

Erosionsutvecklingen i Furusundsleden 2015



Slutrapport om erosionsproblem, utvecklingstendenser
och åtgärdsförslag

Lars Granath
Hydrographica
2015-12-31

Föreliggande rapport är resultatet av ett fristående forskningsprojekt som finansierats av Trafikverket, Sjöfartsverket och Stockholms Hamn. Författaren ansvarar själv för innehållet. Slutledningar och ställningstaganden är författarens egna och skall inte förutsättas representera finansierande parters åsikter.

RESUMÉ OCH SAMMANFATTNING AV PROJEKTETS SAMTLIGA TRE DELAR

Under perioden 2013-2015 har problemen kring den fartygsgenererade stranderosionen studerats inom ett projekt som initierats och finansierats av Trafikverket, Sjöfartsverket och Stockholms Hamn. Undersökningen har utförts av FD Lars Granath. Undersökningen har enbart fokuserat på ett givet avsnitt av Furusundsleden, mellan Vällersvik och Stabo udde, ett avsnitt som är speciellt utsatt för erosion på grund av att fastlandsstränderna i just detta avsnitt består av lätterederat finmaterial på flacka stränder. Detta innebär inte att erosionsproblem inte skulle finnas på andra platser längs farlederna, men längs detta avsnitt är de som tydligast, och det är här förändringarna är som störst.

Undersökningen är uppdelad i tre separata delar, som var och en avkastat en årlig rapport.

1. Den första delen som utfördes år 2013 avsåg att fastställa i vilken utsträckning stränderna påverkats, och om påverkan i så fall var allvarlig.
2. Den andra delen avsåg att fastställa den tyngre fartygstrafikens vågbildning för att om möjligt identifiera skillnader mellan olika fartyg i olika farter.
3. Den tredje och sista delen som i och med föreliggande rapport är slutförd avser att så långt möjligt avgöra erosionsskadornas utveckling under den tvåårsperiod som projektet pågått. Målsättningen är också att sammanfatta projektet som helhet och visa på tänkbara lösningar för att minska den påfrestning på känsliga stränder som trafik med stora fartyg orsakar.

Resultat från delundersökning 1

Den första delundersökningen från 2013 finns redovisad i rapporten ”Erosionsskador i Furusundsleden 2000-2013” (Granath 2014). Denna delundersökning bygger på en mycket detaljerad inventering av erosionsskador som utfördes av författaren år 2000, och med vilken en upprepad inventering med samma metodik år 2013 kunde jämföras. Jämförelsen visade mycket entydigt att skadorna i det aktuella farledsavsnittet hade förvärrats och blivit mer omfattande under denna 13-årsperiod. Generellt sett kunde det påvisas att skadornas omfattning fördubblats, och i vissa speciellt känsliga partier trefaldigats. Ökningen av skadorna kan antas ha gått parallellt med ökningen av tonnaget som trafikerar leden, och det hölls för sannolikt att det fanns en koppling till framför allt de ökade avsänkningseffekterna som följde med den ökade trafiken med allt större kryssningsfartyg till och från Stockholm. Efter denna första delundersökning som visade att det fanns problem som krävde åtgärder tog Sjöfartsverket ett eget initiativ att sänka farten i avsnittet från 12 till 10 knop för lotsade fartyg över en given storlek. Senare förordnade länsstyrelsen om en allmän fartbegränsning till 10 knop för skepp oavsett storlek, utom för fartyg i tidtabellsbunden trafik till och från Åbo, som fortsatt fick hålla 12 knop enligt dispens.

I denna första delundersökning vidtogs även förberedande åtgärder för övervakning av stränderna på mera kort sikt än de tretton år som förflutit mellan de stora inventeringarna år 2000 och 2013. Det innebar att ett antal känsliga strandpartier dokumenterades ingående på noggrant fixerade platser så att man senare skulle kunna inventera och dokumentera exakt samma strandparti, och fastställa eventuella förändringar. Avsikten var att i den tredje och avslutande delundersökningen utföra en sådan undersökning av effekter på kort sikt för att om

möjligt avgöra om vidtagna åtgärder haft effekt eller inte. Resultatet presenteras nu i den föreliggande tredje delstudien, se sammanfattningen nedan.

Resultat från delundersökning 2.

Den andra delundersökningen som avsåg att studera vågbildningen från olika fartygstyper och individuella fartyg redovisades i rapporten ”Vågmätningar i Furusundsleden 2014” (Granath 2015). I denna undersökning utfördes under tre månader en kontinuerlig mätning av samtliga fartygs- och vindvågor på tre platser under trafiksäsongen 2014, samt under en månads lång försöksperiod där rederierna tillfälligt lät framföra fartygen även i andra hastigheter än de normala servicefarterna. Samtliga mätningar utfördes med en automatiskt registrerande vågmätningssutrustning som bygger på en speciell typ av ledningstråd vars kapacitans varierar med hur stor del av tråden som befinner sig i vatten. Mätmetoden är tillförlitlig och utvärderingen kunde göras med stor noggrannhet. Det var efter utvärderingen mycket tydligt dels att fartygens hastighet spelar en mycket stor roll för avsänkningarnas storlek, dels att fartygen också har mycket individuella egenskaper när det gäller bildningen av ytvågor. Tack vare det omfattande materialet kunde nu också slutgiltigt ledas i bevis det tidigare påståendet att bottentopografin har en avgörande inverkan på hur bernoullivågen/avsänkningens uppträder vid en given plats längs leden. Det blev också uppenbart att relativt små fartskillnader i storleksordningen 0,2-0,5 knop kan orsaka stora skillnader i bernoullivågens energi mot land, särskilt när det gäller strandavsnitt med speciella lokala egenskaper i form av strandmaterial och bottentopografi.

Resultat från delundersökning 3.

Den tredje och sista delundersökningen i detta treåriga projekt presenteras nu i föreliggande slutrapport. Avsikten är att knyta ihop projektet för att om möjligt fastslå problembilden, förutse utvecklingen och anvisa tänkbara åtgärder. Som stöd för arbetet med att förutse utvecklingen har under sommaren 2015 utförts återinventeringar av de utvalda undersökningslokaler som etablerades i projektets inledning år 2013. Det visar sig att två år är för kort tid för att utvecklingen skall kunna tolkas entydigt, men resultatet ger ändå anledning till en försiktig optimism om att de vidtagna fartsänkingsåtgärderna har haft effekt. Flertalet av undersökningslokalerna uppvisar små eller inga förändringar, eller till och med återhämtningar, men det är också tydligt att erosionen på andra ställen fortfarande är aktiv. En orsak kan vara att även om medelnivån på vågenergierna har reducerats i samband med vidtagna fartsänkingsåtgärder så kvarstår fortfarande trafik med fartyg som genererar avsevärt högre energier än övriga. Det är dessvärre så att erosionseffekterna till stor del styrs av ”toppenenergin” och inte av ”medelnivån”.

De slutliga rekommendationerna baseras på resultatet från samtliga delrapporter och bygger på bedömningen att de fartygsgenererade erosionsproblemen är en realitet som av många skäl behöver åtgärdas. Men problemen går knappast att lösa genom att vidta en enstaka reglerande åtgärd, sannolikt går vägen till en förbättrad situation genom ett paket av samverkande åtgärder på flera fronter, vissa bör kunna sättas in omedelbart, vissa är framtidslösningar men bör ändå tas upp till seriös diskussion, men oavsett vilka åtgärder som vidtas, måste de följas upp med ett kontrollprogram. Naturanpassade erosionsskydd i kombination med fartreglering är de åtgärder som bedöms ge effektivaste utdelningen på kort sikt, men man bör också överväga möjligheterna att införa ett system med differentierade och fartygsindividuella fartgränser. Den riktigt stora miljövinsten i ett totalperspektiv skulle erhållas genom en ny, genare och mindre känslig farled till Stockholm.

INNEHÅLL

RESUMÉ och SAMMANFATTNING	3	
EROSIONSUTVECKLINGEN I FURUSUNDSLEDEN		
Sammanfattande slutrapport	6	
Bakgrund	6	
Metodik	6	
Punktobjekt och profiler	6	
Urval och fördelning	8	
Utvärdering	9	
Klassificering	9	
Presentation	10	
Resultat	11	
Förlust av vass genom avsänkningseffekterna	12	
Erosion från höga ytvågor	12	
Diskussion	13	
Vattenstånd	13	
Erosion vid istäcke	13	
Slutsatser	14	
Rekommendationer	14	
Uppföljande kontroller	14	
Erosionsskydd	15	
Fartreglering	15	
Differentierade fartgränser	16	
Alternativa farleder	17	
Litteratur	18	
BILAGA 1 Dokumentation och utvärdering av undersökningslokaler		19 ff

EROSIONSUTVECKLINGEN I FURUSUNDSLEDEN

Sammanfattande slutrapport

Lars Granath

Bakgrund

Under det första året av detta treåriga projekt gick en del av arbetet ut på att etablera ett antal ”kontrollstationer” som i framtiden skulle kunna återspegla utvecklingen av erosionsskadorna i Furusundsleden. I detta fall avses dock inte hela Furusundsleden utan endast det avsnitt mellan Vallersvik och Stabo udde som varit föremål för utredningsprojektet. Anledningen till begränsningen är naturligtvis inte att erosionsskador bara skulle uppträda här, utan att ledavsnittet är ledens mest känsliga avsnitt vad gäller strandmaterial och därför är det avsnitt som reagerar tydligast på belastning eller på åtgärder som är avsedda att minska belastningen.

Under år 2013 valdes därför ett 20-tal specifika platser ut för att bli sådana kontrollstationer. Urvalsgrunder och definitioner behandlas i det följande. Stationerna utgörs dels av kontinuerliga profiler, dels av punktobjekt. I båda fallen är objekten noggrant fixerade och dokumenterade med hjälp av 3D-fotografi. Samtliga kontrollstationer har nu under år 2015 återbesökts och återdokumenterats, och i föreliggande rapport redovisas de iakttagelser som varit möjliga att göra när det gäller förändringar av vegetation och materialsammansättning i respektive profil/punktobjekt.

Metodik

Systemet med kontrollstationer i form av fotodokumenterade profiler är inte nytt. Det har ursprungligen utformats inom det forskningsprojekt som initierades och finansierades av forskningsstiftelsen Tornspiran år 1999-2000. Avsikten var att utforma och testa ett enkelt och kostnadseffektivt sätt att övervaka utvecklingen av erosionsskadorna på skärgårdens stränder, framför allt i mellanskärgårdens farleder för skärgårdstrafiken, som då uppvisade en markant ökande grad av skador. Metoden visade sig vara mycket enkel och effektiv, och presenterades i rapporten ”Fartygstrafik och stranderosion” (Granath 2001). Rapporten och metoden överlämnades till Länsstyrelsen som är tillsynsmyndighet och som också publicerade rapporten (2004:19), men som inte utnyttjade möjligheten att senare följa upp de etablerade kontrollstationerna. Studien visade dock tydligt att metodiken fungerade utmärkt, den var upplagd på ett vetenskapligt sätt med ett antal testlokaler intill farledstrafik som ställdes mot ett antal liknande referenslokaler utan farledstrafik, och resultaten var entydiga. Det har därför inte varit nödvändigt att i den nu aktuella utredningen upprepa denna vetenskapliga men omständliga uppläggningsmetod med referenslokaler ytterligare en gång, metoden är befast och fungerar bevisligen bra och kan tillämpas direkt ”i produktion”. Det är viktigare att den nu utförda undersökningen får så många undersökningslokaler som möjligt i ”skarpt” läge än att upprätta referenslokaler på platser där man ändå kan vara säker på att ingen förändring sker.

Punktobjekt och profiler

Kontrollstationerna är av två slag. Dels förekommer *punktobjekt* där en pågående eller förväntad erosionssituation fotodokumenteras noggrant. Se exemplet i figur 1, som redovisas utförligt i bilaga 1, punktobjekt nr 14.



Figur 1: Dokumentation av punktojekt. (Se även bilaga , objekt nr 13.)

Det sker från – så långt möjligt – samma position och med stereofotografering så att objektet vid analysen senare kan betraktas i 3D, varvid eventuella materialförluster eller påbyggnader kan registreras mycket detaljerat. Dels förekommer en mer omfattande modell där en begränsad men väldefinierad del av stranden registreras i en *profil* från strandlinjen och uppåt land. Denna profil är strängt fixerad av expanderbultar eller dubbar som borrar in i berg eller stabila block. Dubbarna styr sedan en fyra meter lång avvägningsstång som på så sätt kan placeras på samma exakta position vid varje återbesök. Över mätstången placeras sedan en justerbar ställning så att överliggaren blir parallell med stången. Se exemplet i figur 2.



Figur 2. Förberedande arrangemang för fotodokumentation av kontrollprofil. (Se även bilaga 1, objekt nr 2.)

Längs stängen får sedan kameran löpa i en fixtur, så att kameraaxeln alltid bildar nittio graders vinkel mot mätstången och marken. Bilder tas sedan med minst 60% överlappande bildyta mellan bilderna. Detta är förutsättningen för att bilderna sedan skall kunna monteras för fotogrammetrisk stereoanalys och betraktas i 3D. Denna virtuella 3D-analys av profilen gör det möjligt att identifiera även de minsta av förändringar, kornstorlekar kan mätas, vegetationen kan identifieras och i princip kan utvecklingen för varje växtplanta följas från gång till gång. Svårigheten är snarare att avgöra vilka av de minsta förändringarna som är naturliga och vilka som är onaturliga, att identifiera förändringarna är okomplicerat. Profilens bredd är ca 1 meter, och den är vanligtvis lagd så att den når ett stycke ut förbi vattenbrynet vid medelvatten. Således övervakas ca 4 kvadratmeter mark i varje profil.

Urval och fördelning

Omfattningen av undersökningen har bestämts av tillgängliga resurser, men inom de gällande ekonomiska ramarna har det varit möjligt att etablera och analysera ca 20 objekt i farledsavsnittet Vallersvik-Stabo udde. Det måste anses fullt tillräckligt för att på lång sikt erhålla otvetydig information om hur situationen utvecklas. Även om det i den nu aktuella undersökningen bara gått två år mellan analyserna, kommer återbesöken vara fullt möjliga att upprepa under en överskådlig framtid. Metoden är enkel och kräver bara att fixpunkterna kan identifieras vilket inte borde bereda några svårigheter, dubbarna är gjorda i beständigt material och kan återfinnas med gps för grovpositionering och i detalj med hjälp av foton.

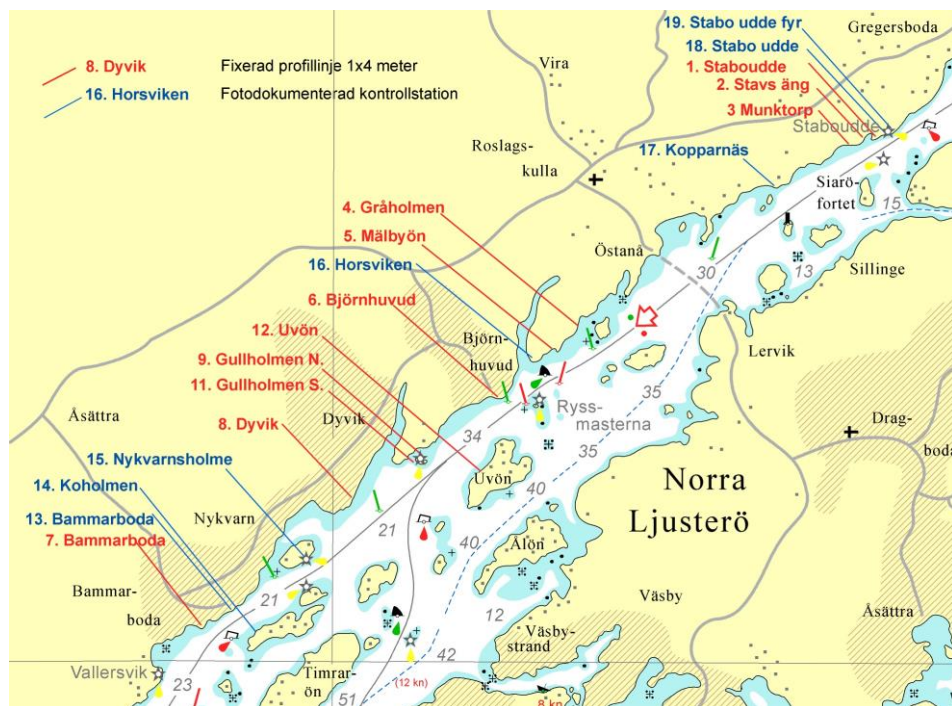
Urvalet av punktojekt och profiler har gjorts på subjektiva och erfarenhetsmässiga grunder. Ett slumpmässigt urval skulle för att avspegla utvecklingen även på de känsligaste strandpartierna kräva en så stor mängd profiler att arbetsinsatsen skulle vara orimlig. Därför har urvalet i stället koncentrerats till de platser där erosionen är i mer eller mindre hög grad förväntad och där utvecklingen åt ena eller andra hållet syns tydligast. Urvalet har gjorts efter ett antal kriterier för att avspegla så många olika erosionssituationer som möjligt. Det handlar om:

- Vassbankar i utsatta och mindre utsatta lägen
- Moränstränder med grovt material och/eller finmaterial
- Sand- och grusstränder som kan förväntas få förändrad kornstorlek
- Stränder som sedan tidigare etablerat en jämvikt och inte borde förändras
- Stränder med etablerat växttäckte där en växtlighetsförlust vore alarmerande

Klipp- och blockstränder är inte erosionskänsliga och har inte varit aktuella vid urvalet av tänkbara undersökningsobjekt. Eftersom en övervägande del av farledens östra stränder består av sådana klipp- och blockstränder har urvalet kommit att fokuseras på farledens västra stränder, fastlandsstränderna. Av naturliga skäl som har med inlandsisens materialtransport att göra är det också så att de flacka stränderna på fastlandssidan har fått ta emot det mesta av det finkorniga material som inlandsisen avlastat i lä av bergen innanför, medan det på den östra strandens klippiga och branta topografi i stället skett en upplockning av material och en senare friläggning av berggrunden när landhöjningen så småningom blottat ny klippstrand. De flacka västra stränderna har i stället i samband med att vattenytan sjönk fått ackumulera ytterligare finmaterial som naturligt eroderats loss och slutligen svallats ner från bergsområdena i baklandet och nu återfinns på de låglänta stränderna i dagens vattennivå. Detta är också förklaringen till varför vassar är så sparsamt förekommande längs de bergiga östra farledsstränderna medan de täcker mycket stora delar av de finkorniga västra stränderna. Dessa vassstäckta finmaterialstränder är mycket känsliga för de kraftiga vattenströmmar som

alstras av farledstrafikens tryckvågor, och vassen har under en följd av år uppvisat en kraftig tillbakagång till följd av detta.

I figur 3 visas var de olika objekten är belägna och till vilken kategori de hör. Röda namn och pekare avser ”profilobjekt”, blå avser ”punktobjekt”.



Figur 3. Positioner för kontrollprofiler (röda) respektive punktobjekt (blå)

UTVÄRDERING

Klassificering

Fotodokumentationen från 2013 respektive 2015 har utvärderats visuellt med hjälp av 3D-teknik. Under 2014 besöktes några av kontrollobjekten, men det stod mycket klart att förändringarna hos de flesta objekten var så små att relevansen bedömdes som tveksam, och den slutliga kontrollen sköts upp till 2015 då mer tydliga förändringar eventuellt kunde förväntas. När den visuella utvärderingen nu har gjorts för samtliga objekt är bedömningen att det för vissa objekt syns mycket tydliga förändringar, medan det för flertalet snarast är ett ”status quo” med små eller inga förändringar och där det är osäkert om de förekommande förändringarna avspeglar ett artificiellt eller ett naturligt skeende. Metoden ger i sin utformning goda möjligheter att kvantifiera förändringar genom att definiera, kartera och ytberäkna innehållet i en dokumenterad profil, men här har bara i undantagsfall förändringen varit så stor att en ytberäkning skulle ha tett sig meningsfull. I stället har i detta korttidsperspektiv valts en mer förenklad metod för utvärderingen. Varje profil/punktobjekt har utsatts för en noggrann analys men ingen egentlig mätning. Analysen har i stället sammanfattats i en verbal beskrivning och i en slutlig sammanfattande bedömning av hur objektet kan klassificeras i någon av de tre klasserna:

1. Påtagligt aktiv erosion med material/vegetationsförlust
2. Obetydliga eller inga förändringar som kan kopplas till erosion, stranden i jämvikt
3. Återhämtning av tidigare förlorad vegetation, stabilisering

Denna grova klassificering är vad materialet får anses medge på nuvarande stadium. Det är författarens förhoppning att övervakningen på ett eller annat sätt skall kunna fortsättas och att dokumentationen skall upprepas vart annat eller vart tredje år i framtiden. Det kommer då säkert att visa sig mer definitivt vart utvecklingen är på väg. Det hittillsvarande intervallet två år är uppenbarligen för kort tid för att avkasta entydiga resultat, vilket redan i sig kanske får anses som ett gott tecken på att vi inte har att göra med en våldsamt skenande negativ utveckling.

Presentation

Varje objekt har i enlighet med ovanstående visuella utvärdering givits en separat presentation och slutlig klassificering enligt en fast mall. Samtliga objekt är redovisade i bilaga 1 till rapporten, nedan visas ett exempel på hur objekten presenteras i bilagan.

Profil 3, Munktorp



Position: Lat/long 59°33,677' / 18°37,271'

Fixpunkter: 000 vid dubb i mindre block på stranden, profilen riktad söderut med riktning från styrdubb i block norr om profilen. (Originalbilder IMG 098 m fl.)

Datum, vattenstånd: 2013-07-15, vst mv. 2015-08-20 vst -15 cm

Egenskaper: Inom Natura 2000-område. Stranden ligger på 250 meters avstånd från farleden i exponerat läge för såväl in- som utgående trafik. Långgrund. Grusig/stenig bank med stor

erosionsbenägenhet och med en brink mot land som är tydligt aktiv. Ett fåtal plantor av bredbladigt gräs finns 2013.

Utveckling: Profilen är förändrad. Antalet gräsplantor har minskat från ca 16 till ca 6, materialets kornstorlek har ökat markant och marknivån har i profilens yttre delar sänkts mätbart, ca 2-4 cm, stenar i storleksklassen 10 cm diameter ligger kvar i position men har blivit mer frilagda. Materialförlusten är påtaglig och kan förenklat beräknas till 10-15 liter sand per år och kvadratmeter. Beräkningen gäller givetvis inte generellt utan endast för detta specifika objekt.

Klassificering: 1. Aktiv erosion

RESULTAT

Utvärderingen bygger på 11 profiler (profil nr 10 är inte presenterad i bilaga 1, den är belägen nära intill profil 11 och skiljer sig inte på något avgörande sätt från denna och har därför utgått) och 7 punktobjekt. Utöver dessa mer noggrant utvärderade objekt finns även fotodokumentation från ett antal övriga strandavsnitt som kan visa sig användbara vid en fortsatt framtida utvärdering, men för den nu genomförda undersökningen har de inte använts.

Kommentarer om den individuella utvecklingen för varje objekt finns redovisade i den utförliga bilagan 1. Men den avslutande klassificeringen av varje objekt kan utnyttjas för en total sammanställning av undersökningsresultatet där det blir lättare att få en överskådlig bild av utvecklingen. Figur 4 visar denna sammanställning.



Figur 4. Sammanställning av undersökningsresultatet. (Röd text = profil, blå text = punktobjekt)

Det går inte att efter bara två års försöksperiod förvänta sig klara och helt entydiga resultat. Det är mycket viktigt att uppföljande studier görs även framöver, lämpligt intervall kan vara vartannat eller vart tredje år. Men figur 4 ger ändå ett visst underlag för kommentarer och tankar om utvecklingen så här långt. Man måste då ha i åtanke den fartsänkning som skedde år 2013, då de flesta fartyg ålades en begränsning till 10 knop inom det nu undersökta området. Vid jämförelse med den stora återinventeringen 2000-2013 då de allra flesta av lokalerna uppvisade mer eller mindre erosionsaktivitet (se delutredning 1), ser vi nu åtskilliga som inte uppvisar någon mätbar förändring. Detta bör kunna ses som ett positivt tecken, liksom att några av lokalerna faktiskt visar tecken på en återhämtning i form av invandrande växtlighet.

Förlust av vass genom avsänkningseffekterna

Men vid sidan av de positiva tecknen finns också lika tydliga tecken på att vissa stränder fortfarande är svårt utsatta. Det gäller i första hand vassarna, som uppvisar en fortsatt snabb reträtt, upp till en meter under den aktuella tvåårsperioden. Vassarna är i första hand känsliga för avsänkningseffekternas starka strömmar som orsakar finmaterialförlust kring vassens rotsystem, ytvågorna har sannolikt mindre effekt på bottenmaterialet. Erfarenheterna visar också att ett vassområde med en skyddande övre rotfilt av tät bottenväxtlighet av andra slag kan motstå bottenströmmar till en viss gräns, men när finmaterialet kring rotsystemet till slut är blottat går det fort. Då skapas rännor av returströmmande vatten som skär ner i och under vassens eget rotsystem, vilket underminerar även större partier av en vassbank, som på bara något år kan ryckas loss och transporteras bort. Det har sedan 2000 varit en påtaglig förlust av vass längs den västra farledsstranden, ett varnande och mycket negativt exempel är området söder om Östanå färjeläge och Ryssviken. Vassområdena är särskilt viktiga för den biologiska mångfalden och utgör reproduktionsområden för både vatten- och landlevande organismer, det är därför nödvändigt att de inte tillåts att utarmas ytterligare. Fortfarande finns förhållandevis ostörda vassområden norr om Östanå färjeläge, och om nivån på avsänkningseffekterna kan hållas på en låg nivå finns möjlighet att dessa vassbälten kan behållas någorlunda intakta, även om det på senare tid börjat uppträda varningssignaler även i detta område.

Erosion från höga ytvågor

På ett par av lokalerna finns tecken på att vågverkan når högre liggande partier med växt- och materialförlust som följd. Man kan där utgå ifrån att det i stället är höga ytvågor som orsakar erosionsaktiviteten. Vågmätningarna från delutredning 2 visar entydigt att åtminstone ett av fartygen infört en helt ny och olämpligt hög nivå på ytvågorna. Tidigare har fartygens ytvågor sällan överskridit våghöjden 30-40 cm, och vid denna nivå har ytvågor knappast någon allvarligt erosionsdrivande effekt. Men ett av de senast insatta fartygen har kapacitet att skapa vågor med mer än dubbla denna höjd, vilket sannolikt förklarar de små men tydligt negativa förändringar man kan se på ett par av lokalerna som tidigare varit i balans.

DISKUSSION

Vattenstånd

I delrapport 1 belystes hur vattenståndet påverkar erosionseffekterna. Varje strand strävar efter att utveckla en jämvikt med inkommande vågenergier, det sker genom att material hämtas från strandbrinken, byggs ut till ett vågdämpande strandplan, och på strandplanet och i vattenlinjen sorteras sedan den kornstorlek fram som har just den storlek som precis överstiger de maximala vågenergiernas förmåga att förflytta materialet. Det är denna mekanism som också gör att stranden strävar efter att anpassa sig till de högsta regelbundna energinivåerna.

Så länge dessa rent mekaniska processer får arbeta under fasta förutsättningar kan en jämvikt etableras ganska snabbt, och strandens tillstånd blir permanentat för den rådande energinivån. Men om vattenståndet förändras, förändras också förutsättningarna för jämvikten. Det utbyggda vågdämpande strandplanet blir till exempel vid ett högvatten för djupt och fyller inte sin funktion förrän nytt material har hämtats från strandbrinken och fått strandplanet att grunda upp och anpassas till den nya situationen. Ett lågvatten medför å andra sidan att vattenbrynet flyttas ut och att strandplanets bredd inte längre erbjuder tillräckligt lång sträcka för att dämpa den inkommande vågenergin. Då måste strandplanet förlängas utåt, och material kan bara hämtas från den blottlagda inre delen av det tidigare uppbyggda strandplanet. Så när vattnet åter stiger har strandplanet blivit för djupt igen, och så vidare i ett ständigt kretslopp tills stranden blivit så flack och med ett så ordentligt sorterat material att vattenytans fluktuationer alltid ligger inom gränserna för strandens anpassning. Men det tar lång tid att nå detta "universaltillstånd". Man måste därför räkna med att både långvariga höga och låga vattenstånd aktiverar erosionsskadorna. Mot dessa naturliga variationer finns inga åtgärder mer än att se till att vågenergierna mot stränderna inte är så stora att de har kapacitet att snabbt ställa till stora skador vid extrema vattenstånd. Kan man reglera energinivåerna så att de i normalfallet ligger vid en "noll-erosionsnivå", borde de aktiverade effekterna vid hög- och lågvatten ändå kunna ligga på en nivå som i de flesta fall kan accepteras.

Erosion vid istäcke

Det finns också anledning att diskutera effekterna av vågenergierna i situationer när farleden är istäckt. Det idealiska tillståndet för stränderna är när en ordentlig isvinter lägger ett kraftigt och konserverande istäcke över skärgården. Då når inga svall in till stränderna, och avsänkningseffekterna dämpas i själva strandlinjen. Vattenrörelserna är dock desamma som under sommaren, och skadorna kan i stället flyttas till brygganläggningar och kajer som kan skadas av istäckets vertikala rörelser som skadar bärande konstruktioner.

Vid isläggning och islossning, eller i situationer med ett varaktigt tunt och rörligt istäcke, vilket blir allt vanligare, uppträder effekter som är olämpliga både för anläggningar och stränder. Då riskerar det tunna istäcket som är mer lättörligt än den tjocka fasta vinterisen att med stor kraft pressas horisontellt mot stränderna av fartygens fysiska press mot isen snarare än av vattenrörelser. Fartygens tryck förmedlas oreducerat när istäcke eller isflak pressas mot anläggningar eller stränder, och i stränderna kan isen flytta stenar och block, men framför allt skär den med stor kraft i vassarnas rotsystem, och effekten kan förstärkas om vattenståndet ligger på en låg nivå, vilket inte är ovanligt under vårvintern. Det är därför viktigt att konstatera att fartygsgenererad erosion inte bara är en effekt som uppstår av vattenströmmar och ytvågor under perioden med öppet vatten. Åtskilliga av de förändringar i stränderna som kan ses och rubriceras som erosionseffekter kan faktiskt ha uppstått under vinterhalvåret när leden är istäckt.

SLUTSATSER

Det är svårt att leverera odiskutabla påståenden om vilka effekter den genomförda fartsänkningen haft, eftersom den inte omfattat all trafik. Det är uppenbart att avsänkningarna fortfarande påverkar vassbestånden, men vi vet inte om reträtthastigheten reducerats eller om den är oförändrad jämfört med tiden före 2013 av det skälet att vissa fartyg fortfarande trafikerar leden med samma hastighet som tidigare. Det skulle kunna vara så att det är dessa fartyg som fortsätter att hålla erosionen aktiv, men det går inte med säkerhet att utläsa ur materialet.

Trots svårigheterna att entydigt redovisa utfallet, är det naturligtvis angeläget att ändå dra slutsatser så långt som materialet medger. Med reservation för att den korta observationsperioden gör osäkerheten hög, borde dock följande slutsatser kunna dras.

- Erosionen i farledsavsnittet Vallersvik – Stabo udde har inte upphört, men resultaten tyder ändå på att fartsänkningen från 12 till 10 knop generellt sett har haft en gynnsam och dämpande effekt på erosionsaktiviteten. På flera lokaler syns en återhämtning.
- Det finns fler lokaler i balans eller på väg mot återhämtning än det finns lokaler med aktiv erosion. Erfarenhetsmässigt var förhållandet det motsatta före år 2013.
- Vassarna är fortfarande den mest utsatta strandtypen. Här finns dock inte måttsatt underlag från tiden före 2013, varför det inte går att avgöra om reträtthastigheten minskat. En återinventering om två till tre år kan sannolikt ge svar.
- Förlust av växtlighet och material på hög vertikal höjd över strandlinjen indikerar att olämpligt höga ytvågor aktiverat erosionen på vissa lokaler som tidigare varit i balans.

REKOMMENDATIONER

Mot bakgrund av de förhållandevis omfattande och i många fall helt nya erfarenheter som vunnits under detta treåriga projekt bör det trots de osäkra resultaten av den alltför korta observationsperioden i projektets avslutande del vara möjligt att sammanfatta resultaten till ett antal rekommendationer för att begränsa sjötrafikens påverkan på farledsstränderna i undersökningsområdet. Det är inte möjligt att presentera åtgärderna i en enkel prioriteringsordning, det är viktigt att poängtera att lösningen på problemen knappast ligger i att bara realisera en enda enskild åtgärd. Här krävs ett arbete på bredare front där flera åtgärder gemensamt kan samverka till att önskat resultat uppnås. Vissa åtgärder skulle kunna förverkligas på kort sikt, men behöver därför inte vara effektivare än andra som kanske behöver en längre tid för att förverkligas. En radikal fartsänkning till 8-9 knop skulle sannolikt lösa samtliga erosionsproblem men skapa nya och svåra logistiska problem för sjöfarten. Å andra sidan skulle högre farter än 8-9 knop säkert kunna tillämpas om de känsligaste stränderna kunde ges någon form av erosionsskydd, en alternativ och tåligare farled skulle möjliggöra att ett antal fartygspassager i Furusundsleden kunde undvikas och att stora fartyg med särskilt höga vågenergier dirigerades till den tåligare leden, etc etc. I det följande diskuteras därför tänkbara åtgärder förutsättningslöst utan prioritering, med uppdelning i åtgärder på kort och lång sikt.

Uppföljande kontroller

Även om resultaten av kontrollinventeringarna 2013 och 2015 inte kunnat lämna svar på alla frågor om den kortsiktiga erosionsutvecklingen är det utan tvekan så att metoden fungerar utmärkt och utgör ett effektivt verktyg för att följa utvecklingen även efter att den nu aktuella

utredningen avslutats. En mycket viktig omedelbar åtgärd måste därför vara att säkerställa att utvecklingen följs upp och övervakas under kommande år för att förhindra den olyckliga utveckling som skedde under perioden 2000-2013 då erosionsskadorna fördubblades i det aktuella farledsavsnittet. Ett kontrollprogram hade lätt kunnat förutse utvecklingen i god tid och det hade varit enkelt att i god tid vidta de fartsänkande åtgärder som nu ser ut att under de senaste två åren ha dämpat erosionseffekterna. Ett kontrollprogram som återupprepar den nu utförda jämförelsen vartannat eller vart tredje år bör kunna identifiera varningssignaler eller bekräfta ett stabilt tillstånd. Ansvaret för att ett sådant kontrollprogram upprättas bör ligga på en oberoende tillsynsmyndighet.

Erosionsskydd

Till åtgärder på kort sikt hör också den tidigare väckta frågan om möjligheten att på de känsligaste ständerna pröva olika former av naturanpassade erosionsskydd. En fartreglering kan samspela med skapandet av erosionsskydd i så måtto att om de känsligaste stränderna får ett godtagbart skydd mot alltför effektiv erosion behöver inte fartregleringen anpassas fullt ut för att ta hänsyn även till dessa mest känsliga stränder. Man borde således kunna stärka motståndskraften hos dessa ”svaga” stränder till en nivå som skulle kunna motsvara de ”normalkänsliga” stränderna och anpassa farten till denna normalkänslighet. I dagsläget skulle således dessa ”svaga” stränder kanske kräva en fartsänkning till 8 knop för att erosion skall undvikas överallt, med ett förstärkande skydd på de känsligaste partierna skulle kanske farten 10 knop vara oskadlig även på dessa platser. Sådana skydd kan sannolikt också neutralisera en del av de skadliga effekterna av hög- och lågvatten, om skydden anpassas så att materialet och strandprofilen kommer att motsvara en ”färdigeroderad” strand med hög tålighet mot vattenståndsskillnader.

Det är naturligtvis mycket viktigt att sådana erosionsskydd utformas på ett naturanpassat sätt. Detta är dock fullt möjligt. Eroderade stränder som saknar skyddande blockkappa skulle kunna förstärkas och skyddas med en sträng av blandad natursten från knytnävsstorlek till huvudstorlek, utplacerad i vattenbrynet och ett par meter upp mot land. Sannolikt skulle ett underlag av geotextil förlänga varaktigheten hos en sådan artificiell blockkappa. För stränder med erosionsbrink på väg mot balans skulle antagligen avsläntningsåtgärder med plantering av tåliga gräs och buskar påskynda stabiliseringen av stranden. En synnerligen viktig åtgärd vore också att prova lösningar för hur vass bäst kan skyddas med artificiella medel utan att det upplevs som onaturligt eller påverkar vassarnas viktiga funktion i ett ekologiskt perspektiv.

En förstudie till hur sådana naturanpassade erosionsskydd skulle kunna utformas initierades av Trafikverket i samband med utredningens andra del, och en förstudie har påbörjats i ett samarbetsprojekt mellan Statens Geotekniska Institut (SGI) och Lunds Tekniska Högskola (LTH). Det är mycket angeläget att dessa frågor utan onödig fördröjning studeras vidare i praktiska försök parallellt med genomförda fartsänkningar, eftersom de kan vara av avgörande betydelse för vilka hastigheter som i framtiden kan tillåtas, inte bara i Furusundsleden utan även i andra liknande leder med erosionsproblem. Ett försök med alternativa lösningar på ett urval av erosionskänsliga lokaler borde kunna utvärderas och avkasta resultat redan efter en försöksperiod på 2-3 år. Men det är då en förutsättning att arbetet med detta projekt ges hög prioritet av anslagsgivande myndigheter så att arbetet kan forceras och utvidgas från en teoretisk förstudie till ett antal praktiska försök.

Fartreglering

Även om erosionsskydd kan dämpa en del av erosionseffekterna på de känsligaste stränderna måste en sådan åtgärd vara samstämd med en fartreglering som reducerar effekten från

samtliga fartyg i leden till en acceptabel ”taknivå”. Det är uppenbart från erfarenheterna såväl efter vågmätningarna i projektets del 2 som från resultaten av den föreliggande studien av erosionsutvecklingen i projektets avslutande del 3, att fartreglering är det effektivaste sättet att begränsa strandskadorna. Sänkningen av farten från 12 till 10 knop har haft gynnsam effekt, och denna fartsänkning bör fortsätta att gälla tillsvidare så länge det inte går att identifiera och certifiera oskadliga fartyg för högre fart. Så länge farleden trafikeras av fartyg med en genomsnittlig vågenerginivå som är väsentligt högre än flertalets, kommer dock erosionsproblemen att kvarstå, eftersom det är ”högnivåfartygen” som styr erosionstakten. Målsättningen med en fartreglering måste därför vara att finna den fartnivå där samtliga fartyg har sina genomsnittliga våghöjdsvärden för såväl bernoullivågor som ytvågor under den givna nivå som anses uppfylla måttet för en effektiv skadebegränsning. Erfarenheterna från vågmätningarna i delprojekt 2 tyder på att 10 knop kan vara just en sådan maximal fart som begränsar skadorna till en acceptabel nivå, och där flertalet av fartygen då kommer att ligga på eller under acceptabla medelvärden för vågenergierna. Vissa fartyg kan komma under denna medelvärdesnivå även vid högre farter än 10 knop, men då krävs ett dispensystem som för närvarande kan vara svår genomförbart.

Den nu utförda undersökningen ger belägg för att vissa fartyg med dispens för 12 knop kommer att i den farten vidmakthålla erosion på känsliga stränder därför att energinivåerna från dessa fartyg ligger alltför högt över den önskade ”taknivån”. En utredning med målsättningen att föreslå åtgärder för minskad erosion måste därför inkludera en rekommendation att sänka vågenergierna och därmed farten även för dessa fartyg till en oskadlig nivå. Med de kunskaper som vunnits under projektets del 2 finns dock tecken som tyder på att de flesta fartygen i denna kategori inte uppvisar någon större skillnad i vågbildning vid farterna 8 respektive 9 knop, och det skulle då kunna finnas möjligheter att återvinna en del av tidsförlusten om vissa okända 8-knopssträckor i farledens övriga delar i stället åsattes fartgränsen 9 knop. Någon sådan åtgärd kan dock inte genomföras utan en noggrann inventering av riskerna, såväl vad gäller erosionskänslighet som sjösäkerhetsaspekter. Det råder dock ingen tvekan om att inom det känsliga avsnittet Vallersvik – Stabo udde är 12 knop en hastighet som för vissa fartyg är alltför hög och som skulle innebära fortsatt erosion trots att övriga fartyg med lägre fart och bättre anpassad skrovkonstruktion bidrar till att reducera erosionsriskerna.

Det är i övrigt mycket viktigt att hålla i minnet det som delutredning 2 visade, nämligen att även marginella fartskillnader som kan uppfattas som försumbara kan orsaka stora skillnader i vågenergier. Även så små fartskillnader som en halv knop eller mindre kan vara helt avgörande för vilken skada fartyget orsakar. En förutsättning för att en fartgräns med precision skall kunna sättas på den nivå som bedöms ge maximal fart med minimal erosion är därför att fartgränsen respekteras på den exakta nivån av samtliga passerande fartyg.

Differentierade fartgränser

På längre sikt bör man påbörja en analys av hur olika fartyg skapar olika vågenergier vid olika hastigheter. Det blev framför allt efter projektets delstudie 2 om vågbildning uppenbart att fartygen har mycket individuella egenskaper när det gäller vågbildning och energinivåer mot stränderna. Somliga fartyg är tydligt harmlösa även i högre farter, medan andra fartyg i motsvarande fart åstadkommer orimligt höga våg- och energinivåer. Delvis hänger det på fartygens olika displacement, men det räcker inte som enda förklaring, det är tydligt att även skrovformen spelar en viktig roll för uppkomsten av skadliga vågor, såväl vad gäller tryckvågor (avsänkning) som ytvågor (svall).

Åtminstone teoretiskt skulle det finnas möjligheter att utforma ett system där fartyg "certifierades" för en skonsam framfart i den hastighet där vågbildningen inte överstiger ett maximalt tillåtet värde. I praktiken stöter förslaget på problem i trånga farleder där köbildning riskerar att uppstå, men med en utveckling av ett lämpligt trafikledningssystem borde denna typ av problem kunna minskas eller undvikas. Metoder för hur fartcertifieringen skall utföras för att ge en rättvisande bild behöver också utvecklas, men vågmätningarna i projektets del 2 indikerar att en sådan teknik vore fullt möjlig att realisera.

Alternativa farleder

I dagsläget är Furusundsleden i realiteten den enda farleden till Stockholm för stora fartyg. Tidigare kunde Sandhamnsleden vara ett alternativ för finlandstrafiken och för de mindre kryssningsfartygen. I dag är de flesta fartyg för stora för att kunna trafikera Sandhamnsleden som inte uppfyller nutida krav på sjösäkerhet. Ett fartyg med destination från eller till en sydligare ort än Stockholm tvingas således till omvägen runt Söderarm och sedan Furusundsleden. Denna omväg innebär 50 extra distansminuter (ca 9 landmil) enkel väg, totalt således 100 onödiga distansminuter (18 landmil) för ett sådant fartyg att färdas vid varje besök i Stockholm, i jämförelse med en tvärförbindelse Sandhamn-Trälhavet. Detta förhållande är ur miljösynpunkt förkastligt och helt kontraproduktivt med tanke på klimatskadliga avgaser och partikelnedfall. En ny genare och säkrare infart till Stockholm skulle i sig inte ha någon nämnvärd negativ påverkan på den fysiska miljön, men den skulle radikalt minska påfrestningen på den fysiska miljön i Furusundsleden och skärgården som helhet, och lika radikalt minska den samlade effekten av fartygstrafikens skadliga luftemissioner.

När sjöfartens miljöeffekter diskuteras, är det viktigt att hålla i minnet att transporter på vatten hör till de ojämförligt mest bränsleeffektiva sätten att förflytta gods och människor. Med en given mängd bränsle skulle det vara möjligt att transportera upp till fem gånger mer gods på ett fartyg än på en lastbil. Men det förutsätter då att fartyget tillåts gå långsamt. Idag kräver all transportlogistik snabba transporter och fartygstrafiken blir då inte så miljövänlig som den skulle kunna vara. Men sjötrafik har en inneboende miljöpotential som rimligtvis måste bli alltmer betydelsefull i takt med att utvecklingen kräver ett resurssnålare samhälle. Det är alltså viktigt att inte nedrusta eller försvåra utvecklingen mot ökad användning av sjötransporter. Men det är å andra sidan också viktigt att anpassa sjöfartens infrastrukturella villkor till verklighetens naturliga begränsningar eller förutsättningar. På samma sätt som att tung lastbilstrafik begränsas till vägar som har tillåten belastningsklass kan man behöva pröva fler kriterier än enbart farledsbredd och djupgående när det gäller möjligheten att ta in stora fartyg i trånga farvatten. Det råder ju knappast någon tvekan om att fartygstrafiken i Furusundsleden under en lång följd av år utsatt stränderna för ökande påfrestningar i takt med att fartygsstorlekarna tillåtits öka kontinuerligt.

En viktig och kanske övergripande frågeställning när det gäller erosionsskador är därför hur sjöfarten i allmänhet och sjöfarten i Furusundsleden i synnerhet skall betraktas i ett samhällsekonomiskt och miljömässigt perspektiv. Uppväger den ekonomiska och infrastrukturella fördelen av snabba transporter med stora fartyg de ofrånkomliga strandskadorna eller är det ekonomiska, ekologiska eller känslomässiga värdet av en ostörd eller i varje fall oskadad strandmiljö större? Eller är det möjligt att med en kombination av åtgärder hitta en långvarigt hållbar kompromisslösning?

Referenser och litteratur

(I nedanstående referenser finns utförligare litteraturlistor i ämnet.)

Bjärås, J, 2014: Studie i materialrörelser orsakade av fartygsvågor. Examensarbete avancerad nivå, Institutionen för naturgeografi och kvartärgeologi, Stockholms universitet, NKA 101:2014.

Granath, L, 1992: Farledsstränders erosionskänslighet. Forskningsrapport, Naturgeografiska institutionen, Stockholms universitet, 1992. (Även publicerad av Länsstyrelsen, Rapport 1992:10)

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

Granath, L, Hydrographica Kartläggning 2007: Stranderosionsrisker i samband med anlop av "Navigator of the Seas". Sjöfartsverket, Stockholms Hamn AB.

Granath, L, Hydrographica Kartläggning 2013: Erosionsskador i Furusundsleden. Utredning om utveckling, orsaker och möjliga åtgärder. Trafikverket, Sjöfartsverket och Stockholms Hamn AB.

Granath, L, Hydrographica Kartläggning 2015: Vågmätningar i Furusundsleden. Utredning om vågbildning och vågenergier från olika fartygskategorier. Trafikverket, Sjöfartsverket och Stockholms Hamn AB.

Bilaga 1: Dokumentation av strandutvecklingen

I följande bilaga redovisas dokumentationen som ligger till grund för bedömningen av erosionsutvecklingen under perioden 2013-2015. Den bygger på fotografier, i så gott som samtliga fall stereofotografier, över 11 st profiler där stranden dokumenterats med vertikalbilder i en profil 1x4 meter från vattnet och uppåt land. Dessutom redovisas 7 punktobjekt som dokumenterats med horisontella foton.

De bildstråk som visas i bilagan är sammansatta av ett urval från varje lokal. I originalmaterialet finns normalt fler bilder, och även bilder på de inborrade bergdubbar och fixpunkter som används för att säkerställa att samma profil eller lokal kan återinventeras i framtiden. Bildmaterialet i original finns hos projektets uppdragsgivare Trafikverket, Sjöfartsverket och Stockholms Hamn AB.

För varje lokal redovisas i det följande:

Position: Lat/long i referenssystemet WGS 84 för profilens startpunkt eller för punktobjektets position. Noggrannheten i positionsangivelsen är 1-3 meter, exakt position måste fastställas med stöd av bildmaterialet som innehåller bilder på fixpunkterna i relation till omgivningen. I tillämpliga fall anges IMG-nummer för foto.

Fixpunkter: Här anges hur profilen eller punktobjektet skall kunna återfinnas i en framtid. I de flesta fall har inborrade dubbar eller i känsliga områden enbart borrhål använts. Med hjälp av originalbilderna bör profilernas eller punktobjektens läge kunna rekonstrueras.

Datum: Datum för fotodokumentation samt uppgift om vattenstånd vid fototillfället. (Mv = medelvattenstånd, i övrigt anges cm över/under medelvattenstånd.)

Egenskaper: Strandens läge i förhållande till farled, exponering mm anges här. Materialtyp, växtlighet etc beskrivs, och i förekommande fall en uppgift om skälet för att lokalen har valts. Här anges också eventuella tankar om lokalens förväntade utveckling i de fall man får en ökad vågenergi eller vad som bör hända vid en minskning.

Utveckling: Subjektiv bedömning av lokalens utveckling under de två år som förflutit mellan dokumentationstillfällena och en beskrivning av de eventuella förändringarna.

Klassificering: En sammanfattande bedömning av lokalens utveckling i någon av de tre klasserna: 1. Erosion fortfarande aktiv. 2. Små eller inga förändringar, stranden i jämvikt. 3. Återhämtning, strandens växtlighet ökar.

Profil 1, Söder om Stabo udde



Position: Lat/long 59°33,722' / 18°37,537'

Fixpunkter: 000 vid dubb i granit/kvartsblock, profilen styrs mellan två stenar vid 180 cm.

Datum, vattenstånd: 2013-07-15, vst mv. 2015-08-20 vst -15 cm

Egenskaper: Stranden ligger på 150 meters avstånd från farleden i exponerat läge för både in- och utgående trafik. Ej långgrund. Grusig/stenig strand med tydlig materialzonering och viss växtlighet. Vid ökad erosionsaktivitet är det troligt att stranden reagerar med en ökning av kornstorleken och att växtligheten försvinner.

Utveckling: Profilen är i stort sett oförändrad. Viss växtlighetsförlust men ingen tydligt förändring av kornstorlekar trots det lägre vattenståndet 2015

Klassificering: 2. Små eller inga förändringar, stranden i jämvikt.

Profil 2, Stavs äng



Position: Lat/long 59°33,741' / 18°37,423'

Fixpunkter: 000 vid dubb i jordfast kvartsblock i brinken, profilen börjar 1,47 m från dubben. Yttre dubb i löst block i stranden, 177 cm in på profilen.

Datum, vattenstånd: 2013-07-15, vst mv. 2015-08-20 vst -15 cm

Egenskaper: Stranden ligger på 250 meters avstånd från farleden i exponerat läge för utgående trafik men mer skyddat för ingående. Långgrund. Grusig/stenig strand med viss materialzonering och växtlighet i profilens övre del. Stranden ligger inom betesmark. Tydlig brink efter tidigare erosionsaktivitet, men brinken ej aktiv vid inventeringstillfällena. Vid ökad erosion är växtligheten det första som försvinner, sedan kommer materialstorleken att öka.

Utveckling: Profilen är i stort sett oförändrad. Omedelbart ovanför vattenbrynet har något litet av växtligheten förlorats, och i profilens övre delar har växtligheten minskat, men sannolikt pga bete, plantorna finns fortfarande på plats. Ingen tydlig förändring av materialstorlek.

Klassificering: 2. Små eller inga förändringar, stranden i jämvikt.

Profil 3, Munktorp



Position: Lat/long 59°33,677' / 18°37,271'

Fixpunkter: 000 vid dubb i mindre block på stranden, profilen riktad söderut med riktning från styrdubb i block norr om profilen. (Originalbilder IMG 098 m fl.)

Datum, vattenstånd: 2013-07-15, vst mv. 2015-08-20 vst -15 cm

Egenskaper: Inom Natura 2000-område. Stranden ligger på 250 meters avstånd från farleden i exponerat läge för såväl in- som utgående trafik. Långgrund. Grusig/stenig bank med stor erosionsbenägenhet och med en brink mot land som är tydligt aktiv. Ett fåtal plantor av bredbladigt gräs finns 2013.

Utveckling: Profilen är förändrad. Antalet gräsplantor har minskat från ca 16 till ca 6, materialets kornstorlek har ökat markant och marknivån har i profilens yttre delar sänkts mätbart, ca 2-4 cm, stenar i storleksklassen 10 cm diameter ligger kvar i position men har blivit mer frilagda. Materialförlusten är påtaglig och kan förenklat beräknas till 10-15 liter sand per år och kvadratmeter. (Beräkningen gäller givetvis inte generellt utan endast på denna plats.)

Klassificering: 1. Aktiv erosion

Profil 4, Mälbyön/Gråholmen



Position: Lat/long 59°32,361' / 18°33,380' (Fastlandsstrand innanför Gråholmen)

Fixpunkter: Inga inborrade dubbar. 400 cm på stolprest utanför vattenbrynet, styrning i övrigt intill stenar med hjälp av foton.

Datum, vattenstånd: 2013-07-17, vst +8 cm. 2015-08-19 vst -15 cm

Egenskaper: Stranden ligger på 500 meters avstånd från farleden i relativt skyddat läge för ingående trafik och något mindre skyddat för utgående trafik. Stranden tillgänglig för bete. Grund strand, vattendjup ca 1 meter 10 meter ut från vattenbrynet. Stenig strand ytterst, de inre delarna med väl etablerad vegetation. En ökad erosionsaktivitet kan förväntas flytta vegetationsgränsen uppåt och reducera andelen finmaterial.

Utveckling: Profilen är helt oförändrad. Växtligheten täcker samma yta, materialet har samma kornstorlekar. (Växtligheten var 2015 delvis dold under ett täcke av ilandspolat organiskt restmaterial.)

Klassificering: 2. Små eller inga förändringar, stranden i jämvikt.

Profil 5, Mälbyön



Position: Lat/long 59°32,230' / 18°33,083'

Fixpunkter: Dubb i jordfast stenblock, 172 cm. 000 vid kant av stort stenblock. (Se originalbilder IMG 1180, 1181) Bilder finns också för andra delar av stranden.

Datum, vattenstånd: 2013-07-17, vst +8 cm. 2015-08-19 vst -15 cm

Egenskaper: Stranden ligger på 400 meters avstånd från farleden i relativt skyddat läge för ingående trafik och något mindre skyddat för utgående trafik. Stranden i sin helhet är en mycket flack strand med aktiva processer som arbetar i ett siltigt/sandigt material. Här kan skillnader förväntas uppstå relativt snabbt beroende på vattenstånd, och det kan handla om både erosion och ackumulation.

Utveckling: Profilen är tydligt förändrad. Delar av det sandiga materialet 2013 har 2015 spolats bort och preparerat fram ett grövre stenigt material. Denna lokal bör dock bedömas i ett längre perspektiv, här sker förändringar och svängningar i materialsammansättningen snabbt beroende på vågornas olika effekter vid olika vattenstånd, men det skall poängteras att stranden inte är en naturlig strand utan helt skapad av fartygsgenererade vattenrörelser.

Klassificering: 1. Pågående, aktiv erosion.

Profil 6, Björnhuvud



Position: Lat/long 59°31,883' / 18°32,358'

Fixpunkter: Profilens startpunkt belägen 183 cm från normalen till stenfot till verandabyggnad (profilens förlängning 28 cm från sten enligt bild IMG 1202). Dubb i block 151 cm, avslutande dubb i block 400 cm. (Se originalbilder IMG 1203, 1204, 1205.)

Datum, vattenstånd: 2013-07-17, vst +8 cm. 2015-10-20 vst -22 cm

Egenskaper: Stranden ligger på 200 meters avstånd från farleden i oskyddat läge för både ingående och utgående trafik. Stranden är ursprungligen artificiell och utgör återstoden av en äldre kajanläggning. I dagsläget återstår endast en samling större och mindre block och i profilens övre delar en jordstrand. Profilen är vald för möjligheten att registrera de yttre stora blockens eventuella förflyttning utåt, och hur de inre, mindre blocken i så fall påverkas. Profilen och botten utanför sluttar relativt brant och vågeffekterna kan vara stora. Profilens inre del ligger mer än en meter ovan vatten och är en bra indikator på hur långt ytvågor kan nå.

Utveckling: Profilen är oförändrad vad gäller rörelser hos blocken. Däremot har en påtaglig förlust av finmaterial ägt rum i profilens övre del. Jordstranden har retirerat ca 40 cm (jfr de röda markeringslinjerna i bilden). Detta kan ha två förklaringar, jorden var år 2013 inte helt konsoliderad, och därför känslig för ytvattenavspolning i samband med hårda regn, men en troligare förklaring är kraftiga svallvågor, särskilt i samband med högvatten.

Klassificering: 1. Aktiv erosion.

Profil 7, Bammarboda



Position: Lat/long 59°30,257' / 18°28,170'

Fixpunkter: Profilens startpunkt vid borrhål (ej dubb) i stort jordfast block (IMG 1275). Profilen riktad mot högsta punkt på block i vattnet (mitt på blocket), blockets högsta punkt 605 cm från borrhålet vid startpunkten. (IMG 1274, 1643)

Datum, vattenstånd: 2013-08-21, vst +10 cm. 2015-08-19 vst -15 cm

Egenskaper: Stranden ligger på 200 meters avstånd från farleden i oskyddat läge för både ingående och utgående trafik. Växtligheten på stranden är riklig, men omedelbart norr om profilen finns skadade vassbankar som indikerar erosionsrisk. Vid ökande erosionsaktivitet i denna profil kan förväntas vegetationsförlust och en övergång till klapperstrand.

Utveckling: Profilen är oförändrad både när det gäller vegetation och materialsammansättning/kornstorlek. Växtsammansättningen är densamma och ingen reträtt av vegetationsgränsen i vattenbrynet kan iakttas.

Klassificering: 2. Små eller inga förändringar, stranden i jämvikt.

Profil 7, Dyvik



Position: Lat/long 59°31,186' / 18°30,256'

Fixpunkter: Profilens startpunkt vid dubb i stort jordfast block (IMG 1295) under träd. Profilen riktad i bäring 120 grader mot grön farledsboj (IMG1621) Vertikal fotoprofil är inte använd, i stället har horisontella och vinkelräta mått från profilen mot vasskanten tagits på två ställen: 1/ Från måttet 330 cm i profilen, och 2/ från måttet 400 cm, det senare visas i ovanstående bildexempel.

Datum, vattenstånd: 2013-08-22, vst +10 cm. 2015-08-19 vst -15 cm

Egenskaper: Stranden ligger på 500 meters avstånd från farleden i oskyddat läge för både ingående och utgående trafik. Lokalen är vald för att övervaka vassens utveckling. Vassen växer i finmaterial, som ersätts med sand vartefter vassen retirerar. Erosion på denna lokal har pågått även före 2013. Stranden är långgrund.

Utveckling: Lokalen uppvisar mellan 2013 och 2015 en omfattande reträtt av vasskanten. Dels har den fritt liggande ”tuvan” av vass 2013 i det närmaste försvunnit år 2015. Dels visar måtttagningarna en mycket påtaglig förflyttning av vasskanten till vänster i bilderna. Från läget 330 cm i profilen har vasskanten till vänster retirerat från avståndet 150 cm från profilens fixerade mätstång år 2013 till 295 cm år 2015, alltså betydligt mer än en meter, även om en viss mätosäkerhet inberäknas. Från mätstångens läge 400 cm har avståndet ökat från 215 cm år 2013 till 305 cm år 2015, alltså även här i storleksordningen en meter.

Klassificering: 1. Aktiv erosion

Profil 9, Gullholmen, norra stranden



Position: Lat/long 59°31,419' / 18°31,238'

Fixpunkter: Profil utan ställning, bör betraktas som punktobjekt. Snedbilder tagna uppifrån större block i stranden 20 meter väster om positionsangivelsen (IMG 1318)

Datum, vattenstånd: 2013-08-22, vst +8 cm. 2015-08-19 vst -15 cm

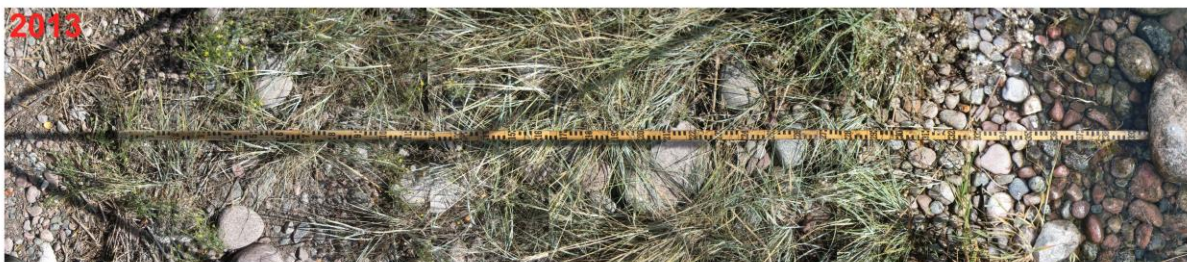
Egenskaper: Stranden ligger på 250 meters avstånd från farleden i oskyddat läge för ingående trafik men mer skyddat för utgående, jämför profil 11. Gullholmen består av lättroderat glaci-fluvialt grovt material, och lokalen visar tydliga tecken på tidigare skador. Lokalen har valts för att den kan ge god indikation på utvecklingen i och med att det glaci-fluviala materialet reagerar tydligt på ökade energier.

Utveckling: Detta punktobjekt visar tydliga tecken på återhämtning efter tidigare erosionsaktivitet. Inga rörelser kan noteras i strandens material, stenar med mått 5 cm och större ligger på samma position, och växtligheten börjar kolonisera med både gräs och örter.

På denna lokal finns också två stereodokumenterade ”sidolokaler” i anslutande tidigare erosionsbrinkar. (Visas ej i bilagan.) Även dessa båda punktobjekt visar tydligt att erosionen på Gullholmens norra sida har avstannat och att stranden är på väg mot balans.

Klassificering: 3. Återhämtning

Profil 11, Gullholmen, södra sidan



Position: Lat/long 59°31,409' / 18°31,192'

Fixpunkter: Profilens startpunkt 66 cm nedanför dubb i stort stenblock (IMG 1579), profilens slutpunkt 400 cm, vid dubb i block i vattenlinjen. (Vid jämförelse av måtten i bilderna ovan skall hänsyn tas till att mätstången inte ligger exakt på dubben 400 cm vid dokumentationen år 2013. Mätvärden skall subtraheras med ca 5 cm i jämförelse med år 2015.)

Datum, vattenstånd: 2013-08-22, vst +8 cm. 2015-08-19 vst -15 cm

Egenskaper: Stranden ligger på 250 meters avstånd från farleden i oskyddat läge för utgående trafik (jfr lokal 9, Gullholmen norra). Hela Gullholmen består av glacifluvialt material och stranden kan lätt reagera på ökad erosionsaktivitet, men kan också lätt inta ett jämviktsläge eftersom tillgången på sten i lämplig storlek är god. Gullholmens södra strand har tidigare varit svårt eroderad, men sedan flera år har stranden varit i balans med ett stabilt täcke av strandråg.

Utveckling: Profilen är oförändrad både när det gäller vegetation och materialsammansättning/kornstorlek. Växtligheten består huvudsakligen av strandråg eftersom substratets kornstorlek är förhållandevis grov. Eventuella variationer i växtlighetens sammansättning eller täckningsgrad ligger inom den naturliga variationen.

Klassificering: 2. Små eller inga förändringar, stranden i jämvikt.

Profil 12, Uvön



Position: Lat/long 59°31,347' / 18°32,051'

Fixpunkter: Profilens startpunkt vid dubb i jordfast block mellan två torrträd. Styrpunkt i profilens yttersta del på 383 cm, dubb i stort mörkt block i vattenbrynet. (Mätstångens 000 var vid dokumentationen år 2013 inte i kontakt med startdubben. 5 cm skall adderas till 2013 års mätvärden vid jämförelse med 2015.) Fotografering med hjälp av ställning är inte möjlig på denna lokal, foto sker på fri hand.

Datum, vattenstånd: 2013-08-22, vst +8 cm. 2015-08-19 vst -15 cm

Egenskaper: Stranden ligger på 300 meters avstånd från farleden i oskyddat läge för både in- och utgående trafik. Stranden är erosionsutsatt och brinken har frispolade trädrötter. Materialet i stranden är sand och grus i ett tunt täcke på lera. En utveckling som skulle indikera aktiverad erosion är reträtt av erosionsbrinken och materialförändringar i stranden. Möjligen skulle även större block kunna förflyttas på lång sikt.

Utveckling: Profilen har inte förändrats. Erosionsbrinken är inte reaktiverad, materialsammansättning och kornstorlekar i stort sett desamma, och ingen rörelse kan iaktas när det gäller de större blocken i stranden.

Klassificering: 2. Små eller inga förändringar, stranden i jämvikt.

Punktobjekt 13, Bammarboda



Position: Lat/long 59°30,380' / 18°28,583'

Fixpunkter: Punktobjekt fotograferat från brygga. Stereobilder finns.

Datum, vattenstånd: 2013-08-22, vst +8 cm. 2015-08-19 vst -15 cm

Egenskaper: Avstånd från farled 150 meter. Långgrund sandstrand med vass som retirerat upp på land. Ytterligare vassförlust kan förväntas vid fortsatt höga vågenergier.

Utveckling: Viss förlust av vass kan noteras. I stort sett måste påverkan ändå klassificeras som ringa.

Klassificering: 2. Små eller inga förändringar, stranden i jämvikt.

Punktobjekt 14, Koholmen



Position: Lat/long 59°30,185' / 18°28,865'

Fixpunkter: Punktobjekt fotograferat från båt.

Datum, vattenstånd: 2013-07-25, vst mv. 2015-09-10 vst -20 cm

Egenskaper: Sandstrand i balans, dokumenterad sedan tidigare. Avstånd från farled 200 meter. Bestånd av strandråg är etablerade under 1990-talet, inga större förändringar har noterats sedan dess. Stranden har uppnått en jämvikt med avseende på profil och material. En erosionsbrink finns i buktens nordliga hörn men aktiviteten är för närvarande inte märkbar. Denna lokal är en bra indikatorlokal, ökade energinivåer från trafiken blir lätt avläsbara.

Utveckling: Mellan år 2013 och 2015 har inga entydiga förändringar kunnat iakttas, stranden är fortfarande i balans.

Klassificering: 2. Små eller inga förändringar, stranden i jämvikt.

Punktobjekt 15, Nykvarns holme



Position: Lat/long 59°30,702' / 18°29,584'

Fixpunkter: Punktobjekt fotograferat från båt. Stereobilder finns, även över intilliggande delar av stranden.

Datum, vattenstånd: 2013-07-25, vst mv. 2015-09-10 vst -20 cm

Egenskaper: Tidigare kraftigt erosionsutsatt strand, ca 100 meter från farled, exponerad för både in- och utgående trafik. Under senare år har en stabilisering kunnat iakttas, men strandpartiet är fortfarande känsligt vid högvattensituationer. En naturlig blockkappa skyddar delar av stranden. Vid aktiverad erosion kommer strandens material att förgrovas och brinken att eroderas. Vid minskande vågenergier bör man kunna räkna med en långsam etablering av växtlighet i övergången mellan strandplan och brink. På de grusigare delarna av stranden bör då också kunna förväntas en ytterligare etablering av strandråg.

Utveckling: Mellan år 2013 och 2015 har inga större förändringar kunna iakttas, stranden är i stort sett balanserad. En viss ökning av växtligheten i erosionsbrinken kan noteras.

Klassificering: 2. Små eller inga förändringar, stranden i jämvikt under observationsperioden, men på denna lokal är känsligheten för höga vattenstånd stor, och erosionsaktiviteten kan då återuppstå.

Punktobjekt 16, Horsviken Mälbyön



Position: Lat/long 59°32,130' / 18°32,749'

Fixpunkter: Punktobjekt fotograferat från båt. Stereobilder 2015 finns.

Datum, vattenstånd: 2013-07-25, vst mv. 2015-08-19 vst -15 cm

Egenskaper: Eroderad grus/klapperstrand, 350 m från farleden, exponerad för såväl in- som utgående trafik. Tidigare dokumenterad som strand i jämvikt. På denna strand bör växtligheten kunna indikera framtida förändringar.

Utveckling: Mellan år 2013 och 2015 har en viss förlust av växtlighet konstaterats liksom att erosionsbrinken uppvisar aktivitet även om aktiviteten är förhållandevis svag. Stranden är relativt flack, med grovt och okänsligt material i vattenlinjen. Avsänkningar påverkar knappast, men höga ytvågor kan nå upp till brinken.

Klassificering: 2. Aktiv erosion

Punktobjekt 17, Kopparnäs



Position: Lat/long 59°33,374' / 18°36,203'

Fixpunkter: Punktobjekt fotograferat från brygga. Stereobilder finns, även för omgivande strandpartier.

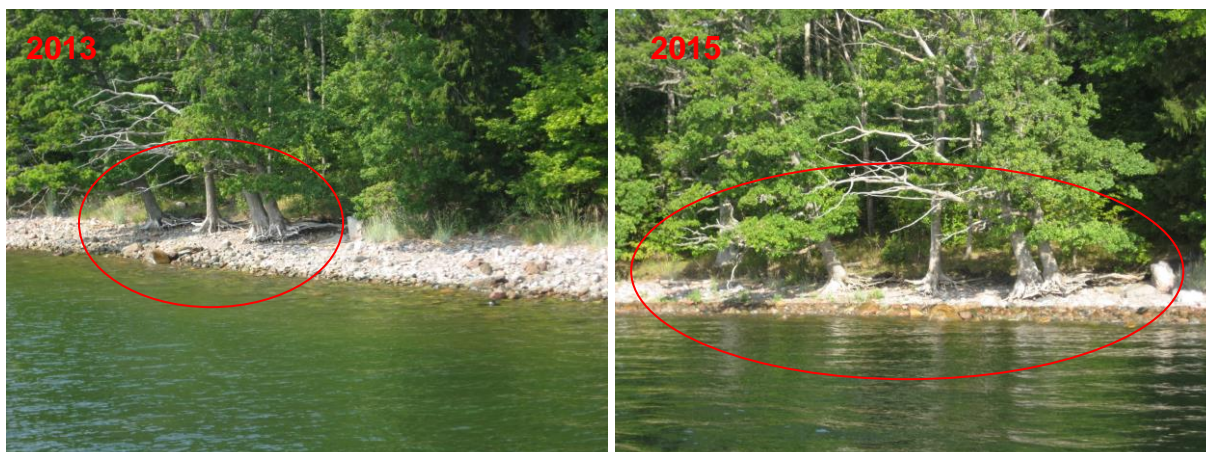
Datum, vattenstånd: 2013-07-16, vst mv. 2015-08-20 vst -15 cm

Egenskaper: Finmaterialstrand med vassbankar, 300 meter från farled, i huvudsak exponerad för ingående trafik men avsänkningar från utgående trafik kan vara stora. Förlust av vass konstaterad sedan tidigare, fortsatta kontroller på platsen kommer entydigt att kunna visa om förlusten fortsätter eller avstannar.

Utveckling: Mellan år 2013 och 2015 har en kraftig förlust av vassvegetation kunna konstateras. Det skadade partiet är omfattande och sträcker sig även utanför det fotodokumenterade området.

Klassificering: 2. Aktiv erosion

Punktobjekt 18, Stabo udde



Position: Lat/long 59°33,744' / 18°37,715'

Fixpunkter: Punktobjekt fotograferat från båt. Stereobilder 2015 finns.

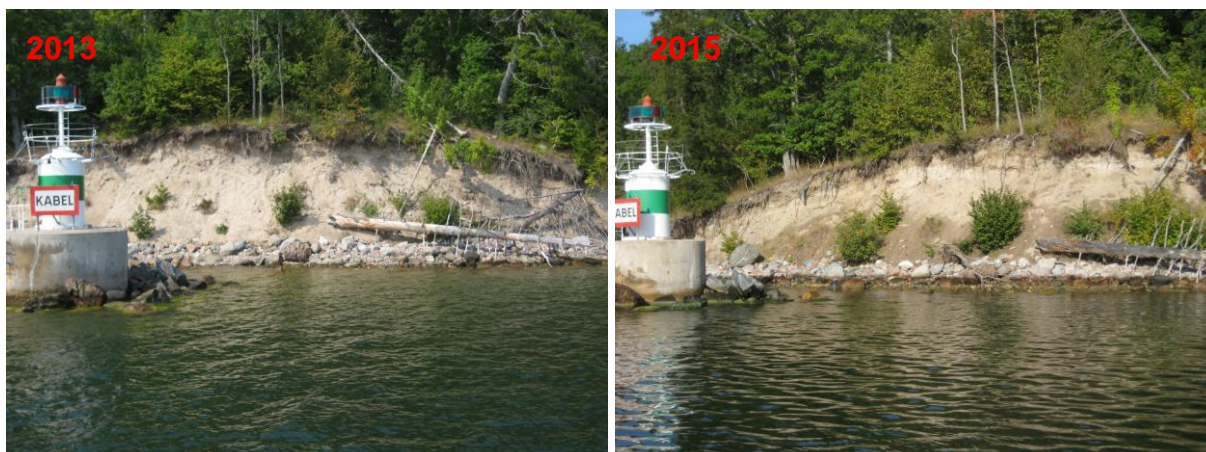
Datum, vattenstånd: 2013-07-25, vst mv. 2015-09-10 vst -20 cm

Egenskaper: Strand i balans sedan slutet 1990-talet, 120 meter från farled, utsatt för såväl in- som utgående trafik. Stranden har utvecklat en flack klapperstrand, de strandnära träden har under lång tid haft delvis frispolade rotsystem men har hittills varit relativt opåverkade.

Utveckling: Mellan år 2013 och 2015 har ingen större förändring av strandmaterial eller rotfrispolning ägt rum. I stället har en försiktig etablering av strandråg och bredbladiga gräs kunna iakttas, vilket skulle kunna tolkas som att de totala vågenergierna på denna plats har dämpats något jämfört med tidigare.

Klassificering: 3. Återhämtning.

Punktobjekt 19, Stabo udde fyr



Position: Lat/long 59°33,374' / 18°36,203'

Fixpunkter: Punktobjekt fotograferat från båt. Stereobilder. God fotodokumentation finns sedan 1990-talet.

Datum, vattenstånd: 2013-07-16, vst mv. 2015-08-20 vst -15 cm

Egenskaper: Ligger mycket nära farleden, ca 80 meter. En av de lokaler som tidigt utgjorde en väckarklocka för den kraftiga stranderosionen där påverkan fortsatte under lång tid på grund av brinkens begränsade innehåll av block som skulle kunna bilda en skyddande kapp i stranden. Materialet i denna kulle har sannolikt glacifluvialt ursprung och har en hög andel finmaterial och är därför mycket lättroderat. På senare tid har en blockkappa trots allt utvecklats, och erosionen har avklingat. Men balansen här är skör. Om vågenergierna ökar, kommer erosionen att återaktiveras, och om höga ytvågor vid långvariga högvatten kommer att arbeta på nivåer ovanför blockkappan kommer finmaterial att föras bort. Det måste ersättas av material från högre nivåer i brinken och skadorna kommer då att återuppstå när vegetationen inte längre har rotfäste.

Utveckling: Mellan år 2013 och 2015 har de självsådda plantorna av rönn och al i brinkens nedre, mindre branta del utvecklats mycket positivt och det är tydligt att erosionsaktiviteten inte är större än att vegetationens tillväxt kan fortgå. Utvecklingen mot ett buskskikt är mycket önskvärd eftersom rötterna binder material och förhindrar den ytavspolning från kraftig nederbörd som håller erosionsbrinken öppen och oskyddad. Fortfarande syns dock effekter av sådan ytavspolning i brinkens översta delar. Även om inte fartygstrafikens vågenergier når till den höjden är det ändå en indirekt effekt av tidigare erosion som förstört det ursprungliga skyddande växt- och rottäcket.

Klassificering: 3. Återhämtning.