

Garabet KÜMBETLIAN

TEORIA ȘI EXPERIMENTUL



Seria Eseuri științifice

Editura AGIR 

Seria „ESEURI ȘTIINȚIFICE”

TEORIA și EXPERIMENTUL

THEORY AND EXPERIMENT

– essay –

Professor's G. Kümbetlian essay is a plea for a blithe interweaving of fundamental theoretical and experimental research. In his view, the theoretical model and experimental confirmation not excludes but complements each other. In support of this scientific belief, the author describes the way himself complied with this goal, along his scientific activity.

ACADEMIA DE ȘTIINȚE
TEHNICE DIN ROMÂNIA



ASOCIAȚIA GENERALĂ A
INGINERILOR DIN ROMÂNIA



Garabet KÜMBETLIAN

TEORIA și EXPERIMENTUL

– eseu –

Seria „ESEURI ȘTIINȚIFICE”



Editura AGIR
București, 2009

ASOCIAȚIA GENERALĂ A INGINERILOR DIN ROMÂNIA

Copyright © Editura AGIR, 2009

Editură acreditată de CNCSIS

Toate drepturile asupra acestei ediții
sunt rezervate Editurii AGIR

Editura AGIR

Calea Victoriei, nr.118, sector 1,

010093 București;

tel.: 4021-316 89 92, 4021-316 89 93 (redacție),

4021-319 49 45 (difuzare); fax: 4021-316 89 92,

e-mail: editura@agir.ro; www.edituraagir.ro

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

KÜMBETLIAN, Garabet

Teoria și experimentul. Eseu / Garabet KÜMBETLIAN -
București: Editura A.G.I.R., 2009

ISBN 978-973-720-242-0

821.135.1-5

62

Îngrijire editorială:

Ing. **Dan BOGDAN**

Ing. **Ramona VARBAN**

Coperta: ing. **Ion Marin** (Desen copertă: C. Ursin)

Bun de tipar: 10.12.2009

ISBN 978-973-720-242-0

Imprimat în România

Am văzut lumina zilei în cel mai estic mare oraș al țării, Constanța.

Am parcurs anii de școală într-una din cele mai sumbre și agitate perioade de existență a țării (1943 – 1959).

Între anii 1943 – 1947, la școala primară (nr. 5) din cartier, unde am învățat să scriu și să vorbesc corect.

Între anii 1947 – 1950, în cadrul gimnaziului german Brukenthal din Sibiu, unde am învățat să fiu sobru, disciplinat, civilizată, respectuos, să apreciez și să iubesc cultura autentică (muzica clasică, pictura, sculptura și arhitectura).

Între anii 1950 și 1954 în cadrul Liceului „Mircea cel Bătrân” din Constanța, unde cele mai frumoase momente ale vieții de elev erau cele în care mă refugiam în lumea matematicii, rezolvând probleme din seriile A și B din „Gazeta matematică și fizică”.

Acolo și atunci m-au cucerit frumusețea raționamentului logic, satisfacția timpului bine folosit și a efortului bine dozat, precum și bucuria descoperirii soluțiilor ascunse.

Între anii 1954 și 1959 în cadrul facultății de Mecanică a Institutului Politehnic din București, unde am avut revelația descoperirii unor profesori cu totul deosebiți, care ne-au îndrumat și condus pașii cu multă competență și pricepere spre descoperirea adevărului științific.

Aici am aflat cu multă uimire și satisfacție la ce folosește matematica și cum ajută ea toate celelalte științe să-și modeleze fenomenele fizice, chimice, etc., în scopul parcurgerii drumului de la abstract la concret și de la „îndoiele la certitudini” (pentru a-l parafraza pe profesorul și academicianul Grigore Moisil).

Primele discipline care ne-au revelat aceste adevăruri, au fost „MECANICA” profesorului Alexandru Stoenescu și „Rezistența materialelor” a lui Gheorghe Buzdugan și care era în sine o mecanică aplicată (mecanica mediilor deformabile).

Cursul profesorului Gheorghe Buzdugan (ca și cel al profesorului Alexandru Stoenescu) era deosebit de frumos și clar. Discursul profesorului era fluent și convingător, adevărurile rezultau în urma demonstrațiilor matematice riguroase și mai presus de orice, învățam pentru prima oară, că ipotezele trebuiesc confirmate experimental în activitatea practică a inginerului.

Au urmat și alte cursuri splendid fundamentate matematic și măiestrit conduse din punct de vedere didactic, ca cel de „Organe de Mașini” al profesorului Gheorghe Manea sau cel de „Electrotehnică” al profesorului Țugulea, dar în mod cert cursul profesorului Buzdugan a declanșat în subconștientul meu mecanisme psiho-somatice obsesive care nu m-au părăsit, decât în momentul când am îmbrățișat aceeași carieră ca cea a modelului pe care mi-l alesesem.

Un prim prilej s-a ivit în anul 1966 când am fost numit director al liceului Energetic din Constanța, nou înființat și unde mi-am ales ca disciplină de studiu, bineînțeles, „Rezistența” mult visată. A fost o ucenicie utilă și bine – venită pentru a-mi pune întrebări și a le găsi răspunsuri dinspre catedră, de această dată. Desigur că nu acesta era idealul visurilor mele din studenție, dar pentru moment, experiența aceasta a fost utilă. Gândurile mele zburau mereu spre învățământul superior. Este drept că între anii 1964 – 1968 am funcționat în regim de cumul în catedra de fizică a Institutului Pedagogic din Constanța (șeful de catedră fiind profesorul Lucius Săveanu) dar acolo nu predam Rezistența.

În anul 1972 s-a înființat Institutul de Marină – civil din Constanța.

Am părăsit liceul fără regrete și am concurat pentru un post de șef de lucrări la nou – înființatul institut, pentru disciplina Mecanică teoretică. Urma ca anul viitor să concurez la disciplina „Rezistența materialelor”, ceea ce s-a și întâmplat, cu regretul de a fi părăsit „Mecanica”, de această dată.

În același an m-am înscris la doctorat. Am ales „Teoria elasticității mediilor structurale” la Centrul de Mecanica Solidelor al Academiei

Române, sub conducerea cercetătorului doctor inginer Mircea Mișicu. M. Mișicu era un om deosebit de competent, instruit și pragmatic, de o austeritate, duritate, exigență și autoexigență remarcabile. Vă rog să-mi permiteți să evoc doar câteva aspecte ale vieții și activității acestui om cunoscut și recunoscut de întreaga lume științifică internațională și națională, așa cum l-am perceput eu în anul 1972 când l-am întâlnit. Mircea Mișicu s-a născut la 27 februarie 1926 la Galați, unde a urmat școala primară și Liceul “Alecsandri”. A intrat apoi prin concurs la Facultatea de Construcții din București, ale cărei cursuri le-a absolvit cu diplomă, în anul 1948.

Între anii 1948 și 1950 a funcționat ca asistent la cursul de beton armat al profesorului Mihail D. Hangan, iar între anii 1950 și 1952, în cadrul Institutului de proiectări metalurgice. În anul 1952 a devenit cercetător principal la Institutul de mecanică aplicată al Academiei, unde în 1958 a devenit șeful secției de mecanică generală. După 1965 a funcționat în cadrul Centrului de Mecanica Solidelor al Academiei Române, unde a și devenit curând șef de secție. În anul 1967 și-a susținut teza de doctorat în cadrul Institutului de Construcții din București, sub conducerea academicianului Ștefan Bălan.

În același an i-a apărut în Editura Academiei și prima lucrare de vastă întindere „Mecanica mediilor deformabile”. Activitatea științifică a lui Mircea Mișicu s-a concretizat prin lucrări importante în domeniul teoriei elasticității, rezistenței materialelor, reologiei, mecanicii fluidelor, seismologiei, etc. În problema spațială a teoriei elasticității a elaborat soluții pentru plăcile subțiri și groase a scris ecuațiile teoriei elasticității cu ajutorul funcțiilor neomogene de cuaternioni (o generalizare a numerelor complexe).

Rezultatele obținute de Mișicu în domeniul elasticității neliniare au fost citate în mai toate tratatele străine de specialitate. A mai adus contribuții importante științei în domeniile mecanicii fluidelor, reologiei, etc. În anii 1970, Mișicu era singurul cercetător de la noi care se ocupa de teoria geometrică a structurilor reologice.

În celebra sa monografie publicată în anul 1967 și amintită mai sus, Mișicu a expus elementele fundamentale teoretice ale elasticității structurale. A avut contribuții importante și în domeniul calculului probabilităților. În anii

1972 și 1973 – când l-am întâlnit pentru prima oară – îi apăruseră alte două monografii monumentale în Editura Academiei Române: „Teoria mobilității elastice” și „Încovoiere și Torsiune”, care au întregit tabloul contribuțiilor sale științifice în acel moment. A fost invitat de mai multe ori în Statele Unite ale Americii, China și în mai toate statele europene.

Acesta era mediul în care îmi începeam activitatea științifică. Colocviul de admitere consta atunci într-un examen sever de Mecanică teoretică, Rezistența materialelor și Teoria elasticității. În acest scop, am studiat temeinic Tratatul de specialitate pe care le consideram strict necesare. Pentru Mecanică, cartea profesorului Stoenescu și tratatul de „Mecanică teoretică” al autorilor V. Vâlcovici, Șt. Bălan și Radu Voinea; pentru „Rezistență”, cartea profesorului Buzdugan și “Rezistența materialelor”, vol. 2 a autorilor Aurel Beleş și Radu Voinea, iar pentru Teoria elasticității, cărțile lui P.P. Teodorescu „Probleme spațiale în teoria elasticității”, „Mecanica Mediilor Deformabile” a lui Mișicu, precum și cărțile cunoscute ale lui A.E.H. Love, A.J. Lurie, Landau și Lifchits. Din comisia de admitere au făcut parte profesorul Ernest Beiu Paladi de la Institutul de Construcții din București, profesorul Theodor Oroveanu, cercetătorul (CP1) Alexandru Vaicum și Mircea Mișicu de la Centrul de Mecanica Solidelor. Ca urmare a reușitei, conducătorul de doctorat mi-a sugerat să-mi adâncesc studiile în domeniul teoriei elasticității structurale și a plăcilor groase. Aceasta, datorită faptului că pe plan mondial, problematica distribuției tensiunilor în plăcile groase constituia încă obiectul unor discuții controversate, în timp ce în țară, singurul care inițiasse câteva studii preliminare în domeniu, era însuși conducătorul viitoarei teze. Orientarea aceasta urma să se justifice în anul 1977 (după finalizarea tezei), anul apariției „Manualului pentru calculul construcțiilor” în Editura Tehnică, sub coordonarea profesorului Andrei D. Caracostea și din al cărui colectiv făceau parte reputații profesori Ernest Beiu Paladi, Gh. Ilie, C. Ionescu, Panaite Mazilu, M. Mihăilescu, V. Petcu, H. Sandi, M. Soare și N. Țopa. Din cele 1392 de pagini ale Manualului, problema plăcilor plane era prezentată în secțiunea a VI-a, în cuprinsul a 213 pagini. Problemele speciale de plăci erau prezente în capitolul 11, pe întinderea a 3 pagini, iar problematica plăcilor groase era tratată (în cadrul acestui capitol) în paragraful 11.3 în 13 rânduri.

În cadrul acestui paragraf se admitea, că „plăcile groase pot fi studiate doar prin metodele teoriei elasticității spațiale”. Erau citate doar trei lucrări ale unor autori care dăduseră soluții, dar numai pentru plăci circulare încărcate axial-simetric; cât despre o teorie generală sau despre aplicații în cazul unor plăci de alte forme, ca de exemplu dreptunghiulare, (cele mai des întâlnite în practică) nu se știa nimic. Cu atât mai mult în anul 1972, când nici măcar nu exista o teorie generală cu privire la plăcile groase.

În consecință am convenit asupra unui titlu de teză care să sugereze cu claritate, în mod univoc, intențiile studiului, premisele și teoria ce urmau să stea la baza lui, precum și natura unor eventuale aplicații. Acesta era: „Calculul exact al plăcilor acționate hidrostatic și cu stare complexă de mobilitate a conturului, pe baza rezolvării problemei antimediane a teoriei mobilității elastice”.

Au fost stabilite examenele și referatele. Examenele aveau rolul de a forma și consolida fundamentele teoretice ale studiului și de a-mi perfecționa instrumentele de calcul pe care urma să le folosesc pe parcursul rezolvării sarcinii asumate. Primul examen avea ca obiect „Elemente de calcul tensorial, geometrie diferențială și teoria funcțiilor de variabilă complexă”. M-am concentrat asupra lucrărilor lui Kocin, Kilcevscki, Murgulescu, Vrânceanu și Ciorănescu. Pentru următoarele două examene am studiat cu cea mai mare atenție lucrările lui M. Mișicu, care statuau bazele teoretice ale calculului plăcilor și a celor groase în special, cele două volume amintite mai sus (apărute în anii 1972 și 1973), precum și articolele de specialitate apărute în revistele de mecanică aplicată ale Academiei Române. În continuare am extins studiul și la alți autori, ca W. Flügge „Statik und Dynamic der Schalen”, K. Friedrichs „The edge effect in the bending of plates”, A. Goldenweiser „Equations of the theory of thin shells”, A.E. Green, „On the linear theory of thin elastic shells”, F. Krauss „Über die Grundgleichungen der Elastizitätstheorie schwach deformierten Schalen”, Kröner „Das physikalische Problem der Antisymmetrischen Spannungen und der sogenannten Momentenspannungen”, E. Meissner „Über Elastizität und Festigkeit dünner Schalen”, precum și la lucrările din reviste ale lui Mushtari, Niordson, Novojilov și E. Reissner.

Mi-au fost de un real ajutor lucrările lui P.P. Teodorescu „Probleme actuale în mecanica solidelor” vol. 1, St.P. Timoshenko și S. Woinowsky – Krieger „Teoria plăcilor plane și curbe” (mai ales pentru aplicațiile abordate mai târziu) și W. Vocke „Liniare Elastizität – Profilstab und Profilebene”.

Studiile acestea (ca și unele pe care nu le-am amintit) mi-au permis să-mi fac o idee clară asupra tendințelor vremii de a se ajunge la o teorie unitară și necontradictorie cu privire la calculul plăcilor groase. Ele mi-au permis să-mi consolidez propriile concluzii în ce privește stadiul la care se ajunsese în acest domeniu în anii '70. În câteva cuvinte, acestea se puteau reduce la următoarele:

1. Calculul plăcilor groase, pe baza ipotezelor simplificatoare (proprii plăcilor subțiri) introduceau erori apreciabile în ce privește distribuția și valorile tensiunilor. Din acest motiv se impunea să se elaboreze cât mai curând posibil metode de calcul specifice proprii plăcilor groase, pe baza unor ipoteze verificabile experimental și care să permită obținerea unor soluții necontradictorii cu teoria clasică, în cazul rezolvării unor cazuri concrete.

2. Nu toate metodele de calcul propuse în literatura de specialitate satisfăceau cerințele formulate mai sus. Aceasta, fie datorită erorilor care interveneau în formularea ipotezelor fundamentale, fie procedeele de rezolvare având un caracter aproximativ și care implicau un aparat de calcul deosebit de complex.

Din punct de vedere istoric, Cauchy și Poisson fuseseră primii care obținuseră ecuații ale plăcilor cu ajutorul dezvoltărilor de puteri ale variabilei transversale (z). După cum se știe, aceste dezvoltări au dus la ecuațiile Sophie-Germain. Mergând pe calea inițiată de Cauchy și Poisson, Krauss și Kilcevski au adus contribuții importante la extinderea teoriei clasice a plăcilor subțiri. Ulterior, Kirchhoff a propus propria sa metodă de calcul aproximativă, bazată pe ipotezele-i cunoscute. Acestea permiteau o simplificare importantă a ecuațiilor și au contribuit – la vremea lor – la o înțelegere clară a fenomenului fizic, dar cu prețul unui grad redus de exactitate. Primul care a aplicat teoria lui Kirchhoff, eliminând unele deficiențe ale ei a fost H. Aron (în anul 1874). Diferitele teorii de tip Kirchhoff au fost dezvoltate de V. Flügge și V. Vlasov. Love a extins

teoria lui Kirchhoff referitoare la plăci, pentru cazul celor având suprafețe curbe. Alți cercetători au urmărit o exactitate sporită a calculului pe căi independente de cea inițiată de Kirchhoff. Acestea s-au fundamentat pe rezolvarea problemei spațiului tridimensional elastic, cu ajutorul metodelor care folosesc seriile de puteri, separarea variabilelor, aproximațiile succesive, etc.

Astfel, Lurie a extins analiza la cazul plăcilor groase, dând și indicații pentru simplificarea ecuațiilor. Făcând abstracție de ipotezele lui Kirchhoff, Knowles și Reissner au ajuns și ei la formulări relativ simple ale soluțiilor. Datorită complexității teoriilor clasice, Meissner, Novojilov și Mushtari au mers pe căi proprii, ajungând la expresii concentrate, prin dezvoltări bazate pe folosirea unor potențiali.

Datorită erorilor și nedeterminărilor introduse, teoriile clasice au suferit critici încă din faza lor evolutivă. O primă critică ar putea fi considerată aceea a lui Barré de Saint-Venant, referitoare la caracterul aproximativ al soluțiilor teoriei clasice („tehnice”), critică ce poate fi considerată încă actuală.

Prin ipotezele introduse de el, Kirchhoff a încercat să înlăture nedeterminarea referitoare la numărul condițiilor la limită, specifică teoriei simplificate, dar A. Basset a observat că ipotezele introduse de Kirchhoff conduc la erori importante, chiar și în formularea clasică a teoriei plăcilor plane. Lurie a fost primul care a propus ca parametru pentru evaluarea erorilor teoriei lui Kirchhoff, raportul dintre grosimea „ h ” a plăcii și raza „ R ” de curbura a ei. Teoria lui A.E.H. Love conținea de-asemenea contradicții, datorită omiterii unor termeni de același ordin de mărime cu al celor prezenți în formule.

În formulările lui Krauss și Kilcevski, seriile utilizate conduceau la un număr mare de ecuații, iar ipotezele simplificatoare la care au apelat, implicau paradoxal creșterea nivelului erorilor. Friedrichs, Goldenweiser și Lurie au elaborat și dezvoltat analize speciale pentru evaluarea efectelor de margine (în vederea înlăturării erorilor sistematice), dar cu prețul utilizării unor dezvoltări complexe. Finkelstein, Green, Budiansky și Sanders au avut și ei preocupări în ce privește elaborarea unor metode pentru determinarea erorilor de calcul.

Koiter a determinat erorile diferitelor teorii cunoscute, cu ajutorul dezvoltărilor în serie Taylor a variabilei z . John a propus o metodă pentru estimarea exactității ecuațiilor de bază, iar Fr. Niordson a folosit considerații energetice în același scop. Nici una din teoriile citate mai sus nu a dat însă un răspuns explicit problemei calculului plăcilor cu grosime relativă determinată și nu a putut corela strict constantele modelului teoretic considerat cu constantele fizice reale ale plăcii.

O contribuție deosebită în acest domeniu a avut-o indiscutabil Mircea Mișicu, prin elaborarea „teoriei exacte a plăcilor groase”, care-i aparține. Această „Exact theories of thick shells, derived by means of the method of transversal mobility of physical fields, and correlations with other theories”, a apărut în „Revue Roumain, Sci. Techn. Mécanique Appliquée”, Acad. Roum. Tome 18, nr. 4, p. 663-682, la București, în anul 1973. Ea a fost inspirată din teoria exactă a plăcilor, descrisă inițial în lucrarea sa „Teoria mobilității elastice” și dezvoltată apoi în cealaltă lucrare „Încovoiere și Torsiune”, apărută în anul 1973.

Teoria lui Mișicu se baza pe descompunerea câmpurilor vectoriale și tensoriale, ținând cont de termenii care se bucură de proprietatea numită (de el) „mobilitate transversală”. Descompunerile utilizate pot fi realizate pe căi diferite: prin utilizarea seriilor de puteri, funcțiilor speciale etc., în funcție de gradul de exactitate urmărit.

În felul acesta, Mișicu a redus teoria spațială a elasticității la o formă bidimensională, corespunzătoare soluției exacte a plăcilor groase, obținând rezultate și soluții exacte și concentrate. Simplitatea teoriei nu afecta precizia calculului. În privința tensiunilor, rezultatele erau corelate cu alte teorii. Soluțiile exacte, corespundeau unor condiții la limită în tensiuni, deplasări, momente și forțe.

Rezulta că variația pe înălțimea plăcilor a deplasărilor și tensiunilor era neliniară, realitate acceptată astăzi în multe din situațiile particulare întâlnite în practică. Formularea problemei „antimediane” dată de autor, permitea reuniunea problemelor torsiunii și încovoierii într-o singură teorie, riguroasă și compatibilă cu cele ale unor situații uzuale și frecvent întâlnite în practica inginerescă.

Acestea erau premisele și opțiunile spre un următor demers. În anul 1976 am elaborat, iar în anul 1978 a fost publicat în revista Academiei Române „Mécanique Appliquée”, Tomul 23, nr. 2, „A general model for the calculation of thick plates and rods” (Un model general pentru calculul plăcilor și barelor groase), și care rezolva problema în cel mai general caz. Modelul propus era o generalizare a „teoriei exacte” pentru un caz cu totul general de încărcare (biarmonică) a unei plăci groase, cu o grosime relativă h/a (în care „ h ” era grosimea plăcii și „ a ” – lungimea ei.) Modelul cuprindea – prin particularizare – toate teoriile cunoscute, în funcție de precizia de calcul acceptată. Astfel, de exemplu, pentru expresia tensiunii normale dintr-un punct al plăcii, în cel mai general caz, se ajungea la forma:

$$\begin{aligned} \sigma_{xx} = & -Ez(w_{,xx} + \nu w_{,yy} + C_1 \Delta w_{,xx}) / (1 - \nu^2) - \\ & - C_2 p - C_3 p_{,xx} - C_4 \Delta p - C_5 \Delta p_{,xx} , \end{aligned} \quad (1)$$

în care: E este modulul de elasticitate longitudinală a materialului plăcii;

z – cota curentă a punctului de calcul din placă, în raport cu planul ei median;

ν – coeficientul de contrație transversală a materialului plăcii;

w – funcția deplasării punctelor din planul median al plăcii;

$w_{,xx}$ – derivata a doua a funcției deplasării în raport cu variabila x ;

$w_{,yy}$ – idem în raport cu y ;

$\Delta w_{,xx}$ – Laplasianul derivatei a doua a funcției deplasării, în raport cu x ;

p – funcția încărcării, perpendiculară pe planul median al plăcii;

$p_{,xx}$ – derivata a doua a funcției încărcării în raport cu x ;

Δp – Laplasianul funcției încărcării;

$\Delta p_{,xx}$ – Laplasianul derivatei a doua a funcției încărcării în raport cu x ;

C_1, C_2, C_3, C_4 și C_5 – expresii în funcție de coeficientul de contracție transversală ν (și puteri ale lui) și de raportul z/h (și puteri impare ale lui).

În relația (1) se puteau recunoaște:

– pentru primii doi termeni – expresia tensiunii normale din teoria Sophiei Germaine (1816) și lui Louis Navier (1820 și 1823), pentru cazul simplu al încovoierii pure,

– pentru primii trei termeni – expresia tensiunii normale din teoria lui A.E.H. Love (1888 și 1899),

– pentru primii cinci termeni – expresia tensiunii normale din „teoria exactă” a lui M. Mișicu, și în sfârșit,

– pentru toți cei șapte termeni, expresia cea mai cuprinzătoare a tensiunii normale, corespunzătoare „modelului general de placă groasă”.

Pe baza acestui model am determinat expresiile tensiunilor, momentelor și forțelor tăietoare pe înălțimea plăcii și pe unitatea de lungime de placă, în cazul încovoierii cilindrice (unidimensionale) și am rezolvat câteva cazuri de placă groasă dreptunghiulară, sub sarcină hidrostatică. Am rezolvat apoi cazul general de încovoiere bidimensională (cu dublă curbura) a plăcilor groase și am calculat tensiunile și eforturile din câteva plăci dreptunghiulare groase sub sarcină hidrostatică. Rezultatele au fost publicate atunci în revistele Academiei Române (Studii și cercetări de mecanică aplicată Tom. 35, nr. 3/1976 și Revue Roumaine des sciences techniques, Serie de mécanique appliquée, Tome 21, no. 3/1976).

Verificările experimentale au fost efectuate în laboratoarele excelent dotate ale Centrului de Mecanica Solidelor al Academiei Române, cu sprijinul și sub conducerea, supravegherea și controlul conducerii instituției și conducătorului de doctorat. Am folosit atunci în acest scop atât plăci dintr-un material special “cromoplast”, cât și din polistiren expandat.

Rezultatele verificărilor au dovedit, că teoria se confirma experimental cu precizie sporită, pe măsura creșterii grosimii relative a plăcii (pentru valori h/a mai mari ca $1/10$).

„Modelul general” propus a avut un impact puternic în lumea științifică din străinătate și din țară. Am primit aprecieri elogioase din partea „Shock and Vibration Information Center – Naval Research Laboratory” al „Department of Defense” – United States of America și din partea „Applied Mechanics Department” al Indian Institute of Technology din Madras. Din țară s-au arătat interesate „Institutul de proiectare tehnologică de uzine și instalații metalurgice” București, Compartimentul de Rezistență al Institutului de Proiectare din Constanța, etc.

Verificările experimentale efectuate la București m-au convins atunci definitiv, că EXPERIMENTUL este singurul instrument necesar și suficient

de confirmare a unor teorii și ipoteze, sau de validare a unor modele teoretice, cu condiția asigurării acurateții lui. În caz contrar, este de actualitate butadă conform căreia „În modele teoretice nu crede nimeni, în afara autorilor lor, în timp ce în experimente crede toată lumea, în afara autorilor lor”.

Din acel moment am depus eforturi hotărâte de convingere a conducerii Institutului de Marină, pentru a investi într-o bază experimentală performantă. Și ocazia s-a ivit curând în anul 1976, când Nava Școală „Mircea” urma să traverseze pentru prima oară oceanul. De la construcția sa (în anul 1938) trecuse un timp apreciabil. În acest interval bricul navigase și servise la instruirea marinărească a zeci de generații de cadeți, pe timp frumos și pe furtună. Numai „Cel” de sus știa ce se întâmplase între timp cu „manevrele fixe” ale navei (sistemul de cabluri longitudinale – straiuri și transversale – sarturi), care susțin întreaga arboradă și velatură a navei.

Nava fusese construită în șantierul „Blohm și Voss” din Hamburg, iar „punerea în operă” a sarturilor, straiurilor și patarașinelor o făcuse o mică cooperativă din vecinătatea șantierului, unde secretul echilibrării lor se transmitea de câteva sute de ani din tată-n fiu.

Cei care fuseseră prezenți în timpul construcției, echipării și predării navei povesteau, că cea mai delicată „operație” de echilibrare a „manevrelor” aducea din toate punctele de vedere cu cea de acordare a coardelor unui pian. Cablurile erau lovite cu un ciocan de lemn și întinse sau slăbite din „întinzători”, până în momentul în care sunetul rezultat din lovire ajungea la „înălțimea” celui optim – numai de ei știut.

După atâția ani de navigație pe mare, cu sau fără vele, nimeni nu mai putea garanta că eforturile din cabluri rămăseseră cele inițiale. Se impunea deci verificarea acestora și eventual readucerea lor la valorile inițiale. Nava nu mai putea fi dusă la Hamburg. Constanța nu avea oameni specializați în „acordarea” cablurilor, iar specialiștii din Hamburg nu puteau fi aduși în România. Ca urmare, problema înlocuirii și „acordării” cablurilor trebuia rezolvată cu forțe proprii. Sarcina mi-a revenit mie. Primul lucru pe care trebuia să-l aflăm ar fi fost nivelul valorilor eforturilor remanente (tensiunilor interne) din cabluri și al valorilor inițiale a acestora. Problema a fost rezolvată – după dotarea cu aparatura necesară – cu ajutorul măsurărilor tensometrice.

În acest scop, după eliberarea cablurilor de toate legăturile auxiliare „neesențiale” având doar rolul de a le consolida, au fost amplasați traductori electrotensometrici rezistivi pe lungimea tijelor întinzătorilor, și prin slăbirea succesivă a acestora s-au măsurat deformațiile remanente, calculându-se tensiunile interioare din cabluri (la acea dată).

După două săptămâni de măsurări eram în posesia datelor reale. Situația era critică, întrucât eforturile din salturi nu mai erau simetrice în raport cu planul diametral al navei, iar valorile unora dintre acestea tindeau spre zero (pretensionarea cablurilor era inexistentă). Aceasta însemna că într-un viitor „marș” unele cabluri ar fi făcut „burtă”, iar altele care ar fi trebuit să preia eforturile acestora s-ar fi rupt. Pentru determinarea valorilor inițiale (necesare) ale eforturilor, sistemul de cabluri s-a modelat sub forma unui sistem multiplu static nedeterminat. Rezolvând sistemul, s-au determinat eforturile necesare (inițiale), care urmau să se inducă în cabluri după înlocuirea celor vechi cu altele noi. Dualitatea model – experiment își arătase și de această dată utilitatea și valoarea.

În anul 1977 a avut loc la Iași, la inițiativa profesorului D.R.Mocanu, „Primul Simpozion Național de Tensometrie” cu participare internațională. La încheierea lucrărilor s-a hotărât înființarea „Comisiei Centrale de Tensometrie” (actuala „Asociație Română de Tensometrie” – ARTENS), al cărei membru fondator am devenit și eu. De atunci, aproape toate cercetările efectuate în cadrul unor contracte de cercetare conțineau în mod necesar și validarea experimentală a deformațiilor și tensiunilor prin tensometrie electrică rezistivă.

Prin tensometrie și analiză teoretică și experimentală a tensiunilor s-au verificat deformațiile și s-au calculat tensiunile în mantaua bazinului de încercări de la Centrul de Cercetări al Marinei Militare (1980), s-a realizat un lanț de măsură pentru determinarea forțelor la standul de încercări al vinciurilor navelor, construit la o întreprindere din Constanța (1981 și 1982), și un altul pentru verificarea funcționării sistemului de propulsie al torpilelor electrice românești proiectate la Centrul de Cercetări al Marinei Militare, (în anul 1983).

La cererea Marinei militare am efectuat verificări ale stării de tensiune din corpul navei „SATURN” (1984), în vederea reechilibrării

navei. La cererea Ministerului Petrolului, Direcția foraj – geologie (în anul 1989) am întreprins studii teoretice și verificări experimentale pentru determinarea stărilor de tensiune în îmbinările mufă – cep ale coloanelor de foraj marin. Apoi, după 1989, pe baza unui contract cu întreprinderea PETROMAR s-au efectuat nenumărate măsurări tensometrice în zonele cu concentrări ale unor rezervoare pentru gaz petrolier, (în anul 1992). În anul 1995 s-au efectuat măsurări tensometrice ale deformațiilor și s-au determinat tensiunile în diverse componente ale unor tunuri proiectate la Centrul de Cercetări al Marinei Militare, etc.

Ceea ce am văzut pentru prima oară la Centrul de Mecanica Solidelor din București și am aplicat în viața profesională care a urmat, mi-a întărit convingerea că TEORIA și EXPERIMENTUL se completează, dar nu se exclud; și cu această convingere am rămas până astăzi.

Toate aceste satisfacții profesionale, precum și casa bătrânească în care locuiesc de peste 70 de ani, m-au ajutat să depășesc greutățile și neajunsurile sociale și istorice temporare și să rămân fidel mediului meu, casei și „ierbii verzi de acasă”, florilor din grădină și din curte și liniștii creatoare pe care toate acestea mi le-au oferit cu generozitate.

Prof. univ. dr. ing. **G. Kümbetlian**



**DICȚIONARE TERMINOLOGICE ȘI EXPLICATIVE
DE ȘTIINȚĂ ȘI TEHNOLOGIE
publicate de către Editura AGIR**

elaborate pentru domenii mari de specialitate

► **ELECTROTEHNICĂ - ELECTROENERGETICĂ**

- G.Drăgan, Al.Timotin, Fl.Tănăsescu, A.Panaitescu, Dorina Rogobete, Ana Maria Vizanti, Parascheva Onica**, *Dicționar explicativ pentru știință și tehnologie. ELECTROTEHNICĂ (R-E-F)*; ISBN 978-973-720-172-0, 1600 p., 62 lei (2007)
- G.Drăgan, Al.Timotin, Fl.Tănăsescu, A. Panaitescu, Dorina Rogobete, Ana Maria Vizanti, Parascheva Onica**, *Dicționar pentru știință și tehnologie. ELECTROTEHNICĂ (E-R și F-R)*; ISBN 978-973-720-212-3, 804 p., 50 lei (2008)
- Al.Timotin, Fl. Tănăsescu, Parascheva Onica**, *DICȚIONAR AL TERMINOLOGIEI ELECTROTEHNICE E/R*; ISBN 978-973-720-070-9, format 170/240, 758 p., 25 lei (2006)
- Al.Timotin, Fl. Tănăsescu, Parascheva Onica**, *DICȚIONAR AL TERMINOLOGIEI ELECTROTEHNICE F/R*; ISBN 978-973-720-071-6, format 170/240, 848 p., 25 lei (2006)
- Al.Timotin, Fl. Tănăsescu, Parascheva Onica**, *DICȚIONAR AL TERMINOLOGIEI ELECTROTEHNICE R/E/F*; ISBN 978-973-720-095-2, format 170/240, 900 p., 31,2 lei (2006)
- I. Conecini, Doina Frumușelu, Octavia Bogdan**, *Dicționar explicativ. ELECTROENERGETICĂ GEOGRAFICĂ. Rețele electrice – Mediu (Român - Englez - Francez) / Explanatory Dictionary. GEOGRAPHIC POWER ENGINEERING. Electrical Networks – Environment (English - Romanian - French)*, ISBN 978-973-720-187-4, format 170/240, 510 p., 70 lei (2009)

► **TRANSPORTURI**

- I. Tănăsuică, F. Ghionea, V. Dragu, N.M. Tănăsuică, F.V. Rușcă, A. Panica, A. Ilie, I. Bratu, O. Liusnea**, *Dicționar explicativ pentru știință și tehnologie. TRANSPORTURI FERROVIARE (R-E-F)*; ISBN 978-973-720-101-0, format 170/240, 282 p., 12,5 lei (2006)
- C. Andreescu, Gh. Frățilă, C. Vladu, R. Moisescu, C. Raicea, M. Toma**, *Dicționar explicativ pentru știință și tehnologie. TRANSPORTURI RUTIERE. Vol. I (A-K)* ISBN 978-973-720-072-3, format 170/240, 188 p., 12,5 lei (2006)

C. Andreescu, Gh. Frățilă, C. Vladu, R. Moiescu, C. Raicea, M. Toma, *Dicționar explicativ pentru știință și tehnologie. TRANSPORTURI RUTIERE. Vol. II (L-Z)* ISBN 978-973-720-249-9, format 170/240, 306 p., 25 lei (2009)

V. Maier, V. Popescu. I.Ü. Kunsel-Özel, *Dicționar explicativ pentru știință și tehnologie. TRANSPORTURI NAVALE.* ISBN 978-973-720-256-7, format 170/240, 460 p., 45 lei (2009)

► **TEXTILE**

A. Dodu, E. Visileanu, R. Butnaru, V. Greavu, E. Cărpuș, C. Ghițuleasa, D. Toma, I. Podaru, L. Lăzăroiu, E. Bălțătescu, I.R. Rădulescu, E. Pintilie, V. Gribincea, C. Budulan, D. Dan, I. Cioară, M. Ciocoiu, C. Comandar, L. Bordeianu, C. Preda, M. Ursache, I.G. Lupu, N. Boitor, L. Călin, Șt. Costandache, An. Dodu, C.C. Dodu, L. Fârnoagă, V. Năvărescu, L. Ispas, C. Aurite, *DICȚIONAR EXPLICATIV PENTRU ȘTIINȚĂ ȘI TEHNOLOGIE .TEXTILE (R-E-F-G-I-R)*; ISBN 973-720-054-3, format 170/240, 1474 p., 37,5 lei (2006)

A. Dodu, Elena Visileanu, R. Butnare (coordonatori), *DICȚIONAR POLIGLOT PT. ȘTIINȚĂ ȘI TEHNOLOGIE (E-G-F-I-R-R). TEXTILE*; ISBN 978-973-720-133-1, 1308 p., 50 lei (2007)

► **INDUSTRIE ALIMENTARĂ**

C. Banu, R. Segal, D. Bordei, A. Ionescu, M. Bulancea, R. Amarfi, M. Turtoi, *DICȚIONAR EXPLICATIV PENTRU ȘTIINȚĂ ȘI TEHNOLOGIE. INDUSTRIE ALIMENTARĂ*; ISBN 978-973-720-079-2, format 170/240, 1156 p., 31,2 lei (2006)

► **ECOLOGIE ȘI PROTECȚIA MEDIULUI**

G. Drăgan, I. Jeleu (coordonatori), *DICȚIONAR EXPLICATIV PENTRU ȘTIINȚĂ ȘI TEHNOLOGIE. ECOLOGIE ȘI PROTECȚIA MEDIULUI (R-E-F-G-R)*; ISBN 978-973-720-127-0, 468 p., 18,7 lei (2007)

► **ECONOMIE. CALITATE**

G. Popa, I. Popa, I. Cucui, C. Rizescu, *Dicționar englez pentru economie*; ISBN 978-973-720-104-1, format 170/240, 660 p., 25 lei (2006)

C. Oprean, Alina Vanu, *Dicționar explicativ pentru știință și tehnologie. Managementul integrat al calității (R-E-F-G-R)*, ISBN 978-973-720-044-6, format 170/240, 242 p.+CD, 20 lei, (2006)



Prof. dr. ing. **Garabet KÜMBETLIAN** este absolvent al Facultății de Mecanică (specialitatea Mașini termice) a Institutului Politehnic din București (1959), doctor inginer în domeniul *Teoria elasticității mediilor structurale* (1976).

A ocupat succesiv funcțiile de inginer principal în cadrul Electrica Constanța (1959-1966), director al Liceului Energetic Constanța (1966-1972), șef de lucrări (1972-1976), conferențiar (1976-1990) și profesor universitar (din 1990) la Institutul de Marină din Constanța. Între 1990 și 2004 a fost șeful catedrei de Inginerie mecanică navală, iar între 2002 și 2006, directorul Centrului de cercetare în Inginerie Mecanică navală, al Universității Maritime din Constanța. Din 1992 și până în 2006 a fost și profesor asociat al Facultății de Construcții a Universității „Ovidius” din Constanța. Este conducător de doctorat în Inginerie Mecanică (din 1999).

A publicat 20 monografii, cărți, tratate și cursuri universitare, din domeniul Mecanicii Solidelor Deformabile și Rezistenței materialelor, 2 traduceri, 29 articole în revistele Academiei Române, reviste străine și Analele Universităților, 16 articole în reviste departamentale de specialitate, 29 articole în volumele unor manifestări științifice internaționale și 35 articole în volumele unor manifestări științifice naționale.

A elaborat 27 de inovații (pentru care a fost premiat în 1987 și 1989) și a condus 29 de Grant-uri și Contracte de Cercetare științifică.

A obținut recunoașteri internaționale din partea Departamentului Apărării al S.U.A. (1979), Institutului Indian de Tehnologie din Madras (1980 și 1982) și Academiei Naționale de Științe a Republicii Armenia (2007).

Este membru de onoare al Comitetului Științific Internațional al Asociației Maritime Internaționale Mediteraneene (1997), Asociației internaționale pentru conservarea resurselor naturale și energiei (S.U.A., 1998) și al fundației ORIAMPLA (Caracas, 1998); membru titular al Academiei Oamenilor de Știință (1987 și reconfirmat în 1990 și 1998), Academiei de Științe Tehnice din România (din 2006), Comitetului Român de Istoria și Filosofia Științei și Tehnicii al Academiei Române (2006) și este membru fondator al Asociației Române de Tensometrie (din 1977).

ISBN 978-973-720-242-0



9 789737 202420