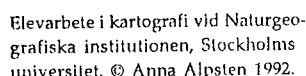




1992:10

inventering av strandtyper och skador i Stockholms skärgård



Forskningsrapport, Naturgeografiska institutionen Stockholms universitet 1992

FARLEDSSTRÄNDERS EROSIONSKÄNSLIGHET

**INVENTERING AV STRANDTYPER OCH SKADOR I
STOCKHOLMS SKÄRGÅRD**

Lars Granath

**Forskningsrapport,
Naturgeografiska institutionen
Stockholms universitet 1992**

INNEHÅLL	Sid
Förord	2
Sammanfattning	3
Farledssträndernas erosionskänslighet	5
Bakgrund	5
Undersökningens mål och medel	6
Undersökningsområde	6
Undersökningsmetodik	7
Tidigare undersökningar	9
Strandskador	9
Ekologi	14
Erosionsmekanismer	16
Kelvinvågor	16
Bernoullivågor	18
Vattendjup i farlederna	19
Materialtransport och omlagring	20
Strändernas materialegenskaper	26
Inventeringsmetodik	26
Klassificering och definitioner	26
Generalisering	30
Erosionsbenägenhet	31
Materialtransport i Furusundsleden	33
Inventeringsresultat	36
Vattenrörelser vid farledsstränder	40
Tryckvågor	43
Strändernas skador	47
Inventeringsmetodik	47
Klassificering och definitioner	47
Inventeringsresultat	50
Markägar-enkät	55
Skador i övriga farleder	57
Diskussion och slutsatser	61
Fartbegränsningar	63
Åtgärder och fortsatta undersökningar	66
Litteratur	68
Bilaga 1	71
Kartbilaga	72

INTRODUKTION

Länsstyrelsen i Stockholms län initierade under senare delen av 1980-talet en serie undersökningar och rapporter som berör farleder och miljö i Stockholms skärgårdsområde. Ett samarbete med Åland och Åboland, främst information och erfarenhetsutbyte, har varit konstruktivt och viktigt.

Bakgrunden till detta löpande projektarbete var både klagomål från strandägare vid allmän farled, en allmän debatt om fartyg och miljöskador samt ett behov av fakta och kunskap i aktuella frågor.

Det är främst frågeställningar kring fartygstrafikens mekaniska påverkan på stränderna som behandlats men även inventeringsmetodik och materialtransport har berörts. Länsstyrelsens miljövårdsenhet har samarbetat med Kungliga Tekniska Högskolan och Stockholms universitet i de projekt som utgjort underlag för examensarbeten, anpassade och vidgade för att belysa miljöproblematik inom farledszoner. Ekonomiskt stöd för en anspråkslös budget har främst erhållits från Landstingets Miljövårdsfond.

Rapportserien inleddes med "Fartygstrafikens miljöeffekter i skärgården" KTH Ex. arb. 303 och "Flygbildstolkning av erosionsskadad strand" Lst rapp. 1990:5 och ett flertal andra inom samma ämnesområde. Även samarbetet med Finland har resulterat i rapporter rörande farledsmiljöer och som publicerats i Finland. Täckande litteraturreferenser kan sökas i utkomna rapporter. Även "Rödkobbsleden, Miljökonsekvensutredning" Wermlin H., 1990. Eff John, Stockholm samt "Färjor och farleder", SOU 1992:56 innehåller viktig och övergripande information rörande faktaunderlag.

Föreliggande rapport 1992:10 utgör en samlad redovisning av fältarbeten och karteringar 1990-91 utförda vid Naturgeografiska institutionen under ledning av fil.lic. Lars Granath.

Anders Häggblom

projektansvarig

Länsstyrelsens miljövårdsenhet

Förord

Föreliggande rapport utgör slutrapport för det arbete som initierats av länsstyrelsens miljövårdsenhet och som avser kartläggning av strandmaterial och erosionsskador längs de större farlederna till Stockholm.

Arbetet har utförts som ett forskningsprojekt vid naturgeografiska institutionen, Stockholms universitet, och kommer under hösten 1992 också att publiceras i institutionens forskningsrapportserie. Inom projektet har hittills tre examensarbeten slutförts, vilka redovisats bl a i länsstyrelsens meddelandeserie.

Projektet har visat att fartygstrafiken utövar en icke försumbar påverkan på stränderna, även om den mekaniska erosionen i ett större perspektiv bör kunna accepteras. Det är emellertid viktigt att i planeringen för framtida fartygstrafik i känsliga områden beakta problemen. Skulle t ex nya leder öppnas, måste miljökonsekvenserna utredas i detalj, och en långsiktig och noggrann uppföljning av den faktiska påverkan göras.

SAMMANFATTNING

I föreliggande rapport redovisas resultatet av en undersökning av strandmaterial och skador längs farleder i Stockholms skärgård, i första hand de två farlederna Furusunds- och Sandhamnsleden, från Stockholms hamn ut till Nygrund innanför Söderarm resp. fyren Svängen vid Sandhamn. (Se kartbilaga.) Viss uppmärksamhet har också ägnats några farledsavsnitt för lättare trafik i mellanskärgården. *Undersökningen behandlar endast trafikens mekaniska påverkan på stränderna.* Eventuella ekologiska effekter diskuteras endast översiktligt.

Det är uppenbart att fartygstrafiken påverkar stränderna, på begränsade ställen t o m i hög omfattning. Skador uppträder i form av erosionsbrinkar, strandmaterialet sorteras till klapperstränder eller sandstränder, vassvegetation försvinner etc. Förutom dessa "naturskador" förekommer relativt omfattande skador på egendom såsom bryggor, kajer och sjöbodar. Sådana skador behandlas inte i undersökningen.

Resultatet av inventeringen av *strandmaterial* visar Furusundsledens större känslighet. I Sandhamnsleden kan endast 24% av stranden inom 500 m från farled anses vara känslig för påverkan, medan motsvarande siffra för Furusundsleden är hela 47%. Känsligt strandmaterial är speciellt överrepresenterat i ledavsnittet mellan Trälhavet och Stabo udde.

Av de känsliga strandtyperna är emellertid inte alla akut känsliga. Verkligt erosionsbenägna stränder såsom branta moränstränder förekommer i betydligt mindre omfattning, vilket innebär ca 8% av stränderna. Merparten av dessa högkänsliga stränder är dock fortfarande opåverkade.

Vad gäller *skador* på stränder visar undersökningen entydigt att skadorna på ledstränderna längdmässigt är av ringa omfattning. Om samtliga registrerade skador slås samman, blir den totala längden skadad strand drygt 9 km. Detta kan jämföras med den totala längden inventerad strand som är 272 km. Andelen skadad strand är således drygt 3%. I vissa delar av Furusundsleden är skadeprocenten emellertid be-

tydligt högre. Avsnittet Trälhavet — Stabo udde svarar för närmare hälften av alla registrerade skador, trots att samma avsnitt endast utgör en åttondel av den totala farledslängden.

Det är också påtagligt att erosionsskador inte är kopplade enbart till leder med tyngre trafik. Längs en mindre farled för fritidsbåtar och passagerartrafik noterades längs 15 km farled närmare 2 km strandskador. Detta motsvarar i stort sett den sammanlagda skadade delen av Sandhamnsleden, som emellertid är nästan tre gånger så lång.

Genom mätningar av strömhastigheter, svallvågor och avsänkningseffekter från finlandstrafik och lättare trafik konstateras att svallvågor från lättare trafik ofta har förutsättningar att ge högre energinivåer än finlandstrafikens, medan avsänkningseffekterna från den senare kan skapa avsevärda vattenrörelser. Avsänkningens storlek är i stort sett oförutsägbart, och varierar stort från ett och samma fartyg vid olika tillfällen. Förklaringen är sannolikt att relativt små variationer i fart, läge och acceleration ger stora olikheter i de trängsta ledavsnitten. De uppmätta vattenhastigheterna räcker dock i inget fall till för att förklara den observerade materialsorteringen. Sannolikt utövar tyngdkraften ett större inflytande på materialrörelserna än vad som hittills antagits.

En slutsats blir att de materiella skadorna på naturstränderna är begränsade och ur miljösynpunkt ofarliga. Från estetisk synpunkt är skadorna dock i många fall störande.

Undersökningen visar:

- att en övervägande del av stränderna längs farlederna har god motståndskraft mot erosion, särskilt i Sandhamnsleden.
- att problemen längs farledsstränderna sannolikt är större vad gäller egendomsskador än vad gäller naturskador.
- att problemen inte är ensidigt knutna till finlandstrafikens farleder.
- att en översyn med små förändringar av fartgränser och leder sannolikt skulle kunna åstadkomma en påtaglig minskning av erosionsproblemen.

FARLEDSSTRÄNDERNAS EROSIONSKÄNSLIGHET I STOCKHOLMS SKÄRGÅRD

Bakgrund

Under senare decennier har fartygstrafiken i Stockholms skärgård kommit att uppmärksammas i diskussioner om miljöeffekterna av sjöfarten på Stockholm. Ursprungligen väckte endast observationerna av erosionsskador på vissa utsatta ledpassager debatt. Under de senaste åren har också diskuterats fartygens luftemissioner och eventuella utsläpp i vatten.

Det är obestridligt att fartygstrafik påverkar stränderna genom att skapa vattenrörelser av olika slag. Under seklets första hälft var t ex trafiken med passagerarbåtar ut till skärgården betydligt mer omfattande än idag. Redan då observerades en inte oväsentlig påverkan på stränderna. I ett arbete om farlederna i Stockholms skärgård beskriver Collinder (1954) Furusundsleden bl a med följande kommentar om vattenkvalitet:

"Fjärden heter Trälhavet, och med den börjar vad man skulle kunna kalla mellanskärgården. Vattnet är något bättre än innanför Vaxholm, men ännu kan man inte se sjöbotten på större djup än ett par meter, ty Stockholms kloaker har stor räckvidd och skärgårdsbåtarnas vågsvall håller strandleran svävande i det grumliga vattnet."

Det finns i litteraturen många exempel på att svalleffekter diskuteras och debatterats av och till under hela seklet. Vad som hållit diskussionen vid liv är det förhållandet att fartygsstorlekarna ständigt ökat, och stränderna inte kunnat stabiliseras. Genom Stockholms skärgård går idag världens största passagerarfärjor. Både denna och annan trafik belastar strandpartier som tidigare varit ostörda.

Någon heltäckande inventering av belastningens omfattning har hittills inte gjorts; punktinsatser under 1970-talet av länsstyrelsens naturvårdsenhet visade på behovet av en sådan inventering, men medel saknades. I samband med utredningen om den s k Rödkobbsleden krävdes från miljövårdshåll en konsekvensbeskrivning av ledens effekter på såväl lokal som regional miljö. I denna utredning gjordes en kartläggning av strändernas erosionsbenägenhet. Analysen visade förutom de konkreta resultaten också att flygbildstekniken var en utmärkt metod att kartlägga de erosionsbenägna stränderna (Granath 1989). Miljövårdsenheten vid länsstyrelsen i Stockholms län ställde därför medel till förfogande för en utvidgad inventering av samtliga stränder längs de två stora lederna Sandhamnsleden och Furusundsleden.

Undersökningens mål och medel

I första hand var syftet att åstadkomma en tillräckligt detaljerad inventering av farledssträndernas materialbeskaffenhet för att ur den inventeringen kunna dra slutsatser om vilka strandavsnitt som är erosionskänsliga, hur stor andel de känsliga stränderna utgör, hur stor del av stränderna som är okänsliga, vilka partier som kan vara i fara vid ökad trafik, vilka stränder som utvecklat jämvikt etc. Målet var att upprätta kartor, där stranden klassificerats efter materialegenskaper. För att denna kartläggning dels skulle kunna upprättas på kort tid, dels ha en hög tillförlitlighet, blev en kombination av flygbildstolkning och heltäckande fältkontroll den optimala metoden. Samma metod utnyttjades vid inventeringen av Rödkobbsledens stränder.

Undersökningsområde

Till Stockholm leder två huvudfarleder genom skärgården, Furusundsleden och Sandhamnsleden (kartbilaga). Furusundsleden tillåter ett djupgående om ca 9 m, medan Sandhamnsleden är det djupaste in-

loppet till Stockholm med tillräckligt djup för 11 m djupgående fartyg. Furusundsleden utnyttjas i huvudsak för finlandstrafiken, medan Sandhamnsleden förutom för finlandstrafik också är huvudfarled för konventionella handelsfartyg. Mindre handelsfartyg kan dessutom röra sig i en innerskärgårdsled från Landsort över Dalarö och därefter angöra Sandhamnsleden. Trafiken i denna inre led är förhållandevis ringa, och leden går huvudsakligen över öppna fjärdar. Några erosionsskador av betydelse har ännu inte rapporterats längs denna led. Det är till Sandhamns- och Furusundslederna som intresset knyts vad beträffar skador på stränder. I föreliggande undersökning har därför kartläggningen beslutats att gälla samtliga stränder i anslutning till dessa båda farleder. Begreppet "anslutande strand" har definierats till att gälla all strand inom 500 m från den farledslinje som redovisas i gällande sjökort. Måttet 500 m är detsamma som använts i undersökningen av Rödkobbsleden och bygger på uppfattningen att skadorna i de flesta fall på det avståndet har reducerats till obetydligheter. Detta är givetvis inte allmängiltigt, men erfarenheter från skilda håll ger belägg för att man med ett sådant avstånd med marginal täcker sannolika riskområden. Fagerholm (1976) har visat att t ex algfloran på större avstånd än 500 m påverkas endast i ringa utsträckning, varför det är rimligt att anta, att inte heller strandens material utsätts för särskilt stora påfrestningar (Rönnberg 1981). Vid inventeringen har det i praktiken visat sig att enstaka känsliga stränder på längre avstånd uppvisat klara erosionsskador, men sammantaget förefaller måttet vara en rimlig kompromiss mellan tidsinsats och strävan efter den absoluta säkerheten. Mycket få stränder på större avstånd än 500 m från farled löper risk att skadas.

Undersökningsmetodik

Vid en kartläggning av denna omfattning är en enbart fältbaserad datainsamling utesluten. Tidsåtgången för klassificering och gränsdragning i fält skulle göra undersökningen alltför kostsam. Mycket goda in-

venteringsresultat kan istället uppnås med en kombination av flygbildstolkning och fältkontroll. Stranden klassificeras och avgränsas med flygbildens hjälp, varefter resultatet vanligen endast kräver en lättare justering i fält. Normalt kan en flygbildsbaserad inventering få en hög säkerhet enbart med stickprovsvisa fältkontroller. I detta arbete valdes emellertid, med tanke på betydelsen av korrekt klassificering, en heltäckande fältkontroll. Trots tidsåtgången för fältkontrollen innebär bildtolkningen så stora effektivitetsvinster, att datainsamlingen utan tvekan blivit både snabbare och säkrare utförd än om fältarbete varit enda arbetsmetod.

De bilder som utnyttjats har varit IR-färgbilder i skala 1:30 000, s k omdrevsbilder från år 1986 över Stockholms län. Tolkningen utfördes maj-juni-juli 1990 med hjälp av kvalificerade bildtolkningsinstrument vid länsstyrelsens miljövårdsenhet och vid naturgeografiska institutionen, Stockholms universitet. Handledare vid tolkningen och ansvarig för klassificeringsmetodik har varit undertecknad förf, men huvuddelen av tolkningsarbetet har utförts av Clas Hättestrand, geovetare vid naturgeografiska institutionen. Hättestrand är god bildtolkare med tidigare vana vid tolkning av stränder. Hans medverkan borgar för att inventeringsresultatet har en hög och jämn kvalitet. Vid fältkontrollerna, som utförts under sommaren 1990 har såväl Hättestrand som förf. medverkat. Det insamlade materialet har sedan bearbetats under hösten, varvid Hättestrand svarat för renritning och grovbearbetning av data.

Datainsamlingen har omfattat en indelning av stranden i så långt möjligt homogena avsnitt med avseende på följande materialklasser (jfr även fig 6 a-h). Klassificeringen har gällt den del av stranden som kan tänkas bli påverkad av vattenrörelser under alla vattenstånd. Således tas även hänsyn till stranden närmast under vattenbrynet.

- 0: Artificiell strand. Till denna kategori förs anlagda stränder, t ex kajer, stenskoningar, murar etc.
- 1: Klippstrand.

- 2: Blockstrand. Sorterat material, block > 20 cm diameter
- 3: Grovt grus och klapper. Sorterat material, < 20 cm diameter
- 4: Flack moränstrand. Osorterat material, lutning < 10°
- 5: Brant moränstrand. Osorterat material, lutning > 10°
- 6: Sand- och grusstrand. Sorterat material, kornstorlek < 2 mm
- 7: Finsedimentstrand. Finmaterial, vanligen < 0,2 mm, "jord".

Kornstorleksgränserna är ungefärliga, eftersom klassificeringen i flygbilder och i fält bygger på okulärbedömningar och inte på kornstorleksanalyser. "Finsedimentstranden" kan således vara av högst skiftande karaktär från en väl sorterad lerstrand till en blandad sammansättning av organogent material och osorterat finmaterial. Upplevelsemässigt skulle denna senare strandtyp snarast kunna karakteriseras som en jordstrand.

Av dessa stränder är kategori 1-3 tåliga stränder, där såväl block- som klapperstranden uppnått naturlig jämvikt (sid 31). Kategori 0 kan ha en varierande grad av tålighet beroende på konstruktion. Kategorierna 4-7 är känsliga stränder, där den branta moränstranden är den mest erosionsbenägna, medan sand och grusstranden i många fall kan bibehålla en stabilitet. Stränders erosionsbenägenhet behandlas utförligare i ett följande avsnitt.

TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR

Strandskador

Undersökningar av sjöfartens miljöpåverkan är förhållandevis sparsamt förekommande i Sverige. Under 1988 uppdrog regeringen till Sjöfartsverket att kartlägga sjötrafikens miljöeffekter. 1990 redovisade verket "Sjöfartens miljöeffekter. Inventering och förslag till åtgärder" (Sjöfartsverket 1990). I denna utredning pekas främst på miljöproblem i samband med risker för utsläpp av rökgaser, oljor, detergent, kemikalier etc. Risker för skador på stränder och botten behandlas i utred-

ningen kortfattat under rubriken "hydrodynamiska effekter av sjöfart och båttrafik". Någon inventering eller uppskattning av skadeläget görs inte. Mekanismerna bakom erosionen behandlas inte, men utredningen konstaterar, att också fritidsbåtar och mindre yrkesfartyg bidrar till skadorna. Utredningen föreslår att farleder skall inventeras med avseende på strändernas känslighet för svall. I konsekvens med denna känslighetsindelning skall sedan, enligt utredningen, fartyg och fritidsbåtar kategoriseras med hänsyn till skrovformens hydrodynamiska egenskaper. I klartext betyder detta differentierade fartgränser. Olika båttyper tillåts köra olika fort i olika "känslighetsklassade vattenområden". Det är tveksamt om ett system som detta går att administrera. I övrigt föreslår utredningen ökad information och utbildning riktad mot båtsporten.

Redan 1983 började problemen kring farledsträndernas erosionsskador att diskuteras. I ett examensarbete vid KTH (T Magnusson et al 1983) analyseras skador i vissa partier av Furusundsleden. I arbetet konstateras att energitillskottet från fartygen inte kan försummas i relation till vindgenererade vågor. Mätningar av fartygsvågor utfördes, och några utvalda skadeplatser dokumenterades.

Under 1989 publicerades ett examensarbete (Daleke et al 1989) från institutionen för vattenbyggnad vid KTH, betitlat "Fartygstrafikens miljöeffekter i skärgården". Arbetet behandlar endast effekterna av stranderosion. I detta arbete diskuteras vågors verkan mot stränder, hur fartyg genererar olika typer av vattenrörelser, hur partiklar transporteras av strömmar etc. Av stort värde är de praktiska mätningar som gjorts vid mätstationer längs Furusundsleden, och där våghöjd mätts vid ett stort antal olika fartygspassager. Tyvärr har vissa av slutsatserna i arbetet blivit grovt felaktiga, då dessa baseras på den välkända "Hjulströmskurvan" i en version som inte är korrekt återgiven utan behäftad med ett 10-potensfel. Nedan i fig 1 återges en korrekt version i Sundborgs bearbetning (fig 1a) tillsammans med den i examensarbetet presenterade (fig 1b). Eftersom detta arbete i övrigt har stora

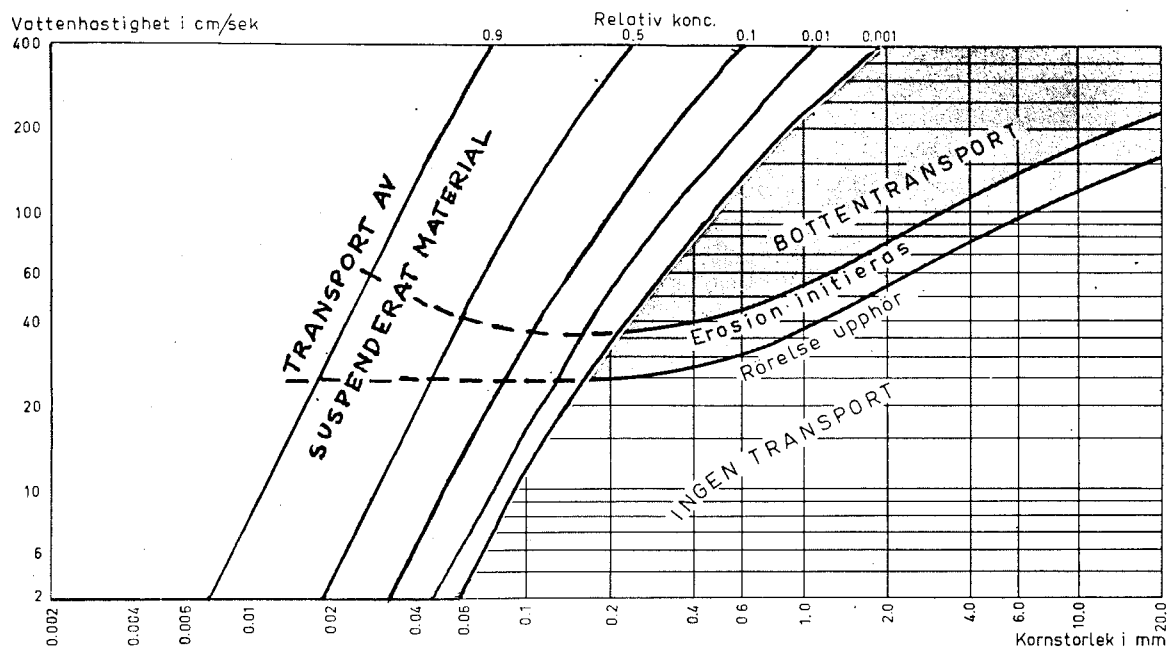


Fig 1a. Hjulströms kurva för sambandet mellan vattenhastighet och materialtransport. (Bearbetning av Sundborg 1963.)

förtjänster och under en tid varit normerande, är det angeläget att korrigera felaktigheterna så att arbetet också fortsättningsvis kan utnyttjas som referens. De allvarligaste felsluten återfinns på sid 48: "Som synes i tab 6.3.1., ger både sug och vågor upphov till vattenhastigheter som är ca 1 m/s..... Det enda material som klarar att stå emot de eroderande krafterna är stenar större än 100 mm". Denna slutsats är således inte korrekt. Ur fig 1a framgår att det rätta värdet är ca 3 mm. Konstaterandet att 1 m/s transporterar 100 mm stora stenar återkommer på flera ställen i rapporten (sid 67, 71). På sid 66 sägs beträffande uppmätta våghöjder att dessa ger upphov till vattenrörelser mellan 0,2 och 0,7 m/s på 1 meters djup. Här anges transportförmågan hos dessa strömhastigheter till 50-60 mm kornstorlek, men det korrekta värdet är alltså inte större än 0,1-2 mm.

Det intressanta är att författarna konstaterat en överensstämmelse mellan de (felaktiga) teoretiska fakta och de i fält gjorda iakttagelserna av materialets kornstorlek på de undersökta platserna (fig 2). Vid t. ex. Stabo Udde kunde man i det sorterade materialet på en eroderad

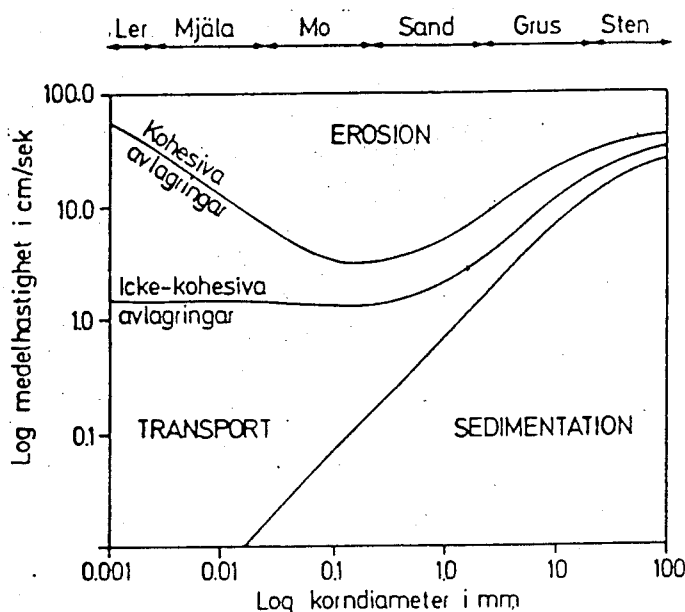


Fig 1b. Den felaktigt återgivna versionen av Hjulström-kurvan som ger 10 ggr för höga värden på vattnets transportförmåga (Daleke et al 1989).

strand mäta en genomsnittlig stendiameter på ca 100 mm. Detta föreföll alltså bekräfta de teoretiska beräkningarnas riktighet.

Här föreligger således en klar skillnad mellan teori och praktik. Den fråga som osökt väcks är: *vilka mekanismer sorterar i så fall strandmaterialet till kornstorleken 100 mm på denna strand, när färjornas svall enligt teorin knappast kan flytta tiondelen av denna kornstorlek?* Sundborgs diagram med Hjulströmkurvan antas i stora drag gälla för erosion vid stränder (jfr Norrman 1967). Slutsatsen måste bli att det förekommer starkare vattenrörelser än de uppmätta eller att materialtransport utlöses på andra, komplexa vägar. Det fullständiga sambandet mellan färjornas svallvågor och stranderosionen är således inte klart belagt. I examensarbetet har också gjorts mätningar och beräkningar av vattenrörelserna som orsakas av fartygens tryckvågor, men inte heller här har anmärkningsvärda strömmar kunnat iakttagas. Maximal beräknad strömhastighet uppgår vid Stabo Udde till 1,77 m/s vilket teoretiskt skulle kunna förflytta material upp till ca 10 mm. Inte heller tryckvågorna kan förklara den observerade materialtransporten, om de gjorda mätningarna är korrekta.

Ytterligare praktiska mätningar av vattenrörelser har gjorts i samband med den miljökonsekvensutredning som utarbetades i anslut-



Fig 2. Typisk sorteringseffekt längs farledsstränder i morän. Materialet sorteras till storleksklassen ca 5-10 cm diameter.

ning till planerna på den s.k. Rödkobbsleden (Wermelin 1990). I Furusundsleden mättes på fem platser vattenrörelserna vid ett mindre antal fartygspassager. Resultaten är inte direkt jämförbara med dem som gjorts inom ovan nämnda examensarbete men antyder inga anmärkningsvärda skillnader. Det är troligt att observationerna har givit representativa värden för vattenrörelser alstrade av färjetrafiken. Vilka vattenrörelser som alstras av annan trafik med mindre passagefartyg och större fritidsbåtar torde inte ha utretts. En sådan undersökning är en angelägen komplettering.

I en utredning i anslutning till den tidigare nämnda "Rödkobbsleden" har förf. bidragit med en analys av riskerna för erosionsskador längs den tilltänkta leden (Granath 1989). I rapporten diskuteras mekanismer för uppkomst av skador, och en inventering av strändernas materialegenskaper presenteras. Resultatet utgörs av en prognos för skaderisker. Praktiska mätningar av vattenrörelser har inte utförts i samband med den utredningen.

Övriga tillämpliga rapporter av intresse för diskussionen kring strandskador är sådana som behandlar hydrodynamik och skeppsbygg-

nadsteknik. En sammanfattande och problemorienterad redovisning ges av Norrbin (1990), som utreder olika vågsystem och även diskuterar energinivåer i vågor skapade av större och mindre fartyg. Rapporten belyser framför allt fartygshastighetens betydelse för vågornas energiinnehåll. En större båttidning har också låtit utföra en ovetenskaplig men värdefull studie av fritidsbåtars svallvågor, där praktiska mätningar pekar på höga energinivåer i svallvågorna från större motorstarka fritidsbåtar (Ekblad 1988). Vid naturgeografiska institutionen har utförts ett examensarbete i samarbete med länsstyrelsens miljövårdsenhet med anknytning till farledsproblemen. Arbetet visar möjligheterna att med hjälp av flygbilder kartlägga ersionsskador längs ledstränderna (L Magnusson 1990). Under 1991 påbörjades två examensarbeten, ett vid KTH vattenbyggnad med målsättning att studera eventuella sedimentsuspensioner och ett vid SU naturgeografi med målsättning att studera effekter på vassbestånd längs farleder.

Från KTH föreligger en slutrapport från detta examensarbete (Hammerfeldt et al 1991) som visar att färjepassager vid de aktuella kontrollstationerna inte orsakar någon uppslamning av material i den fria vattenmassan. Detta innebär att den materialtransport som bevisligen är förhanden sker som en mycket strandnära, strandparallell transport och/eller som en utåtriktad bottentransport inom ett mycket tunt skikt ovanför botten. I rapporten konstateras variationen i strömhastighet från ett och samma fartyg vid olika mättillfällen. Vattenhastigheterna i den fria vattenmassan är emellertid mycket låga i förhållande till de hastigheter som genereras på grunt vatten vid stranden.

Ekologi

I Finland har man under betydligt längre tid än i Sverige uppmärksammat effekterna av den tyngre fartygstrafiken. Det kan bl a förklaras av att man i de finska skärgårdarna tillåtit högre hastigheter och därmed tidigare och tydligare sett uppkomsten av skador längs lederna. Undersökningsinsatserna har i Finland huvudsakligen koncen-

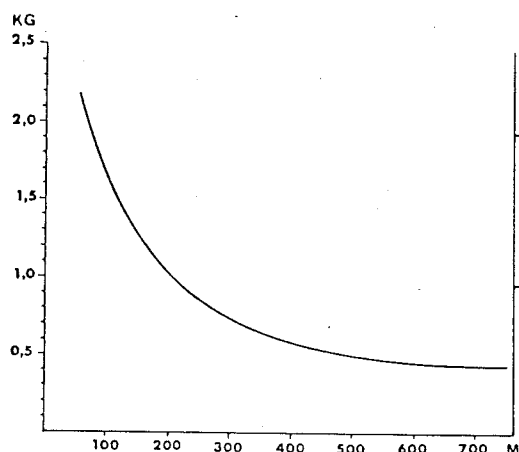


Fig 3. Svallvågors styrka mätt med fjädervågsdynamometer på olika avstånd från farleden. Styrkan avtar snabbt med ökande avstånd från farleden. Styrkan uttrycks i kg/10 cm². (Rönnerberg 1974).

trerats till att gälla ekologiska förändringar. Viktiga arbeten med specifik inriktning på farledsmiljö har gjorts av Rönnerberg (1981, 1989), Fagerholm (1975), Rajasilta (1982), Friman (1989) och Östman (1989).

Föreliggande arbete avser inte att diskutera de ekologiska effekterna. Det är dock angeläget att konstatera att de finska arbetena utmynnar i resultat som klart visar att miljön i farledernas närhet påverkas i olika omfattning. I vissa fall, särskilt inom fisket, kan påverkan vara gynnsam för vissa arter, i andra fall i ogynnsam, vanligen för bentiska arter (bottenlevande, fastsittande). Undersökningarna konstaterar också att effekterna av vattenrörelserna i farlederna avklingar tämligen snabbt med ökande avstånd till farleden. Fagerholm (1976) nämner avståndet 500 m som ett riktvärde för påverkans yttre gräns. Rönnerberg (1974) har gjort praktiska mätningar av svallvågors styrka och funnit att styrkan snabbt avklingar med ökande avstånd från leden (fig 3). I arbetet anges att fartygen har en fart på 16-17 knop och att svallens styrka på 80 m avstånd från farleden har en styrka motsvarande de vågor som alstras av en 12 m/s vind mot en öppen kust. Sedan 1974 har fartygens storlek ökat väsentligt, men det kan visas att svallvågshöjden i stort sett varit oförändrad tack vare före förbättrade skrovkonstruktioner. Några modernare praktiska mätningar av vågstyrka med samma teknik föreligger dessvärre inte. Det förefaller rimligt att Rönnerbergs iakttagelser fortfarande i stort sett är giltiga, men det vore angeläget att utföra

sådana mätningar för att undersöka om de modernare färjornas svall i kraft av sina längre våglängder har en styrka som inte avklingar lika snabbt.

I Sverige har inte lika omfattande undersökningar av farledsbottarna genomförts som i Finland. Däremot finns en god kunskap om de allmänna förändringarna av livsbetingelserna för skärgårdens marina flora och fauna (t ex N Kautsky et al 1988). I samband med utredningen för "Rödkobbsleden" gjordes en prognos för eventuella ekologiska skador (H Kautsky 1990). Rapporten är huvudsakligen en sammanfattning av det finska kunskapsläget och en dokumentation av flora och fauna på ett antal definierade lokaler längs den planerade leden.

EROSIONSMEKANISMER

Av vad som ovan sagts om den bristande överensstämmelsen mellan fältiakttagelser av erosion och observerade vattenhastigheter från färjetrafik framgår att de fullständiga mekanismerna bakom erosionen måste sägas vara otillräckligt kända. Vad som är känt är hur ett fartyg påverkar vattenmassan omkring sig och skapar vågrörelser. Dessa kunskaper har vunnits i huvudsak genom modellförsök, såväl teoretiska som praktiska i provbassänger. Fullskalemätningar är ovanliga, och resultaten är helt beroende av den omgivande bottenpografins utseende och av vattenvolymen i det aktuella farledsavsnittet. Dock kan man utan tvekan urskilja två helt olika typer av vågsystem från ett fartyg under gång.

Kelvinvågor

Kelvinvågor är de vågor som i dagligt tal kallas svallvågor. Dels alstras bogvågor, som utgår från fartygets förskepp, dels aktervågor. Vågsystemet sprider sig enbart på ytan, likt vindvågor. Dessa svallvågor kan innehålla avsevärd energi, som på ett eller annat sätt kan utlösas då vågen träffar stranden. En brant och hård strand kan re-

flektera vågen tillbaka mot sjön utan att den innehållna energin frigörs, men vid en flack och mjuk strand omsätts större delen av vågens energiinnehåll. Energin kan överföras till värme genom friktionsarbete, men en stor del kan komma att utnyttjas för materialtransport om strandens profil och material ej befinner sig i balans med inkommande vågenergi. Vågorna bryter på grundare vatten enligt väl kända regler. Större och mindre materialpartiklar förflyttas, parallellt med stranden eller utåt, mot djupare vatten. I vissa situationer kan luft inneslutas mellan en brytande våg och strandmaterialet, varvid den komprimerade luften kan uträtta ett avsevärt förflyttningsarbete. Mechanismerna är utförligare beskrivna av Daleke et al (1989).

Vågornas energiinnehåll är en funktion av våghöjd (H_w) och våglängd (L), samt i någon mån av vattnets densitet. Förenklat kan sättas $E = (H_w \cdot L)^2$. Våglängden är i sin tur en funktion av fartygets hastighet (V), vilket ger $E = (H_w \cdot V)^2$. Ett inte helt korrekt men förhållandevis rättvisande sätt att bedöma svallvågornas energiinnehåll för olika fartyg är således att beräkna kvadraten av produkten av våghöjd och hastighet. En ofta gjord jämförelse mellan en modern färja i den gynnsamma hastigheten 12 knop och en "Waxholmsbåt" i hastigheten 18 knop visar på upp till 5 gånger högre energinivå i Waxholmsbåtens svall, då den senare har en våghöjd på ca 80 cm, i jämförelse med färjans ca 55 cm. Mätvärdena bygger på modellförsök (Norrbin 1990, Wermelin 1990). Tillgängliga fältmätningar på befintliga fartyg visar snarare en lägre våghöjd för färjorna. Daleke et al (1989) har uppmätt våghöjder vid Stabo Udde för 13 fartyg i farter mellan 11 och 14,5 knop, med ett medelvärde för våghöjd på ca 30 cm. Dessa värden överensstämmer med motsvarande mätningar som utfördes av Sjöfartsverket vid Stabo Udde år 1980 (Sjöfartsverket 1980). Några motsvarande fältmätningar av höjden på svallvågor från "Waxholmsbåtar" och större fritidsbåtar synes inte ha utförts hittills (jämför dock Ekblad 1988), men en sådan mätning är av stort intresse för bedömningen av skadeorsaker. En mindre studie av svall från

småbåtar har därför utförts i föreliggande undersökning. Det står helt klart att strandskador av samma omfattning som i de officiella farlederna också kan iakttas på stränder längs leder som enbart befars av skärgårdstrafik och fritidsbåtar (sid 59). Det bör i detta sammanhang också understrykas att sambandet mellan vågenergi och fartygshastighet inte alltid ökar linjärt. Fartygens skrovform konstrueras oftast för att ge ett gynnsamt, lågt vågbildningsmotstånd vid vissa farter, genom t ex bulber och andra skeppsbyggnadstekniska finesser.

Bernoullivågor

Förutom att ge upphov till de nu beskrivna ytvågorna har varje fartyg en benägenhet att skapa tryckvågor på större djup. Enkelt uttryckt är det vattnet som skall pressas undan för att bereda plats för fartyget för att sedan återta utrymmet efter fartygspassagen. Om vattenmassan är oändligt stor, kommer vattnets rörelse att ske relativt omärkligt, men om vattenvolymen är begränsad, kommer fartyget att tvingas pressa undan vattnet med "våld", eftersom farledens sidor så att säga trycker emot. Fartyget bygger upp ett övertryck vid stäven men skapar samtidigt ett "undertryck" längs fartygssidan. Detta undertryck sänker vattenytan, inte bara längs skrovsidan utan även längs stränderna om farleden är trång. Sänkningseffekten är momentan och följer fartygspassagen men kan skapa avsevärda strömmar på grunt vatten. Dessa tryck- och sugeffekter orsakas av beräkningsbara vågmönster, s k Bernoullivågor. Vid en strand orsakar Bernoullivågen först en mindre höjning av vattennivån, omedelbart följt av en kraftig sänkning, som i sin tur följs av en ny och större höjning än den första. Därefter återtar vattnet teoretiskt normal nivå. I somliga farledsavsnitt tycks emellertid de topografiska förhållandena vara sådana att en form av stående vågor uppträder. Regelbundna vattenrörelser kan iakttas under lång tid efter en fartygspassage, och amplituden avtar endast långsamt.

Nivåförändringens amplitud i samband med Bernoullivågor beror på fartygets hastighet i förhållande till tillgänglig vattenvolym. Ett

mindre fartyg kan således färdas med högre hastighet än ett större i samma farledsavsnitt utan att Bernoullivågorna blir påtagliga. Det vore av intresse att fastställa det mått på relationen mellan farledens tvärsnittsarea och fartygets tvärsektionsarea där tryck- och sug effekterna blir försumbara. Detta mått låter sig uppenbarligen inte fastställas med säkerhet. Daleke et al (1989) anger på teoretiska grunder ett dylikt värde till 20:1, medan Wermelin (EffJohn 1990) efter praktiskt grundade mätningar anger 70:1. Klart är, att avsänkningseffekterna på många stränder medför en kraftig erosion, sannolikt kraftigare än svallvågorna. Trots de goda ansatserna från Daleke et al, finns idag inte tillräcklig kunskap om skadeeffekterna av respektive vågsystem. Fortsatta undersökningar med framför allt fler praktiska mätningar på olika platser, olika vattendjup och efter olika fartyg skulle ge betydligt säkrare grund för diskussioner om åtgärder för att begränsa erosionsskadorna.

Vattendjup i farlederna

I ett försök att ge en uppfattning om farledernas tvärsnittsareor har inom föreliggande undersökning gjorts en översiktlig genomgång av vattendjup i förhållande till farledsbredd. För att åstadkomma ett förhållande 70:1 mellan farledsarea och fartygsarea krävs ett vattendjup på 40 m om leden är 300 m bred. Ledbredden är oftast betydligt större, men för att lokalisera de "vattenrika" delarna av farlederna har i denna undersökning gjorts en analys av sjökortet. Samtliga sträckor har markerats som uppfyllt ovanstående villkor om mer än 40 meters vattendjup 150 m på ömse sidor om farledslinjen (kartbilaga). Det bör kunna antas, att dessa sträckor är mindre utsatta för avsänkningseffekter än övriga. Av kartan framgår tydligt att Furusundsleden överlag är mindre "vattenrik" än Sandhamnsleden, som från Trälhavet och ut till havs till 54% (23 km) går över djupa vatten. För Furusundsleden är motsvarande värde 24% (15 km).

Materialtransport och omlagring

Det bör understrykas att de processer som orsakar vad vi kallar erosionsskador är exakt desamma som i ett geologiskt tidsperspektiv medverkar vid nedbrytningen av allt land till ett peneplan. Den vanliga använda termen för denna havets nedbrytande kraft är abrasion. Sett ur det geologiska perspektivet är således stranderosionen fullkomligt naturlig och vid exponerade havsstränder kan den ske med jämförelsevis hög hastighet. Vid skyddade stränder sker den naturliga abrasionen långsamt och den medför kanske obetydlig förändring av stranden. Den alltjämt pågående strandförskjutningen genom landhöjning innebär också att stränderna utsätts för vågbearbetning under en tid som är kort i ett geologiskt tidsperspektiv. Den naturliga långsamma abrasionen har emellertid genom fartygstrafiken kommit att snabbas upp till en hastighet som gör det möjligt för människan att konkret iaktta skeendet, mest genom att strandens materialsammansättning tydligt förändras, strandlinjen flyttas och mänskliga byggnadsverk får sin livstid starkt förkortad.

Abrasionsförlopp har studerats av geomorfologer världen över (se t. ex Norrman 1967). Tekniskt sett är processerna desamma, men genom olika fysiska förutsättningar kan resultaten variera. Abrasions effekterna styrs av strandens materialbeskaffenhet, strandens lutning och vågornas energi, vilken bestäms av angreppsriktning, vindstyrka och fetch (stryklängd, tillgänglig sträcka för våguppbbyggnad). I föreliggande rapport skall inte diskuteras de exakta fysikaliska momenten i materialets transport. Detta har tidigare ingående behandlats av t ex Norrman (1967). Sammanfattningsvis kan konstateras att strandens material kan hållas samman av både friktions- och kohesionskrafter. Kohesionskrafterna kan beskrivas som molekyllära krafter som håller samman partiklar genom främst kemiska bindningar av mer eller mindre kraftigt slag. Kohesionskrafter är starkt beroende av materialets vattenhalt och verkar i första hand mellan partiklar i sorterat finmaterial, men även i osorterade moräner kan inslaget av finpartiklar

vara så stort att materialet i sin helhet får stor motståndskraft mot erosion. Ett material som består av väl sorterade grövre partiklar blir däremot mycket lätt att erodera, eftersom sådant material endast hålls samman av de jämförelsevis svaga friktionskrafterna. En grov morän, ett svallsediment eller ett isälvsmaterial blir därför ett lätt rov för vågornas verkan, medan en lerstrand kan vara överraskande motståndskraftig på grund av de kohesiva krafterna.

Strandens lutning är av avgörande betydelse för erosionsförloppet. Om vågverkan är sådan att partiklar kan lösgöras ur strandmaterialet och transporteras utåt, kommer partikeltransporten att pågå så länge vågenergin är tillräcklig för transport av resp partikelstorlek. Finns i strandmaterialet en jämn fördelning av samtliga fraktioner, och om strandens lutning är konstant, kommer materialet vid konstant vågpåverkan att sorteras så att det grövsta materialet blir kvar i vattenbrynet, medan kornstorleken successivt minskar med ökande vattendjup. Detta är det teoretiska fallet. Eftersom vågenergin varierar, vattenståndet varierar och vågornas angreppsriktning varierar, kommer sällan resultatet att bli så renodlat. Materialet transporteras inte alltid utåt, utan parallellt med stranden, varvid "horisontella sorteringar" kan uppstå i stället för "vertikala", när vattenströmmen längs stranden av hinder tvingas ändra hastighet (fig 4). Det är väl känt att sandstränder bildas och vidmakthålls intill pirar och bryggor vinkelrätt ut från stranden, men försvinner så fort hindret tas bort.

Strandlinjens tillbakaryckning i samband med erosion sker inte bara genom att vattenströmmar "plockar" korn efter korn ur materialet. Särskilt i samband med kohesiva material kan dramatiska materialförluster ske i form av skred. Genom omlagring och/eller vattenmättnad minskar hållfastheten och små eller stora materialvolym-er glider utåt i strandslätten. Detta bör skiljas från ras, där underminering på grund av urplockning får ovanför liggande partiklar eller hela sjok av stranden att falla ned. Det är främst denna senare

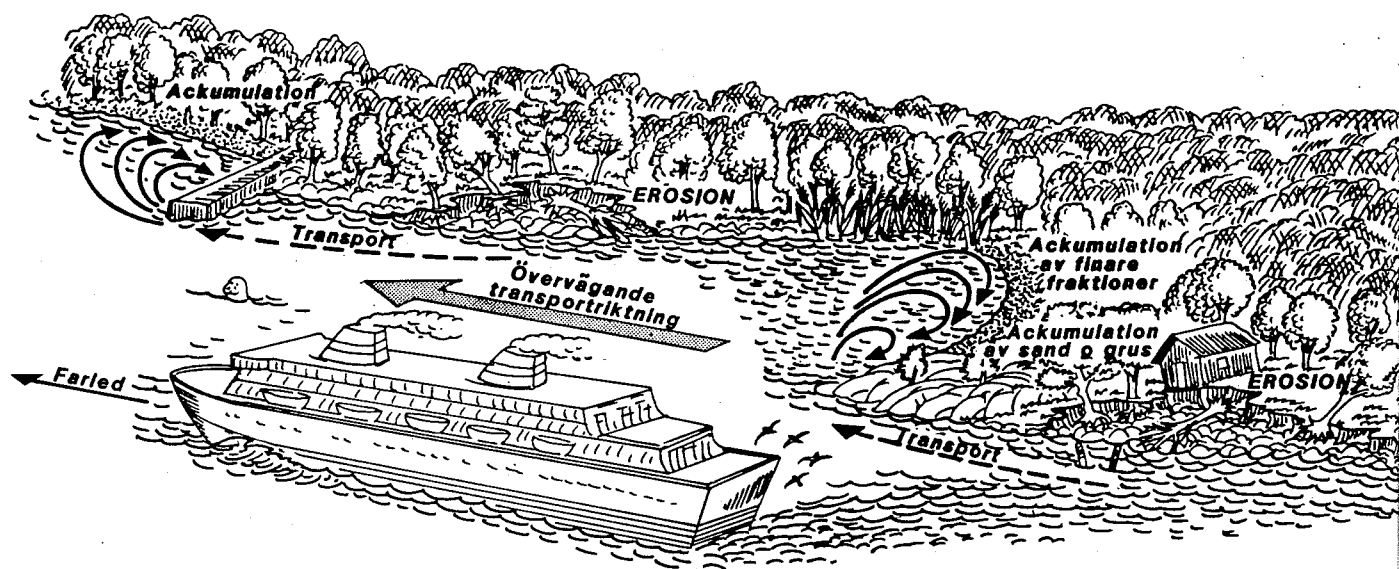


Fig 4. En strandparallell transport som orsakas av t ex svallvågor från fartyg sorterar material längs stranden i relation till avstånd från farled och strandens konturer.

process som arbetar i skärgårdens stränder. Skred är vanligare vid erosion av finsediment, t ex i älvdalarnas leror.

Mekanismerna vid havets abrasion av stranden går också igen vid farledernas stränder. Branta havsstränder visar en hastigare tillbakaryckning än flacka. Mycket förenklat kan sägas att naturen "prioriterar" de mest akuta behoven av nedbrytning, d v s de höga landmassorna. De nedbrytande krafterna verkar mindre intensivt på de redan låga landområdena, vilka närmat sig peneplanisering. Denna till synes rationella fördelning styrs givetvis endast av enkla fysikaliska samband.

Vid alla kustprocesser sker en omlagring av material. Partiklar lösgörs från stranden ovan och under vatten och transporteras av strömmar till en ny plats där deposition sker. Depositionen kan ske omedelbart utanför stranden eller på helt annan plats. Många kustprocesser verkar under bildandet av ett så kallat *strandhak*. Ett utvecklat strandhak bibehåller sedan sin utformning så länge abrasionsprocessen är aktiv. Strandhaket karakteriseras av en tydlig brytpunkt i strandens profil och en mer eller mindre hög vegetationsfri brink från vilken material plockas (fig 5). Om stranden hinner utveckla jämvikt, skapas till slut en jämn profil med ett homogent material vars kornstorlek

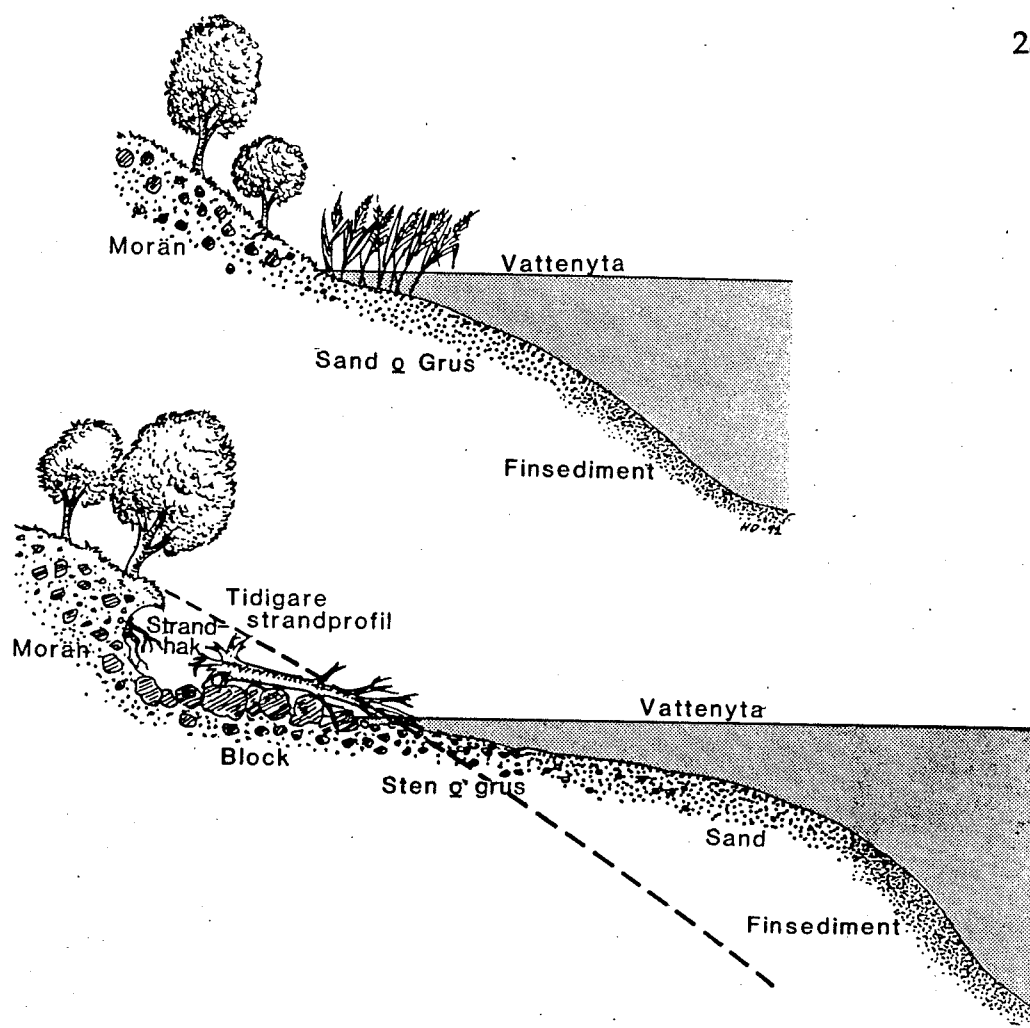


Fig 5. Om en strand utsätts för ökade energinivåer utvecklas ett "strandhak" som så småningom kommer att balansera material och lutning i nivå med energin.

helt och hållet beror på den inkommande vågenergin. Mekanismen vid utvecklandet av ett strandhak skall här kortfattat beröras.

Om en jämnt sluttande strandslänt utsätts för vågor med i genomsnitt högre energier än tidigare, kommer material att plockas ur slänten i vattenbrynet. Är det enbart frågan om vågverkan rakt mot stranden, kommer materialet att transporteras vinkelrätt utåt från stranden och avlastas på ett vattendjup som beror av partikelstorlek och vattenhastighet enligt Hjulströmkurvan. Detta innebär givetvis att stranden efter hand grundar upp utanför vattenbrynet. Så småningom skapas en "hylla" under vatten. Denna grunda hylla verkar

dämpande på energin i de inkommande vågorna, som tvingas bryta utanför stranden. Då de slutligen når vattenbrynet är energin inte längre tillräcklig för att lyfta ut material från land. Balans har uppnåtts, och systemet är självreglerande, på så vis att om vågenergin ökar, förs material från undervattenshyllan mot djupare vatten. Vattendjupet på hyllan ökar, stranden blir tillgänglig för erosion till dess att tillräckligt mycket material har tillförts hyllan för att åter ge så grunt vatten att vågornas energi desarmeras. Resultatet av denna vågenergiökning har således blivit en ny balans, där hyllan har breddats, och byggnadsmaterialet tagits från stranden ovan vatten.

Dessa enkla konstruktionssamband gäller som nämnts endast under ideala förhållanden. I verkligheten kompliceras processen av strandparallella vattenströmmar som för bort material till helt andra platser, på djupare vatten eller längs stranden. Om den naturliga och "självskyddande" strandhaksbildningen störs, kommer givetvis ingen balans att uppstå, eller kommer den att fördröjas. I ett långt tidsperspektiv kommer dock alltid strandhaket till stånd.

Ur dessa grundläggande regler för materialtransport vid en strand kan hämtas vissa enkla basfakta för fartygsalstrad erosion.

- 1: Om fartygen skall påverka stranden måste de fartygs-genererade vattenströmmarna överskrida det naturliga bakgrundsbruset i form av de vindgenererade vågorna. Här spelar frekvensen av störningarna en avgörande roll.
- 2: En brant strand med stort vattendjup utanför kommer inte att i mänskliga tidsperspektiv hinna utveckla ett balanserat strandhak, och erosionen fortsätter så länge löst material finns tillgängligt.
- 3: En långgrund eller flack strand bygger relativt snabbt upp en balans, och erosionen avtar sedan strandens materialsammansättning och tvärprofil anpassat sig efter rådande energinivåer.

- 4: Där bottentopografin är sådan att fartygspassager alstrar varaktiga strömmar längs stranden, rubbas uppbyggnaden av jämvikten, och balansen behöver längre tid för att etableras.
- 5: Om energinivån i de fartygsalstrade vattenrörelserna ökar, genom att större eller sämre konstruerade fartyg sätts i trafik, rubbas de etablerade jämvikterna, och erosionen aktiveras på nytt.

Det är således en rad faktorer som bestämmer i vilken utsträckning ett strandparti kommer att påverkas av fartygstrafik. Några av faktorerna är lätta att kontrollera och mäta, som t ex strandmaterialets sammansättning, vattendjupet utanför stranden och fartygens våghöjd. Svåråtkomligare är den exakta materialtransporten, de naturliga och fartygsskapade strömhastigheterna, effekten av isrörelser och frystömekanismer. Några djupare studier av dessa senare irrationella faktorer har hittills inte utförts. Om man önskar nå förutsägbarhet och full kontroll över erosionsskador, för att kunna styra fartygstrafiken i mindre miljöstörande riktning, måste dessa faktorer studeras mer ingående. Det gäller då i första hand att utföra fullskalemätningar av vågrörelser och strömmar från såväl små som stora fartyg, mätningar och volymberäkningar av sedimentation och materialtransport utanför och parallellt med stranden, analys av sedimentproppar i profiler tvärs farleder för att om möjligt fastställa sedimentationshastighet, mätningar av slamsuspensioners varaktighet och rörelse etc.

Föreliggande rapport gör inte anspråk på ytterligare fördjupning i dessa frågor utan har målsättningen att bidra till en basinformation rörande strändernas materialsammansättning och teoretiska erosionskänslighet samt att dokumentera hittills uppkomna skador av olika slag. Detta kommer att redovisas i de följande avsnitten.

STRÄNDERNAS MATERIALEGENSKAPER

Inventeringsmetodik

Föreliggande inventering har som tidigare nämnts syftet att skapa en grundläggande kunskap om fördelningen av olika strandtyper längs farledsstränderna. Med farledsstränderna avses här samtliga stränder inom 500 m från farledslinjen i sjökortet, oavsett exponering mot leden. Klassificeringen har gjorts med utgångspunkt från flygbildsteknik, varvid IR-bilder i skala 1:30 000 har tolkats med avseende på nedanstående parametrar. Tolkningens giltighet har sedan i sin helhet verifierats eller justerats genom fältkontroll. Minsta avgränsade delsträcka har bestämts till 50 m. Även med denna begränsning blir antalet beskrivningsenheter stort: sammanlagt omfattar inventeringen en drygt 2100 enheter, vilket utslaget över hela den inventerade strandlängden 271 km ger en genomsnittlig avsnittslängd på 130 m. Beträffande inventerat område, se kartbilaga.

Klassificering och definitioner

Klassificeringen av stränderna har uteslutande gjorts med hänsyn till olika erosionsbenägenhet. Vid beslut om klasstillhörighet har följande klassdefinitioner varit vägledande (jfr även fig 6a-h):

Klass 0: Artificiell strand: Konstgjord strandtyp, anläggning. Hit förs vägbankar, kajer, slänter etc, men inte anlagda sandstränder vid t ex badplatser.

Klass 1: Klippstrand: På flacka eller branta klippstränder görs inte skillnad. Klippstranden skall dock ha direkt anslutning till vattnet, utan något lösmaterial emellan.

Klass 2: Blockstrand: För att uppfylla definitionen på blockstrand, skall stranden täckas av en homogen kappa av block, tillräcklig för att utgöra ett varaktigt erosionsskydd. Detta innebär att minst ett par meter på ömse sidor om vattenbrynet skall bestå av block > 20 cm diameter. Till denna klass förs endast naturligt utpreparerade blockstränder. Anlagda erosionsskydd och slänter av block förs till klass 0.

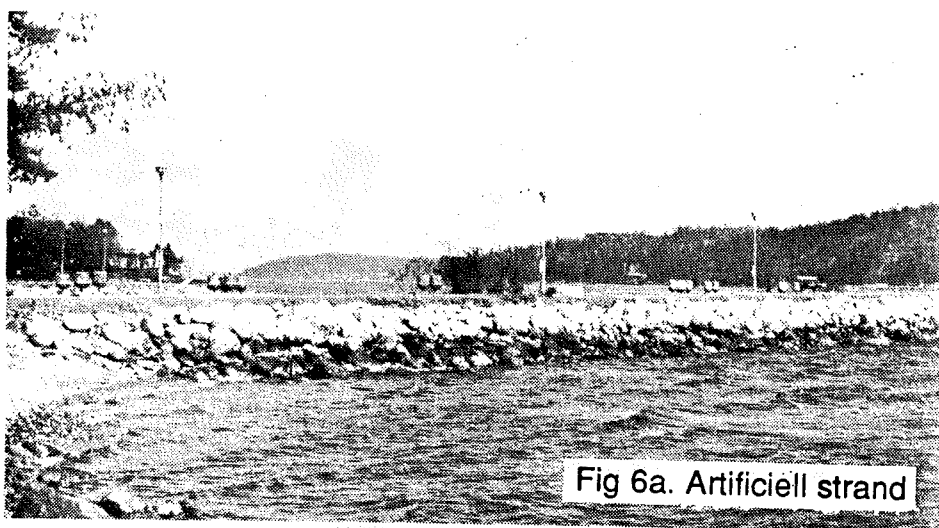


Fig 6a. Artificiell strand

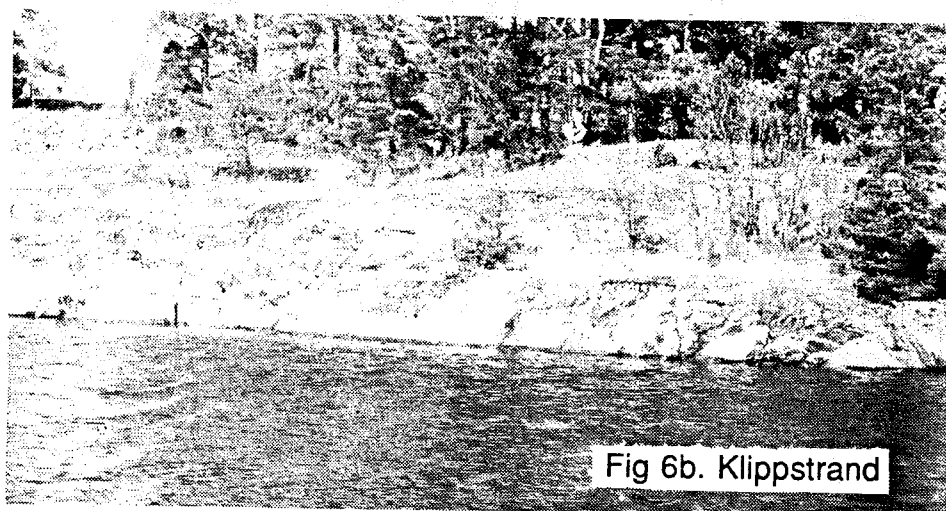


Fig 6b. Klippstrand

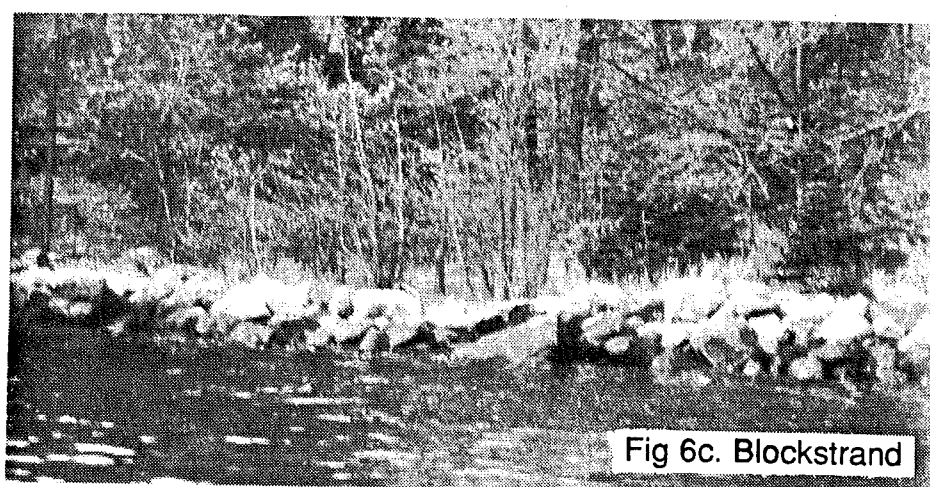


Fig 6c. Blockstrand

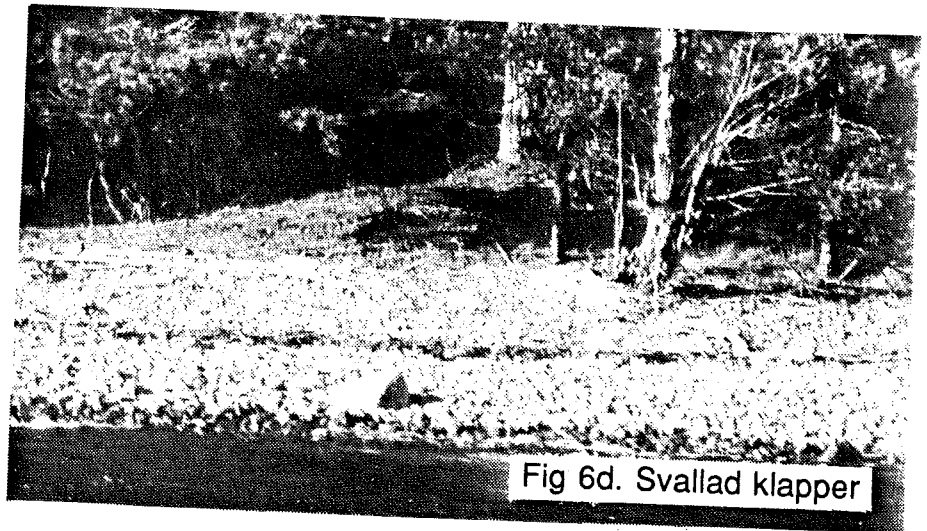


Fig 6d. Svallad klapper

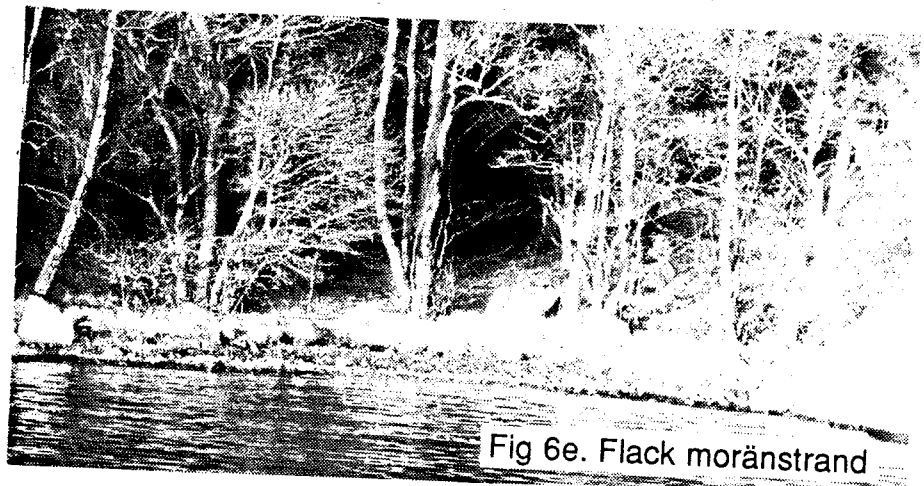


Fig 6e. Flack moränstrand

Klass 3: Klapperstrand: Dessa stränder är resultatet av pågående eller avslutad erosion. Materialet är klart sorterat och fraktionen står i relation till vågpåverkan. Kornstorlekarna kan variera mellan 2 och 20 cm, d v s från grovt grus till sten, men materialet skall vara väl sorterat, annars räknas stranden som moränstrand. Kornstorleken bestäms vanligtvis av strandens exposition mot farleden. Merparten av dessa stränder är "färdigeroderade" och befinner sig i balans med rådande vattenrörelser.

Klass 4: Flack moränstrand: Osorterat material, eller material under påverkan, men inte "färdigeroderat". Strandens lutning skall vara mindre än 10°

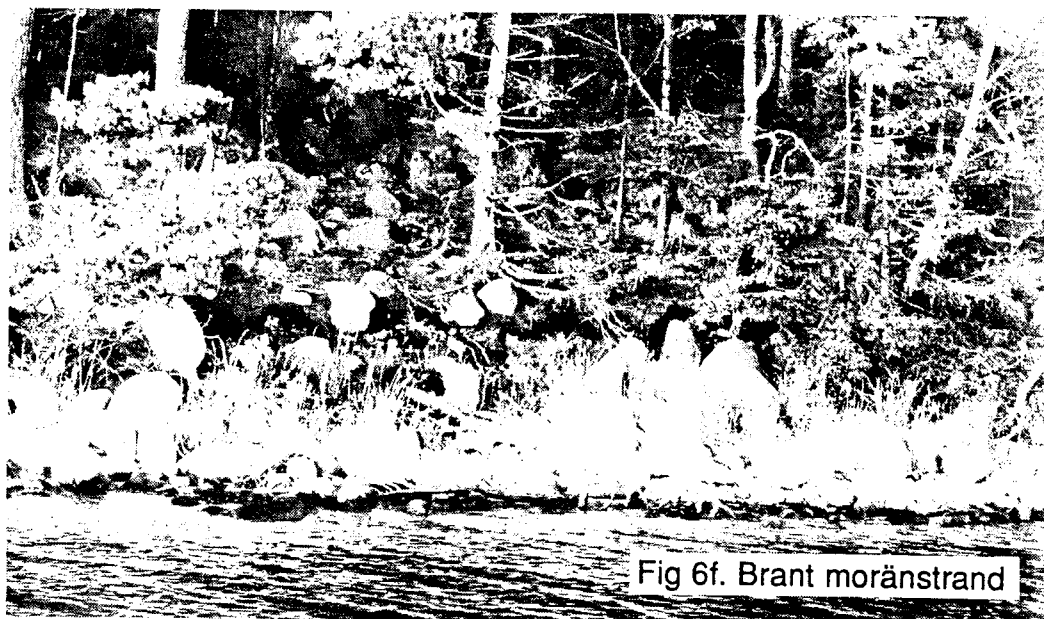


Fig 6f. Brant moränstrand

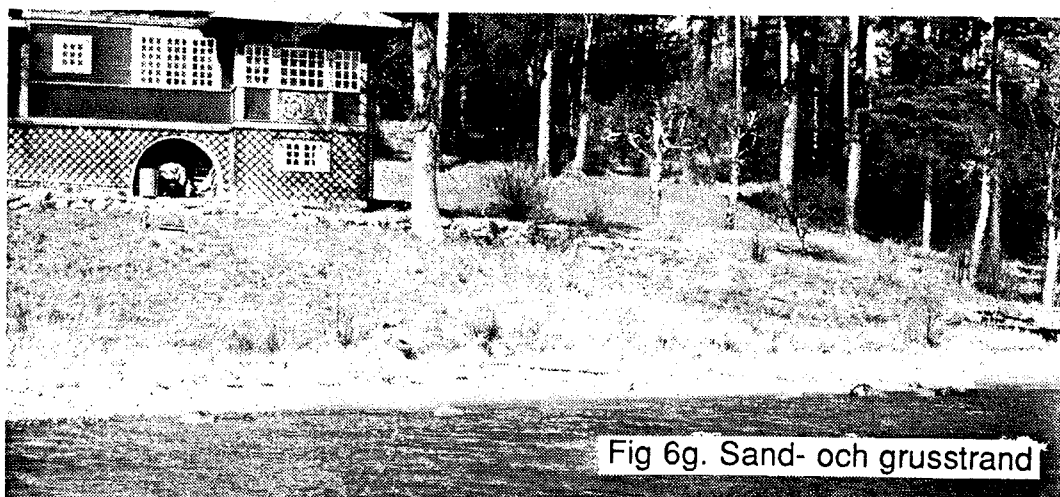


Fig 6g. Sand- och grusstrand

Klass 5: Brant moränstrand: Samma som ovanstående, men med en lutning överstigande 10°

Klass 6: Sand- och grusstrand: Sand och grus, kornstorlekar upp till 2 cm, väl sorterat. Ibland kan dessa stränder vara anlagda badstränder men de är oftast liksom klapperstranden en produkt av materialtransport i jämvikt. Den stora skillnaden är emellertid att den naturliga sandstranden i de flesta fall är en ackumulationsprodukt.

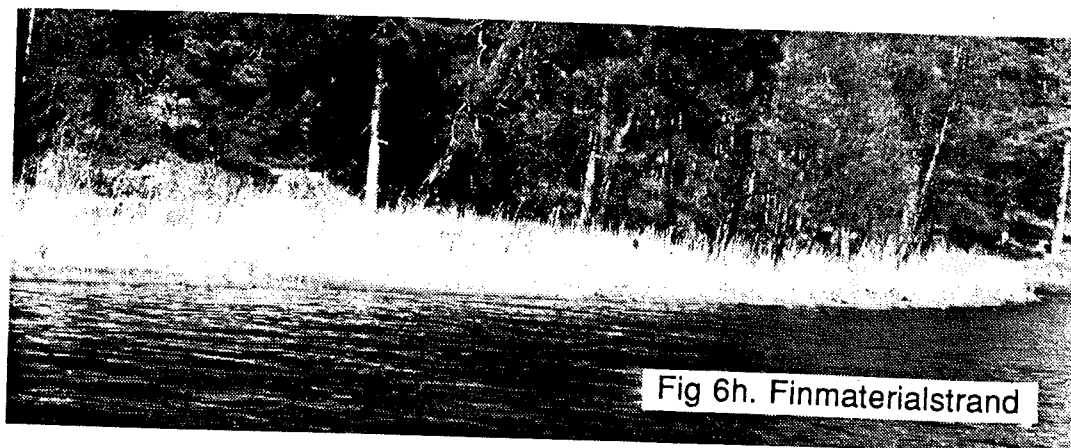


Fig 6h. Finmaterialstrand

Klass 7: Finmaterialstrand: Kornstorlekar finare än sand, d v s silt och ler. Stranden uppfattas vanligen som "jordstrand" och är oftast låglänt och flack. I det aktuella området förekommer dessa stränder i skyddade lägen i de inre farledsavsnitten och är så gott som alltid bevuxna med vassvegetation.

Generalisering

I ett inventeringssystem med begränsat antal klasser och bestämd minimisträcka tvingas tolkaren ofta att göra generaliseringar. Så är givetvis också fallet i denna kartläggning. I jämförelse med inventeringar där generaliseringen gäller arealer, med ett betydligt större antal parametrar, har generaliseringsproblemen ändå varit mycket blygsamma. Den relativt entydiga och praktiskt anpassade klassindelningen har sällan vållat gränsdragningsproblem. I situationer med en mosaikartad sammansättning av strandens material har tolkaren måst bedöma dominerande inslag. Sådana mosaiker består vanligen av klippstränder omväxlande med morän eller klapper men har inte förekommit i en tillräckligt hög omfattning för att uppfattats som något problem. Den höga detaljeringsgraden gör också att generaliseringsproblemen minskar, även om det sker på bekostnad av en ökad arbetsinsats. I det stora hela har generaliseringen inte inneburit nämnvärda bekymmer och arbetet bör betraktas som tillförlitligt också i detaljer.

Erosionsbenägenhet

De i klassificeringen ingående strandtyperna har en varierande grad av erosionsbenägenhet. Helt okänsliga är givetvis *klippstränderna*, medan de artificiella stränderna visserligen i de flesta fall konstruerats för att motstå erosion, men de är inte alltid fullständigt resistenta. En naturlig eller frampreparerad *blockstrand* ger en mycket god stabilitet och kan betraktas som erosionsresistent. Den *svallade klapperstranden* är ett resultat av långt framskriden eller fullbordad erosion och den är en sekundär strandform. En sådan strand är eller blir inom kort stabil, under förutsättning att energinivåerna är stabila. I inventeringen bedöms inte dessa stränder vara riskstränder. De primära moränstränderna är däremot klara riskstränder om de är exponerade för svall och strömmar. Finmaterialet i moränen sköljs ut, vegetationen förlorar rotfästet och lämnar ytterligare utrymme för vattnets angrepp. Den *flacka moränstranden*, med en likaledes flack undervattensdel, kommer att omvandlas till en klapperstrand när tillräckligt mycket grovt material frampreparerats. En morän med hög sten- och blockhalt slutar således att eroderas tidigare än en finkornig morän. Sämsta prognosen har den *brant sluttande moränstranden* som ansluter direkt mot djupt vatten. Här kan material kontinuerligt föras ned mot djupare områden utan att strandhaksbildningen når fasen med en skyddande hylla (jfr fig 5). Även här arbetar erosionen snabbare i en morän som saknar sten och blockmaterial. Har moränen hög halt av silt och ler fördröjs erosionen på grund av kohesionshållfastheten.

Sandstranden intar en särställning i erosionshänseende. De naturliga sandstränderna är i de flesta fall skapade just genom en vattenrörelseprocess. Antingen har ett redan från början sorterat material, t ex glacifluviala avlagringar (isälvsmaterial), på platsen vidarebearbetats till jämvikt med rådande vattenrörelser, eller har en sekundär omlagring skett från en på annan plats belägen källa. En moränstrand som genomgår en erosionsprocess producerar större eller mindre mängd av samtliga kornstorleksfraktioner. Om strandparallella

strömmar förekommer, och om de är någorlunda konstanta, kommer fraktionerna att sedimentera på olika platser. Detta styrs vanligen av strandens kontur och bottenpografi. Sandfraktionen från en utsatt moränstrand kan således deponeras i en närbelägen vik eller bakom närmaste udde, där strömhastigheten av olika orsaker tvingas avta. Av detta inses att en sandstrand är känslig för ändringar i strömningens mönster. En normal "badstrandssand" har kornstorlekar mellan 0,2 och 1 mm. En sådan strand kräver strömmar mellan 0,25-0,50 m/s för att bestå. En minskning av strömhastigheten medför sedimentation av finare partiklar, som får sandstranden att växa igen. En relativt blygsam ökning av strömhastigheten med 0,3 m/s skapar i stället en strand bestående av grus med kornstorlekar upp till 4 mm. Motsvarande ökning längs en befintlig stenstrand ger knappast någon mätbar förändring av strandens korndiameter.

I bästa fall återuppstår sandstranden på annan plats nedströms efter en eventuell ökad vattenhastighet, i sämsta fall transporteras sanden ut till djupare vatten. *Det bör påpekas att den äkta och homogena sandstranden åtminstone från vattenbrynet och utåt enbart är en produkt av vatten i rörelse.* I stillastående vatten kan ett sorterat material som detta omöjligt bestå som ytmaterial. Därför kan det förtjäna att framhållas att en ökad strömaktivitet i ett vattenområde också innebär en ökad sorteringsaktivitet. Samtidigt som andelen eroderade moränstränder ökar, ökar också andelen ackumulerade sandstränder. I fig 7 visas ett närmast övertydligt exempel på detta, där det eroderade materialet från stranden till vänster i bilden omedelbart transporteras och ackumuleras längs den nyskapade sandstranden till höger. Även om inte fullständigt samband råder — en del av finmaterialet transporteras också ut mot djupvatten — så är det klart att andelen sandstränder ökar inom och i anslutning till ett område där man fått ökade vattenrörelser.

Analogt med detta borde också andelen *finmaterialstränder* öka, eftersom de erosionsutsatta moränstränderna också producerar sådant

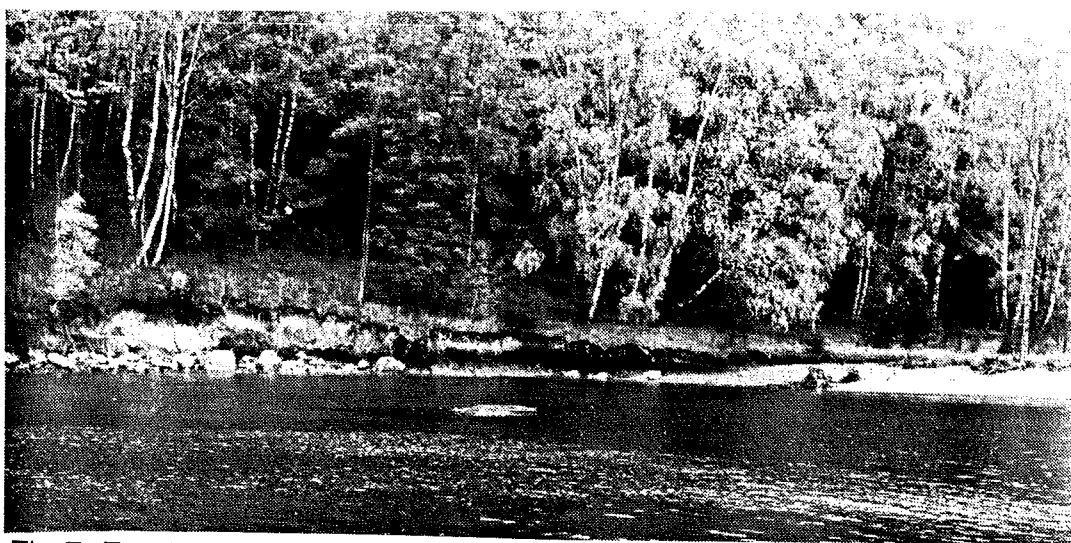


Fig 7. Erosionsskada vid Nykvarnsholme. Ett lätteroderat, sandigt material förflyttas från erosionsområdet till vänster och ackumuleras vid sandstranden till höger.

material. Förekomsten av ackumulerade finmaterialstränder i anslutning till farlederna är emellertid inte påfallande riklig. Förklaringen kan vara, att vattenrörelserna vid stränderna aldrig understiger hastigheten för sedimentation för dessa fraktioner, som i stället så småningom letar sig ut mot djupare eller mer avlägsna områden där sedimentation sker. Antagandet kan bekräftas av att befintliga finmaterialstränder ofta eroderas, trots att kohesionskrafterna ger sådana stränder en förhållandevis hög hållfasthet. För att erodera en sandig lerjord kan krävas vattenhastigheter upp till 1 m/s även om jorden är relativt lös, men lerpartiklarna håller sig sedan svävande i vattnet så länge vattenhastigheten håller sig över några få centimeter per sekund.

Materialtransport i Furusundsleden

Figur 7 påvisar sambandet mellan erosion och ackumulation på ett tydligt sätt. Samma fenomen kan studeras på många håll längs Furusundsledens innerskärgårdsdel. En vanlig utveckling är att en moränstrand omvandlas till en klapperstrand som blir allt flackare, eller att en finsedimentstrand med vassvegetation blir alltmer utar-

mad på vass, varefter stranden så småningom kan omvandlas till en vegetationsfri sand- eller grusstrand, vilket förutsätter att den bakomliggande finmaterialstranden är begränsad och ej allt för brant.

Processerna är längs Furusundsledens fastlandsstrand oftast lätt iakttagbara och förhållandevis entydiga. Längs ledens östra sida är stränderna mindre känsliga och skeendet mindre tydligt. På fastlands-sidan är det emellertid uppenbart att materialtransporten i huvudsak sker i sydlig riktning. Några undantag finns, t ex vid Nykvarns holme (fig 7), men på det övervägande antalet lokaler där materialtransport kan konstateras, är strandmaterialet sorterat med finare fraktioner mot söder.

Orsaken kan måhända inte klart beläggas, men ett försök till förklaring skall göras. Det finns knappast skäl att anta att sorteringen skulle vara betingad av naturliga vattenrörelser eller strömmar. Den förhärskande vindriktningen är från sydvästkvadranten, vilket skulle ge motsatt sorteringseffekt. Naturliga strömmar av betydelse saknas i området, i varje fall sådana som har förmåga att transportera de aktuella fraktionerna. Det förefaller sannolikt att sorteringen är en effekt av fartygsrörelserna. Här kan såväl svallvågor som tryckvågor transportera material, men tryckvågorna åstadkommer endast en fram- och återgående vattenrörelse i samma riktning. Någon strandparallell transport initieras således inte av dessa vågor. Därvid återstår att förklara hur svallvågorna skulle kunna vara den transporterande faktorn.

Att svallvågor med sned angreppsvinkel mot stranden skapar materialtransport är ett välkänt faktum som knappast behöver beskrivas här. Vad som i stället behöver en förklaring är hur den dubbelriktade trafiken, med lika många passager i båda riktningar, kan skapa en övervägande enkelriktad materialtransport.

En tänkbar förklaring är att sydgående fartyg alltid går närmare fastlandsstranden. Detta är helt i enlighet med gällande sjövägsregler som föreskriver "högertrafik" på sjön och bekräftas också av sjöbefäl och

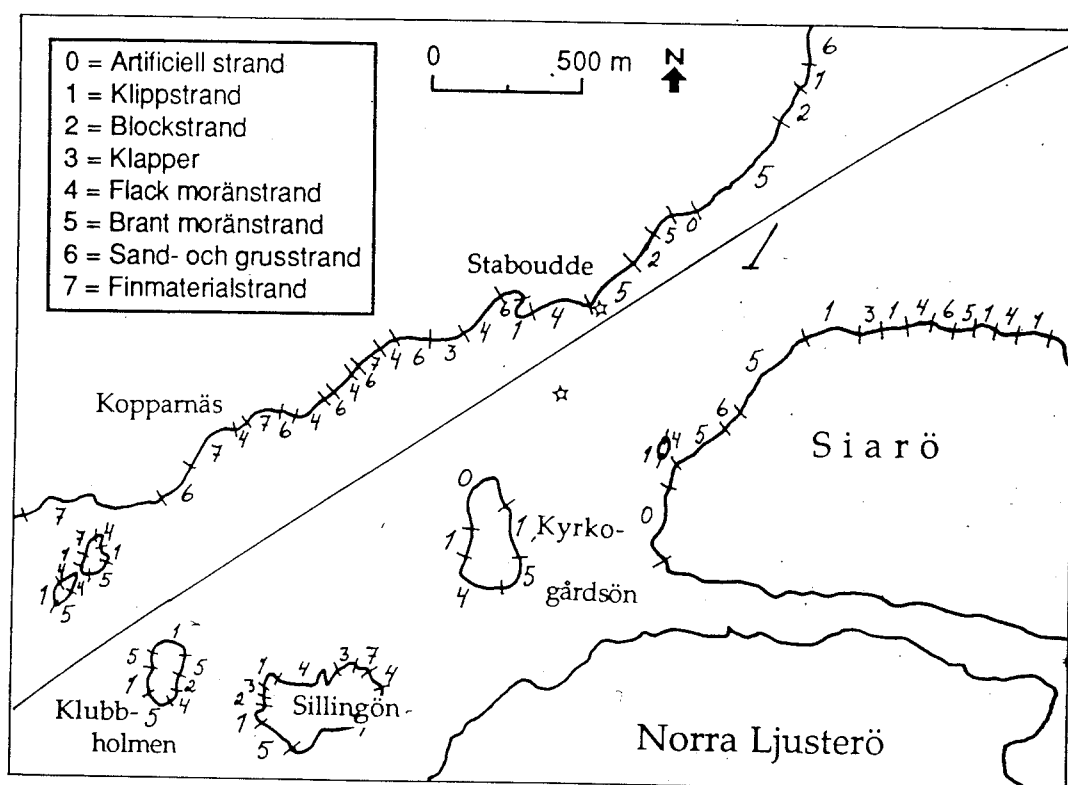


Fig 8. Exempel på grundmaterialet från inventeringen av materialegenskaper. Stranden är klassificerad enligt 8 materialklasser med olika motståndskraft mot erosion. Minsta beskrivningsenhet är 50 m.

lots i den aktuella leden. Trots att leden är smal, föredrar man av säkerhetsskäl att hålla väl styrbord för att inte överraskas vid eventuella mötessituationer.

Detta innebär, att svallvågorna från sydgående fartyg har kortare väg till stranden och därför innehåller mer energi som kan utföra ett transportarbete sydvart.

Teorin skulle kunna bekräftas om en motsatt sortering kunde iaktas på ledens östra stränder. Dessa stränder har dessvärre en helt annan karaktär, med färre erosions- och ackumulationszoner, och med en betydligt mer uppbruten ö-topografi än den västra strandens sammanhängande landmassa. Här kommer tryckvågornas vattenrörelser runt öarna att spela en helt annan roll för materialomlagringen vid uddar och sund än längs den obrutna fastlandskusten. Sortering med

avtagande kornstorlek norrut kan iakttas på ledens ost-sida, men inte i den omfattningen att entydiga slutsatser är berättigade.

Inventeringsresultat

Resultaten av kartläggningen av farledssträndarnas materialsammansättning föreligger som ett grundmaterial i kartform, där ett original förvaras på länsstyrelsens miljövårdsenhet och ett på naturgeografiska institutionen. Som exempel visas i fig 8 ett utdrag ur detta grundmaterial. I övrigt presenteras materialet i bearbetad form i föreliggande rapport. Bearbetningen utgörs av sammanfattande tabeller över materialsammansättning och prognoser för skaderisker vid fortsatt eller ökad trafik.

HELA FARLEDSLÄNGDEN STHLM-NYGRUND-SVÄNGEN

Klass	m	%
0: Artificiell strand	28221	10,4
1: Klippstrand	123196	45,3
2: Blockstrand	7199	2,6
3: Svallad klapper	19315	7,1
4: Flack moränstrand	39652	14,6
5: Brant moränstrand	22214	8,2
6: Sand- o grusstrand	5372	2,0
7: Finsedimentstrand	26605	9,8

Sammanlagd strand 271774

Farledslängd 137656

Tab 1. Längdmässig och procentuell fördelning av samtliga strandtyper i hela undersökningsområdet.

Av tab. 1 framgår fördelningen av strandtyper över hela undersökningsområdet, d v s både Sandhamns- och Furusundslederna, inklusive den gemensamma ledsträckningen mellan Stockholm och Trälhavet (jfr kartbilaga). Den totala farledslängden är 13,7 mil, och på

denna sträcka finns 27,2 mil strand inom 500 m från farleden. Räknas klasserna 0-3 till okänsliga och klasserna 4-7 till känsliga stränder, kan således drygt 65% av stränderna anses okänsliga. Vid närmare analys av materialet framkommer emellertid stora skillnader mellan olika delsträckor, varför mera detaljerade sammanställningar redovisas i figur 9 a-c.

I den gemensamma leden *mellan Stockholm och Trälhavet* (fig 9a) är 70% av stränderna okänsliga. Ett överraskande faktum är att nästan 25% av stranden är artificiell. Förklaringen är att här förekommer en hög andel äldre strandnära bebyggelse med kajer och tidigt anlagda erosionsskydd. I övrigt ansluter sig fördelningen av strandtyper till den normala.

Sandhamnsleden *mellan Trälhavet och Svängen* (fig 9b) har 76,5% okänsliga stränder, medan motsvarande siffra för Furusundsleden *mellan Trälhavet och Nygrund* är 52,8%. Detta bekräftar i siffror det allmänt kända förhållandet att Sandhamnsleden är en mindre känslig led än Furusundsleden. Det är också lätt att påvisa var de känsligaste delsträckorna är belägna. Tab 2 redovisar förhållandena för att antal olika delsträckor. Ur dessa data framgår att avsnittet Trälhavet-Staboudde svarar för ca 12 % av sammanlagd farledslängd, men hela 30% av sammanlagda längden känsliga stränder är lokaliserade till detta avsnitt.

Största intresset knyts till kategorin "brant moränstrand". Det är denna kategori som löper största erosionsrisken. Strandtypen förekommer i stort sett endast i ledernas inre delar, innanför Furusund respektive Kanholmsfjärden. Den utgör där 8-10% av strandlängden och är där tämligen jämnt fördelad över hela undersökningsområdet. Om hänsyn också tas till de branta moränsträndernas belägenhet i förhållande till vattendjupet, framträder bilden av de partier som sannolikt inte kommer att utveckla jämvikt. En sådan jämförelse visar att 2% av samtliga stränder är branta moränstränder vid djupt vatten (> 3 m). Huvudsakligen finns de längs Furusundsleden, medan Sand-

STOCKHOLM - TRÄLHAVET (87431 m strand)

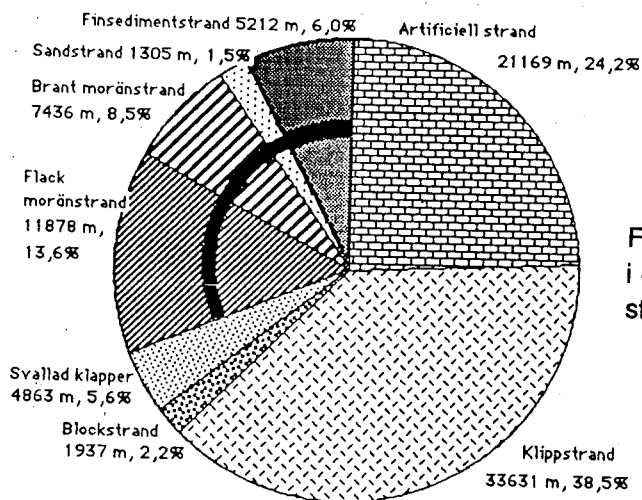


Fig 9a. Fördelning av strandtyper i den gemensamma farledssträckan Stockholm-Trälhavet.

TRÄLHAVET - SVÄNGEN (80572 m strand)

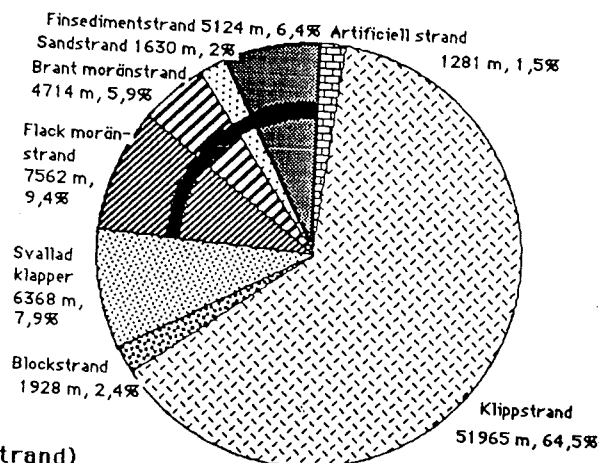


Fig 9b. Fördelning av strandtyper i ledsträckan Trälhavet-Svängen (Sandhamnsleden).

TRÄLHAVET - NYGRUND (103 869 m strand)

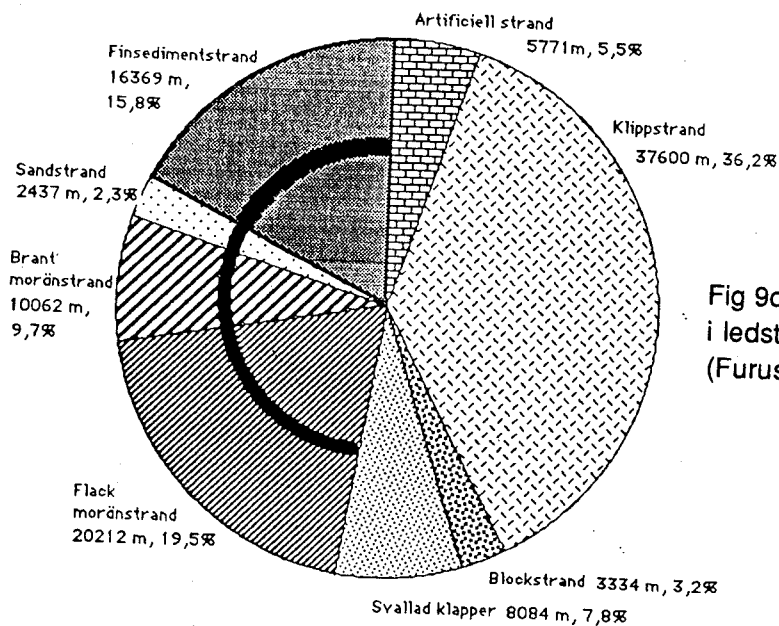


Fig 9c. Fördelning av strandtyper i ledsträckan Trälhavet-Nygrund (Furusundsleden).

Klass	FURUSUNDS- LEDEN			SANDHAMNS- LEDEN		
	Trälhavet- Staboudde	Staboudde- Furusund	Furusund- Nygrund	Trälhavet- Kanh. fj.	Kanh. fj.- Svängen	
	m %	m %	m %	m %	m %	m %
0: Artificiell strand	2948 6,0	2736 6,5	87 0,7	1281 2,2	0	0,0
1: Klippstrand	13806 28,1	16580 39,5	7214 00,0	34403 60,1	17562	75,4
2: Blockstrand	1244 2,5	1891 4,5	199 1,5	1617 2,8	311	1,3
3: Svallad klapper	3147 6,4	2711 6,5	2226 17,3	3706 6,5	2662	11,4
4: Flack moränstrand	8259 16,8	9391 22,4	2562 19,9	5771 10,1	1791	7,7
5: Brant moränstrand	4838 9,9	5124 12,2	100 0,8	4515 7,9	199	0,9
6: Sandstrand	995 2,0	1231 2,9	211 1,6	1157 2,0	473	2,0
7: Finsedimentstrand	13831 28,2	2289 5,5	249 1,9	4838 8,4	286	1,2
Sammanlagd strand	49068	41953	12848	57288	23284	
Farledslängd	16185	24539	21197	22983	19102	

Tab 2. Längdmässig och procentuell förekomst av strandtyper för olika farledsdelsträckor. För avsnittet Stockholm - Trälhavet, se fig 9a.

hamnsledens del av dessa stränder är försumbar. Prognosen för sådana stränder är inte god. Det visar sig dessbättre vid jämförelse med den skadeinventering som redovisas i ett följande avsnitt att 77% av dessa särskilt känsliga branta moränstränder vid djupt vatten ännu är i stort sett oskadade.

Slutsatser och ytterligare prognoser redovisas i ett följande avsnitt. Här skall i anslutning till tabellerna, som talar för sig själva, endast konstateras att det som gör Sandhamnsleden till en tåligare led än Furusundsleden, är dels att leden är kortare, med mindre strandlängd (80 km mot 104), dels att Sandhamnsledens andel av de känsliga stränderna är låg: endast 20% av totala andelen känsliga stränder återfinns i Sandhamnsleden. Resterande fördelar sig med 28% på den gemensamma leden och 52% på Furusundsleden.

I Sandhamnsleden är också andelen ren klippstrand 65%, vilket är ett betydligt högre värde än i övriga leder. Furusundsleden innehåller endast 36% klippstrand och den gemensamma leden 38%.

VATTENRÖRELSER VID FARLEDSSTRÄNDER

De vattenrörelser som påverkar materialet längs farledsstränderna är dels naturliga, dels fartygsalstrade. Längs större delen av de aktuella farlederna torde fartygen svara för större delen av vattenrörelsernas energiinnehåll (T Magnusson et al 1983). I ledernas yttre delar, över mer öppna vattenytor, svarar sannolikt de naturliga vattenrörelserna för större delen av strändernas förändring i den mån sådan förekommer. I de inre ledavsnitten blir emellertid strandens utseende huvudsakligen beroende av fartygstrafiken. Som tidigare diskuterats, är svallvågor och tryckvågor de viktigaste faktorerna. Svallvågor kan iakttas från alla fartyg, men tryckvågor av betydelse produceras endast från fartyg av finlandsfärjors storlek. Tidigare undersökningar (Daleke et al 1989, Sjöfartsverket 1980, Wermelin 1990) har fastställt en genomsnittlig svallvågshöjd från färjetrafiken i de inre vattnen till 30 à 40 cm.

I detta sammanhang är det väsentligt att diskutera även andra källor. Förutom av färjorna trafikeras lederna under hela året av annan yrkessjöfart, bl a passagerartrafik, och sommartid också av ett stort antal fritidsbåtar. Den tidigare citerade undersökningen av Ekblad (1988) visar att större halvplanande fritidsbåtar ofta åstadkommer betydligt större våghöjder än de stora färjorna. Sålunda mättes i hans undersökning från en "Windy" vid 12 knop våghöjder på över 80 cm. En sådan våg kan innehålla högre energinivåer än färjesvallvågor. Eftersom energiinnehållet också är våglängdsberoende måste skillnader i våglängd vid den aktuella farten vägas in. Tillgängliga mätningar av svallvågor från färjor (Daleke et al 1989) ger ett våglängdsmedelvärde på 8 m vid 12 knops fart. Dessvärre saknas uppgifter om våglängderna i den ovan citerade undersökningen, men det är att märka att "Windyn" i exemplet endast behöver ha en våglängd överstigande 3 m för att få högre energi i svallet än färjor vid samma fart. Det är sannolikt att våglängden överstiger detta värde.

För att klarlägga omfattningen av fritidsbåtarnas svallvågor gjordes inom ramen för föreliggande undersökning en förenklad studie av svall från fritidsbåtar. Avsikten var inte att beräkna energinivåerna. För detta krävs en mer detaljerad och noggrann datainsamling. Studien avsåg endast att ge en uppfattning om en normal storleksfördelning av svallvågor från lättare trafik.

I en farled trafikerad av lättare trafik placerades på 150 m avstånd från leden en våghöjdsjäkmätare. (Fast förankrad mätstång, vattendjup 2,6 m.) Vågornas totala amplitud avlästes mot mätstångens skala. Avläsningsosäkerheten uppskattas till ca ± 5 cm. De passerande båtarna grupperades i tre grupper efter radarmätt fart, nämligen <10 knop, 10-20 knop resp >20 knop. Segelbåtar noterades i särskild klass, men ingen av 53 passerande segelbåtar producerade mätbara svallvågor i rådande vindstyrka ca 5 m/s, vilket ger de flesta segelbåtar en fart av 4-6 knop.

Resultatet av undersökningen visar följande (jfr fig 10):

- I gruppen <10 knop passerade 34 båtar. Medelvärde av våghöjden är 14 cm. Endast 6 båtar producerade våghöjder över 20 cm. Maximal våghöjd i denna grupp är 60 cm.
- I gruppen 10-20 knop ingår 62 båtar. Spridningen är relativt stor, med våghöjder varierande mellan 5 och 95 cm. Medelvärde är 23 cm.
- I gruppen >20 knop ingår 55 båtar. Medelvärde av våghöjden är 20 cm.

Att våghöjden blir lägre i den "snabba" gruppen förklaras av att gruppen domineras av lättare, planande båtar som åstadkommer förhållandevis ringa svall. I denna grupp förekommer inga våghöjder under 15 cm, och högsta uppmätta höjd är 45 cm. Spridningen i denna grupp är således relativt låg jämfört med föregående.

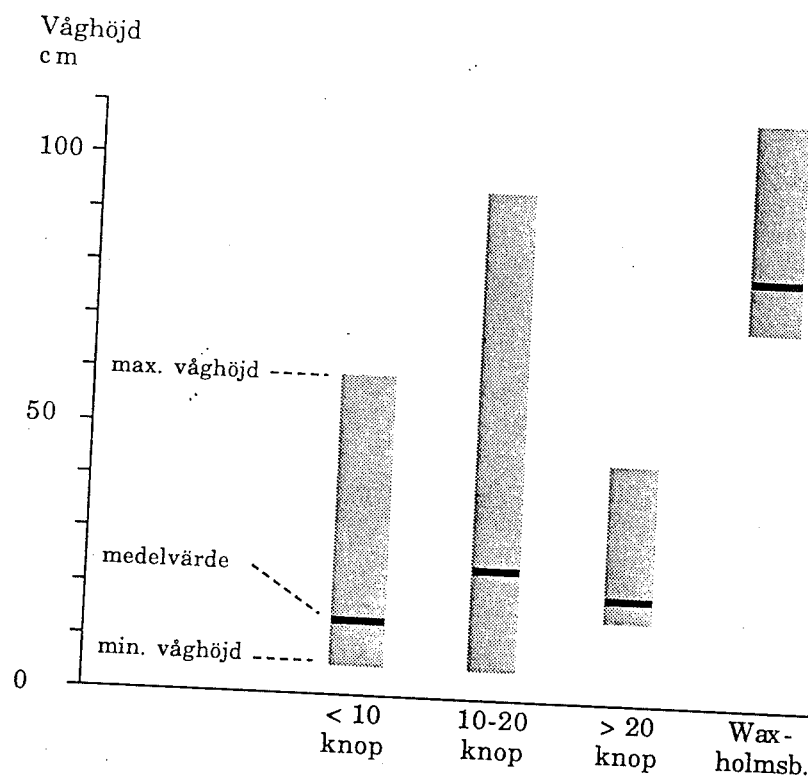


Fig 10. Resultatet av mätningar av svallvågshöjder från fritidsbåtar och Waxholmsbåtar.

Ytterligare en slutsats av denna begränsade undersökning kan också dras, nämligen hur stor andel av de 151 uppmätta motorbåtarna som producerade högre svallvågor än 40 cm. Det visar sig vid en sådan analys av materialet att 12 båtar totalt gav högre svall, alltså 8%.

Vid samma mätstation gjordes också en separat mätning av svallvågorna från passagerarbåtar, i huvudsak Waxholmsbolagets, av typ "Skärgården" och "Nordan". Dessa båtar åstadkommer kraftiga svallvågor, vid samtliga 12 uppmätta passager av olika båtar mättes mer än 70 cm våghöjd, och i några fall uppgick våghöjden till mer än 110 cm. Hastigheten förbi mätplatsen varierade mellan 14 och 19 knop.

Sammanfattningsvis kan ur denna översiktliga delstudie konstateras, att våghöjderna från fritidstrafiken i medeltal inte överstiger färjornas. Ett viktigt undantag utgör de ca 8% av fritidsmotorbåtarna

som åstadkommer högre våghöjd än 40 cm. Vad gäller passagerarbåtstrafiken gäller det motsatta, d v s att de i samtliga fall åstadkommer högre svallvågor än färjorna. Förutsättningar finns således för att såväl vissa fritidsbåtar som de flesta vaxholmsbåtar ger vågenergier som överstiger färjornas. Det bör understrykas att mätningen utfördes på ca 150 m avstånd från sjökortets farlededslinje, men båtarnas reella avstånd till mätstationen kan givetvis variera. Någon mätning av exakta avståndet till varje passerande båt utfördes inte i denna studie.

Tryckvågor

Varken fritidsbåtar eller passbåtar åstadkommer tryckvågseffekter som påverkar stränderna i nämnvärd utsträckning. I trånga sund eller i kanaler blir dessa effekter märkbara, men i de flesta andra farvatten kan de försummas. I lederna för tyngre tonnage och färjetrafik är emellertid tryckvågorna av en avsevärd omfattning, och de s k sugeffekter som blir följden av dessa tryckvågor orsakar vattenrörelser som har förmåga att transportera materialfraktioner upp till cm-storlek.

Mätningar av avsänkningens (sugeffekternas) storlek har gjorts av Daleke et al (1989) och Wermelin (1990). I det föregående (sid 19) har diskuterats avsänkningens beroende av farledens tvärsnittsarea i relation till fartygets tvärskeppsarea. Avsänkningens storlek bör således variera på olika platser längs leden. Detta är också ett välkänt faktum som bekräftas av de ovan nämnda undersökningarna. I Dalekes studie framgår också att olika fartyg ger olika avsänkningseffekter vid samma plats. Vad som inte studerats i rapporten, men som antyds av insamlade mätdata, är att avsänkningen tycks variera även för samma fartyg vid olika passager av samma plats. I ett examensarbete vid KTH inst för vattenbyggnad (Hammerfeldt et al), påvisas detta tydligt genom mätningar av utsugets strömningshastighet. Samma fartyg ger alltså olika avsänkningseffekt vid olika passagetillfällen. För att ytterligare befästa denna iakttagelse gjordes inom ramen för föreliggande undersökning en upprepade mätning av de faktiska avsänkningarna vid

två lokaler (bilaga 1). Mätningen bekräftar antagandet att avsänkningens storlek för ett visst fartyg är oförutsägbar. Iakttagelsen bekräftas vidare av fältstudier inom ramen för ett pågående examensarbete vid naturgeografiska institutionen, SU. Inom detta arbete (Hedén et al 1992) studeras förlusten av vassvegetation längs farlederna. Författarna till denna undersökning har noterat, men inte mätt, olikheterna i avsänkning från ett och samma fartyg vid olika tillfällen. Även boende längs farleden har konstaterat dessa olikheter (Thilén, muntl).

Avsänkningseffekternas storlek kan teoretiskt beräknas (Norrbin 1990) för symmetriska kanaler och rännor, men praktiken visar sig således alltför komplicerad för att teorier skall vara tillämpbara i en skärgårdsfarled med starkt varierande bottenpografi. I avvaktan på mer avancerade modeller för beräkning av vattenrörelser i naturliga miljöer, kan blickarna riktas mot de faktorer som kan tänkas medföra variationer i avsänkning. Det är tänkbart att vattenståndsvariationer förändrar farledsarean, liksom att olika last kan förändra fartygsarean. Vid mätningstillfällena var emellertid vattenståndet oförändrat och kan därför inte ha inverkat. Fartygsarean förändras vid olika last, men enligt uppgift från rederiföreträdare är lasten vid normal trafik tämligen konstant och djupgåendet ändras endast marginellt. Orsakerna till den varierande avsänkningen måste därför i huvudsak sökas på andra håll.

Eftersom avsänkningen även i teorin blir varierande vid olika fartygslägen i asymmetriska kanaler finns givetvis en del av förklaringen i att fartygen i praktiken inte följer ett exakt återkommande spår från gång till gång. Vidare är avsänkningseffekten beroende av fartygens hastighet. En förstärkning av effekten kan också åstadkommas vid de tillfällen fartygens propellrar arbetar för en fartökning, då den ökade vattenströmmen förbi propellrarna ytterligare bidrar till att öka undertrycket längs fartygssidan.

Efter en genomgång med fartygsbefäl och lotsar med stor erfarenhet av fartygens framförande i farlederna står det klart att de varierande avsänkningarna utan svårighet kan förklaras av skillnader i framfart från gång till annan. Fartygets läge kan avvika från farledsspåret i betydande omfattning. Detta behöver inte vara onormalt, utan betingas av yttre faktorer såsom förväntade eller inträffade möten, kompensering för rådande eller förväntad vindpress med följande avdrift eller av inre faktorer som befälets olika bedömning av lämpligt läge i farleden. Även i de smalaste delarna av lederna med en ledbredd av 80-100 m kan fartygets sidläge i leden variera inom 20-30 m från medelspåret. Vidare kan farten variera inom tämligen vida ramar, i huvudsak på grund av att farten har mycket stor betydelse för fartygets manöverförmåga. Inte bara läget i farleden utan också farten bestäms av möten och vindpress, liksom av den mänskliga faktorn i form av fartygsbefäl med olika bedömningar av lämplig hastighet.

En hittills ofta förbisedd faktor tycks vara inverkan av fartygens accelerationer. Längs farlederna förekommer ett flertal fartbegränsningar (se kartbilaga). Varje fartgräns följs av en acceleration med i vissa fall kraftigt ökade vattenrörelser. Vidare förekommer ofta accelerationer i samband med möten, för att öka fartygets manöverförmåga, eller vid ökande eller överraskande vindpress. Antalet accelerationer bestäms således till stor del av yttre förhållanden men kan under ogynnsamma omständigheter med många möten vara mycket stort. Uppskattningar pekar t ex på upp mot ett hundratal fartökningslägen under en enkel resa Stockholm - Åbo under sådana ogynnsamma omständigheter. Eftersom accelerationer måste påbörjas relativt långt innan önskad fart skall vara uppnådd, blir det uppenbart att vissa fartgränser är olämpligt placerade, eftersom avsänkningarna under ogynnsamma förhållanden kan förstärkas av att fartyget påbörjar acceleration inom det känsliga området, utan att därför överträda bestämmelserna. Detta diskuteras närmare i ett följande avsnitt (sid 64).

De nämnda individuella olikheterna i fartygens framförande förefaller vara fullt tillräckliga för att förklara de variationer i avsänkning som ett och samma fartyg åstadkommer vid olika passager av samma plats. En följd blir att avsänkningseffekterna sannolikt skulle kunna minimeras genom att fartygens framförande genom teoretiska beräkningar och praktiska försök låstes till läge och fart vid passage av känsliga områden. Det är dock tveksamt om detta är genomförbart med hänsyn till sjösäkerheten. En viss frivillig styrning mot "bästa läge" borde emellertid inte möta hinder, under förutsättning att dessa "bästa lägen" kan fastställas.

STRÄNDERNAS SKADOR

Inventeringsmetodik

I samband med inventeringen av strändernas materialegenskaper gjordes också en dokumentation av befintliga erosionsskador inom inventeringsområdet upp till 500 m från farleden. Denna dokumentation är uteslutande gjord genom fältinventering. Den önskade detaljeringsnivån uteslöt flygbildstolkning, eftersom minsta beskrivningsenhet i detta fall bestämts till 5 m. Så små skador kan inte kartläggas med tillräckligt hög noggrannhet från flygbilder i den aktuella skalan. En studie av flygbildsteknikens möjligheter vid skadekartläggning (Magnusson 1990) visar att först vid bildskalor större än 1:10 000 blir en detaljerad skadebild möjlig att tolka.

Eftersom det är angeläget att fånga in även små skador, har stränderna därför kontrollerats i fält. Samtliga skador med längre utsträckning än 5 m har klassificerats efter längd och skadegrad samt markerats på karta. Även skador på anlagda stränder har noterats om de fyllt kravet på större längd än 5 m. Genom denna gränsdragning kommer enstaka småskador på naturstränder, resp skador på mindre anläggningar, bryggor etc, att falla utanför inventeringen. Erfarenheterna från datainsamlingen i fält pekar dock entydigt på att förekomsten av dessa mindre skador inte är av den omfattningen att de rubbar helhetsbilden av naturstrandskador. Däremot har skador på anläggningar i de flesta fall en kortare utsträckning än 5 m, varför inventeringsmaterialet inte ger tillräckligt underlag för slutsatser om frekvensen av anläggningsskador.

Klassificering och definitioner

Erosionsskadorna på stränderna har hänförs till någon av tre klasser, beroende på skadans art. Klasserna är: 1/ Svår skada. 2/ Lätt skada. 3/ Skadad vass.

För att rubriceras som svår skada skall erosionen ha utvecklat en vertikal erosionsbrink högre än 0,5 m. Detta är en skada som är tydlig

Fig 11. Exempel på vad som i skadeinventeringen klassats som "svår skada". En tydlig brink ($> 0,5$ m) har uppstått.



även på längre håll, och som upplevelsemässigt uppfattas som ett "sår" i stranden (se fig 11). Dessa svårare skador har relativt långt till jämvikt. De är naturligtvis oftast kopplade till de branta moränstränderna.

De lätta skadorna uppvisar en erosionsbrink lägre än 0,5 m eller saknar tydlig brink. I dessa senare fall är i stället strandlinjen tydligt bearbetad och under sortering. Upplevelsemässigt är den tydligaste effekten på dessa stränder de kalspolade trädrötterna och den pågående vegetationsförlusten (se fig 12).

Skadad vass kan iakttas framför allt i Furusundsledens känsliga avsnitt mellan Trälhavet och Staboudde. Magnusson (1990) har genom att jämföra äldre och nyare flygbilder kunnat belägga en omfattande förlust av vass längs farleden i detta område. Förlusterna är kopplade till stränder i exponerat läge. Det är fullt möjligt att iaktta förstadierna till denna förlust genom att studera vassens utseende. En första påverkan ger ett tuvigt, kvastformigt växtsätt (fig 13). I nästa stadium tappar "tuvan" rotfästet och faller.



Fig 12. Exempel på vad som i skadeinventeringen klassats som "lätt skada". Stranden är vegetationsfri och trädrötter är frispolade, men erosionsbrinken är liten eller obefintlig.



Fig 13. Exempel på skador på växande vass. Vassen antar i ett första skede ett kvastformigt växtsätt och dör i ett nästa skede.

Den exakta mekanismen bakom detta är inte känd och tidigare inte studerad. Det förefaller sannolikt att finmaterialet runt vassrötterna transporteras bort, möjligen genom att Bernoullivågor accelererats mellan vassrötterna. Här skulle möjligen kunna göras en jämförelse med förhållandena på tidvattenkuster, där vattenströmmarna skapar särskilda kanaler med tidvis tämligen höga vattenhastigheter. Ett pågående examensarbete vid naturgeografiska institutionen har målsättningen att ytterligare belysa dessa problem (Hedén et al. opubl).

Det är givet att vågor och strömmar även påverkat stränder som inte klassificerats som skadade. Också i klapperstränder som i stort kan betraktas som färdigeroderade förekommer rörelser och förändringar, även om de är av mindre omfattning. Inventeringens metodik och gränsdragning klarar inte dessa osynliga och långsiktiga rörelser, utan syftar till att så fullständigt som möjligt dokumentera synliga skador.

Som föremål för ytterligare studier är emellertid dessa långsammare rörelser i sten- och eventuellt även blockstränder synnerligen intressanta. En dylik undersökning måste i så fall spänna över en längre period, sannolikt några år, med märkning och täta kontroller av det märkta materialets rörelser såväl över som under vatten.

Inventeringsresultat

I likhet med inventeringen av strändernas materialsammansättning är dokumentationen av skador redovisad i kartform. Originalkartor förvaras på länsstyrelsens miljövårdsenhet resp naturgeografiska institutionen. I fig 14 visas exempel på redovisningens omfattning. Skadeklass och skadad strandlängd för varje enskilt skadeobjekt har noterats. Skadorna är också relaterade till materialklass. Därigenom framträder bilden av hur skadorna fördelar sig på de olika typerna av stränder, d v s vilka stränder som i praktiken är de känsligaste. (Tab 4).

I tabellen redovisas samtliga leder, men de är uppdelade på delsträckor. Det kan direkt konstateras att Sandhamnsledens skador i

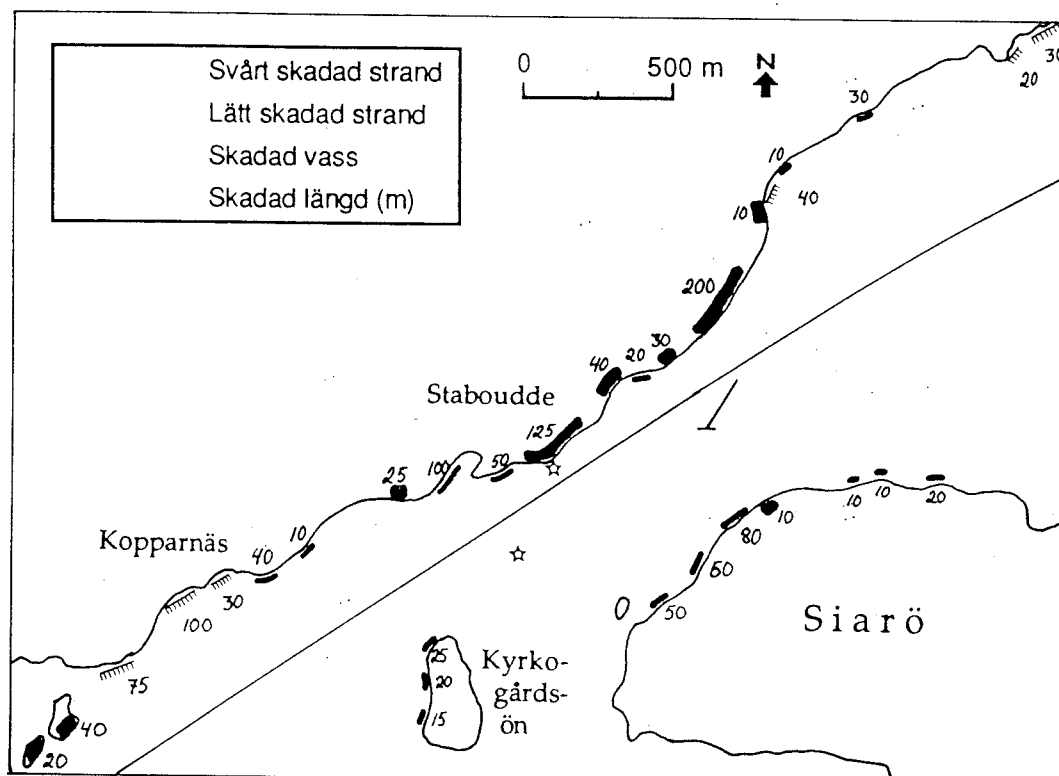


Fig 14. Exempel på grundmaterialet från inventeringen av erosionsskador. Skadornas längd och typ är registrerad. Minsta beskrivningsenhet är i denna inventering 5 m.

jämförelse med Furusundsledens är blygsamma. Det största intresset knyts därför till sträckan Stockholm-Furusund, som redovisas i flera delsträckor.

Den föreliggande inventeringen av Furusundsledens skador visar tydligt de regionala skillnaderna i skadornas fördelning. Som väntat svarar avsnittet Trälhavet-Staboudde för en stor andel skador i förhållande till farledslängd.

Av tabell 4 framgår samtliga skador i Furusundsleden fördelade på delområden. Ur tabellen kan utläsas att antalet skadeplatser i hela leden från Stockholm till Furusund är 236, men att merparten givetvis återfinns i de inre skärgårdsområdena. Ledavsnittet bortom Furusund kan i stort sett betraktas som oskadat och redovisas inte i tab 4. Ett viktigt undantag här är dock Marö och vissa partier av L. Gräskö som upp-

visar bitvis svåra skador. Längdmässigt är dessa emellertid av blygsam omfattning.

En analys av tabell 4 leder till slutsatsen att andelen skadade stränder dessbättre inte är oroande hög. Om det motståndskraftiga ledavsnittet bortom Furusund undantas, och endast innerskärgårdsområdena tas med i en beräkning, visar det sig att sammanlagda längden av alla skadetyper i Furusundsledens känligaste delar mellan Trälhavet och Furusund är ca 4,5 km. Detta innebär att endast 5 % av ledens stränder uppvisar någon skada.

En intressant iakttagelse som framkommer vid en noggrannare analys av kartmaterialet är att merparten av skadorna finns i farledernas omedelbara närhet. Inom 300 m från leden återfinns 71% av samtliga noterade skador. Detta talar för giltigheten av Fagerholms iakttagelse (1976) att skadorna snabbt avklingar med ökande avstånd.

Tabell 4 bekräftar den branta moränstrandens känslighet. Strandtypen är kraftigt överrepresenterad i skadestatistiken. De branta moränstränderna svarar för ca en tredjedel av samtliga skador, men utgör endast 8% av den totala strandlängden. Dessbättre är fortfarande merparten av dessa stränder ännu oskadade, noga räknat 87%.

I tabell 4 redovisas även skador på klipp- och blockstränder, som i det föregående klassats som okänsliga stränder. Denna egendomlighet förklaras av undersökningens uppläggning, som innebär att materialklassificeringen är betydligt mer översiktlig än skadeklassificeringen. En mindre skada på en ficka av t ex brant moränstrand i ett område med dominerande klippstrand kommer därför i sammanställningen att se ut som en skada i klippstrand. Minsta beskrivningsenhet för material är 50 m och för skada 5 m, vilket således kan ge upphov till de skenbara paradoxerna i tab 4.

Studerars helhetsbilden av skador i samtliga leder kan bland annat konstateras att mer än 50% av samtliga skador registrerats i det begränsade avsnittet Trälhavet – Stabo udde, ett avsnitt som endast

Farledsavsnitt	Antal skadeplatser	Typ av skada	Avsnittets farledslängd										
			Avsnittets strandlängd										
			7. Finsedimentstrand										
			6. Sandstrand										
			5. Brant moränstrand										
			4. Flack moränstrand										
			3. Svallad klapper										
			2. Blockstrand										
			1. Klippstrand										
			0. Artificiell strand										
STHLM - TRÄLHAVET	68	Lätta skador	270	175	10	310	390	525	25	60	1765	87431	33698
(GEMENSAM LED)	30	Svåra skador	75	70	5	30	20	385	30	10	625		
	2	Skadad vass		10						30	40 (Tot. 2430)		
TRÄLHAVET	46	Lätta skador	120	25		160	525	465	20	90	1405	49068	16185
—	27	Svåra skador	40	60	5	20	195	125	5	30	480		
STABOUDE	15	Skadad vass	30							1085	1115 (Tot. 3000)		
STABOUDE	30	Lätta skador	20	115	20	25	200	465	20	60	925	41953	24539
—	13	Svåra skador				40	45	375	10	10	480		
FURUSUND	5	Skadad vass								120	120 (Tot. 1525)		
TRÄLHAVET - SVÄNGEN	73	Lätta skador	150	210	50	235	205	255	15	40	1160	80572	42085
(SANDHAMNSLEDEN)	21	Svåra skador		95	15	350	5	85			550		
	17	Skadad vass					65			450	515 (Tot. 2225)		
TRÄLHAVET - FURUSUND	136	Totala skador	210	200	25	245	965	1430	55	1395	4525		
(FURUSUNDSLEDEN)		Total förekomst	5684	30386	3135	5858	17650	9962	2226	16120	91021	91021	40724
		Andel skador i % av total förekomst	3,6 %	0,6 %	0,7 %	4,1 %	5,4 %	14,4 %	2,5 %	8,6 %	5,0 %		
SAMTLIGA LEDER	347	Totala skador	705	760	105	1170	1650	2680	125	1985	9180		
		Total förekomst	28221	123196	7199	19315	39652	22214	5372	26605	271774	271774	137656
		Andel skador i % av total förekomst	2,4 %	0,6 %	1,4 %	6,0 %	4,2 %	12,1 %	2,3 %	7,5 %	3,4 %		

Tab 3. Skadornas fördelning på olika strandtyper, redovisade för skilda ledavsnitt.
(Meter skadad strand och andel skador i %.)

utgör 13% av totala farledslängden. Vidare framgår av sammanställningen att den sammanlagda längden skadad strand är ca 9 km, varav drygt 8 km utgörs av naturstrand och resten är skadad anlagd strand. Här bör dock noteras att det enbart gäller anläggningsskador längre än 5 m. Dessa 9 km utgör 3,4% av total strandlängd inom 500 m från lederna och fördelar sig med 2,2 km på Sandhamnsleden, 4,5 km på Furusundsleden och 2,4 km på den gemensamma leden mellan Stockholm och Trälhavet.

Ställs längden skadad strand i relation till farledslängd framgår tydligt Sandhamnsledens relativa okänslighet. I Furusundsleden skadas 1 meter strand per 12 meter farled, vilket i Sandhamnsleden motsvaras av 1 meter strand per 20 meter farled.

Det kan också ha sitt intresse att uppskatta de "svåra" skadornas omfattning. Det är kanske framför allt dessa skador som är de spektakulära, och som väcker undran och oro för vad som sker. En "svår" skada definieras i undersökningen som en erosionsbrink högre än 0,5 m. Den totala längden av dessa svåra skador är i hela undersökningsområdet drygt 2000 m, utspritt på 91 platser längs den 272 km långa inventerade strandsträckan. Detta betyder att en 20 m lång skada i medeltal uppträder på var tredje kilometer strand. Antar vi att ett medelvärde på erosionsbrinkens höjd är 1 m, kommer den blottade moränbrinken att totalt uppta 2000 m², vilket knappast kan sägas vara anmärkningsvärt mycket på en strandlängd av drygt 27 mil. Det motsvarar närmast den asfalterade ytan på 100 m av en motorväg. Skulle räkneexemplet kompletteras med även de lättare skadorna (ca 5,5 km), som inte har en lika tydlig brink men ändå kanske kan anses ha förändrat stranden i motsvarande grad, förlängs sträckan i "motorvägsexemplet" till knappt 400 m. Siffrorna antyder måhända att i jämförelse med den miljöförändring som åstadkoms av den landbaserade trafiken är sjöfartens effekter på naturstranden blygsamma.

Markägar-enkät

Inom ramen för det ideella arbete som utförs av föreningen "Rädda Furusundsleden", vars målsättning är att belysa markägarnas inställning till fartygstrafiken i Furusundsleden, har utförts en omfattande enkätundersökning (Thilén). Undersökningen uppfyller inte krav på vetenskaplighet men innehåller frågeställningar av stort intresse för bedömningen av erosionsskadornas omfattning. Markägarna längs Furusundsledens stränder mellan Oxdjupet och Kapellskär, även sådana som har strand mer än 500 m från leden, har besvarat frågor om andelen skadad anlagd strand resp naturstrand, skadornas art och eventuella övriga iakttagelser. Enkäten har fått en mycket hög svarsfrekvens, ca 75%.

Resultatet av enkäten är under bearbetning. En preliminär sammanställning av markägarnas egen uppfattning om skadad naturstrand är utförd och kan jämföras med den skadeinventering som utförts för föreliggande rapport (fig 15). Efter utsortering av ett fåtal felaktiga, icke bearbetningsbara eller uppenbart osanna enkätsvar visar det sig att enkätens markägare med strand på mindre än 500 meters avstånd från farleden sammanlagt anger 6,6 km naturstrand som skadad. Ett pålägg med 40-50% bör kompensera uteblivna och felaktiga enkätsvar, vilket ger en uppskattad skadelängd om 9-10 km. Någon exakt definition på begreppet skada är inte angiven, men det kan konstateras att även små skador är redovisade. Sammanställningen bygger också på markägarnas egen uppfattning om avståndet till farleden. Det inventerade området i enkäten omfattar stränderna från Oxdjupet till Kapellskär, en sträcka som omfattar 85,3 km naturstrand och 5,6 km artificiell strand inom 500 m från farled. I föreliggande skadeinventering har 5,1 km skadad naturstrand noterats längs motsvarande sträcka (fig 15). Markägarnas egen uppskattning överstiger således denna förmodat objektiva undersökning, vilket borde förväntas, bl a med tanke på att markägarundersökningen är utpräglad subjektiv och även omfattar

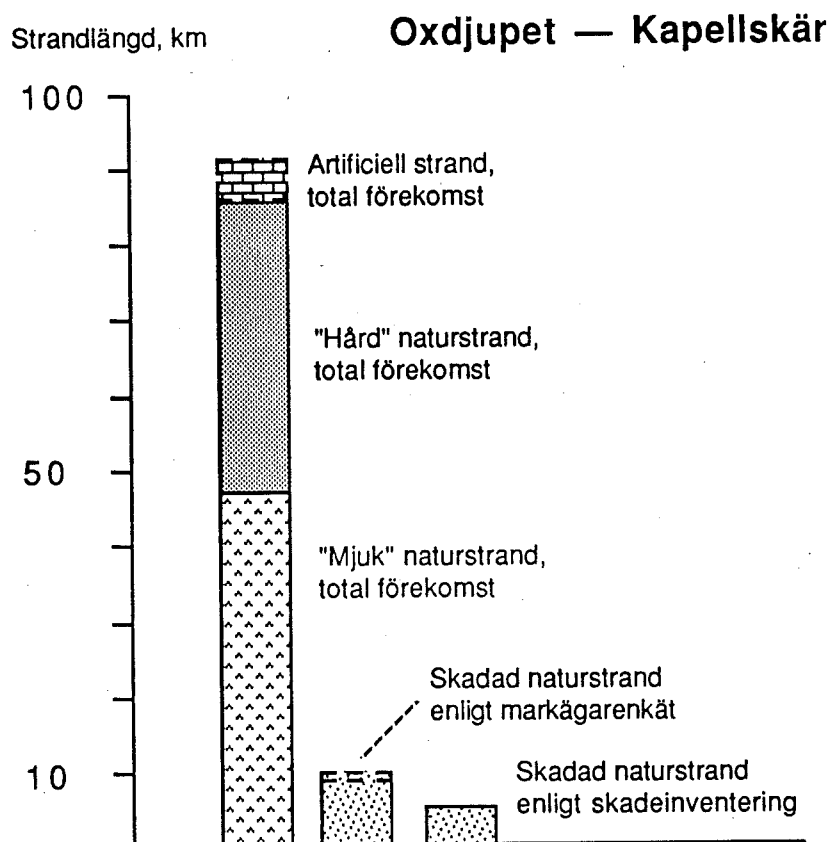


Fig 15. Jämförelse mellan skadeinventering och markägarenkät vad gäller andel skadad naturstrand mellan Oxdjupet och Kapellskär.

många små skador mindre än 5 m. Det kan konstateras att enkäten anger ett värde på 10-11% skadad naturstrand längs den aktuella sträckan, medan föreliggande undersökning ger 6%. Skillnaden är inte alarmerande stor. Ur enkätsvaren kan utläsas att *markägarna oftast är mer oroade över skador på anläggningar*. Eftersom anläggningsskadorna är många men korta, oftast kortare än 5 m, är dessvärre inte rapportens skadeinventering jämförbar med enkäten vad gäller anläggnings-skador. Vad som emellertid kan bekräftas genom markägarenkäten, som spänner över ett större avstånd från farleden än skadeinventeringen, är att merparten av skadorna finns inom 500 m från farleden.

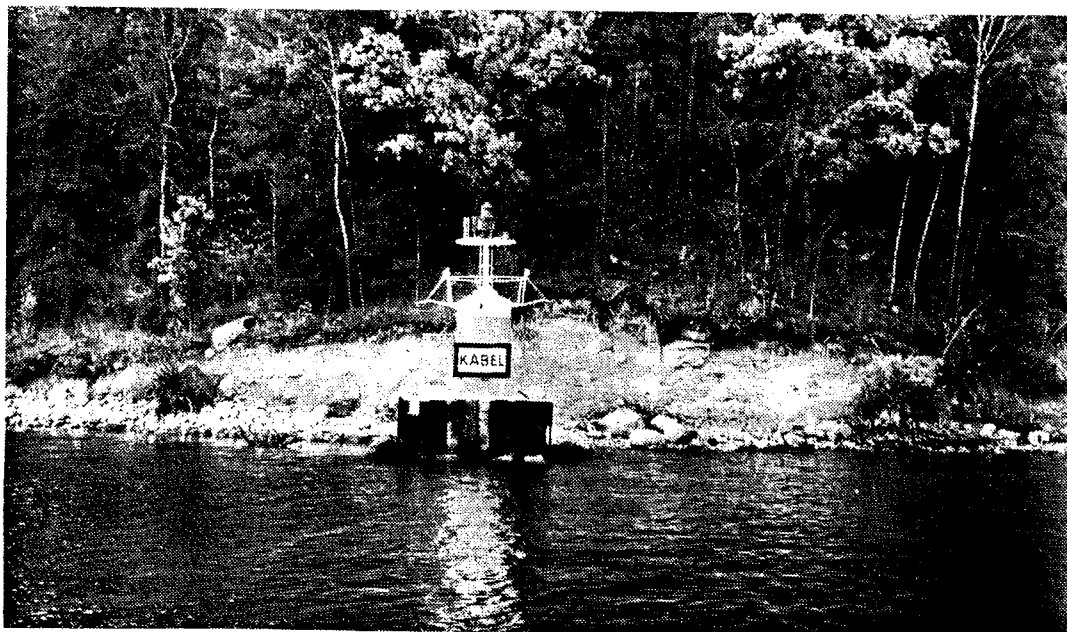
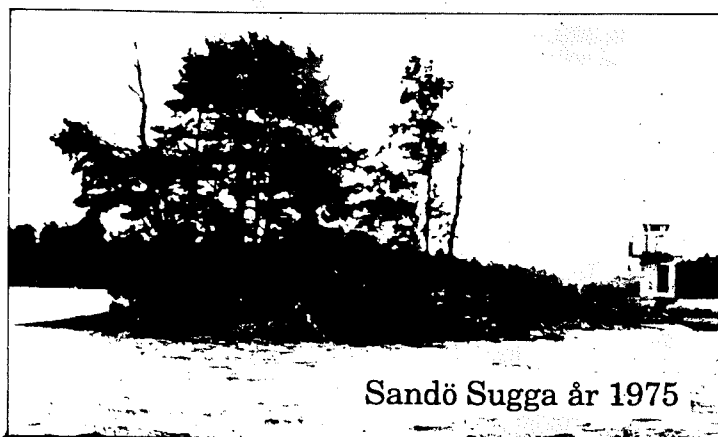


Fig 16. Staboudde. "Klassisk" skadelokal i Furusundsleden. Strandmateriet är mycket lättroderat, och trafiken har under en följd av år skapat en erosionsbrink som ofta fått exemplifiera fartygens skadeeffekter. Brinken vid Staboudde kan dock inte betraktas som representativ för skadebilden längs farledernas övriga stränder.

Enkäten omfattar ytterligare ca 500 m från leden, men skadetillskottet inom detta mer avlägsna avsnitt är inte mer än 2,1 km (efter 40-50% pålägg ca 3 km). *Det kan således slås fast, att övervägande delen av skadorna inträffar inom 500 m från farled.*

Skador i övriga farleder

Strandförändringarna i Sandhamns- och Furusundslederna är på vissa platser iögonenfallande, och lokaler som Staboudde och Nykvarns holme är ofta utnyttjade för att demonstrera färjetrafikens effekter (fig 16 resp fig 7, sid 33). Dessa båda lokaler utgör spektakulära exempel på strandförändring längs lederna, främst genom de förhållandevis omfattande erosionsbranterna. Mindre spektakulär men sannolikt mer aktiv, är erosionen av grusöar som Sandö Sugga i Sandhamnsleden (fig 17), där ingen tydlig erosionsbrink uppstår men ön sakta minskar i omfattning. Sandö Sugga var fram till 1960-talet trädbevuxen men har



Sandö Sugga år 1975



Sandö Sugga år 1991

Fig 17. Sandö Sugga är en grusö, en "ör", i Sandhamnsleden norr om Värmdö. Ön är utsatt för abrasion utan att ett tydligt strandhak uppstår, men den eroderas mycket hastigt.

utvecklats i rakt motsatt riktning mot den naturliga. I stället för att med hjälp av landhöjningen tillväxa, har holmen blivit mindre och mindre. Varje annan förklaring än fartygstrafiken är orimlig.

Att ett strandhak inte utvecklas i detta fall och signalerar en strand i obalans beror på att öar och holmar som likt Sandö Sugga består av grovt isälvsmaterial inte har friktionskrafter som är tillräckliga för att upprätthålla en vertikal erosionsbrink. Materialet rör sig i stället utåt längs en flack och jämn profil, och stranden ser i stort sett opåverkad ut.

Nu är emellertid strandförändring p g a fartygstrafik inte exklusivt knuten till de stora farlederna Sandhamns- och Furusundsleden. I de mindre lederna i inner- och mellanskärgården finns på många håll skador som i omfattning och utseende är helt i paritet med vad som återfinns i de större lederna (fig 18). I syfte att uppskatta utbredningen av skadorna i mindre leder genomfördes en begränsad skadeinventering för några mindre farledsavsnitt efter samma principer som för huvudfarlederna. Eftersom ingen totalinventering av de mindre lederna

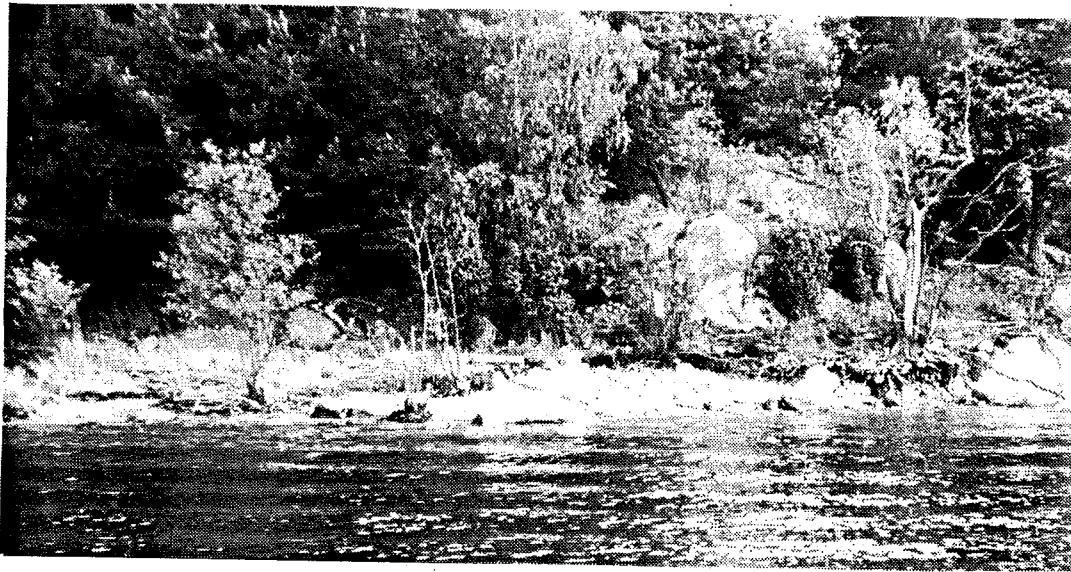


Fig 18. Karklö i mellanskärgården. Längs de mindre lederna för fritidsbåtar och lättare yrkestrafik finns erosionsskador av samma omfattning som längs huvudfarlederna.

är gjord, kan inga definitiva slutsatser dras, och de inventerade partierna är sannolikt inte helt representativa för genomsnittet, genom att de har en förhållandevis hög trafikbelastning.

Resultatet av denna inventering visar emellertid att längs 15,2 km inventerad farled (fig 19) finns 32,5 km strand, varav 1,8 km uppvisar skada. Proportionerna mellan "svåra" och "lätta" skador är i dessa områden ungefär desamma som i huvudfarlederna. Skadad vass återfinns även i de mindre lederna men inte i samma omfattning som t ex i de inre delarna av Furusundsleden. Den procentuella andelen skadad strand i det undersökta området är 5,6%, men då är att märka att det valda ledavsnittet sannolikt uppvisar en överrepresentation av skador p g a den intensiva trafiken. Siffran kan dock jämföras med den som gäller ett motsvarande utvalt "känsligt" parti av Furusundsleden (Trälhavet – Stabo Udde) där skadeandelen är upp till 7%. Vad som emellertid står klart, är att *enbart detta begränsade mellanskärgårdsavsnitt svarar i absoluta tal för en längd skadad strand som i det närmaste motsvarar sammanlagda skador i hela Sandhamnsleden.*

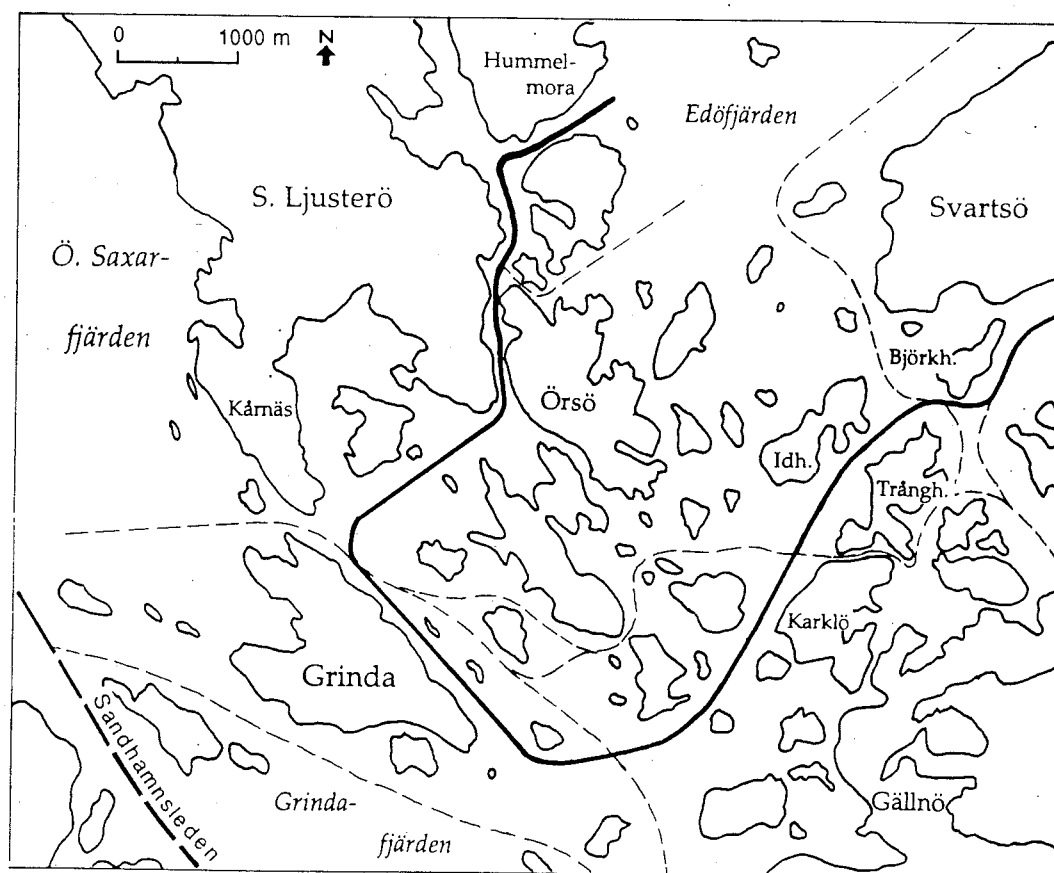


Fig 19. I ett livligt trafikerat område av mellanskärgården har en huvudfarled (heldragen linje) inventerats med avseende på erosionsskador. Leden uppvisar i stort sett samma skadebild som de större tungtrafiklederna. Längs denna relativt korta ledsträcka förekommer i det närmaste lika mycket skador som längs hela Sandhamnsleden.

Dessa skador behöver inte betraktas som ett allvarligt naturmiljöproblem, men visar att frågan om strandskador inte kan begränsas till att endast gälla de större farlederna och den tyngre trafiken.

DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Föreliggande utredning påvisar var och i vilken utsträckning skador längs farledsstränder förekommer. Skadorna varierar i omfattning men är ingenstans mer omfattande än på de "klassiska" lokalerna Staboudde och Nykvarnsholme, som oftast får exemplifiera den våldsamma stranderosionen i mediadebatterna. Tvärtom måste slutsatsen av utredningen bli, att skadorna totalt sett är blygsamma. Om samtliga skador på naturstrand längs lederna summeras, blir längden (ca 8 km) mindre än en tredjedel av den totala längden artificiell strand (28 km). *Med andra ord har mänsklig anläggningsaktivitet längs lederna förändrat mer än tre gånger så mycket naturstrand som idag är synbart skadad av fartygstrafik.*

Det bör också diskuteras vad som kan rubriceras som "skada" i detta sammanhang. Ofta utgår man i debatten från att det material som transporteras från erosionsområden förs ut till djupområden, där det deponeras. En del av det finare materialet sedimenterar sannolikt på djupare vatten, men merparten av transporten sker längs stranden, och skapar ett ackumulationsområde på annan plats. I klartext, och med någon förenkling, innebär detta att för varje skada som uppstår, skapas en sandstrand någon annanstans. Vad som pågår längs farlederna är en anpassning av strandmaterialet till rådande vattenrörelser. Detta förändrar lokalt förhållandena från lugnvattenbiotoper till mer exponerade biotoper. Ekologin förändras men förstörs inte, eftersom påverkan endast är mekanisk, och förändringen är inte irreversibel. (Annorlunda ställer det sig dock med de emissioner av miljöskadliga ämnen som blir följden av fartygstrafikens utsläpp i lederna, huvudsakligen i luften.) Det bör i detta sammanhang också framhållas, att även om slutsatserna innebär att den mekaniska påverkan på naturmiljön är förhållandevis harmlös, bör såväl estetiska hänsyn som hänsyn till anläggningar längs farlederna vägas in.

Beträffande den aktuella skadebilden kan konstateras att mer än 96 % av farledernas stränder är oskadade. Det kan möjligen diskuteras

huruvida även klapperstränderna bör räknas som skada. De är nu tämligen stabila stränder men är likafullt en produkt av erosion. Väljer man att inbegripa även sådana stränder i begreppet erosionsskada, minskar de oskadade strändernas andel till ca 90 %. *Slutsatsen måste emellertid fortfarande bli att skadeomfattningen i ett helhetsperspektiv inte är oroande hög.* Däremot är det obestridligt att fartygstrafiken lokalt orsakar spektakulära och i flera fall allvarliga skador på stränder och anläggningar. Det finns därför kanske skäl att i första hand betrakta erosionsskadorna som problem på en lokal nivå snarare än på regional nivå. Eftersom undersökningen visar en förekomst av likartade skador också i mindre farleder utan tung trafik, kan inte diskussionen om erosionsskador heller begränsas till att gälla endast farleder för tung trafik. "Klassiska" skadelokaler som Nykvarnsholme och Staboudde har paralleller av motsvarande dignitet på Karklö, Trångholmen och St. Idholmen, där fritids- och passagerarbåtstrafik är allenarådande. Strandskador som vållas av fartygstrafik är utan tvekan ett växande problem på det lokala planet, där erosionssåren utgör en källa till oro och irritation, och det bör därför i första hand lösas på ett lokalt plan. Undersökningen visar att i ett regionalt perspektiv kan knappast fartygstrafik utgöra ett allvarligt hot mot stränderna.

I sammanhanget måste också vägas in den påverkan som fartygstrafiken utövar på vassbestånden längs lederna. Flera undersökningar (Magnusson 1990, Hedén et al 1992) visar entydigt vassarnas oförmåga att motstå den fartygsalstrade erosionen. Förlusten av vassbestånd pågår kontinuerligt och är tämligen omfattande. (Förlorade vassbestånd ingår inte som "skada" i föreliggande inventering.) Denna biotopförändring har stor betydelse för ekosystemen på grunda vatten, och den är inte försumbar.

Under de senaste 30-40 åren har å andra sidan påvisats att vassarna har haft en ökande tillväxt och utbredning än tidigare. Vassarna gynnas av den av människan skapade övergödningen av våra vatten. Här

uppstår således en paradoxal situation, där man på olika håll arbetar dels med att utreda vassarnas minskning längs farleder, dels med att utreda hur man på ett miljövänligt sätt skall kunna hejda igenväxning av hamnar och vikar.

I rapportens inledande delar har konstaterats den bristande överensstämmelsen mellan teori och praktik då det gäller hittills uppmätta vattenhastigheter och kvarvarande kornstorlekar längs stränderna. De mätningar som senare utförts kan bara bekräfta denna diskrepans (bilaga 1 och Hammerfeldt et al 1992). Det tycks som om de högsta vattenhastigheterna närmast botten uppnår maximalt 2 m/s, vilket inte räcker för att med hjälp av Hjulströmkurvan förklara uppkomsten av de klapperstränder som blir resultatet av den fartygsalstrade erosionen. Strömhastigheterna måste åtminstone fyrfaldigas för att de observerade restfraktionerna skall stå i samklang med Hjulströms kurva (fig 1a, sid 11). Kurvan avser emellertid transport i strömmande vatten med ingen eller mycket låg gradient, och vattenhastigheterna är uppmätta 1 meter ovan botten. Vid naturliga stränder är lutningen oftast betydligt större, och det är sannolikt att tyngdkraften påverkar och underhåller transporten i betydligt högre grad än vad man antagit. Det är inte omöjligt att en enkel förklaring till den stora skillnaden mellan praktik och hittills gällande teorier finns att få i mätningar av strandens lutning.

Fartbegränsningar

Om miljöeffekterna av fartygstrafik tas upp till diskussion, bör också möjligheterna till enkla förbättrande åtgärder diskuteras. Farledsstränderna kan naturligtvis skyddas genom rent mekaniska konstruktioner såsom spontning av kajer, erosionsskydd längs stränder etc. En åtgärd som dock förefaller angelägen är en översyn av gällande fartbestämmelser längs lederna. Det är uppenbart att dessa fartbegränsningar inte ger största effektivitet då det gäller fartyg av färjornas storlek. Ett exempel kan belysa detta:

Vid Stabo i Furusundsleden är farleden smal och relativt grund. Den ringa tvärsnittsarean ger påtagliga avsänkningseffekter då de större fartygen passerar, och stränderna på båda sidor om farleden är svårt eroderade. Det känsliga området sträcker sig 500-1000 m norr- resp söderut från fyren Stabo udde. För att skydda stränderna har i relativt sen tid införts en fartbegränsning för Åbo-trafiken, som i övrigt har dispens för 15 knop på de flesta sträckor där övrig trafik är begränsad till 12 knop. Förbi Stabo udde skall även Åbo-trafiken passera med 12 knops fart. Det fartbegränsade området är definierat till 500 m på ömse sidor om fyren.

Detta innebär, att ett fartyg på utgående har saktat ner till 12 knop när den södra gränsen passeras. Då fyren passeras, och ca 500 m återstår, påbörjar fartyget sin acceleration, för att vid passage av den norra gränsen börja öka sin fart över grund. För fartyg på ingående mot Stockholm gäller samma förhållande fast omvänt. Innebörden av detta är att i stort sett hela den skyddsvärda sträckan kommer att påverkas av fartyg under acceleration. Accelerationen kan på grunt vatten bidra till att avsänkningseffekten förstärks genom propellrarnas arbete (fig 20a).

En fartbegränsning i syfte att ge maximalt skydd åt stränderna borde möjligen i stället utformas på så sätt att in- resp utgående fartyg har olika fartbegränsade sträckor, som är förskjutna i förhållande till varandra på så sätt att sträckan för sydgående fartyg förskjuts söderut, medan sträckan för nordgående fartyg förskjuts norrut (fig 20b).

Det är vidare uppenbart att somliga fartbegränsningar levt vidare trots att orsaken till begränsningen gått ur tiden. Ett sådant exempel står att finna vid Uvön i Furusundsleden, där fartbegränsningen ursprungligen tillkom för att skydda en isövergång som numera ej är aktuell. Accelerationen efter fartbegränsningen kan påverka känsliga stränder på fastlandssidan ogynnsamt, och det kan ifrågasättas om inte denna fartgräns kan göra betydligt bättre nytta med ett annat läge.

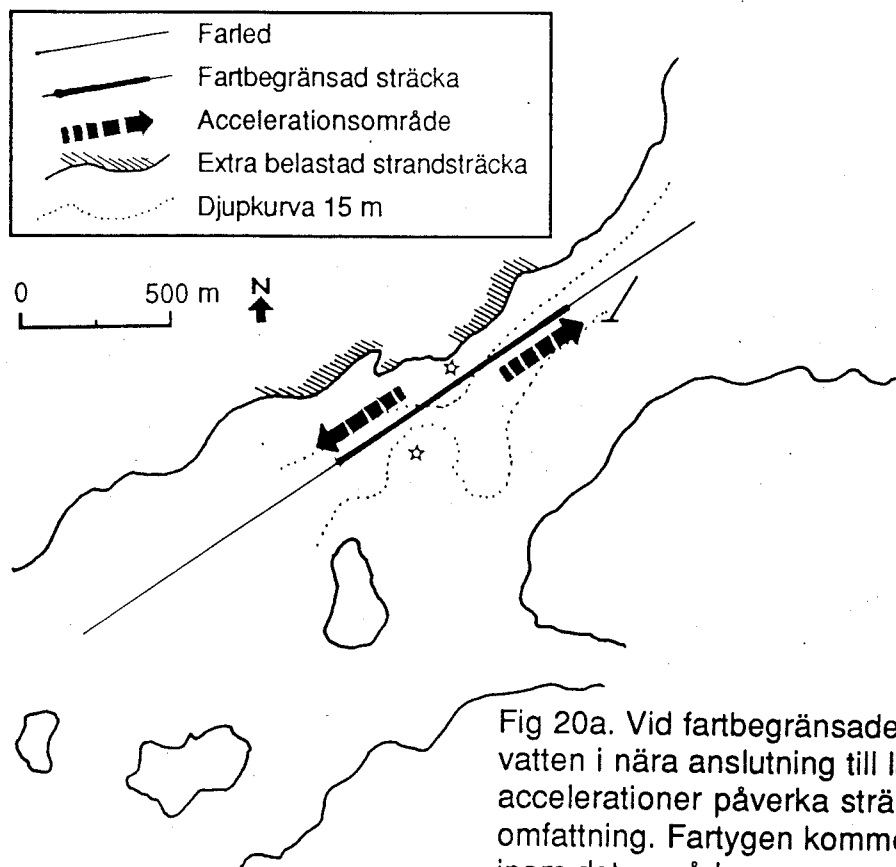


Fig 20a. Vid fartbegränsade sträckor på grunt vatten i nära anslutning till land kan fartygens accelerationer påverka stränderna i oönskad omfattning. Fartygen kommer att accelerera inom det område som var avsett att skyddas.

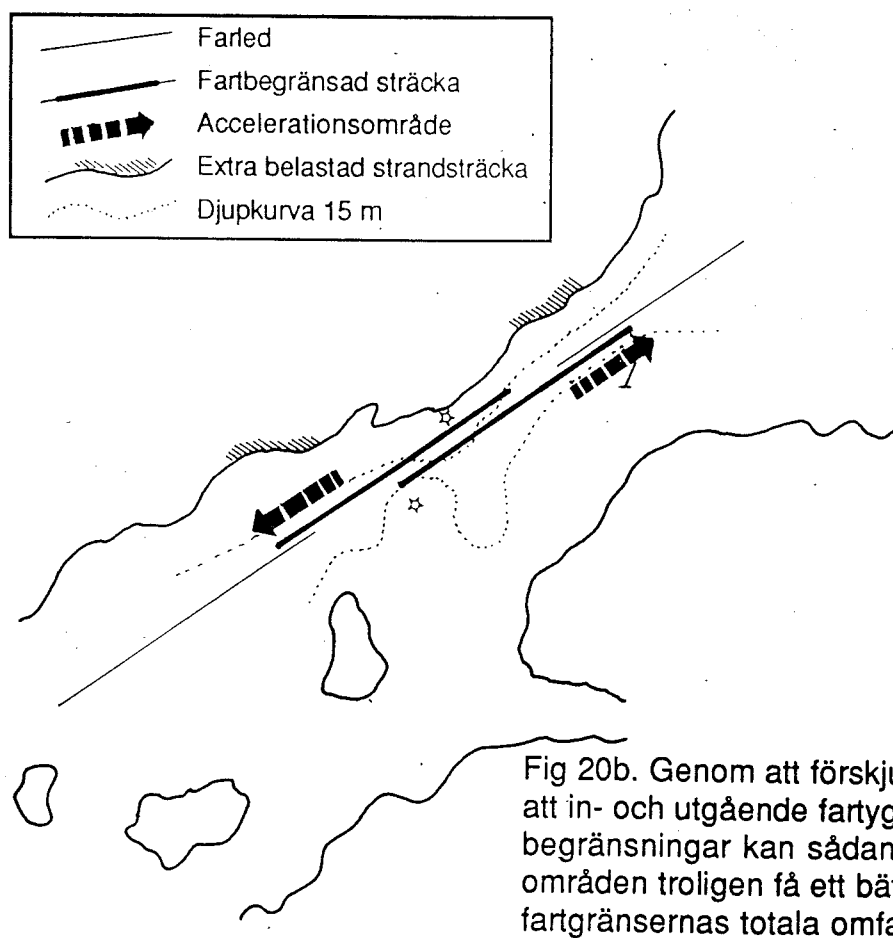


Fig 20b. Genom att förskjuta fartgränserna så att in- och utgående fartyg får olika fartbegränsningar kan sådana speciellt känsliga områden troligen få ett bättre skydd utan att fartgränsernas totala omfattning behöver öka.

Inventeringen av material och skador längs lederna visar också på förekomsten av relativt okänsliga sträckor, där farterna möjligen skulle kunna ökas utan att skadorna skulle öka.

Det finns således starka skäl att göra en helhetsöversyn av hastighetsfördelningen längs lederna, särskilt som avsikten med flera av de senare begränsningarna dikterats av en omsorg om stränderna. Dessa begränsningar kan sannolikt få större effekt om de omarbetas, utan att den totala begränsade sträckan därför behöver öka.

Åtgärder och fortsatta undersökningar

I diskussionerna kring farledernas miljöeffekter har debattens vågor stundtals svallat högre än fartygens, och det bör understrykas att föreliggande rapport endast avser att belysa vattenrörelsernas mekaniska effekt på stränderna. Givetvis finns åtskilliga andra och mer allvarliga effekter av trafiken i farlederna, såsom emissioner i luft och vatten. Sjötrafiken har emellertid en mycket stor potential som ett miljövänligt transportmedel, och en begränsning av sjöfarten på alltför känslomässiga grunder kan bli "att kasta ut barnen med badvattnet".

Fartygstrafiken i Stockholms skärgård följer av hävd mycket gamla vägar. Dessa vägar är självfallet inte överallt de bästa och säkraste för dagens stora fartyg. Förhållandet kan jämföras med att tung långtradartrafik börjar gå på en ålderdomlig liten skogsväg. En vanlig åtgärd i detta läge är att *anlägga en bättre väg/farled*. Det är otvivelaktigt så att om en större del av trafiken i Furusundsleden kunde ledas om till den tidigare debatterade "Rödkobbsleden", skulle skadorna på stränderna totalt sett minska, eftersom eventuella nya skador i denna led skulle vara mycket begränsade.

En annan åtgärd är givetvis att överlag *sänka energinivåerna* i vattenrörelserna. Detta kan åstadkommas på många sätt, t ex genom att

sänka hastigheterna, genom att minska fartygsstorlekarna, genom ytterligare förbättrade fartygskonstruktioner eller genom att anpassa fartygens spår till "bästa läge", såsom ovan diskuterats (sid 46). För att utröna detta bästa läge krävs dock fortsatta undersökningar, där teoretiska beräkningar av strömningsmönster och vågbildning vid olika farter för olika fartyg kombineras med praktiska fullskaleförsök.

En viktig och relativt enkel åtgärd, som borde kunna åstadkomma vissa förbättringar vad gäller stranderosionen, är en *översyn av gällande hastighetsbegränsningar*. Som ovan visats (sid 64), är dessa inte alltid optimalt utformade för att skona stränderna. Därvid krävs ytterligare studier av de olika fartygens egenskaper och av hur farledens tvärsnittsarea kan inverka på avsänkningens storlek.

Det är otvivelaktigt så, att den fysiska naturmiljön knappast blir oåterkalleligt skadad av fartygstrafik. Den ekologiska balansen kan förändras, dock inte heller den oåterkalleligt, med ett stort och viktigt undantag för emissioner i luft och vatten. Å andra sidan uppstår otvivelaktigt egendomsskador på anläggningar längs farledsstränderna. Det vore angeläget att utreda vilka möjligheter som står till buds för att minska sådana skador. Ovan har pekats på möjligheterna att minska fartygens energinivåer, men enbart detta räcker sannolikt inte för de mest utsatta ledpartierna. En *undersökning av olika tänkbara erosionsskydd*, deras effektivitet och kostnad, vore därför av stort värde.

En åtgärd som inte angriper orsakerna, men som mildrar symptomen, är att ingripa i den naturliga strandhaksbildningen på platser där de estetiska olägenheterna anses oacceptabla. Detta kan göras genom en *artificiell avsläntning*, varvid strandhakets övre del schaktas bort och stranden ges en så flack profil som förhållandena medger. Detta stoppar inte erosionen, men om tillräckligt grovt ytmaterial lämnas kvar och den nya profilen är tillräckligt flack så kommer de synbara förändringarna att bli små och långsamma. Stranden kommer sannolikt också att kunna uppfattas som mer naturlig än med en brant erosionsbrink.

Eftersom mekanismerna för strandmaterialets transport fortfarande inte är klarlagda, återstår en hel del ytterligare *forskning om hur erosionen sker* och med vilken hastighet materialet transporteras. Det gäller särskilt de långsiktiga och långsamma rörelserna i grövre material. För att komma åt dessa rörelser, som är mycket betydelsefulla för uppkomsten av de materiella skadorna på bryggor och anläggningar, måste man troligen utföra regelbundna och långsiktiga observationer av märkt material. Ett projekt med sådan inriktning har påbörjats vid naturgeografiska institutionen.

I detta sammanhang bör slutligen också framhållas vikten av att beakta miljökonsekvenserna i de fall nya farleder planeras. Kunskaperna om erosionsskador har ökat, men är som ovan antytts ännu ej fullständiga. Goda teoretiska miljökonsekvensanalyser kan göras, men en kontroll och uppföljning av de konsekvenser som faktiskt uppstår är ändå av största vikt.

Skulle, som föreslagits, en ny led anläggas över Rödkobbsfjärden för att avlasta den känsligare Furusundsleden, är det mycket angeläget att strändernas tillstånd dokumenteras på en högt detaljerad nivå i god tid innan leden tas i bruk. En sådan basdokumentation blir sedan ytterst värdefull för flera ändamål. Dels för en vetenskaplig och långsiktig kontroll av förloppet hos en eventuell fartygsalstrad stranderosion varvid konsekvensanalysens giltighet kan övervakas, dels som underlag för eventuella diskussioner om ersättning för eroderad strand.

Litteratur:

- Collinder, P. 1954: Skärgårdens farleder (34 s). Ur "Stockholms skärgård", red. av Sten Selander. (Esselte AB 1954.)
- Daleke, O., Hedström, H., & Nissar, K. 1989: Fartygstrafikens miljöeffekter i skärgården. Stranderosion. Examensarbete nr 303, Inst f vattenbyggnad, Kungl Tekn Högskolan. Länsstyrelsen i Stockholms län, rapport nr 4/1989. 99 s + bilagor
- EffJohn 1990: Rödkobbsleden. Miljökonsekvensbeskrivning.
- Ekblad, J. 1988: Känner du din båts svallkurva? Vi Båtagare nr 8 1988. 3 s.
- Fagerholm, H-P. 1975. The effects of ferry traffic on the rocky shore macrofauna in the southern Åland archipelago: 1 The Cladophora zone. Merentutukimusalait. Julk./Havsforskningsinstitutets skrift nr 239: sid 331-337.
- Fagerholm, H-P. 1976: Artificiell vågexposition och Cladophorazonens makrofauna. Pro Gradu-avhandling vid Åbo Akademi. 124 s inkl bil.
- Friman, H. 1989: Autolauttaliikenteen vaikutus vesimassaan ja rantoihin etelä Airstolla. Pro Gradu avhandling. Maant. lait., Turun Yliopistu.
- Granath, L. 1989: Kartläggning av erosionskänsliga stränder längs Rödkobbsleden. Forskningsrapport nr 78, Naturgeografiska institutionen, Stockholms universitet. 23 sid + 7 kartbilagor.
- Hammerfeldt, I. & Norborg, M. 1991: Vattenrörelser och materialsuspension förorsakade av fartyg i farled. Examensarbete, KTH inst. för vattenbyggnad nr 340. 90 s.
- Hedén, M. & Sannel, B. 1992: Bladvass som indikator på bottenförändringar längs farleder. Examensarbete vid naturgeografiska institutionen, Stockholms universitet. 30 s. (Under publicering)
- Kautsky, H. 1988: Factors structuring phytobenthic communities in the Baltic Sea. Zoologiska institutionen, Stockholms universitet.
- Kautsky, H. 1990: Eventuell påverkan på de grunda bottenarnas växt- och djursamhällen längs en påtänkt färje-farled i Stockholms skärgård. Miljökonsekvensbeskrivning för Rödkobbsleden, EffJohn 1990. 16 sid + fotobilagor.
- Magnusson, L. 1990: Flygbildstolkning av erosionsskadad strand. Sträckvis inventering och tidsjämförande studier. Examensarbete vid naturgeografiska institutionen, Stockholms universitet.
- Magnusson, T., Odemalm, M., & Willman, P., 1983: Probleminventering och analys av erosionsskador i farleder i Stockholms skärgård. Examensarbete vid KTH inst. för vattenbyggnad nr 262. 35 s.
- Norrbin, N. 1989: Fartygsgenererade vattenrörelser i en färjetrafikled. SSPA Maritime Consulting, Publ i "Miljökonsekvensbeskrivning för Rödkobbsleden. EffJohn 1990. 33 sid. + figurbilaga

- Norrman, J. 1967: Strandens och kustens morfologi och de formskapande processerna. Meddelanden från Uppsala universitets geografiska institution, ser A nr 228.
- Rajasilta, M. 1982: Fartygstrafikens inverkan på fiskbeståndet och fisket i Skärgårdshavet. (Svensk sammanfattning). Turun Yliopisto Biol. Lait Julk nr 4:1-74.
- Rönnberg, O. 1974: Färjetrafiken och klippsträndernas algbälten. Skärgård i omvandling. Utgiven av Nordenskiöldssamfundet i Finland. Sid 193-197.
- Rönnberg, O. 1981a: Traffic effects on rocky shore algae in the Archipelago Sea, SW Finland. Acta Acad Åboensis (Ser. B) 41: 1-87.
- Rönnberg, O. 1981b: Bilfärjornas svalleffekter i skärgården. Skärgård nr 2, 1981 sid 30-33. Tidskrift utgiven av Skärgårdsinstitutet vid Åbo Akademi.
- Rönnberg, O. & Östman, T. 1989: Blåstång som indikator på miljöeffekter av sjötrafik i Ålands skärgård. Forskningsrapport till Nordiska Minister-rådets skärgårdsprojekt. Inst för biologi, Åbo Akademi. 8 sid. + bilagor
- Sjöfartsverket, 1990: Sjöfartens miljöeffekter – En inventering med åtgärdsförslag. Sjöfartsinspektionen, Fartygstekniska sektionen. 384 sid inkl bilagor.
- Sundborg, Å. 1963: Naturgeografi - en vetenskap under nyorientering.
- Thilén, M. (muntl. komm.): Föreningen Rädda Furusundsleden. Enkätundersökning. Marianne Thilén, Björnhuvud, 184 91 Åkersberga.
- Wermelin, H. 1990: Led för färjetrafik över Rödkobbsfjärden norr om Sandhamn. Miljökonsekvensbeskrivning för Rödkobbsleden, EffJohn 1990. 82 sid. + bilagor
- Östman, M. 1989: Effekter av fartygssvall på kemisk-fysikaliska och biologiska förhållanden i hällkar. Pro Gradu-avhandl., Åbo Akademi. 72 sid + bilagor

Bilaga 1

Mätningar av vattenhastigheter och avsänkning i samband med fartygspassager vid Björnhuvud aug 1991. (Avstånd till farled 200m)

Mätningarna är utförda med flödesmätare, 10 cm ovan botten, på 1 m vattendjup, i omedelbar anslutning till stranden. Avsänkningen är visuellt avläst på fast förankrad vertikal avvägningsstång. Mätningarna har gjorts för 3 olika fartyg, på utgående vid olika tillfällen.

Mätning nr	"Athena"		"Svea"		"Birka"	
	Avsänkn (cm)	Ström (cm/s)	Avsänkn (cm)	Ström (cm/s)	Avsänkn (cm)	Ström (cm/s)
1	30	60	20	55	40	55
2	45	70	25	55	35	60
3	60	110	45	75	20	45
4	30	55	30	60	20	40
5	35	60	45	70	45	60
6	55	95	-	-	-	-

För "Kalypso" föreligger två mätningar vid Björnhuvud

1	75	120
2	50	95

Vid Stabo udde (100 m från farled) har företagits mätningar som ej systematiskt avsett visst fartyg. På samma mätplats har registrerats variationer för olika fartyg, vad gäller avsänkning mellan 20 och 80 cm, och vad gäller vattenhastigheter mellan 30 och 140 cm/sek.

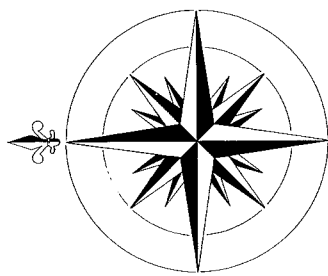
Vid en mindre utsatt lokal söder om Björnhuvud (325 m från farled) är motsvarande variationer 10-25 cm resp 5-30 cm/sek

SANDHAMNSLEDEN OCH FURUSUNDSLEDEN

-  KARTERAD FARLED
-  LED DJUPARE ÄN 40 METER
-  FÖRESLAGEN LED
-  KÄNSLIGA STRÄNDER

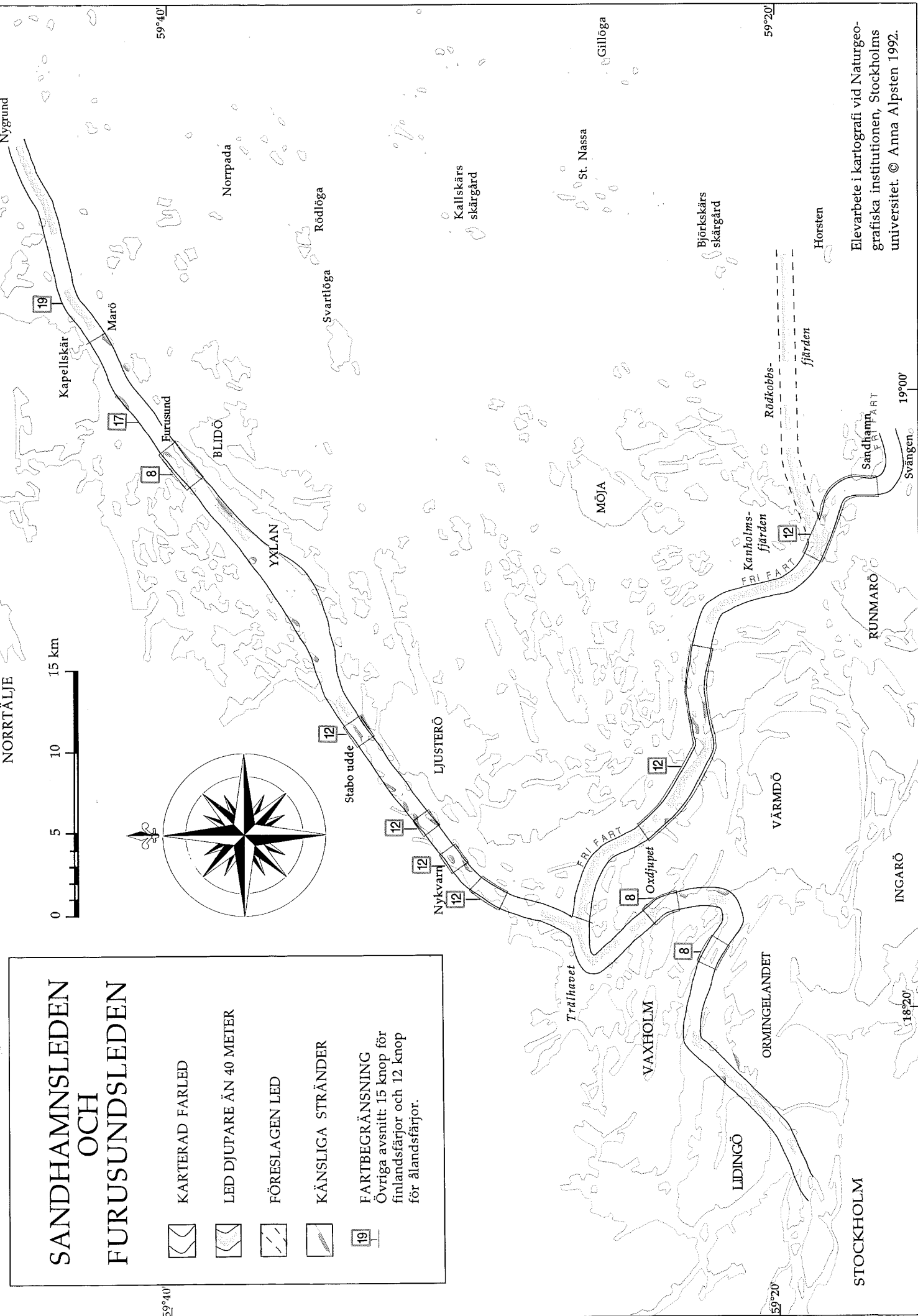
FARTBEGRÄNSNING
Övriga avsnitt: 15 knop för
finlandsfärjor och 12 knop
för ålandsfärjor.

19



0 5 10 15 km

NORRTÄLJE



STOCKHOLM

Elevarbete i kartografi vid Naturgeo-
grafiska institutionen, Stockholms
universitet. © Anna Alpsten 1992.

Länsstyrelsens rapportserie

Tidigare utkomna rapporter under 1991/92

- 1991:1 Småföretagsanpassad utbildning på Södertörn. Dadisprojektet. (enheten för regional utveckling)
- 1991:2 Hydrologisk undersökning av Igelbäcken. (miljövårdsenheten)
- 1991:3 Trosateorin - myt eller verklighet? En studie av kunskapsföretag i Stockholmsregionens utkanter. (enheten för regional utveckling)
- 1991:4 Avloppssituationen i Stockholmsregionen 1990-2020 (miljövårdsenheten)
- 1991:5 Brohaveriet i Södertälje- konsekvensbeskrivning (enheten för regional utveckling)
- 1991:6 Kalkade sjöar i Stockholms län, 1991. (miljövårdsenheten)
- 1991:7 Kagghamraån. Resultat av 1988 och 1989 års vattenkemiska provtagningar (miljövårdsenheten)
- 1991:8 Näringspolitisk förnyelse-effekter av regionalt utvecklingsarbete i Stockholms län. (enheten för regional utveckling)
- 1991:9 Trösklade havsvikar i Stockholms län (miljövårdsenheten)
- 1991:10 Kombiprojekt, kartläggning och analys av byggprojekt med både bostäder och lokaler i Stockholms län. (enheten för regional utveckling)
- 1991:11 Förändringar av stränder i Stockholms skärgård. Metoder för ajourföring av strandinventeringar. (miljövårdsenheten)
- 1991:12 Farledsstränder i Stockholms skärgård. Material och erosions skador, prel rapport (miljövårdsenheten)
- 1991:13 Försurnings- och föroreningssituationen i några bäckar inom Haninge kommun (miljövårdsenheten)
- 1991:14 Tjänster uthyres! En studie av kontorsserviceverksamheten i Stockholms län (enheten för regional utveckling)
- 1991:15 Godsströmmar med lastbil genom Stockholms hamn (enheten för regional utveckling)
- 1991:16 Vattenkvaliteten i några sjöar och vattendrag i Stockholms län (miljövårdsenheten)
- 1991:17 Fitunaån. Vattenkvalitet och närsalttransporter i ån 1987-1990 (miljövårdsenheten)

- 1992:1 Invandrarnas väg in i det svenska arbetslivet. - En översikt av projekt i Stockholms län (enheten för regional utveckling)
- 1992:2 Fortsatt översiktsplanering (planenheten)
- 1992:3 Vatten i översiktsplaner (planenheten)
- 1992:4 Högskolorna på 1990-talet (enheten för regional utveckling)
- 1992:5 Fler arbetsplatser mindre pendling?
- 1992:6 Planeringen av stora trafikknutpunkter (enheten för regional utveckling och planenheten)
- 1992:7 Hammerstaån. Vattenkvalitet och närsalttransporter i ån 1987-1990 (miljövårdsenheten)
- 1992:8 Märstaån Vattenkvalitet och närsalttransporter i ån maj 1988- maj 1989
- 1992:9 Vass som indikator på stranderosion längs farled i Stockholms skärgård (miljövårdsenheten)
- 1992:10 Farledsstränders erosionskänslighet (miljövårdsenheten)