



VARIA 532



Stranderosionsskydd Typer – Dimensionering – Modellering

Lars Johansson

Varia	Statens geotekniska institut (SGI) 581 93 Linköping
Beställning	SGI Litteratortjänsten Tel: 013-20 18 04 Fax: 013-20 19 09 E-post: info@swedgeo.se Internet: www.swedgeo.se
ISSN	1100-6692
ISRN	SGI-VARIA--03/532--SE
Projektnummer SGI	11673
Dnr SGI	I-0307-0418
©	Statens geotekniska institut

Foto omslag: Ystads kommun

FÖRORD

Statens geotekniska institut (SGI) har på regeringens uppdrag ett samordningsansvar för stranderosion i Sverige. I detta arbete ingår att göra översikter av vilken kunskap som finns i samhället inom olika delområden avseende stranderosion. Resultaten ska göras allmänt tillgängliga för myndigheter, kommuner, konsulter, entreprenörer och allmänheten.

SGI genomför dessa sammanställningar i samverkan med övriga aktörer inom området. Vid en workshop i november 2003, med representanter för myndigheter, länsstyrelser, kommuner, konsulter och forskare, har erfarenheter utbytts och bidrag och synpunkter till denna kunskapssammanställning lämnats.

Denna kunskapssammanställning om ”Erosionsskydd – Dimensionering och modellering” har sammanställts

av Lars Johansson, SGI, med bidrag från Hans Hanson och Magnus Larson, Lunds Tekniska Högskola, Richard Lidén och Lars-Olof Hartzén, SWECO VIAK Malmö, Svante Roupé, SWECO VBB Göteborg, Fredrick Marelius, WSP Stockholm, Lomma Kommun, Ängelholms Kommun, Malmö Stad, Ystads Kommun, Landskrona Kommun, Helsingborgs kommun samt Kystdirektoratet, Danmark. Mycket värdefulla synpunkter har också kommit fram och diskuterats vid de olika workshops som har anordnats i Linköping under projekttiden.

Rapporten har granskats av Hans Hanson, Lunds Tekniska Högskola, Svante Roupé, SWECO VBB Göteborg och Lars-Olof Hartzén, SWECO VIAK Malmö.

Linköping i december 2003

INNEHÅLL

Förord

Läsanvisning	7
1 Bakgrund	8
2 Kustskydd – generellt betraktelsesätt	10
3 Olika typer av erosionsskydd	13
3.1 Inledning	13
3.2 Hövder	14
3.3 Strandskoning	18
3.4 Friliggande vågbrytare	21
3.5 Artificiell sandtillförsel	23
3.6 Vegetation	26
3.7 Morfologiskt stabilt formade bukter mellan uddar	26
3.8 Övriga metoder	27
Strömreglering med fenor	27
Dräneringsrör	28
Tryckutjämningsrör	28
Förbiledning av sand	28
3.9 Sammanfattning erosionsskydd	28
4 Utformning/dimensionering/modellering	30
4.1 Utformningsaspekter	30
4.2 Dimensionering	30
Lastbeskrivning	30
Konstruktiva aspekter	31
Praktiskt tillvägagångssätt	31
4.3 Modellering	32
5 Exempel på utförda erosionsskydd	33
5.1 Friliggande vågbrytare	33
5.2 Åtgärder mot sanddrift	33
5.3 Strandskoning	34
5.4 Sanduppfyllnad	34
5.5 Tryckutjämningsrör	34
5.6 Hövder	34
6 Litteraturförteckning	36

LÄSANVISNING

Målgrupp

Denna kunskapssammanställning är avsedd för dem som på något sätt berörs av stranderosion i samband med fysisk planering, projektering av åtgärder mot stranderosion eller fastighetsägare som har egendom att bevara. Rapporten är inte skriven för specialister inom området dimensionering, utförande och uppförande av erosionskydd/kustskydd, utan för att dels ge en översiktlig bild av själva problemställningen, vilka värderingar som måste göras vid utformande och uppförande av erosionskydd, dels ge exempel på olika typer av skydd som utförts.

Syftet med sammanställningen är att öka kunskapen om hur erosionskydd/kustskydd utformas, dimensioneras och uppförs med avsikt att kunna åstadkomma en bättre dialog mellan olika berörda aktörer och förståelse för de olika ställningstaganden som måste göras, liksom ge en viss indikation på vilken typ av information som måste hanteras i samband med projektering och utförande av erosionskydd/kustskydd.

Hur använder jag kunskapssammanställningen

Rapporten är uppdelad i två huvuddelar; en inledande del med en beskrivning av huvudsakliga värderingar och faktorer som tas i beaktande vid utformning, dimensionering och uppförande av erosionskydd/kustskydd, samt en efterföljande del, där exempel på olika typer av erosionskydd/kustskydd ges. Innehållet är tänkt att ge en systematisk bild av val av erosionskydd/kustskydd, projektering, dimensionering och utförande med målsättningen att utgöra underlag vid diskussioner kring olika typer av erosionskydd och arbetet med att projektera/dimensionera dem.

Vad finns inte med

Denna kunskapssammanställning är tänkt att utgöra en översiktlig beskrivning. Detaljerade beskrivningar av dimensioneringsfilosofi, ekvationer eller dimensioneringsverktyg har därför inte medtagits. Däremot ges en översiktlig beskrivning av vilka laster som måste beaktas vid projekteringsarbetet och tänkesättet vid dimensioneringen samt vilka verktyg som normalt används.

I BAKGRUND

Erosion av landets kuster och stränder är, liksom erosion längs vattendrag, en del av en naturlig geologisk bildningsprocess, som har pågått under en mycket lång tid - i vår del av världen åtminstone sedan senaste istiden - och som kommer att fortsätta framgent. Längs stora delar av våra kust- och strandsträckor kan denna process fortgå relativt obemärkt, i huvudsak för att den mark som blir utsatt för erosion inte används till något väsentligt. Men längs de sträckor där erosionsangreppen hotar samhällsekonomiska värden i en oacceptabelt stor omfattning, dvs. antingen naturvärden (såsom exempelvis naturområden av stort intresse, rekreationsområden eller områden av stor vikt för djur- och växtliv), egendom (vilken bedöms från fall till fall och kan t ex vara allt från enstaka bostadshus och bostadsområden till kulturhistoriskt värdefulla byggnader och anläggningar), risk för förorenings spridning (t ex om förorenad jord eller hela

industrier hotas att dras ned i vattnet), samt människors säkerhet (dvs. framförallt om människors liv äventyras) blir erosionsprocessen genast mer påtaglig, se Figur 1.

Det är i dessa områden, där oacceptabelt stora samhällsekonomiska värden hotas, som olika typer av skyddsåtgärder sätts in för att säkra landmassor från att ytterligare eroderas ut i havet eller vattendraget.

De åtgärder som utförs syftar främst till att:

- minska strandmaterialets eroderingsbenägenhet
- minska den energi (krafter och laster) som vatten utsätter stränderna för längs kuster och vattendrag
- kontrollera uppslamning av partiklar från botten och stränder, transport och efterföljande sedimentation så att antingen erosionen begränsas eller att sedimentation av partiklar sker på önskvärda ställen.



Figur 1. Pågående stranderosion vid Löderups strandbad, Ystads kommun, där såväl rekreationsområden som fritidshusbebyggelse är hotade (Foto: Ystads kommun).

Det hela försvåras av att huvudsakliga vindriktningar och vattenströmmar har en tendens att ändras genom åren. Ett område som för tillfället är stabilt ur erosions-synpunkt kan alltså om ett antal år bli instabilt därför att de jämviktsförhållanden mellan laster och erosionsangrepp som idag råder kommer att ändras.

Åtgärderna kan i värsta fall, ur ett tekniskt och miljömässigt perspektiv, vara akuta i syfte att möta ett omedelbart förestående hot, t ex vid omfattande erosion i samband med kraftiga höststormar. Akuta åtgärder vidtas uteslutande, av naturliga skäl, utan några närmare analyser, dimensioneringar eller värderingar av vilka konsekvenser uppförandet av erosionskydden kan komma att få. Det viktiga i ett akut läge är att säkra strandområden från fortsatt erosion, vanligtvis för att skydda olika typer av anläggningar längre in på land. I idealfallet, för att uppnå bäst resultat, ska erosionskydd och kustskydd således inte uppföras under akuta skeden, utan utföras på ett systematiskt sätt.

Dimensionering, utformning och uppförande av erosionskydd, eller mer generellt kustskydd, kräver noggranna analyser där många olika faktorer tas i beaktande och värderas.

Inte helt förvånande har det därför visat sig att akut utförda erosionskydd många gånger leder till nya eller förvärrade erosions-skador, kanske främst längs kuststräckor utanför det område som omfattades av själva åtgärden, vanligtvis nedströms eftersom erosionskydden resulterar i att en mindre mängd material transporteras vidare i vattnet.

Men åtgärder behöver inte nödvändigtvis bestå enbart i uppförande av erosionskydd. Det mer generella begreppet kustskydd omfattar även t ex evakuering av boende, restriktioner i tillgänglighet och användning av markområden, flyttning av byggnader. Även kombinationer av olika typer av åtgärder förekommer för att ge bra resultat.

2 KUSTSKYDD – GENERELLT BETRÄKTELSESÄTT

De alternativ som kan komma ifråga när väl ett kustavsnitt eller ett avsnitt längs ett vattendrag har konstaterats vara utsatt för erosion i en oacceptabel omfattning är:

- Ingen åtgärd
- Reträtt
- Anpassning
- Uppförande av erosionsskydd

Vilket av ovanstående betraktelsesätt man väljer beror helt och hållet på hotbilden. Grundinställningen är alltid att naturen ska få ha sin gång. Det är inte ekonomiskt försvarbart eller ens önskvärt, att vidta åtgärder överallt där erosionsproblem föreligger. Det är, som nämnts ovan, enbart om oacceptabelt stora samhällsintressen hotas som åtgärder kan bli aktuella.

Alternativet ”Ingen åtgärd” väljs således där naturen kan tillåtas ha sin gång, och där det av olika skäl inte är önskvärt med olika typer av konstruktioner för att begränsa eller motverka erosionsbilden. När inga samhälls-ekonomiska värden hotas är detta alternativ sannolikt det mest riktiga. Men även om t ex delar av naturskyddsområden eller nationalparker hotas, kan fortfarande alternativet *Ingen åtgärd* väljas, just utifrån en önskan om en fortsatt naturlig bildningsprocess, snarare än att försöka åtgärda risken att samhälls-ekonomiska värden går till spillo. Eventuellt är det tänkbart att alternativet *Ingen åtgärd* kombineras med olika typer av föreskrifter, såsom exempelvis begränsningar i markutnyttjande. Bland annat kan det möjligtvis bli aktuellt att revidera befintliga planer över området, så att möjligheten att ge bygglov olämpliga områden begränsas eller förhindras.

Den stora fördelen med att välja att inte vidta några åtgärder är att det inte uppstår några direkta kostnader. Dock kan valet indirekt komma att påverka fastighetspriser liksom det socioekonomiska värdet av området negativt. Dessa sekundära effekter måste självfallet beaktas vid val av åtgärd.

I de områden där det endast finns begränsade värden

som måste skyddas mot en fortsatt erosion, kan alternativet ”Reträtt” vara det bästa. *Reträtt* innebär att de objekt som behöver skyddas, t ex byggnader, infrastruktur eller andra typer av anläggningar, flyttas inåt land så att de inte direkt kommer att påverkas av en fortsatt erosion av kusten. För att kunna tillgripa alternativet *Reträtt* måste erosionstakten vara någorlunda känd, så att varaktigheten av åtgärden kan bedömas. En flyttning av t ex ett hus är, om det överhuvudtaget låter sig göras, förknippat med väsentliga kostnader. Dessutom kan åtgärden förändra fastighetens värde.

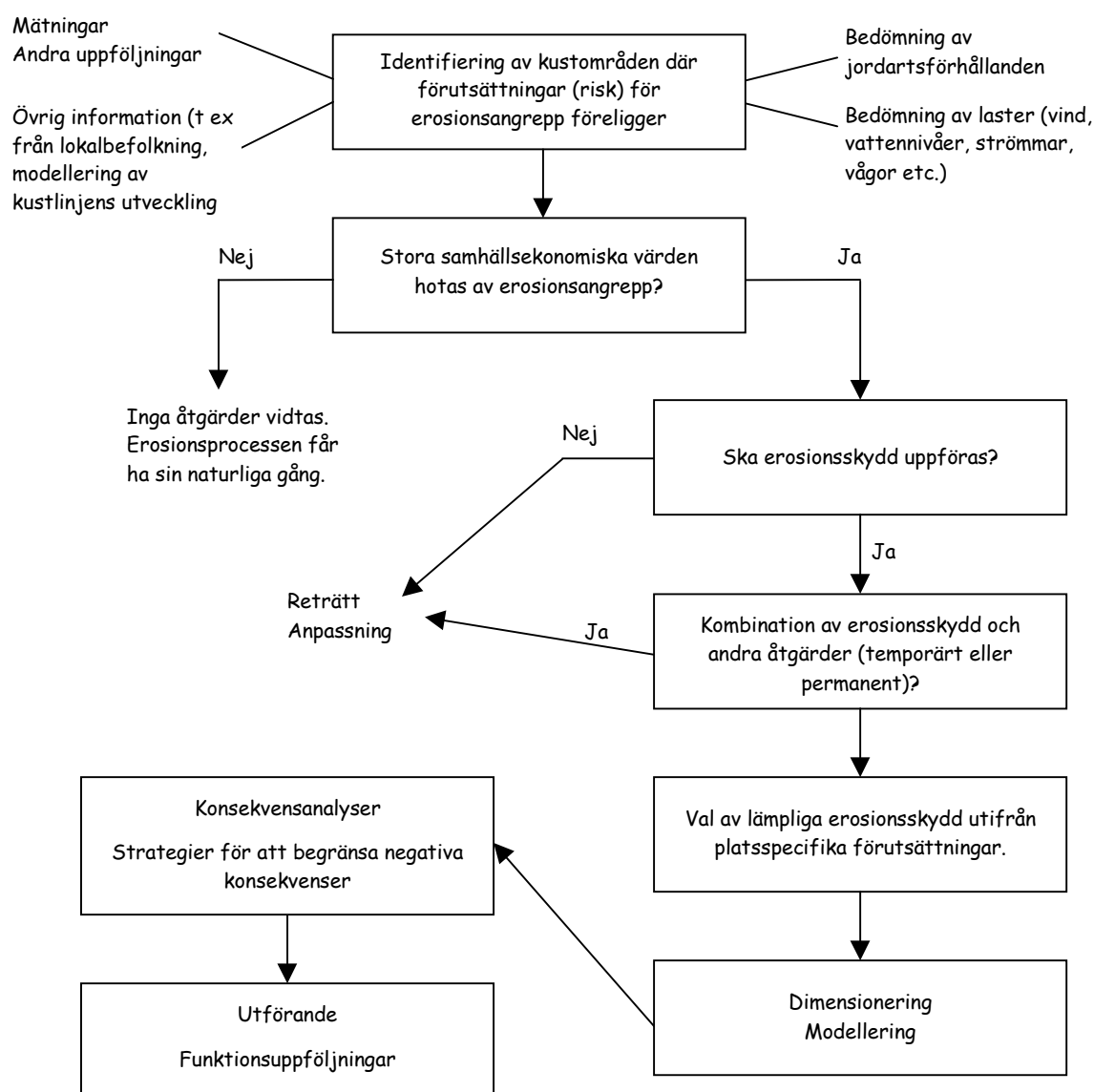
Ett mellanting mellan ovanstående metoder är sk ”*Anpassning*”. I princip får den naturliga erosionsprocessen ha sin gång. Restriktioner utfärdas vad gäller markanvändning och förändringar/investeringar, t ex medges enbart uppförande av flyttbara sommarstugor. Det kan alltså med valet *Anpassning* komma att bli nödvändigt att ändra gällande planer för området i syfte att uppnå önskade begränsningar i nyttjandet av området. Det är dock möjligt att tänka sig mindre omfattande investeringar i området som skydd mot allvarigare incidenter, t ex för att förebygga översvämningar eller att förstärka vitala anläggningar, t ex industrier och infrastruktur. Valet *Anpassning* har gjorts av myndigheter men det innebär inte någon garanti för att kustskydd eller erosionsskydd i syfte att förhindra fortsatt erosion kan uppföras. Det handlar alltså enbart om att skydda ett fåtal vitala konstruktioner. Valet *Anpassning* speglar, precis som *Ingen åtgärd*, avvägningen mellan de relativt sett höga kostnader som uppförande av kust- och erosionsskydd medför och värdet av de anläggningar och konstruktioner som avses att skyddas.

Inom områden där stora samhälls-ekonomiska värden hotas av en fortgående erosion utgör ”*Uppförande av erosionsskydd*” det enda möjliga valet. De höga kostnader som uppförande av kust- och erosionsskydd medför motiveras med de värden, såväl ekonomiska som sociala och humana, i form av anläggningar och konstruktioner som kommer att skyddas och bevaras. Viktigt att ha i

åtanke är dock att uppförande av erosionsskydd kan innebära att problemen flyttas och erosionen tar fart någon annanstans. Därför är det viktigt att noggranna studier och analyser genomförs för att i möjligaste mån kunna kvantifiera eventuella negativa konsekvenser av de erosionsskydd som planeras, samt för att kunna vidta nödvändiga åtgärder i syfte att minska sådana konsekvenser.

Arbetsgången som bör följas vid utformning, dimensionering och uppförande av erosionsskydd visas schematiskt i Figur 2, där de olika alternativen motsvarar de strategiska val som görs vad gäller huruvida erosionsskydd/kustskydd ska uppföras eller inte, och i så fall i

vilken omfattning. Det är naturligtvis inte möjligt att beskriva en allmängiltig arbetsordning. Figuren ska därför enbart uppfattas som en översiktlig beskrivning. Uppförande av erosionsskydd är en relativt omfattande och omständlig process, inte minst med tanke på att de juridiska förhållandena är komplicerade. Det är många olika lagar som reglerar aktiviteter i vatten, och inte sällan är de motstridiga och svårtolkade. De juridiska aspekterna beskrivs i en separat rapport (Lerman och Rydell, 2003). Även de ekonomiska aspekterna kan vara svåra att hantera. Uppförande av erosionsskydd är ofta förknippat med stora kostnader, såväl för att ta fram underlag för en till-



Figur 2. Schematisk beskrivning av arbetsgången vid utformning, dimensionering och uppförande av erosionsskydd.

ståndsprovning som kostnaden för själva skyddet som sådant.

Identifiering av kustområden med förutsättningar eller risk för erosionsangrepp kan genomföras på principiellt sett två olika sätt. I idealfallet genomförs en kontinuerlig generell inventering/kartering av landets kuststräckor, varvid områden med förutsättningar för erosionsangrepp kan identifieras. Dessa områden kan därefter studeras mer i detalj och om nödvändigt kan åtgärder vidtas. Det andra scenariot är det mer akuta skedet, där förutsättningar för erosionsangrepp blir uppenbara genom pågående erosion.

I konsekvensanalysen i Figur 2 avses en noggrann studie och analys av de negativa konsekvenser uppförandet av erosionskydd kan få framförallt inom områden som inte omfattas av själva åtgärden. Ett erosionskydd som uppförs påverkar i allmänhet sedimentströmmarna längs den aktuella kuststräckan och på så sätt kommer även erosionsförhållandena att förändras. Inom det område som omfattas av själva skyddsåtgärden kan fortsatt erosion komma att förhindras eller begränsas. Utanför det aktuella området kommer erosionen i allmänhet också att ändra karaktär. Nedströms skyddet kommer erosionen i många fall att accelerera, eftersom mängden transporterat material kan komma att minska efter att erosionskyddet färdigställts.

Efter att erosionskydd/kustskydd har uppförts är en kontinuerlig uppföljning av funktion och verkan angelägen. Den information och kunskap som samlas in kommer på sikt att leda till att dimensionering och modellering kommer att kunna utföras på ett bättre och mer optimalt sätt i framtiden. För detta ändamål behöver effektiva övervaknings- och uppföljningssystem utvecklas, eftersom sådana i stor utsträckning idag saknas.

3 OLIKA TYPER AV EROSIONSSKYDD

3.1 INLEDNING

De olika åtgärder som vidtas för att begränsa och förhindra erosionsangrepp delas traditionellt upp i olika grupper, t ex mjuka och hårda. Huruvida en konstruktion betraktas som erosionsskydd eller inte beror på i vilket syfte den projekteras och uppförs. En konstruktion som uppförs i annat syfte och som sekundär effekt även ger en minskning av erosionsangreppen, betraktas traditionellt inte som erosionsskydd. Funktionen kan i slutändan ändå vara densamma som om samma konstruktion i stället hade uppförts enbart i syfte att skydda mot erosionsangrepp, och då hade den gått under benämningen erosionsskydd. Detta är särskilt vanligt vad gäller t ex hamnkonstruktioner.

I den här rapporten har istället valts en indelning i *direkta* och *indirekta* erosionsskydd, där de direkta erosionsskydden uppförs i primärt syfte att förhindra erosion. De indirekta erosionsskydden uppförs primärt i annat syfte, men leder också till att erosionsangrepp minskar i omfattning.

Erosionsskyddens/kustskyddens syften är primärt att:

- utgöra en barriär mellan vattnet och det erosionskänsliga/erosionsbenägna strandmaterialet
- dämpa energin i vågor och strömmar innan de når stränderna, varvid möjligheten minskar för vatten och vågor att erodera strandmaterialet
- styra dels vattenströmmar och dels sedimentströmmar på ett sådant sätt att en önskvärd och förutsägbar transport och sedimentation sker av material.

Den optimala utformningen av ett erosionsskydd på en viss plats kan antingen utgöras av någon av ovanstående typer eller en kombination av flera av dem.

Exempel på *direkta* erosionsskydd är:

- Hövder
- Strandskoning, sponter och kajliknande konstruktioner
- Friliggande vågbrytare
- Artificiell sandtillförsel

- Vegetation
- Morfologiskt stabilt formade bukter mellan uddar

Exempel på *indirekta* erosionsskydd är:

- Vågbrytare
- Hamnkonstruktioner

Dessutom förekommer ytterligare ett antal olika typer av erosionsskydd, många fortfarande under utveckling. För att göra beskrivningen så komplett som möjligt, kommer dock även dessa att beskrivas i denna rapport.

För att uppnå så god effekt som möjligt kombineras ofta olika typer av erosionsskydd med varandra. Sandutfyllnad förekommer till exempel tillsammans med metoder för att förhindra att material eroderas på nytt.

Vilken typ av erosionsskydd/typer av erosionsskydd/kustskydd som väljs i varje enskilt fall beror på flera olika faktorer som vägs samman till en helhet:

- *Tillgången på data och faktaunderlag.* Vissa typer av skydd, t ex friliggande vågbrytare, är svårare att placera och dimensionera än andra. Dessa typer av skydd kan därför endast komma till användning när dataunderlaget är omfattande.
- *Den eroderande situationen.* Om erosionen främst orsakas av t ex högt vattenstånd och vågor som eroderar klitterna bakom stranden, måste dessa kanske skyddas med en strandskoning. Om erosionen förorsakas av att en hamn blockerar den kustparallella sandtransporten, måste åtgärden innebära att sand åter kan föras runt hamnen.
- *Önskat slutresultat.* Olika typer av erosionsskydd kan, för samma eroderande situation, ge helt olika slutresultat. Vissa bygger upp stranden och lämnar klitterna oskyddade, medan andra skyddar klitterna och lämnar stranden oskyddad. Här bestäms valet således utifrån hur man vill att stranden ska se ut och fungera i framtiden.
- *Kostnader.* Ekonomin spelar alltid en betydande roll

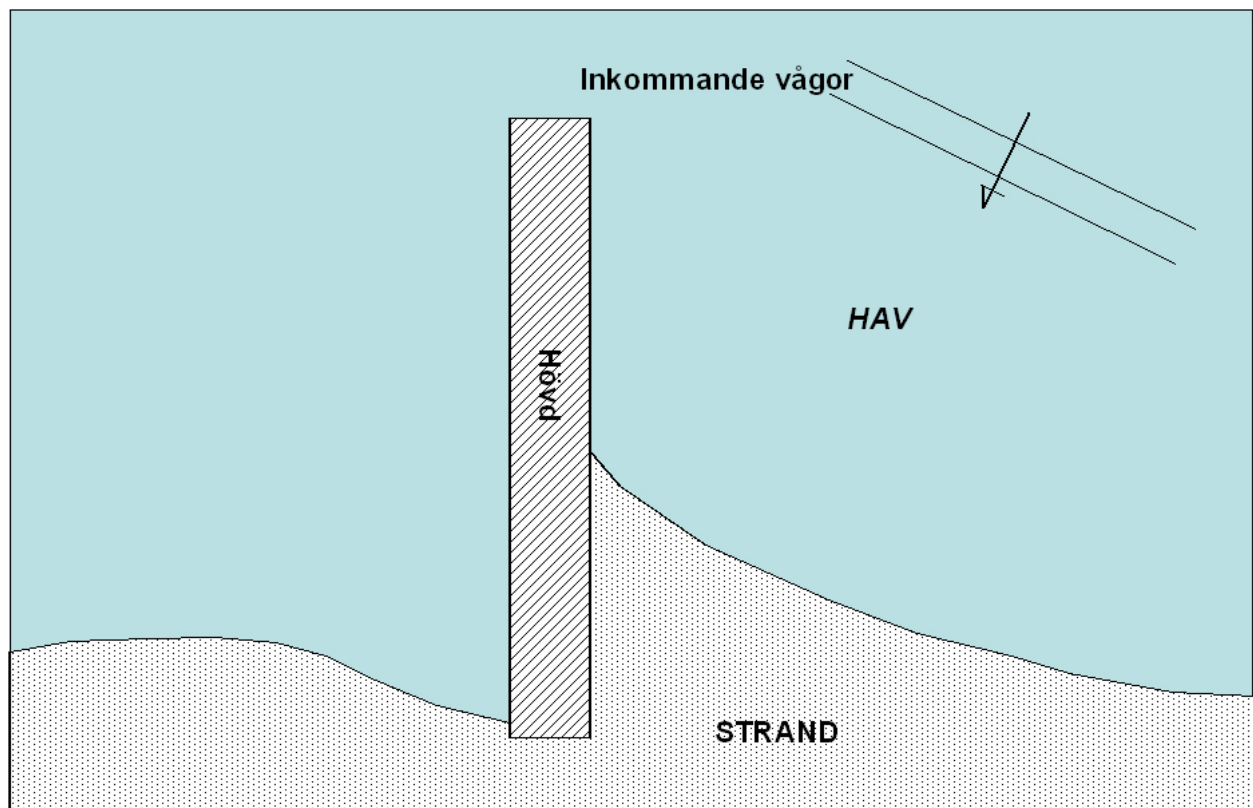
vid valet av erosionsskydd. Enskilda husägare har i allmänhet ekonomiska resurser enbart för enkla typer av erosionsskydd, t ex att skapa en strandskoning genom att tippa ut sten över strandkanten. Kommuner kan å andra sidan överväga dyrare alternativ. Det är då kustingenjörens uppgift att hitta den lösning som, inom den tillåtna ekonomiska ramen, ger det bästa skyddet.

Utöver dessa rent tekniska och ekonomiska aspekter på valet av erosionsskydd finns även många andra intressen (naturintressen, arkitektoniska intressen, möjligheten att nyttja stranden efter åtgärd etc.) att beakta, och inte sällan kan de sinsemellan vara motstridiga. I helheten måste även ingå värderingar av vilka negativa konsekvenser uppförandet av ett erosionsskydd/kustskydd kan komma att få.

3.2 HÖVDER

En hövd är en konstruktion av begränsad storlek, en tvärbank, som löper från stranden och oftast vinkelrätt ut i vattnet. Hövder är en av de vanligaste typerna av erosionsskydd/kustskydd. På uppströmssidan av hövden kommer material att ansamlas, medan material kommer att eroderas på nedströmssidan, Figur 3.

Stranden kommer att byggas upp successivt, i princip parallellt med dominerande riktning för infallande vågfronter, och strandlinjen kommer successivt att flyttas ut mot hövdens ytterände. Efterhand som detta sker kommer material åter att passera förbi hövdens ytterände och erosionen på nedströmssidan kommer att avstanna. Ofta byggs en serie hövder för att stabilisera en längre kuststräcka, vilket resulterar i en tandad kustlinje, Figur 4.



Figur 3 Illustration av funktionen hos en hövd. På uppströmssidan kommer material att ansamlas medan material kommer att eroderas på nedströmssidan i och med att en mindre mängd material kommer att transporteras litoralt längs med kusten (Hanson, 2003).



Figur 4 En serie hövder längs Danmarks Nordsjökust, vilket stabiliserar en längre kuststräcka och bildar en tandad kustlinje (Kystdirektoratet, Danmark).

Ur ett teknisk perspektiv skulle man kunna sammanfatta hövdernas funktion med att de:

- stabiliserar en kuststräcka utsatt för intermittenta erosions- respektive depositionsangrepp på grund av vågor.
- är ett indirekt skydd av upplandet genom att sandmaterialet utmed stranden inte förs bort av kustparallella strömmar.
- reducerar mängden transporterat material förbi en kuststräcka genom att kustlinjen erhåller en sträckning som är något så när vinkelrät mot vågornas dominerande infallsriktning.
- bygger upp eller utvidgar en kuststräcka genom att hindra den litorala transporten (kustparallella transporten) och istället magasineras sanden vid stranden. Däremot påverkar inte hövder de strömmar som rör sig vinkelrätt mot kusten. Hövder kan således inte fånga upp något ytterligare material än det som transporteras längs själva strandavsnittet.

Till hövdernas *fördelar* kan räknas att de

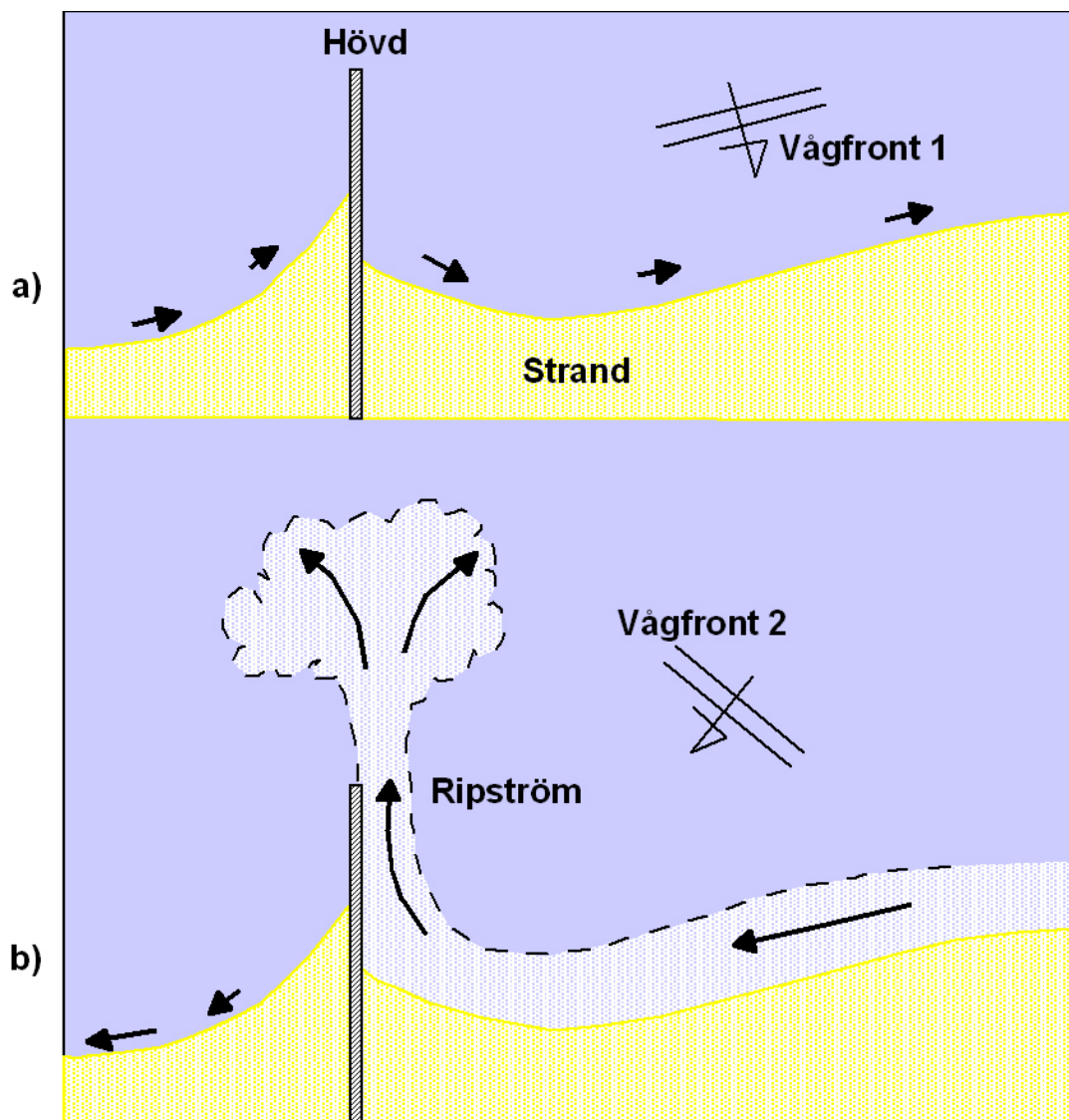
- bygger ut strandplanet
- inte försvårar tillgängligheten till stranden
- utformade på rätt sätt kan utnyttjas för rekreatiönsändamål, t ex som badbryggor eller för fiske. Denna möjlighet till sekundär användning gör att hövder många gånger kan accepteras ur estetisk synpunkt även i områden där inga konstruktioner tidigare funnits.

och till hövdernas *nackdelar* kan räknas att

- de vid ogynnsamma förhållanden genererar tvärströmmar eller ripströmmar som för material ut från stranden (förklaras närmare nedan).
- nedströms liggande strandavsnitt kan skadas genom att materialtransport dit förhindras. Nedströms kommer erosionen därför ofta att tillta i och med att materialtransporten förbi hövden minskar, varvid även tillgången till material nedströms minskar.
- brist på sand på uppströmssidan kan medföra att man kan behöva tillföra sand.

- bristfällig förankring mot land kan innebära att konstruktionen kringskärs genom den erosion som uppstår på nedströmssidan.
- hövderna inte ger något direkt skydd av slänter bakom stranden. Dock ger de ett indirekt skydd genom att stranden byggs ut och därmed effektivare bryter de inkommande vågorna vid högvattensituationer då vågorna når ända in till slänten.
- det är nödvändigt för funktionen att det transporteras påtagligt med sand utmed kusten.
- de kan resultera i att det estetiska värdet av området försämras.

Uppkomsten av tvärströmmar eller ripströmmar illustreras i Figur 5. Den förhärskande vindriktningen t ex under sommaren bygger upp stranden som i Figur 5a. Under vintern kommer stormar från flera olika håll. Om det vid något tillfälle faller in stormvågor inom den andra kvadranten kan en ripström genereras utmed den blottade sidan av hövden, parallellt med hövden. På detta sätt förs material längre ut från kusten än det skulle föras utan inverkan av hövden. Då detta material rör sig mot kusten kommer det, eftersom avståndet till stranden är längre, att förflytta sig en längre sträcka utmed kusten än vad som vore fallet om inte hövden fanns där. Ibland kan ripströmmar föra ut material på så djupt vatten att vågorna är oförmögna att föra tillbaka sanden till stranden. En



Figur 5 Schematisk beskrivning av uppkomsten av ripströmmar i samband med hövder (Efter Silvester and Hsu, 1993).

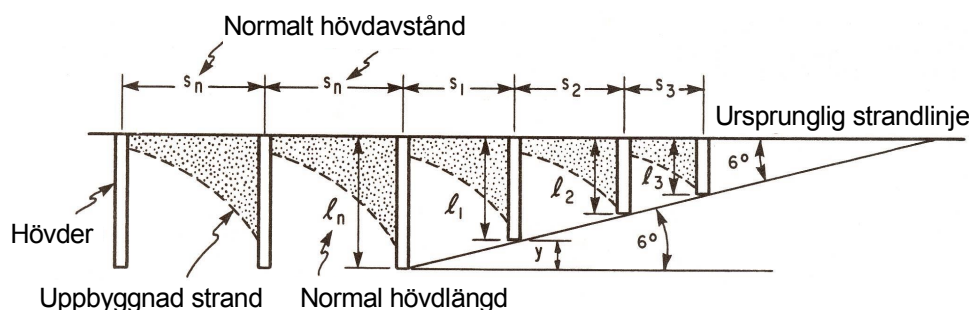
hövd kan således bidra till en förlust av material utmed en kusträcka istället för att samla upp det. Uppkomsten av ripströmmar kan begränsas genom att hövderna konstrueras och utformas för att motverka detta, bl a kan T- och Y-formade hövder användas istället för raka.

Den konstruktiva utformningen av hövder beror på flera olika faktorer. Ett antal generella tumregler finns dock:

- Hövden måste förankras långt upp på stranden så att den inte riskerar att kringskäras vid kraftig erosion på läsidan. Om vinden vänder så att denna sida blir lovertssida får detta ödesdigra konsekvenser.
- Den inre delen måste utföras så hög att den inte överspolas av vågorna vid högvatten. En sådan överspolning skulle kunna medföra att nedströmserosionen tog fart.
- I den mån hövder konstrueras med en yttre del, skall denna vara så låg att småbåtar kan passera över vid normalt vattenstånd. Ofta utförs hövder emellertid utan yttre del.
- Hövdens längd avgörs av flera olika faktorer. Samtidigt som det är önskvärt att material ansamlas uppströms så att strandplanet byggs upp, är det också önskvärt att erosionen nedströms inte blir alltför omfattande. Om en hövd görs alltför lång, kommer huvuddelen av den kustparallella (litorala) transporten att fångas upp, varvid en accelererande erosion kan noteras nedströms.

- Vid utförandet av ett system med en serie hövder är det viktigt att få rätt inbördes avstånd mellan hövderna. Är avståndet för litet, kommer materialtransporten att passera i nivå med hövdernas ytterändar utan att föras in till stranden. Är avståndet för stort kommer hövderna inte att samverka utan fungera individuellt, oberoende av varandra. En tumregel säger att det inbördes avståndet bör vara 2 – 3 gånger hövdernas längd från strandlinjen.
- I syfte att minska sidoeffekterna av en serie hövder bör de sista hövderna i huvudtransportriktningen göras kortare än de övriga, Figur 6. Bruun (1952) visar att optimala förhållanden erhålls om vinkeln mellan hövdernas yttre ände och kustlinjen uppgår till cirka 6°. Detta skall dock betraktas som en tumregel. Den faktiska utformningen måste alltid baseras på rådande omständigheter och förhållanden.

Hövder kan utföras i olika material. Det viktiga är att konstruktionen motstår de laster i form av t ex vågor som den kommer att utsättas för, liksom att den blir tillräckligt tät. Vid en alltför porös konstruktion kommer material att kunna spolas genom hövden, varvid dess funktion till stor del omintetgörs. Vanligast är att hövder utförs med uppfyllnader av sten, ibland innanför stålsponter för att säkerställa tätheten. Andra förekommande material är trä och betong.



Figur 6 Schematisk avkortning av de sista hövderna i huvudtransportriktningen för att minska sidoeffekter (CERC, 1984). För att bibehålla stabila förhållanden måste även hövdavståndet ändras när hövdlängderna ändras.

3.3 STRANDSKONING

Strandskoning är ett samlingsbegrepp för olika typer av konstruktioner som uppförs parallellt med kuststräckor och sträckor i vattendrag som är utsatta för erosion, särskilt där vångreppen är svåra. Strandskoningsens primära funktion är att skilja land och vatten och därigenom begränsa vågors och strömmars möjligheter att erodera stränderna. Dessutom skyddar strandskoningar mot jordskred och ras. Strandskoningens kan antingen placeras direkt på slänten ned mot vattnet eller utföras vertikalt, i form av stödmurar eller kajliknande konstruktioner.

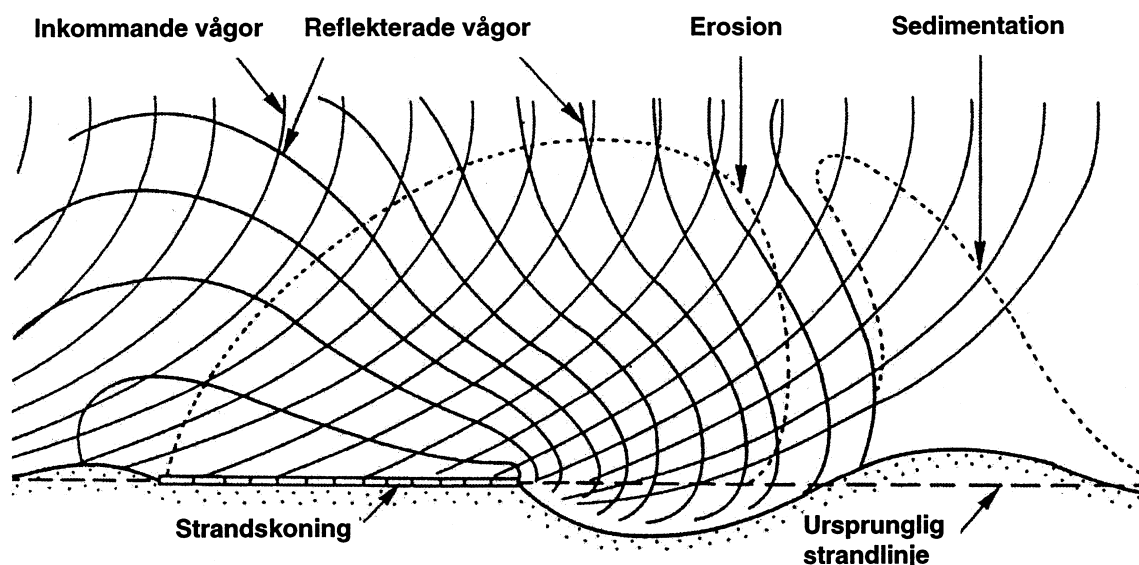
Funktionellt kommer strandskoningens inte att bidra till att bygga upp stränder och strandplan, såsom t ex hövder gör. Däremot förhindras effektivt fortsatt erosion i bakland och dyner, vilket är en av strandskoningsens största fördelar.

Bland strandskoningsens *nackdelar* kan nämnas:

- oftast höga initialkostnader
- förorsakar ofta nedströmserosion
- kan ge vågreflektion om de är för branta (förklaras närmare nedan)
- skyddar inte strandplanet mot fortsatt erosion
- kan minska tillgängligheten till stranden om skoningens måste passeras.

Strandskoningar har ofta en erosionsaccelererande effekt på sin omgivning. Detta har främst två orsaker. Dels innebär uppförandet av skyddet att erosionen i princip helt avstannar inom det område som omfattas av åtgärden, vilket ger som resultat att materialtillförseln till omgivningen avtar. Detta leder i sin tur till en ökad erosion nedströms. Dels kommer strandskoningar att påverka vågmönstret. Eftersom de har en större reflektionskoefficient än naturlig strand, som i praktiken är helt oreflekterande, kommer de reflekterade vågorna att samverka med infallande och på så sätt ge upphov till ett komplicerat vågmönster, då de inkommande och reflekterade vågorna rör sig snett i förhållande till varandra, Figur 7. Detta leder till att de resulterande partikelhastigheterna blir väldigt höga inom vissa områden med erosion som följd. Denna effekt motverkas genom att lägga slänten i så flack lutning som möjligt och därigenom minimera reflektionen från konstruktionen.

Förutom sedimenttransport kommer de samverkande inkommande och reflekterade vågorna att ge upphov till släntfoterosion, dvs. bottenerosion vid framkanten av strandskoningens. Släntfoten måste därför utformas med ett särskilt erosionsskydd, t ex förstärkt skydd med grövre sten. Samma principer som tillämpas för att skydda andra typer av ingenjörskonstruktioner i strömmande vatten mot lokal erosion, t ex brostöd, kan användas.



Figur 7 Vågmönster och sedimenttransport vid reflektion från strandskoning (Efter Silvester and Hsu, 1993).

Ytterligare en aspekt som måste beaktas är grundläggningen av strandskoning. Skydden är vanligtvis relativt tunga, och med tiden kan dessa således komma att sätta sig om de inte grundlagts på ett korrekt sätt, varvid de sakta sjunker ner i bottenmaterialet. Att successivt fylla på med ny strandskoning på toppen hjälper inte upp situationen nämnvärt, eftersom detta enbart leder till att belastningen på jorden under ökar ytterligare, med fortsatta och kanske till och med accelererande sättningar som följd. Stödmurar, sponter och kajliknande konstruktioner låter sig dessutom många gånger svårligen förlängas.

I anslutning till täta konstruktioner, t ex olika betongkonstruktioner, måste särskilt risken för uppbyggnad av vattentryck under och bakom skyddet beaktas, något som kan äventyra skyddets stabilitet. Vanligtvis måste någon form av dränering anordnas för att säkerställa skyddets funktion.

Den vanligaste typen av strandskoning utgörs av block eller sprängsten som placeras ut längs stranden, Figur 8.

Andra exempel på strandskoning är betongplattor, Figur 9, betongmurselement, Figur 10, eller i en enklare form sandfyllda säckar, Figur 11. Denna enklare typ av strandskoning utgör knappast något permanent skydd, utan möjligtvis en temporär lösning under tiden ett mer robust system projekteras, eller för att lösa ett akut erosionsproblem. Möjligtvis vore en mer korrekt benämning släntskydd och inte strandskoning.

Exempel på ytterligare typer av strandskoning (utplacerade längs stränderna) är:

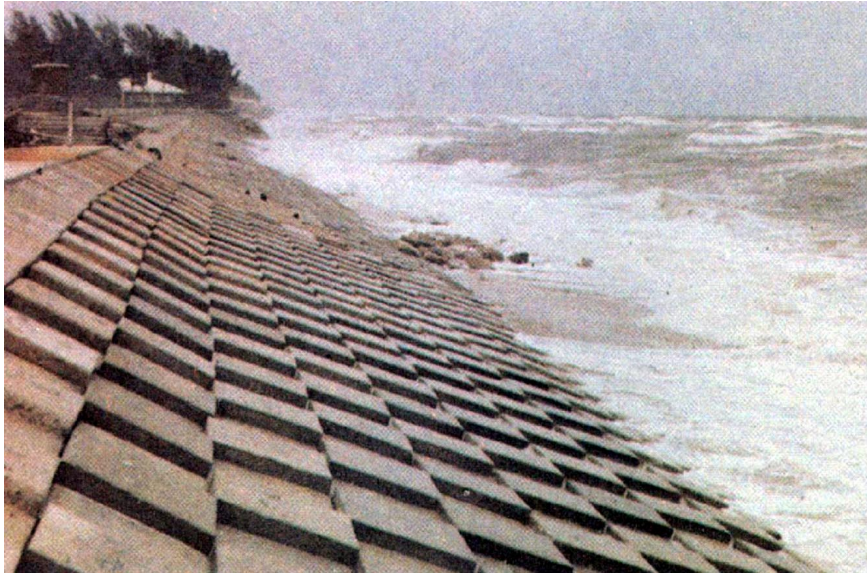
- platsgjutna betongplattor
- gabioner (stenfyllda nätkassar)
- betongmadrasser
- betongbalkar

Exempel på vertikala konstruktioner (kajliknande) är:

- stålspont
- H-balkprofiler med utfyllnad av t ex järnvägsslipers mellan balkarna
- träpålar



Figur 8 Den vanligaste typen av strandskoning utgörs av block eller sprängsten som läggs ut längs kuststräckor med erosionsproblem (Foto: Hans Hanson).



Figur 9 Exempel på strandskoning uppbyggd av betongplattor (CERC, 1984).



Figur 10 Exempel på strandskoning i form av betongmurselement (CERC, 1984).



Figur 11 Enklare form av strandskoning i form av sandfyllda säckar (USGS, 1995).

3.4 FRILIGGANDEVÅGBRYTARE

Friliggande vågbrytare är konstruktioner som placeras en bit ut från och i huvudsak parallellt med kustlinjen. Genom att konstruktionerna placeras en bit ut från land skyddar de en längre kuststräcka än vad motsvarande konstruktion placerad i strandlinjen skulle ha gjort. Metoden kan med fördel kombineras med andra typer av kustskydd, som t ex strandskoningar eller sandutfyllnad.

Material som transporteras kustparallellt kommer att avsättas (sedimentera) i området mellan den friliggande vågbrytaren och den ursprungliga strandlinjen, Figur 12. Försök (Sarawagi et al. (1990)) har visat att upp till 50 procent av den kustparallella sedimenttransporten kan sedimentera bakom vågbrytaren. I det fall stranden bakom vågbrytaren inte når ända ut till konstruktionen kallas den utbyggda stranden *förskjutningsudde* (eng. salient). Om stranden däremot når ända ut till vågbrytaren kallas den *tombolo*.

Principen för den friliggande vågbrytaren bygger på samverkan mellan två mekanismer, nämligen förändring av vågriktning samt minskning av våghöjd. Principen åskådliggörs i Figur 13 från ett modellförsök på laboratorium.

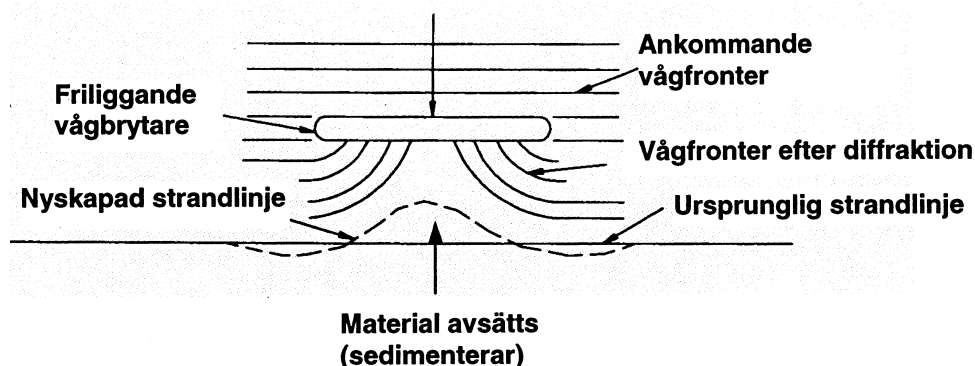
Genom inverkan av diffraktion kommer vågorna på ömse sidor om vågbrytaren att röra sig in mot området bakom konstruktionen. Härigenom transporterar vågorna in sand bakom vågbrytaren och stranden byggs upp. När stranden väl byggts ut kommer vågorna dessutom att refrakteras in mot förskjutningsudden/tombolon vilket ytterligare förstärker vågornas omböjning.

I lä av konstruktionen reduceras vågornas höjd successivt. Härigenom förmår vågorna transportera allt mindre mängd sediment. Sanden kommer därför gradvis att deponeras på botten bakom vågbrytaren, vilket bidrar till uppbyggandet av en förskjutningsudde/tombolo.

Alla dessa processer strävar således efter att bygga ut förskjutningsudden. Samtidigt rör sig emellertid en kustparallell ström utmed kusten. När stranden byggs ut kommer denna ström att pressas ihop varvid strömhastigheten ökar. Härigenom ökar den kustparallella transportkapaciteten. Denna ökning strävar efter att utjämna udden. Utbyggnaden av förskjutningsudden fortgår således tills det uppkommer en balans mellan de uppbyggande och utjämnande processerna.

Vanligast uppförs en serie friliggande vågbrytare, med ett inbördes avstånd av 0,5–2 gånger vågbrytarens längd. Detta resulterar i en kustlinje enligt Figur 14. Det finns stora likheter mellan de friliggande vågbrytarens verkningssätt som erosionskydd/kustskydd och hur stabila stränder utbildas mellan morfologiskt stabila uddar i kustlandskapet. Det är kanske därför som många hävdar att just friliggande vågbrytare är den mest effektiva metoden att fånga upp den kustparallella materialtransporten.

I allmänhet är en tombolo bakom vågbrytaren inte önskvärd. Så länge stranden formar en förskjutningsudde kan sand, som rör sig utmed kusten, fortfarande röra sig utmed stranden innanför vågbrytaren. Härigenom avstannar nedströmserosionen. Om stranden byggs ut till en tombolo, kommer transporten att skäras av varvid nedströmserosionen kan accelerera. Det finns därför empi-



Figur 12 Material som transporteras kustparallellt kommer att avsättas (sedimentera) mellan den ursprungliga strandlinjen och konstruktionen. Om det avsatta materialet inte når ut till konstruktionen kallas den utbyggda stranden *förskjutningsudde* (eng. salient). Om det når ut till konstruktionen kallas den *tombolo* (efter Silvester och Hsu, 1993).



Figur 13 Åskådliggörande genom modellförsök i laboratorium av den friliggande vågbrytarens funktion genom att den förändrar vågriktningen respektive minskar våghöjden (Foto: Hans Hanson).



Figur 14 Vanligast uppförs en serie friliggande vågbrytare, vilket resulterar i en kustlinje (Kystdirektoratet, Danmark). Bilden visar en tydlig tombolobildning.

riska samband utarbetade som relaterar några karakteristiska storheter till möjligheten/risken för utbildande av tombolo eller förskjutningsudde, Figur 15. Det ska dock påpekas att dessa relationer inte är exakta på något sätt, utan utgör sammanställningar av ett antal projekt där friliggande vågbrytare uppförts och uppföljningar av huruvida förskjutningsuddar eller tombolos har byggts upp.

Till friliggande vågbrytares *fördelar* kan nämnas att:

- de effektivt skapar en naturlig strand utan inslag av konstruktioner och att de ofta minskar sandtransporten ut från stranden.
- de även medför ett sekundärt skydd av innanför liggande slänter. Vågbrytarna dämpar även de inkommande vågorna, vilket ger ett indirekt skydd av bakomliggande slänter.

Några *nackdelar* är att friliggande vågbrytare:

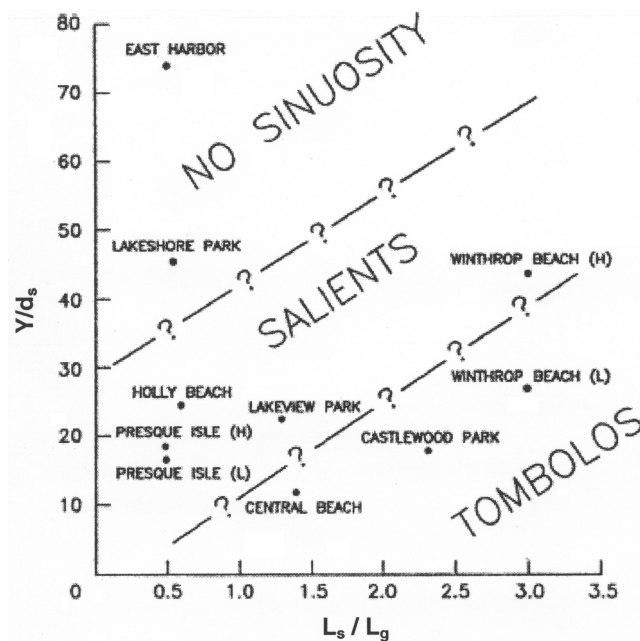
- att de ofta inte utgör något positivt estetiskt inslag i kustlandskapet
- ger mycket höga initialkostnader i och med att de uppförs ute i vattnet
- kan ge en viss nedströmserosion innan stabilisering har skett, förutsatt att tombolos inte byggs upp.

Friliggande vågbrytare kan även utföras som flytande vågbrytare. Detta förenklar och förbilligar konstruktionen, men samtidigt är flytande vågbrytare inte särskilt effektiva vid långa våglängder.

Ytterligare exempel på konstruktionslösningar för friliggande vågbrytare är sådana utförda som undervattensvågbrytare.

3.5 ARTIFICIELL SANDTILLFÖRSEL

Det snabbaste sättet att återställa en eroderande strand till sitt ursprungliga utseende, alternativt till ett annat önskvärt utseende, är att tillföra sand, antingen genom pumpning från fartyg eller genom landtransporter. Tack vare metodens ringa miljöpåverkan har den snabbt vunnit terräng runtom i världen, och utgör idag en av de mer vanliga kustskyddsåtgärderna. Metoden är relativt ekonomisk, och kan vidtas som fristående åtgärd, eller i kombination med andra åtgärder. Som fristående åtgärd påverkas dock egentligen inte förhållandena på platsen, dvs. de inkommande vågorna och deras påverkan på kusten. Den tillförda sanden kommer att eroderas med minst samma hastighet som tidigare. Dock motverkar metoden fortsatt erosion av befintlig mark. För att få sanden att ligga



Figur 15 Empiriska kriterier för när tombolo respektive förskjutningsudde (salient) utbildas mellan ursprunglig strandlinje och friliggande vågbrytare. L_s = vågbrytarens längd, L_g = avstånd mellan intilliggande vågbrytare, Y = vågbrytarens avstånd från den ursprungliga strandlinjen, d_s = vattendjup vid vågbrytaren (Efter Pope och Dean, 1986).

klar kan metoden med fördel kombineras med andra kustskyddsalternativ, t ex hövder eller friliggande vågbrytare. Funktionen hos t ex hövder och vågbrytare kan dessutom förbättras genom kombination med artificiell sandtillförsel, främst i de fall där den kustparallella materialtransporten är måttlig. De sandmagasin som hövderna respektive vågbrytarna annars skapar naturligt kan istället fyllas ut på konstgjord väg. Härigenom kan den nedströmserosion som annars uppstår, åtminstone initialt, till största delen förhindras.

Till metodens *fördelar* kan nämnas att:

- den inte medför några konstruktioner på stranden
- den ger ett ökat indirekt skydd av bakomliggande slätter, eftersom strandplanet byggs ut
- initialkostnaden blir relativt låg.

och bland *nackdelarna* kan nämnas att:

- metoden kräver ett regelbundet underhåll. I takt med att sand eroderas måste ny sand tillföras för att skyddseffekten ska bibehållas.

Även om metoden i sig är enkel, kräver den en serie kvalificerade värderingar och överväganden:

- Den dominerande kustparallella materialtransportriktningen och underskott i materialtillförsel till strandavsnittet måste bestämmas.

Den kustparallella materialtransporten kan vanligtvis inte mätas. Istället måste indirekta metoder tillgripas; (1) mätning av de sandmängder som stoppas av pirar, hövder och liknande konstruktioner över en viss tidsperiod, eller (2) beräkning av transporten på basis av statistiska vägdata genom att använda kända matematiska samband mellan vågor och sedimenttransport. Med underskott i materialtillförsel menas den mängd ursprungsmaterial som kontinuerligt måste tillföras området för att balansera nettoförlusten från området, dvs. ett mått på erosionshastigheten. Resultatet från karteringar under lång tid är det bästa underlaget för en beräkning av underskottet. Sådana karteringar, lämpliga för just detta ändamål, finns emellertid sällan tillgängliga. Analys av flygbilder kan användas som approximativ "överslagsmetod". Förändringen i strandytans utbredning mellan olika uppsättningar flygbilder kan jämföras. Som enkel tumregel kan antas att en förändring av den horisontella strandytan med 1 m^2 motsvarar en sandvolym av ca $6 - 7 \text{ m}^3$.

- Det ursprungliga sandmaterialets karaktäristika ut till 6-meterslinjen (utgör ofta gränsen för påtaglig sedimentrörelse) måste bestämmas.

Som i många andra geotekniska sammanhang karakteriseras sandmaterial i detta sammanhang med hjälp av dess kornstorleksfördelning. Några olika system förekommer för det

ta. Ett sätt är att beskriva en representativ kornstorlek, vanligtvis används d_{50} , vilket är mediankornstorleken, samt ett mått på fördelningskurvans lutning i fördelningsdiagrammet, graderingskoefficienten. Ett annat sätt är att ta fasta på att kornstorleksfördelningen för sandstrandsmaterial och många sandfyndigheter till sjöss är log-normalfördelad, dock inte kornstorleken i sig, dvs. $\log(d)$ är normalfördelad.

- Ersättningsmaterial för den initiala utfyllnaden och de periodiskt återkommande utfyllnaderna måste bedömas. En bestämning av mängden erforderligt ersättningsmaterial utifrån en jämförelse mellan detta och det ursprungliga materialet ingår i bedömningen.

När ersättningsmaterialet deponeras på stranden kommer bottenprofilen att justeras till en jämviktsprofil svarande mot materialets kornstorleksfördelning. I denna process sker en sortering av materialet under vågornas inverkan. Organiskt material och finkornigt material kommer att sköljas ur fyllnaden och åter avsättas på djupare vatten. Detta innebär dels att även material som ur kornstorleksfördelningssynpunkt avviker från det ursprungliga ändå kan användas eftersom en ny jämviktsprofil kommer att utbildas efter sorteringen, dels att den erforderliga mängden ersättningsmaterial kommer att bero på dess kornstorleksfördelning. Om ersättningsmaterialet är finkornigare än det naturliga, kommer den nya tvärprofilen att bli flackare. För grovkornigare ersättningsmaterial blir förhållandet däremot det omvända. Den erforderliga mängden ersättningsmaterial blir således mindre om ersättningsmaterialet är grovkornigt. Ett grovkornigt material är dessutom mer motståndskraftigt mot erosion. En dansk studie visar effektiviteten genom en jämförelse mellan d_{50} för ursprungsmaterialet och ersättningsmaterialet, Figur 16.

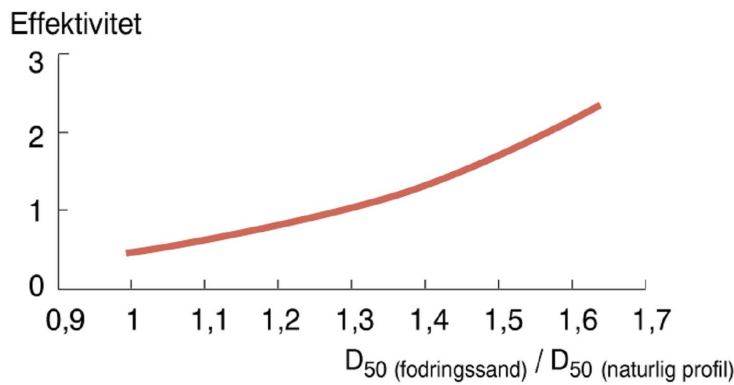
Många gånger är det därför önskvärt att använda ett ersättningsmaterial som är grovkornigare än det naturliga. Ett grovkornigare material dräneras även snabbare, vilket leder till en snabbare konsolidering. Detta är en fördel eftersom risken för kraftiga erosionskador är stor innan materialet konsoliderats. Dessutom kan stranden öppnas för allmänheten så snart sanden konsoliderats.

Lokalisering av lämpligt utfyllnadsmaterial kan många gånger vara relativt komplicerat. Därutöver finns idag en omfattande miljölagstiftning som reglerar möjligheterna att hantera och använda naturmaterial. Det vore i sammanhanget lockande att kunna återföra material som eroderat från stränderna och avsatts längre ut till havs. Dock har det visat sig mycket komplicerat att erhålla s k marina täktstillstånd i Sverige.

- Strandplanets höjd och vidd måste bestämmas.

Bestämning av strandplanets höjd görs lämpligen genom att studera stränder i anslutning till utfyllnadsområdet eller av platser där liknande förhållanden, främst vad gäller våghöjder och vattenståndsförhållanden, bedöms råda. Strandplanets vidd kan t ex bestämmas utifrån: (a) kustlinjens naturliga årstidsvariation, så att den normala erosionen under vintern inte riskerar att påverka bakomliggande slätt, (b) återställande av förlorad strandyta, (c) tillskapande av yta för rekreationsändamål.

- Den nya jämviktsprofilen (profilens utseende efter att den bearbetats av vågorna) måste bestämmas.



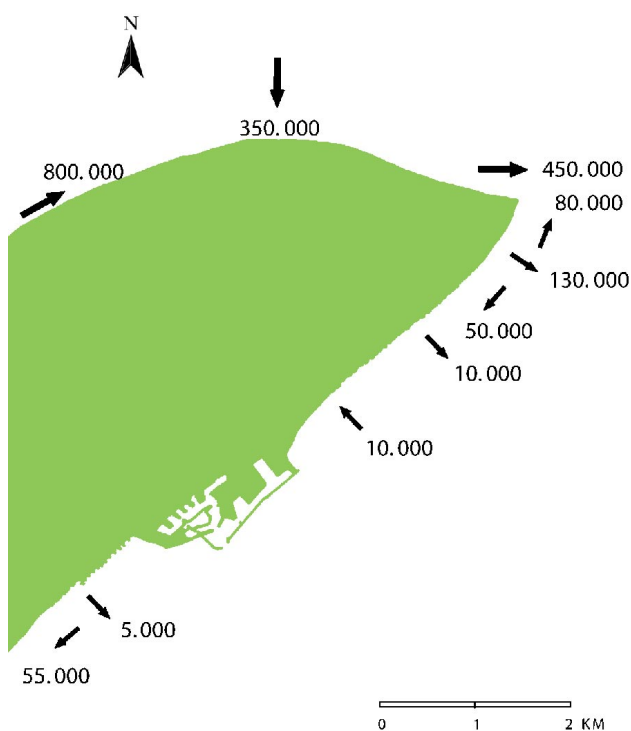
Figur 16 Jämförelse mellan mediankornstorleken d_{50} för ersättningsmaterialet (fodringssand) och ursprungsmaterialet (naturlig profil) med avseende på effektiviteten, här uttryckt som motståndskraft mot erosion (Kystdirektoratet, Danmark).

Ersättningsmaterialet får inte läggas på större djup än det djup ut till vilket en signifikant sedimenttransport äger rum (för Östersjön cirka 6 m) för att kunna föras upp på stranden av vågorna. Ersättningsmaterialet läggs ut så att den önskade initiala strandvidden gott och väl erhålles, varefter resten av materialet läggs längre ut i vattnet.

Relativt snart kommer vågorna att redistribuera materialet så att den nya jämviktsprofilen börjar utbildas. När den initiala omDispositioneringen av materialet avtagit kan erosionsmotståndet ökas avsevärt genom att plantera gräs och annan vegetation.

- Landningsplats för ersättningsmaterialet måste bestämmas.

Om sandutfyllnaden görs på ett strandparti där den tidigare naturliga stranden eroderats, kommer även den nya stranden att eroderas, såvida inte ytterligare åtgärder vidtagits för att motverka detta. För att erhålla en ny, stabil, utflyttad strandlinje, kan mindre mängder material återfyllas med relativt korta tidsintervall, något som dock i allmänhet är både opraktiskt och oekonomiskt. Ett mer rationellt sätt kan istället vara att tillföra större mängder till ett uppströms liggande strandavsnitt, s k förrädsstrand. Detta material kommer med vågornas hjälp att successivt tillföras utfyllnadsområdet över en längre tidsperiod. Intransporten av material till utfyllnadsområdet kommer alltså att öka, vilket bättre balanserar uttransporten, vilket leder till att strandlinjens rörelser inom det egentliga utfyllnadsområdet minimeras. Förrädsstränder måste naturligtvis noggrant studeras och åtgärden dimensioneras så att de förändringar en sådan sandutfyllnad medför inte inverkar negativt på andra strandavsnitt.



I Danmark har återkommande sandutfyllnader länge använts som erosions- och kustskydd. Företrädesvis eftersträvas en återföring av eroderad sand från sandbankar som byggts upp ute till havs tillbaka till stränderna. S k sedimentbudgetar har upprättats för olika områden, vilka visar i vilken omfattning sediment eroderas från stränderna samt var detta material avsätts, Figur 17.

Figur 17 Exempel på sedimentbudget för Skagen. En sedimentbudget visar i vilken utsträckning sediment eroderas från stränderna och var dessa sediment sedan åter avsätts (Kystdirektoratet, Danmark).

3.6 VEGETATION

Anlagd vegetation blir allt vanligare som erosionskydd, också i Sverige. Det pågår för närvarande utvecklingsprojekt vad gäller användande av vegetationstäckan som skydd mot erosion längs vattendrag. När det gäller kustskydd och stranderosion är tillämpningen än så länge begränsad, men metoden har förmodligen stor potential. Ett vegetationstäckan på naturliga eller konstgjorda sanddyner ger en avsevärt ökad motståndskraft mot erosion.

Till skillnad från många av de andra erosions-/kustskydden kräver vegetation en viss tid innan full effekt av skyddet uppnås. Det tar nämligen en viss tid för växterna att etablera sig på platsen. Under etableringstiden är också skyddet relativt känsligt för påverkan och skador. Många gånger kan det vara möjligt att välja olika typer av växter med olika etableringstid, så att de kompletterar varandra att bygga upp ett komplett skydd.

Bland metodens *fördelar* kan nämnas:

- De eventuella skador som uppkommer på erosionskyddet (dvs. på vegetationstäckan) under perioder med dåligt väder kan ofta självläka under andra, lugnare perioder.
- Skyddet är billigt, cirka 10 % av kostnaden för andra typer av kustskydd.
- Vegetationen bidrar till att höja områdets estetiska värde.
- Skyddet har i allmänhet god varaktighet vid inte alltför kraftig påverkan.

Men *nackdelar* finns också. Bland några kan nämnas:

- Vid kontinuerlig vågverkan kan skyddet gradvis komma att förstöras genom att vegetationen inte får tid att återhämta sig.
- Utmed kuster som är föremål för kontinuerlig erosion är enbart ett vegetationstäckan ofta otillräckligt att stå emot erosionen.
- Vegetationen är ofta relativt underhållskrävande och behöver då i allmänhet lagas och gödslas.
- För att minimera skadorna på vegetationsskyddet innan det hunnit etablerats, behöver de vegeterade områdena intialskyddas, t ex genom inhägnader, vilket i sin tur innebär att rörelsefriheten utmed stranden inskränks.

Vegetation används främst för att skydda sanddyner, vilka utgör en viktig materialbuffert vid stormar med extremt höga vattenstånd. Under sådana förhållanden gör vegetationstäckan stor nytta. Dessutom skyddar vegetation sanddyner mot vinderosion.

3.7 MORFOLOGISKT STABILT FORMADE BUKTER MELLAN UDDAR

Stabila bukter med karaktäristisk form och uppbyggda av lösa sediment mellan uddar (eng. headlands) – utstickande stenpartier, rev eller andra byggda konstruktioner – kan återfinnas utmed hela världens kustlinjer, där kustlinjen är utsatt för vågor från en dominerande riktning. Bukterna kan vara i statiskt eller dynamisk jämvikt. Det är samma princip som friliggande vågbrytare bygger på. Om avståndet mellan de individuella vågbrytarna blir för stort, kommer även de funktionsmässigt att likna fasta punkter i kustterrängen mellan vilka morfologiskt stabilt formade bukter bildas.

Bukterna får distinkta former beroende på vågornas infallsvinkel. Ofta, men inte alltid, utbildas formen av ett halvt hjärta (log-spiral följd av en rak linje), där den raka delen är parallell med de infallande vågfronterna. Om vågklimatet är relativt konstant kan formen på bukten förutsägas med god noggrannhet. Formen blir sådan att vågriktningen, som varierar i bukten på grund av refraction och diffraktion, utmed kuststräckan i bukten blir vinkelrät mot kustlinjen. Då infallsriktningen är vinkelrät mot strandlinjen kommer sedimenttransporten att upphöra. Om naturliga erosionsbeständiga uddar saknas i kustlandskapet, kan, som tidigare nämnts, strandskoningar eller vågbrytare anläggas för att åstadkomma samma effekt.

Ett exempel på en sådan välutvecklad bukt är Ystadbukten på den skånska sydkusten, Figur 18. Bukten så att säga ”hänger” i två fasta punkter med Ystad i väster och Kåsebergaåsen i Öster. Den dominerande vågriktningen är, som framgår av buktens form, från sydväst. Kusten är i balans utmed den raka delen av bukten, dvs. från Nybrostrand till Kåseberga. Dock är inte formen helt färdigutvecklad i den västra delen som fortfarande är utsatt för erosion. Öster om Kåseberga ligger Löderups strandbad, där det förekommer mycket intensiv erosion.



Figur 18 Kustens utseende i Ystadbukten med en kuststräcka i balans ur erosionssynpunkt från Nybrostrand och ut till den yttersta udden (Kåseberga), samt med en kuststräcka under intensiv erosion vid Löderups strandbad (Grafik: Hans Hanson).

Buktens form vid Löderups strandbad, jämfört med den i Ystadbukten, avslöjar att den befinner sig långt från jämvikt. Erosionen förbi Löderups strandbad kan därför förväntas fortsätta över lång tid om inga åtgärder sätts in för att förhindra eller begränsa erosionsangreppen.

Vid artificiell uppbyggnad av stabilt formade bukter mellan uddar, eller mellan någon form av konstruktion, t ex friliggande vågbrytare), kommer den kustparallella materialtransporten helt att upphöra, vilket kan medföra en accelererad erosion i nedströmsområdet. Effekten kan emellertid även vara av godo vid t ex hamnanläggningar, där annars problem föreligger med deposition, sedimentation, av eroderad sand. Tekniken med stabila bukter används många gånger vid projektering av hamnanläggningar för att inte problem med materialtransport och sedimentation ska uppstå.

3.8 ÖVRIGA METODER

I tidigare avsnitt har de vanligaste metoderna för erosionsskydd/kustskydd beskrivits. Förutom dessa har flera andra metoder använts, och för att göra denna framställning komplett, kommer även dessa att beskrivas, om än något mer överskådligt. Många övriga metoder befinner sig fortfarande under utveckling, och används än så länge inte produktionsmässigt.

Strömreglering med fenor

De metoder som beskrivits i tidigare avsnitt har mest varit inriktade på att antingen åtskilja vattnet och det erosionsbenägna materialet eller att fånga upp den kustparallella materialtransporten så att strandplan byggs upp. En annan möjlighet är att styra eller reglera vattenströmmarna i syfte att uppnå gynnsammare erosionsförhållanden. Ett sätt att göra detta är att placera ”fenor” med en speciell form på botten. Fenorna har en flexibel infästning i förankringen så att deras orientering kan ändras i takt med att strömriktningen varierar.

Metoden har med framgång använts i flera vattendrag, där intensiv erosion förekommit, framförallt i USA. I Sverige har metoden prövats längs kusten utanför Ystad. Metoden kan dock ännu så länge inte anses vara färdigutvecklad, i synnerhet inte för havskusttillämpning, utan bör betraktas som under utveckling. De största problemen vid tillämpningen utanför Ystad uppges vara håll-

barheten, där fenans infästning i foten inte tycks stå emot de belastningar som systemet utsätts för.

Dräneringsrör

Idén med horisontella dräneringsrör längs stranden på ett visst djup under ytan är lika enkel som genial. Det är främst under stormar som denna metod har verkan. Under en storm kommer stormvågor att bryta oftare mot stranden än dyningar. Uppsköljningszonen och delar av strandplanet blir då snabbt vattenmättat, med följd att nästan lika mycket vatten kommer att strömma ned som upp på strandplanet och att strandplanet börjar erodera. Syftet med dränering i strandplanet och uppsköljningszonen är att öka sandens infiltrationsförmåga genom att dränera ut överskottsvatten så att grundvattennivån i strandplanet sänks. Dräneringen gör att mindre vatten strömmar tillbaka ned utmed strandplanet och därigenom stabiliseras strandplanet.

För att fungera erfordras att vatten pumpas ur dräneringsrören. Metoden kräver således en kontinuerlig drift och övervakning.

Den samlade erfarenheten från installationer runt om i världen ger dock inte någon entydigt positiv bild av metodens förmåga att motverka fortsatt erosion.

Tryckutjämningsrör

Ett företag i Danmark har introducerat ett system med vertikala tryckutjämningsrör, som installeras på stranden. Genom att installera rör i sektioner från strandkanten och in mot land dämpas enligt tillverkarna trycket på det utgående grundvattnet, varvid erosionen av finpartiklar ut i havet minskas. Rörens inbördes avstånd anges till cirka 10 meter och avståndet mellan sektionerna till cirka 50 meter. Informationsmaterial innehåller beskrivningar av områden där systemet installerats och där gynnsamma effekter har uppnåtts. Sammantaget på basis av de olika anläggningar som finns i Sverige och i andra länder, går det dock inte i nuläget att fastställa i vilken utsträckning metoden har någon positiv effekt på stranderosionen.

Förbiledning av sand

Inseglingssälar till hamnar utmed sandkuster förorsakar ofta problem. Eftersom rännorna löper från djupt vatten in till en landansluten hamn kommer materialtrans-

porten förbi hamnen att kraftigt reduceras. Detta i sin tur leder till att kusten nedströms hamnanläggningen kommer att tillföras en mindre mängd material med en ökad erosion som följd. Dessutom kommer inseglingssälar att behöva muddras med jämna mellanrum. Ett sätt att reducera problemen är att leda materialet förbi hamnen på konstgjord väg (förbiledning, eng. bypassing).

De flesta förbiledningsutrustningarna består av mudderverk med antingen skopor eller sugrör. Ytterligare en variant är skopor som matar en pipeline som antingen löper kring hamnens periferi eller går under kanalbotten.

De aktuella sandmängderna avgör om det är ekonomiskt försvarbart att investera i en förbiledningsutrustning eller om traditionell muddring i inseglingssälar ska tillämpas. Det bör dock beaktas att i muddringalternativet ansamlas större sandmängder på oönskade platser, t ex i inseglingssälar, innan åtgärd, medan en förbiledningsutrustning medger mer frekventa åtgärder.

De flesta hamnar är byggda med vågbrytare, och det kan vara gynnsamt ur sedimentationssynpunkt att förse vågbrytaren på hamnens uppströmssida med en utstickande sk sporre (eng. spur groin). Det material som transporteras kustparallellt kommer då att ansamlas invid sporen och förhindras att sedimentera i inseglingssälar. Vid stora sandmängder kan metoden kombineras med förbiledningsutrustning. Vid små sandmängder är det mer rimligt att ta upp materialet från land med vanliga entreprenadmaskiner, t ex frontlastare.

3.9 SAMMANFATTNING EROSIONSSKYDD

I Tabell 1 ges en sammanfattning vad gäller egenskaper, funktion och relativ kostnadsnivå för några av de vanligast förekommande typerna av erosionsskydd/kustskydd. Tabellen ska inte ses som en komplett beskrivning, utan mer som en enkel sammanfattning av några viktiga faktorer som kan spela in vid val av olika typer av erosionsskydd. Vissa värderingar är subjektiva, vilket omöjliggör en rättvis sammanfattning. Andra faktorer kan förändra sig över tiden liksom vara avhängiga var någonstans skyddet uppförs, såsom exempelvis kostnaden.

Tabell 1 Sammanfattande beskrivning av de vanligast förekommande typerna av erosionskydd/kustskydd.

	Strandskoning ¹	Höjder	Friliggande vågbrytare	Sandutfyllnad	Vegetation
Bygger upp strandplan	Nej	Ja ²	Ja ²	Ja	Nej
Skyddar bakomliggande områden	Ja	Ja ³	Ja	Ja ³	Ja
Skyddar mot översvämning	Ja	Nej	Nej	Nej	Nej
Minskar våghöjder	Nej	Ja ³	Ja	Ja ³	Nej
Ökar vågreflektionen	Ja	Nej	Nej	Nej	Nej
Risk för nedströmserosion	Ja	Ja ⁴	Ja ⁴	Nej	Nej
Initialkostnad	Hög	Måttlig till hög	Hög	Låg	Låg
Underhållskostnad	Låg	Låt till måttlig	Låg till måttlig	Hög	Låg
Estetiskt tilltalande	Nej	Kan accepteras	Kan accepteras	Ja	Ja
Begränsning i tillgänglighet	Ja	Nej	Nej	Nej	Kan förekomma
Kan uppföras utan maskiner	Möjligt	Nej	Nej	Nej	Ja
Funktion	Skiljer land från vatten	Begränsar den kustparallella materialtransporten. Bygger upp strandplanet uppströms.	Begränsar den vågenergi som överförs till stranden. Bygger upp stranden bakom konstruktionen.	Ersätter eroderat material.	Reducerar erosionsbenägenheten. Till en viss del självläkande om skador uppstår.
Förutsättningar	--	Dominerande transportriktning. Stora mängder material transporteras kustparallellt.	Stora mängder material transporteras kustparallellt.	Lämpligt ersättningsmaterial tillgängligt.	Gynnsamma förutsättningar för vegetationen så att den kan etablera sig.
Begränsningar	Skapar inte en torr strand. Kan fördjupa området utanför. Kan ge nedströmserosion	Förhindrar inte direkt erosionen. Kan ge nedströmserosion.	Förhindrar inte direkt erosionen. Kan ge nedströmserosion.	Minskar inte erosionshastigheten. Förhindrar inte direkt erosionen.	Begränsar enbart erosionsangreppen.

¹) Med strandskoning avses även sponter och kajliknande konstruktioner.

²) Vid stor materialtransport eller i kombination med artificiell sandtillförsel.

³) Indirekt.

⁴) Om inte i kombination med artificiell sandtillförsel.

4 UTFORMNING/DIMENSIONERING/MODELLERING

Det ligger utanför målsättningen med denna rapport att i detalj beskriva hur olika erosionsskydd och kustskydd dimensioneras. Syftet är att ge en översiktlig beskrivning av de aspekter som beaktas vid utformning och dimensionering, samt en introduktion till olika sätt på vilka konstruktionerna och deras funktion/deras effekt kan modelleras.

4.1 UTFORMNINGSPASPEKTER

Val av typ av kustskydd/erosionsskydd beror på flera olika faktorer, som exempelvis

- **Typ av erosionsproblem**

Sammanhänger erosionen med mer kontinuerlig erosion av själva strandplanet bör hövder, friliggande vågbrytare, sandutfyllnad eller en kombination av dess övervägas.

Sker erosionen i klitter eller slänter vid högvattensituationer då det annars skyddande strandplanet ställs under vatten är släntskydd det enda verksamma kustskyddsalternativet. Gäller det att bevara en sandstrand bör sandutfyllnad övervägas.

- **Önskat resultat**

Det primära syftet med åtgärden måste klarläggas.

Är det primära syftet att stabilisera klitter eller slänter bör ett släntskydd väljas. Är det primära syftet att bygga upp strandplanet för t ex rekreatiönsändamål måste andra typer av åtgärder väljas.

- **Exploateringsgrad**

Erosionsskydd och kustskydd ger många gånger en starkt förändrad landskapsbild och ett påtagligt intryck av mänsklig aktivitet. Längs kuststräckor där liknande anläggningar sedan tidigare saknas och utmed badstränder, bör stor möda läggas vid en så anpassad utformning som möjligt, t ex vegetationsbeklädnad. I områden som redan innehåller kustskydds konstruktioner är sådana särskilda åtgärder mindre motiverade.

- **Klimatfaktorer**

Klimatet avgör de laster som konstruktionerna kommer att utsättas för. Det är därför viktigt att etablera en så rättvis beskrivning som möjligt av relevanta klimatfaktorer.

4.2 DIMENSIONERING

Lastbeskrivning

När typ av erosionsskydd/kustskydd har valts återstår själva dimensioneringen. Ett av det viktigaste momenten i dimensioneringsarbetet är att fastställa storleken på lasterna. Dessa utgörs främst av:

- Vattenstånd
- Vågor
- Strömmar och svallvågor från fartygstafrik
- Islaster / Nötning

Att beskriva laster på ett rättvisande sätt kan visa sig vara nog så problematiskt. Vågmodeller som har utvecklats visar sig ha sina begränsningar vad gäller tillämplighet för dimensionering av erosionsskydd. Nuförtiden utförs dessutom mätningar sparsamt längs Sveriges kuster, varför någon större mängd mätdata om våghastigheter, våghöjder osv inte finns att tillgå. Andra typer av laster är lättare att uppskatta, som t ex strömmar från fartygstafrik.

Ändå måste lasterna på något sätt uppskattas eftersom det är grunden för hela dimensioneringen. All tillgänglig information måste samlas in och sammanställas. Många av uppgifterna blir med nödvändighet erfarenhetsmässigt värderade.

Dessutom måste förändringar av t ex vattenstånd till följd av klimatförändringar, liksom kraftigare vindar av samma orsak och därtill följande högre våghöjder, tas i beaktande vid dimensioneringsarbetet. Om dagens dimensionerande lastvärden är svåra att uppskatta faller det sig naturligt att det är ännu svårare att bedöma framtida lastvärden. Återigen handlar det ofta i slutänden om något så när kvalificerade gissningar som får ligga till grund för framtidens lastscenarion.

Konstruktiva aspekter

Det finns ett flertal konstruktiva aspekter att beakta vid dimensioneringen av erosionsskydd:

- **Individuella eller samverkande element**

Individuellt fungerande konstruktionselement i ett erosionsskydd, t ex stenblock eller betongplattor, måste vart och ett ha en sådan tyngd att krafterna från vatten och vågor inte förmår flytta dem i en sådan omfattning att hela konstruktionens funktion äventyras. Alternativet är att låta konstruktionselementen samverka, t ex genom att låta betongplattorna haka tag i och låsa vid varandra. Tyngden av omgivande plattor bidrar då till att hålla varje individuell platta på plats. En nackdel med samverkande element är dock att påkänningarna i låspunkterna tenderar att bli så stora att låsanordningarna bryts sönder. Dessutom kan det vara svårt att byta ut enstaka, skadade element om samtliga är ihakade och låsta vid varandra.

- **Flexibilitet**

Flexibla konstruktioner följer med undergrunden i dess rörelser, t ex vid ojämna sättningar i marken. För mindre flexibla, eller styva konstruktioner ger sådana sättningar istället upphov till inre spänningar. Det går inte heller att se på utsidan om det t ex sker en gradvis urspolning av material bakom en styv konstruktion. På samma sätt är risken för skador på en styv konstruktion om den utsätts för höga laster större än för en flexibel konstruktion.

- **Ytråhet och permeabilitet**

Ett slätt och impermeabelt släntskydd erbjuder litet motstånd för strömmande vatten, varför betydande upp- och nedspolning kan förväntas. Uppspolningshöjden är avgörande för erforderlig krönhöjd på skyddet. Nedspolningen har betydelse för den turbulens som uppstår när det nedrusande vattnet möter de inkommande vågorna, vilket i sin tur kan påverka erosionen omedelbart framför konstruktionen.

- **Släntfoterosion**

Särskilt då släntfoten ligger under vattenytan är den vanliga släntskyddets svagaste länk. Vattenhastigheterna kan här ofta bli höga så erosion lätt uppstår om inte särskilda åtgärder vidtas.

- **Filter**

Flera olika typer av de släntskydd som byggs blir föremål för sättningar förorsakade av att finmaterial från bakomliggande fyllning spolats ut genom konstruktionen. Detta undviks genom att använda filter. Traditionellt byggs dessa upp av ett lager med finkornigt material närmast jorden som avses skyddas mot urspolning. Därefter placeras ytterligare lager med successivt större kornstorlekar utanpå detta första lager. Även filterdukar (geotextilier) kan användas och har samma funktion som filter. Här måste dock materialens beständighet beaktas.

- **Flankutformning**

Flera gånger tidigare i den här rapporten har påpekats att uppförandet av olika former av erosionsskydd/kustskydd oftast leder till att man flyttar erosionsproblematiken till något annat ställe längs kusten. Särskilt vanligt är en accelererad erosion omedelbart vid övergången mellan åtgärdad och icke-åtgärdad kuststräcka. Därför måste avslutet av erosionsskyddet ges särskild uppmärksamhet vid utformning och dimen-

sionering. I annat fall riskerar materialet bakom skyddet att erodera vilket kan äventyra hela skyddets stabilitet och funktion.

- **Materialval**

Den aggressiva marina miljön som råder längs havskuststräckor måste beaktas vid materialval i erosionsskydd/kustskydd. Särskilda åtgärder kan komma att behövas vidtas för att säkerställa beständigheten hos valda material.

Praktiskt tillvägagångssätt

Många anläggningskonstruktioner dimensioneras utifrån ett regel- och normverk. Vanligtvis är detta ganska strikt, vilket ibland underlättar vid dimensionering och konstruktion, ibland försvårar.

När det gäller erosionsskydd och kustskydd finns inget sådant regel- och normverk. Det finns inga svenska anvisningar alls för hur skydden ska dimensioneras och konstrueras.

Det vanligaste verktyget vid dimensionering av kustskydd och erosionsskydd även i Sverige är därför *Coastal Engineering Manual (CEM)* från U.S. Army Corps of Engineers. Denna publikation, som ger en relativt heläckande beskrivning av det mesta rörande stranderosion och kustskydd, kan användas som en handbok vid dimensioneringsarbetet. Många av de kustingenjörer som kontaktas under sammanställningen av denna rapport uppger att mycket av dimensioneringsarbetet är ”tankemässigt” och baseras på en allmän insikt och kunskap om relevanta förhållanden.

Men det är långt ifrån alltid som CEM används. Många ingenjörer nyttjar egna erfarenheter av t ex de laster (vind, vågor, vatten, is) som den slutliga konstruktionen kommer att utsättas för och som används vid dimensioneringen. Ett annat relativt vanligt fall är att dimensioneringen enbart utgår från praktiska aspekter.

För skyddens funktion, och då särskilt skydd av typ hövder, friliggande vågbrytare etc., är det mycket viktigt att dimensioneringen och utformningen blir korrekt. En felaktig dimensionering kommer med säkerhet att leda till att skydden inte fungerar som avsett. Samtidigt beror skyddens funktion också på de laster som använts vid dimensioneringen och på hur väl dessa laster har kunnat uppskattas. Utsätts konstruktionen redan inledningsvis för väsentligt högre laster än de som antagits vid dimensioneringen, kommer dess funktion också att äventyras.

I stort sett alla läroböcker och samlingsvolymerna om stranderosion och erosionsskyddsteknik innehåller avsnitt

om dimensionering och utformning. Det förefaller vid en snabb genomläsning inför sammanställningen av denna rapport att mycket av det som skrivs i olika publikationer egentligen i stort är likvärdigt, och att informationen i mångt och mycket härstammar från samma källa.

4.3 MODELLERING

För att få en bättre uppfattning om funktionen hos en geokonstruktion kan den modelleras, antingen i någon form av numeriskt beräkningsprogram – vilket idag kanske är det vanligaste – eller i fysiska modellförsök. Möjligheterna att utföra fysiska modellförsök för erosionskydd och kustskydd i Sverige har minskat väsentligt under de senaste åren, i takt med att vattenlaboratorier vid många universitet har stängts.

Modellering med hjälp av numeriska beräkningsprogram kräver relativt omfattande indata. Dels måste en modell som beskriver systemets respons för olika typer av påverkan finnas. Antingen används redan existerande modeller, vilket naturligtvis är det allra enklaste, eller måste modeller formuleras för specifika projekt. I traditionella geotekniska beräkningar, t ex analys av fundament, slänter osv., utgörs sådana modeller vanligtvis av spännings-töjningsrelationer, något som de flesta ingenjörer stött på någon gång. När det gäller erosionskydd och kustskydd är det en annan typ av modeller som behövs, modeller som beskriver kustens förändring under inverkan av förekommande laster, såsom vind, vågor, vatten, is etc., samt den inverkan uppförandet av ett erosionskydd/kustskydd får på systemet. Lätt inses att det är tämligen komplicerade beskrivningar som erfordras. Beskrivningen av hur kusten förändras baseras vanligtvis på historiska data och mätserier som på något sätt extrapoleras framåt i tiden. I tidigare avsnitt i denna rapport har pekats på svårigheterna att beskriva karakteristiska laster i form av vind-, våg- och annan vattenbelastning. Kanske inte helt förvånande förenklas till stor del därför de modeller som används.

En av de stora fördelarna med numerisk modellering är enkelheten att genomföra känslighetsstudier och jämförande studier. Liksom i många andra geotekniska applikationer är det inte alltid det absoluta beräkningsresultatet som är av störst intresse, utan snarare den relativa skillnaden vid analys av olika alternativa utformningar av en konstruktion eller att värdera vilka av ingångspa-

rametrarna som har störst inverkan på det slutliga analysresultatet. Sådan information kan också erhållas vid analys av stranderosionsproblem, även om den modell som används inte kan beskriva systemresponsen på ett helt adekvat sätt. Och många gånger måste ingenjören nöja sig därvid. Möjligen kan en sådan känslighetsstudie hjälpa till att välja utformning, längd, vinkling, orientering etc. på olika typer av konstruktioner för att motverka erosionsangrepp. Möjligtvis kan modelleringar även visa på lämpliga åtgärder för att förhindra negativa konsekvenser utanför det område som omfattas av erosionskyddet.

Vid Lunds Tekniska Högskola, avd. för Teknisk Vattenresurslära, används ett analysprogram som heter GENESIS (Hanson 1987, Hanson 1989). Det programmet ingår som en del i ett större paket med olika programmoduler som kan användas för olika strand- och kustrelaterade analyser. GENESIS bygger just på förenklade beskrivningar av system och systemrespons, och syftar främst till att möjliggöra relativa jämförelser mellan olika handlingsalternativ. Lunds Tekniska Högskola har ett välutvecklat samarbete med bl a U.S. Army Corps of Engineers när det gäller modellering och beräkningsverktyg.

Enligt uppgift från Kystdirektoratet, Danmark, används vid DHI i Danmark ett något mer sofistikerat modelleringsverktyg, där även geotekniska egenskaper hos strandmaterialet vägs in i modellen. Genom detta ska en mer fenomenologisk analys kunna genomföras.

Vid varje tillfälle som en numerisk modellering har utförts är det viktigt att följande klarläggs och framgår av redovisningen:

- Vilket program/programpaket har använts
- Vad är syftet med analysen/vad vill visas
- Hur problemet har modellerats
- Vilka grundläggande antaganden görs i den modell som implementerats i programmet
- Vilka möjligheter och begränsningar har programmet (modellen)
- Vilka känslighetsanalyser som har genomförts/inom vilka gränser har parameterintervall gjorts.

5 EXEMPEL PÅ UTFÖRDA EROSIONSSKYDD

Syftet med detta avsnitt är att ge några exempel på praktiskt uppförda erosionsskydd/kustskydd. Det finns flera olika typer av skydd och kombinationer av skydd som har valts i olika sammanhang. Redovisningen gör därför inte på något sätt anspråk på att vara fullständig. Målsättningen är enbart att ge exempel på några uppförda eller planerade erosionsskydd/kustskydd. Underlag till beskrivningarna har tillhandahållits från olika organisationer, vilka anges i samband med beskrivningen.

5.1 FRILIGGANDEVÅGBRYTARE

Plats: Borstahusen, Landskrona kommun

Uppgiftslämnare: Sussanne Fälth, Tekniska Verken, Landskrona Kommun

Uppfört år: Början av 1990-talet.

Syfte: Att stoppa sandflykten.

Kommentar: Enligt uppgift har de friliggande vågbrytarna fungerat bra. På en av bilderna nedan syns den tydliga inverkan vågbrytarna har på vågmönster och vågutbredning.



Figur 5.1 Friliggande vågbrytare, Landskrona kommun (Foto: Landskrona Kommun).

5.2 ÅTGÄRDER MOT SANDDRIFT

Plats: Stråvalla småbåtshamn

Uppgiftslämnare: Svante Roupé, SWECO VBB, Göteborg.

Syfte: Att förhindra sanddrift och begränsa problem med sandackumulering i inlopp till småbåtshamn.

Metod: Det har konstaterats att en förhärskande sandtransportriktning existerar, i detta fallet norrut. Uppförandet av en hövd nedströms hamnloppet föreslås för att fånga upp den sand som transporteras kustparallellt.

Vidare har förändringar i utformningen av befintliga vågbrytare och pirar föreslagits.

Kommentar: Uppgiftslämnaren känner inte till om förslagen genomförts och i så fall om de fungerar som avsett.

5.3 STRANDSKONING

Plats: Lomma kommun
Uppgiftslämnare: Fredrik Christensson, WSP, Malmö
Syfte: Att säkra bakomliggande massor.
Metod: Åtgärderna utgör än så länge förslag och har inte genomförts. Strandtäckningen/strandskoningen föreslås genomföras dels med packad lera som täcks med grovgrus, dels med vegetationstäcke. Metoden har valts på initiativ av Lomma kommun, som haft kontakt med organisationer i Danmark, vilka har god erfarenhet av metoden. Metoden anpassar sig också väl till det existerande kustlandskapet.

5.4 SANDUPPFYLLNAD

Plats: Ängelholm
Uppgiftslämnare: Björn Pettersson, Ängelholms kommun

Utfört år: 1990-talet

Kommentar: Sand hämtades ute till havs för att bygga upp ett strandplan. Redan första vintern flyttade sig strandlinjen, men man har en känsla av att sanden finns kvar i alla fall. För att ytterligare säkra bakomliggande mark har en stentröskel byggts upp precis i vattenbrynet vid normalvatten efter en svår storm. Funktionen hos stentröskeln blir likt en friliggande vågbrytare. Därefter lades sand upp innanför stentröskeln, varvid strandplanet blev återställt. Man kan konstatera att erosionen har ökat i omfattning under de senaste decennierna.

5.5 TRYCKUTJÄMNINGSRÖR

Plats: Ängelholm
Uppgiftslämnare: Björn Petersson, Ängelholms kommun

Kommentar: De vertikala rören har i tidigare avsnitt i denna rapport beskrivits under rubriken "Övriga metoder". Bland gemene man benämns metoden "Danska rör", eftersom det är ett danskt företag som har tagit fram dem.

Det danska företaget som installerat rören har gjort uppföljningar och menar att det har skett en pålagring av sandstranden. Kommunen ska nu också göra en egen uppföljning för att se eventuella effekter efter installationen av rören.

5.6 HÖVDER

Plats: Ystad
Uppgiftslämnare: Erling Alm, Ystads kommun
SWECO VIAK, Malmö

Kommentar: Bland de kustavsnitt i Sverige som utsätts för de största erosionsangreppen hör sträckan förbi Löderups Strandbad utanför Ystad i Skåne. Erosionsangreppen har accelererat i omfattning de sista decennierna och hotar i stor utsträckning infrastruktur och fritidshusbyggnad. Tidigare strandplan hade försvunnit till följd av erosionen och försök gjorts att bibehålla strandlinjen med strandskoning.

Området är känsligt, i och med att det utsätts för kraftig erosion. Samtidigt har området också ett högt rekreativt värde, med både fritidshusbyggnad, camping och badstränder. I princip fanns bara två alternativ vid valet av skydd; dels en upprepad sanduppfyllnad, dels någon form av skyddskonstruktion i syfte att kvarhålla sand från den kustparallella transporten.



Figur 5.2 Hövd längs kuststräcka i Ystads kommun som är kraftigt utsatt för erosion. På bilden syns även stenstrandskoning. (Foto: Ystads kommun).

Valet blev att komplettera strandskoningen med sex hövder. I syfte att tillförsäkra tillkomsten av ett strandplan uppströms om respektive hövd försågs en del av hövderna med sandutfyllnad på västra sidan (uppströms) av respektive hövd. Dessutom föreslogs att en av sandutfyllnaderna skulle stabiliseras med en tröskel som löper längs strandkanten i syfte att förhindra erosion av sandutfyllnaden. En av hövderna utformades som badbrygga och fick således en rekretationsfunktion.

LITTERATURFÖRTECKNING

- Alm, E (1995).** Erosionsskydd – skydd av naturresurser och stränder, Stadsbyggnad, No. 5, 1995, pp. 4-8.
- Boyes, R G H (1980).** Coastal Protection, Civil Engineering, September 1980, pp. 42-47.
- CEM (2001).** Coastal Engineering Manual, US Army Corps of Engineers, Draft Version, proposed publ. date Sep 2001.
- CERC (1984).** Shore Protection Manual, US Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, US Government Printing Office, Washington, DC.
- Dahllö, S (2001).** Omstridda rör håller sanden på plats - Dansk metod provas nu på strand i Ystad, Ny Teknik, No. 36.
- Gustavson, M (1994).** Kusterosion och teknik för kustskydd: Systembeskrivning av erosion och sandtransport, Rapport TRITA-VBI-164, Stockholms Tekniska Högskola, Vattenbyggnad.
- Hanson, H (2003).** Kustskydd – Typer, egenskaper, möjligheter och begränsningar, Rapport Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet, Teknisk Vattenresurslära.
- Hanson, H och Kraus, N C (1986).** Seawall Boundary Condition in Numerical Models of Shoreline Evolution, US Army Corps of Engineers, Technical Report CERC-86-3.
- Johansson, G (1993).** Slutrapport från projekt Ystad/SBUF.
- Kystdirektoratet, Danmark (2001).** Coastal Strategies, Denmark.
- Landskapsgruppen (2001):** Stranderosion i Lomma kommun – Rapport över erosionssituationen längs kusten i Lomma kommun.
- Lerman, P och Rydell, B (2003).** Ansvar och regler vid stranderosion. SGI Varia 534. Statens geotekniska institut, Linköping
- Marelius, F (2001).** Vane applications and vane induced flow, Doctoral Thesis, Division of Hydraulic Engineering, Dept. Of Civil and Environmental Engineering, Stockholms Tekniska Högskola.
- Personlig kommunikation** med Erling Alm, Ystads kommun.
- Personlig kommunikation** med Hans Hansson och Magnus Larsson, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet, Teknisk Vattenresurslära.
- Personlig kommunikation** med Christian Laudrup, Kystdirektoratet, Danmark.
- Personlig kommunikation** med Svante Roupé, SWE-CO VBB, Göteborg.
- Personlig kommunikation** med Fredrick Marelius, WSP, Stockholm.
- Personlig kommunikation** med Richard Lidén, SWE-CO VIAK, Malmö.
- Personlig kommunikation** med Susanne Fälth, Landskrona kommun.
- Personlig kommunikation** med Thomas Aurell, WSP, Helsingborg.
- Personlig kommunikation** med Fredrik Christensson, WSP, Malmö.
- Personlig kommunikation** med Lennart Persson, Lomma kommun.
- Personlig kommunikation** med Björn Petersson, Ängelholms kommun.
- Persson, B (2000).** *Kan ny japansk teknik rädda våra stränder?*, Husbyggaren, No. 5, pp. 8-10.
- Pope, J och Dean, J L (1986).** *Development of Design Criteria for Segmented Breakwaters*, Proc. 20th International Conf. Coastal Engineering, ASCE, NY, pp. 2144-2158.
- Sample, W (2002).** *An Evolving Method of Coastal Erosion Control*, Geotechnical Fabrics Report, March 2002, pp. 50-52.

- Sawaragi, T (1995).** *Coastal Engineering – Waves, Beaches, Wave-Structure Interactions*, Elsevier, ISBN 0-444-82068-x.
- Selig, W N (1983).** *Understanding Beach Erosion and Accretion*, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 109, No. 4, pp. 490-495.
- SIC – Skagen Innovation Center (2003).** *Cost Efficient & Environmentally Friendly Coastal Protection with Pressure Equalisation Modules*, Produktinformation.
- Silvester, R och Hsu, J R C (1993).** *Coastal Stabilization – Innovative Concepts*, Prentice Hall, New Jersey, ISBN 0-13-140310-9.
- Silvester, R (1974).** *Coastal Engineering, I – Sedimentation, estuaries, tides, effluents, and modelling*, Elsevier Scientific Publishing Company.
- Silvester, R (1974).** *Coastal Engineering, II – Sedimentation, estuaries, tides, effluents, and modelling*, Elsevier Scientific Publishing Company.
- USGS (1995).** Proc. 3d Annual Lake Erie Coastal Erosion Study Workshop, US Center for Coastal Geology, St. Petersburg, FL, USA.



Statens geotekniska institut

Besöksadress: Olaus Magnus väg 35

Postadress: 581 93 Linköping

Tel: 013-20 18 00. Fax: 013-20 19 14.

E-post: sgi@swedgeo.se. Internet: www.swedgeo.se