

UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI
DEPARTAMENTUL DE HIDRAULICĂ ȘI PROTECȚIA MEDIULUI

CERCETĂRI DE HIDRAULICĂ MARINĂ

- *Rezumat teză* -



Doctorand: ing. Luciana–Andreea Coveianu

Conducător științific: Prof. univ. dr. ing. Gabriel Tatu

2016

CUVÂNT ÎNAINTE

Teza de doctorat prezintă experiența științifică personală și cunoștințele acumulate de autoare în decursul celor 3 ani de activitate de cercetare desfășurată în cadrul Departamentului de Hidraulică și Protecția Mediului din Facultatea de Hidrotehnică, Universitatea Tehnică de Construcții București.

Domeniul de preocupare științifică al autoarei acestei teze de doctorat este cel al hidraulicii marine, cu accent pe fenomenele de eroziune ale plajelor litorale.

Deși în acest moment sunt aplicate pe scară largă atât la nivel național cât și internațional o serie de măsuri destinate protecției plajelor marine, o parte dintre acestea, și-au dovedit în timp ineficacitatea. Cercetările desfășurate în cadrul tezei de doctorat demonstrează atât matematic cât și fizic faptul că structura actuală a digurilor marine este inadecvată atât din punct de vedere al protecției litoralului împotriva eroziunii curenților marini cât și din punct de vedere al propriei stabilități, evidențiind în final necesitatea schimbării structurii constructive actuale a acestora.

La finalizarea acestei teze, doresc să-mi exprim deosebita recunoștință și respectul conducătorului științific, profesor emerit doctor inginer Gabriel Tatu pentru permanenta și riguroasa îndrumare cât și pentru răbdarea de care a dat dovadă pe întregul parcurs al elaborării lucrării.

Mulțumesc membrilor comisiei de doctorat pentru atenția și interesul acordat acestei lucrări. De asemenea doresc să aduc mulțumiri membrilor Departamentului de Hidraulică și Protecția Mediului, în cadrul căruia mi-am desfășurat activitatea, pentru atmosfera deschisă și constructivă în care s-au purtat toate discuțiile legate de acest subiect. În mod special doresc să mulțumesc domnilor profesor doctor inginer Andrei Georgescu, conferențiar Alexandru-Nicolae Dimache, șef lucrări doctor inginer Iulian Iancu și asistent doctor inginer Cezar Vlăduț pentru sprijinul acordat în efectuarea cercetărilor și măsurărilor de laborator.

Dedic teza de doctorat mamei mele, care, deși nu mai este printre noi, sper că se bucură de această realizare personală.

Autoarea

CUPRINS

Cuvânt înainte	2
1. Introducere	4
1.1. Obiectul și conținutul tezei	4
1.2. Problematika fenomenului de eroziune a plajelor marine și de protecție a acestora...5	5
2. Modele și Metode pentru calculul valurilor	5
2.1. Generalități	5
2.2. Caracteristicile și ecuațiile valurilor bidimensionale	6
2.2.1. Generalitati privind valurile gravitaționale de suprafață	6
2.2.2. Ecuațiile care descriu mișcarea valurilor bidimensionale.....6	6
2.2.3. Profile asimetrice și de rupere a valurilor	6
2.3. Valuri cu amplitudine finită	6
3. Erodarea, protecția și refacerea plajelor marine	7
3.1. Aspecte generale	7
3.2. Caracteristicile sedimentelor	8
3.2.1. Compoziția nisipului	8
3.2.2. Densitatea particulelor solide.....8	8
3.2.3. Dimensiunea particulelor	8
3.2.4. Forma particulelor de nisip	8
3.2.5. Porozitatea.....8	8
3.2.6. Viteza de cădere.....8	8
3.3. Mișcarea aluviunilor.....8	8
3.3.1. Mișcarea incipientă a particulelor de nisip și adâncimea de închidere.....8	8
3.3.2. Transportul sedimentelor în lungul coastei.....8	8
3.4. Sisteme de protecție și refacere a plajelor marine.....8	8
3.4.1. Înnisiparea /Reînnisiparea plajelor	9
3.4.2. Structuri de protecție costieră	9
3.4.3. Măsuri de protecție auxiliare/secundare	9
3.4.4. Materiale și elemente utilizate pentru structurile de protecție	9
4. Studiul aprofundat al fenomenului de ascensionare (runup)	9
4.1. Modelul de calcul	9
4.2. Calcule comparative.....12	12
4.3. Program de calcul al fenomenului de ascensionare (runup) în regim laminar.....13	13
5. Studiul curgerii oscilante prin diguri marine	14
5.1. Informații generale	14
5.2. Modelarea matematică a curgerii printr-un dig marin	14
5.3. Modelarea fizică a curgerii printr-un dig marin	15
5.3.1. Descrierea și dimensionarea modelului	16
5.3.2. Aparatura de măsură a vitezelor	17
5.3.3. Măsurarea caracteristicilor valurilor	18
5.3.4. Măsurarea vitezelor.....19	19
5.3.5. Analiza și interpretarea datelor	19
5.4. Comparatie între modelul matematic și cel fizic.....21	21
6. Concluzii și perspective	22
6.1. Sinteza activității de cercetare. Concluzii.	22
6.2. Contribuții personale.....23	23
6.3. Direcții de cercetare în viitor.....24	24
Bibliografie generală	25

1. INTRODUCERE

1.1. Obiectul și conținutul tezei

Prin prezenta teză de doctorat se prezintă într-o manieră unitară rezultatele unei activități de cercetare științifică desfășurată pe durata a 3 ani, privind elucidarea cauzelor reale de ineficiență a sistemelor actuale de protecție și refacere a plajelor marine. Astfel, identificând cauzele, se pot determina mai ușor soluțiile potrivite pentru protejarea litoralului românesc în conformitate cu caracteristicile sale. Subiectul analizat și dezvoltat în lucrare se înscrie în preocupările manifestate la nivel național și internațional de studiere a unor sisteme de protecție și refacere a plajelor marine în contextul accentuării fenomenului de eroziune al plajelor litorale românești, în ultimii 20 de ani, datorită schimbărilor climatice și fenomenelor naturale extreme (furtuni, vanturi puternice).

Lucrarea este structurată pe 6 capitole și conține 139 pagini, 68 figuri, 20 fotografii, 21 tabele, 48 ecuații numerotate precum și bibliografia aferentă. Titlurile bibliografice consultate pentru realizarea acestei lucrări se regăsesc la finalul fiecărui capitol precum și în capitolul de bibliografie finală.

În capitolul 1 se prezintă obiectul și conținutul tezei și se justifică alegerea subiectului tratat în cadrul lucrării.

Capitolul 2 este destinat expunerii caracteristicilor valurilor precum și ecuațiile care descriu mișcarea lor bidimensională, stabilirea profilului asimetric dar și de rupere a valurilor. Tot în acest capitol, se prezintă și o scurtă introducere în fenomenul de spargere a valurilor, cu accent pe cel al valului ascensional (wave runup). Capitolul se încheie cu teoria valurilor cu amplitudine finită.

În capitolul 3 se prezintă caracteristicile sedimentelor (compoziția, densitatea, dimensiunea, forma, porozitatea, viteza de cădere) și modul în care acestea influențează alcătuirea unei plaje litorale. De asemenea este prezentată mișcarea particulelor și forțele care acționează asupra lor, iar în ultima parte sunt prezentate structurile de protecție și refacere a plajelor marine care pot fi adoptate la ora actuală.

În capitolul 4 se expune un studiu aprofundat al fenomenului descris succint în capitolul 2. Aici se prezintă un model de calcul atât în regim laminar cât și în regim turbulent, calcule comparative cu alte modele din literatura de specialitate pentru a valida modelul de calcul, precum și prezentarea unui program de calcul automat al fenomenului de ascensionare (runup) în regim laminar.

Capitolul 5 este destinat prezentării a studiului de caz privind curgerea oscilantă prin diguri marine. În acest scop s-au utilizat două tipuri de modele, un model matematic și un model fizic realizat în Laboratorul de Hidraulică și Protecția Mediului al U.T.C.B. Compararea rezultatelor celor două modele atestă concordanța acestora.

În capitolul 6, cel al concluziilor, se prezintă o sinteză a lucrării, evidențiindu-se contribuțiile autoarei. De asemenea, se fac propuneri privind dezvoltările ulterioare ale unor elemente ale tezei.

Bibliografia de la sfârșitul tezei cuprinde lucrările consultate de către autoare, precum și lucrările elaborate de aceasta pe parcursul activității de doctorat.

1.2. Problematika fenomenului de eroziune a plajelor marine și de protecție a acestora

Eroziunea costieră este un proces natural întâlnit de-a lungul țărmurilor din întreaga lume. Fenomenul este datorat acțiunii valurilor și curenților care conduc la antrenarea sedimentelor. În ultimele două decenii s-a semnalat o intensificare semnificativă a eroziunii zonelor costiere datorită creșterii înălțimii valurilor și severității furtunilor.

România este una din țările care se confruntă cu această problemă. Principalele zone afectate se află în partea de sud a litoralului românesc, între localitățile Mamaia și Eforie Nord, unde anual dispar până la 3 m de plajă. Prin poziția sa geografică în vestul Marii Negre, zona costieră a litoralului românesc este expusă vânturilor producătoare de valuri. De asemenea condițiile fizico-geografice ale zonei de larg, cu adâncimi de peste 30 m și cu întinderi libere de oglinzi de apă pe sute de kilometri, permit producerea de valuri mari. Sub acest aspect calmul atmosferic în zona litorală românească, este în medie de circa 6,7 % din an. Vânturile producătoare de valuri sunt cele cu viteze mai mari de 3 m/s. Aceste vânturi au o durată medie de circa 82 % din an. La acest aspect se adaugă și cel datorat reducerii cantității anuale de aluviuni transportate pe fluvial Dunărea, în urma execuției barajului Porțile de Fier. Plajele suferă o eroziune medie anuală sau multianuală atunci când pierd sedimente, fie din transportul sedimentelor în lungul țărmului, fie din transportul sedimentelor în larg, fie din transportul eolian al sedimentelor către zona de interior în urma proceselor erozionale de pe țărm comparativ cu aportul din diferite surse.

Teoria de bază a transportului sedimentelor de-a lungul țărmului și în larg nu este dezvoltată în totalitate. Nu există o înțelegere detaliată a fenomenului de transport de sedimente nici în condițiile cele mai simple, cum ar fi transportul unidimensional în râuri sau canale, cu toate că în ultimul secol au fost realizate o mulțime de cercetări. Există câteva fenomene importante în hidraulica râurilor care mai trebuie încorporate și în ingineria costieră și care nu au fost introduse până acum datorită lipsei datelor care să permită verificarea acestora. Un exemplu îl reprezintă temperatura, care joacă un rol important în transportul în suspensie al sedimentelor în râuri.

Efectul structurilor de protecție costieră și al turbulenței care se produce în urma spargerii valurilor în zona de surf, adaugă un plus de complexitate fenomenelor costiere. Structurile de protecție costieră au obiective multiple, printre acestea se numără: protejarea infrastructurilor construite în zona de coastă, ținerea sub control a fenomenului de eroziune, stabilizarea plajelor și a liniei țărmului, stabilizarea canalelor de navigație și dezvoltarea activităților de agrement și recreere de la malul mării.

Cu toate acestea, soluțiile clasice constructive ale digurilor marine, și-au dovedit ineficacitatea în timp, în speță datorită vitezelor de curgere a apei prin golurile de mari dimensiuni care caracterizează structura acestora deoarece viteza apei este cea care poate determina atât transportul nisipului sau chiar a unor anrocamente de mai mici dimensiuni prin corpul digului și apariția fenomenului de „cascadă” cât și tasarea acestuia prin fenomenul de subducție.

2. MODELE ȘI METODE PENTRU CALCULUL VALURILOR

2.1. Generalități

Valurile reprezintă fenomenul activ dominant întâlnit în zona de coastă. Cele mai reprezentative sunt valurile generate de vânt. Al doilea tip de valuri ca importanță îl

reprezintă valurile astronomice, care sunt valuri generate de atracția gravitațională a soarelui și lunii. Alte valuri, care sunt mai puțin importante dar care ar putea avea consecințe importante, sunt reprezentate de undele de suprafață generate seismic (tsunami) precum și undele generate de către navele în mișcare. Acțiunea valului generat de vânt provoacă cele mai semnificative modificări la o plajă. Profilul unei plaje se schimbă pe măsură ce nisipul este transportat spre larg și înapoi spre țărm, într-o anumită perioadă de timp. În multe locații volume mari de nisip sunt, de asemenea, transportate de-a lungul malului datorită acțiunii valurilor care se apropie oblic de mal. Efectele curenților de multe ori domină la intrările în golfuri și în estuare, unde fluxul mareic poate dezvolta viteze semnificative. Atunci când sunt construite structuri de-a lungul coastei, proiectarea lor trebuie să anticipeze efectele dinamice ale valurilor cât și caracteristicile de mediu ale plajei respective.

2.2. Caracteristicile și ecuațiile valurilor bidimensionale

2.2.1. Generalități privind valurile gravitaționale de suprafață

Principalele impulsuri care generează valurile sunt determinate de acțiunea vântului. Alte surse care le pot provoca sunt seismele, exploziile subacvatice sau mișcarea vapoarelor. Datorită acestor impulsuri suprafața liberă a apei se abate de la forma orizontală. Forma suprafeței libere mai depinde de forța gravitațională, de forțele de frecare și de tensiunea superficială. Diferitele forțe generatoare de val produc valuri cu perioade diferite.

Valurile generate de vânt au perioade de aproximativ 1 până la 30 s, perioadele dominante pentru valurile de furtună fiind între 5 și 15 s. Valurile generate de mișcarea navelor au perioade mai scurte, de obicei, între 1 și 3 s. Undele generate seismic (tsunami) au perioade mai lungi de aproximativ 5 minute până la o oră. Valurile generate de vânt sunt complexe, constând într-o multitudine de componente suprapuse care au înălțimi și perioade diferite.

2.2.2. Ecuațiile care descriu mișcarea valurilor bidimensionale

2.2.3. Profile asimetrice și de rupere a valurilor

2.3. Valuri cu amplitudine finită

Teoriile valurilor cu amplitudine finită sunt în general de două tipuri. Există o teorie numerică care folosește diferențe finite, elemente finite sau metode de integrare numerică pentru a rezolva ecuația Laplace și a ecuațiilor cu condiții la limită. Există, de asemenea, teorii analitice în care potențialul de viteză (și alți parametri, cum ar fi amplitudinea de suprafață și celeritatea valului), sunt scrise ca o serie de puteri, care sunt rezolvate prin aproximări succesive.

Pentru teorii numerice soluția data de calculator a ecuațiilor numerice este sub formă de tabel, a caracteristicilor valului analizat, cum ar fi profilul de suprafață, viteza particulelor și accelerația, presiunea dinamică, energia și fluxul de impuls etc ca o funcție a valorilor selectate pentru înălțimea valurilor, perioadă și adâncimea apei. Pe de altă parte, teoriile analitice produc ecuații specifice pentru diferitele caracteristici ale valurilor care sunt date sub forma de înălțime a valurilor, perioada și adâncimea apei. Ambele teorii numerice și analitice nu sunt soluții complete ale problemei valurilor.

3. ERODAREA, PROTECȚIA ȘI REFACEREA PLAJELOR MARINE

3.1. Aspecte generale

Plajele suferă o eroziune medie anuală sau multianuală atunci când pierd sedimente, fie din transportul sedimentelor în lungul țărmului (prin curent marin dominant longitudinal), fie din transportul sedimentelor în larg (transport de masă către larg), fie din transportul eolian al sedimentelor către zona de interior în urma proceselor erozionale de pe țărm comparativ cu aportul din diferite surse (Figura 3.1).

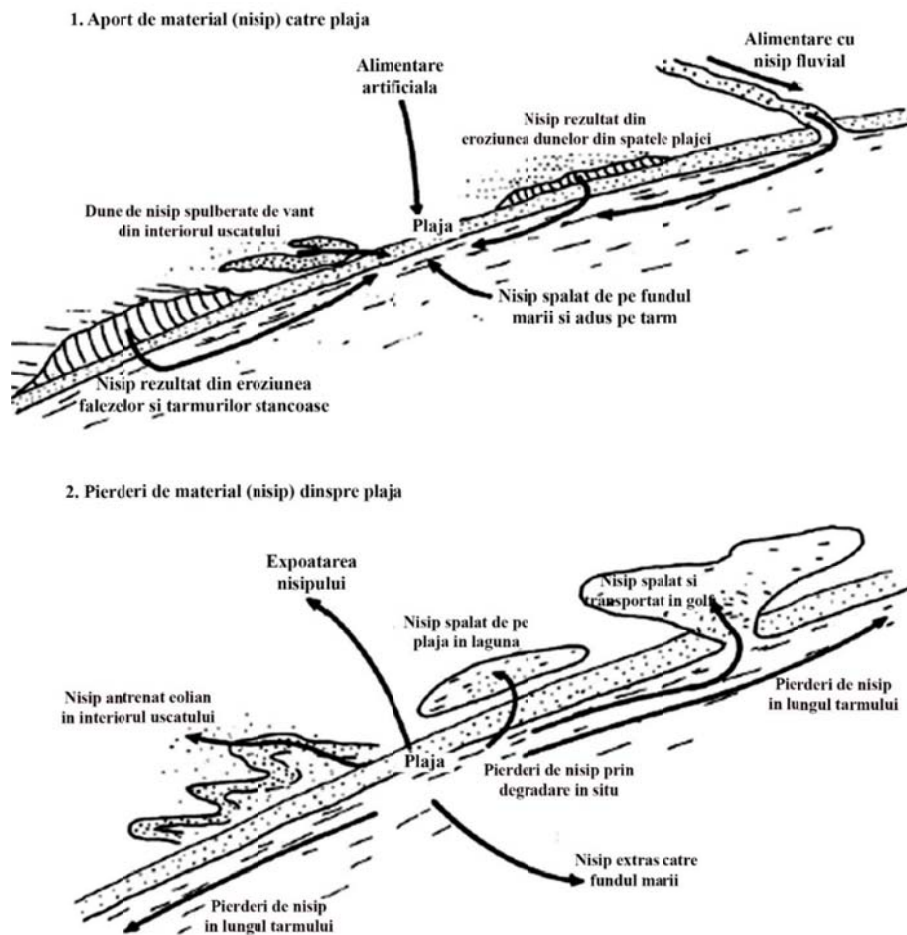


Figura 3.1. Aporturi și pierderi de material sedimentar pe plajă.

Procesele care duc la eroziunea costieră și, în mod particular, la eroziunea plajelor includ:

- efectul distructiv al valurilor de furtună;
- epuizarea sedimentelor de pe plajă prin degradare și antrenare eoliană;
- scăderea aportului de sedimente adus de râuri, prin antrenare eoliană de pe faleze și dune sau prin târâre pe fundul mării.

Cu cât volumul de sedimente de pe plajă se reduce, cu atât se modifică și faciesul plajei. Un profil convex, tipic unei plaje progresive este înlocuit de un profil concav, adesea având în spate terase/faleze joase erodate.

3.2. Caracteristicile sedimentelor

O plajă poate fi alcătuită dintr-o varietate mare de materiale de diferite forme și dimensiuni. Cu toate acestea, materialele din compoziția plajelor au un domeniu de variație foarte redus atât din punct de vedere al compoziției cât și dimensiunilor. Majoritatea plajelor sunt alcătuite din nisip cuarțos, urmate din nisipuri coraliene, provenite din scoici, roci vulcanice etc.

3.2.1. Compoziția nisipului

3.2.2. Densitatea particulelor solide

3.2.3. Dimensiunea particulelor

3.2.4. Forma particulelor de nisip

3.2.5. Porozitatea

3.2.6. Viteza de cădere

3.3. Mișcarea aluviunilor

Teoria de bază a transportului sedimentelor de-a lungul țărmului și în larg nu este dezvoltată în totalitate. Nu există o înțelegere detaliată a fenomenului de transport de sedimente nici în condițiile cele mai simple, cum ar fi transportul unidimensional în râuri sau canale, cu toate că în ultimul secol au fost realizate o mulțime de cercetări.

Există câteva fenomene importante în hidraulica râurilor care mai trebuie încorporate și în ingineria costieră și care nu au fost introduse până acum datorită lipsei datelor care să permită verificarea acestora.

Efectul digurilor și al turbulenței care se produce în urma spargerii valurilor în zona de surf, adaugă un plus de complexitate fenomenelor costiere, care nu se regăsesc în hidraulica râurilor. Valurile cu viteze diferite, circulația curenților în apropierea țărmului dar și vântul care acționează asupra plajelor pun în mișcare particule de sedimente atât în lungul țărmului cât și înspre larg, într-o manieră complicată, manieră care depinde și de timp și de energie.

Acest transport de sedimente se mai poate numi și transport litoral, și poate fi împărțit în:

- Transport de-a lungul țărmului (transport paralel pe linia țărmului);
- Transport de-a latul țărmului (transport perpendicular pe linia țărmului);

3.3.1. Mișcarea incipientă a particulelor de nisip și adâncimea de închidere

3.3.2. Transportul sedimentelor în lungul coastei

3.4. Sisteme de protecție și refacere a plajelor marine

Cunoștințele limitate despre procesele de transport ale sedimentelor litorale, au dus de multe ori la adoptarea unor măsuri necorespunzătoare, de atenuare a procesului de eroziune costieră. Creșterea nivelului mărilor și oceanelor are un impact direct asupra structurilor de țărm; când nivelul apei crește, sedimentele sunt în mare parte împinse de energia valurilor, curenților și mareelor, ducând la formarea unui model dinamic de transport.

În prezent, în managementul costier există următoarele scenarii, care pot fi adoptate, atunci când intervine fenomenul de eroziune asupra țărmului:

- **Scenariul 1. Fără intervenție.** Acest caz se aplică pentru zone costiere nedezvoltate sau cu infrastructuri cu valoare redusă, dar și pentru acele zonele în care fenomenul de eroziune este cauzat de factori temporali;
- **Scenariul 2. Gestionarea retragerii.** Această strategie reprezintă inundarea unei zone, din vecinătatea apei, cu o valoare mică (estuare joase sau zone deltaice) și reconstrucția/relocarea într-o arie mai sigură; astfel se vor forma noi habitate de

coastă. Acest proces se poate desfășura pe o perioadă lungă de timp, finalizându-se cu stabilizarea naturală a țărmului;

- **Scenariul 3. Menținerea liniei țărmului.** Această strategie apelează la cunoștințele ingineresti, în vederea proiectării și execuției structurilor solide de protecție costieră pentru zone importante din punct de vedere al infrastructurii sau economiei. Aceste structuri sunt diguri de larg, epiuri, diguri transversale, jetele, pereți verticali de protecție, pereuri sau consolidări de mal și diguri prag. Aceste măsuri sunt adoptate în funcție de caracteristicile țărmului, de materialele disponibile cât și de nevoile comunității locale.
- **Scenariul 4. Avansarea liniei țărmului.** Această strategie dorește să dezvolte linia țărmului spre mare, prin construirea unor noi mijloace de protecție mai înspre larg, sau la limita dintre mare și zona costieră, cu scopul realizării unor terenuri de valoare mare care să atragă investiții ce pot face față schimbărilor climatice. Această soluție ar putea avea un impact semnificativ asupra dinamicii costiere, atât la nivel local cât și global.
- **Scenariul 5. Intervenție limitată.** Această strategie folosește vegetația ca măsură ieftină și eficientă, pentru stabilizarea dunelor de nisip și protejarea zonelor umede. Oferă un aspect plăcut din punct de vedere al peisajului, dar nu protejează țărmul împotriva furtunilor violente. Vegetația costieră este sensibilă la intervențiile antropice, de aceea ar trebui protejată prin măsuri precum limitarea accesului pietonal și a traficului auto.

3.4.1. Înnisiparea /Reînnisiparea plajelor

3.4.2. Structuri de protecție costieră

3.4.3. Măsuri de protecție auxiliare/secundare

3.4.4. Materiale și elemente utilizate pentru structurile de protecție

4. STUDIUL APROFUNDAT AL FENOMENULUI DE ASCENSIONARE (RUNUP)

Ultima fază de transformare a valurilor, în mișcarea către țărm este cea de urcare, ridicare, ascensionare (surging). Această fază se finalizează cu fenomenul de ascensionare (runup).

Limita până la care ajunge lama de apă în faza de ascensionare (runup) este importantă pentru că se suprapune cu limita la care ar trebui să se oprească diferitele construcții sau activități. Pentru plajele înnisipate, este importantă și pentru că în acest moment al propagării valului se produce erodarea acesteia. În literatura de specialitate există unele modele de calcul dar nici unul (dintre cele identificate de autoare) nu a fost construit pe baze științifice, în sensul aplicării legilor generale ale mecanicii [1, 2, 3]. Prin urmare, în acest capitol se propune tocmai un astfel de model.

4.1. Modelul de calcul

Pentru momentul de ascensionare (runup) care se produce pe un mal cu pante relativ mici, fenomenul poate fi schematizat ca în Figura 4.1. Schema de calcul pleacă de la ideea că în faza imediat premergătoare valul a căpătat forma de salt calator, respectiv un anumit volum W de apă care se îndreaptă spre mal cu o anumită viteză V_0 .

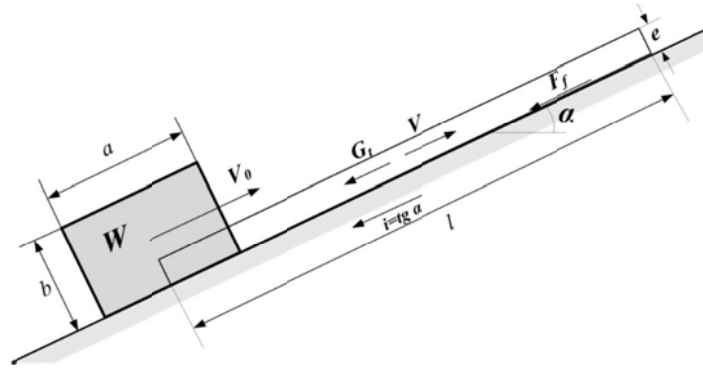


Figura 4.1. Schema de calcul pentru faza de ascensionare (runup).

Considerând problema plană și lucrând pe o fâșie unitară, masa de apă cu volumul W , schematizată sub forma unui paralelipiped de dimensiuni a , b și l , urcă pe terenul cu contrapanta i , având viteza inițială V_0 ; după timpul Δt , când viteza masei respective a devenit zero, tot schematic ea capătă forma unui paralelipiped de dimensiuni l , e și l . Viteza medie cu care urcă apa pe planul înclinat, pe perioada intervalului de timp Δt , s-a notat cu V .

Se cunosc volumul W al valului și dimensiunile sale, a și b , precum și viteza inițială V_0 și trebuie aflate dimensiunile lamei de runup, l și e , precum și viteza V și timpul de oprire Δt (4 necunoscute). Masa m a valului este: $m = \rho \cdot W$, unde ρ este densitatea apei de mare.

Scăderea vitezei de la V_0 la zero prin urcarea pe planul înclinat conduce la relația:

$$V_0 = a \cdot \Delta t \quad \text{- ecuația cinematică} \quad (4.1)$$

unde a este decelerația datorată forțelor de frânare, respectiv suma dintre componenta tangențială G_t a greutății proprii G și forța de frecare F_f :

$$a = \frac{G_t + F_f}{m} = \frac{G_t + F_f}{\rho \cdot W}$$

Energia cinetică (inițială) a masei de apă din val $\frac{\rho \cdot W \cdot V_0^2}{2}$ se transformă, pe de o parte în energia potențială a forței de greutate $G = \gamma \cdot W = \rho \cdot g \cdot W$ care urcă pe verticală cu înălțimea $\left(\frac{l}{2} \cdot \sin \alpha + \frac{e}{2} - \frac{b}{2}\right)$ și în lucrul mecanic al forței de frecare F_f care se deplasează pe distanța l , se obține astfel ecuația dinamică:

$$\frac{\rho \cdot W \cdot V_0^2}{2} = \rho \cdot g \cdot W \cdot \left(\frac{l}{2} \cdot \sin \alpha + \frac{e}{2} - \frac{b}{2}\right) + F_f \cdot l \quad (4.2)$$

În ecuațiile (4.1) și (4.2) apare forța de frecare F_f care depinde de regimul de mișcare (laminar sau turbulent).

În regim laminar

Pentru regimul de curgere laminar este cunoscută formula:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad \text{cu } Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

valabilă pentru conducte circulare pline cu diametrul D .

Scrisă cu raza hidraulică $R = \frac{D}{4}$, această relație devine:

$$\lambda = \frac{64}{Re} = \frac{64\nu}{4 \cdot R \cdot V} = \frac{16}{Re} \text{ cu } Re = \frac{V \cdot R}{\nu}$$

(ν fiind viscozitatea cinematică a apei de mare).

În aceste condiții, panta hidraulică devine:

$$J = \frac{C \cdot \nu}{V \cdot e} \cdot \frac{1}{4 \cdot e} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} = \frac{C \cdot \nu}{8 \cdot g \cdot e^2} \cdot V$$

iar forța de frecare,

$$F_f = l \cdot \gamma \cdot e \cdot \frac{C \cdot \nu}{8 \cdot g \cdot e^2} \cdot V = \gamma \cdot \frac{C \cdot \nu \cdot l}{8 \cdot g \cdot e} \cdot V$$

În regim turbulent

Pentru regimul de curgere turbulent se aplică următoarele ecuații:

$$\lambda = \frac{8g}{C^2}; C = \frac{1}{n} R^{1/6}; C^2 = \frac{e^{1/3}}{n^2};$$

n - coeficient de frecare;

rezultând:

$$\lambda = \frac{8 \cdot g \cdot n^2}{e^{1/3}} \text{ și } J = \frac{8 \cdot g \cdot n^2}{e^{1/3}} \cdot \frac{1}{4 \cdot e} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} = \frac{n^2}{e^{4/3}} \cdot V^2$$

Forța de frecare s-a calculat cu formula:

$$F_f = l \cdot \gamma \cdot e \cdot \frac{n^2}{e^{4/3}} \cdot V^2 = \gamma \cdot \frac{n^2 \cdot l}{e^{1/3}} \cdot V^2$$

Unificând toate relațiile prezentate, se obțin sistemele de ecuații de mai jos.

În regim laminar (cu $C=4$)

$$V_0 = \sqrt{g \cdot \left(l \cdot \sin \alpha + e - b + K_1 \cdot \frac{l^2 \cdot V}{e} \right)} \text{ cu } K_1 = \frac{C \cdot \nu}{4 \cdot g \cdot W} \text{ și } e = \frac{W}{l} \quad (b)$$

În scopul rezolvării iterative, împreună cu relația dinamică, ecuația cinematică se pune sub forma:

$$V = \frac{l \cdot \sin \alpha}{\frac{V_0}{g} - K_2 \cdot l^3} \text{ cu } K_2 = \frac{C \cdot \nu}{8 \cdot g \cdot W^2} = \frac{K_1}{2 \cdot W} \quad (a)$$

Sistemul de ecuații (a) și (b) are două necunoscute, l și V și el se rezolvă prin încercări succesive astfel: se dau valori lui l în ecuația (a) din care rezultă V iar apoi din ecuația (b) se calculează V_0 , se fac încercări succesive până când se ajunge la valoarea cunoscută a lui V_0 .

În regim turbulent (aici C reprezintă coeficientul lui Chezy)

$$(a) \quad V_0 = g \cdot l \cdot \left(\frac{\sin \alpha}{V} + \frac{\lambda \cdot V \cdot l}{8 \cdot g \cdot W} \right)$$

$$(b) \quad V_0 = \sqrt{g \cdot \left(l \cdot \sin \alpha + \frac{W}{l} - b \right) + \frac{\lambda \cdot V^2 \cdot l^2}{4 \cdot W}}$$

Sistemul de ecuații (a) și (b), cu două necunoscute, l și V , se rezolvă prin încercări succesive.

Se dau valori lui V în ecuația (a) din care rezultă l ca soluție a ecuației de gradul doi:

$$\left(\frac{\lambda \cdot V}{8 \cdot W} \right) \cdot l^2 - \left(\frac{g \cdot \sin \alpha}{V} \right) \cdot l - V_0 = 0$$

care rezultă din rearanjarea termenilor din ecuația (a), respectiv

$$l = \frac{\sqrt{\left(\frac{g \cdot \sin \alpha}{V} \right)^2 + \frac{1}{2} \frac{\lambda \cdot V}{W} V_0} - \frac{g \cdot \sin \alpha}{V}}{\frac{1}{4} \frac{\lambda \cdot V}{W}}$$

Apoi, din ecuația (b) se calculează V_0 și se fac încercări succesive pentru V până când se ajunge la valoarea cunoscută a lui V_0 . Cu valorile finale se calculează grosimea medie a lamei ascensionale (runup) $e = \frac{W}{l}$ și se recalculează λ cu noua valoare a razei hidraulice $R = e$.

4.2. Calcule comparative

Pentru validarea modelului, s-a procedat la efectuarea de calcule comparative cu alte modele din literatura de specialitate. În literatura consultată nu s-au găsit modele deterministe cum este cel prezentat mai sus, construite pe baze științifice bazate pe legile generale ale mecanicii, ci doar modele nedeterministe de tipul celui prezentat în cartea lui *Sorensen* (2006).

Din această carte s-a preluat exemplul de calcul 2.9-1, cu datele de bază $ds = 4 \text{ m}$; $T = 10 \text{ s}$; $H = 2 \text{ m}$; $i = 1:10 = 10 \%$, taluz înierbat, pentru care s-a găsit $R=1.5 \text{ m} \dots 1.7 \text{ m}$, careia îi corespunde, la panta de 10% , o lungime a lamei ascensionale (runup) $l = 15 \text{ m} \dots 17 \text{ m}$.

Cu aceleași date de bază s-a procedat apoi la aplicarea modelului propus în acest capitol.

Viteza inițială s-a apreciat egală cu $V_0 = 5 \text{ m/s}$, pornind de la informația că adâncimea la baza pantei este $ds = 4 \text{ m}$ și atunci celeritatea ar fi $c = \sqrt{g \cdot h} = \sqrt{10 \cdot 4} = 6,3 \text{ m/s}$ (aplicând apoi o reducere datorată disipărilor din zona de surf).

Aplicând procedeul de calcul propus pentru regimul turbulent, cu un coeficient de rugozitate apreciat la valoarea $n = 0.015$, și luând pentru dimensiunea b , înălțimea volumului W al saltului incident, o valoare egală cu înălțimea valului $b = H = 2 \text{ m}$. Pentru a doua dimensiune,

lungimea volumului W al saltului incident, s-au considerat două valori, respectiv $a = 2 \text{ m}$ și $a = 1 \text{ m}$.

Rezultatele calculelor se află în Tabel 4.1. Ele arată, în primul rând, o bună concordanță cu exemplul de calcul citat din literatura de specialitate și anume în ceea ce privește lungimea l a lamei ascensionale (de runup).

Tabel 4.1. Rezultatele calculului în regim turbulent.

a (m)	b (m)	V (m/s)	l (m)	e (m)
2	2	6.14	18.62	0.215
1	2	5.78	14.26	0.140

În al doilea rând însă modelul de față, spre deosebire de cel din literatură, permite să se evalueze și viteza V cu care apa urcă pe taluz, rezultând valori medii în jur de 6 m/s . Înseamnă că viteza maximă are ordinul de mărime de 12 m/s ceea ce, pentru o plajă înnisipată creează condițiile unei barbotări puternice a nisipului, a ridicării sale în stare de suspensie și a antrenării sale cu ușurință în mare în faza următoare când apa din lama ascensionala (de runup) se întoarce prin scurgere gravitațională.

Se demonstrează astfel și prin calcul, pe baze științifice, ceea ce pe litoralul românesc al Mării Negre se poate vedea cu ochiul liber și anume că valurile care acced la țărm nu pot avea decât o acțiune de erodare, de antrenare continuă a nisipului în mare.

Tabel 4.2. Rezultatele calculului în regim laminar.

a (m)	b (m)	V (m/s)	l (m)	e (m)	Re
2	2	8.81	44.27	0.091	796462
1	2	8.89	44.58	0.045	398898

În Tabel 4.2 se dau și rezultatele calculului pentru ipoteza regimului laminar care evident că nu poate fi aplicat, date fiind valorile foarte mari ale numărului Reynolds; de altfel, așa cum se vede, nici valorile lungimii l ale lamei ascensionale (de runup), nu se potrivesc deloc cu cele din modelul cu care s-a făcut comparația, cel din literatura de specialitate.

4.3. Program de calcul al fenomenului de ascensionare (runup) în regim laminar

În scopul efectuării în mod automat al calculului fenomenului de ascensionare (runup) în regim laminar, s-a elaborat un program elaborat în Microsoft Visual Basic, al cărui cod se prezintă în continuare.

5. STUDIUL CURGERII OSCILANTE PRIN DIGURI MARINE

5.1. Informații generale

5.2. Modelarea matematică a curgerii printr-un dig marin

Golurile existente în structura digului, executat din anrocamente cu dimensiuni relativ mari, s-au modelat sub forma unei rețele înclinate de conducte având în mare forma digului, mai precis a miezului acestuia unde anrocamentele au dimensiunile cele mai mici iar rezistența hidraulică este cea mai mare (**Error! Reference source not found.**). Pentru simplitate, toate arterele rețelei au avut același diametru și aceeași lungime.

S-a lucrat pe o fâșie (problemă plană) cu grosimea egală cu diametrul arterelor rețelei și astfel s-a putut evalua „porozitatea” p a structurii ca raport între volumul interior total al arterelor și volumul total al fâșiei. Prin alegerea corespunzătoare a parametrilor rețelei (lungime și diametru artere) s-au definit 3 porozități, având ordinul de mărime al celor reale pentru o astfel de structură, pentru care s-au executat calculele numerice descrise mai jos, astfel: $p=15\%$; $p=7,5\%$; $p=5\%$.

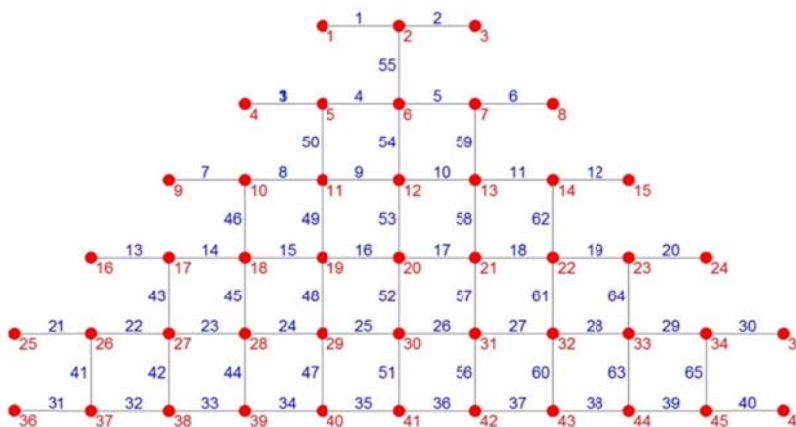


Figura 5.1. Modelul de calcul.

Toate calculele arată, fără putință de tăgadă, că viteza cu care apa poate să curgă prin golurile dintre anrocamente ce compun corpul unui dig maritim, în soluția constructivă clasică, este apreciabilă chiar la sarcini hidraulice mici și poate să devină foarte mare odată cu creșterea acesteia. Acest fapt are implicații practice deosebit de importante. Astfel, pot exista consecințe grave pentru stabilitatea însăși a digului. La valurile mari din timpul furtunilor, sarcina hidraulică imaginată de noi în modelarea de mai sus poate ajunge ușor la (+/-) 4 m iar asta înseamnă că prin goluri viteza va depăși 2 m/s în timp ce sensul curgerii se va schimba ciclic în ritm cu perioada valurilor. Trebuie amintit și faptul că acestea sunt viteze medii și că, în fapt, în funcție de mărimea variabilă a golurilor, vitezele reale locale pot fi și mai mari.

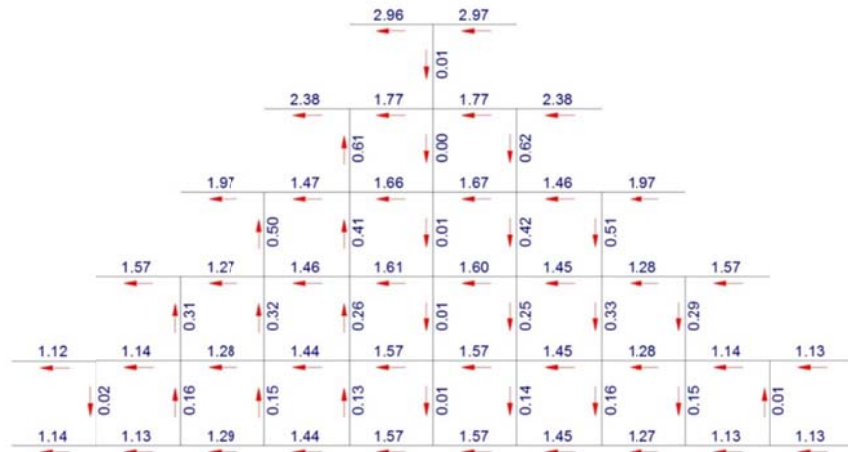


Figura 5.2. Distribuția vitezelor în ipoteza: $p=15\%$, $H=1,5$ m.

La asemenea viteze, nu numai nisipul este pus în mișcare dar pot fi dislocate și anrocamente cu dimensiuni mai mici, de ordinul de mărime al celor ce compun „miezul”).

Caracterul oscilant al mișcării nu face decât să ajute la această dislocare și apoi la deplasarea lor prin golurile structurii; în timp, se poate genera un fenomen de tip „cascadă”, de mărire continuă a golurilor în tandem cu mărirea vitezelor întrucât nu se respectă măcar principiile unui filtru invers care ar putea, eventual, să împiedice acest fenomen.

Aceasta ar putea fi explicația unor avarii spectaculoase cum a fost și „spargerea” unei părți a digului de larg din portul Constanța, în timpul unei furtuni, în condițiile în care digul respectiv era ultra-protejat pe partea dinspre larg cu stabilopozi și blocuri cu greutatea de zeci de tone forță fiecare. Și, tot în acest fel s-ar putea explica tasarea exagerată și mult prea rapidă a digurilor longitudinale de la Mamaia.

Este clar că nu forța dinamică, de impact, a valurilor a condus la astfel de accidente. „Platoșa” de protecție din stabilopozi și blocuri mari și-a „făcut datoria” de disipare a energiei valurilor dar n-a putut împiedica fenomenele de curgere agresivă prin diguri care au provocat prăbușirea dinspre interior a acestora.

Modelarea de mai sus a arătat și faptul că digurile marine nu reprezintă practic o „frână” nici în calea curenților marini și de aceea se consideră că digurile actuale nu au împiedicat „spălarea” de către curenți a nisipului erodat de valuri, aceasta fiind și cauza ineficienței totale a acestor lucrări pentru protecția plajelor (despre care s-a comentat în „Introducere”).

Și în acest caz se conturează soluția unor diguri etanșe dar, în plus, acestea trebuie dispuse astfel încât să formeze incinte închise, pentru a juca și rolul de „capcane de aluviuni”. De asemenea, pentru a se permite reîmprospătarea continuă a apei, aceste diguri trebuie a fie submerse, ceea ce le conferă și alte avantaje cum ar fi faptul că nu se afectează peisajul marin și faptul că nu se împiedică desfășurarea sporturilor marine (schi nautic, ambarcațiuni ușoare etc.).

5.3. Modelarea fizică a curgerii printr-un dig marin

În canalul de valuri din Laboratorul de Hidraulică al U.T.C.B. s-a executat un model la scară redusă care simulează existența unui dig permeabil. Acesta se descrie în detaliu în paragraful următor.

Modelul s-a amplasat pe un canal cu pantă fixă, cu o lungime de 16 m și o lățime de 1 m. Adâncimea maximă a apei în canal este de 0,9 m. Canalul este prevăzut, la un capăt, cu un

generator de valuri și, la capătul opus, cu un atenuator menit să disipeze energia valurilor și să împiedice producerea de valuri reflectate care ar altera caracteristicile valurilor incidente (provenite de la generator).

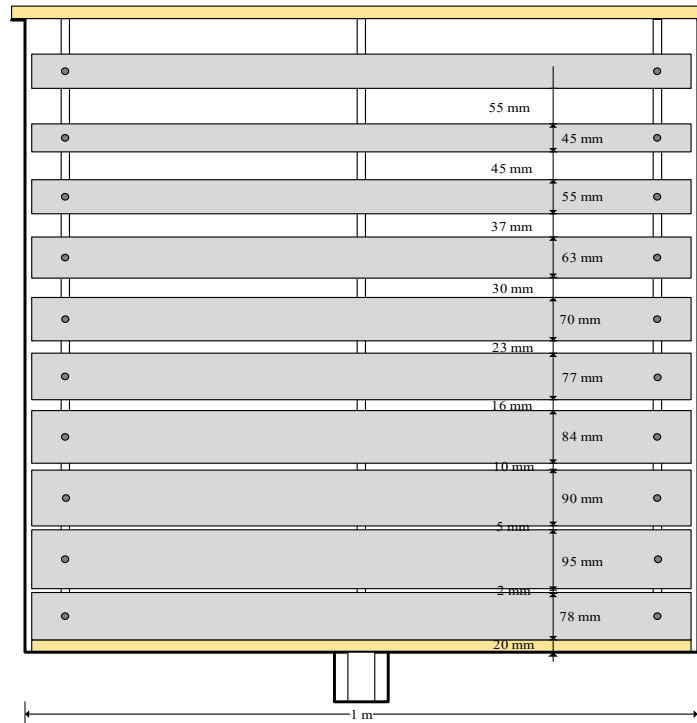


Figura 5.3. Modelul fizic simplificat al digului.

5.3.1. Descrierea și dimensionarea modelului

Modelul fizic executat în canalul de valuri este un model simplificat.

Simplificarea constă în aceea că grosimea (lățimea) variabilă a digului, care reprezintă o rezistență hidraulică variabilă (crescătoare odată cu grosimea, respectiv cu adâncimea), este înlocuită pe model cu o fantă executată într-o placă plană, fantă a cărei deschidere este variabilă, fiind cu atât mai mică cu cât ea este plasată la o adâncime mai mare.

Schema de principiu a modelului se prezintă în Figura 5.3

Foto 5.1 prezintă modelul în timpul execuției, respectiv amplasat în canal.



Foto 5.1. Model fizic al digului.

Modelul (placa plană) are lățimea de 1 m, atât cât este și lățimea canalului de valuri.

Pentru dimensionarea modelului, respectiv a golurilor (lățimii fantelor) s-a conceput un model matematic, desigur aproximativ dar bazat totuși pe legile curgerii prin dig (legea lui Darcy), respectiv prin fante (formula Borda-Carnot).

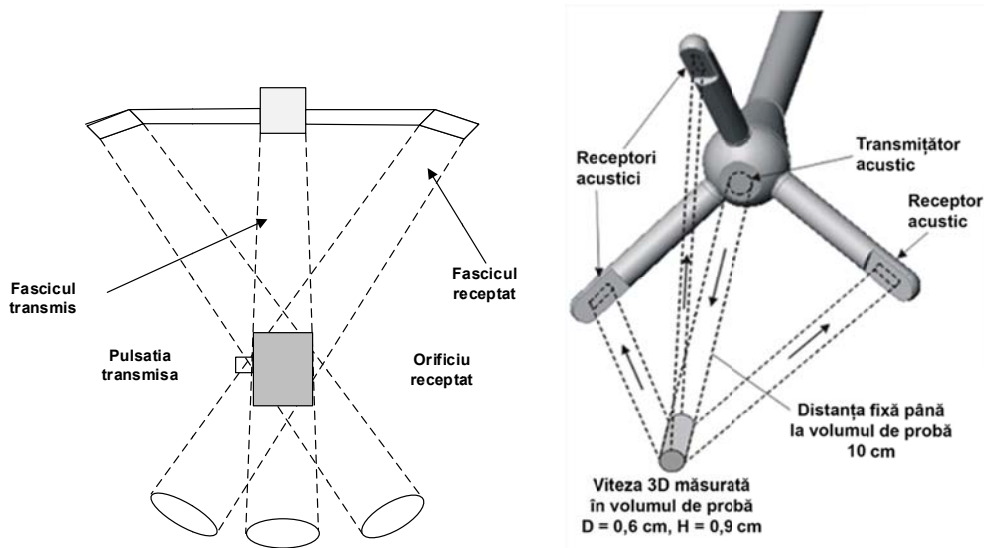


Figura 5.4. Geometria volumului de probă.

5.3.2. Aparatura de măsură a vitezelor

Pentru măsurarea vitezelor s-a utilizat velocimetrul Doppler Acustic (Acoustic Doppler Velocimeter - ADV), produs de firma SonTek, care este un instrument de măsură de înaltă rezoluție ce furnizează măsurători de viteză 3D în volume de probe la depărtare. ADV este o morișcă hidrometrică Doppler bistatică. Termenul bistatic se referă la faptul că ADV utilizează convertori acustici diferiți pentru a transmite sau recepta sunete. Transmițătorul ADV generează sunete unde cea mai mare parte a energiei este concentrată într-un volum cilindric bine definit, în timp ce receptorii sunt foarte sensibili la sunetele provenite de la intervale unghiulare puțin mai largi (Figura 5.4).

5.3.3. Măsurarea caracteristicilor valurilor

Datorită fenomenului de reflexie, respectiv refracție a valurilor la contactul cu modelul, amplitudinea acestora, atât în amonte cât și în aval, are în general o variație neregulată care nu era convenabilă cercetărilor de față. De aceea, s-a reglat frecvența generatorului de valuri până când în fața modelului s-a format un sistem de valuri staționare care au asigurat o bună regularitate a amplitudinii valurilor, în primul rând în amonte dar și în aval. **Perioada valurilor cu care s-au făcut cercetările a fost, astfel, de 3.2 s.** Această ipoteză se apropie, desigur, doar parțial de cea din natură unde reflexia este mult atenuată de disiparea pe care o produce carapacea de blocuri de beton și stabilopozi iar valurile sunt foarte neregulate; ea este însă necesară pentru o cercetare coerentă.

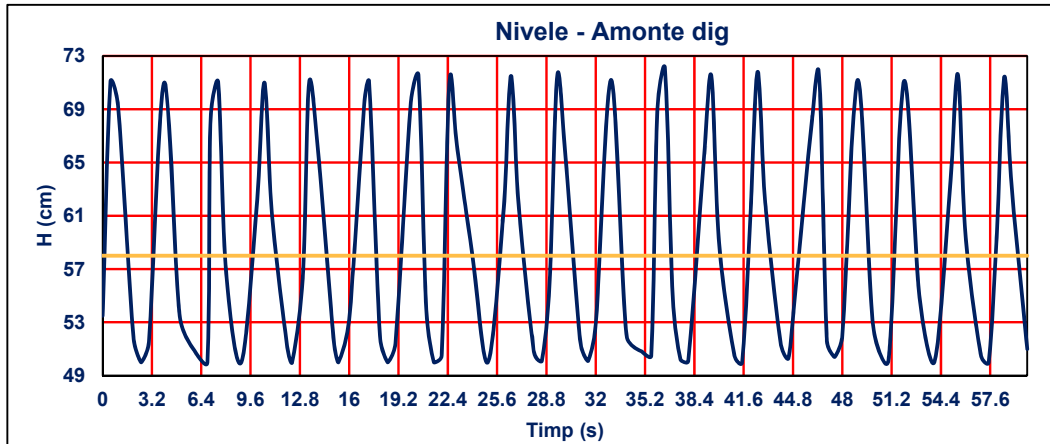


Figura 5.5. Variația nivelurilor apei amonte de dig, $H(\text{cm})$ vs $T (s)$.

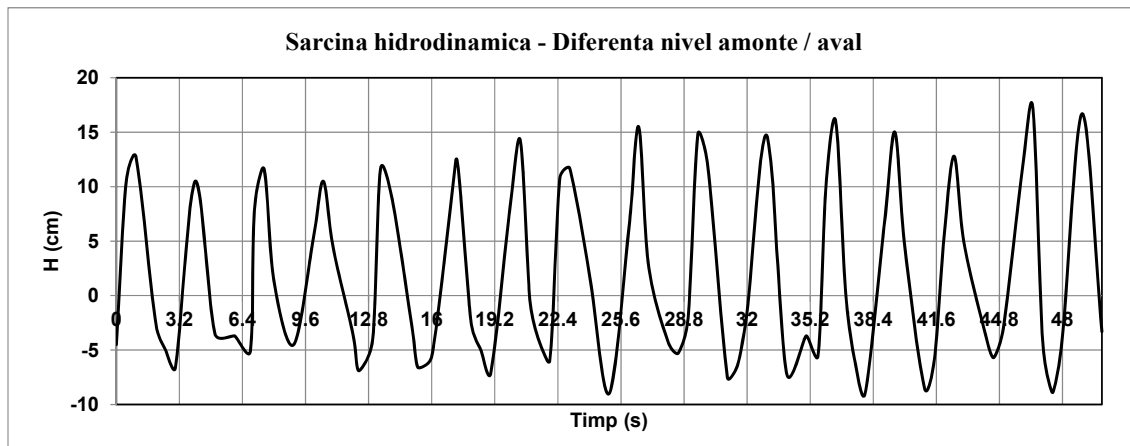


Figura 5.6. Variația sarcinii hidrodinamice, $H (\text{cm})$ vs. $T (s)$.

Pentru a se putea corela variația nivelurilor, respectiv a sarcinii hidrodinamice (cea care generează curgerea alternată prin dig) cu vitezele măsurate, în condițiile în care maximele și minimele acestora suferă totuși o oarecare variație, s-au calculat mediile maximelor sarcinii hidrodinamice, rezultând următoarele valori:

- Sarcina hidrodinamică maximă medie pozitivă, cea care generează curgerea dinspre amonte spre aval este de 14 cm;
- Sarcina hidrodinamică maximă medie negativă, cea care generează curgerea dinspre aval spre amonte este de 7 cm;

5.3.4. Măsurarea vitezelor

Sonda pentru măsurarea vitezelor s-a plasat, pe rând, de ambele părți ale modelului, astfel:

- În aval, pentru curgerea dinspre amonte spre aval;
- În amonte, pentru curgerea dinspre aval spre amonte;

În toate situațiile, sonda s-a plasat astfel încât „volumul de control” al sondei (punctul de măsură) să se găsească în centrul secțiunii contractate a vânei efluente din orificiu (fantă).

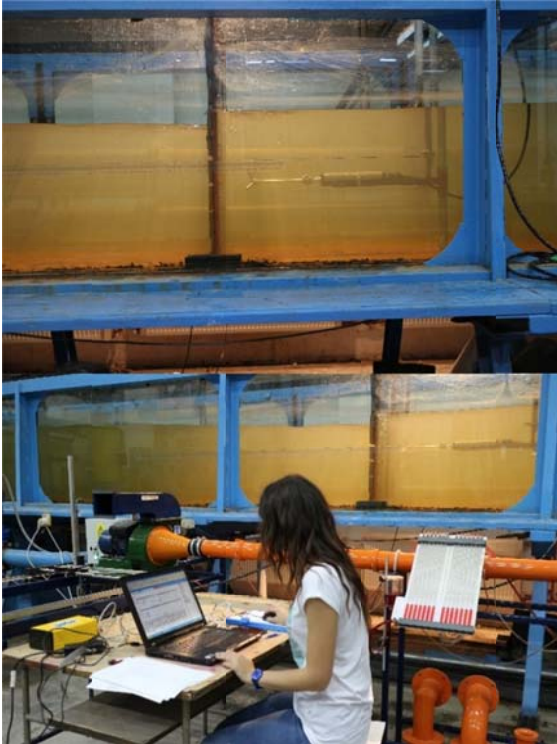


Foto 5.2. Măsurători de viteză cu amplasarea sondei aval de dig.

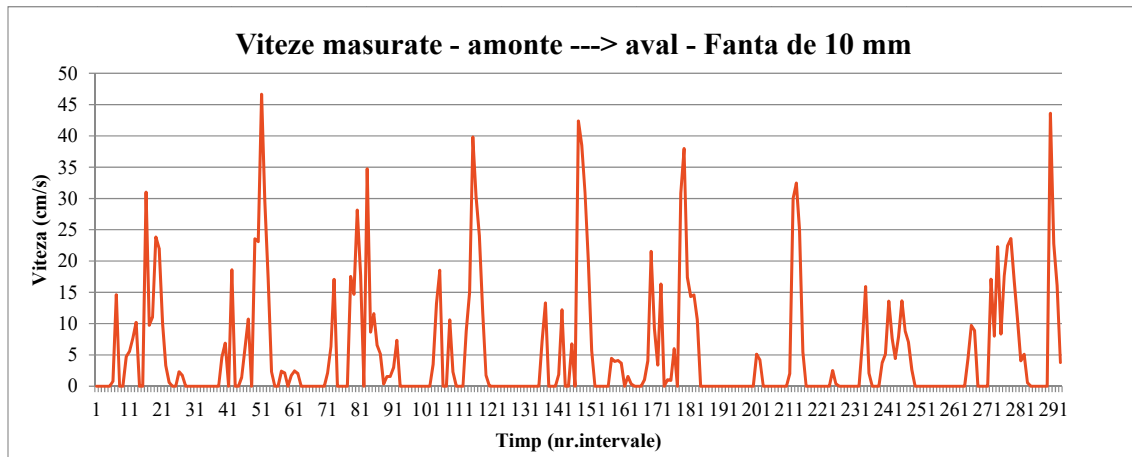


Figura 5.7. Variația vitezelor în timp pentru fanta de 10 mm - sonda aval.

5.3.5. Analiza și interpretarea datelor

În acest paragraf s-au urmărit două obiective și anume:

- Extrapolarea rezultatelor măsurătorilor la alte scări, respectiv la scară naturală;
- Comparația între ele a rezultatelor măsurătorilor din diferite variante iar apoi comparația cu rezultatele oferite de modelul matematic (paragraful 5.2).

Pentru extrapolarea rezultatelor măsurătorilor s-au avut în vedere două criterii și anume:

- **Criteriul Strouhal**, dat fiind faptul că mișcarea este nepermanentă;
- **Criteriul Reynolds**, în condițiile în care curgerea se face în regim pătratic iar coeficienții pierderii de sarcină nu mai depind de numărul Reynolds.

Tabel 5.1. Prelucrarea rezultatelor măsurătorilor folosind criteriul Reynolds - sonda aval.

1	Fanta (mm)	10	5	2	
2	v-max-med (viteza măsurată) (cm/s)	25.87	23.32	21.97	
3	Sarcina hidrodinamică (m)	0.14	0.14	0.14	Viteza "unitară" medie
4	Sarcina hidrodinamică unitară (m)	1	1	1	
5	Viteza "unitară" (cm/s)	69.14	62.32	58.72	63.39
6	Sarcina hidrodinamică (m) - exemplu	3	3	3	Viteza medie
7	Viteza (cm/s) - exemplu	119.75	107.95	101.70	109.80

Tabel 5.2. Prelucrarea rezultatelor măsurătorilor folosind criteriul Strouhal - sonda aval.

1	Fanta (mm)	10	5	2	
2	v-max-med (viteza măsurată) (cm/s)	25.87	23.32	21.97	
3	Sarcina hidrodinamică (m)	0.14	0.14	0.14	
4	Sarcina hidrodinamică unitară (m)	1	1	1	
5	S_L – Scara lungimii (-)	7.14	7.14	7.14	
6	L_M – Înălțime model	0.6	0.6	0.6	
7	L_N – Înălțime dig real	4.29	4.29	4.29	
8	T_N – Perioada valului real (s)	9	9	9	
9	T_M – Perioada valului pe model (s)	3.2	3.2	3.2	
10	S_T – Scara timpului (-)	2.81	2.81	2.81	Viteza "unitară" medie
11	S_V – Scara vitezei (-)	2.54	2.54	2.54	
12	Viteza "unitară" (cm/s)	65.70	59.23	55.80	60.24

Calculule comparative din tabelele de mai sus arată că aplicarea *criteriului Strouhal* este nepotrivită întrucât alegerea scării timpului și respectiv a lungimilor este incertă și se creează confuzii.

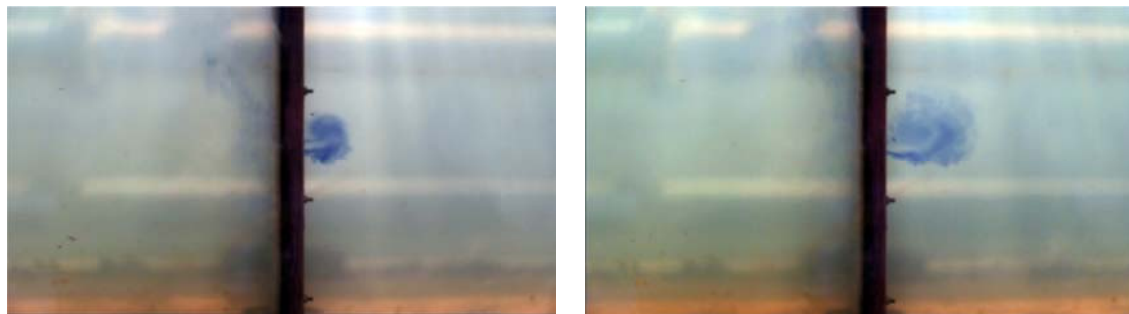


Foto 5.3. Vizualizarea curgerii aval de dig.

Folosirea criteriului Strouhal nu este recomandabilă și prin prisma modului în care s-au interpretat rezultatele măsurătorilor de viteze. Mai precis, nu s-a analizat în detaliu variația în timp a acestora ci s-au considerat vitezele maxime care s-au corelat cu sarcina maximă produsă de val. Cu alte cuvinte, s-a considerat o „poză”, un „instantaneu”, adică o situație „statică”, respectiv o mișcare permanentă și nu una nepermanentă, astfel încât criteriul Strouhal nici nu este de fapt implicat.

În concluzie, extrapolarea rezultatelor măsurătorilor de pe model la situația din în natură, la cazul unui dig real, se va face folosind criteriul Reynolds.

La vitezele maxime, numărul Reynolds are valori în jur de 500 și, de aceea, s-a considerat că regimul de curgere este laminar. **Este interesant de observat faptul că valorile vitezelor „unitare” medii sunt foarte apropiate, în jurul valorii de 60 cm/s, în ambele sensuri de curgere. Prin aceasta se confirmă indirect corectitudinea atât a măsurătorilor în sine cât și a interpretării acestora.** Pentru evidențierea mișcării prin fantele modelului fizic, s-a injectat colorant în dreptul uneia dintre fantele de pe model, în imaginile următoare fiind prezentate aspectele acestei mișcări.

5.4. Comparatie între modelul matematic și cel fizic

Pentru a se putea face o comparație între rezultatele modelării matematice și cele ale modelării fizice, în condițiile în care parametrii determinanți ai modelelor (în principal, sarcina hidraulică și permeabilitatea) au fost mult diferite, a fost necesară transpunerea rezultatelor la aceleași valori ale acestor parametri. În acest scop, în paragraful anterior s-a definit și s-a calculat „viteza unitară” pentru variantele modelării fizice, adică viteza care s-ar produce dacă sarcina hidraulică ar fi egală cu unitatea (1 m).

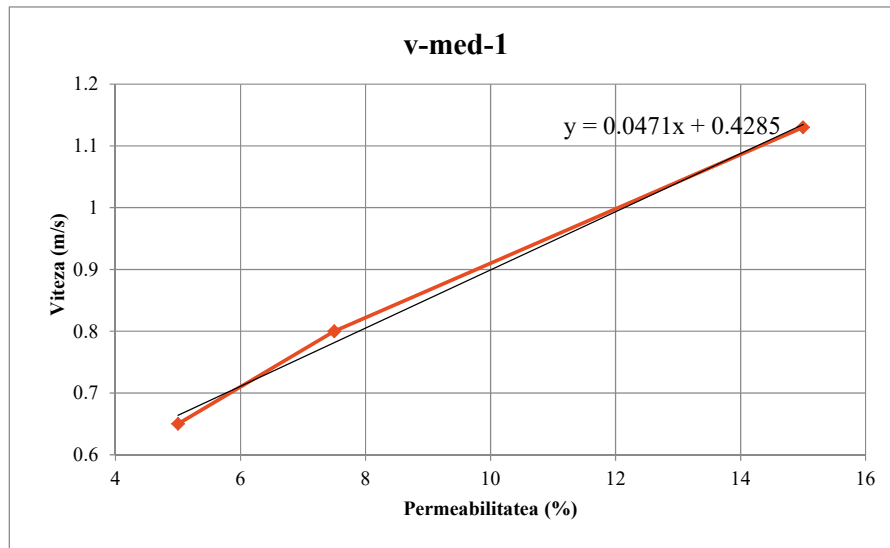


Figura 5.8. Variația vitezei medii unitare funcție de permeabilitate.

Această dependență este cvasi-liniară, astfel că, **pentru modelul matematic, viteza unitară medie, în funcție de permeabilitatea digului, se poate calcula cu o bună aproximație cu formula $v = 0.0471 \cdot p + 0.4285$.**

Pentru a face **comparația rezultatelor calculelor din modelul matematic cu cele rezultate din măsurătorile pe modelul fizic**, în tabelul de mai jos (Tabel 5.3), în primele (cinci)

coloane, este calculată permeabilitatea p a modelului; cele 4 linii reprezintă permeabilitățile modelului în cazul în care ar fi operaționale 1, 2, 3 și, respectiv, 4 fante.

Tabel 5.3. Rezultatele măsurătorilor pe modelul fizic.

Model					v-1
plin	fanta	gol	p	p	
(mm)	(mm)	(mm)	(-)	(%)	(m/s)
100	2	2	0.02	2.00	0.5227
200	5	7	0.035	3.50	0.5934
300	10	17	0.057	5.67	0.6954
400	16	33	0.083	8.25	0.8171

În cazul de față, pe modelul fizic au fost practic operaționale primele trei fante din tabelul de mai sus (2, 5 și 10 mm), cărora le corespunde permeabilitatea de 5,67% și o viteză „unitară”, calculată cu formula de mai sus, de 69.54 cm/s; această valoare se compară cu valoarea de 63.39 cm/s rezultată din măsurători (paragraful anterior) în cazul mișcării turbulente dinspre amonte spre aval, adică în aceleași condiții ca în modelul matematic unde calculul s-a făcut tot în regim turbulent pătratic.

În concluzie, concordanța dintre modelul fizic și cel matematic este evidentă. Cele două valori sunt apropiate iar faptul că în modelul matematic valoarea este mai mare este normal în condițiile în care modelul matematic a considerat un regim permanent (cu sarcina egală în mod continuu aproximativ cu valoarea maximă din modelul fizic).

6. CONCLUZII ȘI PERSPECTIVE

Teza de doctorat a fost elaborată în contextul accentuării fenomenelor erozionale din zona litoralului românesc, vizând două direcții de cercetare:

- Fenomenele erozionale de mal prin detalierea mecanismelor de spargere a valurilor, cu accent pe valul ascensional (fenomenul de ascensionare - *runup*);
- Structurile de protecție costieră actuale de pe litoralul românesc al Mării Negre, care, datorită alcătuirii constructive, s-au dovedit a fi total ineficiente în timp, procesul erozional progresând continuu.

Autoarea, împreună cu toți membrii colectivului în care a lucrat, consideră că o cauză importantă, poate cea mai importantă a ineficienței digurilor o constituie structura permeabilă a acestora. Ca urmare, a fost demarat un program mai amplu de cercetare a caracteristicilor curgerii prin diguri cu scopul evaluării impactului asupra mediului înconjurător pe de o parte și asupra structurii digului însuși, pe de altă parte.

6.1. Sinteza activității de cercetare. Concluzii.

În perioada de documentare a stagiului de doctorat, autoarea a fost interesată de fenomenul de *ascensionare (runup)*, căutând în sursele bibliografice cât mai multe referințe. Acestea au fost sintetizate în capitolul 2 al tezei iar principala concluzie a fost că toate studiile și modelele de calcul realizate până în prezent s-au bazat pe observații empirice și pe măsurători in situ sau în laborator, sintetizate pe principii stohastice.

Capitolul 3 a prezentat fenomenul de eroziune al plajelor detaliind pe de o parte caracteristicile sedimentelor (compoziția, densitatea, dimensiunea, forma, porozitatea, viteza de cădere) și modul în care acestea influențează alcătuirea unei plaje litorale precum și mișcarea și forțele care acționează asupra acestora. În ultima parte autoarea a elaborat o

sinteză a structurilor de protecție și refacere a plajelor marine care sunt aplicate la ora actuală atât în România cât și pe plan internațional.

Analizând natura fenomenului de *ascensionare (runup)*, autoarea a considerat că acesta poate fi studiat foarte bine pe baze științifice, aplicând legile generale ale mecanicii și a elaborat un model matematic original expus în capitolul 4, contribuind inclusiv la elaborarea algoritmului și a programului de calcul pentru rezolvarea sistemelor de ecuații aferente. Calculele efectuate pe acest model au fost comparate cu calculele din literatura de specialitate, constatându-se o concordanță foarte bună. S-a probat astfel validitatea modelului matematic conceput, model care, spre deosebire de cele stohastice din literatură, oferă oportunitatea evaluării mai multor parametri care caracterizează fenomenul de ascensionare (runup).

În capitolul 5 autoarea a analizat și demonstrat că structura constructivă actuală a digurilor de protecție de pe litoralul românesc sunt total ineficiente din punct de vedere al reducerii fenomenului de eroziune al plajelor. În analiza respectivă, au fost evaluați parametrii curgerii, în speță vitezele de curgere a apei prin golurile de mari dimensiuni care caracterizează structura unui dig marin. În acest scop s-au folosit două tipuri de modele, un model matematic și un model fizic realizat în Laboratorul de Hidraulică și Protecția Mediului al U.T.C.B.

Modelarea matematică a considerat un regim de curgere permanent și a demonstrat, într-o primă fază, faptul că digurile marine nu reprezintă o frână importantă în calea curenților marini și că vitezele de curgere sunt apreciabile, suficient de mari pentru a tranzita nisipul în suspensie prin corpul digului sau pentru a „spăla” (antrena) materialul de dimensiuni reduse din corpul digului, în primul rând nisipul de la baza - fundația digului. Contribuția originală din acest caz a constat în faptul că s-a imaginat un model conform căruia structura permeabilă a digului a fost înlocuită printr-o rețea inelară de conducte care a fost apoi calculată folosind programul de calcul al Departamentului de Hidraulică și Protecția Mediului, punând condițiile la limită specifice situației reale din natură.

Modelarea fizică s-a efectuat în condițiile regimului nepermanent cu caracter oscilant impus de sarcina hidraulică alternantă datorată valurilor, considerând că de o parte a digului se află marea deschisă cu valuri incidente normale pe dig iar de cealaltă parte se află un acvatoriu protejat cu apă liniștită. Modelul fizic, deși simplificat, modelează corect structura digului atât din punctul de vedere al geometriei acestuia cât și din acela al permeabilității sale interne.

Cercetările de pe modelul fizic au pus în evidență, în primul rând, faptul că fenomenul de curgere prin dig există și că este destul de intens. Era necesar să se facă această demonstrație în condițiile în care există ideea larg răspândită conform căreia digurile sunt impermeabile și reprezintă un obstacol împotriva oricăror curgeri, fie ele curenți marini, fie cele oscilante datorate valurilor. Ca orice modelare fizică, și aceasta se bucură însă și de toate avantajele specifice, respectiv rezultatele de pe model pot să fie extrapolate la alte scări, inclusiv la scara naturală pentru a face evaluări de ordin practic.

6.2. Contribuții personale

Contribuțiile personale reies din cadrul cercetărilor desfășurate în cadrul tezei de doctorat astfel:

- analizarea surselor bibliografice existente în prezent privind fenomenul de ascensionare și elaborarea unei sinteze având ca principală concluzie că toate studiile și modelele de calcul realizate până în prezent s-au bazat pe observații empirice și pe măsurători in situ sau în laborator, sintetizate pe principii stohastice;

- elaborarea unui model matematic original pentru calculul fenomenului de ascensionare, inclusiv elaborarea algoritmului și a programului de calcul pentru rezolvarea sistemelor de ecuații aferente;
- elaborarea unui model matematic original de curgere în regim permanent a curenților marini prin corpul digurilor. Contribuția originală a constat în asimilarea structurii permeabile a digului cu o rețea inelară de conducte, punând condițiile la limită specifice situației reale din natură;
- elaborarea unui model fizic care a reprodus structura constructivă a digurilor, pentru validarea rezultatelor obținute prin modelarea matematică.

Modelarea fizică a dat prilejul punerii în valoare a mai multor contribuții personale, astfel:

- Proiectarea modelului fizic – concepție și dimensionare;
- Utilizarea unei sonde performante pentru măsurarea vitezelor care permite măsurarea celor trei componente spațiale ale acestora (sondă tridimensională), cu foarte mare precizie și în condițiile unor variații rapide în timp. S-a pus astfel în valoare un sistem de măsură de vârf de care dispune Laboratorul de Hidraulică, care include achiziția de date și soft-ul aferent pentru prelucrarea acestora.
- Alegerea regimului de valuri optim pentru efectuarea măsurătorilor și determinarea caracteristicilor acestora.
- Efectuarea unui număr extrem de mare de măsurători de viteze și prelucrarea acestora.
- Justificarea și exemplificarea criteriului Reynolds pentru extrapolarea rezultatelor măsurătorilor.
- Introducerea conceptului de „viteză unitară” și folosirea acestuia pentru compararea vitezelor din diferitele variante cercetate.
- Validarea rezultatelor modelului matematic prin cele obținute pe modelul fizic, care au pus în evidență pe de o parte acuratețea măsurătorilor efectuate și prelucrarea corectă a rezultatelor iar pe de altă parte faptul că și modelarea fizică și cea matematică pot fi utilizate ca instrumente de studiu ale curgerilor prin corpul digurilor.
- În mod concret, cercetările – și modelarea matematică și cea fizică - au pus în evidență o proprietate importantă și cu caracter de generalitate și anume aceea că vitezele medii unitare nu depind de sarcina hidraulică ci doar de permeabilitatea modelului.

6.3. Direcții de cercetare în viitor

Ca direcții de cercetare pe viitor se propun următoarele:

- Dezvoltarea unui program de calcul automat al fenomenului de ascensionare (runup), tot pe baze științifice, dar în regim nepermanent;
- Efectuarea de măsurători in-situ pentru determinarea vitezelor de curgere ale apei prin structura actuală a digurilor de protecție a litoralului românesc;
- Implementarea unui program de monitorizare folosind tehnicile satelitare privind evoluția fenomenului de eroziune cuplat cu cel de ascensionare (runup);
- Dezvoltarea modelului matematic de calcul actual al curgerii prin structura internă a digurilor care să redea cu mai multă acuratețe atât forma cât și structura internă reală a acestora;
- Dezvoltarea unor modele fizice - experimentale detaliate care să reproducă curgerea prin structura internă a digurilor, corelate cu măsurătorile de viteză efectuate in-situ.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

Cărți

- Bird, E., - *Coastal Geomorphology*, Second Edition, John Wiley&Sons, Ltd, 2008;
- Cioc, D., - *Hidraulică*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1975;
- Davidson–Arnott, R., - *Introduction to coastal processes and geomorphology*, Cambridge University Press, 2010;
- Dean, G.R., Darymple, A.R., - *Coastal processes with engineering application*, University of Florida, University of Delaware, Cambridge University Press, 2004;
- Ferziger, J.H., Peric, M. - *Computational Methods for Fluid Dynamics*, Third Edition, Springer Science, New York, 2002;
- Holthuijsen, H.L., - *Waves in Oceanic and Coastal Waters*, Delft University of Tehnology and UNESCO – IHE, Cambridge University Press 2007;
- Iulian, C., - *Combaterea eroziunii marine*, Ed. FREDD, București, 2005, ISBN 973-0-03924-0;
- Luca, V.O., Tatu, G., Petrescu, V., - *Hidrodinamica cursurilor de apă*, Universitatea Tehnică de Construcții București, 181 pag., 1998;
- Luca, V.O., Luca, B. A. - *Hidraulica Construcțiilor*, Colecția “Hidraulica Ingineriei Mediului”, Ed. “Orizonturi Universitare”, Timișoara, 2002;
- Kamphuis, W.J., - *Introduction to Coastal Engineering and Management*, Advanced Series on Ocean Engineering, Volume 16, Kamphuis Queen’s University Canada, World Scientific, 2000.
- Olson, R., - *Essentials of Engineering Fluid Mechanics*, Scranton, PA: International Textbooks, 404 pag., 1961;
- Reeve, D., Chadwick, A., Fleming, J., - *Coastal Engineering: Processes, Theory and Design Practice*, E & FN Spon, 2004;
- Sorensen, R.M., - *Basic Coastal Engineering*, Departament of Civil and Environmental Engineering Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania, Third Edition - Springer Science + Business Media, Inc 2006;
- Vanoni, V.A., - *Sedimentation Engineering*, NewYork: American Society of Civil Engineers, 745 pag., 1975.

Articole

- Dayat, I.Y., Ahmad M.H., - *Wave transmission on submerged rubble mound breakwater using L-Blocks*; 2nd International Conference on Environmental Science and Technology, Singapore, 2011;
- Folk, R.L., Ward, W.C., - *Brazos River Bar, a study of the significance of grain size parameters*, J. Sed. Petrology, pag. 27, 3–27, 1957.
- Inman, D.L., - *Measures for describing the size distribution of sediments*, J. Sed. Petrology, pag. 22, 3, 125–145, 1952.
- Krumbein, W.C., - *Applications of logarithmic moments to size frequency distribution of sediments*, J. Sed. Petrology, pag. 6, 1, 35–47, 1936.
- Otto, G.H., - *A modified logarithmic probability graph for the interpretation of the mechanical analysis of sediments*, J. Sed. Petrology, pag. 9, 62–76, 1939.
- Pilarczyk, K.W., - *Design of low-crested (submerged) structures – an overview*, 6th International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, Colombo, Sri Lanka, 2003;
- Rouse, H., - *Nomogram for the settling velocity of spheres*, Report of the Commission on Sedimentation, Washington, DC: National Research Council, pag. 57–64, 1937.
- Tatu, G., Dimache, Al., Iancu, **Coveianu, L.A.**, Ciugulea, O., - *A new vision on the marine dikes’ structure*, 15th Internațional Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2015, Conference proceedings, Volume II, ISBN 978-619-7105-40-7, ISSN 1314-2704, Factor de impact: în curs de indexare, 2015.
- Tatu, G., Dimache, Al., Iancu, I., **Coveianu, L.A.**, - *Physical model for laboratory testing of the submerged wave energy capturing device*, 7th International Conference on Energy and Environment – CIEM 2015, Secțiunea 7 – Hydro-Power Engineering, Iași, 22-24 octombrie 2015, ISSN 1223-7027 (2067-0893), (12 pag).
- Tatu, G., Dimache, Al., Iancu, I., **Coveianu, L.A.**, - *Modelarea curgerii printr-un dig marin*, A opta conferință a Hidroenergeticienilor din România „Dorin Pavel”, București, 22-23 mai 2014, ISSN 2068-276X, 9 pag (BDI).
- Tatu, G., Dimache, Al., Iancu, I., **Coveianu, L.A.**, - *Model matematic pentru calculul fenomenului de runup la valuri*, A opta conferință a Hidroenergeticienilor din România „Dorin Pavel”, București, 22-23 mai 2014, ISSN 2068-276X, 10 pag (BDI).
- Tatu, G., Dimache, Al., Benaissa, N., Petrescu, V., Bica, I., Iancu, I., Dimache, T.D., **Coveianu, L.A.**, Mouffok, S., - *Les solutions roumaines pour la protection, l’ecologisation et la valorisation du littoral marin*, 3^{eme} Colloque “Biodiversite et ecosysteme littoraux – BEL 03, 26-28 Novembre 2013, Oran, Algeria, 10 pag., ISBN 978-975-7895-8-15 (BDI).
- Tatu, G., Dimache, Al., Iancu, I., **Coveianu, L.A.**, - *Mathematical model for runup phenomenon of the waves*, Buletinul Științific al UPB, Seria D, Vol. 77, Iss. 3, ISSN 1454-2358, 2015.
- Zingg, T., - *Beitrag zur Schotteranalyse*, Schweiz. Min. u. Pet. Mitt., pag. 15, 39–140, 1935.

Teze de doctorat

- Cazan, D.D., - *Cercetări teoretice și experimentale privind utilizarea energiei valurilor*, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică de Construcții București, mai 2009.
- Corey, A.T., - *Influence of shape in the fall velocity of sand grains*, M.S. Thesis, A&M College, Colorado, 1949.
- Iulian C., - *Soluții noi de protecție pentru litoralul marin*, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică de Construcții București, 1994.
- Lazăr, P.D., - *Contribuții la hidraulica disipării și captării energiei valurilor mici cu aplicație la protecția litoralului românesc al Mării Negre*, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică de Construcții București, 1996.