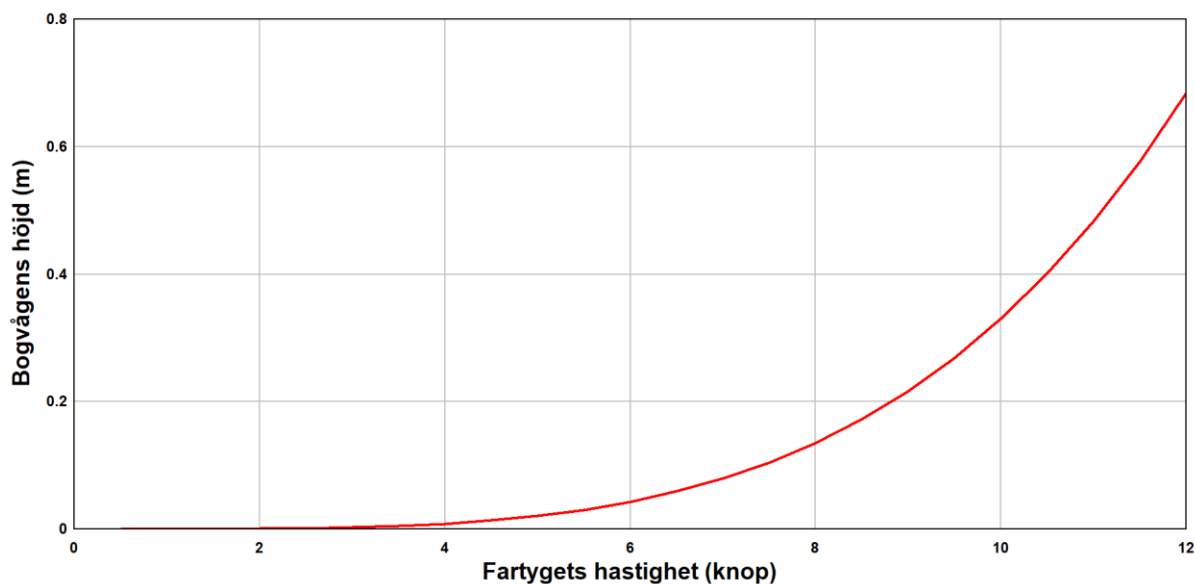
Den beräknade avsänkningsvågens höjd mellan Enholmen och Grunnet är 0,034 m med PIANCs formel och 0,022 m med formeln framtagen av Almström & Larson. Med den senare formeln beräknades våghöjden cirka 200 m från fartyget (strax utanför strandkanten). Perioden hos avsänkningsvågen uppskattades till 55 s baserat på den formel Almström & Larson presenterat.

Bogvågens höjd beräknades för ovannämnda ingångsvärden på fartyget med en varierande hastighet som svarade mot fartygets hastighet i de olika zonerna. Figur 3 illustrerar den maximala bogvågens höjd som funktion av hastigheten för de fartyg som angör hamnen i nuläget (en skeppslängd från fartyget). Påverkan på stränderna kommer att bero på avklingningen hos vågen, vilket i sin tur avgörs av avståndet från färdvägen. Figur 3 ger att $H_m = 0,33$ m i Zon 1 (10 knop) och $H_m = 0,043$ m i Zon 3 (6 knop). I Zon 1 där den högsta hastigheten föreligger är avståndet från färdvägen till närmsta strand (Majgu) cirka 500 m, vilket efter avklingning ger en våghöjd på $H_m = 0,20$ m.

Energitransporten med vågorna mot en strand beror av vågornas energiinnehåll (proportionell mot våghöjden i kvadrat), grupphastighet samt varaktighet. Förändringen jämfört med nuläget kommer att redovisas i den följande diskussionen med hänsyn till respektive alternativ.

Nollalternativ

För nollalternativet kommer 980 st fartyg angöra hamnen per år, där fartygens storlekar är desamma som för nuläget ($L_s = 100 - 110$ m och $B_s = 14 - 16,5$ m). Samma ingångsvärden som för nuläget användes för beräkning av fartygsvågorna, vilket innebär att den resulterande avsänkningsvågen vid Enholmen och Grunnet blir densamma liksom bogvågens höjd längs färdvägen (Figur 3).



Figur 3. Den maximala bogvågens höjd som funktion av hastigheten för de fartyg som angör hamnen i nuläget (en skeppslängd från fartyget).

Eftersom 980 st fartyg kommer att angöra hamnen istället för 790 st, blir ökningen i den energi som transporteras mot stränderna för båda typen av vågor $980/790 = 1,24$, dvs en knapp 25 % ökning.

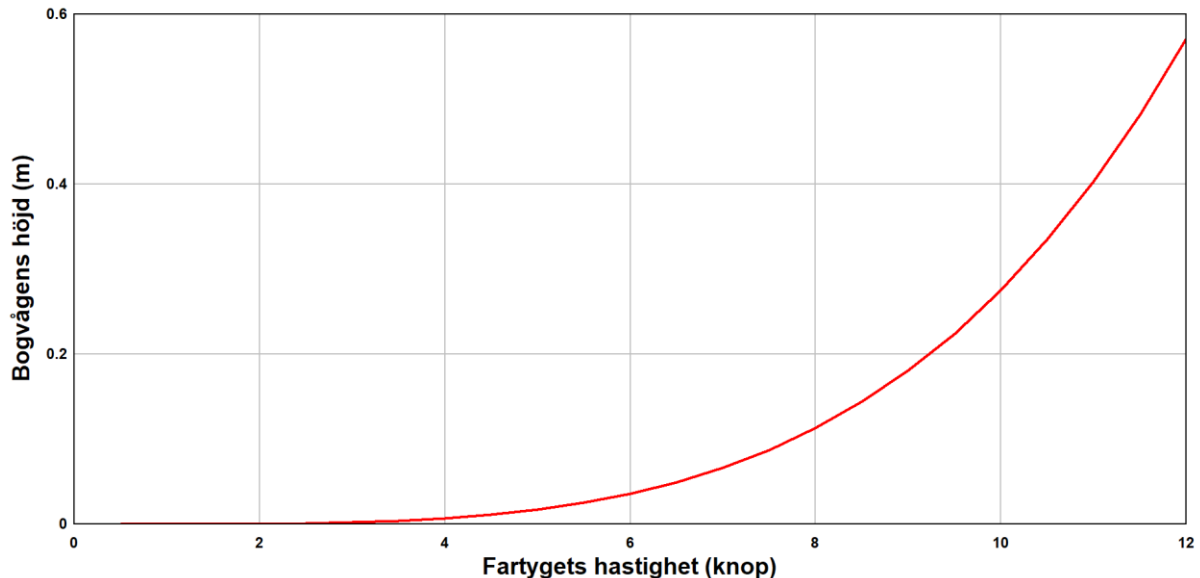
Sökt verksamhet

Beträffande den sökta verksamheten kommer 1 030 st fartyg av samma typ som i nuläget angöra hamnen per år tillsammans med ytterligare 180 st, vilka kommer att transportera CO₂ (totalt antal fartyg blir 1 210 st /år). Fartygen som transporterar CO₂ har en längd varierande mellan 150 och 190 m samt en bredd mellan 25 och 30 m. För beräkning av fartygsvågorna användes $L_s = 190$ m och $B_s = 30$ m för att få en konservativ uppskattning av de genererade våghöjderna. Beträffande djupförhållandena längs färdvägen gjordes samma antaganden som redovisats för nuläget.

Den beräknade avsänkningsvågens höjd mellan Enholmen och Grunnet till följd av fartygen som transporterar CO₂ är 0,064 m med USACEs formel och 0,070 m med formeln framtagen av Almström & Larson. Med den senare formeln beräknades våghöjden cirka 200 m från fartyget. Perioden hos avsänkningsvågen uppskattades till 58 s baserat på den formel Almström & Larson presenterat. Avsänkningsvågens egenskaper för de andra fartygen är desamma som redovisats för nuläget.

Bogvågens höjd beräknades för ovannämnda ingångsvärden på fartyget med en varierande hastighet som svarade mot fartygets hastighet i de olika zonerna. Figur 4 illustrerar bogvågens höjd som funktion av hastigheten för de fartyg som kommer att transportera CO₂ (en

skeppslängd från fartyget). Påverkan på stränderna kommer att bero på avklingningen hos vågen, vilket i sin tur avgörs av avståndet från färdvägen. Figur 4 ger att $H_m = 0,28$ m i Zon 1 (10 knop) och $H_m = 0,036$ m i Zon 3 (6 knop). I Zon 1 där den högsta hastigheten föreligger är avståndet från färdvägen till närmsta strand (Majgu) cirka 500 m, vilket efter avklingning ger en våghöjd på $H_m = 0,20$ m.



Figur 4. Den maximala bogvågens höjd som funktion av hastighet för det största fartyget som transporterar koldioxid (en skeppslängd från fartyget).

Den ökade energitransporten mot kusten till följd av fartygsvågor för den sökta verksamheten jämfört med nuläget beräknades på basis av de uppskattade våghöjderna för de större fartygen som transporterar CO₂ (180 st) samt ökat antal fartyg med storlek svarande mot nuläget (1 030 st). Beträffande förhållandena för avsänkningsvågen studerades enbart Zon 3 mellan Enholmen och Grunnet, medan för bogvågen en jämförelse gjordes för alla zoner. Eftersom bogvågen är relativt snarlik för alla fartyg (se Figur 3 och 4), blir den relativa ökningen densamma för alla hastigheter vad gäller fartyget och enbart beroende av det ökade antalet fartyg. Följaktligen kan ökningen av energitransporten mot land uppskattas till $1210/790 = 1,53$, vilket betyder 53 % ökning.

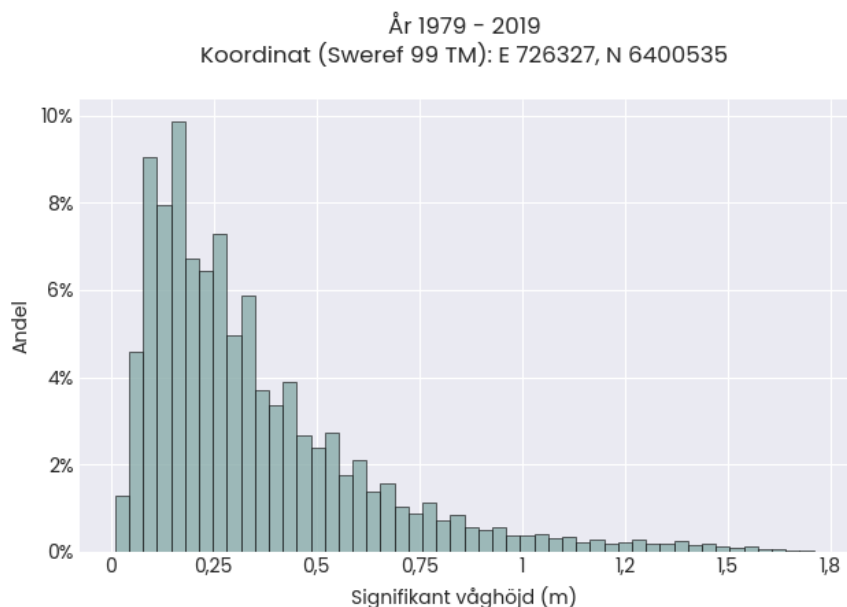
Avsänkningsvågen är cirka dubbel så stor i Zon 3 för de större fartygen som transporterar CO₂ jämfört med fartygen som används i nuläget. Vägs detta in i beräkningen tillsammans med antal fartyg kommer energitransporten mot stranden öka med cirka 100% i detta område. Återigen bör det dock påpekas att en sådan ökning inte ger någon information om påverkan på stranden eftersom det är absolutvärden som bestämmer strandens respons.

Vindvågor

På en öppen kust dominerar de vindgenererade vågorna över de vågor som fartygen alstrar, både vad gäller storlek och frekvens. I mycket skyddade miljöer, till exempel en skärgård, kan dock fartygsvågorna ge ett signifikant bidrag beträffande den energi som kan nå stranden och orsaka påverkan. För att jämföra fartygsvågornas och vindvågornas betydelse användes simulerade data från Kustdataportalen (2024). Dessa data har tagits fram med modellen SWAN (Adell *et al.*, 2021), som är ett vanligt verktyg för att simulera vindgenererade vågor, i ett stort antal punkter runt Östersjön, inkluderat runt Gotland och i närheten av Slite. Tidsserier av

vågdata var tredje timme för en period från 1979 till 2019 är tillgängliga liksom bearbetad statistik från dessa serier.

Figur 5 åskådliggör ett histogram för den signifikanta våghöjden¹ (medelvärdet av 1/3 av de största vågorna för en viss period) i en datapunkt söder om Slite i ett skyddat läge som kan anses vara representativt för förhållandena längs färdvägen i Zon 2 till 5. I Zon 1 är de vindgenererade vågorna betydligt högre eftersom den sträckan är exponerad för öppet hav. Histogrammet visar att dessa vågor i medeltal är lika stora som de fartygsgenererade i Zon 2 och ofta betydligt större. I de andra zonerna är fartygsvågorna relativt lägre. Dessutom är de vindgenererade vågorna aktiva 365 dagar om året, medan fartygsvågorna har en mycket kortare varaktighet. Ett enkelt överslag vad gäller fartygsvågornas varaktighet (bogvågorna) för den sökta verksamheten baserat på 1 210 anlöp (x 2, för in och ut) som genererar 15 vågor per passage (Althage, 2010) med en period på 1,6 s ger en varaktighet på cirka 0,7 dagar per år. Följaktligen dominerar vindvågorna stort över de fartygsgenererade vågorna (bogvågorna) för de aktuella zonerna. Inverkan från avsänkingsvågen bedöms vara ännu lägre jämfört med vindvågorna eftersom den har en lägre höjd och kortare total varaktighet, även om dess långa period potentiellt kan mer effektivt mobilisera fina sediment jämfört med motsvarande kortperiodiga vågor.



Figur 5. Histogram för vindgenererad våghöjd i en punkt söder om Slite i ett skyddat läge (datapunkt 12101; från Kustdataportalen, 2024)

¹ Den signifikanta våghöjden (H_s) är ett vanligt statistiskt mått som beskriver vågfältet vid en viss given tidpunkt. Den simuleringsmodell som använts (SWAN) ger som output signifikant våghöjd var 3:e timme. Under en given 3-timmars period består vågfältet av en mängd vågor med olika höjd, period och riktning - H_s beskriver våghöjden under denna period.

Påverkan på omgivande stränder

Påverkan på omgivande stränder beror inte endast på den inkommande vågenergin (från fartyg och vind) utan också på det material som föreligger på stranden såväl som den allmänna geologin och topografin. Vid högre vågenergi och finare sediment inträffar ofta erosion, varvid material transporteras bort från stranden och en tillbakaryckning sker (stranden eroderar och strandlinjen flyttas bakåt). Vågenergin kan också orsaka negativa effekter på kustnära ekosystem. Här bedöms främst möjligheten för erosion med hänsyn till de verkande fysikaliska processerna.

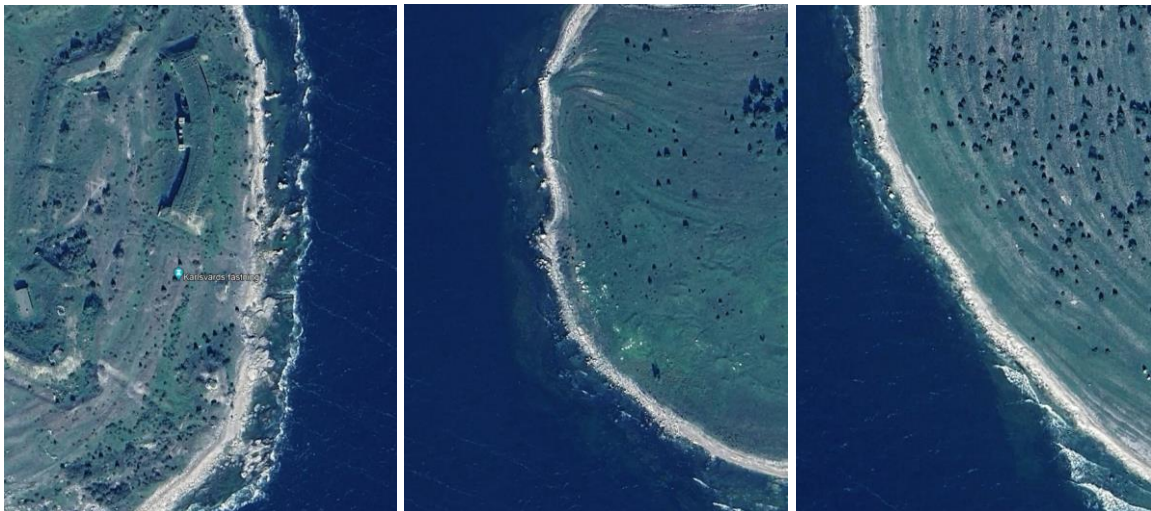
Kustdataportalen (2024) innehåller också SGU:s kartering av strändernas jordarter, vilket kan utgöra underlag för bedömning ifall risk för erosion föreligger. Figur 6 illustrerar vilka jordarter som förekommer i det studerade området. En röd linje betecknar sedimentärt berg, en orange sand/grus och en blå lerig morän (grå betecknar fyllning). Följaktligen har de flesta stränder karakteriserats som bestående av berg eller sand/grus inom området. Ytterligare information om stränderna kan fås genom flyg/satellitbilder. Figur 7 visar exempel från Google Earth beträffande strändernas utseende på öarna Enholmen, Grunnet och Majgu, medan Figur 8 visar strändernas karaktär söder om Slite hamn. Information om bottenförhållandena i området redovisas delvis i Medins (2023a, 2023b).

Baserat på tillgängligt underlagsmaterial om strändernas karaktär med avseende på materialförekomst och geologi bedöms påverkan från vågor som liten, speciellt beträffande sedimenttransport och erosion. Vad gäller energitransporten till omgivande stränder längs färdsträckan utgör fartygsvågorna en försumbar del av den totala transporten, vilken de vindgenererade vågorna dominerar. Även för de senare vågorna torde det bara vara de högsta vågorna som kan orsaka transport och då endast i begränsad omfattning för de flesta stränderna.

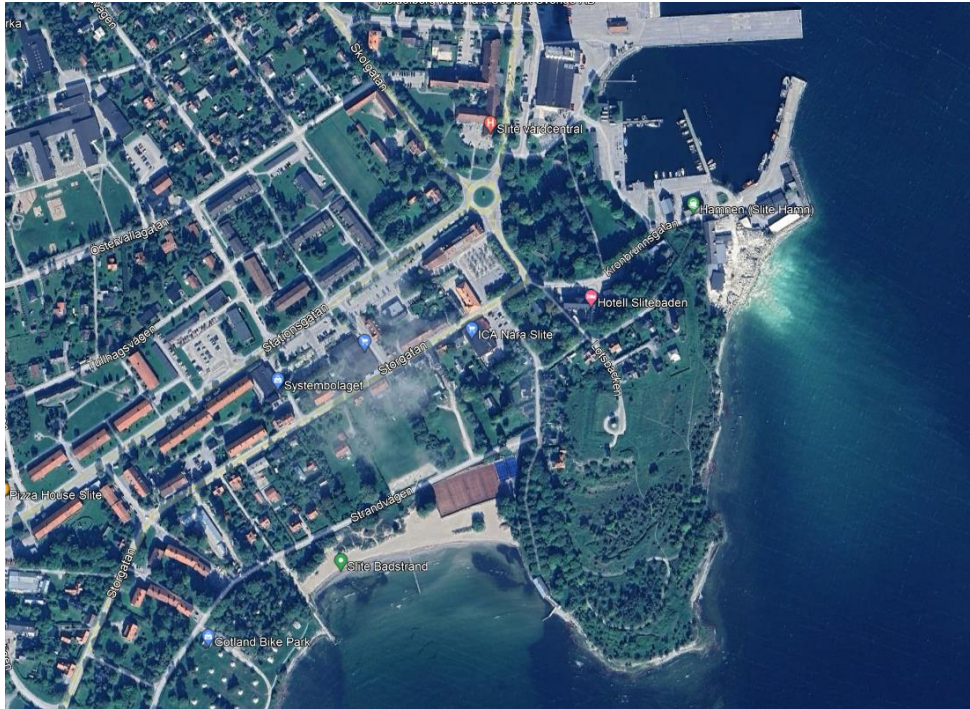
I området finns endast en sandstrand, Slite badstrand, som ligger söder om hamnen (se Figur 8). Den är begränsad av konstruktioner i båda ändarna, innebärande att ett försumbart utbyte av sand sker med omgivande områden. Strandens orientering tyder på att vindvågorna helt bestämmer strandlinjens utseende, som är präglad av de högsta vågornas infallsriktning. De andra strandområdena bedöms huvudsakligen bestå av grövre material som inte kan transporteras av de förhärskande vågorna, speciellt beträffande fartygsvågorna. En sträcka söder om Slite badstrand utgörs delvis av morän (se Figur 6); denna ligger dock långt ifrån färdvägen (fartygsvågorna hinner avklinga här) och ser ut att vara i balans med de vindvågor som uppträder på platsen (*d.v.s.*, stränderna är formade av vindvågorna).



Figur 6. Strändernas karaktär i studieområdet baserat på SGU:s kartläggning (från Kustdataportalen, 2024; röd linje betecknar sedimentärt berg, orange sand/grus, blå lerig morän, och grå fyllning).



Figur 7. Bilder från Google Earth som visar strändernas karaktär på öarna Enholmen, Grunnet och Majgu (i ordning från vänster till höger).



Figur 8. Bild från Google Earth som visar strändernas karaktär söder om Slite hamn.

Effekter av anläggningsarbete och muddring

I samband med konstruktion av CCS-anläggningen vid Slite hamn kommer utrustning levereras med fartyg; totalt ca 50 anlöp kommer att göras i detta skede. Om dessa fartyg antas vara snarlika de som används i nuläget blir ökningen liten och påverkan betydligt mindre än för den sökta verksamheten. Detsamma torde gälla för transporten av muddermassor i samband med muddring längs färdvägen. Muddringen kommer huvudsakligen ske i Zon 3 till Zon 5 och materialet dumpas nära början av Zon 1.

Muddringen kommer att öka vattendjupet längs delar av farleden i Zon 3 till Zon 5. Ett ökat vattendjup innebär både lägre avsänkings- och bogvågor enligt de formler som använts (USACE, 2006; Almström & Larson, 2020; PIANC, 1987). Vattendjupet uppträder i nämnaren på dessa formler; dessutom kommer den del av fartygets area som blockerar farleden mellan Enholmen och Grunnet bli lägre, vilket reducerar avsänkingsvågens höjd. Följaktligen blir effekten på omgivande stränder lägre efter muddring, även om minskningen troligtvis blir liten.

Slutsatser

Sammanfattningsvis kan följande slutsatser dras från föreliggande studie:

- Två typer av fartygsvågor kommer att genereras, nämligen avsänkingsvågor och bogvågor, där de förra bara förekommer mellan öarna Enholmen och Grunnet.
- För nuläget vad gäller fartygstransporter uppskattas avsänkingsvågans storlek till cirka 0,03 m, medan den maximala bogvågans höjd varierar från 0,33 till 0,04 m från Zon 1 (10 knop) till Zon 3 (6 knop).
- För nollalternativet blir vågorna av samma storlek som för nuläget; dock ökar antal fartyg innebärande en ökning av transporten av vågenergi till omgivande stränder på knappt 25 %.
- För den sökta verksamheten ökar avsänkingsvågans höjd till cirka 0,07 m, medan den maximala bogvågans höjd varierar från 0,28 till 0,04 m från Zon 1 till Zon 3, för de fartyg som transporterar CO₂. För de andra fartygen blir vågegenskaperna samma som för nuläget.
- Vindvågorna i det studerade området är av samma storlek eller större än de fartygsgenererade vågorna och har en varaktighet som är mer än 500 gånger längre (för sökt verksamhet). Följaktligen dominerar vindvågorna stort över fartygsvågorna vad gäller energitransport och påverkan på omgivande stränder.
- Fartygstransporter i samband med anläggningsarbete och muddring kommer att generera en mindre ökning av fartygsvågornas påverkan jämfört med nuläget, men en mindre effekt jämfört med det sökta alternativet. Muddring till ett större vattendjup längs farleden kommer att orsaka lägre avsänkings- och bogvågor.
- Omgivande stränder består huvudsakligen av sedimentärt berg samt sand/grus, vilket inte kommer att påverkas signifikant av fartygsvågorna och förmodligen bara av de högsta vindvågorna på vissa platser.

Referenser

Adell, A. Nunes, A., Almström, B., Goodfellow, B., Bokhari Irminger, S., Hallin, C., & Nyberg, J. (2021). Open-access portal with hindcast wave data for Skåne and Halland. *Dataportal. Vatten*, 2, 81-90.

Almström, B. & Larson, M. (2020). Measurements and analysis of primary ship waves in the Stockholm Archipelago, Sweden. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8, 743.

Almström, B., Roelvink, D. & Larson, M. (2021). Predicting ship waves in sheltered waterways – An application of XBeach to the Stockholm Archipelago, Sweden. *Coastal Engineering*, 170, 104026.

Althage, J. (2010). Ship-induced waves and sediment transport in Göta River, Sweden. TVVR 10/5021, Water Resources Engineering, Lund University, Lund, Sweden.

Bertram, V. (2000). *Practical ship hydrodynamics*. Butterworth-Heinemann, Oxford, UK.

Granath, L. (2015). *Vågmätningar i Furusundsleden 2014*. Rapport, Hydrografica, Stockholm, Sverige.

Göransson, G., Larson, M., & Althage, J. (2013). Ship-generated waves and induced turbidity in the Göta Älv River in Sweden. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 140(3), 04014004.

Heidelberg Materials (2024). *Kommunikation med Heidelberg Materials*,

Kriebel, D.L. & Seelig, W.N. (2005). An empirical model for ship-generated waves. *Proceeding of the 5th International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis*, Madrid, Spain. (CD-ROM).

Kustdataportal (2024). <https://gis.sgi.se/kustdataportal/>

Larson, M., Almström, B., Göransson, G., Hanson, H. & Danielsson, P. (2017). Sediment movement induced by ship-generated waves in restricted waterways. *Proceedings of Coastal Dynamics '17*, ASCE, 300-311.

Medins (2023a). *Undersökning av föroreningar i sediment i Slite hamn m.m.* Medins Havs- och Vattenkonsulter AB, Mölnlycke.

Medins (2023b). *Marina naturvärden i Slite 2023*. Habitatkartering med dropvideo, sidoseende sonar och infauna. Medins Havs- och Vattenkonsulter AB, Mölnlycke.

PIANC. (1987). *Guidelines for the design and construction of flexible revetments incorporating geotextiles for inland waterways.* Working Group 4 of the Permanent Technical Committee, Permanent International Association of Navigation Congresses, Brussels.

USACE (2006). *Hydraulic design of deep-draft navigation projects*. Engineer Manual EM 1110-2-1613, Engineering and Design, US Army Corps of Engineers, Washington DC