

CONCEPTUL RICHTERGARD DE PROTECȚIE ANTISEISMICĂ A ZIDĂRIEI

Prof. dr. ing. Ramiro A. SOFRONIE,
Facultatea de Îmbunătățiri Funciare
și Ingineria Mediului – București



Este profesor de rezistența materialelor la Facultatea de Îmbunătățiri Funciare și Ingineria Mediului din București. Șef de catedră UNESCO. Președintele Fundației Ecoland. Expert independent al Comisiei Europene.

REZUMAT. Articolul prezintă un concept nou de protecție antiseismică a zidăriei. Zidăria modernă din cărămizi ceramice și mortar de ciment și zidăria originală din cărămizi poroase și mortar de var sunt casante și, de aceea, sensibile la acțiunile seismice. Încă din 1941, prof. Aurel A. Beleş a recomandat evitarea cărămizilor cu goluri. La smuciturile provocate de cutremure toate materialele de construcții se comportă elastic. Conform ipotezei lui Bernoulli în barele omogene solificate axial eforturile unitare sunt distribuite uniform. În jurul imperfecțiunilor geometrice, însă, apar concentrări locale de eforturi unitare. Dacă materialul este casant, ca de exemplu zidăria, imperfecțiunile geometrice sunt la originea dislocațiilor. Pentru prevenirea avariilor se recomandă armarea sau cămășuirea zidăriei cu grile polimerice având noduri rigide integrate. În continuare se prezintă conceptul fiabilist de evaluare a siguranței construcțiilor existente după ISO 13822. Devine posibilă determinarea fiabilității și a duratei medii probabile de serviciu, fără avarii pentru construcții sau componente structurale în ansamblul lor. Exemplul numeric prezentat în final poate fi convingător, dacă noțiunile elementare de teoria fiabilității sunt familiare.

ABSTRACT. The paper presents a new concept of seismic protection of masonry. Modern masonry composed by ceramic bricks and cement mortars, like the original masonry composed by porous bricks and lime mortars, is brittle and therefore sensible to seismic actions. Since 1941, professor Aurel A. Beleş recommended to avoid the cored bricks. To the jerks caused by earthquakes all construction materials behave elastically. According to Bernoulli's hypothesis, in homogeneous bars submitted to axial forces the developed stresses are uniformly distributed. Around some geometrical faults local concentrations of stresses occur. If the material is brittle, like masonry for instance, some dislocations are originated by faults. For preventing damages, reinforcing or confining masonry with polymer grids is recommended. For this purpose, special grids with integrated solid joints are produced. Further, the paper presents the assessment concept of existing structures according to ISO 13822. Both the reliability and serviceability of any building as a whole are calculated. The numerical example presented at the end of the paper could be convincing if the basis of reliability theory is familiar.

1. INTRODUCERE

În lume coexistă în prezent două tipuri de zidării, zidăria originală (sau veche) din cărămizi pline poroase cu mortar de var și zidăria modernă (sau nouă) din cărămizi ceramice pline sau cu goluri și mortar de ciment. Motivul acestei dedublări este, în principal, de ordin ergonomic. Productivitatea zidăriei moderne este de câteva ori mai mare decât cea a zidăriei originale. Cu excepția culorii, cele două tipuri de zidărie diferă în mod esențial începând cu modul de descărcare a acțiunilor gravitaționale și terminând cu conținutul de energie înglobat. Deoarece zidăria se produce manual, cu ajutorul gravitației și pentru preluarea acțiunilor gravitaționale, în regiunile fără cutremure de pământ diferențele amintite mai sus sunt ușor de depășit. Lucrurile se schimbă însă radical în zonele seismice.

Examinând efectele cutremurului de pământ din 10 noiembrie 1940, profesorul Aurel A. Beleş a pus, de fapt, bazele Ingineriei seismice din România [1]. El a explicat

mecanismul de producere a avariilor în toate tipurile de construcții și a recomandat soluții constructive de protecție antiseismică rămase perfect valabile și astăzi [2]. La pagina 1199 a cărții sale se recomandă cu fermitate evitarea cărămizilor gărite, ca și a zidăriei cu goluri de tip american. Din păcate acest sfat atât de înțelept nu a fost ascultat. Argumentele ergonomice ale pieței au fost mai puternice. La cutremurul din 4 martie 1977 au căzut și mai multe construcții din zidărie. Apoi, producția de cărămizi cu goluri a crescut, iar sortimentul lor s-a lărgit. În prezent cărămizile pline au fost scoase aproape complet din fabricație, iar la producția autohtonă de cărămizi cu goluri verticale se adaugă importuri masive de cărămizi ceramice cu goluri în toate direcțiile și până la 50% din volum, sub protecția clauzei 6.2.1. (a) din eurocodul 8.

În aceeași carte, profesorul Aurel A. Beleş descrie smucitura ca fiind o variație a accelerației în unitatea de timp și care este o caracteristică esențială a cutremurelor de pământ. În timpul foarte scurt în care se manifestă

smucitura toate materialele, chiar și cele perfect ductile, au o comportare elastică. Pe atunci, ductilitatea nu era considerată criteriu de proiectare. Acest criteriu, atât de apreciat pentru simplitatea lui, a fost introdus mult mai târziu, o dată cu stările limită. Ceea ce nu se spune astăzi despre ductilitate este că deformațiile plastice sunt permanente și, deci, irepetabile. Cu alte cuvinte, ductilitatea este o caracteristică importantă la un moment dat, dar, după un timp, prin cumulara deformațiilor plastice, poate să dispară, expunând secțiunea sau construcția la o comportare casantă. Ductilitatea este consumabilă și nu ascultă de nici o lege, în timp ce elasticitatea, de exemplu, este guvernată de Legea lui Hooke. În plus, ductilitatea este o mărime relativă, adimensională și nemăsurabilă, iar valorile de calcul sunt acceptate ca atare. Pe de altă parte, rezistența care definește cealaltă stare limită este o mărime absolută și direct măsurabilă. De aici decurg și diferențele dintre cele două stări limită.

Conceptul RichterGard a fost imaginat pentru nevoile practice de protecție antisismică. Articolul de față, fiind limitat ca spațiu, se oprește numai asupra unor idei generale și de interes educativ.

2. IPOTEZA LUI BERNOULLI

Conform binecunoscutei ipoteze a lui Jacob Bernoulli dacă o bară continuă, omogenă și izotropă este supusă unei acțiuni concentrate statice, atunci, în starea de echilibru și la o anumită distanță de punctul de aplicare a forței eforturile unitare din bară sunt uniform distribuite (fig. 1). Eforturile unitare σ care se dezvoltă sunt proporționale cu raportul dintre valoarea forței P și aria secțiunii transversale A a barei. Această relație simplă este folosită în mod curent în proiectare. Ceea ce fascinează este raportul de inversă proporționalitate dintre arie și efortul unitar normal σ (fig. 2). Într-adevăr, la bare cu secțiuni transversale reduse eforturile unitare normale cresc teoretic oricât de mult, în timp ce prin reducerea secțiunii transversale starea de eforturi normale scade rapid, după o lege hiperbolică. Dacă, din întâmplare, undeva în bară se află o imperfecțiune geometrică structurală sau aceasta se practică în mod deliberat, atunci ipoteza lui Bernoulli își pierde valabilitatea. Din cauza modificării secțiunii transversale, în vecinătatea imperfecțiunii geometrice se dezvoltă o concentrare puternică de eforturi normale. Valorile eforturilor maxime pot depăși de câteva ori valorile eforturilor minime, iar diagrama de eforturi este puternic neliniară.

3. TEORIA DISLOCAȚIEI

Landau a demonstrat că, dacă materialul barei este casant, imperfecțiunea geometrică se află la originea dislocațiilor generate de eforturile unitare σ care ating nivelul de rezistență al materialului. În particular, toate componentele structurale din zidărie de cărămidă sunt esențial neomogene. Zidăria este departe de a fi un material continuu și izotrop. Din punctul de vedere al Teoriei

dislocației, rosturile verticale dintre cărămizi se prezintă ca imperfecțiuni geometrice structurale. Pentru acțiuni de lungă durată, ca cele gravitaționale, de exemplu, ductilitatea mortarelor de var din zidărie protejează cărămizile de dislocații prin fenomenul spontan cunoscut sub denumirea de „adaptare”. În cazul acțiunilor de scurtă durată, ca cele dezvoltate de cutremurele de pământ, nu mai este timp ca prin deformații plastice concentrările locale de eforturi să fie redistribuite secțiunilor transversale vecine. Pericolul de dislocații este general, în toată masa zidăriei, și pare iminent. Totuși, prin cercetări teoretice și experimentale s-a găsit o soluție simplă și practică: acoperirea prin suprapunere cu o grilă polimerică, înglobată în mortar, a tuturor imperfecțiunilor geometrice potențiale ale zidăriei. Prin geometria regulată și rezistența ei la întindere, grila va prelua eforturile din zidărie și le va redistribui în mod uniform secțiunilor transversale vecine, înlăturând pericolul de dislocații sau fracturi, ambele însemnând avarii (fig. 3). Dacă grila se aplică numai pe o față a barei sau peretelui operația se numește *armare*, iar dacă are loc o „îmbrăcare”, obligatoriu închisă, atunci se produce o *cămășuire* sau *confinare*. Evident, intervențiile locale cu grile sunt puțin eficiente și nu se recomandă [3,4].

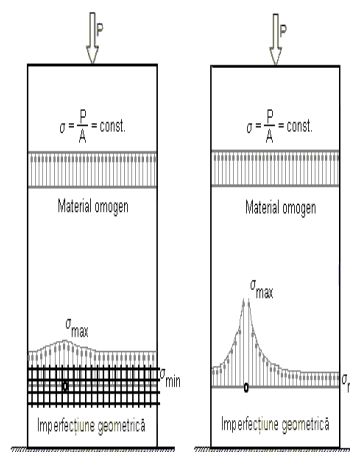


Fig. 1. Eforturile unitare sub o forță.

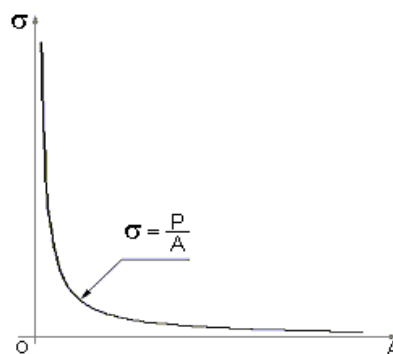


Fig. 2. Hiperbola lui Bernoulli.

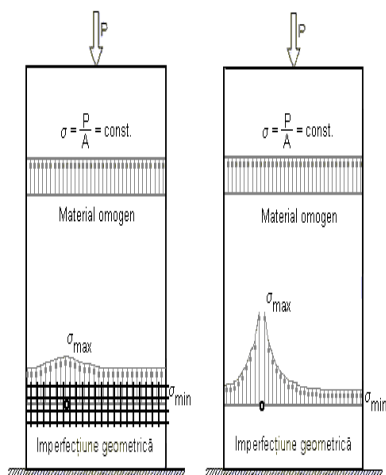


Fig. 3. Efectul grilei asupra imperfecțiunilor geometrice.

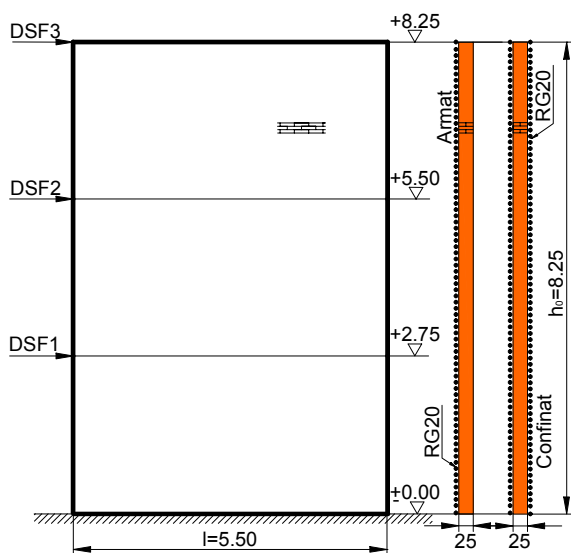


Fig. 4. Diafragmă din zidărie simplă, armată și confinată.

4. CONCEPTUL RICHTERGARD

RichterGard (RG) este un acronim și înseamnă apărare contra cutremurelor măsurabile, iar procedeul de protecție antiseismică a zidăriei – împreună cu toate serviciile de fabricare a grilelor, inspecție și evaluare a nivelului de siguranță, proiectare și instalare a grilelor – a devenit, începând cu anul 2001, un sistem în sine bine definit. Sistemul RG este în deplină concordanță cu legile fundamentale care guvernează construcțiile și respectă toate prevederile legislației internaționale care le reglementează.

Concepția sistemului RG constă în punerea în valoare a resurselor de rezistență ale zidăriei și în evitarea concentrărilor locale de eforturi unitare. În acest scop construcțiile din zidărie se cămășuiesc perimetral, la exterior, cu grile polimerice înglobate în mortar de var sau var-ciment. În plus, dacă este cazul, la fel se cămășuiesc prin înfășurare de jur împrejur și componentele lor structurale. Grilele

polimerice au noduri rigide integrate și sunt fabricate special în acest scop, din polietilenă de înaltă densitate și având rezistența după licența deținută de Tensar International Limited din Anglia. Mecanismul de transfer al acțiunilor de la zidărie la grile are loc prin eforturi unitare normale, deoarece grilele lucrează prin „efectul de ancorare”. Evident, acest mecanism diferă în mod esențial de „efectul de menghină” care are loc la betonul armat. Diferența decurge din ortogonalitatea dintre σ și τ .

Performanța conceptuală a sistemului RG constă în aceea că, prin confinarea zidăriei, aceasta se comportă ca un material compozit. Apare continuitatea geometrică a deformațiilor, iar starea de eforturi unitare la compresiune devine triaxială ceea ce atrage după sine o creștere a capacității portante de până la cinci ori, după cum s-a dovedit experimental. În plus, prin confinare anizotropia și neomogenitatea zidăriei se reduc față de cele ale zidăriei simple, neconfinată. La acțiuni permanente, zidăria confinată are, datorită ductilității grilelor și mortarului de var sau cu var, o comportare elasto-plastică. Pe de altă parte, la acțiuni dinamice instantanee sau de scurtă durată zidăria confinată răspunde elastic, dar cu o capacitate sporită de disipare a energiei induse față de zidăria neconfinată.

Cămășuielile descrise mai sus sunt total integrate zidăriei și în nici un caz nu sunt componente structurale adționale care ar dubla stâlpii sau pereții din zidărie. Sporul de rezistență și de capacitate portantă provine de la grile și spațializarea stării de eforturi unitare a zidăriei, iar sporul de rigiditate provine din geometria componentelor structurale, a căror continuitate și integritate au fost restabilite prin confinare. Sistemul RG păstrează integritatea zidăriei originale – care nu este nici tăiată nici găurită – și, datorită reversibilității ei, poate fi oricând scoasă sau înlocuită fără a provoca stricăciuni iremediabile structurii.

Cămășuirea sau confinarea zidăriei cu grile polimerice suplinesește aportul de componente structurale din beton armat sau metalice. Construcțiile din zidărie confinată devin mai omogene, fără mase suplimentare neechilibrate și concentratori de eforturi locale, fiind astfel în concordanță cu principiile de bază ale proiectării conceptuale prevăzute în anexa A din eurocodul 8. În plus, cămășuielile asigură legături continue între corpurile construcțiilor și fundațiile lor, contribuind astfel și la diminuarea „efectului pocniturii de bici” din timpul cutremurelor de pământ [5].

5. EVALUAREA SIGURANȚEI DUPĂ ISO 13822:2001

Concepția actuală de evaluare a siguranței construcțiilor constă în identificarea secțiunilor transversale care, în ipotezele de încărcare cele mai defavorabile, ar putea ceda din rațiuni de rezistență, rigiditate sau stabilitate, luate separat. Toate construcțiile care sunt astăzi în serviciu, oriunde ar fi și oricare ar fi ele, au fost astfel concepute. După această concepție, nu se face o evaluare globală a siguranței construcțiilor, luate în ansamblul lor, la anumite

NOUA VIZIUNE ASUPRA CALITĂȚII EUROPENE

acțiuni specifice cum ar fi cele seismice, de exemplu. Evident, pentru această lacună se plătește un preț ridicat și care este suportat de societate în detrimentul nivelului său de trai.

Noua concepție fiabilistă adoptată de ISO 13822:2001 suplânește această lacună și introduce indicele de siguranță β definit prin expresia

$$\beta = \frac{\mu_M}{\sigma_M} \quad (1)$$

unde μ_M și σ_M sunt, respectiv, valoarea medie sau speranța matematică și abaterea medie pătratică sau deviația standard a marginii de siguranță definită ca diferența dintre rezistențe și acțiuni, $M = R - A$. Așa cum au fost definite aici, cele două mărimi aleatorii μ_M și σ_M sunt caracteristici ale unor stări limită de rezistență. Concepția fiabilistă de calcul are, însă, un caracter general, rămânând valabilă și atunci când se utilizează caracteristici de rigiditate în stări limită de deformații sau oscilații, caracteristici de stabilitate elastică, dinamică sau pozițională și chiar caracteristici energetice, cu condiția ca toate să fie variabile aleatorii.

Probabilitatea de avarie sau cedare a unei secțiuni transversale are expresia

$$Q(t) = \Phi(-\beta), \quad (2)$$

unde Φ este funcția de distribuție, iar fiabilitatea sau probabilitatea de serviciu fără avarii este funcția complementară

$$R(t) = 1 - Q = e^{-\lambda t}. \quad (3)$$

Pentru un risc λ constant, durata medie probabilă de serviciu fără avarii este

$$\tau = \int_0^{\infty} R(t) dt = \frac{1}{\lambda}. \quad (4)$$

Fiabilitatea globală a unei construcții se calculează compunând fiabilitățile secțiunilor transversale după legăturile existente în serie, paralel sau mixte. De exemplu, diafragma din zidărie simplă, armată sau cămășuită pentru

o clădire cu trei niveluri și planșee din lemn are, pentru acțiuni seismice, o schemă fiabilistă în serie (figurile 4 și 5).



Fig. 5. Legătura în serie între componentele diafragmei.

Fiabilitatea totală a diafragmei are expresia

$$R = R_1 R_2 R_3 = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)t}, \quad (5)$$

iar durata medie probabilă de serviciu fără avarie este

$$\tau = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}. \quad (6)$$

Calculul numeric și rezultatele obținute sunt prezentate mai jos, tabelar [6].

Tabelul 1. Forțele capabile la forfecare pe fiecare nivel

Nivel [m]	Zidărie simplă V_{\min} [kN]	Zidărie armată V_{\min} [kN]	Zidărie cămășuită V_{\min} [kN]
± 0,00	73	159	233
+ 2,75	49	135	248
+ 5,50	24	67	124

Pentru zidăria simplă rezultă fiabilitatea totală $R_{ZS} = 0,988\ 708$ și durata medie probabilă $\tau = 88$ ani (tabelul 2).

Pentru zidăria armată rezultă fiabilitatea totală $R_{ZA} = 0,990\ 924$ și durata medie probabilă $\tau = 108$ ani (tabelul 3).

Pentru zidăria cămășuită rezultă fiabilitatea totală $R_{ZC} = 0,994\ 219$ și durata medie probabilă $\tau = 167$ ani (tabelul 4).

Tabelul 2. Zidărie simplă

Nivel [m]	μ_R	μ_A	μ_M	σ_R	σ_A	σ_M	β	R	λ [an ⁻¹]	τ [an]
± 0,00	7,5	5,0	25	7,5	5,0	9,0	2,78	0,997440	$2,563 \times 10^{-3}$	390
+ 2,75	5,0	3,5	15	5,0	3,5	6,1	2,46	0,993790	$6,229 \times 10^{-3}$	161
+ 5,50	2,5	1,5	10	3,0	2,0	3,6	2,77	0,997440	$2,563 \times 10^{-3}$	390

Tabelul 3. Zidărie armată

Nivel [m]	μ_R	μ_A	μ_M	σ_R	σ_A	σ_M	β	R	λ [an ⁻¹]	τ [an]
± 0,00	16,0	11,0	50	1,6	1,1	19,4	2,57	0,995340	$4,67 \times 10^{-3}$	214

+ 2,75	13 5	90	45	1 4	9	16, 6	2,7 1	0,99653 0	$3,66 \times 10^{-3}$	273
+ 5,50	70	45	25	7	4	8,1 0	3,0 9	0,99903 0	$0,97 \times 10^{-3}$	1030

Tabelul 4. Zidărie cămășuită

Nivel [m]	μ_R	μ_A	μ_M	σ_R	σ_A	σ_M	β	R	λ [an ⁻¹]	τ [an]
± 0,00	23 0	15 0	80	2 3	1 5	27, 5	2,9 1	0,99865 0	$1,35 \times 10^{-3}$	740
+ 2,75	25 0	17 0	80	2 5	1 7	30, 2	2,6 5	0,99653 0	$3,66 \times 10^{-3}$	273
+ 5,50	12 5	80	45	1 2	8	14, 4	3,1 2	0,99903 0	$0,97 \times 10^{-3}$	1030

6. CONCLUZIE

Conceptul RichterGard de protecție antiseismică a zidăriei este inovativ și, grație standardului ISO 13822: 2001, siguranța pe care o conferă poate fi controlată matematic prin doi parametri: fiabilitatea, măsurabilă în numere zecimale sau procente, și durabilitatea, măsurabilă în ani. Diferențele dintre cele trei soluții sunt datorate, în acest caz particular, deviațiilor standard diferite.

BIBLIOGRAFIE

1. eleș, A. A. „Cutremurul și construcțiile”. *Buletinul Societății Politehnice*. București 1941.
2. Coburn, A., Spence, R. *Earthquake Protection*. Second Edition. London, John Wiley & Sons, Inc., 2002.
3. Sofronie, R., Feodorov, V. „Procedeu de armare și consolidare a zidărilor cu grile sintetice”. Brevet de invenție OSIM nr. 112373 B1 (1995).
4. Sofronie, R. „Seismic strengthening of masonry in buildings and cultural heritage”. *Proceedings of the 6th National Congress on Earthquake Engineering. Sismica 2004*. 14-16 April 2004. University of Minho, Guimarães, Portugal. pp. 81-100.
5. Sofronie, R. „Performances in seismic strengthening of masonry”. *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering*. Vancouver, B.C., Canada August 1-6, 2004. Paper No. 182.
6. Sofronie, R. *Manual RichterGard*. TOTAL Publishing, București 2004.

C, Marin, A. Hadăr, I.FI. Popa, L. Albu

MODELAREA CU ELEMENTE FINITE A STRUCTURILOR DIN MATERIALE COMPOZITE
(coeditare cu Editura Academiei Române)

Format 170 x 240 mm, 330 pag., 150 000 lei

Lucrarea prezintă bazele teoretice ale metodei elementelor finite, algoritmi, programe specializate de calcul, programe complexe și diverse aplicații. Din cuprins: Metoda deplasărilor în studiul structurilor static nedeterminate; Ecuațiile matematice ale metodei elementelor finite; Analiza cu elemente finite unidimensionale pentru calculul structurilor; Elemente finite bidimensionale pentru calculul structurilor; Elemente finite tridimensionale pentru calculul structurilor; Metode de analiză a sistemelor cu comportament neliniar; Calculul prin metoda elementelor finite al structurilor din materiale compozite stratificate. Cartea se adresează studenților, inginerilor din proiectare, cercetătorilor, cadrelor didactice din învățământul superior, precum și tuturor utilizatorilor de programe de analiză cu elemente finite.

A. Hadăr

STRUCTURI DIN COMPOZITE STRATIFICATE
(coeditare cu Editura Academiei Române)

Format 170 x 240 mm, 184 pag., 120 000 lei

Lucrarea abordează o tematică de mare actualitate: metodele de calcul analitic și numeric al structurilor din compozite stratificate armate cu fibre, într-o abordare multidisciplinară din domenii ca elasticitatea materialelor, rezistența materialelor, teoria plăcilor multistrat, informatica, metodele numerice.

După o sinteză a cunoștințelor din domeniu, cu accent pe materialele compozite stratificate armate cu fibre, este prezentat calculul analitic de rezistență a plăcilor realizate din aceste materiale, precum și o serie de algoritmi și programe de calcul adecvate. Ultima parte a lucrării este dedicată calculului

NOUA VIZIUNE ASUPRA CALITĂȚII EUROPENE

numeric de rezistență a structurilor complexe obținute din compozite stratificate armate cu fibre. Sunt descrise programe de calcul proprii și de firmă, calculul postcritic fiind efectuat prin utilizarea unui program original. Sunt abordate aspecte mai puțin analizate în literatura de specialitate, legate de predicția unor fenomene locale ce pot apărea în structurile aflate sub sarcină (delaminări, ruperi de fibre și matrice). Lucrarea conține soluții originale privind discretizarea stratificatului la nivelul unei lamine, cuplată cu tehnica structurării, programe de calcul analitic și numeric etc.