

# **GHID DE PROIECTARE ȘI EXECUȚIE PRIVIND REALIZAREA ȘI MENȚINEREA PRIN ÎNNISIPARE ARTIFICIALĂ A PLAJELOR, indicativ GP 103-04**

## **1. PREVEDERI GENERALE**

### **1.1. Obiectul ghidului**

Ghidul crează un cadru unitar și are ca obiectiv stabilirea principiilor de proiectare și execuție pentru realizarea și menținerea prin înnisipare artificială a plajelor, în condițiile de eficiență și protecție a țărmului sau plajelor, cu afectarea cât mai redusă a mediului.

Obiectul ghidului îl constituie prezentarea metodei de înnisipare artificială pentru crearea sau protejarea plajelor, ca soluție de sine stătătoare sau în combinație cu soluții de protecție “grele”, față de fenomenul de eroziune marină.

Ghidul prezintă condițiile în care înnisiparea artificială este eficientă, condițiile tehnice ce trebuie îndeplinite de materialul de împrumut și criteriile de alegere a sursei acestuia, principiile de proiectare a unei lucrări de înnisipare artificială, incluzând volumul necesar de umplutură și modul de punere în operă, precum și monitorizarea lucrării și a sursei de împrumut, atât înainte de execuție cât și după.

Înnisiparea artificială se înscrie între soluțiile “ușoare” și “active” de protecție costieră, care sunt concepute astfel încât să lucreze împreună cu natura, folosind sistemele naturale, modelându-se corespunzător energiei valurilor și vânturilor. Această abordare are beneficii economice, minimizând în același timp impactul asupra mediului pe care îl au structurile tradiționale. În practică, majoritatea protecțiilor costiere constau în combinații ale celor două tipuri de soluții, “ușoare” și “grele”.

Proiectele de înnisipare artificială implică așezarea nisipului în lungul plajelor pentru a înlocui materialul pierdut prin eroziune sau pentru a lăți plajele. Plajele acționează ca un tampon între uscat și mare. Înnisiparea are ca scop mărirea lățimii și înălțimii unei plaje erodate, pentru a reface rolul ei protector, sau pentru a se crea o zonă mai mare pentru agrement.

Deși implică costuri de alimentare periodică, înnisiparea artificială este considerată ca o opțiune față de construcția structurilor “grele” cum sunt epiurile, protecțiile, zidurile, care în mod ideal ar reduce eroziunea pe termen lung a țărmului.

Materialul de umplutură care se pierde din zona care se înnisipează alimentează plajele adiacente, având efecte benefice atât în amonte cât și în aval.

Proiectarea unei lucrări de înnisipare artificială se referă de asemenea la materialul de împrumut care va fi pus în operă pe plajă, care trebuie să îndeplinească anumite condiții de calitate.

## **1.2. Domeniul de aplicare a înnisipării artificiale**

Ghidul se aplică la protejarea, refacerea sau crearea plajelor, în vederea consolidării zonei costiere.

Înnisipările artificiale sunt utilizate la țămuri erodate în mod natural, care au o alimentare deficitară cu sedimente.

## **1.3. Armonizarea cu normele UE**

Proiectarea și execuția se vor realiza în conformitate cu prevederile legilor românești privind apele costiere și protecția mediului, precum și ale Legii nr. 10/1995, urmărindu-se realizarea și menținerea pe întreaga durată de existență a lucrării a cerințelor de calitate obligatorii: rezistența și stabilitatea, siguranța în exploatare, igiena și sănătatea oamenilor, refacerea și protecția mediului.

Recomandările ghidului sunt în conformitate cu prevederile Capitolului V – Protecție costieră din Codul European de Gospodărire a Zonelor Costiere, adoptat oficial în aprilie 1999 de către Consiliul Ministerelor Europene. Acesta furnizează îndrumări practice pentru agențiile publice, autoritățile locale, utilizatorii coastei, privind dezvoltarea durabilă din punct de vedere ecologic a zonei costiere.

La elaborarea ghidului s-a avut în vedere EUROCODE 7 (fundații și inginerie geotehnică), precum și prevederile directivelor Uniunii Europene: Directiva CEE nr. 76/160 privind calitatea apelor de îmbăiere, Directiva 85/337/EEC amendată prin Directiva Consiliului 97/11/EC privind evaluarea efectelor anumitor proiecte publice și private asupra mediului, preluate în normele românești prezentate în capitolul 10 - Lista documentelor normative conexe.

## **1.4. Utilizatori**

Ghidul se adresează proiectanților în procesul de concepere a lucrărilor de consolidare costieră și de întocmire a caietelor de sarcini ale documentațiilor de licitație și a detaliilor de execuție, verificatorilor de proiecte, experților tehnici, responsabililor tehnici cu execuția, beneficiarilor lucrărilor, antreprenorilor, organelor administrației publice centrale și locale cu atribuții în domeniu, prestatorilor de servicii (societăți comerciale ce concesionează plaje) etc.

Orice activitate de construcții desfășurată pe plaje sau tangențial cu acestea, inclusiv lucrările de înnisipare artificială, se va face numai cu acceptul organului teritorial de gospodărire a apelor.

## **2. CAUZELE EROZIUNII**

### **2.1. Cauze generale**

Eroziunea plajelor rezultă ca urmare a tulburării echilibrului natural între alimentarea și pierderea de material de proveniență naturală, terigen sau cochilifer, sub acțiunea aleatoare și combinată a valurilor, curenților marini, variației nivelului mării și vântului.

Deși cele mai importante incidente ale eroziunii de coastă apar în timpul furtunilor, există multe alte cauze, naturale sau antropice, care trebuiesc examinate.

### 2.1.1 Cauze naturale

a) *Varietatea alimentării cu sedimente a zonei litoralului.* Schimbările ce se petrec în modelul climatic și care cauzează secete, pot avea ca rezultat reducerea alimentării zonei de coastă cu sedimente transportate de râuri.

b) *Valurile de furtună.* Valurile scurte ale unei furtuni de coastă transportă nisipul în larg fiind temporar depozitat într-o bară de nisip sau de aluviuni. Plaja se poate reface într-un interval mai mare de timp cu ajutorul transportului natural al acestui material la țărm, dar în cele mai multe cazuri, o parte din material este pierdut pentru totdeauna în zona mai adâncă din larg.

c) *Valurile care deversează* sunt un fenomen care apare în timpul perioadelor de furtună. Valurile și deversările erodează plaja, transportând și depozitând materialul erodat în zona țărmului.

d) *Deflația.* Transportul materialului fin și afânat de pe plajă prin acțiunea vântului poate fi o cauză semnificativă a eroziunii.

e) *Transportul sedimentelor în lungul țărmului.* Nisipul este transportat în lungul țărmului de curentul produs de valurile care se sparg de țărm sub un anumit unghi de incidență. În cazul în care capacitatea de transport a curentului generat de-a lungul țărmului de aceste valuri depășește cantitatea normală de sedimente care alimentează plaja, aceasta se erodează.

f) *Sortarea sedimentelor plajei.* Sortarea sedimentelor plajei datorată acțiunii valurilor, are ca rezultat redistribuirea selectivă a particulelor de sedimente (nisip, scoici și pietriș) pe suprafața plajei în funcție de mărimea sau proprietățile hidraulice, producându-se pierderi de material fin din zona de apă din vecinătatea coastei și reținerea materialului grosier din zona de valuri.

### 2.1.2 Cauze antropice

a) *Întreruperea transportului aluvionar.* Acest factor este cea mai importantă cauză a eroziunii produsă de către om. Îmbunătățirea gurilor de intrare în porturi, prin dragarea șenalelor și prin lucrările de protecție ale acestora și prin realizarea structurilor portuare duc la reținerea materialului aluvionar. Deseori, materialul este pierdut definitiv din zona de plajă din aval, fie prin depunerea de material dragat în afara zonei active a litoralului, fie prin apariția de bancuri de nisip, zone de apă puțin adânci și plaje întinse în amonte. Construirea de lucrări de protecție a plajelor poate duce de asemenea la întreruperea alimentării cu nisip a zonelor alăturate.

b) *Reducerea alimentării cu sedimente a zonei litorale.* În anumite zone transportul sedimentelor spre coastă de către râuri, este cea mai mare sursă de material a zonei litoralului. Barajele construite pe râuri formează nu numai captări de sedimente, dar deasemenea reduc debitele de viitură. Astfel reducerea alimentării cu sedimente a coastei contribuie la erodarea acesteia.

c) *Concentrarea de energie a valurilor pe plajă.* Construcția unei structuri costiere (cum ar fi un zid vertical), fie în zona activă a plajei, fie pe plaja emersă poate duce la creșterea cantității de energie disipată de către materialul de plajă din fața structurii, ceea ce duce la creșterea locală a eroziunii.

d) *Schimbarea protecției naturale a coastelor.* Dragarea bancurilor de nisip și de aluviuni din apropierea țărmului poate schimba caracteristica de disipare a energiei de pe fața

plajei. Dacă schimbarea duce la creșterea energiei valului ce acționează pe o anumită porțiune a plajei, eroziunea va apare pe acea porțiune.

e) *Transportul materialului de pe plajă.* Acest material este câteodată extras pentru mineralele pe care le conține, iar în alte locuri este folosit pentru construcții, pierzându-se astfel cantități importante de material. Indiferent care ar fi scopul, există o pierdere directă de material disponibil pentru transportul litoral.

## 2.2. Cauze ale eroziunii țărmului românesc

Evoluția negativă a litoralului românesc, în sensul intensificării eroziunilor, este determinată de dezechilibrul creat de cauze naturale și artificiale privind cantitatea de sedimente disponibile în zona maritimă litorală, față de energia valurilor și curenților marini.

Principalele cauze ale acestui dezechilibru sunt:

a) reducerea aportului general de aluviuni din Dunăre, cu cca. 20 %, ca urmare a lucrărilor antierozionale, a barajelor și a prelevărilor de debite, executate în țăările din bazinul dunărean;

b) modificările produse în Delta Dunării în ultimul secol, care au schimbat condițiile de transport spre mare a aluviunilor și în special rectificarea brațului Sulina. Legat de aceasta, au fost construite două diguri de protejare a șenalului la deșurarea în mare, care treptat au ajuns la o lungime de 7,5 km, îndepărtând pe de o parte, spre larg, punctul de descărcare a aluviunilor, acestea nemaiputând reveni integral în circuitul litoral;

c) bara Sulina, având o lungime de peste 1 km, care acționează practic ca o barieră în calea aluviunilor transportate de brațul Chilia;

d) digurile de protecție a porturilor Midia, Constanța și Mangalia, realizate în ultimele decenii, care intercepțiază și dirijează spre larg fluxul și așa diminuat, de aluviuni, transportate de curenți și valuri în lungul țărmului, amplificând eroziunile, mai ales în sectoarele situate imediat la Sud de porturi;

e) extragerea nisipului de pe plaje ca material de construcție.

f) schimbările climatice globale, modificările nivelului mării și intensificarea energiei totale a mării (valuri și curenți).

g) poluarea generală a apelor marine, care a condus la reducerea numărului de scoici ce constituiau sursa de alimentare cu nisip cochilifer prin rularea acestora de către valuri.

## 3. STUDII ȘI CERCETĂRI PRELIMINARE PROIECTĂRII UNEI LUCRĂRI DE ÎNNISIPARE ARTIFICIALĂ

Pentru analiza economică, planificarea și proiectarea înnisipării artificiale trebuie ținut seama de un număr mare de factori. Fiecare plajă este unică din punct de vedere al condițiilor de mediu, al configurației și compoziției.

Prin urmare, este necesară colectarea unui număr mare de date asupra plajei respective, a zonelor învecinate și a condițiilor hidrometeorologice.

Aceste date sunt folosite pentru a evalua condițiile în situația existentă și pentru a determina parametri de proiectare precum: cota și lățimea plajei, cota și volumul dunelor,

limitele proiectului, frecvența necesară de realimentare, proprietățile materialului pentru înnisipare.

Studiile și cercetările ce trebuie efectuate se vor referi la:

- 1) geomorfologia zonei și locală
- 2) caracteristicile sedimentelor plajei naturale
- 3) procesele hidrodinamice din amplasament
- 4) procesele costiere de transport al sedimentelor din amplasament
- 5) efectul structurilor de protecție din zonă
- 6) condiții speciale de proiectare

O parte din datele și informațiile necesare asupra zonei lucrării vor fi disponibile în publicații, hărți, grafice și aerofotograme existente. Totuși, în mod normal, pentru completarea acestor date, vor fi necesare campanii de măsurători pe teren.

### **3.1. Geomorfologia zonei și locală**

Sub acțiunea hidrodinamică a mării și a factorilor climatici, litoralul, cu formațiuni geologice diverse, suferă în permanență modificări printr-o serie de procese geomorfologice.

Studierea acestor procese este importantă pentru înțelegerea influenței fiecărui element în comportarea plajei în vederea proiectării unor lucrări de protecție.

Informații despre geomorfologia regională pot fi obținute din analiza hărților, diagramelor și din literatura de specialitate. În majoritatea cazurilor, informațiile necesare pentru a descrie geomorfologia locală trebuie să se bazeze pe ridicări topografice și observații pe teren. Pentru realizarea proiectului este importantă cunoașterea transportului în lungul țărmului și depunerea de sedimente.

Informațiile despre geomorfologia locală dau o imagine asupra evoluției zonei țărmului, alimentării cu sedimente, mediului hidrodinamic, amplasamentului surselor de împrumut.

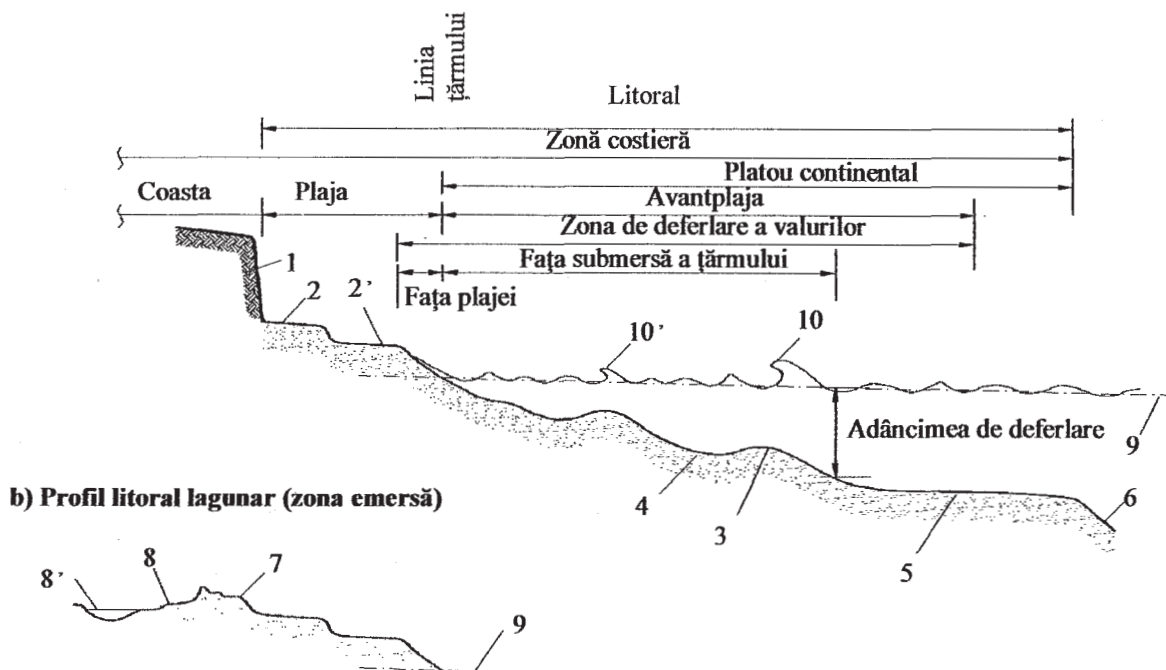
Geomorfologia la scară regională a platoului continental este importantă datorită influenței sale asupra dinamicii valurilor și pentru că este adesea o sursă sau un consumator de sedimente. Mai mult, platoul continental conține adesea depozite cu material corespunzător pentru înnisiparea artificială.

#### **3.1.1 Morfologia în amplasamentul lucrării**

Profilul litoral prezintă o serie de elemente în stare dinamică, ce sunt arătate în figura 3.1. Coasta poate fi mărginită de o faleză sau de o zonă lagunară.

Analizarea morfologiei plajei trebuie să includă ridicări topo-hidrografice ale zonelor dunei, plajei și avanplajei, începând de la dune, faleză sau lucrări de apărare ce limitează plaja, și până la o adâncime în larg care să cuprindă zona de mișcare semnificativă a sedimentelor.

### a) Profil litoral cu faleză



### b) Profil litoral lagunar (zona emersă)



**Fig. 3.1.** Profil litoral

1.faleză; 2.berma de iarnă; 2'.berma de vară; 3.bară; 4.șanț; 5.terasă; 6. Versant litoral; 7.dune; 8.conuri de rever; 8'.lagună; 9.nivelul liniștit al mării; 10.val deferlat; 10'. val de deferlare secundară

### 3.1.2 Zonele de coastă adiacente

Este important să se efectueze măsurători în apropierea granițelor laterale ale zonei lucrării preconizate, pentru a stabili comportarea plajelor adiacente înainte de execuția lucrării. Profilele realizate în aceste zone vor fi folosite atât la proiectarea terminației lucrării de înnisipare, cât și la monitorizarea după realizarea lucrării.

### 3.1.3 Evoluția liniei țărmului

Informațiile despre evoluția plajei unde urmează să se realizeze lucrarea constituie un factor important pentru determinarea necesarului de umplutură inițial și periodic.

Aspectele cele mai importante sunt: evoluția poziției liniei țărmului, existența și caracteristicile golfurilor, precum și variațiile caracteristicilor și poziției dunelor, falezelor sau altor elemente care limitează plaja înspre uscat. În general, datele despre evoluția pe termen lung sunt obținute prin compararea cronologică a hărților, diagramelor, aerofotogramelor și înregistrărilor.

Unul din cele mai importante aspecte privind evoluția țărmului este reprezentat de modificarea poziției liniei țărmului cauzată de eroziuni și depuneri. Depășirile liniei țărmului cauzate de eroziune sau depuneri se materializează de obicei printr-o modificare netă a volumului materialului plajei.

### 3.2. Caracteristicile sedimentelor plajei naturale

Studiul detaliat al materialului natural al plajei este un element esențial pentru proiectarea lucrărilor de înnisipare artificială a plajelor. Alegerea unui material corespunzător pentru lucrare se bazează pe analize comparative ale caracteristicilor materialului plajei naturale și ale celui de umplutură.

#### 3.2.1 Surse de alimentare a plajelor

Sedimentele reprezintă elementul mobil al litoralului, ele deplasându-se sub acțiunea valurilor și curenților, atât longitudinal cât și transversal față de linia țărmului.

Durata finită de rămânere într-o anumită zonă a sedimentelor face ca, pentru menținerea unui echilibru morfologic local, să fie necesară realimentarea continuă a bilanțului aluvionar.

Această realimentare se realizează permanent și cu diverse intensități, din următoarele surse:

a) Aportul fluvial constituie principala sursă de formare și întreținere a plajelor.

În compoziția acestui material erodat și transportat de apele râurilor, care trec prin diverse formațiuni geologice, se pot întâlni preponderent:

- cuarț (bioxid de siliciu) cu densitatea  $\rho_s = 2,5 - 2,65 \text{ g/cm}^3$ , transparent, ce dă probelor culoarea gri sau alb, cu nuanțe colorate datorită mineralelor:

- magnetit, violet închis, cu  $\rho_s = 5,1 \text{ g/cm}^3$ ;
- granatul, de culoare roz, cu  $\rho_s = 3,4 - 4,3 \text{ g/cm}^3$ ;
- limonitul, galben verzui, cu  $\rho_s = 3,4 - 3,9 \text{ g/cm}^3$ ;
- hornblenda, negru roșcată cu  $\rho_s = 3 \text{ g/cm}^3$ .

b) Dezagregarea rocilor stâncoase din platformele submarine sau din falezele atacate de valuri.

Acțiunea distructivă a solicitărilor dinamice produse de valuri, combinată, în cazul falezelor, cu efectul regimului termic (ciclurile îngheț – dezgheț) favorizează fisurarea și apoi desprinderea unor blocuri și sfărâmarea lor până la stadiul de fracțiune nisipoasă.

c) Nisip de natură organică (cochilifer) provenit din spargerea și rularea sub acțiunea valurilor a scoicilor unor familii de moluște.

Nisipul cochilifer are o duritate mai mică decât cel cuarțos. Din această cauză, procesele de realimentare trebuie să fie mai active pentru a compensa ritmul de pierdere de material prin uzura granulelor.

Acest nisip dă plajelor o colorație gălbuie.

#### 3.2.2 Caracteristici granulometrice

Sub aspectul mărimii, sedimentele sunt caracterizate prin curba granulometrică  $i(d_i)$ . Ordonata diagramei ( $i$ ) reprezintă, în procente din greutatea probei analizate, cantitatea de material care trece prin sita având diametrul ochiurilor ( $d_i$ ) din abscisă.

O serie de parametri numerici au fost propuși pentru caracterizarea mărimii și gradului de sortare a granulelor:

- $d_{50}$  = diametru denumit “mediu”, corespunzând ochiurilor sitei pe care rămâne o cantitate de 50 % din greutatea probei analizate;
- $S_0 = \sqrt{d_{25}/d_{75}}$  = coeficientul de sortare, subunitar; se apropie de valoarea 1 pentru un grad mare de uniformitate; valori mici ale parametrului  $S_0$  indică un amestec neomogen de granule de diferite ordine de mărime;
- $S_a = (d_{75} - d_{25}) / [2(d_{90} - d_{10})]$  = coeficientul de aplatizare arată, pentru  $S_a \rightarrow 0,5$  o grupare a materialului aluvionar în domeniul dintre  $d_{75}$  și  $d_{25}$  și, pentru  $S_a \rightarrow 0$ , o distribuție mai uniformă (plată) într-un domeniu larg de granulozități.
- $S_k = d_{75} d_{25} / d_{50}^2$  = coeficientul de asimetrie, indică o distribuție asemănătoare a granulelor mai mici și a celor mai mari când  $S_k \rightarrow 1$  și o întindere mai largă spre fracțiunile grosiere pentru  $S_k > 1$  sau spre fracțiunile mai fine pentru  $S_k < 1$ .

Pentru determinarea caracteristicilor granulometrice, se folosesc și unitățile  $\emptyset$ :

$\emptyset_1 = -\log_2 d_i$ , în care  $d_i$  este exprimat în mm.

$M\emptyset = (\emptyset_{16} + \emptyset_{84}) / 2$  = media granulometrică

$\sigma\emptyset = (\emptyset_{84} - \emptyset_{16}) / 2$  = dispersia granulometrică

$a\emptyset = (M\emptyset - \emptyset_{50})$  = asimetria granulometrică

### 3.2.3 Prelevarea probelor

Determinarea cu acuratețe a compoziției și caracteristicilor granulometrice ale sedimentelor plajei naturale, dunelor și avanplajei din zona lucrării este de cea mai mare importanță pentru selectarea materialului corespunzător pentru umplutură.

Numărul probelor și locul de prelevare a acestora se vor stabili astfel încât probele să fie reprezentative pentru variațiile de sedimente în cadrul zonei lucrării.

În mod normal, probele se vor preleva în lungul profilelor stabilite la ridicările pentru determinarea morfologiei. În unele cazuri, pentru a caracteriza profilul tip de distribuție a sedimentelor, sunt necesare puncte suplimentare de prelevare între profile.

Pe perioada unui an, trebuie colectate cel puțin două serii de probe de la suprafața profilului activ al plajei care se întinde de la o cotă superioară a plajei în care au loc procese determinate de valuri până la o adâncime înspre larg unde are loc mișcarea litorală a nisipului. Ideal ar fi ca probele să fie prelevate una în condiții de “iarnă” și una în condiții de “vară”.

Punctele de prelevare trebuie păstrate și pentru campaniile următoare de prelevare a probelor, atât pentru studiile premergătoare proiectului, cât și în timpul execuției și în cadrul monitorizării după realizarea lucrării.

Deoarece depozitele de plajă variază de obicei cu adâncimea, trebuie prelevate probe până la o adâncime la care stratele existente ar putea afecta distribuția compusă a granulometriei materialului plajei. Se recomandă o adâncime de cel puțin 30 cm.

### 3.2.4 Determinarea granulometriei

Distribuția granulometrică în probele colectate poate fi determinată prin cernere sau cu ajutorul analizatorului rapid. Cu ajutorul siteilor se măsoară diametrul real al particulelor individuale. Analizatorul rapid de sedimente măsoară viteza de cădere a particulelor în apă și le determină diametrul prin comparație cu diametrul real a unei sfere de cuarț cu aceeași viteză de cădere. Diametrul astfel determinat este mai degrabă un diametru hidraulic efectiv



decât un diametru real, reprezentând modul în care particula răspunde la viteza apei. În practică, diferențele între cele două metode vor fi mai mici decât incertitudinile determinate de variabilitatea prelevării probelor. În orice caz, aceeași metodă care se va folosi la determinarea granulometriei plajei naturale va trebui folosită și pentru materialul de împrumut.

### 3.2.5 *Granulometria compusă*

Alegerea unui nisip de împrumut corespunzător se bazează în mare măsură pe compararea statisticilor de granulometrie compusă a zonei lucrării cu cea a sursei potențiale de împrumut.

Una din metodele pentru determinarea granulometriei compuse însumează procentajele de sedimente din fiecare clasă de dimensiune pentru toate probele și valoarea totală se împarte la numărul de probe obținându-se o valoare medie.

În altă metodă se amestecă subprobe de greutate egale din fiecare probă și se determină prin cernere repartitia granulometrică a materialului total rezultat din amestecarea subprobelor.

Pentru a determina granulometria compusă pentru întregul profil se pot combina probe reprezentative pentru toate zonele geomorfologice.

### 3.2.6 *Compoziția sedimentelor*

Principalele componente ale probelor de sedimente se pot determina prin examinarea la microscop a fracțiunii dintr-o anumită clasă de nisip spălat. Majoritatea sedimentelor plajelor, dunelor și avanplajelor sunt compuse predominant din particule de cuarț. Sunt prezente de obicei carbonatul de calciu produs organic și alte minerale.

## 3.3. Procesele hidrodinamice

O cunoaștere detaliată a forțelor hidrodinamice care acționează asupra zonei costiere este importantă pentru proiectarea lucrărilor de înnisipare artificială deoarece aceste forțe determină atât configurația plajei pe termen lung în condiții normale, cât și calitatea de protecție asigurată de plajă în condiții de furtună. Fiecare zonă prezintă o gamă de niveluri ale apei, valuri și curenți. Forțele hidrodinamice care au afectat în timp zona respectivă vor acționa și asupra noului material plasat în lucrarea de protecție. De aceea, în proiectarea unei lucrări de înnisipare sunt importante statisticile atât ale forțelor hidrodinamice pe termen lung cât și ale celor din timpul furtunilor.

### 3.3.1 *Valuri*

Măsurătorile asupra valurilor au drept scop cunoașterea regimului de agitație a mării în zonele care devin obiectul unor studii de inginerie costieră.

La proiectarea unor lucrări de protecție costieră, inclusiv a celor de înnisipare artificială, este necesar să se cunoască următoarele aspecte legate de acțiunea valurilor:

- regimul rezultat anual de acționare a valurilor asupra aluviunilor litorale;
- unghiul valurilor incidente cu linia țărmului;
- înălțimea medie a valurilor la apogeul furtunilor de diferite direcții și asigurări;

- distribuția fluxului de energie a valurilor în timpul unui an și potențialul energetic al valurilor;

- durata și perioade ale anului ale calmului mării sau ale regimului cu valuri sub o anumită înălțime, în care este posibilă efectuarea lucrărilor cu utilaje plutitoare.

Modul de determinare a caracteristicilor valurilor sunt prezentate în “Ghid pentru stabilirea parametrilor de calcul ai valurilor de vânt pentru determinarea acțiunii asupra construcțiilor portuare maritime și fluviale” (GP 086 – 2003).

Caracteristicile valurilor pentru o zonă dată vor influența următoarele aspecte ale lucrării de înnisipare a plajei:

- forma profilului plajei
- limita înspre larg a deplasării sedimentelor (adâncimea zonei “active”)
- gradul în care profilul se retrage în timpul furtunilor
- direcția și cantitatea de transport în lungul țărmului
- efectul structurilor amplasate în zona lucrării
- mărimea urcării valului pe taluz
- cantitatea deversării peste dune
- forțele asupra structurilor

#### 3.3.1.1 Transformarea valurilor în zona de avanplajă

Atunci când valurile ajung în ape cu adâncime mică, ele suferă transformări, modificându-și înălțimea, lungimea și direcția. Acest efect începe la o adâncime aproximativ egală cu jumătate din lungimea de undă a valului de apă adâncă și devine semnificativ la o adâncime egală cu aproximativ un sfert din lungimea de undă a valului de apă adâncă.

#### 3.3.1.2 Urcarea valului pe taluz și deversarea peste dune

Prin propagarea valurilor spre țărm în condițiile reducerii continue a adâncimilor, valurile tridimensionale se transformă în bidimensionale, lungimea și viteza de propagare se reduc, profilul valului devine asimetric, cu panta frontală mai abruptă și în momentul atingerii adâncimii critice, particulele de pe creastă își pierd stabilitatea și se produce prăbușirea crestei, respectiv deferlarea valului. Aceasta se produce la adâncimea critică, care este de circa 1,3 ori înălțimea valului.

După ce se propagă în apa cu adâncime mică și se sparg în zona de deferlare, valurile întâlnesc plaja și urcă pe taluzul acesteia.

Înălțimea pe verticală a urcării valului pe taluz peste nivelul apei liniștite este importantă la proiectarea lucrărilor de înnisipare datorită consecințelor acestei urcări asupra dunelor și structurilor din spatele plajei.

Urcarea valului pe taluz depinde de forma profilului (panta, înălțimea bermei, lățimea bermei), de rugozitatea plajei și de numărul de valuri.

Procedura de estimare a urcării pe taluz depinde de secțiunea transversală a profilului plajei, ținându-se seama de condițiile de val. La evaluarea urcării pe taluz se iau în considerare condițiile de val deferlat. Urcarea pe taluz poate fi estimată prin metodele descrise în literatură.

Pentru determinarea inundării anticipate a zonelor din spatele plajei, este necesară determinarea volumului de apă care va depăși înălțimea propusă a bermei plajei și dunei sau zidurilor sparge-val. Acest calcul va determina cantitatea de protecție ce va fi prevăzută prin planul propus.

Evaluarea deversării trebuie să țină seama de volumul global și de cantitatea de apă care contribuie la inundarea pe perioada unei furtuni. În timpul fazelor inițiale ale unei furtuni se poate ca deversarea să fie nesemnificativă sau inexistentă până când marea de furtună și condițiile de val ajung la înălțimile critice și profilul plajei și dunei sunt erodate. Pe măsură ce furtuna progresa și plaja este erodată, deversarea poate fi semnificativă.

### 3.3.2 Curenți

Curenții, ca și valurile, joacă uneori un rol important în sistemul fizic din apropierea țărmului. Ei pot apărea din diferite cauze, cum ar fi: diferențele de înălțime a apelor, acțiunea vântului, spargerea valurilor la țărm sau vărsarea râurilor. Atunci când într-o zonă nivelul apei devine mai ridicat decât în altă zonă, apa din zona cu nivel mai ridicat va curge către nivelul mai scăzut, dând naștere unui curent.

Vântul care suflă peste suprafața apei dă naștere la curenți, producând o tensiune asupra particulelor de la suprafața apei iar acestea încep să se miște în direcția în care suflă vântul. Astfel, se creează un curent de suprafață. Când curentul de suprafață întâlnește o barieră, cum ar fi o coastă, apa tinde să se acumuleze lângă uscat.

Sub acțiunea valurilor se formează o serie de curenți modelatori ai țărmului (fig. 3.2.):

- Curentul longitudinal de țărm care se desfășoară de-a lungul țărmului prin șanțurile dintre bare, care apare ca urmare a propagării valurilor sub un anumit unghi față de linia țărmului;

- Curentul de plajă care se desfășoară pe fața plajei;

- Curenții de retur (de întoarcere - jet), sunt orientați perpendicular față de linia țărmului și au deseori forțe deosebit de mari. Masele de apă acumulate de valuri la țărm dau naștere inițial curenților longitudinali care se întorc spre larg, formând curenții de retur.

Curenții pot pune în mișcare sedimentele și pot menține materialul în suspensie, deplasându-l în funcție de modul de mișcare al acestora. Procesul de proiectare a unei lucrări de înnisipare trebuie să includă o evaluare a curenților prezenți în zonă și impactul pe care aceștia îl pot avea asupra stabilității materialului de umplutură.

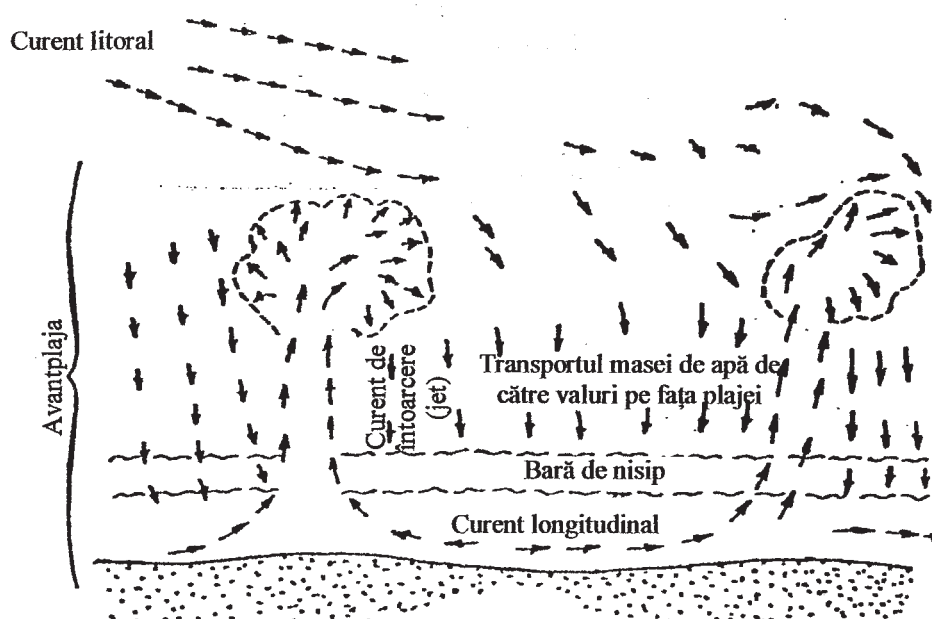


Fig. 3.2. Schema generală a curenților în apropierea coastei

### 3.3.3 *Fluctuații ale nivelului apei*

Acțiunea valurilor determină o ridicare a nivelului mediu al apei în lungul liniei coastei, ca urmare a unei acumulări de mase de apă, numită ridicarea din val. Ridicarea din val poate fi apreciabilă în timpul furtunilor, cu amplitudini teoretice de cel puțin 15 procente din înălțimea valului care se sparge (supraînălțarea la furtună).

Supraînălțarea este cel mai important proces pentru determinarea răspunsului unei plaje la furtună. Nivelele ridicate ale apei permit forțelor erozionale să acționeze asupra sedimentelor amplasate la cote mai înalte ale plajei.

Cel mai semnificativ efect al supraînălțării la furtună este acela că nivelul ridicat al apei expune partea superioară a plajei la eroziune prin atacul direct al valurilor. Supraînălțarea la furtună permite valurilor mari să treacă peste barele de nisip fără să se spargă. Atunci când valurile în sfârșit se sparg, lățimea care rămâne a zonei de deferlare nu este suficientă pentru a disipa energia conținută de valurile de furtună. Energia rămasă după spargerea valurilor este consumată prin erodarea plajei, bermei și dunelor. Materialul erodat este transportat în larg, unde este depozitat pe fundul din zona din apropierea plajei, formând o bară de nisip. Această bară poate crește într-atât încât să spargă valurile mai înspre larg, forțându-le să-și consume energia în zona de deferlare.

### 3.4. Procesele costiere de transport al sedimentelor

Acțiunea vânturilor, valurilor și curenților în zona costieră este permanentă și se modifică continuu. Aceste forțe transportă materialul plajei înspre larg sau înspre uscat și în lungul țărmului. Proiectarea înnisipării artificiale a plajei va ține cont de toate aceste posibile procese din zona din apropierea țărmului.

Transportul litoral reprezintă deplasarea sedimentelor din zona costieră pe direcția perpendiculară pe țărm, înspre larg sau înspre țărm, și în lungul țărmului, paralel cu acesta. În zona de deferlare, vitezele apei și vârtejurile de sub valurile care se sparg aduc sedimentele în suspensie. Vitezele medii ale curenților din zona de avanplajă determină direcția și cantitatea transportului de sedimente.

*Bugetul de sedimente* reprezintă suma cantității de sedimente, într-o perioadă dată de timp, care este transportată în sau dintr-o zonă. Analizarea bugetului de sedimente în zona lucrării și în zonele adiacente reprezintă un element important în proiectarea înnisipării artificiale, deoarece arată cantitatea de eroziuni și depuneri care apar în zona studiată datorită proceselor naturale și furnizează un mijloc de estimare a amplitudinii transportului în lungul țărmului.

#### 3.4.1 *Transportul sedimentelor perpendicular pe țărm*

Deplasarea sedimentelor pe direcția perpendiculară pe plajă poate constitui fie o sursă de sedimente pentru plajă, fie un consumator.

#### 3.4.2 *Transportul sedimentelor în lungul țărmului*

Curentul litoral poate determina fie alimentarea unei plaje fie erodarea acesteia prin deplasarea materialului în lungul țărmului. Dacă nu există nici o piedică în zonă pentru a reține sedimentele iar unghiul de incidență și înălțimea valurilor rămân constante în lungul plajei, orice câștig de material de la sursele din amonte poate fi echilibrat de pierderi echivalente în zona din aval.

Deplasarea materialului litoral pe o direcție paralelă cu țărmul se numește transport în lungul țărmului. Rata de transport în lungul țărmului este exprimată ca volumul de material care trece printr-un punct stabilit într-o perioadă de timp dată.

Rata brută de transport în lungul țărmului ( $Q_g$ ) este suma cantităților de material care se deplasează atât către dreapta ( $Q_d$ ) cât și către stânga ( $Q_s$ ) față de un observator care privește spre mare.

Rata netă de transport în lungul țărmului reprezintă diferența dintre cantitatea deplasată spre dreapta și cea deplasată spre stânga.

În lungul unei zone de țărm unde este transportat mai mult material din zonă decât este adus din zonele de țărm adiacente, frecvența și cantitățile de realimentare vor fi mari în cazul unei lucrări de înnisipare artificială.

Pentru a se asigura că estimările sunt rezonabile, se recomandă să fie utilizate și comparate mai multe metode pentru estimarea ratei medii de transport pe termen lung.

Un mod de a estima ratele de transport în lungul țărmului este calcularea lor din date care arată evoluția țărmului în zonă.

O altă metodă de a anticipa transportul în lungul țărmului la un amplasament este adoptarea ratei cunoscute dintr-un amplasament învecinat, cu modificări bazate pe condițiile locale. Aceasta se poate face numai dacă regimul de valuri, orientarea plajei și granulometria sunt foarte asemănătoare, deoarece transportul în lungul țărmului este foarte sensibil la acești factori.

### **3.4.3 Limita dinspre mare a transportului semnificativ de sedimente**

Unul din factorii necesari pentru calcularea cantității de umplutură și pentru un număr de modele analitice și numerice este adâncimea zonei “active”, sau adâncimea mișcării maxime de sedimente în timpul furtunii de calcul. Această cantitate variază pe baza regimului de valuri și caracteristicilor sedimentelor.

Cea mai exactă metodă de determinare a adâncimii zonei “active” este examinarea evoluției măsurătorilor de profile legate de intensitatea furtunilor de calcul.

Adâncimea la care nu au avut loc nici un fel de schimbări în profil poate fi considerată ca adâncimea zonei “active”. Pentru obținerea unui rezultat mai exact trebuie examinat un număr de profile și făcută media lor.

Adâncimea zonei “active” este în strânsă legătură cu adâncimile mici la care valurile încep să antreneze sedimentele de fund, cu intensități crescânde pe măsura micșorării adâncimilor.

### **3.4.4 Procese eoliene**

De obicei vântul antrenează sedimentele de pe plaja uscată și le transportă fie înspre uscat fie înspre larg.

### **3.4.5 Alimentarea plajelor cu material de natură organică**

Aproape toate plajele conțin materiale compuse din părți ale scheletelor faunei și florei marine care trăiesc în zonele de plajă și avanplajă. Particulele produse organic din sedimentele plajei pot fi produse local sau transportate din altă parte.

### **3.5. Efectul structurilor existente**

Deoarece înnisiparea artificială se realizează de obicei pentru a reface plajele erodate, în zonă se pot afla structuri “grele” care au fost construite anterior cu scopul de a stabiliza plaja și a proteja zona de uscat.

Pentru a lua o decizie asupra dispoziției structurilor și a evalua rolul lor după realizarea înnisipării, din studiul caracterizării amplasamentului trebuie să facă parte inventarierea structurilor grele existente. Inventarierea trebuie să includă informații despre amplasamentul, tipul, starea tehnică și eficiența structurilor existente, precum și efectul lor asupra plajei după realizarea înnisipării.

### **3.6. Informații privind condiții speciale de proiectare**

Pe perioada de proiectare a unei lucrări de înnisipare artificială a unei plaje, pot fi întâmpinate mai multe condiționări de proiectare, dintre care:

a) Disponibilitatea materialului de împrumut la o distanță economică față de amplasamentul lucrării, care să fie corespunzător din punct de vedere ingineresc și acceptabil intereselor locale din punct de vedere estetic. Principalele aspecte referitoare la interesele locale sunt ca dimensiunile granulelor să nu fie prea mari încât să creeze disconfort pentru recreație, să nu existe pietre amestecate în umplutura plajei, și depozite de praf și cenușă care sunt periodic descoperite de valuri.

b) Prevederea unui acces adecvat al publicului la plajă, care să nu compromită protecția proiectată. Acest lucru este important îndeosebi atunci când lucrarea include dune cu vegetație ca parte a protecției, deoarece vegetația trebuie protejată de traficul persoanelor. Este necesară amenajarea unor pasarele și drumuri de acces pentru vehicule.

c) Obiecțiuni din partea organelor locale pentru întreruperea activităților recreaționale și aspecte privind siguranța publicului, pe perioada de realizare și în timpul activităților de realimentare.

d) Obiecțiuni la nisipul adus de vânt de pe plajă și dune pe proprietățile din spatele plajei.

e) Obiecțiuni din partea grupurilor și agențiilor de mediu. Este posibil ca locurile de dragare să fie dictate de aspecte de mediu, și frecvent proiectul trebuie să se adapteze la păstrarea zonelor critice de habitat.

f) Înainte de execuția unei lucrări de înnisipare artificială, se va investiga existența unor conducte, cabluri sau altor rețele și se va adapta în consecință soluția de lărgire a plajei.

## **4. SITUAȚII ÎN CARE ÎNNISIPAREA ARTIFICIALĂ ESTE EFICIENTĂ**

### **4.1. Scopul lucrării**

Înnisiparea artificială poate fi utilizată ca soluție în sine sau împreună cu lucrări “grele”, în scopul protecției împotriva eroziunii, revărsărilor în zonele lagunare sau pentru sporirea capacității de recreație.

#### **4.1.1 Protecția împotriva furtunilor și revărsărilor**

Proiectarea unei lucrări de înnisipare a plajei în scopul protejării împotriva furtunilor și revărsărilor necesită o atenție deosebită din cauza consecințelor grave pe care le poate avea dacă lucrarea nu funcționează așa cum s-a preconizat. Se prezintă în continuare câteva aspecte importante pentru aceste lucrări.

Nivelul optim de protecție va fi determinat pe baza analizei beneficiilor nete ale lucrării. Beneficiul mediu anual net este egal cu degradările anuale medii estimate pe perioada viitoare de evaluare (în absența unei lucrări) minus degradările anuale medii estimate că vor apare pe parcursul aceleiași perioade, cu realizarea lucrării, minus costurile anuale medii de întreținere.

Pentru determinarea evoluției procesului de eroziune și a modificării configurației liniei țărmului, sunt necesare date despre apariția furtunilor istorice și efectele acestora asupra zonei (inclusiv distrugerea dunelor, eroziunea plajelor, avarii structurale, revărsarea apei).

Pentru a determina importanța zonei, trebuie cunoscute valoarea de dezvoltare, tipul de construcții, apropierea de țărm.

#### **4.1.2 Reducerea eroziunii**

Pentru asigurarea unei soluții complete pentru problema globală de eroziune a unui țărm, în efortul de reducere a acestui efect se includ și lucrări de înnisipare a plajelor.

#### **4.1.3 Lărgirea zonei de recreație**

Din cauza proceselor de eroziune pe termen lung, suprafețele de plajă destinate recreării nu vor mai fi suficiente pentru cerințele viitoare. În zonele în care plajele pentru recreație au o importanță economică deosebită, se prevăd lucrări de înnisipare a plajelor pentru sporirea capacității acestora.

### **4.2. Analiza efectului soluției de înnisipare artificială în funcție de condițiile locale**

Soluția de înnisipare artificială se va adopta în funcție de efectul și eficiența pe care o poate avea în funcție de condițiile locale, după o atentă și riguroasă analiză a acestora.

Se vor putea întâlni astfel următoarele situații:

a) *Sectoare de litoral cu schimb redus de aluviuni* (cum sunt de exemplu cele concave, delimitate de promontorii naturale, de platforme submarine stâncoase de mică adâncime sau de lucrări portuare și diguri).

Acestea pot fi supuse eroziunilor ca urmare a perioadelor de furtună, care modifică profilul de echilibru al plajei submerse. Volume de aluviuni de la partea superioară a profilului sunt antrenate spre adâncimi mai mari, de unde valurile mici, "constructive", din sezonul de vară, nu le mai pot readuce integral.

Înnisiparea artificială nu influențează esența acestui mecanism de eroziune.

Vor fi mai eficiente lucrări de disipare a valurilor de furtună care vor influența pozitiv tendința de modificare a profilului de echilibru al plajei.

De asemenea, pragurile submerse, destinate să ridice baza profilului de echilibru, pot asigura o stabilitate a lărgirii plajei, dar numai în cazul în care coronamentul acestor praguri

este suficient de lat pentru a asigura distorsionarea valurilor incidente, în conformitate cu noile adâncimi și a crea astfel o compatibilitate între valurile propagate și profilul translatat.

Odată cu aceste lucrări se poate recurge și la o înnisipare artificială dacă se dorește o sporire a plajei existente.

Epiurile nu dau în acest caz rezultate pozitive, întrucât ele nu influențează propagarea valurilor frontale, dar pot fi utilizate pentru accentuarea delimitării sectoarelor de litoral de tip “unitate morfometrică”, cu schimb redus aluvionar, jucând rolul de promontorii artificiale.

*b) Sectoare rectilinii de litoral în eroziune, cu un transport longitudinal important de aluviuni*

Deficitul sedimentar rezultă într-o astfel de situație din faptul că în secțiunea aval a sectorului, transportul rezultat anual este mai mare decât aportul introdus prin secțiunea amonte. Restabilirea echilibrului se poate asigura prin introducerea, pe cale artificială, în secțiunea amonte, a diferenței de volum necesare. Întreruperea înnisipărilor anuale conduce din nou la dezechilibrarea bilanțului aluvionar și la continuarea eroziunilor.

În aceste condiții pot deveni utile lucrările transversale: epiuri emerse sau submerse, eventual permeabile, dimensionate astfel încât să rețină volumul de nisip adus pe cale artificială, dar să permită tranzitul debitului solid inițial, respectiv să limiteze agravarea situației din aval. Acțiunea este complexă, întrucât o înnisipare cu aspect de promontoriu într-o zonă dată a litoralului provoacă o modificare a formei liniei malului și deci tendințe de interceptie a debitului solid sosit din amonte și de reducere a tranzitului de aluviuni.

*c) Cordon litoral în sectoarele înguste și joase*

Evitarea ruperii acestuia în perioadele de furtună, se poate realiza prin lărgirea cordonului (spre mare sau spre lagună) și prin înălțarea cotelor mai joase, folosind înnisiparea artificială, sau prin consolidarea acestei formațiuni naturale de nisip cu ajutorul unui dig construit spre malul interior, legat de creasta cordonului prin traverse de nisip. În sectoarele de cordon foarte expuse este recomandabil ca ambele metode să fie aplicate.

*d) Restabilirea fluxului aluvionar în dreptul unei construcții costiere care interceptează debitul solid.*

Aluviunile reținute în amonte de lucrări costiere pot fi readuse în circuitul plajelor din aval, printr-o formă specială de înnisipare artificială, cu ajutorul unei instalații de dragaj și a unui sistem de transport a nisipului dragat în avalul zonei de interceptie realizându-se schema cunoscută sub numele de “by-pass”.

e) În cazul în care profilul plajei submarine se caracterizează printr-o variație accentuată cu adâncimea a mărimii granulelor de nisip, înnisiparea artificială cu nisip uniform conduce la o rearanjare a profilului de așa natură încât noua sa formă și sortarea granulozității la suprafața profilului să corespundă condițiilor locale de agitație a mării.

Analiza economică globală a proiectului va verifica nivelul cel mai avantajos cost – eficiență. În general, pentru un proiect de înnisipare artificială, obiectul analizei economice va fi maximizarea beneficiilor nete; de exemplu diferența de degradări în zona proiectului dintre situația existentă și cea cu realizarea proiectului. Pentru a determina nivelul optim de protecție, se analizează diferite lățimi de plaje și geometrii de dune. Se va selecta soluția care aduce cel mai mare beneficiu mediu anual net estimat.



## 5. PRINCIPII DE PROIECTARE A ÎNNISIPĂRII ARTIFICIALE

Proiectarea unei lucrări de înnisipare artificială presupune în principiu următoarele etape:

- a) stabilirea scopului lucrării și a performanțelor urmărite;
- b) efectuarea și analiza studiilor de teren și a altor informații existente, urmărindu-se:
  - determinarea caracteristicilor fizice, mecanice și chimice ale sedimentelor plajei naturale și a celor din sursele de material;
  - determinarea acțiunilor mediului înconjurător asupra morfologiei plajei (valuri, curenți, vânturi, surse naturale de alimentare);
  - stabilirea soluției generale de protecție, cu eventuala asociere cu lucrări de tip “greu”;
  - determinarea impactului lucrărilor propuse asupra mediului.
- c) proiectarea profilului preconizat al plajei și a volumului de material necesar realizării acestuia;
- d) proiectarea profilului de construcție, care în urma modelării de către agenții mediului înconjurător va ajunge la forma profilului proiectat;
- e) stabilirea cantităților și frecvenței realimentărilor pentru menținerea profilului proiectat;
- f) proiectarea modului de execuție a lucrărilor;
- g) analiza tehnico – economică;
- h) proiectarea modului de monitorizare a execuției și comportării în timp a lucrării.

### 5.1. Profilul tip de proiectare

Profilul de proiectare este forma pe care se preconizează că o va atinge materialul de înnisipare după ce va fi modelat de valuri într-o formă de echilibru, care depinde de granulometria materialului de înnisipare, nivelul apei și regimul valurilor, pe perioada primelor câteva luni până la un an după punerea în operă.

Profilele de proiectare sunt în general folosite pentru calcularea necesarului de umplutură pentru atingerea scopului propus.

#### 5.1.1 Dimensionarea părții emerse a profilului

Bermele plajelor naturale sunt formate prin depunerea materialului prin acțiunea valurilor. Gradul de protecție a plajei emerse depinde în mare măsură de lățimea și înălțimea bermei.

##### 5.1.1.1 Cota bermei

Înălțimea unei berme depinde de regimul de valuri și de pantele plajei submerse și avanplajei. Unele plaje au o bermă mai joasă, formată de acțiunea valurilor normale de urcare pe taluz. Poate exista de asemenea o bermă mai înaltă, formată de acțiunea valurilor pe perioade cu niveluri mai ridicate ale apei, la furtunile de iarnă.

Dacă materialul de înnisipare va fi pozat la o înălțime mai mică decât creasta bermei naturale, în lungul crestei bermei se va forma o coamă, iar apele mari pot deversa creasta bermei determinând inundarea plajei emerse.

Pentru a preveni această inundare, cota bermei trebuie proiectată încât să fie egală cu cota bermei naturale.

Dacă este necesară o protecție suplimentară pentru a preveni înălțimi mari ale urcării valului pe taluz și deversarea apei, se pot proiecta mai multe berme. Dacă se prevăd mai multe berme, berma dinspre larg va fi realizată la cota bermei naturale, pentru a preveni crearea unei pante abrupte, iar bermele dinspre țărm la o cotă corespunzătoare condițiilor de furtună.

#### 5.1.1.2 Lățimea bermei

Dacă scopul înnisipării este de a reconstrui o plajă erodată pentru a proteja amenajările din spatele plajei împotriva avariilor la furtuni majore, lățimea poate fi stabilită ca o lățime de protecție care a fost pierdută în timpul furtunilor anterioare. Se recomandă ca această lățime să fie comparată cu lățimea calculată cu ajutorul modelelor de eroziune a plajei după profilul de proiectare.

Acolo unde înnisiparea plajei servește ca depozit tampon ce trebuie umplut periodic, berma trebuie să fie suficient de lată încât să acopere retragerea anticipată pe intervalele dintre operațiile de re-alimentare. Aceasta poate fi estimată din cantitatea de erodare pe termen lung, dacă materialul de umplură este asemănător cu materialul natural, sau poate fi calculată pe baza cantităților transportate în lungul țărmului ajustate pentru diferența de granulometrie între materialul natural și cel de umplură, sau utilizând modele numerice.

#### 5.1.1.3 Metode de dimensionare

Metodele de estimare a înălțimii și lățimii bermei includ evaluarea comportării bermei naturale în timpul furtunilor anterioare, comparându-se profilul plajei în amplasament cu profile ale plajelor din amplasamente cu caracteristici de expunere asemănătoare și material cu granulometrie asemănătoare, și calculându-se urcarea valului pe taluz și deversarea pentru diferite geometrii ale bermei.

Folosind această metodă, poate fi testat un număr mare de lățimi de berme la diferiți parametri de furtună cu perioade de revenire cuprinse între 5 și 500 de ani, urmărindu-se ca după realizarea profilului de echilibru să se obțină lățimea de plajă emersă dorită.

#### 5.1.1.4 Dimensiunile dunei

Dunele de nisip pot fi o componentă importantă de protecție într-o lucrare de înnisipare artificială, deoarece ele împiedică ca urcarea pe taluz și deversarea determinate de valuri și de ridicarea nivelului mării să avarieze direct structurile din apropierea țărmului și să inunde zonele interioare.

Pentru a fi cel mai eficientă, înălțimea crestei unei dune trebuie să fie la, sau peste limita urcării valului pe taluz pentru furtuna de calcul în zona lucrării și duna trebuie să fie capabilă să reziste la furtuna de calcul fără a se eroda complet. Pentru evaluarea răspunsului dunelor la condițiile de furtună, se vor folosi modele numerice. Totuși, fezabilitatea economică a lucrării poate limita cota crestei și lățimea dunei. Ca urmare, se va anticipa deversarea peste dună și se vor evalua efectele deversării asupra inundării interioare, pentru a determina cota acceptabilă a dunei.

Dunele de nisip servesc de asemenea drept depozit tampon pentru alimentarea plajei, pe perioada furtunilor puternice. În timpul unei furtuni, atacul inițial al valurilor de furtună

este asupra bermei plajei, care se află în fața dunei, urmat de valuri care atacă duna când berma este erodată sau deversată. Dacă durata atacului valului este suficient de lungă, valurile pot eroda duna, scăzând cota crestei acesteia.

În mod obișnuit, cantități semnificative de nisip erodat din bermă și dună sunt transportate direct înspre larg și depozitate într-o bară de nisip. Acest proces ajută la disiparea energiei valului incident în timpul unei furtuni. În mod ideal, cantitatea de nisip ar trebui să fie suficientă pentru a permite formarea unei bare fără erodarea totală a dunei.

Dunele pot fi făcute mai rezistente la eroziune și distrugere dacă se poate planta pe ele o vegetație adecvată, pe o anumită perioadă de timp pentru a forma un sistem extins de rădăcini. În general durează 2 până la 5 ani pentru ca iarba de plajă să-și formeze un sistem de rădăcini sănătos, și până la 10 ani înainte ca rezistența maximă la eroziune și distrugere să fie obținută.

Dunele nu sunt necesare atunci când cotele superioare ale bermei dinspre țarm sunt suficiente pentru a nu pune în pericol zonele din spatele plajei.

### 5.1.2 Volumul de umplură

Cantitatea totală de umplură necesară pentru o lucrare de protecție prin înnisipare artificială poate fi determinată după stabilirea dimensiunilor bermei și a dunei pentru protecție la furtună. Aspectele principale care vor fi luate în considerare sunt:

- profilul de proiectare al plajei emerse și submerse
- caracteristicile materialului de împrumut comparativ cu materialul plajei naturale
- surplusul de umplură necesar ( $R_A$ ), determinat de diferența de granulometrie între materialul plajei naturale și cel de împrumut
- necesarul de material pentru asigurarea pierderilor până la prima realimentare

Pentru calculul volumului de umplură sunt folosite în general două metode:

- metoda de translatare a profilului;
- metoda analitică

#### 5.1.2.1 Metoda de translatare a profilului

Se poate considera că profilul de proiectare este identic ca formă cu profilul natural, dacă granulozitatea materialului de umplură este asemănătoare cu cea a materialului plajei naturale. În aceste cazuri, profilul plajei după înnisipare va fi același cu cel dinainte de înnisipare, fiind doar translatat înspre larg.

Translația către larg (figura 5.1.) formează o secțiune alcătuită din paralelograme cu o suprafață echivalentă cu a unui paralelogram având înălțimea egală cu înălțimea bermei ( $B$ ) plus adâncimea "activă" ( $H$ ) și baza ( $Y$ ) reprezentată de distanța pe care plaja se extinde către mare. Folosind dimensiunile profilului de translație, pentru determinarea volumului de umplură pe unitatea de lungime de țarm necesar pentru realizarea configurației profilului cu o anumită înălțime a bermei, se poate folosi ecuația:

$$V = (B + H) Y \quad (5-1)$$

în care:  $B$  = înălțimea dorită a bermei (m)

$H$  = adâncimea zonei "active" (m)

$Y$  = distanța dorită a translației către mare (m)

Adâncimea zonei “active” se poate exprima în funcție de înălțimea medie anuală a valului semnificativ, cu relația empirică:

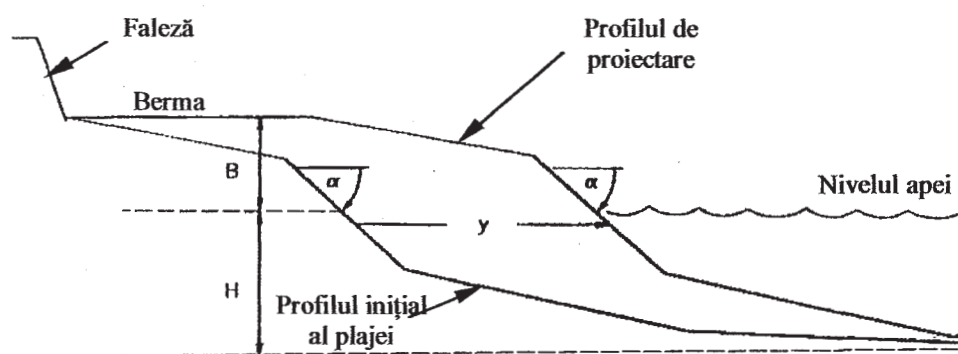
$$H = 1,5 H_{S0,137} = 6,75 H_S \quad (5-2)$$

în care:  $H$  = adâncimea zonei “active” (m)

$H_S$  = înălțimea medie anuală a valului semnificativ (m)

Asigurarea valului de calcul se va alege corespunzător categoriei de importanță a zonei ce va fi protejată (zonă construită, plajă turistică etc.).

Metoda de translatare a profilului presupune că profilul va fi modelat de către procesele costiere și se va așeza la forma profilului de echilibru existent, translatat înspre larg, cu conservarea volumului, atunci când granulometria materialului de împrumut este similară cu cea a materialului plajei naturale.



$B$  = înălțimea bermei de proiectare  
 $y$  = lungimea pe care avansează plaja  
 $H$  = adâncimea zonei “active”

**Fig 5.1.** Profilul plajei naturale comparativ cu profilul minim de proiectare, folosind material de înnisipare similar cu cel natural. Profilul de proiectare are aceeași formă cu cel natural, translatată înspre mare

Metoda de translatare a profilului trebuie ajustată pentru a ține seama de un conținut de parte fină mai mare la materialul de umplură decât la cel al plajei naturale.

Astfel, volumul total de construcție pentru o lucrare de înnisipare artificială a plajei poate fi definit ca:

$$V_T = (Q_d + Q_{of} + Q_{am})L_s \quad (5-3)$$

unde:

$V_T$  = totalul de material de umplură pus în operă (metri cubi)

$Q_d$  = cantitatea din profilul tip de proiectare față de profilul existent (metri cubi / metru)

$Q_{of}$  = cantitatea de surplus pentru ajustare, funcție de granulometria materialului natural și de împrumut (metri cubi / metru)

$Q_{am}$  = cantitatea din înnisiparea preventivă, care asigură pierderile până la realimentare (metri cubi / metru)

$L_s$  = lungimea de țărm (metri)

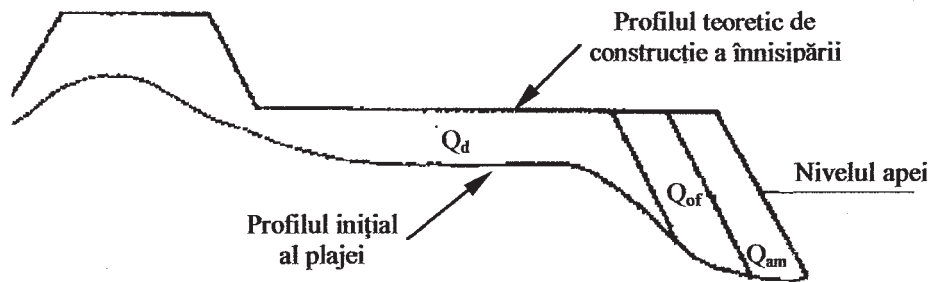


Fig. 5.2. Volumul de material suplimentar față de volumul de punere în operă din proiect necesar pentru a realiza volumul total de construcție.

Dacă zona lucrării prezintă variabilitate în lungul țărmului, poate fi necesară împărțirea în segmente, pe care se vor aplica determinările de volume.

a) *Surplusul de umplură față de profilul tip de construcție a înnisipării, determinat de diferența de granulometrie*

Studiile existente au dezvoltat abordări prin care se determină un raport care arată cât material de umplură este necesar ca rezultat al diferenței de caracteristici între umplură și materialul natural, cu următoarele presupuneri:

- sedimentul plajei naturale este considerat stabil pentru mediul respectiv;
- sortarea materialului de umplură prin procesele costiere va determina o granulometrie similară cu cea a plajei naturale, după o perioadă suficientă de timp;
- sortarea materialului de împrumut va determina pierderea unei cantități minime din materialul original;
- atât materialul original cât și cel de împrumut prezintă granulometrii "normale".

Pe baza acestor presupuneri au fost dezvoltate două abordări care estimează cantitatea de material necesară pentru a produce o anumită cantitate de material stabil, asemănător cu cel original (surplusul de umplură) și cât de des va fi necesară reînnisiparea.

b) *Coefficientul surplusului de umplură (RA)* se determină comparând mărimile ( $\phi$ ), ale valorilor de sortare ale sedimentelor plajei naturale și ale materialului de împrumut. Mărimea ( $\phi$ ) a diametrului sedimentelor este definită ca:

$$\phi = -\log_2(D) = -\frac{\ln(D)}{\ln 2} \quad (5-4)$$

unde  $D$  este diametrul granulei de sediment în milimetri.

Coefficientul surplusului de umplură de ajustare ( $R_A$ ) se determină grafic, folosind următoarele relații între materialul de umplură și cel al plajei naturale:

$$\frac{\sigma_{\phi b}}{\sigma_{\phi n}} \quad - \text{raportul deviației standard} \quad (5-5)$$

$$\frac{M_{\phi_b} - M_{\phi_n}}{\sigma_{\phi_n}} \quad (5-6)$$

= raportul diferențelor mediilor granulometrice prin deviația standard a materialului plajei naturale

în care:

$\sigma_{\phi_b}$  = deviația standard, ca o măsură a sortării sedimentelor (dispersia granulometrică), pentru materialul de împrumut

$\sigma_{\phi_n}$  = deviația standard, ca o măsură a sortării sedimentelor (dispersia granulometrică), pentru materialul plajei naturale

$M_{\phi_b}$  = media granulometrică pentru materialul de împrumut

$M_{\phi_n}$  = media granulometrică pentru materialul plajei naturale

Valorile obținute prin utilizarea relațiilor (5-5) și (5-6) se vor introduce în diagrama prezentată în figura 5.3. Valoarea lui  $R_A$  se obține prin interpolare între valorile reprezentate de izolinii.

Suplimentul de umplură se determină numai când profilul tip de proiectare se determină prin metoda de translație.

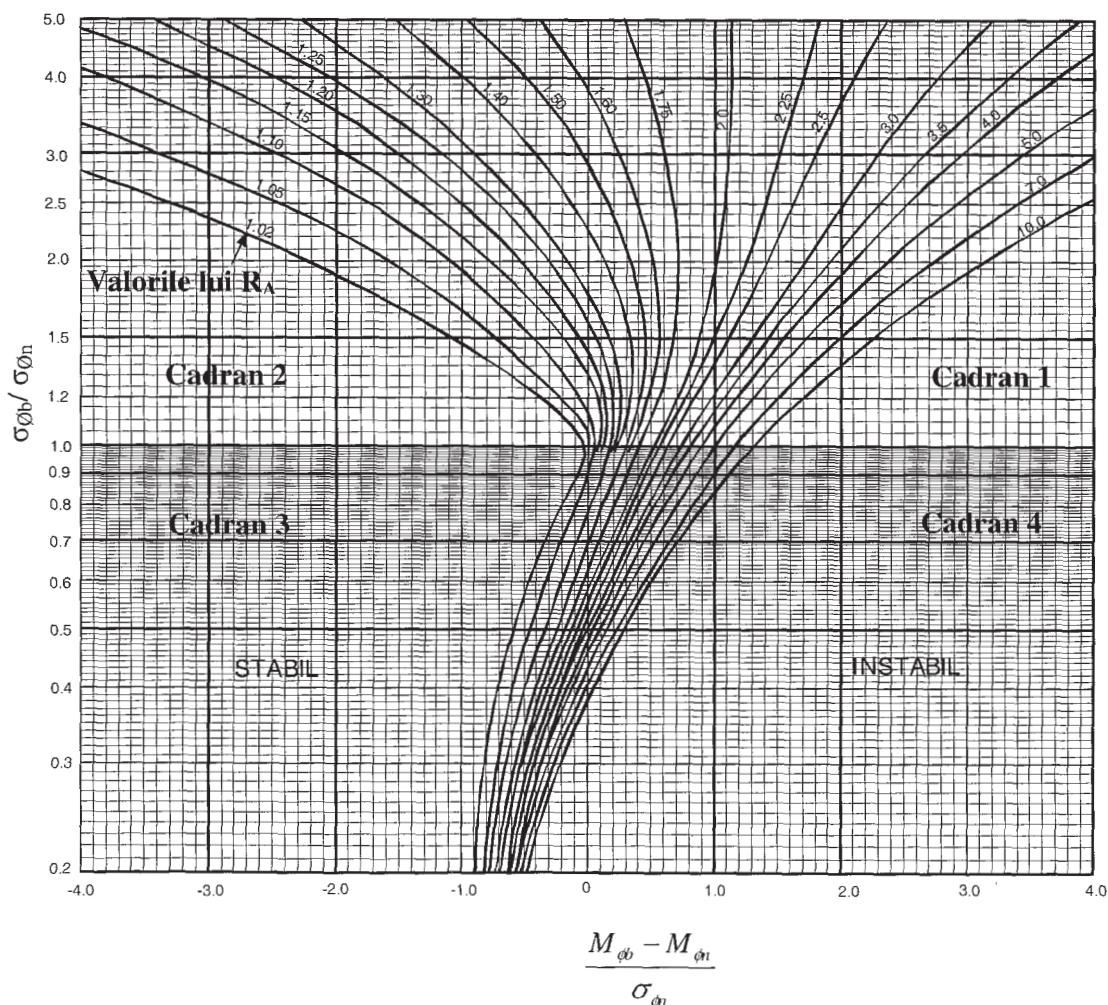


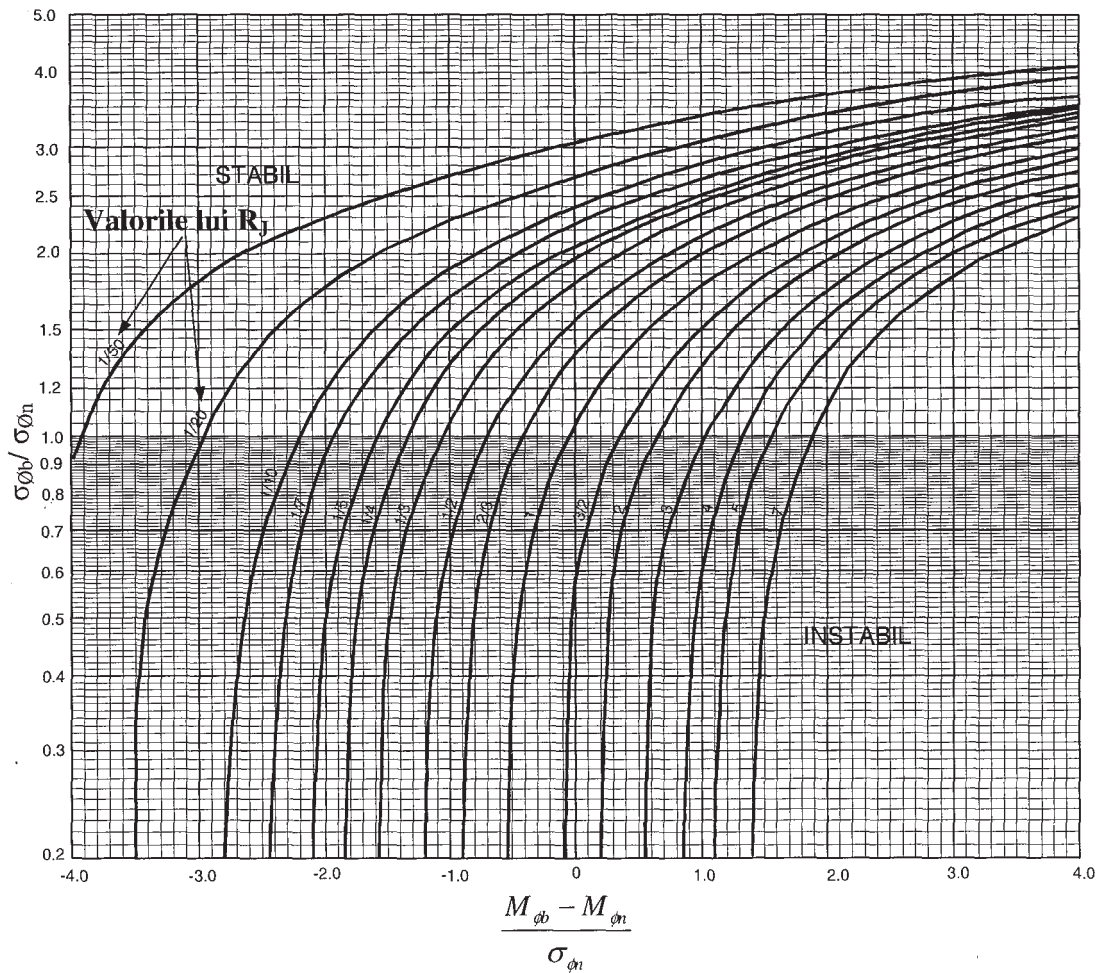
Fig. 5.3. Izolinii ale coeficientului suplimentului de umplură ( $R_A$ ), pentru valorile diferențelor de  $\phi$  mediu și raportul de sortare a lui  $\phi$ .

c) *Factorul de reînnesipare (RJ)* se poate calcula cu expresia (5-7) și furnizează un mod de a prevedea cât de des este necesară reînnesiparea folosind materialul de împrumut selectat. Se folosesc aceleași presupuneri și aceleași date de intrare ca și pentru coeficientul suplimentului de umplură.

$$R_J = \exp \left[ \Delta \left( \frac{M_{\phi_b} - M_{\phi_n}}{\sigma_{\phi_n}} \right) - \frac{\Delta^2}{2} \left( \frac{\sigma_{\phi_b}^2}{\sigma_{\phi_n}^2} - 1 \right) \right] \quad (5-7)$$

Parametrul adimensional  $\Delta$  este funcția de vânturare și reprezintă diferența scalată între  $\emptyset$  mediu ale sedimentelor plajei naturale care nu se erodează și al celor care se erodează (valoarea recomandată este 1,0).

$R_J$  poate fi determinat și folosind graficul din figura 5.4, prin interpolare între izolinii.



**Fig. 5.4.** Izolinii ale factorului de reînnesipare ( $R_J$ ) pentru valorile diferențelor de  $\emptyset$  mediu și raportul de sortare a lui  $\emptyset$ .

*d) Suplimentul de material de înnisipare pentru asigurarea pierderilor până la realimentare*

Majoritatea lucrărilor de înnisipare a plajelor necesită realimentare pentru menținerea dimensiunilor alese prin proiect. Aceste dimensiuni ale plajei și performanța lucrării sunt evaluate printr-o analiză economică a lucrării. Pentru a se asigura că aceste dimensiuni din proiect se mențin până la prima re-alimentare periodică, se încorporează în operația inițială de înnisipare o cantitate suplimentară de umplură. Aceasta are rolul de a compensa pierderile anticipate de la momentul terminării lucrării până la prima re-alimentare.

Pentru estimarea pierderilor anuale anticipate se poate folosi evoluția eroziunii. Va fi necesară ajustarea acestor cantități, pentru a ține seama de diferențele dintre materialul de înnisipare și cel al plajei naturale. Se pot folosi atât factorul de surplus  $R_A$  cât și factorul de re-alimentare  $R_J$ . În absența datelor privind evoluția eroziunii, pentru estimarea pierderilor anuale anticipate se poate folosi rata de transport longitudinal al sedimentelor.

O altă sursă de pierderi anuale din umplură ce trebuie luată în considerare sunt pierderile cauzate de perturbarea liniei țărmului determinată de însăși zona de înnisipare.

Când ratele de eroziune sunt influențate în mod semnificativ de structuri existente cum sunt ziduri sparge-val, îmbrăcămini și epiuri, sau dacă se propune un material de umplură mai grosier, poate fi necesar să se folosească modele numerice pentru estimarea pierderilor din plaja înnisipată. Trebuie menționat că ratele potențiale de transport litoral în zona lucrării pot depăși ratele de transport existente, din cauza prezenței structurilor artificiale sau a fundului tare din zona din apropierea țărmului. Potențialul de transport de sediment va rămâne constant după realizarea umplurii. Se poate ca existența surplusului de material să dea naștere la rate de transport mai mari decât cele estimate, fiind în consecință necesară o cantitate mai mare pentru re-alimentare decât cea reieșită din evoluția liniei țărmului.

#### 5.1.2.2 Metoda analitică de proiectare

Conceptul de “profil de echilibru” este folosit în analiza răspunsului unei plaje la condițiile de val extreme sau pe termen lung.

Profilul de echilibru al plajei submerse reprezintă forma plajei pentru care, în fiecare punct, sunt asigurate condițiile de echilibru morfologic. O plajă submarină având forma profilului de echilibru se menține stabilă sub acțiunea regimului corespunzător de valuri frontale.

Un profil de plajă tinde să își mențină forma atâta timp cât granulometria sedimentelor plajei și regimul de valuri pe termen lung rămân constante.

Multe profile de plaje prezintă o formă concavă astfel încât adâncimea variază funcție de distanța față de țărm la puterea  $2/3$  în lungul porțiunii submerse, așa cum este definită în ecuația 5-8 (ecuația profilului de echilibru).

$$h(x) = Ax^{2/3} \quad (5-8)$$

unde:

$h$  = adâncimea apei la distanța  $x$  față de linia țărmului (m)

$x$  = distanța față de țărm (m)

$A$  = parametru de scară care depinde în principal de caracteristicile sedimentelor ( $m^{1/3}$ )



Această relație arată că forma profilului plajei poate fi calculată numai pe baza caracteristicilor sedimentelor (dimensiunea granulei sau viteza de depunere).

Relația între parametrul A și viteza de depunere a sedimentelor ( $w$ ) poate fi exprimată:

$$A = 0,067 w^{0,44} \quad (5-9)$$

Ecuția vitezei de depunere, pentru o plajă obișnuită cu nisip cu diametrele între 0,15 mm și 0,85 mm și temperaturi ale apei între 15 și 25 °C, este:

$$w = 14 D^{1,1} \quad (5-10)$$

în care

$w$  = viteza de depunere a sedimentelor (cm/s)

$D$  = diametrul mediu al sedimentului (mm)

Pe baza ecuației profilului de echilibru (5-8) se determină volumul de umplură necesar pentru a produce lățimea dorită a plajei submerse pe unitate de lungime de țărm, la nivelul apei liniștite, ca diferență între acesta și profilul plajei naturale.

1) În această abordare, se pot întâlni trei tipuri de bază de profile de înnisipare:

- profilul după înnisipare intersectează profilul natural spre țărm față de adâncimea zonei "active" (Fig. 5.5. a)
- profilul înnisipat nu intersectează profilul natural înainte de adâncimea zonei "active" (Fig. 5.5. b)
- profilul plajei înnisipate nu intersectează profilul natural și după echilibru nu există o plajă emersă (Fig. 5.5. c, d)

Tipul de profil de înnisipare depinde de inegalitățile dintre sedimentele umpluturii și ale plajei naturale.

Cerința pentru ca plaja înnisipată să intersecteze profilul natural este ca materialul de umplură să fie mai grosier decât sedimentul plajei naturale.

Profilele care nu intersectează plaja naturală și cele submerse rezultă când materialul de umplură are granulometrie egală sau mai fină decât cel natural.

Profilele sunt determinate prin următoarele inegalități:

$$Y \left( \frac{A_N}{H} \right)^{3/2} + \left( \frac{A_N}{A_F} \right)^{3/2} < 1 \quad (\text{profil care intersectează plaja naturală}) \quad (5-11)$$

$$Y \left( \frac{A_N}{H} \right)^{3/2} + \left( \frac{A_N}{A_F} \right)^{3/2} > 1 \quad (\text{profil care nu intersectează plaja naturală}) \quad (5-12)$$

în care:

$A_N$  = valoarea parametrului A pentru sedimentele plajei naturale (din ecuația profilului de echilibru)

$A_F$  = valoarea parametrului A pentru materialul de umplură

$H$  = adâncimea zonei "active"

2) Ținând seama de condițiile descrise de ecuațiile 5-11 și 5-12, se poate determina volumul de material necesar pentru a realiza o lățime dorită de plajă emersă pe unitatea de linie de țărm, în funcție de granulometria materialului de împrumut.

a) Pentru cazul în care materialul de umplură este mai grosier decât cel natural ( $A_F > A_N$ ) volumul ( $V$ ) de material necesar pentru a atinge dimensiunile din proiect care satisfac condițiile unui profil înnisipat care intersectează profilul natural (fig. 5.5. a), este dat de :

$$V = BY + \frac{A_N Y^{5/3}}{\left[1 - \left(\frac{A_N}{A_F}\right)^{3/2}\right]^{2/3}} \quad (5-13)$$

Cu cât este mai grosier materialul de umplură față de cel natural, cu atât va fi mai abrupt profilul plajei înnisipate și umplutura va intersecta plaja naturală mai aproape de țărm, rezultând cantități semnificativ mai mici de material de umplură pentru realizarea lățimii dorite a plajei.

b) Pentru cazul rar când materialul de umplură este similar cu cel al plajei naturale ( $A_N \approx A_F$ ), volumul ( $V$ ) de material necesar poate fi determinat folosind ecuația 5-1 (fig. 5.5. b):

$$V = (B + H) Y$$

c) Pentru cazurile în care materialul de umplură este mai fin decât sedimentele naturale ( $A_F < A_N$ ), este necesar un volum critic de umplură pentru a se forma la limită o plajă emersă după echilibru (fig. 5.5. d), care este definit:

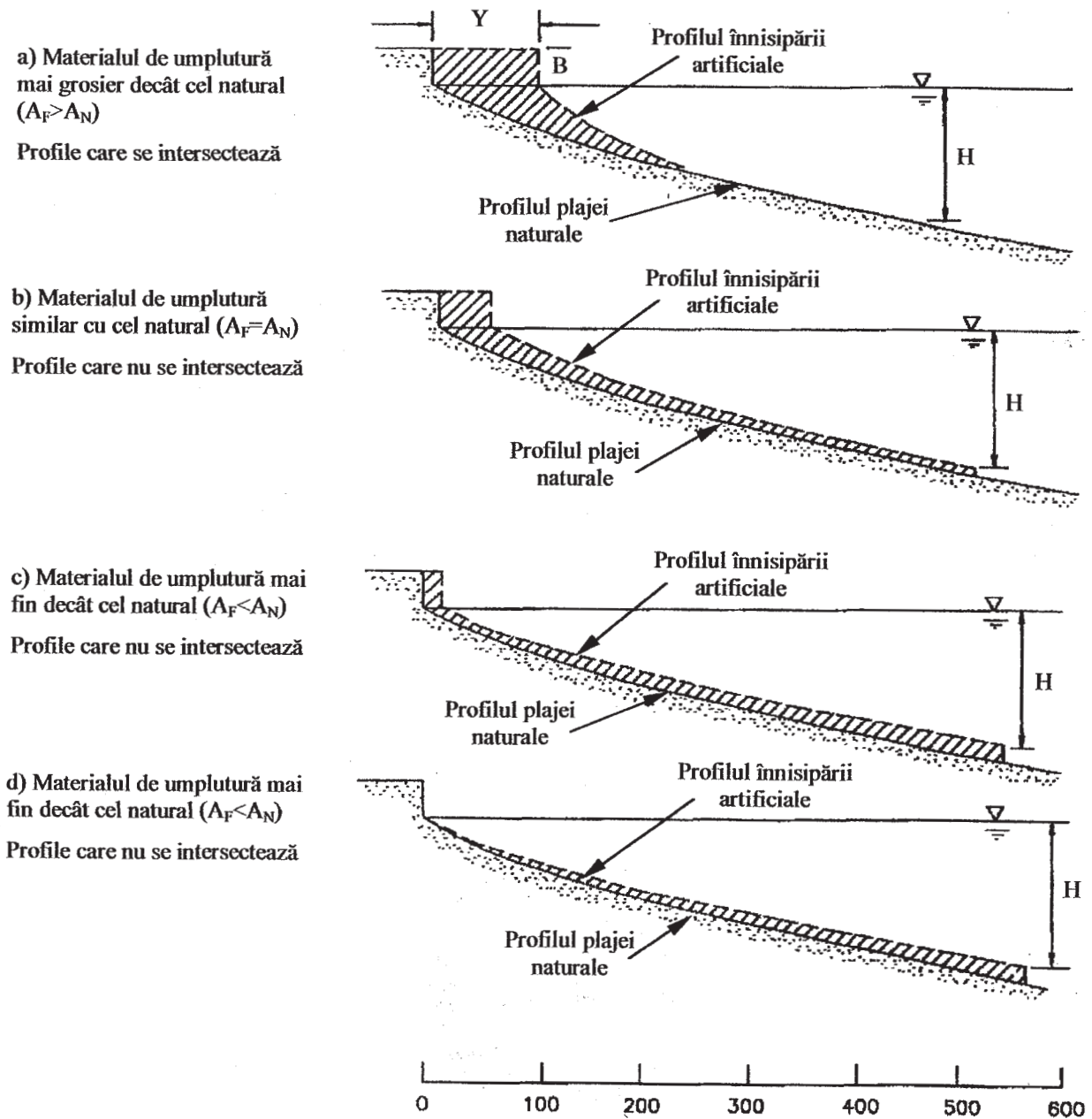
$$V = \frac{3}{5} H^{5/2} \left(\frac{1}{A_N}\right)^{3/2} \left(\frac{A_N}{A_F}\right)^{3/2} \left(\frac{A_N}{A_F} - 1\right) \quad (5-14)$$

În cazul în care cantitatea de material pus în operă este mai mică decât cea determinată cu ecuația 5-14, profilul înnisipat va fi submers.

Volumul ( $V$ ) necesar pentru a satisface condițiile pentru un profil înnisipat care nu intersectează profilul natural, în care materialul de umplură este mai fin decât materialul natural și având plajă emersă după echilibru (fig. 5.5. c), este:

$$V = YB + \frac{3}{5} H^{5/2} \left[ \left( \frac{Y}{H^{3/2}} + \left( \frac{1}{A_F} \right)^{3/2} \right)^{5/3} A_N - \left( \frac{1}{A_F} \right)^{3/2} \right] \quad (5-15)$$

Dacă materialul de umplură este mai fin decât materialul natural, va fi necesară o cantitate mai mare de material de umplură pentru a lăți plaja.



**Fig. 5.5.** Comportarea profilului de proiectare pentru diferite granulozități ale materialului de împrumut

3) Cantitatea de material necesar pentru realizarea înnisipării unei plaje trebuie corectată pentru procentajul de argilă și praf existent în materialul de împrumut.

4) Pentru calculul volumului total de material pus în operă, la volumul calculat după relațiile 5-13, 5-14 și 5-15 se va adăuga suplimentul de material pentru asigurarea pierderilor până la realimentare, determinat ca în capitolul 5.1.2.1.

Totuși, trebuie observat că, deși rezultatul final este calitativ același în cazul folosirii metodei translatării profilului și în cel al conceptului pantei de echilibru, teoria de fundamentare diferă.

În cazul metodei de translatare a profilului se presupune că materialul plajei naturale este stabil pentru un anumit regim de valuri și orice material mai fin va tinde să fie antrenat din umplutură, până când fracțiunea mai grosieră care rămâne va semăna ca granulometrie și profil cu plaja naturală.

În teoria pantei de echilibru dependentă de granulometrie, se presupune că materialul de umplutură va atinge o pantă de echilibru care este funcție de granulometria umpluturii.

În realitate situația este mult mai complexă decât oricare din cele două teorii, umplutura va atinge un profil de echilibru, în regimul local de valuri, corectându-și panta și pierzând partea fină din zona superioară a plajei (figura 5.6.). De aceea, va fi util să se compare rezultatele volumelor estimate prin cele două tehnici.

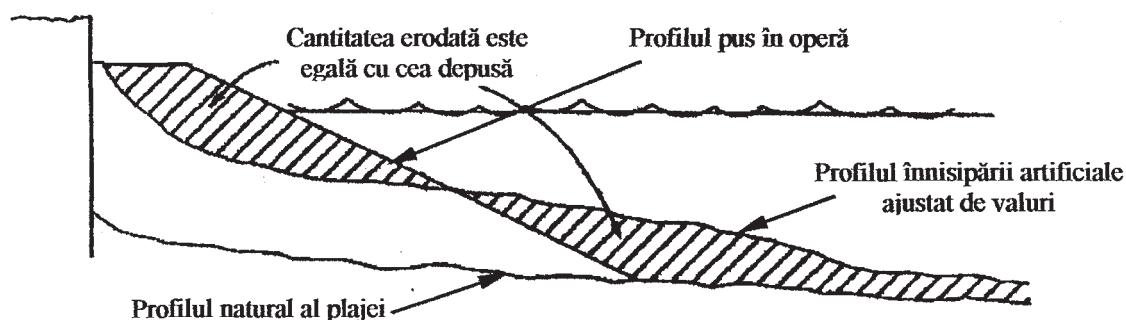


Fig. 5.6. Ajustarea profilului de construcție la condițiile de valuri de furtună

## 5.2. Profilul tip de construcție

Profilul tip de construcție definește forma profilului în momentul punerii în operă a umpluturii, astfel încât să poată fi executat. Față de profilul natural al plajei el trebuie să delimiteze un volum egal cu cel delimitat de profilul de proiectare (fig. 5.7.).

Profilele de construcție nu se află în echilibru față de procesele costiere predominante, preconizându-se că acestea se vor remodela, începând aproape imediat după punerea în operă, fiind influențate de condițiile de energie existente. Atunci când procesul de remodelare apare, mare parte din materialul plasat pe bermă și pe fața submersă a plajei va fi deplasat de către valuri și curenți în zona din apropierea țărmului (avanplajă). Volumul de material de umplutură trebuie să permită această re-ajustare care conduce la un profil cu o formă mai naturală (profilul de proiectare).

Panta inițială a oricărei înnisipări de plajă va fi de obicei mai abruptă decât cea a profilului natural peste care este realizată.

Panta profilului de construcție a înnisipării de sub apă va fi de ordinul 1:20 până la 1:30, de la nivelul apei mici până la intersecția cu fundul mării existent.

Pantele de construcție sunt rareori aceleași cu cele proiectate, din cauza limitărilor de execuție ale utilajelor folosite pentru depunerea și aranjarea umpluturii și din cauză că sortarea selectivă a materialului de către valuri și curenți va modela natural profilul la o pantă de echilibru încă din perioada de execuție.

Pe perioada execuției, trebuie monitorizată continuu umplutura, pentru a determina pantele reale ale plajei submerse și nu trebuie încercat să se respecte cu strictețe panta plajei submerse din profilul tip de construcție în regiunea de avanplajă. La lățimea bermei de

construcție trebuie să se facă corecții pentru a ține seama de diferențele care apar între pantele presupuse și cele reale. Aceasta va scuti timpul necesar pentru modelarea profilului în regiunea dinamică a profilului afectată de valuri.

Dacă este posibil, cota bermei de construcție va fi proiectată să fie egală sau puțin mai joasă decât cota crestei bermei naturale. Intenția este ca berma de construcție să se erodeze, distribuind materialul în lungul întregului profil, rezultând un profil modelat natural. Limitând înălțimea bermei de construcție la înălțimea bermei naturale, se va preveni așezarea la pantă abruptă a materialului de umplutură atunci când suferă remodelare. Pantele abrupte pot fi periculoase pentru turiști.

Se folosesc în general două metode de amplasare a materialului de umplutură. Una este de a înălța partea superioară a plajei și cealaltă de a crea un profil de construcție inițial care se întinde mult înspre larg.

1) Metoda “supraînălțării” plasează volumul de umplutură necesar în partea de uscat într-un profil tip de construcție cu berma plajei la cota din proiect dar cu o lățime a bermei mai mare decât cea din proiect și cu o pantă mai abruptă decât panta de echilibru în partea dinspre mare (figura 5.7.). Dimensiunile bermei din profilul tip de construcție sunt în general ajustate încât să asigure volumul de construcție necesar.

Reajustarea umpluturii într-o formă de echilibru a profilului este realizată aproape în întregime de către valuri și curenți care erodează și redistribuie umplutura. Când valurile încep reajustarea, se pot forma pante abrupte la piciorul umpluturii, care pot face dificil accesul la plajă. Formarea pantelor abrupte poate fi controlată prin reducerea înălțimii bermei pentru profilul de construcție și extinderea lățimii bermei înspre larg, sau pantele pot fi netezite mecanic.

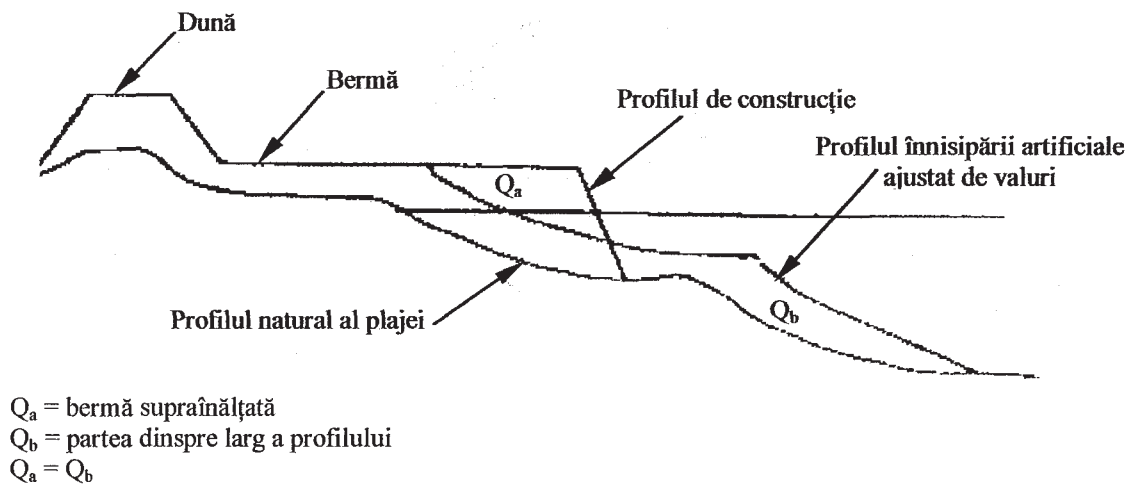


Fig. 5.7. Metoda supraînălțării folosită pentru a realiza volumul necesar pe uscat creând o bermă mai lată și o pantă mai abruptă

2) A doua metodă este de a plasa inițial o parte mai mare din umplutură în partea dinspre larg. Redistribuirea sedimentelor în lungul profilului de către valuri și curenți va avea loc mai mult în partea dinspre larg a umpluturii decât în partea de uscat. Această metodă constă în specificarea volumului total de construcție necesar în profil și un profil general de plasare, dar nu necesită plasarea precisă la liniile de pantă ale profilului tip de construcție.

Trebuie avut grijă ca volumul să nu fie plasat la cote prea joase la care să nu producă spargerea valurilor și nu va mai fi eficient ca protecție la furtună.

La aprecierea volumelor depuse trebuie să se țină seama de modul lor de reșezare în cadrul profilului de proiectare.

### **5.3. Materialul necesar pentru alimentarea periodică de menținere a profilului plajei**

Pentru menținerea dimensiunilor lucrării, după punerea în operă inițială a umpluturii va fi necesară o înnisipare periodică a plajei.

Pentru a evalua cât mai exact necesarul de umplutură pentru alimentarea periodică, trebuie determinate cât mai exact posibil eroziunea cauzată de transportul în lungul țărmului, transportul eolian, transportul transversal înspre larg etc. Aceste cantități pot fi estimate prin analizarea evoluției liniei țărmului și calcule ale bugetului de sedimente, presupunând că nu există structuri costiere care să modifice eroziunea naturală. Dacă există astfel de structuri, va trebui selectată cu atenție perioada de analiză și amplasamentul. De asemenea, trebuie luate în considerare pierderile de material asociate cu modificările liniei țărmului determinate de înnisiparea artificială însăși, care determină o pierdere de material la fiecare din capetele zonei înnisipate.

Necesitatea realimentării va fi determinată pe baza retragerii medii pe termen lung a liniei țărmului sau a calculului ratei de transport în lungul țărmului. Ratele de eroziune pot varia mult de la an la an și față de ratele medii pe termen lung, și pot fi influențate semnificativ de apariția furtunilor majore. De aceea, în timp ce un interval mediu de reînnisipare poate fi estimat, intervalul real necesar va varia în funcție de condițiile plajei determinate de condițiile climatice anterioare.

Dacă realimentarea a fost considerată ca parte a proiectului lucrării, cantitățile pentru înnisiparea preventivă (până la prima reînnisipare) trebuie incluse în volumul total de umplutură pentru construcție. Monitorizarea lucrării este importantă pentru a se observa condițiile neobișnuite pe durata de viață a lucrării.

Dacă se alege o sursă de împrumut care diferă textural de nisipul plajei naturale, pentru determinarea volumului de reînnisipare necesar se poate folosi factorul de reînnisipare ( $R_f$ ). Cu această abordare, sedimentele de dimensiuni diferite vor avea perioade diferite de rămânere în cadrul sistemului dinamic al plajei. Particulele mari vor trece în general mai încet prin sistem decât cele fine. Se va determina coeficientul de surplus  $R_A$  și se va aplica la materialul de reînnisipare periodică pentru determinarea volumului total de construcție.

Se va organiza un program de monitorizare care va include măsurători periodice ale suprafeței înnisipării plajei. Analiza acestor măsurători va arăta când este necesară reînnisiparea pentru menținerea sau restabilirea dimensiunilor lucrării, precum și rata reală de pierdere de material din zona lucrării. Aceste măsurători vor permite o evaluare mai exactă a necesarului de reînnisipare periodică pentru viitor.

Frecvența de realimentare poate fi determinată din considerente economice, ceea ce include costurile de mobilizare a execuției și aspecte ale intereselor locale (întreruperea execuției dacă plaja este folosită pentru agrement).

În majoritatea cazurilor, realimentarea plajei este necesară pentru a menține dimensiunile lucrării pe durata de viață a acesteia. Pentru reducerea necesarului de material

pentru realimentare, pot fi încorporate în lucrarea de înnisipare a plajei structuri cum sunt epiurile, jetelele și digurile longitudinale.

În faza de formulare a proiectului, se vor evalua variante de planuri pentru a determina dacă încorporarea de structuri și reducerea necesarului de material pentru re-alimentare este mai avantajoasă decât proiectarea lucrării de înnisipare a plajei fără structuri.

#### 5.4. Tranziția la capetele lucrării de înnisipare artificială

Terminația secțiunii de înnisipare a plajei la limitele lucrării se poate realiza folosind structuri grele, denumite de obicei structuri terminale, care pot fi epiuri, jetele sau diguri sparge-val, sau prin zone de înnisipare de tranziție. Trebuie acordată o atenție deosebită terminației înnisipării plajei, deoarece aceasta poate fi importantă în asigurarea nivelului dorit de protecție la limita lucrării.

Structurile grele vor permite o terminație abruptă a secțiunii de înnisipare a plajei. Aceste structuri sunt costisitoare și pot interfera cu transportul natural al sedimentelor în lungul țărmului. Această interferență poate da naștere la efecte negative în lungul plajei naturale alăturate.

Transportul în lungul țărmului poate determina pierderi la o lucrare de înnisipare, deoarece materialul depus artificial reprezintă o perturbare a liniei țărmului, care nu se află în echilibru cu geometria naturală a acesteia, iar forțele din lungul țărmului tind să restabilească echilibrul prin împrăștierea nisipului. În acest caz, transportul local poate fi semnificativ mai mare decât transportul mediu pe întreaga lucrare, din cauza orientării locale diferite a liniei țărmului față de valuri și poate exista un proces dominant de pierdere a umpluturii. Transportul de sedimente în vecinătatea lucrărilor de înnisipare a plajelor apare în trei faze diferite (figura 5.8.).

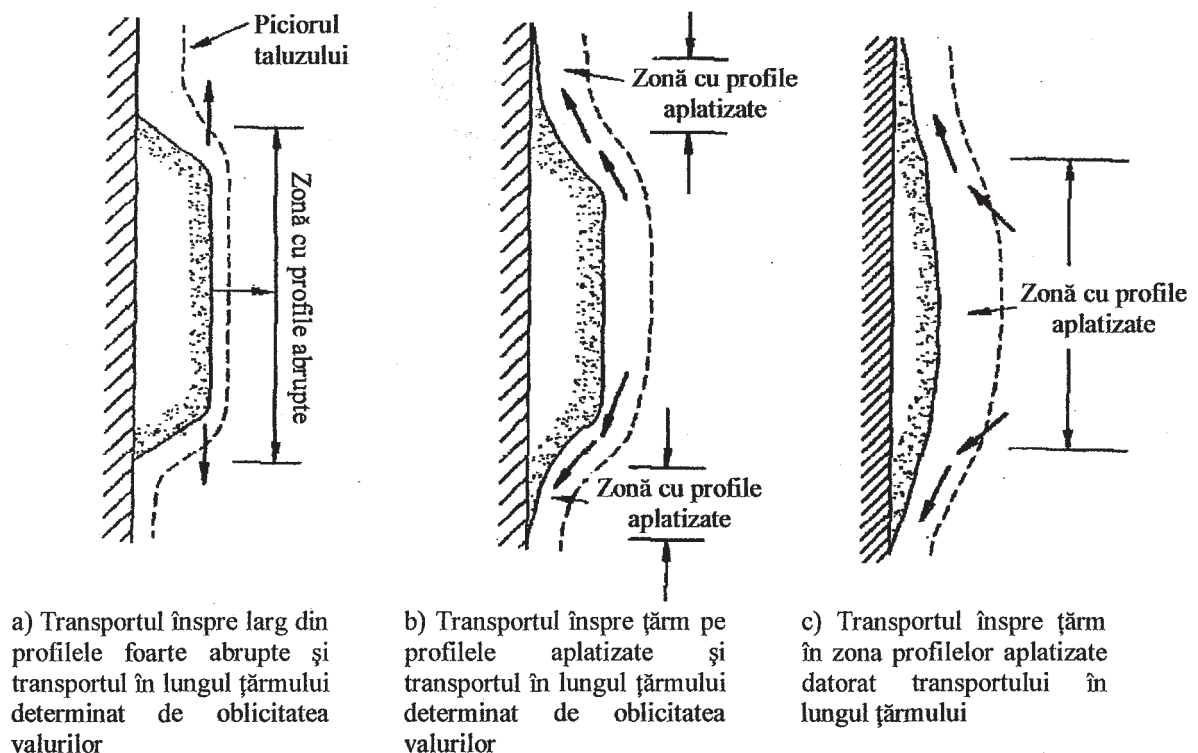


Fig. 5.8. Evoluția în timp a zonelor de tranziție ale lucrărilor de înnisipare a plajelor

Evoluția formei în plan a plajei, care combină conservarea nisipului cu procesele de transport al sedimentelor este exprimată ca o fracție de sedimente care rămân pe un țărm relativ drept, fără structuri de capăt, pentru diferite intervale de realimentare, funcție de timp:

$$M(t) = \frac{1}{J\sqrt{\pi}} \left( e^{-J^2} - 1 \right) + \operatorname{erf}(J) \quad (5-16)$$

în care

$$J = \frac{L_f}{2\sqrt{Gt}} \quad (5-17)$$

$\operatorname{erf}(J)$  = eroare în funcție de J

$t$  = timpul (secunde)

$L_f$  = lungimea umpluturii

și

$$G = \frac{(0.1h_b^{5/2} g^{1/2})}{(H + B)} \quad (5-18)$$

pentru care variabilele au fost definite mai sus.  $\operatorname{Erf}(J)$  poate fi obținut din diferite tabele matematice și funcții de erori.

Când  $1/J$  este mai mic decât 1.0 (determinând  $M(t)$  să fie între 1.0 și 0.5) se poate folosi o relație aproximativă, exprimată ca:

$$M(t) = 1 - \frac{1}{J\sqrt{\pi}} \quad (5-19)$$

Reducerea pierderilor la capetele înnisipării poate fi obținută extinzând capetele laterale ale umpluturii și îngustând secțiunea treptat la unghiuri mici față de linia inițială a țărmului. Aceasta va diminua efectele de perturbare și va minimiza unghiul de orientare a țărmului față de direcția de apropiere a valurilor. Lungimea optimă de racordare a capetelor înnisipării poate fi determinată cu ajutorul modelelor de răspuns al liniei țărmului.

Secțiunile de tranziție sunt supuse unor pierderi accelerate cauzate de diferența de orientare a secțiunii de tranziție față de linia țărmului natural. Aceste pierderi sunt rezultatul unui unghi mai mare între linia țărmului în secțiunea de tranziție și creasta valului în zona lucrării. În lungul acestor secțiuni apare un transport sporit în lungul țărmului, deoarece transportul litoral este legat direct de acest unghi. Pentru a determina soluția cea mai bună în ce privește raportul eficiență-cost, trebuie evaluate diferite combinații de unghi de tranziție și lungime.

Costul secțiunilor de tranziție pe durata de viață a lucrării trebuie comparat cu realizarea unei compartimentări a înnisipării plajei cu epiuri sau jetele, alegându-se varianta cea mai bună din punct de vedere eficiență – cost, aspecte de mediu, condiționări din partea proprietarilor terenului, sau alți factori.

## 5.5. Metode de stabilizare a nisipului pe plajă

Acțiunea vântului este una din cauzele care contribuie la reducerea dimensiunilor plajelor prin antrenarea nisipului, în special în sezonul rece. Pentru menținerea atât a unei



plaje naturale cât și a unei plaje create prin înnisipare artificială, se va lua în considerare stabilizarea acestora prin metode biologice sau lucrări ușoare (garduri).

Metodele biologice sunt lucrări definitive care constau în plantarea de vegetație pe o lățime și direcție corespunzătoare, astfel încât să constituie o barieră în calea antrenării nisipului în afara plajei.

Lucrările ușoare (garduri) sunt lucrări temporare care se execută de obicei în extrasezon, având același scop ca și metodele biologice. Aceste lucrări constau în elemente ușoare, îmbinate adecvat, care se pot demonta cu ușurință. Poziția acestor lucrări se va modifica după necesități.

Aceste soluții pot fi utilizate ca soluții de sine stătătoare, pentru crearea dunelor ca depozit tampon de nisip.

Atât metodele biologice cât și gardurile se vor aplica în lungul plajei, la limita dinspre uscat a acesteia. În cazul plajelor late, suprafața acestora poate fi parcelată prin lucrări provizorii sau definitive transversale pe plajă, pentru a limita antrenarea nisipului în lungul plajei.

Periodic, se vor efectua lucrări de împrăștiere pe plajă a materialului stocat la baza acestor protecții.

Lucrările de stabilizare a nisipului pe plajă vor trebui să țină seama de următoarele aspecte:

- alegerea unor plante care să reziste la condițiile naturale de pe plajă (abrazivitate, lumina soarelui, căldură, inundare ocazională cu apă sărată);
- alegerea distanței adecvate față de linia țărmului pentru amplasarea gardurilor și perdelelor;
- poziționarea paralel cu linia țărmului, fără a fi neapărat necesar să fie perpendiculare pe direcția vântului predominant;
- în cazul lucrărilor transversale, alegerea distanței între ele și a lungimii acestora;
- stabilirea distanței între plante, respectiv porozității gardului;
- stabilirea tehnologiei de însămânțare sau plantare.

## **5.6. Alegerea metodologiilor și procedurilor de proiectare**

Alegerea metodologiilor corespunzătoare pentru organizarea, analiza și proiectarea unei lucrări de înnisipare artificială, va fi determinată de un număr de factori, care include faza de studiu (recunoaștere, fezabilitate sau proiectare), scopul lucrării și condițiile existente în lungul țărmului în zona analizată.

În general, pentru faza de recunoaștere, metodologiile și procedurile de proiectare se limitează la experiență, îndrumări empirice și metode analitice, în special deoarece această fază a studiului se limitează la folosirea datelor disponibile pentru zona respectivă. Totuși, dacă modelele numerice sunt eficiente și ușor de folosit, se recomandă folosirea lor.

Pentru faza de fezabilitate a lucrării, se folosesc metodologii și procedee mai avansate, cum sunt modelele numerice, adăugate la experiență, îndrumări empirice și metode analitice.

Pentru faza de proiectare a lucrării, se analizează și se detaliază soluția recomandată în studiul de fezabilitate, ceea ce justifică în general utilizarea celor mai sofisticate și exacte

modele numerice, în unele cazuri speciale cu structuri complexe implicând modele fizice și de valuri, pe baza unor măsurători cât mai amănunțite desfășurate pe o perioadă convenabilă de timp.

### 5.6.1 Modele numerice

Modelele numerice pot prezice linia țărmului și evoluția plajei. Aceste modele pot fi aplicate la formularea și proiectarea lucrărilor de înnisipare artificială a plajelor. Cu o aplicare adecvată, aceste modele pot fi folosite pentru evaluarea eficientă a performanței variantelor de proiecte de lucrări și evaluarea efectelor constrângerilor de proiectare asupra performanței lucrării. Un avantaj major al modelării numerice este că odată ce modelul este stabilit și calibrat, modificările proiectului pot fi evaluate eficient.

#### a) Modele de modificare a profilului și de eroziune a plajei.

Aceste modele calculează răspunsul profilului de proiectare și al dunelor la valuri și supraînălțare la furtună, furnizând estimări ale cantității erodate din bermă și plaja superioară, precum și transferul nisipului de la plaja superioară la plaja submersă ca răspuns la condițiile furtunii de calcul. În general, aceste modele simulează răspunsul unui singur profil o dată și numai pe direcția țărm – larg; transportul în lungul țărmului este neglijat.

Datele ce trebuiesc în general cunoscute și introduse în aceste modele numerice sunt:

- profilele plajei naturale
- procesele majore de furtună și răspunsul plajei (pentru calibrarea modelului)
- date istorice despre valuri de furtună, nivelele apei (înălțare din furtună), vânturi
- granulometria ce caracterizează sedimentele plajei naturale
- profilul de proiectare inițial suprapus peste profilul natural tip

Aplicate corespunzător, aceste modele pot calcula cu o oarecare exactitate eroziunea plajei produsă de furtuni.

Datele de intrare pentru modelele de determinare a modificărilor profilului și eroziunii plajei, includ: serii în timp ale înălțimii, perioadei și direcției valurilor, serii în timp ale nivelelor apei, geometria profilului înainte de furtună, dimensiunea medie a granulelor reprezentativă pentru profilul plajei.

Rezultatele includ geometria profilului după furtună, din care se pot calcula diferite poziții ale conturului țărmului și modificări de volum.

Înainte de utilizarea unui model pentru proiectare este necesară calibrarea și verificarea acestuia utilizând profile înainte și după furtuni ale căror condiții sunt cunoscute.

#### b) Modele de modificare a liniei țărmului

Aceste modele sunt în general unidimensionale pe direcția în lungul țărmului și calculează răspunsul liniei țărmului la acțiunea valurilor, pentru o gamă largă de plaje, structuri costiere, valuri, condiții inițiale și de limită. Modelele presupun că forma profilului rămâne constantă iar linia reprezentativă a țărmului este considerată la nivelul mediu al apei. Acest tip de modele este folositor în special la evaluarea efectelor structurilor, cum sunt epiurile sau digurile longitudinale detașate, asupra liniei existente a țărmului sau asupra unei lucrări de înnisipare a plajei, răspunsul unei lucrări scurte de înnisipare peste limitele proiectului și eficiența zonei de tranziție a lucrării de înnisipare.

#### c) Modele tridimensionale schematice de multi-contur

Aceste modele diferă față de modelele de modificare a liniei țărmului și a profilului prin faptul că se presupune o formă constantă a profilului și un transport constant în lungul

țărului. Aceste ipoteze simplificatoare sunt făcute pentru a produce modele schematice tridimensionale. Din cauza complexității lor, aceste modele au posibilități limitate și necesită resurse importante de calcul. De aceea, ele nu sunt foarte mult aplicate la proiectarea înnisipărilor artificiale.

#### *d) Modele tridimensionale complete*

Aceste modele calculează modificările valurilor, curenților, transportului de sedimente și cotei fundului mării punct cu punct fie în diferențe finite fie în elemente finite în care este împărțită zona de interes. Utilizarea acestor modele necesită expertiză specială, calculatoare puternice, colectare extinsă de date în teren. De aceea, aplicarea acestora a fost limitată.

### **5.6.2 Modele fizice**

Aceste modele sunt în general cu pat fix, pat mobil sau o combinație a celor două. Studiile pot fi efectuate fie bi-dimensional, fie tri-dimensional. Pentru lucrări de înnisipare artificială a plajelor, pentru simularea mișcărilor pe direcțiile transversal pe țărm și în lungul acestuia, precum și vertical în masa de apă, sunt necesare modele tri-dimensionale cu pat mobil. Problema principală legată de modelarea fizică a paturilor mobile rezultă din efectele cauzate de reducerea scărilor de lungime și de scalarea atât a dimensiunilor sedimentelor cât și a proprietăților fluidului. Dificultățile în simularea proprietăților relevante la modele și prototipuri determină “efectele de scară”. Aceste efecte de scară limitează acuratețea rezultatelor la modelarea cu pat mobil. Totuși, dacă se ține seama de limitările impuse de efectele de scară, se pot obține informații utile și suficient de exacte pentru scopuri de proiectare.

Unul dintre avantajele modelării fizice este posibilitatea de a efectua studii detaliate și controlate ale interacțiunilor hidrodinamice complexe din zona costieră. Acest lucru le face deosebit de utile la examinarea geometriilor complexe ale epiurilor, digurilor longitudinale și promontoriilor artificiale.

Pentru a obține date ingineresti semnificative și credibile pentru o lucrare de înnisipare artificială, trebuie să fie disponibile date numeroase asupra amplasamentului.

Un dezavantaj major al modelelor fizice, în plus față de dificultățile de determinare a relațiilor adecvate de scalare, este prețul ridicat și timpul necesar pentru efectuarea investigațiilor.

### **5.7. Obligațiile proiectantului rezultate din Legea 10/1995 referitoare la cerințele de calitate**

Obligațiile proiectanților ce rezultă din legea 10/1995 sunt următoarele:

a) să precizeze prin proiecte categoria de importanță a lucrărilor;

Conform H.G. nr. 766/1997 și a “Metodologiei de stabilire a categoriei de importanță a construcțiilor”, lucrările de înnisipare a plajelor pot fi încadrate în categoriile “B” sau “C”. În categoria “B” vor fi acele cazuri când plajele, situate pe un cordon litoral sau în apropierea unor construcții importante, constituie un element de protecție al acestora.

b) asigurarea nivelului de calitate prin respectarea cerințelor ghidului;

c) prezentarea proiectelor pentru verificare specialiștilor atestați din grupele A7 – Rezistență și stabilitate pentru construcții și amenajări hidrotehnice, B5 – Siguranța în

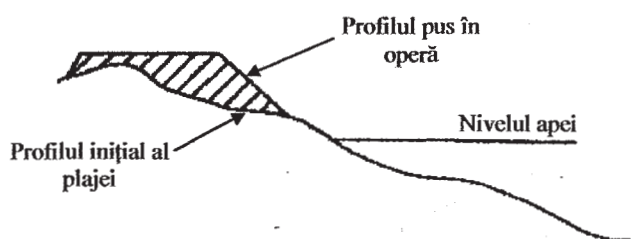
exploatare pentru construcții și amenajări hidrotehnice, D – Igiena, sănătatea oamenilor, refacerea și protecția mediului;

- d) elaborarea caietelor de sarcini privind calitatea materialelor și a execuției lucrărilor;
- e) elaborarea programului de urmărire a comportării în timp;
- f) precizarea în proiect cel puțin a următoarelor faze determinante:
  - verificarea calității materialului de împrumut pe loturi;
  - verificarea execuției formei materialului pus în operă;
  - verificarea punerii în operă a materialului de reînnoșare.

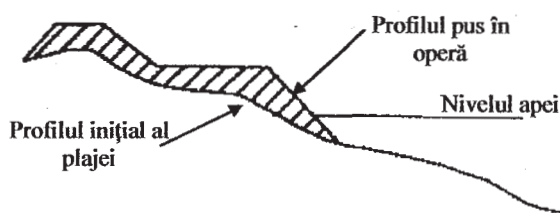
## 6. EXECUȚIA LUCRĂRILOR DE ÎNNISIPARE ARTIFICIALĂ

### 6.1. Poziționarea umpluturii

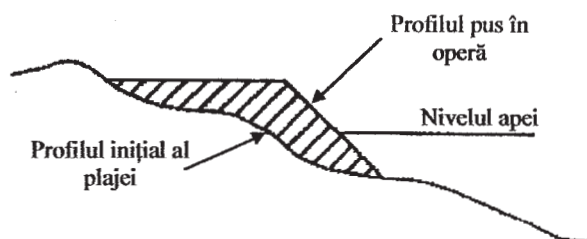
Punerea în operă a materialului de umplură în cadrul unei zone de plajă va fi determinată de cerințele de protecție și de metoda de execuție. În continuare se prezintă secțiuni transversale cu diferite poziționări ale materialului de umplură, cel mai des folosite.



(a) *Numai dună* – consolidarea dunei existente sau crearea unei noi dune în zona dinspre uscat a plajei. Această tehnică are scopul de a asigura plaja cu o rezervă de nisip împotriva efectelor de eroziune cauzate de furtuni și de a împiedica energia valurilor să ajungă la proprietățile din spatele plajei.

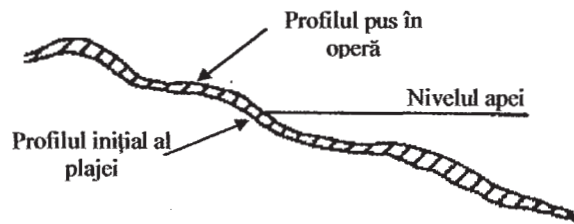


(b) *Dună și bermă* – cu scopul de a consolida duna și de a lăți bermă încât să reziste la eroziunea cauzată de furtună plus o lățime adițională pentru a împiedica valurile să se reverse și să ajungă la proprietățile din spatele plajei.

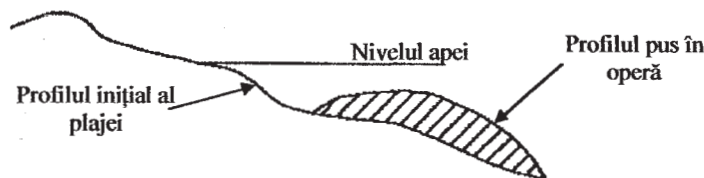


(c) *Numai bermă* – proiectată să adauge volum și să lățească plaja prin translatarea zonei de deflurare a valurilor către larg. Înălțimea bermei va fi stabilită de obicei aceeași cu

înălțimea bermei naturale. Pentru scopuri de recreație, lățirea plajei va furniza o zonă suplimentară pentru folosire ca loc de agrement.



(d) *Umplerea profilului* – metoda este proiectată pentru a mări volumul de nisip de-a lungul întregului profil. De obicei, materialul se depune într-o zonă activă a profilului și prin procese naturale va fi distribuit peste întregul profil. Teoretic, prin această metodă ar trebui să rezulte o formă a profilului deja în echilibru cu valurile și curenții.



(e) *Bermă în zona din apropierea țărmului (avanplajă)* – are scopul de a simula o bară naturală de furtună, prin crearea unei bare de furtună artificiale paralele cu țărmul, pentru disiparea energiei valurilor de furtună înainte de impactul cu plaja. În perioade prelungite de energie scăzută a valurilor, mare parte din materialul barei artificiale poate fi deplasat către țărm, alimentând berma și zona din apropierea țărmului (avanplaja).

Profilele ilustrate anterior intenționează să prezinte poziționarea ideală a umpluturii, fiind în realitate dificil de realizat. În cele mai multe cazuri poate fi avantajoasă folosirea unei metode combinate de plasare a umpluturii atât în partea superioară cât și în cea inferioară a profilului plajei. Aceasta poate reduce pierderile inițiale care au loc în mod obișnuit pe perioada majorității lucrărilor de înnisipare, prin reducerea transportului în lungul țărmului al materialului din umplutură. Un dezavantaj al acestei metode este reprezentat de faptul că trebuiesc efectuate două operațiuni de punere în operă, atât pe zona de pe uscat, cât și pe zona submersă.

Abordările de depunere în lungul țărmului a materialului pentru înnisipare artificială includ și crearea unei plaje de alimentare. Aceasta este realizată prin depozitarea materialului în capătul amonte de curent al zonei ce se intenționează a fi înnisipată artificial, permițând proceselor de transport în lungul țărmului să distribuie materialul în amplasamentul respectiv. Plajele de alimentare funcționează în general bine în zonele care în prezent servesc ca surse de sedimente pentru plajele din aval sau în zonele care prezintă un deficit în alimentarea cu material litoral. Beneficiile unei plaje de alimentare se limitează în general la linia de țărm imediat adiacentă depozitului. Deoarece materialul depozitat se răspândește sub influența valurilor oblice, orientarea conturului plajei de alimentare se apropie de cel al plajei adiacente, rezultând un transport al materialului din plaja de alimentare în lungul țărmului egal cu transportul în lungul zonei adiacente. De aceea, în funcție de lungimea lucrării, nu trebuie să se aștepte ca plajele de alimentare să satisfacă cerințele de înnisipare pentru întreaga lucrare, această necesitate putând fi cel mai bine satisfăcută prin poziționarea materialului de împrumut chiar în amplasamentul lucrării.

## 6.2. Tehnologii de execuție

Execuția lucrărilor de înnisipare a plajelor poate implica utilizarea uneia sau multor combinații posibile de echipamente și tehnici, în funcție de amplasament, mărimea lucrării, restricții de mediu sau de altă natură.

Sursa de material de înnisipare poate fi de pe uscat, din cursurile de apă interioare sau din largul mării.

Când sursa se află la uscat, atunci transportul se efectuează cu ajutorul autobasculantelor și punerea în operă se face direct în amplasament, prin împingere și împrăștiere cu buldozerul.

Când sursa se află în largul mării, operațiunile de înnisipare se pot efectua în mai multe variante de excavare și transport:

a) excavarea cu drăgi cu cupe și depozitare în gabare sau șalande, cu care materialul este transportat până la adâncimea de navigație a acestora, și punerea în operă prin refulare sau descărcare directă;

b) excavarea cu drăgi absorbant-refulante:

- cu magazie proprie, punerea în operă făcându-se prin deplasarea drăgii până în apropierea amplasamentului și refularea materialului
- cu transport prin refulare prin conducte până în amplasament.

c) cu sisteme speciale de pompare fixe tip by-pass.

Principalele condiționări la transportul și punerea în operă a materialului provenit din surse de împrumut din larg constau în:

- întârzieri din cauza condițiilor meteorologice, respectiv agitației mării și vânturilor;
- restricții pentru activitățile de construcție, metode și program, legate de aspecte de mediu;
- limitări ale echipamentelor pentru dragaje la apă adâncă;
- limitări ale lucrului utilajelor la apă mică;
- distanțele mari pe care materialul trebuie transportat.

## 6.3. Sursele de împrumut

Sursele de împrumut pentru materialul de înnisipare artificială a plajelor se pot împărți în patru mari categorii: terestre, în spatele unor insule, din largul mării și canale de navigație. Fiecare categorie are avantaje și dezavantaje, totuși, alegerea unei surse optime de împrumut depinde mai mult de caracteristicile individuale ale amplasamentului legate de cerințele lucrării, decât de tipul sursei.

Lucrările de redistribuire a nisipului acumulat în unele zone, indiferent de cauze, se vor face în baza unor studii de specialitate, elaborate de instituții abilitate.

### 6.3.1 Surse terestre

În multe zone costiere pot fi găsite surse de material corespunzător pentru realizarea înnisipării artificiale a plajelor. Datorită valorii lor economice potențiale, informații asupra

depozitelor de nisipuri și pietrișuri sunt deseori colectate prin investigații geologice. În unele locuri, existența unor exploatare miniere de nisip și pietrișuri, poate furniza material corespunzător prin livrare directă. În absența acestora, va fi necesară organizarea unei surse de împrumut specifică proiectului. Utilizarea unei surse de material terestră implică costuri mai mici pentru mobilizarea-demobilizarea operațiunilor și închirierea utilajelor, și mai puțini timpi morți cauzăți de condițiile meteorologice, decât utilizarea unei surse submerse. Totuși, capacitatea de producție a operațiilor terestre este comparativ scăzută, iar distanțele de transport pot fi relativ lungi. Astfel, costul pe unitatea de volum de material pus în operă îl poate depăși pe cel pentru surse alternative submerse. În general, sursele terestre sunt mai avantajoase pentru lucrări pentru care costurile de extracție și mobilizare-demobilizare reprezintă o parte relativ mare din cheltuielile totale pentru operațiunea de înnisipare artificială.

### ***6.3.2 Depozite în spatele insulelor***

Pentru înnisipare artificială pot fi folosite depozite sedimentare din golfuri, sau medii lagunare în spatele insulelor tip barieră. Acestea reprezintă o sursă convenabilă de material deoarece sunt protejate de valuri. Pentru a putea fi folosite la înnisiparea artificială a plajelor, se va verifica granulometria materialului, majoritatea acestor sedimente având granulometrie fină.

### ***6.3.3 Canale navigabile***

Realizarea unor canale navigabile, precum și adâncirea și întreținerea căilor fluviale existente, implică dragarea unui volum mare de material sedimentar. În cazul în care acest material este de o calitate corespunzătoare, poate fi folosit ca umplutură pentru plaje în loc să fie evacuat în altă parte. Operațiile de acest tip sunt avantajoase din punct de vedere economic deoarece se realizează un beneficiu dublu față de cazul în care cele două operații se efectuează separat. (Exemplu: menținerea adâncimilor la bara și pe canalul Sulina).

### ***6.3.4 Surse din mare***

Bancurile de aluviuni din platforma continentală interioară pot constitui surse potențiale pentru materialul de umplutură. Astfel de depozite pot fi excavate cu drăgi proiectate să lucreze în condiții de mare deschisă. Materialul poate fi transportat chiar cu draga, dacă este prevăzută cu magazie, sau cu barje, până la un loc mai protejat din apropierea viitoarei lucrări. Aici este descărcat într-un depozit de preluare și apoi transferat la plajă prin conducte hidraulice sau mijloace auto.

O metodă alternativă este de a arunca materialul într-o bermă (bară) pe cât posibil de aproape în larg de plajă, unde este posibil ca materialul să fie deplasat către țărm prin acțiunea valurilor. Descărcarea materialului în zone cu ape puțin adânci necesită echipamente speciale.

Sursele de împrumut din largul mării au câteva trăsături avantajoase. Pot fi găsite adesea depozite cu material corespunzător în apropierea amplasamentului lucrării. Depozitele de larg conțin de obicei volume mari de sedimente cu caracteristici relativ uniforme și cu conținut redus de material argilos sau prăfos. Pot fi utilizate drăgi cu productivitate mare. Efectele asupra mediului pot fi menținute la nivele acceptabile printr-o bună organizare.

Aspectele defavorabile ale operațiunilor de extragere de material din larg sunt legate de lucrul în condiții de mare deschisă și de modificarea batimetriei fundului mării prin extragerea de material. Drăgile capabile să lucreze în condiții de mare deschisă au în general costuri mari de închiriere și operare, deși acesta poate fi acoperit prin productivitatea ridicată. Modificarea batimetriei poate avea efecte nefavorabile asupra zonelor de țărm adiacente, din

cauza modificării caracteristicilor valurilor. Aceste efecte trebuie analizate înainte de selectarea sursei de împrumut, prin utilizarea modelelor de transformare a valurilor în apropierea țărmlui.

## **6.4. Investigarea surselor de împrumut**

### **6.4.1 Investigarea pe teren**

Programul de investigare pe teren cuprinde patru etape: studii preliminare de birou, investigare globală pe teren, studii detaliate și evaluare. Suprafața acoperită de aceste investigații este delimitată de o distanță de la amplasamentul lucrării care se află în cadrul unor limite fezabile din punct de vedere economic pentru transportul materialului. În general, se iau în considerație inițial sursele aflate la câțiva kilometri. Surse mai îndepărtate vor fi luate în considerație numai dacă nu sunt disponibile mai aproape surse corespunzătoare.

Prima etapă a programului de investigare constă în analizarea informațiilor existente asupra geologiei zonei studiate.

În a doua etapă se efectuează colectarea datelor pe teren de pe întreaga suprafață studiată, pentru a localiza și caracteriza parțial sursele de împrumut potențiale.

A treia etapă implică colectarea datelor de detaliu asupra surselor de împrumut potențiale identificate în etapa de investigare globală.

Etapa a patra constă în evaluarea calității sedimentelor și a efectelor sale asupra țărmlui.

Pentru sursele din mare, principalele metode de colectare a datelor pe teren sunt ridicările batimetrice cu ajutorul sondelor electronice cu ecou acustic sau reflexiei seismice, urmate de prelevări de probe. Pentru a reduce timpii morți determinați de vremea nefavorabilă, se recomandă efectuarea campaniilor de teren vara.

### **6.4.2 Echipamente**

Cele mai importante echipamente pentru investigarea surselor din mare sunt cel de reflexie seismică, aparatura vibracor, sistemul de poziționare globală (GPS) și ambarcațiunile.

### **6.4.3 Studii de birou**

Studiile de birou constau în analizarea hărților, graficelor, aerofotogramelor și a literaturii privind zona respectivă. Analizarea acestor materiale furnizează informații generale asupra geomorfologiei și geologiei din zonă.

### **6.4.4 Investigare globală pe teren**

În cadrul investigării globale sunt colectate date de pe întreaga suprafață, pentru a localiza și a obține informații asupra potențialelor surse de împrumut și asupra stratigrafiei fundului marin. Pentru sursele din mare, aceasta se realizează în principal prin parcurgerea întregii zone cu o ambarcațiune echipată cu GPS și prin prelevare de probe.



#### **6.4.5 Ridicări batimetrice și prelevări de probe de detaliu**

În zonele identificate la investigarea globală ca potențiale surse de împrumut din mare, se vor efectua ridicări batimetrice și prelevări de probe pentru a completa datele obținute în etapa anterioară.

### **6.5. Criterii de alegere a sursei de împrumut**

Orice studiu de eroziune a plajei sau de protecție a țărmului, în care se propune realizarea de înnisipare artificială, trebuie să conțină informații asupra surselor de împrumut potențiale și o evaluare comparativă a acestora pentru selectarea sursei de împrumut ce va fi folosită la lucrare. Caracteristicile surselor potențiale de împrumut care sunt cele mai importante în evaluarea lor sunt: amplasarea, accesibilitatea, volumul de material disponibil, morfologia amplasamentului, stratigrafia, caracteristicile sedimentelor, evoluția geologică, factori de mediu și factori economici.

#### **6.5.1 Amplasarea**

Amplasarea unei surse de împrumut față de zona lucrării are o mare importanță. Distanța pe care materialul trebuie deplasat și mijloacele de transport fezabile au o mare influență asupra costurilor proiectului și pot fi decisive în alegerea celei mai potrivite surse.

Amplasarea este de asemenea importantă în ceea ce privește împrejurimile. Sursele terestre amplasate în zone construite pot avea un impact direct asupra populației creând zgomot și aglomerare de trafic.

Sursele din largul mării pot implica probleme de jurisdicție sau pot fi situate în zone în care activitățile de dragaj și transport să împiedice sau să pericliteze navigația.

Totodată, la alegerea unei surse din mare trebuie ținut seama de modificările produse de operațiunile de excavație asupra batimetriei, și prin urmare asupra regimului de valuri, ce pot conduce la eroziunea plajei analizate sau a plajelor adiacente.

#### **6.5.2 Accesibilitatea**

Pentru a fi utilizabilă, o sursă de împrumut trebuie să fie accesibilă sau să se creeze accesul pentru echipamentele de excavație și transport al materialului. Accesul la depozitele terestre poate implica construcția de drumuri sau îmbunătățirea celor existente. Trebuie elaborată o evaluare a costurilor necesare și inclusă în analiza economică.

La evaluarea depozitelor subacvatice, unul dintre cei mai importanți factori este adâncimea apei. Pentru a fi accesibil, un depozit trebuie să se afle în plaja cuprinsă între adâncimile maxime la care draga poate excava materialul și adâncimea minimă condiționată de pescajul drăgii și șalandelor.

Un alt aspect al accesibilității este prezența deasupra materialului cu proprietățile corespunzătoare a unui alt material neadecvat. Trebuie determinate compoziția, întinderea și grosimea acestui material și luată în considerare decopertarea acestuia în analiza economică.

#### **6.5.3 Mijloacele de execuție**

La compararea surselor potențiale, este necesar să se ia în considerare tipurile de echipamente și metodele corespunzătoare pentru excavația materialului în condițiile de mediu existente în amplasamentul sursei de împrumut.

Pentru sursele terestre, este fezabilă utilizarea majorității tipurilor de echipamente mecanice de excavare a pământului, în condițiile în care au acces la amplasamentul depozitului. Selectarea echipamentelor și metodelor poate fi bazată în principal pe factori economici și de mediu.

Pentru sursele submerse, condițiile de mediu sunt cele care impun restricții asupra mijloacelor de producție. Un factor important este adâncimea minimă a apei. Utilajul de dragaj trebuie să poată opera în adâncimile de apă din amplasament fără riscul de a eșua. În plus, trebuie să poată draga materialul la o adâncime egală cu adâncimea apei plus adâncimea anticipată a sursei de împrumut.

Un alt factor important este regimul de valuri. Utilajele de dragare folosite pentru surse de împrumut din larg necesită calitatea de a opera în siguranță în condiții de mare deschisă.

#### **6.5.4 Stratigrafia în amplasamentul sursei de împrumut**

Din surse existente și din înregistrări seismice și foraje se vor stabili relații stratigrafice pentru a defini următoarele elemente: limitele depozitului, grosimea stratului materialului utilizabil, grosimea stratului materialului de deasupra, structuri sedimentare, caracteristicile sedimentelor din fiecare strat.

#### **6.5.5 Volumul disponibil**

Majoritatea lucrărilor de înnisipare artificială a plajelor necesită volume mari de material de umplură. Trebuie calculat volumul de material din fiecare sursă potențială, pentru a determina dacă este disponibilă o cantitate suficientă de material pentru a realiza și menține lucrarea.

Pentru a face acest lucru, este necesar să se delimiteze întinderea și grosimea depozitului. Limitele pot fi definite prin criterii fizice sau, la depozite mari, stabilite arbitrar încât să cuprindă volumul de material necesar. Grosimea stratului de material utilizabil poate fi determinată prin foraje, la care în medii subacvatice se adaugă profile de reflecție seismică.

#### **6.5.6 Morfologia în amplasamentul sursei de împrumut**

Informații asupra morfologiei terenului în zona sursei de împrumut sunt valoroase pentru definirea și evaluarea caracteristicilor acesteia. În multe cazuri, depozitul dă naștere la trăsături morfologice de suprafață care pot fi utilizate pentru a delimita depozitul și pentru a ajuta la interpolarea între punctele de măsurători din foraje și cele prin reflecție seismică.

### **6.6. Cerințe de calitate pentru materialul de împrumut**

La alegerea sursei de material pentru realizarea înnisipării artificiale trebuie ținut seama de un important număr de factori. Factorii cei mai importanți sunt granulometria materialului de umplură comparativ cu cea a plajei naturale și accesibilitatea sursei. În general, materialul cel mai bun pentru realizarea umplurii este cel cu o granulometrie egală sau ceva mai mare decât cea a plajei naturale. Totuși, este posibil ca materialul ideal de umplură să nu se afle la o distanță economică de transport sau pompare, sau să nu fie disponibil din motive de protecție a mediului, legale sau politice, sau din cauza dificultăților de acces. În aceste cazuri, se va adapta un material având calități apropiate de cel ideal, prin sporirea cantității de material de umplură pus în operă, sau prin includerea în proiect a unor lucrări de protecție gen epiuri, diguri etc.

### **6.6.1 Compoziția sedimentelor**

Proprietățile fizice ale unei probe de sediment care sunt cele mai importante pentru a determina dacă acesta este corespunzător pentru realizarea înnisipării artificiale, sunt compoziția și granulometria. Proprietățile fizice recomandabile sunt rezistența mecanică, rezistența la abraziune și stabilitatea chimică.

În majoritatea locurilor, sedimentele de nisip sunt compuse predominant din particule de cuarț cu cantități mai mici de alte minerale, cum ar fi feldspatul. Cuarțul are proprietăți de rezistență mecanică, rezistență la abraziune și stabilitate chimică. În unele depozite, în special cele de origine marină, există o mare cantitate, uneori predominantă, de carbonat de calciu, care este în majoritatea cazurilor de origine organică (biogenic). Carbonatul de calciu este mai puțin rezistent decât cuarțul la spargere, abraziune și dizolvare chimică. Totuși, dacă nu este foarte poros sau găunos, poate fi folosit la înnisiparea artificială a plajelor.

Compoziția sedimentelor poate fi determinată prin examinarea la microscop a probelor semnificative. Probele trebuie pregătite prin spălare meticuloasă pentru înlăturarea părții fine și curățarea suprafeței particulei. Dacă materialul nu este sortat, va trebui împărțit în fracțiuni prin cernere.

### **6.6.2 Granulometria sedimentelor**

Pentru a evalua dacă un material poate fi utilizat la înnisiparea artificială a plajei, trebuie obținută distribuția granulometrică a acestui material. În general, materialul recomandabil va avea dimensiuni ale granulelor cuprinse într-o gamă de la fin până la foarte mari. Deși prezența nisipurilor foarte fine, a prafului și argilei sunt acceptabile în cantități mici, trebuie evitate sursele care au o cantitate mare de parte fină, din cauza cantității mari de material ce trebuie prelucrată pentru obținerea părții utilizabile. De asemenea, crearea de turbiditate, atât la excavare cât și la punerea în operă pe plajă, este un aspect defavorabil pentru mediu.

### **6.6.3 Statistici ale granulometriei compuse**

Unul din principalele aspecte la selectarea sursei de împrumut este relația comparativă între granulometria plajei naturale și cea a materialului de împrumut.

Pentru a face acesată comparație, este necesar să se determine, atât pentru plaja naturală cât și pentru sursa de împrumut, granulometria compusă care este reprezentativă pentru tot materialul (cap. 3.2.5.).

## **6.7. Igiena, sănătatea oamenilor și protecția mediului**

La evaluarea comparativă a surselor de împrumut trebuie luate în considerare atât aspectele biologice cât și cele fizice din zona sursei de împrumut. În general, efectele de mediu ale operațiilor de la sursa de împrumut pot fi făcute acceptabile prin alegerea cu atenție a amplasamentului, echipamentului, tehnicii și programării operațiilor. Refacerea florei și faunei are loc adesea într-o perioadă scurtă de timp după terminarea operațiilor. Alterarea trăsăturilor fizice poate fi, în unele cazuri, refăcută prin procese naturale.

Un efect al operării sursei de împrumut îl reprezintă mortalitatea directă a organismelor din cauza operațiilor în sine, și distrugerea sau modificarea caracteristicilor habitatului natural. Mortalitatea directă a faunei mobile, cum sunt peștii, nu este de obicei mare, deoarece aceasta se deplasează în alte zone pe perioada lucrărilor. Flora și fauna sesilă nu poate părăsi zona, de aceea mortalitatea acestor organisme este mai mare. Totuși, acestea

sunt de obicei înlocuite prin reproducerea supraviețuitorilor sau stocarea lor în zone periferice neafectate.

Un alt aspect important este distrugerea sau modificarea condițiilor de habitat necesare pentru supraviețuirea speciilor native. O alterare care apare cel mai des este ieșirea la suprafață a unui substrat care diferă de substratul natural, ca urmare a excavării materialului de deasupra. Multe din organismele marine bentice și unele pelagice sunt adaptate la condițiile unui anumit substrat. Chiar dacă larve din specii native ajung în zona afectată, ele pot să nu supraviețuiască.

La compararea surselor de împrumut, este necesar să se țină seama dacă condițiile substratului natural vor fi modificate sau nu de operațiile planificate. Acest lucru depinde de grosimea stratului superficial și de adâncimea excavației necesară pentru a asigura suficient material de umplutură. În multe situații în care stratul de material utilizabil este subțire, o extindere a suprafeței zonei sursei va permite excavarea materialului necesar fără a altera condițiile substratului. Deși această alternativă sporește mortalitatea directă, se asigură condiții favorabile pentru repopularea cu organisme native.

În zone subacvatice, pot apare efecte negative asupra organismelor native, atât în interiorul cât și în zonele periferice ale sursei de împrumut, din cauza generării de suspensii de material prăfos sau argilos în coloana de apă ca rezultat al operației de dragare. De aceea, depozitele care conțin o cantitate prea mare de praf și argilă sunt surse mai puțin recomandate din punct de vedere al mediului. În plus, fracțiunea fină va fi instabilă în mediul plajei.

Toate operațiunile de la sursa de împrumut degradează relieful local. La sursele terestre, efectele modificării se limitează de obicei la zona imediat învecinată. La depozitele subacvatice, efectele pot fi mai răspândite din cauza modificării energiei valurilor și modului de refracție ca urmare a modificării trăsăturilor reliefului. Pentru evaluarea posibilelor efecte negative asupra zonelor de țărm învecinate, trebuie făcute studii pentru fiecare amplasament asupra modificărilor caracteristicilor valurilor, rezultate din schimbările preconizate ale reliefului fundului mării. În unele cazuri, relieful se poate reface prin procese naturale.

Este necesar a se face și analiza biochimică a materialului din sursa de împrumut, în special atunci când se folosește material dragat din canale navigabile, întrucât acesta nu trebuie să conțină elemente dăunătoare sănătății oamenilor care vor veni în contact cu ele pe plajă.

## **7. URMĂRIREA COMPORTĂRII ÎN TIMP A LUCRĂRILOR DE ÎNNISIPARE ARTIFICIALĂ ȘI MONITORIZAREA ZONEI SURSEI DE ÎMPRUMUT**

Lucrările de înnisipare artificială au un caracter special, prin evoluția pe care dimensiunile lor o au în timp și din acest motiv urmărirea comportării în timp a acestora prezintă cerințe deosebite. Rezultatele măsurărilor și observațiilor făcute în cadrul programului de urmărire a comportării în timp vor trebui supuse, după caz, interpretării unor institute de specialitate.

### 7.1. Scopul monitorizării lucrărilor de înnisipare artificială

Dimensiunile din proiect vor varia pe durata de viață a unei lucrări de înnisipare a plajei.

Obiectivele principale ale monitorizării unei lucrări de înnisipare a plajei sunt:

- a. Evaluarea performanței lucrării, pentru a determina cât de bine îndeplinește cerințele de protecție pentru care a fost proiectată.
- b. Identificarea cerințelor de întreținere și realimentare.
- c. Evaluarea impactului lucrării.
- d. Evaluarea comportării zonei sursei de împrumut.

Realizarea acestor obiective se va face în trei faze: colectarea datelor cu informațiile necesare, analizarea datelor și evaluarea rezultatelor.

### 7.2. Urmărirea comportării în timp

Un plan de monitorizare pentru zona de punere în operă a umpluturii constă în următoarele componente majore:

- ridicări topo-hidrografice ale profilului plajei;
- prelevare de probe din sedimentele plajei;
- măsurători de valuri;

Aceste componente reprezintă cerințele minime pentru evaluarea eficienței unei lucrări de înnisipare a plajei.

Procesul de monitorizare trebuie să înceapă înainte de așezarea materialului de umplură.

Pentru determinarea caracteristicilor plajei naturale active trebuie evaluate ciclurile sezoniere și pe termen lung ale modificărilor profilului plajei și distribuției sedimentelor.

Pentru a înțelege redistribuirea profilului înnisipat într-un profil ajustat la o formă mai apropiată de cea naturală, ca rezultat al proceselor costiere dominante, este necesară evaluarea comportării lucrării pe termen scurt și lung.

Procesele de sortare a materialului de umplură apar ca rezultat al acțiunii valurilor și curenților care separă hidraulic noul material de umplură dând naștere unui material cu granulometrie asemănătoare cu cea a materialului natural, determinând astfel ajustări rapide ale umpluturii imediat după așezarea acesteia. De aceea, se recomandă ca monitorizarea după amplasarea umpluturii să înceapă imediat ce materialul este așezat pe un sector al zonei lucrării.

Evaluarea cantităților de material puse în operă se va face prin mai multe metode: măsurarea volumului excavat din sursa de împrumut, măsurarea cantității transportate, măsurarea profilului real după punerea în operă.

#### 7.2.1 Date asupra situației existente înainte de realizarea lucrării

Este foarte important să se colecteze și analizeze datele existente asupra plajei naturale, pentru a putea face o comparație cu rezultatele monitorizării după realizarea lucrării.

### 7.2.2 Date asupra profilului plajei

Metoda de bază pentru evaluarea modificărilor morfologice ale dunei, plajei și avanplajei constă în ridicări topo-hidrografice periodice ale profilelor din zona lucrării și adiacentă acesteia.

Selectarea poziției profilelor depinde de tipul de lucrare, cum ar fi înnisipare artificială adiacentă unei jetele, înnisipare pe o lungime mare de țârm etc.

Numărul de poziții de profile depinde de lungimea zonei înnisipate și de apropierea acesteia de golfuri sau structuri perpendiculare pe țârm.

Distanța între profile depinde de condițiile din amplasament; totuși, profilele trebuie să fie suficient de dese încât să acopere toată zona înnisipată.

Pentru reducerea costurilor, se va monitoriza un număr minim de profile care să caracterizeze în mod adecvat toate aspectele lucrării.

Se vor efectua de asemenea profile de control în amonte și în aval de lucrare, în zona de influență a acesteia, pentru a compara comportarea plajei înnisipate cu cea a profilelor plajelor naturale. Profilele de control sunt necesare și pentru a măsura deplasarea în lungul țârmului a materialului de umplutură din zona lucrării. Profilele de control nu trebuie să se afle sub influența altor lucrări.

Toate profilele trebuiesc raportate la reperi cunoscuți, bine stabiliți, care vor putea fi ușor regăsiți în viitor. Profilele trebuie să pornescă dintr-un punct stabil de pe plajă (în spatele crestei dunei, zidului sparge-val etc.) și să se întindă pe o linie perpendiculară pe țârm cât mai departe posibil înspre larg. Zona dinspre larg a profilului trebuie realizată cu o sondă ultrasonică sau folosind o sanie care urmărește profilul terenului și se va întinde până la adâncimea zonei “active” a profilului, pentru a caracteriza limitele active ale răspunsului umpluturii.

Ridicările topo-hidrografice se vor efectua folosind aparatură de măsură pe sanie. Aceste sisteme sunt precise și simple ca realizare și sunt considerate cele mai bune metode pentru colectarea datelor. Pentru zonele în care sania nu are acces, se pot folosi metode convenționale de măsurare pe uscat până unde se poate ajunge în apă și sonde ultrasonice montate pe șalupe pentru zonele submerse ale sistemului de plajă.

Anul	Nr. campanii măsur / an	Număr de profile	Prelevări de sedimente
Înainte de realizarea lucrării	2	Colectare de profile în zona umpluturii și profile de control în lunile de vară și iarnă pentru caracterizarea sezonieră a înfășurătorii profilelor	Prelevare de probe de adâncime și de suprafață, odată cu realizarea măsurătorilor de profile (pe plajă și în larg) pentru caracterizarea granulometriei sedimentelor naturale și cea sezonieră
Imediat după terminarea lucrării	1	Măsurători la toate profilele, pe măsură ce se realizează umplutura în amplasamentul lor pentru stabilirea mai exactă a volumului de umplutură	Probe de suprafață prelevate imediat după realizarea umpluturii pentru a caracteriza materialul de umplutură la momentul măsurării profilelor
1	4	Campanii trimestriale de măsurători ale tuturor profilelor până la adâncimea zonei “active”	Probe de suprafață odată cu realizarea profilelor

2	4	La fel ca în anul 1	La fel ca în anul 1
3	2	Măsurători o dată la 6 luni la toate profilele până la adâncimea zonei "active"	Probe de suprafață odată cu realizarea profilelor
4	1	O măsurătoare anuală la toate profilele până la adâncimea zonei "active"	Probe de suprafață odată cu realizarea profilelor
Furtună	-	Măsurători la toate profilele până la adâncimea zonei "active", imediat ce vremea o permite, după o furtună majoră (furtună o dată la 20 de ani sau mai mare)	Probe de suprafață odată cu realizarea profilelor

### 7.2.3 Modificarea liniei țărmului

Trebuie să se analizeze tendința evoluției liniei țărmului înainte de începerea lucrării și orientarea acesteia pe întreaga lungime a lucrării și a zonelor de control. Acest tip de analiză poate reduce numărul de măsurători pe teren necesare pentru caracterizarea comportării lucrării. Se pot folosi aerofotograme și fotografiile de la sol.

Utilizarea aerofotogramelor reprezintă o metodă avantajoasă din punct de vedere cost-eficiență, pentru evaluarea întregii lucrări și a zonelor adiacente.

Aerofotogramele pot fi folosite pentru a realiza o hartă de bază cu modificările liniei țărmului pe perioada lucrării.

Analiza datelor trebuie să includă modificările liniei țărmului și modificările profilului înainte și imediat după realizarea înnisipării.

### 7.2.4 Probe de sedimente din plajă

Probele de sedimente se vor preleva pentru fiecare profil în timpul efectuării ridicărilor. Trebuie să se preleveze minimum trei probe pentru fiecare profil, din următoarele poziții: baza dunei, falezei sau zidului sparge-val; mijlocul bermei; linia de intersecție cu apa.

### 7.2.5 Monitorizarea mediului litoral

Pentru înțelegerea proceselor costiere care apar în zona lucrării se vor colecta date privind elementele fizice de mediu, cum sunt valurile, curentul longitudinal și date meteorologice. Sunt necesare măsurători periodice continue de acest tip pentru a compara variațiile pe termen lung și scurt ale factorilor fizici cu modificările morfologice și sedimentologice ale dunei, plajei și avanplajei. Colectarea datelor de valuri reprezintă parte integrantă a oricărei evaluări a unei lucrări de protecție costieră. Procesele costiere induse de valuri sunt un factor de control în răspunsul plajei naturale și înnisipate. Se pot aștepta modificări majore ale profilului și sedimentelor pe perioada de execuție și monitorizare, deoarece materialul de umplutură se reajustează la climatul local de valuri. Lucrarea poate să-și modifice parametri fizici sau să răspundă negativ la procesele costiere predominante sau la evenimente extreme. Stabilirea unei relații cauză – efect între valuri și răspunsul lucrării este esențială pentru precizarea comportării viitoare a umpluturii.

Analiza datelor privind procesele fizice costiere, precum și a răspunsului înnisipării, vor conduce la înțelegerea modului în care reacționează plaja la aceste forțe fizice.

### **7.2.6 Furtuni**

Furtunile majore au un efect pronunțat și pe termen lung, chiar ireversibil, asupra zonelor costiere. De aceea efectele imediate ale furtunii asupra zonei lucrării și refacerea după revenirea la condiții normale sunt aspecte importante de informație. Pentru evaluarea efectelor unui eveniment major, va trebui făcut un efort pentru efectuarea de măsurători imediat după furtună, atunci când condițiile permit. Aspectele care trebuie monitorizate și metodele folosite sunt în principal aceleași ca cele pentru monitorizarea programată. Minimum de date ce trebuie colectate se referă la: date asupra vântului, valurilor și înălțării nivelului mării, ridicări topo-hidrografice, date ce caracterizează sedimentele.

### **7.2.7 Analizarea datelor de monitorizare a lucrării de înnisipare artificială**

Analizarea datelor rezultate din monitorizarea profilului plajei înnisipate trebuie să includă:

- modificările de volum ale profilului și reajustarea formei acestuia;
- zonele de eroziune și depuneri de pe profil;
- volumul de umplutură care a rămas în zona lucrării;
- evaluarea deplasării umpluturii atât pe direcția în lungul țărmului cât și perpendicular pe țărm;
- răspunsul la furtuni sezoniere.

Analizarea datelor rezultate din prelevarea probelor de sedimente trebuie să includă:

- statistici ale granulometriei materialului plajei naturale și al umpluturii;
- reajustarea granulometriei pe perioada de monitorizare;
- răspunsul din punct de vedere granulometric la furtuni și variații sezoniere;
- evaluarea factorilor ce determină cantitatea de umplutură și realimentare.

## **7.3. Monitorizarea zonei sursei de împrumut din zone submerse**

Scopul principal al monitorizării zonei sursei de împrumut este să se evalueze dacă materialul de împrumut este corespunzător cerințelor, să se observe modificarea caracteristicilor morfologice și de sedimente, precum și biologice în zonă după încheierea lucrărilor. Monitorizarea zonei sursei de împrumut trebuie să includă profile batimetrice și litologice, prelevări de probe de adâncime și de suprafață, colectare de date biologice înainte de excavare și colectare de date batimetrice și biologice după excavare.

### **7.3.1 Profile batimetrice**

Extragerea materialului din sursa de împrumut va afecta morfologia în amplasament. Natura modificărilor depinde de grosimea stratului excavat. Unul din obiectivele monitorizării amplasamentului sursei de împrumut este de a stabili dacă procesele existente tind să restaureze morfologia originală sau să creeze noi forme. Pentru aceasta sunt necesare ridicări batimetrice după încheierea excavației.

### **7.3.2 Schema de prelevare a probelor din zona de împrumut**

Monitorizarea zonei sursei de împrumut nu necesită colectare de date la fel de des ca pentru amplasamentul lucrării. Se recomandă ca prelevările de probe să se efectueze la minimum un an între ele.



### **7.3.3 Modificări ale proceselor costiere**

Modificarea batimetriei determinată de operațiile de la sursa de împrumut pot modifica caracteristicile valurilor incidente. Aceste modificări sunt în principal legate de refracție și de frecarea cu fundul mării.

Acești factori trebuie luați în considerare în procesul de proiectare. Este posibil să apară efecte neprevăzute, care vor fi indicate prin eroziunea sau acumularea plajei înnisipate sau a zonelor de țărm adiacente. Pe perioada de monitorizare de după realizarea lucrării, vor trebui investigate orice eroziuni sau acumulări neobișnuite ale zonei lucrării sau ale zonelor adiacente.

### **7.3.4 Analizarea datelor privind sursa de împrumut**

Analizele trebuie să includă evaluarea modificărilor temporale ale sursei de împrumut, determinarea ratei și volumului de reumplere a acesteia.

## **7.4. Monitorizarea fondului biologic**

Excavarea și așezarea materialului de umplură au de obicei un impact din punct de vedere biologic asupra zonelor direct implicate. Se poate crea un impact biologic și în zonele adiacente, determinat de turbiditatea dată de operațiunile de excavare. De aceea, vor trebui efectuate urmăriri biologice atât în zona plajei cât și în zona sursei de împrumut.

Prelevarea de probe biologice din zona sursei de împrumut are ca scop identificarea faunei din această zonă. Poate fi necesară monitorizarea turbidității în zona sursei de împrumut și a plajei înnisipate pentru a evalua impactul dragării și punerii în operă a materialului asupra organismelor locale.

Analizarea datelor biologice va evalua fluctuațiile florei și faunei în zona plajei înnisipate și în zonele adiacente, efectele turbidității.

## 8. GLOSAR

LINIA DE ȚĂRM	Intersecția dintre nivelul liniștit al apei mării și fața plajei.
ȚĂRM	Fâșia îngustă de pământ în contact imediat cu marea, cuprinsă între nivelul minim al mării și nivelul maxim atins prin urcarea valurilor pe taluz la furtuni puternice. Un țărm din material necoeziv se numește în general plajă.
LINIA DE COASTĂ	Linia care formează granița între uscat și nivelul maxim al apei, atins prin urcarea valurilor pe taluz la furtuni puternice, respectiv limita dinspre uscat a țărmului.
COASTĂ	O fâșie de teren de lățime nedefinită care se întinde de la linia de coastă înspre uscat până la prima modificare majoră a caracteristicilor terenului.
LITORAL	Zona de lățime nedefinită care se întinde de la linia țărmului până la limita dinspre larg a zonei de deferlare a valurilor.
ZONĂ COSTIERĂ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zona în care uscatul și marea interacționează, limita dinspre uscat fiind definită ca limita de influență a mării asupra uscatului, iar limita dinspre mare fiind limita de influență a uscatului asupra mării. (IUCN – Word Conservation Union – Uniunea de conservare a termenilor)</li> <li>• Interfața unde uscatul întâlnește marea, cuprinzând împrejurimile liniei țărmului, precum și apele costiere adiacente. Limitele zonei costiere sunt adesea definite arbitrar, diferind mult de la o țară la alta și se bazează adesea pe limite juridice sau demarcate din motive administrative. (World Bank – Banca Mondială)</li> <li>• O fâșie de uscat și mare de o lățime care variază în funcție de natura împrejurimilor și de necesitățile de management. (European Commission – Comisia Europeană)</li> <li>• Spațiul geografic situat la contactul mării cu uscatul, incluzând apele de coastă de suprafață și subterane și terenurile adiacente, inclusiv apele de suprafață și subterane aferente acestora, puternic interconținute și în imediata apropiere a liniei țărmului, insule și lacuri sărate, zone umede în contact cu marea, plaja și faleza (Ordonanța de Urgență a Guvernului nr. 202/2002)</li> <li>• Zona costieră este constituită din coastă, țărm și litoral.</li> </ul>
ÎNNISIPARE ARTIFICIALĂ	Operațiunea de plasare a unui nisip adecvat într-o anumită zonă costieră, cu scopul protejării împotriva eroziunii sau măririi suprafeței plajei în scopuri turistice

EROZIUNE	Uzura pământului prin acțiunea forțelor naturale. Pe o plajă – înlăturarea materialului plajei prin acțiunea valurilor, curenților de maree, curenților litorali sau prin răspândirea de către vânt.
AVANPLAJĂ SUBMARINĂ	O zonă nedeterminată care se întinde de la țărm către larg cuprinzând zona de deferlare a valurilor
BARĂ, PRAG	Un banc submers de nisip, pietriș sau alt material neconsolidat, înălțat în apele puțin adânci de către valuri sau curenți, care își modifică forma și poziția în funcție de regimul valurilor.
BATIMETRIE	Măsurarea adâncimii apei în oceane, mări și lacuri, precum și informațiile reieșite din aceste măsurători.
BERME	Trepte ușor înclinate, formate pe plaje prin acumulare, de ordinul metrilor sau zecilor de metri.
CREASTA BERMEI	Limita dinspre mare a unei terase
FAȚA PLAJEI	Suprafața care înclină cu un unghi mic de la creasta bermei spre apă.
DUNE	Creste sau ridicături din material necoeziv, aduse de vânt, în general din nisip.
CURENT LITORAL	Curent în apropierea coastei și paralel cu aceasta
CURENT ÎN LUNGUL ȚĂRMULUI	Curentul litoral din zona de deferlare, care se deplasează în principal paralel cu țărmul, prin șanțurile dintre bare, provocat în general de valurile care se sparg sub un unghi la țărm.
TRANSPORT LITORAL	Deplasarea sedimentelor din zona costieră pe direcția perpendiculară pe țărm, înspre larg sau înspre țărm, și în lungul țărmului, paralel cu acesta, sub influența valurilor sau curenților
BUGET DE SEDIMENTE	Suma cantității de sedimente, într-o perioadă dată de timp, care este transportată în sau dintr-o zonă costieră
VALURI DEFERLATE	Valuri care se sparg pe un țărm, pe un recif etc.
SPARGE-VAL	O structură construită în lungul unei coaste, paralelă cu aceasta, cu scopul de a proteja și stabiliza țărmul împotriva eroziunii datorate acțiunii valurilor.
EPIU	O structură de protecție a țărmului, construită în general perpendicular pe țărm, pentru a aduna materialul sedimentar transportat în lungul țărmului și pentru a reduce eroziunea țărmului.

APE PUȚIN ADÂNCI	De obicei o adâncime a apei pentru care valurile sunt afectate de batimetria fundului mării. De obicei sunt considerate ape puțin adânci apele cu o adâncime mai mică decât jumătate din lungimea valului.
APE ADÂNCI	Ape cu o adâncime pentru care valurile sunt puțin afectate de fundul mării. În general apele cu o adâncime mai mare decât jumătate din lungimea valului sunt considerate ape adânci.
SURSĂ DE ÎMPRUMUT	Depozit de material adecvat pentru folosirea la înnisiparea artificială
MATERIAL DE ÎMPRUMUT	Material ale cărui caracteristici fizice și chimice sunt asemănătoare cu cele ale materialului plajei pe care se intenționează a fi plasat.
RIDICARE BATIMETRICĂ	Măsurarea prin diferite metode a cotelor fundului mării
PROFILUL PLAJEI	Intersecția suprafeței terenului cu un plan vertical; se poate extinde de la linia falezei sau dunei până la limita dinspre larg a transportului de sedimente.
PROFIL ACTIV AL PLAJEI	Zona dintr-un profil de plajă cuprinsă între cota superioară a plajei până la care au loc procese determinate de valuri și adâncimea dinspre larg până la care are loc mișcarea litorală a nisipului
SURPLUS DE UMPLUTURĂ	Cantitate de material necesară pentru ca în urma înnisipării artificiale, după ajustarea naturală a profilului, să rezulte un profil stabil, conform proiectului. Această cantitate depinde de diferența de caracteristici dintre materialul natural și cel de împrumut
FACTORUL DE REÎNNISIPARE	Furnizează un mod de a prevedea cât de des este necesară înnisiparea
TIMP DE REZIDENTĂ	Timpu în care o anumită cantitate de nisip rămâne pe plaja înnisipată, înainte să fie îndepărtat de către valuri
ADÂNCIMEA ZONEI "ACTIVE"	Adâncimea înspre larg până la care au loc schimbări în profilul plajei
SOLUȚII "UȘOARE"	Soluții de protecție costieră concepute astfel încât să lucreze împreună cu natura, folosind sistemele naturale, aceste lucrări putându-se ajusta în mod economic la energia valurilor și vânturilor.
SOLUȚII "GRELE"	Soluții de protecție costieră concepute astfel încât să lucreze împreună cu natura, influențând direct fenomenele costiere și care implică costuri mari.
SEDIMENTE	Materialul mobil al litoralului, care fie este depus pe plajă, fie se deplasează sub acțiunea valurilor și curenților.

PROCESE HIDRODINAMICE	Procese determinate de interacțiunea valurilor și curenților cu țărmul și fundul mării: transformarea valurilor în zona de avanplajă, urcarea valului pe taluz și deversarea, etc.
PROCESE GEOMORFOLOGICE	Modificările în timp ale caracteristicilor plajelor, dunelor și liniei țărmului.
COMPOZIȚIE GRANULOMETRICĂ	Distribuția pe dimensiuni a particulelor unui pământ.
GRANULOMETRIE COMPUSĂ	Valoarea medie a granulometriei ce caracterizează o zonă.
SUPRAÎNĂLȚARE LA FURTUNĂ	Creșterea nivelului normal al apei determinat de acțiunea vântului asupra suprafeței apei.
AMONTE	Direcția opusă celei a mișcării predominante a materialului litoral.
AVAL	Direcția mișcării predominante a materialului litoral.
RATA BRUTĂ DE TRANSPORT	Suma cantităților de material care se deplasează atât către dreapta cât și către stânga unui observator care privește înspre mare.
RATA NETĂ DE TRANSPORT	Diferența dintre cantitatea de material deplasată spre dreapta și cea deplasată spre stânga unui observator care privește înspre mare.
REALIMENTARE	Înnisiparea artificială periodică a plajei pentru menținerea dimensiunilor lucrării
PROFIL DE ECHILIBRU AL PLAJEI	Forma plajei pentru care, în fiecare punct, sunt asigurate condițiile de echilibru morfologic, plaja menținându-se stabilă sub acțiunea regimului corespunzător de valuri frontale.
CORDON LITORAL	Formațiune de plajă îngustă care separă marea de o lagună.
PROFIL DE PROIECTARE	Forma pe care se preconizează că o va atinge materialul de înnisipare după ce va fi modelat în timp de valuri după punerea în operă.
PROFIL DE CONSTRUCȚIE	Forma profilului în momentul punerii în operă a materialului de înnisipare.
NIVELUL APEI LINIȘTITE	Cota pe care ar avea-o apa dacă se presupune că orice acțiune a valurilor este absentă.

## 9. LISTA DOCUMENTELOR NORMATIVE DE REFERINȚĂ

1. STAS 1243 - 88 - Teren de fundare. Clasificarea și identificarea pământurilor

## 10. LISTA DOCUMENTELOR NORMATIVE CONEXE

1. Ghid de proiectare privind siguranța în exploatare a lucrărilor de consolidare costieră (GP-076-02)
2. Legea nr. 107/1996 - Legea apelor
3. Legea nr. 17/1990 - Legea privind regimul juridic al apelor maritime interioare, al mării teritoriale și al zonei contigue ale României

4. Decretul nr. 142/1986 - privind instituirea zonei economice exclusive a României în Marea Neagră
5. H.G. nr. 107/1996 - Hotărâre pentru aprobarea Normelor privind utilizarea turistică a plajei litoralului Mării Negre
6. Legea nr. 137/1995 - Legea protecției mediului
7. Regulament privind utilizarea turistică a plajei ca domeniu public de interes național – Direcția Apelor Dobrogea – Litoral
8. Legea nr. 10/1995 - Legea privind calitatea în construcții
9. Ghid pentru stabilirea parametrilor de calcul ai valurilor de vânt pentru determinarea acțiunii asupra construcțiilor portuare maritime și fluviale (GP-086-2003)
10. H.G. nr. 766/1997 - Regulament privind urmărirea comportării în exploatare, intervenții în timp și post-utilizarea construcțiilor. Regulament privind stabilirea categoriei de importanță a construcțiilor.
11. H.G.R. 273/1994 - Regulament de recepție a lucrărilor de construcții și instalații aferente acestora, Norme de întocmire a cărții Tehnice a construcției.
12. P 130/1999 - Normativ privind urmărirea în timp a construcțiilor.
13. G.E. 035 - 1999 - Ghid și program de calcul al responsabilului cu urmărirea în exploatare a construcțiilor.
14. HG 749/14.05.2004 – Hotărâre privind stabilirea responsabilităților, criteriilor și modului de delimitare a fâșiei de teren aflate în imediata apropiere a zonei costiere, în scopul conservării condițiilor ambientale și valorii patrimoniale și peisagistice din zonele situate în apropierea țărmului
15. HG 546/7.04.2004 – Hotărâre privind aprobarea Metodologiei pentru delimitarea domeniului public al statului în zona costieră
16. O.U.G. 202/2002 - Ordonanță de Urgență a Guvernului privind gospodărirea integrată a zonei costiere
17. Legea nr. 280/2003 - Lege pentru aprobarea Ordonanței de Urgență a Guvernului nr. 202/2002
18. Legea nr. 36/2002 – Lege privind regimul juridic al apelor maritime interioare, al mării teritoriale și al zonei contigue a României
19. HG 459/16 mai 2002 – Hotărâre privind aprobarea Normelor de calitate pentru apa din zonele naturale amenajate pentru îmbăiere
20. HG 918/2002 privind “Procedura cadru de evaluare a impactului asupra mediului și lista proiectelor publice sau private supuse acestei proceduri”
21. Ord. 860/2002 privind “Competențe, etape procedurale și instrucțiuni de informare și participare a publicului la procedura de evaluare a impactului asupra mediului”
22. Ord. 863/2002 privind “Ghiduri metodologice aplicabile procedurii cadru de evaluare a impactului asupra mediului”
23. Ord. 863/2002 privind “Ghiduri metodologice aplicabile procedurii cadru de evaluare a impactului asupra mediului”
24. Ord. 1388/2003 privind “Stabilirea colectivului de analiză tehnică la nivel central”

## STUDIU DE CAZ

Se cere să se proiecteze o lucrare de înnisipare pe 1 m de lungime de țărm, cunoscându-se următoarele date:

### 1. Înnisipare realizată cu material de împrumut mai fin decât cel al plajei naturale

- plaja emersă va avea:

- înălțimea bermei

$$B = 1,5 \text{ m}$$

- lățimea bermei

$$Y = 50 \text{ m}$$

- diametrul mediu al materialului plajei naturale

$$D_n = 0,2 \text{ mm}$$

- diametrul mediu al materialului de înnisipare

$$D_f = 0,15 \text{ mm}$$

- înălțimea medie anuală a valului semnificativ

$$H_S = 1,33 \text{ m}$$

### Rezolvare

- adâncimea zonei "active"

$$H = 6,75 H_S = 9 \text{ m}$$

### Calculul volumului de material de înnisipare

#### A. Prin metoda analitică

Se calculează parametri necesari determinării tipului de profil al plajei ce va rezulta prin înnisipare:

- parametrul de scară al sedimentelor cu formula:

$$A = 0,067 w^{0,44}$$

- viteza de depunere a sedimentelor:

$$w = 14 D^{1,1}$$

- viteza de depunere a sedimentelor plajei naturale

$$w_N = 14 \times 0,2^{1,1} = 2,4 \text{ cm/s}$$

- parametrul de scară pentru sedimentele plajei naturale

$$A_N = 0,067 \times 2,4^{0,44} = 0,1$$

- viteza de depunere a sedimentelor materialului de umplură

$$w_F = 14 \times 0,15^{1,1} = 1,7 \text{ cm/s}$$

- parametrul de scară pentru sedimentele materialului de umplură

$$A_F = 0,067 \times 1,7^{0,44} = 0,09$$

Tipul de profil care va rezulta se determină pe baza expresiei:

$$Y \left( \frac{A_N}{H} \right)^{3/2} + \left( \frac{A_F}{A_N} \right)^{3/2} = 50 \left( \frac{0,1}{9} \right)^{3/2} + \left( \frac{0,1}{0,09} \right)^{3/2} = 1,17$$

Dacă expresia are valoare  $> 1$ , rezultă un profil care nu intersectează plaja naturală.

Volumul necesar pentru a crea o plajă emersă se calculează cu formula:

$$V = YB + \frac{3}{5}H^{5/2} \left[ \left( \frac{Y}{H^{3/2}} + \left( \frac{1}{A_F} \right)^{3/2} \right)^{5/3} A_N - \left( \frac{1}{A_F} \right)^{3/2} \right]$$

$$V = 50 \times 1,5 + \frac{3}{5} 9^{3/2} \left[ \left( \frac{50}{9^{3/2}} + \left( \frac{1}{0,09} \right)^{3/2} \right)^{5/3} 0,1 - \left( \frac{1}{0,09} \right)^{3/2} \right] = 1177,3 \text{ mc}$$

Pentru calculul volumului total de material necesar, la acest volum se adaugă suplimentul de material pentru asigurarea pierderilor până la prima realimentare, egal cu:

$$V_{er} \times R_A \times R_J$$

unde

$V_{er}$  este volumul de material al plajei naturale estimat a se eroda până la prima reînnoșire (din date existente privind evoluția eroziunii), considerându-se o valoare anuală  $V_{er} = 40 \text{ mc/an,m}$

$R_A$  = coeficientul suplimentului de umplură

$R_J$  = factorul de reînnoșire

Se determină coeficientul suplimentului de umplură  $R_A$ .

Din curbele granulometrice ale materialului plajei naturale și materialului de înnoșire, se determină  $D_{84}$  și  $D_{16}$ , și apoi mărimile  $\phi$  cu formula:

$$\phi = -\log_2(D) = -\frac{\ln(D)}{\ln 2}$$

și apoi se determină mărimile:

- media granulometrică:

$$M_{\phi} = (\phi_{16} + \phi_{84}) / 2 \quad \text{și}$$

- deviația standard:

$$\sigma_{\phi} = (\phi_{84} - \phi_{16}) / 2$$

Pe baza curbelor granulometrice și a formulelor de mai sus au rezultat:

$$\sigma_{\phi_b} = 0,87$$

$$\sigma_{\phi_n} = 0,53$$

$$M_{\phi_b} = 2,54$$

$$M_{\phi_n} = 1,94$$

Se determină următoarele mărimi pentru calculul grafic:

- raportul deviației standard:

$$\frac{\sigma_{\phi_b}}{\sigma_{\phi_n}} = \frac{0,87}{0,53} = 1,6$$

- raportul diferențelor mediilor granulometrice prin deviația standard a materialului plajei naturale

$$\frac{M_{\phi_b} - M_{\phi_n}}{\sigma_{\phi_n}} = \frac{2,54 - 1,94}{0,53} = 1,1$$

Introducând aceste valori în graficul din figura 5.3. rezultă

$$R_A = 2,4$$



ceea ce înseamnă că pentru a crea 1 unitate de material stabil similar cu al plajei sunt necesare aproximativ 2,4 unități de material de împrumut.

R<sub>J</sub> se poate determina fie cu formula

$$R_J = \exp \left[ \Delta \left( \frac{M_{\phi b} - M_{\phi n}}{\sigma_{\phi n}} \right) - \frac{\Delta^2 \left( \frac{\sigma_{\phi b}^2}{\sigma_{\phi n}^2} - 1 \right)}{2} \right] = \exp \left[ 1 \times 1,1 - \frac{1}{2} \left( \frac{0,76}{0,28} - 1 \right) \right] = 1,32$$

fie utilizând graficul din figura 5.4. obținând aproximativ aceeași valoare.

Rezultă că realimentarea periodică va trebui asigurată de 1,3 ori mai des decât dacă s-ar folosi material similar cu al plajei.

- volumul de material necesar pentru a asigura pierderile până la prima reînnoșire

$$40 \times 2,4 \times 1,3 = 125 \text{ mc}$$

- volumul total de material necesar punerii în operă

$$1177,3 + 125 = \mathbf{1302 \text{ mc}}$$

### ***B. Prin metoda prin translatare***

- volumul total de construcție

$$V_T = Q_d + Q_{of} + Q_{am}$$

- volumul din profilul tip de proiectare

$$Q_d = (B + H) Y = (1,5 + 9) \times 50 = 525 \text{ mc}$$

- volumul de surplus pentru ajustare se calculează utilizând R<sub>A</sub> calculat anterior

$$Q_{of} = Q_d \times (R_A - 1) = 525 \times (2,4 - 1) = 735 \text{ mc}$$

- volumul pentru înnoșirea preventivă, care asigură pierderile până la prima reînnoșire, se determină amplificând volumul preconizat de eroziune cu coeficienții R<sub>A</sub> și R<sub>J</sub>

$$Q_{am} = 40 \times 2,4 \times 1,3 = 125 \text{ mc}$$

- volumul total de construcție

$$525 + 735 + 125 = \mathbf{1385 \text{ mc}}$$

Se constată că rezultatele calculelor prin cele două metode au valori apropiate.

## **2. Înnoșire realizată cu material de împrumut mai grosier decât cel al plajei naturale**

- plaja emersă va avea:

- înălțimea bermei

$$B = 1,5 \text{ m}$$

- lățimea bermei

$$Y = 50 \text{ m}$$

- diametrul mediu al materialului plajei naturale

$$D_n = 0,2 \text{ mm}$$

- diametrul mediu al materialului de înnoșire

$$D_f = 0,25 \text{ mm}$$

- înălțimea medie anuală a valului semnificativ

$$H_s = 1,33 \text{ m}$$

**Rezolvare**

- adâncimea zonei “active”

$$H = 6,75 H_S = 9 \text{ m}$$

Calculul volumului de material de înnisipare**Prin metoda analitică**

Se calculează parametri necesari determinării tipului de profil al plajei ce va rezulta prin înnisipare:

- parametrul de scară al sedimentelor cu formula:

$$A = 0,067 w^{0,44}$$

- viteza de depunere a sedimentelor:

$$w = 14 D^{1,1}$$

- viteza de depunere a sedimentelor plajei naturale

$$w_N = 14 \times 0,2^{1,1} = 2,4 \text{ cm/s}$$

- parametrul de scară pentru sedimentele plajei naturale

$$A_N = 0,067 \times 2,4^{0,44} = 0,1$$

- viteza de depunere a sedimentelor materialului de umplură

$$w_F = 14 \times 0,25^{1,1} = 3,05 \text{ cm/s}$$

- parametrul de scară pentru sedimentele materialului de umplură

$$A_F = 0,067 \times 3,05^{0,44} = 0,11$$

Tipul de profil care va rezulta se determină pe baza expresiei:

$$Y \left( \frac{A_N}{H} \right)^{3/2} + \left( \frac{A_N}{A_F} \right)^{3/2} = 50 \left( \frac{0,1}{9} \right)^{3/2} + \left( \frac{0,1}{0,11} \right)^{3/2} = 0,93$$

Dacă expresia are valoare < 1, rezultă un profil care intersectează plaja naturală.

Volumul necesar pentru a crea o plajă emersă se calculează cu formula:

$$V = BY + \frac{A_N Y^{5/3}}{\left[ 1 - \left( \frac{A_N}{A_F} \right)^{3/2} \right]^{2/3}}$$

$$V = 1,5 \times 50 + \frac{0,1 \times 50^{5/3}}{\left[ 1 - \left( \frac{0,1}{0,11} \right)^{3/2} \right]^{2/3}} = 336 \text{ mc}$$

Pentru calculul volumului total de material necesar, la acest volum se adaugă suplimentul de material pentru asigurarea pierderilor până la prima realimentare, egal cu:

$$V_{er} \times R_J$$

unde

$V_{er}$  este volumul de material al plajei naturale estimat a se eroda până la prima reînnisipare (din date existente privind evoluția eroziunii), considerându-se o valoare anuală  $V_{er} = 40 \text{ mc/an,m}$

$R_J$  = factorul de reînnisipare

Din curbele granulometrice ale materialului plajei naturale și materialului de înnisipare, se determină  $D_{84}$  și  $D_{16}$ , și apoi mărimile  $\phi$  cu formula:

$$\phi = -\log_2(D) = -\frac{\ln(D)}{\ln 2}$$

și apoi se determină mărimile:

- media granulometrică:

$$M_{\phi} = (\phi_{16} + \phi_{84}) / 2 \quad \text{și}$$

- deviația standard:

$$\sigma_{\phi} = (\phi_{84} - \phi_{16}) / 2$$

Pe baza curbelor granulometrice și a formulelor de mai sus au rezultat:

$$\sigma_{\phi_b} = 0,19$$

$$\sigma_{\phi_n} = 0,53$$

$$M_{\phi_b} = 1,34$$

$$M_{\phi_n} = 1,94$$

Se determină următoarele mărimi pentru calculul grafic:

- raportul deviației standard:

$$\frac{\sigma_{\phi_b}}{\sigma_{\phi_n}} = \frac{0,19}{0,53} = 0,36$$

- raportul diferențelor mediilor granulometrice prin deviația standard a materialului plajei naturale

$$\frac{M_{\phi_b} - M_{\phi_n}}{\sigma_{\phi_n}} = \frac{1,34 - 1,94}{0,53} = -1,13$$

RJ se poate determina fie cu formula

$$R_j = \exp \left[ \Delta \left( \frac{M_{\phi_b} - M_{\phi_n}}{\sigma_{\phi_n}} \right) - \frac{\Delta^2}{2} \left( \frac{\sigma_{\phi_b}^2}{\sigma_{\phi_n}^2} - 1 \right) \right] = \exp \left[ 1 \cdot x(-1,13) - \frac{1}{2} \left( \frac{0,04}{0,28} - 1 \right) \right] = 0,5$$

fie utilizând graficul din figura 5.4. obținând aproximativ aceeași valoare.

Rezultă că realimentarea periodică va trebui asigurată cu o frecvență de 0,5 ori decât dacă s-ar folosi material similar cu al plajei.

- volumul de material necesar pentru a asigura pierderile până la prima reînnisipare

$$40 \times 0,5 = 20 \text{ mc}$$

- volumul total de material necesar punerii în operă

$$336 + 20 = \mathbf{356 \text{ mc}}$$

Metoda prin translatore nu se poate aplica în cazul unui material mai grosier decât cel al plajei naturale, deoarece profilul de înnisipare este mai abrupt decât cel natural.