



Rapport 2004:19



LÄNSSTYRELSEN
I STOCKHOLMS LÄN

Fartygstrafik och stranderosion i Stockholms skärgård

**Författare:
Lars Granath**

Skadeinventering, vågenergimätningar och
metoder för miljöövervakning.

Rapport 2004:19



LÄNSSTYRELSEN
I STOCKHOLMS LÄN

Fartygstrafik och stranderosion i Stockholms skärgård

Foto omslag: Lars Granath

Utgivningsår: 2004

ISBN: 91-7281-146-3

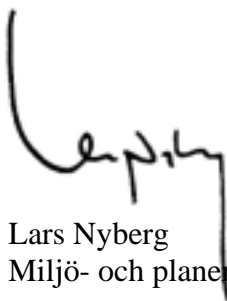
Denna rapport finns endast som pdf på vår hemsida www.ab.lst.se

Förord

Stränderna i Stockholms skärgård är viktiga. Både för boende och besökande samt för det djur- och växtliv som lever i gränslandet mellan land och vatten. Under 1989 – 1992 utförde Naturgeografiska institutionen vid Stockholms universitet i samarbete med Länsstyrelsen i Stockholm forskning kring erosions-skador på stränderna. Skadorna orsakades den gången av den omfattande färjtrafiken mellan Sverige och Finland. Denna rapport utgör en uppföljning av erosionsstudierna 1989 – 1992. I rapporten presenteras även ett förslag till hur man kan fortsätta att övervaka stranderosionen.

Arbetet har utförts av Lars Granath med medel från forskningsstiftelsen Tornspiran. Länsstyrelsen i Stockholm har tacksamt tagit emot de kunskaper om stranderosion och vågpåverkan som presenteras i rapporten. Såsom framgår av rapporten är stranderosion i skärgården ett sammansatt problem som behöver uppmärksammas mer. Vi har därför beslutat att ge ut rapporten i Länsstyrelsens rapportserie.

Stockholm juni 2004



Lars Nyberg
Miljö- och planeringsdirektör

Författarens förord

Föreliggande rapport är resultatet av tre års arbete på deltid, för att följa upp det omfattande arbete som jag under åren 1989-92 utförde som ett forskningsprojekt vid Stockholms Universitets naturgeografiska institution, och i samarbete med Länsstyrelsen i Stockholms län. Projektet avsåg att inventera och analysera de erosionsskador som vid den tiden skapade oro, och som i huvudsak orsakades av en ökande trafik av finlandsfärjor. Det resulterade i ett mycket detaljerat kartmaterial över mindre och större erosionsskador längs farledsstränderna. Detta kartmaterial skulle efter en period av tio år – som är en lång tid i erosionssammanhang – kunna bilda underlag för en förnyad inventering och införlivas i en modern databas som skulle kunna ge senare tiders forskare en unik möjlighet att objektivt studera utvecklingen.

Forskningsstiftelsen Tornspiran anslog medel för detta arbete, som härmed avrapporteras. Jag vill framföra mitt tack till stiftelsen som på ett framsynt sätt bidrar till att skapa ett stabilt underlag för framtida analyser av skärgårdens erosionsproblem.

Jag vill också tacka Ulla Abelin, studerande vid Institutionen för Kvartärgeologi och Naturgeografi, Stockholms universitet för det tålmodiga och engagerade arbete hon utfört för att inventera erosionsskador och att mäta svallvågor från olika båttyper. Hennes arbete har givit svar på många viktiga frågor i denna rapport, och hon kommer att presentera sina data i ett separat examensarbete.

Jag har givetvis förhoppningen om att den övervakningsmetod som utvecklats som ett led i projektet ska komma att användas operativt av lämplig myndighet. Kostnaderna för att kontinuerligt följa upp effekterna av insatta åtgärder eller i värsta fall uteblivna sådana, är mycket blygsamma, och metoden är synnerligen kostnadseffektiv. Projektet har av förklarliga skäl begränsats till ett renodlat forsknings- och utvecklingsarbete, och jag överlämnar härmed stafettpinnen till den myndighet som åtar sig den rutinmässiga uppföljningen. Det material som insamlats inom ramen för forskningsprojektets genomförande står i sådana fall till förfogande.

Stockholm juni 2004

Lars Granath

Innehållsförteckning

Förord	3
Författarens förord	5
Sammanfattning	9
English summary	11
Changes in shoreline erosion along heavily trafficked coastal shipping channels since 1990	11
Determining the causes of changes in shoreline erosion	11
A system for monitoring and evaluation of shoreline erosion	12
Inledning	13
Bakgrund	13
Projektplan.....	14
Del 1	
Läkning eller fortsatt erosion?	16
Erosionsskadornas utveckling under ett decennium	16
Metoder.....	18
<i>Databasuppbyggnad</i>	20
<i>Undersökningsområde</i>	22
Resultat.....	22
Stockholm – Trälhavet	23
Trälhavet – Furusund	23
Trälhavet – Sollenkroka	23
Vegetationen som erosionsindikator.....	24
Diskussion av resultaten.....	26
Slutsatser	28
Del 2	
Svallvågor från båttrafik i mellanskärgården	29
Vågenergi	30
Våghöjd.....	30
Våglängd.....	32
Sammantagna energieffekter	33
Sammanfattning av mätresultat	34
Del 3	
Metoder för övervakning och uppföljning av stranderosion	35
Kontrollbehov	37
<i>Övervakningsmetod</i>	37
<i>Fotografering</i>	38
<i>Praktiska erfarenheter</i>	39
Resultat.....	40
<i>Övrig fotodokumentation</i>	40

<i>Bearbetning av bildmaterialet</i>	42
<i>Testprofiler och kontrollstationer</i>	44
<i>Resultat av repeterad kontroll</i>	45
Viktiga resultat	50
Slutsatser och tankar om framtiden	52
Hur kan övervakningssystemet användas för rutinmässigt bruk?	53
Litteratur	55
Appendix	57
Databasuppbyggnad.....	57
Kartpresentation	58

bara på ett år förlorat nära hälften av sitt marktäckte, som ersatts av grus och kalt berg.

Erosionsproblemen är dels ett samhällsmiljöproblem eftersom de boende får bryggor och anläggningar förstörda, men det är också ett naturmiljöproblem i och med att stränderna av de fartygsalstrade vågorna byggs om till en steril biotop av sten och grus, vilket är ett allvarligt hot mot den biologiska mångfald som annars är normal längs innerskärgårdens stränder. Problemet försvåras av att en levande skärgård också är beroende av ett väl utbyggt och snabbt transportsystem. I rapporten diskuteras hur ett övervakningssystem kan bidra till att resultaten av eventuella åtgärder kan kontrolleras och ge ett kvitto på åtgärdernas effektivitet.



*Sandkullen, en ö som på grund av erosion snart kommer att försvinna.
Foto: Lars Granath*

English summary

Boat traffic and erosion of shorelines in the Stockholm archipelago

This research project, which was financed by the research foundation “Tornspiran”, aims to answer three questions about coastal erosion caused by vessels that traffic the Stockholm archipelago:

- Has erosion of shorelines along the more heavily trafficked coastal shipping channels increased or decreased since 1990, when an earlier study was conducted?
- Can we determine the causes of the changes that may have occurred?
- Can we create a system for monitoring and evaluation of shoreline erosion?

Changes in shoreline erosion along heavily trafficked coastal shipping channels since 1990

The first question was answered by surveying erosion damage in 2000 and comparing the results with those of the 1990 survey. The data from both surveys were registered in an extensive map database. The comparison showed that erosion of the shorelines in the archipelago has decreased in both the Sandhamn and Furusund shipping lanes. However, active erosion of shorelines is ongoing in the shipping lane between Trälhavet and the city of Stockholm. Erosion of shorelines has also increased considerably along ferry lanes in the central parts of the Stockholm archipelago.

Determining the causes of changes in shoreline erosion

A study of wave lengths and wave amplitudes was carried out, to determine whether the ship-induced waves differed in energy compared to natural waves. If so, it would be possible to compare the wave energy produced by different types of vessels. The wave investigation was performed during two summers (2000 and 2001) in the central parts of the Stockholm archipelago.

The results showed that fast passenger ferries (the “Cinderella” and ”Waxholm V” ferries) generate extremely high wave energies in certain conditions. These wave energies are up to 20 times higher than those from a normal pleasure boat, and up to 8 times higher than those from large cruise ships (e.g. the ferries that travel between Stockholm and Finland) in speed-limited shipping lanes.

An increasing number of large, heavy pleasure boats produce higher wave energies in most archipelago areas compared to natural winds. So far, these large boats still constitute a small percentage of the total number of pleasure boats in the archipelago.

A system for monitoring and evaluation of shoreline erosion

The third task was also solved in a satisfactory manner. Photogrammetric methods were used to register carefully positioned transects along shorelines. The transects were then repeatedly monitored in detail in three dimensions. This method can be used to monitor the occurrence or movement/removal of small particles such as blades of grass or pieces of gravel.

The method is described in the report and was also tested in a pilot study that included two surveys, one in 2001 and one in 2002. This pilot study showed, in a very objective manner, that erosion of the shorelines along some shipping lanes is occurring at near catastrophic speed. In only one year, one transect had lost almost half of its vegetation cover, which had been replaced by gravel and barren rocks.

Shoreline erosion is a social problem that affects people, as well as an environmental problem that affects natural habitats. Erosion of shorelines destroys jetties and other constructions that are used by local residents in the affected areas. Boat-induced waves transform natural shorelines into sterile deserts that consist of stones and gravel. This is a severe threat to the biological diversity normally found along the shores of the archipelago.

The problem is further complicated by the fact that a living archipelago also depends on a well-functioning and fast transportation system for its human residents. This report discusses how a monitoring system may contribute to the control and evaluation of future measures to reduce shoreline erosion.

Inledning

Bakgrund

Det är sedan länge känt att fartygstrafik kan orsaka en omfattande erosionspåverkan på känsliga strandtyper, dels genom de direkta svallvågorna, dels genom de mer osynliga tryckvågor som förflyttar stora vattenmassor kring större fartyg. Erosionsproblemen har uppmärksammats av och till, ofta i samband med stegvisa trafikökningar längs farledssträckor som därigenom fått en tydlig påverkan. Under slutet av 1980-talet förekom till exempel en gradvis ökning av tonnage och trafikintensitet mellan Sverige och Finland, varvid ett uppenbart problem med stranderosion uppstod särskilt i Furusundsleden. I samband med att dessa problem uppmärksammades, initierades av länsstyrelsen i Stockholms län en utredning med målsättningen att kartlägga omfattningen av skadorna, och av de farledsnära strändernas erosionskänslighet. Utredningen resulterade i en rapport "Farledsstränders erosionskänslighet" (Granath 1992), där samtliga större leder undersöktes, och såväl strandmaterialets sammansättning som andelen erosionsskadad strand dokumenterades. Slutsatserna av undersökningen var i korthet att erosionsproblemen var stora i vissa känsliga avsnitt av Furusundsleden, men att stränderna som helhet inte uppvisade en alarmerande stor skadeprocent. Undersökningen konstaterade också att en begynnande erosionsproblematik kunde anas i de innerskärgårdsfarleder som trafikerades av lokal passagerarbåtstrafik och av fritidsbåtar. En åtgärd till omedelbar följd av utredningen blev att revidera fartgränserna för den tyngre trafiken i Furusundsleden, för att om möjligt skydda stränderna från fortsatt erosion.

Undersökningen utfördes i huvudsak under år 1990, med bland annat en dokumentation av de då pågående erosionsskadornas typ och omfattning. Skadorna blev förhållandevis noggrant kartlagda, och denna kartläggning kan utan svårighet läggas till grund för en senare återinventering med avsikten att kontrollera om skadornas omfattning ökat eller minskat. Erosionsskador uppstår som en följd av strandmaterialets anpassning till en ökad vågenergi, och en erosionsskadad strand kommer förr eller senare att inta ett jämviktsläge under förutsättning att vågenergin inte förändras vare sig mot högre eller lägre energinivå. Processerna är relativt snabba, och eventuella förändringar borde utan svårighet kunna iakttas efter ett decennium. Ur vetenskaplig synpunkt skulle därför en återinventering av 1990 års strandskador kunna ge ett tydligt besked på flera frågor. Dels om fartbegränsningarna i Furusundsleden givit den önskade effekten, dels om skadeutvecklingen i farlederna som helhet ökat eller minskat, dels om utredningens farhågor om begynnande erosionsproblem i mellanskärgårdens "lätta" farleder be-sannats.

En återinventering av 1990 års undersökning mötte inga tekniska hinder, men innebar givetvis ett forskningsarbete med mycket omfattande och tidsödande fältarbeten, som av kostnadsskäl dessvärre inte kunde finansieras av allmänna medel. Arbetet bedömdes dock av flera instanser (Statens Naturvårdsverk, Natur- och Kulturgeografiska institutionerna vid Stockholms universitet, Kulturgeografiska institutionen vid Uppsala universitet, Skärgårdsstiftelsen med fler) som mycket angeläget, och medel ställdes därför till förfogande av forskningsstiftelsen Tornspiran, som år 2000 lämnade ett forskningsanslag avsett att täcka cirka två års arbete med det projekt som i det följande kommer att avrapporteras.

Projektplan

Det aktuella projektet har flera målsättningar. I första hand gäller arbetet en uppdatering av 1990 års strandskadeinventering för att därigenom om möjligt få svar på frågorna om erosionsproblemen ökat, minskat eller förändrats på annat sätt. I teorin finns möjligheten att en stabilisering av stränderna skulle ha kunnat uppstå åtminstone i Furusundsleden efter revideringen av fartgränserna som trädde i kraft år 1994. Ett andra mål var att utvidga dokumentationen kring förhållandena i mellanskärgårdens farleder, som inte i 1990 års undersökning blivit lika noggrant undersökta, men som föreföll vara det potentiella problemområdet för framtiden. I detta delmål ingick också en önskan att om möjligt öka kunskapsläget beträffande energiutvecklingen hos de olika fartygskategorier som trafikerar de lederna, det vill säga såväl passagerarbåtstrafik och annan yrkesbåtstrafik som fritidsbåtstrafik. Ett tredje och mycket viktigt mål var att om möjligt utarbeta en vetenskapligt hållbar metod för övervakning av de erosionsutsatta strändernas utveckling, antingen mot en ökande erosion eller mot en eventuell stabilisering i ett jämviktsläge. En sådan metod skulle skapa ett underlag för de kommande diskussioner om orsak och verkan som oundvikligen måste bli följden av den ökade trafikintensitet man kan förutse i mellanskärgården. Där har stränderna tidigare varit relativt balanserade, men större och snabbare fartyg av olika slag har rubbat denna ömtåliga balans.

Projektet i sin helhet syftar således till att lägga ytterligare en bit av information till kännedomen om mekanismerna för den fartygsalstrade stranderosionen, ett område där kunskaperna är relativt magra, men där effekterna kan ha en stor påverkan såväl på natur som på mänsklig byggnad. Sjöfart har en oslagbar potential som ett resurssnålt och miljövänligt transportsätt, men det är viktigt att sjöfarten i ett så känsligt område som Stockholms skärgård anpassas till den naturliga omgivningen och inte tvärt om. Men saknas kunskaper om hur stränderna påverkas av fartygstrafiken kan man inom samhällsplaneringen knappast kräva en förändring av nuvarande utveckling.

Föreliggande rapport är som en naturlig följd av projektets tre komponenter således uppdelad i tre avdelningar, där den första redovisar resultaten av

jämförelsen mellan skadeinventeringarna för år 1990 respektive år 2000. I den andra redovisas resultatet från undersökningarna av svallproblematiken i mellanskärgården, och i den tredje delen presenteras ett förslag till övervakningsmetod som gör det möjligt att i detalj följa förändringar i strändernas materialsammansättning och vegetationssammansättning. Rapporten avslutas med en diskussion om vilka slutsatser som kan dras av undersökningen, och hur resultaten och de anvisade metoderna skulle kunna utnyttjas för framtida övervakning av miljön längs skärgårdens stränder.

Del 1

Läkning eller fortsatt erosion?

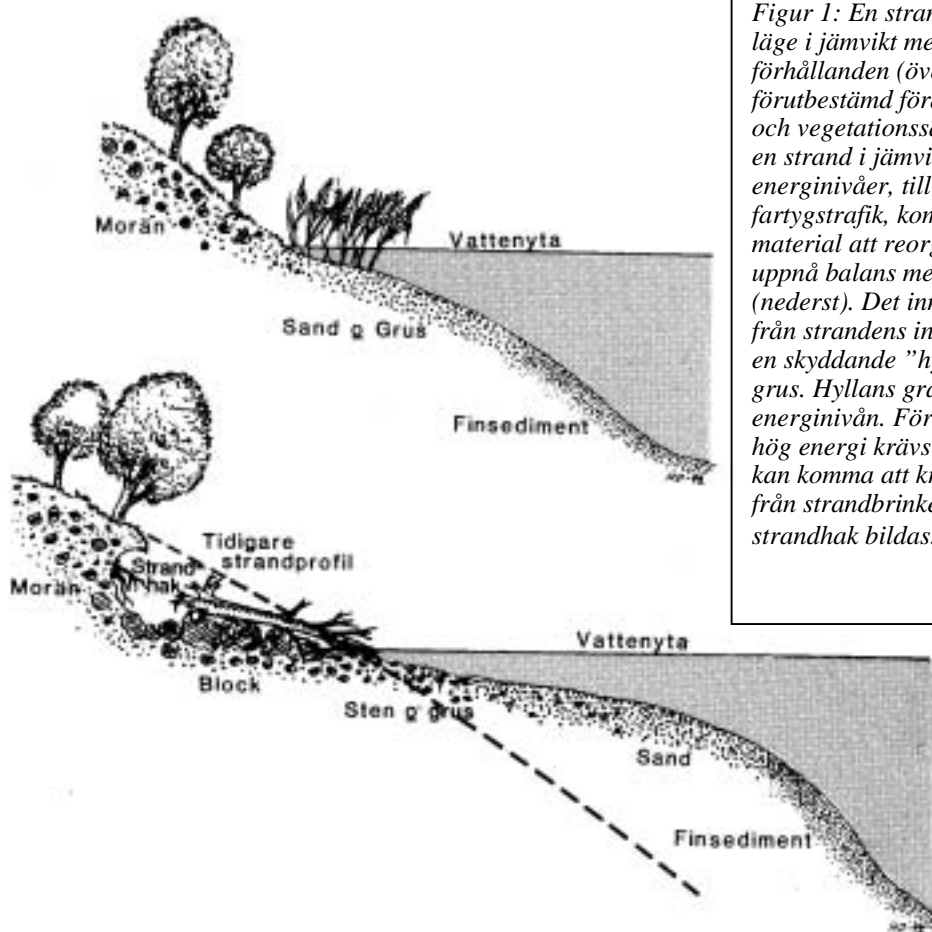
Erosionsskadornas utveckling under ett decennium

Mekanismerna bakom den fartygsalstrade stranderosionen finns tidigare belysta i forskningsrapporterna (Granath 1992, 1989) och i en uppsats (Granath 2001), där detaljer om vågbildning och materialtransport diskuteras. Dessa frågor kommer därför inte att behandlas här, annat än som bakgrundsfakta till slutsatser om erosionens förlopp på olika platser.

Stranderosion är en process som kan iakttas naturligt på de flesta håll där vatten möter land. I ett geologiskt tidsperspektiv ska allt land eroderas ned av de fluviala processerna, men i ett kortare, mänskligt perspektiv kan erosionen arbeta omärkligt långsamt eller med fullt synlig effektivitet. Det senare fallet uppstår när stranden plötsligt utsätts för en högre vågenergi som tidigare inte förekommit mot den aktuella stranden. I de inre delarna av Stockholms skärgård innebär det utan undantag att stranden utsätts för vågor från fartyg som alstrar en vågenergi som överstiger de naturliga vindalstrade vågorna. Den naturliga vågenergin är normalt sett mycket låg, och det krävs inte särskilt stora fartyg för att alstra en större energi.

En strand som endast är utsatt för naturlig vågenergi befinner sig i ett tillstånd av balans. Om energin är låg kan växtlighet etablera sig i finmaterial ända ner till vattenbrynet och ibland även ett stycke ut i vattnet. Där energin är högre är också strandens kornstorlek större och medför ett urval i florán, där endast ett fåtal arter kan kolonisera de mer utsatta vattenbrynen. Ju kraftigare vågenergier, desto grövre material kommer stranden att få. Det är inte bara strandens materialfraktioner som bestäms av samspelet med vågenergier. Även strandens lutning över och under vattenytan har ett bestämt samband med inkommande energi. Ett högt energiinflöde kommer enligt tämligen okomplicerade fysikaliska processer att förflytta strandmaterial av en given grovlek utåt till ett skyddande strandplan som kommer att neutralisera de inkommande vågornas energi innan den nått den torra delen av stranden. I ett fall där en strand utsätts för en förändrad, högre energinivå kommer dessa processer så småningom att ha reorganiserat materialet såväl vad gäller kornstorlek som strandprofil, så att en ny jämvikt inträder. Denna jämvikt kommer att bestå så länge som förändringen i energinivå består. Ökar energin ökar strandens ”ombyggnadsprocess”, minskar energin kommer stranden successivt att återgå till ett tidigare utvecklingsstadium som svarar mot den nya stabila energinivån. I Figur 1 visas schematiskt hur en strand reagerar vid en förändring från lägre till högre energiinflöde.

Ovanstående välkända principer styr utformningen av alla lösmaterialstränder, även i skärgårdsmiljö och även vid påverkan av fartygsvågor. Ur principerna kan utläsas att en skärgårdsstrand som utsätts för en vågpåverkan som inte tidigare förekommit kommer att påbörja "ombyggnaden" mot ett nytt jämviktstillstånd. Om vågenergin förblir stabil på den nya, högre nivån kommer också stranden förr eller senare att finna ett nytt jämviktssläge där den aktiva erosionen avklingat och strandens nya profil och material klarar att neutralisera de inkommande vågorna. Hur lång tid detta tar beror helt på den ursprungliga strandens innehåll av den lämpliga nybyggnadsfraktionen, på den ursprungliga strandens lutning och profil i förhållande till den lämpliga jämviktprofilen, vilket i sin tur styrs av energin i de aktuella vågorna.



Figur 1: En strand intar normalt ett läge i jämvikt med rådande vågenergiförhållanden (överst). Det ger en förutbestämd fördelning av material- och vegetationsammansättning. Om en strand i jämvikt utsätts för ökade energinivåer, till exempel genom en ny fartygstrafik, kommer strandens material att reorganiseras för att uppnå balans med den nya energin (nederst). Det innebär att material tas från strandens inre del för att bygga ut en skyddande "hylla" av sand och grus. Hyllans gradient avgörs av energinivån. För att neutralisera en hög energi krävs en flack hylla som kan komma att kräva mycket material från strandbrinken, och ett kraftigt strandhök bildas.

Av ovanstående framgår också att en förutsättning för att en strand ska kunna etablera en ny naturlig profil i harmoni med inkommande vågenergi, är att "spelreglerna" inte ändras under reorganisationens gång. Om vågenergin successivt ökas, till exempel genom att ny fartygstrafik etableras, eller att andra fartyg med högre energiinnehåll i vågsystemen introduceras, kommer givetvis den önskade jämvikten aldrig att uppnås, och erosionen kommer därför att vara konstant aktiv på en hög nivå. Dessbättre innehåller

detta system också förutsägbara positiva effekter av minskade energinivåer. Skulle till exempel fartygstyper med bättre anpassade och mer energieffektiva skrov börja trafikera leder där aktiv erosion pågår, skulle effekterna på vissa stränder bli omedelbara, nämligen sådana stränder som aktivt eroderats men just uppnått den profil och materialsammansättning som står i jämvikt med den sänkta energinivån. Stränder som tidigare eroderats och färdigombildats för den högre nivån kommer att återgå till ett tidigare stadium av ombildning, vegetation kommer att återkolonisera de övre delarna av stranden och de tidigare aktiva erosionssåren kommer att uppfattas som "läkta".

Andelen aktivt pågående erosion längs en farled är därför ett tydligt mått på graden av jämvikt mellan strand och fartygstrafik, och det är huvudskälet till varför en återupprepad inventering av andelen aktiv erosion kommer att ge en antydning om "hälsotillståndet" hos farledsstränderna i Stockholms skärgård. Skulle det till exempel visa sig att processerna idag är mindre aktiva i Furusundsleden, kan åtminstone en av anledningarna vara de vidtagna begränsningarna av hastighetsbestämmelserna.

Metoder

Vid inventeringen av erosionsläget år 1990 utfördes arbetet i sin helhet som en fältkontroll från båt. All strand inom cirka 500 m från farleden besiktigades, och aktiv erosion noterades om skadans utsträckning var större än 5 meter. För att i någon mån gradera erosionsaktiviteten klassificerades skadorna i två klasser: *lätt skada = låg erosionsaktivitet* respektive *svår skada = hög erosionsaktivitet*. Definitionsmässigt ansågs den lätta skadan vara sådan strand där erosionsbrinken är otydlig eller i varje fall mindre än 0,5 meter hög. Stranden ska vara tydligt bearbetad och uppvisa en pågående materialsortering. Vegetationsklädda stränder uppvisar en pågående vegetationsförlust med ofta frispolade trädrötter.

Som svårt skadade ansågs sådana stränder vara som uppvisade en vertikal erosionsbrink med en höjd av mer än 0,5 meter. Vegetationsförlusten nedanför brinken är total, och den pågående materialtransporten visar tydligt att material förloras och inte bara omlagras.

Dessutom noterades skador på vassbestånden. Vassen är en tydlig indikator på att bottenmaterial förloras, och ett vassbestånd som utsätts för erosion kommer efter kortare eller längre tid att få ett "tuvigt" eller "kvastformigt" växtsätt. Tuvorna blir i ett senare skede helt underminerade, rotfilten bryts upp och växten försvinner. Vassvegetationen som indikator på erosion har studerats närmare av Hedén och Sannel (1992). I figurerna 2-4 visas bildexempel på hur de olika skadeklasserna kan te sig i verkligheten.



*Figur 2: En skada som denna visar på en hög erosionsaktivitet och betraktas i inventeringen som en svår skada, med en tydlig erosionsbrink på 0,5 meter eller mer.
Foto: Lars Granath.*



Figur 3: Som lättare skador klassas ovanstående typ av vegetationsförlust utan tydlig brink, eller med brink mindre än 0,5 m. Frispolade rotsystem är vanligt förekommande. Foto: Lars Granath.



Figur 4: Det första tecknet på att vassvegetationen påverkas av vågenergierna är att en tuvighet utvecklas som en följd av att bottenstratet sköljs bort i "returflödeskanaler" som på en tidvattenskust. Foto: Lars Granath.

manuellt, och en sammanställning av skadeläget redovisades i den tidigare nämnda rapporten (Granath 1992).

Inventeringen år 2000 genomfördes på samma sätt som tidigare, det vill säga genom närbesiktning av stranden från båt, med så långt som möjligt samma förutsättningar. En förutsättning var att inventeringen utfördes av samma person som tidigare, med tanke på att bedömningen av erosionsaktiviteten är subjektiv, och kan uppfattas olika av olika personer. Genom att båda inventeringarna i sin helhet utförts av undertecknad författare bör riskerna för olikheter i skadebedömningen mellan de båda tillfällena vara begränsade, men då fullkomligt objektiva kriterier för bedömningen inte går att ställa upp, finns här en möjlig felkälla.

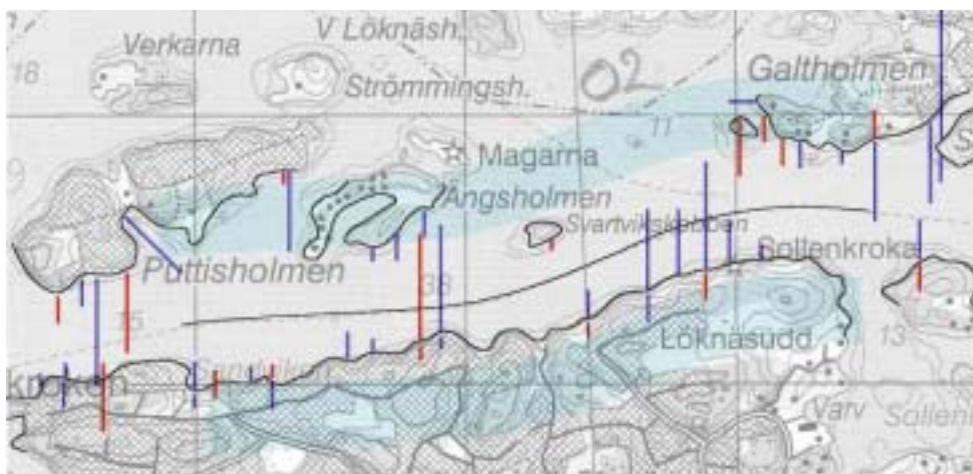
Data från insamlingen har i fält registrerats på samma sätt som vid det tidigare tillfället, det vill säga på karta, med vidhängande faktauppgifter. För att underlätta och förbättra möjligheterna till jämförelser av data från de båda inventeringstillfällena ingick i projektet också att bygga upp en databas där dessa uppgifter lagrades. Detta har stor betydelse för databearbetningen, men skapar också en betydligt mer lättillgänglig möjlighet att i framtiden kontrollera och följa upp utvecklingen längs de undersökta farledsstränderna. Att bygga upp en sådan databas är emellertid ett tidsödande och kostsamt arbete. Det har dock bedömts som angeläget, och i projektanslaget har medel avsatts för detta ändamål.

Databasuppbyggnad

De krav som bör ställas på en samlad databas där erosionsskadornas typ och omfattning lagras, är för det första att varje skada är geografiskt fixerad till en koordinat, så att den kan återbesökas och identifieras på rätt plats. I 1990 års inventering är varje skada markerad på karta med en positionsnoggrannhet om cirka 10-20 meter. Skadans utsträckning är angiven i antal meter skadad strand, avrundat till jämnt 25-tal meter vid skador mer än 50 meter. Vid kortare skador avrundas till närmaste 5- eller 10-tal meter. Samma principer har följts år 2000, men vid inventeringen år 2000 har noteringarna från 1990 års inventering inte hållits tillgängliga för jämförelser, eftersom det skulle ha kunnat påverka bedömningarna. Inventeringen år 2000 är så långt möjligt oberoende av resultaten från år 1990.

Positioneringen av skadorna har kopplats till koordinater i det så kallade "Rikets Nät", med x- och y-koordinater i det geodetiska datumet RT90. Detta system är det officiella nätet för de svenska baskartorna från Lantmäteriverket, och kan förväntas vara gångbart under en överskådlig framtid. Varje skadeplats har därför givits en x- och y-koordinat enligt detta system. Koordinatens noggrannhet ligger på meternivå, men man bör räkna med en inbyggd osäkerhet i positioneringen på upp till ± 15 meter, till följd av bristande precision i notering på kartan vid inventeringstillfället.

Redovisningen av data måste kunna göras på ett visuellt lättillgängligt sätt, och det föreföll därför naturligt att bygga databasen på en underlagskarta från Lantmäteriverket. Målsättningen var att ge möjlighet till såväl direkta mätningar och beräkningar som en åskådlig presentation för den som är mer intresserad av skadornas omfattning och belägenhet. Med denna målsättning föreföll en databas uppbyggd över en underlagskarta som den mest lämpliga. I Figur 5 visas i ett utsnitt hur databasen tar sig ut i ”presentationsläge”. Varje skada representeras av ett färgat streck som utgår från strandkonturen, på den koordinat som representerar skadans centralpunkt. Strecket som går från strandlinjen och utåt vattnet representerar förhållandet vid inventeringen år 1990, medan det streck som går från strandlinjen inåt land representerar förhållandet år 2000. Streckets färg anger erosionens aktivitetsgrad, blått innebär låg aktivitet medan rött anger hög aktivitet. Grön färg avser erosionsaktivitet i vassbälten, graden av aktivitet är inte möjlig att ange, och endast en klass förekommer därför vad gäller skadad vass. Streckens längd är direkt proportionella mot skadans omfattning, och kopplade med en faktor 10 till den underliggande kartans skala. Ett streck som i kartskalan (1:25 000) är 10 mm (= 250 m i verkligheten) representerar alltså en skada med 25 meters längd.



Figur 5: Databasen i presentationsläge. Röd linje som går från strandlinje ut mot vattnet visar en svårt aktiv erosion år 1990, röd linje från stranden in mot land visar motsvarande aktivitet år 2000. Blå linjer visar enligt samma princip lättare aktivitet. Gröna linjer (saknas i exemplet ovan) visar skadad vass. Linjernas längs är proportionell mot skadans längd. I exemplet motsvarar en 10 mm linje 25 meter skadad strand. Många av 1990 års skador är inte längre aktiva, men här och var pågår fortfarande aktivitet, ibland till och med ökad. © Lantmäteriet, 2004. Ur Geografiska Sverigedata, 106-2004/188-AB

Databearbetningen kan utföras relativt enkelt genom att kartans objekt fungerar som datalagringsform. Såväl koordinat som längd och typ för varje skada finns i kartdatabasen, och bearbetning av separata data eller jämförelser av valda grupper kan utföras utan större problem. Data från denna bas,

som är uppbyggd i kartkonstruktionsprogrammet OCAD kan också exporteras till andra vanliga databashanteringsprogram. En mer fullständig dokumentation av databasens uppbyggnad, liksom en fullständig kartredovisning bifogas i appendix.

Undersökningsområde

I inventeringen år 1990 inventerades farledsstränderna längs lederna för den tyngre trafiken till och från Stockholms hamn. Vad beträffar den del av inventeringen som avsåg erosionsskador gjordes undersökningen längs Sandhamnsleden i sin helhet ut till Sandhamn, och längs Furusundsleden fram till och med Furusund. Erosionsdata för sträckan Furusund-Söderarm från år 1990 saknas alltså.

Vid inventeringen år 2000 begränsades undersökningarna i Sandhamnsleden till sträckan Stockholm-Sollenkroka, eftersom erfarenheterna visat att andelen erosionsbenägna stränder längs den resterande sträckan är mycket liten. Däremot utsträcktes undersökningarna norr om Furusund till att omfatta även sträckan Furusund-Kapellskär, där det finns anledning att för framtiden dokumentera vissa skador.

I databasen har även dessa områden som endast inventerats vid ett tillfälle tagits med för att skapa fullständighet, men vid databearbetningen och jämförelsen mellan inventeringstillfällena har de uteslutits.

Resultat

Vid en jämförelse av antalet noterade platser med mer eller mindre aktiv erosion framkommer det resultat som redovisas i tabell 1. I tabellen redovisas antalet platser och den sammanlagda längden eroderad strand i varje aktivitetskategori.

Genom att studera de rena sifferresultaten i tabell 1 tillsammans med den kartografiska presentationen av data i appendix kan man konstatera att någon fullständigt entydig bild av utvecklingen som helhet inte framträder. Vissa skadeplatser återkommer i båda inventeringarna, i vissa fall med ökad aktivitet, i vissa fall med minskad. Åtskilliga nya noteringar förekommer i 2000 års inventering, men en del av de äldre skadeplatserna är istället onoterade. I flertalet av dessa fall är orsaken med säkerhet att ny aktivitet har uppstått respektive äldre aktivitet har nått jämvikt. Men det går inte heller att helt bortse från misstag vid datainsamlingen genom att mindre skador har missats eller bedömts annorlunda vid de två tillfällena. Att större skador skulle ha förbisetts är dock mycket osannolikt, och helhetsresultatet vad gäller de sammantagna skadade strandlängderna måste anses som representativt.

Stockholm – Trälhavet

(39,0 km farled)

Total strand- längd inom 500 m från farled = 84,2 km	Hög aktivitet (Svår skada)		Låg aktivitet (Lätt skada)		Påverkad vass		Totalt	
	1990	2000	1990	2000	1990	2000	1990	2000
Antal platser	20	39	62	41	4	14	86	94
Total längd (m)	420	1015	1545	715	50	255	2015	1985

Trälhavet – Furusund

(47,9 km farled)

Total strand- längd inom 500 m från farled = 97,8 km	Hög aktivitet (Svår skada)		Låg aktivitet (Lätt skada)		Påverkad vass		Totalt	
	1990	2000	1990	2000	1990	2000	1990	2000
Antal platser	38	31	73	94	16	16	127	141
Total längd (m)	950	485	1990	1490	1105	620	4045	2595

Trälhavet – Sollenkroka

(19,9 km farled)

Total strand- längd inom 500 m från farled = 33,7 km	Hög aktivitet (Svår skada)		Låg aktivitet (Lätt skada)		Påverkad vass		Totalt	
	1990	2000	1990	2000	1990	2000	1990	2000
Antal platser	14	12	49	10	6	3	69	25
Total längd (m)	270	225	775	85	215	40	1260	350

Tabell 1: Resultatet av jämförelser mellan inventeringarna år 1990 och 2000.

Även med denna hänsyn till felkällor vid datainsamlingen utvisar dock jämförelsen mellan de två inventeringstillfällena mycket klart att erosionsaktiviteten avtagit tydligt särskilt i farledsavsnittet Trälhavet-Sollenkroka men även i den känsliga Furusundsleden. Det visar sig främst genom den minskade totallängden aktivt eroderad strand, men i Furusundsleden förekommer fortfarande aktivitet, vilket märks på den förhållandevis oföränd-

rade siffran för antalet aktiva platser. Däremot har aktiviteten längdmässigt avtagit markant. Av kartbilden i appendix framgår dynamiken tydligare, ett stort antal äldre skadeplatser har börjat utveckla en jämvikt, medan en del nya platser har uppstått där små, lågaktiva angrepp på stranden har konstaterats. I ledavsnittet Trälhavet-Sollenkroka är bilden betydligt mer lättolkad. Här har längden aktivt eroderad strand minskat kraftigt, liksom antalet skadeplatser, vilket inte kan tolkas på annat sätt än att en balans börjat etableras på de flesta håll. Vad gäller ledavsnittet Stockholm-Trälhavet är det lika tydligt att balansen saknas. Här kvarstår i stort sett problemen oförändrade, och den obetydliga skillnaden i eroderad strandlängd ligger klart inom felmarginalen. Den kraftiga ökningen av andelen svåra skador ligger däremot inte inom felmarginalen. En stor andel av de tidigare lågaktiva skadeplatserna har övergått till högaktiva. Att inte fler nya lågaktiva har uppstått kan sannolikt förklaras av att det redan tidigare förekom aktivitet på de flesta eroderbara stränder, och nu återstår mest de motståndskraftiga sten- och klippstränderna där inga nya skadeplatser kan etableras. I farledsavsnittet Stockholm - Trälhavet måste man alltså konstatera att ingen förbättring eller läkning inträtt, utan tvärtom en påtaglig försämring. I det följande ska tänkbara orsaker till skillnaderna diskuteras.

Vegetationen som erosionsindikator

Under en period av pågående erosion där stranden söker ett nytt jämviktsläge för att komma i balans med en högre energinivå, kommer det enligt tidigare resonemang att ske en omlagring av material och en förändring av strandens lutningsprofil. Det innebär att aktiv erosion successivt förstör det växttäckte som täcker stränder som är anpassade till en låg energinivå. Beroende på intensiteten i erosionen sorteras växtligheten så att de arter som är beroende av finkornigt substrat och har ett ytligt rotsystem kommer att avlägsnas först, medan arter som är anpassade till ett grövre material och har ett djupare rotsystem är de som försvinner sist av alla. Växtlighetens sammansättning på en eroderande strand ger en grov uppfattning om graden av aktivitet och i vilket stadium av balans stranden befinner sig.

Om erosionen avklingar och stranden når en jämvikt, så att materialrörelserna avstannar med en stabil fraktion som följd, finns det möjligheter att ny vegetation kan kolonisera de stränder som nått denna jämvikt. Förutsättningen är då att energinivåerna hålls stabila på den givna nivån, och att den resulterande fraktionen har en kornstorlek som passar en viss växtlighet. En i detta sammanhang mycket intressant indikatorart är strandrågen (*Leymus arenaria*) som normalt inte växer i några större bestånd i de inre delarna av Stockholms skärgård. Denna växt kräver ett grovt substrat bestående av grovsand och grus för att trivas, och finns därför i huvudsak i skärgårdens yttre delar, där de naturliga vågenergierna är tillräckligt höga för att skapa en såpass kraftig sortering.



Figur 6: Strandråg har koloniserat en strand som tidigare varit kraftigt eroderad och övergått från en moränstrand till en sorterad grus- och klapperstrand. Strandrågen binder finmaterial och skapar förutsättningar för ny vegetation, så länge vågenergierna inte ökar. En strand som denna är en mycket god indikator på i vilken riktning utvecklingen går. Foto: Lars Granath.

Det har visat sig, framför allt i Furusundsleden, att vissa av de tidigare erosionsaktiva stränderna nu har börjat uppnå jämvikt på en för strandrågen lämplig fraktion. Denna art har påbörjat en försiktig kolonisering av sådana stränder, vilket är ett tydligt tecken på att erosionsaktiviteten avtagit. Invandringen kommer inte på alla stränder, förutsättningen är att vågenergierna skapar just kornstorleksfraktionen sand-grus som ger strandrågen ett optimalt substrat. Strandrågen har visat sig vara en mycket känslig mätare på erosionsaktiviteten. Dels därför att de plantor som koloniserar är ”pionjärindivider” i gränzonen av växtens överlevnadsförmåga, dels därför att en aldrig så liten förändring av vågenergierna kan skapa helt andra förutsättningar i form av snabbt ändrade kornstorlekar i strandmaterialet.

Invandring av strandråg på eroderade stränder i Furusundsleden konstaterades under åren 1997-98. I samband med andra undersökningar har kolonisationens utveckling hållits under uppsikt. Någon systematisk undersökning på vetenskaplig grund har ännu inte utförts, men iakttagelserna är ändå entydiga. Vissa stränder har etablerat en stark och permanent växtlighet av strandråg, som i sin tur kan binda finare material och skapa förutsättningar för en växtsuccession med andra och känsligare arter. Andra före detta erosionsstränder har små kolonier av strandråg som kämpar för överlevnad i ett material som ännu inte nått full stabilitet. På dessa stränder kan bestånden variera från år till år. Säsonger med långvariga högvatten är särskilt olyckligt för sådana mindre kolonier, eftersom erosionen då angriper på en nivå som kan ligga ovanför strandrågens växtplats.

Sammantaget ger dock invandringen av strandråg en entydig bild av en uppbromsad erosionsaktivitet i Furusundsleden jämfört med förhållandena på 1980-talet, då många stränder befann sig i ett stadium av ökande erosionsaktivitet som inte lämnade något utrymme för någon som helst återinvandring av växtlighet. Den nuvarande situationen är mer hoppfull.



Figur 7: Vegetationen utvisar erosionens aktivitet. Stranden till vänster är aktivt eroderad med en kraftig brink utan vegetation på strandplanet. Träd är på väg att falla. Stranden till höger var för tio år sedan i samma stadium som den vänstra, men har nu uppnått balans med vågenergierna och har utvecklat ett flackt strandplan där både strandråg och högre vegetation har invandrat. Foto: Lars Granath.

Diskussion av resultaten

Jämförelsen av insamlade data visar således att erosionsaktiviteten avtagit såväl i Furusundsleden som längs sträckan Trälhavet-Sollenkroka i Sandhamnsleden, men att ingen förbättring kan ses i ledavsnittet Stockholm-Trälhavet. Resultatet är på denna översiktliga nivå så pass entydigt att skillnaderna bör kunna fastslås. Orsakerna är däremot svåra att lika entydigt belägga. Här ska göras ett försök att diskutera olika tänkbara skäl till resultatet.

I och med Sveriges inträde i EU upphörde de regler som medgav taxfree-försäljning ombord på fartyg destinerade till och från Finland. Däremot etablerades Åland som ett taxfree-område, vilket medförde en närmast total omläggning av färjetrafiken på Finland. Genom att Finlandsdestinerade färjor gör en mellanlandning på Åland blir det möjligt att upprätthålla den tidigare taxfreeförsäljningen ombord. På grund av denna ”paragrafrutt” går sedan dess så gott som all Finlandstrafik den kortare och mer skyddade vägen till Åland via Furusundsleden. Sandhamnsleden utnyttjas därför numera endast av Estlandstrafiken, gästande kryssningsfartyg och den normala handelstrafiken, vilket inneburit en avsevärd trafikminskning sedan ett antal år. Det är sannolikt att denna minskade trafik inneburit ett minskat tryck på stränderna i Sandhamnsleden, dels genom att antalet fartygspassa-

ger minskat, dels genom att fartygshastigheterna minskat generellt sett, eftersom Finlandstrafiken hade vissa dispenser från hastighetsföreskrifterna som gav rätt till högre fart än övrig trafik. Det är möjligt att detta inte är hela förklaringen, de erosionskänsliga stränderna i detta ledavsnitt är relativt få, och sannolikt har många av dem under tioårsperioden hunnit eroderas till ett jämviktstillstånd som gjort att de inte noterats som aktiva vid det senaste inventeringstillfället.

Den färjetrafik som bland annat av taxfree-skäl lämnade Sandhamnsleden styrdes således över till Furusundsleden, där man kunde förvänta sig ett betydligt förvärrat erosionstryck genom den ökade frekvensen fartygspassager. Dessbättre tycks dessa farhågor inte ha infriats fullt ut, eftersom undersökningen till och med visar en minskad erosionsaktivitet i denna känsliga led. Orsakerna skulle kunna vara flera. Med största säkerhet har de fartgränser som infördes 1994 bidragit gynnsamt genom att dämpa farterna till 12 knop i de känsligaste partierna mellan Vällersvik och Stabo udde. De tidigare fartgränserna var uppdelade i flera mindre avsnitt, som när de hölls orsakade en ryckig och bränsleekonomiskt ogynnsam framfart. De nuvarande fartgränserna är mer enhetliga och spänner över längre avsnitt som inte på samma sätt inbjuder till fartöverträdelser. Fartygshastigheten är den ojämförligt viktigaste faktorn för påverkan på stränderna.

Finlandstrafiken via Furusundsleden har också på senare år genomgått en viss omstrukturering mot färre fartygsenheter, och framför allt har den tidigare kapprustningen mellan rederierna mot allt större fartyg brutits. Även om nyare och modernare konstruktioner kan innebära förbättrade hydrodynamiska egenskaper hos skroven, råder ingen tvekan om att mindre fartyg utövar ett mindre tryck mot stränderna. Undantag finns, vissa dåligt konstruerade fartyg levererar även i låga farter trots en relativt blygsam storlek en orimligt stor vågenergi mot stranden. Sådana fartyg är också dyra i drift, eftersom all den vågenergi som når stranden har genererats av fartygets bränsle, som bättre kunde ha utnyttjats till fartygets framdrivning.

Hur kan då den uppenbara avvikelsen i ledavsnittet Stockholm-Trälhavet förklaras? Varför har inte erosionsaktiviteten minskat på samma sätt i detta avsnitt? En förklaring som utgår ifrån att lederna förenas och trafikintensiteten är högre, med den sammantagna effekten av de båda andra ledavsnittens samlade trafik är inte en tillfredsställande förklaring. Om trafiken i Furusundsleden respektive Sandhamnsleden var för sig inte genererar en ökad, utan minskad aktivitet, kan de inte tillsammans skapa ökad aktivitet. Den erosiva aktiviteten längs farledsstränderna bestäms av den högsta energinivån som med någorlunda regelbundenhet når stranden. Om nuvarande trafik var för sig inte skapar ökad aktivitet i vare sig Furusundsleden eller Sandhamnsleden, utan snarare motsatsen, kan den inte heller bibehålla eller öka aktiviteten i den gemensamma leden från Trälhavet till Stockholm. Att aktiviteten i detta ledavsnitt inte avklingat, måste tolkas som att energinivå-

erna successivt höjts under tioårsperioden, så att jämviktsläget fortlöpande flyttas mot en ny och högre nivå. Med hänsyn till att färjetrafikens intensitet snarare minskat än ökat under perioden, och att fartgränserna hållits oförändrade, måste förklaringen vara att ökningen i energinivå måste tillskrivas annan trafik. I del två av föreliggande rapport diskuteras mellanskärgårdens växande erosionsproblem som en följd av den tydligt ökade trafiken med allt större och snabbare passagerarbåtar inom ramen för skärgårdstrafiken. Det är odiskutabelt att denna trafik pressat upp energinivåerna mot stränderna på i många fall helt oacceptabla nivåer. I viss mån kan även större och motorstarka fritidsbåtar inbegripas i denna kategori, särskilt där trafiken passerar nära land.

Ett faktum är att en mycket stor del av leden Stockholm-Trälhavet trafikeras såväl av den tyngre färje- och handelstrafiken som av den lokala passagerartrafiken. Däremot är den senare kategorin i mycket liten utsträckning representerad i de båda övriga ledavsnitten. Det ligger därför nära till hands att anta att avvikelsen i erosionsaktivitet från de båda senare avsnitten skulle kunna bero på den ökade passagerartrafiken. Det går inte att ur tillgängliga data entydigt belägga denna hypotes, men det är svårt att finna någon mer sannolik förklaring. Passagerartrafikens båttyper och vågenergier diskuteras mer ingående i del två.

Slutsatser

Stranderosion är i de flesta fall en långsam och långsiktig process. Det är därför inte rimligt att efter endast ett decennium, och på basis av en förhållandevis subjektiv metod dra alltför detaljerade slutsatser om erosionsutvecklingen i dess olika faser. Inte heller går det att bryta ut begränsade geografiska områden för att prognostisera den framtida utvecklingen. Däremot tål materialet en översiktlig slutsats om utvecklingen i stort under tioårsperioden, och uppdelningen på tre delområden ligger också inom ramen för materialets tillförlitlighet. Det är därför möjligt att fastslå att erosionsaktiviteten längs huvudfarlederna som helhet har minskat, men att den fortfarande kvarstår oförändrat hög i farledsavsnittet närmast Stockholm. En helt objektiv undersökning skulle i framtiden kunna utföras med den metod som anvisas i del tre av denna forskningsrapport.

Del 2

Svallvågor från båttrafik i mellanskärgården

I det aktuella projektet ingår också att om möjligt försöka fastställa graden av svallpåverkan från olika slags båttrafik i de områden som idag visar sig vara mest utsatta för vågerosion. Det gäller främst mellanskärgårdens farleder där passagerarbåtar och fritidsbåtar är de enda fartygstyperna. Någon tyngre trafik förekommer inte där. Trots detta är som undersökningen visat, erosionsskadorna i de flesta fall betydligt svårare i dessa leder än i huvudlederna för den tunga trafiken. Figur 8 illustrerar hur en vanlig erosionsskada i denna miljö kan se ut.



*Figur 8: Svallvågorna är ofta helt förödande för såväl strandmiljön som boendemiljön. I detta fall har på bara några år skapats en erosionsskada som helt förändrat stranden. Så länge vågenergin från båtarna ökar, kommer också skadan att förvärras.
Foto: Lars Granath.*

Orsakerna till skadorna är givetvis båttrafiken. Det har diskuterats i vilken utsträckning de olika trafikslagen påverkar stränderna. Boende i området framhåller de snabbt ökande skadorna som resultatet av passagerarbåtstrafikens förändring mot ett större och snabbare fartygsbestånd, men några konkreta mätningar av våghöjder och våglängder för att jämföra passagerartrafikens båtar med fritidsbåtarna har inte utförts. Inom ramen för stiftelsen Tornspirans anslag kunde en sådan undersökning utföras, med målsättning-

en att samla ett tillräckligt stort antal enskilda vågmätningar för att ge tillräckligt underlag för ett uttalande om vilken typ av trafik som utövar det största trycket mot stränderna. Undersökningen utfördes av Ulla Abelin, Naturgeografiska institutionen vid Stockholms universitet, inom ramen för ett examensarbete. Examensarbetet som omfattar även andra aspekter av erosionsproblemen är ännu inte publicerat, men data är insamlade och resultatet presenteras i det följande.

Vågenergi

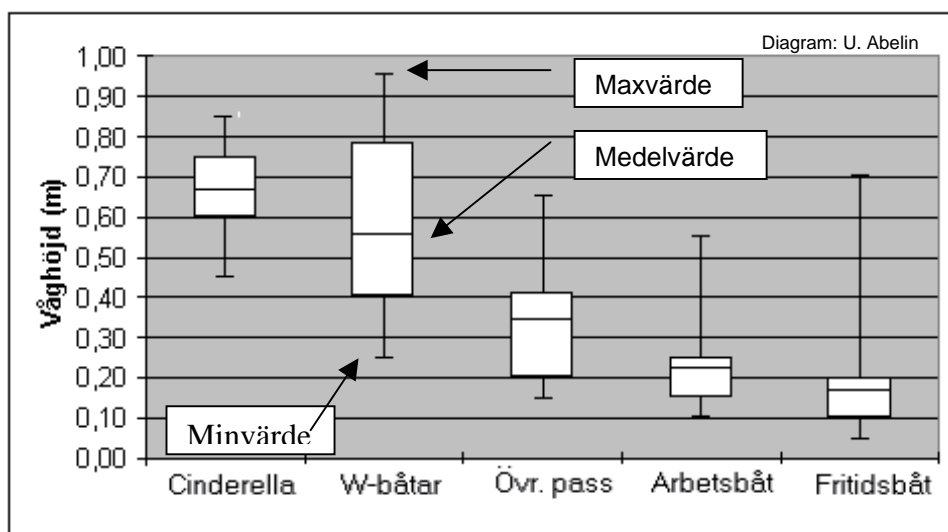
Energien i vågorna alstras självfallet av bränslet till fartygens maskineri. I detta fall är dock verkningsgraden hos fartygets maskiner av mindre intresse än det vi kan kalla ”verkningsgrad i framdrivningen”. Ett i detta avseende effektivt fartyg rör sig framåt med minimal vågbildning, eftersom varje svallvåg skapas med hjälp av fartygets eget bränsle. Ju mera vågor, desto sämre valuta för bränslekostnaden är den utomordentligt enkla regeln. Den relativt låga kostnaden för bränsle gör dock detta faktum mindre intressant för redaren i dagsläget. Moderna skrovformer bestäms till övervägande delen av faktorer som fartresurser, utrymme, manövrerbarhet och sjövärdighet snarare än framdrivningsekonomi. I många fall står också framdrivningsekonomi i ett motsatsförhållande till vissa av dessa prioriterade egenskaper. Bränsleekonomi uppnås enklast genom ett högt längd/breddförhållande, som dessvärre kan skapa en lägre sjövärdighet och gör fartyget svårmanövrerat. Ekvationen är alltså inte helt enkel, men det är uppenbart att vi idag konstruerar fartyg som utövar en väsentligt större påverkan på skärgårdens stränder än gårdagens båtar, såväl passagerarbåtar som fritidsbåtar.

Energien i en våg kan på ett mycket förenklat sätt beskrivas som produkten av våghöjden i kvadrat gånger våglängden. Det innebär att våghöjden är den väsentliga faktorn, men att man också måste väga in våglängden. Av två vågor med samma höjd är alltså den med längre våglängd energirikare. Energin koncentreras mot stranden och där ska alltså vågens hela samlade energi omsättas och neutraliseras till noll. En mycket liten del av vågenergin omsätts till värme, men i stort sett all energi neutraliseras genom meningslöst mekaniskt arbete, nämligen förflyttning av strandmaterial. Om stranden har lättflyttat material kan vågorna på kort tid åstadkomma åtskilligt resultat med liten energiinsats. Är materialet svårflyttat arbetar vågorna sig trötta mot stora stenar och block, och åstadkommer inte någon större effekt. Erosionsmekanismerna beskrivs närmare i föregående avsnitt, och i Granath 1992.

Våghöjd

Vågenergiundersökningarna utfördes under säsongerna 2000 och 2001 av Ulla Abelin i området kring Svartsö, där flera farleder korsar varandra, och där såväl passagerarbåttrafiken som fritidsbåttrafiken är mycket tät. Området är också svårt utsatt för svallskador.

Med hänsyn till de begränsade resurser som stod till förfogande valdes en enkel men tillförlitlig manuell teknik för mätningar av våghöjd och våglängd. Våghöjdsättningarna utfördes med avläsningar mot en avvägningsstång bottenfast förankrad utanför stranden på ett djup där vågorna ännu inte påverkats av landgrundningen. Avläsning skedde från land mot stångens cm-skala vid vågdal respektive vågtopp. Felmarginalen i total våghöjdsavläsning bedöms vara max 5 cm. Vid avläsningen bokfördes ett antal olika fartygstyper. Dels noterades de större passagerarbåtarna av Cinderellatyp, dels Waxholmsbolagets båtar i serien av systerfartyg med namn på "W", till exempel Wärmdö, Wånö etc. Dessa båtar upprätthåller många av traderna i det aktuella området, och kallas i dagligt tal "W-båtar". Vidare noterades övriga passagerarbåtar, till exempel "Roslagen" "Eskil" med fler, som trafikerade området under de aktuella mätperioderna. Även arbetsbåtar av det större slaget noterades separat, liksom fritidsbåtar. Inom fritidsbåtarna gjordes dessutom en ytterligare uppdelning på olika båttyper. Antalet våghöjdsuppmätningar uppgår till mer än 400 st, fördelade på cirka 150 passagerarfartyg och resten arbets/fritidsbåtar. Materialet ger statistiskt godtagbara resultat och resultatet måste anses säkerställt. I följande diagram redovisas resultaten av de olika mätningarna.



Figur 9: Resultat från mätning av våghöjder för olika fartygskategorier.

Ur diagrammet Figur 9 ovan framgår mycket tydligt att både W-båtar och Cinderellabåtar genererar mycket höga vågor. Maximalt uppmätt värde ligger på 0,95 m, vilket är extremt högt i ett skyddat innerskärgårdsområde där den naturliga våghöjden maximalt når cirka 0,3 m. Cinderellornas våghöjd ligger i medeltal på 0,66 m medan W-båtarna har ett medelvärde på 0,55 m. Även om enstaka fritidsbåtar kan skapa lika stora svallvågor som passagerarbåtarna ligger medeltalet där på en i sammanhanget mycket blygsam nivå. Fritidsbåtarna underkastades en särskild granskning och indel-

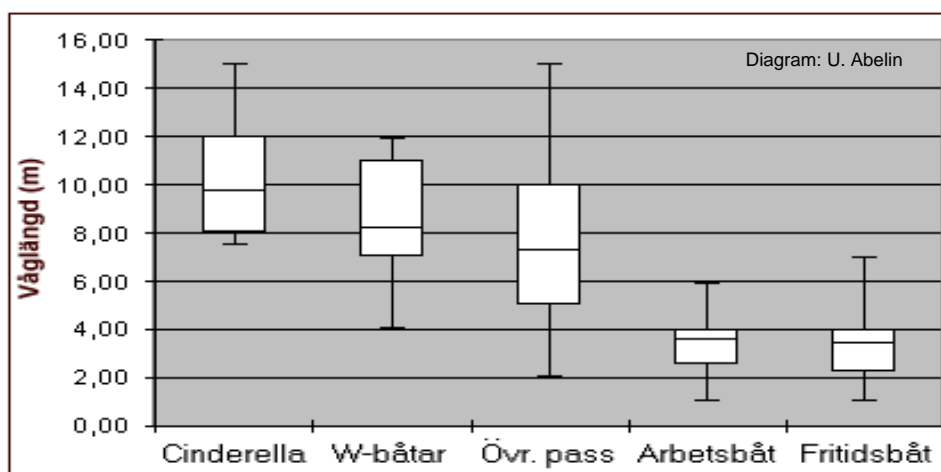
ning. Segelbåtar oavsett för segel eller motor kunde snabbt avföras ur diskussionen. Svallen från denna kategori låg alltid under 10 cm, och var i de flesta fall ej mätbara i förhållande till bakgrundsvågorna. Planande mindre båtar av typ akterhytt/hardtop genererade i medeltal cirka 15 cm höga vågor med maxvåghöjd 30 cm, medan en kategori tyngre cruisers (Storebro/Princess o liknande) skapar vågor som till sin fördelning är mycket lika ”övriga passagerarbåtar” i diagrammet ovan. Deras medelvåghöjd ligger på cirka 0,35 m, med maxhöjder upp till 0,7 m. Dessa tyngre, halvdeplacerande båttyper är numera vanliga, och innebär en belastning för strandmiljön i lika hög utsträckning som många av passagerarbåtarna. Övriga fritidsbåtar med mindre våghöjder än 30 cm – vilka utgör merparten – kan i detta område avföras ur diskussionen om stranderosion, eftersom de genererar svallvågor med mindre höjd än den naturliga maximala våghöjden. I trängre farvatten med låg naturlig bakgrundsenergi kan de dock bli en faktor att räkna med, till exempel i hamnar eller smala sund.

Våglängd

Bilden av svallvågornas energi mot land blir inte komplett utan att också svallens våglängd räknas in enligt den tidigare nämnda formeln. Även för detta mätändamål konstruerades en enkel men tillförlitlig mätare för visuell avläsning. Flytande stänger med en meters längd kopplades ihop till en enhet om totalt fyra meter och förankrades på ett fast avstånd om fyra meter utanför våghöjdsjäkaren enligt Figur 10. På varje meter fastsattes en boj. Våglängden kunde på det viset uppskattas med en noggrannhet om cirka 0,25 m. Genom att avståndet till våghöjdsjäkaren var fixerat till fyra meter kunde våglängder upp till åtta meter mätas med god precision, och även längre våglängder uppskattas utan allt för stora fel. Vid våglängder över tio meter beräknades felet kunna uppgå till cirka 0,5 m.



Figur 10: Mätning av våghöjd (mätstång till vänster i bild) och våglängd (flytande stänger i bildens centrum). I detta fall är våglängden cirka 4 meter. Foto: Ulla Abelin

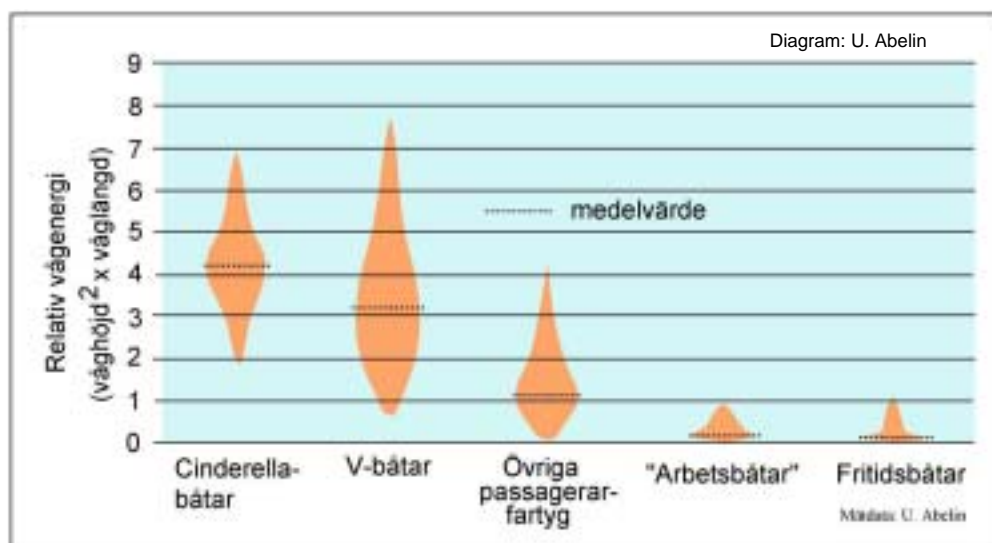


Figur 11: Resultat från mätning av våglängder för olika fartygskategorier.

Resultatet av våglängdsmätningarna redovisas på samma sätt som i föregående Figur 9 med våghöjds-mätningar. Här visar sig vissa signifikanta skillnader. Så har till exempel Cinderellabåtarna genomgående en längre våglängd än W-båtarna. Spridningen bland övriga passagerarfartyg är stor, men medelvärdet ligger lägre än de föregående. Fritidsbåtar skapar överlag korta våglängder på grund av sin mindre storlek. Några få fritidsbåtar kan åstadkomma våglängder i klass med passagerarbåtar, och det rör sig då om samma typ av tyngre cruisers som i våghöjdsfallet ovan.

Sammantagna energieffekter

Genom att beräkna vågenergin enligt tidigare nämnda formel $E = \text{våghöjd}^2 \times \text{våglängd}$ erhålls ett relativt mått på de olika båttypernas vågenergier. Värdena från data till diagrammen ovan har givit nedanstående resultat. Detta sortlösa jämförelsemått på vågenergierna från svallen kan jämföras med motsvarande för den maximala naturliga vågenergin från vindvågorna som just i detta område kan beräknas till cirka 0,3 meters våghöjd med cirka 3 meters våglängd. Det ger värdet 0,27 i nedanstående tabell, där fritidsbåtar har medelvärdet 0,13 och Cinderellabåtarna har 4,3, det vill säga 16 gånger högre energi än vad den naturliga kan uppnå. Fritidsbåtar av den större cruisertypen ligger i intervallet 0,15 till 1,0 med ett medelvärde på 0,4 och överträffar således den naturliga bakgrundsenergin, men ligger ändå mycket långt under energierna från passagerarbåtarna. En intressant jämförelse kan göras med vågenergierna från en normal finlandsfärja som vid 12 knop (vanlig fartgräns) genererar svall med en våghöjd på knappt 0,3 m vid en våglängd på cirka 6 m, vilket ger ett relativt energivärde om cirka 0,50 i nedanstående diagram, det vill säga knappast mer än de större fritidsbåtarna, och endast en åttondel av Cinderellorna. Man kan också, om så önskas, konstatera att de större fritidsbåtarna genererar lika mycket svallenergi som en Finlandsfärja vid 12 knop.



Figur 12: Resultat från beräkning av de olika fartygstypernas sammantagna energieffekter när hänsyn tas till både våghöjd och våglängd.

Sammanfattning av mätresultat

Av denna delundersökning som huvudsakligen utförts av Ulla Abelin, och som senare kommer att redovisas i ett examensarbete vid Institutionen för Naturgeografi och Kvartergeologi vid Stockholms universitet, framgår med tydlig skärpa den mycket omfattande påverkan som måste tillskrivas passagerarbåtstrafiken i det aktuella området. Det rör sig inte om enstaka passager, som i fallet med de tyngre fritidsbåtarna, utan ett stort antal regelbundet återkommande trafikrörelser, bara under högsäsongen juni – september sker mer än 1500 passager av passagerarbåtar förbi Svartsö och Lådna i mellanskärgården. Påverkan på stränderna är mycket omfattande, och undersökningen visar entydigt att Cinderellabåtarna svarar för de högsta energieffekterna, tätt följda av W-båtarna. Fritidsbåtar i allmänhet har i detta sällskap en ytterst marginell effekt på stranderosionen, så länge de rör sig i samma leder som passagerarbåtarna. Utanför dessa leder, särskilt i trånga vatten, kommer framför allt de större fritidsbåtarna att utöva en väsentlig påverkan.

Del 3

Metoder för övervakning och uppföljning av stranderosion

I föregående delar har ofta diskuterats det faktum att en strand är ett dynamiskt system med en förhållandevis lättförståelig mekanik när det gäller materialets och strandprofilens anpassning till skiftande energiförhållanden. Det ska understrykas att förståelsen gäller de översiktliga sammanhangen. I detaljerna är förloppen fortfarande mycket ofullständigt kända. Den största osäkerheten finns i mekanismerna kring fartygens vågbildning och hur energierna i de olika vågsystem som alstras av fartygen når stranden. Det är sedan tidigare undersökningar tydligt att både bernoullivågor och kelvinvågor (se Granath 1992) samverkar i ett intrikat spel som också är starkt beroende av den lokala bottenpografien både på större och mindre djup. Att ge prognoser för hur effekterna från ett visst fartyg påverkar en viss strand är därför med dagens kunskapsläge helt omöjligt. Kanske kan fördjupad forskning inom detta speciella område inom hydrodynamiken så småningom ge möjligheter att säkrare förutse den effekt en given fartygskonstruktion kan ge, men i dagsläget förstår vi bara delvis orsakssammanhangen.

Symptomen är däremot förfärande tydliga, särskilt längs mellanskärgårdens ”motorvägar”. Här förekommer på många platser en mycket aktiv erosion, i flera fall till och med mer aktiv än vad som förekom i Furusundsleden under den period som Finlandstrafiken hade sin största expansion. Det råder inte minsta tvekan om att passagerarbåtstrafiken i mellanskärgården är den huvudsakliga orsaken. Undersökningen i rapportens del 2 visar på att en viss kategori av större och motorstarka fritidsbåtar kan skapa avsevärda vågenergier, men den täta och regelbundna trafiken av passagerarbåtar i vissa farleder genererar sammantaget en energi som väsentligt överstiger vad som åstadkoms av fritidsbåtarna.

Det är alldeles uppenbart att strandmiljön påverkas starkt, men också att boende längs lederna får utstå avsevärda förluster till följd av denna påverkan. Det kan i de tydligaste fallen gälla förstörda brygganläggningar, kajer, båthus etc. Men en ofta förbisedd effekt är omvandlingen av stränderna från en förhållandevis varierad miljö med olika strandtyper och biologisk mångfald till en steril monotyp av grus eller klapper. Denna omvandling kan på ett fåtal platser vara positiv för skärgården som fritidslandskap, där till exempel en mjuk vassig strand förvandlas till en lämplig badsandstrand, men som helhet är denna likriktning av strandtypen inte önskvärd vare sig ur mänsklig eller ekologisk synpunkt. Det finns därför all anledning att uppmärksamma utvecklingen.

Anledningen till att erosionsproblemen i mellanskärgården fått en ökad aktualitet är inte svår att se. Skärgården är ett enastående attraktivt område på ett unikt nära avstånd från storstaden. Ingen är intresserad av att skärgården omvandlas till serviceslös glesbygd, och dessbättre har utvecklingen vänt mot en återflyttning och ett mer levande landskap. En absolut förutsättning för detta är förbättrade transporter, och det är således ett allmänt intresse att passagerar- och godstrafiken fungerar med snabba och täta turer. På senare år har skärgårdstrafikens rederier helt naturligt svarat på denna efterfrågan, och alltså även bidragit aktivt till en levande skärgård. Med den skeppsbyggnadsteknik vi idag utnyttjar, innebär ett krav på ”större, snabbare och bekvämare” också fartygskonstruktioner som genererar mer vågenergi mot stränderna. Tråkigt nog är det således rederierna själva som med sina bränsleutgifter bekostar denna masstransport av sand och grus från stränderna. Varje förflyttning av ett gruskorn i stranden innebär en bränsleskvätt som använts till något mindre nyttigt än fartygets framdrift. Vi ser idag båtar som är både snabba och bekväma, till exempel Cinderellabåtarna, Waxholmsbolagets W-båtserie (Wäddö, Wånö, Wärmdö etc), men som till följd av denna storlek och hastighet skapar extremt höga vågenergier mot stränderna i jämförelse med det relativt ”snälla” tonnage som utnyttjades tidigare under 1980-talet. Görs den orättvisa jämförelsen mellan en äldre ångbåt av Norrskärs typ och den moderna vattenjetdrivna ”Cinderella” visar det sig att den senare visserligen går dubbelt så fort, men lämnar fyra gånger högre energi mot stränderna. Fram till 1970- och 80-talen hade stränderna sedan länge färdigpassat sig till energierna på den relativt låga ”ångbåtsnivån”, men med dagens trafik sker nu en omfattande omDisposition och ombyggnad av strändernas material och profil. Man kan därför ställa sig frågan om erosionsproblemen successivt kommer att upphöra när stränderna anpassat sig till den nya tidens energier. Svaret på den frågan är ja, under förutsättning att energinivåerna fryses på en given nivå. Som utvecklingen nu ser ut är det dock tveksamt om en sådan utplaning av energikurvan kommer att ske. Så länge som nytt och modernt tonnage sätts i trafik med allt större och snabbare fartyg kommer inte någon stabilisering till stånd. Prognosen för mellanskärgårdens stränder är därför betydligt dystrare än för Furusundsledens, där trafiken i dagsläget har fått sin begränsning vad gäller fart och i någon mån även storlek, vilken bestäms av djupgåendet.

För att hejda strandskadorna i mellanskärgården finns för närvarande bara två möjligheter: begränsa hastigheterna eller använd fartyg med skonsammare skrovformer. Båda metoderna är fullt operativa och kräver inget omfattande utvecklingsarbete. Hastighetsbegränsningar är ur lagteknisk synpunkt ett tämligen okomplicerat politiskt beslut. Utvecklingen av energisnåla skrovkonstruktioner har hittills hämmats av förhållandevis låga energikostnader, men tekniken för konstruktion av energisnåla skrov är välkänd.

Kontrollbehov

I avvaktan på de beslut som förr eller senare kommer att krävas när det gäller utvecklingen av strandskadorna i mellanskärgården är det möjligt att skapa ytterligare kunskapsunderlag genom att följa förloppet, antingen för att dokumentera den fortgående erosionens hastighet, eller hellre för att konstatera effekterna av fattade beslut. Här krävs alltså en metod som gör det möjligt att i detalj kontinuerligt följa vad som sker med stranden i ett givet område. En sådan metod har inte funnits tillgänglig, och det har varit en av uppgifterna inom ramen för forskningsstiftelsen Tornspirans anslag att utveckla en metod för att såväl på lång som kort sikt kunna avgöra erosions-effekterna på farledsstränderna. Metoden ska vara objektiv och vetenskaplig. I uppgiften låg endast att anvisa en fungerande och operativ metod och inte att utföra det fortlöpande övervakningsarbetet.

Övervakningsmetod

Det är uppenbart att det i detta fall handlar om en form av kartläggning. Metoden ska göra det möjligt att kartlägga samma plats med stor noggrannhet från gång till gång, och positioneringen ska vara så exakt att ingen tveksamhet om läge kan uppstå. Det ska också vara möjligt att detaljstudera strandmaterial och vegetation för att avgöra om förändringar har skett mellan dokumentationstillfällena.

Tematisk kartläggning av skilda slag utförs idag så gott som uteslutande med hjälp av flyg- eller satellitbilder. Sådana är givetvis inte tillämpliga i detta fall, men själva tekniken borde med små modifieringar kunna utnyttjas. En fotografisk dokumentation har stora fördelar genom att den är mycket informationsrik och medger en återanvändning och kontroll av sådana förhållanden som i ett första skede kanske inte ansågs relevanta. Inom flygbildstekniken förekommer fotogrammetriska mätmetoder som bygger på att bilderna kombineras för tredimensionell stereoskopisk betraktning. Metoderna är utomordentligt användbara för direkta mätningar av föremåls alla dimensioner. Den övervakningsmetod som föreslås i det följande bygger därför på en typ av markfotogrammetri, där en given strandprofil fotograferas enligt samma principer som gäller vid konventionell flygfotografering.

Den aktuella profilen måste geografiskt fixeras mycket noga med tanke på kommande återbesök. Referensmått inom profilen är också mycket viktiga för den senare fotogrammetriska bearbetningen av bilderna. Här utarbetades en enkel men effektiv lösning på dessa problem. Profilens läge fixeras entydigt med bergfasta dubbar som slås ner i hål som borrar i berg eller i undantagsfall jordfasta block. Dubbarna är i denna metodutveckling förzinkade, med dimensionen åtta millimeter. De kommer så småningom att rosta bort, men bör kunna identifieras under överskådlig tid, och hålen är under alla omständigheter permanenta. Dubbarna i profilerna är alltid minst två stycken, antingen som ändmarkeringar eller som styrmärken för profilens riktning, beroende på de lokala terrängförutsättningarna. Referensmåt-

ten inom profilen skapas av en ordinär avvagningsstång för lantmäteri, med standardmättet fyra meter. Stångens läge och riktning bestäms av fixeringsdubbarna, som i bästa fall kan arrangeras som ändpunkter med exakt fyra meters avstånd. I dessa fall är fixeringen optimal, och avvikelserna från gång till gång bör kunna hållas under en centimeter. I de fall där profilen definieras av styrdubbar i linje, kan osäkerheten i profilens läge bli något större, men knappast mer än ± 5 cm i ändpunkten. Helhetsbedömningen är att denna metod för lägesfixering är optimalt noggrann med hänsyn till arbetsinsatsen. Högre noggrannhet kan bara åstadkommas med avancerade lantmäteriinstrument som kräver både längre tidsinsats och avancerade specialkunskaper. Även i ett sådant fall behövs inborrade fixpunkter som koordinatbestämts. I denna metodutveckling har 12 försöksprofiler av detta slag etablerats på olika platser längs farledsstränder såväl i mellanskärgården som i Furusundsleden.

Fotografering

Sedan profilens läge fastställts placeras avvagningsstången som en referenslinje mellan ändpunkterna. Stången är centimetergraderad och utgör underlag för såväl kamerans inriktning som den kommande fotogrammetriska bildbehandlingen. Kameran fixeras på ett stativ där överliggaren ska befinna sig lodrätt över och vara helt parallell med referenslinjen/avvagningsstången. Profilbredden bestäms av fotograferingshöjden och kamerans brännvidd, men med 35 mm objektiv till normal 35 mm film ger kamera-höjden 1,5 m en cirka 80 cm bred profil.

Fotograferingen sker sedan med kameran fixerad men flyttbar längs stativets överliggare, se Figur 13. Avvagningsstångens gradering utnyttjas för att få exakt position på kameran för varje tagning. Bildens centrala punkt ska flyttas cirka 50 cm för varje ny bild, bildkanten hålls parallell med avvagningsstången och kameraaxeln lodrät mot densamma. Den korrekta kamerainriktningen är lätt att avgöra med hjälp av sökaren under förutsättning att en kamera av spegelreflex typ används, alternativt en digitalkamera. Avståndet mellan exponeringarna bestäms av kamerans brännvidd och höjd, den viktiga målsättningen är att varje ny bild ska överlappa den tidigare med minst 60 procent för att den efterföljande och avgörande stereobearbetningen ska bli möjlig.



*Fig. 13: Genom att fästa kameran mot stativets överliggare kan den förskjutas mellan exponeringarna så att villkoren för den senare fotogrammetriska bearbetningen kan uppfyllas. Kameraaxeln ska vara lodrätt riktad och övertäckningen mellan bilderna ska vara minst 60 procent. Den liggande avvägningsstången utgör referensnivå.
Foto: Lars Granath.*

Praktiska erfarenheter

Det visade sig efter de första försöken år 2001 att metoden fungerade över förväntan. Med hjälp av en laddningsbar slagbormaskin med kapacitet för berg gick håltagningen för bergdubbarna utan problem. Dubbarna utgörs av förzinkade 8 mm expanderbultar som först slås ner i det förborrade hålet och därefter spänns fast med en mutter som får bulten att expandera nertill i hålet. Svårigheterna kunde i vissa fall vara att hitta den lämpligaste platsen för en profil där berg eller jordfasta block fanns tillgängligt. På stränder som enbart består av rörligt material som sand och grus fungerar inte metoden, men genom att förlänga profilen inåt land går det ofta att skapa fixeringar även på sådana stränder. Ett par sådana profiler förekommer i den aktuella metodstudien.

Som stativ har utnyttjats ett system av lätta 35 mm aluminiumrör med färdiga kopplingar för benstöd respektive skarvar. Se Figur 13. Ställningen är lätt att resa och lätt att transportera i demonterat skick, och vikten är inte mer än 6-7 kilo. Benen är teleskopiska och lätt justerbara. Den kamera som utnyttjats i metodstudien är en relativt enkel 35 mm spegelreflexmodell. Inget tyder på att metoden kräver någon mer avancerad utrustning, men för långsiktigt operativt bruk är det möjligt att en digitalkamera kan förenkla en del moment. För monteringen av kameran på stativet prövades några olika metoder innan det stod klart att den enklaste också var den bästa. Genom att

spänna kameran lagom hårt mot stativets överliggare med hjälp av flexibla och reglerbara gummistroppar, blev det enkelt och smidigt att förskjuta och finjustera kameran längs överliggaren. Med en lagom hård spänning av stropparna sitter kameran mycket bra fixerad vid tagningarna.

Resultat

Bilderna som blev resultatet av fotograferingen blev genomgående mycket lyckade. Det förelåg inga som helst svårigheter att montera och orientera dem för tredimensionell betraktning i stereoskop, och resultatet av denna stereobearbetning blev även för en van bildtolkare en överraskning i så måtto att detaljrikedomen i bilderna överträffade förväntningarna. Det går i stereobetraktning att identifiera såväl enskilda grässtrån som små gruskorn i varje profil (se Figur 14), och med hjälp av fotogrammetriska metoder kan exakt storlek och höjd på varje detalj bestämmas. För dagens behov är detta möjligen en överinformation, men för framtida bruk kan det ligga ett stort värde i att metoden har denna överkapacitet. Med hänsyn till dagens målsättning, att skapa en metod som gör det möjligt att övervaka förändringar i vegetationens sammansättning och i strandmaterialets kornstorlek, förefaller det som om metoden uppfyller målsättningen till 100 procent.

Övrig fotodokumentation

Den ovan beskrivna metoden fyller högt ställda krav på objektivitet, återupprepningsmöjlighet och noggrannhet och kan utgöra underlag för en renodlat vetenskaplig bearbetning av resultaten. I många fall kan dock en mindre vetenskapligt baserad dokumentation ha ett stort värde, och det har visat sig att foton som togs under inventeringsarbetet 1989-91 har kunnat ge ett ovärderligt stöd i undersökningar av erosionsaktivitet på olika platser. Det finns därför all anledning att utnyttja "normal" fotodokumentation som ett kompletterande stöd till ovanstående profilundersökningar. Men även en sådan fotografering av stränderna, till exempel från båt kan göras med en finess som underlättar och förhöjer värdet av framtida jämförelser. Det går nämligen utmärkt att utföra också denna dokumentation som en stereofotografering, och tekniken är inte svår att lära. Förutsättningen är till att börja med att kamerafaktorerna är konstanta mellan tillfällena, det vill säga brännvidd, filmformat och fotograferingsavstånd. Utöver detta krävs att fotograferingen kan göras från en relativt stabil, stillaliggande båt om den görs från sjön. Stativ förbättrar resultatet men är inte ett krav. Fotograferingen utförs på olika sätt beroende på om en längre strandsträcka ska dokumenteras eller om det endast gäller en enstaka punkt som ryms på en bild. I det första fallet, som är det svåraste, blir resultatet det bästa om plattformen, det vill säga båten, kan förflyttas långsamt på en given rak kurs parallellt med stranden. Fotografen exponerar under förflyttningen enligt principen för stereofotografering sina bilder med en överlappning om minst 60 procent. I detta fall rekommenderas en tätare exponering för att vara på den säkra sidan. En enklare variant i detta fall är att fotografen avbildar stranden med motsvarande övertäckning men från en och samma position. Metoden

rekommenderas inte eftersom snedperspektivet i panoramats ytterområden ger alltför stora skalförskjutningar, men är givetvis bättre än ingen dokumentation alls.

I de fall ett punktobjekt ska fotograferas utförs stereofotograferingen på så vis att exakt samma bildutsnitt fotograferas från samma fotopunkt men med 20-40 cm sidoförflyttning av kamerans position mellan de båda tagningarna. Förflyttningens storlek är inte kritisk, men en alltför stor förflyttning kommer att ge ett onaturligt överdrivet stereoperspektiv vid den slutliga betraktningen.

Stereobilder som tagits på dessa sätt kommer inte att vara lämpade för direkta mätningar och kartläggningar, men de blir betydligt mer informativa än enskilda enkelbilder över samma område. Genom den tredimensionella effekten kan betraktaren avgöra detaljer som annars skulle vara svåra att se, till exempel trädlutningar, urgröpningar, friläggningar av stenar och block mm. Betraktningen kan göras med särskilda stereoinstrument som medger förstoringar och förenklar inorienteringen av bilderna, men de flesta personer kan efter en smula träning lära sig att med blotta ögat kombinera de två bilderna till en tredimensionell upplevelse. Knepet är att betraktarens vänstra öga tar in endast vänsterbilden, och det högra ögat endast högerbilden. I hjärnan sammansmälter de båda bilderna till en bild med djup och höjder.

I arbetet med metodutvecklingen för övervakning av erosionsstränder har denna enklare dokumentationsteknik prövats på flera platser. Det har visat sig att återupprepbarheten är god, bilderna ger viktig information som gör det möjligt att följa strandens utveckling på en översiktlig nivå. Som komplement till den mera detaljerade och noggranna metoden med exakta profiler är bilderna synnerligen värdefulla. Exempel på hur bilderna kan användas visas i följande avsnitt om bildbearbetningen.



Figur14: Exempel ur det fotogrammetriska bildmaterialet från en av profilerna (här i svartvitt). Det går mycket lätt att med hjälp av stereoskop och tredimensionell betraktning avgöra exakta mått och lägen även på strandens minsta detaljer. Avvägningsstångens siffror avser decimeter, graderingen är en centimeterskala. Här ses också hur erosionen skapat en skarp kant mellan det tillbakaryckande grästäcket till höger och den framryckande grus- och stenytan till vänster. Foto: Lars Granath.

Bearbetning av bildmaterialet

Stereofotograferingen av de exakt lokaliserade profilerna resulterar således i en serie bilder som kan användas för fotogrammetrisk bearbetning till en mått- och skalbestämd karta där vegetation och material kan bestämmas till sin sammansättning och ytutbredning. Genom måttreferensen i form av avvägningsstången i kombination med de kontrollerade fotograferingsförhållandena blir det möjligt att med god noggrannhet analysera bilderna manuellt i ett stereoinstrument eller digitalt med hjälp av ett lämpligt dataprogram. I detta fall har den senare metoden valts med tanke på den framtida teknikutvecklingen som kommer att bygga mer på digital bearbetning än på manuell. För bildbearbetningen utnyttjades i detta fall ett program för kartografi – OCAD – som förenar möjligheten att behandla och bearbeta de fotografiska bilderna med möjligheten att överföra bildens information till kartografiska och mätbara symboler. Ytor, längder och andra mängdförhållanden blir efter en sådan överföring till programmets kartdatabas lätta att mäta och jämföra med tidigare eller senare data. I marknaden finns ett flertal andra program med liknande egenskaper.

Hur dataöverföringen går till har mer med den tekniska programhanteringen att göra än med metodikaspekten och beskrivs därför inte i detalj i detta sammanhang. Som en översiktlig information kan nämnas att bilderna görs digitala antingen genom scanning i efterhand eller direkt vid framkallning,

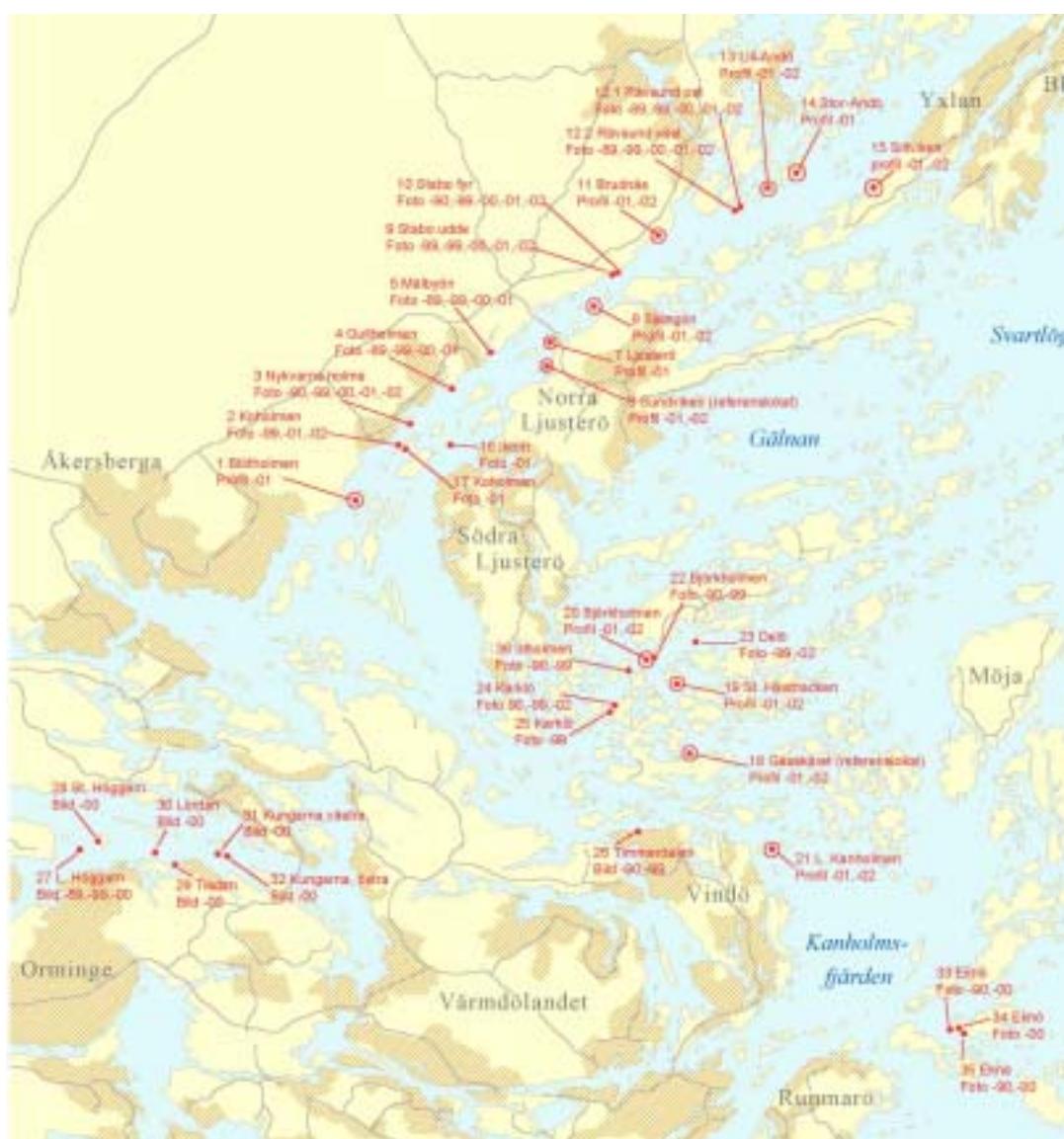
läses in till programmet där de genomgår en transformation för att få eventuella skalfel eller skevheter omräknade eller justerade. Efter denna justering kan bilderna passas in på programmets koordinatnät i önskad skala och på rätt plats i profilen. Varje punkt i bilden får en koordinat i ett tvådimensionellt ortogonalt system precis som i en normal karta. Operatören/ritaren kan om så önskas åstadkomma en tredimensionell bild direkt på dataskärmen, men det enklaste - som oftast är det bästa - är att utnyttja originalbilden manuellt i ett stereoskop vid sidan av skärmen. De fotografiska originalbilderna har alltid en högre kvalitet än den digitala versionen, och det finns då och då skäl att vid den digitala bearbetningen av bilderna på skärmen kontrollera fakta mot originalen i stereoinstrumentet.

När de digitala bilderna monterats på rätt plats i programmets koordinatnät vidtar arbetet med överföringen av önskade data från fotounderlaget till en helt digital "kartbild". Ritaren kan i detta skede välja vilken information som ska hämtas från bilden till kartan. Överföringen görs genom en "avritning" av bildinnehållet med programmets olika ritverktyg. Vill ritaren kartlägga den yta i profilen som upptas av till exempel grus, ska han eller hon först och främst avgöra hur gränsen mellan grus och andra fraktioner går, och därefter följa gränsen med lämpligt ritverktyg på skärmen. I detta moment är den högkvalitativa originalbilden i det optiska stereoskopet till stor hjälp för att avgöra kornstorlekarna. Med en god kamera- film- och framkallningskvalitet ligger markupplösningen i originalbilderna på mm-nivå. Konkreta mätningar i bilderna kan göras med stereomikrometer som kan mäta skillnader på 1/100-dels mm i bilden. Bildens skala är känd, och det blir därför inga svårigheter att beräkna storleken ens på enskilda sandkorn i bilden. Ritaren lär sig emellertid mycket snabbt att avgöra storleken på material i bilderna och behöver sällan tillgripa så pass avancerade metoder, men det är intressant att konstatera de inneboende möjligheterna i tekniken.

Överföringen av bildens grusyta i exemplet ovan fullbordas genom att ritaren ringar in den aktuella ytan på skärmen. Det kan göras mycket noggrant med hjälp av ett ritverktyg som medger invecklade kurvlinjer, så kallade bezierkurvor. Den slutna ytan ges sedan attributet "grus", och ritaren fortsätter med nästa objekt. Vid presentationen av karteringen kan sedan de olika ytorna ges färger eller mönster enligt presentatörens önskemål, men viktigare i detta sammanhang är att de också kan mätas och ytberäknas var för sig eller i grupp. Det är kartörens beslut om detaljeringsgraden i karteringen, metoden medger en kartering på en mycket detaljerad nivå som kanske i dagsläget är överdriven, men här finns alltså möjligheter att gå tillbaka för en detaljkontroll vid senare tillfälle eftersom originalmaterialet både är bevarat och detaljrikt.

Testprofiler och kontrollstationer

Enligt ovanstående metod har således ett antal profiler etablerats på olika håll längs de viktigare farlederna i skärgården. Se Figur 15. Det bör betonas att profilerna i första hand etablerats för metodändamål, och de är varken tillräckliga till antalet eller optimalt placerade för att utgöra en stabil plattform för framtida kontroller. Det är såväl författarens som anslagsgivarens förhoppning att de ska kunna utgöra en stomme i ett blivande nät av profiler som kan etableras under kontroll av lämplig myndighet eller organisation som kan svara för en kontinuitet i övervakningen. Det förtjänar åter att påpekas att syftet med föreliggande rapport är att anvisa en lämplig metod för erosionsövervakning, inte att utföra den.



Figur 15: Kartan visar de platser där kontrollstationer förkommer, antingen i form av de i texten beskrivna noggrant dokumenterade profilerna, eller i form av foton. Profillokaler anges i figuren med ring. © Hydrographica 2003

Detta hindrar dock inte att vissa av testprofilerna kan visa sig vara värdefulla även i det korta perspektiv som metodstudien spänner över. Med tanke på att en metod alltid bör prövas praktiskt, beslöts att omfördela anslagsmedel och förlänga projektet ytterligare ett år till att omfatta även år 2002. Under detta år kunde en del av profilerna återbesökas och återdokumenteras. Målsättningen med detta tillägg till den ursprungliga projektplanen var i första hand att testa metodens repeterbarhet, men också med en liten förhoppning att åtminstone vissa av profilerna kunde uppvisa registrerbara förändringar.

I kartan Figur 15 redovisas översiktligt läget av profilerna. Varje profil är också dokumenterad med en mer noggrann koordinatangivelse i rikets nät av x- och y-koordinater. Under år 2001 etablerades 12 sådana profiler enligt den ovan beskrivna metoden. Dessutom upprättades ett antal kontrollstationer enligt den förenklade metoden med översiktlig fotodokumentation i form av stereofotografering från båt. Ett flertal av dessa finns också dokumenterade från åren 1989-91. Antalet sådana kontrollstationer är 25, och även dessa platser är redovisade översiktligt på kartan och beskrivna med koordinatangivelser. Flera av profilerna liksom kontrollstationerna återbesöktes alltså under år 2002, för att testa repeterbarheten. Därvid konstaterades att inga som helst problem förelåg vad gäller profilerna. Det gick mycket lätt att återfinna de små dubbarna, och utläggningen av referenslinjen/avvägningsstången på samma sätt som tidigare vållade inga som helst problem. Det kunde bekräftas efter framkallningen av bilderna, där den geometriska överensstämmelsen mellan bilderna från år 2001 respektive år 2002 var i det närmaste total. Totalt uppgår nu det samlade bildmaterialet inom projektet till närmare 600 bilder över både profiler och kontrollstationer.

Som väntat föreligger en del mindre skillnader mellan de olika årgångarnas bilder vad gäller kontrollstationerna som stereofotograferats från båt. Det är naturligtvis mycket svårt att placera en båt på exakt samma ställe som tidigare, vilket medför vissa skal- och perspektivskillnader mellan bilderna. Eftersom bilderna ändå inte är avsedda att användas för direkta mätningar, kan de relativt små olikheterna dock betraktas som marginella. De påverkar inte bildernas användbarhet för ändamålet att jämföra strandens utveckling på en översiktlig nivå. Metoden kan således rekommenderas utan reservation.

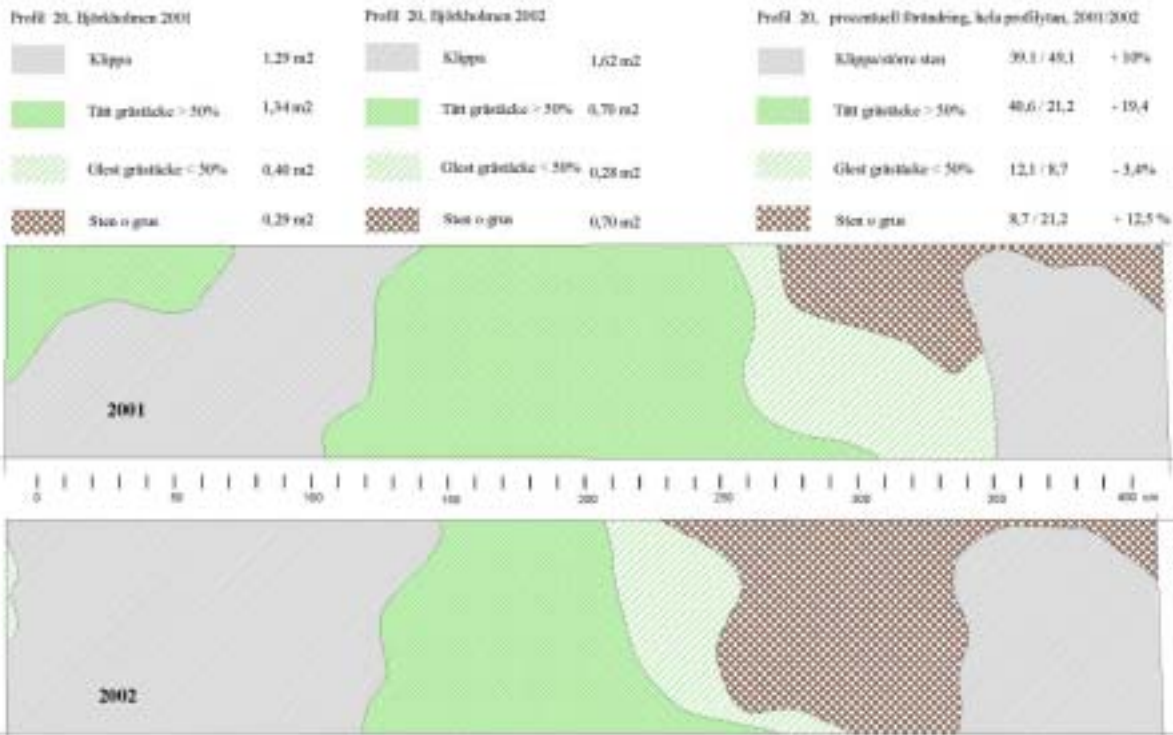
Resultat av repeterad kontroll

För 9 st profiler och för 16 kontrollstationer föreligger nu ett repeterat material. Det är av stort intresse att jämföra de båda årgångarna för att om möjligt konstatera skillnader. Som helhet är erosionen relativt långsam och borde inte ge några påtagliga utslag över ett år. I vissa fall kan förloppet vara dramatiskt när till exempel ett träd underminerats och faller, vilket skapar en momentan och många gånger extrem förändring. Inga av de aktuella profilerna innehöll förutsättningar för någon sådan dramatik, men några av dem var placerade i närheten av mellanskärgårdens högtrafikerade leder där åtminstone en mätbar förändring borde vara sannolik. Resultatet blev

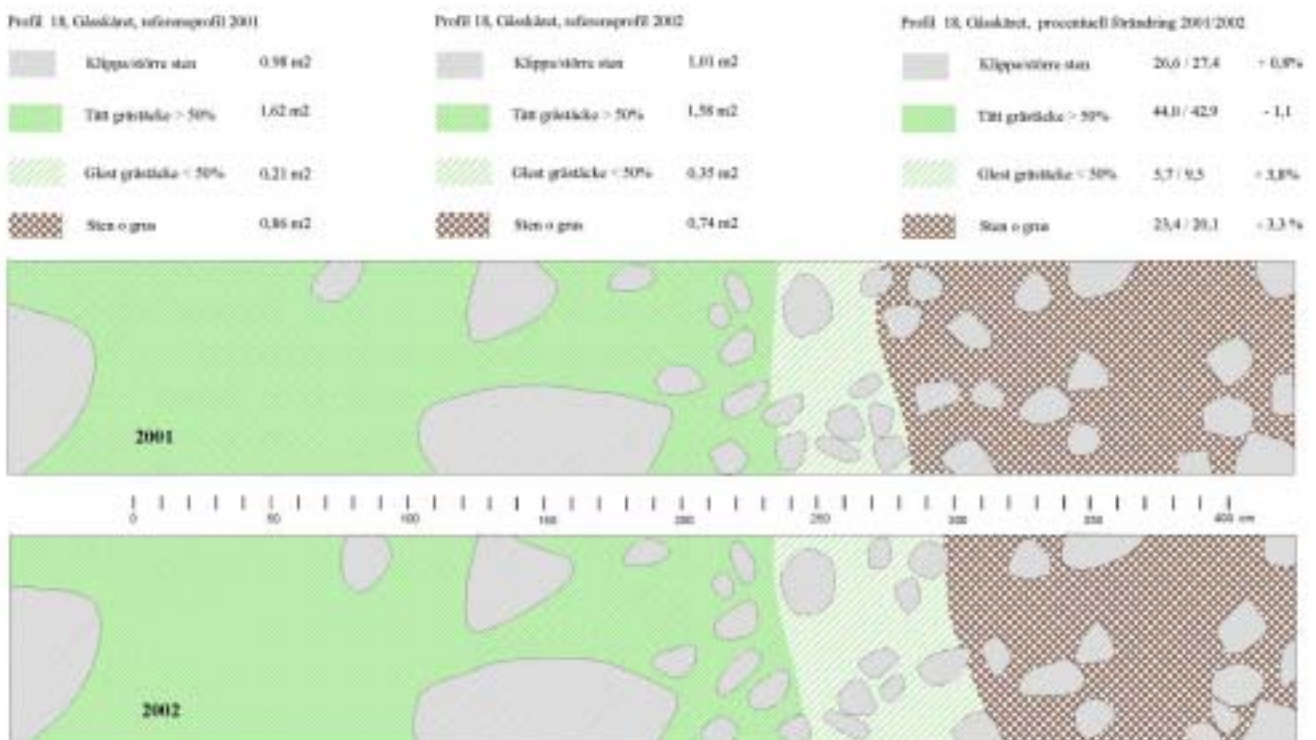
minst sagt överraskande och i högsta grad alarmerande. Redan vid en översiktlig visuell analys av det nya bildmaterialet kunde tydliga förändringar konstateras. Tre profiler valdes ut för en fördjupad fotogrammetrisk och kartografisk analys enligt den föreslagna metoden, dels för att testa metoden, dels för att om möjligt få kvantitativa data på förändringarna.

De profiler som valdes ut för detta ändamål var profil nr 20 över Björkholmen, som ligger i ett starkt trafikerat område och visar en extremt omfattande påverkan, profil 21 Lilla Kanholmen som har ett mindre utsatt läge, och referensprofilen nr 18, Gåsskäret, där eventuell påverkan endast kommer från vindvågor upp till max 0,3 meters höjd. De kartor som är resultatet av den fotogrammetriska bearbetningen, och som ligger till grund för nedanstående kommentarer redovisas i Figur 16 a-c på sid 33 och 34.

Trots att inga generella slutsatser kan dras av en analys av endast tre profiler med olika läge blir det ändå uppenbart och omöjligt att förneka den oerhört starka påverkan som båttrafiken lokalt kan ha. Profil 20 på Björkholmen är ur miljösynpunkt närmast en katastrof. Av profilens 3,3 kvadratmeter registrerad yta bestod 2001 drygt hälften av ett grästäcke. År 2002, på bara ett år, hade detta grästäcke reducerats till närmare hälften. Av 1,74 m² återstod 0,98. I stället framträdde kalt berg eller sten och grus, en betydligt sterilare miljö. Med hänsyn till strandens funktion som en klassisk lokal för biologisk mångfald, måste man ställa sig frågan om inte denna extremt snabba stranderosion utgör ett reellt hot mot vissa stränders biologiska miljö.

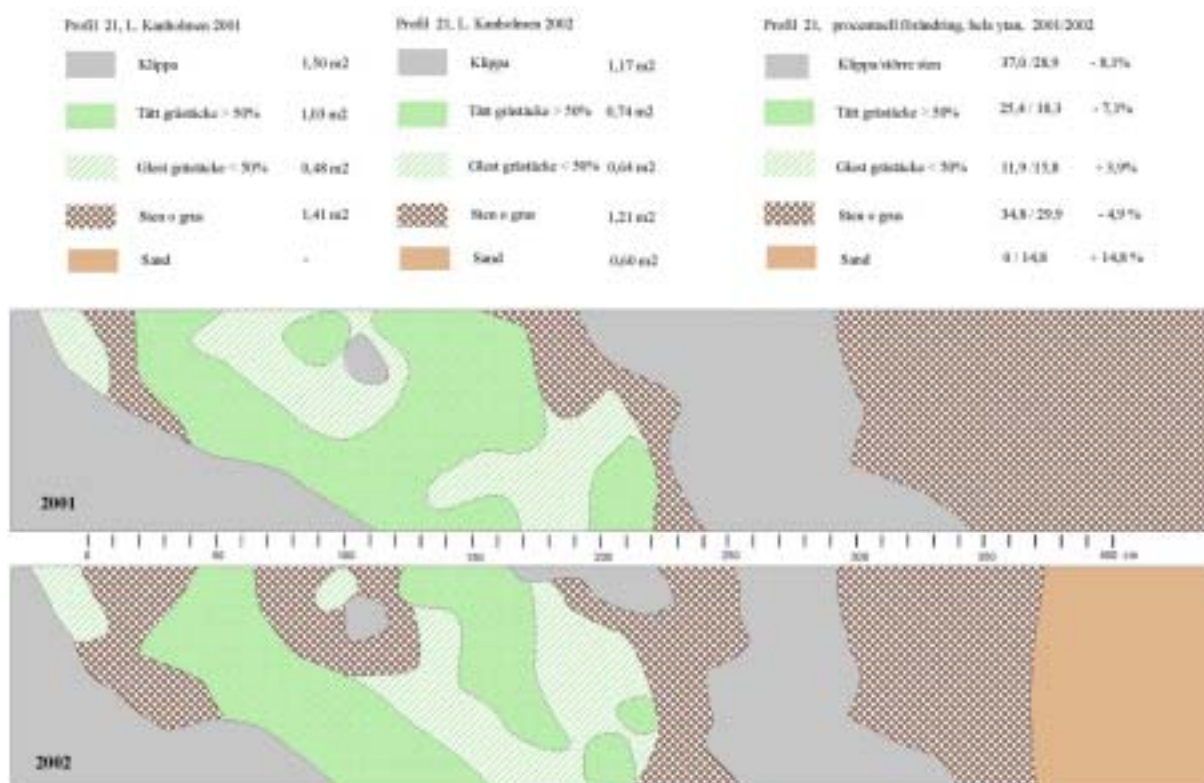


Figur 16a: Upprepad kontroll av profil nr 20 Björkholmen, där mycket stora förändringar har skett bara under loppet av ett år. Den grästäckta markytan har minskat till hälften, och klippa eller sten//grus har tagit över. Det råder ingen tvekan om att dessa förändringar orsakas av båttrafiken.



Figur 16b: Upprepad kontroll av profil nr 18 Gåsskäret, som är en referenslokal utanför farlederna. På denna plats är miljön intakt in till minsta detalj. Även små stenar ligger kvar på i stort sett samma plats. Det glesa grästället har avancerat en aning ut mot vattnet, men sådana förändringar är marginella och får i första hand tillskrivas issituationer och vattenstånd, som kan ha haft en gynnsam inverkan just detta år.

Analysen av referenslokalen 18, Gåsskäret, bekräftar misstanken. Denna lokal ligger i ett område där den naturliga bakgrundsenergin i form av vindvågor motsvarar föregående profil, men profil 18 ligger på stort avstånd från trafikleder och har inte heller någon nämnvärd fritidsbåttrafik i sin närhet. Det visar sig också vid jämförelsen av profilen från 2001 till 2002 att ingenting har förändrats. Vid den fotogrammetriska analysen av bilderna kunde konstateras att i stort sett varenda sten låg på sin tidigare plats, till och med så små stenar som 3-5 cm kunde lätt identifieras individuellt och mätas in utan att någon förskjutning kunde registreras. Vattenbrynets gräskant visar en viss parallellförskjutning utåt, men en sådan marginell förskjutning kan tillskrivas effekterna av gynnsamma isförhållanden och vattenstånd under våren när vegetationens växtperiod inleds. De ytmässiga skillnaderna mellan 2001 års mätning och 2002 års är marginella och ligger inom felmarginalerna. Profilen kan betraktas som helt opåverkad.



Figur 16c: Upprepad kontroll av profil 21, Lilla Kanholmen. Profilen ligger exponerad mot fartygssvall, och en tydlig vegetationsförlust har konstaterats under bara ett år.

Det tredje lokalen, profil 21 Lilla Kanholmen, ligger vid ett sund med både passagerar- och fritidsbåttrafik. Farterna är ofta höga, fri fart gäller, och den aktuella stranden har under relativt lång tid varit utsatt för vågpåverkan. Den naturliga bakgrundsenergin är något högre vid denna profil än vid de båda tidigare profilerna, men båttrafiken genererar under alla omständigheter

betydligt högre energier. Det finns anledning att anta att stranden ännu inte nått stabilitet, och en påverkan kan förväntas, även om den bör vara mindre än vid till exempel profil 20.

Vid analysen av profil 21 konstaterades även här en påtaglig vegetationsförlust, den täta grässvålen har börjat tunnna ut och den totala gräsbevuxna ytan har minskat. I profilens nedre delar märks mycket tydligt att man fått en kraftigt ökad dynamik i jämförelse med en naturlig strand. De yttre delarna av profilen har fått en sandfraktion som inte fanns tidigare, och en kapp av sten och grus har täckt en del av det kala berget från 2001. Dessa materialrörelser är med största sannolikhet inte permanenta, utan är resultatet av den varierande energi som blir resultatet av en varierande trafik. I en profil som denna kan man på längre sikt förvänta sig antingen en ackumulation av sand och grus över en växande del av ytan, eller en borttransport av material så att mer och mer av berget blottläggs. Det är knappast möjligt att spekulera i utvecklingen av denna profil enbart på basis av ett års förändring. Det är dock högst sannolikt att profilens vegetation inom en nära framtid kommer att vara helt utplånad.

Viktiga resultat

I de föregående tre delarna har framlagts data som huvudsakligen är tänkta att bilda underlag för framtida jämförelser. Det hindrar inte att det går utmärkt att redan nu dra ett antal viktiga slutsatser ur dessa data. De viktigaste resultaten ur undersökningen som helhet är i korthet följande:

- Erosionsskadorna i Furusundsleden och framför allt i Sandhamnsleden har avklingat under det senaste decenniet. I Sandhamnsleden beror det sannolikt på en minskning av den tyngre trafiken, i Furusundsleden är minskningen av erosionsskadorna mindre men klart belagda, och kan sannolikt tillskrivas effekten av den fartreglering som infördes 1994.
- Längs farleden från Stockholms hamn ut till Trälhavet har erosionsskadorna snarare ökat. Eftersom den tyngre trafiken i Furusunds- och Sandhamnslederna inte vållat en ökande erosion i dessa leder kan de knappast åstadkomma en ökning i ledavsnittet Stockholm – Trälhavet, särskilt inte då den tyngre trafiken har än mer restriktiva fartgränser i denna led. Ökningen måste tillskrivas annan trafik, det vill säga skärgårdstrafiken och fritidsbåtarna. Skärgårdstrafiken har under den aktuella tidsperioden ökat, och ett antal nya snabbgående passagerarbåtar har introducerats i trafiken, främst mellan Stockholm och mellanskärgårdens större öar.
- Undersökningen av svallvågornas energi från såväl passagerarbåtar som fritidsbåtar visar tydligt att även om ett begränsat antal fritidsbåtar kan generera svall med nästan samma energiinnehåll som en mindre passagerarbåt, skapar de större passagerarbåtarna svall med oerhört höga energier, upp till 20 gånger mer än en mindre fritidsbåt, och upp till 8 gånger mer än en finlandsfärja som håller fartgränsen 12 knop, vilket gäller i de flesta delar av lederna. Skärgårdstrafikens fartyg rör sig oftast i fartintervallet 18-25 knop, vilket delvis förklarar den stora skillnaden.
- Merparten av alla fritidsbåtar ger svallvågsenergier som i de flesta delar av skärgården understiger den naturligt genererade vindvågsenergin. Ett begränsat antal större fritidsbåtar genererar svall i paritet med passagerarfartygen, men det råder ingen tvekan om att de erosionsskador som i ökande mängd uppträder framför allt i mellanskärgården måste tillskrivas passagerartrafiken. Skärgårdstrafiken utför å andra sidan också ett för skärgårdens existens livsviktigt transportarbete, och skadeverkningarna måste vägas mot nyttan. Att miljöeffekterna är mycket negativa kan knappast någon förneka.

- I projektet har också konstruerats och provats en teknik för att så objektivt som möjligt kontinuerligt följa och övervaka utvecklingen av stranderosionen i känsliga områden. De praktiska proven har visat metodens användbarhet. Metoden bygger på markfotogrammetri och är exakt, enkel och mycket billig. Resultaten är entydiga. En given strandprofil kan övervakas på en detaljnivå där enskilda grässtrån och gruskorn kan identifieras och återkontrolleras.
- Resultaten från ett antal sådana övervakningsprofiler är tydliga. En referensprofil med enbart naturlig påverkan visade inga som helst förändringar över en period på ett år, medan en profil i ett farledsnära område visade sig ha förlorat nära hälften av sitt tidigare marktäckte, som ersatts av grus och klippstrand.

Slutsatser och tankar om framtiden

Det nu avslutade forskningsprojektet som i sin helhet finansierats av forskningsstiftelsen Tornspiran, har haft syftet dels att återupprepa den erosions-skadeinventering som gjordes 1990 för att jämföra och om möjligt identifiera en utveckling. Dels ingick i målsättningen en studie av svallvågseffekter från olika slags båtar, och slutligen, vilket kan anses som projektets huvudsyfte, skulle projektet om möjligt anvisa en fungerande övervakningsmetod. Metoden ska visa de långsiktiga effekterna antingen av en fortsatt ökning av fartygens svallvågsenergier eller de förbättringar som skulle kunna åstadkommas av tekniska eller politiska åtgärder för att minska skadorna på stränder och anläggningar.

Det är författarens uppfattning att en sådan metod har skapats, och att den fungerar bra. Genom att inom anslagsramen förlänga projektet med ett år kunde metoden prövas i praktiken så som den är tänkt att fungera, och resultatet av metodens funktion är mycket positivt, även om de konkreta resultaten av insamlade data uppvisar nedslående fakta om erosionens hastighet.

I det aktuella projektet ingår inte en fortsatt kontinuerlig användning av de utlagda profilerna för insamling av data om utvecklingen. Finansiering av en dylik rutinövervakning som inte längre har forsknings- eller metodutvecklingskaraktär har inte ansetts ligga inom forskningsstiftelsens ansvar. Det är därför såväl stiftelsen Tornspirans som författarens stora förhoppning att den anvisade och igångsatta metoden ska kunna övertas av lämplig miljöövervakande myndighet, lämpligen länsstyrelsens miljöövervakningsenhet, och komma till framtida nytta i miljöarbetet.

Så länge önskemålen om ”större-snabbare-komfortablare” ständigt underblåser trafikföretagens förbättringar av fartygsflottan kommer vi att se ett ökat energiinnehåll i svallvågorna. Någon allvarligt menad diskussion om energisnåla och resursbesparande skrovformer eller sänkta farter har inte förekommit i den allmänna debatten. Det finns därför ingen anledning att invagga sig i den falska tron att detta är ett problem som går över, medan man tittar bort från stranden ett tag. Så skulle kunna vara fallet under förutsättning att energinivåerna ”frystes” på nuvarande nivåer. Vi skulle då under en övergångsperiod på kanske något tiotal år få se en sakta avklingande erosion, och en förvandling av de flesta gräsbevuxna stränder till en klipp- eller stenstrand, men sedan skulle systemet nå balans och förändringarna upphöra. Nu finns inget som talar för att energinivåerna kommer att frysas. Nya och betydligt större fartyg sätts i trafik under 2004, och storleken på de största fritidsbåtarna närmar sig passagerarbåtarnas. Därför är den mest sannolika utvecklingen att erosionen kommer att fortsätta med samma eller ökad takt, och på särskilt utsatta låglänta moränstränder finns ingen gräns

för hur långt strandlinjen kan rycka tillbaka. Av mänskliga byggnadsverk är det i dagsläget brygganläggningar och båthus som är värst utsatta, men det finns i skärgården många exempel på strandnära bostadsbyggnader som inom överskådlig tid kommer att behöva rivras eller flyttas.

Att åtgärda problemen är inte enkelt. Lösningarna ligger såväl på det tekniska som på det politiska planet. På det tekniska planet är ekvationen inte alltför komplicerad. Det handlar om att minska energierna mot stranden. Det kan bara göras på två sätt: behåll de energislukande skroven men sänk hastigheten, alternativt behåll farten, men konstruera energisnålare skrov. Politiskt sett är det betydligt svårare. Fartgränser hämmar det viktiga transportarbete som är förutsättningen för en levande skärgård, krav på utbyte av fartygsflottan skapar ohållbara ekonomiska situationer för trafikföretagen, däribland det egna skattefinansierade landstinget. Trots svårigheterna är ändå behoven av någon form av åtgärder påtagliga redan nu. Erosions-skadorna är både ett naturmiljöproblem och ett boendemiljöproblem. Den förändring av fartgränserna i Furusundsleden som gjordes 1994 har uppenbarligen haft effekt, och det utan att trafiksituationen för färjorna påverkats i någon högre grad.

Hur kan övervakningssystemet användas för rutinmässigt bruk?

I en nära framtid riskerar således erosionsproblemen i mellanskärgården att bli mycket allvarliga. Men den optimistiska förutsättningen för det aktuella övervakningssystemet är givetvis att det ska kunna bli det verktyg som bekräftar eller i värsta fall dementerar att vidtagna åtgärder har kunnat åstadkomma en förbättring av situationen.

Tekniken är enkel, och är i detalj beskriven i rapportens del tre. Tekniken är inte heller förknippad med stora kostnader eller tidsinsatser. Skulle metoden sättas i praktiskt bruk kan omedelbart det 30-tal försöksprofiler och kontrollstationer som redan etablerats utgöra en stabil bas. Utöver detta skulle ytterligare ett 20-tal profiler behöva etableras i mellanskärgården. Tidsåtgången för att etablera en enstaka profil är sällan mer än några timmar. Nyetablering av ett 20-tal profiler skulle således kunna göras på en dryg arbetsvecka. När profilen väl är etablerad kan återkontrollen klaras inom en timme per profil. Bearbetningen av insamlade data tar något längre tid, men inte mer än tre timmar per profil för en rutinerad bildtolkare inklusive resultatmanställning. Antalet profiler antas vara cirka 40.

Intervallen mellan återkontrollerna har i denna undersökning varit ett år, och på många lokaler har påtagliga förändringar kunnat registreras bara under denna korta tid. Ett ekonomiskt mer optimalt intervall är sannolikt två år, vilket i de flesta profiler bör ge tydliga utslag från gång till gång. Det handlar således inte om dyrbar och personalkrävande teknik, hela processen kan lätt hanteras av en enda person, och kostnaden för att upprätthålla denna

effektiva miljöövervakning med tvåårsintervall bör alltså kunna hållas inom en halv "manmånad" per år vilket tillsammans med resor och material innebär cirka 25-30 000 kronor per år inklusive sociala kostnader i 2003 års penningvärde. Med hänsyn till metodens effektivitet är detta en mycket låg kostnad för att säkerställa såväl ett objektiva beslutsunderlag som ett lika objektiva kvitto på åtgärdernas effekt.

Eftersom det kan anses bevisat att mellanskärgårdens erosionssskador i första hand orsakas av skärgårdstrafiken bör det kunna ställas ett rimligt krav på att trafikens operatörer också bekostar en miljöövervakning av detta slag.

Litteratur

En mer komplett litteraturlista ges i de två första av nedanstående referensverk.

Granath, L. 1989: Kartläggning av erosionskänsliga stränder längs Röd-kobbsleden. Forskningsrapport nr 78, Naturgeografiska inst, Stockholms universitet

Granath, L. 1996: Farledsstränders erosionskänslighet. Rapport nr 1992:10 Länsstyrelsen i Stockholms län 1992

Granath, L. 2001: Stranden som försvann? Uppsats i Svensk Bebyggelsehistorisk Tidskrift nr 41: Sjöfart och bebyggelse.

Hedén, M & Sannel, B 1992: Vass som indikator på stranderosion längs farleder i Stockholms skärgård. Rapport nr 1992:9 Länsstyrelsen i Stockholms län 1992.

Appendix

(Kartbilaga bifogas ej i denna version)

Databasuppbyggnad

Erosionsaktiviteten längs stränder inom 500 meter från farled har inventerats vid två olika tillfällen, år 1990 respektive år 2000. Resultatet av de båda inventeringarna som utförts genom fältkontroll och notering på kartunderlag har överförts till en gemensam databas som underlättar framtida jämförelser.

Databasen är upprättad i kartprogrammet OCAD, men data kan exporteras i ett antal olika GIS-format för vidare bearbetning. Objekten är kopplade till x/y-koordinat i geodetiskt datum RT90, och är uppdelade på separata skikt enligt nedanstående referenstabell.

För avsnittet Stockholm – Trälhavet – Furusund/Sollenkroka föreligger data från både år 1990 och år 2000. För farledsavsnitten Furusund – Kapellskär och Sollenkroka – Sandhamn föreligger data endast från ett inventeringstillfälle. Dessa data ligger därför på separata skikt.

Skikt nr	Objekt
10	Hög erosionsaktivitet/svår skada år 1990
11	Hög erosionsaktivitet/svår skada år 2000
12	Låg erosionsaktivitet/lätt skada år 1990
13	Låg erosionsaktivitet/lätt skada år 2000
14	Erosionsaktivitet i vassbälten år 1990
15	Erosionsaktivitet i vassbälten år 2000
18	Strandlinje inom 500 m från farled
19	Zonlinje
20	Låg erosionsaktivitet i farledsavsnittet Sollenkroka – Sandhamn år 1990
21	Hög erosionsaktivitet i farledsavsnittet Sollenkroka – Sandhamn år 1990
22	Erosionsaktivitet i vassbälten i farledsavsnittet Sollenkroka – Sandhamn år 1990
23	Hög erosionsaktivitet i farledsavsnittet Furusund - Kapellskär år 2000
24	Låg erosionsaktivitet i farledsavsnittet Furusund - Kapellskär år 2000

Varje aktiv erosionslokal/skadeplats är ett separat vektorobjekt i databasen. Vektorns längd representerar skadans omfattning. Av presentationsskäl är vektorns skala 10 gånger större än kartdatabasens. Kartdatabasens nominella

skala är 1:25 000, och en vektor som är 10 mm i denna bas (250 m i verkligheten) representerar således en skada som är 25 m lång. Vektorns startpunkt i strandlinjen anger x/y-koordinat för skadeplatsen med en felmarginal på upp till cirka 15 m. Vektor som är riktad inåt mot land anger skada år 2000 och vektor ut mot vattnet anger skada år 1990.

Kartpresentation

Kartdatabasens nuvarande uppbyggnad medger presentation av data i konventionell kartform. Bifogade 16 blad (endast i den fullständiga rapportversionen) visar resultatet av inventeringarna enligt ovan beskrivna utformning. Svåra skador/hög aktivitet visas med röd vektor, lätt skada/låg aktivitet med blå, och aktivitet i vassbälten med grön vektor. Kartskalan är den nominella, 1:25 000.

Länsstyrelsens rapportserie

Tidigare utkomna rapporter under 2004

- 01 Projekt eller fasta strukturer, *avdelningen för regional utveckling*
- 02 Barn i storstad - socialtjänsten och barn som anmäls för brott, *socialavdelningen i samarbete med länsstyrelserna i Skåne och Västra Götaland*
- 03 Billigare livsmedel i Stockholms län, *avdelningen för regional utveckling*
- 04 Svenska för akademiker - SFA vård : slututvärdering, *avdelningen för regional utveckling*
- 05 Strandexploatering i Stockholms län - Mälaren och Östersjön, *miljö- och planeringsavdelningen*
- 06 Kommunernas insatser för personer med psykiska funktionshinder - Östermalms stadsdel: tillsyn på tre nivåer - planering, verksamhet och individ, *socialavdelningen*
- 07 Kommunernas insatser för personer med psykiska funktionshinder - Vantörs stadsdel: tillsyn på tre nivåer - planering, verksamhet och individ, *socialavdelningen*
- 08 Kommunernas insatser för personer med psykiska funktionshinder - Norrtälje kommun: tillsyn på tre nivåer - planering, verksamhet och individ, *socialavdelningen*
- 09 Kommunernas insatser för personer med psykiska funktionshinder - Salems kommun: tillsyn på tre nivåer - planering, verksamhet och individ, *socialavdelningen*
- 10 Jämställd integration eller integrerad jämställdhet?, *socialavdelningen*
- 11 Föreordnade områden - inventering av oljedepåer i Stockholms län, *miljö- och planeringsavdelningen*
- 12 Hur mår sjöarna & vattendragen? Undersökningar av vattenkemi i sjöar och vattendrag i Stockholms län, *miljö- och planeringsavdelningen*
- 13 Brottö - ett representativt skärgårdsjordbruk i Stockholms län, *miljö- och planeringsavdelningen*
- 14 Länsplan för regional transportinfrastruktur i Stockholms län 2004-2015, *avdelningen för regional utveckling*
- 15 Hur mår vattendragen? Undersökningar av bottenfauna i vattendrag i Stockholms län år 2000, *miljö- och planeringsavdelningen*
- 16 Nationell rapport om skyddat boende m.m., *socialavdelningen*
- 17 Sammanställning av bostadsmarknadsenkäten 2004, *socialavdelningen*
- 18 Bostadssubventioner 2003, *socialavdelningen*
- 19 Fartygstrafik och stranderosion i Stockholms skärgård, *miljö- och planeringsavdelningen*. Finns endast som pdf.

Stranderosion är ett växande problem i Stockholms skärgård. Rapporten *Fartygstrafik och stranderosion i Stockholms skärgård* ger en bakgrund och förklaring till hur och varför vissa stränder är utsatta för erosion. I rapporten diskuteras även möjliga åtgärder mot den ökande stranderosionen.

Rapporten som är skriven av Lars Granath består av tre delar:

Del 1 består av en uppföljning av ett forskningsprojekt kring erosionskador på stränder. Projektet utfördes under 1989 – 1992 av Naturgeografiska institutionen vid Stockholms universitet i samarbete med Länsstyrelsen i Stockholms län.

Del 2 undersöker sambandet mellan den ökade stranderosionen och vågenergier från olika typer av båtar.

Del 3 presenterar metoder för övervakning och uppföljning av stranderosion.

*Ytterligare exemplar av denna rapport
kan beställas från Länsstyrelsen
Miljö- och planeringsavdelningen
Tel: 08- 785 52 94
Rapporten finns endast som pdf på vår hemsida
www.ab.lst.se
ISBN 91-7281-146-3*

*Adress
Länsstyrelsen i Stockholms Län
Hantverkargatan 29
Box 22 067
104 22 Stockholm, Sverige
Tel: 08- 785 40 00 (vxl)
www.ab.lst.se*