



VARIA 562



Strandfodring

Skydd av kuster mot erosion och översvämning

Hans Hanson
Bengt Rydell
Mattias Andersson

SGI SAMORDNINGSANSVAR FÖR STRANDEROSION

Strandfodring

Strandfodring är en kustskyddsmetod som innebär att en utfyllnad läggs på en strand för att skapa erforderlig strandbredd och/eller skydd mot erosion och översvämning. Erosionen tillåts fortsätta i utfyllnaden istället för i befintlig strand varför ytterligare sand normalt måste tillföras efter ett visst antal år. I begreppet strandfodring ingår alla de åtgärder som behövs för att utvinna och fylla material inklusive undersökning, kontroll och tillståndsprövning.

Varia	Statens geotekniska institut (SGI) 581 93 Linköping
Beställning	SGI, Informationstjänsten 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--06/562--SE
Projektnummer SGI	12606
Dnr SGI	I-0508-0435
Foto omslag	Andries Jumelet, Rijkswaterstaat Zeeland, Holland.

FÖRORD

Statens geotekniska institut (SGI) har på regeringens uppdrag ett samordningsansvar för stranderosion i Sverige. I detta arbete ingår att göra sammanställning av kunskap som finns i samhället inom olika delområden avseende stranderosion. Resultaten från dessa kunskaps-sammanställningar görs allmänt tillgängliga för myndigheter, kommuner, konsulter, entreprenörer och allmänheten.

Många kommuner längs kuster och vattendrag har problem med att stranderosionen successivt för bort material som medför skador på värdefulla markområden, anläggningar och byggnader. Under årens lopp har olika tekniker använts för att skapa skydd mot sådan erosion med varierande framgång; tekniskt och ekonomiskt. Nya synsätt och nya metoder har på senare tid vuxit fram som på ett bättre sätt tar hänsyn till naturens egna processer och som på ett kostnadseffektivt sätt och med hänsyn till olika miljöaspekter.

Sandfyllning på stränder som utsätts för erosion har under senare år blivit den internationellt förhärskande metoden för att säkerställa eller förbättra ett strandområde. Denna metod har emellertid inte tillämpats i större skala i Sverige. Kommuner och länsstyrelser har vid seminarier och överläggningar med SGI påtalat behovet av ökad kunskap om tekniska, ekonomiska och miljömässiga konsekvenser av strandfodring. Kunskapen behövs vid projektering, tillståndsprövning och genomförande av sådana åtgärder.

Denna kunskapssammanställning har sammanställts av Hans Hanson, Lunds tekniska högskola (LTH) samt Bengt Rydell och Mattias Andersson, SGI. I arbetsgruppen har dessutom Magnus Larson, LTH och Wilhelm Rankka, SGI, medverkat..

Värdefulla bidrag har erhållits vid diskussioner med Kystdirektoratet i Danmark och National Coastal and Marine Institute (RIKZ) i Nederländerna. Praktiska erfarenheter har erhållits från Rafal Ostrowski, Institute of Hydroengineering, Polish Academy of Science, Gdansk i Polen.

Rapporten har behandlats av en referensgrupp bestående av Christina Rappe, Naturvårdsverket, Mats Åkeson, Länsstyrelsen i Skåne län, Lennart Eriksson, Skanska, Erling Alm, Ystads kommun samt Karin Rankka och Elvin Ottosson, SGI.

Linköping i april 2006

Författarna

INNEHÅLL

Förord

Läsanvisning	8
Målgrupper	8
Hur använder jag kunskapssammanställningen?	8
I Stranderosion – ett samhällsproblem	9
1.1 Stranderosion i Europa	9
1.2 Kustskydd – historisk tillbakablick	9
1.3 Strategi och planering av kustskydd	9
2 Strandfodring som kustskydd – översikt	11
2.1 Utvecklingstendenser för erosionsskydd	11
2.2 Principer för strandfodring	11
2.3 Internationell utblick	13
2.4 Berörda intressen	14
2.5 Lagstiftning	14
2.6 Strandfodring – fördelar och nackdelar	14
3 Strandfodring – begrepp och principer	16
3.1 Strandfodringens delar	16
3.1.1 Klitter	16
3.1.2 Strandplan	17
3.1.3 Kustnära strandprofil	17
3.2 Erosionsförluster	17
3.3 Utfyllnadstermer	19
3.3.1 Stormskyddsutfyllnad	19
3.3.2 Förskottsutfyllnad	19
3.3.3 Initialutfyllnad	19
3.3.4 Överfyllnadsfaktor	19
3.3.5 Flankutfyllnad	19
3.3.6 Återfyllnad	20
3.3.7 Sandåterföring	20
3.3.8 Förrådsstrand	20
3.3.9 Sandupplag	20
4 Utvinning och utläggning av material	21
4.1 Överväganden i täktområdet	21
4.1.1 Potentiella täktplatser	21
4.1.2 Val av plats	23
4.1.3 Sedimentets lämplighet	24
4.1.4 Teknik för uttag	25
4.2 Överväganden i utfyllnadsområdet	26
4.2.1 Val av plats och utformning	26
4.2.2 Metoder för utfyllnad på stranden	27
4.2.3 Strategier	27
4.2.4 Spridningseffekter	27
4.3 Undersökningsmetoder	28
4.3.1 Exempel på undersökningsmetoder	28

4.4	Kontroll och uppföljning	29
4.4.1	Kontroll	29
4.4.2	Utvärdering	31
4.4.3	Praktikfall – undersökning på täktplatsen	32
5	Samhällsplanering och naturmiljö	33
5.1	Samhällsplanering	33
5.1.1	Kommunalt redskap för skydd mot erosion vid bebyggelseutveckling	33
5.1.2	Stranderosion i fysiska planeringen	34
5.2	Natur- och kulturmiljö	35
5.2.1	Riksintressen	36
5.2.2	Nationalpark, natur- och kulturresevat	36
5.2.3	Natura 2000	37
5.2.4	Skyddsvärda biotoper	37
5.2.5	Kulturmiljö	37
5.2.6	Friluftsliv och turism	37
6	Ansvarsförhållanden och lagstiftning	39
6.1	Ansvar och tillstånd vid strandfodring	40
6.2	Åtgärder och verksamheter	40
6.2.1	Utvinning av material	40
6.2.2	Upplag av material – tillfälligt och permanent	41
6.2.3	Åtgärder i vatten	42
6.2.4	Åtgärder på land	43
6.3	Plats	43
6.3.1	Natura 2000	43
6.3.2	Hänsyn till grannar	44
6.3.3	Stranden	44
6.3.4	Vattenskyddsområden	45
6.3.5	Samråd om väsentlig förändring av naturmiljön m.m.	45
6.3.6	Förorenade områden	45
6.4	Myndighetsprovning	46
7	Teknisk och Ekonomisk värdering av kustskyddsåtgärder	47
7.1	Värdering av stränder för beslut om åtgärder	47
7.2	Kostnader och nytta	48
7.3	Finansiering av åtgärder	48
8	Strandfodring – dimensionering och utförande	50
8.1	Sedimenttransport	50
8.1.1	Historisk utveckling	50
8.1.2	Sedimenttransportceller	50
8.1.3	Sedimentbudget	51
8.2	Topografi och batymetri	52
8.2.1	Strandens topografi	52
8.2.2	Jämviktsprofiler och förändringsdjup	52
8.3	Materialfrågor	54
8.3.1	Kornstorlek	54
8.3.2	Befintligt strandmaterial och ersättningsmaterial	55
8.3.3	Utseende	55
8.4	Inverkan av vågor och vattenstånd	56
8.5	Inverkan av utformning på spridning	56
8.5.1	Variation utmed kusten	56
8.5.2	Konstruktioner	56
8.5.3	Avslutning vid utfyllnadens flanker	60
8.6	Bestämning av utfyllnadsprofil	61
8.6.1	Klitterutformning	61
8.6.2	Strandplanetns geometri	62

8.6.3	Geometri hos övrig del av utfyllnadsprofilen	62
8.6.4	Beräkning av strand- och klitterdimensioner för stormskydd	62
8.6.5	Beräkning av utfyllnadens volym	63
8.6.6	Utförandemall	67
8.7	Bestämning av erosionstakt och livslängd	68
8.8	Erosion vinkelrätt mot kusten under inverkan av vågor och vattenståndsförändring	72
8.9	Flankutfyllnad	74
8.10	Återfyllnad	74
8.11	Hot Spots	75
8.12	Utförande	75
8.12.1	Uttag och fyllning	75
8.12.2	Maskinell utrustning	77
9	Strandfodring i praktiken	79
9.1	Strategi för strandfodring	79
9.1.1	Exempel från Danmark	79
9.1.2	Exempel från Holland	79
9.2	Praktikfall	81
9.2.1	Lönstrup, Danmark	81
9.2.2	Hel Peninsula, Polen	81
9.3	Exempel på dimensionering av strandutfyllnad	83
	APPENDIX A – ÖVERFYLLNADSAKTOREN R_A	87
	APPENDIX B – ANALYTISK LÖSNING AV KUSTLINJEFÖRÄNDRINGAR	89
	APPENDIX C – ORDLISTA - STRANDFODRING	91
	APPENDIX D – REFERENSER	93

LÄSANVISNING

Målgrupper

Denna kunskapssammanställning är avsedd för dem som berörs av stranderosion i samband med fysisk planering, projektering av åtgärder mot stranderosion eller fastighetsägare som har egendom att bevara. Målgrupperna är tillståndsmyndigheter, länsstyrelser, kommuner, konsulter och entreprenörer och andra som behöver insikt i metoden med strandfodring.

Syftet är att redovisa kunskaper och erfarenheter kring strandfodring som skyddande åtgärd mot erosion och översvämning. I skriften behandlas tekniska, ekonomiska och miljömässiga förutsättningar.

Rapporten är inte skriven för specialister inom berörda områden utan för att ge en översikt över de olika frågeställningar som behöver beaktas i samband med strandfodring. Kunskapssammanställningen har inte den detaljeringsnivå som erfordras för projektering och tillståndsansökningar, vilket förutsätter särskild kunskap.

Hur använder jag kunskapssammanställningen?

Inledningsvis finns till de flesta kapitel en gulmarkerad kort sammanfattning som översiktligt beskriver innehållet i kapitlet.

Skriftens första del, kapitel 1 – 7, beskriver orienterande olika aspekter som är nödvändiga att ta hänsyn till då strandfodring ska planeras och utföras. Denna del bör läsas för att få en helhetsbild och beskrivning av nödvändiga begrepp, metoder och förutsättningar.

I rapportens andra del, kapitel 8, finns en fördjupad beskrivning av tekniska aspekter som är aktuella vid strandfodring. I Appendix A-B finns ytterligare beskrivningar av vissa tekniska tillämpningar. Dessa delar läses med fördel av den som vill få djupare kunskap om design och utförande av strandfodring.

Kapitel 9 redovisar praktiska erfarenheter av strandfodring. Eftersom strandfodring är en teknik som i större skala hittills inte tillämpats i Sverige finns flera begrepp som kan vara nya för läsaren. Förklaring till dessa finns i Appendix C, där även motsvarande engelska uttryck anges i förekommande fall.

För den som vill fördjupa sina kunskaper om strandfodring finns i Appendix D hänvisningar till referenser och lämplig litteratur.

I STRANDEROSION – ETT SAMHÄLLSPROBLEM

1.1 STRANDEROSION I EUROPA

Alla europeiska länder med någon form av kust är mer eller mindre drabbade av stranderosion. Ungefär 20 000 kilometer kust är påverkad och vid ca 75 % pågår erosion och tillbakaryckning av kustlinjen. Arean av de områden som årligen försvinner genom stranderosion uppskattas till ungefär 15 km². Under perioden 1999 – 2002 var man tvungen att överge ca 300 bostäder runt om i Europa på grund av stranderosion och åtskilliga husägare drabbades av sjunkande värde på sina fastigheter. Under de senaste decennierna har folkmängden i många av de kustnära kommunerna i Europa ökat kraftigt och stora investeringar har genomförts i anläggningar nära kusterna. Urbaniseringen av kusterna har lett till att erosionen, som egentligen är ett naturligt fenomen, har blivit ett växande problem. Huvuddelen av problemen med kusterosion beror på någon form av mänsklig aktivitet. Olika former av kustskydd skyddar visserligen kusterna men kan samtidigt medföra en rubbning av den naturliga balansen i i kustzonen .

1.2 KUSTSKYDD – HISTORISK TILLBAKABLICK

Kustområdena har i alla tider varit intressanta för samhället. Insatserna för att skydda kustområdena har varierat under historien och inriktningen har utvecklats från ett tekniskt-ekonomiskt synsätt (Coastal engineering) till ett bredare och mer förvaltarinriktat perspektiv (Coastal management). Under det senaste århundradet gällde under den första hälften att maximera kusternas värden med utgångspunkt från säkerhet för bebyggelse, militära intressen, transport och handel. Detta förstärktes i många länder under andra världskriget. Under efterkrigstidens välståndsökning fanns stora resurser för att förstärka och bygga ut kustområden för att tillfredsställa behoven i samhället av effektiva transporter, kustnära bebyggelse samt att tillskapa attraktiva områden för turism och rekreation.

Insikten om natur och miljö ökade och var delvis nya aspekter från 1970-talet. Kustfrågorna behövde ses ock-

så utifrån konsekvenser för ekologiska och sociala förhållanden, vilket sedermera sammanfattats i begreppet hållbar utveckling. Insikten om att planering och miljövärd behöver ses i ett globalt perspektiv har också medfört mer komplexa frågeställningar i kustområdena. Detta innebär att det inte alltid finns tydliga lösningar när det gäller att skydda kuster mot erosion och översvämningar utan ett visst mått av osäkerhet finns med i beslutsfattandet som måste baseras på bedömning av risker för olika händelser.

I en artikel har Kamphuis (2006) placerat kustskyddsfrågorna i ett samhälleligt historiskt perspektiv. Författaren ger bland annat förutsättningarna för kustzonsförvaltning framöver:

- Kustområden utsätts för allt större intresse och utveckling, vilket ställer större krav på ändamålsenlig kustförvaltning;
- Klimatförändringar medför större belastningar på och ökad sårbarhet till följd av högre havsnivåer och vågor;
- Kustförhållanden behöver betraktas i större skala, både när det gäller tidsperspektiv och geografisk omfattning.

Förutsättningarna för en hållbar utveckling i kustområden finns i den rekommendation om Integrerad kustförvaltning som EU:s medlemsländer ställt sig bakom. Integrerad kustförvaltning är en dynamisk, tvärvetenskaplig och ständigt pågående process som ska främja en hållbar förvaltning av kustområdena. Strävan är att genom integrerad förvaltning av kustområden på längre sikt kunna finna en jämvikt mellan ekonomiska, sociala och kulturella mål samt miljö- och rekreationsintressen, inom de ramar som den naturliga dynamiken ger.

1.3 STRATEGI OCH PLANERING AV KUSTSKYDD

Stranderosion kan leda till stora konsekvenser för kustnära områden och det är främst tre konsekvenser med

tillhörande skydd som är aktuella:

- skydd mot förlust av värdefull mark, byggnader och anläggningar;
- skydd mot översvämning av områden bakom strandlinjen;
bevara en strands utbredning och bredd.

I de flesta fall är mer än ett av dessa förhållanden aktuella.

Det är väsentligt att ta hänsyn till dessa förhållanden såväl vid fysisk planering som för befintlig byggd miljö i kustnära områden för att kunna undvika framtida skador och ekonomiska förluster. Det är också viktigt att göra en bedömning utifrån ett morfologiskt perspektiv, där sedimenttransport inom en så kallad sedimenttransportcell beaktas.

Utifrån förväntade förändringar av strandlinjer kan man tala om fem grundläggande strategier när det gäller åtgärder mot stranderosion (EuroSION, 2004):

- **Ingen åtgärd/ Do nothing**
Inga investeringar i kustskydd eller andra åtgärder.
- **Planerad tillbakaflyttning (reträtt)/ Managed realignment**
Byggnader och anläggningar flyttas in mot land och nya kustskydd anordnas längre från strandlinjen.
- **Säkerställa strandlinjen/ Hold the line**
Behålla och vid behov förstärka nuvarande strandlinje.
- **Utvidgning av strandområdet/ Move seaward**
Nya kustskydd etableras längre ut mot havet.
- **Begränsad påverkan/ Limited intervention**
Samverkan med naturliga processer genom att tillåta viss erosion under kontrollerade förhållanden och genom underhållsåtgärder säkerställa viktiga områden och intressen.

Beslut om vilken strategi som ska väljas bör grundas på en allsidig belysning av konsekvenserna av det valda alternativet.

När det finns behov av att skydda ett kustområde mot erosion och översvämning finns olika metoder som kan komma i fråga. En översikt av olika metoder finns i SGI Varia 53 (Johansson, 2003).

2 STRANDFODRING SOM KUSTSKYDD – ÖVERSIKT

Strandfodring är en kustskyddsmetod som innebär att en utfyllnad läggs på en strand för att skapa erforderlig strandbredd och/eller skydd mot erosion och översvämning. Erosionen tillåts fortsätta i utfyllnaden istället för i befintlig strand varför ytterligare sand normalt måste tillföras efter ett visst antal år. I begreppet strandfodring ingår alla de åtgärder som behövs för att utvinna och fylla material inklusive undersökning, kontroll och tillståndsprövning.

I detta kapitel ges en översikt av strandfodringstekniken, berörda intressen och metodens för- och nackdelar.

2.1 UTVECKLINGSTENDENSER FÖR EROSIONSSKYDD

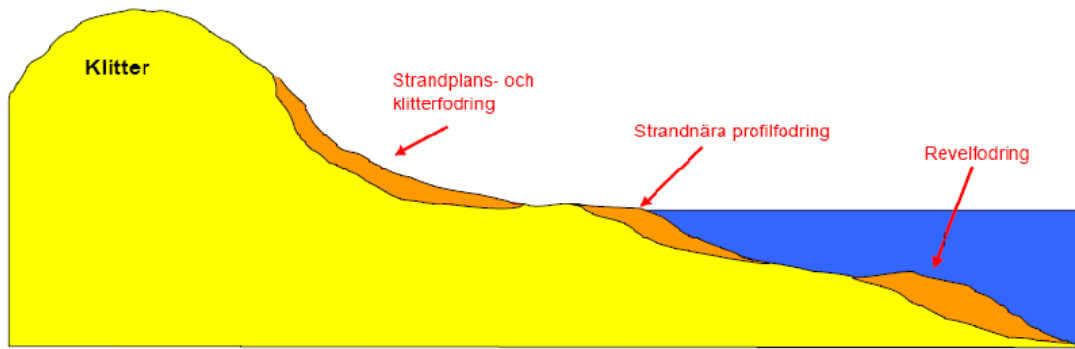
Traditionellt sett har så kallade hårda kustskydd i form av hövder, vågbrytare, strandskoning m.m. använts för att skydda kustområden. På senare år har synen på detta ändrats, eftersom man genom mätningar och erfarenheter funnit att de hårda kustskydden inte alltid får den effekt som avsetts. Ett skydd av detta slag fungerar ofta bra på den plats där det placeras men kan få en negativ effekt på en kuststräcka i dess närhet. Strandfodring, en form av mjukt kustskydd, är idag en välkänd och etablerad metod som användes i Europa första gången i Portugal 1950 då 15 000 m³ sand återfördes till stranden. Strandfodring innebär att man på en eroderande kuststräcka utlägger sand som hämtas i havet eller på land. Metoden kan användas som skydd av stränder och dyner, både i ett långsiktigt och kortsiktigt perspektiv. Filosofin bakom strandfodring grundas på att när en kuststräcka eroderar genom att sandtillgången minskar, kan det många gånger vara lämpligare att tillföra ”importerad” sand och låta naturen ha sin gång istället för att försöka att övervinna naturens krafter med ett hårt kustskydd (Hamm et al. 2002).

2.2 PRINCIPER FÖR STRANDFODRING

Strandfodring kan utföras på olika sätt, beroende på var i kustzonen sanden ska placeras samt vilken kornstorlek sanden har, se Figur 2-1. Följande fyra metoder är vanliga:

- *Strandplans- och klitterfodring* genom att pumpa sanden via en rörledning från ett fartyg upp på stranden (eng. beach nourishment), se Figur 2-2 och Figur 2-3.
- *Strandnära profilfodring*, där man sprutar ut sanden nära kustlinjen genom ett munstycke fastsatt i fören på fartyget (eng. foreshore nourishment), se Figur 2-4.
- *Revelfodring*, där man tömmer sanden genom botten på fartyget (eng. shoreface nourishment), oftast på 5 – 6 m djup.
- *Profilfodring*, där man fördelar sanden över hela profilen (eng. profile nourishment).

Vilken metod som man ska användas bestäms av ett antal faktorer som beskrivs närmare i avsnitt 4.1.4 och 8.12.1. Om en ökad strandbredd efterfrågas väljer man att strandfodra enligt Figur 2-2. Att fodra på stranden är dock något dyrare jämfört med revelfodring på 5 – 6 m djup. En kombination av metoderna kan ofta vara lämp-



Figur 2-1. Strandprofil, principskiss för strandfodring.



Figur 2-2.
Strandfodring genom rörledning.
Foto: Peter Butijn, Holland.



Figur 2-3.
Strandfodring genom rörledningar på stranden. Foto: Peter Butijn, Holland.



Figur 2-4.
Strandfodring nära kustlinjen med rainbow-
metoden. Foto: Andries Jumelet,
Rijkswaterstaat Zeeland, Holland.

ligt. Exempelvis tillämpas i Danmark principen att fodra med ca 40 % på stränder och ca 60 % i vattenområdet/revlar. En stor anledning till att större delen av fodringen utförs i det kustnära vattenområdet är att erfarenheterna visar på bättre ekonomisk effektivitet på strandfodringarna, d.v.s. man får mer sand för samma kostnad.



Figur 2-5. Strandfodring kan ibland behöva utföras under turistsäsongen. Foto: Andries Jumelet, Rijkswaterstaat Zeeland, Holland.

2.3 INTERNATIONELL UTBLICK

Utanför Europa har strandfodring använts under de senaste århundradet som kustskydd i många länder. Framförallt har tekniken tillämpats i USA som också är världsledande vad gäller erfarenhet inom detta område liksom antalet utförda strandfodringar. Volymen fodrad sand i USA är 20 – 30 miljoner m³ årligen, vilket är lika mycket som samtliga europeiska länder tillsammans, ca 28 miljoner m³ (Hamm et al. 2002).

Tabell 2-1 visar omfattningen av strandfodring i några europeiska länder, där volymuppgifterna är beräknade

från och med det år strandfodringen startade i respektive land. Spanien och Holland är de två länder som volymmässigt ligger i topp. En stor skillnad mellan dessa länder är att i Holland fodrar man på relativt få platser med en stor mängd, medan man i Spanien fördelar sanden på flera platser.

En undersökning utförd av Hanson et al. (2002) av olika europeiska länders policier och mål med strandfodringsprojekten visade på varierande synsätt mellan olika länder. Olika förutsättningar som våg- och vindklimat, kornstorlek på sand m.m., samt erfarenheter från tidigare utförda strandfodringar, har bl.a. bidragit till dessa skillnader. Tyskland, Spanien och Holland har t.ex. genomfört hundratals strandfodringar medan en del andra länder har något enstaka fall. I Tabell 2.1 kan man se att t.ex. Danmark har genomfört strandfodring sedan 1974.

I många fall handlar det om hur angeläget det är att skydda stränderna mot erosion och hur stora problemen är. I Spanien, Italien och Frankrike finns det ett intresse av att bedriva olika sorters kustutvecklingsprojekt, men det saknas oftast en strategi för hur man långvarigt ska skydda stränderna mot erosionen samt för hur en regelbunden kontroll av kustlinjer och profiler ska utföras. I Holland, Danmark, Tyskland och Storbritannien är problemen med stranderosion stora och på många platser är även översvämningsrisken överhängande. Detta har lett till en utveckling av strategier och uppföljningsplaner för hur man långvarigt ska skydda stränderna mot erosion. Mätningar av kustlinjer och profiler har genomförts under lång tid i dessa länder. Holland kan anses vara något av en pionjär inom detta område då mätningar där har utförts ända sedan 1840.

Tabell 2-1. Strandfodringar utförda i Europa fram till år 2002 (efter Hanson et al. 2002).

Land (start år)	Total volym (10 ⁶ m ³)	Antal fodringar platser	Antal fodringsplatser (10 ³ m ³)	Medelvolym/fodring (10 ⁶ m ³)	Medelvolym/plats	Fodringar/plats
Frankrike (1962)	12	115	26	104	0,5	4,4
Italien(1969)	15	36	36	420	0,4	1
Tyskland (1951)	50	130	60	385	0,8	2,1
Holland (1970)	110	150	30	733	3,7	5
Spanien (1985)	110	600	400	183	0,3	1,5
Storbritannien (1954)	20	35	32	570	0,6	1,1
Danmark (1974)	31	118	13	263	2,4	9,1

2.4 BERÖRDA INTRESSEN

Strandområden rymmer betydande samhällsresurser och följderna av erosion kan vara av avsevärd betydelse för både samhället och enskilda. Erosion är ett komplicerat och svåröverskådligt förlopp. Skyddsåtgärder är dyrbara och felaktiga insatser kan ge negativa konsekvenser, även utanför det ursprungliga erosionsområdet.

Ett stort antal samhällsaktörer berörs av stranderosion och det är inte ovanligt att intressen står mot varandra:

- Kommunen och samhället i övrigt har t.ex. intresse av att säkra anläggningar och bevara strandområden intakta eller i vart fall med god funktion.
- Fastighetsägaren, vars fastighet minskar i yta och vars hus kan raseras, har givetvis ett starkt intresse av att erosion motverkas. Alla åtgärder är emellertid inte självklart godtagbara. Åtgärder vid en fastighet kan leda till att problemet flyttas, varvid grannar har berättigat intresse av att ”lagom” åtgärder genomförs.
- Vid stränder finns vanligen höga naturvärden och även kulturhistoriskt intressanta företeelser, som kan skadas av skyddsåtgärder mot erosion.
- Stränder är betydelsefulla för friluftslivet, som kan hindras eller störas av vissa åtgärder.
- De grunda vattnen ger goda förutsättningar för fiskyngel och åtgärder kan således skada fisk såväl som fisket. Åtgärder kan även ha negativ påverkan på övrig fauna och flora i strandzonen.

Då det vid erosionsproblem ofta förekommer ett flertal tänkbara motstående intressen innebär det att analyserna inför åtgärder behöver vara både breda och långsiktiga. Det faktum att de erosionskyddande åtgärderna kan flytta problemen till ett annat område, berör inte bara grannar utan kan behöva bedömas i ett mera övergripande perspektiv, mellan kommuner och regioner och möjligen även länder. Frågan är därmed även gränsöverskridande.

För att få ett korrekt planerings- och beslutsunderlag bör en värdering av olika handlingsalternativ göras. Härigenom finns också förutsättningar att erhålla den tekniskt-ekonomiskt mest fördelaktigaste lösningen med utgångspunkt från konsekvenser för byggd miljö, hälsa och säkerhet samt naturmiljö. Metoder för att göra en sådan värdering utvecklas vidare i avsnitt 7.1.

Liksom för övriga samhällsfrågor, finns en mer eller

mindre tydlig ansvarsfördelning mellan olika aktörer. Ansvaret kan gälla t.ex. de praktiska/fysiska åtgärderna, kostnadsansvar för åtgärder eller för skador, ansvar för kunskapsutveckling och ansvar för tillsyn.

Det är därför viktigt att frågor kring stranderosion blir beaktade på rätt sätt med en helhetssyn som tar hänsyn till alla de olika intressenter som finns och den lagstiftning som kan vara aktuell. Det är därmed nödvändigt att kunskap finns hos fastighetsägare, myndigheter och kommuner.

2.5 LAGSTIFTNING

Vid strandfodring genomförs åtgärder och verksamheter som ur tillståndssynpunkt berör anskaffning av material (täkt) på land eller ur havet, upplag av material samt utförande av anläggningar i vatten och på land.

För att tillgodose de många och olika intressenterna i kustområden finns en lagstiftning som reglerar möjligheter och begränsningar vid skydd mot stranderosion. Detta gäller både vid fysisk planering och för åtgärder på land och i vattenområden. I en kunskapsammansättning om ansvar och regler vid stranderosion (Lerman och Rydell 2003) beskrivs närmare vilken lagstiftning som gäller och hur den kan tillämpas. En sammanfattning med inriktning mot strandfodring finns också i denna rapport i avsnitt 6.

2.6 STRANDFODRING – FÖRDELAR OCH NACKDELAR

Acceptansen för strandfodring som ett alternativ till hårda kustskydd (strandskoningar, hövder/pirar eller friliggande vågbrytare/rev) är inte så utbredd som man skulle kunna tro. Det finns ofta en oro för att utfyllnadens varaktighet inte blir den förväntade och dessutom har många en direkt felaktig bild av vad som menas med utfyllnadens varaktighet eller återstående utfyllnadsvolym. Ibland framförs en skepsis mot strandfodring som kan formuleras som ”det löser inte problemet eftersom erosionen kommer att fortsätta”. Det är emellertid just det som är en grundpelare vid strandfodring – att låta erosionen fortsätta. Varje åtgärd som minskar erosionen av ett kustavsnitt kommer oundvikligen att förorsaka ökad erosion på nedströms liggande kustavsnitt eftersom inflödet av sediment dit minskar. Genom att påföra sand och låta den erodera undviks detta problem. Tanken med utfyllnaden är således att tillse att erosionen fortgår i den utfyllda

sanden istället för att erodera den ursprungliga stranden. Utfyllnaden kan således ses som en analogi till en 'offeranod' som används för att skydda metall mot korrosion i vatten.

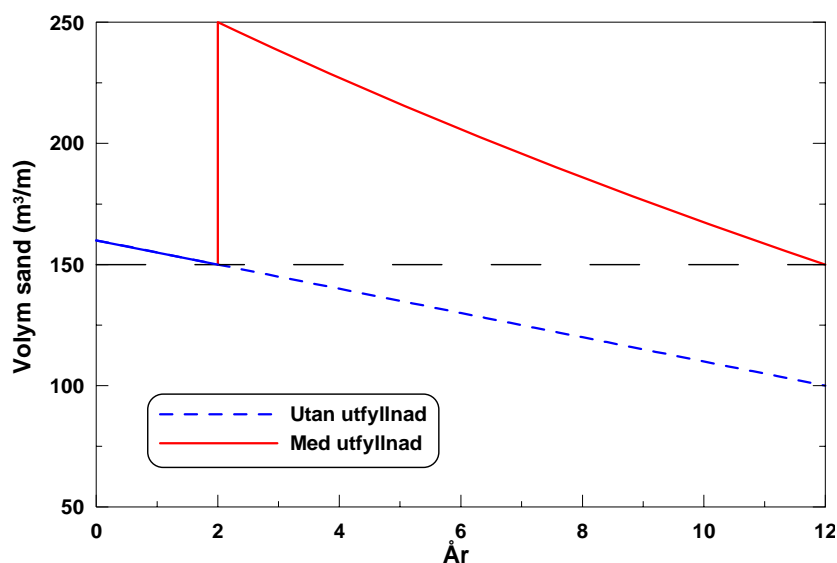
I de fall erosionskadorna är akuta finns det ofta inte tid för att planera, förhandla och mobilisera för strandfodring utan man löser sina problem med ett hårt skydd istället. Också tanken på att utfyllnaden måste hållas under uppsikt över långa tider känns för många som en nackdel (även om hårda kustskydd kanske också borde följas upp i större utsträckning än vad som i allmänhet görs).

Å andra sidan finns det många fördelar med strandfodring. Den är tveklöst den mest naturliga skyddsmetoden när den tillämpas på en tidigare sandstrand. Sidoeffekterna är få, positiva och i allmänhet begränsade till en ökad uttransport av sand från projektområdet till angränsande kustavsnitt. Med undantag för intilliggande hamnar och inseglingrännor är det inte många kustavsnitt som har nackdel av detta utan tvärt om. Även om det ofta är svårt att kvantifiera, är strandfodring också fördelaktigare än hårda skydd ur rekreationssynpunkt och estetisk synvinkel. Teknikutvecklingen för strandfodring har också gjort denna metod betydligt mer ekonomisk på senare år.

Samtidigt som det finns en osäkerhet vad beträffar utfyllnadens förändring i tiden och dess inverkan på stranden lokalt och regionalt så finns denna osäkerhet faktiskt också för hårda kustskydd, exempelvis blir effekten av en hövd inte alltid vad man har tänkt sig. En viktig skillnad är att för hårda konstruktioner ligger huvuddelen av

kostnaderna i det initiala byggnadsskedet medan för strandfodring är kostnaderna utspridda över längre tid. En felbedömning vid utformningen av ett hårt skydd kan därför få mer ödesdigra konsekvenser, eftersom konstruktionen troligen kommer att ligga kvar över lång tid även om det skulle vara något fel på konstruktionen eller dess inverkan på omgivningen. I en utfyllnad, däremot, kan det återkommande underhållet förändras över tiden i takt med att förståelsen för dess inverkan förändras och förbättras. Strandfodring är således inte nödvändigtvis lika definitiv som ett hårt skydd.

Frågan om livslängden hos en strandfodring belyses bäst med illustrationen enligt Figur 2-6. Vid en viss tidpunkt (år 2 i diagrammet) har en viss strand eroderat så att den tillgängliga sandvolymen uppgår till igenomsnitt 150 m³/m strand (vilket svarar mot en strandbredd av cirka 30 m). Man beslutar då att stranden ska fyllas ut med ytterligare 100 m³/m strand. Man vidtar inga ytterligare åtgärder varför erosioner fortsätter, t.o.m. med lite högre takt än tidigare. Efter 10 år har strandbredden gått tillbaka till 30 m, dvs. samma som när utfyllnaden gjordes. En vanlig tolkning av denna situation är att "Nu har utfyllnaden försvunnit". Detta är emellertid ett felaktigt resonemang. Hade inte utfyllnaden gjorts hade den tillgängliga sandvolymen uppgått till 100 m³/m strand (under antagande att erosionstakten är densamma som den historiska). Med strandfodring uppgår volymen till 150 m³/m strand. Skillnaden mot noll-alternativet är alltså 50 m³/m strand. Sålunda återstår halva utfyllnaden efter 10 år. Skulle erosionen av utfyllnaden fortsätta i samma



takt som vid år 12 skulle det ta ytterligare 14 år innan kurvan 'Med utfyllnad' korsar kurvan 'Utan utfyllnad'. Sålunda skulle utfyllnadens livslängd uppgå till totalt 24 år. (Det kan vara värt att notera att om utfyllnaden eroderar i samma takt – eller mindre – än den ursprungliga stranden, kommer kurvorna aldrig att korsas varför utfyllnaden då får 'evigt liv'!)

Figur 2-6. Volymutveckling för en strand med respektive utan strandutfyllnad.

3 STRANDFODRING – BEGREPP OCH PRINCIPER

Centrala begrepp vid strandfodring, vissa utformningsprinciper samt olika mekanismer som bidrar till erosionen av en sandutfyllnad redovisas i detta avsnitt. För de begrepp som används ges även det engelska uttrycket. En sammanställning av övriga använda begrepp finns i ordlista i Appendix C.

3.1 STRANDFODRINGENS DELAR

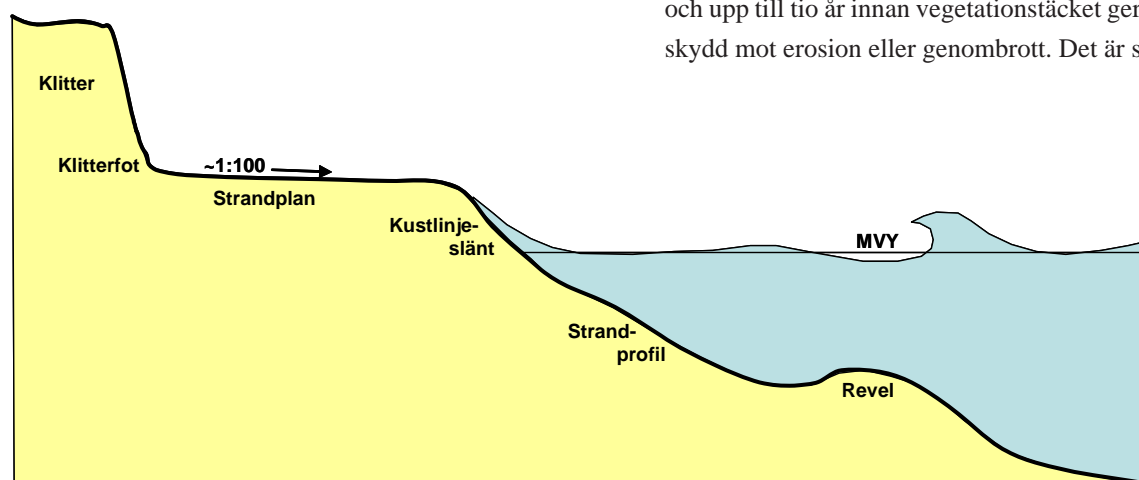
Strandfodring berör olika delar av stranden som klitter, strandplan och kustnära strandprofil. I Figur 3-1 visas en strandprofil med dessa element. I nedanstående avsnitt ges en kort presentation om dessa delars roll vid strandfodring.

3.1.1 Klitter

Bakom strandplanet finns ofta sanddynor eller klitter, som utgör en viktig del av sandkusten. De skyddar mot stormar, vågor och högvatten så att kustnära infrastruktur och markområden inte utsätts för erosion och/eller översvämning. Under tillfällena med svåra stormar, ofta i samband med högvatten, kan klitterna erodera kraftigt. Den eroderade sanden transporteras under sådana förhållanden ofta ut till djupare vatten. Ifall vågorna slår över krönet på klitterna kan också betydande mängder sand föras inåt

land. Om den ursprungliga kusten saknar klitter helt eller delvis ingår återuppbyggandet av dessa vanligen som en del av strandfodringen. Uppbyggandet av klitterna måste i allmänhet huvudsakligen göras separat. Att bara lägga sanden på stranden och låta de naturliga processerna (vinden) sköta uppbyggandet tar ofta för lång tid. Även efter en storm, när klitterna skadats, kan det finnas skäl att laga klitterna eller att sätta in åtgärder för en snabbare återhämtning.

Ett sätt att påskynda uppbyggandet av klitterna är att etablera vegetation som fångar den sand som transporteras med vinden samtidigt som klitterna görs mer motståndskraftiga mot erosion. Det gäller dock att plantera rätt sorts vegetation och vid rätt tillfälle. Det är också viktigt att komma ihåg att vegetationen måste ges tillräckligt med tid för att få avsedd effekt. Det tar ofta 2 till 5 år för de vanligaste typerna av klittervegetation (t.ex. strandråg eller sandrör) att etablera ett utbyggt rotsystem och upp till tio år innan vegetationstäcket ger ett fullgott skydd mot erosion eller genombrott. Det är således vik-



Figur 3-1. Schematisk strandprofil med dess olika element.

tigt att vidta lämpliga åtgärder under tiden. Återuppbygandet kan också påskyndas genom att använda vanliga snöstaket (se avsnitt 8.5.3).

Om man avser att bygga upp nya klitter utmed en kust kan en bedömning av lämplig höjd, bredd, släntlutning etc. göras genom att undersöka 'friska' klitter i närheten. Klitterkrönet bör läggas så högt att vågor och vattenstånd inte når upp vid de typiska stormar som kusten kan komma att utsättas för. Inte bara strandplanet utan också klitterna måste ha tillräcklig bredd så att erosionen inte gör klitterna instabila. I annat fall erhålls inte någon nytta av att klitterna, även om de är tillräckligt höga.

3.1.2 Strandplan

Strandplanet är i allmänhet den primära delen vid strandfodring. Fungerande stränder har i allmänhet ett eller flera välutvecklade strandplan. Eroderande stränder saknar dock ofta strandplan eller har endast ett mycket underutvecklat sådant. Strandfodring syftar därför oftast till att bygga upp eller utvidga ett sådant plan för att på så sätt erhålla ett större sandmagasin på stranden som kan medverka till att bryta ner den inkommande vågenergin, särskilt vid stormsituationer. Hur mycket stranden behöver byggas ut bestäms utifrån vilken grad av stormskydd man önskar, hur mycket kuststräckan eroderas, hur ofta man önskar återfylla, etc.

Av praktiska och ekonomiska skäl placeras ofta hela den erforderliga sandvolymen (som ska bygga upp hela strandprofilen) uppe på strandplanet, dvs. över medelvattenytan. Tanken är att sanden senare, under inverkan av vågor och strömmar, fördelar sig över strandprofilen ända ut till det s.k. *förändringsdjupet* D_C (eng. depth of closure) vilket är det största djup dit vågor och strömmar förmår åstadkomma några förändringar i bottenprofilen, se avsnitt 8.2.2). Genom denna metod, som ofta kallas för "överfyllnadsmetoden", kan vanliga standardmaskiner (frontlastare, bulldozers, etc.) användas för att flytta sanden på stranden. Det blir också enklare, efter att utfyllanden färdigställts, att genom en traditionell geodetisk avvägning verifiera att rätt mängd sand lagts ut på stranden. Resultatet blir dock att strandplanet initialt görs betydligt större än vad det är tänkt att bli efter att sanden, genom inverkan av vågor och strömmar, fördelats ut över hela strandprofilen ner till förändringsdjupet.

Denna omständighet är medverkande parter medvetna om. Dock har allmänheten som regel otillräcklig kun-

skap om att avsikten är att den breda stranden ska förse hela profilen med sand och att stranden kommer att smaltas av betydligt under den initiella fasen av projektet. Som ett resultat, kommer man att uppfatta att projektet misslyckas när stranden drar sig bakåt, vilket kommer att ske påtagligt redan under första vintersäsongen. Det är därför viktigt att allmänheten informeras om hur och varför den initiella utfyllnaden ser ut som den gör och vad som kommer att hända sedan.

3.1.3 Kustnära strandprofil

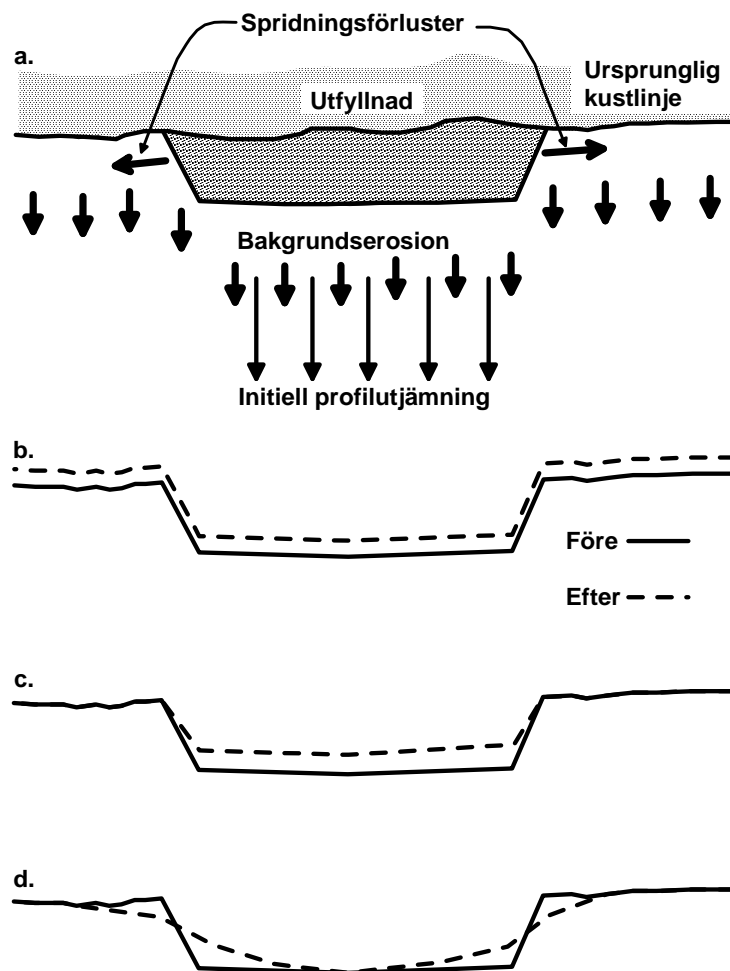
Sand som ska bygga upp stranden och den kustnära botten läggs i allmänhet uppe på strandplanet. I vissa fall kan dock sanden istället läggas i vattnet nära kusten. Om rätt utrustning finns tillgänglig är denna metod ofta billigare, men metoden kan också komma ifråga när det är svårt att få tillstånd att lägga sanden på stranden eller om det är svårt att använda maskiner uppe på stranden. Tanken är då att man bygger upp en kustparallell sandrevel som, likt en naturlig revel, kan bryta de inkommande stormvågorna och på så sätt skydda kusten. Om reveln ligger innanför förändringsdjupet D_C kan man förvänta sig att en stor del av materialet med tiden kommer att transporteras upp mot stranden och på så sätt efterhand bygga ut strandplanet.

3.2 EROSIONSFÖRLUSTER

Livslängden på strandfodring bestäms primärt av i vilken takt sanden eroderas. Här skiljer man mellan två typer av erosionsförluster. För det första har man den 'naturliga' erosionen som kallas *bakgrundserosion* (Figur 3-2). Här antas att den erosion som påverkade kusten tidigare också kommer att påverka utfyllnaden. Strandfodring utförs av naturliga skäl i allmänhet till kuster som påverkats av erosion, vilken får förmodas fortsätta även efter utläggningen.

Den andra typen av erosionsförluster kallas *spridningsförluster*. Vanligen medför utfyllnaden att stranden sticker ut jämfört med omgivande kuststräckor. Särskilt vid utfyllnadens *flanker* (i övergången mellan utfyllnaden och omgivande kust) strävar vågorna efter att jämna ut ojämnheten i strandlinjen. Detta fenomen kallas för *lateral spridning* (Figur 3-2) och förlusten av material kallas sålunda spridningsförluster. Det är främst vågorna som står för denna laterala spridning.

Vanligen läggs utfyllnadsmaterialet uppe på strand-



Figur 3-2. Schematisk figur som visar a. Spridningsförluster och bakgrundserosion, b. Kustförändring pga. enbart bakgrundserosion, c. Kustförändring pga. enbart initiell profilutjämnning och d. Kustförändring pga. enbart lateral spridning.

planet med avsikt att vågor och strömmar successivt fördelar materialet utmed hela den aktiva kustnära strandprofilen. Denna transport från stranden ut till profilen kallas *initieell profilutjämning*. Denna utjämning innebär inte någon förlust ifrån utfyllnaden men upplevs som en minskning av strandbredden.

3.3 UTFYLLNADSTERMER

En strandfodring består av flera olika komponenter där var och en tjänar olika syften. Det är därför praktiskt att ge dessa olika namn så att det står klart vad som avses. I nedstående avsnitt ges en kort beskrivning av dessa olika delar och andra uttryck som rör utfyllnader.

3.3.1 Stormskyddsutfyllnad

För att kunna stå emot en viss dimensionerande storm måste kustprofilen innehålla en viss minsta mängd sand. I den mån denna sandvolym inte finns där naturligt måste så mycket sand tillföras att den totala volymen uppgår till minimivolymen. Den volym som då tillförs kallas *stormskyddsutfyllnad* (eng. storm protection nourishment). Utöver stormskyddsutfyllnad kan ytterligare sandolymer erfordras, till exempel för breddning av stranden av estetiska skäl.

3.3.2 Förskottsutfyllnad

I förra avsnittet konstaterades att profilen måste innehålla en viss minimivolym sand för att skydda mot den dimensionerande stormen. Om profilen bara fylldes upp till denna volym initieellt skulle profilen, så snart utfyllnaden eroderats det allra minsta, inte längre innehålla tillräckligt med sand. Sålunda måste initieellt tillföra ytterligare sand om stormskyddet ska fungera ända tills man fyller ut stranden nästa gång eftersom stranden utsätts för gradvis erosion. Denna utfyllnad kallas för *förskottsutfyllnad* (eng. advance nourishment). Vid beräkning av storleken på förskottsutfyllnaden måste man således ta hänsyn till lateral spridning, bakgrundserosion och intieella förluster till följd av urspolning av finmaterial. Är den initieella stranden dessutom undernärd måste förskottsutfyllnaden också kompensera för detta.

3.3.3 Initialutfyllnad

Med *initialutfyllnad* (eng. initial nourishment) avses hela den sandmängd som måste tillföras initieellt, dvs. stormskyddsutfyllnad plus förskottsutfyllnad. Denna mängd

säkerställer att profilen innehåller tillräckligt med sand ända fram till tidpunkten då stranden på nytt fylls med sand.

3.3.4 Överfyllnadsfaktor

I allmänhet har utfyllnadsmaterialet en något annorlunda kornstorlekssammansättning än ursprungsmaterialet. Utfyllnadsmaterialet kommer därför att fungera lite annorlunda i strandprofilen. Med begreppet *överfyllnadsfaktor* (eng. overfill factor) avses vilken volym ersättningsmaterial som krävs för att åstadkomma samma strandyta som 1 m^3 av ursprungsmaterialet efter att materialet fördelats ut på profilen genom inverkan av vågorna. (Om man således fyller ut med ett material som är identiskt med det ursprungliga, blir överfyllnadsfaktorn 1,0). Begreppet lanserades av Krumbein (1957) och diskuteras vidare i Krumbein and James (1965) och i James (1974; 1975) och bygger på hur sand med olika kornstorleksfördelning fördelar sig i kustprofiler. Grundtanken är att ett utfyllnadsmaterial som placeras på en strand kommer att sorteras under inverkan av vågor och strömmar så att dess kornstorleksfördelning kommer att likna det ursprungliga sedimentets. Det betyder särskilt att de fraktioner i utfyllnadsmaterialet som är finare än det ursprungliga kommer att spolats ut till djupare vatten och därmed lämna den morfologiskt aktiva kustprofilen. Metoden bygger på den s.k. ϕ -skalan (se Appendix A).

Principen har formulerats i termer av överfyllnadsfaktorn, R_A (James 1975) Denna faktor beräknas genom att jämföra olika sorteringsmått i utfyllnadsmaterialet med motsvarande mått för det ursprungliga materialet (se Appendix A). För en mer ingående diskussion om inverkan av kornstorleken på utfyllnaden hänvisas till Swart (1991).

3.3.5 Flankutfyllnad

Utfyllnaden kommer att utsättas för spridningsförluster vid flankerna på grund av att utfyllnaden sticker ut utanför den ursprungliga kustlinjen. De inkommande vågorna strävar efter att jämna ut denna ojämnhet i kustlinjen vilket är själva innebörden av laterala spridningsförluster. Spridningen och utjämningen går fortast i början och avtar efterhand som ojämnheten försvinner. Om man förs flankerna med en avsmalnande flankutfyllnad på vardera sidan, underlättas denna utjämning samtidigt som vågorna inte behöver transportera sand från själva utfyll-

naden. En sådan avsmalnande utfyllnad som görs vid randen av en utfyllnad i syfte att minska spridningsförlusterna kallas *flankutfyllnad* (eng. fill transition).

3.3.6 Återfyllnad

Omedelbart efter utläggningen kommer utfyllnadsmaterialet att omfördelas i profilen så att en *jämviktsprofil* uppnås (se avsnitt 8.2.2). Detta är enbart en omflyttning av material inom utfyllnadsområdet och betraktas inte som en förlust. Efterhand börjar emellertid också utfyllnadsmaterialet att försvinna från området genom lateral spridning och bakgrundserosion. För att utfyllnaden ska hålla vissa mått måste kustavsnittet bli föremål för upprepade utfyllnader, s.k. *återfyllnader* (eng. renourishments). Återfyllnader görs således för att kompensera för förluster av material från utfyllnaden på grund av lateral spridning och bakgrundserosion men även för stormförluster.

3.3.7 Sandåterföring

Om utfyllnaden ligger uppströms en hamn kommer stora delar av den sand som förloras från utfyllnaden i riktning mot hamnen att återfinnas på hamnens uppströmssida. I syfte att förhindra att denna sand tar sig vidare in i hamnen eller ner i inseglingrännan kan hamnens uppströmssida regelbundet behöva muddras. Det är då logiskt att sanden återförs till utfyllnaden varifrån den en gång kommit. Denna åtgärd kallas för *sandåterföring* (eng. back passing). Det är inte någon principiell skillnad mellan en utfyllnad och en återfyllnad förutom att för en återfyllnad är utfyllnadsmaterialet identiskt med det ursprungliga och att återfyllnadstakten ofta bestäms av förhållandena i täktområdet snarare än av förhållandena i utfyllnadsområdet.

3.3.8 Förrådsstrand

Med *förrådsstrand* (eng. feeder beach) avses att man lägger sanden i uppströmsänden av den strand eller t.o.m. helt uppströms om stranden som ska fyllas ut och låter vågor och strömmar transportera sanden vidare, se avsnitt 8.12.1.

3.3.9 Sandupplag

Sand som upptagits men inte behövs för tillfället kan läggas upp bakom klitterna (eller någon annanstans utanför det aktiva strandsystemet) för framtida bruk, se avsnitt 8.12.1.

4 UTVINNING OCH UTLÄGGNING AV MATERIAL

I detta kapitel beskrivs allmänna överväganden om val av plats för täkt respektive utfyllnad och översiktliga synpunkter på vanliga metoder för upptagning och utläggning av sand. Dessutom redovisas vilka undersökningar som bör göras samt kontroll och uppföljning av strandfodring.

4.1 ÖVERVÄGANDEN I TÄKTOMRÅDET

Först och främst kan man konstatera att den ideala täktplatsen ligger nära den strand som ska fyllas ut. Utbredning och mäktighet hos täktmaterialet ska vara tillräckligt stort för att göra utvinningen ekonomiskt möjlig. Ofta vill man att färg och kornstorlek ska överensstämma med det material som ligger på stranden tidigare. Täkten bör vara relativt fri från stenar och andra större element samt ska helst innehålla en minimal andel finmaterial (silt och lera) och organiskt material. Detta senare gäller framförallt om den utfyllda stranden ska nyttjas för rekreationssändamål. Dessa och andra förhållanden i ett tänkt täktområde diskuteras i mer detalj i följande avsnitt. Metoder för undersökning beskrivs i avsnitt 4.3.

4.1.1 Potentiella täktplatser

Det finns i huvudsak tre typer av täktområden:

- På land;
- Hamnar, farleder och inseglingrännor;
- På djupt vatten (offshore).

Varje typ av täktplats har sina fördelar och nackdelar, men ofta bestäms valet av täktplats mer av individuella platsspecifika faktorer än av vilken typ av plats det generellt rör sig om. Den viktigaste egenskapen hos materialet på täktplatsen rör sedimentets kornstorlek.

- *Täktplatser på land.* Täktplatser på land finns i anslutning till många kustområden. Det enklaste sättet att kartlägga det efterfrågade materialbehovet är att vända sig till en exploatör med en redan etablerad täkt. Läns-

styrelserna har register över grustäkter i drift. De redovisade kvantiteterna avser då så kallade teoretiskt uttagbara volymer. Med detta menas den del av förekomsten som inte binds upp av naturskydd, fornminnen, bebyggelse, vägar eller andra tyngre markanvändarintressen. Volymuppgifterna är dock mycket översiktliga.

Det är således mest en fråga om att kontrollera vilka täkter som har tillstånd vid tidpunkten för det tänkta uttaget. Därefter görs en uppskattning av andelen sand i täkten och total tillgänglig volym. Med utgångspunkt från tillståndsdatum och årlig produktionstakt kan den kvarvarande sandvolymen vid tidpunkten för sanduttaget uppskattas för respektive täkt. De täkter som uppfyller kraven på volym, produktionskapacitet samt materialkvalitet kan därvid betraktas som potentiella leverantörer. Mineralsammansättningen kan i täkter på land vara ett problem eftersom materialet innehåller fältspat och mörka mineral, vilket gör att färgen på fyllnadsmaterialet ofta avviker ifrån den typiska strandsanden. Myndigheterna föreskriver ofta att utfyllnadssanden ska ansluta till den ursprungliga, både vad gäller kornstorlek och färg.

I den mån man inte kan hitta lämpliga existerande täkter på land samtidigt som man kan förmoda att det finns lämpliga sandförekomster i närområdet kan man överväga nyetablering av en sandtäkt. För att etablera en ny täkt krävs emellertid en hel rad tämligen tidsödande och svårplanerade insatser som t.ex. att upprätta avtal med markägare eller genomföra markköp, genomföra detaljundersökningar av den potentiella förekomsten, upprätta täktplan, ansökan till länsstyrelse och Miljödomstol, samt

att upprätta avtal med lämplig exploatör. En sådan process bör därför nog övervägas innan den påbörjas.

Landbaserade täkter har lägre kostnader för mobilisering/demobilisering än motsvarande till havs. De är också mindre beroende av vädret vid uttag av material. Samtidigt är deras produktionskapacitet i allmänhet lägre och transporten kan vara ett problem. Utfyllnadsvolymerna medför snart ett stort antal lastbilslaster. Man bör därför nog undersöka om det finns transportvägar som bl.a. ur tekniska, trafiksäkerhets- och miljömässiga aspekter klarar av dessa transporter. Kostnaderna per m³ sand är således i allmänhet högre för landtäkter. Vidare bör beaktas att naturgrusförekomster är en begränsad resurs som ofta behöver reserveras för t.ex. vattenförsörjning. Sammantaget lämpar sig landtäkter bäst för mindre projekt.

- *Hamnar, farleder, och inseglingsrännor.* Material ifrån underhållsmuddring av hamnar innehåller ofta för mycket finmaterial, på grund av det skyddade läget, för att sedimentet ska lämpa sig för strandfodring. Farleder i öppna farvatten kan däremot innehålla mer lämpligt material. I båda fallen bör man emellertid kontrollera så att materialet inte innehåller tungmetaller eller andra miljögifter, som gör att materialet blir olämpligt för strandfodring. I Sverige ger underhållsmuddringar relativt små kvantiteter, varför sådana sällan kommer ifråga för strandfodring.

Vid utvidgning, nyetablering eller fördjupning av hamnar och farleder är förhållandena annorlunda. Här kan materialet ofta vara väl lämpat från kornstorlekssynpunkt. Tungmetaller är i allmänhet heller inte något problem. I såväl dessa fall som vid underhållsmuddring är materialets kvalitet och kvantitet väl känt varför det är relativt enkelt att avgöra om sedimenten är lämpliga för strandfodring.

Kostnadsmässigt kan material från t.ex. hamnar vara väldigt fördelaktigt eftersom man ändå måste 'bli av med' sedimenten på något sätt. Att utnyttja dessa för strandfodring kan då lösa två problem på samma gång. Därigenom kan sådan sand, med kanske en högre andel finmaterial än önskvärt, ändå komma ifråga trots att förluster av sediment kan komma att bli högre.

- *Täktplatser på djupt vatten.* Tillstånd att etablera en täkt till havs kan vara svårare än på land. För att utvinna material krävs tillstånd enligt miljöbalken och kontinentalsockellagen. Inga kända marina täkter finns för närva-

rande etablerade i svenska farvatten och det är således inte möjligt att köpa marin sand i Sverige. Det är dock möjligt att köpa marin sand ifrån bl.a. Danmark, Tyskland eller Polen.

Om det inte finns etablerade marina täkter måste man således lokalisera och karaktärisera dessa. För en mer detaljerad beskrivning hänvisas till Prins (1980) och Meisberger (1990). Det är först och främst ekonomin som sätter de geografiska gränserna för vilka områden som kan komma ifråga. I första hand bör man hålla sig inom några mil ifrån utfyllnadsstranden. Bara i de fall man inte kan uppbringa några realistiska alternativ inom detta avstånd bör man söka sig längre bort.

På vattendjup ner till cirka 5 m uppträder sorterad sand huvudsakligen som recenta sandstrandsförekomster, dvs. de ingår i samma sedimentdynamiska system som sanden på nuvarande sandstränder. Ett uttag här skulle därför förmodligen relativt snart återspeglas i en erosion av intilliggande sandstrand. Av denna anledning får det anses som mindre lämpligt att ta sand ur dessa förekomster. Ett undantag är om man efter studier av sedimenttransporten kan lokalisera en deponeringsplats dit sand transporteras och avlagras som definitiv slutpunkt i en *sedimenttransportcell* (se avsnitt 8.1.2).

På större djup, 15 till 20 m, förekommer fossila strand-sandavlagringar som i flera fall fortfarande är morfologiskt aktiva. Den utan jämförelse största sandförekomsten i Östersjön är belägen vid Sandhammars bank (Erlingsson 1990) utanför Skånes sydöstra hörn. Enbart inom detta område har sandförekomsten uppskattats till mer än 1 km³ dvs. 1 miljard m³. Det finns ytterligare ett antal utsjöbankar både längs de västra och östra svenska kusterna.

Recenta avlagringar på dessa djup har sitt ursprung i den sand som eroderar utmed våra stränder och transporteras ut av vågor och strömmar till djupare vatten. De sedimentavlagringar som finns på dessa djup har således ofta sitt ursprung i strandsediment. Därigenom har de också en liknande mineral- och kornstorlekssammansättning som den sand som finns utmed de eroderade strandpartierna. Sandavlagringar på dessa djup, såväl recenta som fossila, är huvudsakligen en mellansand med mycket hög kvartshalt och därmed är sanden vitgrå. Därför är ofta sedimentavlagringar som återfinns på djupare vatten väl lämpade att användas som utfyllnadsmaterial. Dock kan, för täkter på större djup, ytskiktet innehålla en

högre andel finmaterial. En del av detta förloras redan vid upptagning av materialet men kan finnas kvar vid utläggningen och förorsakar då en större grumling av vattnet än övriga utfyllnadsmassor.

Marina sediment är således bättre lämpade vid strandfodring än de ifrån landtäkter eller underhållsmuddring i hamnar. Ofta är den tillgängliga volymen betydligt större än för landtäkter. Lämplig utrustning ger hög kapacitet med lägre enhetspriser som följd. Modern teknik har också medfört att negativa effekter på miljön i form av spill kan hållas till ett minimum. Olämpligt väder kan dock ställa till problem både vid upptagning och utläggning.

I ett globalt perspektiv tas cirka 95 % av allt material som används för strandfodring upp ur havet (Dean 2002). Den fortsatta framställningen kommer därför att fokusera på denna sedimentkälla.

4.1.2 Val av plats

För att kunna jämföra olika potentiella täktplatser med varandra behövs ett antal kriterier att utgå ifrån. De mest relevanta kriterierna är placering, tillgänglighet, morfologi och stratigrafi, biologiska värden, tillgänglig volym, sedimentets egenskaper, geologisk historia, miljöeffekter och ekonomi. Några av dessa diskuteras i detta avsnitt.

- *Placering:* Transportavståndet och transportsätt har stor betydelse för kostnaderna och är ofta den aspekt som väger tyngst i valet av täktplats. Placeringen har också stor betydelse för inverkan på omgivningen. För landbaserade täkter kan uttaget förorsaka problem med buller samt miljöstörningar från trafik. För marina täkter uppkommer frågor om spill, vidare spridning och inverkan på annan fartygstrafik samt närhet till marint skyddsområde och påverkan på flora och fauna. Flera utsjöbankar består ofta av en kombination av sand- och hårbottenar med höga biologiska värden. Dessa livsmiljöer är också utpekade som särskilt värdefulla i EU:s habitatdirektiv. Täkten bör inte ligga för nära land för att undvika att uttaget förorsakar erosion av innanförliggande strand. Om uttaget förorsakar stora fördjupningar i botten bör också dessa fördjupningars inverkan på de inkommande vågorna studeras med avseende på sekundär inverkan på sedimenttransport och möjlig kusterosion. Som en tumregel bör täktområden inte ligga på mindre djup än två

gångar förändringsdjupet, som för svenska farvatten ligger runt 6 m, beroende på hur exponerat området är för vågverkan. Sålunda bör tækten ligga på minst cirka 12 m djup. För kuster exponerade för vågor ifrån Kattegatt kan denna siffra vara något högre.

- *Tillgänglighet.* För att kunna utnyttjas måste täktområdet vara tillgängligt för den utrustning som behövs och i den utsträckning det är nödvändigt, både vad gäller uttag och transport. För landbaserade täkter kan detta innebära att vägar och eller broar måste tåla belastningar och i annat fall förstärkas. Kapacitet, trafikstockningar, buller, avgaser m.m. måste också värderas. Kostnader och tidsåtgång måste naturligtvis ingå i analysen.

För marina täkter är vattendjupet av stor betydelse. Olika mudderverk opererar bara mellan specificerade vattendjup. Den tänkta avlagringen måste således ligga inom detta djupintervall. Gränsen uppåt bestäms av fartygets djupgående då det är fullastat med bränsle och sediment och gränsen neråt beror av hur djupt muddringsutrustningen förmår arbeta. Inverkan på eller ifrån annan fartygstrafik kan också sorteras in under denna rubrik. Kanske är det svårt för mudderverket att ligga i eller köra igenom vissa områden på vissa tider, vilket kan sätta ner kapaciteten.

En annan aspekt på tillgänglighet är huruvida de utvinningsbara sedimenten är täckta av oanvändbara sediment. Att hantera dessa oanvändbara, ytliga sediment påverkar såväl kostnader som kapacitet.

- *Morfologi, stratigrafi och sedimentologi.* Täktplatsens morfologi har stor betydelse för dess lämplighet som täkt. Om det finns borrhningar eller seismiska profiler i området kan ytmorfologiska prover underlätta interpoleringen mellan dessa. Morfologin kan ofta också avslöja avlagringens ursprung och historia. Täckens morfologi beskrivs i termer av volym, topografi, och områdesgränser.

Den stratigrafiska beskrivningen visar avlagringens utbredning och mäktighet inom täktområdet liksom motsvarande egenskaper för ett eventuell överliggande lager av icke-användbart material. Här bör man också göra klart hur skiktningar och andra egenskaper varierar över området och eventuellt med djupet. Detaljeringsgraden och noggrannheten i denna beskrivning beror på hur komplicerad fyndigheten är och på hur väldokumenterad den är i form av undersökningsborrningar, seismiska profiler etc.

Den viktigaste sedimentologiska egenskapen för be-

stämning av täktmaterialens lämplighet som utfyllnadsmaterial är kornstorleksfördelningen. Detta diskuteras mer i nästa avsnitt.

- *Tillgänglig volym.* När erforderlig volym för strandfodringen ska vägas mot den tillgängliga volymen ska denna vara tillräcklig både för den initiala utfyllnaden och gärna också för återkommande utfyllnader som kommer att behövas som en del i underhållet under projektets hela ekonomiska livslängd. Till detta kan man också behöva uppskatta hur mycket material som kan komma att behövas för 'panikåtgärder' om man får en oförutsedd skada. Volymen bestäms naturligtvis av avlagringens tjocklek och dess horisontella utbredning. Utbredningen kan bestämmas av fysiska omständigheter men kan också vara av juridisk natur och definierade i täkt-tillståndet. Dessutom måste muddringsutrustningens begränsningar tas med i beräkningarna, varvid avlagringar som ligger utanför mudderverkets djupintervall ska räknas bort.

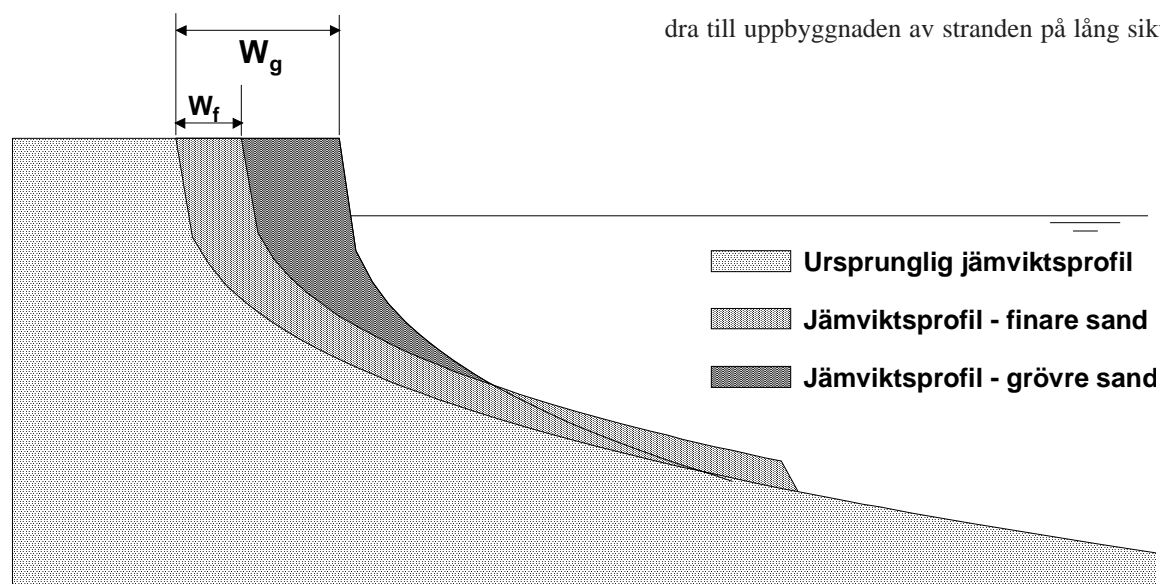
4.1.3 Sedimentets lämplighet

Den absolut viktigaste egenskapen som kommer att bestämma hur väl en utfyllnad kommer att fungera tillsammans med det ursprungliga strandsedimentet är dess *kornstorleksfördelning*. Som en generell rekommendation bör

ett utfyllnadsmaterial ha en mediandiameter som ligger nära den ursprungliga sanden. I det avseendet är grövre strandmaterial mindre känsliga än finare material. Som tumregel gäller att om det ursprungliga strandmaterialet har en mediandiameter över 0,2 mm, betraktas utfyllnads- och strandsedimenten som likvärdiga (kompatibla) om skillnaden i diameter är mindre än 0,02 mm (CEM 2003). För strandmaterial mellan 0,15 och 0,2 mm är sedimenten 'kompatibla' om skillnaden i diameter är mindre än 0,01 mm.

Även 'icke-kompatibla' utfyllnadsmaterial kan dock användas. Ett grövre utfyllnadsmaterial kommer då att bilda en brantare strandprofil som också är stabilare, eftersom grövre sediment inte eroderas så lätt som ett finare. Det krävs också en mindre volym av ett grövre sediment för att skapa samma strandbredd (se Figur 4-1 och avsnitt 8.6). Om utfyllnadsmaterialets diameter är mer än 0,02 mm grövre än det ursprungliga kommer bottenprofilen att bli märkbart brantare. På motsvarande sätt ger ett finare utfyllnadsmaterial en flackare lutning, kräver en större volym sand och eroderas lättare. Av dessa skäl bör man undvika att använda ett utfyllnadsmaterial som är finare än det ursprungliga. För strandsediment mindre än 0,15 mm måste utfyllnadsmaterialet ha minst lika stor kornstorlek som det ursprungliga.

Dessutom bör ett utfyllnadsmaterial inte innehålla mer än 10 procent silt och lera. Dessa fraktioner kommer att tvättas ut relativt snabbt och kommer således inte att bidra till uppbyggnaden av stranden på lång sikt. Om ut-



Figur 4-1. Principiell jämviktsprofil vid utfyllnad med en finare respektive grövre sand. W_f = strandbredd för finare sand. W_g = strandbredd för grövre sand. (OBS. Skalan är utdragen i vertikalled för åskådliggörelsen skull).

utfyllnadsmaterial som innehåller högre andel finmaterial ändå måste användas på grund av att det inte finns annat material att tillgå, måste utfyllnadsvolymen ökas i motsvarande mån för att kompensera för den förväntade urtvättningen. Utfyllnadsmaterial med för hög andel finmaterial medför således högre kostnad. Dessutom ger dessa material högre spridningsförluster vilket är negativt ur miljösynpunkt.

En annan egenskap av intresse hos ett utfyllnadsmaterial är dess *mineralsammansättning*. Denna har betydelse för sedimentets mekaniska hållfasthet, vittringsbenägenhet och dess kemiska stabilitet. I vår del av världen innehåller strandsand oftast en mycket hög andel kvarts som har mycket goda egenskaper i dessa avseenden. Landbaserade täkter, som inte har utsatts för så mycket påfrestningar som strandsedimenten, har ofta högre innehåll av bl.a. fältspat som inte har lika goda egenskaper. Vissa marina avlagringar kan ha hög halt av kalcium vilket ger sedimentet ännu sämre egenskaper. Mineralsammansättningen är dock i allmänhet av underordnad betydelse för materialets lämplighet jämfört med kornstorleksfördelningen. Mineralsammansättningen har emellertid betydelse för sandens färg eftersom myndigheterna ofta sätter den visuella likheten mellan utfyllnad och naturlig sand som ett villkor. Denna effekt är dock helt estetisk och har ingen betydelse för utfyllnadens övriga egenskaper.

Ibland kan marina utfyllnadssediment initialt vara mörkfärgade beroende på oxider eller ett inslag av organiskt material. Denna mörkfärgning försvinner dock snabbt efter att sanden lagts ut och påverkats av vågor och strömmar.

Sand som hämtats ur havet kan innehålla organismer som inte tidigare funnits på stranden. Eftersom det är helt annorlunda förhållanden på stranden för dessa arter har de normalt inga möjligheter att överleva och kommer efterhand att tvättas ur under inverkan av vågor. (Personlig kommunikation, KDI, 2005).

4.1.4 Teknik för uttag

Transport av sand från upptagningsområdet till stranden utförs i princip med två typer av teknik – *sugmudderverk med rörledningssystem* eller *mudderverk med eget lastrum*.

Ett *sugmudderverk med rörledningssystem* (eng. Suction Dredge) består av en pråm som ligger stilla på en plats och tar upp material från botten tills man har kommit ner till föreskrivet djup (Figur 4-2). Pråmen hålls på plats genom ankare och ankarkättingar eller står på botten på långa stödben. När upptagningen avslutats på en plats förflyttas pråmen ett stycke framåt varefter sugningen återupptas. Sedimentet tas upp med olika tekniker (se nedan) från botten upp i pråmen, varifrån en pump transporterar sand och vatten i en s.k. slurry genom ett rörsys-



Figur 4-2. *Sugmudderverk med rörledningssystem, Palm Beach Nourishment Project, Florida. (www.pbcgov.com/erm/divisions/enhancement/beach1.htm) dec. 2004.*

tem, antingen flytande eller liggande på botten, till den strand som ska fyllas ut.

Ett *mudderverk med eget lastrum* (eng. Hopper Dredge) består av ett självgående fartyg som försetts med utrustning för att ta upp sand från botten till fartyget (Figur 4-3). Blandningen av sand och vatten leds till ett utrymme i fartygets innandöme. När fartyget fyllts med sand och vatten upp till kanterna kommer den upptagna sanden att sjunka till fartygets botten medan vattnet (och de finaste sedimenten) rinner över kanterna tillbaka i havet. Under upptagningen kan fartyget antingen ligga stilla eller vara i långsam rörelse. När fartygets fyllts med sand tas upptagningsanordningen upp och fartyget transporterar materialet till avsedd plats – antingen ända till stranden eller till en pråm där sanden med hjälp av en rörledning transporteras den sista biten till utfyllnadsstranden.

Det finns ett flertal olika typer av mudderverk att tillgå för upptagning av sand. De vanligaste och lämpligaste typerna innefattar:

- *Frässugmudderverk* (eng. Cutter Suction Dredge)
- *Hjulsugverk* (eng. Wheel Suction Dredge)
- *Släpsugverk* (eng. Trailing Suction Hopper Dredge)
- *Pater Nosterverk* (eng. Bucket Ladder Dredge)
- *Crawl Cat* (litet mudderverk vid små vattendjup)
- *Grävskopemudderverk* (eng. Backhoe Dredge).

De olika metoderna beskrivs närmare i avsnitt 8.13.2 och mer information finns också på www.ihcholland.com

De olika utrustningarna är lämpade för olika förhållanden. De verk som bygger på sugteknik (eng. *Suction Dredges*) kan användas på mycket stora djup, ner till 70 m. Pater Nosterverk och grävskopeverk är mest lämpade för betydligt grundare vatten för att inte förlusterna ska bli för stora.

Stillaliggande verk – i princip alla utom släpsugverk – suger upp sand på en plats i taget vilket ger en relativt ojämn botten. Härigenom finns risk för kvarstående djuphålor där syrebrist och svavelvätebildning kan uppstå. Släpsugverket rör sig istället framåt samtidigt som det suger, ungefär som en dammsugare. Härmed påverkas en större del av botten, vilket kan vara till nackdel för flora och fauna, samtidigt som botten förblir relativt jämn och med minskad risk för kvarstående djuphålor. Denna utrustning lämpar sig således bäst för upptagningsområden med stor yta och mindre mäktighet men också



Figur 4-3. Släpmudderverk.

i områden där syrebrist ofta uppstår, som t.ex. i Östersjön.

Verk som ankras upp och samtidigt arbetar på stora djup blir relativt känsliga för vågor och strömmar. De verk som arbetar på mindre djup och kan stå på botten blir däremot mindre känsliga för sådana rörelser. Här kan man istället få problem med att förtöja de pråmar, som ska transportera sanden, utmed sidan på mudderverket.

Noggrannheten i positionering är högre för stillaliggande mudderverk, vilket kan vara ett krav i vissa fall. Samtidigt förankras stillaliggande mudderverk ofta med ankarlinor vilket kan ge problem i områden med annan båttrafik. Dock kan de ställas på fötter på botten när djupen är mer begränsade vilket eliminerar behovet av ankarlinor.

4.2 ÖVERVÄGANDEN I UTFYLLNADSOMRÅDET

4.2.1 Val av plats och utformning

För att man ska kunna utforma en strandfodring så att den blir så effektiv som möjligt är det viktigt att känna till 'omständigheterna' kring utfyllnaden. Med 'omständigheter' avses lokala och regionala hydrodynamiska och morfologiska processer, geologin i området men också relevant infrastruktur i och omkring utfyllnadsområdet. Följande avsnitt fokuserar på de viktigaste faktorerna som påverkar placeringen och utformningen av en strandfodring.

Innan strandfodringens läge och utformning läggs fast är det viktigt att göra en beskrivning av de olika kustavsnitten inom det aktuella området. Beskrivningen bör innehålla uppgifter om:

- kända fysikaliska förhållanden (kustlinjer, vågor, vattenstånd, sedimenttransport och sedimenttransportcell (se avsnitt 8.1.2), historisk utveckling, tidigare åtgärder inklusive deras positiva och negativa effekter, nuvarande status på kustskydd, m.m.);
- kända biologiska värden
- fiske och fiskars migration
- friluftsliv
- fastigheter och annan infrastruktur;
- markanvändning;
- gällande planförhållanden och förordnanden;
- andra möjliga effekter om strandutfyllnaden inte genomförs;
- önskat resultat av projektet.

Metoder för undersökning beskrivs i avsnitt 4.3.

Det kan också vara lämpligt att fastlägga lämpliga/möjliga projektgränser utifrån fysiska (t.ex. sedimenttransportcell, hamnar, uddar) och/eller juridiska (t.ex. kommun- eller fastighetsgränser) förhållanden. Överväganden om miljöeffekter eller lokala preferenser kan också ha betydelse för var man lägger projektets gränser.

Strandfodringens olika delar kan sedan utformas med hänsyn till de specifika förhållandena inom varje delsträcka. Man kan t.ex. välja att lägga mer sediment omedelbart nedströms om en hamn där man vet att erosionen är kraftigare än på andra kustavsnitt, man kan välja att stabilisera utfyllnaden med en hövd eller en sporre (tillbyggnad på en vågbrytare) för att förhindra att sanden transporteras in i en hamn nedströms utfyllnaden, etc. Om man identifierat flera delsträckor i närheten av varandra med behov av strandfodringen kan man välja att även fylla ut mellanliggande kustavsnitt för att minimera spridningsförlusterna som annars kan bli betydande. Detta beror på att spridningsförlusterna vid flera, mindre utfyllnader blir större än för en sammanhängande utfyllnad, även om den utfyllda sandmängden är densamma (se avsnitt 8.7).

4.2.2 Metoder för utfyllnad på stranden

Det upptagna materialet placeras på utfyllnadsstranden direkt från muddringsfartyget eller via ett rörledningssystem. Muddringsfartyg som levererar direkt till stranden lägger antingen sanden på grunt vatten, ca 2 – 3 m, genom att luckor öppnas i botten på fartyget eller genom att kölen delas (s.k. Split Hulls) så att sanden faller ut och lägger sig på botten. Alternativt sprutar fartyget slurryn i en båge över kölen så långt upp på stranden som möjligt (s.k. 'rainbow' metod) (Bruun och Willies 1992). Dessa metoder är ekonomiskt fördelaktiga, men kräver relativt lugnt väder samtidigt som de genererar mycket grumling av kustvattnet och förlust av finmaterial.

Om materialet pumpas upp på stranden via ett rörledningssystem kan stranden vallas in med befintlig strandsand eller annat ej erosionskänsligt material. Genom att på så sätt förlänga transportvägen för returflödet av vatten till havet förhindras att de finare fraktionerna av den uppspolade slurryn av sand rinner tillbaka i havet. Förutom att en större del av utfyllnadssand kommer stranden tillgodo reduceras också turbiditeten i det utanförliggande kustområdet.

4.2.3 Strategier

Om materialet samlas upp i ett muddringsfartyg där, som nämnts, vatten och finare partiklar får brädda över fartygets kanter kommer det återstående materialet således att tvättas rent från finmaterial. Detta faktum bör vägas in då utfyllnadsmaterialets lämplighet bedöms från ett kornstorleksperspektiv. I allmänhet bedöms ett sådant urtvättat sediment positivt ur miljösynpunkt eftersom spillet i samband med utfyllnaden blir mindre. Dessutom upplevs ett sådant sediment som renare och mer positivt ur rekreationssynpunkt. Båda dessa synpunkter talar således till muddringsfartygens fördel jämfört med rörledningssystem.

4.2.4 Spridningseffekter

Lateral spridning innebär en förlust av material från projektområdet men i allmänhet transporteras materialet till angränsande kustavsnitt. Stränder inom dessa områden, särskilt då nedströms (utmed den huvudsakliga sedimenttransportriktningen), får då nytta av sanden, både för rekreation och som erosionskydd. Under en utfyllnads livs-

tid kan den nyttan, som på detta sätt kommer andra stränder till del, vara betydande.

Både subjektivt och objektivt värderas ofta den första breddmätningen av sand högre än den sista, dvs. en 10 m bred strand är inte dubbelt så mycket 'värd' som en strand med 5 m bredd. Detta påverkar ofta t.ex. fastighetsvärdet. Om detta också gäller för omgivande stränder kan en spridning av utfyllnadssanden ut ur det direkta projektområdet faktiskt få en positiv nettoeffekt. Om omgivande stränder är mycket smala kan det tillskott av sand som kommer från en intilliggande utfyllnad ge en mycket positiv effekt, samtidigt som utfyllnaden kanske bara minskar marginellt, relativt sett. Därmed kan de positiva effekterna utanför området med råge överstiga förlusten inne i själva projektområdet. Spridningsförluster behöver således inte med nödvändighet alltid vara negativa.

4.3 UNDERSÖKNINGSMETODER

4.3.1 Exempel på undersökningsmetoder

Behoven av undersökningar och mätningar finns beskrivna för täktområdet (avsnitt 4.1), för utfyllnadsområdet (avsnitt 4.2), för naturmiljön (avsnitt 5.2) och för tillståndsprovning (avsnitt 6). I detta avsnitt ges en översikt över hur undersökningar bör utföras och exempel på vilka metoder som kan användas. För beskrivning av hur olika undersökningar genomförs hänvisas till befintlig litteratur och metodbeskrivningar.

När strandfodring planeras erfordras undersökningar av flera förhållanden på platsen där material ska hämtas (täktområdet) och där det ska läggas ut (strandområdet). Undersökningarna utförs normalt i flera steg, från att översiktligt värdera tekniska, ekonomiska och miljömässiga förutsättningar till mer detaljerade undersökningar för projektering och utförande. Kontroll under utförandet och mätning och utvärdering efter utfört arbete måste också utföras. Flera av dessa undersökningar ligger också till grund för tillståndsprovning och kontroll av givna föreskrifter.

Batymetri och topografi

Nivåförhållanden på havs- och sjöbotten (vid marin täkt, vid utfyllnadsplatsen) bestäms med olika typer av ekolodning och sidoscanningsmetoder på grundare vatten. Lasermätningar från flygplan (Lidar) är en relativt ny tillämpning som ger heltäckande mätpunkter och snabbt

täcker stora områden. Vid grundare vattenområden kan även terrester mätning (avvägning eller totalstation) användas. Vid val av metod måste också mätnoggrannheten beaktas.

På land används normalt avvägning, men även bestämning av marknivåer via flygbilder förekommer. Laserskanning med flygburen utrustning har börjat användas för att mäta över större områden.

Jordlagerföljd och materialegenskaper

För att lokalisera lämpliga material för strandfodring kan inledningsvis användas de geologiska och maringeologiska karteringar som Sveriges geologiska undersökning (SGU) sammanställer. På de maringeologiska kartorna finns förutom den vanliga kartan, profilritningar som visar sedimentens mäktighet. Däremot finns inga uppgifter om ackumulations- och erosionsbottenar.

För att närmare undersöka lagerföljd i vattenområden kan användas geofysiska metoder (seismik, sedimentekolod), provtagning (gripskopor, frifallsprovtagare, vibrohammarlod) och sondering (CPT, hejarsondering). På land kan också provtagning göras genom provgroppgrävning och olika typer av provtagare (skruvborr, Geobor). De önskade materialresurserna på land och i vatten kan täckas av material med sådana egenskaper att de inte kan användas och det är då viktigt att klarlägga omfattningen av sådana material.

För bestämning av materialets egenskaper görs laboratorieundersökningar. Kornstorleksfördelning bestäms genom siktning och sedimentationsanalyser. Materialets mineralsammansättning bestäms genom petrografisk undersökning.

Fältundersökningar beskrivs närmare i bland annat SGF Rapport 1:96 och 1:2004. Ytterligare information om t.ex. laboratorieundersökningar finns på Svenska Geotekniska Föreningens hemsida: www.sgf.net

Sedimenttransport

Sedimentens rörelser på täktplatser i havet och vid utfyllnadsområden vid stränder kan bestämmas genom mätningar och värdering av olika faktorer. Genom mätning av bottenivåer kan ackumulations- respektive erosionsområden bedömas och sedimenttransporten beräknas. Vindriktning, våghöjder och vattenströmning behöver också undersökas. Uppgifter kan finnas hos SMHI och hos kommunernas hamnförvaltningar.

Uppgifter om vind och vattenstånd finns för en lång rad platser varför man i allmänhet kan hitta data från något område i närheten av projektområdet. Vad gäller vågor och strömmar är dock tillgången på data mycket begränsad, såvida området inte varit föremål för något större projekt, t.ex. Öresundsförbindelsen, inom vilket data tagits fram. Information om data ifrån SMHI finns på: www.smhi.se. För annat än forskningsändamål är dessa data vanligen mycket dyra att ta fram. Uppgifter från kommuner kan man i allmänhet få tillgång till utan kostnad. Man bör dock vara uppmärksam på eventuella felaktigheter då dessa inte alltid genomgår samma kvalitetskontroll som data ifrån SMHI. För alla typer av vattenståndsdata bör man också klargöra vilket höjdsystem och vilket referensår som använts. Detta är speciellt viktigt då man kombinerar flera dataserier med varandra.

Byggnader, anläggningar och markanvändning
Befintliga och planerade byggnader, infrastruktur och fritidsanläggningar redovisas på kartor tillgängliga hos kommunerna. Markanvändning, planerade utbyggnadsområden, natur- och kulturintressen och restriktioner finns i kommunernas översikts- och detaljplaner.

Naturmiljö

Befintligt växt- och djurliv i havet och på land behöver beskrivas när det gäller olika arters förekomst och utbredning samt vilka arter som är särskilt skyddsvärda. Länsstyrelserna och kommunerna har inventeringar av skyddsvärda områden men dessa kan behöva kompletteras med inventeringar på de aktuella platserna för att klargöra förutsättningar och bedöma konsekvenser av täkt- och fyllningsarbeten samt vid kontroll under byggnadstiden.

Kontroll av omgivningspåverkan vid uttag och deponering av material omfattar vegetation och djurlivet i hav och på land men också påverkan på vattenkvaliteten. Växt- och djurliv inventeras med avseende på bottenfauna och vegetation. Detta kan utföras i provrutor eller utmed transekter där man inventerar artsammansättning och arternas täckningsgrad. Grumlighet och sedimentspill mäts genom turbiditetsmätning, vilket är en optisk mätmetod som ger ett värde på partiklar i vattnet. En enklare men inte lika noggrann kontroll kan utföras med siktskiva, vilket är en vit platta som sänks ned i vattnet tills man inte ser den längre. På land kan det vara av intresse att inventera häckningsplatser för fågel.

Naturvårdsverket har flera handböcker som beskriver inventeringsbehov och metodik, tillgängliga på: www.naturvardsverket.se

4.4 KONTROLL OCH UPPFÖLJNING

4.4.1 Kontroll

En strandfodring kan betraktas som ett mjukt erosionskydd som förändras allteftersom den påverkas av vågor och strömmar. Liksom en 'naturlig' strand befinner den sig ständigt i en dynamisk förändring. Förändringarna är naturligtvis mest påtagliga i början innan utfyllnadsmaterialet har jämnats ut i profilen. Kraftiga profilförändringar uppkommer också senare i samband med stormar och säsongsvariationer i klimatet. Planutformningen påverkas kanske mer gradvis och på lång sikt genom lateral spridning och bakgrundserosion.

Samtidigt finns det vissa funktionskrav på stranden och utfyllnaden som kan översättas till fysiska dimensioner. Således måste utvecklingen av utfyllnaden följas upp för att säkerställa att den uppfyller de uppställda kraven, förhoppningsvis överallt och under hela utfyllnadens livstid. Denna uppföljning innefattar både insamling, analys och tolkning av data. Genom att följa utvecklingen erhålls således en gradvis ökad förståelse för hur utfyllnaden fungerar och reagerar. Denna förståelse är sedan till stor hjälp för planeringen av återfyllnader och eventuella akuta insatser.

Uppföljningen består vanligen av fyra komponenter – profilmätningar, sedimentprovtagning, flygbildsfotografering och mätning av vågor och vattenstånd. I Coastal Engineering Manual (CEM 2003) finns rekommendationer för hur ofta dessa mätningar bör genomföras, (Tabell 4-1). Man delar in mätningarna i två faser. Den första fasen omfattar projektets första tre år med mer intensiva mätningar. Under denna fas vill man främst försäkra sig om att utfyllnaden uppför sig som beräknat och hitta potentiella problem som t.ex. hot spots, där förlusten av sand är större än avsett. I den mån man hittar problem ska de insamlade datauppgifterna kunna vara till stöd för att förstå vad som hänt och varför, men också förhoppningsvis för att hitta en lämplig lösning.

Under förutsättning att eventuella problem är lösta och att utfyllnaden fungerar som planerat övergår uppföljningen i en andra fas efter tre år. Nu bedriver man bara årliga mätningar för att förvissa sig om att allt går enligt planen. Insamlade data används nu också till att

Tabell 4-1. Rekommenderat schema för datainsamling för övervakning av strandfodring. (Efter CEM 2003).

	Fas 1: Initiell utfyllnad åren 1 – 3*								
	Initiell utfyllnad		År 1 efter initiell utfyllnad				År 2 – 3 efter initiell utfyllnad		År 1 – 3, omedelbart efter kraftig erosion
Typ av övervakning	Omedelbart före	Omedelbart efter	Mar	Jun	Sep	Dec	Mar	Sep	
Strandprofilmätning	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Sedimentprovtagning	X	X			X				
Flygfotografering	X				X			X	
Mätning av vågor och vattenstånd	Kontinuerligt								
Fas 2: År 4 och senare utan återfyllnad									
	Jämna år		Udda år			Omedelbart efter kraftig erosion			
Typ av övervakning	Sep		Sep						
Strandprofilmätning	X		X			X			
Flygfotografering			X						
Alternativ Fas 2: År med återfyllnad									
	I samband med återfyllnad				Året efter återfyllnad				
Typ av övervakning	Omedelbart före		Omedelbart efter			Sep			
Strandprofilmätning	X		X			X			
Sedimentprovtagning	X					X			
Flygfotografering	X					X			

*Efter år 3 tas beslut huruvida man fortsätter med mätningar enligt Fas 1 eller om man går över i Fas 2.

bestämma långtidstrender som kan ligga till grund för framtida återfyllnader. De olika komponenterna diskuteras mer i detalj nedan.

- *Strandprofilmätningar.* Den första profil-mätningen görs för att säkerställa att rätt volym sand är utlagd och att man då också följt utläggningssmallen. Efterföljande profil-mätningar görs för att bestämma hur mycket av den utfyllda volymen som återstår och hur materialet är fördelat i profilen. Med dessa data kan man sedan försäkra sig om att utfyllnaden uppfyller de uppställda kraven och planera för nästa återfyllnad.

Profillinjer läggs ut inom projektområdet men också utanför. Linjerna utanför kan tjäna som referenslinjer men också för att få en uppfattning om inverkan av utfyllnaden utanför själva området. Antal linjer liksom deras inbördes avstånd beror på de lokala förutsättningarna och får avgöras från fall till fall. CEM (2003) rekommenderar att mätningarna omedelbart före respektive efter projektets genomförande görs tätare, kanske med 60 m mellanrum. Detta är speciellt viktigt om dessa mätningar ska ligga till grund för en ekonomisk uppgörelse med entre-

prenören. Vid efterföljande mätningar rekommenderas att lägga profillinjerna med cirka 300 m inbördes avstånd. Efter några mätningar och utvärdering av resultat är det möjligt att man kan klara sig med färre linjer. Linjerna bör befästas noga och gå lämpligen från en 'erosionssäker' punkt på eller bakom klitterna ut till förändringsdjupet.

Vad gäller tidpunkterna för mätningar under den första perioden bestäms de mycket av tidpunkten då arbetet är avslutat. De årliga mätningarna i den andra fasen görs lämpligen under sommaren, eller strax efter. Under vinterhalvåret under inverkan av hårt väder påverkas strandprofilerna påtagligt av vågor, strömmar och vattenstånd. Mätresultaten kommer således att variera högst påtagligt beroende på om mätningen ett år utförs just före en storm och året efter just efter en storm. Man bör därför undvika att mäta under perioder som är starkt påverkade av hårt väder eftersom variabiliteten riskerar att vida överskrida de mer gradvisa långtidsförändringar som mätningarna avser att belysa.

- *Sedimentprovtagning* är speciellt viktig om den ut-

fyllda och den ursprungliga sanden har olika egenskaper. Data från provtagningen kan sedan användas för att värdera denna och andra potentiella sediments lämplighet och för att bedöma erforderliga framtida utfyllnads-volymer.

- *Flygbildsfotografering.* Flygfoton ger främst värdefull information om hur kustlinjen förändras över tiden. De kan också ge en viss indikation på förändringar i strandplanet, klitterna och botten närmast kusten fast denna information är svårare att få fram och får betraktas som mer kvalitativ än kvantitativ. Flygfoton ger också en möjlighet till överblick över hela projektområdet som kan vara svårt att få fram vid profilmätningar. Ibland kan akut erosion vid hot spots i det inledande skedet vara så lokal att den inte framgår av profilmätningar men ändå vara klart synlig på ett flygfoto. Man kan också se effekter utanför projektområdet som inte täcks av profilmätningar. Det är dock viktigt att man har klargjort vid vilket vattenstånd bilderna är tagna så att man i möjligaste mån kan kompensera för detta vid jämförelser mellan kustlinjers lägen vid olika tidpunkter.
- *Mätning av vågor och vattenstånd.* Vågor och vattenstånd svarar för huvuddelen av de processer som påverkar en utfyllnad. Genom att mäta dessa samtidigt som man bedriver profilmätningar och flygfotografering kan man etablera samband mellan de effekter man ser på utfyllnaden och de processer som verkar. Detta bidrar naturligtvis till att öka förståelsen för hur utfyllnaden fungerar, vad man kan tänkas göra om något akut inträffar, men också hur utfyllnaden kommer att svara mot framtida stormar av olika slag. Därigenom kan man också skaffa sig bättre framförhållning.
- *Uppföljning av täktområdet.* En uppföljning av vad som händer i täktområdet är naturligtvis till gagn för förståelsen av hur området fungerar, vilket kan ligga till grund för planeringen av framtida uttag i samband med återfyllandsarbeten. Sökanden kan också vara ålagd av tillståndsmyndigheter att följa upp vissa parametrar som visar vilken inverkan uttaget haft och i vilken takt området återhämtar sig. Dessutom är det värdefullt att ha dokumenterade data inför eventuellt ytterligare strandfodring.

De uppgifter som främst är av intresse är hur flora, fauna, sedimentkarakteristika och bottenpografi påverkas av tåkten och i vilken takt och omfattning de återgår till de förhållanden som rådde innan projektets början.

Detta innebär också att man också måste mäta innan arbetet påbörjas i området. I den mån området innehåller konstruktioner bör dessa också besiktigas före och efter för att förvissa sig om att arbetet inte skadat dessa. Om stora kvantiteter tas ut kan det i vissa fall också vara aktuellt att t.ex. genom flygbildsanalys undersöka i vilken mån vågutbredningen över området kan ha förändrats. Sådana förändringar kan i sin tur inverka på sedimenttransporten utmed kusten vilket kan förändra tidigare mönster och/eller magnituder av erosion eller deposition.

4.4.2 Utvärdering

Målsättningen vid utformningen av ett strandfodringsprojekt är att kunna förutsäga hur utfyllnaden kan komma att förändras över tiden. Detta medför många svårigheter eftersom det är osäkert hur många och hur starka stormar utfyllnaden kommer att utsättas för, men också vad beträffar hur utfyllnaden kommer att reagera i plan och profil på dessa stormar. Trots att det finns modeller och metoder för att beräkna de huvudsakliga förändringarna hos utfyllnader är det fortfarande svårt att kvantifiera hur lång tid det tar för profilen att utvecklas, vilket i sin tur återverkar på hur snabbt sand transporteras från stranden till de yttre delarna av profilen. Mot bakgrund av detta och andra överväganden presenteras i NRC (1995) en uppskattning av noggrannheten i hur olika parametrar kan bestämmas vid utformningen av en utfyllnad (se Tabell 4-2).

Genom en omsorgsfull uppföljning av både själva utfyllnaden och de krafter som påverkat den kan man ändå skapa sig en bild av *i vilken grad projektet uppfyller de krav som ställdes vid utformningen.* Det är just detta utvärderingen syftar till.

I den mån skadorna blivit större än de förväntade är det sålunda viktigt att kunna göra en bedömning av huruvida skadorna uppkommit genom oförutsedda påfrestningar, som t.ex. en storm av en styrka som inte utfyllnaden var dimensionerad för, eller om skadan uppkommit genom att utfyllnadens motståndskraft var sämre än beräknat. Det är ju bara i det senare exemplet som utfyllnaden inte fungerat som planerat.

Det kan också vara stor skillnad mellan objektiv och subjektiv värdering av hur väl en utfyllnad fungerat. Det är i det sammanhanget viktigt att såväl finansärer (oftast kommuner) som allmänheten informeras om hur utfyllnaden kan komma att förändras över tiden, vad dessa för-

Tabell 4-2. Uppskatning av noggrannheten i bestämning av olika utfyllnadsparmetrar under förutsättning om öppen, rak kust och kompatibel sand. (Efter NRC, 1995)

Variabel	Procentuellt fel i bestämning
Volymförlust från projektområdet	±25
Kustlinjeförändringar på grund av profilutjämning	±25
Kustlinjeförändringar på grund av materialförluster	±25
Kustlinjeförändringar på grund av både profilutjämning och materialförluster	±35

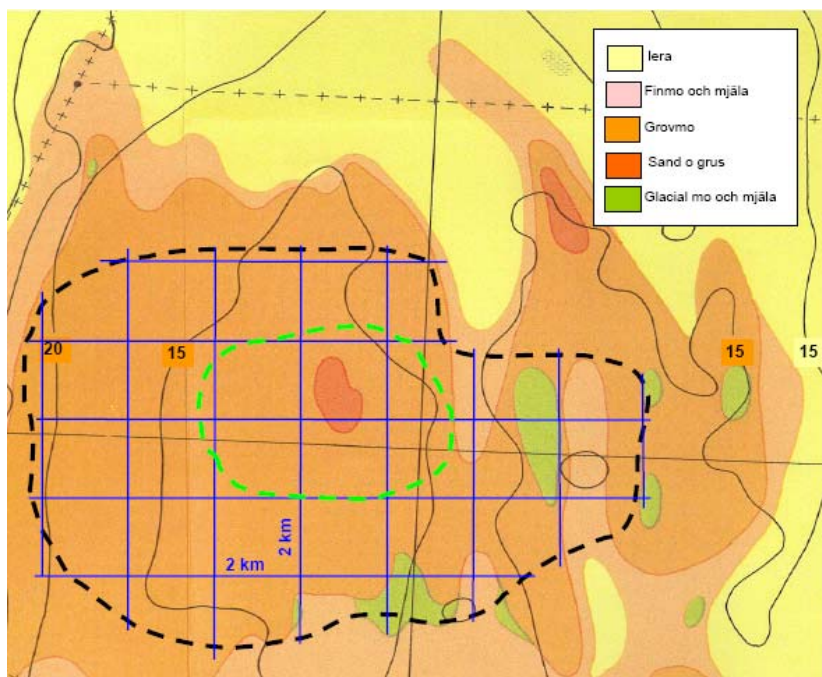
ändringar innebär och beror av, samt också osäkerheten vid kvantifieringen av dessa processer. Ofta kan erfarenheter och data från andra projekt användas för att belysa dessa delar. Utan denna förståelse eller insikt kan högst förväntade förändringar, som t.ex. den initiala påtagliga omflyttningen av sediment i den utfyllda profilen, uppfattas som ett misslyckade trots att det är en medveten och kostnadseffektiv del av utformningsprocessen.

4.4.3 Praktikfall – undersökning på täktplatsen

Att hitta sandens naturliga avlagringsplatser är i Danmark och Holland inte det viktigaste. Sanden hämtas istället från en plats som är den mest fördelaktiga, tekniskt och ekonomiskt sett. Sanden bör hämtas tillräckligt långt ut för att inte bottenformationerna närmast stranden ska störas, dvs. djupare än förändringsdjupet. Längs med Nordsjökusten är detta djup ca 15 m. De danska upptagningsplatserna är lokaliserade på ett djup av 15 – 20 m. I Holland får ingen sand uttas grundare än 20 m.

För att hitta lämplig plats för upptagning av sand genomförs i Danmark olika undersökningar. Man strävar efter att främst använda så kallad mobil sand, som förekommer i bankar med 2 – 5 m mäktighet. I dagsläget finns i Danmark ett tiotal platser utanför den danska västkusten där sanden hämtas från, dessa är belägna ungefär 10 kilometer från kusten. Dessa lokaliseras med geofysiska (seismiska) undersökningar och provborringar. Till att börja med utförs en geologisk undersökning. När ett lämpligt område sedan har identifierats utförs provtagning med sugpumpning på ett större område och prover tas upp för siktanalys, i ett rutnät med två kilometers mellanrum. Djupet i detta område varierar mellan 18 och 25 m. Inom detta ”större” område kan man utifrån siktanalyser hitta ett lämpligt område. För att verifiera detta och minska områdets yta utförs nya provtagningar och siktanalyser, nu i ett rutnät med 500 meters mellanrum.

Ett exempel på hur ett sådant område kan se ut visas i Figur 4-4. Grunden till figuren är en geologisk karta



med tillhörande djupkurvor. Det streckade svarta området representerar området som undersöks först. Avståndet mellan provpunkterna är 2 km, en provpunkt i varje skärning mellan de blå linjerna. Efter ett antal siktanalyser och undersökning av mineralsammansättning väljs ett mindre område för noggrannare undersökning, streckad grön linje. Detta område indelas på liknande sätt, ett kvadratisk rutnät men avståndet mellan provpunkterna är nu 500 m.

Figur 4-4
Exempel på redovisning av ett täktområde för sand.

5 SAMHÄLLSPANERING OCH NATURMILJÖ

I detta kapitel beskrivs hur kustskyddsfrågor kan behandlas i den fysiska samhällspaneringen för att förebygga och begränsa skador av erosion och översvämningar. Vidare redovisas förhållanden i natur- och kulturmiljön som kan komma att beröras då åtgärder vidtas i kustområden.

5.1 SAMHÄLLSPANERING

5.1.1 Kommunalt redskap för skydd mot erosion vid bebyggelseutveckling

Sverige har sedan lång tid tillbaka ett väl utvecklat system för fysisk planering. Utvecklingen i strandnära områden kan delvis styras genom den fysiska planeringen och lagstiftning om tillståndsprövning för verksamheter och åtgärder så att olika intressen blir beaktade.

EU har antagit en rekommendation om ”Integrerad förvaltning av kustområden” (2002/413/EG). Syftet är att främja en hållbar förvaltning av kustområden och att tillgodose lokala, regionala och nationella intressen. Sverige har ställt sig bakom denna rekommendation som nu håller på att implementeras i samhället.

Följderna av erosion kan vara av stor betydelse för både samhället och enskilda. Fastigheter kan minska i yta och hus och liksom strandnära infrastruktur raseras. Om erosionen skadar dynbildningar eller andra skyddande vallar kan bakomliggande områden översvämmas. Åtgärder mot erosion vid en fastighet kan leda till att problemet flyttas till större och ibland regionalt perspektiv.

Det är kommunens skyldighet och rättighet att planlägga användningen av mark- och vattenområden. Plan- och bygglagen är kommunens instrument för att styra bebyggelseutvecklingen i tätorter och övriga delar av kommunens yta.

Den kommunala fysiska planeringen har flera funktioner som kan betraktas som förebyggande. Redovisningen av miljö- och riskfaktorer i översiktsplanen kan peka ut de geografiska områden där det finns risker för erosion och översvämning. Vid planläggning genom detaljplan eller områdesbestämmelser för viss markanvändning, som bostäder eller vägar prövas lämpligheten att använda marken med hänsyn till bland annat hälsa och säkerhet. I områden utanför detaljplan och områdesbestämmelser, behöver motsvarande analys göras vid bygglovprövning. Vid planläggningen ges även möjlighet att ange bestämmelser om t.ex. nödvändiga skyddsåtgärder i planområdet. Kommunen kan undvika olämpliga områden genom att ange hur marken ska användas i översiktsplan, områdesbestämmelser och detaljplan, exempelvis att friluftsliv förläggs till områden som ”tål” erosion.

När erosionen är ett faktum, kan åtgärder behöva vidtas för att motverka fortsatt förlopp eller begränsa skadeverkningarna. Då aktualiseras olika prövningsprocesser, där samråd med kommunala och statliga aktörer liksom med enskilda, företag och organisationer ska genomföras. Denna samrådsprocess med miljökonsekvensbedömning inför ansökan om tillstånd har en nyckelfunktion för att hitta kostnadseffektiva alternativ med minsta möjliga inverkan på motstående intressen. En närmare beskrivning finns i kapitel 6.

5.1.2 Stranderosion i fysiska planeringen

En *översiktsplan* omfattar hela kommunen och ger en översikt av kommunens ställningstaganden till användningen av olika mark- och vattenområden. I planen ingår kartor som redovisar intressen i olika områden men som också ska ta upp riskområden som exempelvis erosions- och översvämningsbenägna områden. Planens rekommendationer redovisar kommunens prioritering vid konkurrens mellan olika intressen och åtaganden på lång sikt. När det gäller bebyggelse är det rimligen byggnaders och anläggningars livstid som ska beaktas. Risken för erosion och i förekommande fall behov av erosionskydd på de platser där bebyggelse finns och planeras behöver därmed bedömas för mycket lång tid. Erosionsförhållandena bör också ses i ett regionalt perspektiv och studeras i samråd med angränsande kommuner. Statens inställning till kommunens bedömningar och prioriteringar framgår av länsstyrelsens granskningsyttrande, som ska finnas fogat till planen.

Detaljplan reglerar markanvändningen inom ett mindre område av kommunen. Vid detaljplanering prövas om marken är lämplig för avsett planändamål, t.ex. bebyggelse. Planen ger bindande besked om lämpligheten och bygglov som är i enlighet med planen måste därför lämnas. Detta ställer stora krav på kommunen att entydigt klarlägga markförhållandena, bland annat erosionsbenägenhet och risk för översvämming, redan i planskedet. Skulle erosionsproblem visa sig, kan kommunen bli nödgad att ändra detaljplanerna (Figur 5-1).

Detaljplan får inte vara mer omfattande geografiskt eller till innehållet än vad som behövs och endast vissa typer av frågeställningar kan regleras med planbestämmelser. Det innebär att detaljplan inte lagligen kan användas för alla slag av åtgärder som i och för sig kunde anses motiverade för att motverka erosion. Planen behöver således kompletteras, exempelvis med de tillståndsprövningar som miljöbalken kräver, med civilrättsliga avtal eller servitut mellan fastigheter.

Strandlinje



Figur 5-1. Exempel på detaljplan med angivet riskområde för erosion.

Det är kommunen som har ansvar för hur planarbetet bedrivs. Länsstyrelsen har emellertid en skyldighet att granska och upphäva detaljplaner som medger bebyggelse som kan antas bli olämplig med hänsyn till de boendes och andras hälsa och säkerhet. Att klarlägga konsekvenserna med avseende på erosion, på kort och lång sikt, är därför nödvändigt för att kommunen ska kunna styrka att platsen är lämplig för bebyggelse och anläggningar.

Vissa utredningar som visar att områden inte utgör en risk ska genomföras innan planen beslutas, så att lämpligheten kan bevisas innan beslut tas. Det innebär att korrigerande åtgärder, som kan ge lämplighet, normalt inte kan vara en del av genomförandet av planen.

Markåtgärder för skydd av kuster i form av strandfodring, stensättning eller släntbeklädning kan inte krävas generellt i ett planområde för att minska erosions- och översvänningsrisken. Om sådana åtgärder behövs för att marken ska vara lämplig för angett ändamål, ska de vidtas innan planen beslutas. Anges viss marknivå i planen, ska dock schakt eller utfyllnad göras som ett led i genomförandet av planen. Skyddsavstånd, vegetation, vallar och murar är lämpliga att ange i detaljplanens bestämmelser för att minska risker för stranderosion och översvämning.

En gällande detaljplan, där bebyggelse eller anläggningar hotas av erosion eller översvämning, kan behöva ändras för att minska sådana risker. Kommunen kan då bli ersättningskyldig för den skada fastighetsägare lider. Har genomförandetiden inte löpt ut, kan kommunen bli ersättningskyldig för t.ex. byggrätter som inte kan tas i anspråk.

För delar av kommunen kan *områdesbestämmelser* reglera bl.a. huvudsaklig markanvändning och utökad lovplikt, exempelvis med hänsyn till risker som följer av erosion. Det är en enklare form av planläggning, som inte innehåller byggrätter.

5.2 NATUR- OCH KULTURMILJÖ

Strandfodring innebär påverkan på naturen både på land och i vattenområden. Generellt gäller de allmänna hänsynsreglerna i miljöbalkens andra kapitel som innebär att alla åtgärder ska utföras med miljöhänsyn. Det gäller exempelvis att hushålla med resurser, välja bra teknik och att svara för de eventuella skador som kan uppkomma.

Naturmiljö bör enligt Naturvårdsverket tolkas vidsträckt och omfatta berggrund, jordlager och vatten men också naturmiljöer på land och i vatten samt växter och djur. Begreppet bör även inkludera landskapsbilden och kulturlandskapet. Det bör omfatta all natur, inte endast värdefull eller orörd natur. Dock ingår vanligen inte bebyggda miljöer eller andra liknande anlagda eller exploaterade områden.

Strandfodring innebär påverkan på naturmiljön, både där material tas ut och där det ska läggas ut. Det innebär att det är nödvändigt att kontrollera vad som gäller för ett specifikt område, för att få klarlagt vilka typer av aktiviteter som kan beröras av förbud eller särskilda villkor. Konsekvenserna av strandfodringen behöver också beskrivas så att påverkan på miljön kan värderas.

Allmänt sett kan miljöeffekterna av sandsugning hållas på en acceptabel nivå genom ett omsorgsfullt val av täktplats, utrustning, teknik och schemaläggning av de olika momenten. En effekt man inte kommer ifrån är att organismer dör som ett resultat av sandsugningen liksom att deras livsmiljö modifieras. Rörliga djur klarar sig bättre eftersom de kan flytta på sig. Bottenfasta växter och djur klarar sig i det avseendet sämre. Oftast återhämtar sig flora och fauna relativt snabbt efter att sugningen avslutats (Stauble and Nelson 1984). Överlevande populationer som klarat sig tar snabbt över (Nelson 1985; Johnson and Nelson 1985). Beroende på bottenströmmarnas styrka kan det ta olika lång tid innan en oregelbunden botten återtar sin ursprungliga form.

Om bottenens beskaffenhet ändrar sig drastiskt och permanent kan dock problem uppstå för överlevnaden av lokala arter. Som exempel kan blottläggningen av ett bottenstrat som avviker betydligt från det ursprungliga ge bekymmer. Även om t.ex. en arts larver överlever själva sandsugningsoperation kan de kanske inte överleva på den nya typen av botten.

Man bör därför, vid jämförelser mellan olika områden, välja de områden där riskerna för förändringar i bottenstraten är minst. Härvid är avlagringens dimensioner viktiga. Områden där sedimentens mäktighet är tillräckligt tjocka är att föredra. Ofta kan man behöva öka ytan och minska djupet i motsvarande omfattning för att inte riskera att suga alltför 'rent' inom ett område. Trots att detta ger en högre direkt dödlighet i uppsugningsfasen ökar områdets överlevnadsmöjligheter på sikt.

Som nämndes ovan riskerar marina sediment med mer

än 10 procent finmaterial att ge höga förluster vid uppsugningen med höga suspensionshalter och spridning av sediment långa sträckor. Sådant spill har ofta negativ inverkan på organismer inom spridningsområdet. Man bör således undvika att sandsuga i dessa sediment. De är dessutom inte speciellt lämpliga som strandutfyllnadsmaterial.

En förändring (fördjupning) av botten kan också påverka de kustnära processerna i området. Vågor som faller in mot en kust kommer att påverkas med avseende på höjd och riktning på grund av botten. Om då bottendjupen ändras återverkar detta på vågorna. Dessa styr i sin tur sedimenttransporten utmed kusten. En förändring av bottendjupen kan således förorsaka erosion eller ackumulation utmed den innanförliggande kusten. Detta bör alltid kontrolleras med en numerisk vågutbredningsmodell, såvida det inte är helt uppenbart att något inverkan inte föreligger. Beräkningarna genomförs då lämpligen för kustavsnittet med respektive utan fördjupningarna inom täktområdet för att avgöra skillnader i våg- och transportförhållanden.

Som ett resultat kan upptagningsområdet behöva flyttas för att undvika problem utmed kusten. Om tänken är lokaliserad djupare än två gånger förändringsdjupet, dvs. normalt utanför 12-meterskurvan, torde risken för inverkan på vågorna vara försumbar.

Det finns många olika former av skydd för värdefull natur- och kulturmiljö. Gemensamt för alla är att det, oavsett behovet av tillstånd eller dispenser, krävs särskild hänsyn till sådana värden. Detta innebär med andra ord en skärpning av det allmänna hänsynskravet. En redovisning av tillstånds- och prövningsprocesser finns i avsnitt 6.2 och mer detaljerat i rapporten ”Ansvar och regler vid stranderosion” (Lerman och Rydell, 2003).

I nedanstående avsnitt beskrivs några olika aspekter som är aktuella att ta hänsyn till vid strandfodring. Värdenas betydelse för olika krav på prövning beskrivs i avsnitt 6.3.

5.2.1 Riksintressen

Områden som behövs för olika samhällsfunktioner, för resursförsörjning eller som är värdefulla för samhället av andra skäl, skyddas genom olika grader av hänsynskrav. När ett område tas i anspråk för en pir kan t.ex. krävas särskild hänsyn till försvarets intressen eller till friluftslivet, så att påtaglig skada på intressen inte upp-

står. I annat fall kan åtgärden inte genomföras.

Stat och kommun identifierar dessa områden där särskilt tunga samhällsintressen (riksintressen) finns. De intressen som kan komma i fråga räknas upp i miljöbalkens hushållningsregler. Allmänna intressen som ska beaktas på en viss kuststräcka redovisas i den kommunala översiktsplanen. Vid konkurrens mellan flera intressen, framgår kommunens prioritering av översiktsplanen och statens genom länsstyrelsens granskningsyttrande.

Kustområdena kan tänkas vara av betydelse för i princip samtliga allmänna intressen, i första hand dock:

- natur- och kulturmiljö (exempelvis ekologiskt känsliga områden som grunda havsvikar, värdefull natur som strandängar, geomorfologiska formationer respektive kultur som fasta fiskeredskap, pålningar, landskap);
- turism;
- friluftsliv;
- areella näringar (t.ex. fiskets grunda vikar för yngel eller fiskebankar där också sandtäkt kan vara aktuell, särskilt lämpliga havsvikar för vattenbruk);
- infrastruktur m.m. (t.ex. hamnar och farleder);
- försvaret;
- vindkraft.

5.2.2 Nationalpark, natur- och kulturresevat

Efter beslut av riksdagen förklarar regeringen mark- eller vattenområde som nationalpark. En nationalpark får skapas för att bevara ett större sammanhängande område av viss landskapstyp i dess naturliga tillstånd eller i väsentligt oförändrat skick. För nationalparker kan införas förbud mot olämpliga åtgärder, t.ex. schaktning eller markberedning av annat slag. Förbuden införs genom föreskrifter som Naturvårdsverket meddelar. Dispens kan ges om det finns särskilda skäl.

Naturresevat kan gälla såväl mark- som vattenområden och skyddsbeslutets syfte är att bevara biologisk mångfald, vårda och bevara värdefulla naturmiljöer eller tillgodose behov av områden för friluftslivet. Det kan också gälla att skydda, återställa eller nyskapa värdefulla naturmiljöer eller livsmiljöer för skyddsvärda arter. Kulturresevat har motsvarande reglering men syftet är i detta fall att bevara värdefulla kulturpräglade landskap. Om det behövs särskilt skydd för en djur- eller växtart inom ett visst område kan föreskrifter inskränka nyttjandet av ett område. Föreskrifter anges för respektive rese-

vat och preciserar inskränkningar i rätten att använda området. Det kan gälla t.ex. förbud mot stängsel, upplag, schaktning, täkt, plantering eller avverkning.

Dispens från föreskrifter för naturreservat får ges om det finns särskilda skäl och endast om intrånget i naturvärdet kompenseras i skälig utsträckning på naturreservatet eller på något annat område. Vidare får dispensen endast ges om det är förenligt med förbudets eller föreskriftens syfte. Bestämmelserna gäller även för kulturresevat.

5.2.3 Natura 2000

Natura 2000 är ett nätverk av områden med höga naturvärden som EU:s medlemsländer har identifierat. Nätverket bygger på bevarande av biologisk mångfald genom EU:s fågeldirektiv och habitatdirektiv. Åtgärder eller verksamheter både inom som utanför ett Natura 2000-område, som på ett betydande sätt kan påverka miljön i området, måste prövas av myndighet. Åtgärder eller verksamheter kan som regel bara tillåtas om åtgärden/verksamheten ensam eller tillsammans med andra pågående eller planerade verksamheter inte kan skada livsmiljö som avses skyddas. De får heller inte medföra att den art eller de arter som avses skyddas utsätts för en störning som på ett betydande sätt kan försvåra bevarandet av arten eller arterna inom området.

Om åtgärden eller verksamheten kan orsaka sådan skada eller störning kan den i vissa fall ändå godtas efter att regeringen har lämnat sin tillåtelse. En förutsättning är att det saknas alternativa lösningar, verksamheten eller åtgärden måste genomföras av tvingande orsaker som har ett väsentligt allmänintresse samt att åtgärder vidtas som behövs för att kompensera för de förlorade miljövärdena så att syftet med att skydda området ändå kan tillgodoses.

Åtgärder som schaktning, strandfodring etc., kan direkt ge skada på naturvärdena i området. Åtgärder utanför området kan indirekt ge störningar genom buller, vattenförorening, grumling etc.

5.2.4 Skyddsvärda biotoper

I kustområden finns ofta ett stort antal växt- och djurarter som bör beaktas när material ska utvinnas och läggas ut för strandfodring. Mindre mark- eller vattenområden som är livsmiljöer för hotade djur- eller växtarter eller som annars är särskilt skyddsvärda kan förklaras som

biotopskyddsområde. Vissa typer av områden har förklarats som biotopskyddsområde medan länsstyrelsen respektive Skogsvårdsstyrelsen får förklara enskilda områden som biotopskyddsområden. Bestämmelserna gäller bl.a. inte mark- eller vattenområden i omedelbar anslutning till bebyggelse. Normalt förekommer inte biotopskydd på sandstränder.

Inom biotopskyddsområdet får inte bedrivas verksamhet eller vidtas åtgärd som kan skada naturmiljön. Det kan gälla t.ex. schaktningsarbeten, utfyllnader, anordningar av pirar, stenskonung av strand eller plantering av främmande arter. Dispens till åtgärd som kan skada naturmiljön kan lämnas om det finns särskilda skäl. En dispens får endast ges om det är förenligt med förbudets syfte.

Konsekvenserna för djur och växter av en strandfodring måste beskrivas med avseende på t.ex. grumling och sedimentspill vid uttag och deponering av material, om det finns vissa årstider som är mindre lämpliga med tanke på fiskbeståndet och hur växtlighet på havsbotten påverkas.

5.2.5 Kulturmiljö

I kustområden kan ofta finnas olika slag av värdefulla kulturmiljöer med fornlämningar, kulturhistoriskt värdefulla byggnader och anläggningar. Det kan vara äldre samlingsplatser för rättskipning och handel, ruiner av försvarsanläggningar eller hamnanläggningar. Det kan också finnas skeppsvrak i vattenområden. Det är en nationell angelägenhet att skydda och vårda kulturmiljön. Såväl enskilda som myndigheter ska visa hänsyn och aktsamhet mot kulturmiljön enligt lagen om kulturminnen.

Den som avser att uppföra en byggnad eller anläggning bör i god tid ta reda på om någon fast fornlämning kan beröras av företaget och i så fall snarast samråda med länsstyrelsen. Om en fornlämning påträffas under grävning eller annat arbete, ska arbetet omedelbart avbrytas till den del fornlämningen berörs. Den som leder arbetet ska omedelbart anmäla förhållandet hos länsstyrelsen.

5.2.6 Friluftsliv och turism

Kustområdena är viktiga och intressanta för det rörliga friluftslivet som strövande i skog och mark, bad och fritidsfiske. På sommaren är kusterna mycket attraktiva för bad och en stor andel av befolkningen söker sig till strandområdena. Detta kan också vara en viktig anledning till

behovet av strandfodring för att säkerställa en strand för sol och bad. Vid planering av strandfodringsarbeten bör hänsyn tas till friluftslivets intressen och om möjligt genomföras under de tidsperioder som minst påverkar utnyttjandet av stranden.

Turismen är en väsentlig näringsgren i kustområden och en viktig inkomstkälla för kommuner och näringsliv, inte minst där stränderna är attraktiva. Detta skapar behov av insatser för att säkerställa tillgänglighet och väl fungerande badstränder som i vissa fall behöver säkerställas genom strandfodring. Även här behöver anläggningsarbeten planeras så att störningar för turistindustrin minimeras.

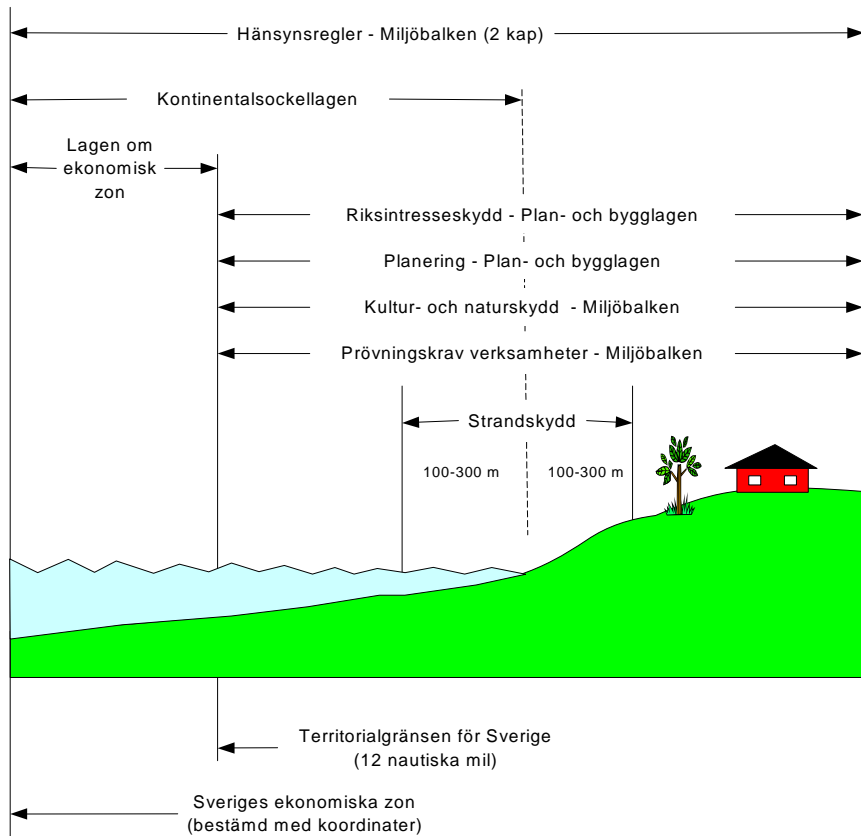
6 ANSVARFÖRHÅLLANDEN OCH LAGSTIFTNING

Vilken lagstiftning är tillämplig vid de olika aktiviteter som erfordras vid strandfodring, vilka förhållanden måste beaktas och vilken tillståndsprövning gäller?

När åtgärder vidtas för att säkerställa skydd av kusten, t.ex. strandfodring, berörs flera intressen som naturvård, friluftsliv och turism, bebyggelse, infrastruktur och kulturmiljövård. Här erfordras avvägningar mellan dessa förhållanden så att samhällsintressen i ett helhetsperspektiv kan tillgodoses. Det möjliggörs av de generella kraven på hänsyn i miljöbalken och i plan- och bygglagen.

En dialog mellan lokala, regionala och nationella aktörer är då nödvändig. Dessa grundkrav på hänsyn och dialog kan således tillgodoses genom kommunala planprocesser kombinerat med samrådsprocesserna med miljökonsekvensbeskrivning då projekt aktualiseras.

Lagstiftningen ger möjlighet att tillgodose de många och olika intressena i kustområden när det finns behov



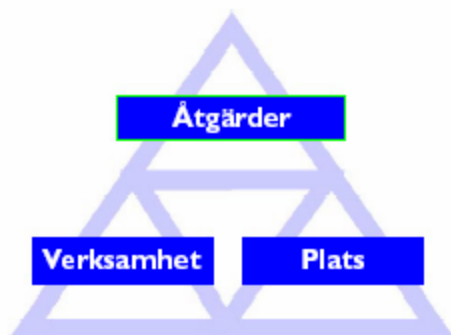
Figur 6-1. Geografisk omfattning av lagstiftning i kustområden. (Lerman och Rydell, 2003)

av skydd mot stranderosion och översvämning. Detta gäller både vid planering och åtgärder på land och i vattenområden. I en kunskapsammansättning om ansvar och regler vid stranderosion beskrivs närmare vilken lagstiftning som gäller och hur den kan tillämpas i samband med åtgärder för att förhindra eller förebygga stranderosion (SGI Varia 534, Lerman och Rydell 2003).

6.1 ANSVAR OCH TILLSTÅND VID STRANDFODRING

Nedan ges en översikt av vad som kan vara aktuellt i samband med strandfodring. Varje projekt är dock unikt när det gäller tillämpliga regler beroende på typ av åtgärd och förhållanden på platsen. För att hitta vilka regler som gäller i en viss situation beskrivs därför i SGI Varia 534 en metod som bygger på att identifiera aktiviteter som berörs av reglerna och identifiera de specifika krav som gäller för en viss plats. Metodiken utgår ifrån **VAD** som konkret görs och **VAR** det görs. Bedömningen av vilka krav som ställs beror på **HUR** åtgärden påverkar olika intressen, som människors hälsa och säkerhet, miljö och hushållning med resurser.

Bedömningen av HUR, dvs. rimlig kravnivå, görs antingen av de myndigheter som beviljar tillstånd eller av den som utför åtgärden. De flesta aktiviteterna har nämligen inte någon specialskrivna miljöparagraf. Alla behöver inte heller myndighetstillstånd. Det är då upp till var och en att bedöma hur de allmänna hänsynsreglerna i miljöbalkens 2 kap ska iakttas. Flertalet åtgärder för strandfodring får dock antas vara av sådan omfattning eller gälla så värdefulla områden att någon form av myndighetskontakt behövs. Flertalet av dem kommer normalt att beröra strandskyddat område där dispens kan krävas.

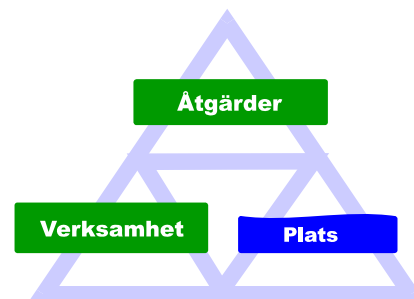


Figur 6-2. Princip för tillämpning av lagstiftning vid strandfodring.

Metoden bygger således på att åtgärder, verksamheter och platser alltid går igenom inför ett arbete. Triangeln (Figur 6-2) "Åtgärd-Verksamhet-Plats" är också utgångspunkten för den interaktiva vägledning om miljöregler som finns på SGI:s hemsida: www.swedgeo.se

6.2 ÅTGÄRDER OCH VERKSAMHETER

Vid strandfodring genomförs åtgärder och verksamheter som ur tillståndssynpunkt kan delas in i anskaffning av material (täkt), upplag av material samt byggande av anläggningar i vatten och på land. För vardera av dessa beskrivs översiktligt huvudfrågor i tillståndsprövningen och de myndigheter som kan vara aktuella vid behandling av ärendet.



6.2.1 Utvinning av material

Om material för strandfodring inte köps in, utan anskaffas som ett led i utförandet av erosionskydd, behövs vanligtvis tillstånd för denna täktverksamhet. Material, normalt sand, kan komma från havet eller från land och beroende på plats och materialval gäller olika regler. Undantag från tillståndskravet finns vanligtvis för husbehovstäkter, dvs. material som finns på den egna fastigheten och som används för fastighetens behov.

6.2.1.1 Täkt i hav och sjöar

Att utvinna och nyttiggöra sand, grus m.m. från sjöbotten eller havsbotten innebär täktverksamhet. För detta behövs tillstånd enligt miljöbalken om det är inom Sveriges gränser (täkten prövas då dels som miljöfarlig verksamhet, dels som vattenverksamhet) samt enligt kontinentalsockellagen, även om det är utanför Sveriges gränser men inom den ekonomiska zonen.

Staten har rätt till alla sand- och grusfyndigheter inom de stora sjöarna, inom svenskt allmänt vattenområde i havet (dvs. inte enskilt vatten) samt utanför Sveriges gränser.

ser inom den ekonomiska zonen. Den första uppgiften är därmed att få rätt att ansöka om tillstånd till täkt i dessa områden (rådighet). Rådigheten ger rätt att söka tillstånd för uttaget men innebär ingen garanti för tillstånd. Länsstyrelsen kan ge rådighet för Vänern, Vättern, Hjälmaren och Storsjön i Jämtland. För havet ingår prövning av rådighet i den tillståndsprövning som då ska göras enligt kontinentalsockellagen. För övriga vattenområden har i första hand den som äger fastigheten rådighet.

Tillstånd för täkt prövas av olika instanser beroende på var den tänkta täkten är belägen. Täkt i sjöar och i enskilt vatten i havet prövas av länsstyrelsen medan täkt i allmänt vatten inom Sveriges gränser prövas av SGU. Om det är täkt av större omfattning eller utanför Sveriges gränser avgörs ärendet av regeringen.

Täkt definieras sedan 2005 som miljöfarlig verksamhet enligt miljöbalken. Täktarbetet är även vattenverksamhet och är som huvudregel tillståndspliktigt enligt miljöbalken.

Vid prövningen enligt såväl miljöbalken som kontinentalsockellagen ska de allmänna tillåtlighetsreglerna i miljöbalken tillämpas. Behovet av material ska dessutom vägas mot de skador på djur- och växtlivet och på miljön i övrigt som täkten kan orsaka. Tillstånd får inte lämnas till en täkt som kan försämra livsbetingelserna för djur- eller växtart som är sällsynt eller hänsynskrävande. Det kan ställas villkor för att t.ex. förebygga luft- eller vattenföroreningar, skydda djur- och växtlivet, bevara fyndigheter eller borrhål, skydda sjöfarten eller fisket. Det finns också ett allmänt krav på lönsamhet för vattenverksamhet, där fördelarna från allmän och enskild synpunkt ska överväga kostnaderna samt skadorna och olägenheterna.

6.2.1.2 Täkt på land

Att utvinna och nyttiggöra sand, grus, sten m.m. på land tillståndsprövas som miljöfarlig verksamhet enligt miljöbalken. Det omfattar alla arbetsmoment, som att loss-göra materialet, krossa, sortera och transportera det inom området.

Delar av täkter på land kan omfattas av definitionen av vattenverksamhet, exempelvis schakt under grundvattenytan och bortledning av vatten för att hålla en täkt ”torr” från grundvatten (dvs. inte från regnvatten). Dessa delar av arbetet kan då behöva prövas även som vattenverksamhet.

Rådighet att söka tillstånd till såväl täkt som vattenverksamhet har i första hand den som äger fastigheten. Genom avtal med fastighetsägaren kan annan få rätt att ansöka om tillstånd och att nyttja resursen. Staten som markägare representeras av kammarkollegiet.

Täkt som miljöfarlig verksamhet kan prövas av miljöprövningsdelegation/länsstyrelse medan vattenverksamhet prövas huvudsakligen av miljödomstol. Det finns dock möjlighet att samla prövningen till miljödomstol, om det är lämpligt exempelvis för att vattenverksamheten utgör en väsentlig del av aktiviteterna.

Vid prövningen enligt miljöbalken ska de allmänna tillåtlighetsreglerna i miljöbalken tillämpas. Behovet av materialet ska vägas mot de skador på djur- och växtlivet och på miljön i övrigt som täkten kan orsaka. Tillstånd får inte lämnas till en täkt som kan försämra livsbetingelserna för djur- eller växtart som är sällsynt eller hänsynskrävande.

Ett allmänt krav på lönsamhet ska beaktas för vattenverksamhet, varvid fördelarna från allmän och enskild synpunkt ska överväga kostnaderna samt skadorna och olägenheterna.

6.2.2 Upplag av material – tillfälligt och permanent

Material som behövs för att anlägga vågbrytare, för strandfodring etc. kan behöva förvaras i närheten av bygplatsen för att underlätta löpande påfyllnad eller i avvaktan på att arbetena ska slutföras. Även material som muddrats från havet kan behöva läggas på land under kortare eller längre perioder. Material kan också läggas upp för ”slutförvaring”, som överskottsmassor eller som en del av anläggningen som ska skydda mot erosion. Detta kan behöva olika former av myndighetsprövning, vilket beror på typ av material, tidsperiod och syfte.

Beroende på platsen kan speciella krav gälla. Även om inte tillstånd behövs, gäller det grundläggande kravet på hänsyn i miljöbalkens generella hänsynsregler. Hänsynen till grannar är specialreglerad genom jordabalken.

Tillfälligt upplag av sten, sand eller liknande behöver normalt ingen prövning, om inte det finns speciella värden på platsen eller om materialet kan förorena eller ge andra störningar som damning eller grumling. Upplag som innebär en utfyllnad i åar, sjöar eller hav definieras som vattenverksamhet och behöver prövas enligt mil-

jöbalken om inte de är uppenbart skadefria.

Muddringsmassor som läggs upp på ett sätt som kan förorena mark eller vattenområden ska anmälas till miljökontoret om det är ringa föroreningsrisk och prövas av miljöprövningsdelegation om det är mer än ringa risk. Muddringsmassor definieras dessutom som avfall och kan vara så förorenat att det utgör farligt avfall, som kräver särskild hantering. Upplag av icke-farligt muddringsmassor längs mindre sund, kanaler eller vattenvägar från vilka det har muddrats, omfattas inte av deponeringsförordningens krav på platsens egenskaper m.m. I annat fall kan platsen för upplag av muddermassor behöva prövas som deponi, vilket är en komplicerad prövning med strikta krav på hänsyn.

Rådighet att söka tillstånd har i första hand den som äger fastigheten. Genom avtal med fastighetsägaren kan annan få rätt att ansöka om tillstånd och att få nyttja platsen.

Vid prövning av miljöfarlig verksamhet ska de allmänna tillåtlighetsreglerna i miljöbalken tillämpas. Hanteringen av avfall och prövning av deponier innebär skärpta krav, vilket inte behandlas i denna rapport.

Vid prövning av vattenverksamhet ska domstolen också tillämpa de allmänna tillåtlighetsreglerna i miljöbalken samt ett allmänt krav på lönsamhet. Lönsamhetskravet innebär att fördelarna från allmän och enskild synpunkt ska överväga kostnaderna samt skadorna och olägenheterna.

6.2.3 Åtgärder i vatten

Samtliga åtgärder mot stranderosion som genomförs i vatten definieras som vattenverksamhet och ska som regel prövas enligt miljöbalken. Endast i de fall det är uppenbart att inverkan på vattenförhållandena inte kan skada vare sig allmänna eller enskilda intressen erfordras inget sådant tillstånd. Detta kan klarläggas vid samråd med länsstyrelsen. Även om inte tillstånd behövs gäller det grundläggande kravet på hänsyn till människor och miljö i allt som kan ge mer än obetydlig miljöpåverkan. Platsens speciella egenskaper eller värden kan skärpa detta generella hänsynskrav. Hänsynen till grannar är specialreglerad genom jordabalken.

Vattenområde avgränsas av högsta högvattenlinjen. Vattenverksamhet är uppförande, ändring, lagning och utrivning av anläggningar i vattenområden, fyllning och pålning, schaktning, rensning samt andra åtgärder i vat-

tenområden som syftar till att förändra vattnets djup eller läge.

Tillstånd behövs inte för rensningar som är nödvändiga för att bibehålla vattnets djup eller läge. Om arbetena berör en fastighet som tillhör någon annan, ska denne alltid underrättas innan arbetena påbörjas. Om fisket kan skadas ska anmälan göras till länsstyrelsen innan arbetena påbörjas. Ändrings- eller lagningsarbeten får också utföras utan tillstånd om det är nödvändigt att utföra dem omgående till följd av skaderisken. Det kan jämföras med Räddningstjänstens rätt att vidta nödvändiga åtgärder för att undvika skador. Ansökan om godkännande av arbetena ska dock göras snarast möjligt. Om det krävs tillstånd till en vattenverksamhet får inte heller anslutande arbeten påbörjas innan tillstånd erhållits.

Rådighet att söka tillstånd till vattenverksamhet har i första hand den som äger fastigheten där vattenområdet ingår. Genom avtal med fastighetsägaren kan annan få rätt att ansöka om tillstånd till vattenverksamheten. Staten representeras av kammarkollegiet.

Rådighet har kommun utan avtal för vattenverksamhet som är önskvärd från allmän miljö- eller hälsosynpunkt. Åtgärder för erosionskydd kan innebära miljö- eller säkerhetsbefrämjande åtgärd, som kan tolkas in i begreppet hälsa, men det är inte självklart. Det är lämpligt att kommunen grundar sin ansökan på avtal med fastighetsägaren.

Förutom rådighet – som avser rätten att ansöka om prövning – krävs rättighet att nyttja annans område. Det grundar sig vanligen på avtal, men om det finns starka skäl kan domstolen medge tvångsrätt.

Om fastighet har blivit skild från angränsande vattenområde genom att stranden förskjutits, i första hand genom landhöjning eller genom att erosionsprocesser byggt på stranden, anger jordabalken att ägare ändå har rätt att nyttja området mellan fastigheten och vattnet under vissa förutsättningar. Det gäller inte område som fylls ut. För sådan utfyllnad kommer grannars rätt, och ersättning intrång i denna rätt, att vara en del av prövningen av tillstånd till utfyllnad. Det är inte troligt att utfyllnad som på sådant sätt skiljer en fastighet från vattnet kan betraktas som skadefri och därmed prövningsfri.

Vid prövningen i miljödomstol tillämpas de allmänna tillåtlighetsreglerna i miljöbalken samt krav på lönsamhet. Lönsamhetskravet innebär att fördelarna från

allmän och enskild synpunkt ska överväga kostnaderna samt skadorna och olägenheterna. Särskilda villkor kan ställas med hänsyn till fisket. Villkor kan också gälla exempelvis skyddsåtgärder eller andra försiktighetsmått för att minimera störningar men också villkor som behövs med avseende på hushållningen med mark, vatten och andra naturresurser.

6.2.4 Åtgärder på land

Strandfodring kan innebära olika åtgärder på land som schaktning, utfyllnad, ändring av vegetation m.m. Dessa åtgärder berör som regel strandskyddat område och kan behöva dispens. Detaljplaner eller andra beslut om naturskydd etc. kan skapa krav på prövning, se följande avsnitt.

Det är byggherren (verksamhetsutövaren) som för egen räkning utför eller låter utföra arbetena, som är huvudansvarig för att hänsynskraven i plan- och bygglagen och miljöbalken följs och att tillräcklig kontroll utförs. Byggandet som sådant är inte prövningspliktigt enligt miljöbalken, men de generella hänsynskraven måste således iakttas av den som bygger såväl som alla andra som kan orsaka störningar i omgivningen. Inom områden med detaljplan kan marklov krävas för avsevärd ändring av höjdläget, t.ex. genom schaktning eller utfyllnad.

Kommunens plan- och bygghänsynkontor, eller motsvarande, hanterar frågor om planer och lov och bygganmälan liksom byggsamråd. Hänsynskraven i plan- och bygglagen ger utgångspunkterna för prövningen, dvs. inte de allmänna hänsynsreglerna i miljöbalken.

Platsens speciella egenskaper eller värden kan skärpa det generella hänsynskravet. Hänsynen till grannar är specialreglerad och särskilt schaktarbeten kräver skärpt uppmärksamhet.

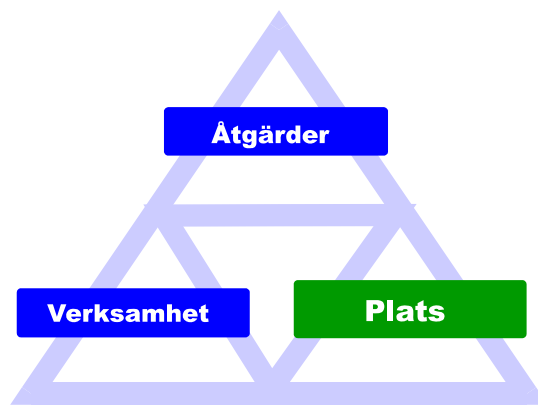
Vid akuta situationer har Räddningstjänsten rätt att vidta nödvändiga åtgärder för att begränsa eller undvika skador, utan att myndighetstillstånd först söks.

Den som äger marken har i första hand rätt att ansöka om lov m.m. och övriga kan med avtal få det rätten.

6.3 PLATS

Beroende på egenskaperna hos den plats där sand ska utvinnas eller fyllas kan det behövas ytterligare myndighetsprövning eller särskild aktsamhet.

Det kan röra sig om egenskaper som gör området sällsynt och värdefullt, exempelvis speciella kulturmiljöer



eller andra resurser som finns där. Det kan också gälla skydd av stränder eller särskilt känsligt område, t.ex. förorenad mark. Hänsynen till grannfastigheter ingår även i bedömningen. Även om inte tillstånd behövs eller om tillstånd lämnats, gäller de grundläggande kraven i miljöbalkens generella hänsynsregler (2 kap) på omsorg i förhållande till människor och miljö.

6.3.1 Natura 2000

Tillåtligheten av åtgärder inom och utom Natura 2000-områden, som på ett betydande sätt kan påverka miljön i området, måste prövas av länsstyrelsen. Om det kan bli skada måste regeringen avgöra tillåtligheten och om prioriterade arter och livsmiljöer berörs krävs även EU-kommissionens yttrande.

Detta är en mycket specialiserad prövning som tillkom 2001. Inverkan på de skyddade värdena kräver oftast bedömning av experter. Om det blir betydande påverkan på området krävs prövningen oavsett om det tidigare finns detaljplan, bygglov, tillstånd till vattenverksamhet, miljöfarlig verksamhet etc.

Konsekvensbedömningarna som görs inför prövningen ska handla om att upprätthålla gynnsam bevarandestatus för skyddade livsmiljöer (habitat) och arter. Det gäller:

- summan av de faktorer som påverkar en livsmiljö och dess typiska arter och som på lång sikt kan påverka dess naturliga utbredning, struktur och funktion samt arternas överlevnad på lång sikt;
- inverkan på faktorer som avgör om bevarandestatus kan anses gynnsam, dvs. dess naturliga eller av hävd-betingade utbredningsområde, om detta område är stabilt, om den särskilda struktur och de särskilda funktioner som är nödvändiga för att den ska kunna

bibehållas sannolikt kommer att finnas under en överskådlig framtid, och om bevarandestatusen hos dess typiska arter är gynnsam (se nästa punkt);

- summan av de faktorer som påverkar den berörda arten och som på lång sikt kan påverka den naturliga utbredningen och mängden hos dess populationer;
- inverkan på faktorer som avgör om en arts bevarandestatus kan anses gynnsam, dvs. uppgifter om den berörda artens populationsutveckling visar att arten på lång sikt kommer att förbli en livskraftig del av sin livsmiljö, att artens naturliga eller hävdbetingade utbredningsområde varken minskar eller sannolikt kommer att minska inom en överskådlig framtid, och att det finns och sannolikt kommer att fortsätta att finnas en tillräckligt stor livsmiljö för att artens populationer ska bibehållas på lång sikt.

Vid bedömningen om områdets värden kan skadas ska hänsyn tas till både den egna verksamhetens direkta och indirekta verkningar jämte de konsekvenser som kan följa av andra pågående och planerade projekt. Grunden för bedömningen är en försiktighetsprincip som innebär att om det saknas bevis ska det antas bli otillåten skada.

Förutom de allmänna tillåtlighetsreglerna i miljöbalken finns särskilda förutsättningar för att aktiviteterna ska kunna medges. Skada kan godtas bara under följande förutsättningar (alla tre ska vara uppfyllda):

- alternativ saknas (kostnad och tid är irrelevant vid bedömningen);
- syftet med åtgärden är ett allmänt intresse som genomförs av tvingande skäl;
- kompensation kan genomföras så att skyddet ändå kan nås (t.ex. genom att restaurera, förstärka, skapa, bevara).

Detta innebär att enskilda såväl som allmänna projekt av mindre tvingande karaktär *aldrig* kan genomföras om de kan skada ett utpekat Natura 2000-område med där ingående livsmiljöer och arter som anges som särskilt skyddsvärda i EU:s fågeldirektiv och habitatdirektiv. I EG-kommissionens manualer ges dock som exempel på tvingande skäl behovet att uppföra vallar till skydd för havet.

6.3.2 Hänsyn till grannar

Var och en ska ta skälig hänsyn till omgivningen i vid mening, dvs. inte bara angränsande grannfastighet, vid nyttjande av sin eller annans fasta egendom. Bristande hänsyn kan leda till skadeståndsansvar.

Hänsynskravet gäller även den som utför arbete på fastigheten. Det finns ännu ingen praxis som klargör vad som ingår i entreprenörens ansvar i förhållande till fastighetsägarens. Det gör det särskilt viktigt att företag såväl som fastighetsägare dokumenterar hur förhållandena var på platsen innan arbetet inleddes och när det avslutades. Detta är särskilt viktigt när det kan finnas risker för skada på grund av närheten till byggnader, risker på grund av terrängförhållanden etc.

Ett visst mått av onormala händelser får man som granne tåla. Det framgår bl.a. av paragrafens ord ”skälig”. En avvägning görs mellan fastighetsägarens berättigade nyttjande av sin fastighet och grannens intresse av att slippa störning. Exempelvis får ljud och vibrationer från maskiner av olika slag normalt tålas. Om arbetet utförs med anmärkningsvärt omodern teknik eller med särskilt vibrerande maskin (bl.a. på grund av dåligt underhåll), behöver dock grannen normalt inte stå ut med denna onödiga störning.

Fastighetsägare som utför schaktning, fyllning, etc. ska vidta skyddsåtgärder som är nödvändiga för att förebygga skada på angränsande mark. Här finns en sträng aktsamhetsplikt för fastighetsägaren, vilket även påverkar bedömningen av hur stort ansvar denne ska ha för eventuell skada. Fastighetsägaren kan antas bli skadeståndsansvarig om det slarvats med skyddsåtgärder. Om skyddsåtgärder uppenbarligen skulle leda till högre kostnad än skadan, behöver åtgärderna inte genomföras. Skyddsåtgärder kan få vidtas på annans mark om det behövs.

6.3.3 Stranden

Strandskydd råder vid havet, generellt 100 meter på land och i vatten och efter beslut av länsstyrelsen upp till 300 meter. Syftet är att trygga förutsättningarna för allmänhetens friluftsliv och att bevara goda livsvillkor på land och i vatten för djur- och växtlivet.

För att uppnå syftet med strandskyddet finns ett generellt förbud mot bl.a. anordningar som avhåller allmänheten från att beträda området, t.ex. inhägnad, plantering, stenskonig, eller som väsentligen försämrar livsvillko-

ren för djur- eller växtarter, t.ex. pirar. När det gäller livsvillkoren omfattar förbudet även åtgärder som grävning och utfyllnad.

Dispens kan lämnas om det finns särskilda skäl. Det kan vara att det är mark som redan används eller område som saknar betydelse för allmänhetens friluftsliv eller anläggning som inte inskränker allmänhetens möjlighet att utnyttja stranden. Anläggningar som måste ligga vid vatten får dock inte automatiskt dispens. Restriktiviteten krävs enligt Naturvårdsverket vid dispens för enskilda anläggningar som tar i anspråk ett allmänt tillgängligt område. Anordningarna bör inte lokaliseras till områden med stort rekreativvärde.

Naturvårdsverket anger: ”Ovan uppräknade skäl utgår primärt från de allemansrättsliga värdena. En dispensprövning ska alltid omfatta även påverkan på växt- och djurlivet. Om de biologiska värdena påverkas på ett icke acceptabelt sätt ska dispens inte ges, även om något av ovanstående skäl kan åberopas.”

Om det finns tillstånd till miljöfarlig verksamhet eller vattenverksamhet krävs inte separat dispens från strandskyddet.

6.3.4 Vattenskyddsområden

Mark- eller vattenområde får av länsstyrelsen eller kommunen förklaras som vattenskyddsområde för att skydda grund- eller ytvattentillgång som kan nyttjas för vattentäkt. Strandfodring eller annan åtgärd mot erosion vid ett vattendrag kan t.ex. komma i konflikt med ett vattenskyddsområde. Täkt i en grusås kan t.ex. visa sig omöjlig på grund av att det finns ett vattenskydd för grundvattnet i åsen. Föreskrifter för vattenskyddsområdet får inskränka rätten att förfoga över fastigheterna. Det kan gälla förbud mot täkt, schakt, utfyllnader, uppställning av arbetsfordon etc.

6.3.5 Samråd om väsentlig förändring av naturmiljön m.m.

Vid schaktning och fyllning i strandområden måste hänsyn tas till värdefull natur- och kulturmiljö. Beskrivning av sådana miljöer finns i avsnitt 5.2.

Alla aktiviteter som innebär att naturmiljön ändras väsentligt måste som huvudregel föregås av samråd med länsstyrelsen. Tänkbara aktiviteter för att hantera stranderosion och som kan kräva samråd är t.ex.

- husbehovstäkt av sten och sand för reparation av egen strand;
- utfyllnader på naturmark;
- muddring (ökning av vattendjupet i visst område). Muddring som påverkar allmänna eller enskilda intressen behöver som regel tillstånd enligt 11 kap. miljöbalken som vattenverksamhet men kan även i annat fall behöva myndighetsprövning, nämligen genom samråd med länsstyrelsen;
- upplag av muddermassor (t.ex. borttagen sand). Ärendet om muddringsmassor som inte innebär en föroreningsrisk, t.ex. sand, är inte prövningspliktigt som miljöfarlig verksamhet enligt 9 kap. miljöbalken. Upplaget betraktas inte heller som deponerat avfall om det läggs utmed vattendraget, även om det ligger kvar mer än tre år.

Samrådsplikten inträder först när det kan bedömas bli väsentlig ändring av naturmiljön, och vad som är väsentligt beror på flera faktorer. Naturvårdsverket ger följande råd: ”Vid bedömningen av vad som är en väsentlig ändring av naturmiljön bör beaktas dels områdets karaktär och känslighet, dels åtgärden som sådan och dess inverkan på naturmiljön. I ett område med dokumenterat höga natur- eller kulturmiljövärden eller i ett område som annars är känsligt kan även en förhållandevis liten åtgärd innebära väsentlig ändring av naturmiljön. Påverkan på arter och livsmiljöer bör vägas in i bedömningen av vad som utgör en väsentlig ändring.”

Till ytan mindre mark- eller vattenområden som är livsmiljöer för hotade djur- eller växtarter eller särskilt skyddsvärda av andra skäl, kan få biotopskydd genom särskilt beslut av länsstyrelsen. Ett beslut om biotopskydd innebär att inga åtgärder som kan skada naturmiljön får genomföras. Det kan gälla t.ex. schaktningsarbeten, utfyllnader eller plantering av främmande arter.

Om det finns tillstånd till miljöfarlig verksamhet eller vattenverksamhet krävs inte separat dispens från strandskyddet.

6.3.6 Förorenade områden

Områden som är känsliga på grund av föroreningar de utsätts för kan förklaras som miljöskyddsområde. Länsstyrelsen meddelar behövliga föreskrifter om skyddsåtgärder, begränsningar och andra försiktighetsåtgärder för verksamheter.

Mark- och vattenområden och anläggningar som är förorenade så mycket att de utgör en hälso- och miljörisk, ska undersökas och saneras av verksamhetsutövare som orsakat föroreningarna. Om strandfodring ska utföras inom misstänkt förorenade områden vid stränder, hamnar eller båtupplag kan markundersökningar behövas. Åtgärder som behövs för saneringen måste anmälas som miljöfarlig verksamhet till kommunal miljönämnd.

I förorenade områden får inte åtgärder vidtas innan områdena sanerats. Den som vidtar åtgärder och medverkar till att sprida föroreningarna kan bli medansvarig för sanering.

6.4 MYNDIGHETSPRÖVNING

För att utföra strandfodring erfordras prövning hos flera olika myndigheter, t.ex. både för att få tillgång till material (täktverksamhet) och för att vidta åtgärder på den strikt reglerade plats som stranden utgör. Myndigheter granskar projektet för att bedöma dels om samhällets krav på funktion och lämplighet uppfylls, dels om rimlig hänsyn visas omgivningen som exempelvis grannar och miljö. Om enskilda intressen (t.ex. grannar) skadas, kan myndigheten ange vilken ersättning som ska betalas för skadorna. Skador på allmänna intressen, t.ex. natur och kultur, kan behöva kompenseras och besluten anger då hur.

Den som genomför eller låter genomföra en åtgärd eller verksamhet – verksamhetsutövaren – har ansvar för att aktiviteterna får nödvändig myndighetsprövning, följer meddelade tillstånd och i övrigt genomförs under rimlig hänsyn. Det finns ett löpande ansvar att planera, genomföra och följa upp och utvärdera följderna av aktiviteterna och vid behov korrigera så att rimlig hänsyn tas.

För att se till att samhällets och enskildas intressen blir tillgodosedda genom en myndighetsprövning finns olika typer av sanktioner som drabbar verksamheter som genomförs utan nödvändiga myndighetsprövningar. Det kan t.ex. bli fråga om miljöstraffavgift och straff.

Även om det inte behövs myndighetstillstånd för en åtgärd finns generella krav på aktsamhet med tanke på omgivningen; det gäller grannar men också människor i allmänhet och miljön. I miljöbalkens andra kapitel anges vilka krav som gäller för den som vidtar en åtgärd som kan ge olägenheter för omgivningen. De vänder sig i första hand till verksamhetsutövare, t.ex. den som vidtar åtgärder till skydd mot erosion.

Reglerna ska emellertid också ligga till grund för alla prövningsbeslut enligt miljöbalken och de andra lagar som har hänvisning till miljöbalkens 2 kap. Myndigheter ska således tillämpa reglerna vid prövningen av aktiviteterna och besluten innebär en precisering av de allmänna formuleringarna i reglerna.

I ”Ansvar och regler vid stranderosion” (Lerman och Rydell, 2003) finns en redovisning av olika myndighetsprinciper och beslut som tillstånd, anmälan, dispens och samråd. Flertalet prövningar grundas på uppgifterna i en ansökan (eller motsvarande slag av dokument) och vanligtvis ska ansökan innehålla en miljökonsekvensbeskrivning.

7 TEKNISK OCH EKONOMISK VÄRDERING AV KUSTSKYDDSATGÄRDER

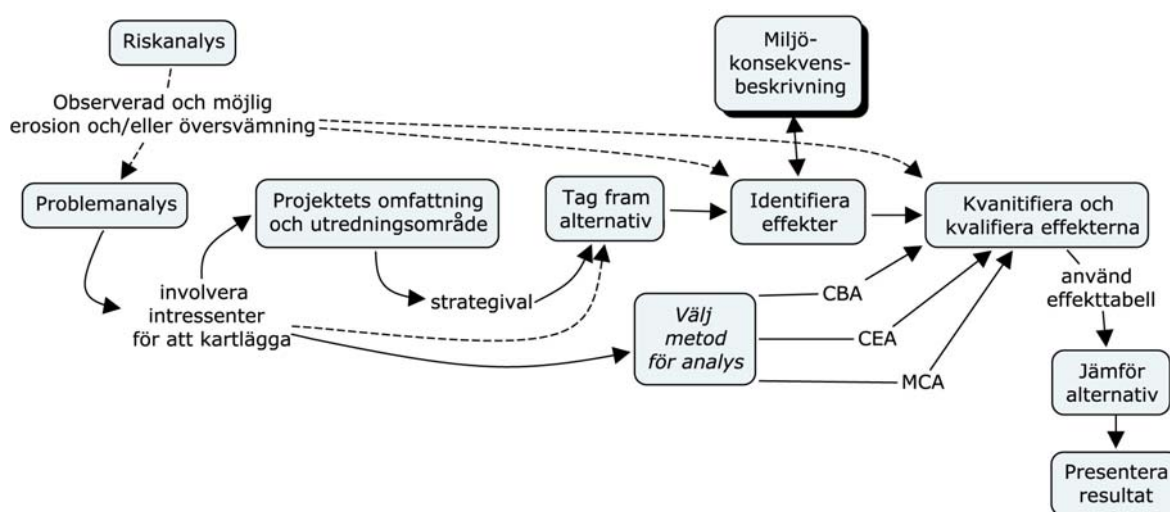
I detta avsnitt beskrivs hur ett beslutsunderlag kan tas fram för att värdera olika alternativa åtgärder för kustskydd. Dessutom redovisas svenska och internationella principer för finansiering av kustskyddsåtgärder.

7.1 VÄRDERING AV STRÄNDER FÖR BESLUT OM ÅTGÄRDER

För att få ett korrekt planerings- och beslutsunderlag bör en värdering av olika handlingsalternativ göras. Härigenom finns också förutsättningar att erhålla den tekniskt-ekonomiskt mest fördelaktigaste lösningen på ett problem med stranderosion. En vägledning för en sådan värdering har utvecklats i det europeiska projektet Messina (Messina 2006). I det följande ges en översikt av metodiken för en värdering av stränder som kan tillämpas vid bland annat strandfodring.

En inventering görs av de risker som kan finnas inom ett aktuellt område som utsätts för stranderosion i form

av skador på bland annat egendom, hälsa och säkerhet samt naturmiljö. Risk är i detta sammanhang produkten av sannolikheten för en händelse och konsekvensen av den. Sannolikheten för att ett visst förlopp ska inträffa baseras på mätningar av tidigare förlopp och bedömning av framtida händelser. Konsekvenser kan vara både monetära och icke-monetära, exempelvis bedömda kostnader för materiella skador eller förlust av egendom respektive förändrade levnadsförutsättningar och landskapsbilder. Förväntade förlopp beskrivs med olika tidshorisonter, helst minst 50 till 100 år och med hänsyn till förväntade klimatförändringar. De olika momenten i en sådan analys illustreras i Figur 7-1.



Figur 7-1. Modell för värdering av kustskyddsåtgärder. (Messina 2006)

Värderingen utförs genom att successivt analysera, bedöma och beräkna olika alternativ:

- **Analys av problembild**
Vilka förhållanden råder idag och kan förväntas framöver, hur utvecklas erosionen och vad/vem berörs?
- **Alternativa lösningar av problemet**
Vilka alternativ är möjliga i det aktuella fallet, utgående från de fem strategierna enligt avsnitt 1.3.
- **Konsekvensbeskrivning**
Vilka effekter eller konsekvenser kan förväntas för de olika studerade alternativen? Beskrivning görs i en effekttabell med ekonomiska uppgifter eller bedömningar på annat sätt.
- **Socio-ekonomiska analyser**
En lämplig socio-ekonomisk värderingsmetod väljs för att beskriva kostnad och nytta för de olika alternativen. Normalt används Cost-Benefit Analysis (CBA), Cost-Effectiveness Analysis (CEA) eller Multi-Criteria Analysis (MCA).
- **Val av åtgärd**
Med utgångspunkt från den socio-ekonomiska värderingen finns underlag för att välja det mest lämpliga alternativet.

7.2 KOSTNADER OCH NYTTA

Kostnaden för själva upptagningen av sanden kan i de flesta fall bestämmas med relativt god noggrannhet. Den största osäkerheten i kostnadsberäkningen av strandfodring är relaterad till risken att man inte kan ta all sand från det närmaste täktområdet och risken för ökade åtgärder och restriktioner på grund av miljöhänsyn med tillhörande svårigheter att få tillstånd.

Den totala kostnaden beror främst på omfattningen av strandfodringen och avstånd mellan täktplats och utfyllnadsområde. Erfarenheter från Danmark och Nederländerna visar att kostnaderna (2005) är av storleksordningen 4 – 5 Euro/m³ för fyllning på stranden och 2 – 3 Euro/m³ för revelfodring.

Nyttan med strandfodring beror på målsättningen med projektet – stormskydd eller rekreation. Inverkan på *stormskydd* är kanske det mest objektiva måttet där man med hjälp av modellberäkningar kan bestämma hur stora kustområden som eroderas eller översvämmas till följd av en eller flera stormar över en viss tidsperiod och vilka skador som dessa händelser medför. Ur *rekreationssynpunkt* är en utfyllnad i princip alltid positiv, fast svår att

kvantifiera. Ökade rekreativmöjligheter ger en goodwill för den aktuella kommunen (vilket kan ge högre inflyttning även i icke-kustnära delar av kommunen), har positiva effekter för t.ex. folkhälsan och ger genom ökad turism ökade intäkter för olika aktörer i kommunen.

Indirekt kan strandfodring i allmänhet också inverka på *fastighetsvärden* i projektets närhet. Denna inverkan är mer psykologisk samtidigt som det finns en mängd data som visar att en utbyggnad av en strand har en påtaglig effekt på fastighetspriserna. Det kan också förtjänas att nämna att erfarenheter också visar att den ökade nyttan per meter strandbredd minskar ju bredare stranden blir (Dean 2002), dvs. marginalnyttan minskar med bredden. Detta gäller såväl den subjektiva nyttan ur rekreationssynpunkt som den objektiva nyttan ur erosions- eller översvämningssynpunkt. Nyttan av en 10 m bred strand som löper utmed 20 m av kusten ger således i allmänhet större nytta än en 20 m bred strand som löper utmed 10 m kust, fast den tillskapade strandytan är densamma. Detta förutsätter att förhållandena i övrigt är densamma utmed stranden och så länge utfyllnaden inte sprids i så stor omfattning att den inte längre kan anses ha någon nytta.

7.3 FINANSIERING AV ÅTGÄRDER

Sverige

Åtgärder för att förebygga eller återställa skador till följd av stranderosion är ofta omfattande och kostnadskrävande. Normalt har fastighetsägaren ansvar för att vidta åtgärder och finansiera dessa inom sin fastighet. Kommunen är ofta fastighetsägare inom gemensamma områden och där det finns kommunala anläggningar. För närvarande finns inga statliga medel för insatser mot stranderosion, såvida det inte handlar om akuta lägen, då kommunen kan få stöd via Räddningsverket för räddningstjänstinsatser, dock inte för skador som inträffat. Staten kan vid extraordinära händelser bevilja särskilda medel för återuppbyggnad och reparation av skador av naturolyckor.

I Sverige svarar Räddningsverket för ett system med statsbidrag för förebyggande åtgärder mot ras, skred och översvämningar. Detta avser åtgärder där befintlig bebyggelse (bostäder, industrier etc.) eller kommunal infrastruktur är hotad. Ersättning utgår inte för nybyggnad eller exploatering av nya områden och inte heller för Vägverkets och Banverkets anläggningar.

Principen är att ersättning inte kan sökas för åtgärder som rör långsamma odramatiska förlopp som kusterosion trots att de så småningom leder till hastiga förlopp i form av ras, ibland med byggnader inblandade. För motsvarande erosions-skador i älvdalar, särskilt i södra Norrlands niplandskap, har däremot ersättning utgått.

Det är enbart kommuner som kan söka medel till förebyggande insatser. Det är ett allmänintresse att skydda befolkningen mot skador genom naturolyckor. Dessutom har kommunen den kompetens som erfordras för att samordna insatser inom berörda områden och är den som kan prioritera vilka delar av kommunen som är mest angelägna att åtgärda.

Internationellt

Internationellt finns olika system för statens engagemang i erosionsskyddande verksamhet. En översikt av strandfodring i Europa visar att i flera länder finns statliga medel för kustskydd (Hanson *et al.* 2002).

Exempelvis finansierar den statliga myndigheten Kystdirektoratet i *Danmark* planering och åtgärder för att skydda den Yttre kusten (längs Jyllands västkust). För de Inre kusterna (övriga kuststräckor) har länen (amten), kommunerna och markägarna ansvar för utredning och finansiering av åtgärder. I *Tyskland* ansvarar de tyska kustdelstaterna för övervakning, planering och genomförande av kustskydd. Kustskyddsprojekten finansieras till 70 % av den tyska förbundsstaten och till 30 % av delstaterna. I *Nederländerna* ansvarar Rijkswaterstaat för och finansierar motsvarande verksamheter. Principen i Nederländerna är att all erosion längs den nederländska kusten ska kompenseras genom utfyllnad av sand. I *Italien* svarar staten huvudsakligen för finansieringen av åtgärder medan de regionala myndigheterna är ansvariga för underhållet. *Frankrike* har principen att kostnader för kustskydd ska bäras av berörda markägare i förhållande till deras nytta. Lokala myndigheter kan stödja med 10 – 30 % av kostnaderna med stöd delvis av regionala myndigheter. I *Spanien* finansieras i princip allt kustskydd via statliga medel, även om det är föreskrivet att bidrag ska ges av lokal och regionala myndigheter och privata markägare. I *Storbritannien* finansieras kustskyddsåtgärder via staten och lokala myndigheter.

Sammanfattningsvis kan sägas att det i de flesta länder är av nationell betydelse att skydda kust och bevara land.

8 STRANDFODRING – DIMENSIONERING OCH UTFÖRANDE

Detta avsnitt vänder sig till dem som vill fördjupa kunskapen om de tekniska aspekterna vid strandfodring. I avsnittet beskrivs mer detaljerat olika delar i planering, projektering och utförande av strandfodring, inklusive materialfrågor och beräkningar.

8.1 SEDIMENTTRANSPORT

8.1.1 Historisk utveckling

Vanligtvis har en strand som är föremål för strandfodring utsatts för erosion under lång tid. Förhoppningsvis är denna erosion dokumenterad på något sätt, t.ex. genom profilmätningar eller inmätning av kustlinjer. Kanske finns eventuella tidigare åtgärder dokumenterade, inklusive deras effekt. Dessa uppgifter kan ofta ge mer eller mindre tydliga indikationer vad som händer med stranden och vilka typer av lösningar som kan tänkas fungera i framtiden och varför. Om man beslutar att genomföra en strandfodring kan den tidigare dokumentationen också ligga till grund för en säkrare utformning av utfyllnaden. En tidigare utfyllnad kan ge indikationer på den nya utfyllnadens förväntade livslängd. Ackumuleringen uppströms en hövd kan ge ett mått på nettotransporten utmed kusten och muddringsprotokoll från en in-seglingsränna till en hamn kan användas för uppskattning av bruttotransporten.

Historiska och nutida kartor och flygbilder kan ge värdefull information om såväl lokala som regionala förändringar. Rektifierade (koordinatjusterade) flygbilder kan ge noggranna bestämningar av kustlinjers lägen. Utifrån dessa kan man få hjälp med att förstå de olika formskapande processerna i den aktuella kustzonen som underlag för att ställa upp en sandbudget, där de olika källorna och sänkorna för sediment kvantifieras efter bästa förmåga (se avsnitt 8.1.3). Varaktiga signaturer i kustlinjen, som t.ex. ackumulering på en sida av en hamn med motsvarande erosion på den andra, ger indikationer på

huvudsaklig infallsriktning för vågor, sedimentens nettotransportriktning, etc. Formen på uddar och sandsporrar, migrationsmönster för revlar under vattnet kan också utnyttjas för att förstå kustavsnittets dynamik (Rankka och Rankka 2003). Kanske kan man också se förändringar i dessa signaler över tiden som tyder på att processerna är i gradvis förändring eller till och med uppvisar någon typ av cykliskt förlopp. En strand kan erodera under vissa tider för att sedan växa till under de år som följer. Vetskapen om detta kan göra att man avvaktar med åtgärder mot erosionen av en strand för att se om trenden möjligen ändå vänder.

8.1.2 Sedimenttransportceller

Alla kuster är indelade i naturliga delområden som kallas *sedimenttransportceller*. Varje sedimenttransportcell omfattar en komplett sedimentationscykel som innefattar sedimentkällor (där sediment skapas genom t.ex. vitt-ring), transportvägar och sedimentsänkor (där sediment avlagras och inte återförs till stranden). I strikt mening sker således inte något utbyte av sand mellan angränsande sedimenttransportceller, men i praktiken kan man sätta gränsen för en sedimenttransportcell där transporten över gränsen är mycket blygsam jämfört med de transporter som sker inom cellen. En sedimenttransportcell är i allmänhet betydligt större än själva projektområdet. Inom cellen kan sanden i vissa fall röra sig runt i 'samma' banor över långa tider. Det är således i huvudsak samma sand som passerar en viss del av sedimenttransportcellen ett stort antal gånger. Inom andra celler kan en

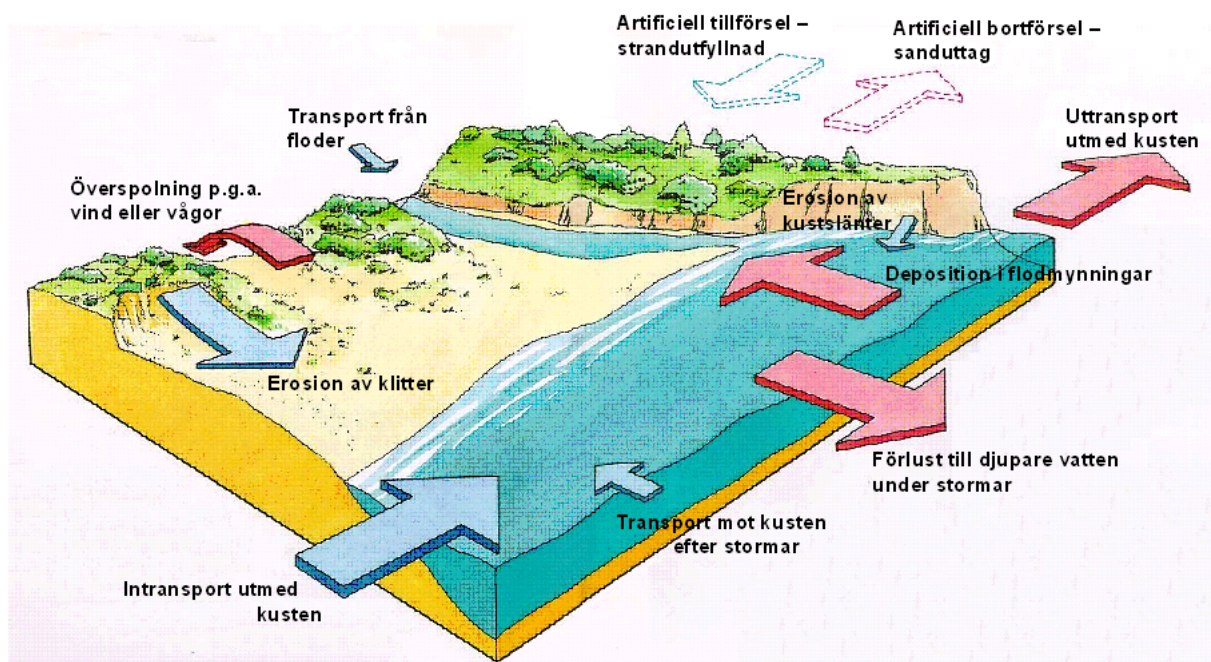
betydande mängd nytt materiel tillförs, t.ex. genom erosion av kustnära klitter, samtidigt som en stor del av sand deponeras på en kustnära sandbank. Här är då genomflödet av sand betydande.

Inför planeringen av strandfodring är det viktigt att känna till sedimenttransportcellens huvuddrag – var lösa sediment skapas genom vittring/erosion, eventuellt kommer in respektive lämnar cellen, dess utbredning och avgränsningar och var projektet ligger i förhållande till dessa. Dessa faktorer bestämmer till stor del hur utfyllnaden kommer att förändras över tiden, var sanden kan komma att ta vägen och därmed hur utfyllnaden kommer att påverka omgivningen.

Beroende på hur de storskaliga transportmönsterna ser ut och hur komplexa de kan förmodas vara, kan antingen väldigt enkla analytiska överslagsberäkningar eller avancerade datormodeller användas i utformningen av utfyllnaden (se avsnitt 8.6.3).

8.1.3 Sedimentbudget

När man skapat sig en bild av hur sedimenttransportcellen i huvudsak fungerar är nästa steg att försöka åstadkomma en sedimentbudget dels för hela sedimenttransportcellen, dels för projektområdet (om det är mindre är sedimenttransportcellen). I denna sedimentbudget kvantifieras de olika källorna (inkommande transport) och sänkorna (utgående transport) för sediment (Figur 8-1) liksom vilka flöden som rör sig inom området. Det gäller då att ta reda på var och hur mycket sediment som rör sig över projektets och sedimenttransportcellens respektive begränsningslinjer liksom inom områdena. Ju mer information som kan fås fram om dessa förhållanden desto bättre är förutsättningarna för att kunna utforma en väl fungerande utfyllnad. Det är dock inte helt enkelt att få fram sedimentens transportvägar och flödet av sediment utmed dessa och att upprättandet av en sedimentbudget kan då vara ett hjälpmedel. Liksom för en ekonomisk budget börjar man med att uppskatta de olika ingående posterna. Dessa får sedan räknas ihop och modifieras tills man får budgeten att gå ihop, där skillnader i 'inkomster' (intransport av sand) och 'utgifter' (uttransport av sediment) måste svara mot skillnaden i 'kassabehållningen' (erosion eller ackumulation). Eftersom posterna är länkade till varandra kan det krävas viss anpassning innan man får budgeten att gå ihop. Mer ingående diskussion om upprättande av en sedimentbudget ges i Rosati (2005). Ett gratis, men ändå mycket kvalificerat GIS-baserat program för att upprätta en sedimentbudget finns på <http://cirp.wes.army.mil/cirp/adjacent/sbas/sbas.html>



Figur 8-1. Källor och sänkor för sediment. (Efter broschyr "Beach Dunes" utgiven av New South Wales Government, Australien).

8.2 TOPOGRAFI OCH BATYMETRI

8.2.1 Strandens topografi

En strands utformning – både vad gäller planutformning och topografi såväl över som under vattnet – ger en indikation på vilka processer som är viktiga i projektområdet. Topografin är naturligtvis också avgörande för hur mycket sand som måste tillföras stranden och inom vilka delar för att uppnå ett avsett slutresultat. Den existerande undervattensprofilen från stranden ut till förändringsdjupet ger en god indikation på hur motsvarande profil kommer att utformas efter att stranden fyllts ut. Här måste man naturligtvis ta hänsyn till eventuella skillnader i kornstorlek mellan den ursprungliga sanden och utfyllnadsmaterialet (se avsnitt 8.6). Om utfyllnadsmaterialet är finare blir den utfyllda profilen flackare och vice versa för grövre material.

Byggande av olika konstruktioner i samband med utfyllnaden har också betydelse. Likaså om den nuvarande stranden skyddas av en strandskoning med endast en smal, eller kanske ingen alls, strand framför kan den existerande profilen vara överdrivet brant. Denna profil är då inte representativ för den förväntade utfyllda profilen. I sådana fall är det bättre att försöka hitta en annan profil i närheten, som inte är påverkad av strandskoningen. Även närheten till andra typer av konstruktioner eller muddrade rännor kan påverka den nuvarande profilen.

Klitternas utformning är också viktig. Klitternas krönhöjd, huruvida de är sammanhängande utmed kusten, deras avstånd till kustlinjen och volyminnehåll över strandplanet är faktorer som spelar stor roll för vilket skydd mot erosion och överspolning klitterna kan erbjuda bakomliggande markområden och infrastruktur. Ett välutvecklat vegetationstäck, som når ända ner till klitterfoten, är en säker indikation på att strand och klitter är stabila. Nakna rasbranter, spår av överspolning och dåligt utvecklade (eller helt frånvarande) klitter är tecken på att kustområdet är mycket känsligt för stormskador.

Enkla profilmätningar kan härvidlag tillföra mycket värdefull information. De kan användas för att karaktärisera såväl klitter som strand och undervattensprofil. De visar på eventuella förändringar över tiden som kan ingå i upprättandet av en sedimentbudget. Mätningarna utgör också underlag för att bestämma var och hur mycket material som ska läggas utmed olika delar av den aktuella kusten.

8.2.2 Jämviktsprofiler och förändringsdjup

Det har länge varit allmänt känt att kustnära strandprofiler har vissa bestämda egenskaper som t.ex. att (Dean 2002):

- formen är konkav uppåt (dvs. buktar nedåt);
- profiler med grövre sediment är brantare än de med finare sediment;
- stormvågor transporterar ut sand från profilens inre delar till dess yttre vilket minskar dess branthet.

Bruun (1954) undersökte strandprofiler i Danmark och i Kalifornien och kom fram till att profilernas form i stort kunde beskrivas enligt

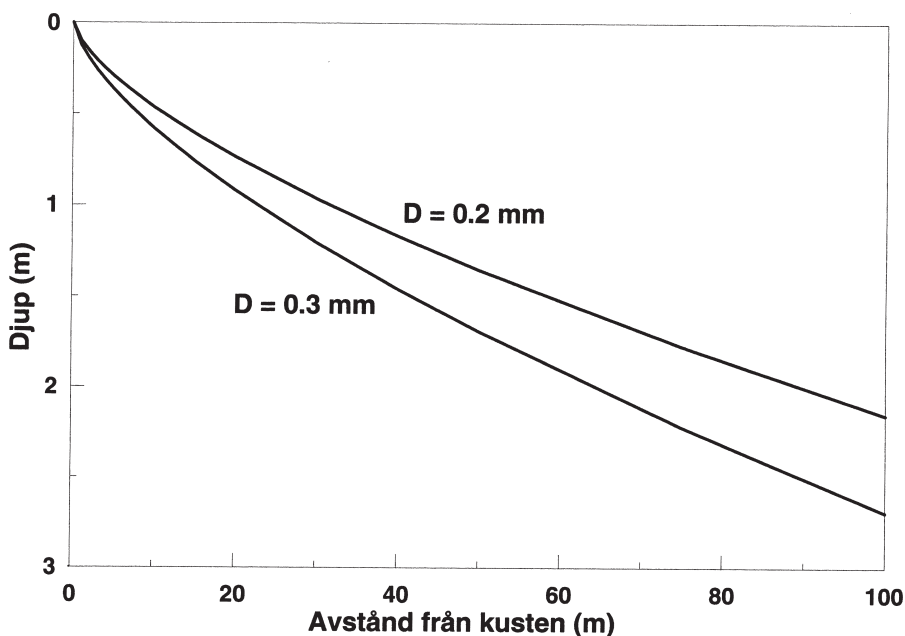
$$h = Ay^{2/3} \quad (8-1)$$

där h [m] är vattendjupet, A [$m^{1/3}$] är en skalparameter som beror av sedimentets kornstorlek och y [m] är avståndet till kustlinjen. Denna form har kommit att kallas en jämviktsprofil. Senare härleddes denna form matematiskt genom ett antagande om att energidissipationen per enhetsvolym vatten är konstant genom brytzone (Dean (1977)). I en jämviktsprofil råder på så sätt en balans mellan de konstruktiva och de destruktiva krafterna. Tabell 8–1 ger värden på skalparametern A som funktion av sedimentens kornstorlek där raderna representerar kornstorleken till närmaste tiondels mm och kolumnerna representerar kornstorleken till närmaste hundra delar mm. (För att få A -värdet för ett sediment med kornstorleken $D = 0,23$ mm går man alltså in på raden för 0,2 mm och kolumnen för 0,03 mm och läser av $A = 0,109$). Effekten av två olika kornstorlekar på profilformen visas i Figur 8-2.

Begreppet jämviktsprofil har relevans för strandfodring i den meningen att man anser att en utfylld strand, även om den initieilt har en mycket brantare profil, så småningom kommer att anta en profilform som svarar mot jämviktsprofilen. Det anses därför inte vara meningsfullt att redan i utläggningsfasen försöka efterlikna denna form eftersom vågorna och strömmarna på platsen åstadkommer detta. Denna utjämning sker från strandlinjen ut till förändringsdjupet D_C . Även om detta djup är mer ett koncept än ett verkligt djup, utgör det en viktig parameter för beräkning av jämviktsprofiler för utfyllda stränder.

Tabell 8-1 Rekommenderade A-värden (CEM 2003).

D(mm)	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.1	0.063	0.0672	0.0714	0.0756	0.0798	0.084	0.0872	0.0904	0.0936	0.0968
0.2	0.1	0.103	0.106	0.109	0.112	0.115	0.117	0.119	0.121	0.123
0.3	0.125	0.127	0.129	0.131	0.133	0.135	0.137	0.139	0.141	0.143
0.4	0.145	0.1466	0.1482	0.1498	0.1514	0.153	0.1546	0.1562	0.1578	0.1594
0.5	0.161	0.1622	0.1634	0.1646	0.1658	0.167	0.1682	0.1694	0.1706	0.1718
0.6	0.173	0.1742	0.1754	0.1766	0.1778	0.179	0.1802	0.1814	0.1826	0.1838
0.7	0.185	0.1859	0.1868	0.1877	0.1886	0.1895	0.1904	0.1913	0.1922	0.1931
0.8	0.194	0.1948	0.1956	0.1964	0.1972	0.198	0.1988	0.1996	0.2004	0.2012
0.9	0.202	0.2028	0.2036	0.2044	0.2052	0.206	0.2068	0.2076	0.2084	0.2092
1	0.21	0.2108	0.2116	0.2124	0.2132	0.214	0.2148	0.2156	0.2164	0.2172



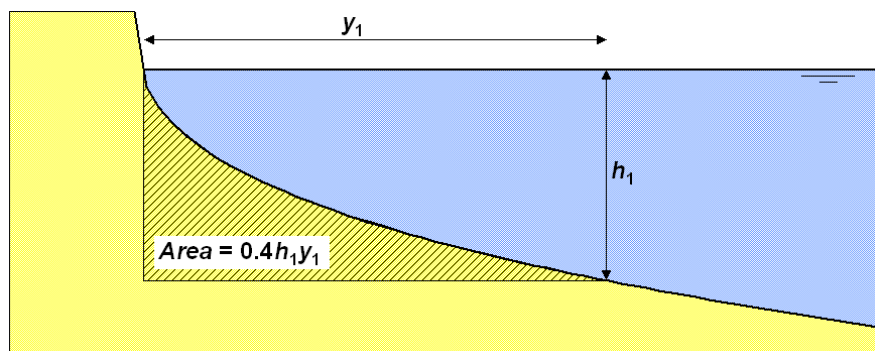
Figur 8-2. Jämviktskurvor för ett finare sediment ($D = 0,2 \text{ mm}$) och ett grövre ($D = 0,3 \text{ mm}$).

Det kan också vara användbart att konstatera att arean under kustprofilen också utgör volymen (sand) V per löpmeter strand under samma profil (se Figur 8-3). Under jämviktsprofilen enligt ekvation (8-1) ut till avståndet y_1 där djupet är h_1 kan denna volym per meter strand skrivas:

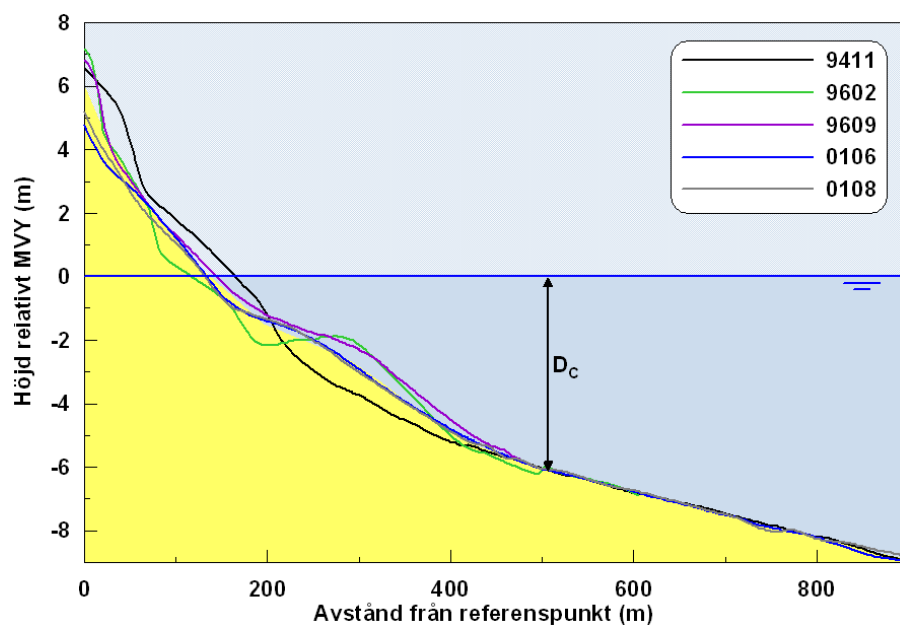
$$V = 0.4h_1y_1 \quad (8-2)$$

där V [m^3/m] är volymen sand per löpmeter strand under profilen, h_1 [m] är vattendjupet, y_1 [m] är avståndet från kusten till djupet h_1 . För bestämning av förändringsdju-

pet D_C behöver man ha tillgång till ett antal uppmätta profillinjer i det aktuella området. Genom att plotta dessa på varandra i samma diagram kan man se att profilen förändras mellan mätningarna ut till ett visst vattendjup där förändringarna är påtagligt mindre än på grundare vattendjup. Ett exempel visas i Figur 8-4 som visar uppmätta strandprofiler från La Barossa på spanska sydkusten tagna på samma plats utmed kusten men vid olika tidpunkter. Detta tas som en indikation på att sand som rör sig ut och in i strandprofilen bara transporteras till ett visst djup – förändringsdjupet. Utanför detta djup är därför förändringarna små. Om man således lägger utfylld sand på stranden kan man förvänta att denna rör sig ut



Figur 8-3. Figur som visar arean under en jämviktsprofil.



Figur 8-4. Variation i profilers utseende ut till förändringsdjupet D_C .

till förändringsdjupet men inte längre. På motsvarande sätt, om man placerar utfyllnadsmaterial i profilen innanför förändringsdjupet, kan man förvänta att en del av detta material förflyttas upp på stranden och bidrar till en breddning av strandplanet.

Har man inte tillgång till uppmätta profiler kan förändringsdjupet D_C uppskattas enligt uttrycket (Hallermeier 1983):

$$D_C = 2.3H_e - 10.9 \frac{H_e^2}{L_e} \quad (8-3)$$

där H_e [m] är den signifikanta våghöjden på cirka 10 m djup som överskrids 12 timmar per år (t.ex. i en dataserie över våghöjder uppmätta varje timme under ett år svarar H_e mot det 12:e högsta värdet eftersom det finns 12 upp-

mätta våghöjder som är större och som var och en representerar 1 timme) och L_e [m] är den våglängd som svarar mot denna våghöjd. I avsaknad av vågdata är inte heller denna metod lätt att tillämpa. Som en grov uppskattning kan man för förhållanden i Östersjön sätta D_C till 6 m. För mer utsatta kustavsnitt är detta värde något högre och i mer skyddade lägen något mindre.

8.3 MATERIALFRÅGOR

8.3.1 Kornstorlek

Information om kornstorleken för en strand kan ge indikation om de styrande kustnära processerna. En gradvis förändring av kornstorleken, liksom förändringar i förekomsten av naturliga spårämnen (t.ex. ett speciellt mineral), utmed en kust kan ofta ge anvisningar om den förhärskande transportriktningen. Kornstorleken är också en

avgörande parameter vid utformningen av en strandfodring. Eftersom man ofta vill ha ett utfyllnadsmaterial som är kompatibelt med det ursprungliga strandmaterialet (dvs. har en kornstorlek som ligger nära, se avsnitt 4.1.3). Genom att välja ett liknande material maximeras noggrannheten i förutsägelseerna om hur utfyllnaden kommer att fungera, eftersom förutsägelseerna bygger på erfarenheter från den existerande strandens sand. Ibland kan man vara tvungen att använda material med annan kornstorlek då inte något annat material är tillgängligt eller av kostnadsskäl. Ibland kan man medvetet välja att använda ett grövre material då man vill att den utfyllda stranden ska vara mer stabil mot erosion än den ursprungliga och/eller att den ska lämna ifrån sig mindre sand t.ex. till en nedströms liggande hamn.

Kornstorleken bestäms genom siktning av ett antal sandprover som tas från punkter fördelade över projektområdet. Proverna tas mellan högvattenlinjen och förändringsdjupet. Sand uppe i klitterna har transporterats av vinden och är ofta finare än det material som ligger längre ut i profilen. Kornstorleken i klitterna bör således inte ligga till grund för val av kornstorlek på utfyllnaden. Den sand som finns på svenska sandstränder är i allmänhet välsorterad med en kornstorlek av ca 0,2 mm.

8.3.2 Befintligt strandmaterial och ersättningsmaterial

Som tidigare nämnts är det i huvudsak enbart kornstorleken som bestämmer hur kompatibla de ursprungliga och de utfyllda sedimenten är. I allmänhet föreligger vissa skillnader, även om utfyllnadsmaterial tagits t.ex. från en strandnära sandbank där det eroderade materialet deponerats. Efter uppsugning, transport och utläggning försvinner alltid en del material, i allmänhet de finaste fraktionerna. Därmed blir utfyllnadsmaterialet ändå en aning grövre än det ursprungliga. Genom en komparativ analys av ursprungligt respektive olika potentiella täktmaterial kan dessa alternativa täktmaterial jämföras kvantitativt med varandra utifrån ett funktionsperspektiv, dvs. hur väl de förväntas fungera som utfyllnadsmaterial.

Det finns två olika metoder för att kvantifiera hur skillnader i kornstorleksfördelning mellan det ursprungliga materialet och utfyllnadsmaterialet påverkar utfyllnaden – *överfyllnadsmetoden* respektive *jämviktsprofilmetoden* (se avsnitt 8.6). Den förstnämnda metoden har fått sitt namn från att den utgår ifrån en s.k. *överfyllnadsfaktor*.

Överfyllnadsfaktorn definieras som den volym ersättningsmaterial (antal m³) som krävs för att åstadkomma samma strandyta som 1 m³ av ursprungsmaterialet efter att materialet fördelats ut på profilen genom inverkan av vågorna. Med hjälp av jämviktsprofilmetoden kan man på förhand bestämma var i strandprofilen det utfyllda materialet kommer att avsättas uppe på stranden eller längre ut i profilen. Sålunda kompletterar metoderna varandra genom att överfyllnadsmetoden ger en indikation på hur mycket material som förloras när utfyllnadssanden initieellt fördelas över strandprofilen. Jämviktsprofilmetoden ger en indikation på var i profilen utfyllnadsmaterialet kommer att avlagras. Eftersom målsättningen för strandfodring ofta uttrycks i termer av en viss breddning av stranden så måste man således ta hänsyn till båda faktorerna för att kunna beräkna rätt mängd utfyllnad för att åstadkomma den föreskrivna utökningen av strandbredden. För en vidare diskussion av dessa frågor, se avsnitt 8.6.

Detta synsätt rekommenderas även i nuvarande amerikanska normer (CEM 2003). I tidigare normer (SPM 1984) användes något som kallades återfyllnadsfaktor istället för jämviktsprofiler men detta har övergivits i den nya normen.

8.3.3 Utseende

I möjligaste mån ska utfyllnadsmaterialet likna det ursprungliga. Detta är mycket en estetisk fråga eftersom man vill att stranden ska se 'naturlig' ut och inte ge intryck av att vara 'tillverkad'. I viss mån är det dock också en funktionsfråga. Är utfyllnadsmaterialet mörkare innehåller det ofta mer (organiskt) finmaterial som dammar och upplevs som smutsigt ur rekreationssynpunkt. Med tiden tvättas detta finmaterial bort av vågor och strömmar och strandmaterialet upplevs som rent, vilket är positivt ur rekreationssynpunkt, men det svarar faktiskt mot en erosionsförlust. Inslag av finmaterial är sålunda inte heller önskvärdt vad beträffar utfyllnadens varaktighet. Är utfyllnadsmaterialet taget på land, kan det innehålla betydande andel av andra mineral, som t.ex. fältspat. Detta ger en mera rödaktig nyans än den vanligare grå-vita strandsanden som består av en stor andel kvarts. Funktionsmässigt är detta dock av underordnad betydelse. Färgen på utfyllnadsmaterialet har sålunda i allmänhet ingen betydelse för hur utfyllnaden kommer att fungera och förändras över tiden. Det är emellertid

ofta ett krav i de tillstånd som lämnas av myndigheterna att färgen på utfyllnaden ska likna den ursprungliga.

8.4 INVERKAN AV VÅGOR OCH VATTENSTÅND

De vågor och vattenstånd som är förhärskande vid den aktuella kusten formar stranden och bestämmer hur den utlagda sanden sprids utmed omgivande kust både i det långa och i det korta perspektivet. Det är således viktigt att utreda hur vågorna – såväl deras höjd som längd och riktning – och vattenstånden ser ut inom området men också hur de kan tänkas variera mellan områdets olika delar. Skillnaderna kan vara regionalt betingade genom att större landmassor skuggar vågor från vissa riktningar mer i ena delen av projektet än i den andra. De kan också vara lokalt betingade genom oregelbundenheter i undervattenstopografin eller genom inverkan av konstruktioner eller mindre öar nära stranden. Små, men systematiska, skillnader i vågornas höjd eller riktning kan ge stora skillnader i hur projektets olika delar uppför sig.

Det är flera tidsskalor som är av betydelse för hur en strandfodring utvecklas. Livslängden för en utfyllnad mäts i årtionden medan återfyllningar kan komma att utföras med bara 3 till 5 års mellanrum. Samtidigt finns det många indikationer som tyder på att klimatet inte bara förändras på mycket lång sikt utan att det också finns många cykliska förlopp (solfläckar, El Niño, m.m.) som gör att t.ex. stormfrekvensen ökar under ett antal år för att sedan minska. Har man tillgång till flera års mätuppgifter av t.ex. vågor kan det därför vara lämpligt att inte bara beskriva vågparametrar i termer av medel- eller medianvärden utan också i termer av variabilitet och hur stora skillnaderna kan vara från år till år eller mellan olika årtionden. Genom att sedan översätta detta till inverkan på strandfodringen får man en bild av hur stora skillnader det kan vara mellan olika perioder av utfyllnadens liv.

Det kan också påpekas att en och samma storm kan komma att påverka olika kuster, och därmed de utfyllnader som kan finnas där, på olika sätt beroende på lokala förhållanden och hur vattenområdet ser ut. Vid vindar från SV till V över Östersjön snedställs vattenytan så att vattennivån sjunker i södra delen samtidigt som den stiger i Bottenviken. Vid vindar ifrån NV till NO är förhållandena de omvända. Vattnet stiger då utmed kusterna i södra Sverige och trycks samtidigt ner utmed kusterna i

norr med lågvatten där som följd. Vad gäller våghöjden utmed en kuststräcka beror den till stor del på vilken orientering kusten har och hur lång sträcka över vatten som vinden verkar (stryklängden) för olika vindriktningar. Pålandsvind ger högre vågor medan frånlandsvind ger lägre vågor. Utmed vissa kuststräckor kan en viss storm sålunda ge högt vattenstånd och små vågor medan samma storm ger lågt vattenstånd och stora vågor utmed en annan kuststräcka.

Detta betyder sålunda att man normalt inte kan överföra förhållanden från en kuststräcka till en annan. Istället måste man ta hänsyn till lokala förhållanden. Vattenståndet bestämmer i huvudsak *var* i profilen erosionen äger rum (t.ex. vid strandkanten eller uppe i klitterna) medan våghöjden bestämmer erosionens *omfattning*. Allmänt sett är vattenståndet den viktigaste faktorn som bestämmer erosion av stränder och klitter, följt av vågintensitet och stormens varaktighet.

8.5 INVERKAN AV UTFORMNING PÅ SPRIDNING

8.5.1 Variation utmed kusten

Strandfodring utformas ofta lika utmed hela projektets sträcka med utgångspunkt från en utformningsmall. Ofta skulle det emellertid vara bättre att låta den initiala tvärsektionen variera längs kusten. Hur och var kan bestämmas utifrån hur kustens olika delar förändrats före utfyllnaden. Exempelvis kan en utfyllnad omedelbart innanför en befintlig friliggande vågbrytare göras mindre än utmed övriga kustavsnitt eftersom man vet att detta kustavsnitt kommer att skyddas av vågbrytaren under en framtida storm. Variationer i bottenstopografin ger varierande vågklimat utmed en kust och, som diskuterades i avsnittet ovan, är en utfyllnad mycket känslig för variationer i vågklimatet. Andra tillfällen när en avvikelse från standardprofilen bör tillämpas kan vara vid kustavsnitt där man på förhand vet att erosionen är påtagligt högre än på andra avsnitt, s.k. 'hot spots' (se avsnitt 8.11), som t.ex. omedelbart nedströms en hamn. Genom att påföra extra mycket utfyllnad här kan kustavsnittet klara sig lika länge som övriga kustavsnitt innan återfyllnad måste utföras.

8.5.2 Konstruktioner

Man kan använda konstruktioner, som t.ex. hövder eller friliggande vågbrytare, för att öka stabiliteten hos en utfyllnad. Som nämndes ovan sker de största spridnings-

förlusterna vid utfyllnadens flanker. Det kan hända att man måste anlägga konstruktioner för att hålla dessa förluster på en acceptabel nivå.

Det är emellertid viktigt att man noga överväger konstruktionernas inverkan på omgivande kustområden, både uppströms och nedströms, så att inte fördelarna inom projektområdet äts upp av nackdelar utanför området. Konstruktioner lämpar sig bäst då nedströms liggande kust inte bedöms fara illa av ett begränsat inflöde av sand, vilket kan inträffa om utfyllnaden t.ex. ligger omedelbart uppströms om en hamn.

En viktig aspekt att ta hänsyn till är att konstruktioner inte skapar någon sand utan enbart påverkar sandens rörelser utmed kusten. Om konstruktioner används utan att fylla på med sand kommer ackumulationen av sand i ett område oundvikligen att förorsaka motsvarande erosion i andra områden. Därför bör uppförandet av konstruktioner i stabiliserande syfte alltid göras i kombination med strandfodring. Genom att fylla sand i anslutning till konstruktionen kan negativa effekter på omgivande stränder minimeras.

Ofta kan det redan finnas konstruktioner, som t.ex. hövder, vågbrytare eller strandskoningar, i projektområdet. Det är då viktigt att försöka fastställa i vilken kondition de är och hur de kan tänkas påverka såväl utfyllna-

den som omgivande kustavsnitt. Genom att undersöka hur konstruktionerna påverkat den ursprungliga kusten kan man få en vägledning om hur de kan komma att påverka utfyllnaden. Beroende på deras respektive inverkan och funktion kan det ibland vara till fördel – eller till och med nödvändigt – att låta konstruktionen vara kvar även efter utfyllnaden. I andra fall kan det vara bättre att avlägsna den. Eventuellt måste konstruktionen först renoveras, vilket får avgöras från fall till fall. I det följande ges en kort beskrivning av de vanligast förekommande konstruktionstyperna för att öka stabiliteten hos utfyllnader. Exempel på samverkan mellan mjuka och hårda kustskyddsåtgärder finns i avsnitt 9.2.

- *Hövder* är konstruktioner som byggs (mer eller mindre) vinkelrätt mot kusten i syfte att motverka den transport av sediment som annars sker utmed kusten (se Figur 8-5). De kan vara täta eller genomsläppliga för sedimenttransport och utformningen väljs utifrån hur mycket sand man vill ska ansamlas på uppströmssidan. Hövden börjar uppe på stranden och sträcker sig ett stycke ut i vattnet. Längden bestäms liksom genomsläppligheten av hur mycket sand man vill fånga. Hövder är den vanligaste typen av konstruktioner som används vid utfyllnadens flanker, s.k. *flankhövder*, för att motverka lateral spridning. Dessa kan användas om projektet är nära



Figur 8-5. Illustrationsbild av hövder i Pellestrina, Italien. (www.delos.unibo.it)

slutet på en sedimenttransportcell (se avsnitt 8.2.1) eller i andra fall när antingen risken för nedströmserosion är liten eller när erosionen inte ställer till några problem. En flankhövd i nedströmsänden på utfyllnadsområdet kommer att samla sediment på uppströmssidan av konstruktionen. Detta material kan successivt återföras till projektets andra ände och på så sätt återanvändas inom området, s.k. *sandåterföring* (eng. back passing). Flankhövder kan också lämpligen användas när strandfodringen gjorts för att skapa en sandstrand utmed en kust där det annars inte finns sand, när utfyllnaden sticker ut markant utanför den ordinarie kustlinjen och/eller när utfyllnaden är mycket kort.

Samtidigt måste man varna för att flankhövder kan förorsaka stora problem utanför utfyllnadsområdet. Därför bör dessa konstruktioner inte användas inne i en sedimenttransportcell, såvida inte de skador nedströmserosionen kommer att förorsaka kan förutsägas och kompenseras. Det är också viktigt att hövdernas längdsektion utformas på rätt sätt så att de inte stoppar för mycket sand utan bara så mycket som behövs med tanke på utfyllnaden. Under alla omständigheter kan det vara lämpligt att också följa upp omgivande kuststräckor och om oönskade effekter uppstår överväga tillföra sand på andra sidan hövden fast det egentligen är utanför det egentliga utfyllnadsområdet.

- *Friliggande vågbrytare* är konstruktioner som byggs parallellt med kusten ett stycke ut i vattnet (Figur 8-6). I

läområdet bakom konstruktionen är våghöjderna lägre och dessa konstruktioner kan därför användas i syfte att stabilisera utfyllda områden. Genom att de löper längs med kusten blockerar de inte den kustparallella transporten som hövder gör och riskerar därför inte i lika hög grad att förorsaka nedströmserosion. Det är dock viktigt att komma ihåg att friliggande vågbrytare bygger ut stranden innanför konstruktionen och den sanden tas från nedströms liggande kustavsnitt. Om därför extra sand inte tillförs i samband med att vågbrytaren byggs kommer erosionen att tillta nedströms. Liksom i fallet med hövder, ska friliggande vågbrytare bara användas i undantagsfall och bara efter det att deras påverkan på kusten, både inom och utom projektområdet, klarlagts och kompenseras.

- *Klitterstabilisering*. Som nämnts tidigare svarar klitterna för en viktig del av utfyllnadens skydd mot erosion vid stormar och framförallt mot översvämning. Både för att stabilisera och bygga upp klitter kan man använda vegetation och/eller snöstaket. Båda dessa åtgärder är mycket kostnadseffektiva om de används på rätt sätt.

Många typer av staket har använts genom åren för att skapa, förstora och stabilisera klitter. För att fungera ska staketen vara genomsläppliga eftersom täta staket skapar fler problem med bakströmmar och lokal erosion än de löser. Erfarenheten har visat att en porositet (öppen yta i förhållande till total yta) på cirka 50 procent ger det bästa resultatet (Savage and Woodhouse 1969). Det visar



Figur 8-6. Illustrationsbild av friliggande vågbrytare, Playa de el Palo, Málaga, Spanien. (MOPU 1998)

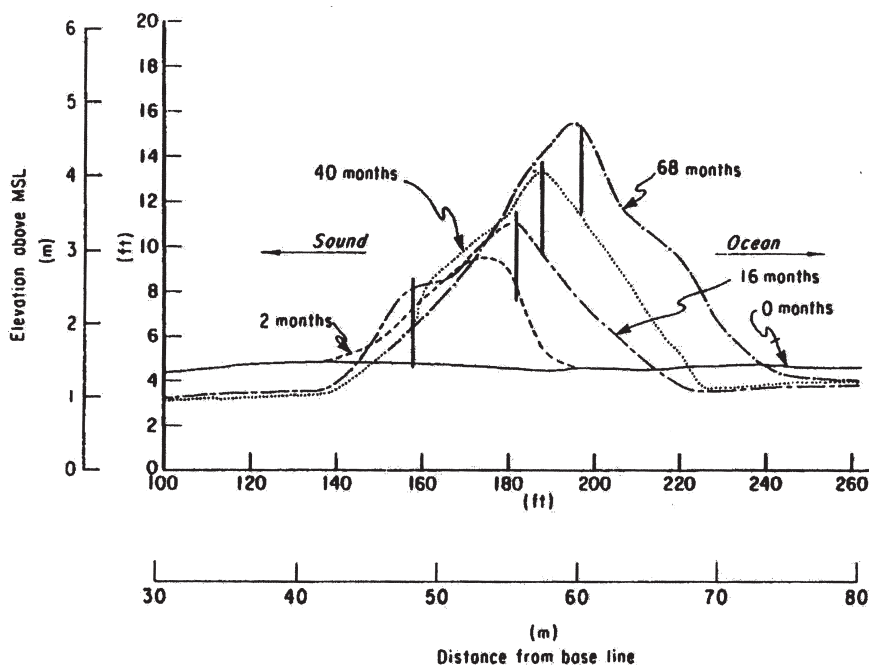
sig också att de öppna respektive täckta områdena ska vara högst 5 cm breda. Sålunda har vanliga snöstaket den optimala utformningen och är samtidigt mycket prisvärda. Dessa har följaktligen använts i stor utsträckning för att stabilisera och bygga upp klitter. De kan placeras i enstaka eller flera rader och behöver normalt stagas upp var 3:e meter med stolpar som slås ner i sanden. Om staketet täcks med sand kompletterar man med nya staket. Staketet placeras alltid i raka linjer parallellt med kusten (och de naturliga klitterna) oavsett vilken riktning de dominerande vindarna har.

Det är naturligtvis viktigt att man placerar staketet rätt i förhållande till kustlinjen och existerande klitter. De får inte stå så nära kustlinjen att de regelmässigt utsätts för vågverkan. Vad gäller förhållandet till klitter har erfarenheter visat att resultatet blir bäst om staketet placeras i framkanten på den vegetation som täcker klitterna. I avsaknad av vegetation placeras de lämpligen vid klitterfoten. När första raden staket inte längre fångar någon sand (denna information fås ifrån profilmätningarna som sträcker sig ända upp i klitterna) är det dags att placera ut nästa linje med staket. Denna nya rad placeras

lämpligen på ett avstånd som motsvarar fyra gånger staketets höjd från det existerande staketet (se Figur 8-7). Det kan placeras framför eller bakom klitterna beroende på i vilken riktning man vill bygga ut dem.

För att erhålla ett gott resultat måste klitterna också förses med vegetation. Kombinationen med staket och vegetation är också betydligt mer framgångsrika än att bara stabilisera med vegetation. Dels kan staket installeras när som helst på året och kommer att fungera under alla årstider, dels fungerar de från första stund medan vegetationen behöver flera år för att bli fullt etablerat i ett område. Det är sålunda att rekommendera att använda både staket och vegetation där staketet är effektivast i inledningsfasen när vegetationen etableras medan vegetationen gradvis får ökad betydelse.

- *Vegetation.* Om använd på rätt sätt kan vegetering vara ett effektivt sätt att stabilisera klitter. Växterna hjälper också på sikt till att bygga upp klitterna. Däremot kan inte växter själva armera och skydda klitterna mot vågkrafter och högvatten. Växtetablering är relativt billigt och har också både estetiska och miljömässiga värden. Det gäller dock att hitta rätt växter som också ska plante-



Figur 8-7. Klitteruppbyggnad med snöstaket. (CEM 2003)

ras i rätt tid och med rätt teknik. Det är då viktigt att inte bara se till ekonomin utan även till ekologiska frågeställningar. Det är viktigt att plantorna passar in i den ursprungliga florin och faunan. För att försäkra sig om att plantorna fungerar i den aktuella miljön men också för att få bra ekonomi är det lämpligt för t.ex. kommuner att etablera egna odlingar varifrån plantor kan tas vid behov.

Växter kan etableras ensamma eller i kombination med en förankrad erosionsmatta, exempelvis en kokosmatta. Mattan håller sanden på plats till dess att vegetationen har hunnit etableras. I Sverige används främst strandråg (Lat: *Leymus arenarius*) och sandrör (Lat: *Ammophila arenaria*). Kystdirektoratet i Danmark stabiliserar dyner längs Jyllands västkust genom en kombination av en skyddande granhäck och etablering av strandrör (KDI 2005). Den läskyddande och sanduppsamlade granhäcken byggs upp framför klitten genom att grankvistar sticks ner i jorden. Stabilisering av dyner beskrivs bland annat av Gray & Sotir (1996), Scottish Natural Heritage (2000) och Hellemaa (1999).

Som nämnts, måste nyetablerad vegetation skyddas mot förslitning under flera år. Man måste då dels hägna in nybeväxta områden men också genom spänger och trappor anordna alternativa vägar till och från stranden. Erfarenheten visar att människor gärna går på preparerade stråk, framförallt för att det är enklare. Man undviker då att få djupa svackor i klitterna. Sådana svackor är ofta förödande för hela system av klitter eftersom de erbjuder en påtaglig försvagning där inte bara vågor och vatten kan transportera bort sand utan också via vinden. Under starka stormar kan man ofta se s.k. blow-outs, dvs. stora öppningar i vegetationen och raserade klitter enbart på grund av vindverkan. Dessa öppna sår kan sedan i sin tur utsättas för erosion av vågor eller erbjuda möjligheter för erosion och/eller översvämning av bakomliggande kustområden.

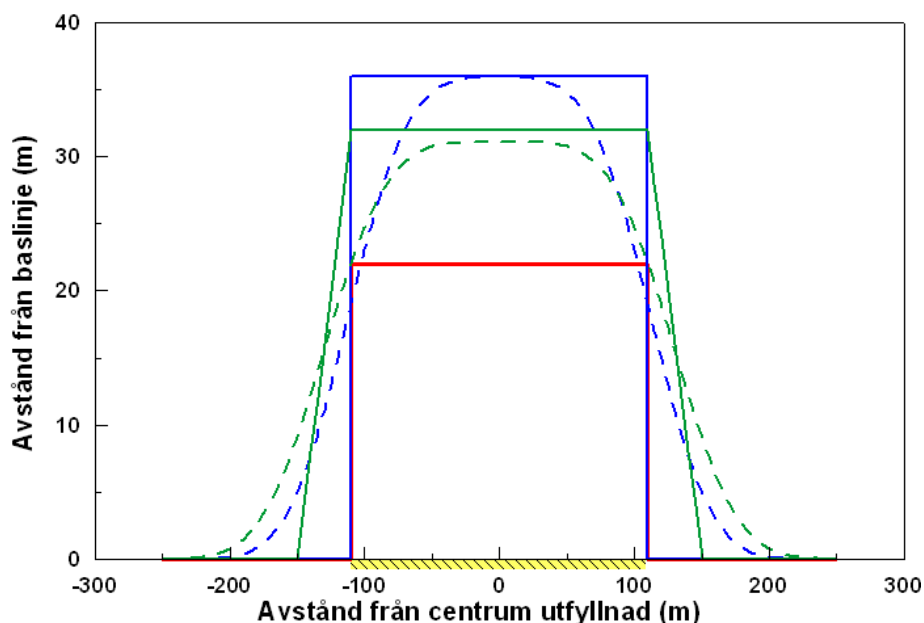
8.5.3 Avslutning vid utfyllnadens flanker

Frågan om hur utfyllnaden ska avslutas vid flankerna i övergången mot angränsande kustavsnitt kommer ofta in ganska sent i projekteringen av strandfodring. Detta är olyckligt eftersom denna del, som nämnts, är viktig för den laterala spridningen av utfyllnaden och därmed kräver omsorgsfulla överväganden för bästa utformning. Användning av olika konstruktioner diskuterades i av-

snitt 8.5.2, där det konstaterades att konstruktioner kan minska den laterala spridningen avsevärt samtidigt som dessa konstruktioner kan medföra en rad andra problem. Ett annat sätt att minska den laterala spridningen är genom flankutfyllnader. Med detta menas att man låter utfyllnaden bli successivt smalare, dvs. man fasar gradvis ut utfyllnaden mot omgivande kustavsnitt istället för att avsluta utfyllnaden abrupt. Detta medför att den laterala spridningen, som strävar efter att jämna ut utfyllnaden, kan fås att minska betydligt. Hur flankutfyllnaden ska utformas och var den ska placeras beror till stor del på syftet med strandfodringen.

- Om strandfodringen främst ska fungera som stormskydd bestäms utformningen med hänsyn till vilket kustavsnitt som ska skyddas och till vilken grad. Om syftet är att tillskapa en viss strandarea för rekreation ställs andra krav. Ska stranden ha en viss bredd utmed hela den utfyllda kuststräckan inser man att detta kan bli svårt att åstadkomma nära flankerna utan att stabilisera med konstruktioner eller genom att låta utfyllnaden fortsätta utanför själva projektområdet. Annars kommer den laterala spridningen snart att ha reducerat strandbredden (Figur 8-8) nära projektområdesgränserna. Om utfyllnaden går utanför projektområdet öppnar sig nya frågeställningar:
- Kan utfyllnaden utmed angränsande kustavsnitt medföra några positiva effekter?
- Kan dessa effekter i så fall räknas projektet till godo i den ekonomiska analysen?
- Kan utfyllnaden kanske medföra några negativa effekter?

Figur 8-8 visar en hypotetisk utfyllnad, där ett 220 m långt kustavsnitt behöver skyddas av en strandbredd på minst 22 m (röd linje i Fig. 8-8). Kustutvecklingen över fem år har därvid beräknats med GENESIS-modellen. I ena fallet (blå, heldragen linje) placeras allt utfyllnads-material inom projektområdet med en bredd av 36 m. Efter fem år (blå, streckad linje) har utfyllnaden spridits så att material flyttats utanför projektområdet. Som framgår av figuren kommer utfyllnaden inte att uppfylla kravet på 20 m bredd vid flankerna efter 5 år. I andra fallet läggs samma mängd material utmed kusten men nu endast en del av materialet inom projektområdet medan resterande del placeras i två flankutfyllnader på båda sidor om projektområdet (grön, heldragen linje). Dessa flan-



Figur 8-8. Skillnad i lateral spridning beroende på initiell flankutfyllnad. Röd linje = dimensionerande utfyllnadsbredd. Blå linje = utfyllnad utan flankutfyllnad. Grön linje = utfyllnad med flankutfyllnad. Heldragen linje = initiell planutformning. Streckad linje = planutformning efter fem år. Snedstreckat, gult avsnitt = projektområde.

kutfyllnader sträcker sig sålunda 40 m utanför projektområdet. Efter fem år (grön, streckad linje) har också denna utfyllnad utsatts för spridning. Som ett resultat, är den initiala utfyllnaden som mest nu bara 32 m. På grund av flankutfyllnaderna reduceras emellertid erosionen vid flankerna, varför kravet på minst 20 m bredd nu är uppfyllt. Genom att variera initialutformningar på utfyllnad och tillhörande flanker, kan man hitta den optimala utformningen.

Det kan vara praktiskt att tänka sig att en strandfodring består av tre delar. En inre del där en viss skydds- eller rekrekationskriterier alltid är tillgodosedda och två yttre delar där inverkan av utfyllnaden avtar gradvis med avståndet från den inre delen. Eventuella flankutfyllnader placeras då i de två yttre delarna. Flankutfyllnader diskuteras vidare i avsnitt 3.3.5 och avsnitt 8.9.

8.6 BESTÄMNING AV UTFYLLNADSPROFIL

Med utgångspunkt från önskemål om strandbredd och stormskydd bestäms den geometri i tvärsnittet, *utfyllnadsprofilen*, som man vill att strandfodringen ska resultera i efter att den tillförda sanden omfördelats av vågor och strömmar. *Utfyllnadsprofilen* omfattar i princip klitter, strandplan och övrig profil ut till förändringsdjupet.

Oftast brukar man dock behandla de olika delarna var för sig.

Utfyllnadens volym motsvarar skillnaden mellan befintlig geometri och *utfyllnadsprofilen*. Utfyllnaden av klitterna definieras med krönhöjd, krönbredd och släntlutningar. Geometrin hos det utfyllda strandplanet bestäms av dess höjd och bredd. Geometrin hos övrig del av utfyllnadsprofilen, ut till förändringsdjupet, uppskattas med någon av beräkningsmetoderna som beskrivs nedan.

För att bestämma den totala mängden sand som erfordras i ett utfyllnadsprojekt måste, utöver utfyllnadens volym, hänsyn tas till *Förskottsutfyllnad*, *Överfyllnadsfaktor*, *Flankutfyllnad* och *Återfyllnad* (se avsnitt 3.3).

För utformningen i övrigt rekommenderas att mindre projekt utformas i enlighet med den förenklade metod som presenteras i avsnitt 9.3. För större projekt rekommenderas att utformningen baseras på analyser med datormodeller. Nedan ges generella rekommendationer för utformning av de olika delarna av en strand.

8.6.1 Klitterutformning

De utfyllda klitterna utformas med hänsyn till krönets höjd och bredd samt slänternas lutning. Krönhöjden bestäms vanligen utifrån önskemål om att undvika att klitte-

rna överspolas. Här måste man ta hänsyn inte bara till vattenstånd utan också uppspolning av de inkommande vågorna. Till hjälp vid utformningen kan man lämpligen utnyttja en datormodell som t.ex. SBEACH (se avsnitt 8.6.4). Krönbredden bestäms vanligen utifrån praktiska eller estetiska överväganden. Vanligen är krönbredden cirka 5 m eller mer. För val av släntlutning är sandens friktionsvinkel en viktig parameter. Vanligen ligger klitternas slänter i lutning 1:5.

8.6.2 Strandplanets geometri

Strandplanets höjd. Det utfyllda strandplanets höjd sätts i allmänhet till samma som det ursprungliga. Om man gör det lägre kommer det med stor sannolikhet att utbildas en förhöjd vall i strandplanet närmast vattnet. När vattnet så småningom slår över denna vall kommer strandplanet att ställas under vatten. Detta är normalt inte önskvärt. Gör man strandplanet för högt, kommer kustlinjeslänten att bli för brant med rasrisk som följd, vilket inte heller är önskvärt.

Många naturliga strandplan har en svag lutning mot havet från foten av klitterna ut till kustlinjeslänten. Därför kan en sådan lutning ibland också ses som en utformningsaspekt. Denna lutning motverkar att vatten ställer sig på strandplanet samtidigt som det reducerar (om än i begränsad omfattning) uppspolningsnivåer och därmed i någon mån motverkar att klitterna utsätts för erosion eller överspolning. Lämpligt värde på lutningen kan bestämmas genom att jämföra med en välutvecklad naturlig strand i närheten. Det rekommenderas att strandplanet ligger med ett fall mot kustlinjen på cirka 1:100 till 1:150 (se Figur 3-1).

Strandplanets bredd. Bredden hos det utfyllda strandplanet kan bestämmas utifrån ett flertal faktorer som t.ex. ekonomi, miljöfaktorer, erosionstakt eller utifrån läge på existerande konstruktioner. Om stranden huvudsakligen ska användas för rekreatiönsändamål kan bredden också bestämmas utifrån att man vill kunna bereda plats för ett visst antal människor. Motiveras utfyllnaden främst av att den ska kunna stå emot en svår storm får kanske utformningen bestämmas med hjälp av en numerisk modell. Det förtjänar att betona att strandbredd refererar strandplanets bredd efter att sanden jämnats ut över hela profilen under inverkan av vågor och strömmar. Under alla omständigheter bör bredden bestämmas med hänsyn till lateral spridning och bakgrundserosion.

8.6.3 Geometri hos övrig del av utfyllnadsprofilen

Den tillförda sanden ska inte bara räcka till strandplanet och klitterna utan ska fylla ut hela profilen ända ut till förändringsdjupet. Det gäller då att kunna bestämma hur undervattensprofilen kommer att se ut. Ibland kan den ursprungliga profilen ge en indikation. Ofta finns här emellertid ett sandunderskott och profilen kan därför vara brantare än den skulle varit om det funnits tillräckligt med sand i profilen. Likaså kan otillräcklig tillgång på sand göra att revlarna är mindre utvecklade än annars. Sålunda kan man inte alltid utgå ifrån att den utfyllda profilen kommer att replikera den ursprungliga. Därför kan det vara bra att också, om möjligt, jämföra med mer sandrika profiler i närområdet. Om vattenstånd och vågklimat där är likartade dem som råder inom projektområdet kan dessa vara mer representativa.

8.6.4 Beräkning av strand- och klitterdimensioner för stormskydd

För federala strandfördringsprojekt i USA, som uteslutande görs för att skydda kustnära infrastruktur mot stormar, används datormodellen SBEACH (Larson and Kraus 1989; 1991) för att optimera bredden på det tänkta framtida strandplanet och utformningen av bakomliggande klitter. I Nederländerna används på motsvarande sätt modellen DUROSTA (Steetzel 1993) för att beräkna hur en strandprofil påverkas av en storm. Optimering av strandbredd och klitter går till så att modellen körs för olika kombinationer av utformning av strandplan och klitter. Härvid körs modellen för en serie dimensionerande stormtillfällen, där såväl vågor som vattenstånd är viktiga ingångsparametrar.

Detaljerade exempel och anvisningar om hur modellen SBEACH används presenteras i en serie rapporter (Larson and Kraus 1989; Larson et al. 1990; Rosati et al. 1993; Wise et al. 1996; Larson and Kraus 1998). Dessa finns tillgängliga via <http://chl.ercd.usace.army.mil/chl.aspx?p=Publications>

Det kan förtjänas att nämna här att denna optimering bara tar hänsyn till effekterna av en eller flera stormar. När det gäller mer gradvisa materialförluster till följd av bakgrundserosion eller lateral spridning inkluderas dessa i beräkningarna av materialbehovet för förskottsutfyllnad och återfyllnad (avsnitt 3.3.6). I avsnitt 9.3 presenteras ett enkelt exempel på hur strandutfyllnadens bredd

bestäms med hänsyn till stormskydd, lateral spridning och bakgrunderosion.

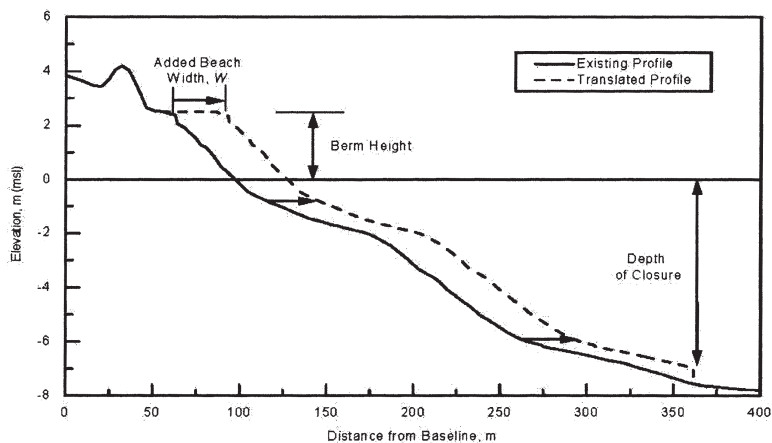
8.6.5 Beräkning av utfyllnadens volym

För att beräkna strandfodringens volym inklusive den volym som erfordras för strandplanet (men exklusive den volym som erfordras för klitter) finns tre olika förfarings-sätt beroende på förutsättningarna – *profilförskjutningsmetod* (eng. profile translation), *jämviktsprofilmetod* och *hybridmetod*.

- *Profilförskjutningsmetoden* kan användas om den ursprungliga stranden är fullt utvecklad (dvs. har tillräckligt med sand) och om den utfyllda sanden har samma kornstorlek som den ursprungliga. Då kan man helt enkelt anta att den utfyllda profilen kommer att få samma form som den ursprungliga. Figur 8-9 visar hur den utfyllda profilen (streckad) konstrueras utifrån den existerande (heldragen). Under dessa förhållanden kan den erforderliga sandvolymen per meter strand V överslagsmässigt beräknas enligt

$$V = W(B + D_C) \quad (8-4)$$

där V [m^3/m] är den erforderliga sandvolymen per meter strand, W [m] är det utfyllda strandplanets bredd och B [m] är strandplanets nivå över MVY.

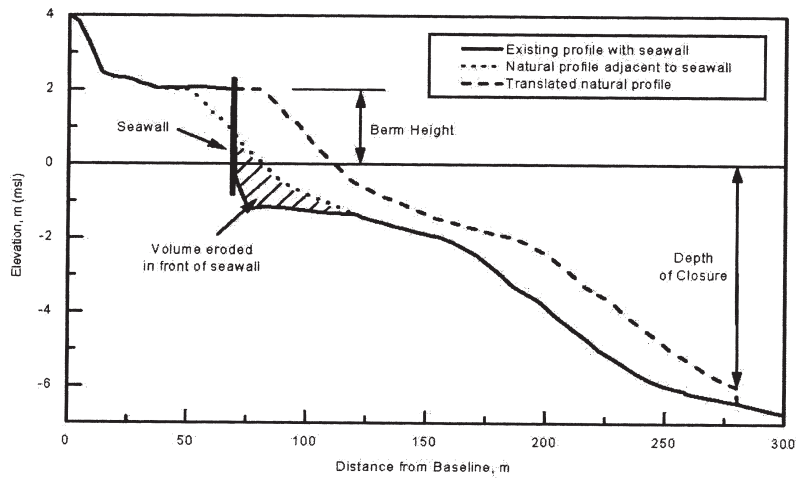


Figur 8-9. Bestämning av utfyllnadsprofil genom profilförskjutningsmetod (CEM 2003).

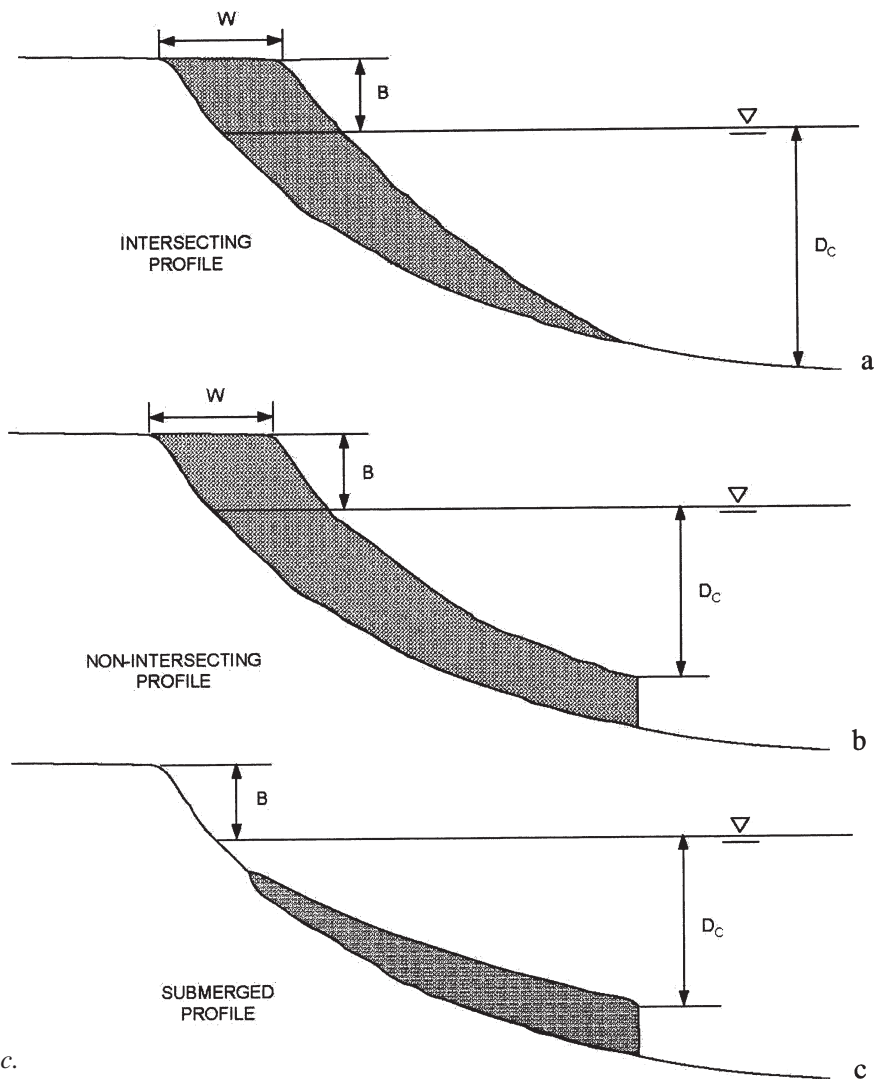
Detta uttryck tar inte hänsyn till att den ursprungliga profilen eventuellt är dåligt utvecklad på grund av underskott av sand, något som kan förekomma hos eroderande stränder. Man får då göra en bedömning av hur stort detta underskott är, t.ex. genom att jämföra med andra strandprofiler i närheten som påverkas av ungefär samma våg- och vattenståndsförhållanden. Figur 8-10 visar en profil som är påverkad av en strandskoning. Efter en utfyllnad kommer strandskoningen inte längre att ha inflytande på profilen. Därför måste denna inverkan först korrigeras innan den nya profilen kan fås som en translation. Figur 8-10 visar hur den ursprungliga profilen (heldragen linje) först korrigeras med hänsyn till strandskoningen (prickad linje) att den nya profilen (streckad linje) fås genom en translation av den korrigerade.

- *Jämviktsprofilmetoden* kan användas för att uppskatta utfyllnadsvolymen om utfyllnadsmaterialet inte är identiskt med det ursprungliga. Metoden kan vara lämplig för en preliminär jämförelse av olika alternativ, men bör inte användas för mer detaljerade volymeräkningar.

Dean (1991) definierar tre olika typer av utfyllda profiler. Figur 8-11 visar i den översta delfiguren **a**) en s.k. korsande profil. Profilen korsar efter utfyllnad den ursprungliga profilen innanför förändringsdjupet. Den mellersta delfiguren **b**) visar en s.k. icke-korsande profil, där profilerna inte korsar varandra innanför förändringsdjupet. Den nedersta delfiguren **c**) visar en s.k. dränkt profil



Figur 8-10. Korrigering av skoningspåverkad strandprofil (CEM 2003).



Figur 8-11 a-c. Principiell slutlig fördelning av utfyllnadsmaterial i en tvärprofil (CEM 2003).

där den utfyllda profilen, efter att den ställt in sig, inte bildar något strandplan. Den dränkta profilen är ett specialfall av en icke-korsande profil.

Dean (1991) visar att man kan avgöra om en profil är korsande genom följande uttryck:

$$W \left(\frac{A_N}{D_C} \right)^{3/2} + \left(\frac{A_N}{A_F} \right)^{3/2} < 1, \rightarrow \text{korsande profil} \\ > 1, \rightarrow \text{icke-korsande profil} \quad (8-5)$$

baserat på teorin om jämviktsprofiler där A_N och A_F är värdet på skalparametern för den ursprungliga (eng. native) respektive utfyllda (eng. fill) profilen (se Tabell 8.1 för värden på skalparametern A som funktion av sedimentens kornstorlek). Kornstorleken (och därmed A -värdet) bestämmer helt formen på jämviktsprofilen, där ett finare sediment resulterar i en flackare profil än ett grövre. Detta medför att en utfyllnad med ett finare material alltid kommer att ge en icke-korsande profil. Ett grövre utfyllnadsmaterial kan resultera i antingen en korsande eller en icke-korsande profil beroende på hur mycket sediment som läggs i profilen.

För en *korsande profil* kan den totala volymen per meter strand som behövs tillföras för att åstadkomma en bredd W beräknas enligt

$$V = WB + \frac{\frac{3}{5} W^{5/3} A_N A_F}{\left(A_F^{3/2} - A_N^{3/2} \right)^{2/3}}, \quad A_F \neq A_N \quad (8-6)$$

För en *icke-korsande profil* kan man uppskatta hur mycket sand V_0 [m^3/m] per meter strand som måste läggas i profilen innan utfyllnaden ger någon ökning av strandplanets bredd enligt:

$$V_0 = \frac{3}{5} (A_N - A_F) \left(\frac{D_C}{A_F} \right)^{5/2} \quad (8-7)$$

Om man i den icke-korsande profilen tillför en volym V [m^3/m] som är större än V_0 kommer strandplanet att öka i bredd. Den totala volym per meter strand som behövs tillföras för att åstadkomma en bredd W ges av:

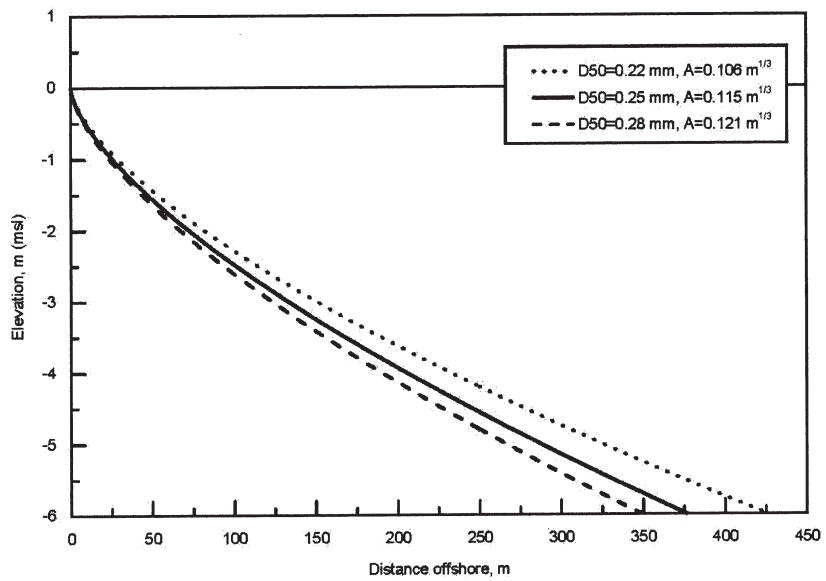
$$V = WB + \frac{3}{5} \left\{ A_N \left[1 + W \left(\frac{A_F}{D_C} \right)^{3/2} \right]^{5/3} - A_F \right\} \left(\frac{D_C}{A_F} \right)^{5/2} \quad (8-8)$$

- *Hybridmetoden* är det tillvägagångssätt som de amerikanska normerna (CEM 2003) rekommenderar att man använder i det allmänna fallet. Denna metod är, som namnet antyder, en blandning av de båda föregående. Det antas att den ursprungliga profilen inte ser ut som en jämviktsprofil utan utgörs av den korregerade (prickade) profilen i Figur 8-10. Den ska nu fyllas ut med ett material med annan kornstorleksfördelning än det ursprungliga.

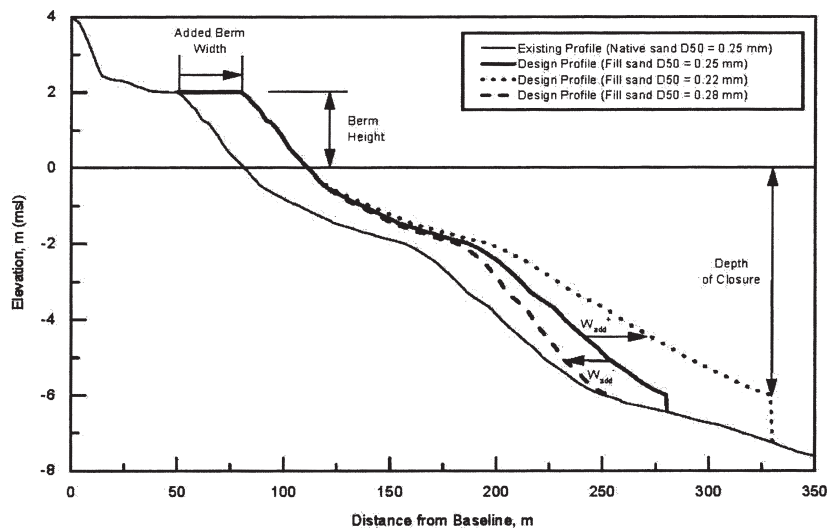
Vi börjar då med att bestämma den inverkan skillnaden i kornstorlek skulle fått på en jämviktsprofil (Figur 8-12). Särskilt noterar vi den horisontella skillnaden i profilens läge vid förändringsdjupet. Som framgår av figuren är denna skillnad negativ om vi använder ett grövre material (cirka -25 m i figuren). (Omvända förhållanden skulle råda förett finare material, men detta bör undvikas).

I nästa steg tillämpar vi profilförskjutningsmetoden som om kornstorlekarna vore desamma (Figur 8-13, heldragen linje). Därefter korregerar vi denna (streckad linje) med hänsyn till skillnaden i kornstorlek. Korrigering varierar med djupet så att den är noll vid MVY och motsvarar skillnaden i jämviktprofilerna vid förändringsdjupet. Däremellan låter vi korrigeringen variera linjärt med djupet.

Det bör observeras att dessa metoder bara omfattar sanden i strandplanet och profilen ut i havet och inkluderar *inte* den sand som ska läggas i klitterna. Det inkluderar inte heller erosionsförluster till följd av bakgrundserosion eller lateral spridning. Dessa volymer får således läggas till för att få det totala behovet av utfyllnadsmaterial.



Figur 8-12. Teoretisk jämviktsprofil för olika kornstorlekar (CEM 2003).



Figur 8-13. Utformningsprofil för olika kornstorlekar (CEM 2003).

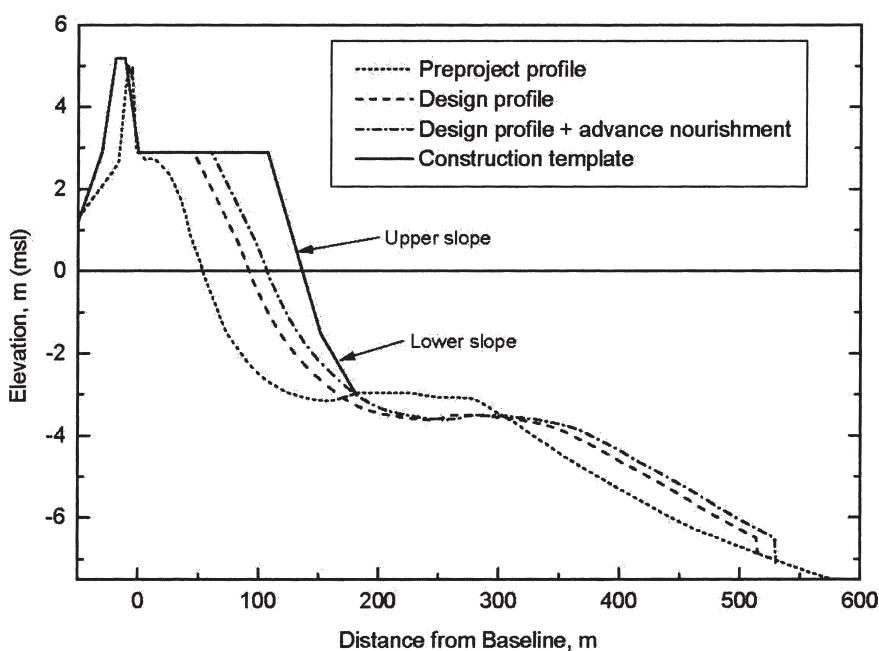
8.6.6 Utförandemall

En *utförandemall* (eng. construction template) visar den stiliserade profil som utfyllnaden ska ha vid färdigställandet innan utfyllnadsmaterialet fördelats över profilen av vågor och strömmar (Figur 8-14). Mallen är den tvärsnitt som entreprenören har att arbeta efter i sitt utfyllnadsarbete. Den ska således tillförsäkra att rätt volym tillförs stranden. Vad gäller placeringen i profilen finns två olika tillämpningar. Den ena metoden går ut på att den övre, torra delen av profilen 'överbyggs' genom att allt eller nästan allt material läggs här. Den andra metoden innebär att materialet fördelas över hela profilen.

Den första metoden är vanligast eftersom den är enklast och mest ekonomisk. Metoden bygger på att man utgår från att vågor och strömmar med tiden kommer att placera det utfyllda materialet utmed profilen i enlighet med jämviktsteorin oavsett var materialet placeras initieilt. Vanligen fylls strandplan och klitter till den önskvärda höjden medan strandplanets bredd gör betydligt större än den förväntade slutliga. Av detta material kommer en del att ganska snabbt fördelas ut över strandprofilen medan en del försvinner mera gradvis på grund av bakgrundserosion och spridningsförluster.

Utförandemallen har ofta en enkel geometri, liknande den som visas i Figur 8-14 (heldragen linje, eng. Construction template). Klitterna förväntas inte förändras nämnvärt genom initiella omflyttningar av material utan byggs vanligen som en trapetsoid där krönets höjd och bredd samt släntlutningar ges de mått de förväntas ha senare. Strandplanet kan ges en svag lutning ut mot havet (ca. 1:100) för att underlätta vattenavrinningen och minska uppspolningen. Bredden på strandplanet överdimensioneras så att allt material får plats. Där strandplanet tar slut tar den s.k. *kustlinjeslätten* (eng. 'beach face' eller 'foreshore') vid. Där läggs sanden i en brantare lutning ner till en nivå som svarar mot vattenytan vid lågvatten. Därunder läggs slätten i en flackare lutning ner till den ursprungliga bottnen. Dessa släntlutningar mot vattnet bestäms av utfyllnadens kornstorlek D_{50} enligt nedanstående Tabell 8.2 (CEM 2003)

Rent praktiskt är den övre slätten inte så svår att åstadkomma. Den undre är däremot besvärligare att utforma och kontrollera. Vid efterkontroll enligt utförandemallen är emellertid det viktigaste att den utlagda volymen är korrekt snarare än att alla lutningar och nivåer är absolut rätt.



Figur 8-14. Definition av olika utfyllnadsprofiler (CEM 2003).

Tabell 8.2. Rekommenderad lutning för kustlinjesläntens övre respektive nedre del.

Kornstorlek (mm)	Övre släntlutning	Nedre släntlutning
$D_{50} < 0,2$	1:20 – 1:15	1:35 – 1:20
$0,2 < D_{50} < 0,5$	1:15 – 1:10	1:20 – 1:15
$D_{50} > 0,5$	1:10 – 1:7.5	1:15 – 1:10

8.7 BESTÄMNING AV EROSIONSTAKT OCH LIVSLÄNGD

Det finns såväl enklare som mer avancerade metoder för att beräkna i vilken takt som materialet efter strandfodring kommer att spridas utmed kusten, vilken i sin tur ligger till grund för bedömningar av hur ofta stranden måste återfyllas och med hur mycket material.

För bestämning av erosionen av en strandfodring och därmed dess livslängd finns tre olika typer av metoder. Den enklaste utgår från den historiska erosionstakten, den mer avancerade bygger på analytiska beräkningsmetoder och det mest avancerade tillvägagångssättet är baserat på användandet av datormodeller.

Historisk erosionstakt – holländska metoden

Denna metod går ut på att anta att utfyllnaden kommer att erodera i samma takt som den ursprungliga stranden, dvs. den s.k. historiska erosionstakten. Metoden är enkel och praktisk. Den kräver inte några avancerade datormodeller och heller inte tillgång till våg- och vinddata. Det 'enda' som behövs är profilmätningar av god kvalitet utmed den aktuella kusten. Det finns naturligtvis också nackdelar med metoden, främst genom att den utgår från att erosionstakten efter utfyllnad är densamma som tidigare, vilket i allmänhet är en underskattning.

Ett exempel på en metod som till stor del bygger på den historiska erosionstakten är den metod som används i Nederländerna för att bestämma hur snabbt utfyllnaden eroderar och motsvarande återfyllningsintervall (CUR 1987). Den 'Holländska metoden' vilar på lång erfarenhet både i Nederländerna och andra länder i Europa. I all sin enkelhet ger den ändå mycket tillförlitliga resultat och består av fem moment:

- Genomföra årliga profilmätningar av det kustnära området (under minst 10 år).
- Beräkna hur mycket sand som försvinner (i $m^3/år$) för varje aktuell kuststräcka.

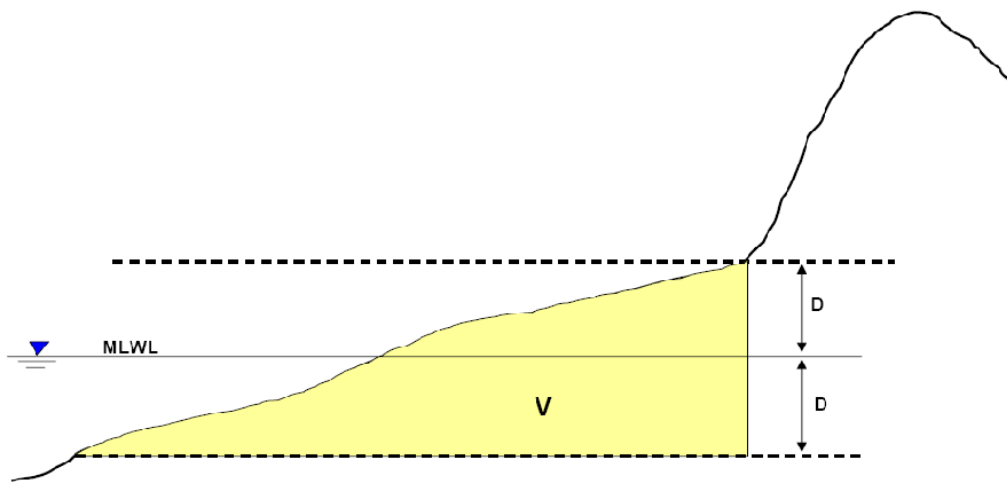
- Lagg på 40 % för att kompensera för högre erosions-takt.
- Multiplitera denna kvantitet med antalet år (t.ex. 5 år) för att få materialbehovet över en lämplig återfyllnadstid.
- Lagg denna volym på stranden någonstans mellan 1 m vattendjup och klitterfoten.

Genom att utgå från volym snarare än kustlinjens läge blir fluktuationerna över tiden mindre. Mycket av fluktuationerna i kustlinjens läge beror på omflyttningar i de grunda delarna av profilen och påverkar sålunda inte den kustnära volymen sand. Man slipper dessutom ifrån problemet att definiera vad som menas med kustlinje. Ökningen av erosionstakten med 40 % jämfört med den ursprungliga kusten är ett primitivt sätt att inkludera den laterala spridningen.

Vid planeringen av profilmätningarna är det viktigt att se till att mätningarna täcker en tillräckligt stor del av profilen (se Figur 8-15). Gränsen mot land bör sättas så långt bak att den 'aldrig' påverkas av erosion. 'Aldrig' får ses i ljuset av mätperiodens längd och projektets livslängd. Gränsen mot havet måste vara så långt ut att transporten av sediment utanför detta djupt är av underordnad betydelse. Ett lämpligt mått kan vara förändringsdjupet.

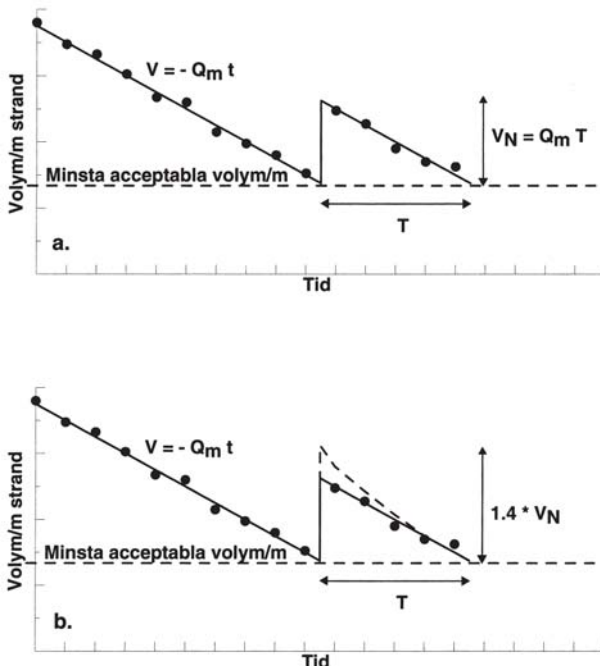
Nästa steg är att plotta de uppmätta volymerna som funktion av tiden (se Figur 8-16.a). Därefter drar man en trendlinje igenom de uppmätta datapunkterna för de senaste tio åren. Lutningen på denna linje svarar mot den årliga erosionstakten (indikerad med Q_m i Figuren). Härnäst väljer man ett återfyllningsintervall T , t.ex. 5 år. Den volym som behöver tillföras för att kompensera för den eroderade volymen är således

$$V_N = Q_m T \quad (8-9)$$



Figur 8-15. Volymelement enligt Holländska metoden.

där V_N [m^3/m] är den tillförda sandmängden per m strand, Q_m [$\text{m}^3/\text{m strand/år}$] är erosionstakten och T [år] är återfyllningsintervallet. Denna volym inkluderar inte den laterala spridningen eller förluster av eventuella finare sediment. För att kompensera för detta ökar man utfyllnadsvolymer med 40 %, dvs. man fyller istället $1.4V_N$ (se Figur 8-16.b). Detta är en grov skattning vid första återfyllnaden men kan förfinas vid senare återfyllnader med erfarenheter från de tidigare.



Figur 8-16. Principer för återfyllnad enligt den 'Holländska' metoden.

Analytiska beräkningsmetoder

Ett mer sofistikerat tillvägagångssätt är att använda *analytiska beräkningsmetoder*. Dessa metoder är något mer avancerade och bygger på matematiska samband. Trots sin enkelhet går de ändå ett steg längre än utnyttjandet av historisk erosionstakt, eftersom sambanden tar hänsyn till olika fysikaliska parametrar som t.ex. att utfyllnaden sticker ut utanför den ursprungliga kustlinjen, inverkan av våghöjd, utfyllnadens längd, etc. I jämförelse med beräkningar med datormodeller (se nedan) är de analytiska metoderna ändå relativt förenklade genom att man utgår från en representativ våghöjd och försummar inverkan av vågornas infallsriktning. Metoden kan betrakta bakgrundserosionen (den historiska erosionstakten) som en ingångsparameter och antar att erosionstakten är densamma utmed hela projektavsnittet. Ofta försummar dessa metoder också inverkan av eventuella konstruktioner.

Nedan belyses betydelsen av ett antal utformningsparametrar för den laterala spridningen av en strandfodring med hjälp av analytiska lösningar (matematiska samband). Följande parametrar diskuteras: strandfodringens längd utmed kusten, inkommande vågklimat och bakgrundserosion (den historiska erosion utmed kusten innan utfyllnadens tillkomst). Analytiska lösningar är mycket användbara för att belysa hur olika parametrar påverkar den process man studerar samtidigt som de ger lösningar som är tillräckligt bra för en preliminär studie (Appendix B).

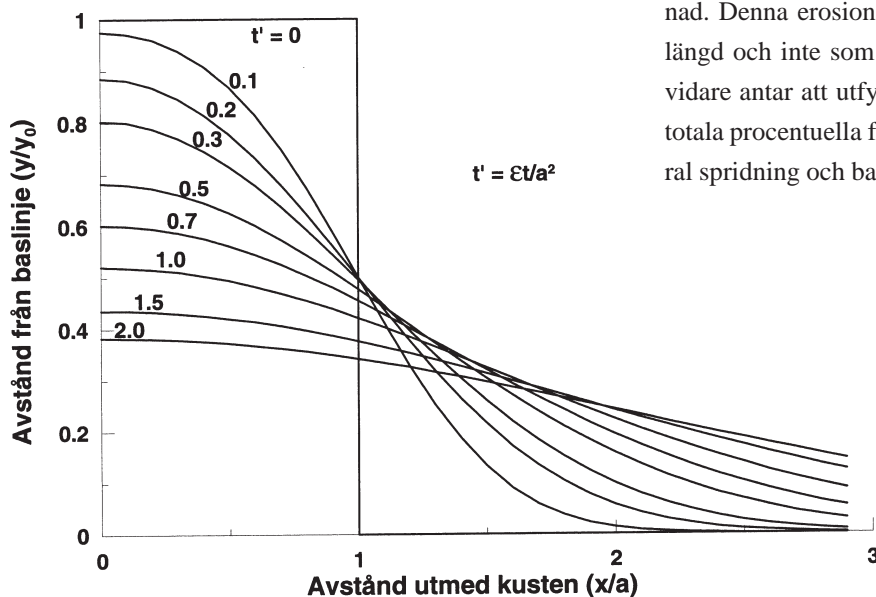
Inverkan av utfyllnadens längd. Betydelsen av utfyllnadens längd utmed en kust illustreras med hjälp av ett

schematiserat exempel där vi antar att vi har placerat en rektangulär utfyllnad utmed en rak kust (Figur 8-17) utan bakgrundserosion. (För en mer detaljerad beskrivning, se Larson, Hanson, and Kraus 1987; 1997). Det visar sig att en betydelsefull parameter för beskrivning av den laterala spridningen ges av en dimensionslös tid t' enligt:

$$t' = \frac{\varepsilon t}{a^2} \quad (8-10)$$

där a [m] är halva den rektangulära utfyllnadens längd, ε [m²/s] är en diffusionskoefficient och t [s] är tiden. (För en härledning och tolkning av diffusionskoefficienten ε , se Appendix B). Två utfyllnader med samma värde på uttrycket i Ekv. (8-10) kommer alltså att vara föremål för samma relativa spridning. Ur uttrycket framgår att om två utfyllnader utsätta för samma vågklimat men har olika längd, kommer den längre utfyllnaden att bestå under en längre tid, om alla andra förhållanden är samma. Om mer än halva utfyllnaden återstår inom projektområdet kan den procentuella kvarvarande delen, p av utfyllnaden beräknas som funktion av tiden enligt:

$$p(t) = 1 - \frac{\sqrt{\varepsilon t}}{a\sqrt{\pi}}, \quad p \geq 0.5 \quad (8-11)$$



Figur 8-17. Spridning av en rektangulär utfyllnad.

Speciellt kan den tid det tar för halva utfyllnaden att försvinna ($p(t) = 0.5$), dvs utfyllnadens halveringstid, beräknas till

$$t_{50\%} = \frac{a^2 \pi}{4\varepsilon} \quad (8-12)$$

vilket visar att en utfyllnad som är dubbelt så lång har en livslängd som är fyra gånger så lång, eftersom halveringstiden beror av längden a i kvadrat.

Inverkan av vågklimat. Ur Appendix B framgår att diffusionskoefficienten ε beror av våghöjden upphöjd till 2,5. Detta innebär att om våghöjden ökar med 20 % kommer spridningen i sin tur att öka med en faktor $(1,2^{2,5} - 1)$, dvs. med 58 procent. På motsvarande sätt minskar halveringstiden med samma faktor. Sålunda är utfyllnadens livslängd mycket känslig för förändringar i våghöjden.

Inverkan av bakgrundserosion. I diskussionen ovan om inverkan av projektlängd och våghöjd inkluderades endast inverkan av den laterala spridningen, dvs. spridningen vid utfyllnadens flanker på grund av att utfyllnaden sticker ut i förhållande till den ursprungliga raka kustlinjen. Det är emellertid rimligt att förmoda att stranden också eroderades innan utfyllnaden gjordes (annars hade troligen utfyllnaden aldrig gjorts). Antag att stranden utan utfyllnad eroderade med i genomsnitt E meter per år och att denna bakgrundserosion fortsätter även efter utfyllnad. Denna erosion verkar nu utmed utfyllnadens hela längd och inte som ovan bara vid dess flanker. Om vi vidare antar att utfyllnadens bredd är W meter kan den totala procentuella förlusten, dvs. på grund av både lateral spridning och bakgrundserosion, beräknas som:

$$p(t) = 1 - \left(\frac{\sqrt{\varepsilon t}}{a\sqrt{\pi}} + \frac{Et}{W} \right), \quad 0.5 < p(t) < 1.0 \quad (8-13)$$

där E [$\text{m}^3/\text{m strand/s}$] är bakgrundserosionen och W [m] är utfyllnadens initiella strandbredd (efter att sedimentet jämnats ut i profilen). På motsvarande sätt som ovan fås nu halveringstiden $t_{50\%}$ till

$$t_{50\%} = \frac{-m - \sqrt{m^2 - l}}{2l} \quad (8-14)$$

där

$$m = \frac{E}{W} - \frac{\varepsilon}{\pi a^2} \quad \text{och} \quad l = \left(\frac{E}{W} \right)^2 \quad (8-15)$$

Datormodeller

För en mer detaljerad utformning av strandfodring används ofta datormodeller för beräkning av kustutvecklingen, s.k. en-linje-modeller. Modellerna används vanligen i strandfodringsprojekt för att få mera realistiska beräkningar av utfyllnadens livslängd och erforderliga återfyllnadsvolymer. Den mest använda modellen av denna typ torde vara GENESIS (GENERALized model for SIMulating Shoreline Change model (Hanson 1987; Hanson and Kraus 1989)). För närmare beskrivning av denna modell, se <http://chl.erdc.usace.army.mil/chl.aspx?p=Publications>. Det finns ytterligare ett antal modeller att tillgå (t.ex. LITPAK från Dansk Hydraulisk Institut i Danmark eller UNIBEST-CL+ från Delft Hydraulics i Nederländerna).

Numeriska kustutvecklingsmodeller utgör ett objektivet verktyg för att utvärdera ett stort antal utformningssalternativ som kan innehålla olika typer av konstruktioner förutom strandfodring (Johansson och Odén 2005). Man kan här simulera inverkan av flera återkommande utfyllnader och på så sätt simulera utfyllnadsprojektets hela livslängd. I dessa scenarier kan man då också studera inverkan av olika vågklimat som kan representera den osäkerhet som föreligger i att förutsäga framtida vågklimat, inklusive inverkan av en ökad växthuseffekt. Vågorna riktningsspridning blir nu en viktig parameter och kustlinjen kan ha en godtycklig form istället för att re-

presenteras av en rät linje.

Dessa modeller kan inte bara användas för att bestämma hur kusten inom projektområdet kommer att förändras över tiden, utan man kan även inkludera omgivande kustavsnitt och på så sätt optimera utfyllnad och eventuella konstruktioner även med hänsyn till dessa kustområden. Så diskuterar t.ex. Kraus et al. (1994), Hanson and Kraus (2004), Hanson and Larson (2004) samverkan mellan hövder och omgivande sandkuster. Det finns också möjlighet att variera och optimera konstruktionernas egenskaper (längd, höjd, genomsläpplighet, etc.) med avseende på deras inverkan på omgivningen (Hanson et al. 1989; Wamsley et al. 2003). Gravens et al. (1991) ger en mera detaljerad beskrivning av tillämpningen av GENESIS-modellen i verkliga kustprojekt.

Man kan också använda sig av fysiska modeller för att bestämma inverkan av konstruktioner på omgivande strandfodring (Bottin and Earickson 1984; Cornett 2004; Gravens and Wang 2004). Dessa studier är dock i allmänhet begränsade till området allra närmast konstruktionen. Aspekter som ekonomi, instrumentering och skalleffekter gör dock att denna typ av studier bara kan göras för stora och välfinansierade projekt av likaledes stora och avancerade laboratorier av vilka det bara finns en handfull i världen.

För att kunna köra en datormodell vid dimensionering av en strandfodring krävs en rad olika indata. I allmänhet måste modellen också kalibreras för att säkerställa att projektets lokala egenskaper representeras på rätt sätt i modellen. För denna kalibrering behövs ytterligare data (Johansson och Odén 2005). Denna rapport diskuterar två olika typer av modeller – en (t.ex. GENESIS) för beräkning av hur utfyllnadens planform utvecklas och en annan (t.ex. SBEACH) för beräkning av förändringar i profilen.

Krav på indata för att kunna beräkna förändringar i planutformningen. GENESIS-modellen beräknar kustlinjens förändring i ett lokalt (1 – 10 km) eller regionalt (10 – 100 km) perspektiv. Tidsskalan kan variera från ett par tre år upp till flera årtionden. De indata som krävs för att kunna köra modellen är:

- Kustlinjens läge utmed projektområdet vid minst tre olika tidpunkter. Tidpunkterna bör representera samma årstid för att minska betydelsen av säsongsvariationer. Det bör vara ungefär samma tidsperiod emel-

lan de uppmätta kustlinjerna som den tidrymd över vilken man önskar beräkna den framtida kustlinjen.

- Information om vågklimatet. Med vågklimat menas här vågornas höjd, period och riktning i en eller flera punkter ute på djupt vatten eller utmed det aktuella kustavsnittet. Vågklimatet bör vara specificerat minst en gång per dygn, gärna ner till tre eller sex timmars upplösning.
- Kustnära profiler vid ett antal tidpunkter för att dels få en uppfattning om hur den kustnära profilen ser ut, dels för att kunna bestämma variationsdjupet.
- Kornstorleksfördelningen utmed kusten och på olika delar av profilen.
- Data om alla eventuella konstruktioner och tidigare utfyllnader – läge, tidpunkter och egenskaper.
- Transportparametrar – brutto- och nettotransportmängder utmed kusten, övergripande transportmönster, sedimentkällor och -sänkor, sedimentbudget, etc.
- Vattenståndsvariationer.
- Extrema händelser – vågor, sammanbrott av konstruktioner, etc.
- Övrigt – starka strömmar, landmassors skuggning av vågor från olika riktningar, etc.

Med dessa indata beräknar modellen vågornas egenskaper vid vågbrott utmed kusten (med samma tidsupplösning som för indata), transport av sediment utmed kusten och kustlinjens variation i tiden.

Krav på indata för att kunna beräkna förändringar i profilutformningen. SBEACH-modellen beräknar en strandprofils utveckling till följd av en eller flera stormar med en rumslig upplösning på 1 – 5 m. Simulerings tiden kan variera från timmar till ett par dagar med ett tidssteg på 1– 20 min. Modellen fokuserar på erosion av strandplan och klitter samt deposition av eroderat material i de djupare delarna av profilen. De indata som krävs för att kunna köra modellen är:

- Strandprofilens form i projektområdet i samband med olika stormar. I bästa fall finns data från två stormar där profilens utseende är känt före och efter stormen för de båda fallen. Det ena fallet används för att kalibrera modellen och det andra fallet för att validera kalibreringsresultaten. Ofta finns dock bara en allmän kunskap om profilens form och den effekt en viss storm haft på profilen. Modellen kan då fortfa-

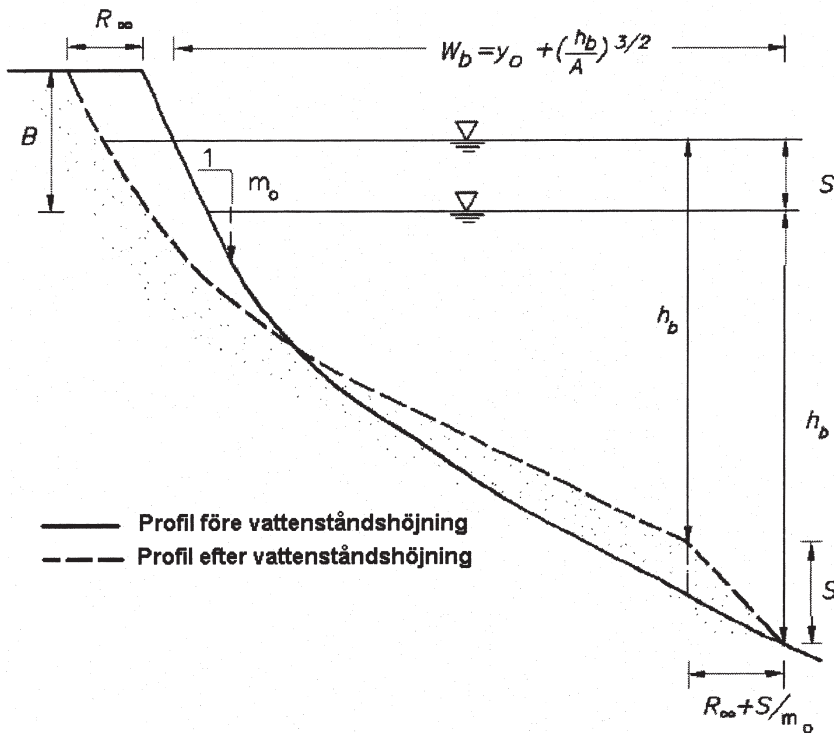
rande användas men resultatet ger huvudsakligen en kvalitativ bild av erosionen i samband med en storm.

- Information om vågklimatet, dvs. vågornas höjd, period och riktning i en punkt utanför strandprofilen där vågorna inte hunnit bryta och förlora energi. Vågklimatet bör specificeras minst en gång per timme. En sådan upplösning föreligger normalt inte utan man måste tillgripa interpolation. I många fall finns inga vågmätningar överhuvudtaget, utan vågklimatet måste bestämmas från vinddata.
- Vattenståndsvariationen med en upplösning på cirka en timme.
- Vinddata vad gäller styrka och riktning ungefär var tredje timme (om sådan information är tillgänglig).
- Kornstorleksfördelningen i olika delar av strandprofilen för att bestämma en representativ kornstorlek. En alternativ metod är att anpassa en teoretisk jämviktsprofil, vilken definieras av kornstorleken, till en uppmätt profil. På så sätt erhålls en representativ kornstorlek.
- Data om alla eventuella strandskoningar eller förekomst av områden i strandprofilen som inte kan eroderas (t.ex. berggrund).
- Värden på diverse transportkoefficienter (dessa bestäms i det ideala fallet genom kalibrering, men riktvärden finns tillgängliga om data för kalibrering saknas)

I modellen beräknas först transformationen av vågor från mätpunkten längs profilen till en punkt där brytzo- nen övergår i uppspolningszonen. Sedan bestäms den vinkelräta nettotransporten i de olika delarna av profilen: utanför brytzo- nen, i brytzo- nen, och i uppspolningszonen. Med hjälp av kontinuitetsekvationen för sand beräknas förändringarna i strandprofilen. Beräkningarna görs för varje tidssteg i modellen.

8.8 EROSION VINKELRÄTT MOT KUSTEN UNDER INVERKAN AV VÅGOR OCH VATTENSTÅNDSFÖRÄNDRING

Om vattenståndet höjs utmed en kust där profilen antas ligga i jämvikt kommer profilen att förändras så att den åter är i jämvikt med det nya vattenståndet. Kriebel and Dean (1993) visar att strandplanet kommer att eroderas ett avstånd R_{∞} till följd av en vattenståndsökning S , där R_{∞} ges av (Figur 8-18)



Figur 8-18. Kustprofilens respons på vattenståndshöjning. (Modifierad efter CEM 2003).

$$R_{\infty} = S \frac{W_b - \frac{h_b}{m_0}}{B + h_b - \frac{S}{2}} \quad (8-16)$$

där R_g [m] är erosionspotentialen, S [m] är vattenståndshöjningen, h_b [m] är vattendjupet där vågorna bryter (kan sättas till $1,1 H_b$, där H_b är de brytande vågornas höjd), m_0 är kustprofilens lutning i kustlinjen, B [m] är strandplanets höjd över den ursprungliga vattenytan, W_b [m] är bränningszonens bredd (det horisontella avståndet från kustlinjen till vattendjupet h_b). W_b kan beräknas enligt

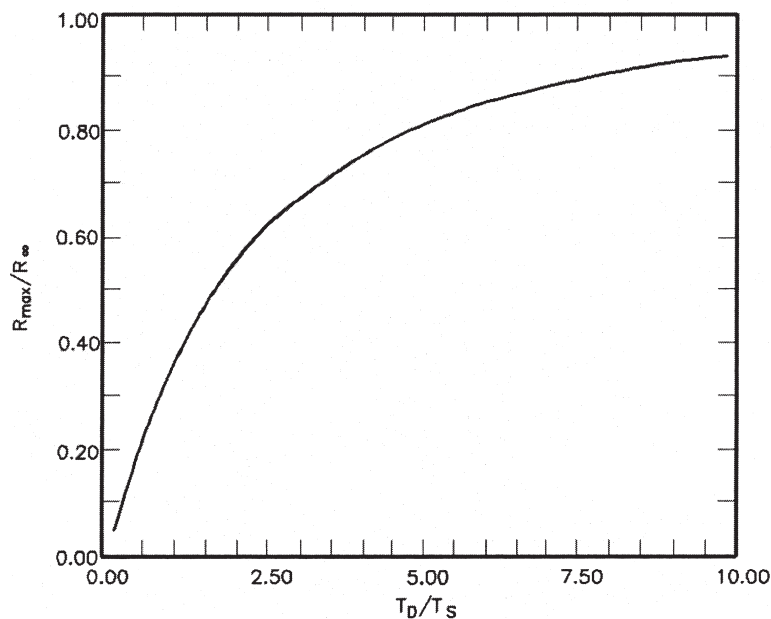
$$W_b = y_0 + \left(\frac{h_b}{A}\right)^{3/2} \approx \left(\frac{h_b}{A}\right)^{3/2} \quad (8-17)$$

där y_0 [m] är ett litet (och försumbart) avstånd från kustlinjen till där jämviktsprofilen kan anses börja.

Den takt med vilken strandplanet eroderar anges med en tidsskala T_S som ges av (CEM 2003)

$$T_S = 320 \frac{H_b^{3/2}}{g^{1/2} A^3} \left(1 + \frac{h_b}{B} + \frac{m_0 W_b}{h_b}\right)^{-1} \quad (8-18)$$

där T_S [s] är tidsskalan och g [m/s^2] är gravitationskonstanten (= 9,81). Avståndet R_g kan tolkas som den erosion som svarar mot att profilen antar en ny jämviktsform. Som det antyds i Figur 8-19 kommer det att ta 'oändligt' lång tid att erodera kusten detta avstånd. Om det höga vattenståndet har en viss varaktighet T_D [s] kommer således strandplanet inte att hinna erodera avståndet R_{∞} utan ett kortare avstånd R_{max} . Detta avstånd fås ur Figur 8-19 där T_D är den verkliga varaktigheten för det höga vattenståndet S .



Figur 8-19.
Maximal relativ erosion R_{max}/R_{∞} som funktion av stormens relativa varaktighet T_D/T_S (CEM 2003).

8.9 FLANKUTFYLLNAD

Avsnitt 3.3.5 ger en definition och en kort beskrivning av begreppet flankutfyllnad. Tanken är att om man förser strandfodringens flanker med en avsmalnande utfyllnad kommer den laterala spridningen av utfyllnaden att minska. Inverkan av flankutfyllnader på den laterala spridningen av en utfyllnaden har undersökts med såväl analytiska modeller (Larson et al. 1987; 1997; Walton 1994) som numeriska modeller (Hanson and Kraus 1993).

Hanson och Kraus (1993) använde GENESIS-modellen för att undersöka hur olika flankutfyllnader påverkade spridningen av sand längs med kusten. Sand påfördes då årligen för att bibehålla en viss minimibredd på stranden innanför projektområdet. Beräkningarna visade att en utfyllnad helt utan flankutfyllnader blev så mycket som 42 % dyrare per år jämfört med en utfyllnad med optimal längd på flankutfyllnaderna. Dessa simuleringar sträckte sig dock bara över fem år. Man bör eventuellt studera effekterna i ett längre tidsperspektiv eftersom den positiva nettoeffekten av flankutfyllnader minskar med tiden.

8.10 ÅTERFYLLNAD

Avsnitt 3.3.5 ger en kort beskrivning av begreppet återfyllnad. Återfyllnader görs för att ersätta material som förloras från strandfodringen och genomförs lämpligen med 5 till 10 års mellanrum. En mera precis återfyllnads-

tid kan optimeras med hjälp av datormodeller, men erfarenheter (CUR 1987) visar att det i allmänhet är så många olika aspekter (finansiella läget, tillgång på sand, politik, tillgång på mudderverk med olika kapacitet, etc.) som styr att det sällan låter sig beräknas på förhand. Det är då bättre att 'sika' på en viss tid, se till att medel finns tillgängliga och sedan genomföra strandfodringen när lämpligt tillfälle infinner sig i närheten av denna tidpunkt. Det kan vara viktigt att ha klart för sig att materialförlusterna kan variera påtagligt från år till år, främst beroende på hur många och vilka stormar utfyllnaden utsatts för. Dessa variationer brukar dock jämna ut sig på några års sikt.

I syfte att bättre kunna administrera en strandfodring är det viktigt att kontinuerligt följa upp utfyllnaden och de krafter (främst vågor och vattenstånd) som påverkar den. En återkommande uppföljning av utfyllnader ger först och främst en god vägledning om när det dags att återfylla men dessutom en indikation på hur utfyllnaden kommer att erodera i framtiden. Det är då möjligt att gradvis förändra återfyllnadstiden. Genom att följa upp och analysera data kan man också bättre förstå under vilka förhållanden som strandfodringen skadas mest och möjligen också hitta fel eller svagheter i utformningen som då, förhoppningsvis, kan undvikas vid nästa ut- eller återfyllnad. Uppföljning och utvärdering diskuteras vidare i avsnitt 4.4.

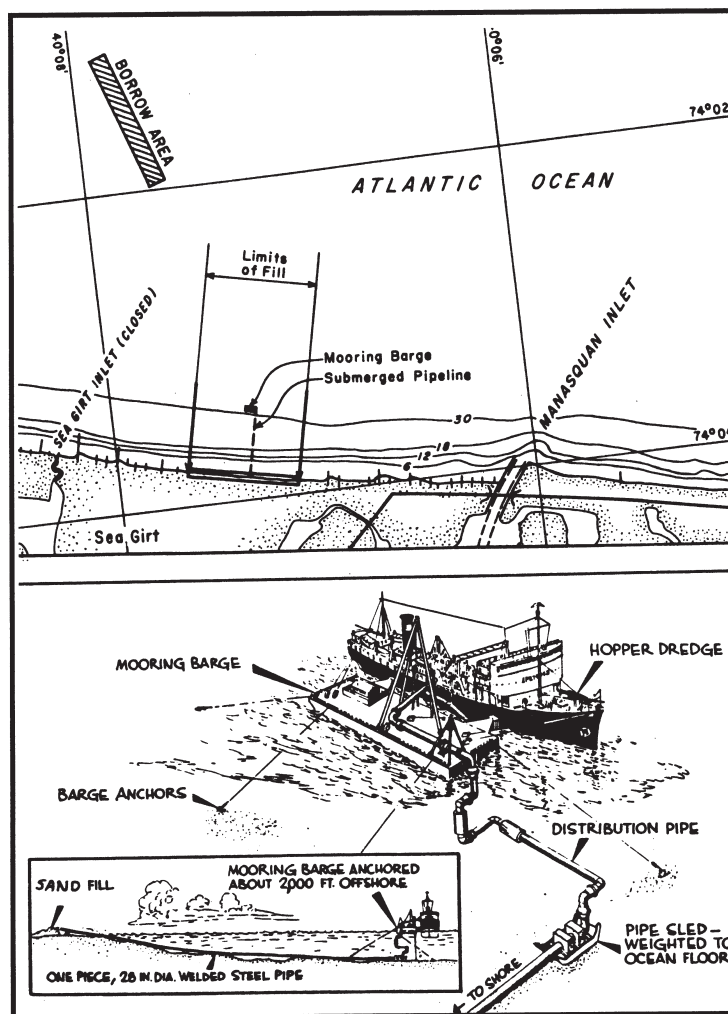
8.11 HOT SPOTS

Med hot spots menas i detta sammanhang mindre avgränsade områden inom projektområdet där förlusten av sand är påtagligt större än vad som kunde förutsägas och/eller i jämförelse med resten av utfyllnadsprojektet. Problemet med hot spots är att de representerar den svagaste länken i kedjan som gör att projektet inte ger det skydd det var tänkt trots att övriga delar fungerar på avsett sätt. För att hålla dessa områden på samma skyddsnivå som andra kan det vara aktuellt med återfyllnad här oftare än i andra områden. Alternativ kan det bli nödvändigt att skydda kustavsnittet med något typ av konstruktion för att det överhettade området ska kunna återfyllas med samma frekvens som övriga delar av projektet. Sådana oväntade hot spots medför dessvärre alltid ökade kostnader och kan dessutom kasta en skugga över ett helt projekt som kanske i övrigt fungerar till belåtenhet. Det är därför viktigt att man redan i utformningsfasen kan förutsäga och motverka utvecklingen av hot spots. Smith and Ebersole (1997) diskuterar en metod för hur detta kan göras. Bodge et al. (1996) visar hur man med GENESIS-modellen i kombination med en detaljerad beskrivning av det kustnära vågklimatet kan komma tillrätta med problemet. Dels gav modellen indikationer på var problemet kan förväntas uppstå, dels kunde man använda modellen för att hitta lämpliga åtgärder. För en mera fördjupad diskussion om hot spots (typer, orsaker, lösningar, etc.) hänvisas till Kraus and Galgano (2001) och Stauble and Gravens (2004).

8.12 UTFÖRANDE

8.12.1 Uttag och fyllning

Marina avlagringar kan tas upp med hjälp av mudderverk. Dessa kan bestå antingen av en *pråm* (eng. barge) som manövreras runt med en bogserbåt eller av ett självgående *muddringsfartyg med eget lastrum* (eng. Hopper Dredge). Om muddringen utförs med en *pråm* transporteras materialet vanligen till stranden med hjälp av ett rörsystem (eng. pipelines) där vatten och sand pumpas fram i en slurry. Om muddringen sker med ett självgående muddringsfartyg med pumpsystem för tömning fylls fartyget först med utfyllnadsmaterial. Därefter kör fartyget med materialet så nära utläggningsplatsen som möjligt varifrån det förs vidare till stranden med olika tekniker (se nedan). Fartyget kan själv ombesörja den sista transporten upp på stranden. I annat fall tömmer fartyget



Figur 8-20. Strandfodring genom upptagning och transport med muddringsfartyg med eget lastrum samt inspolning via pråm och rörsystem. (SPM 1984)

tillbaks materialet in en kustnära pråm varifrån materialet transporteras vidare till stranden (se Figur 8-20). Så snart uttagsplatsen ligger mer än några kilometer från utläggningsplatsen är självgående muddringsfartyg mera ekonomiska. Det finns flera olika sätt att transportera materialet upp på stranden, varav några beskrivs i kort-het nedan.

- *Strandplacering via rörsystem.* Med denna metod levereras materialet till stranden som en slurry via rörsystem. För mindre projekt läggs allt material på en och samma plats på stranden. Om projekten är större kopplas fler rörsektioner på efterhand så att materialet kan pumpas upp på olika platser. Härifrån transporteras materialet till avsedd plats i enlighet med en utförandemall (se Avsnitt 8.6.6) med vanliga landgående schaktmaskiner.

Vatten och de allra finaste sandfraktionerna rinner tillbaka till havet medan det resterande materialet avlagras på stranden. Härvid sedimenterar det allra grövsta materialet närmast utsläppspunkten medan finare material avsätts på längre avstånd. Sålunda kommer de strandavsnitt där materialet släpps att vara mer motståndskraftiga mot erosion än övriga kustavsnitt. Det kan därför vara lämpligt att placera materialet på platser utmed kusten där man förväntar sig ha eller få en hot spot eller där man av andra anledningar förväntar sig kraftig erosion. Ofta schaktar man upp sandvallar runt det område där man vill att sanden ska sedimentera i syfte att minska returflödet av sand till havet. Detta är bra för stranden men också för den marina miljön eftersom den kustnära vattenkvaliteten blir bättre.

- *Profilplacering.* Här går muddringsfartyget eller pråmen in så nära land det går varefter materialet läggs på botten. Denna metod är betydligt billigare än att lägga sanden på stranden. Tanken är att vågorna ska föra upp en del av materialet på stranden medan övrigt material fyller ut undervattensprofilen. Dock ger inte denna placeringsmetod lika bra skydd som en placering på stranden, främst genom att strandplanet inte byggs upp utan enbart förses med material indirekt via vågorna. Det är också osäkert hur mycket sand som kommer stranden till del. Ett visst skydd fås av den utfyllda profilen som som kan bryta vågorna effektivare än före utfyllnaden. Vid placering uppe på stranden kan schaktmaskiner dessutom föra upp material i klitterna om dessa är underutvecklade. Detta görs inte vid profilplacering där materialet får föras upp från strandplanet med hjälp av vinden, vilket kan ta lång tid. Denna metod för tömning av sandmaterialet kräver minst 3,5 m vattendjup där materialet släpps. Vid mindre kvantiteter kan fartygen fyllas bara delvis för att på så sätt kunna ta sig in på mindre djup.

- *Strandplacering genom 'regnbågsmetod'.* Denna metod kan utföras av alla muddringsfartyg med pumpkapacitet. Änden på ett rör förses med ett sprutmunstycke som monteras i fören på fartyget som kör så nära land det kan. Därifrån sprutas sand-slurryn upp på stranden. Metoden förutsätter att fartyget kan ligga 25 – 100 m från stranden (Bruun and Willekes 1992) och att fartyget har vinden 'i ryggen'. Denna metod är också billigare än strandplacering men, liksom för profilplaceringsmetoden, är det osäkert hur mycket av sanden som kommer stranden till del. Dessutom ger metoden mycket hög grum-

ling av kustvattnet.

- *Kontinuerlig tillförsel.* Om transporten av sand utmed en kust blockeras av t.ex. en hamn och/eller en inseglingsränna uppstår lätt en rad problem. Kusten omedelbart nedströms om hamnen utsätts gärna för kraftig erosion. Samtidigt sker en ansamling av sand på uppströmsidan och efterhand som strandlinjen flyttas utåt kommer mer och mer sand att transporteras runt vågbrytaren. När sanden transporteras in i hamnen eller lägger sig i inseglingsrännan ställer detta till problem och man måste muddra i hamnen och rännan. Ett sätt att lösa (eller åtminstone minska) alla dessa problem i ett sammanhang är att transportera sanden från uppströmssidan till nedströmssidan. Denna transport kan göras vid vissa specifika tillfällen, men kan också ordnas med en kontinuerlig förbiledning. Man kan då med hjälp av en jetstråle, en pump och ett fast rörsystem transportera sanden som en slurry förbi hamnen. Sådana *förbiledningssystem* (eng. *bypassing systems*) finns på flera platser i världen, särskilt i USA. Utmed svenska kuster är ofta sedimentmängderna så små att det kan vara svårt att få ekonomi i ett sådant system. Istället kan man med hjälp av traditionella schaktmaskiner, t.ex. en hjullastare och ett släp eller dumper, transportera sanden runt hamnen. Gör man detta tillräckligt ofta undviker man såväl igensandning av hamnen som erosion nedströms. Ekonomiskt är det avsevärt billigare att ta sanden ifrån stranden med t.ex. en hjullastare än i havet med ett mudderverk. Dessutom riskerar man inte att sanden är förorenad som den kan bli efter att ha legat i en hamn.

- *Förrådsstrand.* Med detta avses att man lägger sanden i uppströmsänden av den strand eller t.o.m. helt uppströms om stranden som ska fyllas ut och låter vågor och strömmar transportera sanden vidare. En förrådsstrand kan etableras då man av olika skäl inte vill lägga allt utfyllnadsmaterial i själva projektområdet, t.ex. att man inte vill täcka över en värdefull kustnära botten eller i mindre projekt där det kan vara svårt att komma till med maskiner utmed hela stranden. Genom att istället lägga materialet uppströms kan kustförändringarna inom projektområdet hållas till ett minimum tack vare att tillförseln av sand till området säkerställts genom förrådsstranden och tillförs gradvis. Anläggandet av en förrådsstrand kan också vara ett sätt att förkorta transportavstånd och därmed minska kostnaderna. Man låter således naturen själv transportera sanden till projektområdet.

Förrådsstränder fungerar bäst när riktningen på den kustparallella sandtransporten är relativt konstant och påtaglig så att man kan vara förvissad om att den utlagda sanden verkligen transporteras till avsedd plats. Lämpliga platser för att anlägga förrådsstrand kan vara kustavsnitt som utsätts för kraftig erosion, som t.ex. omedelbart nedströms om en hamn, där ett påtaglig överskott av sand kan lösa de lokala problemen över en längre tid, samtidigt som stranden förser ett annat kustavsnitt med sand.

- *Sandupplag*. I vissa fall lägger man upp sand bakom klitterna (eller någon annanstans utanför det aktiva strandsystemet) för framtida bruk. Tanken är att man passar på att ta extra sand samtidigt som stranden fylls ut. Särskilt vid små kvantiteter kan detta vara ett sätt att få bättre ekonomi i projektet. Sanden kan sedan användas vid planerade återfyllnader eller vid akuta insatser, t.ex. efter en storm. En sådan åtgärd minska inte bara kostnaderna utan sparar också tid som kan vara kritiskt efter exempelvis ett genombrott av klitter utmed en kuststräcka. Avsaknad av sand i ett sådant akut läge kan medföra att man väljer att reparera klitterna med andra fyllnadsmassor eller sten. Såväl estetiskt som funktionellt är detta en dålig lösning. Trots det är det en vanlig syn utmed de svenska kusterna.

8.12.2 Maskinell utrustning

En bra översikt av olika muddringsalternativ som kan vara aktuella vid strandfodring presenteras av Richardson (1976). Det finns ett flertal olika typer av muddringsfartyg att tillgå, dock lämpar sig inte alla för upptagning av sand. De vanligaste och lämpligaste typerna är: *frässugmudderverk* (eng. Cutter Suction Dredge), *hjulsugverk*, (eng. Wheel Suction Dredge), *släpsugverk*, (eng. Trailing Suction Hopper Dredge), *Pater Nosterverk*, (eng. Bucket Ladder Dredge), *Crawl Cat* (litet mudderverk vid små vattendjup) och *grävskopemudderverk* (eng. Backhoe Dredge), se www.ihcholland.com.

- *Frässugmudderverk* är försedda med ett eller två höj- och sänkbara rör, s.k. sugrör, som har en borrhkrona i nedre änden, vilket gör att den kan arbeta i hårda material (vilket ofta inte är nödvändigt vid strandfodring). Den lämpar sig väl för muddring av sand och grus ner till cirka 30 m djup. Gräv huvudets positionering är känslig för höga vågor och upptagningsmetoden är känslig för starka strömmar, vilka ger stora materialförluster med dålig effektivitet som följd. Mudderverket ligger stilla

och suger upp sand på ett ställe i taget vilket resulterar i en relativt ojämn botten. Som ett resultat finns risk för kvarstående djuphålor där syrebrist och svavelvätebildning kan uppstå. Eftersom verket ankras upp kan förankringsanordningarna vara till hinder för annan båttrafik.

- *Hjulsugverk* påminner om frässugmudderverk men har ett roterande hjul istället för en borrhkrona i nederändan. Den suger sand och grus på en plats i taget ner till 45 m djup, men fungerar bara för lösa material. Den är relativt känslig för vågor och strömmar. Eftersom verket ankras upp kan förankringsanordningarna vara till hinder för annan båttrafik.

- *Släpsugverk* arbetar i sand och grus ända ner till 70 m djup. Detta mudderverk rör sig framåt samtidigt som det suger, ungefär som en dammsugare. Härmed påverkas en större del av botten samtidigt som den förblir relativt jämn. Som ett resultat minskar risken för kvarstående djuphålor där annars syrebrist och svavelvätebildning kan uppstå. Denna utrustning lämpar sig således bäst för upptagningsområden med stor yta och mindre mäktighet. I och med att mudderverket är i rörelse är det relativt okänslig för vågor och strömmar. Noggrannheten i positionering är samtidigt mindre än för de stillaliggande mudderverken.

- *Pater Noster-verk* har ett roterande bälte med skovlar. Den gräver sand och grus ner till 25 m djup, men är mycket känslig för vågor och strömmar. Höga strömmar spolar också bort en stor del av finmaterialet. Denna typ av utrustning används alltmer sällan på grund av dess relativt begränsade kapacitet.

- *Crawl Cat* går och står på botten och är speciellt gjord för små utrymmen, små volymer och begränsade vattendjup (< 10 m). Den fungerar som en mini-version av frässugmudderverk med ett sugrör som har en borr i nedre änden. Fötternas tryck mot botten kan regleras med hjälp av pontoner.

- *Grävskopemudderverk* fungerar också bra i sand och grus men endast ner till cirka 20 m djup. Genom att mudderverket står på botten eller är hårt uppankrat är det relativt okänsligt för vågor och strömmar i upptagningsfasen. (Istället kan det bli svårt att förtöja en transportpråm längs med fartyget i hårt väder.) Av samma skäl har det hög noggrannhet vid positionering. Kapaciteten minskar dock snabbt med vattendjupet. Starka strömmar ger upphov till urspolning och förlust av finmaterial.

Vid val av lämpligt mudderverk kan urvalet vara mer

begränsat beroende på vad den aktuella entreprenören har tillgång till. Det kan också finnas anledning i vissa lägen att kontrollera de olika verkens *minsta* möjliga djup om muddringen ska göras i områden med begränsat vattendjup. Därefter är kostnad eller kapacitet de viktigaste parametrarna, beroende på projektets förutsättningar.

Det finns alltid anledning att noggrant undersöka förhållandena kring upptagningen. Det kan synas som om riskerna är större i stora projekt och att det inte är så viktigt i små projekt. Men även om riskerna är mindre i små projekt är samtidigt marginalerna mindre varför en oförutsedd händelse kan få, relativt sett, större konsekvenser i mindre projekt. De viktigaste faktorerna som bör beaktas vid planering av strandfodring diskuteras i korthet nedan.

- *Sedimentets egenskaper och sammansättning.* Den viktigaste aspekten är naturligtvis täktmaterialets egenskaper och sammansättning. Först och främst ska sedimentet ha en kornstorleksfördelning som gör att utfyllnaden fungerar på rätt sätt när den är på plats. Det kan också finnas krav på t.ex. färg så att fyllnadsmaterialet liknar det ursprungliga. Även om täktmaterialet som helhet har en lämplig kornstorlek kan denna variera påtagligt i plan och profil. Det kan då finnas anledning att undersöka om det kan finnas någon systematik i denna variation. Kanske måste det översta lagret avlägsnas först? Kanske genomkorsas täktområdet av bankar där ett grövre material ligger på toppen av dessa bankar medan finare material ligger i svackorna däremellan? Täkten kan också innehålla sten och block som försvårar upptagningen.

- *Krav på upptagningsarbetet.* Bottenmaterialets hårdhet ställer krav på vilken utrustning som kan komma ifråga. För strandfodring är man i allmänhet intresserad av lösa, sandiga sediment vilket innebär att olika sugmudderverk kan komma ifråga, kanske ofta utan borrhjul. I vissa projekt kan positioneringen vara så viktig och kritisk att man väljer att ankra upp och ligga still medan man tar upp materialet med hög positionsnoggrannhet. Önskemål om en urtvättning av fina sediment i materialhanteringen ställer andra krav.

- *Logistik.* Man måste säkerställa tillgängligheten, både i täktområdet och i utfyllnadsområdet, med de maskiner man har valt. Närhet till trafikerade farleder kan innebära att det är svårt att ankra upp en pråm varför man istället kanske väljer ett mudderverk som kan hålla sin position med hjälp av egna propellrar. Transporten kan utf-

göra en stor del av kostnaden. Kanske ska man välja ett verk med lägre upptagningskapacitet men högre marschfart eller kanske ett verk med högre lastkapacitet så att man behöver köra färre sträckor?

- *Lokala förhållanden.* Klimatförhållanden (vågor och strömmar) kan ställa särskilda krav på utrustningen eller de metoder som kan komma i fråga. Begränsade vattendjup, inte bara vid upptagning och utläggning utan också utmed transportsträckor, kan begränsa storleken på de verk som kan användas.

- *Övriga förhållanden.* Det kan ofta finnas olika krav ifrån myndigheter som man måste ta hänsyn till. Hänsyn till lekande eller vandrande fiskarter eller andra miljöhänsyn kan ställa krav på begränsat spill som i sin tur kan göra att vissa typer av mudderverk inte kommer i fråga. Det kan finnas krav ifrån myndigheten att man inte får åstadkomma stora ojämnheter i botten på grund av risken för syrefrihet. Detta kan leda till att släpmudderverk är det enda möjliga alternativet. Av hänsyn till boende eller rekreation kan man också ha restriktioner beträffande bullernivåer.

Inför varje projekt måste man således prioritera vilka faktorer som är viktigast, vilka krav och restriktioner de ställer innan man kan välja vilken utrustning och teknik som är mest lämpad för den aktuella strandfodringen.

9 STRANDFODRING I PRAKTIKEN

9.1 STRATEGI FÖR STRANDFODRING

Detta avsnitt beskriver två länders (Danmark och Holland) sätt att hantera problematiken med stranderosion och risken för översvämning. För Sveriges del är erfarenheterna från dessa länder intressanta när det gäller stranderosion och strandfodring, eftersom man här har studerat och applicerat metoden under många år. Klimatmässigt sett är förhållandena i dessa länder inte riktigt samma som i Sverige med bl.a. ett mera extremt vågklimat i Nordsjön jämfört med Östersjön och Kattegatt. Befolkningstäthet och därmed belastningen på kustzonen skiljer sig också mellan de tre länderna. Angreppssättet och hanteringen av kustskyddsfrågor kan dock vara av intresse.

9.1.1 Exempel från Danmark

För ungefär 100 år sedan försökte man längs Jyllands västkust att stabilisera sanddynerna längs med Nordsjö-kusten genom att plantera gräs. Problem uppstod emellertid ändå på grund av att man samtidigt byggde flera hamnar och grupper av hövder. Dessa hårda skydd resulterade i kraftig erosion på läsidan av konstruktionerna och därmed fick sanddynerna en försämrad stabilitet eller helt enkelt försvann på en sträcka av 50 km.

1982 bestämdes i Danmark att man skulle införa en policy för skydd av kusterna. I stora drag innebar denna att kusterna skulle stabiliseras för att klara 100-års stormen samt att erosion vid kustnära städer och infrastruktur skulle stoppas. På de mest utsatta platserna användes friliggande vågbrytare i kombination med strandfodring. Anledningen till att vågbrytare (ett hårt skydd) användes var att man hade goda kunskaper om dessa metoder och att det var politiskt accepterat. När detta byggdes fanns det en stor tilltro till de hårda skydden som hövder och vågbrytare, medan strandfodringen var relativt dyr och en mindre beprövad metod. Detta synsätt har ändrats i takt med att erfarenheterna omkring metoden har byggts upp och att kostnadsnivån har minskat genom ett större antal strandfodringsarbeten och ökade volymer (Laus-

trup och Toxvig Madsen 1998).

Aktuella policies för bedömning av en sanddyns eller barriärs säkerhet bestäms av lokala myndigheter tillsammans med regeringen grundat på rekommendationer från danska Kystdirektoratet (KDI). Kostnaden för erosionskydd på den danska västkusten av Jylland betalas till stor del, ca 70 %, av regeringen. Längs denna sträcka, som är den mest utsatta, har KDI ett ansvar för skyddet av kusten. På de sidor av Danmark som angränsar mot Östersjön och Kattegatt är kommunerna ansvariga men man kan få experthjälp av KDI för att lösa eventuella problem. Inom detta område måste dock varje enskild fastighetsägare stå för alla kostnader för ett kustskydd (Lastrup och Toxvig Madsen 1998).

En översiktsplan (Master plan) för skydd av Jyllands västkust upprättas vart 5:e år av KDI i samarbete med regeringen och lokala myndigheter. Översiktsplanen visar den hastighet som kustlinjen bedöms flyttas mot stranden för de kommande fem åren, indelat i ett antal delsträckor samt en uppskattning av den årliga kostnaden för skydd av respektive kuststräcka. Baserat på översiktsplanen upprättas sedan en handlingsplan (Plan of action). I handlingsplanen finns mer detaljerad information om vilka mätningar, kustskydd, kostnader m.m. som ska utföras för varje delsträcka. Handlingsplanen revideras varje år med tanke på bl.a. oförutsedda ändringar längs kusten och ändring av kostnadsnivåer. När dessa planer framställs tas stor hänsyn till olika miljöfrågor. Områden som inte är bebyggda och saknar infrastruktur skyddas i regel inte utan där tillåts naturen att forma landskapet. Strandfodring är idag det viktigaste instrumentet för skydd av kuststräckan längs med Nordsjön och ca 3 miljoner m³ sand fodras varje år (Lastrup 2001).

9.1.2 Exempel från Holland

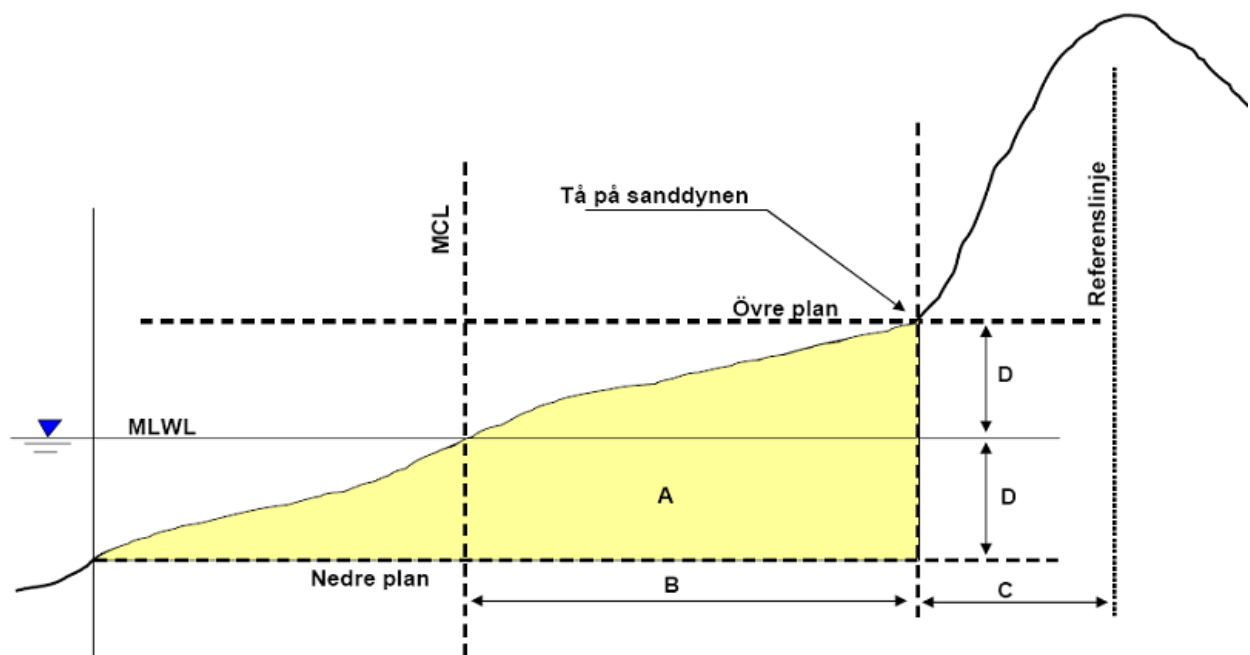
Den holländska kuststräckan längs med Nordsjön är ungefär 350 km lång och sedan lång tid tillbaka har kustpolicy varit inriktad på att skydda landet mot översvämning. Efter en kraftig storm i början på 1950-talet påbör-

jades en förstärkning av alla befintliga dyner och barriärer som fanns, det byggdes också nya invallningar. Detta arbete pågick fram till slutet av 1980-talet då en ny policy för skydd av landets kuster togs fram. I den nya policyn fastställdes en nivå på kustlinjen, vilken innebär att 1990 års läge för kustlinjen ska bibehållas och detta gäller än idag. Det innebar också att man ska garantera en hållbar säkerhetsnivå på landets samtliga barriärer och sanddyner, samt en trygg miljö i de kustnära områdena. För att leva upp till detta krävs ett omfattande arbete för att skydda landets kuster varje år (van Koningsveld och Mulder 2004).

Principen för att säkerställa kustskyddet utgår från en volymbetraktelse av strandområdet inklusive dynamrådena. Första steget är att bestämma "Momentary Coastline, MCL". MCL definieras som en funktion av volymen sand i den kustnära zonen och beräknas enligt Figur 9.1. Beräkningen baseras på en area (A) som ger volymen sand per löpmeter kust. Sandvolymen beräknas mellan två horisontella plan, ett övre och ett undre plan. Dessa plan är båda lokaliserade på ett avstånd D från MLWL (medellågvattnenytan), där sträckan D är det vertikala avståndet mellan tån på sanddynen och MLWL. De geometriska förhållandena baseras på omfattande mätningar av kuststräckan. Mätningarna finns samlade i

en databas, JARKUS, med inmätningar av kustprofiler sedan 1963. Profilmätningar genomförs årligen med ett inbördes avstånd på 250 m och ca 1 km vinkelrät kusten från närmaste sanddyn och ut till ca 20 m djup. MCL används som ett referensobjekt vid planering av de åtgärder man ska utföra för att skydda kusten, detta tillsammans med observerade verkliga sedimenttransporter längs med kusten ger en bra bild över erosionsförhållandena (van Koningsveld och Mulder 2004).

De åtgärder som vidtas för att skydda kusten är nästan uteslutande strandfodring. Under 1990-talet fodrades stränderna årligen med 6 Mm³ sand, detta har under nuvarande decennium ökat till det dubbla för att säkerställa kustskyddet på längre sikt, 30 – 50 år. Designen av strandfodringarna utförs med hjälp av de profilmätningar som finns och beräkningarna av MCL, det område man räknar på är inom intervallet +12 till -20 m och beräknad livslängd för en strandfodring är ca 5 år. Med strandfodringarna anser man att målet med en hållbar säkerhetsnivå på funktionen av sanddyner och barriärer är uppnådd. Detta skydd är livsviktigt för Holland eftersom i stort sett hela landet skulle vara översvämmat om det saknades (van Koningsveld och Mulder 2004).



Figur 9-1. Bestämning av "Momentary Coastline, MCL". I figuren är $A = \text{zon för MCL [m}^2\text{]}$, $B = A/2D = \text{positionen för MCL [m]}$, $C = \text{avståndet mellan tån på sanddynen och en godtycklig referenslinje [m]}$.

9.2 PRAKTIKFALL

9.2.1 Lönstrup, Danmark

I Lönstrup på nordvästra Jylland har åtgärder vidtagits för att skydda kusten längs en sträcka på 1,1 km, med en by lokaliserad på toppen av en 25 m hög sand/lerklitt. Tillbakaryckningen av kustlinjen är i detta område i medeltal 1,4 m/år. Anledningen till att ett kustskyddsprogram blev aktuellt var en ökad risk för ett flertal hus i byn. Under en storm 1981, försvann 5 – 15 m av klitterna, vilket påskyndade processen med att ta fram ett sådant program för att minska riskerna. Målet med kustskyddsprogrammet var att stoppa tillbakaryckningen av klitterna för att säkerställa dess funktion även i framtiden.

En första strandfodring på 85 000 m³ utfördes 1983 (53 m³/m) framför en strandskoning som byggts 1982. Efter detta har det årligen genomförts strandfodringar med 20 000 m³/år (18 m³/m). Medelkornstorleken på den utfyllda sanden (D_{50}) har varit 0,315 mm. Höjden på stranden idag (2002) är densamma som när strandfodringarna startade, vilket betyder att erosionsförlusterna är lika stora som tillförseln av sand. Detta var också målet med den design som utfördes i det upprättade programmet 1983. I området har det utförts mätningar av bottengeometrin sedan 1970, från högsta toppen på klitterna och ut mot kusten till 20 m djup med ett intervall på 1 km längs med kusten, minst en gång vart annat år. Extra mätningar har genomförts av stranden och bottenpografin efter att den första strandfodringen ägde rum. Stranden har undersökts fyra gånger per år i linjer med ett inbördes avstånd av 25 m. Bottenpografin har under samma period undersökts varje år med ett intervall på 100 m längs med kusten (Hanson et al. 2002).

9.2.2 Hel Peninsula, Polen

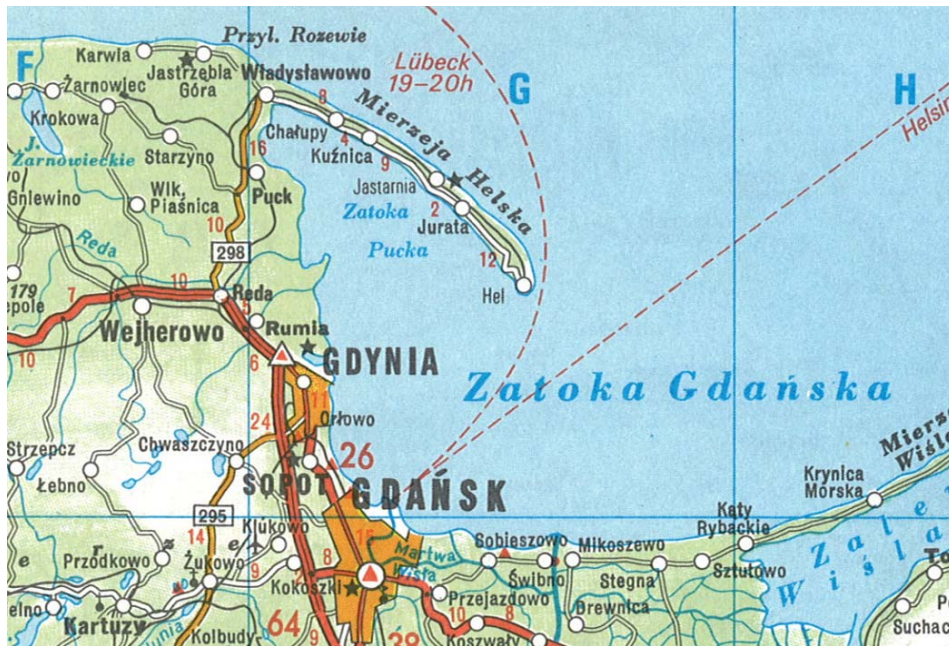
Hel Peninsula är en halvö i Östersjön belägen några kilometer norr om den polska staden Gdansk. Det är ett område med stora kustrelaterade problem och platsen har undersökts flera gånger av "The Institute of Hydroengineering of the Polish Academy of Sciences" i Gdansk (Ostrowski 2006). Halvön är uppbyggd av sandiga sediment (kornstorlek ($d_{50} \approx 0,18 - 0,25$ mm)). Området är lågt beläget och nästan 50 % av ytan ligger under nivån 2,5 m.ö.h. Halvön som är drygt tre mil lång är relativt smal med en minsta bredd på 200 m. Hel Peninsula, som är ett typiskt kustlandskap, är en välkänd rekreationsplats för både polska och utländska turister. Fem små städer/

byar finns lokaliserade på halvön och invånarantalet är ungefär 10 000, dvs. drygt 300 invånare/km² vilket är 2,5 gånger större än för övriga Polen. Under sommarsäsongen ökar befolkningen till ca fem gånger de fast boende.

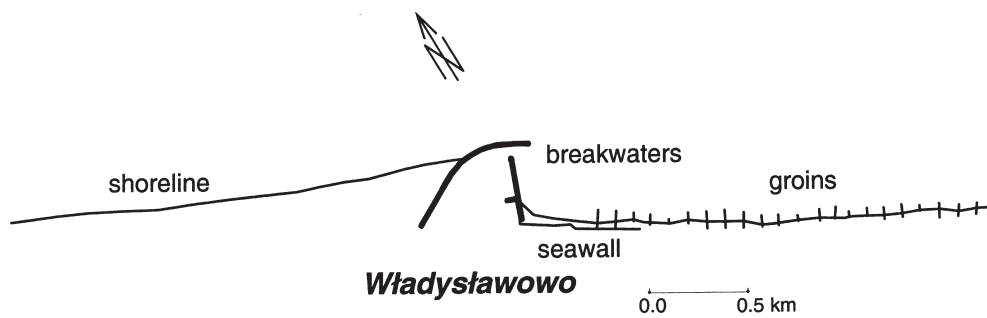
Hamnen i Wladyslawowo är lokaliserad vid Hel Peninsulas västra del mot Östersjökusten, se Figur 9-2 och Figur 9-5. Hamnen skyddas på den västra sidan av en 550 m lång vågbrytare (Figur 9-3) medan det på östra sidan av hamnen finns ett system av hövder ända fram till staden Kúznica, 12 km från hamnen. Sedimenttransporterna sker parallellt med kustlinjen från väst till öst. Hamnkonstruktionen i Wladyslawowo byggdes 1936 – 1937 och medförde att den kustparallella transporten av sand reducerades och sand ackumulerades på västra sidan av vågbrytaren. Samtidigt fortsatte sanden att erodera på östra sidan av hamnen. Erosion på denna kuststräcka pågick dock redan innan hamnen byggdes. Nettotransporten av sand parallellt med kusten väster om hamnen uppskattades under åren 1936 – 1938 till 70 000 m³/år med antagandet att ingen sand passerade hamnen.

På grund av den stora mängden sand som passerade skyddet väster om hamnen blev en muddring av inseglingsrännan nödvändig redan 1945. På den västra sidan av hamnen hade kustlinjen förflyttat sig ca 300 m ut jämfört med den ursprungliga kustlinjen. Östra sidan av hamnen som utsattes för kraftig erosion direkt efter att hamnen byggdes, förstärktes med ett hårt kustskydd i form av en betongkonstruktion, så kallade Tetrapods. Den första gruppen av hövder öster om hamnen byggdes efter kraftiga stormar under vintern 1946, där hövderna har ett inbördes avstånd på 90 m och med en längd av vardera 100 m vinkelrät kusten. Dessa hövder var gjorda av trä men allteftersom isen förstörde dem var det nödvändigt att förstärka hövderna med armerade betongpålar.

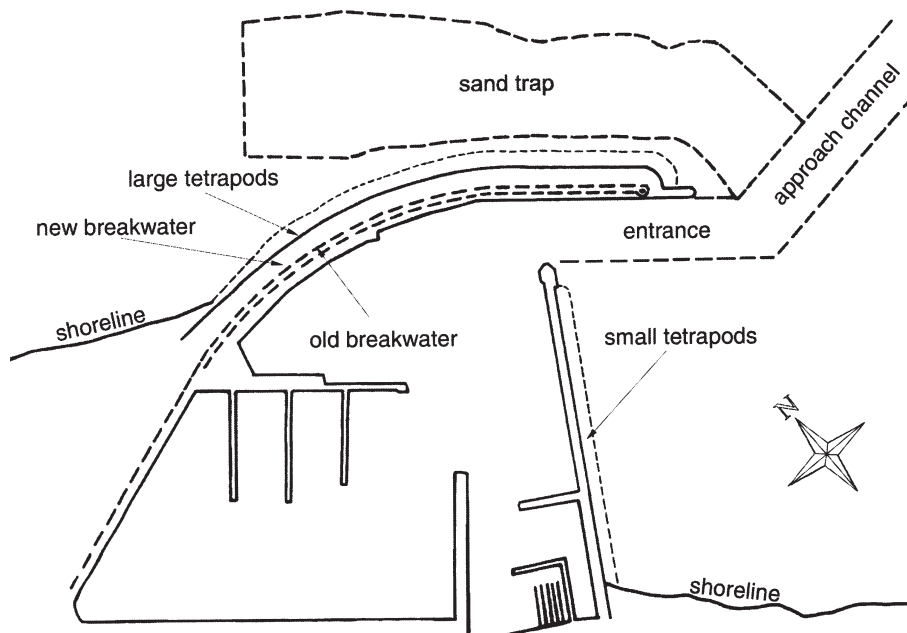
En sandfälla anlades utanför hamnen under 1965 (se Figur 9-4) för att fånga upp den sand som transporterades parallellt med kusten innan sanden nådde inseglingsrännan. Problemet var att den placerades något för långt ut, ca 100 m från vågbrytaren, vilket medförde att sand kunde transporteras närmast muren och avlagras i inseglingsrännan. Utredningar har visat att sandfällan för att vara effektiv ska vara placerad närmast vågbrytaren, vilket emellertid medför risk för vågbrytarens stabilitet. Idag är sandfällan placerad 25 – 40 m från vågbrytaren och



Figur 9-2. Översiktskarta över Hel Peninsula. Källa: M. Europa vägatlas, Lant-mäteriet, kartförlaget.



Figur 9-3. Hamnen i Władysławowo.



Figur 9-4. Hamnen i Władysławowo med sandfälla.



Figur 9-5. Hamnen i Wladyslawowo.

den sand som fångas upp används vid strandfodringar längs med Hel Peninsulas kust.

Strandfodring i Hel Peninsula har genomförts sedan slutet på 1970-talet, i början fodrades sanden en bit ut i havet på 3 – 5 m djup men sedan 1989 placeras sanden på stranden. Strandfodringar utförs längs med hela utsidan av halvön, se Figur 9-2. Sandmaterialet hämtas i huvudsak söder om halvön i Puck Bay samt från muddringar i och i närheten av Wladyslawowo hamn.

Fram till slutet av 1995 hade ungefär 7 miljoner m^3 sand fodrats på Hel Peninsulas stränder. Under 1996 – 1998 var strandfodringen inte lika omfattande, då fodrades totalt 1,7 miljoner m^3 . Strandfodringarna resulterade i revbildningar utanför Hel Peninsula, ökade strandbredder och högre sanddyner vilket innebar att kusten nu bedömdes vara motståndskraftig för 100-årsstormen. Strandfodringsarbeten, lokalisering och mängden sand som ska fodras planeras årligen med hjälp av kontinuerliga mätningar av kustens förändringar. Enligt uppskattningar av "The Maritime Office" i Gdynia (statlig myndighet med ansvar för skydd av kusterna) behöver ungefär 600 000 m^3 sand fodras årligen. Sanden läggs ut på stranden och fördelas naturligt i de kustnära zonerna, varvid en del av sanden ackumuleras efter ett tag som revlar.

Strandfodringsarbeten vid Hel Peninsula regleras enligt "Law on the establishment of a multi-year programme of shore protection" från 2003. Denna lag har tillämpats för sandtransport i närheten av hamnen i Wladyslawowo, strandfodring längs halvöns utsida och modernisering av kustskydd på halvöns södra sida.

9.3 EXEMPEL PÅ DIMENSIONERING AV STRANDUTFYLLNAD

I detta avsnitt ges ett exempel på hur de analytiska metoderna för preliminär utformning som diskuterats tidigare i rapporten kan användas i ett praktiskt fall. Syftet är inte att belysa alla tänkbara variationer och komplikationer man kan ställas inför. Istället belyses arbetsgången med ett enkelt och schematiserat fall för att arbetsgången ska vara lätt att följa.

Grundförutsättningar:

- Projektlängd = $L = 3$ km
- Strandplanets höjd = $B = 2$ m (över MVY)
- Strandplanets bredd = $W = 20$ m
- Profillutning vid kustlinjen = $m_0 = 1:15$
- Förändringsdjup = $D_C = 6$ m (under MVY)
- Medianvärde kornstorlek = $D_N = 0.22$ mm
- Bakgrundserosion = $E = 0,6$ m/år
- Vi har inga klitter, utan omedelbart bakom strandplanet ligger en slänt med en cykelväg på krönet.

Dimensionerande stormförhållanden

(storm med 50 års återkomsttid):

- Vattenståndsökning = $S = 1,6$ m
- Stormens varaktighet = $t_D = 48$ timmar
- Brytande våghöjd = $H_b = 3$ m
- Brytande vattendjup = $h_b = 3,3$ m

Bakgrundsförhållanden (medelsituation för de senaste 5 åren, som också förutsätts gälla för de närmast kommande åren):

- Brytande våghöjd = $H_b = 0,7$ m
- Brytande vattendjup = $h_b = 1,0$ m

Utfyllnadsmaterial:

- Medianvärde kornstorlek = $D_B = 0,22$ mm
- Överfyllnadsfaktor = $R_A = 1,05$

Målsättning med utfyllnad:

- Utforma strandbredden så att cykelvägen omedelbart bakom stranden inte eroderas bort av den dimensionerande stormen.
- Utöka strandbredden ytterligare så att en del av stranden kvarstår efter 3 år (då det är dags att återfylla)
- Beräkna den totala volymen sand som måste fyllas in initieellt för att möta dessa båda krav.

Lösning:

Steg 1. Analysera nuvarande erosionsrisk under dimensionerande storm.

Antag att vi har en jämviktsprofil. Tabell 8.1 ger värdet på skalparametrarna $A_N = A_B = 0,106 \text{ m}^{1/3}$ för $D_N = D_B = 0,22 \text{ mm}$.

Erosionspotentialen R_∞ fås enligt Ekvation (8-16) till

$$R_\infty = S \frac{W_b - \frac{h_b}{m_0}}{B + h_b - \frac{S}{2}} = 2 \frac{174 - (3.3/(1:15))}{2 + 3.3 - 1.6/2} = 44 \text{ m} \quad (9-1)$$

där bränningszonens bredd W_b ges av Ekvation (8-17) som

$$W_b = \left(\frac{h_b}{A}\right)^{3/2} = \left(\frac{3.3}{0.106}\right)^{3/2} = 174 \text{ m} \quad (9-2)$$

Tidsskalan i erosionförloppet fås ur Ekvation (8-18) enligt

$$T_s = 320 \frac{H_b^{3/2}}{g^{1/2} A^3} \left(1 + \frac{h_b}{B} + \frac{m_0 W_b}{h_b}\right)^{-1} = 320 \frac{3^{3/2}}{9.81^{1/2} 0.106^3} \left(1 + \frac{3.3}{2} + \frac{174}{15 \cdot 3.3}\right)^{-1} = 72370 \text{ sek} = 20.1 \text{ tim} \quad (9-3)$$

För att ta hänsyn till stormens varaktighet på erosionen använder vi Figur 8-19, som ger maximal relativ erosion R_{max}/R_∞ som funktion av stormens relativa varaktighet T_D/T_S (CEM 2003). En storm med varaktigheten 48 timmar ger ingångsvärdet $T_D/T_S = 30/20,1 = 1,49$. Detta ger $R_{max}/R_\infty = 0,47$. Således skulle en '50-årsstorm' erodera stranden med

$$R_{max} = 0,47 \cdot 44 = 22,1 \text{ m} \quad (9-4)$$

Med en initieell strandbredd på 15 m skulle således den dimensionerande stormen erodera $(22,1 - 15) = 7,1 \text{ m}$ på landsidan av cykelvägen.

Steg 2. Bestäm stormutfyllnadens bredd och motsvarande volym.

Stranden måste således fyllas ut med minst 7,1 m för att förhindra att cykelvägen eroderas under den dimensionerande stormen. Alltså

$$W_{storm} = 7,1 \text{ m} \quad (9-5)$$

Eftersom det utfyllda sedimentet har samma korstorlek som det ursprungliga kan vi använda principen om profilmförskjutning och vi får utfyllnadsvolymen enligt Ekvation 8-4 som

$$V_{storm} = W_{storm} (B + D_C) = 7,1(2+6) = 57 \text{ m}^3/\text{m} \quad (9-6)$$

eller totalt

$$V_{storm} = W_{storm} (B + D_C) L = 7,1(2+6)3000 = 170\,000 \text{ m}^3 \quad (9-7)$$

Steg 3. Beräkna bakgrundserosionen för de första 3 åren.

Enligt förutsättningarna uppgår bakgrundserosionen till i medeltal 0,6 m/år, således

$$W_{bak} = E \cdot 5 = 0,6 \cdot 3 = 1,8 \text{ m} \quad (9-8)$$

För att kompensera för såväl stormförlust som bakgrundserosion bör utfyllnadbredden uppgå till

$$W_{s+b} = W_{storm} + W_{bak} = 7,1 + 1,8 = 8,9 \text{ m} \quad (9-9)$$

Steg 4. Kompensera för den laterala spridningen under de 3 första åren.

Erosion på grund av lateral spridning – Antag att utfyllnaden initieellt är rektangulär. Vi kan då få spridningsförlusterna från Figur 8-17 för spridning av en rektangulär utfyllnad. Först görs en skattning av diffusionskoefficienten ε enligt Ekvation B-8

$$\varepsilon = \frac{H_b^{2.5}}{8(D_c + B)} \frac{K\sqrt{g/0.9}}{(\rho_s/\rho - 1)(1 - \lambda)} =$$

$$= \frac{0.7^{2.5}}{8(6+2)} \frac{0.7\sqrt{9.81/0.9}}{(2.65-1)0.6} = 0.015 \text{ m}^2/\text{s} = 472\,000 \text{ m}^2/\text{år}$$

(9-10)

där vi satte $K = 0,7$, $\lambda = 0,4$ och $\rho_s/\rho = 2,65$. För att bestämma inverkan av den laterala spridningen används Figur 7-17 med $a = L/2 = 1\,500$ m. Vi kan då uppskatta den dimensionslösa tiden t' enligt

$$t' = \frac{\varepsilon t}{a^2} = \frac{472\,000 \cdot 3}{1500^2} = 0.63$$

(9-11)

För detta värde på t' kan spridningen i utfyllnadens mitt uppskattas till cirka 0,62 och vid utfyllnadens flank till 0,48 efter 3 år. Sålunda är förhållandena vid flanken dimensionerande.

Steg 5. Initialutfyllnadens totala strandbredd och utfyllnadsvolym.

För att utfyllnadens bredd ska uppgå till 8,9 m (Ekvation 9-9) vid flanken efter 3 år måste utfyllnaden således initialt vara minst $W_{utfyll} = 8,9/0,48 = 18,5$ m bred.

Detta svarar mot en volym av 148 m^3 per meter strand eller totalt $V = 444\,000 \text{ m}^3$ sand.

Med hänsyn till överfyllnadsfaktorn $R_A = 1,05$ behöver vi alltså tillföra

$$V_{init} = 1,05V = 466\,000 \text{ m}^3$$

(9-12)

Steg 6. Kontroll av lösningen.

Med hjälp av Ekvation 8-13 kan vi beräkna hur stor del av utfyllnaden som finns kvar efter 5 år enligt

$$p(t) = 1 - \left(\frac{\sqrt{\varepsilon t}}{a\sqrt{\pi}} + \frac{Et}{W_{utfyll}} \right) = 1 - \left(\frac{\sqrt{472\,000 \cdot 3}}{1500\sqrt{3.14}} + \frac{0.6 \cdot 3}{18.5} \right) = 0.65$$

(9-13)

Vi räknar nu på det farligaste fallet och antar att utfyllnaden träffas av stormen precis i slutet av 3-årsperioden då vi har som minst material. Sålunda återstår vid slutet av 3-årsperioden (exkl. överfyllnad)

$$V_{rest} = 0,65V = 303\,000 \text{ m}^3$$

(9-14)

vilket är större än den mängd som erfordras för att skydda mot den dimensionerande stormen ($V_{storm} = 170\,000 \text{ m}^3$). Sålunda är lösningen acceptabel utifrån kravet på stormskydd.

Eftersom utfyllnadsvolymer till stor del bestäms av förhållandena vid flankerna och bara till mindre del av kravet på stormskydd bör man överväga att använda flankutfyllnader för att minska på utfyllnadsbehovet.

Appendix A

ÖVERFYLLNADSFAKTORN R_A

Ett sätt att bestämma det optimala ersättningsmaterialet utgår från James (1974; 1975) som presenterar en metod med vilken man kan bestämma hur kompatibelt utfyllnadsmaterialet är med det ursprungliga materialet. Metoden bygger på att man jämför de respektive kornstorleksfördelningarnas medianvärden och standardavvikelser med varandra för att beräkna en överfyllnadsfaktor R_A som definieras som den volym ersättningsmaterial (antal m^3) som krävs för att åstadkomma samma strandyta som $1 m^3$ av ursprungsmaterialet efter att materialet fördelats ut på profilen genom inverkan av vågorna.

Vid beräkningarna ska kornstorlekarnas medianvärden och standardavvikelser anges i phi, φ , enheter. Phi-skalan för att ange kornstorlek definieras som

$$\varphi = -\log_2 D = -\frac{\log D}{\log 2} \quad (\text{A-1})$$

där \log_2 är andralogarithmen, \log är tiologarithmen och D är partikeldiametern i mm. Tabell A- 1 ger förhållandet mellan φ och D . Det bör således observeras att ett större φ -värde svarar mot ett finare material.

Medianvärde M_φ respektive standardavvikelse σ_φ definieras i φ -enheter enligt

$$M_\varphi = \frac{\varphi_{16} + \varphi_{50} + \varphi_{84}}{3}$$

$$\sigma_\varphi = \frac{\varphi_{84} - \varphi_{16}}{4} + \frac{\varphi_{95} - \varphi_5}{6} \quad (\text{A-2})$$

där φ svarar mot i-percentilen för siktkurvan uttryckt i φ -enheter (Figur A- 1). Med dessa värden bestämda för såväl utfyllnadsmaterial som det ursprungliga strandma-

terialelet fås utfyllnadsfaktorn R_A ur Figur A- 2 där värdena på axlarna ges av:

$$\frac{\sigma_{\varphi b}}{\sigma_{\varphi n}} = \frac{\left[\frac{\varphi_{84} - \varphi_{16}}{4} + \frac{\varphi_{95} - \varphi_5}{6} \right]_b}{\left[\frac{\varphi_{84} - \varphi_{16}}{4} + \frac{\varphi_{95} - \varphi_5}{6} \right]_n} \quad (\text{A-3})$$

och

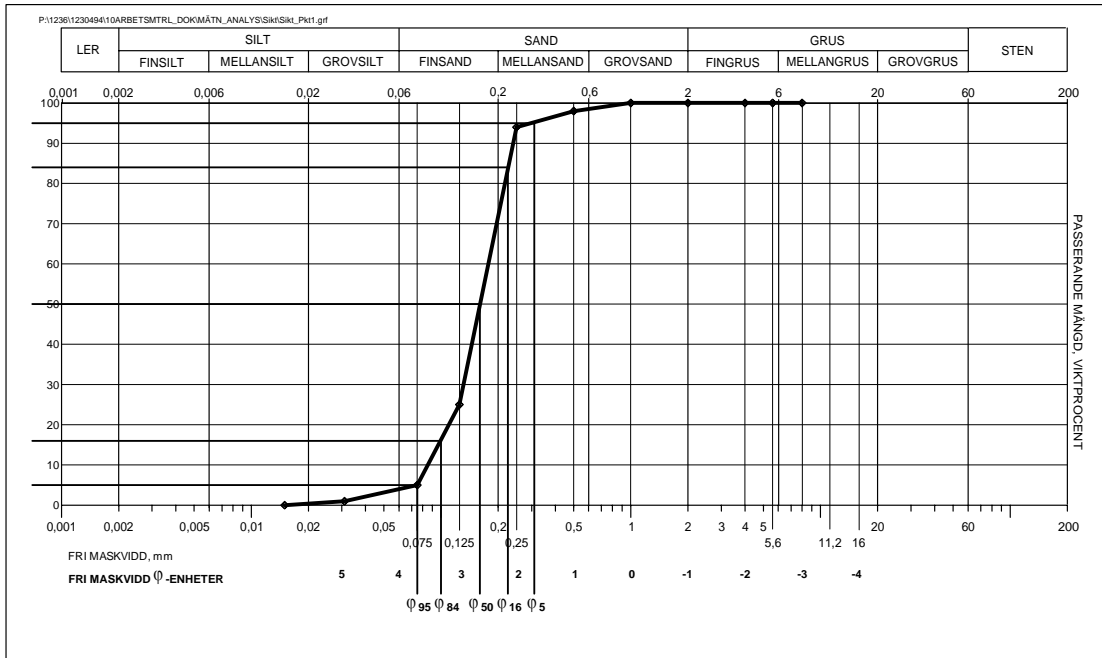
$$\frac{M_{\varphi b} - M_{\varphi n}}{\sigma_{\varphi n}} = \frac{\left[\frac{\varphi_{16} + \varphi_{50} + \varphi_{84}}{3} \right]_b - \left[\frac{\varphi_{16} + \varphi_{50} + \varphi_{84}}{3} \right]_n}{\left[\frac{\varphi_{84} - \varphi_{16}}{4} + \frac{\varphi_{95} - \varphi_5}{6} \right]_n} \quad (\text{A-4})$$

där $\sigma_{\varphi b}$ är standardavvikelsen för utfyllnadsmaterialet (index b refererar till ersättningsmaterialet, eng. *borrow material*), $\sigma_{\varphi n}$ är standardavvikelsen för ursprungsmaterialet (index n refererar till ursprungsmaterialet, eng. *native material*), $M_{\varphi b}$ är medeldiameter i φ -enheter för utfyllnadsmaterialet, $M_{\varphi n}$ är medeldiameter i φ -enheter för ursprungsmaterialet.

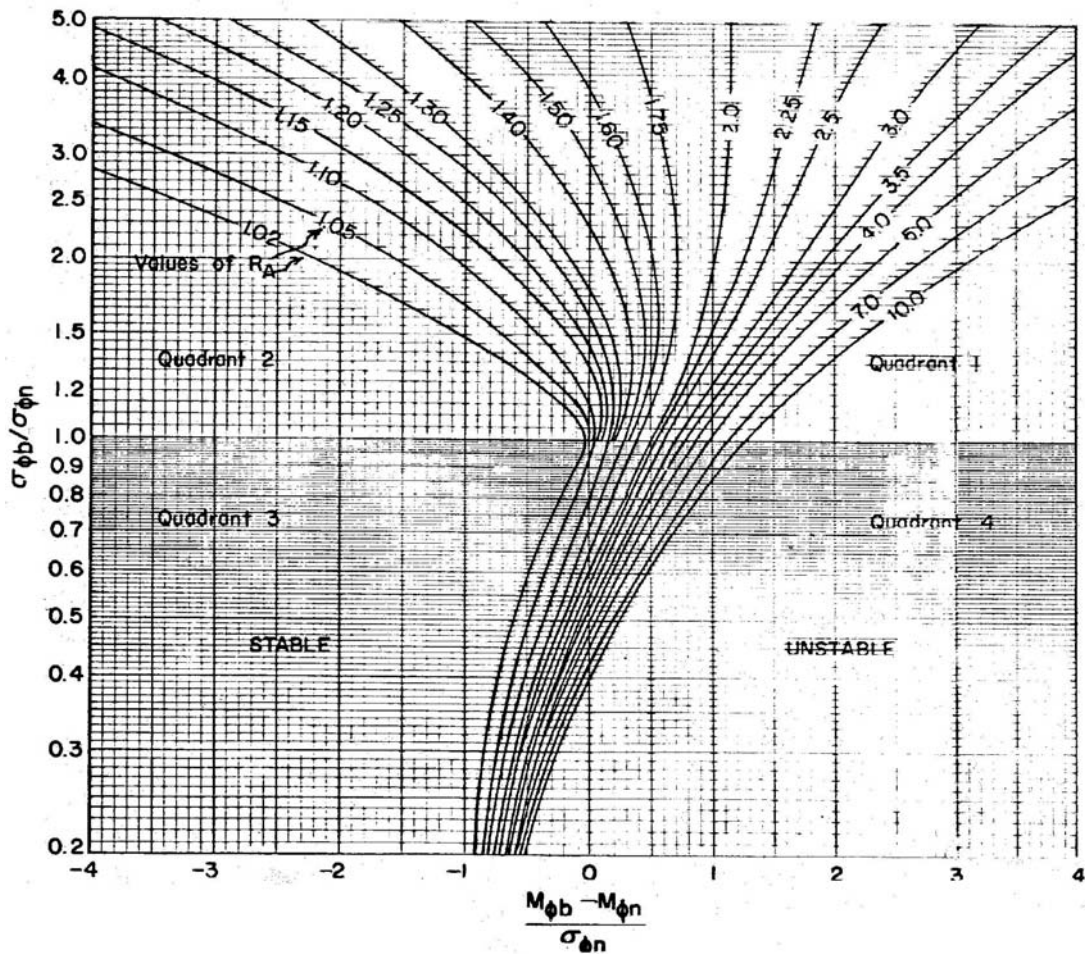
För att få ett mer exakt värde på R_A får man interpolera mellan kurvorna i Figur A-1. Enligt de rekommendationer som ges i CEM (2003) är ett utfyllnadsmaterial med en överfyllnadsfaktor på 1,0 till 1,05 optimalt för strandutfyllnadsändamål. Ett R_A -värde på t.ex. 1,05 betyder alltså att man behöver tillföra $1,05 m^3$ av utfyllnadsmaterialet för att åstadkomma samma strandyta som $1 m^3$ av ursprungsmaterialet resulterat i efter att materialet fördelats ut på profilen.

Tabell A- 1. Samband mellan φ -enheter och partikeldiameter D i mm.

φ	-3.0	-2.5	-2.0	-1.5	-1.0	-0.5	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
D	8.0	5.66	4.0	2.83	2.0	1.41	1.0	0.71	0.50	0.35	0.25	0.18	0.125



Figur A-1. Siktcurva med ϕ -percentiler. (Observera att ϕ_{95} svarar mot 5 % passerande mängd, osv.)



Figur A-2. Isoliner för överfyllnadsfaktorn R_A (James 1975).

Appendix B

ANALYTISK LÖSNING AV KUSTLINJEFÖRÄNDRINGAR

Vi betraktar en kort kuststräcka Δx (Figur B-1) vid en viss tidpunkt där kustens läge representeras av en kustprofil (heldragen profillinje i Figur B-1). Utmed profilen trans-porteras ett visst sedimentflöde som uppgår till $Q \text{ m}^3/\text{s}$ då det kommer fram till kuststräckan och som uppgår till $Q + \partial Q/\partial x$ då det lämnar kuststräckan, dvs. det skiljer lite mellan vad som kommer in och vad som går ut. Om vi antar att det är mer som kommer in under en viss tid t kommer sand att lägga sig utmed kuststräckan varför kusten flyt-tats ut en sträcka ∂y (streckad linje i Figur B-1).

Genom att tillämpa principen om kontinuitet av massa på kontrollvolymen i Figur B-1 kan vi ställa upp följande samband (Larson, Hanson and Kraus 1987)

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + (D_c + B) \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (\text{B-1})$$

där $Q \text{ [m}^3/\text{s]}$ är kustparallella transporten av sand, $x \text{ [m]}$ är koordinaten utmed kusten (vår baslinje längs kusten), $y \text{ [m]}$ är kustlinjens avstånd från baslinjen och $t \text{ [s]}$ är tiden. Uttrycket säger att om vi har en förändring av sedimentflödet Q utmed kusten $x (= \partial Q/\partial x)$ ger detta upphov till en förändring av kustens läge y över tiden $t (= \partial y/\partial t)$. För att kunna lösa ekvation (B-1) måste vi

också ha ett uttryck för det kustparallella sedimentflödet Q . Ett generellt uttryck för detta flöde kan tecknas som

$$Q = Q_o \sin 2\alpha_b \quad (\text{B-2})$$

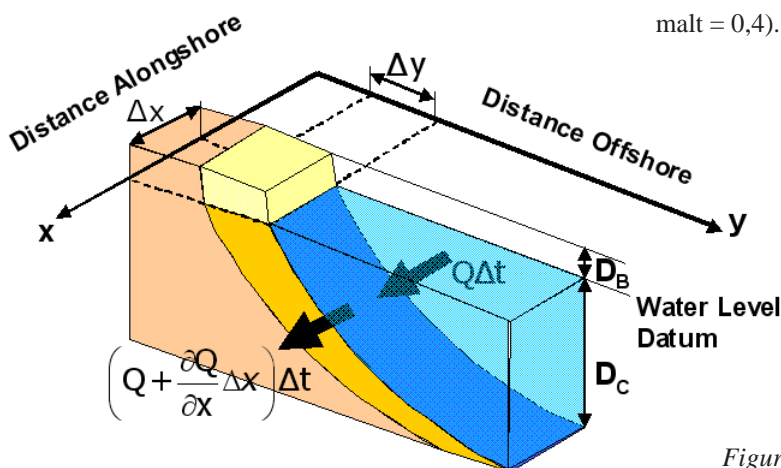
där $Q_o \text{ [m}^3/\text{s]}$ är sedimentflödets amplitud och $\alpha_b =$ vinkeln mellan den brytande vågen och kustlinjen. Denna vinkel kan skrivas som

$$\alpha_b = \alpha_o - \arctan\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right) \quad (\text{B-3})$$

där $\alpha_o =$ vinkeln mellan den brytande vågen och x-axeln och $\partial y/\partial x =$ kustlinjens lokala orientering. Det finns ett flertal uttryck för att beräkna sedimentflödets amplitud. Den vanligaste är den s.k. CERC-ekvationen (CERC = US Army Engineer Coastal Engineering Research Center) som kan skrivas (CEM 2003)

$$Q_o = \frac{\rho}{16} H_b^{2.5} \frac{K\sqrt{g/\gamma}}{(\rho_s - \rho)(1 - \lambda)} \quad (\text{B-4})$$

där $\rho_s \text{ (}\rho\text{) [kg/m}^3\text{]}$ är sandens (vattnets) densitet, $H_b \text{ [m]}$ är brytande vågornas höjd, $K \text{ [-]}$ är en dimensionslös empirisk konstant, $\gamma \text{ [-]}$ är förhållandet mellan brytande vågens höjd och vattendjup, och $\lambda \text{ [-]}$ sandens porositet (normalt = 0,4).



Figur B-1. Definitionsfigur av ingående storheter.

Om vi kombinerar ekvationerna B-2 och B-3 får vi

$$Q = Q_o \sin \left\{ 2 \left[\alpha_o - \arctan \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right) \right] \right\} \quad (\text{B-5})$$

Om vi antar små vinklar kan vi approximera (linearisera) $\sin \alpha \approx \alpha$ och $\tan \alpha \approx \alpha$, vilket gör att ekvation (B-5) kan skrivas

$$Q = Q_o \left(2\alpha_o - 2 \frac{\partial y}{\partial x} \right) \quad (\text{B-6})$$

Under antagande om att sedimentflödet Q och vågvinkeln α_b är konstanta (oberoende av x och t) kan följande uttryck härledas från ekvationerna (B-1) och (B-6) (Larson, Hanson and Kraus 1997)

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \varepsilon \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (\text{B-7})$$

där

$$\varepsilon = \frac{2Q_o}{(D_C + B)} = \frac{\rho}{8(D_C + B)} H_b^{2.5} \frac{K\sqrt{g/0.78}}{(\rho_s - \rho)(1 - \lambda)} \quad (\text{B-8})$$

Ekvation (B-7) är identisk med den s.k. värmeledningsekvationen (i en dimension, som beskriver ledningen av värme i fasta material) eller diffusionsekvationen och härleddes första gången i detta sammanhang av Pelnard-Considère (1956). Man kan sålunda hitta analytiska lösningar till många problem genom att hitta analogier med processer som låter sig beskrivas med värmelednings- eller diffusionsekvationen.

Carlaw and Jaeger (1959) presenterar ett stort antal lösningar för värmeledningsproblem liksom Crank (1975) ger lösningar till diffusionsproblem. Koefficienten ε , som har dimensionerna längd² över tid, tolkas i allmänhet som en diffusionskoefficient som i detta sammanhang kan ses som ett mått på hur snabbt en kustlinjeförändring uppstår till följd av en störning.

Appendix C

ORDLISTA – STRANDFODRING

I denna ordlista anges de uttryck som har betydelse speciellt för strandfodring. För övriga begrepp hänvisas till andra ordlistor.

Bakgrundserosion (eng. Background erosion)

Erosionstakten utmed en kust innan strandfodringen genomförs.

Batymetri (eng. Bathymetri)

Mätning av djup, vanligtvis till botten av hav och sjöar.

Flank (eng. Flank erosion)

Övergången mellan utfyllnaden och omgivande strand.

Flankutfyllnad (eng. Fill transition)

En avsmalnande utfyllnad som görs vid flanken av en utfyllnad i syfte att minska spridningsförlusterna längs kusten.

Friliggande vågbrytare (eng. Detached breakwater)

En vågbrytare som byggs ett stycke ut i vattnet utmed kusten i syfte att skydda innanförliggande strand mot erosion.

Förrådsstrand (eng. Feeder beach)

Upplag av sand i uppströmsänden av den strand eller t.o.m. helt uppströms om stranden som ska fyllas ut som, genom vågor och strömmar, transporteras in i sandfodringsområdet.

Förskottsutfyllnad (eng. Advance nourishment)

Den mängd sand som, utöver stormskyddsutfyllnaden, måste tillföras stranden för att kompensera för initieellt sandunderskott och erosionsförluster mellan två strandfodringstillfällen.

Förändringsdjupet (eng. Depth of closure)

Det största djup dit vågor och strömmar förmår åstadkomma några signifikanta förändringar i bottenprofilen.

Historisk erosionstakt (eng. Historical erosion rate)

Den takt med vilken en kust eroderar innan kusten strandfodrats, beräknad som ett genomsnitt över flera år.

Hot spot

Ett mindre, avgränsat område inom projektområdet där förlusten av sand är påtagligt större än utmed resten av utfyllnaden.

Hybridmetoden (eng. Hybrid method)

En metod för att kvantifiera hur mycket sand som måste tillföras för att åstadkomma en viss ökning av strandbredden. Metoden är en kombination av profilförskjutningsmetoden och jämviktsprofilmetoden.

Hövd (U.K. eng. Groyne; Am. eng. Groin)

Konstruktion som byggs från stranden och ut i vattnet (nära) vinkelrätt mot kustlinjen i syfte att blockera den kustparallella transporten av sediment.

Initialutfyllnad (eng. Initial nourishment)

Hela den sandmängd som måste tillföras initieellt, dvs. stormskyddsutfyllnad plus förskottsutfyllnad. Denna mängd säkerställer att profilen innehåller tillräckligt med sand ända fram till tidpunkten när stranden på nytt fylls ut med sand.

Initieell profilutjämning (eng. Initial equilibration)

Naturlig omfördelning av utfyllnadsmaterial genom inverkan av vågor och strömmar. Denna process förorsakas av att man av praktiska/ekonomiska skäl lägger materialet uppe på strandplanet och eventuellt ett stycke ut i vattnet och skapar en profil som avviker från jämviktsprofilen.

Jämviktsprofil (eng. Equilibrium profile)

Den form en kustprofil antar om den utsätts för kontinuerlig påverkan av vågor och vattenstånd som är oförändrade över tillräckligt lång tid.

Jämviktsprofilmetoden (eng. Equilibrium profile method)

En metod för att kvantifiera hur mycket sand som måste tillföras för att åstadkomma en viss ökning av strandbredden. Metoden förmår ta hänsyn till att den ursprungliga respektive den utfyllda profilen har olika jämviktsprofiler beroende på olika kornstorleksfördelning. Om kornstorleksfördelningen hos det naturliga respektive den utfyllda materialet är identiska, sammanfaller jämviktsprofilmetoden med profilförskjutningsmetoden.

Kompatibla material (eng. Compatible materials)

Naturligt strandmaterial och utfyllnadsmaterial med liknande kornstorleksfördelning.

Kustlinjeslänt (eng. Beach face eller Foreshore)

Den brantare delen av stranden i vattenlinjen.

Lateral spridning (eng. Lateral spreading)
Spridning utmed stranden av en strandutfyllnad, som sticker ut utanför den naturliga stranden, genom inverkan av vågor som strävar efter att jämna ut kustlinjen.

Morfologi (eng. Morphology)
Avlagringars geometriska former och egenskaper.

Morfodynamik (eng. Morphodynamic)
De formskapande processerna som verkar på sedimenten.

Muddringsfartyg
Frässugmudderverk (eng. Cutter Suction Dredge)
Hjulsugverk (eng. Wheel Suction Dredge)
Släpsugverk (eng. Trailing Suction Hopper Dredge)
Pater Nosterverk (eng. Bucket Ladder Dredge)
Crawl Cat (litet mudderverk vid små vattendjup)
Grävskopemudderverk (eng. Backhoe Dredge)

Profilmörförskjutningsmetoden (eng. Profile translation method)
En metod för att kvantifiera hur mycket sand som måste tillföras för att åstadkomma en viss ökning av strandbredden. Metoden bygger på att den ursprungliga respektive den utfyllda profilen har samma kornstorleksfördelning och därmed också samma jämviktsprofiler.

Revel (eng. Bar)
Smal och långsträckt sand- eller grusbank, som byggts upp på sjö- eller havsbotten genom vågors eller strömmars inverkan.

Sandupplag (eng. Stockpile)
Sand som läggs upp bakom klitterna (eller någon annanstans utanför det aktiva strandsystemet) för att användas i en framtida utfyllnad.

Sandåterföring (eng. Back passing)
Sand som förlorats från utfyllnaden, deponeras utanför strandfodringsområdet (naturligt eller genom åtgärder) för att sedan transporteras tillbaka till strandfodringsområdet.

Sedimentologi
Beskrivning av sediment(kornen) i en avlagring, inklusive deras egenskaper, ursprung och de styrande avsättningsprocesserna.

Spridningsförluster (eng. Spreading losses)
Förlust av utfyllnadsmaterial utmed stranden på grund av lateral spridning genom inverkan av vågor som strävar efter att jämna ut kustlinjen.

Stormskyddsutfyllnad (eng. Storm protection nourishment)

Den minsta mängd sand som måste finnas i strandprofilen för att den ska kunna stå emot en viss dimensionerande storm.

Strandfodring (eng. Beach nourishment eller Beach fill)
En kustskyddsmetod som innebär att en utfyllnad läggs på en strand i syfte att tillskapa erforderlig strandbredd och/eller skydd mot erosion och översvämning. Erosionen tillåts fortsätta i utfyllnaden istället för i befintlig strand varför ytterligare sand normalt måste tillföras efter ett visst antal år. I begreppet strandfodring ingår alla de åtgärder som erfordras för att utvinna och fylla material inklusive undersökning, kontroll och tillståndsprövning.

Strandskoning (eng. Seawall, Bulkhead eller Revetment)
Hårdgjord slänt i vattenlinjen eller uppe på en strand som löper utmed kusten i syfte att skilja land ifrån vatten.

Strandutfyllnad (eng. Beach fill eller Beach nourishment)
Den sandvolym som läggs på en strand vid en strandfodringsåtgärd. Sanden kan läggas uppe på strandplanet och/eller i den kustnära profilen.

Stratigrafi (eng. Stratigraphy)
Lagerföljder i en avlagring, inklusive lagernas form, orientering, inbördes förhållande, ursprung, ålder och innehåll.

Utfyllnadsprofilen (eng. Design profile)
Den profil som man vill att utfyllnaden ska resultera i efter att den tillförda sanden omfördelats av vågor och strömmar. Profilen innefattar klitter, strandplan och profilen under vatten ut till förändringsdjupet.

Utförandemall (eng. Construction template)
Den stiliserade profil som utfyllnaden ska ha vid färdigställandet innan utfyllnadsmaterialet fördelats över profilen av vågor och strömmar. Mallen är den tvärsnitt som entreprenören har att arbeta efter i sitt utfyllnadsarbete.

Återfyllnad (eng. Renourishment)
Upprepade strandfodringar för att kompensera för förluster av material från utfyllnaden över tiden.

Överfyllnadsfaktor (eng. Overfill factor)
Anger vilken volym ersättningsmaterial (antal m³) som krävs för att åstadkomma samma strandyta som 1 m³ av ursprungsmaterialet efter att materialet fördelats ut på profilen genom inverkan av vågorna.

Överfyllnadsmetoden (eng. Overfill method)
En metod för att kvantifiera hur skillnaden i kornstorleksfördelning mellan det ursprungliga materialet och utfyllnadsmaterialet påverkar utfyllnaden. Metoden bygger på en beräkning av överfyllnadsfaktorn.

Appendix D

REFERENSER

Internet

Sveriges geologiska undersökning – www.sgu.se

Statens geotekniska institut – www.swedgeo.se

Naturvårdsverket – www.naturvardsverket.se

Svenska Geotekniska Föreningen – www.sgf.net

IHC Holland Merwede – www.ihcholland.com

SMHI – www.smhi.se

US Army Corps of Engineers – <http://cirp.wes.army.mil/cirp/adjacent/sbas/sbas.html>

US Army Corps of Engineers – <http://chl.ercd.usace.army.mil/chl.aspx?p=Publications>

Scottish Natural Heritage – www.snh.org.uk

Litteratur

Bodge, K.R., Creed, C.G., and Raichle, A. W. (1996). Improving Input Wave Data for Use with Shoreline Change Models. *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE 122 (5), pp 259-263.

Bottin, R.R., Jr., and Earickson, J.A. (1984). Buhne Point, Humboldt Bay, California, Design for the Prevention of Shoreline Erosion; Hydraulic and Numerical Model Investigation. Technical Report CERC84-5, Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

Bruun, P. (1954). Coast Erosion and the Development of Beach Profiles. Tech. Memo No. 44, U.S. Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board, Washington, D.C.

Bruun, P. and Willekes, G. (1992). Bypassing and Back-passing at Harbors, Navigation Channels, and Tidal Estuaries: The Use of Shallow-Water Draft Hopper Dredges with Pump-Out Capabilities. *J. Coastal Research*, 8(4), 972-977.

Carslaw, H., and Jaeger, J. (1959). *Conduction of Heat in Solids*, Clarendon Press, Oxford.

CEM (2003). *Coastal Engineering Manual*. Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C. (in 6 volumes).

Cornett, A. (2004). *Hydraulic Model Study of a Beach Stabilization Scheme*, Seagate, Coney Island, New York. National Research Council Canada, Report CHC-CTR-036, 241 pp.

Crank, J. (1975). *The Mathematics of Diffusion*, 2nd ed., Clarendon Press, Oxford.

CUR (1987). *Manual on artificial beach nourishment*, CUR-report 130, Gouda, ISBN 90.212.6078.6, 195 pp.

Dean, R.G. (1977). *Equilibrium Beach Profiles: U.S. Atlantic and Gulf Coasts*. Tech. Rep. No. 12, Univ. of Delaware.

Dean, R.G. (1983). *CRC handbook of coastal processes and erosion*, Komar, P.D., editor, CRC Press Inc., Boca Raton, Fla., 217-232.

Dean, R.G. (1991). *Equilibrium Beach Profiles: Characteristics and Applications*. *J. Coastal Research* 7(1), pp 53-84.

Dean, R.G. (2002). *Beach Nourishment: Theory and Practice*. *Advanced Series in Ocean Engineering* – Vol. 18, World Scientific, 379 pp., Singapore.

Erlingsson, U. (1990). *Geomorphological Development of the Bottoms off Österlen, Southernmost Sweden*. UNGI Report No. 76, Dept. of Physical Geography, Uppsala University.

Europaparlamentets och Rådets rekommendation om genomförandet av en integrerad förvaltning av kustområden i Europa. 2002/413/EG, Europeiska gemenskapernas officiella tidning.

EuroSION (2004). *Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability*. Part 1 – Major findings and policy recommendations of the euroSION project.

Fälthandbok (2004). *Miljötekniska markundersökningar*. SGF Rapport 1:2004. Svenska Geotekniska Föreningen.

Geoteknisk fälthandbok (1996). *Allmänna råd och metodbeskrivningar*. SGF Rapport 1:96. Svenska Geotekniska Föreningen.

- Gravens, M.B., Kraus, N.C., and Hanson, H. (1991). GENESIS - Generalized Model for Simulating Shoreline Change. Vol. 2: Workbook and Users Manual, Instruction Report CERC-89-19, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, 431 pp.
- Gravens, M.B. and Wang, P. (2004). Data Report: LSTF Experiments - Transport by Waves and Currents & Tombolo Development Behind Headland Structures, US Army Engineer Research and Development Center, Report ERDC/CHL TR-04-___. (in print)
- Gray, D.H and Sotir, R.B (1996). Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization. A Practical Guide for Erosion Control. John Wiley & Sons, Inc.
- Guidelines for economic analyses of coastal erosion protection measures. Messina, 2006. Under publicering.
- Hallermeier, R.J. (1983). Sand Transport Limits in Coastal Structure Design. Proc. Coastal Structures '83, ASCE, 219-235.
- Hamm, L., Capobianco, M., Dette, H.H., Lechuga, A., Spanhoff, R and Stive, M.J.F. (2002). A summary of European experience with shore nourishment. Coastal Engineering 2002.
- Hanson, H., Brampton, A., Capobianco, M., Dette, H.H., Hamm, L., Lastrup, C., Lechuga, A. and Spanhoff, R. (2002). Beach nourishment projects, practices, and objectives – a European overview. Coastal Engineering 2002.
- Hanson, H. (1987). GENESIS - A Generalized Shoreline Change Numerical Model for Engineering Use. Ph.D. Thesis, Dept. of Water Resources Eng., Lund Inst. of Tech./Univ. of Lund, Report No. 1007, 206 pp
- Hanson, H. and Kraus, N.C. (1989). GENESIS - Generalized Model for Simulating Shoreline Change. Vol. 1: Reference Manual and Users Guide, Technical Report CERC-89-19, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, 247 pp.
- Hanson, H. and Kraus, N.C. (1993). Optimization of Beach Fill Transitions. In "Beach Nourishment Engineering and Management Considerations," Stauble, D.K. and Kraus, N.C. (Vol. Eds.), Proc. Coastal Zone '93, ASCE, 103-117.
- Hanson, H. and Kraus, N.C. (2004). Advancements in One-Line Modeling of T-Head Groins: (Genesis-T), in Rankin, K. and Kraus, N.C. (eds.) Functioning and Design of Coastal Groins - The Interaction of Groins and the Beach: Processes and Planning. Journal of Coastal Research, SI No. 33, pp. 315-323.
- Hanson, H., Kraus, N.C., and Nakashima, L. (1989). Shoreline Change Behind Transmissive Detached Breakwaters. Proc. Coastal Zone '89, ASCE, pp. 568-582.
- Hanson, H. and Larson, M. (2004). Wave Directional Characteristics as a Design Criterion for Groin Structures. In Rankin, K. and Kraus, N.C. (eds.) Functioning and Design of Coastal Groins - The Interaction of Groins and the Beach: Processes and Planning, Journal of Coastal Research, SI No. 33, pp. 188-197.
- Hellemaa, P. (1999). The Development of Coastal Dunes And Their Vegetation in Finland. Ph.D. Thesis Dept. of Geography, University of Helsinki, Finland.
- James, W.R. (1974). Borrow Material Texture and Beach Fill Stability. Proc. 14th Int. Coastal Eng. Conf., ASCE, pp. 1334-1344.
- James, W.R. (1975). Techniques in Evaluating Suitability of Borrow Material for Beach Nourishment. Tech. Memo No. 60, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center.
- Johansson, L. (2003). Stranderosionsskydd. Typer – Dimensionering – Modellering. Statens geotekniska institut, Varia 532, Linköping.
- Johansson, L. och Odén, K. (2005). Dimensionering och modellering av erosionsskydd. Statens geotekniska institut, Varia 558, Linköping.
- Johnson, R.O., and Nelson, W.G. (1985). Biological Effects of Dredging in an Offshore Borrow Area. Biological Sciences 3, pp 166-188.
- Kamphuis, J.W. (2006). Coastal engineering –quo vadis? Coastal Engineering, vol 53, no 2-3, pp.133-140.
- Kraus, N.C. and Galgano, F.A. (2001). Beach erosion hot spots: Types, causes, and solutions. Coastal and Hydraulics Engineering Technical Note ERDC/CHL CHETN-II-44, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. (<http://chl.wes.army.mil/library/publications/chetn>)
- Kraus, N.C., Hanson, H., and Blomgren, S.H. (1994). Modern Functional Design of Groin Systems. Proc. 24th Int. Coastal Eng. Conf., ASCE, pp. 1327-1342.
- Kriebel, D.L. (2002). Beach Nourishment. Short Course Presentation, Coastal Disasters '02, ASCE.
- Kriebel, D.L., and Dean, R.G. (1993). Convolution Method for Time-Dependent Beach-Profile Response. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol 119, No. 2, pp 204-227.
- Krumbein, W.C. (1957). A Method for Specification of Sand for Beach Fills. Tech. Memo No. 102, U.S. Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board, Washington, D.C.

- Krumbein, W.C. and James, W.R. (1965). A Log-normal Size Distribution Model for Estimating Stability of Beach Fill Material. Tech. Memo No. 16, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center.
- Larson, M., Hanson, H., and Kraus, N.C. (1987). Analytical Solutions of the One line Model of Shoreline Change. Technical Report CERC 87 15, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, 100 pp.
- Larson, M., Hanson, H., and Kraus, N.C. (1997). Analytical Solutions of the One-Line Model of Shoreline Change Near Coastal Structures. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng.*, Vol. 123, No. 4, ASCE. pp. 180-191.
- Larson, M., and Kraus, N. C. (1989). SBEACH: Numerical Model for Simulating Storm-Induced Beach Change, Report 1 - Empirical Foundation and Model Development. Technical Report CERC-89-9, Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Larson, M. and Kraus, N.C. (1991). Mathematical Modeling of the Fate of a Beach Fill. Coastal Engineering, Special Issue on "Artificial Beach Nourishments," van de Graaf, J., Niemeyer, H.D., and van Overeem, J. (Eds.), (16), 83-114.
- Larson, M., and Kraus, N.C. (1998). SBEACH: Numerical Model for Simulating Storm-Induced Beach Change, Report 5 - Representation of Non-erodible (Hard) Bottoms. Technical Report CHL-98-9, Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Larson, M., Kraus, N.C., and Byrnes, M. R. (1990). SBEACH: Numerical Model for Simulating Storm-Induced Beach Change, Report 2 - Numerical Formulation and Model Tests. Technical Report CERC-89-9, Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Lastrup, C. och Toxvig Madsen, H. (1998). Evaluation of the Effect of 20 Years of Nourishment. Coastal Engineering 1998.
- Lastrup, C. (2001). Coastal Protection Strategies, Denmark. *Danish Coastal Authority*.
- Lerman, P. och Rydell, B. (2003). Ansvar och regler vid stranderosion. Statens geotekniska institut, Varia 534, Linköping.
- Meisberger, E.P. (1990). Exploration and sampling techniques for borrow areas. Technical Report CERC90-18, Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Meisberger, E.P., and Field, M.E. (1975). Geomorphology, Shallow Structure, and Sediments of the Florida Inner Continental Shelf, Cape Canaveral to Georgia. Technical Memorandum No. 54, Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- MOPU. (1998). Actuaciones en la Costa. Broschyr från Ministerio de Obras Publicas, Direccion General de Puertos y Costas, Madrid, Spanien.
- Nelson, W.G. (1985). Guidelines for Beach Restoration Projects. Report SRG-76, Florida Sea Grant College, Gainesville, FL.
- NRC (National Research Council), (1995). Beach Nourishment and Protection, National Academy Press, Washington, DC.
- Om integrerad kustförvaltning: En gemenskapsstrategi. Meddelande från Kommissionen till Rådet och Europaparlamentet. KOM(2000)547. Bryssel, 2000.
- Pelnard-Considère, R. (1956). Essai de Theorie de l'Evolution des Forms de Rivage en Plage de Sable et de Galets. 4th Journee de L'Hydraulique, Les Energies de la Mer, Question III, Rapport No. 1, 289-298.
- Personlig kommunikation med the National Institute of Coastal and Marine Management (RIKZ), Nederländerna, 2005.
- Personlig kommunikation med Kystdirektoratet, Danmark, 2005.
- Personlig kommunikation med Rafal Ostrowski, Institute of Hydroengineering of the Polish Academy of Sciences, Polen 2005.
- Prins, D. A. (1980). Data Collection Methods for Sand Inventory-Type Surveys. Technical Report CERC80-4, Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Rankka, K. och Rankka, W. (2003). Mekanismer vid stranderosion. Statens geotekniska institut, Varia 533, Linköping.
- Richardson, T.W. (1976). Beach Nourishment Techniques: Report 1, Dredging Systems for Beach Nourishment from Offshore Sources. TR H-76-13, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Roelse, P., Coosen, J., and Minneboo, F.A.J. (1991). Beach Nourishment and Monitoring Programme. Coastal Engineering, Special Issue on "Artificial Beach Nourishments," van de Graaf, J., Niemeyer, H.D., and van Overeem, J. (Eds.), (16), 43-59.
- Rosati, J.D. (2005). Concepts in Sediment Budgets. *J. Coastal Research* 21(2), 307-322.

- Rosati, J.D., Wise, R.A., Kraus, N.C., and Larson, M. (1993). SBEACH: Numerical Model for Simulating Storm-Induced Beach Change, Report 3 - User's Manual. Instruction Report CERC-93-2, Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Savage, R. P., and Woodhouse, W. W., Jr. (1969). Creation and Stabilization of Coastal Barrier Dunes. Proc. 11th Int. Conf. on Coastal Engineering, ASCE, 671-700.
- Smith, S.J., and Ebersole, B.A. (1997). Numerical Modeling Evaluation of Hot Spots at Ocean City, Maryland. Proc. 10th National Conference on Beach Preservation Technology. Florida Shore & Beach Preservation Association, pp 230-245.
- SPM (1984). Shore Protection Manual. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Stauble, D.K. and Gravens, M.B. (2004). Identification of and Remedial Approaches to Hot Spots. Coastal and Hydraulics Engineering Technical Note ERDC/CHL CHETN-II-47, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. (<http://chl.wes.army.mil/library/publications/chetn>)
- Stauble, D.K., and Nelson, W.G. (1984). Beach Restoration Guidelines: Prescription for Project Success. In *The New Threat to Beach Preservation*. L. Tate, (ed.), Florida Shore and Beach Preservation Society, Tallahassee, FL, pp 137-155.
- Steetzel, H.J. (1993). Cross-Shore Transport During Storm Surges; Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, Delft.
- Swart, D.H. (1991). Beach Nourishment and Particle Size Effects. Coastal Engineering, Special Issue on "Artificial Beach Nourishments," van de Graaf, J., Niemeyer, H.D., and van Overeem, J. (Eds.), (16), 61-81.
- Uytewaal, E., Persson, M. (2005). Socio-economic methods for evaluation decisions in coastal erosion management - State-of-the-art. Messina project, Interreg IIIC.
- van Oorschot, J.H. and van Raalte, G.H. (1991). Beach Nourishments; Execution Methods and Developments in Technology. Coastal Engineering, Special Issue on "Artificial Beach Nourishments," van de Graaf, J., Niemeyer, H.D., and van Overeem, J. (Eds.), (16), 23-42.
- Van Koningsveld, M. och Mulder J.P.M. (2004). Sustainable coastal policy developments in the Netherlands. A systematic approach revealed.
- Verhagen, H.J. (1992). Method for artificial beach nourishment, Proc. 23rd Int. Conf. on Coastal Engineering, ASCE, 2474-2485.
- Walton, T.W., Jr. (1994). Shoreline Solution for Tapered Beach Fill. J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering 120(6), ASCE, pp 651-655.
- Wamsley, T., Kraus, N.C., and Hanson, H. (2003). Shoreline Response to Breakwaters with Time-dependent Wave Transmissivity. Proc. Coastal Sediments '03, ASCE, 11 pp. (CD)
- Wise, R.A., Smith S.J. and Larson M. (1996). SBEACH: Numerical Model for Simulating Storm-Induced Beach Change, Report 4 - Cross-shore Transport Under Random Waves and Model Validation with SUPERTANK and Field Data. Technical Report CERC-89-9, Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.



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