

Stranderosionsrisker i samband med anlöp av "Navigator of the Seas"



Foto: Frank Eriksson

Rapport 2007-08-30
Hydrographica

Lars Granath

Hydrographica AB, Oskarsvägen 29, 172 76 Sundbyberg. Org nr 556680-7268. www.hydrographica.se
info@hydrographica.se. Tel 0703-24 10 11

INNEHÅLL

Sammanfattning	3
English summary	3
Stranderosionsrisker i samband med anlop av "Navigator of the Seas"	4
Bakgrund	4
Målsättning	5
Mätningar av vågsystem	5
Principer för undersökningen	6
Mätstationer	7
Metodik	7
Resultat	10
Klippudden	11
Elfvik	12
Nykvarnsholme	13
Björnhuvud	14
Stabo udde	15
Stor-Andö	16
Furusund	17
Ålandskobb	18
Slutsatser	19
Rekommendationer	20
Diskussion	22
Jämförelse av uppmätta värden med teoretiska förutsägelser	23
Referenslista	25
Appendix	26
Bilagor 1-8	30-41

SAMMANFATTNING

Föreliggande undersökning har utförts på initiativ av Sjöfartsverket och Stockholms Hamnar, med avsikt att utreda eventuella risker för bestående erosionsskador på farledsstränder i samband med ett anlop av fartyget "Navigator of the Seas", vars storlek betydligt överstiger vad som är normalt för trafiken i Furusundsleden.

Undersökningen har inneburit att ett stort antal mätningar har utförts av den reguljära trafikens vågeffekter på farledsstränderna för att tjäna som jämförelse inför besöket av "Navigator" den 9 juni 2007, då motsvarande mätningar utförts specifikt för detta fartyg. Mätningarna har avsett dels amplituden för Bernoullivågorna (avsänkningen), dels amplituden för de divergerande Kelvinvågorna (svallvågorna). Mätningarna har utförts på 8 olika ställen längs leden, och materialet omfattar totalt ca 250 mätningar på 35 olika fartyg exklusive "Navigator".

Resultatet visar tydligt att även ett fartyg av Navigators storlek kan framföras i Furusundsleden utan risk för skador på stränderna, under förutsättning att farten anpassas. Det krävs att fartyg av denna storlek sänker hastigheten betydligt på vissa känsliga passager, och gällande fartgränser är inte tillämpliga. Speciella restriktioner behöver därför utfärdas för enskilda fartyg med en storlek som överstiger den normalt tillåtna. Det är också uppenbart att vågbildningen inte är direkt kopplad till fartygets displacement och fart, utan till skrovets egenskaper, varför de resultat som i rapporten redovisas för "Navigator" inte är direkt överförbara till andra fartyg i samma storleksklass.

SUMMARY

This report has been initiated by the Swedish Administration of Shipping and Navigation, together with Stockholm Harbours. The aim of the study is to estimate the risks for shore erosion damages when the Cruiser Liner "Navigator of the Seas" for the first time is taken into Stockholm.

The survey is based upon a great number of samples from ordinary traffic with ropax vessels to and from Finland. Amplitude measurements of Bernoulliwaves (drawdown) as well as Kelvin waves (wash) were made at 8 selected places along the fairway Furusundsleden. 250 measurements were made representing 35 different vessels. Corresponding measurements were made for the "Navigator", inbound as well as outbound.

The results clearly show that speed restrictions is a well functioning tool to prevent shore erosion. For "Navigator" no serious impact was registered at the shores. But the study also shows that ships of this size can not be allowed to follow ordinary speed regulations. Special restrictions has to be set up for each ship with size exceeding the normal for the actual fairway. Since erosive impact is not linked to ship size, but hull construction, the results from this study is applicable only to "Navigator". They are not automatically representative for other ships of the same size.

STRANDEROSIONSRIKSKER I SAMBAND MED ANLÖP AV NAVIGATOR OF THE SEAS

Föreliggande rapport utgör redovisning av ett projekt med syfte att fastställa eventuella risker för erosionsskador efter en passage genom Furusundsleden med ett fartyg av betydligt större format än den ordinarie färjetrafiken till och från Finland. Fartyget i fråga är Royal Caribbean Cruise Liner "Navigator of the Seas", med en längd om 311 m, bredd 38 m, djupgående 8,6 m och med displacementen 140 000 ton. Den för närvarande största Finlandsfärjan i reguljär trafik, "Silja Europa" har måtten 202 m, 32 m resp 6,7 m.

Bakgrund

Under 1980-talet expanderade fartygstrafiken mellan Sverige och Finland kraftigt. Fartygsstorlekarna och hastigheterna drevs uppåt i konkurrensen om passagerare och frakt. Detta ledde till en ökad påfrestning på farledernas stränder, och starka protester från många boende längs framför allt Furusundsleden. Länsstyrelsen initierade en undersökning som genomfördes av Naturgeografiska institutionen vid Stockholms universitet under åren 1990-91. Projektledare var undertecknad Lars Granath, och rapporten publicerades av länsstyrelsen 1992. (Granath 1992) I denna rapport som byggde på en total inventering av samtliga farledsnära stränder, konstaterades att erosionsskadorna på många ställen var oacceptabla, men att merparten av stränderna ändå hade god motståndskraft mot erosion. För att minska påfrestningen på de känsliga delarna av Furusundsleden, förändrades fartgränserna år 1994 med syftet att sänka farterna för den tyngre trafiken i erosionsbenägna områden, samtidigt som de kunde höjas något i de mindre känsliga partierna.

Efter ca 10 år gjordes en uppföljning av den tidigare undersökningen. (Granath 2004) Det konstaterades då att många av de tidigare erosionsutsatta stränderna uppvisade en "läkning", och att energinivåerna mot stränderna i Furusundsleden allmänt sett hade minskat. Det är troligt att de justerade fartgränserna haft en gynnsam effekt, men en annan viktig faktor är också att konkurrensen med större och snabbare fartyg avklingade under 1990-talet, och fartygsstorlekarna upphörde att öka. Detta är betydelsefullt, eftersom stränderna enligt helt naturliga fysikaliska processer anpassar sig efter den maximala vågenergi den utsätts för. Upphör *ökningen* av vågenergi mot en strand, kommer också stranden inom en viss tid att nå en jämvikt och en stabilitet i samklang med den rådande energinivån, varvid erosionen upphör. Förändras trafikmönstret mot en trafik med större vågenergi mot stranden, startar på nytt en erosion med målet att skapa en ny jämvikt med den ökade energin. De fysikaliska processerna innebär att det byggmaterial som krävs för att skapa den "nya" stranden tas från strandbrinken och transporteras ut på ett strandplan under vatten omedelbart utanför vattenbrynet. Processen förändrar strandens lutningsprofil så att energin i vågorna bryts ner till noll efter passagen över strandplanet. Processen beskrivs mer utförligt i rapporten (Granath 1992). En viktig faktor i detta samspel mellan vågenergier och strandens material är att ombyggnadsprocessen i huvudsak styrs av det eller de fartyg som genererar de största energierna mot stranden. Detta innebär att frekvensen av trafik med låg påverkan är relativt betydelselös i förhållande till det fåtal fartyg som regelbundet genererar höga energier mot stränderna. Förhållandet diskuteras ytterligare på sid 22.

Med tanke på att stränderna nu går mot en jämvikt med fartygstrafikens energinivåer är det desto viktigare att kontrollera energiinflödet när trafiken ökar, till exempel genom en ökad besöksfrekvens av fartyg som inte ingår i den reguljära färjetrafiken, eller genom enstaka trafik med avsevärt större tonnage. Sjöfartsverket och Stockholms Hamnar beslutade därför att ta ekonomiskt ansvar för att en separat studie av erosionsrisker gjordes, som ett villkor för att

tillåta ett första anlop av det onormalt stora kryssningsfartyget "Navigator of the Seas". Beslutet föregicks dessutom av en undersökning av konsultföretaget SSPA, där såväl sjösäkerhetsaspekter som miljörisker analyserades efter noggranna beräkningar och körningar av det aktuella fartyget i simulatoranläggning. (Ottosson, P. – Forsman, B.; Real time simulation study of Cruiser Liner Navigator into Stockholm. SSPA Report 2006 4325-1). Denna rapport diskuterar även riskerna för erosionsskador ur ett teoretiskt perspektiv och gör vissa förutsägelser, men konstaterar också att de teoretiska modellerna är otillräckliga som verktyg för att förutse vad som i praktiken inträffar på en viss plats. I rapporten rekommenderas att praktiska studier genomförs i samband med fartygspassagen, just för att de teoretiska beräkningarna inte kan ta hänsyn till alla tänkbara lokala parametrar som varierande bottenpografi, avstånd från land etc. Det finns ett starkt intresse av att jämföra dessa teoretiska beräkningar med de i verkligheten uppmätta resultaten, och därför görs i ett avslutande kapitel (sid 23) av föreliggande rapport en särskild genomgång av förutsägelseerna i SSPA's rapport.

Målsättning

Föreliggande studie av vågbildningen i praktiken, har utförts av Hydrographica under ledning av Fil lic Lars Granath, som specialstuderat erosionsskadeproblematiken sedan 1989 och som har stor samlad erfarenhet av de aktuella frågorna. En studie av detta slag är relativt personalkrävande, och till projektet har knutits personer med relevant universitetsutbildning i naturgeografi och geovetenskap vid Stockholms universitet. I mätningsarbetet har deltagit: Anna-Stina Andersson (botanik/geovetenskap), FD Sture Nellbring (marinbiologi), FK Anja Riise (geovetenskap), FK Jesper Sannel (biologi/geovetenskap).

Projektets övergripande målsättning har varit att skapa underlag för en bedömning om "Navigator" utövar ett energitryck mot stränderna som överstiger "bakgrunds-nivån" från den ordinarie reguljära färjetrafiken till och från Finland. Slutsatserna av undersökningen måste med nödvändighet bygga på observationer från endast en in- resp utpassage av "Navigator", men när det gäller bakgrunds-nivån från den ordinarie trafiken finns möjligheter att skapa ett hållbart statistiskt underlag för jämförelser.

Det existerar tyvärr inga utarbetade och väl beprövade standardmetoder för att på ett fullständigt objektivt och tillförlitligt sätt registrera energinivåerna mot en strand. Det är inte heller möjligt att via datorsmodeller simulera effekterna av fartygens vågbildning mot en strand. Vågbildning kan beräknas och simuleras i en allmän och generell matematisk datorsmodell som avser fartygsrörelser i en definierad ränna (SSPA 2006 4325-1), men verkligheten är alltför komplex när det gäller en farled med varierande bottenpografi, fartygets fart, fartygets läge i farleden, pågående girar, fartändringar, påverkan av möten eller andra vågsystem och strömmar. Det går därför inte att med teoretiska beräkningar ge mer än en grov förutsägelse om hur ett visst fartyg kan tänkas påverka en strand på varierande avstånd från leden. I detta fall är praktiska mätningar enda möjligheten. Sådana mätningar blir med nödvändighet påverkade av många yttre faktorer, och innehåller ett visst mått av subjektivitet, men i brist på bättre metoder måste detta accepteras.

Mätningar av vågsystem

Varje fartyg under gång skapar flera olika vågsystem med olika egenskaper. De mest kända och tydligaste är förstas de divergerande *svallvågorna* efter fartyget – de så kallade Kelvinvågorna. Ett annat, mindre synligt vågsystem är det som kallas Bernoullivågor, en typ av tryckvågor som sprids lateralt ut från fartyget, och som skapar det som brukar kallas "sug". Populärt kan Bernoullivågen beskrivas som en tryckvåg; fartyget trycker undan vatten vid framfarten, och

”hålet” efter fartyget måste sedan snabbt fyllas igen med vatten från sidorna. Bernoullivågen skapar det som hellre bör kallas *avsänkning*, och som ofta är den mest spektakulära effekten av en fartygspassage i en trång och grund farled. I breda och djupa ledavsnitt blir avsänkningseffekten knappast märkbar. Utöver dessa två vågsystem finns också ett tredje – transversella vågor – som uppträder som en ”dyning” efter fartyget, vinkelrätt orienterad mot färdriktningen. Av dessa vågsystem är de två första de som påverkar stränderna mest, och de är också fullt mätbara. Bernoullivågen ger i sin mest typiska form en mindre höjning av vattenytan när fartyget når fram till mätstället. Efter denna mindre höjning följer en större sänkning av vattenytan, följt av ett återflöde, som ofta ger en extra höjning som överstiger den första. Det som påverkar stranden är sänkningen och återflödet, som där farleden är närbelägen (50-100 m) kan skapa mycket kraftiga strömmar med stor transportkapacitet. För eventuella badande kan strömmar och vattenvirvlar på vissa utsatta ställen vara direkt livsfarliga. Strandens bottenmaterial har oftast ganska snabbt anpassat sig till nivån på strömhastigheten, och består då av svårtransporterade fraktioner av sten eller block. Bernoullivågen följs därefter av Kelvinvågorna (svallvågorna), som från vissa fartyg kan innehålla en avsevärd energi, medan andra, bättre konstruerade fartyg lämnar svallvågor med ringa energiinnehåll. Energin i en svallvåg kan mycket förenklat sägas följa formeln:

$$E = H^2 \times L,$$

Där E är ett relativt mått på energin i en våg, H är vågens amplitud och L är våglängden. Höga vågor med långa avstånd är således mer energirika än vågor av samma höjd men med kortare avstånd.

Registrering och mätning av Bernoullivågor och svallvågor ger därför ett relativt mått på ett fartygs vågenergi mot en strand. I föreliggande studie var därför mätningar av dessa parametrar den viktigaste möjligheten att bedöma skillnaden mellan olika fartyg. Dessutom redovisas även några mer subjektiva försök att identifiera skillnader, men slutsatserna i studien vilar huvudsakligen på resultaten från mätningarna av vågsystemen.

Dessa mätningar utfördes på enklast möjliga sätt, genom avläsning av max- och minvärden på en fast förankrad mätskala. Avläsningarna gjordes dels i realtid genom direkt observation, men varje mättillfälle registrerades också genom en digital videoinspelning, så att de visuella observationerna i efterhand kunde bekräftas eller korrigeras. På några av mätstationerna var avläsningen så lätt och entydig att göra så att videoinspelning var överflödig.

Principer för undersökningen

För att det över huvud taget skall vara möjligt att lämna ett utlåtande om ”Navigators” eventuella skadlighet för stränderna, är en grundförutsättning att det finns tillräcklig kännedom om normalläget, dvs den reguljära trafikens energitryck mot stränderna. Den största delen av undersökningen fick därför ägnas åt en registrering av den ordinarie färjetrafikens effekter, genom motsvarande mätningar av avsänkning respektive svallvågshöjder. Detta skedde på ett urval av mätstationer som kunde förväntas vara representativa för olika förhållanden vad gäller fartygens hastigheter, närhet till strand och vattendjup i farleden. Urvalet omfattar 5 st huvudstationer och 3 st extrastationer, där huvudstationerna ger ”volymdata” och extrastationerna ger ”specialdata” för strandtyper eller hastighetsområden som är intressanta i samband med ”Navigators” passage men av mindre intresse i sammanhanget för den ordinarie trafiken.

4. Björnhuvud (N59° 31,887' / E18° 32,418'). Smal och relativt grund passage där erosionsproblem sedan tidigare är dokumenterade. Tillåten hastighet 12 knop.
5. Stabo udde (N59° 33,735' / E18° 37,622'). Smal och grund passage med tydliga avsänkningseffekter och erosionskänsligt strandmaterial, tillåten hastighet 12 knop. Farledszonens bredd är 140 m och djupet 22 m.
6. Stor-Andö, extrastation (N59° 35,809' / E18° 45,042'). Erosionskänslig strand på relativt stort avstånd från farleden (ca 300 m) där tillåten fart är 16 knop.
7. Furusund (N59° 39,489' / E18° 54,979'). Smal men relativt djup passage där tillåten fart är låg, max 8 knop. Några större effekter borde enligt tidigare erfarenhet inte förväntas av den ordinarie trafiken. Farledszonens bredd är 150 m och djupet hela 30 m.
8. Ålandskobb, extrastation (N59° 41,186' / E18° 59,069'). Extrastation där fri fart gäller, och där eventuella skillnader mellan olika fartyg kan förväntas bli tydliga.

Från huvudstationerna föreligger ett stort antal mätningar av såväl avsänkningseffekter som svallvågor, totalt från 235 passager, representerande 35 olika fartyg, huvudsakligen finlandsfärjor, men även andra handels- eller kryssningsfartyg. Finlandsfärjorna står för merparten av datainsamlingen, ett tiotal av de vanliga färjorna i reguljär trafik är uppmätta med 15-20 mätningar vardera. Från extrastationerna föreligger 19 mätningar representerande 11 olika finlandsfärjor. Passagen av "Navigator" är registrerad på samtliga stationer, såväl på in- som utgående. Basmätningarna är tillräckliga till antalet för att ge ett tillförlitligt underlag på det "normala" energitrycket mot stränderna. "Navigators" passage har av naturliga skäl endast 16 registreringar, och är inte statistiskt säkert, men ger ändå en mycket god uppfattning om fartygets relativa placering i energiskalan.

Metodik

Mätmetoden har som ovan nämnts bestått i att en fast förankrad mätstång med cm-graderad skala har lästs av i samband med fartygspassagera. För varje fartyg har noterats:

- Datum och klockslag
- Färdriktning
- Ev första vattenståndshöjning (cm)
- Avsänkning (cm)
- Ev efterhöjning (cm)
- Svallvågornas amplitud (avstånd mellan vågtopp och vågdal)
- (Utanför protokollet har också noterats på mätstationer där så varit möjligt, våglängder och en subjektiv uppskattning av vågornas påverkan på strandmaterialet.)

Etableringen av en mätstation följde nedanstående instruktioner:

På varje mätstation väljs en punkt ute i vattnet där mätstången trycks ner i botten. Placeringen måste uppfylla följande kriterier:

- Vattendjupet måste vara tillräckligt för att med god marginal registrera även en stor avsänkning, vilket betyder minst en meter på utsatta lokaler.
- Vattendjupet bör inte heller understiga en meter med tanke på att svallvågorna inte skall påverkas mer än nödvändigt av uppgrundningen. Redan vid ett vattendjup om halva våglängden kan vågen "känna botten", varvid våglängden börjar förkortas. Vid ett vattendjup som motsvarar ca 10% av våglängden på djupt vatten kommer även våghöjden att börja påverkas märkbart. Våglängden från färjesvallen kan överstiga 10 meter. Mätstången bör dock inte placeras för långt ut med tanke på att avsänkningen blir mindre märkbar på större vattendjup.

- Mätpunkten får inte vara störd eller skyddad av kajer, bryggor, klippor eller annat som kan avleda eller förändra svallvågornas vågprofil.
- Mätpunkten måste vara noggrant definierad så att den kan återanvändas vid varje mätning. Den kan definieras genom till exempel två skärande syftlinjer (över två objekt för varje linje) eller genom avstånd från två fixpunkter (avstånden kan bestämmas genom snören med en given längd från fixpunkterna). I båda fallen bör vinkeln mellan linjerna vara så nära rät som möjligt. Vid stora variationer i vattenstånd kan mätpunkten behöva flyttas längs normalen till strandlinjen, så att vattendjupet blir samma som vid tidigare mätningar.
- Mätstången måste vara väl förankrad i lodrätt läge, vilket innebär att den behöver tryckas ner ordentligt i bottenmaterialet, om möjligt 60-70 cm. Nivån för vattenytan är ointressant eftersom mätningen avser relativa mått. Mätstången kan delas, så att inte onödigt mycket sticker upp över vatten och gör stången svajig.

Ovanstående kriterier har kunnat följas för samtliga mätstationer utan större avvikelser.

Avläsningarna på mätskalan har gjorts visuellt, men passagerna har också i de flesta fall videofilmats, och de visuella avläsningarna har kunnat verifieras eller justeras i efterhand mot videoinspelningen.

Det kan diskuteras om ett system av automatiskt registrerande våghöjdsräknare med transponder hade kunnat ge ett säkrare resultat på ett enklare sätt. För ett sådant system talar den kontinuerliga avläsningen som skulle ge ett mycket stort antal registreringar och ersätta den förhållandevis omfattande personalstyrka som krävs för att genomföra mätprogrammet. Mot ett sådant system talar de höga kostnaderna för automatiska system, sårbarheten i ett system som bygger på avancerad teknik, och den uteblivna möjligheten att göra subjektiva men väsentliga visuella iakttagelser av effekterna på själva stranden. Arbetet med att förankra och fixera sådana automatiska våghöjdsräknare på en exakt position i ett utsatt erosionsområde är också dyrt och komplicerat att lösa. Inom givna ekonomiska ramar har den "manuella" mätmetoden med visuell avläsning och videoregistrering bedömts ge den ojämförligt största kostnadseffektiviteten utan att mätresultaten blir otillförlitliga. En obemannad automatisk registrering kan inte med 100%-ig säkerhet fastställa exakt vilket fartyg som genererade en viss vågrörelse, vilket i detta fall är av väsentlig betydelse. Även den eventuella subjektiva bedömningen av vågornas erosiva verkan är en buseffekt som inte kan erhållas på automatisk väg. Metodvalet i detta projekt var därför tämligen självklart.

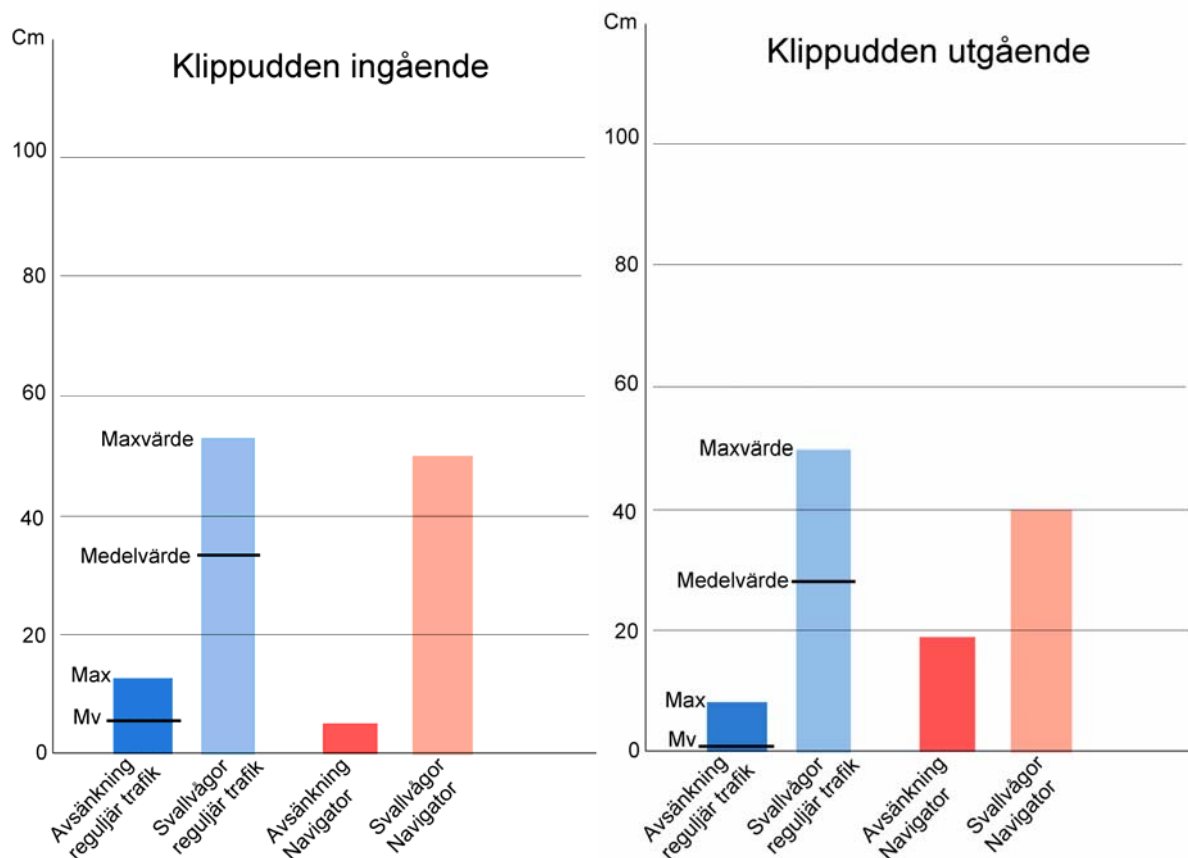
Även om mätningarna av avsänkning och svallvågor är projektets grundbult, fanns tack vare den personella insatsen också möjlighet att på plats notera mer subjektiva men ändå värdefulla observationer av fartygens effekter på stränderna. Sådana iakttagelser kan utgöra ett värdefullt komplement till de mer objektiva registreringarna av vattenrörelserna. För några av mätstationerna finns sådana subjektiva anteckningar, och på mätstation nr 4, Björnhuvud, gjordes dessutom ett annat intressant separat metodexperiment utformat och utfört av Anna-Stina Andersson med syftet att hitta en metod att objektivt registrera faktisk materialtransport. Resultatet av detta försök bör inte ligga till grund för alltför långtgående slutsatser i just detta projekt, men det är intressant nog för att redovisas, och visar på en sannolikt framkomlig väg för eventuella framtida undersökningar. Experimentet redovisas i ett appendix till föreliggande rapport.

Resultat

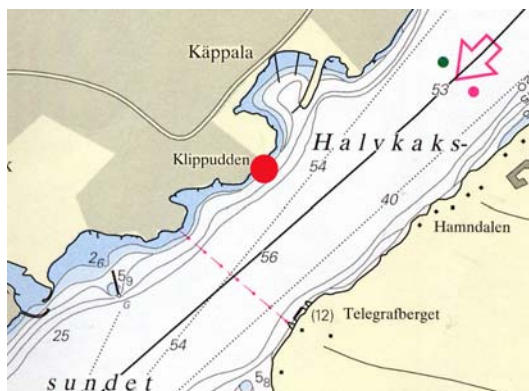
Från varje mätstation föreligger ett varierande antal mätningar av såväl avsänkning som svallvågor från ett antal fartyg. Det fullständiga mätresultatet redovisas i bilagorna 1-8. Här nedan visas en sammanställning för var och en av mätstationerna. De flesta mätstationerna redovisas med skilda diagram för in- och utpassage. Det är för vissa mätstationer mycket påtagligt att fartygets färdriktning har mycket stor betydelse för hur vågrörelserna påverkar stranden. Elfvik är till exempel ett slående exempel på hur de ingående fartygen skapar stora avsänkningar, medan de utgående i många fall inte genererar någon avsänkning alls.

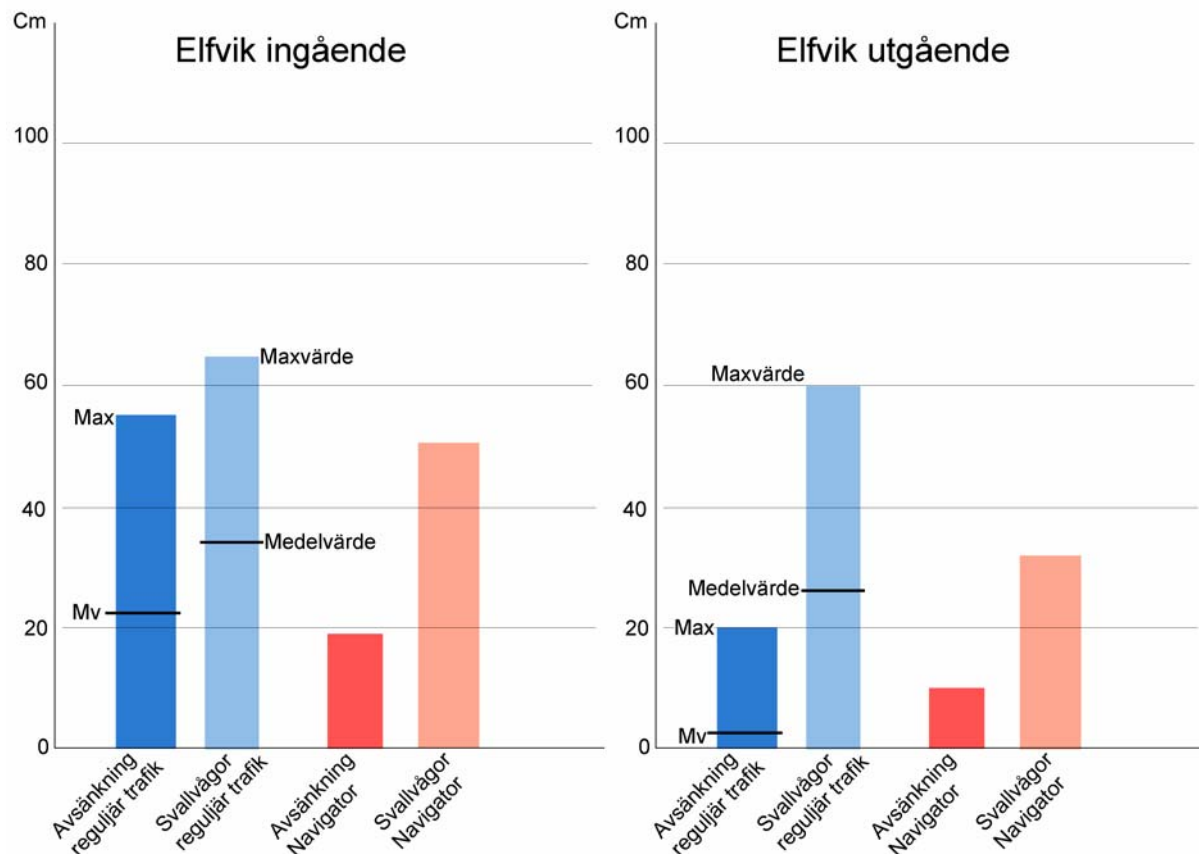


Mätstång och kamera placerade för mätning vid Stabo udde. Foto: Sture Nellbring

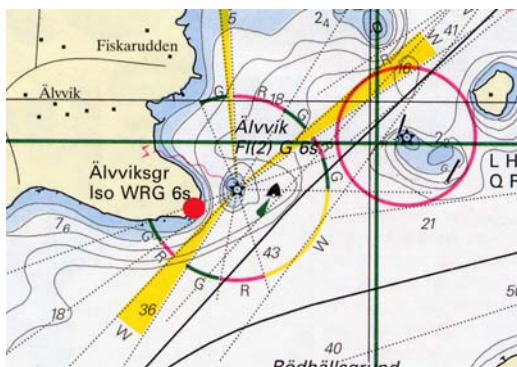


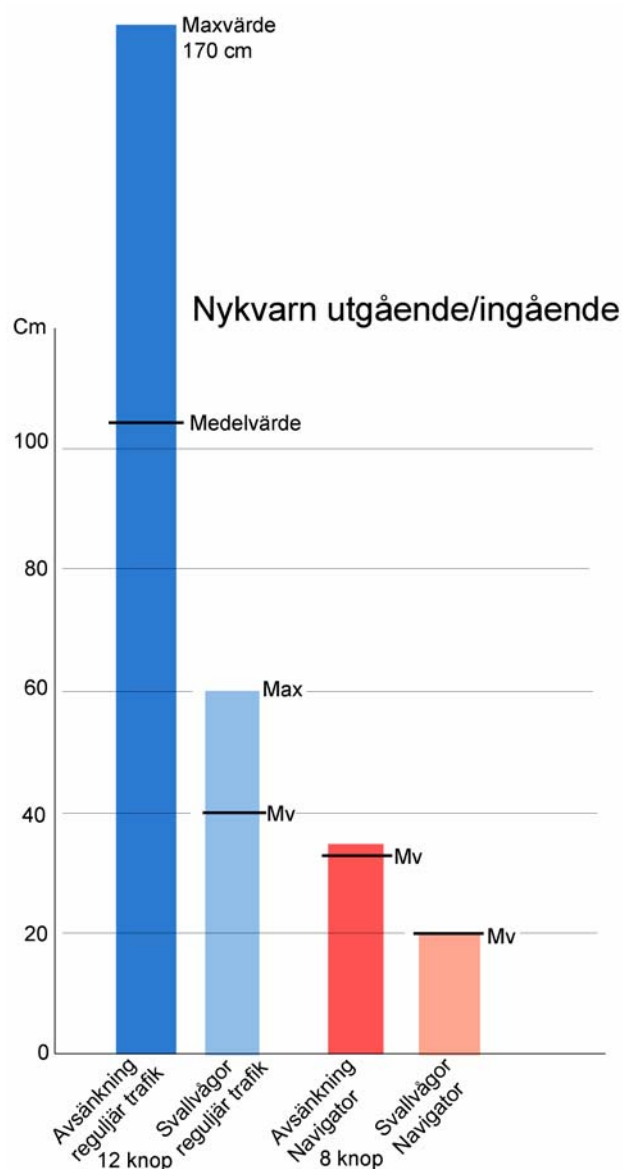
Klippudden passeras av alla större fartyg destinerade till och från Stockholm. Leden är förhållandevis djup, och avsänkningseffekterna är oftast små. Svallvågorna från skärgårdstrafikens fartyg är däremot höga, och är i så gott som alla fall större än färjetrafikens svall. Skillnaderna mellan in- och utgående trafik är inte påtagligt stora. På ingående ligger Navigator under den reguljära trafikens värden, men på utgående har registrerats en avvikande hög avsänkning. En trolig förklaring är att avsänkningen kraftigt förstärks av Silja Festival, som passerat mätstationen på ingående, samtidigt som Navigator passerat på utgående. Mätningen visar därför inte enbart Navigators avsänkning, och bör inte ligga till grund för några definitiva slutsatser. Silja Festival är ett av de mest energiintensiva fartygen vad gäller både avsänkning och svall, se diskussionen sid 22, och sannolikt är det Silja Festivals avsänkning som avspeglas i mätresultatet.





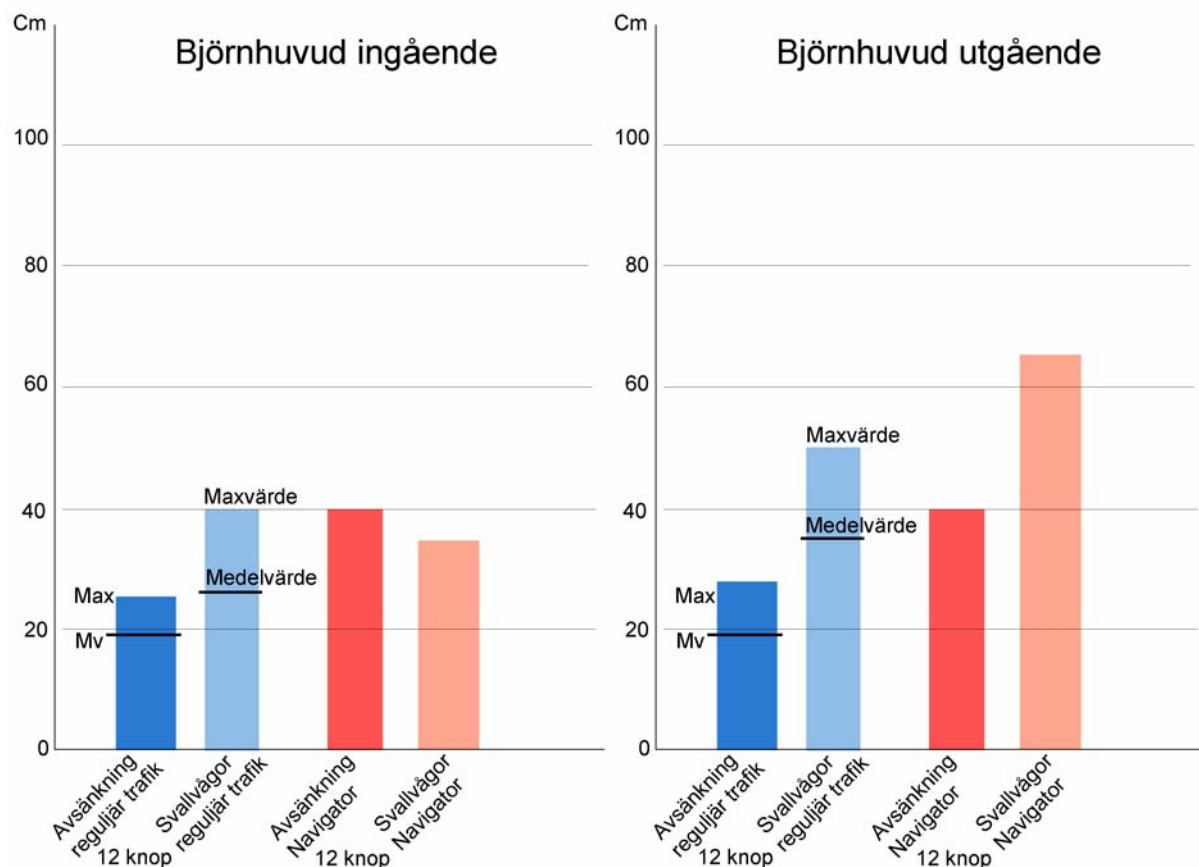
Elfvik exemplifierar tydligt skillnaderna i avsänkningseffekter mellan in- och utgående trafik. Ingående trafik skapar betydligt större avsänkningar än utgående. Förklaringen är sannolikt att mätstationen ligger på uddens nordsida, och är således mer exponerad för trafik på sydlig kurs. Ingående fartyg kommer genom att "högertrafik" gäller för sjöfarten att passera betydligt närmare stranden än utgående trafik, och eftersom avståndet till stranden har mycket stor betydelse framför allt för avsänkningseffekterna, kan man räkna med högre mätvärden för ingående trafik. Det är i detta fall troligt att bottenpografien har en stor inverkan på hur Bernoullivågorna fortplantas genom vattnet, och därmed skapas helt skilda effekter från in- respektive utgående trafik. Svallvågmätningarna inkluderar även viss skärgårdstrafik, som är den som svarar för de högsta registrerade värdena. Navigator ligger här långt under den ordinarie trafikens värden, såväl vad gäller avsänkning som svall.





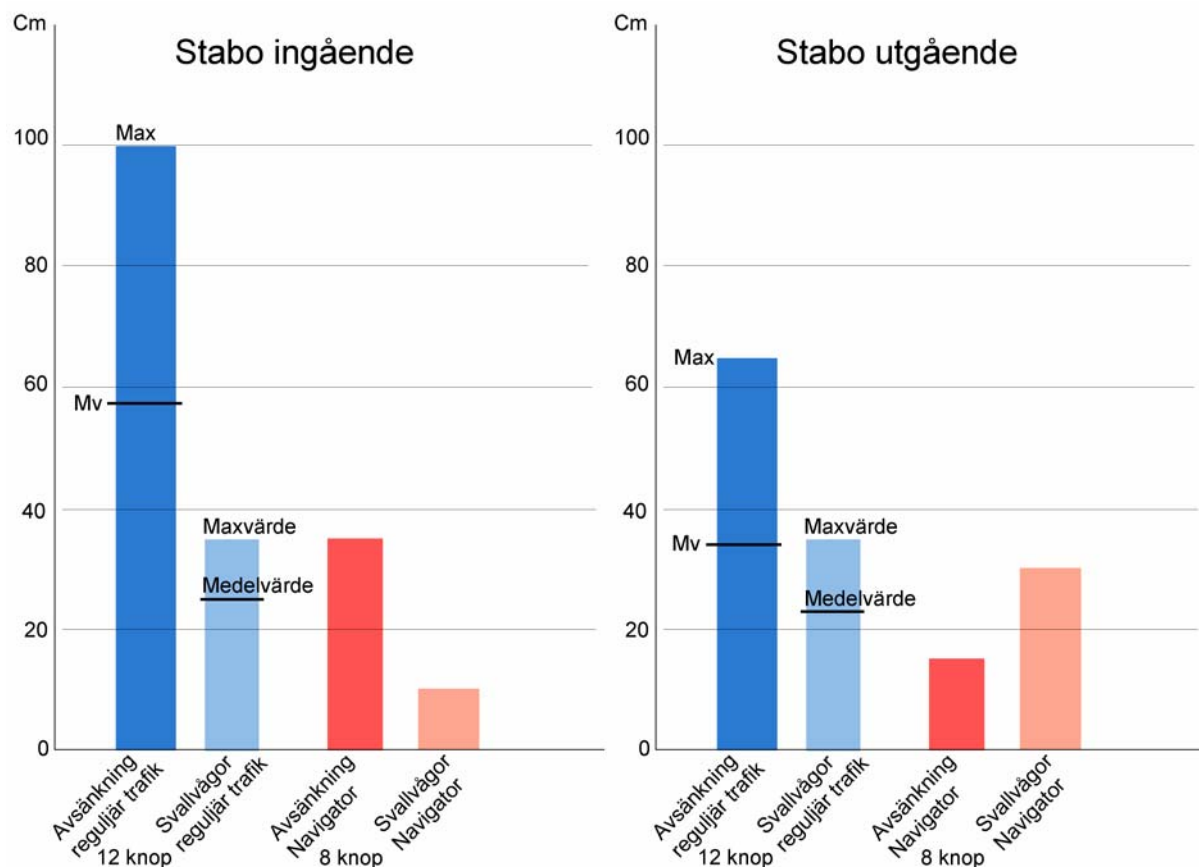
Nykvarnsholme är Furusundsledens grundaste passage, endast 11 m, och avsänkningarna kan bli mycket stora, särskilt när fartgränsen 12 knop överskrids. Även vid farten 12 knop kan avsänkningen som framgår av diagrammet ovan närma sig 2 meters amplitud. Mätstationen var placerad i avsänkningens "brännpunkt" omedelbart söder om fyren där effekterna blir som störst. Bara 50 m norrut blir avsänkningarna mer normala, ca 50-60 cm. Skillnaderna i avsänkning inom ett så begränsat avstånd beror på skillnader i bottenpografi.

I diagrammet ovan, är in- och utgående passager sammanslagna. Nykvarnsholme är en extrastation och underlaget omfattar endast ett mindre antal observationer. Observationerna är dock fullt tillräckliga för att konstatera fartens betydelse för vågeffekterna. Förbi Nykvarnsholme höll Navigator både på in- och utgående en lägre fart är övrig trafik, vilket ger mycket låga värden, långt under den reguljära trafikens medelvärden.



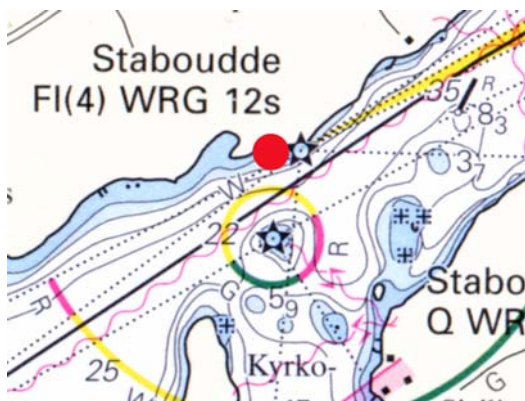
Björnhuvud ligger i ett avsnitt av Furusundsleden där farten är maximerad till 12 knop. Här höll även Navigator 12 knop till skillnad mot föregående station Nykvarnsholme. Detta ger ett tydligt utslag på värdena framför allt för avsänkning, där Navigator både på in- och utgående ligger betydligt högre än den reguljära trafiken. Även svallvågorna från Navigator är höga, framför allt på utgående, där de är de högsta registrerade för denna mätstation. Mätresultatet vid Björnhuvud antyder att Navigator överskrider den hastighet som är lämplig för detta skrov vid just denna passage.

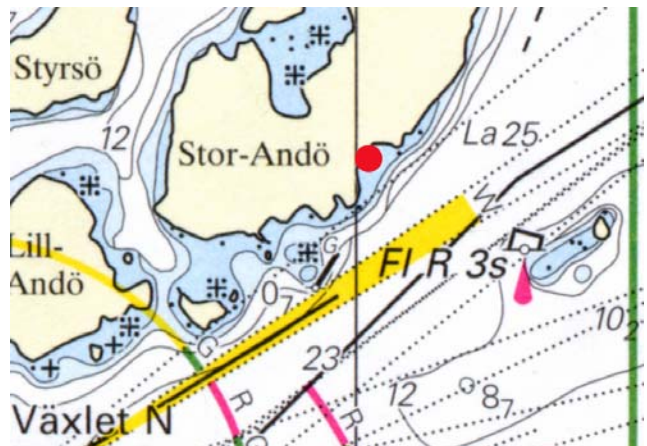
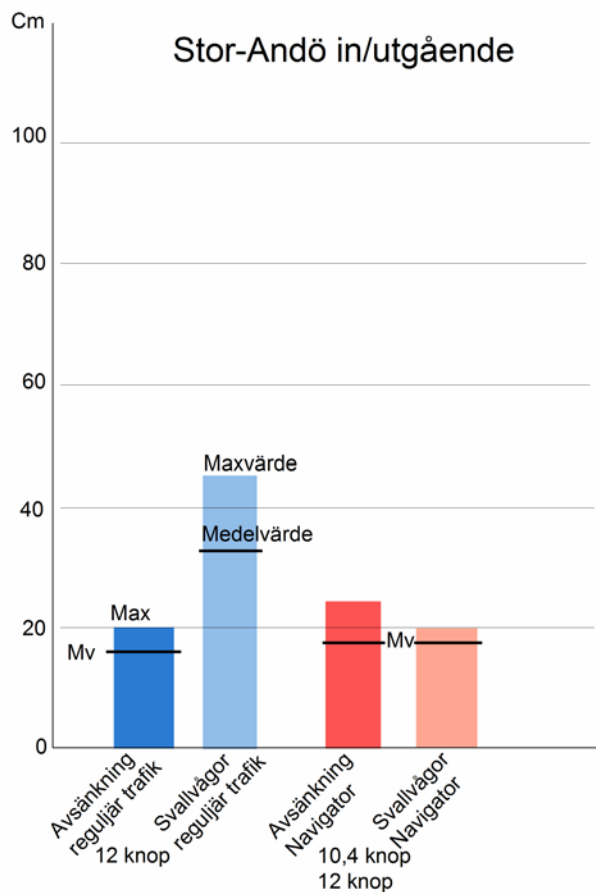




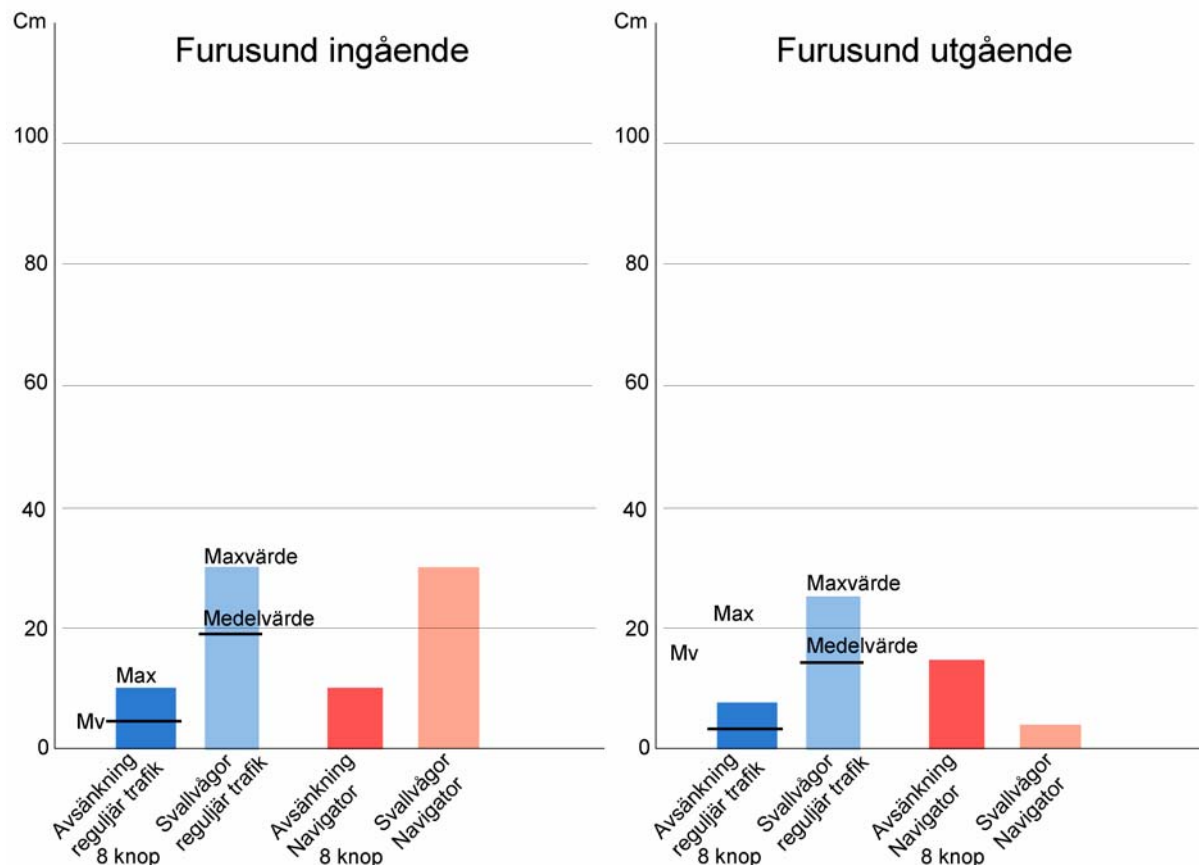
Stabo udde är ytterligare en trång passage i Furusundsleden, men inte lika kritisk som Nykvarnsholme. Den reguljära trafiken håller 12 knop förbi Stabo udde och skapar på mätstationen avsänkningar som kan nå en meter och mer. Svallvågorna är de normala för färjetrafiken, ca 30-35 cm. Även på Stabo udde föreligger en markant skillnad mellan in- och utgående fartyg. Mätstationen ligger placerad strax söder om fyren, och bottenpografen tycks vara sådan att ingående fartyg tömmer sundet mer effektivt än utgående fartyg. Ingående fartyg går också något närmare stranden där mätningarna skedde.

Navigator passerade såväl på in- som utgående med låg fart, 8 knop, och effekterna var mycket blygsamma i förhållande till ordinarie trafik.



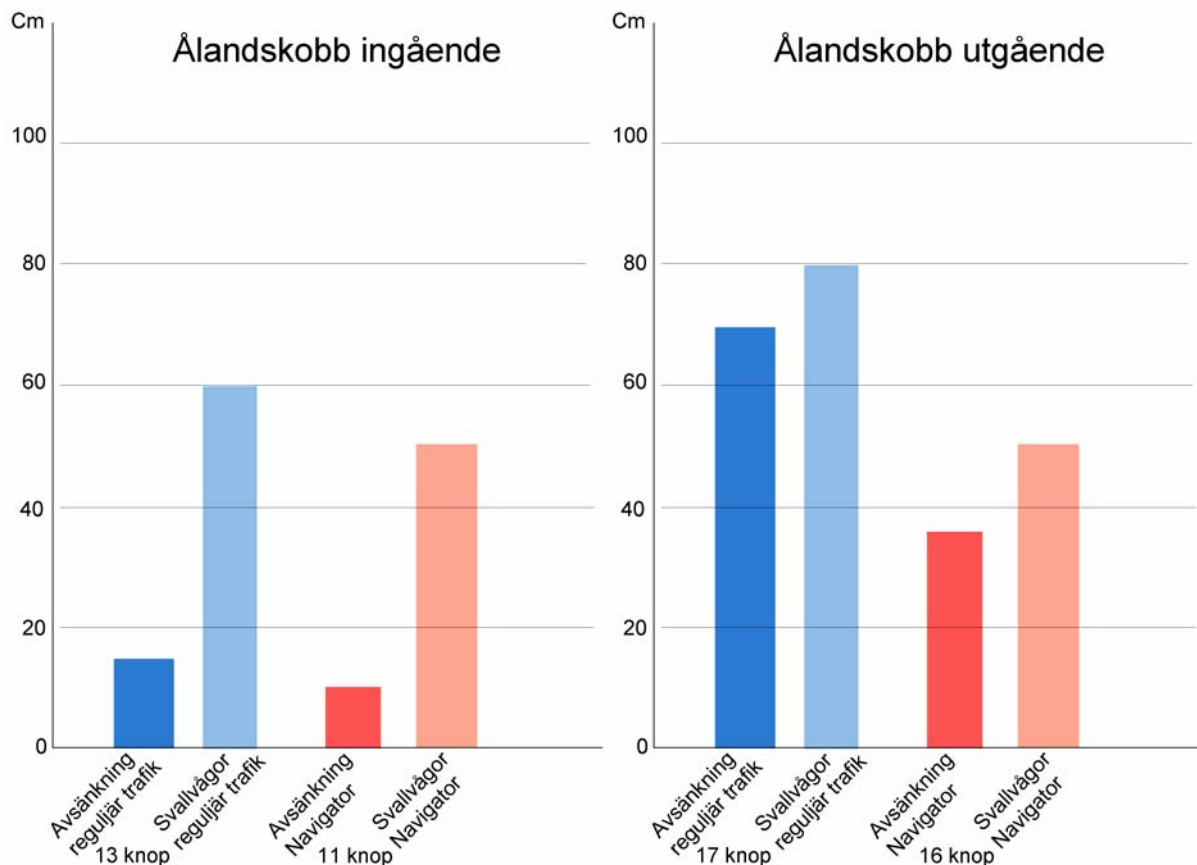


Stor-Andö är en extrastation med relativt få mätningar där resultaten från in- och utgående slagits samman i ett gemensamt diagram. Avståndet till farleden är större än för övriga stationer, och avsänkningarna blir därmed förhållandevis svaga. På ingående gick Navigator med reducerad fart, 10,4 knop, och avsänkningen nådde inte mer än 10 cm, där den reguljära trafiken skapar avsänkningar på upp till 20 cm. På utgående höll även Navigator 12 knop, och avsänkningen ökade då till 25 cm, vilket är något mer än för den reguljära trafiken. Svallvågorna översteg inte i någon riktning den reguljära trafikens.



I Furusund är farten begränsad till 8 knop för all trafik. Sundet är smalt men djupt, och avsänkningseffekterna blir tack vare den låga farten små. På utgående blev registreringen av avsänkning för Navigator dock högre än för den reguljära trafiken, på ingående i nivå med maxvärdet för reguljär trafik. Svallvågorna är på utgående mycket små. Någon förklaring till skillnaderna i svallvågshöjder från Navigator på in- respektive utgående är svår att hitta, och visar återigen på oförutsägbarheten i vågbildningen.





Ålandskobb är en extrastation med färre mätningar, som inte medger någon medelvärdesberäkning. Stationen är vald för att representera en farledssträcka med fri fart, där hastigheterna kan förväntas vara högre än i de känsligare delarna av Furusundsleden. Mätningarna har inte fångat något fartyg med högre hastighet än 17 knop, vid alla övriga mätningar passerade fartygen med lägre fart. Navigator passerade mätstationen på ingående med 11 knop, vilket inte genererade mätvärden högre än en normal finlandsfärja i farten 12-13 knop. På utgående registrerades Navigator för 16 knop, men mätvärdena låg ändå väsentligt under övrig trafik med farter upp till 17 knop.



Slutsatser

De mätningar som gjorts för denna undersökning är med sina 270 registreringar de mest omfattande som hittills gjorts för att jämföra vågbildningens effekter på stränderna. De bekräftar dessvärre de något nedslående konstateranden som gjorts i alla tidigare studier med liknande innehåll men med begränsade datamängder, nämligen att vågbildningen inte följer förutsägbara eller beräkningsbara regler när de omsätts i verkligheten. Mekanismerna bakom utbredningen av framför allt Bernoullivågor – avsänkningen – är uppenbarligen mycket komplicerade, och styrs sannolikt av många svårförutsägbara faktorer. Den varierande bottenpografin är en sådan faktor, fartygets läge i leden spelar sannolikt en mycket stor roll i samspelet med bottenpografin, liksom om fartyget är inbegripet i någon manöver, som girar eller fartändringar. Men den absolut viktigaste faktorn är farten. Detta har också konstaterats i alla tidigare studier, och det bekräftas även av denna undersökning. Det bästa skyddet för farledsstränderna är en anpassad fart. Detta bekräftas entydigt av resultaten från föreliggande studie, där även ett så stort fartyg som Navigator med lämplig fart kan passera kritiska partier utan nämnvärd påverkan på stränderna. Resultaten visar också tydligt att fartyg av Navigators storlek inte överallt kan tillåtas hålla gällande fartgräns, mätningarna från Björnhuvud visar att Navigators vågenergi klart överstiger den reguljära trafikens vid samma hastighet. Detta gäller dock inte generellt, bara där ledens bottenprofil och vattenvolym understiger en kritisk gräns. På de flesta sträckor av leden finns tillräckligt med vatten. Undersökningen har av lätt insedda skäl fokuserats på de känsligaste och mest kritiska passagerna för att ge ett tydligt utslag.

Några sammanfattande allmänna slutsatser, i allt väsentligt byggda på ovanstående mätningsdata, men i någon liten mån även på de subjektiva iakttagelser och konstateranden som redovisats av mätteamets deltagare och som redovisas i ett följande avsnitt, blir därför:

- Stora fartyg – under förutsättning att de från sjösäkerhetssynpunkt kan tas in genom leden – behöver inte nödvändigtvis utöva en större påverkan på stränderna än den ordinarie trafiken.
- Det är mycket viktigt att farterna för sådana större fartyg anpassas efter ledsträndernas känslighet, och det innebär också att de ordinarie fartgränserna inte överallt är tillämpliga. Större fartyg bör tilldelas särskilda fartrestriktioner på vissa sträckor.
- Efter Navigators passage står det helt klart att åtminstone detta fartyg kan anlöpa Stockholm utan att påverka stränderna under förutsättning att farten anpassas. På i stort sett samtliga mätstationer har mätvärdena från Navigator understigit den reguljära trafikens. Förbi Björnhuvud har dock farten 12 knop varit i överkant, och mätvärdena visar klart att det krävs en lägre hastighet på detta ledavsnitt för att fartyg av Navigators storlek skall ge mindre eller lika stor påverkan som reguljär trafik.
- När det gäller avsänkningarna från Navigator kan de uppenbarligen bli omfattande när fartyget överskrider en kritisk fart i ett visst ledavsnitt. Vid lägre farter, 7-8 knop blir avsänkningarna mycket små, oftast långt under den reguljära trafikens.
- De svallvågor som genereras efter Navigator har en något annorlunda karaktär än svallen från de vanligaste finlandsfärjorna. Navigators svallvågor består av 2-3 inledande vågor med relativt hög amplitud, men med förvånansvärt kort våglängd, 5-6 meter, där en ordinarie finlandfärja ger en våglängd på 8-10 m. Ur energisynpunkt är vågor med kortare våglängd mer energifattiga än vågor med motsvarande höjd och längre våglängd. Svallvågorna från Navigator kan i de farter som är aktuella i leden mot Stockholm inte anses innebära något hot mot stränderna, även om de är högre än från många andra färjor.
- I de inre delarna av leden mot Stockholm, från Saxarfjärden och inåt förekommer en omfattande trafik med skärgårdsbåtar till och från mellanskärgården. Tidigare studier (Granath 2004) liksom även den nu genomförda visar entydigt att svallvågorna från dessa

mindre fartyg som framförs i avsevärt högre fart än färjetrafiken, genererar svallvågor med betydligt högre energinivåer än vad som skapas av färjorna. Från erosionseffekten av de svallvågor som genereras av färjetrafiken – inklusive Navigator – kan man därför bortse så länge man rör sig i ett område med reguljär skärgårdstrafik. I föreliggande undersökning finns två mätstationer där skärgårdstrafikens svallvågor kan jämföras med färjetrafikens, nämligen Elfvik och Klippudden, där båda trafikslagen utnyttjar samma farled. Navigator genererade svallvågor med en höjd av maximalt 50 cm, vilket överträffades av Silja Festival och Sky Wind som registrerats för våghöjder upp till 55 cm. Detta överträffas i sin tur med god marginal av skärgårdstrafikens två Cinderella-båtar som givit mätvärden på upp till 65 cm, och med en våglängd som överstiger färjornas.

En mycket viktig allmän slutsats av undersökningen är att vågenergierna visserligen till största delen kan kontrolleras genom fartrestriktioner, men att det inte finns något direkt samband mellan skrovstorlek/deplacement och vågbildning. Olika fartyg med i stort sett samma storlek alstrar vid samma fart helt olika energier mot stranden. Det är därför mycket angeläget att understryka att resultatet, som visar att "Navigator" med lämpliga fartanpassningar inte åstadkommer skadliga effekter på stränderna, inte automatiskt kan överföras på andra fartyg av motsvarande storlek.

Rekommendationer

Målsättningen med undersökningen har som inledningsvis konstaterades, varit att avgöra huruvida "Navigator" kan tas in till Stockholm utan att öka de befintliga erosionsproblemen i den känsliga Furusundsleden. Det är viktigt att framhålla att föreliggande undersökning enbart är inriktad på eventuella risker för ökade erosionsskador på *stränderna*. Utöver de rent sjösäkerhetsmässiga aspekterna på anlop av ett fartyg i denna storleksklass finns givetvis skäl att räkna in andra miljömässiga effekter som rening av avgaser, avfallshantering och eventuellt också rent sociala överväganden som huruvida storleken i sig är ett estetiskt hindrande skäl för passage genom skärgårdslandskapet. Dessa senare skäl har helt lämnats åt sidan i denna studie av erosionsriskerna. Det är också viktigt att notera att studien enbart är inriktad på vad som sker i strandzonen. Det kan finnas effekter på djupare vatten och på de farledsnära bottarna som inte avslöjas av en landbaserad undersökning vid stränderna. Tills vidare blir man dock i brist på undersökningar tvingad att utgå från hypotesen att erosion av bottnar följer erosion av stränder, och att en låg erosionsaktivitet i strandzonen borde innebära en låg aktivitet även på större djup. Denna hypotes kan kullkastas till exempel av effekterna av olika framdrivningssystem (rak axel + konventionellt roder i motsats till POD-aggregat), men några studier av detta har inte utförts.

På basis av resultaten från undersökningen kan därför följande rekommendationer ges:

- Om sjösäkerhetsaspekten är tillgodosedd, kan "Navigator" inte anses utöva en skadlig erosionspåverkan på stränderna under förutsättning att farten anpassas.
- Vid eventuella framtida anlop måste de nuvarande fartsänkningarna till 8 knop förbi känsliga passager som Stabo udde och Nykvarnsholme permanentas. Möjligen skulle farten där kunna höjas till 9 knop, men utfallet av en sådan höjning borde i så fall kontrolleras. Dessutom måste farten mellan dessa "entréer" till de känsligaste partierna av Furusundsleden (sträckan Vällersvik - Stabo udde) begränsas till maximalt 11 knop i stället för nuvarande 12, som av undersökningen att döma tycks överskrida gränsen för skonsam framfart just i detta trånga ledavsnitt.
- Rekommendationerna gäller endast för fartyget "Navigator". Resultatet från mätningarna kan inte med automatik överföras till att gälla även andra fartyg. Undersökningen har visat att de olika fartygen har mycket individuella egenskaper. I framtiden skulle det

gynnsammaste för miljön kanske vara ett system med differentierade och individuella fartgränser där skonsamma fartyg kunde tillåtas en högre fart, och mindre skonsamma tvingas gå med reducerad fart i känsliga områden.



Störst



och minst....

Foto: Frank Eriksson

Dessa båda bilder illustrerar med önskvärd tydlighet skillnaderna i storlek mellan det moderna jättefartyget "Navigator of the Seas" och den minsta och äldsta av Finlandsfärjorna i reguljär trafik, "Birger Jarl". Bilderna är tagna i samma skala. Trots skillnaderna i storlek gör faktiskt "Navigator" inte större svallvågor än "Birger Jarl".

Diskussion

I det föregående har slutsatserna byggts på tillgängliga mätdata. Men efter drygt 270 mätningar av olika fartyg har också vuxit fram en subjektiv kunskap och erfarenheter inom mätteamet om effekter och egenskaper för ett antal regelbundet registrerade fartyg. Dessa subjektiva iakttagelser kan inte tillmätas något vetenskapligt värde, men de kan ändå vara av intresse för eventuella fortsatta undersökningar och bör därför redovisas.

Bortsett från effekterna vid Björnhuvud är teamet enigt i sin uppfattning att "Navigator" rörde sig skonsamt förbi mätstationerna. Från några stationer rapporteras dock iakttagelsen att "Navigator" skapade en omröring i vattnet som inte kunnat ses efter något annat fartyg. Beskrivningen av experimentet med muttrar i Appendix visar också att "Navigator" uppträder på ett annat sätt än övrig trafik genom att förflytta material ut från stranden där övriga fartyg vanligtvis skapar en inåtriktad eller strandparallell rörelse. Möjligen skulle denna effekt kunna vara orsakad av Navigators annorlunda framdrivningssystem med s k "pod-aggregat".

Från mätstationerna på Lidingö föreligger en konsekvent genomförd subjektiv bedömning av respektive fartygs kapacitet att förflytta material. Här ligger "Navigator" tillsammans med flera färjor på en relativt hög kapacitet, stenar med diameter upp till 60 mm kan förflyttas av vågrörelserna, men på en ännu högre nivå (>100 mm) återfinns skärgårdstrafikens Cinderella-båtar. Ett genomsnitt för färjetrafiken är annars att material med diameter upp till 30-50 mm förflyttas.

Ett intressant sidoresultat från denna undersökning är också en bekräftelse av det kända faktumet att olika fartyg är olika skonsamma. Tidigare undersökningar har alltid pekat mot oförutsägbarheten när det gäller mätvärden, och detta bekräftas med önskvärd tydlighet även av denna studie. Det finns inga möjligheter att förutse att en given färja vid en given passage med en given fart skall generera en viss avsänkning eller en förutsägbar svallvågshöjd. Detta får med denna studie anses fastslaget. Den rimligaste orsaken till denna bristande möjlighet måste vara att den komplexa bottenpografien gör såväl teoretiska beräkningar som praktiska mätningar oförutsägbara. Detta hindrar dock inte att vissa fartyg utmärker sig genom ständigt återkommande höga respektive låga mätvärden. Även om mätvärdena varierar från gång till gång, avviker de oftast tydligt från normalvärdena. Ett sådant exempel är "Silja Festival", som är det fartyg som svarar för de högsta mätvärdena på de flesta mätstationerna. Det gäller både avsänkning och svall. Ett exempel på motsatsen är fartyget "Birka Paradise" som alltid placerar sig i gruppen med låga värden, och som oftast ger mycket små svallvågor.

Det är viktigt att ha i minnet att erosionsskadorna i en känslig led till stor del styrs av de "aggressivaste" fartygen. Det är de högsta energierna som sätter nivån för strandens ombyggnad mot jämvikt. Ombyggnaden är en naturlig process som har sin parallell i ytterskärgårdens stränder. Enstaka men regelbundet återkommande stormar skapar vågor som sorterar ut det strandmaterial som vågorna förmår flytta. Efter en sådan sortering kan mindre vågor inte åstadkomma någon större förändring, hur frekventa de än är. På samma sätt fungerar det i en skyddad farled, där de energirikaste fartygsalstrade vågorna sorterar och eroderar stranden, varefter de mindre energirika vågorna knappast påverkar alls. Ett fartyg som "Silja Festival", eller skärgårdstrafikens Cinderella-båtar där de rör sig, kan alltså vara betydligt mer skadligt för stränderna än många av de övriga tillsammans. Det är därför med ett sådant "högnivåfartyg" som en ny besökare som "Navigator" skall jämföras i första hand. "Navigator" ligger i de flesta fall betydligt under "Silja Festival" både vad gäller avsänkning och svallvågshöjd, vilket åtminstone delvis kan tillskrivas skillnaderna i fart.

Under mätningarna har fartygens farter följts via AIS (Automatic Identification System). De har dock inte registrerats annat än för Navigator vid de aktuella mättillfällena. Undersökningen har inte syftat till att fastställa eller koppla mätvärden till fartöverträdelser gällande ett visst fartyg, utan till att registrera de "normala" förhållandena i Furusundsleden. Det kan konstateras att trafiken i stort sett följer gällande regler även om hastigheten generellt ligger 0,5 – 1 knop över tillåten fart. Det är dock inte ovanligt med betydligt större hastighetsöverträdelser även i de känsliga delarna av leden, vilket ur erosionsskadesynpunkt är mycket olyckligt. Farten är den ojämförligt viktigaste faktorn när det gäller att hålla energin mot stränderna på en låg nivå. En extra olycklig situation har dessutom rått under vintern 2007 då vattenståndet i skärgården varit extremt högt, under lång tid mer än en meter över normalvatten. Detta har inneburit att erosionsskador som tidigare nått jämvikt på en skyddad nivå nu har kommit att aktiveras på nytt, och skadesituationen i Furusundsleden har förvärrats.

En – möjligen något utopisk – framtidsvision där skyddet av känsliga stränder fått en viktig plats i miljöarbetet, skulle därför kunna innebära ett system med differentierade fartgränser, där fartyg med skonsamma skrov tilläts hålla högre hastighet än mindre skonsamma, och där farterna tillfälligt begränsades vid situationer med höga vattenstånd. En fastare övervakning av att fartgränserna efterlevs skulle också starkt bidra till en förbättrad situation. Man bör heller inte glömma att stranderosion skapas av energi som "blivit över" vid fartygets framfart. Det kan knappast ligga i redarens intresse att stora delar av det dyrt betalda bränslet används till att flytta grus i stränderna i stället för att flytta fartyget framåt. Att minska energitrycket mot farledsstränderna är därför något som alla vinner på.

Jämförelse av uppmätta värden med teoretiska förutsägelser

Som inledningsvis nämnts, har SSPA (2006 4325-1) utfört en mycket genomarbetad studie av situationen för Navigator vid inpassage till Stockholm, såväl från manöversynpunkt som från erosionsrisksynpunkt. Studien jämför Navigator med det för närvarande största fartyget i reguljär trafik – Silja Europa – och det konstateras att ur manöversynpunkt är riskerna relativt små, under förutsättning att hänsyn tas till vindar och att farten anpassas.

Rapportens teoretiska genomgång av eventuella erosionsrisker vid farledsstränderna är intressant och klagörande. Det konstateras att intresset i första hand bör knytas till avsänkningseffekterna, och via modellberäkningar görs förutsägelsen att Navigator kommer att generera en högre avsänkning än jämförelsefartyget Silja Europa, men att svallvåghöjden sannolikt bör bli lägre. På basis av beräkningarna utfärdas rekommendationen att Navigator bör hålla en fart av max 8 knop vid passage av känsliga områden som Nykvarnsholme, för att effekterna inte skall bli högre än för den reguljära trafiken.

I rapporten framhålls i flera sammanhang omöjligheten att utföra teoretiska beräkningar av effekterna för ett givet strandavsnitt med ett givet fartyg i given hastighet. Resultatet influeras i verkligheten av så många osäkra och icke mätbara faktorer att det i praktiken blir omöjligt att förutse effekterna. Vågbildning kan med tämligen gott resultat beräknas i modellförsök, men endast i rännor med en enkel och noga kontrollerad "lådprofil". I verkligheten spelar farledens varierande bottenpografi en viktig roll, liksom fartygets läge i ledens profil, girar, fartändringar, propellerströmmar mm. SSPA konstaterar därför i sin rapport behovet av kompletterande praktiska mätningar i samband med Navigators rörelser i Furusundsleden, och föreliggande undersökning utgör just detta välkomna komplement.

Det kan konstateras att SSPA's rekommendationer varit högst relevanta. Navigator riskerar att generera avsevärt större avsänkningar än reguljär trafik om inte farten kontrolleras. Vid

Nykvarnsholme rekommenderades en hastighet för Navigator om 7,2 knop (SSPA fig 11-12, sid 36-37) för att avsänkningen skulle understiga Silja Europas vid 12 knop. Vid mätningarna i praktiken kunde konstateras att Navigator vid verklig fart 7,7 resp 7,6 knop skapade betydligt lägre avsänkningar än Silja Europa och att svallvågorna var mycket låga. Huruvida detta beror på att Navigators effekter var lägre än teoretiskt beräknat eller om Silja Europas var högre kan inte avgöras av de praktiska mätningarna.

Vid passage av Björnhuvud där Navigator tilläts hålla samma hastighet som övrig trafik finns en bra möjlighet att jämföra effekterna. Det visar sig då inte helt oväntat att avsänkningen från Navigator översteg den övriga trafikens. Mindre väntat var emellertid att även svallvågorna blev högre än från annan trafik. Detta är dock tydligt även på andra mätstationer där Navigator hållit 12 knop. I föregående avsnitt "Diskussion" redovisas att Navigators svallvågor till formen avviker tydligt från övriga fartygs, med några få men höga svall med ovanligt kort våglängd. Det är här inte möjligt att spekulera i varför de teoretiska modellerna resulterade i våghöjder med lägre amplitud än de faktiskt uppmätta, men ett intressant faktum i sammanhanget kan kanske vara att energinivåerna i Navigators svallvågor ändå kan vara låga, på grund av den relativt korta våglängden.

Sammanfattningsvis kan konstateras att de på teoretisk basis rekommenderade fartsänkningarna var relevanta, och att förutsägelseerna om avsänkningarnas storlek var rimliga, medan svallvågshöjderna i verkligheten avvek markant från den teoretiska beräkningen.

REFERENSER

Granath, L. 1992: Farledsstränders erosionskänslighet. Rapport nr 1992:10, Länsstyrelsen i Stockholms län.

Granath, L. 2004: Fartygstrafik och stranderosion i Stockholms skärgård. Rapport nr 2004:19, Länsstyrelsen i Stockholms län.

SSPA report: Ottosson, P. – Forsman, B. : Real time simulation study of Cruiser Liner Navigator into Stockholm. SSPA Report 2006 4325-1



Erosionsmätningar vid Björnhuvud, Furusundsleden

Syfte

Syftet med detta experiment var att försöka hitta en metod för att kunna mäta skillnaden mellan olika större fartygs påverkan på den strandnära havsbotten. Med större fartyg avses så kallade finlandsfärjor och liknande.

Bakgrund

Då ett fartyg passerar påverkas den strandnära havsbotten. Precis då båten passerar inträffar den så kallade avsänkningen då vattenytan sjunker och vatten strömmar utåt för att sedan återkomma och strömma inåt. Sedan kommer båtens svallvågor in mot stranden. Hur stor avsänkning respektive svall blir varierar mellan olika fartyg, beroende på dess storlek, hastighet samt flera andra faktorer. Svallvågorna påverkar botten genom att både större och mindre stenar kommer i rörelse. Avsänkningen påverkar framförallt finare material. Att botten påverkas är uppenbart, men att mäta skillnaden mellan olika fartygs påverkan på botten är inte lätt.

Detta experiment utfördes i samband med mätningarna av miljöpåverkan av kryssningsfartyget Navigator of the Seas under maj-juni 2007, se huvudrapporten av Lars Granath.

Metodik

Mätobjekt

För att kunna mäta vad som händer på havsbotten behövdes likformiga objekt av olika storlek och vikt. För detta valdes muttrar, som lätt går att få tag på i olika storlekar. De är likformiga och kan ligga still på botten utan att rulla iväg.

För att muttrarna inte skulle sjunka ned i sanden och försvinna försågs de med "svansar" av olikfärgade plastsnören.

Muttrar

Storlek (mm)	Vikt (g)
5	0,32
7	0,69
8	1,03
9	2,23
13	4,57
17	10,15



Bild 1: Muttrarna av olika storlek och med olikfärgade "svansar".

Utplacering av muttrarna



Bild 2: Utplacering av muttrarna på botten.

Muttrarna var av sex olika storlekar. De placerades ut på havsbotten på sex olika nivåer, mellan 10-60 cm djup, så att det på varje nivå lades sex muttrar, en av varje storlek. Varje nivåns muttrar hade sin egen färg på svansarna. Muttrarna på varje nivå placerades ut på en någotsånär rak linje och med hyfsat jämnt avstånd mellan varje mutter (ca 15cm).

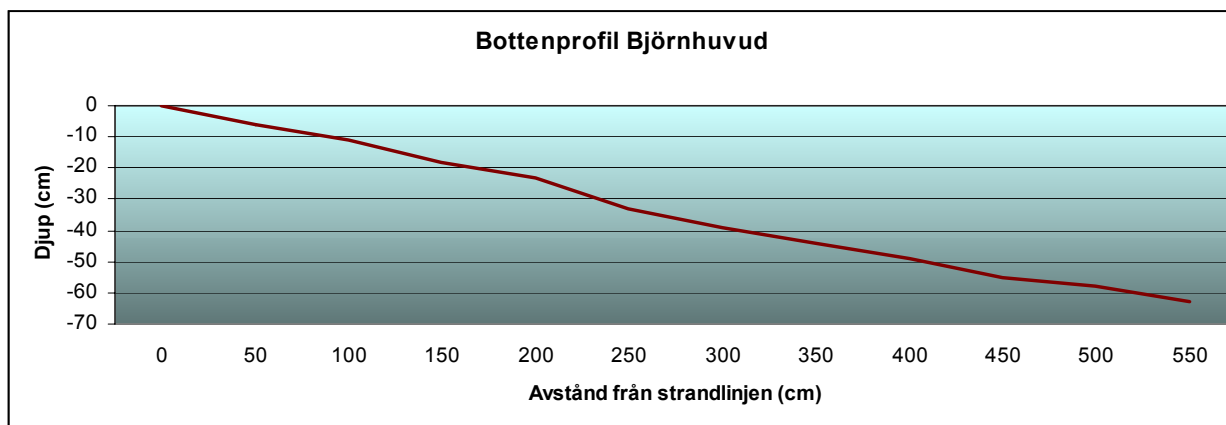


Diagram 1: Bottenprofil vid Björnhuvud. Botten sluttar jämnt utåt från stranden.

Mätning

Efter en fartygspassage noterades vad som hade hänt, det vill säga vilka muttrar som hade flyttats från sin ursprungliga position. Som flytt räknas att positionen ändrats minst 5 cm.

Metodikproblem

Plastsnören är ihåliga och rymmer luft som förmodligen påverkar muttrarnas vikt i vattnet. Ett större problem var dock att botten var täckt av material av olika storlek, allt från finkorning sand/sediment upp till ca 20 cm stora stenar. Muttrarnas svansar kunde lätt kila in sig mellan stenar, fastna och därmed blev muttern opåverkad av en båtpassage.

Resultat

Muttrarna på de grundaste nivåerna påverkades mest. De mindre, och lättare, muttrarna flyttades oftare än de större muttrarna. Muttrar på större djup flyttades mer sällan.

Hur många muttrar som påverkades varierade tydligt mellan olika fartygspassager.

Trots få mätningar kan man se en skillnad mellan olika fartyg.

Silja Festival påverkar till exempel fler muttrar på fler nivåer än vad *Birka Paradise* gör.

Det förefaller vara främst svallet som påverkar muttrarna. Ofta rördes grus och stenar om så kraftigt på de grundaste nivåerna att muttrarna där begravdes, försvann och fick letas reda på med hjälp av en stålräfsa. Muttrarna på de djupaste nivåerna flyttades inte så ofta men då botten där bestod av finkornig sand/sediment hände det att de sjönk ned i sedimentet.

Noterbart är att muttrarna i de flesta fall flyttades inåt eller åt sidan. Men när *Navigator of the Seas* passerade på väg ut så flyttades de minsta muttrarna på de djupaste nivåerna kraftigt utåt (>50cm). Vid denna båts passage kunde man se att mycket löst material från botten (sjögräs, sediment, rep, etc) virvlade upp mot ytan. En sådan påverkan kunde inte ses då andra båtar passerade.

Datum	Tid	Fartyg	Sänkning cm	Svall cm	Mutter 10cm	Mutter 20cm	Mutter 30cm	Mutter 40cm	Mutter 50cm	Mutter 60cm
2007-05-22	16:45	Amorella	17	20	6	6	1	0	2	-
2007-05-31	16:42	Amorella	12	15	6	4	1	2	0	0
2007-05-22	19:34	Birger Jarl	3	40	-	4	0	0	0	-
2007-05-31	19:26	Birger Jarl	7	45	4	4	2	0	0	0
2007-06-09	20:38	Birger Jarl	5	45	-	2	0	0	2	0
2007-05-22	13:18	Birka Paradise	15	15	2	2	0	0	0	-
2007-05-31	20:35	Birka Paradise	22	25	1	0	0	0	0	0
2007-06-09	20:34	Cinderella	15	25	-	0	0	0	0	0
2007-05-31	18:53	Mariella	22	50	6	3	1	2	0	0
2007-06-09	07:40	Navigator of the Seas	30	35	6	4	4	4	3	4
2007-06-09	20:49	Navigator of the Seas	32	65	-	0	0	1	1	2
2007-06-09	20:21	Romantica	15	30	6	2	0	0	1	0
2007-05-22	17:07	Silja Festival	15	30	6	6	6	6	6	-
2007-05-31	17:05	Silja Festival	13	35	6	6	2	2	3	1
2007-05-22	19:20	Silja Serenad	20	30	-	2	0	0	0	-
2007-05-31	19:14	Silja Symphony	22	35	4	5	1	0	0	0
2007-05-31	20:12	Victoria	22	40	6	5	2	1	1	2

Tabell 1: Siffrorna i mutterkolumnerna i tabellen betyder **antalet muttrar som flyttats på respektive nivå**. Står det 6 så har alla muttrar på den nivån flyttats. Står det 2 betyder det att de två lättaste muttrarna på den nivån flyttats.

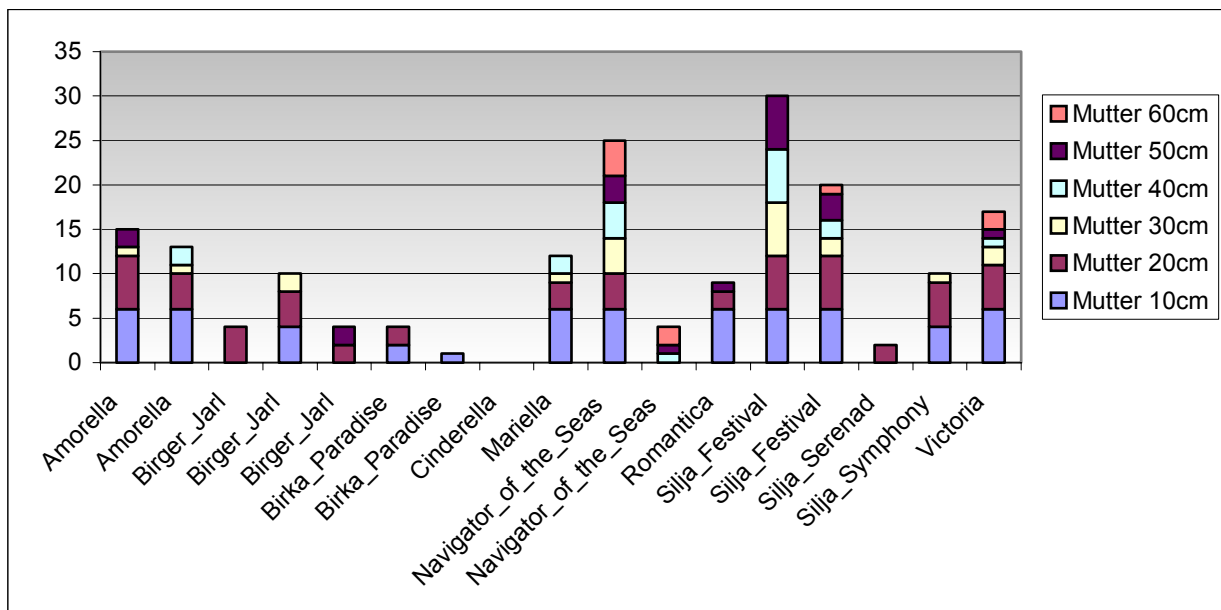


Diagram 2: Antalet flyttade muttrar per båtpassage och nivå.

Diskussion

Mätningarna är få och fler skulle behöva göras. Metodiken skulle kunna förbättras genom att muttrarna placerades ut på en slät sandbotten så att de inte fastnar bland stenarna. Experimentet visar ändå tydligt att det går att få mätbara skillnader mellan hur mycket olika fartyg påverkar den strandnära havsbotten.

Anna-Stina Andersson
anna-stina.andersson@telia.com
 070-255 94 24

2007-07-05

Bilaga 1, mätresultat Klippudden

Ingående

Datum	Tid	Fartyg	B-våg	K-våg
09-maj	14.15	Birger Jarl	0	25
	14.35	Viking Cinderella	0	20
	15.00	Paradise	3	15
15-maj	16.40	Cinderlla II		30
	18.25	Amorella	10	30
	18.42	Festival		45
	19.00	Sky Wind	3	50
17-maj	18.27	Amorella	9	23
	18.40	Festival	13	50
	18.44	Sky Wind	7	55
09-jun	9.40	Navigator	5	50
	18.20	Amorella	15	27
15-jun	06.10	Isabella	4	27
	06.50	Europa	9	30
	7.00	Sea Wind	3	27
		Boudicca	2	40
	9.20	Serenade	5	30
	9.30	Gabriella		17
	9.50	Romantica		34
01-jul	18.16	Amorella	5	20
	18.41	Festival	10	52
	18.48	Sky Wind		30
04-jul	18.19	Amorella	8	35
	18.41	KBV 010		45
	18.45	Festival	12	50
	18.48	Solskär		30
	18.50	Cinderella II		52
	18.55	Sky Wind	15	55
06-jul	6.00	Isabella	4	40
	6.20	Europa	5	40
	6.29	Deutschland	3	18
	6.52	Sea Wind	3	15
	8.24	A 513		32
	8.29	M 1059		25
	8.32	M 1065		30
	8.42	Vana Tallinn	3	27
	8.55	Symphony	2	35
	8.59	Mariella		23
	9.14	Sea Wind	2	32

Bilaga 1, Klippudden forts.

Utgående

Datum	Tid	Fartyg	B-våg	K-våg
15-maj	16.40	MSC Opera		35
	17.14	Mariella	2	27
	17.17	Princess Danae		12
	17.45	Symphony		32
	17.50	Birger Jarl		27
	18.45	Cinderella I		40
	18.30	Viktoria I		25
	18.35	Cinderella II		35
	18.37	Viking Cinderella		25
	18.45	Paradise		16
17-maj	18.30	Victoria I		27
	18.34	Viking Cinderella		25
	18.46	Paradise		20
09-jun	18.45	Romantica		15
	18.50	Navigator	19	40
	18.55	Viking Cinderella	4	30
15-jun		Aida Aura		25
	8.00	Isabella	8	45
	8.10	Europa	5	40
	9.45	Sea Wind		23
01-jul	18.31	Romantica		27
	18.53	Birger Jarl		26
	19.02	Viking Cinderella	3	30
04-jul	18.00	Cinderella I		50
	18.30	Askungen		45
	18.33	Victoria I		40
	18.52	Paradise	3	23
06-jul	8.09	Isabella	2	33
	8.34	Europa	2	25
	9.15	Victoria I		18

Bilaga 2, mätresultat Elfvik

Ingående

Datum	Tid	Fartyg	B-våg	K-våg
08-jun	18.42	Festival	20	30
	18.45	Amorella	20	25
	18.51	Sky Wind	30	35
09-jun	9.35	Navigator	19	50
	18.45	Festival	34	23
26-jun	18.40	Cinderella II		50
	18.41	Clipper Sira		40
	19.00	Festival	43	55
	19.05	Sky Wind	39	42
	19.28	Amorella	35	30
02-jul	6.17	Europa	42	22
	6.54	Sea Wind	16	27
	8.39	Vana Tallin	21	30
	8.48	Symphony	16	20
	8.52	Mariella	23 -	
	9.11	Victoria I	7	17
	9.35	Lapland	12	17
	18.15	Amorella	32	33
	18.35	Festival	55	50
	18.41	Cinderella II		60
	18.50	Sky Wind	18	35
03-jul	8.41	Regina baltica		15
	8.47	Serenad	27	40
	8.57	Gabriella	-	25
	9.16	Star Princess	17	15
	9.20	Romantica	12	38
	18.15	Amorella	29	25
	18.38	Festival	42	65
	18.40	Cinderella II		65
	18.46	Sky Wind	45	33

Utgående

Datum	Tid	Fartyg	B-våg	K-våg
08-jun	18.03	Symphony		23
	18.05	Cinderella I		35
	18.40	Cinderella II		37
	18.45	Viking Cinderella	7 -	
	18.56	Birger Jarl		12

09-jun	18.51	Romantica		15	
	18.56	Navigator	10	32	
	18.59	Paradise		15	
26-jun	17.22	Mariella	7	20	Fortsättning Elfvik utgående
	17.30	MSC Opera		28	
	17.40	Vana Tallin		15	
	17.44	Symphony	5	33	
	17.54	Emirates Swan		12	
	18.10	Cinderella I		45	
	18.37	Birger Jarl		23	
	19.02	Paradise	20	27	
02-jul	8.12	Isabella		35	
	8.35	Europa	7	25	
	9.14	Sea Wind		25	
	10.08	Cinderella II		45	
	17.20	Mariella	10	30	
	17.44	Symphony	6	22	
	17.50	Vana Tallin		13	
	17.58	Birger Jarl		15	
	18.07	Cinderella I		57	
	18.46	Victoria I		10	
03-jul	8.13	Isabella	3	35	
	8.39	Europa	7	18	
	9.17	Sea Wind	3	23	
	18.08	Cinderella I		60	
	18.35	Romantica		23	

Bilaga 3, mätresultat Nykvarnsholme

Ingående

Datum	Tid	Fartyg	B-våg	K-våg
09-jun	07.45	Navigator	30	20 7,9 kn

Utgående

Datum	Tid	Fartyg	B-våg	K-våg
08-jun	09.35	Isabella	110 -	
	09.55	Europa	170 -	
09-jun		Romantica	90	50 12,2 kn
		Paradise	135	20 12,2 kn
		Cinderella	110	30 12,1 kn
		Birger Jarl	25	60
		Navigator	35	20 7,6 kn

Bilaga 4, mätresultat Björnhuvud**Ingående**

Datum	Tid	Fartyg	B-våg	K-våg
10-maj	12.53	Viking Cinderella	20	30
	13.15	Paradise	20	30
	16.45	Amorella	15	15
	17.09	Festival	16	40
	17.15	Sky Wind	10	20
16-maj	13.13	Paradise	15	35
	16.46	Amorella	20	15
	17.06	Festival	25	40
	19.02	Sky Wind	25	30
22-maj	13.18	Paradise	15	15
	16.45	Amorella	20	20
	17.07	Festival	17	30
	17.14	Sky Wind	14	20
31-maj	13.10	Paradise	18	20
	16.42	Amorella	16	15
	17.05	Festival	17	35
	17.15	Sky Wind	15	25
09-jun	07.11	Gabriella	16	40
	7.33	Romantica	14	20 12,4 kn
	7.40	Navigator	40	35 12,0 kn

Utgående

Datum	Tid	Fartyg	B-våg	K-våg
10-maj	10.10	Europa	20	35
16-maj	18.52	Gabriella	20	25
	19.16	Serenad	25	30
	19.40	Birger Jarl	2	45
	20.25	Romantica	25	45
22-maj	18.55	Gabriella	12	25
	19.20	Serenad	25	30
	19.34	Birger Jarl	4	40
	20.03	Romantica	19	30
31-maj	18.53	Mariella	26	50
	19.14	Symphony	27	35
	19.26	Birger Jarl	9	45
	20.12	Victoria	25	40
	20.35	Paradise	28	25
09-jun	9.42	Isabella	19	25
	10.09	Europa	26	40

20.21	Romantica	18	30 12,9 kn
20.31	Paradise	25	40 12,4 kn
20.34	Cinderella	19	25 12,0 kn
20.38	Birger Jarl	5	45
20.49	Navigator	40	65 11,5 kn

Bilaga 4, mätresultat Björnhuvud utgående, fortsättning

Bilaga 5, mätresultat Stabo udde

Ingående

Datum	Tid	Fartyg	B-våg	K-våg	
15-maj	12.40	Cinderella	60	30	
22-maj	06.55	Gabriella	50	30	
	07.20	Romantica	65	30	
	12.15	Birger Jarl	10	20	
	13.00	Paradise	65	20	
	16.30	Amorella	75 -		
	16.55	Festival	70 -		
	17.00	Sky Wind	45	20	
04-jun	12.40	Cinderella	55	30	
	12.55	Paradise	50	20	
	16.25	Amorella	45	20	
	16.57	Festival	80	30	
05-jun	06.50	Serenade	80	30	
	06.57	Gabriella	50	20	
	07.15	Romantica	80	20	
	12.20	Birger jarl	15	25	
	12.35	Cinderella	80	30	
	12.57	Paradise	60	20	
	16.35	Amorella	30	20	
	16.58	Festival	40	30	
	17.04	Sky Wind	50	25	
09-jun	07.10	Romantica	100	35	
	07.20	Navigator	35	10	8 kn
15-jun	10.47	Costa magica	50	20	
	12.45	Cinderella	80	30	
	12.57	Paradise	80	30	
	16.25	Amorella	45	20	
	16.55	Festival	50	30	
	16.57	Sky Wind	60	20	

Utgående

Datum	Tid	Fartyg	B-våg	K-våg	
15-maj	09.55	Isabella	35	25	
	10.15	Europa	60	20	
	10.55	Sea Wind	20	20	
22-maj	10.00	Isabella	25	30	
	10.20	Europa	65	30	

	11.20	Sea Wind	15	30
05-jun	10.00	Isabella	20	20
	10.15	Europa	45	25
	10.57	Sea Wind	25	20
09-jun	10.25	Europa	45	35 13 kn
	20.35	Romantica	60	35 12,6 kn
	20.49	Paradise	30	20 12,4 kn
	20.52	Cinderella	45	20 12,1 kn
	20.56	Birger Jarl	5	35
	21.10	Navigator	15	30 8,0 kn
15-jun	10.05	Isabella	35	20
	10.13	Europa	50	25
	10.53	Sea Wind	35	10

Bilaga 5, mätresultat Stabo udd utgående, forts.

Bilaga 6, mätresultat Stor-Andö

Ingående

Datum	Tid	Fartyg	B-våg	K-våg
08-jun	16.40	Festival	20	40
	16.47	Amorella	15	25
	17.01	Sky Wind	15	45
09-jun		Gabriella	16	20 12,0 kn
		Navigator	10	20 10,4 kn

Utgående

Datum	Tid	Fartyg	B-våg	K-våg
09-jun		Navigator	25	15 11,8 kn

Bilaga 7, mätresultat Furusund

Ingående

Datum	Tid	Fartyg	B-våg	K-våg	
10-maj	11.22	Birger Jarl		15	
	11.43	Cinderella	10	15	
	12.02	Paradise	4	15	
23-maj	11.21	Birger Jarl	1	15	
	11.50	Cinderella	5	30	
	12.00	Paradise	6	20	
	15.45	Amorella	6	30	
	16.07	Festival	5	30	
	16.15	Sky Wind	5	20	
31-maj	11.23	Birger Jarl	1	15	
	11.41	Cinderella	6	10	
	12.00	Paradise	3	10	
03-jun	11.42	Cinderella	10	18	
	11.57	Paradise	5	15	
	12.20	Birger Jarl	0	15	
	15.40	Amorella	6	30	
	16.10	Festival	10	30	
	16.20	Sea Wind	3	10	
09-jun	06.00	Gabriella	4	20	
	06.17	Navigator	10	30	7,7 kn

Utgående

Datum	Tid	Fartyg	B-våg	K-våg	
10-maj	11.05	Europa	5	15	
	11.50	Sea Wind	2	15	
23-maj	11.37	Sea Wind	2	10	
31-maj	11.43	Sea Wind	0	18	
03-jun	10.46	Isabella	5	20	
	11.02	Europa	6	15	
	11.44	Sky Wind	2	25	
09-jun	21.44	Cinderella	7	15	8,3 kn
	21.47	Birger Jarl	2	8	
	22.07	Navigator	15	4	7,9 kn

Bilaga 8, mätresultat Ålandskobb

Ingående

Datum	Tid	Fartyg	B-våg	K-våg	
09-jun	05.45	Gabriella	10	60	13,2 kn
	06.05	Navigator	10	50	11,8 kn
	06.10	Romantica	15	40	13 kn

Utgående

Datum	Tid	Fartyg	B-våg	K-våg	
08-jun	21.00	Cinderella	10	60	
		Serenad	70	80	
09-jun	21.50	Paradise	35	30	14,2 kn
	21.55	Cinderella	20	40	14,6 kn
	22.00	Birger Jarl	0	50	
	22.25	Navigator	35	50	15,9 kn