



A XXI-A SESIUNE NAȚIONALĂ DE COMUNICĂRI ȘTIINȚIFICE STUDENTEȘTI

Cluj-Napoca, 12-13 Mai 2023

Editori:

*Conf.dr.ing. Nicoleta COBÎRZAN
Prof.dr.ing. Daniela-Lucia MANEA
Conf.dr.ing. Nicoleta-Maria ILIEȘ
Conf.dr.ing. Gavril HODA*

Volum II pag. 250-505



UTPRESS
Cluj-Napoca, 2023
ISBN 978-606-737-684-5



Sesiunea Națională de Comunicări Științifice Studențești
Cluj-Napoca 12-13 Mai 2023



Comisia 4
CONSTRUCȚII CIVILE, INDUSTRIALE ȘI AGRICOLE - CCIA
MASTER

1. Conf.dr.ing. Vasile FĂRCAȘ– președinte
2. Conf.dr.ing. Mihai NEDELICU
3. Conf.dr.ing. Radu MUNTEAN
4. Șef l. dr.ing. Cosmin FILIP
5. Șef l. dr.ing. Andrei FAUR
6. Șef l.dr.ing. Dorina SUCALĂ
7. Șef l.dr.ing Lucian ȘTEFAN

8. Student Mălina DASCĂL
9. Student Denisa BARBU

Membri supleanți:

1. Conf.dr.ing. Roxana TĂMAȘ
2. Șef l.dr.ing Horia CONSTANTINESCU
3. Șef l. dr.ing. Teodora ȘOIMOȘAN



APLICAREA METODEI DIFERENTELOR FINITE IN REZOLVAREA PROBLEMEI PLANE A TEORIEI ELASTICITATII

Autor/autori

D. Berende, D.I. Antoneag, E. Coros

¹Facultatea de Constructii., Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca, ,davidberende1809@gmail.com

²Facultatea de Constructii., Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca, ,ioana_antoneag@yahoo.com

³Facultatea de Constructii., Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca, ,emilcoros44@gmail.com

Îndrumător/îndrumători

Conf. Dr. Ing. Mihai NEDELCU

Sef lucr. Dr. Ing. Teodora BESOIU

¹Facultatea de Constructii., Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca, ,mihai.nedelcu@mecon.utcluj.ro

²Facultatea de Constructii., Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca, ,Teodora.BESOIU@mecon.utcluj.ro

REZUMAT: *Lucrarea constă în dezvoltarea unei aplicații de calcul structural a consolelor scurte ale unui stalp aflate în stare plană de tensiune prin intermediul Metodei Diferențelor Finite. Se alege ca necunoscute principale tensiunile, iar acestea se exprimă prin intermediul funcției lui Airy $F(x,y)$. Aplicația dezvoltată în Matlab permite analiza liniară a consolelor scurte sub diverse condiții de încărcare și discretizare. Lucrarea prezintă un studiu de convergență care stabilește discretizarea optimă în funcție de calitatea rezultatelor și timpul de analiză. Rezultatele sunt validate prin comparație cu rezultatele obținute cu ajutorul unui program de calcul structural comercial bazat pe Metoda Elementelor Finite.*

Cuvinte cheie: Metodei Diferențelor Finite, funcția lui Airy, Metoda Elementelor Finite, console scurte.

1. Introducere

În marea majoritate a cazurilor, atunci când vine vorba despre calculul unei structuri sau chiar al unui singur element structural (stalp, grinda, placa, etc.) se poate aplica o metodă de calcul numerică ce poate oferi rezultate aproximative, dar cu un grad înalt de precizie, care să fie în strânsă concordanță cu realitatea. Metoda Diferențelor Finite (MDF) este una dintre aceste metode, care se folosește pentru structuri relativ simple, iar atunci când se dorește calculul unei structuri mai complexe, se utilizează mult mai cunoscuta metodă care stă la baza oricărui program de calcul structural, și anume Metoda Elementelor Finite (MEF).

MDF sau metoda parabolii de interpolare de gradul II este o metodă aproximativă care constă în înlocuirea ecuațiilor cu derivate parțiale cu sisteme de ecuații algebrice, a căror rezolvare furnizează valorile căutate ale funcției lui Airy $F(x,y)$ în nodurile unei rețele. Pentru a trece de la ecuațiile cu derivate parțiale la sistemul de ecuații algebrice se utilizează formule aproximative ale derivatelor, exprimate prin diferențe [1]. De exemplu, pentru domeniul șabei discretizat ca în Figura 1 într-o rețea de puncte având pași Δx și Δy , se scriu derivatele parțiale de ordinul I și II în diferențe finite corespunzător nodului 0 astfel:

$$\left. \frac{\partial F}{\partial x} \right|_0 = \frac{F_1 - F_2}{2\Delta x}; \quad \left. \frac{\partial F}{\partial y} \right|_0 = \frac{F_3 - F_4}{2\Delta y} \quad (1)$$

$$\left. \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} \right|_0 = \frac{F_1 - 2F_0 + F_2}{\Delta x^2}; \quad \left. \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \right|_0 = \frac{F_3 - 2F_0 + F_4}{\Delta y^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} \Big|_0 = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial F}{\partial x} \Big|_0 \right) = \frac{\frac{\partial F}{\partial y} \Big|_1 - \frac{\partial F}{\partial y} \Big|_2}{2\Delta x} = \frac{F_5 - F_6 - F_7 + F_8}{4\Delta x \Delta y} \quad (3)$$

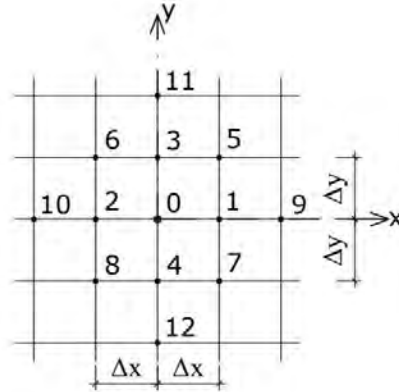


Figura 1. Discretizarea domeniului unei saibe.

Prin derivări succesive, se pot determina mai departe derivatele parțiale de ordinul III și IV ajungând astfel la ecuația biarmonică $\nabla^4 F = 0$, iar operatorul biarmonic poate fi scris în diferențe finite sub forma moleculei de calcul prezentată în Figura 2.

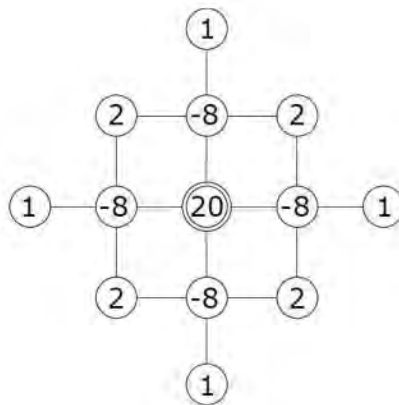


Figura 2. Molecula de calcul pentru pasi egali $\Delta x = \Delta y$ [2].

La modul general, MDF consta in aplicarea urmatoarelor pasi:

1. Alegerea rețelei de puncte (discretizarea) și numerotarea nodurilor (ținând seama de eventuala simetrie sau antisimetrie geometrică și de încărcare);
2. Trasarea diagramelor $F=M$ și $\partial F / \partial \nu = N$ pe contur (bara fictivă) din sarcinile exterioare cunoscute;
3. Scrierea în diferențe finite a ecuației biarmonice în toate nodurile interioare ale rețelei (unde F are valori necunoscute);
4. Operarea condițiilor de contur și restrângerea termenilor în ecuațiile corespunzătoare nodurilor;
5. Rezolvarea sistemului de ecuații algebrice liniare și neomogene;
6. Determinarea stării de tensiune în nodurile rețelei.

Tensiunile σ_x , σ_y și τ_{xy} în nodurile rețelei se determina cu relațiile:

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 F}{\partial y^2}; \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2}; \quad \tau_{xy} = - \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} \quad (4)$$



iar derivatele se scriu în diferențe finite pe baza relațiilor (2) și (3).

Obiectivul principal al lucrării constă în dezvoltarea unei aplicații în Matlab pentru determinarea stării de tensiune în consolele scurte ale unui stalp aplicând MDF (Figura 3), iar validarea rezultatelor obținute se va face cu ajutorul unui program de calcul structural Robot(Autodesk) care are la baza MEF.

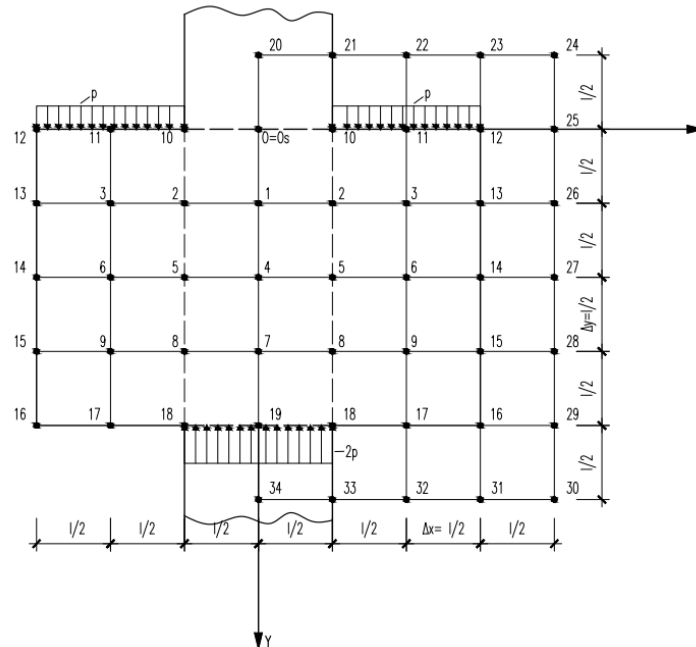


Figura 3. Modelul analizat: Consolele scurte ale unui stalp

2. Dezvoltarea codului/aplicației în Matlab

Prima parte a codului constă în introducerea datelor inițiale: înălțime, lățime, încărcare, pasul discretizării, etc; cât și definirea matricilor corespunzătoare diagramelor de moment încovoietor și efort axial.

```
1 clear all;
2 %Date initiale
3 H=4
4 L=3
5 l=2*L/3
6 delta=l/2
7 p=15
8
9 nc=L/delta %unde nc-nr de coloane pt pct interioare
10 nr=H/delta-1 %unde nr-nr de randuri pt pct interioare
11 nr_nod_int=nc*nr %numarul de noduri interioare
12
13 ncN=nc+1 %numarul de coloane N
14 nrN=nr+2 %numarul de randuri N
15 N=zeros(nrN, ncN)
16 M=zeros(nrN, ncN)
```

Figura 4. Introducerea datelor inițiale.

Următorul pas urmărește calcularea într-un mod generalizat a diagramelor M și N, pentru datele inițiale introduse și stocarea valorilor acestora în matrici cu nodurile aferente punctelor discretizării.



```
19 %Calculam diagrama N
20 N(:, ncN)=-p*1
21 %Calculam diagrama M
22 for i=1:ncN
23     x=(i-1)*delta; %gaseste pozitia in care vrem sa calculam M
24     if x<=L/3
25         M(1,i)=0
26     else
27         M(1,i)=-p*(x-L/3)^2/2
28     end
29 end
30
31 for i=ncN
32     x=(i-1)*delta;%gaseste pozitia in care vrem sa calculam M
33     if x<=L/3
34         M(:,i)=0
35     else
36         M(:,i)=-p*1^2/2
37     end
38 end
39 for i=1:ncN
40     x=(i-1)*delta;%gaseste pozitia in care vrem sa calculam M
41     if x>=L/3
42         M(end,i)=-p*2*L/3*(x-2*L/3)
43     else
44         M(end,i)=-p*2*L/3*(x-L/3)+2*p*L/3*L/6
45     end
46 end
```

Figura 5. Crearea diagramelor M si N.

In continuare am creat o matrice (cod) care contine punctele interioare, de pe contur si cele exterioare (fictive) rezultate in urma discretizarii, pe care am folosit-o ulterior in corelare cu molecula de calcul pentru a forma matricea coeficientilor.

```
49 %Formam matricea punctelor unde se face discretizarea
50 x=1:nr_nod_int;
51 reshape(x,nr,nc);
52 Mint=reshape(x,nr,nc)';
53 Cod=[Mint(:,2),Mint];
54 Cod=[Cod(:,4),Cod];
55 Cod=[zeros(1, nc+2); Cod; zeros(1, nc+2)];
56 Cod=[Cod, zeros(nr+2, 1)];
57 Cod=[zeros(1, nc+3); Cod; zeros(1, nc+3)];
58 Cod=[Cod, zeros(nr+4, 1)];
59 Cod(1,:)= -1;
60 Cod(end,:)= -1;
61 Cod(:,end)=-1
62 Cod_dr=Cod;
63 Cod_dr(:,1:2)=0
64
65 %Creem o matrice M dar de aceleasi randuri si coloane cu matricea Cod
66 M0=zeros(size(Cod,1),size(Cod,2));
67 M0(2:3+nr,3:3+nc)=M;
68 M0(:,2)=M0(:,4);
69 N0=zeros(size(Cod,1),size(Cod,2));
70 N0(2:3+nr,3:3+nc)=N;
```

Figura 6. Crearea matricei Cod.

La pasul urmator am inceput crearea matricei coeficientilor, adaugand mai intai valori pe diagonala principala si completand-o ulterior pe rand cu valorile aferente fiecarei pozitii din molecula de calcul (-8, 2, 1). Matricea coeficientilor (A) este acea matrice care stocheaza multiplicatorul aferent functiei unui anumit nod interior. Tot in acest pas am creat si matricea termenilor liberi (T), care stocheaza valorile functiei tensiunilor de pe conturul saibe. In final, reusind cu o simpla ecuatie $F=A^{-1}*T$ sa aflam valorile functiei tensiunilor pentru punctele interioare.



```
72 %Incepem sa formam matricea coeficientilor si cea a termenilor liberi
73 A=zeros(nr_nod_int, nr_nod_int);
74 T=zeros(nr_nod_int,1);
75 for i=1:nr_nod_int
76     A(i,i)=20; %Punem valoarea 20 pe diagonala principala a matricei
77 end
78 for i=1:nr_nod_int
79     [r,c]=find(Cod_dr==i)%cu aceasta conditie imi gasesc pozitia oricarui punct
80     p_8=[r,c-1;r,c+1;r-1,c;r+1,c];%matrice a pozitiilor corespunzatoare lui -8 din molecula de calcul
81     p_2=[r-1,c-1;r-1,c+1;r+1,c-1;r+1,c+1];%matrice a pozitiilor corespunzatoare lui 2 din molecula de cal
82     p_1=[r-2,c;r+2,c;r,c-2;r,c+2];%matrice a pozitiilor corespunzatoare lui 1 din molecula de calcul
83
84     for j=1:4
85         if Cod(p_8(j,1),p_8(j,2))>0
86             A(i,Cod(p_8(j,1),p_8(j,2)))=A(i,Cod(p_8(j,1),p_8(j,2)))-8;%se completeaza A cu coeficientii -
87         else
88             T(i)=T(i)-8*M0(p_8(j,1),p_8(j,2));
89         end
90     end
```

Figura 7. Introducerea valorilor din molecula de calcul in matricea coeficientilor.

Dupa introducerea tuturor valorilor gasite intr-o matrice F_{final} , am generat un cod care sa calculeze valorile tensiunilor σ_x , σ_y , τ_{xy} , conform formulelor (4) in diferente finite, aferente pentru fiecare punct al discretizarii, valori pe care le-am stocat intr-un set de matrice.

```
%Calculam Sigma_x
for i=1:nr_nod_int
    [r,c]=find(Cod==i);
    Sigma_x(r,c)=(F_final(r-1,c)-2*F_final(r,c)+F_final(r+1,c))/delta^2
end
for j=2:dimensiune_F_final(2)-1
    Sigma_x(2,j)=(F_final(3,j)-2*F_final(2,j)+F_final(1,j))/delta^2;
    Sigma_x(dimensiune_F_final(1)-1,j)=(F_final(dimensiune_F_final(1),j)-2*F_final(dimensiune_F_final(1)-1,j)+F_final(dimensiune_F_final(1)-2,j))/delta^2;
    Sigma_x(j,dimensiune_F_final(2)-1)=(F_final(j,dimensiune_F_final(2)-1)-2*F_final(j,dimensiune_F_final(2)-2,j)+F_final(j,dimensiune_F_final(2)-3,j))/delta^2;
end
Sigma_x(:,1:2)=[]; Sigma_x(:,end)=[];Sigma_x(1,:)=[];Sigma_x(end,:)=[];

%Calculam Tau_xy
Tau_xy=zeros(size(F_final));
for i=1:nr_nod_int
    [r,c]=find(Cod_dr==i);
    Tau_xy(r,c)=(F_final(r-1,c+1)+F_final(r+1,c-1)-F_final(r-1,c-1)-F_final(r+1,c+1))/4*delta^2
end
for j=2:dimensiune_F_final(1)-1
    Tau_xy(2,j)=(F_final(1,j+1)+F_final(3,j-1)-F_final(1,j-1)-F_final(3,j+1))/4*delta^2;
    Tau_xy(dimensiune_F_final(1)-1,j)=(F_final(dimensiune_F_final(1)-2,j+1)+F_final(dimensiune_F_final(1)-2,j-1)-F_final(dimensiune_F_final(1)-1,j)-F_final(dimensiune_F_final(1)-1,j+1))/4*delta^2;
    Tau_xy(j,dimensiune_F_final(2)-1)=(F_final(j-1,dimensiune_F_final(2))+F_final(j+1,dimensiune_F_final(2))-F_final(j,dimensiune_F_final(2)-1)-F_final(j,dimensiune_F_final(2)+1))/4*delta^2;
end
Tau_xy(:,1:2)=[]; Tau_xy(:,end)=[];Tau_xy(1,:)=[];Tau_xy(end,:)=[];
```

Figura 8. Calculul tensiunilor σ_x , σ_y , τ_{xy} .

Pentru validarea rezultatelor, tensiunile se vor reprezenta grafic si, in functie de discretizarea aleasa, se vor compara rezultatele obtinute in Matlab cu cele din softul de calcul Robot Structural Analysis(Autodesk), in care s-a modelat numeric aceeasi structura (Figura 3).



3. Comparatia rezultatelor obtinute in Matlab cu ajutorul programului Robot (Autodesk)

Pentru modelarea structurii in programul Robot am folosit urmatoarele caracteristici:

- material: beton C25/30;
- lungime totala(console+stalp): L=9 m;
- modul de elasticitate E=30 000 MPa;
- console: H=4 m.

Discretizare la pasul $\Delta=1$ m

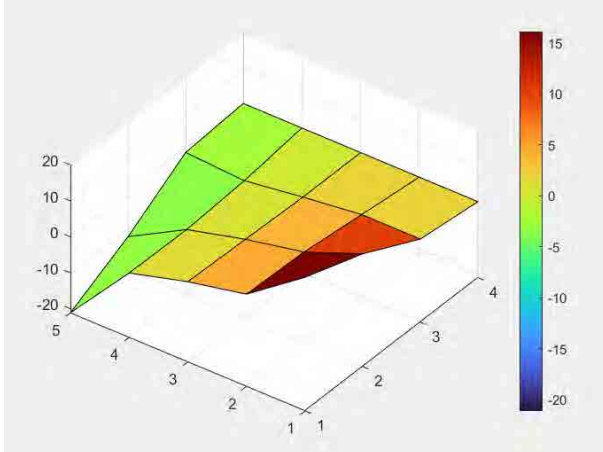


Figura 9.a Compararea tensiunilor σ_x (Matlab)

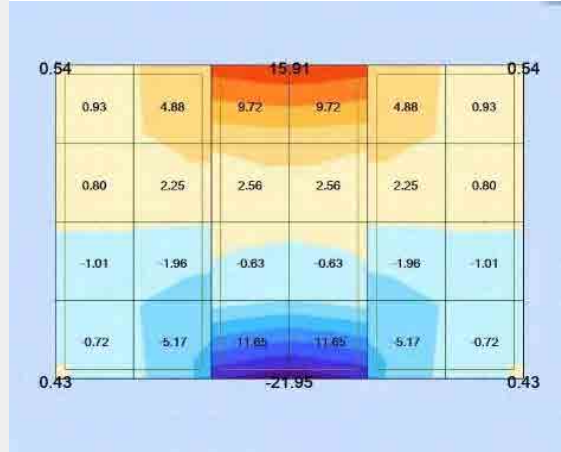


Figura 9.b Compararea tensiunilor σ_x (Robot)

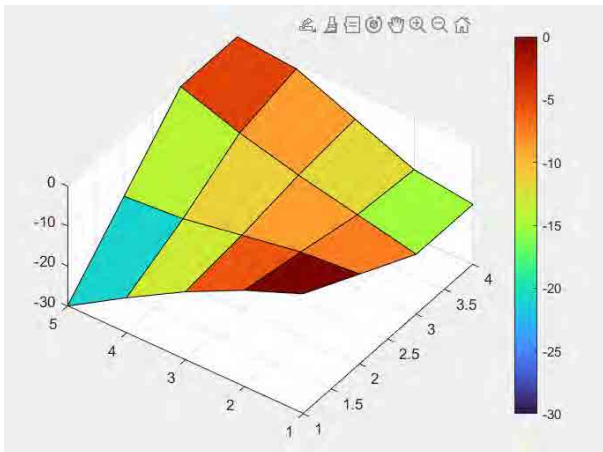


Figura 10.a Compararea tensiunilor σ_y (Matlab)

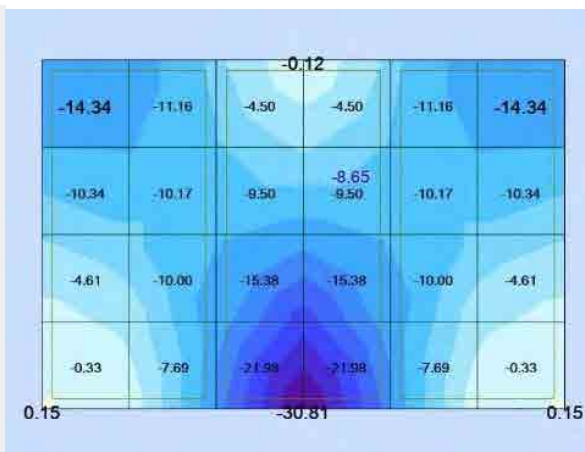


Figura 10.b Compararea tensiunilor σ_y (Robot)

Discretizare la pasul $\Delta=0.50$ m

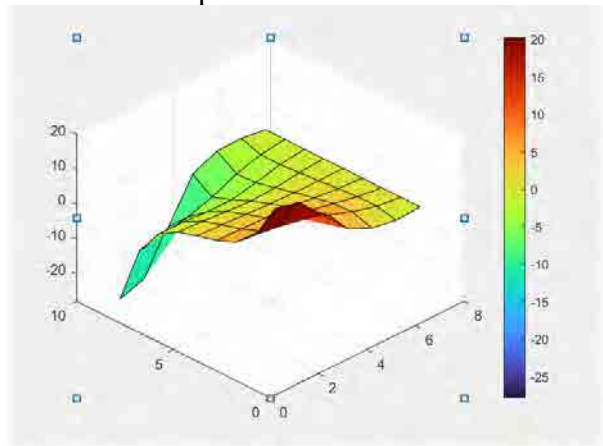


Figura 11.a Compararea tensiunilor σ_x (Matlab)

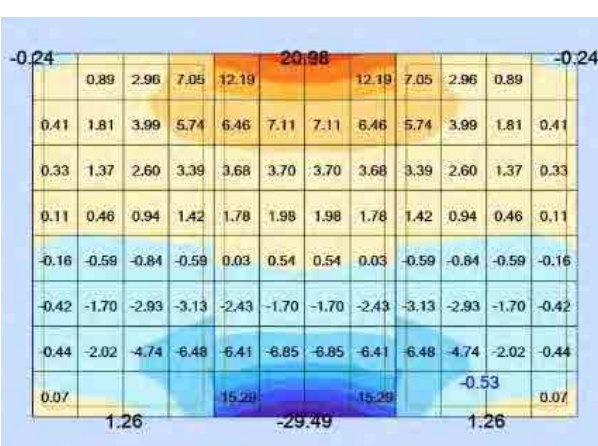


Figura 11.b Compararea tensiunilor σ_x (Robot)

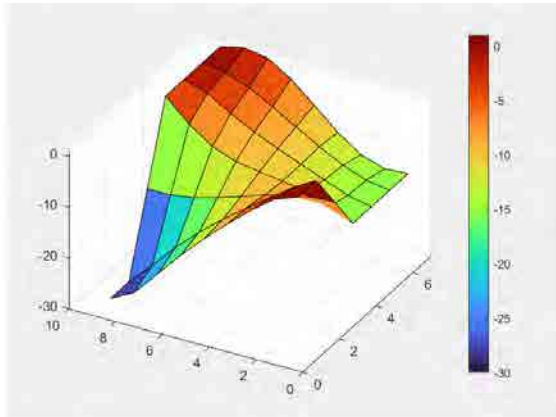


Figura 12.a Compararea tensiunilor σ_y (Matlab)

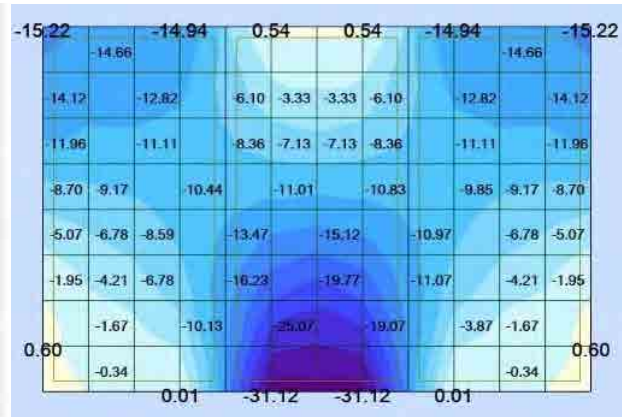


Figura 12.b Compararea tensiunilor σ_y (Robot)

Discretizare la pasul $\Delta=0.25$ m

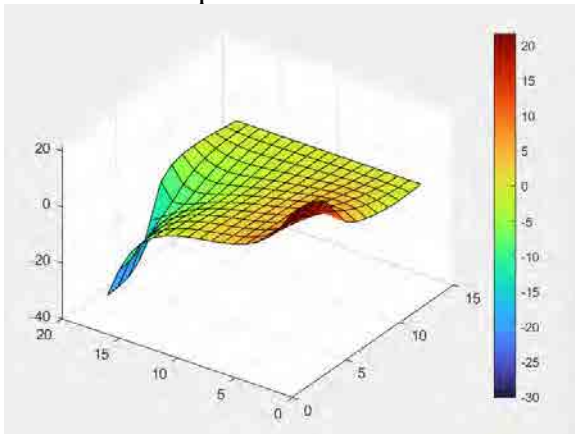


Figura 13.a Compararea tensiunilor σ_x (Matlab)

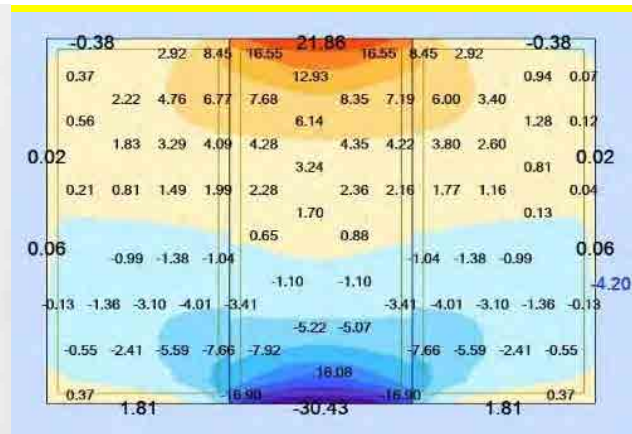


Figura 13.b Compararea tensiunilor σ_x (Robot)

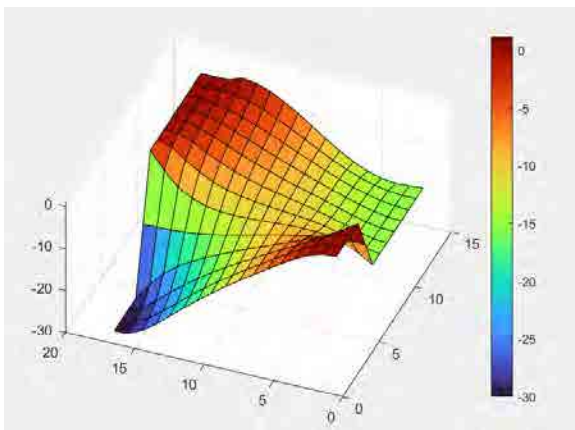


Figura 14.a Compararea tensiunilor σ_y (Matlab)

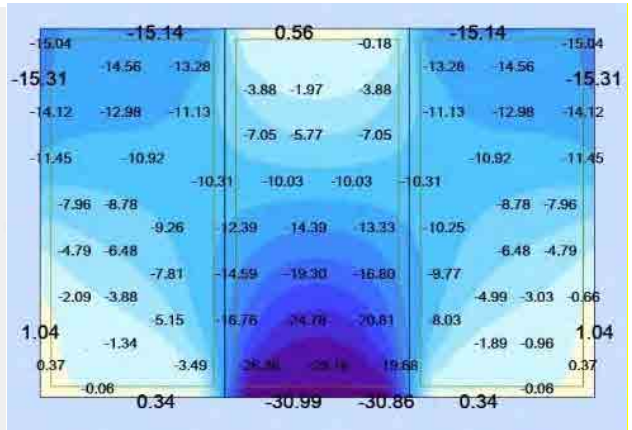


Figura 14.b Compararea tensiunilor σ_y (Robot)



Tabelul 1. Compararea rezultatelor Matlab vs. Robot (discretizare $\Delta=1$ m)

Tensiuni [kN/m ²]	Matlab			Robot			Diferenta		
	Sus	Mijloc	Jos	Sus	Mijloc	Jos	Sus	Mijloc	Jos
σ_x	16.09	1.19	-21.13	15.91	0.97	-21.95	1%	-	3%
σ_y	0	-12.94	-30	-0.12	-12.44	-30.81	-	4%	2.9%
τ_{xy}	0	5.13	0	0	5.09	0	-	4%	-

Tabelul 2. Compararea rezultatelor Matlab vs. Robot (discretizare $\Delta=0.5$ m)

Tensiuni [kN/m ²]	Matlab			Robot			Diferenta		
	Sus	Mijloc	Jos	Sus	Mijloc	Jos	Sus	Mijloc	Jos
σ_x	20.25	1.32	-27.81	20.98	1.26	-29.49	3.6%	4.7%	6%
σ_y	0	-13.20	-30	0.54	-13.07	-31.12	-	1%	3.7%
τ_{xy}	0	3.96	0	0	3.76	0	-	5%	-

Tabelul 3. Compararea rezultatelor Matlab vs. Robot (discretizare $\Delta=0.25$ m)

Tensiuni [kN/m ²]	Matlab			Robot			Diferenta		
	Sus	Mijloc	Jos	Sus	Mijloc	Jos	Sus	Mijloc	Jos
σ_x	21.71	1.37	-30.1	21.86	1.29	-30.43	1%	6.2%	1%
σ_y	0	-13.29	-30	0.56	-14.39	-30.99	-	8%	3%
τ_{xy}	0	4.23	0	0	4.62	0	-	8%	-

În urma acestei comparații putem conchiziiona faptul că între MEF (analiza în programul Robot Autodesk) și MDF (analiza rezultatelor obținute în Matlab), pentru consolele scurte ale unui stalp diferențele sunt mici (<8%). Prin urmare MDF poate fi utilizată cu succes în practica curentă, rezultatele fiind acceptabile.

4. Concluzii

În această lucrare s-a dezvoltat o aplicație în Matlab pentru determinarea stării de tensiune în consolele scurte ale unui stalp cu ajutorul Metodei Diferențelor Finite. Aceeași structură s-a modelat ulterior în softul Robot, program care are la bază Metoda Elementului Finit, iar în cele din urmă se compară rezultatele. Această comparație are ca rol principal determinarea acurateții rezultatelor obținute cu aplicația dezvoltată în programul Matlab.

Având în vedere rezultatele obținute (Tabelele 1, 2, 3) privind tensiunile σ_x , σ_y , τ_{xy} , se conchiziionează faptul că pentru consolele scurte ale unui element din beton putem folosi MDF, aceasta fiind suficient de acoperitor.

Metoda studiată reprezintă un avantaj, deoarece este relativ ușor de dezvoltat un cod generalizat într-un program de calcul (ex. Matlab), acesta putând fi ulterior ușor de utilizat și pentru alte valori ale dimensiunilor geometrice /încărcărilor/ discretizării dorite.

BIBLIOGRAFIE

1. Marțian, I., *Teoria elasticității și plasticității pentru constructori*, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 1999.
2. Bia, C., Ilie, V., Soare, M.V., *Rezistența materialelor și Teoria elasticității*, Edit. Didactica și Pedagogică, București 1983.
3. Nedelcu M., Mociran H., *Îndrumător Metoda elementelor finite*, U.T.PRESS, Cluj-Napoca, 2016.



INTEGRAREA CLĂDIRILOR SUSTENABILE ÎN COTIDIAN

Autor/autori

BERTESCU F. DARIANA-INESSA¹,

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Cluj Napoca, darianabertesu@yahoo.com

Îndrumător/îndrumători

Prof. Dr. Ing. STANCA SIMONA²

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Cluj Napoca., Simona.Stanca@ccm.utcluj.ro

REZUMAT: Această lucrare prezintă integrarea clădirilor sustenabile în cotidian, modalități de transpunere a clădirilor sustenabile, avantajele prezentei acestora în viața de zi cu zi a omului, precum și beneficiile aduse mediului. Lucrarea este bazată pe realizarea unei clădiri sustenabile cu mai multe variante de tehnologii aplicate, de la materiale de construcții prezente pe piață, până la metode de energie regenerabilă: pompe de caldură, panouri solare, reutilizarea apei.[1]

Este prezentat un calcul în ceea ce privește realizarea anumitor tehnologii și amortizarea prețurilor în timp a unor pompe de căldură și panouri solare, dar și costurile de întreținere a unei case pe o perioadă de un an. Calculul are la bază aceeași cladire cu aceeași suprafață, dar diferite tipuri de anvelopă, evaluate comparativ utilizând cele două metodologii Mc_001_2006 respectiv Mc_001_2022. Astfel se va prezenta o comparație a necesarului de materiale care stă la baza proiectării unei case cu performanță energetică, a pierderilor de caldură prin fiecare tip de anvelopă și a costurilor de realizare.[2]

În încheierea acestei lucrări, pe baza celor expuse se evidențiază avantajele realizării unei astfel de construcții prin intermediul celor TREI P: Planetă, Populație și Profit.[3]

Cuvinte cheie: clădire, sustenabilitate, energie regenerabilă.

1. INTRODUCERE:

Sustenabilitatea reprezintă abilitatea de a satisface nevoile prezentului, fără a compromite capacitatea generațiilor viitoare de a-și satisface propriile nevoi. În general, termenul se referă la dezvoltarea durabilă, care își propune să reducă impactul negativ asupra mediului și să protejeze resursele naturale, în timp ce promovează prosperitatea economică și echitatea socială.

Sustenabilitatea implică găsirea unui echilibru între dezvoltarea și protecția mediului, astfel încât să se asigure că resursele sunt utilizate în mod responsabil și că mediul este protejat împotriva deteriorării pe termen lung. Aceasta poate include măsuri precum conservarea energiei și a apei, utilizarea de surse de energie regenerabilă, reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, îmbunătățirea calității aerului și a apei, utilizarea materialelor durabile și reciclabile și promovarea justiției sociale și a drepturilor omului.

Aceasta este importantă deoarece nevoile și resursele planetei sunt limitate, iar presiunea asupra mediului și a resurselor este în creștere. Dezvoltarea durabilă poate ajuta la protejarea mediului și la asigurarea unei planete sănatoase și viabile pentru generațiile viitoare.

În ceea ce privește impactul clădirilor asupra persoanelor fizice, o clădire „verde” aduce beneficii în proporție de până la 40%.



- ✓ Accesul la ferestre cu vedere către exterior: îmbunătățește funcțiile cognitive și memoria cu 10-25%; pentru spitale – reduce timpul de spitalizare cu 8,5%;
- ✓ Lumina naturală: la locul de muncă: crește productivitatea angajaților cu 18%; îmbunătățește performanțele eleviilor cu 5-14%; în magazine – creșterea vânzărilor cu 15-40%;
- ✓ Instalațiile: iluminatul artificial corespunzător – crește productivitatea cu 23%; ventilarea adecvată – crește productivitatea cu 5-14%; controlul individual al temperaturii – crește productivitatea cu 3%.

1.1 Variante de tehnologii aplicate

Materiale utilizate:

- ❖ Lemnul: este un material durabil și natural, care poate fi recoltat în mod responsabil și regenerat, fiind un bun izolator termic dar și o alternativă sustenabilă la materiale sintetice și al betonului.
- ❖ Betonul verde: o alternativă a betonului tradițional, care este produs din materiale reciclabile și cu un impact redus asupra mediului.
- ❖ Materiale reciclate: sticla, plăcile de aluminiu și cărămizile din cenușă voalată.
- ❖ Materiale izolante: lâna de oaie, celuloza, canepa și paie, utilizate pentru eficiența energetică a clădirii și reducerea consumului de energie necesar pentru încălzire și răcire.

Pompe de căldură:

Funcționalitatea unei pompe de căldură se bazează pe ciclul termodinamic al compresiei. În mod obișnuit, o pompă de căldură extrage căldura dintr-un mediu la temperatura scăzută, cum ar fi aerul sau solul și o comprimă pentru a crește temperatura, astfel încât să poată fi utilizată pentru încălzirea unui spațiu sau apei calde menajere. În cazul răcirii, procesul este inversat, iar căldura este extrasă din încăperea și transferată către mediul înconjurător la temperaturi mai scăzute.

În ciuda faptului că o pompă de căldură reprezintă o investiție semnificativă de la achiziția acesteia, la realizarea studiilor necesare pentru funcționarea unui anumit tip de pompă de căldură și până la punerea ei în funcțiune, se preconizează recuperarea investiției prin reducerea costurilor în ceea ce privește facturarea ulterioară semnificativ redusă.

Panouri solare și panouri fotovoltaice

Panourile solare sunt dispozitive care utilizează energia luminoasă pentru a încălzi un fluid, cum ar fi apa, prin intermediul unui sistem de conducte. Acest fluid poate fi apoi utilizat pentru încălzirea apei de uz casnic sau pentru încălzirea unui spațiu prin intermediul unui sistem de încălzire.

Panourile fotovoltaice sunt dispozitive care convertesc energia luminoasă direct în energie electrică prin intermediul factorului fotovoltaic. Aceste panouri sunt alcătuite din celule solare, care sunt fabricate din materiale semiconductoare precum siliciul. Când lumina soarelui lovește o celulă solară, ea eliberează electroni care sunt colectați de un circuit electric, generând astfel curent electric. În doar 14 zile, pe un acoperiș ajunge suficientă energie pentru a alimenta o locuință, iar în fiecare ora pe Pământ ajunge suficientă energie pentru a asigura consumul planetei pe durata unui an.

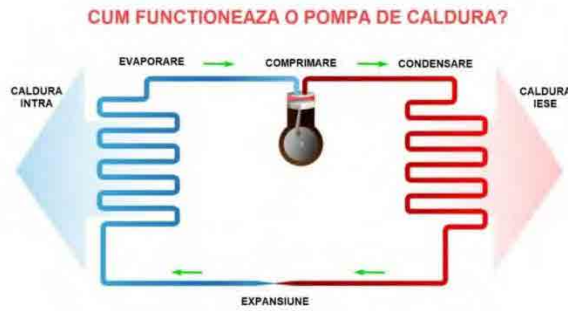


Figura 1: Funcționarea pompei de caldura

2. CALCUL PRIVIND ANVELOPA UNEI CLĂDIRI (PEREȚI EXTERIORI):

Pentru a realiza un calcul comparativ între cele 2 metodologii, Mc_001_2006 respectiv Mc_001_2022, am ales o clădire cu regim de înălțime parter având pereții exteriori din cărămidă arsă cu o grosime de 25 cm. În calcul s-a prevăzut inițial un strat de termoizolație 10 cm de polistiren expandat.



Figura 2 : Locuință unifamilială

Suprafața construită:
125.60 m²

Suprafața utilă: 105.53
m²

Suprafața locuibilă: 70
m²

Suprafața terasă: 42.80
m²

Calculul pentru elementul studiat al rezistenței termice corectate specifice și compararea acestuia cu valoarea indicată de metodologia Mc_001_2006, este prezentat în tabelul 1.

Tabel 1: Calculul rezistenței termice pentru un perete exterior din cărămidă arsă (25cm) utilizând 10 cm de termoizolație polistiren expandat

STRAT	DIMENSIUNE	CONDUCTIVITATE TERMICĂ[λ]	R[m/λ]	R=R1+R2+...+Rn	Rsi	Rse	R0	r	R'm
	[m]	[W/m*K]	[m ² *K/W]						
Tencuiala exterioara	0.005	0.87	0.005747126	2.574210543	0.125	0.042	2.7412105	0.7	1.91884738
Izolatie polistiren expandat	0.1	0.045	2.222222222						
Adeziv termoizolatie	0.01	0.93	0.010752688						
Caramida	0.25	0.8	0.3125						
Tencuiala interioara	0.02	0.87	0.022988506						

Metodologia Mc_001_2022, a intrat în vigoare începând cu luna martie a anului curent, rezistența termică minimă pentru peretele exterior a crescut de la 1,8 m²*K/W la 4 m²*K/W fiind



necesară modificarea în calcul a grosimii stratului de termoizolație. Astfel s-a realizat un calcul crescând grosimea stratului de termoizolație, din aproape în aproape cu câte 5 cm.

Tabel 2: Calculul rezistenței termice pentru un perete exterior din cărămidă arsă (25cm) și 15 cm de termoizolație polistiren expandat

STRAT	DIMENSIUNE	CONDUCTIVITATE TERMICĂ[λ] [W/m²K]	R[m/λ]	R=R1+R2+...+Rn [m²K/W]	Rsi	Rse	R0	r	R'm
	[m]		[m²K/W]						
Tenciuiala exterioara	0.005	0.87	0.005747126	3.685321654	0.125	0.042	3.8523217	0.7	2.6962516
Izolatie polistiren expandat	0.15	0.045	3.333333333						
Adeziv termoizolatie	0.01	0.93	0.010752688						
Caramida	0.25	0.8	0.3125						
Tenciuiala interioara	0.02	0.87	0.022988506						

În acest caz se poate observa că rezistența termică minimă a peretelui nu este satisfăcută cu 15 cm de izolație (vezi Tabel 2), nici cu 20 de cm. Condiția este satisfăcută dacă se utilizează un strat de termoizolație de 25 cm (vezi Tabel 3).

Tabel 3: Calculul rezistenței termice pentru un perete exterior din cărămidă arsă (25cm) și 25 cm de termoizolație polistiren expandat

STRAT	DIMENSIUNE	CONDUCTIVITATE TERMICĂ[λ] [W/m²K]	R[m/λ]	R=R1+R2+...+Rn [m²K/W]	Rsi	Rse	R0	r	R'm
	[m]		[m²K/W]						
Tenciuiala exterioara	0.005	0.87	0.005747126	5.907543876	0.125	0.042	6.0745439	0.7	4.25218071
Izolatie polistiren expandat	0.25	0.045	5.555555556						
Adeziv termoizolatie	0.01	0.93	0.010752688						
Caramida	0.25	0.8	0.3125						
Tenciuiala interioara	0.02	0.87	0.022988506						

Din dorința de optimizare a materialelor utilizate, am ales să înlocuim în partea de calcul cărămida arsă cu BCA, având aceeași grosime de 25cm.

Tabel 4: Calculul rezistenței termice pentru un perete exterior din zidărie BCA (25cm) și 10 cm de termoizolație polistiren expandat

STRAT	DIMENSIUNE	CONDUCTIVITATE TERMICĂ[λ] [W/m²K]	R[m/λ]	R=R1+R2+...+Rn [m²K/W]	Rsi	Rse	R0	r	R'm
	[m]		[m²K/W]						
Tenciuiala exterioara	0.005	0.87	0.005747126	4.184787466	0.125	0.042	4.3517875	0.7	3.04625123
Izolatie polistiren expandat	0.1	0.045	2.222222222						
Adeziv termoizolatie	0.01	0.93	0.010752688						
Caramida BCA	0.25	0.13	1.923076923						
Tenciuiala interioara	0.02	0.87	0.022988506						

Astfel după cum se poate observa, vom ajunge de la 10 cm de termoizolație care din păcate nu satisface condiția în ceea ce privește atingerea rezistenței termice minime (vezi Tabel 4), până la 20 cm de termoizolație polistiren expandat(vezi Tabel 5).

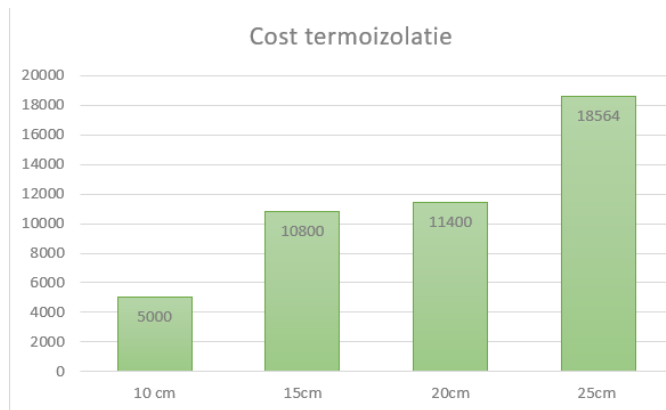
Tabel 5: Calculul rezistenței termice pentru un perete exterior din zidărie BCA (25cm) și 20 cm de termoizolație polistiren expandat

STRAT	DIMENSIUNE	CONDUCTIVITATE TERMICĂ[λ] [W/m²K]	R[m/λ]	R=R1+R2+...+Rn [m²K/W]	Rsi	Rse	R0	r	R'm
	[m]		[m²K/W]						
Tenciuiala exterioara	0.005	0.87	0.005747126	6.407009688	0.125	0.042	6.5740097	0.7	4.60180678
Izolatie polistiren expandat	0.2	0.045	4.444444444						
Adeziv termoizolatie	0.01	0.93	0.010752688						
Caramida BCA	0.25	0.13	1.923076923						
Tenciuiala interioara	0.02	0.87	0.022988506						

În urma calculului, pentru peretele din zidărie de cărămidă arsă grosimea stratului de izolație termică de 10 cm, 15cm, 20cm conduce la o valoare a rezistenței termice corectate specifice sub



valoarea minimă pentru pereți prevăzută de metodologia de calcul Mc_001_2022, ceea ce indică faptul că sistemul termic recomandat pentru peretele exterior nu este satisfăcător. Condiția este îndeplinită doar dacă se aderă la o grosime de strat termoizolant de 25 cm. În schimb condiția este îndeplinită pentru peretele exterior din zidărie BCA utilizând o grosime de strat termoizolant de 20 cm polistiren expandat.



Potrivit graficului alăturat (Figura 3), prețul termoizolației crește odată cu creșterea grosimii stratului. Calculul este realizat pentru clădirea aleasă, care are 119 m² de suprafață opacă.

Figura 3: Cost termoizolație

Având în vedere noile cerințe de rezistențe termice minime, costurile de energie consumată pentru încălzire se înjumătățesc, iar în cazul în care clădirea are surse de energie proprie se poate ajunge la o reducere de consum de energie cu până la 90% mai puțin față de o clădire normală.

Calculul consumului de energie pe o perioada de un an, în cazul unei pompe de căldură apă-aer, pentru o suprafață de 105 m² este prezentat în tabelul de mai jos:

Tabel 6: Calculul consumului de energie pe o perioada de un an, în cazul unei pompe de căldură apă-aer

Perioada	Consumul [kW]	Costul/kW	Costul/luna[lei]
Ianuarie	711	0.7	497.7
Februarie	458	0.7	320.6
Martie	397	0.7	277.9
Aprilie	140	0.7	98
Mai	153	0.7	107.1
Iunie	108	0.7	75.6
Iulie	129	0.7	90.3
August	103	0.7	72.1
Septembrie	100	0.7	70
Octombrie	176	0.7	123.2
Noiembrie	318	0.7	222.6
Decembrie	548	0.7	383.6
Total/an	3341		2338.7

3. CONCLUZII:

Avantajele realizării clădirilor sustenabile:

- ❖ Calitatea locuirii este mult îmbunătățită comparativ cu cea dintre o clădire realizată cu materiale convenționale;
- ❖ Lumina naturală și calitatea aerului contribuie la calitatea vieții pe termen lung;



- ❖ Valoarea costurilor anuale pentru întreținere este mult mai mică;
- ❖ Există posibilitatea de a valorifica și primi energie din mai multe surse regenerabile;
- ❖ Contribuie la calitatea mediului înconjurător pe termen lung;
- ❖ Amortizarea într-un interval relativ scurt a investițiilor legate de noile tehnologii aplicate;
- ❖ Păstrarea în proporție bună a prețului inițial în posibilele vânzări viitoare.

Astfel un produs se consideră sustenabil doar dacă se menține balanța pe tot parcursul vieții produsului între câștigurile economice, echitatea socială și conservarea mediului înconjurător.

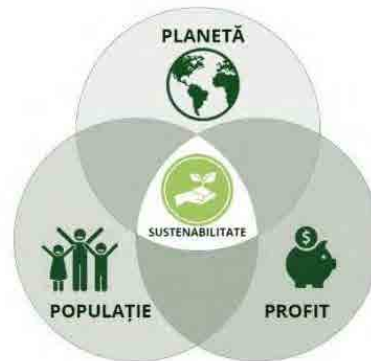


Figura 4: Cei 4 „P”

Bibliografie

1. Ghidul de sustenabilitate
<https://www.anfp.gov.ro/R/Doc/2022/Proiecte/SIPOCA%20870/7.Ghidul%20de%20Sustenabilitate%20-%20EFdeN.pdf>
2. Construcții și materiale sustenabile
<https://stratos.ro/construcțiile-si-materialele-sustenabile-una-dintre-caile-catre-un-mediu-inconjurator-mai-curat/>
3. Pompe de caldura
<https://www.trust-expert.ro/principiul-de-functionare-a-pompei-de-caldura-cum-functioneaza-pompa-de-caldura/>
4. Metodologie Mc_001_2006 https://www.mdlpa.ro/userfiles/Mc001_F1-rev1%20apr2018.pdf
5. Metodologia Mc_001_2022
https://www.oaer.ro/upload/files/2023/Mc_001-2022_-_Metodologie_calcul_performan_energetic_cldiri_opt.pdf



COMPORTAREA LA SEISM A TEMPLULUI ZEIȚEI ARTEMIS ÎN IPOTEZA REALIZĂRII SALE UTILIZÂND MATERIALE CONTEMPORANE: BETON ȘI METAL

Autor/autori

Cristina C. CHIUZBĂIAN

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, Chiuzbaian.Ca.Cristi@student.utcluj.ro

Îndrumător/îndrumători

Șef lucrări Dr. Ing. Cristian MOJOLIC

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, Cristian.Mojolic@mecon.utcluj.ro

REZUMAT: Prezenta lucrare abordează comportarea Templului Zeiței Artemis din Efes la acțiunea cutremurelor din data de 6 februarie 2023 ce au avut loc în Turcia. În cele ce urmează se studiază varianta în care templul ar fi realizat utilizând tehnologia și materialele contemporane, anume beton și metal, păstrând geometria inițială. Versiunea astfel obținută a templului este introdusă în programul de calcul static SAP2000 pentru a putea urmări deformațiile și deplasările apărute la acțiunea cutremurelor.

Cuvinte cheie: seism, templu, Turcia, cutremur.

1. Introducere

Templul Zeiței Artemis din Efes a fost un edificiu antic grec. Acesta a fost construit în anul 550 î.Hr. în Efes, oraș care atunci se afla pe teritoriul imperiului babilonian, astăzi zona aparținând Turciei, mai precis la 50 km sud de orașul Izmir. Clădirea a avut 51 m lățime și 105 m lungime (lungimea templului era aproximativ de două ori mai mare decât lățimea acestuia). 127 de coloane având 18 m înălțime fiecare susțineau acoperișul [1]. Materialul de construcție principal a fost marmura de culoare albă din care au fost realizate coloanele și lemnul pentru realizarea acoperișului. Mortarul utilizat a fost făcut din praf de marmură [2].

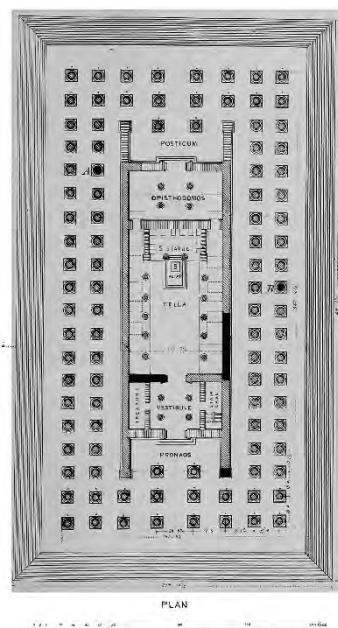


Figura 1. Planul de construcție al Templului Zeiței Artemis [3].

Având în vedere faptul că locația templului se află pe teritoriul Turciei de astăzi, scopul studiului este acela de a verifica comportarea structurii la acțiunile seismice. În prezenta lucrare se va verifica dacă templul ar rezista în urma impactului unui cutremur similar cu cel din data de 6 februarie 2023.

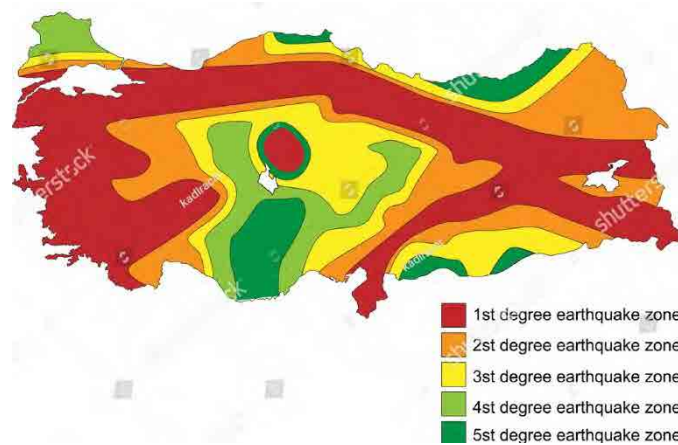


Figura 2.Harta zonelor seismice din Turcia [4].

La data de 6 februarie 2023 la ora 04:17, un cutremur de 7.8 Mw a lovit sudul și centrul Turciei și nordul și vestul Siriei. Epicentrul a fost la 32 km la V-NV de Gaziantep. Cutremurul a avut o intensitate maximă Mercalli de XI (Extrem) și a fost urmat de un cutremur de 7.7 Mw la ora 13:24. Acest cutremur a fost centrat la 95 km la N-NE de primul, în provincia Kahramanmaraş [5].

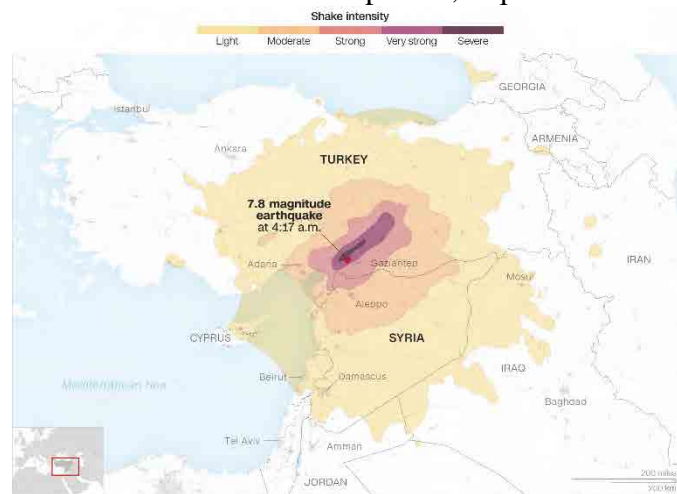


Figura 3.Intensitatea cutremurului din data de 6 februarie 2023 și raza sa de acțiune [6].

Pentru acest studiu s-a folosit accelerograma înregistrată în stația 3126 din Turcia [7]. Valoarea maximă a accelerației orizontale (PGA) a avut loc pe direcția N-S, cu o valoare de 12.1 m/s^2 . Viteza maximă a fost în secunda 30, având valoarea de 350 m/s [8].

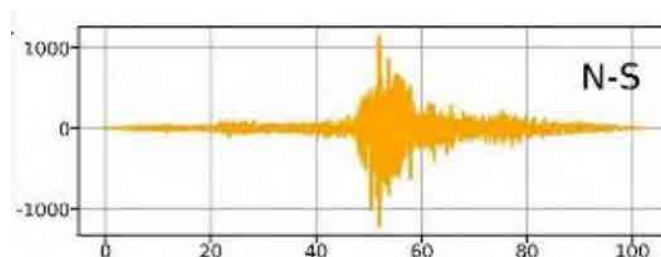




Figura 4. Accelerograma înregistrată în stația 3126 a cutremurului pe direcția N-S.

2. Realizarea templului

Pentru realizarea studiului s-au folosit programul de desenare AutoCAD 2023 și programul de calcul static SAP2000 versiunea 20.2.

2.1. Realizarea templului utilizând AutoCAD 2023

În programul de desenare AutoCAD 2023 s-a reprodus vederea în plan a Templului Zeitei Artemis, având reper planul din Figura 1. S-a reprodus, de asemenea, o secțiune transversală prin mijlocul structurii.

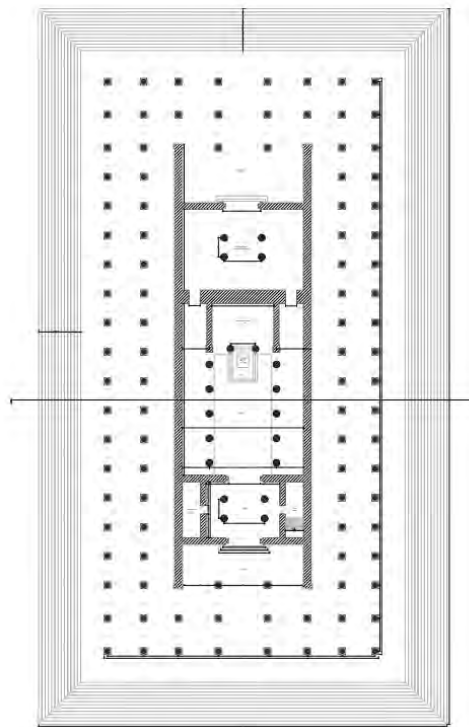


Figura 5. Vedere în plan a templului realizată în AutoCAD 2023.

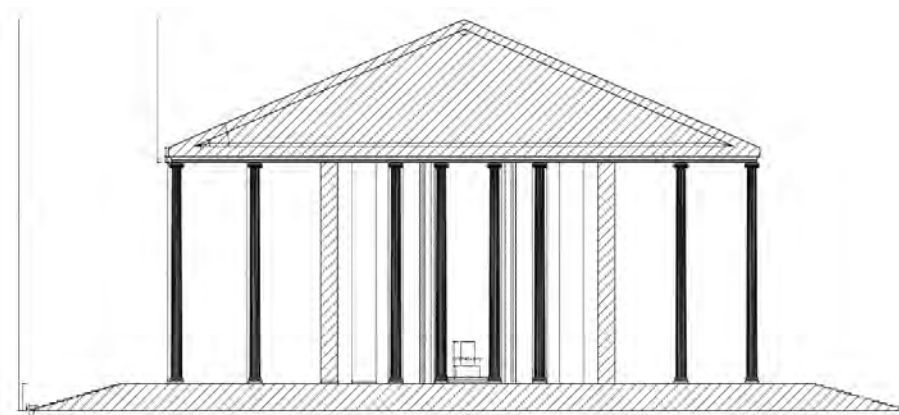


Figura 6. Secțiune transversală a templului realizată în AutoCAD 2023.



Dimensiunile templului desenat sunt de 50 m x 104 m, măsurând dintr-un capăt al coloanei până în celălalt atât pe lungime, cât și pe lățime. Luând în calcul și treptele, fiecare având 57 cm lungime și unghiul de 17°, templul are dimensiunile de 73 m x 28 m. Coloanele au înălțimea de 18 m, fiecare cu un diametru de 1.2 m, iar înălțimea totală a treptelor este de 2.24 m.

Distanțele dintre coloane variază între 5.22 m – 5.89 m interax pe direcție longitudinală, distanțele mai mari aflându-se la extremitățile construcției, iar pe direcție transversală avem distanțe cuprinse între 6.21 m – 9.34 m interax, cea mai mare distanță fiind între stâlpii aflați la mijlocul deschiderii templului.

În interiorul templului, de o parte și de alta a axei de simetrie pe direcție longitudinală, sunt prezente diafragme cu grosimi variabile, între 1 m – 1.40 m. Aceste diafragme au înălțimea similară cu cea a stâlpilor.

Acoperișul are o înălțime maximă de 11.85 m, măsurată de la partea superioară a capitelului coloanei până la coamă, și un unghi de 23°. Construcția finală are în total înălțimea de 32.46 m, măsurată de la baza primei trepte, respectiv 30.22 m, dacă treptele nu se iau în considerare.

2.2. Realizarea templului utilizând SAP2000

După finalizarea desenelor în programul AutoCAD 2023, structura a fost introdusă în programul de calcul static SAP2000, respectând dimensiunile de pe planurile desenate. Materialele folosite au fost beton de clasă C25/30 pentru diafragme și stâlpi și profile din metal S275, între HEA120-HEA1000, UPN80-UPN400 și IPE100-IPE600 pentru realizarea acoperișului. Datele introduse în programul de calcul static au fost următoarele: încărcări din greutate proprie, încărcări din seism (s-a introdus accelerograma din Figura 4.), încărcări din zăpadă. S-au creat trei combinații de încărcări: o combinație pentru gruparea fundamentală, o combinație pentru gruparea specială și o combinație de tip înfășurătoare.

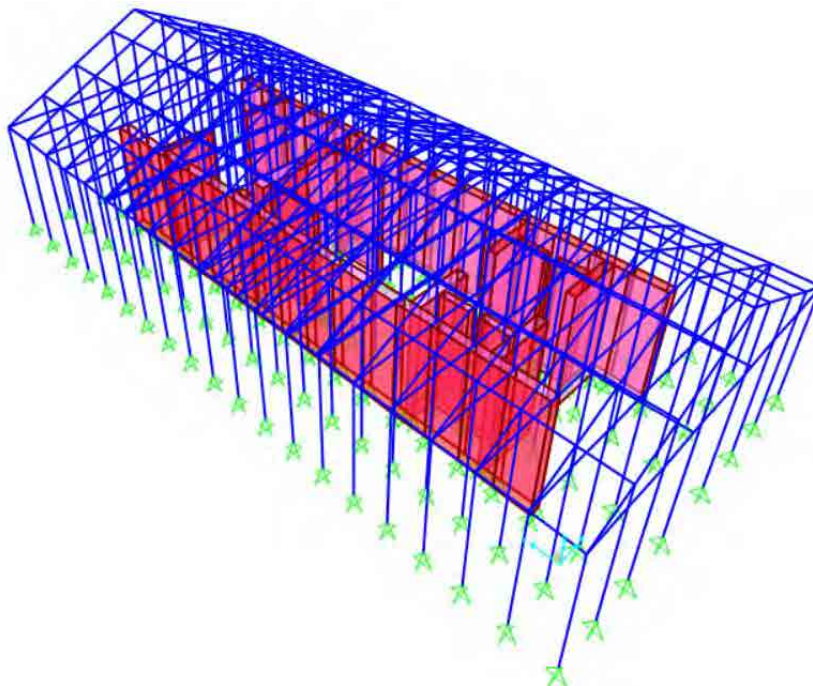


Figura 7. Vedere 3D a Templului Zeiței Artemis realizată în SAP2000.



În urma rulării programului, rezultatele obținute din acțiunea seismică sunt următoarele:

- deplasările maxime: pe direcția axei X: 0.002889 m
pe direcția axei Y: $7.3 \cdot 10^{-5}$ m (0.000073 m)
- forța tăietoare maximă la baza stâlpilor: 0.164 kN
- momentul încovoietor maxim pe stâlpi: 7.789 kN/m

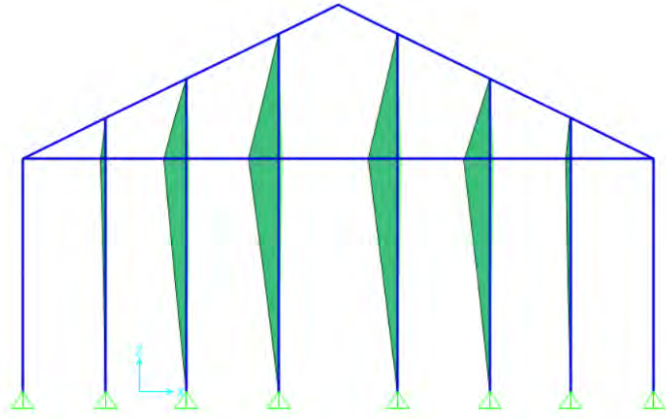


Figura 8. Diagrama momentelor încovoietoare pe stâlpi, pe fața unde se înregistrează valoarea maximă.

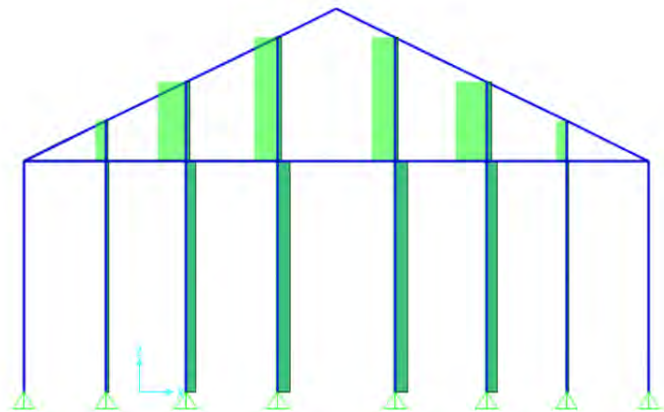


Figura 9. Diagrama de forță tăietoare pe stâlpi, pe fața unde se înregistrează valoarea maximă.

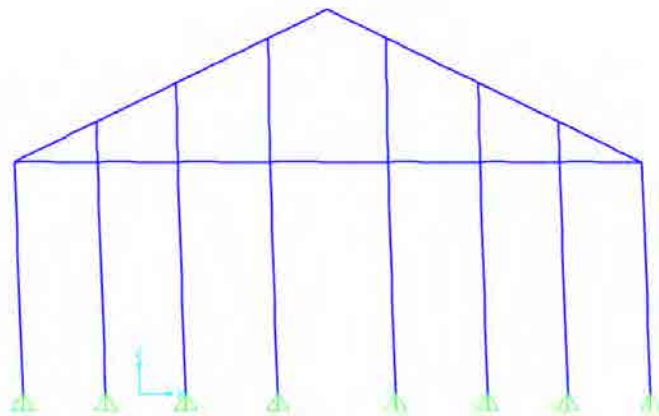


Figura 10. Deformata templului pe fața unde se înregistrează deplasările maxime.



3. Concluzii

Analizând rezultatele obținute în programul de calcul static SAP2000, putem observa faptul că eforturile apărute în urma acțiunii seismice sunt mici. Așadar, în ipoteza în care ar avea loc un cutremur de o intensitate similară cu cel din data de 6 februarie 2023 (7.8 Mw), edificiul religios nu ar fi foarte afectat, el rămânând în picioare. Totodată, deplasarea maximă admisibilă atât pe direcție transversală, cât și pe direcție longitudinală, este de 0.135 m, condiție care este și ea îndeplinită.

BIBLIOGRAFIE

1. https://ro.wikipedia.org/wiki/Templul_lui_Artemis_din_Efes accesat la data de 27/04/2023
2. Moldovan Ioana, *Elemente de arhitectură – Curs 2*, slide-ul 8
3. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/85/Artemistempleplan.jpg> accesat la data de 27/04/2023
4. https://www.shutterstock.com/shutterstock/photos/1243505869/display_1500/stock-vector-the-map-of-the-turkey-earthquake-1243505869.jpg accesat la data de 27/04/2023
5. https://ro.wikipedia.org/wiki/Cutremurele_din_Turcia_%C8%99i_Siria_din_6_februarie_2023 accesat la data de 27/04/2023
6. https://www.iaru-r1.org/wp-content/uploads/2023/02/20230206-turkey-earthquake_wide.png accesat la data de 27/04/2023
7. <https://tadas.afad.gov.tr/event-detail/17966> accesat la data de 27/04/2023
8. Middle East Technical University, *Preliminary Reconnaissance Report on February 6, 2023*, Pazarcık Mw=7.7 and Elbistan Mw=7.6, Kahramanmaraş-Türkiye Earthquake, 27



CALCULUL SECȚIUNILOR LA TORSIUNE PRIN METODA ELEMENTELOR FINITE

Autori

C.P. CIULEI¹, A. RĂDUȚĂ²

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Transilvania din Brașov, e-mail: cristina.ciulei@student.unitbv.ro.

²Facultatea de Construcții, Universitatea Transilvania din Brașov, e-mail: adrian.raduta@student.unitbv.ro

Îndrumător

Conf.Dr.Ing. A. DÓSA³

³Facultatea de Construcții, Universitatea Transilvania din Brașov, e-mail: adamdosa@unitbv.ro.

REZUMAT:

În această lucrare se prezintă studiul caracteristicilor secțiunilor la torsiune liberă. Prin aplicarea ipotezei de deplasare de solid rigid în planul secțiunii, problema spațială a torsiunii libere a barei se reduce la una plană, în care necunoscuta este numai câmpul deplasărilor în lungul axei barei și rotirea secțiunii. Secțiunea se discretizează cu ajutorul elementelor finite triunghiulare, iar condițiile de echilibru se exprimă cu ajutorul principiului lucrului mecanic virtual. Calculele numerice au fost efectuate cu ajutorul unor programe MATLAB. Din exemplele de calcul reiese acuratețea și eficiența metodei de calcul studiate.

Cuvinte cheie: Torsiune liberă, discretizare, calcul numeric, MATLAB

1. INTRODUCERE

În cazul torsiunii libere a unei bare cu secțiune necirculară secțiunile se rotesc, iar diferitele puncte ale fiecărei secțiuni se deplasează diferit în direcția axei barei. Astfel secțiunile barei se deplanează. Deși problema este una spațială, deplanarea nefiind împiedicată, în bară nu apar deformații liniare și deci nici tensiuni normale, bara fiind solicitată numai la tensiuni tangențiale [1].

2. REZOLVARE

Pentru rezolvare, secțiunea se divizează într-un număr de ne elemente interconectate la nn noduri. Câmpul de deplasări, deformații și tensiuni se aproximează cu ajutorul unor funcții care pe fiecare element depind numai de deplasările aferente elementului respectiv. Echilibrul acestui corp se poate exprima prin relația:

$$K \cdot a = F \quad (1)$$

unde: K = este matricea de rigiditate a structurii discretizate ;

a = este vectorul coloană a deplasărilor ;

F = este vectorul încărcărilor;

Deplasările necunoscute sunt translațiile pe direcția axei barei ale nodurilor structurii și rotirea secțiunii:

$$a = (u_1 \ u_2 \ \dots \ u_{nn} \ \theta)^T \quad (2)$$

În cazul torsiunii libere încărcarea este numai momentul de torsiune M_t :

$$F = (0 \ 0 \ \dots \ 0 \ M_t)^T \quad (3)$$

3. DISCRETIZAREA SECȚIUNII ÎN ELEMENTE FINITE

Conturul exterior al secțiunii se descrie cu ajutorul unor segmente de linie dreaptă și arce de cerc. Acest contur se divizează adoptând un pas de divizare, după care suprafața se divizează în triunghiuri folosind triangulația Delaunay [3]. În continuare laturile cele mai lungi ale triunghiurilor se subdivizează și se repetă triangulația până când se obține o rețea de discretizare neregulată, dar uniformă în ceea ce privește mărimea ochiurilor.

3.1. Formularea elementelor finite

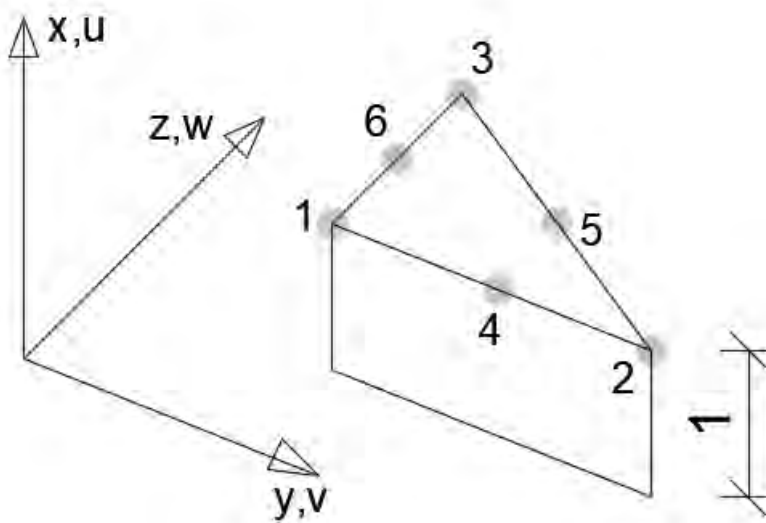


Fig .1 . Elementul finit T6

Elementul finit T6 este un element triunghiular cu 6 noduri. Grosimea elementului este 1. Nodurile 1, 2 și 3 sunt situate la colțurile triunghiului, iar nodurile 4, 5 și 6 sunt la mijlocul laturilor drepte. Materialul este omogen și izotrop și este caracterizat prin modulul de elasticitate transversal G .

Gradele de libertate ale elementului sunt translațiile perpendiculare pe planul elementului a celor 6 noduri plus rotirea de solid rigid a întregului ansamblu.

Vectorul deplasărilor elementului este:

$$a_e = (u_1 \ u_2 \ u_3 \ u_4 \ u_5 \ u_6 \ \theta)^T = (a_e^u \ \theta)^T \quad (4)$$

3.2. Câmpul de deplasări

Câmpul de deplasări este u, v, w . Deplasările u pe direcția axei barei (perpendicular pe planul elementului) se definesc cu ajutorul unor funcții polinomiale complete de gradul 2 în y și z având 6 parametri necunoscuți.

$$u = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot y + \alpha_3 \cdot z + \alpha_4 \cdot y^2 + \alpha_5 \cdot y \cdot z + \alpha_6 \cdot z^2$$

Această relație se poate scrie sub formă matriceală:

$$u = [1 \quad y \quad z \quad y^2 \quad y \cdot z \quad z^2] \cdot \alpha = P \cdot \alpha \quad (5)$$

Parametrii necunoscuți α se determină din deplasările u_i ($i = 1, 2, \dots, 6$) ale nodurilor elementului.

$$\begin{bmatrix} 1 & y_1 & z_1 & y_1^2 & y_1 z_1 & z_1^2 \\ 1 & y_2 & z_2 & y_2^2 & y_2 z_2 & z_2^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & y_6 & z_6 & y_6^2 & y_6 z_6 & z_6^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_6 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_6 \end{Bmatrix}$$

Sub formă matriceală:

$$C \cdot \alpha = a_e^u \quad (6)$$

De aici se obțin parametri α .

$$\alpha = C^{-1} \cdot a_e^u \quad (7)$$

Substituind relația (7) în relația (5) rezultă:

$$u = P \cdot C^{-1} \cdot a_e^u = N^u \cdot a_e^u \quad (8)$$

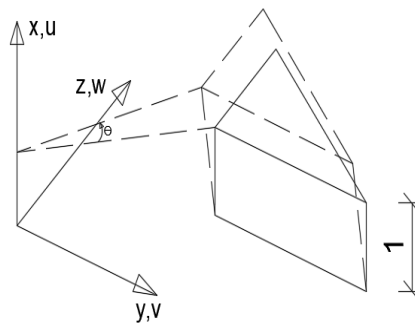


Fig. 2 . Deformarea elementului din rotirea θ

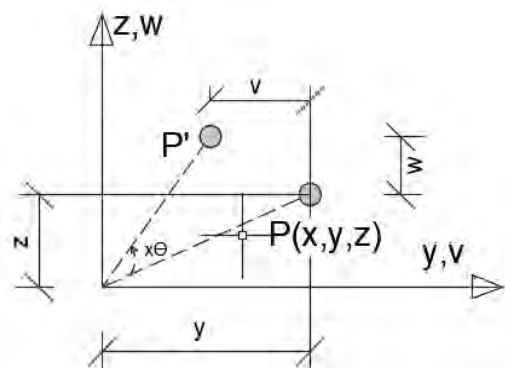


Fig. 3 . Deplasări din torsiune



Având în vedere că partea superioară a elementului ($x=1$) se consideră rotită cu unghiul θ față de partea inferioară ($x=0$) și rotirea θ a secțiunii variază liniar în lungul barei, iar deplasările sunt mici, deplasările în planul secțiunii variază liniar pe grosimea secțiunii și se pot exprima sub forma:

$$\begin{cases} v = -x \cdot z \cdot \theta \\ w = x \cdot y \cdot \theta \end{cases} \quad (9)$$

Câmpul de deplasări în interiorul elementului devine:

$$u = \begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N^u & 0 \\ 0 & -x \cdot z \\ 0 & x \cdot y \end{bmatrix} \cdot a_e = N \cdot a_e \quad (10)$$

unde : N = matricea funcțiilor de interpolare;

3.3. Câmpul de deformații

$$\varepsilon = \begin{Bmatrix} \gamma_{xy} \\ \gamma_{xz} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} u_{,y} + v_{,x} \\ u_{,z} + w_{,x} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 2y & z & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & y & 2z \end{bmatrix} \cdot C^{-1} \begin{bmatrix} -z \\ y \end{bmatrix} a_e = B \cdot a_e \quad (11)$$

unde : $B_{(2 \times 7)}$ - este matricea de deformație-deplasare (matricea derivatelor)
 a_e – este vectorul deplasărilor elementului

3.4. Matricele de rigiditate ale elementelor

Prin exprimarea echilibrului unui element cu ajutorul principiului lucrului mecanic virtual se obține relația [2]:

$$f_e = k_e \cdot a_e \quad (12)$$

unde : $f_e = (f_{x1} \ f_{x2} \ \dots \ f_{x6} \ M_{te})^T$ este vectorul forțelor nodale, iar

$$k_e = \int_v B^T \cdot G \cdot B \, dv \text{ este matricea de rigiditate a elementului} \quad (13)$$

Integrarea se efectuează numeric utilizând regula mijlocului laturilor [2].

$$k_e = \int_v B^T \cdot G \cdot B \, dv = \frac{G \cdot A_e}{3} (B_4^T B_4 + B_5^T B_5 + B_6^T B_6) \quad (14)$$

unde: A_e este aria elementului.

G este modulul de rigiditate transversal.

Având în vedere că integrandul conține termeni polinomiali de gradul doi, integrala este evaluată exact.



3.5. Matricea de rigiditate a structurii

Matricea de rigiditate a întregii structuri se obține prin asamblarea matricelor elementelor.

$$K_{ind,ind} = K_{ind,ind} + k_e \quad (15)$$

unde *ind* - reprezintă indicii de conexiune ale elementului curent la deplasările structurii.

Relația (15) se repetă pentru fiecare element în parte.

Matricea *K* este singulară din cauza faptului că deplasarea de solid rigid a secțiunii în lungul axei barei nu produce eforturi. Pentru a evita singularitatea, se fixează deplasarea axială a unui nod.

4. REZULTATE

Rezultatele obținute sunt deplasările axiale ale nodurilor, rotirea secțiunii barei de lungime 1 supuse la momentul de torsiune M_t și tensiunile de forfecare τ_{xz} și τ_{yz} .

Se dă reprezentarea grafică a deformatelor unei porțiuni de bară de lungime convenabil aleasă, precum și variația tensiunilor de forfecare pe suprafața secțiunii.

Secțiune pătrată

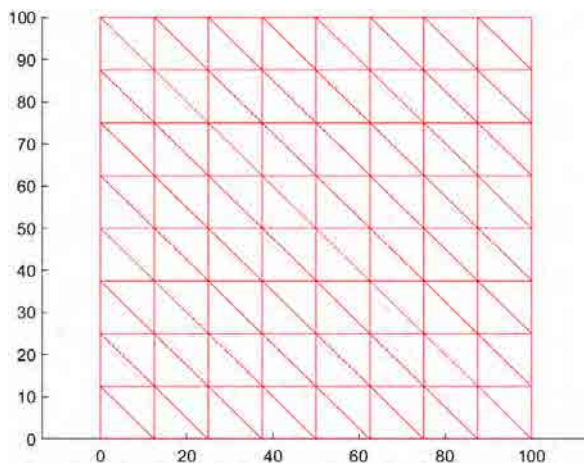


Fig.4. Discretizarea secțiunii

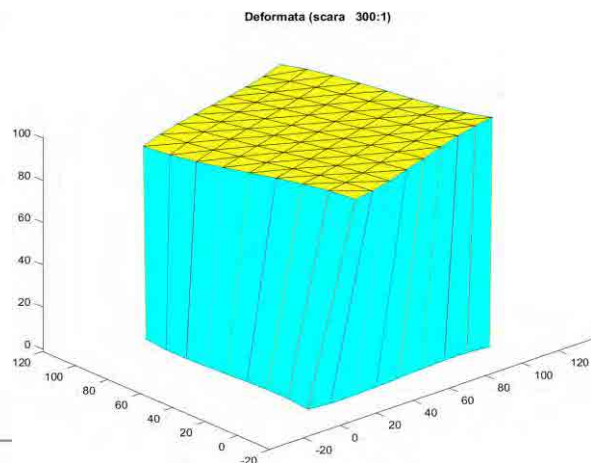


Fig.5. Deformata din torsiune $M_t = 1$ kNm

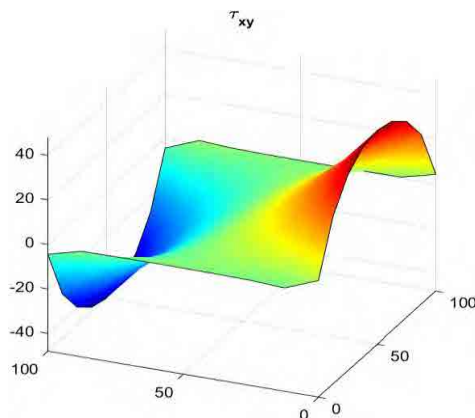


Fig.6. Tensiuni τ_{xy} , $\tau_{xy\max} = 48,02$ N/mm²

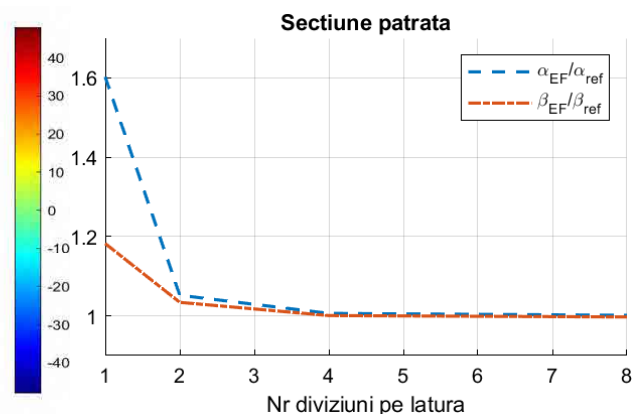


Fig.7. Curbele de convergență α și β



Metoda elementelor finite este aproximativă. Precizia rezultatelor depinde de finețea rețelei de discretizare și de tipul elementului folosit.

Folosind elementele triunghiulare parabolice cu șase noduri din această lucrare, prin studiul de convergență în cazul unei secțiuni dreptunghiulare s-a ajuns la concluzia că divizarea secțiunii cu o rețea uniformă cu 4 elemente pe o latură a secțiunii oferă rezultate de precizie acceptabilă în calculele inginerești, erorile față de soluția de referință fiind sub 1% atât pentru deplasări cât și pentru tensiuni.

Tabelul 1. Tabelul de convergență

Nr diviziuni	α	β
1	0.3333	0.1667
2	0.2188	0.1458
4	0.2093	0.1411
8	0.2083	0.1406
16	0.2082	0.1406
Valori de referință [1]	0.208	0.141

unde : α și β sunt coeficienții numerici ce depind de raportul h/b al laturilor secțiunii

h -latura lungă

b -latura scurtă

$$\tau_{max} = \frac{M_t}{\alpha h b^2} \quad (16)$$

$$GI_t = \beta h b^3 G \quad (17)$$

unde : GI_t - este rigiditatea la răsucire a barei,

I_t - este momentul de inerție polar la torsiune

Secțiune șină tip 49 E1, [4]

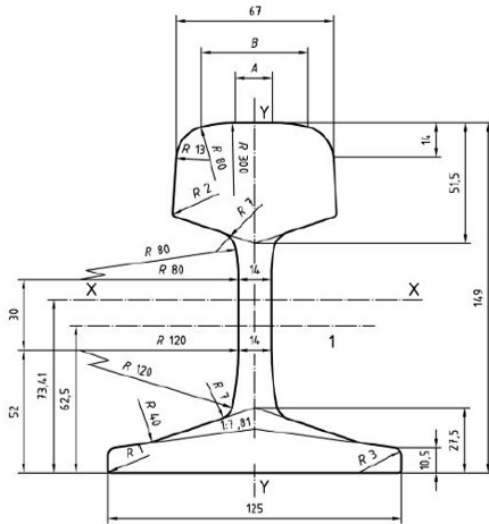


Fig. 8. Profil de șină 49 E1

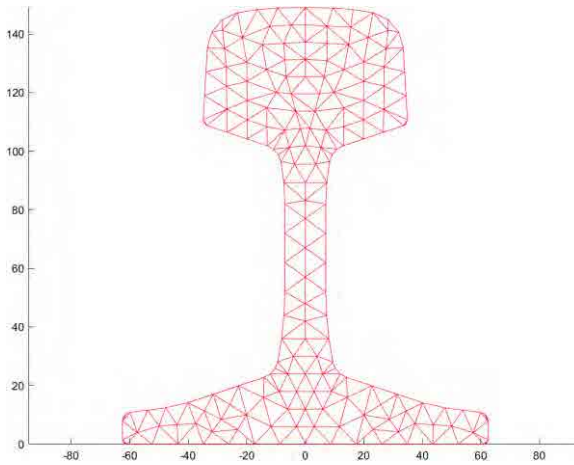


Fig. 9. Discretizarea secțiunii

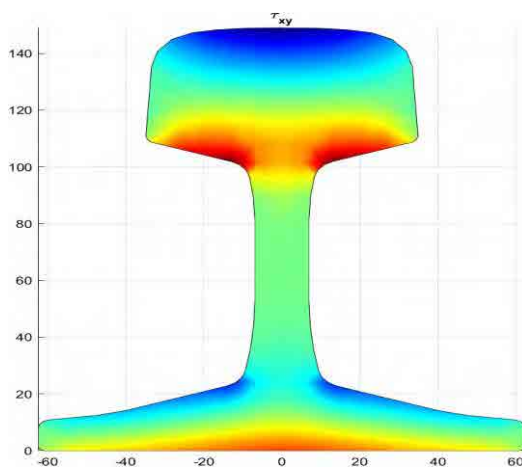


Fig.10. Tensiuni τ_{xy} , încărcarea cu $M_t=1$ kNm

$$\tau_{xy \max} = 22,86 \text{ N/mm}^2,$$

$$\tau_{xy \min} = -21,7643 \text{ N/mm}^2.$$

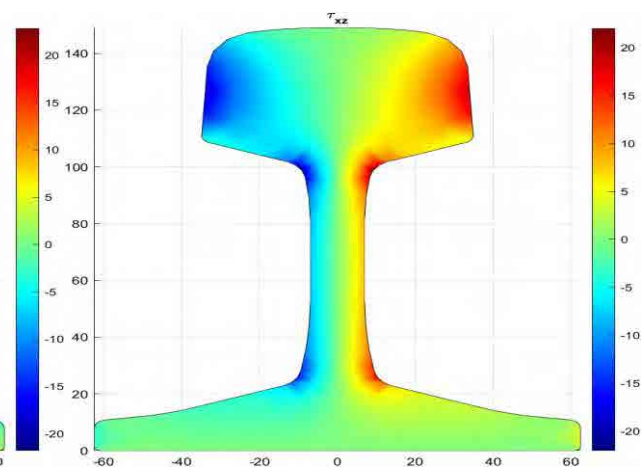


Fig.11. Tensiuni τ_{xz} , încărcarea cu $M_t=1$ kNm

$$\tau_{xz \max} = 18,2 \text{ N/mm}^2,$$

$$\tau_{xz \min} = -18,2 \text{ N/mm}^2.$$

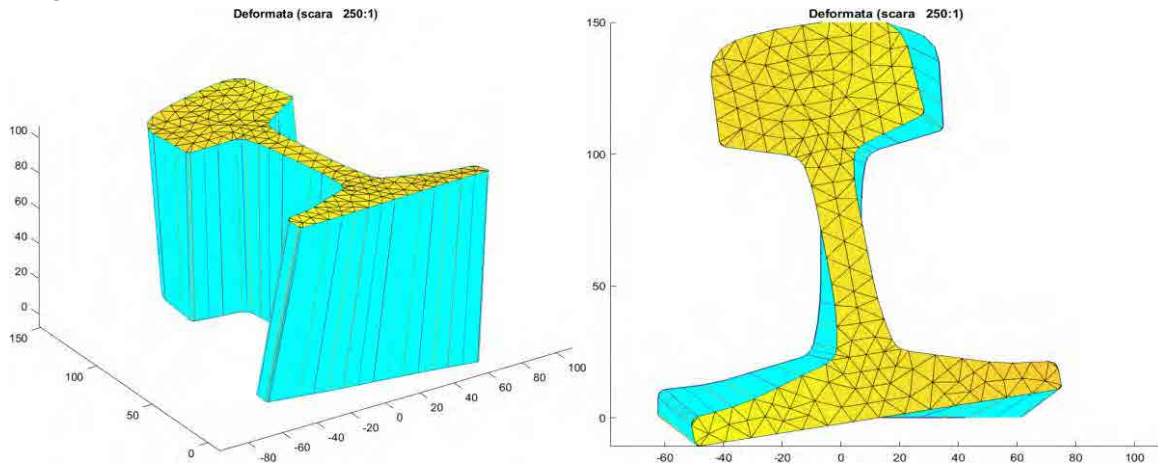


Fig.12. Deformarea elementului (șinei) din torsiune, scara 250:1

BIBLIOGRAFIE

1. Bia, C. ș.a Teoria elasticității și rezistența materialelor. Editura didactică și pedagogică. București, 1983, p.132-134.
2. R.D.Cook, ș.a., Concepts and applications of finite element analysis, Fourth Ed., Wiley, 2002, p.88-89, 266-268.
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Delaunay_triangulation, accesat 12.04.2023.
4. SR EN 13674-1:2006. Șine cu masa mai mare sau egală cu 46 kg/m.



APLICAREA METODEI DIFERENȚELOR FINITE ÎN REZOLVAREA PLĂCILOR PLANE

Autor/autori

Raluca C. CRĂCIUN^{1*}, Aurel ISIP², Maria A. DEAC³

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Cluj Napoca, ralucacraciun99@yahoo.com

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Cluj Napoca, aurelisip@gmail.com

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Cluj Napoca, deacalexandra192@yahoo.com

Îndrumător/îndrumători

Conf. Dr. Ing. Mihai NEDELCU

Șef lucr. Dr. Ing. Teodora Besoiu

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Cluj Napoca

mihai.nedelcu@mecon.utcluj.ro

Teodora.BESOIU@mecon.utcluj.ro

REZUMAT: *Lucrarea constă în dezvoltarea unei aplicații de calcul structural a plăcilor plane dreptunghiulare sub acțiunea sarcinilor transversale uniform distribuite prin intermediul Metodei Diferențelor Finite. Se alege ca necunoscută principală funcția deplasărilor verticale $w(x,y)$. Aplicația dezvoltată în Matlab permite analiza liniară a plăcilor plane dreptunghiulare cu diverse condiții de rezemare pe contur și diferite valori ale raportului între laturi (b/a). Rezultatele obținute numeric cu Metoda Diferențelor Finite sunt comparate cu cele obținute analitic cu metoda seriilor simple trigonometrice (soluția Levy) și cu ajutorul unui program de calcul structural bazat pe Metoda Elementelor Finite.*

Cuvinte cheie: Matlab, Metoda Diferențelor Finite, Metoda Elementelor Finite, plăci plane.

1. Introducere

Metoda diferențelor finite reprezintă o modalitate de abordare numerică a rezolvării ecuațiilor diferențiale prin sisteme de ecuații algebrice, bazată pe aproximarea derivatelor parțiale cu ecuațiile diferenței finite în puncte discrete. Metoda este utilizată în domeniul ingineriei civile inclusiv în studiul plăcilor plane, furnizând informații legate de starea de deplasare, starea de deformare și starea de tensiune a acestora. Aproximările ecuațiilor diferențiale corespund unei rețele de puncte obținute prin discretizarea întregului corp în subintervale definite prin distanțe Δx și Δy pe ambele direcții conform figurii de mai jos. [1]

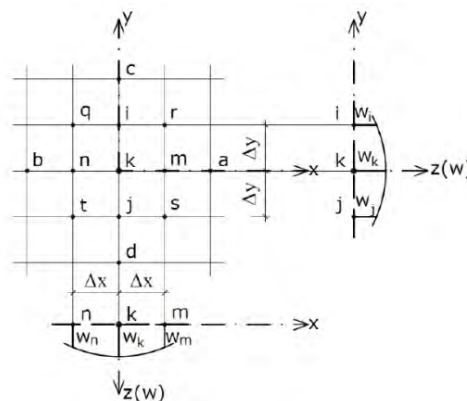


Figura 1. Rețea de puncte în care este discretizată placa.



Găsirea soluțiilor reprezintă rezolvarea ecuației diferențiale de ordin IV liniară și neomogenă, a plăcilor plane acționate transversal:

$$\nabla^4 w = \frac{p}{D} \quad (1)$$

Unde: w - deplasarea transversală;

p - intensitatea sarcinii uniform distribuite;

D – rigiditatea la încovoiere a plăcii ($D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$).

∇^4 - operator biarmonic (care conține derivatele parțiale de ordinul IV).

Derivatele parțiale de ordinul I și II ale funcției deplasării $w(x,y)$ se scriu în diferențe finite astfel [2]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial x} \Big|_k &= \frac{w_m - w_n}{2\Delta x}; & \frac{\partial w}{\partial y} \Big|_k &= \frac{w_i - w_j}{2\Delta y} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \Big|_k &= \frac{w_m - 2w_k + w_n}{\Delta x^2}; & \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \Big|_k &= \frac{w_i - 2w_k + w_j}{\Delta y^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \Big|_k &= \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \Big|_k \right) = \frac{\frac{\partial w}{\partial y} \Big|_m - \frac{\partial w}{\partial y} \Big|_n}{2\Delta x} = \frac{w_r - w_s - w_q + w_t}{4\Delta x \Delta y} \end{aligned} \quad (2)$$

Prin derivare succesivă se obține ecuația cu derivate parțiale a plăcilor plane (1) scrisă în diferențe finite sub forma ecuației (3) pentru $\Delta x = \Delta y = \Delta$, iar operatorul biarmonic poate fi scris sub formă de moleculă, ilustrată în figura 2 [2].

$$20w_k - 8(w_m + w_n + w_i + w_j) + 2(w_r + w_s + w_q + w_t) + w_a + w_b + w_c + w_d = \frac{p\Delta^4}{D} \quad (3)$$

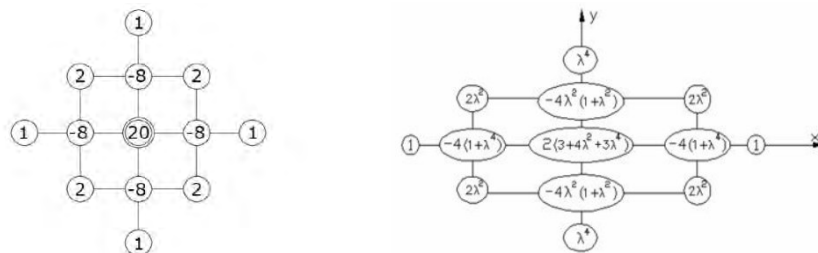


Figura 2. Molecula de calcul, a) cazul $\Delta x = \Delta y = \Delta$; b) cazul $\Delta x \neq \Delta y$ ($\lambda = \Delta x / \Delta y$).

Pentru aflarea necunoscutelor, și anume deplasările nodurilor interioare, rețeaua se consideră prelungită în afara conturului plăcii. Legătura dintre punctele interioare și exterioare ale rețelei este dată de condițiile de contur corespunzătoare celor 3 cazuri de rezemare (prezentate în Figura 3):

a) *Cazul laturii încastrate* - deplasarea transversală și rotirea sunt nule:

$$w_m = 0 \quad (w_r = w_s = 0); \quad \frac{\partial w}{\partial x} \Big|_m = \frac{w_a - w_k}{2\Delta} = 0 \rightarrow w_a = w_k;$$

b) *Cazul laturii simplu rezemate* - deplasarea și momentul încovoiitor sunt nule:

$$w_m = 0 \quad (w_r = w_s = 0); \quad M_x \Big|_m = 0, \quad M_x = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \rightarrow \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \Big|_m = \frac{w_a - 2w_m + w_k}{\Delta^2} = 0 \rightarrow w_a = -w_k;$$

c) *Cazul laturii libere* – momentul încovoiitor și forța tăietoare generalizată sunt nule:



$$M_x|_K = 0 \rightarrow \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \Big|_k = 0 \rightarrow w_m - 2(1 + \mu)w_k + w_n + \mu(w_i + w_j) = 0;$$
$$R_x|_K = 0 \rightarrow \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} + (2 - \mu) \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} \Big|_k = 0 \rightarrow w_a - 2(3 - \mu)(w_m - w_n) + (2 - \mu)(w_r + w_s - w_q - w_t) - w_b = 0.$$

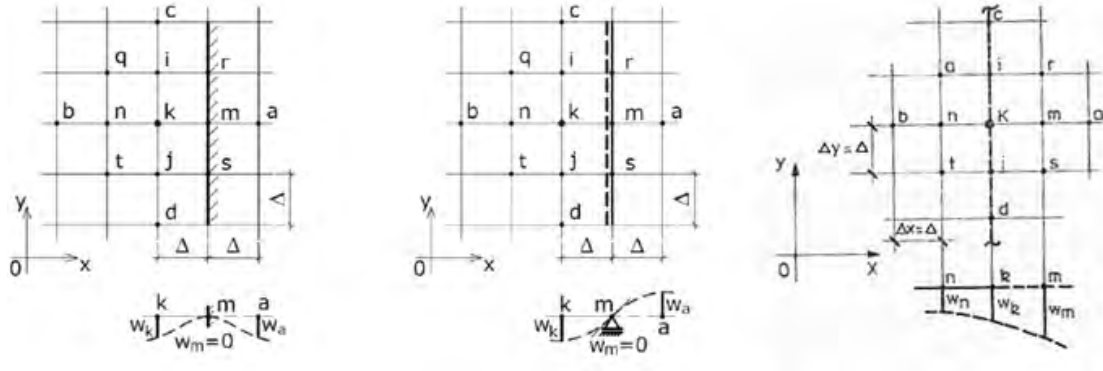


Figura 3. a) Cazul laturii încastrate; b) Cazul laturii simplu rezemate; c) Cazul laturii libere.

2. Studiu de caz.

2.1 Dezvoltarea aplicației în Matlab

Pentru plăcile plane cu laturi simplu rezemate sau încastrate, algoritmul utilizat în Matlab presupune formarea matricei cu numărul de elemente egal cu numărul de noduri interioare rezultat în urma raportului laturilor plăcii și discretizarea aleasă, plus 1. Astfel aplicația generează automat matricea nodurilor interioare pentru orice lungime și lățime a plăcii plane. Următorul pas presupune implementarea condițiilor de contur, care diferă în funcție de modul de rezemare. Conform studiilor, în cazul simplei rezemări și a încastrării, deplasările pe contur vor fi zero, așadar matricei nodurilor interioare i se vor atribui două linii și două coloane cu toate elementele zero. În ceea ce privește Metoda Diferențelor Finite, rețeaua de puncte trebuie extinsă fictiv în exterior cu două linii și două coloane pentru a se putea forma ecuația cu derivate parțiale a plăcilor plane. Valorile nodurilor exterioare vor rezulta din modul de rezemare ales, în cazul simplei rezemări nodul exterior va fi egal cu minus valoarea nodului interior, iar pentru încastrare, nodul exterior va fi egal cu cel interior. Astfel programul generează încă un set de două linii și coloane zero pentru a se putea introduce condițiile de contur, scrise în program sub formă de structuri if-else pentru fiecare latură a plăcii, ca în cazul în care modul de rezemare de pe o latură se va schimba, matricea să se modifice automat. În continuare programul formează matricea coeficienților moleculei, a cărei dimensiuni se modifică în funcție de matricea nodurilor interioare cu condițiile de contur. Atribuirea coeficienților se realizează prin structuri if-else, în funcție de poziționarea coeficienților în molecula de calcul. Determinarea deplasărilor corespunzătoare nodurilor interioare ale plăcii se realizează prin înmulțirea inversei matricei coeficienților cu matricea coloană a termenilor liberi a cărei elemente sunt egale cu intensitatea sarcinii uniform distribuite în raport cu rigiditatea la încovoiere a plăcii.

Cea de-a doua aplicație dezvoltată în Matlab vizează abordarea deplasărilor în cazul existenței unei laturi libere. Conform teoriei, pe latura liberă a plăcii plane vor exista deplasări, așadar încă un set de necunoscute. Datorită faptului că aplicarea moleculei de calcul în toate punctele interioare și de pe capătul liber nu va mai genera suficiente ecuații, se va introduce un set de ecuații suplimentare în fiecare punct de pe latura liberă, obținându-se astfel un sistem cu număr egal de ecuații și necunoscute. Pentru obținerea matricei coeficienților se vor forma în prima etapă alte două matrice, prima rezultând prin aplicarea moleculei de calcul în nodurile



interioare, inclusiv cele de pe capătul liber, în mod identic cu cea din aplicația descrisă anterior. Cea de-a doua corespunde ecuațiilor suplimentare pentru punctele de pe latura liberă, câte două pentru fiecare nod și rezultă într-un mod similar cu cea anterioară, prin structuri if-else. Matricea finală a coeficienților se va forma prin concatenarea pe verticală a celor două matrice, urmând soluționarea sistemului în același mod cu celelalte cazuri de rezemare.

Pentru validarea rezultatelor furnizate de programul realizat în Matlab s-a ales modelarea plăcilor în programul ROBOT care are ca metodă de rezolvare Metoda Elementelor Finite. S-au generat plăci de diferite dimensiuni, materialul utilizat pentru cazurile prezentate având modulul de elasticitate $E=3000 \text{ MPa}$ și coeficientul lui Poisson $\mu=0.3$. Pentru obținerea unor rezultate cât mai exacte s-a ales discretizarea cât mai fină în elemente finite. Încărcarea de 2 kN/m^2 a fost aplicată uniform pe toată suprafața plăcii, iar rezemarea plăcilor a fost realizată cu reazeme liniare pe tot conturul acesteia.

2.2 Verificarea și validarea rezultatelor aplicației dezvoltate în Matlab

Studiul de caz se va realiza pe plăci plane cu raportul $a/b=1.00$ și $a/b=1.50$, unde a - lungimea plăcii și b - lățimea și grosimea plăcii constantă $h=0.15 \text{ m}$.

Se vor aborda toate tipurile de rezemare ale plăcii prezentate în introducere. Compararea și validarea rezultatelor se va realiza cu ajutorul soluțiilor obținute cu seriile simple trigonometrice (Levy) și cu rezultatele obținute prin modelare structurală în Robot. În cele ce urmează se vor prezenta toate cazurile studiate.

2.2.1. Cazul raportului $a/b = 1.00$. Laturile de sus și jos sunt încastrate, iar cele de pe marginile laterale simplu rezemate.

```
l=5; %lungimea placii
b=5; %latimea placii
dx=0.25; %discretizarea
nc=l/dx-1; %nr coloane
nr=b/dx-1; %nr randuri
m=nr*nc; %nr nodurilor interioare
p=2; %incarcarea distribuita
E=3000000; %modul de elasticitate
h=0.15; %grosimea placii
u=0.3; %coeficientul Poisson

D1=(E*h^3)/(12*(1-u^2));
```

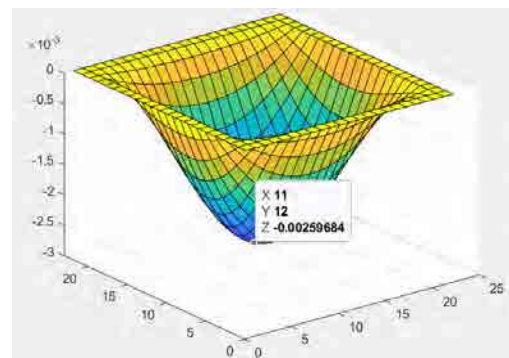


Figura 4. Cazul în care raportul $a/b=1.00$ din MATLAB.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1	2.4055e-05	4.5383e-05	6.3506e-05	7.8532e-05	9.0707e-05	1.0028e-04	1.0748e-04	1.1249e-04	1.1545e-04	1.1642e-04	1.1545e-04	1.1249e-04	1.0748e-04	1.0028e-04	9.0707e-05	7.8532e-05	6.3506e-05	4.5383e-05	2.4055e-05
2	7.5052e-05	1.4378e-04	2.0387e-04	2.5477e-04	2.9666e-04	3.2999e-04	3.5526e-04	3.7294e-04	3.8340e-04	3.8686e-04	3.8340e-04	3.7294e-04	3.5526e-04	3.2999e-04	2.9666e-04	2.5477e-04	2.0387e-04	1.4378e-04	7.5052e-05
3	1.3975e-04	2.6971e-04	3.8520e-04	4.8438e-04	5.6687e-04	6.3305e-04	6.8354e-04	7.1902e-04	7.4006e-04	7.4704e-04	7.4006e-04	7.1902e-04	6.8354e-04	6.3305e-04	5.6687e-04	4.8438e-04	3.8520e-04	2.6971e-04	1.3975e-04
4	2.0905e-04	4.0522e-04	5.8141e-04	7.3419e-04	8.6232e-04	9.6577e-04	0.0010	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	9.6577e-04	8.6232e-04	7.3419e-04	5.8141e-04	4.0522e-04	2.0905e-04	
5	2.7638e-04	5.3723e-04	7.7325e-04	9.7937e-04	0.0012	0.0013	0.0014	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0014	0.0013	0.0012	9.7937e-04	7.7325e-04	5.3723e-04	2.7638e-04	
6	3.3695e-04	6.5620e-04	9.4653e-04	0.0012	0.0014	0.0016	0.0017	0.0018	0.0019	0.0019	0.0019	0.0018	0.0017	0.0016	0.0014	0.0012	9.4653e-04	6.5620e-04	3.3695e-04
7	3.8726e-04	7.5513e-04	0.0011	0.0014	0.0016	0.0018	0.0020	0.0021	0.0022	0.0022	0.0022	0.0021	0.0020	0.0018	0.0016	0.0014	0.0011	7.5513e-04	3.8726e-04
8	4.2484e-04	8.2906e-04	0.0012	0.0015	0.0018	0.0020	0.0022	0.0023	0.0024	0.0024	0.0024	0.0023	0.0022	0.0020	0.0018	0.0015	0.0012	8.2906e-04	4.2484e-04
9	4.4801e-04	8.7468e-04	0.0013	0.0016	0.0019	0.0021	0.0023	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0023	0.0021	0.0019	0.0016	0.0013	8.7468e-04	4.4801e-04
10	4.5584e-04	8.9009e-04	0.0013	0.0016	0.0019	0.0022	0.0024	0.0025	0.0026	0.0026	0.0026	0.0025	0.0024	0.0022	0.0019	0.0016	0.0013	8.9009e-04	4.5584e-04
11	4.4801e-04	8.7468e-04	0.0013	0.0016	0.0019	0.0021	0.0023	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0023	0.0021	0.0019	0.0016	0.0013	8.7468e-04	4.4801e-04
12	4.2484e-04	8.2906e-04	0.0012	0.0015	0.0018	0.0020	0.0022	0.0023	0.0024	0.0024	0.0024	0.0023	0.0022	0.0020	0.0018	0.0015	0.0012	8.2906e-04	4.2484e-04
13	3.8726e-04	7.5513e-04	0.0011	0.0014	0.0016	0.0018	0.0020	0.0021	0.0022	0.0022	0.0022	0.0021	0.0020	0.0018	0.0016	0.0014	0.0011	7.5513e-04	3.8726e-04
14	3.3695e-04	6.5620e-04	9.4653e-04	0.0012	0.0014	0.0016	0.0017	0.0018	0.0019	0.0019	0.0019	0.0018	0.0017	0.0016	0.0014	0.0012	9.4653e-04	6.5620e-04	3.3695e-04
15	2.7638e-04	5.3723e-04	7.7325e-04	9.7937e-04	0.0012	0.0013	0.0014	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0014	0.0013	0.0012	9.7937e-04	7.7325e-04	5.3723e-04	2.7638e-04
16	2.0905e-04	4.0522e-04	5.8141e-04	7.3419e-04	8.6232e-04	9.6577e-04	0.0010	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	9.6577e-04	8.6232e-04	7.3419e-04	5.8141e-04	4.0522e-04	2.0905e-04	
17	1.3975e-04	2.6971e-04	3.8520e-04	4.8438e-04	5.6687e-04	6.3305e-04	6.8354e-04	7.1902e-04	7.4006e-04	7.4704e-04	7.4006e-04	7.1902e-04	6.8354e-04	6.3305e-04	5.6687e-04	4.8438e-04	3.8520e-04	2.6971e-04	1.3975e-04
18	7.5052e-05	1.4378e-04	2.0387e-04	2.5477e-04	2.9666e-04	3.2999e-04	3.5526e-04	3.7294e-04	3.8340e-04	3.8686e-04	3.8340e-04	3.7294e-04	3.5526e-04	3.2999e-04	2.9666e-04	2.5477e-04	2.0387e-04	1.4378e-04	7.5052e-05
19	2.4055e-05	4.5383e-05	6.3506e-05	7.8532e-05	9.0707e-05	1.0028e-04	1.0748e-04	1.1249e-04	1.1545e-04	1.1642e-04	1.1545e-04	1.1249e-04	1.0748e-04	1.0028e-04	9.0707e-05	7.8532e-05	6.3506e-05	4.5383e-05	2.4055e-05

Figura 5. Matricea deplasărilor. MATLAB

În Figurile 4 și 5 se pot vedea rezultatele din Matlab care sunt validate prima dată cu seriile trigonometrice (Levy), unde deplasarea maximă pentru o placă pătrată este $w_{\max}=0.0019575 \text{ m}$.



Deplasarea maximă obținută cu ajutorul aplicației dezvoltate în Matlab este 0.0026 m, iar după împărțirea cu raportul pa^4/D rezultă $w_{\max}=0.0019285$ m, ceea ce reprezintă o eroare de 1.46% în comparație cu rezultatele analitice/exacte (seriile trigonometrice). Următoarea validare a aplicației este redată de programul de calcul structural Robot, iar datorită discretizării foarte fine de 0.25 m, rezultatele sunt aproape identice. În Figura 6 se prezintă rezultatele din programul Robot Structural Analysis privind deplasările transversale ale plăcii, în special deplasarea maximă obținută în centrul plăcii.

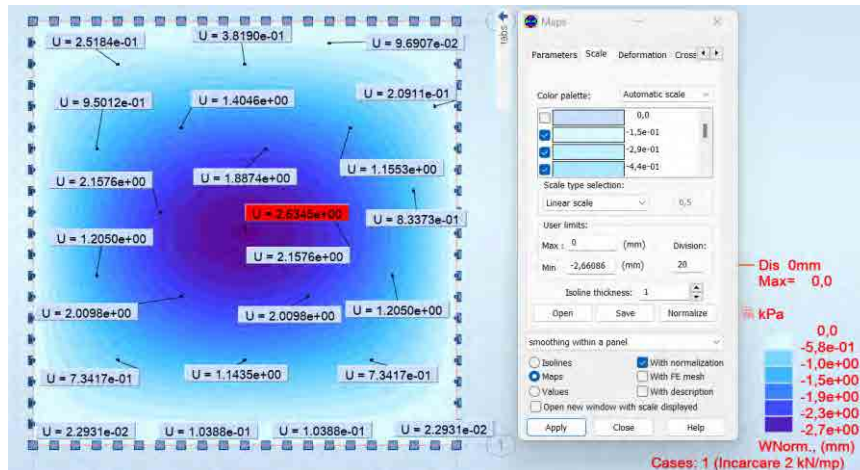


Figura 6. Deplasarea transversală maximă din ROBOT.

2.2.2. Cazul raportului $a/b = 1.50$. Laturile de sus și jos sunt încastate, iar cele de pe marginile laterale simplu rezemate.

```
l=5; %lungimea placii
b=7.5; %latimea placii
dx=0.25; %discretizarea
nc=l/dx-1; %nr coloane
nr=b/dx-1; %nr randuri
m=nr*nc; %nr nodurilor interioare
p=2; %incarcarea distribuita
E=300000; %modul de elasticitate
h=0.15; %grosimea placii
u=0.3; %coeficientul Poisson
```

$$D1=(E*h^3)/(12*(1-u^2));$$

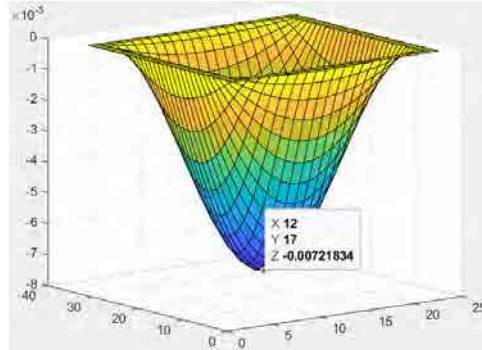


Figura 7. Cazul în care raportul $a/b=1.50$. MATLAB

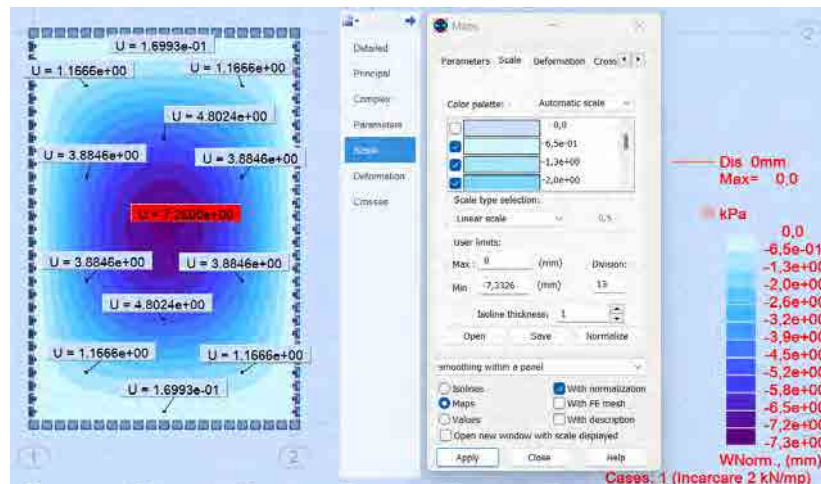


Figura 8. Cazul în care raportul $a/b=1.50$. ROBOT.

Deplasarea maximă generală dată de soluțiile trigonometrice pentru o placă cu raportul $a/b=1.50$, este $w_{\max}=0.0053760$ m, iar deplasarea generală maximă obținută cu ajutorul aplicației din Matlab este 0.0053542 m, ceea ce exprimă o eroare de 0.40% la comparația cu seriile trigonometrice. Aplicația din Matlab este validată și de programul de modelare structurală Robot, rezultatele fiind aproape identice.

2.2.3. Cazul raportului $a/b = 1.50$, iar $\Delta x \neq \Delta y$. Laturile de sus și jos sunt incastrate, iar cele de pe marginile laterale sunt simplu rezemate.

```
l=5; %lungimea placii
b=7.5; %latimea placii
dx=0.25; %discretizarea pe Ox
dy=0.375; %discretizare pe Oy
nc=1/dx-1; %nr coloane
nr=b/dy-1; %nr randuri
m=nr*nc; %nr nodurilor interioare
p=2; %incarcarea distribuita
E=3000000; %modul de elasticitate
h=0.15; %grosimea placii
u=0.3; %coeficientul Poisson
```

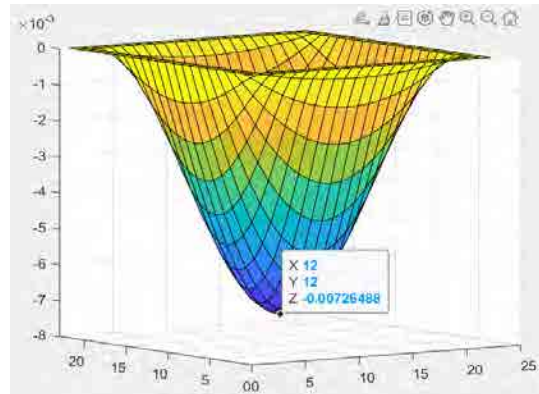


Figura 9. Cazul în care raportul $a/b=1.50$, iar $\Delta x \neq \Delta y$. MATLAB

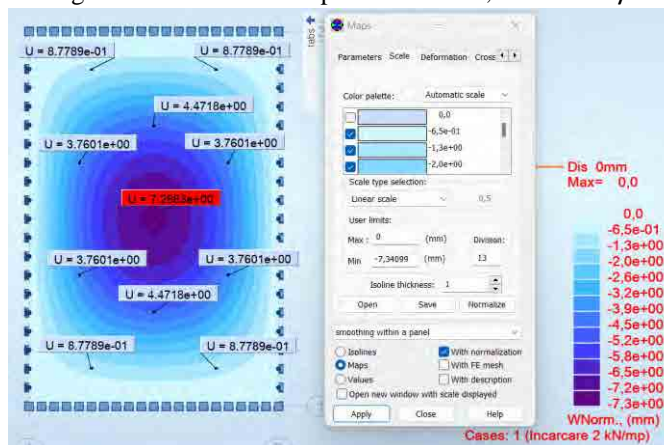


Figura 10. Cazul în care raportul $a/b=1.50$, iar $\Delta x \neq \Delta y$. ROBOT.

Deplasarea maximă generală dată de soluțiile trigonometrice pentru o placă cu raportul $a/b=1.50$, este $w_{\max}=0.0053760$ metri, iar deplasarea generală maximă obținută cu ajutorul aplicației din Matlab este 0.0054148 metri, ceea ce exprimă o eroare de 0.72% la comparația cu seriile trigonometrice. Aplicația din Matlab este validată și de programul de modelare structurală Robot, rezultatele fiind aproape identice.



2.2.4. Cazul raportului $a/b = 1.50$. Toate laturile sunt simplu rezemate.

```
l=5; %lungimea placii
b=7.5; %latimea placii
dx=0.25; %discretizarea
nc=l/dx-1; %nr coloane
nr=b/dx-1; %nr randuri
m=nr*nc; %nr nodurilor interioare
p=2; %incarcarea distribuita
E=3000000; %modul de elasticitate
h=0.15; %grosimea placii
u=0.3; %coeficientul Poisson

D1=(E*h^3)/(12*(1-u^2));
```

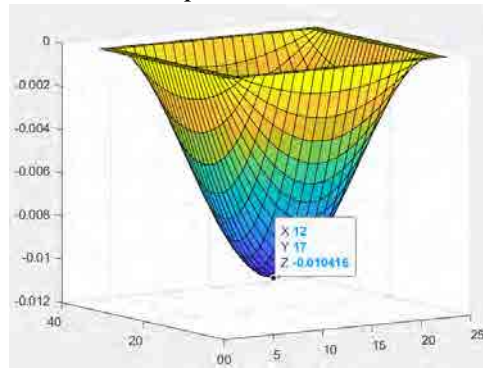


Figura 11. Cazul în care raportul $a/b = 1.50$. MATLAB

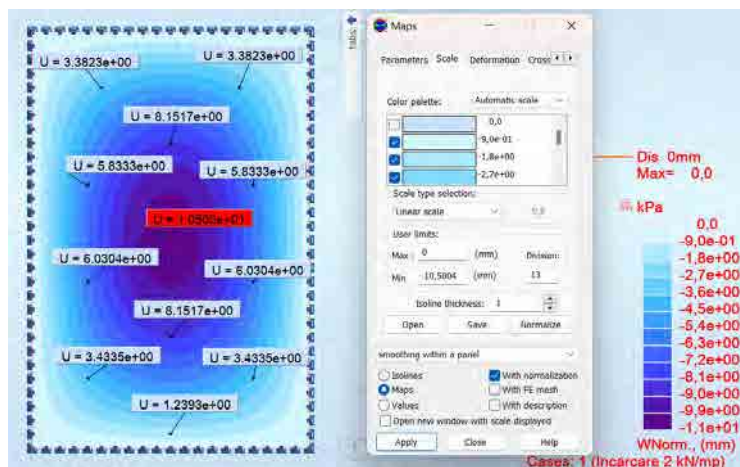


Figura 12. Cazul în care raportul $a/b = 1.50$. ROBOT.

Deplasarea maximă generală dată de soluțiile trigonometrice pentru o placă cu raportul $a/b=1.50$, simplu rezemată pe tot conturul, este $w_{max}=0.0077738$ metri, iar deplasarea generală maximă obținută cu ajutorul aplicației din Matlab este 0.0077142 metri, ceea ce exprimă o eroare de 0.76% la comparația cu seriile trigonometrice [1]. Aplicația din Matlab este validată și de programul de modelare structurală Robot, rezultatele fiind aproape identice.

2.2.5. Cazul capătului liber. Latura dreaptă este liberă, iar restul laturilor sunt simplu rezemate. Raportul $a/b = 1.00$.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0.0369	0.0327	0.0297	0.0275	0.0256	0.0239	0.0222	0.0204	0.0185	0.0162	0.0137	0.0108	0.0075	0.0039	0	0
4	0.0703	0.0627	0.0571	0.0528	0.0492	0.0459	0.0427	0.0392	0.0354	0.0311	0.0262	0.0206	0.0143	0.0074	0	0
5	0.0984	0.0880	0.0803	0.0742	0.0692	0.0645	0.0599	0.0551	0.0497	0.0437	0.0367	0.0288	0.0200	0.0103	0	0
6	0.1197	0.1072	0.0979	0.0905	0.0843	0.0786	0.0730	0.0671	0.0605	0.0531	0.0446	0.0350	0.0242	0.0124	0	0
7	0.1328	0.1192	0.1088	0.1006	0.0937	0.0874	0.0811	0.0745	0.0672	0.0589	0.0495	0.0388	0.0268	0.0138	0	0
8	0.1373	0.1232	0.1125	0.1040	0.0969	0.0904	0.0839	0.0770	0.0695	0.0609	0.0511	0.0401	0.0277	0.0142	0	0
9	0.1328	0.1192	0.1088	0.1006	0.0937	0.0874	0.0811	0.0745	0.0672	0.0589	0.0495	0.0388	0.0268	0.0138	0	0
10	0.1197	0.1072	0.0979	0.0905	0.0843	0.0786	0.0730	0.0671	0.0605	0.0531	0.0446	0.0350	0.0242	0.0124	0	0
11	0.0984	0.0880	0.0803	0.0742	0.0692	0.0645	0.0599	0.0551	0.0497	0.0437	0.0367	0.0288	0.0200	0.0103	0	0
12	0.0703	0.0627	0.0571	0.0528	0.0492	0.0459	0.0427	0.0392	0.0354	0.0311	0.0262	0.0206	0.0143	0.0074	0	0
13	0.0369	0.0327	0.0297	0.0275	0.0256	0.0239	0.0222	0.0204	0.0185	0.0162	0.0137	0.0108	0.0075	0.0039	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 13. Matricea deplasărilor, cazul laturii libere. MATLAB

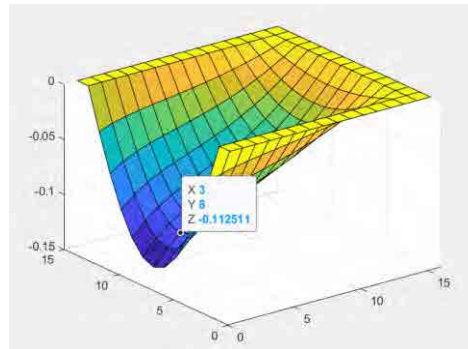


Figura 14. Diagrama deplasărilor. Cazul laturii libere. MATLAB

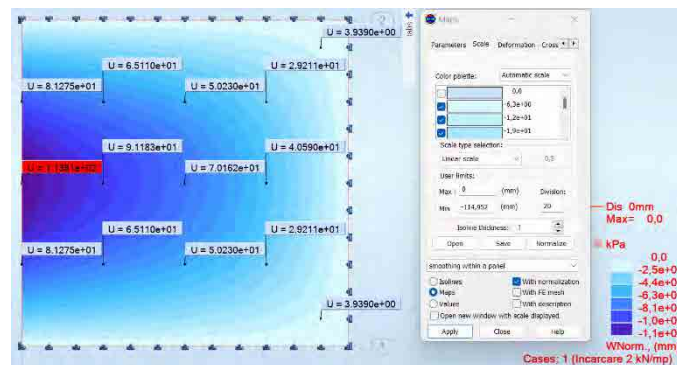


Figura 15. Diagrama deplasărilor. Cazul laturii libere. ROBOT.

În ceea ce privește abordarea cazului laturii libere, deplasarea maximă se află pe latura liberă a plăcii. Compararea nu s-a putut realiza între aplicația Matlab și seriile trigonometrice, deoarece nu au fost găsite rezultate în literatura de specialitate [1]. Rezultatele obținute în Matlab sunt foarte apropiate față de cele obținute în Robot, eroarea fiind de 0.24%.

3. Concluzii

Pentru studiul plăcilor la care sunt cunoscute condițiile de rezemare și încărcările, rezolvarea problemei se reduce la aflarea deplasării transversale, adică a funcției $w(x,y)$. Aceasta poate fi determinată în mod aproximativ prin Metoda Diferențelor Finite și Metoda Elementelor Finite, iar rezultatele trebuie comparate cu metodele exacte, de exemplu cu seriile simple trigonometrice (Levy) sau duble trigonometrice (Navier). Lucrarea de față relevă analiza plăcilor plane sub diverse condiții de rezemare (laturi încastate, simplu rezemate sau libere) prin dezvoltarea unor aplicații în Matlab ce au la bază Metoda Diferențelor Finite. Rezultatele obținute au fost comparate cu seriile simple trigonometrice (Levy) și cu programul de calcul structural Robot, cu ajutorul cărora s-au obținut rezultate cu o foarte bună acuratețe. Aplicația înregistrează erori sub 5% pentru fiecare caz examinat, ceea ce înseamnă că aplicația dezvoltată în Matlab poate fi utilizată cu încredere în calculul plăcilor plane subțiri rigide.

BIBLIOGRAFIE

1. Marțian, I., *Teoria elasticității și plasticității pentru constructori*, Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, 1999.
2. Mihai Nedelcu, Adrian Mircea Ioani, *THEORY OF ELASTICITY*, UTPRESS, Cluj-Napoca, 2014.
3. Nedelcu M., Mociran H., *Metoda elementelor finite*, U.T.PRESS, Cluj-Napoca, 2016.



ANALIZA SOLUȚIILOR SUSTENABILE ÎN VEDEREA PROIECTĂRII ACOPERIȘURILOR ȘI FAȚADELOR LA CLĂDIRILE REZIDENȚIALE

Autor/autori

Andra M. CRISTINICĂ¹, Sofia-Iulia V. CUZMIN², Anca M. CREȚU³

¹Facultatea de Construcții, Universitatea OVIDIUS, , [e-mail:andracristinica@yahoo.com](mailto:andracristinica@yahoo.com)

²Facultatea de Construcții, Universitatea OVIDIUS, , [e-mail:cuzminiulia@gmail.com](mailto:cuzminiulia@gmail.com)

³Facultatea de Construcții, Universitatea OVIDIUS, , [e-mail:ancacreu9@gmail.com](mailto:ancacreu9@gmail.com)

Îndrumător/îndrumători

Ș.L.Dr.Ing. Gabriela DRĂGHICI⁴

⁴Facultatea de Construcții, Universitatea OVIDIUS, , [e-mail:draghici.gabriela@univ-ovidius.ro](mailto:draghici.gabriela@univ-ovidius.ro)

Ș.L.Dr.Ing. Cosmin FILIP⁵

⁵Facultatea de Construcții, Universitatea OVIDIUS, , [e-mail:filip.cosmin@univ-ovidius.ro](mailto:filip.cosmin@univ-ovidius.ro)

REZUMAT

În prezenta lucrare, au fost analizate cele două soluții sustenabile, în vederea proiectării acoperișurilor și fațadelor la clădirile rezidențiale moderne. De asemenea, am sintetizat care sunt avantajele și cum se realizează execuția acoperișurilor verzi. A fost prezentat conceptul de sustenabilitate la fațadele placate cu fibrociment Equitone, potențialul de circularitate al plăcilor prezentate, amprenta de carbon și creditele Breeam și Leed, fluxul de deșeuri din producție și fabricarea ecologică și prin asociere.

În cadrul articolului am prezentat un studiu de caz în care fațada clădirii a fost executată cu ajutorul plăcilor din fibrociment Equitone. Au fost prezentate particularități legate de montajul propriu-zis al plăcilor din fibrociment, detalii de execuție, mentenanța pe termen mediu-lung cât și efectul anti-Graffiti, necesar la o clădire rezidențială.

Cuvinte cheie: acoperiș, fibrociment, sustenabilitate, materiale, rezidențial

INTRODUCERE

Industria construcțiilor reprezintă unul dintre cele mai importante sectoare în dezvoltarea sustenabilă, deoarece construirea, exploatarea, reabilitarea sau demolarea acestora produc o serie de beneficii sociale și economice pentru societatea modernă. Pe de altă parte, domeniul construcțiilor reprezintă, la momentul actual, 40% din totalul de energie consumată în Europa, acest aspect reprezentând un factor cu caracter negativ asupra mediului înconjurător. Având în vedere cele menționate anterior, în prezent, în construcții sunt adoptate soluții constructive ce asigură sustenabilitatea și durabilitatea clădirii, pe termen mediu și lung. [1]

În prezent, majoritatea clădirilor rezidențiale în curs de execuție sau recent finalizate, sunt structuri în cadre din beton armat. Structurile în cadre din beton armat sunt structuri spațiale alcătuite din planșeul orizontal împreună cu elementele verticale - stâlpii și elementele orizontale - grinzele, rigidizate între ele la noduri.

1.1 Acoperișul verde

Acoperișul ales pentru subiectul referatului este acoperișul verde, acoperiș pe care este prevăzut, încă din faza de proiect, vegetație, în funcție de condițiile de mediu particulare ale amplasamentului.

Tipurile de plante alese în mod preponderent, sunt cele nepretențioase, ce se dezvoltă rapid, asigurând vegetalizarea învelitorii propriu-zise într-o perioadă de timp relativ mică.



În general, se folosesc ierburi, plante succulente, mușchi, plante cu bulbi sau tuberculi, plante ce necesită luarea unor măsuri reduse pentru întreținere.

Istoria amenajării acoperișurilor verzi pe clădiri este legată de una dintre cele șapte minuni ale antichității, Grădinile suspendate ale Semiramidei din Babilon, construite de regele Nabucodonosor al II-lea în secolul VI î.H.

Astăzi, acoperișurile verzi împreună cu fațadele verzi și cele placate cu materiale sustenabile, oferă avantaje multiple, atât pentru clădire cât și pentru oraș.

Avantajele pot fi sistematizate, în funcție de efectele lor, astfel: [2]

- Economice:
 - Creșterea cu 2 – 3 ani a duratei de viață a acoperișului;
 - Reducerea temperaturii la nivelul acoperișului, cu aproximativ 50% față de un acoperiș normal.
- Reducerea poluării și a căldurii în oraș
 - Se reduc emisiile de carbon din atmosferă;
 - Se reduce temperatura în oraș.
- Managementul apelor pluviale:
 - Se absoarbe 40-60% din cantitatea de apă pluvială, reducând debitul deversat în rețeaua pluvială a orașului.
- Consumul de energie:
 - În timpul verii, energia necesară se reduce cu 15-25% pentru clădirile cu 2-3 niveluri.

Din punct de vedere constructiv, elementul suport al alcătuirii termo/hidroizolante poate fi realizat din beton armat, lemn sau metal.

Termoizolațiile care pot fi utilizate sunt plăci rezistente (plăci din betoane ușoare, BCA, sticlă spongioasă), plăci semirezistente (polistiren expandat/ extrudat, poliuretan rigid, plută aglomerată, plăci super-rigide din vată minerală cu densitate mai mare de 100 kg/mc) sau plăci moi (plăci rigide din vată minerală cu densitate mai mică de 100kg/mc).

Hidroizolațiile care pot fi utilizate sunt cele bituminoase sau polimerice, sub formă de membrane, aplicate monostrat sau bistrat, sau pelicule aplicate in situ. Execuția hidroizolației trebuie realizată corect, cu materiale de bună calitate, astfel încât intervențiile în cazul infiltrațiilor de apă să fie cât mai facile.

Straturile specifice ale acoperișurilor verzi, straturi amplasate deasupra hidroizolației, ca protecție a acesteia, sunt următoarele:

- Stratul vegetal;
- Substraturile vegetale;
- Stratul filtrant;
- Stratul drenant;
- Bariera contra rădăcinilor.

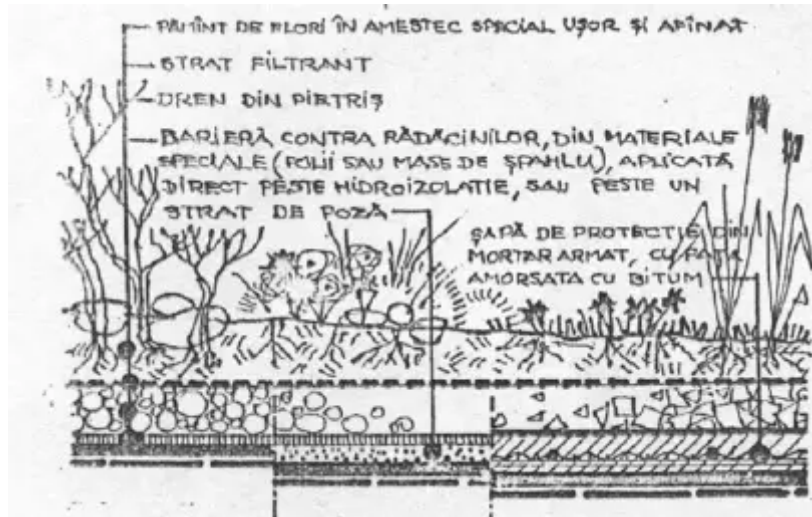


Figura 1. Stratificație terasă verde (sursa: Curs Finisaj 2, Prof. arh. Alexandru Stan, IAIM 1989) [3]

1.2 Sustenabilitatea fațadelor placate cu fibrociment Equitone

Fațadele ventilate oferă avantaje considerabile în durabilitatea unei clădiri, eliminând cele mai frecvente probleme întâmpinate la nivelul închiderii exterioare a structurii, cum ar fi excesul de umiditate, condensul, apariția mușgaiului și exfolierilor.

Fațada ventilată este alcătuită dintr-o structură portantă ce asigură rigidizarea în cazul solicitărilor externe (vânt, ploaie, dilatații termice, radiații solare), completată cu stratul de izolare (vată minerală) și materialul final de placare, la exterior. Astfel, fațadele ventilate asigură o protecție ridicată, dar și de mentenanța facilă și montaj rapid.

1.3 Potențialul de circularitate al placării cu fibrociment

Plăcile de fibrociment sunt realizate din apă, ciment Portland, materiale naturale și celuloză. Compoziția acestora le face să se încadreze perfect în conceptul de circularitate a construcțiilor.

În continuare, vom aminti câteva caracteristici ale plăcilor de fibrociment, caracteristici ce susțin ideea de circularitate: [4]

- Sunt reciclabile;
- Sunt durabile, cu o durată de exploatare mai mare de 50 ani;
- Consum redus de material raportat la metrul pătrat;
- Sunt ușoare;
- Au nivel redus de întreținere;
- Sunt modulare;

Atunci când se aleg plăcile de fibrociment pentru închiderea fațadei ventilate, se ține cont de câteva caracteristici ale acestora, luând în calcul și sustenabilitatea clădirii, în ansamblu:

- Modularitatea și posibilitățile infinite de panotaj ale plăcilor;
- Cantitatea mică de deșeuri rezultate în urma execuției;
- Apariția componentelor de construcției reutilizabile și posibilitatea rearanjării plăcilor astfel încât să fie redus la maxim consumul de material.

1.4 Comparația amprentei de carbon

Piramida materialelor de construcții a fost dezvoltată de Centrul pentru arhitectură industrială (CINARK) la Academia Regală Daneză în anul 2019. Această piramidă reprezintă un mod de a vizualiza într-un mod facil emisiile de carbon asociate producției diferitelor materiale de construcții. Piramida este concentrată pe etapa de producție, etapele ciclului de viață A1 (în momentul producției) – A3 (în momentul livrării). [5]



Figura 2. Comparația amprentei de carbon (sursa: Byggeriets Materialpyramide, 2019)

1.5 Fluxul de deșuri din producție

În etapa de producție a panourilor se obțin deșuri ce sunt reciclate în circuite ale materialelor, cum ar fi transportul la cuptorul de ciment, unde sunt reactivate. Dacă sunt urmărite cu atenție pantajele propuse în vederea debitării plăcilor, se reduc semnificativ pierderile de material. De asemenea, în procesul de instalare sunt înregistrate foarte puține deșuri deoarece panourile vin debitate în prealabil la dimensiunile cerute în proiectul tehnic și în pantajul propus. [6]

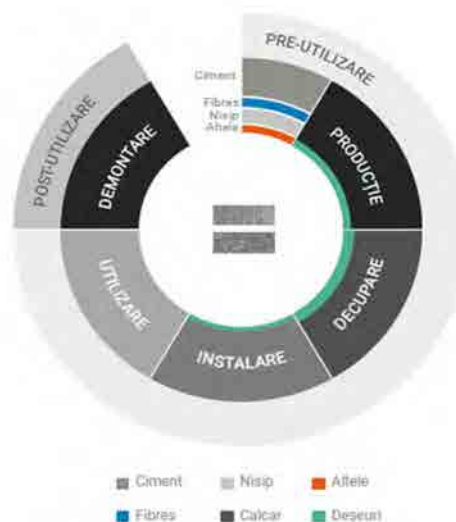


Figura 3. Fluxurile de deșuri (sursa: <https://www.equitone.com/-/dam/equitone-msd-natura-ro-ro/pd33483/original/equitone-msd-natura-ro-ro>, 2023)



1.6 Creditele Breeam și Leed



Figura 4. Creditele Breeam (sursa: <https://www.equitone.com/-/dam/equitone-breeam-ro-ro/pd33425/original/equitone-breeam-ro-ro>, 2023) [7]



Figura 5. Creditele Leed (sursa: <https://www.equitone.com/-/dam/equitone-leed-ro-ro/pd33549/original/equitone-leed-ro-ro>, 2023) [8]

1.7 Fabricarea ecologică și prin asociere

Plăcile Natura Pro sunt produse în conformitate cu standardele internaționale de calitate ISO 14001 și ISO 45001.

Având în vedere că, tehnologia de producție a plăcilor de fibrociment este în continuă dezvoltare, producătorul se dedică și obiectivelor de dezvoltare durabilă ale ONU. [6]

În continuare se vor evidenția principalele obiective ale acestuia în ceea ce privește sustenabilitatea:

- Furnizarea unui mediu de lucru sigur;
- Contribuția la crearea unor locuințe sigure și sănătoase;
- Contribuția la tranziția către o energie curată prin parcuri fotovoltaice;
- Materiale ușoare, construite pentru durabilitate, mai puține deșeuri;
- Obținerea cotei de zero deșeuri trimise la groapa de gunoi până în anul 2030;
- Acțiuni pentru a combate schimbările climatice și impactul acestora.

STUDIUL DE CAZ

Fibrocimentul a fost inventat de Ludwig Hatschek la sfârșitul secolului al XIX-lea. Acesta a combinat elemente de bază ale pământului: minerale, aer, apă și foc (căldură) într-un proces simplu de filtrare. Procesul inventat de Hatschek face ca fiecare placă de fibrociment să fie unică din punct de vedere a texturii. Fibrocimentul EQUITONE este colorat în masă și are un caracter brut, netratat. [9]

În cadrul proiectului studiat a fost folosită, în mod exclusiv gama Equitone Natura Pro.
În cele ce urmează se vor prezenta caracteristicile și tehnica de execuție a fațadei ventilate.

□ Rosturi

Rosturile sunt o caracteristică specifică a fațadelor ventilate. În cazul acestor fațade, rosturile nu trebuie sigilate deoarece pătrunderea apei este direcționată printr-o combinație între cavitatea și etanșeitatea peretelui suport. [10]

Aplicat, în cadrul proiectului studiat au fost folosite rosturile deschise de 10 mm între panouri, rosturi în care există spații libere între marginile panourilor adiacente. Rostul de 10 mm a oferit executantului un nivel bun al toleranței în montaj a plăcilor de fibrociment.

□ Montaj

Panourile EQUITONE de pe fațada Sud și Vest au fost montate folosind niturile EQUITONE UNI deoarece a fost adoptată soluția tehnică cu structură din metal. Toate elementele de fixare utilizate sunt prevăzute cu capete colorate în culoarea panoului. Niturile sunt proiectate astfel încât să permită dilatarea și contractarea structurii, prin evitarea presiunii excesive pe panou. [10]

Având în vedere expunerea directă a fațadei, elementele de fixare au fost poziționate pe centru, pentru a suporta încărcarea la vânt la care este supusă fațada. De asemenea, s-a ținut cont ca, distanța dintre nituri să fie de maxim 625 mm (interax).

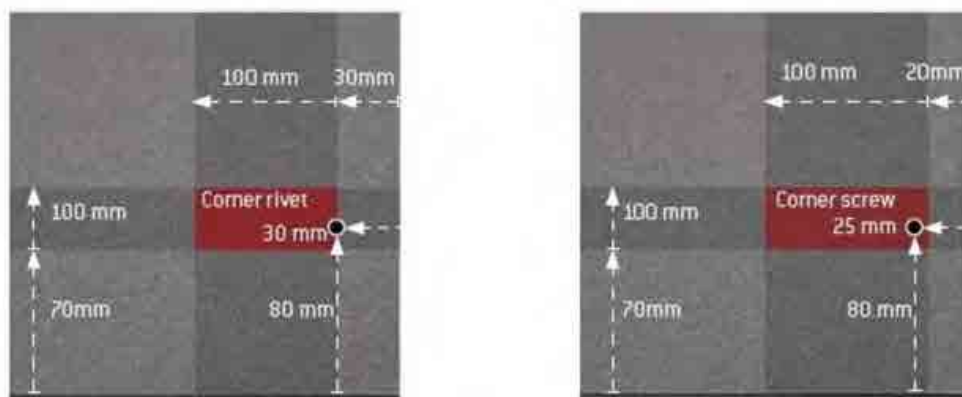


Figura 6. Detaliu de montaj (sursa: <https://www.equitone.com/ro-ro/suport/>, 2023)

□ Structura suport

Structura suport necesară în vederea montării plăcilor de fibrociment este redusă cantitativ comparativ cu alte materiale deoarece plăcile sunt rezistente, dar în același timp au o greutate redusă. Stabilitatea structurală a structurii a fost asigurată în conformitate cu reglementările în vigoare. [10]

În cadrul proiectului studiat, a fost folosită o structură din aluminiu.

□ Peretele suport – Peretele structural

Peretele suport influențează modul de comportare al sistemului de fațadă ventilată. Astfel, dacă există o mișcare a aerului prea mare prin peretele suport, atunci apare un risc crescut de pătrundere a apei. În acest caz, s-au luat măsuri speciale de asigurare a etanșeității peretelui structural astfel încât să fie evitată pierderea de energie, odată cu pătrunderea apei în peretele structural.[10]

□ Nivelul solului

În cadrul proiectului studiat, poziționarea marginilor inferioare ale primelor plăci de fibrociment au fost poziționate la 150 mm față de nivelul solului. Poziționarea în acest fel a plăcilor are o serie de beneficii, dintre care amintim:

- Prevenirea stropirii la ploaie;
- Se facilitează pătrunderea aerului în spațiul de ventilare;
- Se facilitează crearea efectului de picătură, ce împiedică pătrunderea apei până la peretele suport;

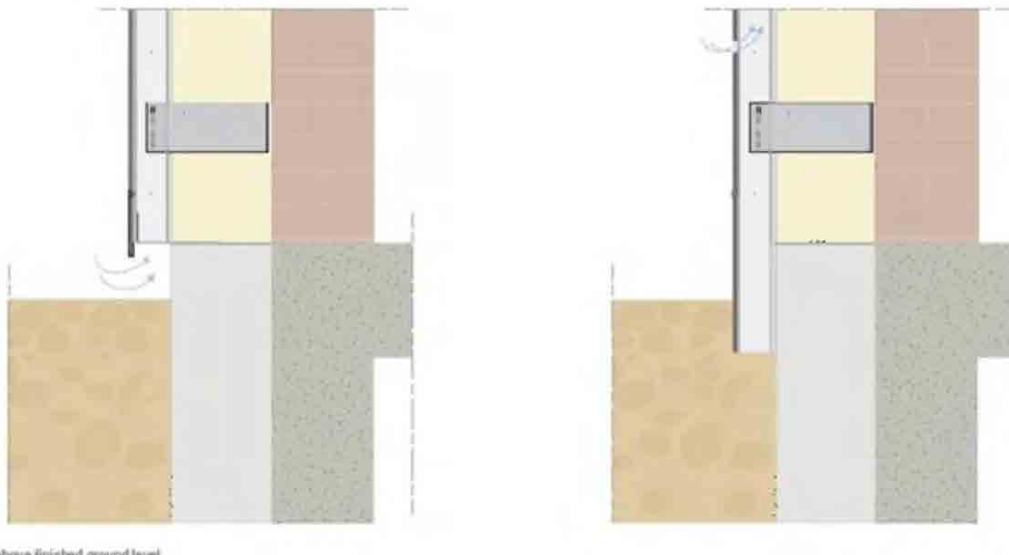


Figura 7. Detaliu montaj la nivelul solului (sursa: <https://www.equitone.com/ro-ro/suport/>, 2023)

□ Mentenanță și curățare

În proiectarea și alegerea materialelor pentru execuția fațadei, a fost luat în calcul ca aceasta să fie ușor de întreținut. În acest fel, pe termen mediu și lung, se evită apariția costurilor suplimentare pentru curățarea sau posibila înlocuire a unor bucăți din fațadă.

În consecință, pentru proiectul studiat a fost aleasă o gamă superioară – gama Natura pro, gamă cu numeroase beneficii când vine vorba de întreținere pe termen lung. Prin alegerea unui material rezistent, clădirea își va păstra aspectul continuu și atrăgător pentru o perioadă lungă de timp.

În procesul de proiectare și stabilire a panotajului plăcilor, s-a asigurat accesul facil la fiecare fațadă, astfel încât toate panourile să poată fi ușor inspectate și întreținute, în caz de nevoie. De asemenea, s-a ținut cont și de modul în care se usucă clădirea și de cum pot fi afectate plăcile de fibrociment prin scurgerile de apă provenite de pe materialele de mai sus.

□ Graffiti

Plăcile de fibrociment din gama Natura Pro au acoperire UV care oferă protecție superioară împotriva vopselelor. Placa are o textură netedă și poate fi ușor curățată. Stratul superior al plăcii îndeplinește cerințele Asociației de Calitate Anti-Graffiti eV pentru sisteme de protecție a suprafețelor anti-graffiti. [10]



CONCLUZIE

Amenajarea acoperișurilor verzi la clădirile civile rezidențiale reprezintă, în societatea actuală, o soluție din ce în ce mai utilizată de către arhitecți și pentru inginerii structuriști, având în vedere numeroasele avantaje pe care le oferă această soluție constructivă, atât pentru construcție cât și pentru oraș. În cele mai multe cazuri, cele două soluții studiate, acoperișul verde și fațada ventilată, se utilizează în cadrul aceluiași proiect, maximizând gradul de sustenabilitate al clădirii. Fațadele ventilate reprezintă unele dintre cele mai apreciate sisteme moderne în construcții, fiind în același timp soluții de izolare termică și fonică, îmbinând cu succes rezistența și designul actual.

Pentru noi, acest studiu a însemnat o muncă de documentare, urmată de sinteza datelor și înțelegerea tehnologiei de montaj, în practică. Tot acum am aprofundat sau am descoperit – colegile de echipă mai mici – ce înseamnă cercetarea și pașii pe care trebuie să-i parcurgem pentru a depăși stadiul de simplu inginer. Este o experiență care contribuie la dezvoltarea noastră personală pentru a deveni specialiști.

BIBLIOGRAFIE

1. Bob. C., Ed. Politehnica Timișoara, Timișoara, 2020.
2. <https://www.revistaconstructiilor.eu/index.php/2018/03/02/proiectarea-structurilor-pentru-cladiri-cu-acoperisuri-verzi/>
3. Curs Finisaj 2, Prof. arh. Alexandru Stan, IAIM, 1989
4. <https://www.equitone.com/ro-ro/sustenabilitate/circular-design/>, 2023
5. Byggeriets Materialpyramide, 2019
6. <https://www.equitone.com/-/dam/equitone-msd-natura-ro-ro/pd33483/original/equitone-msd-natura-ro-ro>
7. <https://www.equitone.com/-/dam/equitone-breeam-ro-ro/pd33425/original/equitone-breeam-ro-ro>
8. <https://www.equitone.com/-/dam/equitone-leed-ro-ro/pd33549/original/equitone-leed-ro-ro>
9. <https://www.equitone.com/ro-ro/despre-equitone/>
10. <https://www.equitone.com/ro-ro/suport>



ANALIZA COMPORTĂRII STRUCTURILOR DIN BETON CU ARMĂTURĂ RIGIDĂ

Autor

Ines S. GEAFAR¹,

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Ovidius din Constanța, elines71@yahoo.com

Îndrumător

Ș.L.Dr.Ing. Sunai GELMAMBET

Facultatea de Construcții, Universitatea Ovidius din Constanța, gelmambets@univ-ovidius.ro

REZUMAT: Prin structuri compozite se înțelege modul în care diferite materiale, cum ar fi lemnul, oțelul, betonul și zidăria sunt utilizate împreună pentru realizarea unor elemente puternice. Este foarte bine cunoscut faptul că elementele din oțel sunt predispuse la flambaj, în timp ce rezistența lor la tracțiune este foarte bună. În schimb, elementele din beton au o rezistență la compresiune foarte bună, dar o rezistență foarte slabă la tracțiune. Prin urmare, utilizarea împreună a oțelului și betonului permite inginerilor structuriști să folosească avantajele celor două materiale și să combată dezavantajele prin calitățile celuilalt material component. Structurile compozite din beton cu armătură rigidă reprezintă o soluție tot mai des întâlnită în construcții pentru diferite tipuri de sisteme, în special pentru clădirile înalte și cu deschideri mari. Obiectivul principal al acestei lucrări este de a înțelege comportarea structurilor realizate din beton cu armătură rigidă pentru a realiza o proiectare optimă și economică a acestor sisteme structurale. Lucrarea prezintă aspecte privind proiectarea și comportarea structurilor compozite din beton cu armătură rigidă, punând în evidență caracteristicile și aspectele specifice ale acestor structuri.

Cuvinte cheie: Beton cu armătură rigidă, oțel-beton, analiza structurală, comportare structurală, structuri compozite

1. Introducere –Sisteme structurale BAR

Prin noțiunea „structură compozită oțel-beton” implică utilizarea elementelor din oțel și beton împreună într-un singur element. Scopul este de a atinge un nivel de performanță mai ridicat decât ar fi fost cazul când cele două materiale ar fi utilizate separat. Deși foarte diferite, betonul și oțelul se completează reciproc: betonul este eficient la compresiune iar oțelul la tracțiune și ductilizarea structurii; componentele din oțel sunt predispuse la flambaj, în timp ce betonul oferă protecție împotriva coroziunii, și asigură rezistența la foc. [5]

Lucrarea de față aduce în evidență modul în care sistemele structurale de tip BAR reprezintă un mod de optimizare structurală pentru construcțiile cu deschideri mari și clădiri cu mai multe nivele. Pentru o proiectare corectă se are în evidență normativul NP 033-1999 [1] și ghidul de proiectare GP 042-1999 [2]. Elementele structurii BAR sunt alcătuite din stâlpi și grinzi cu profile din oțel laminat înglobat în beton.

Sistemele structurale din beton armat cu armătură rigidă se recomandă în următoarele situații: când se dorește mărirea eficienței sub aspectul rezistenței, rigidității și ductilității sistemelor structurale din beton armat. În situațiile în care se dorește reducerea sensibilității la ruperi fragile a elementelor din beton armat (elemente scurte, noduri, etaje flexibile). În situațiile în care betonul armat nu poate oferi soluții economice din punct de vedere structural iar oțelul conduce la sisteme structurale prea flexibile: deschideri prea mari pentru grinzi și plăci și înălțimi mari pentru elemente structurale verticale stâlpi, pereți. Când se dorește un transfer fluent de eforturi la clădiri cu structură mixtă alcătuită din substructuri din beton armat și substructuri din oțel laminat.



Structurile din beton armat cu armătură rigidă sunt indicate la clădiri multietajate cu regim de înălțime mare și cu deschideri mari aflate în zone cu seismicitate puternică.

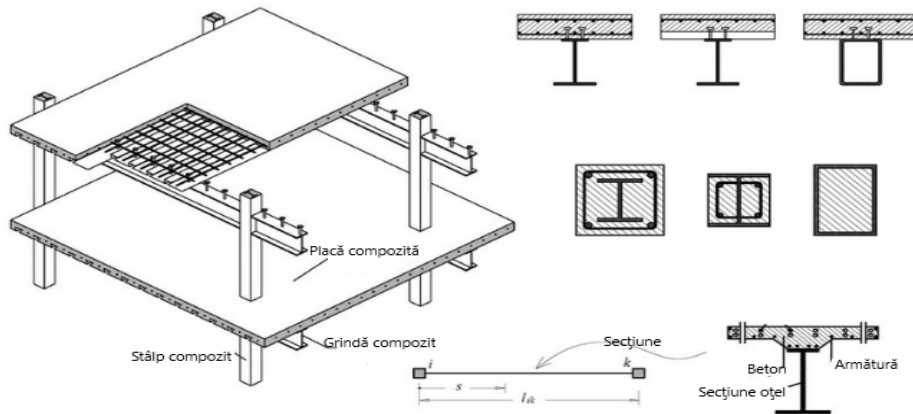


Figura 1. Realizare elemente structurale tip BAR [6]

În analiza acestor structuri, este foarte important să se țină cont de natura deformațiilor din cauza curgerii lente a betonului (fluaj și contracție).

Cercetările efectuate asupra temei „Analiza comportării structurilor din beton cu armătură rigidă” aduce în evidență începutul dezvoltării structurilor complet compozite dintre oțel și beton și implică o înțelegere cât mai bună în realizarea acestor construcții pornind de la relațiile de predimensionare a elementelor BAR până la avantajele și dezavantajele pe care le prezintă acestea în relațiile cu celelalte moduri de proiectare structurală.

2. Stadiul actual al cunoașterii sistemelor BAR

Construcția compozită cunoscută la ora actuală a fost folosită pentru prima dată într-un proiect la executarea unei clădiri și la un pod în SUA. Primele forme de structuri compozite au fost utilizarea oțelului înglobat în beton pentru elementele de încovoier. Grinzile formate din oțel-beton sunt cea mai recentă formă a metodei de construcție compozită.

În SUA realizarea structurilor tip BAR și calculul elementelor structurale se realizează conform normativului și brevetului de proiectare: ASHTO Standard Specifications for Highway Bridges; 24 CFR 200 Sub-part S și Concrete Slab Stresses in Partial Composite Beams and Girders, American Institute of Steel Construction, Vol.21 [4].

În brevetul de calcul „Concrete Slab Stresses in Partial Composite Beams and Girders, American Institute of Steel Construction, Vol.21” descrie modelul de calcul predimensional și determinarea tensiunilor din elementele structurale BAR pe baza comportamentului elastic presupus [4].

În Europa avem ca principal normativ BS EN 1990-1999 Eurocode 4 [3] care pune bazele sistemului structural, principalele metode de predimensionare și evaluare a elementelor componente (pe baza noilor reglementări și ulterior adaptate specificului fiecărei țări), dar și modul de calcul, determinarea efectelor acțiunilor încărcărilor. Totodată, în funcție de încadrarea și ulterior folosința construcției acest eurocod prevede și limitele specifice ale tipurilor structurale.

Eurocod 4 pune astfel bazele pentru proiectarea structurilor compozite din metal și beton pentru a realiza o aliniere la noile standarde europene a viitoarelor construcții.

BS EN 1990-1999 Eurocod 4 [3] ne indică modul corect de proiectare și executare al structurilor BAR. Astfel, acesta a fost începutul dezvoltării sistemelor complet compozite din oțel și beton.

Secțiunile din oțel înglobate în beton au fost inițial dezvoltate pentru a depăși problema rezistenței la foc și pentru a se asigura că stabilitatea secțiunii de oțel a fost menținută pe toată durata încărcării dar, și pentru forțele axiale și momentele încovoietoare. Acestea reduc nevoia de armătură laterală și de legare care reprezintă costuri ridicate, precum și asigurarea unei conexiuni mai ușoare la grinzile din oțel ale unei structuri BAR.

Plăcile compozite au fost create pentru a lua în considerare creșterea rezistenței care poate fi realizată dacă tabla profilată din oțel este luată în considerare în calculele de rezistență. Astfel, acestea asigură o armătură permanentă și integrală, ceea ce elimină necesitatea de a cofra și decofra.

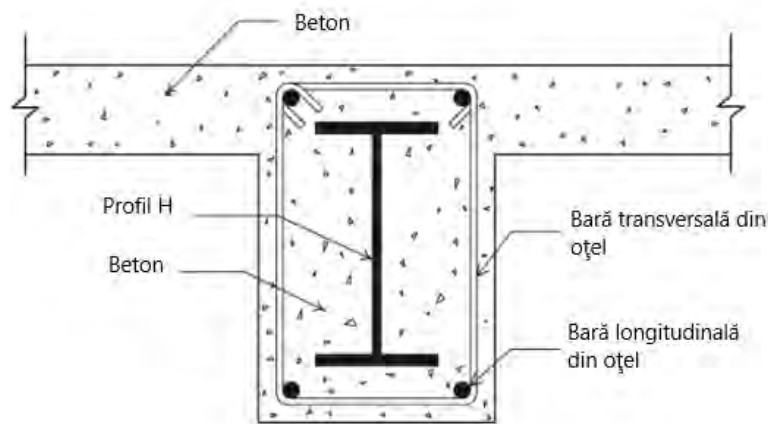


Figura 2. Grindă de oțel înglobată în beton; adaptat din „Comportamentul grinzilor de oțel înglobate în beton” [6]

Aceste avantaje includ totodată reducerea timpului de construcție datorită eliminării cofrajului și eliminarea cantităților excesive de oțel pentru armare. Acest lucru determină ulterior raportul dintre deschiderea și lățimea grinzilor tipice.

În etapele care vor urma, se va realiza o trecere în revistă amănunțită asupra predimensionării elementelor din construcțiile compozite, inclusiv grinzi, stâlpi și plăci profilate compozite.

Mai mult, metoda de proiectare abordată pentru realizarea acestui studiu de caz este prezentată în următoarele paragrafe .

3. Proiectarea structurilor BAR

Pentru etapa de predimensionare a elementelor structurilor BAR o să avem în permanență în evidență Ghidul de proiectare GP 042-1999 [2].

La calculul grinzilor am ales metoda simplificată pentru secțiunile simetrice și totodată determinarea poziției axei neutre. Această metodă de calcul este avantajoasă deoarece, determinăm cu o precizie exactă poziția axei neutre și secțiunea necesară grinzii iar volumul de calcul este redus.

Pentru realizarea predimensionărilor pentru stâlp am ales metoda simplificată și am realizat calcule pentru stâlpi solicitați la compresiune centrică, ulterior verificări la forța axială pentru secțiunea propusă.



Normativul de proiectare NP 033-1999 [1] oferă informații și noțiuni aprofundate despre obiectul și domeniul de aplicare, materialele utilizate, ulterior aprofundându-se spre partea de structură beton armat cu armătură rigidă și calculul elementelor componente.

Analizele efectuate asupra structurii au fost realizate în detaliu utilizând programul de proiectare SCIA Engineer, pentru realizarea verificărilor pentru ca structura P+8E, să fie corect conformată și dimensionată.

4. Studiu de caz-Analiza comparativă a unei clădiri de birouri realizată în două soluții structurale

Clădirea de birouri are un regim de înălțime P+8E, cu o înălțime de nivel de 3.20m (vezi Figura 3 și Figura 4).

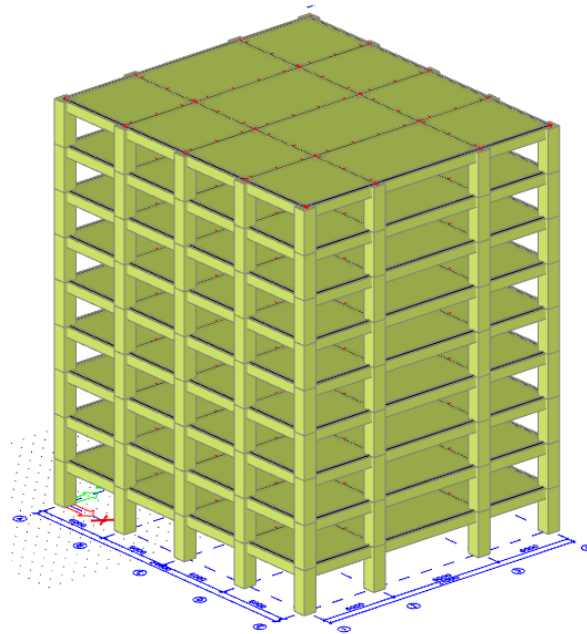


Figura 3. Prezentare structură 3D în cadre din beton armat

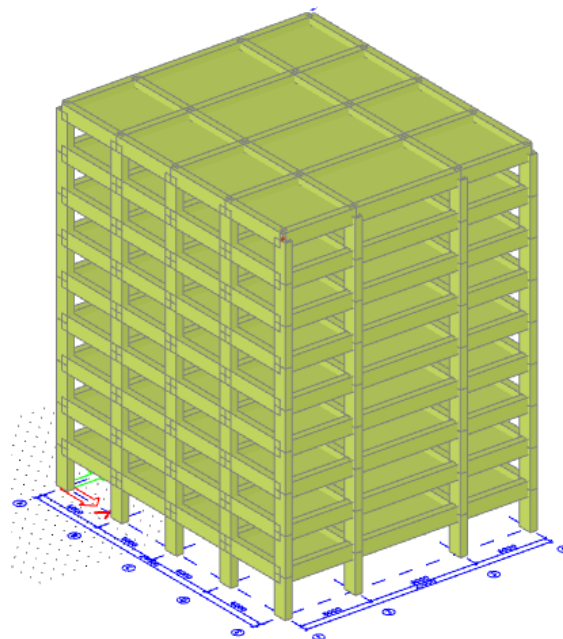


Figura 4. Prezentare structură 3D din beton armat cu armătură rigidă



În plan, structura are o formă dreptunghiulară (regulată), cu 4 travei de 6.00m și 3 deschideri de 6.00m și 9.00m. Au fost propuse și studiate două soluții structurale, prima variantă structura din beton cu armatură rigidă - BAR și a doua varianată structură în cadre din beton armat.

Amplasarea structurilor s-a făcut în zona București, caracterizată printr-o accelerație de vârf a terenului pentru proiectare $a_g=0.30g$ pentru evenimente seismice. Conform codului de proiectare seismică P100-1/2013 [7] avem perioada de colț a terenului $T_c=1.60s$.

În acest scop se vor analiza următoarele caracteristici:

- caracteristicile dinamice proprii ale structurii;
- verificarea deplasărilor de nivel (drift-urilor)

Studiul de caz a pornit de la un sistem structural de tip BAR în comparație cu o structură în cadre din beton armat. Cele două soluții structurale au fost introduse și analizate în programul de calcul SCIA Engineer. În urma predimensionărilor, au rezultat pentru structura BAR stâlpi 550x550 mm din beton clasa C25/30 și două profile U 300 OL 37 și grinda de 300x500 mm din beton clasa C25/30 și două profile U 300 OL 37. Pentru structura din cadre de beton armat în urma predimensionărilor au rezultat grinda longitudinală 250x650 mm, grinda transversală 400x700. Pentru stâlpii de colț și perimetrali avem secțiunea de 650x650 mm, stâlpii centrali au secțiunea 800x800 mm.

În urma realizării protocolului de calcul, am obținut următoarele valori pentru perioada fundamentală a celor două structuri realizate. Pentru structura din beton armat cu armatură rigidă am obținut o valoare a perioadei de 0.70s (vezi Figura 6).

Pentru structura în cadre din beton armat am obținut o perioadă fundamnetală de 0.75s așa cum este arătat sub formă tabelară (vezi Figura 5).

Mode	mega [rad/s]	Period [s]	Freq. [Hz]	W_{xi}/W_{xtot}	W_{yi}/W_{ytot}
1	8.34729	0.75	1.33	0.0000	0.8232
2	12.349	0.51	1.97	0.8052	0.0000
3	12.6704	0.50	2.02	0.0000	0.0000
4	25.2577	0.25	4.02	0.0000	0.1058
5	37.8929	0.17	6.03	0.1100	0.0000
6	38.4991	0.16	6.13	0.0000	0.0000
7	43.3217	0.15	6.89	0.0000	0.0344
8	56.0599	0.11	8.92	0.0000	0.0000
9	60.7331	0.10	9.67	0.0000	0.0169
10	64.4818	0.10	10.26	0.0082	0.0000
				0.9234	0.9803

Figura 5. Perioadele proprii de vibrație pentru structura în cadre de beton armat

Mode	mega [rad/s]	Period [s]	Freq. [Hz]	W_{xi}/W_{xtot}	W_{yi}/W_{ytot}
1	9.01937	0.70	1.44	0.0000	0.7765
2	9.56253	0.66	1.52	0.7829	0.0000
3	10.8111	0.58	1.72	0.0000	0.0000
4	28.8809	0.22	4.60	0.0000	0.1074
5	30.3226	0.21	4.83	0.1037	0.0000
6	34.3348	0.18	5.46	0.0000	0.0000
7	53.6872	0.12	8.54	0.0000	0.0425
8	54.1107	0.12	8.61	0.0000	0.0000
9	55.3749	0.11	8.81	0.0273	0.0000
10	55.8038	0.11	8.88	0.0143	0.0000
				0.9282	0.9265

Figura 6. Perioadele proprii de vibrație pentru structura în beton armat cu armatură rigidă



Analizând rezultatele obținute, se constată căteva diferențe la nivelul drift-urilor. Acestea sunt prezentate sub formă tabelară (vezi Figura 7).

Calculul Drifturilor pentru Structura în cadre de beton armat							Calculul Drifturilor pentru Structura BAR						
	drx	drex	γ	q	drx SLS	dra SLS		drx	drex	γ	q	drx SLS	dra SLS
P	4.2	4.2	0.5	4,725	9.9225	32	P	3.1	3.1	0.5	4,725	7.32375	32
1	11.7	7.5			17.71875		1	7.8	4.7			11.10375	
2	20	8.3			19.60875		2	12.5	4.7			11.10375	
3	27.6	7.6			17.955		3	17	4.5			10.63125	
4	35.2	7.6			17.955		4	21.2	4.2			9.9225	
5	41.3	6.1			14.41125		5	24.8	3.6			8.505	
6	46.7	5.4			12.7575		6	27.7	2.9			6.85125	
7	50	3.3			7.79625		7	30	2.3			5.43375	
8	52.3	2.3			5.43375		8	31.5	1.5			3.54375	
	drx	drex	c	q	drx SLU	dra SLU		drx	drex	c	q	drx SLU	dra SLU
P	4.2	4.2	1.07	4,725	21.23415	80	P	3.1	3.1	1.07	4,725	15.67283	80
1	11.7	7.5			37.91813		1	7.8	4.7			23.76203	
2	20	8.3			41.96273		2	12.5	4.7			23.76203	
3	27.6	7.6			38.4237		3	17	4.5			22.75088	
4	35.2	7.6			38.4237		4	21.2	4.2			21.23415	
5	41.3	6.1			30.84008		5	24.8	3.6			18.2007	
6	46.7	5.4			27.30105		6	27.7	2.9			14.66168	
7	50	3.3			16.68398		7	30	2.3			11.62823	
8	52.3	2.3			11.62823		8	31.5	1.5			7.583625	

Figura 7. Calculul drift-urilor pentru structurile Cadru și BAR

	BAR	CADRU
F1	65.74	54.91
F2	165.41	152.99
F3	265.09	261.52
F4	360.52	360.9
F5	449.59	460.29
F6	525.94	540.04
F7	587.44	610.66
F8	636.22	653.8
F9	668.03	683.88
Fb	3723.98	3778.99

Figura 8. Distribuția forței seismice pe niveluri pentru structura în cadre și structura BAR

Distribuția forței seismice pe niveluri este prezentată sub formă de tabel (vezi Figura 8) și sub formă grafică (vezi Figura 9).

Se remarcă faptul că forța seismică de bază este mai mare la structurile în cadre din beton armat, iar la structurile din beton armat cu armătură rigidă este mai mic, ceea ce indică modul în care profilele metalice din oțel contribuie la menținerea stabilității structurii la acțiunile seismice la care este supusă structura.

Aceste rezultate obținute, ne sunt importante în vederea alegerii sistemului structural optim pentru un astfel de caz de proiectare.

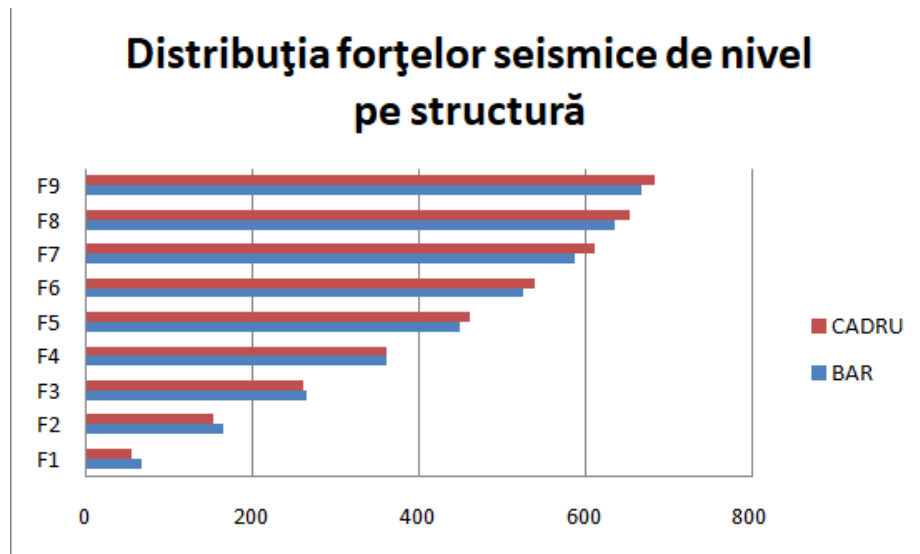


Figura 9. Distribuția forței seismice pe niveluri pentru cele două structuri

5. Concluzii

Ca o concluzie generală a studiului de caz, putem puncta faptul că, o soluție constructivă pentru proiectarea construcțiilor supraetajate cu deschideri mai mari de 6m o reprezintă structurile din beton armat cu armătură rigidă, deoarece prezintă o comportare structurală mai bună decât structurile în cadre din beton armat, având ca reper rezultatele analizei structurale.

Se observă îmbunătățirea comportării structurii încă prin prezența armăturii rigide (profilele laminate din oțel) care ajută la creșterea rezistenței de tracțiune. Rezultatele obținute pun în evidență caracteristicile și aspectele specifice structurilor tip BAR.

Secțiunile din oțel înglobate în beton ajută la depășirea problemei de rezistență la foc și asigură stabilitatea secțiunii de oțel pe toată durata încărcării dar, și pentru forțele axiale și momentele încovoietoare. Acestea reduc nevoia de armătură laterală și de legare care reprezintă costuri ridicate, precum și asigurarea unei conexiuni mai ușoare la grinzile din oțel ale unei structuri BAR.

Se remarcă rolul plăcilor compozite create cu scopul pentru a lua în considerare creșterea rezistenței care poate fi realizată dacă tabla profilată din oțel luată în considerare în calculele de rezistență. Astfel, acestea asigură o armătură permanentă și integrală, ceea ce elimină necesitatea de a cofra și decofra.

Din analizele obținute în programul de calcul automat SCIA Engineer se remarcă faptul că structura realizată din beton armat cu armătură rigidă prezintă o reducere a sensibilității la ruperi fragile remarcându-se prin deplasările și eforturile mici la acțiunile seismice la care este supusă structura compozită.

În urma analizei comportării structurilor se observă că structura BAR are o rigiditate mai bună în condițiile în care secțiunea stâlpilor este mai mică iar în cazul grinzilor cu deschideri mari soluția structuri BAR devine absolut necesară deoarece, pentru deschideri mari secțiunea grinzilor devine inefficientă rezultând secțiuni foarte mari ale grinzilor.

Aceste diferențe devin și mai semnificative cu cât regimul de înălțime al structurii crește, comportarea și eficiența din punct de vedere economic a structurilor din beton armat cu armătură rigidă crește odată cu înălțimea structurii.

În urma acestei analize, putem înțelege modul de comportare structurală a elementelor realizate din beton armat cu armătură rigidă cu scopul de a realiza o proiectare optimă și economică pentru aceste sisteme structurale.



6. Bibliografie

- 1.NP 033_1999, Cod de proiectare pentru structuri din beton armat cu armătură rigidă;
- 2.GP 042-1999, Ghid de proiectare și exemple de calcul pentru structuri din beton armat cu armătură rigidă;
- 3.Eurocode 4, Proiectarea structurilor compozite de oțel și beton.Partea 1-1:Reguli generale și reguli pentru clădiri. Anexa Națională;
4. <https://www.esglobalgroup.com/post/steel-concrete-composite-construction>;
5. http://inp.grf.bg.ac.rs/en/project/steel-concrete_composite_structures/;
6. <https://www.hindawi.com/journals/ace/2018/8672357/>;
- 7.P100-1/2013, Cod de proiectare seismică. Partea I. Prevederi de proiectare pentru clădiri.



ANALIZA SEISMICĂ NELINIARĂ PRIN PRELUCRAREA ACCELEROGRAMELOR ȘI DETERMINAREA CARACTERISTICILOR DINAMICE STRUCTURALE

Autori

Iulia M. ILIE^{1*}, Cristian R. MAN²

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, iulia.ilie12@yahoo.com

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, manradu51@yahoo.co.uk

Îndrumător

ȘEF L. DR. ING. Andrei FAUR

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Andrei.FAUR@dst.utcluj.ro

REZUMAT: *Având în vedere complexitatea analizei seismice neliniare și a dezbaterilor legate de relevanța datelor de intrare (input) necesare pentru obținerea unor rezultate (output) corecte într-un timp relativ scurt, această lucrare analizează prelucrarea accelerogramelor cu metode generale de prelucrare a semnalelor. În mod explicit, se utilizează algoritmi și metode de calcul bazate pe Transformata Fourier, implementarea numerică fiind realizată în limbajul de programare Python.*

Prelucrarea accelerogramelor în acest mod permite realizarea unor spectrograme care furnizează informații importante legate de variația spectrală a semnalului seismic în timp.

Pentru determinarea proprietăților structurale în termeni de rigiditate și amortizare, răspunsul structural este prelucrat în deplasări și accelerații în timpul cutremurului și post-cutremur.

Pentru obținerea caracteristicilor structurale dinamice cum ar fi caracteristicile de vibrație în termeni de perioadă fundamentală, perioade superioare relevante și amortizarea, au fost studiate diferite tipuri de structuri. Analize de tip Dinamice Neliniare (Time History) și Statice Neliniare (de tip Pushover) care să corespundă răspunsului spectral aferent zonei seismice vizate au fost efectuate cu programe specifice de calcul structural. De asemenea, proprietățile structurale post-cutremur au fost catalogate și corelate cu proprietățile structurale inițiale și cu cele dezvoltate succesiv în timpul simulării seismice, rezultatele obținute constituind, în fapt, un obiectiv important al lucrării.

Astfel, într-un timp relativ scurt și în funcție de zona seismică, sunt furnizate informații esențiale asupra unor posibile sensibilități structurale la deplasări, viteze sau accelerații induse de cutremur, și caracterizată în termeni de rigiditate și amortizare globală.

Cuvinte cheie: accelerograme, cutremur, pushover, analiză neliniară, proprietăți structurale.

Introducere

Evaluarea seismică a clădirilor este obligatorie conform codurilor de proiectare seismică deoarece prezice comportamentul structural în caz de cutremur. Analiza seismică liniară simplificată sugerată de aceste coduri nu se aplică clădirilor care prezintă iregularități structurale, clădirilor înalte sau speciale [1], caz în care este necesară analiza seismică neliniară – complexă și mare consumatoare de timp.

În contextul optimizării procesului de analiză seismică neliniară prin prelucrarea accelerogramelor, motivația acestei lucrări este de a determina caracteristicile structurale dinamice și răspunsul structural simultan și post-cutremur, obținând informații esențiale asupra unor posibile sensibilități structurale.

Un alt obiectiv important al lucrării constă în catalogarea și corelarea proprietăților structurale post-cutremur cu proprietățile structurale inițiale și cu cele dezvoltate în timpul simulării seismice, pentru

a evidenția variația răspunsului structural în termeni de rigiditate și amortizare globală, analizând în același timp deplasările remanente și factorul de comportare care ține cont de răspunsul neliniar al structurii.

Caracteristicile dinamice structurale au fost determinate pentru 3 tipuri de cadre plane aparținând unor clădiri cu perioade fundamentale de vibrație diferite. Zona seismică analizată este localitatea Hațeg, din județul Hunedoara ($a_g=0,1g$ și $T_C=0,7$ s). Accelerogramele utilizate au fost înregistrate de către Institutul Național de Fizică a Pământului (INFP) pentru evenimentul seismic care a avut loc în data de 14 februarie 2023 (componenta N-S) în județul Gorj ($a_g=0,15g$ și $T_C=0,7$ s), un cutremur puternic de intensitate VI pe Scara de Intensitate Mercalli Modificată (MMI Scale) [2]. Pentru acest cutremur, în vederea simplificării modului de referință, pe parcursul lucrării se va folosi notația: “G2023” (Cutremur Gorj 2023). În paralel, a fost analizat răspunsul structural utilizând accelerogramele înregistrate pentru cutremurul din București, 4 martie 1977, pentru obținerea unei imagini de ansamblu asupra comportării structurale în cazul unui eveniment seismic violent de intensitate VIII-IX MMI Scale. Pentru acest cutremur se va folosi notația: “B1977” (Cutremur București 1977).

1. Prelucrarea accelerogramelor

În contextul prelucrării accelerogramelor au fost utilizate metode de calcul și algoritmi de procesare a semnalelor [3], implementarea numerică fiind realizată în limbajul de programare Python. Convertirea domeniului dependent de timp într-un domeniu dependent de frecvență s-a realizat aplicând algoritmul bazat pe Transformata Fourier (Fast Fourier Transformation) [4].

$$\text{Relatia generală de calcul este: } y[k] = \sum_{n=0}^{N-1} e^{-2\pi j \frac{kn}{N}} x[n] \quad (1)$$

Unde: N = numărul valorilor; x = vector input; j = număr complex; n, k = indici de poziție

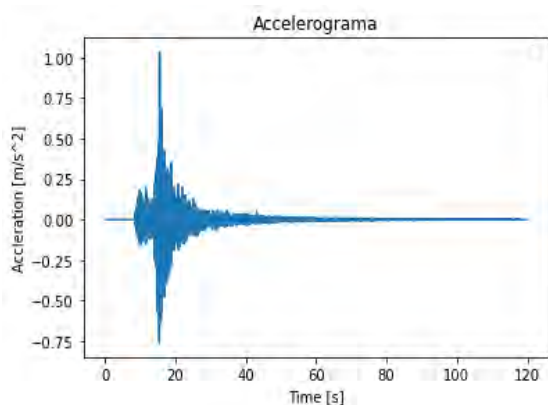


Figura 1.a. Accelerogramă direcție N-S, G2023

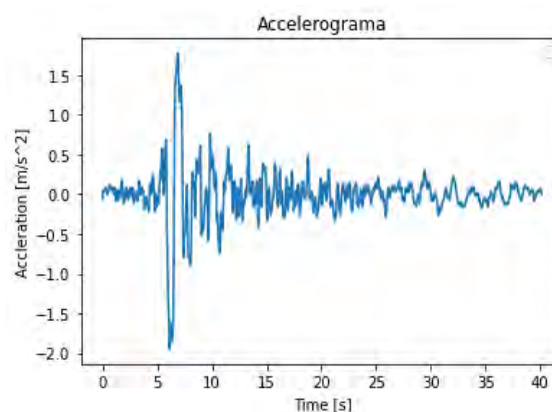


Figura 1.b. Accelerogramă direcție N-S, B1977

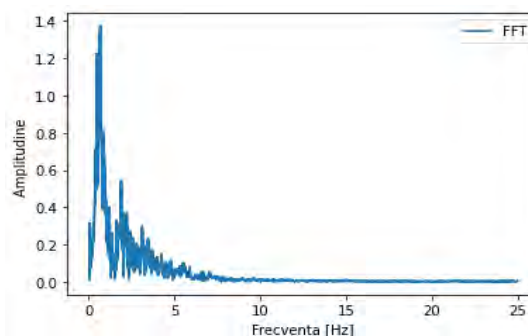
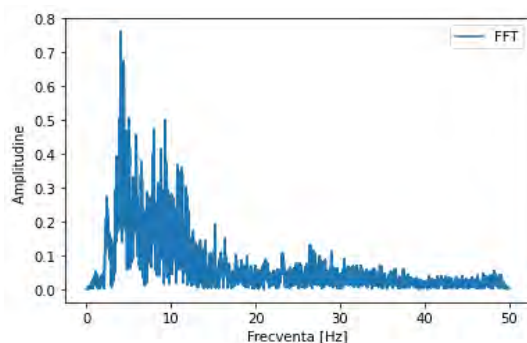


Figura 2.a. Spectru Fourier direcție N-S, G2023

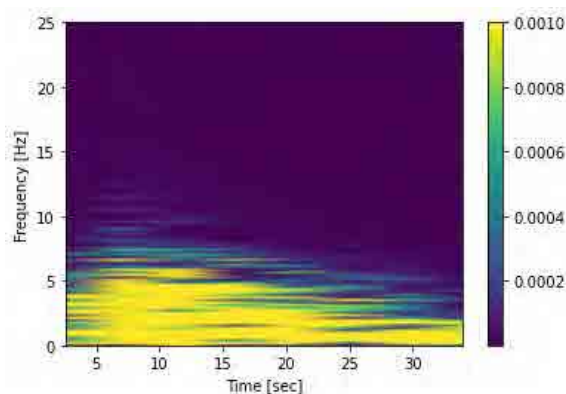


Figura 2.b. Spectru Fourier direcție N-S, B1977

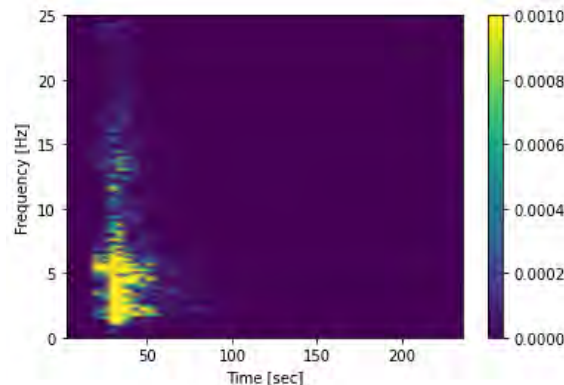


Figura 3.a Spectrogramă direcție N-S, G2023

Figura 3.b. Spectrogramă direcție N-S, B1977

2. Conformare structurală

Conformarea structurală a avut la bază analiza a 3 structuri cu perioade fundamentale de vibrație diferite, acestea fiind reprezentate ulterior prin 3 cadre transversale echivalente (V1, V2, V3). Fiecare cadru are câte 3 deschideri a câte 5 m, înălțimea de etaj de 3.5m, stâlpi cu dimensiunea de 50x50 cm și grinzi de 25x50 cm, utilizând un beton de clasa C30/37 și oțel S500. Clasa de ductilitate este medie (DCM), iar diferențele dintre cele 3 variante constau în numărul diferit de niveluri și perioada fundamentală de vibrație. Astfel, V1 are 1 nivel și $T=0.219$. Am ales această perioadă deoarece în articolul de referință [2], autorii au obținut o accelerație spectrală de 3.07 m/s^2 care corespunde unei perioade de 0.23 s, însemnând că structurile cu această perioadă ar fi cele mai solicitate. În același studiu [2], s-a obținut pentru aceeași acceleroگرامă un vârf al deplasării spectrale în jurul perioadei de 1 s, astfel V2 are 5 niveluri și $T=1.11$ s. De asemenea, se observă în aceeași lucrare [2] stabilizarea valorilor vitezelor spectrale începând cu o perioadă de aproximativ 2 s. Prin urmare, V3 are 8 niveluri și $T=1.8$ s.

Dimensionarea cadrelor a fost realizată conform prevederilor Eurocodului 2-2004 [5] și codului P100-1/2013 [1]. Astfel, pentru toate variantele structurale, procentul de armare longitudinal al grinzilor a fost calculat din Gruparea Seismică și este de 0.28% din secțiunea de beton, echivalent cu utilizarea a 2 bare cu diametrul de 16 mm sus și jos (4 $\Phi 16$). Procentul de armare longitudinal total al stâlpilor este de 1% și corespunde cu utilizarea a 8 bare cu diametrul de 20 mm (8 $\Phi 20$).

3. Realizarea analizei statice neliniare de tip Pushover

Analiza statică neliniară de tip Pushover [6] are ca scop aplicarea sarcinilor seismice treptat, urmărind procesul de formare al articulațiilor plastice până când se formează mecanismul de cedare. În acest caz, până când deplasarea la vârf atinge 2.5% din înălțimea clădirii, conform limitării deplasării la vârf din codul de proiectare seismică P100-1-2013 [1]. Criteriul de formare al unei articulații plastice presupune intrarea în curgere a armăturii întinse și este limitată de atingerea deformației limită ultime a betonului în fibra extremă comprimată a elementului structural.

Articulațiile plastice (AP) au fost generate automat în funcție de dimensionarea descrisă la punctul 2, și se formează indicând stadiul intermediar de control cărui îi aparțin, în funcție de codul de culoare. Aceste stadii oferă informații esențiale referitoare la gradul de degradare și la siguranța

structurală, cum ar fi: posibilitatea ocupării imediate a clădirii după cutremur (IO), siguranța vieții (LS), prevenirea colapsului (CP), colaps (C), etc.

Deoarece structura reală are mai multe grade de libertate (MDOF), însă spectrele de răspuns seismic sunt construite pentru sisteme cu un singur grad de libertate (SDOF), metoda de calcul static neliniar presupune transformarea sistemului real într-un sistem echivalent pentru ca parametrii structurii reale să poată fi puși în relație directă cu spectrele de răspuns.

Considerând deplasările structurale drept parametru esențial al răspunsului seismic structural, s-a aplicat Procedeele de calcul static neliniar (biografic) prezentat în Anexa D a codului de proiectare seismică P100-1-2013 [1] pentru echivalarea structurii reale cu mai multe grade de libertate (MDOF) cu un sistem echivalent cu un singur grad de libertate (SDOF). Acest procedeu implică construirea curbei forță tăietoare de bază – deplasare laterală caracteristică pentru structura reală MDOF și transformarea acesteia în curba corespunzătoare sistemului echivalent SDOF.

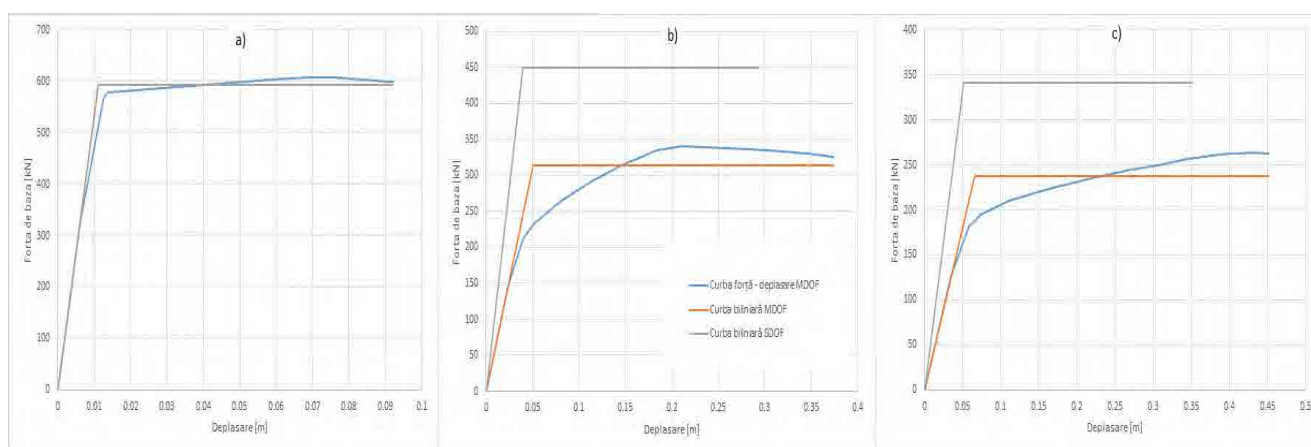


Figura 4. Curba forță de bază – deplasare caracteristică a)V1; b)V2; c)V3

Pentru controlul deplasărilor structurale ale sistemului SDOF echivalent, au fost determinate perioadele (T^*), deplasările țintă (d_t^*) și factorul de comportare necesar pentru a reduce forțele corespunzătoare răspunsului elastic ținând cont de răspunsul neliniar al structurii analizate. Calculul coeficientului de ductilitate q depinde de coeficientul de ductilitate și de perioada de control, astfel:

Coeficientul de ductilitate μ :

$$\mu = \frac{d_u^*}{d_y^*} \quad (2.1)$$

Unde d_u^* = deformația ultimă; d_y^* = deformația din momentul de curgere

Factorul de comportare q :

$$T^* < T_C \rightarrow q = \sqrt{2\mu - 1} \quad (2.2)$$

sau

$$T^* > T_C \rightarrow q = \mu \quad (2.3)$$

Unde T^* =perioada structurii a SDOF; T_C = perioada de control;

Deplasarea țintă reprezintă deplasarea maximă posibilă a sistemului MDOF echivalent. Aceasta este verificată în timpul analizei statice neliniare de tip Pushover pentru a fi atribuită unei anumite stări de degradare structurală. Reducerea degradărilor se poate realiza modificând dimensionarea inițială sau în cazuri extreme, soluția tehnică. Rezultatele au fost centralizate în Tabelul 1.

Varianta	T^* [s]	q	dt [m]
V1	$T^*=0.219$	3.944	0.004194
V2	$T^*=1.120$	7.391	0.063961
V3	$T^*=1.833$	6.929	0.102363

Tabelul 1. Perioada, factorul de comportare și deplasarea țintă a MDOF echivalent

Corespunzător deplasărilor globale obținute se determină starea structurii definită de configurația articulațiilor plastice și tendința către un anumit mecanism de cedare după cum se observă în figurile de mai jos.

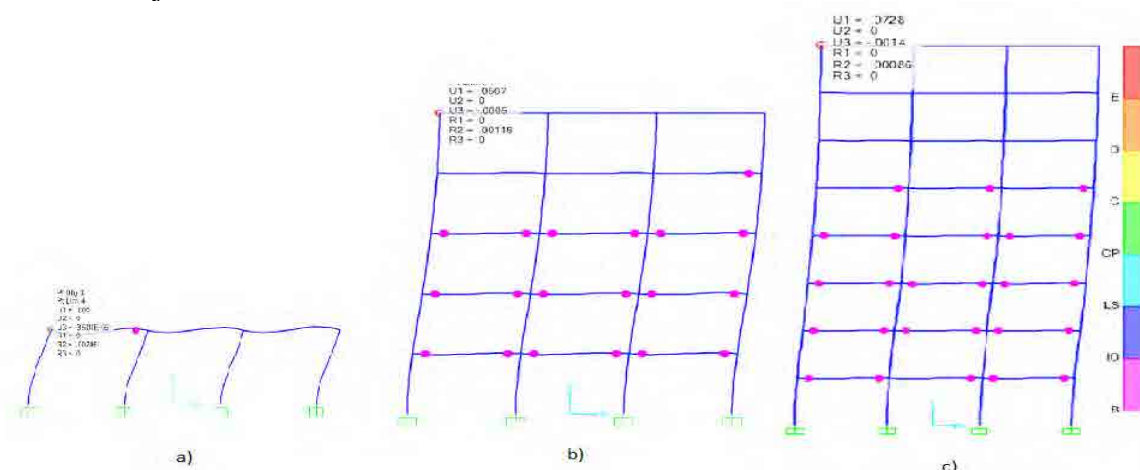


Figura 4.a. Formarea articulațiilor plastice pentru dt ,
a)V1, b)V2, c)V3 – B1977

4. Analiza dinamică neliniară (Time History)

Pentru determinarea comportării structurale în timpul cutremurului și post-cutremur, s-a efectuat analiza dinamică neliniară de tip Time History, obținând pe lângă variația răspunsului structural în timp și o imagine de ansamblu asupra deplasărilor remanente.

Variantele structurale analizate nu au dezvoltat deplasări remanente în urma cutremurului G2023, perioada fundamentală de vibrație și rigiditatea structurală rămânând relativ constante. De asemenea, chiar dacă sistemele prezintă degradări structurale marcate prin prezența articulațiilor plastice, acestea sunt în stare incipientă. Proprietățile structurale în cazul analizei dinamice neliniare de tip Time History vor fi analizate înainte de cutremur, în timpul cutremurului și post-cutremur.

În ceea ce privește cutremurul B1977, influența schimbării de rigiditate (k) și a deplasărilor remanente este considerabilă pentru V2 și V3. În cazul V1 influența acestor factori nu este resimțită, motiv pentru care V1 nu va fi tratată în tabelele următoare.



Var.	T [s]	k [kg/s]
V2	T=1.07	48830
V3	T=1.37	60390

Tabelul 2. Proprietăți structurale inițiale

Var.	T [s]	Amortizare
V2	T=1.07→1.46	5%
V3	T=1.37→2.4	7%

Tabelul 3. Proprietăți structurale dezvoltate în timpul cutremurului B1977

Var.	T [s]	k [kg/s]
V2	T=1.46	37320
V3	T=2.4	34470

Tabelul 4. Proprietăți structurale post-cutremur B1977

Deplasările la vârf din timpul cutremurului și post-cutremur pentru V2 și V3 sunt ilustrate în Figura 5 a) și b).

Deplasarea din timpul cutremurului este deplasarea care aparține intervalului de timp (0 s – 40 s), după acest interval (40 s – 50 s) considerându-se deplasarea post-cutremur numită deplasare remanentă. De asemenea, analizând cel de-al doilea interval se determină amortizarea sistemului apărută în timpul vibrațiilor libere. Inițial, amortizarea a fost considerată ca fracțiune de 5% din amortizarea critică.

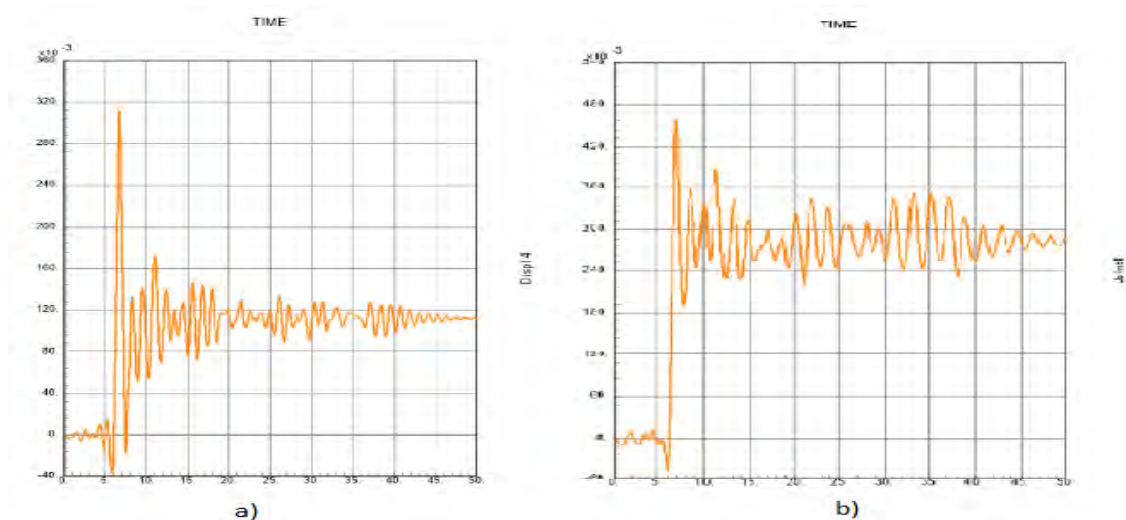


Figura 5. Diagrama forță – deplasare din timpul cutremurului și post-cutremur pentru a)V2 si b)V3

Var.	Deplasare remanentă B1977 [m]
V1	x
V2	0.12
V3	0.27

Tabelul 5. Deplasări remanente

Pentru o comparație reală a ordinului de mărime în termeni de accelerații la bază și la vârf, s-au prelucrat folosind Transformata Fourier [4] și Spectrograma rezultatele analizei dinamice neliniare în timp (Time History).

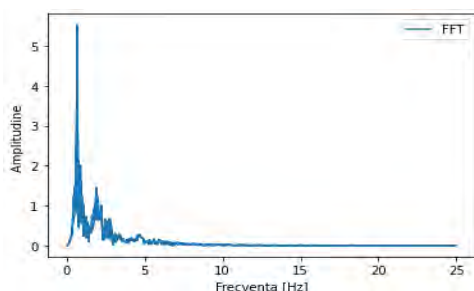


Figura 6.a. Spectru Fourier din timpul cutremurului, V2-la varful structurii

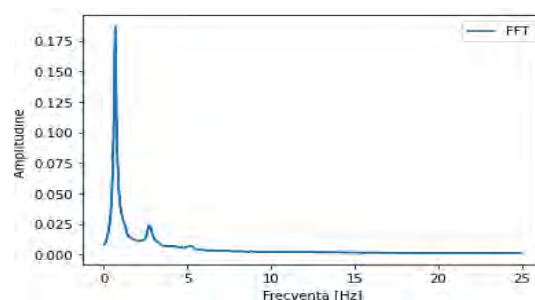


Figura 6.b. Spectru Fourier din post-cutremur, V2-la varful structurii

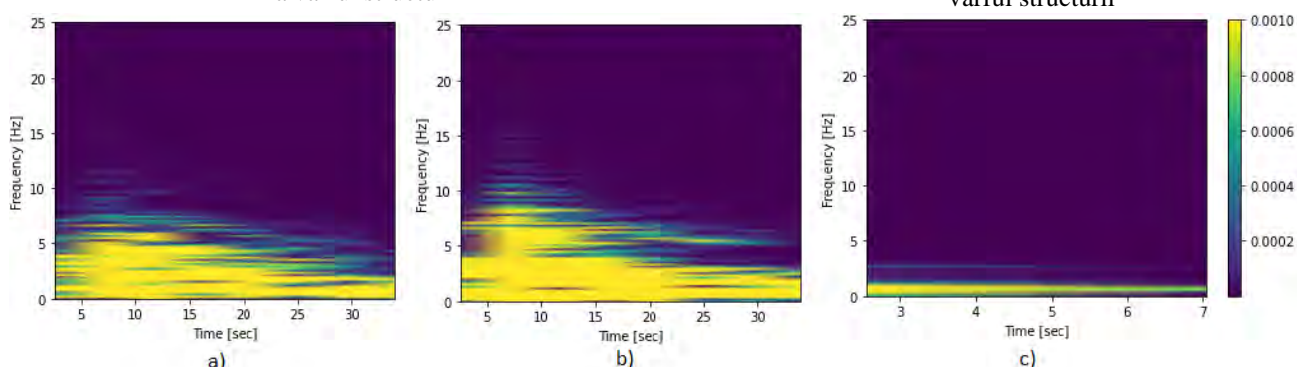


Figura 7. Spectrograma pentru V2 a) la baza structurii in timpul cutremurului; b) la varful structurii in timpul cutremurului; c) la varful structurii post-cutremur

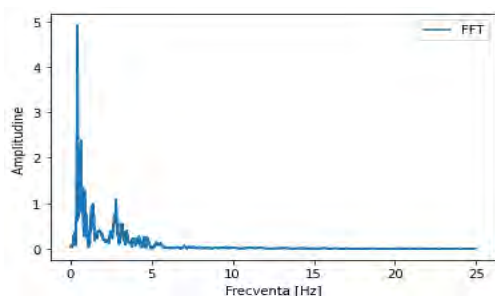


Figura 8.a. Spectru Fourier din timpul cutremurului, V3-la varful structurii

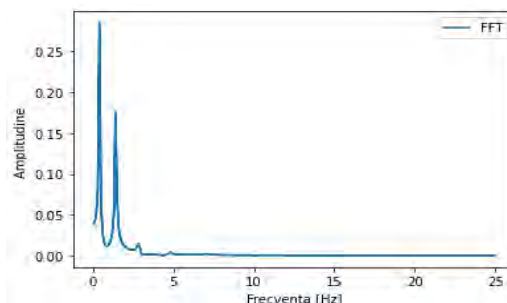


Figura 8.b. Spectru Fourier din post-cutremur, V3-la varful structurii

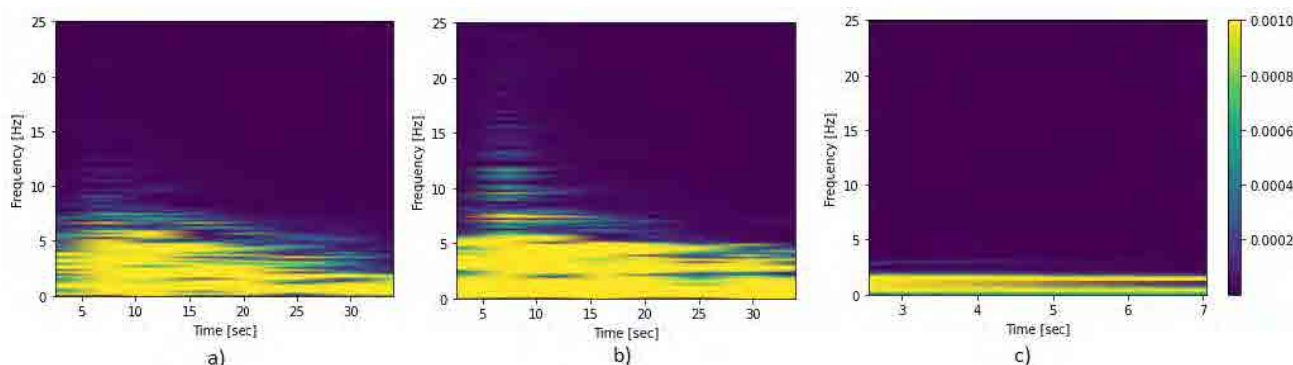


Figura 9. Spectrograma pentru V3 a) la baza structurii in timpul cutremurului; b) la varful structurii in timpul cutremurului; c) la varful structurii post-cutremur



5. Rezultate

Pentru V2, în conținutul de frecvențe pentru durata de după 20 s apare o separație pronunțată a frecvențelor datorată degradării structurale.

În cazul V3, în timpul cutremurului se observă până la secunda 10 o accentuare a frecvențelor superioare, iar de la secunda 20 la 40, se observă o separație pronunțată pentru frecvențele de până în 5 Hz, respectiv în jurul perioadei de 0.2 s. Post-cutremur, se observă până la secunda 4 faptul că banda de frecvențe este relativ uniformă și are o lățime de aproximativ 2 Hz. Peste acest interval se observă o separație clară în două frecvențe: 0.5 Hz și 2 Hz.

De asemenea, se observă creșterea perioadei proprii de vibrație post-cutremur și implicit reducerea rigidității structurale. Rigiditatea sistemul V2 s-a redus cu 23.5% post-cutremur, iar rigiditatea sistemului V3 cu 43% (vezi Tabelele 2, 3, 4). Astfel, în cazul proiectării structurale pentru o eventuală replică a cutremurului B1977 sau la un nou cutremur, proprietățile structurale inițiale considerate pentru V2 și V3 vor fi cele din Tabelul 4.

6. Concluzie

Datorită prelucrării cu ajutorul spectogramelor a rezultatelor obținute în urma analizei dinamice neliniare de tip Time History, s-au putut observa schimbări ale comportării structurale în termeni de frecvență și perioadă, acestea influențând rigiditatea structurală și amortizarea globală a sistemului.

Mulțumiri

Mulțumiri deosebite domnului profesor îndrumător Șef L. Dr. Ing. Andrei FAUR pentru susținerea și sprijinul acordat pe întreaga perioadă a elaborării prezentei lucrări.

Mulțumiri Institutului Național de Fizică a Pământului (INFP România), în special domnului Alexandru Țigănescu pentru suportul acordat în realizarea acestei lucrări.

BIBLIOGRAFIE

1. P100-1-2013, *Cod de proiectare seismică, Partea I* (2013).
2. Alexandru Țigănescu, Bogdan Grecu, Alexandru Marmureanu, Constantin Ionescu, *Strong ground motion parameters of the ML 5.2 and ML 5.7 crustal earthquakes in Gorj, Romania*, Preliminary report, 2023.
3. Mahmood Hosseini, Salar Arian Moghaddam, Sayed Mohamad Motovali Emami, *A METHOD FOR SIMPLIFICATION OF EARTHQUAKE ACCELEROGRAMS FOR RAPID TIME HISTORY ANALYSIS BASED ON TIME-FREQUENCY REPRESENTATIONS*, 11th International Conference on Vibration Problems, Lisbon, Portugal, 9-12 September 2013
4. <https://docs.scipy.org/doc/scipy/tutorial/fft.html#fast-fourier-transforms>
5. EN 1992-1-1: *Eurocode 2: Design of concrete structures*
6. Helmut Krawinkler, *Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation*, Department of Civil Engineering, Stanford University, Engineering Structures, Vol. 20, Nos 4-6, pp. 452-464, 1998.



REDUCEREA NIVELULUI DE UMIDITATE ÎN PEREȚII UNEI CONSTRUCȚII DIN ZIDĂRIE PRIN METODA FREEZTEQ

Autor

Mădălina MĂRĂSCU

Facultatea de Construcții, Universitatea Transilvania din Brașov, marascu_madalina@yahoo.com

Îndrumător

Conf.dr.ing. Radu MUNTEAN

Facultatea de Construcții, Universitatea Transilvania din Brașov, radu.m@unitbv.ro

REZUMAT: *Lucrarea prezintă informații cu privire la gestionarea și, mai ales, tratarea problemelor majore cu care se confruntă multe construcții din zidărie: apariția fenomenului de umezire a elementelor de construcție. Cauzele apariției umidității sunt multiple, la fel și formele de manifestare a fenomenului. Există diverse metode de reducere a nivelului de umiditate din pereții de zidărie sau de stopare a fenomenului, iar dintre acestea, metoda FREEZTEQ a fost analizată în detaliu și aplicată pe un studiu de caz.*

Cuvinte cheie: hidroizolații, umiditate, igrasie, freeztec, reabilitare.

1. Introducere

Hidroizolarea corespunzătoare a construcțiilor din zidărie este esențială. Deși hidroizolația reprezintă doar o mică parte dintr-un proces complex de construcție al unei structuri, aceasta este importantă și nu trebuie ignorată. Hidroizolațiile au rolul de a proteja construcția împotriva infiltrațiilor care, odată cu trecerea timpului, pot afecta sau chiar distruge construcția.

În cazul în care o construcție nu beneficiază de hidroizolații sau lucrările nu sunt executate corespunzător, aceasta este supusă multor riscuri. Printre primele componente afectate de acțiunea apei este fundația, executată de multe ori din beton armat, a cărei armătură înglobată prezintă risc de coroziune. De asemenea, nu trebuie uitați pereții, realizați din zidărie de cărămidă, și care, odată afectați de infiltrațiile de apă, sunt supuși variațiilor de temperatură și fenomenului de îngheț-dezghet, care conduc la diminuarea capacităților de izolare termică, apariția igrasiei și a mucegaiului la interior și chiar la pierderea capacității portante.

Ca urmare, pentru reabilitarea hidroizolațiilor construcțiilor afectate de apariția fenomenului de umezire, în ultimii ani au fost dezvoltate diferite metode, aplicabile în funcție de elementul și materialul de construcție afectat.

Lucrarea prezintă o astfel de soluție de reabilitare a hidroizolațiilor folosind sistemul *Freeztec*. Printre avantajele acestuia se pot enumera: ușurința de punere în operă, eficiență și durabilitate în timp, raport calitate - cost optim.

1.1 Definiții

Hidroizolația reprezintă o structură etanșă, continuă și omogenă pentru protecția elementelor sau pieselor de construcție împotriva infiltrației sau exfiltrației a apei sau a umidității naturale a mediului [1]. Hidroizolațiile sunt materiale sau sisteme aplicate pentru a preveni pătrunderea apei sau a umidității în interiorul clădirii sau structurii construcției. Acestea pot include membrane de impermeabilizare, plăci speciale de izolare, sau alte asemenea materiale. Acestea sunt esențiale pentru protejarea structurilor împotriva deteriorării cauzate de infiltrarea apei și a umidității, precum și pentru a preveni dezvoltarea mucegaiului.



Hidroizolat sau *impermeabil* reprezintă o caracteristică a obiectelor ce sunt relativ neafectate de apă sau rezistente la infiltrația de apă în anumite condiții [2].

Termenul de *impermeabil* se referă adesea la penetrarea apei. Permeabilitatea la vaporii de apă se raportează la rata de transmitere a vaporilor de apă [3].

Igrasia reprezintă o umezeală persistentă a pereților de zidărie ai unei construcții, din cauza apei reținute în porii materialelor din care sunt executați [4].

Mucegaiurile sunt ciuperci microscopice care se înmulțesc prin spori. Ele pot apărea atât în interior, cât și în exteriorul construcțiilor.

Asanarea este procesul de înlăturare a apelor în exces pentru ca o construcție sau un teren să devină salubru.

Procesul de *hidroizolație* se află printre cele mai importante etape ale unei construcții noi, așa ca buna execuție a acesteia nu trebuie tratată superficial. Datorită hidroizolării, materialul sau elementul de construcție care vine în contact cu apa în anumite condiții specifice, poate rezista în timp, păstrând-și caracteristicile fizico-mecanice proiectate. Doar hidroizolația previne infiltrarea apei care, în timp, poate provoca pagube semnificative întregii construcții.

2. Materiale și metode de realizare a hidroizolațiilor

Hidroizolațiile construcțiilor sunt importante din mai multe puncte de vedere, cum ar fi:

- protejarea structurii clădirilor: hidroizolația are rolul de a proteja structura împotriva pătrunderii apei, care poate duce la deteriorarea acesteia;
- evitarea dezvoltării mucegaiului și ciupercilor care pot dăuna sănătății oamenilor și, implicit, îmbunătățirea calității vieții, prin reducerea umidității excesive din interiorul clădirii;
- creșterea eficienței energetice prin reducerea pierderilor de căldură prin pereții clădirilor, ceea ce poate duce la o creștere a eficienței energetice și la scăderea costurilor de încălzire și răcire;
- prevenirea inundațiilor: hidroizolația poate preveni inundațiile și alte daune provocate de apă, care pot fi costisitoare și greu de reparat.

2.1. Tipuri de hidroizolații

Hidroizolații bituminoase: sunt impermeabile, rezistente la deformare și au o aderență bună. În cele mai multe cazuri sunt utilizate la acoperișuri, fundații, poduri și tuneluri.



Figura 1. Hidroizolații la acoperiș [5].



Figura 2. Hidroizolație pentru fundație [6].

Hidroizolații din poliuretan: sunt elastice, rezistente la temperaturi variabile și la acțiunea razelor UV. Sunt utilizate mai ales la bazine de înot, terase.



Hidroizolații din membrană PVC: sunt flexibile, impermeabile și rezistente la UV. Sunt folosite în construcția de acoperișuri și terase.

Hidroizolații din faianță emailată: impermeabile, rezistente la uzură și la temperaturi ridicate. Sunt utilizate mai ales în construcția de piscine, băi turcești și saune.

Hidroizolații lichide cum ar fi cele din cauciuc acrilic: sunt folosite pentru acoperișuri, pereți din beton, balcoane, tencuieli vechi erodate de umezeală, băi, construcții din lemn și metal [7].

Hidroizolații din sticlă lichidă: sunt impermeabile și rezistente la acțiunea produselor chimice. Sunt utilizate în construcția de rezervoare de apă, construcții subterane și fundații.

2.2. Metode de asanare sau impermeabilizare a elementelor structurale ale construcțiilor

Literatura de specialitate tratează din ce în ce mai multe metode de asanare, respectiv de impermeabilizare datorită apariției unei game diversificate de produse și tehnologii noi dezvoltate în ultimii ani.

Metodele clasice de asanare a fundației și a zidăriei:

- subzidirea manuală - constă din introducerea la nivelul convenabil a unei izolații hidrofuge (carton bitumat, pânza bitumată, etc.) prin desfacerea zidăriei pe lungimi de cate 1 m și pe înălțimea a 3 rânduri de cărămidă sau 20 - 30 cm;
- subzidirea mecanică - constă în executarea unor fante foarte înguste pe grosimea zidăriei (circa 4 cm), care se obțin prin tăierea materialelor cu mașini speciale. Această metodă mai prevede, în afară de tăierea zidăriilor și introducerea unui material izolant orizontal (folii din fibră de sticlă-plastic).
- uscarea fundațiilor / zidăriei prin ventilare - reprezintă una din cele mai vechi intervenții aplicate construcțiilor pentru eliminarea fenomenului de igrasie. Cele mai întâlnite soluții la construcțiile existente constau în executarea unui canal de ventilație având o formă dreptunghiulară sau ovoidală executat pe perimetrul exterior al fundației.
- o tehnologie mai nouă o reprezintă uscarea pereților folosind aparatul AQUAPOL care acumulează anumite unde electromagnetice naturale, care transformate și redirecționate spre pereți duc la scăderea forței de adeziune dintre molecula de apă acumulată în capilarele zidului și molecula materialului de construcție silicatică.

Metodele chimice au devenit populare în ultima perioadă, mai ales cele prin injectare.

- tehnologia FREEZTEQ - este un procedeu bazat pe difuzia lentă a unei soluții alcaline de silicoanați de metil și potasiu în porii comunicanți unde prin procesul de hidrofobizare. Se obține în final un mediu impermeabil la ascensiunea capilară.
- tehnologia BIOSAL - este un sistem combinat: umple porii (astupând porii capilari) și face zidăria să devină hidrofobă măbind unghiul de umezire între lichid și pereții porilor, oferind în acest fel o siguranță maximă.
- tehnologia NORDRY 100BASE - este un produs concentrat alcătuit din elemente ce realizează transformări funcționale. Produsul diluat cu apă în cantitățile indicate și apoi injectată în pereți are capacitatea de a face ca aceștia să respingă apa până în profunzime, prin realizarea unei saturări a microporilor materialului și micșorând în același timp tensiunea superficială din pereți respectiv a macroporilor combaterea umidității prin sistemul DRY KIT - se utilizează pentru zidării din piatră sau mixte (piatră cu cărămidă). Se bazează pe același principiu de rupere a capilarității a la tehnologia Comer, doar că bariera realizată este de natură chimică și nu mecanică. Practic, se fac găuri în zid prin care se injectează soluții speciale.
- tehnologia DRYZONE - este o cremă hidrofobă specială care se introduce în lungul patului de mortar, la intervale regulate, în găuri forate în prealabil. Dryzone se difuzează



în perete și formează un strat continuu, hidrofob. Acesta previne ascensiunea umezelii în perete.

- Sistemul STOMURISOL- este folosit pentru întreruperea ascensiunii umidității prin capilaritate. Substanța fluidă injectată, pe baza de micro-emulsie siliconică, se poate utiliza la toate tipurile de zidărie fără deteriorarea materialelor de construcție alăturate. Acest sistem nu necesită o pre-tratare a zidăriei iar aplicarea poate să fie atât în interior cât și în exterior. Se utilizează cu precădere la hidroizolarea soclurilor.

Metodele prin tăiere sunt utilizate mai ales la clădirile vechi, monumente istorice.

- metoda COMER – una din cele mai populare metode și care poate fi folosită la pereții exteriori realizați din cărămidă, beton și blocuri de argilă expandată. Pentru pereții realizați din roci dure sau din piatră se folosesc utilaje de forat. Procedul implică aplicarea mortarului de ciment cu aditivi anti contracție la materialul izolator. Pentru fixarea foliei impermeabile și asigurarea stabilității zidului sunt introduse în tăietura pene de ancoraj tip Corner pentru fiecare secțiune de perete (aproximativ 1 ml). Mortarul introdus în tăietura protejează materialul izolator și asigură stabilitatea peretelui [8].
- o variantă a acestei metode este metoda COMER-EPOX care este practică în zonele seismice sau pe pereții cu structură degradată.

2.3. Metoda FREEZTEQ

FREEZTEQ este un sistem eficace de combatere a igrasiei, omologat în Marea Britanie și care oferă câteva avantaje față de alte produse chimice, similare. Sistemul se bazează pe efectul obținut în urma reacțiilor fizico-chimice de hidroizolare în porii și capilarele zidului tratat. Procedul s-a dovedit foarte eficient la refacerea hidroizolației în cazul clădirilor vechi și poate fi aplicat la:

- ziduri din cărămidă de orice grosime;
- ziduri din piatră sau bolțari din lemn;
- ziduri cu goluri obișnuite;
- ziduri cu umplutură de pietriș.

Totuși, metoda nu poate fi folosită la construcțiile noi unde mortarul este puternic alcalin.

2.3.1. Descrierea produsului

Sistemul Freezteq a fost inventat în 1965 și a fost aplicat la nivel global ca mijloc de izolare la umezeală a unei varietăți de tipuri de zidărie. Freezteq este o soluție încercată și testată la problema umidității în creștere.

Este un sistem inovator, unic și eficient datorită difuziei lente de răspândire a ingredientelor active. Acest lucru permite ca substanțele chimice să fie dispersate prin capilare și să fie cât mai eficiente posibil. Sistemul de curgere rezistent la umezeală se bazează pe o soluție care conține siliconați care vin sub formă de batoane individuale (figura 3), care sunt congelate înainte de utilizare. Odată ce găurile au fost făcute în linia de mortar a peretelui, acestea sunt introduse direct în rosturile mortarului urmând instrucțiunile furnizate [9].



Figura 3. Batoane individuale [10].

2.3.2. Tehnologia de aplicare [10].

Înainte de orice instalare, batoanele trebuie introduse într-un congelator pentru cel puțin 48 h. Acestea trebuie să fie complet înghețate. Ele nu pot fi aplicate sau tăiate până când nu au ajuns în această stare

Tencuiala interioară afectată trebuie îndepărtată la o înălțime de minim 200 mm deasupra nivelului de deteriorare. Perforarea peretelui poate fi efectuată atât din interior cât și din exterior. Găurile trebuie făcute cu un burghiu de 22 mm. Executarea găurilor în perete trebuie să fie mai scurtă cu 25 mm față de grosimea zidului. Prima gaură trebuie să fie făcută la 55 mm de marginea peretelui. A doua cât și următoarele găuri trebuie să fie făcute la o distanță de 110 mm.

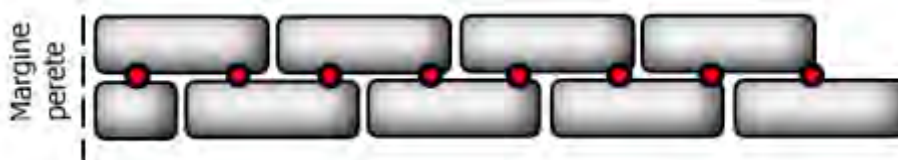


Figura 4. Model de foraj orizontal în rosturile zidăriei: distanța de 110 mm între centrele găurilor forate și de 55 mm față de marginea zidului [10].

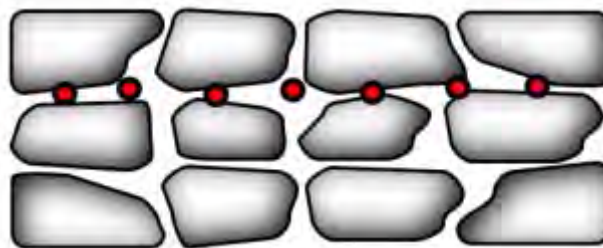


Figura 5. Model de foraj orizontal în rosturile zidăriei de piatră. [10]

Găurile exterioare trebuie să fie executate la minim 150 mm deasupra nivelului solului sau un rând de cărămizi deasupra vechii izolații existente care a încetat să mai fie eficientă.

Aplicații din exterior:

- la minimum de 150 mm deasupra solului, sau
- un rând de cărămizi (în funcție de situație) deasupra vechii izolații existente care a încetat să mai fie eficientă.

În cazul podelele interioare din beton (figura 6), găurile exterioare trebuie să fie forate deasupra nivelului podelei interioare.

În cazul podelelor interioare din lemn, găurile exterioare trebuie să fie forate sub structura interioară a acestora (figura 7).

Aplicații din interior:

Dacă podeaua interioară este din beton, perforarea se face în primul rost de mortar, chiar deasupra suprafeței podelei (figura 6).

În cazul în care podeaua interioară este din lemn suspendată, și nu se poate ajunge sub aceasta, perforarea se face în primul rost de mortar chiar deasupra suprafeței podelei sau cât mai aproape de aceasta (figura 7).

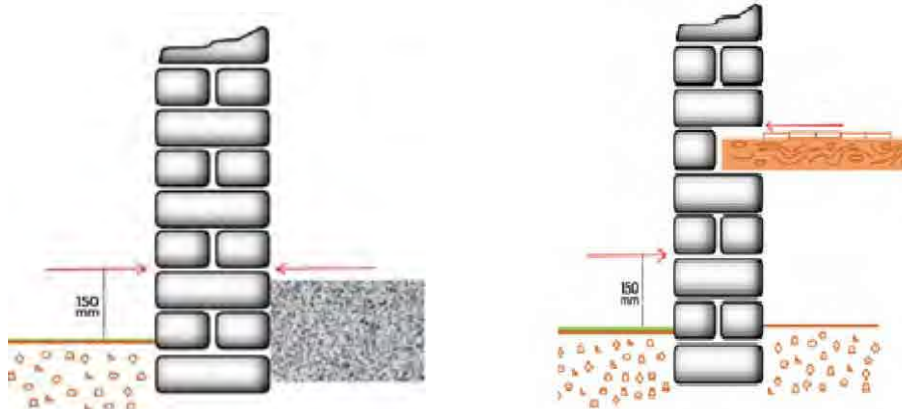


Figura.6. Perforarea de la interior la pardoseli solide [10]. Figura.7. Variante de perforare pentru podeaua interioară din lemn suspendată [10].

După realizarea forajelor în zidărie, se trece la introducerea batoanelor înghețate în găuri:

- se scoate batonul congelat din plic. Acesta poate fi tăiat din plic pur și simplu folosind o pereche de foarfece sau un cuțit.
- se împinge batonul înghețat în orificiul pre-găurit. Batoanele trebuie împinse complet în fiecare orificiu. Trebuie folosite suficiente batoane de gheață pentru a umple gaura. Numărul de batoane folosite depinde de grosimea peretelui.
- odată ce toate găurile au fost umplute complet, aceasta este clasificată ca o singură aplicație.
- după ce prima aplicație de Freeztecq s-a topit complet, se repetă primii doi pași până când au fost făcute un total de patru aplicații în fiecare gaură.

După ce a fost făcută prima umplere, restul de trei umpluturi trebuie să fie executate într-o perioadă de 24 de ore. După finalizarea aplicațiilor Freeztecq, orificiile nu trebuie umplute cu mortar sau altele materiale asemănătoare timp de minim 3 zile. Ulterior, umplerea găurilor se face cu un mortar de rezistență adecvat pentru a menține integritatea structurală a peretelui. În cazul în care tencuiala trebuie înlocuită din cauza problemei inițiale de umiditate, sub linia Freeztecq (și cel puțin 50 - 100 mm deasupra liniei găurilor), trebuie realizată folosind un strat de bază de ciment care conține un aditiv impermeabil. Redecorarea poate fi efectuată numai atunci când tencuiala este complet uscată.

3. Studiu de caz – corpul K al Universității Transilvania din Brașov

Clădirea investigată a fost construită la sfârșitul secolului XVIII, având regimul de înălțime P+2E, iar structura de rezistență este realizată din zidărie portantă.

În urma investigațiilor realizate, s-a constatat faptul că imobilul se află într-o stare tehnică nesatisfăcătoare, fiind prezentate degradări atât la nivelul fațadei cât și la cel al pereților interiori. Pe fațada principală, în zona de acces cât și în dreptul ferestrelor de la etajul I se pot identifica multiple degradări datorate infiltrațiilor de apă (figura 8).

De asemenea, și în interiorul clădirii în încăperile de la parter, pot fi identificate zone cu igrasie pronunțată (figura 9).

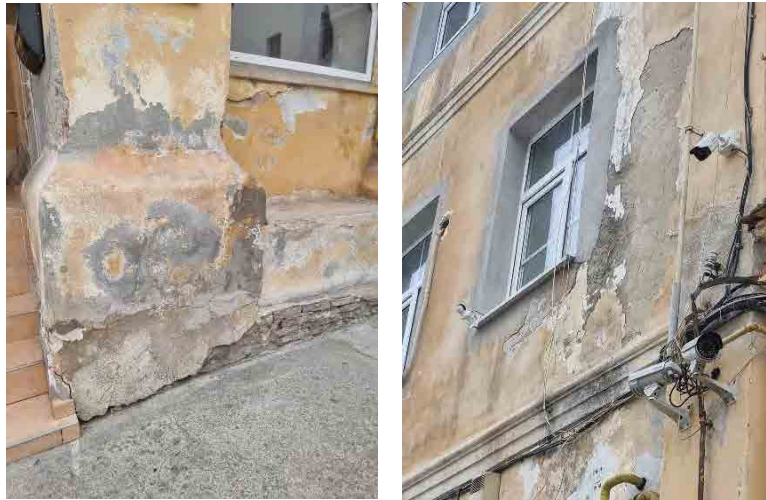


Figura 8. Degradări la fațadă principală.



Figura 9. Gradul de degradare din interiorul clădirii.

Având în vedere anvergura lucrărilor de intervenție necesare, pe baza experiențelor anterioare în reabilitarea unui alt corp al Universității care prezenta degradări similare cu acesta, metoda recomandată pentru asanarea pereților a fost metoda Freezeq. Această metodă se va aplica doar în interiorul clădirii, pe exterior venind cu o metodă diferită de hidroizolare.

Calculul consumului de batoane se face cu ajutorul formulei:

$$N_B = L_z \times L_g \times N_g \times N_u : L_B \quad (1)$$

în care:

N_B – numărul necesar de batoane;

L_z - Lungimea zidului de grosime constantă;

L_g - lungimea găurii care trebuie să fie cu 2,5 cm mai scurtă decât grosimea zidului;

N_g - numărul de găuri pe metru liniar de zid;

N_u - număr de umpluturi ale găurilor cu batoane;

L_B - lungimea unui baton.



Primul pas este reprezentat de îndepărtarea tencuielii deteriorare până la o înălțime de 200 mm deasupra zonei afectate. Apoi se alege un rost de zidărie la înălțimea de maxim 150 mm deasupra planșeului, unde se vor for a găurile necesare introducerii batoanelor Freezteq.

Găurile vor fi executate cu un burghiu de 22 mm, orizontal în rostul de mortar, la o distanță de 110 mm una față de celălalt, iar ultimi 25 mm din grosimea zidului nu se perforază.

Batoanele se scot din cămașa din plastic și se vor introduce pe rând în fiecare gaură până ce acestea se vor umple, procedeul repetându-se de încă 3 ori.

După terminarea tratamentului, găurile se plombează integral cu mortar de ciment conform proiectului.

Refacerea tencuielii va fi executată cât mai târziu cu putință, deoarece după efectuarea tratamentului, uscarea zidurilor poate avea loc într-un interval de 3 până la 12 luni în funcție de regimul termic.

3.1. Costuri

Luând în considerare prețul materialelor folosite (batoanele Freezteq, mortare pentru tencuieli, glet și vopsea lavabilă pentru pereți, plase de armare, etc), precum și manopera aferentă lucrărilor de desfacere a tencuielilor deteriorare, forarea găurilor, montarea betoanelor și apoi refacerea zonelor afectate, transportul materialelor și echipamentele folosite, sse poate estima o valoare totală pe unitatea de suprafață reabilitată.

Pentru studiul de caz prezentat, costul final estimat este de 150 lei/m² fără TVA, respectiv de 178,5 lei/m² cu TVA.

BIBLIOGRAFIE

1. <https://ro.wikipedia.org>
2. <http://hidrocon.3x.ro/hidroizolatii.html>
3. <https://www.spatiuconstruit.ro/>
4. www.macostore.ro
5. <https://hbs.com.ro/>
6. <https://www.reformex.ro/>
7. <https://cauciuc-lichid.ro/>
8. <https://www.revistaconstructiilor.eu/>
9. <https://freezteqinternational.com/about-freezteq/>
10. <https://freezteqinternational.com/>



DEVELOPMENT OF INSULATING MATERIALS BASED ON MYCELIUM

Autor/autori

Pierre P. MITJAVILA¹, Mattéo M. FOISSAC²

¹Facultatea de Construcții, Universitatea "Ovidius" din Constanța , e-mail: pierre.mitjavila@gmail.com .

²Facultatea de Construcții, Universitatea "Ovidius" din Constanța, e-mail: foissacmatteo@gmail.com

Îndrumător/îndrumători

Ș.L. Dr. Ing. Gabriela DRĂGHICI

Facultatea de Construcții, Universitatea OVIDIUS, draghici.gabriela@univ-ovidius.ro

Ș.L. Dr. Ing. Cosmin FILIP

Facultatea de Construcții, Universitatea OVIDIUS: filip.cosmin@univ-ovidius.ro

REZUMAT: *One of the challenges of our society is the transition to a sustainable economy. For this, the use of non-renewable resources must be reduced for the production of natural and renewable materials. Renewable mycelium-based materials have the potential to contribute to the new economy by replacing petroleum derivatives such as plastics. Fungi have the ability to colonize large areas at generally high speeds. These biosourced products could be used for thermal and acoustic insulation. The power of mycelium is that it develops quickly, creating sufficient density for insulation. In addition, as we will see, mycelium can be used with other materials creating composites that can vary the characteristics of the insulation depending on the use.*

Key Word : Mycelium , Sustainable materials, Thermal insulation, Soundproofing,

1.Introduction

1.1 Presentation of the mycelium

The mycelium corresponds to the vegetative apparatus of the fungus, it is made up of threads called hyphae. When several hyphae are joined together, a micellar cord is formed and all of these constitute the mycelium of the fungus. The special feature of fungi is that they do not reproduce by seeds and do not collect energy from the sun by photosynthesis as plants do. Instead, they reproduce by means of spores, which are released when the mushroom reaches its adult size.

These spores give rise to hyphae, which then create the vegetative mycelium. In our case, the mycelium will come from farms, which will make it possible to optimise its development by playing on different factors. By industrialising the development of the mycelium, we can act on the shape with moulds as well as on the density of the hyphae, which will have a role on the characteristics of the mycelium-based insulation.

1.2 Use of mycelium for building insulation

Once the mycelium has developed in the substrate, it is pressed and dried to form insulating panels. These panels are then used to insulate buildings against heat loss in winter and heat gain in summer. They are also fire and mould resistant, and offer good sound absorption.



The advantages of mycelium-based thermal insulation are numerous. First of all, they are very environmentally friendly as they are made from renewable and biodegradable materials. In addition, their production does not produce toxic or polluting waste, making them a great option for sustainable construction projects.

Mycelium insulation is considered an advanced building material because it is environmentally friendly, sustainable and offers exceptional insulating properties. Mycelium insulation offers an environmentally friendly and renewable alternative to traditional insulation materials, such as glass wool and polystyrene foam, which can be hazardous to the environment and human health.

2. Experimental Development

2.1 Protocol

This study [11] explains the protocol for creating a composite material of chitosan, bamboo and mycelium that can be used for insulation. These are cheap, easily available and commonly available agricultural wastes.

There are three main steps in creating this paste:

- Preparation of the substrate
- Incubation and growth of the mycelium
- Preparation of the composite

These three main steps are found in the vast majority of mycelium-based composites.

Detailed protocol :

- Drying of bamboo leaves at 80°C for 1 hour
- Grinding the leaves into 200 μm pieces
- Mixing the bamboo with deionised water which has a pH of around 6.5 (1ml of water for 1g of bamboo)
- The substrate is placed in a bag heated to 121°C for 1 hour
- After cooling in the open air, add the mycelium-enriched sawdust mother culture and cotton
- Incubation at a temperature of around 25°C, relative humidity of 70-80% and pH for 1-4 weeks in a filtered air environment



Fig 1 : Mycelium culture [1]



- Tear the Bamboo-Mycellium mixture into small pieces in order to add the Chitosan solution with a pH between 4 and 6 (Proportion 60%)
20 days, at 23 ± 0.5 °C and 65-70 % humidity.
- Drying in an oven to stop the mycelium and remove moisture

Fig 2 : Photo of the final result of the mycelium-based creation process [2]



2.2 Influencing factor on the development of mycelium

The mycelium development depends on various environmental parameters such as temperature, relative humidity and photoperiod. One study analyzed the growth of mycelium according to temperature [3]. This study was carried out with 6 different fungi at 6 temperatures from 5 to 30°C (from 5 to 5) keeping the humidity at 100% and recording the evolution at 7, 14 and 21 days. The results of the experiment are shown in the diagram below

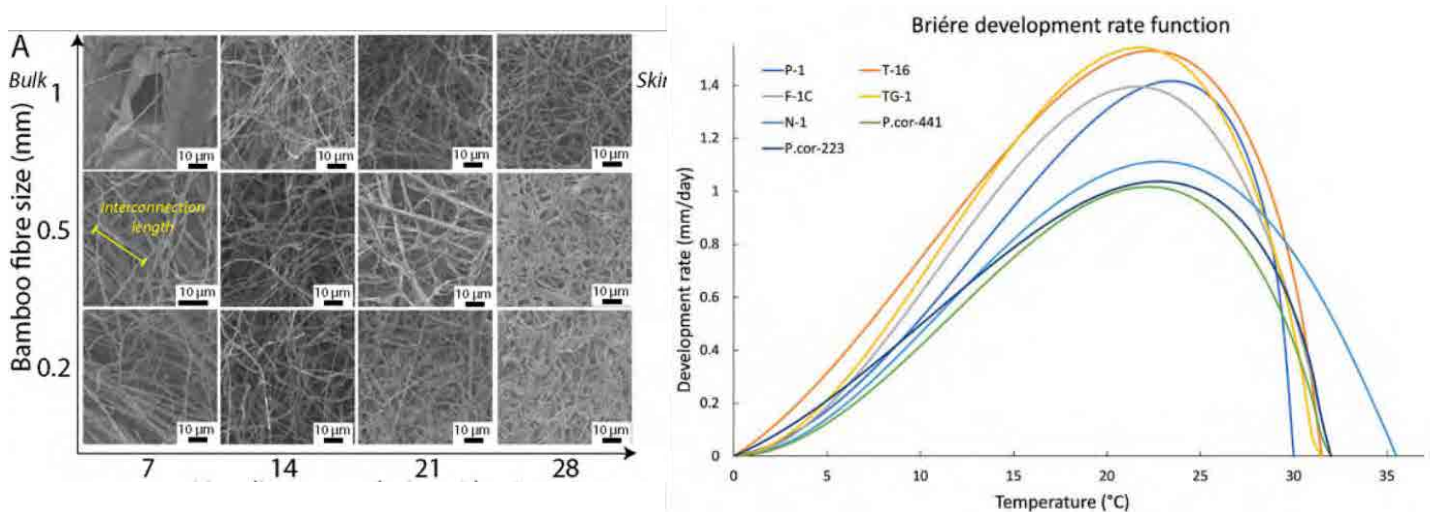


Fig 3 : Graph of the growth rate of the six fungi as a function of temperature at 100% humidity. [3] and Microscopic picture of the mycelium evolution with bamboo on different days [4]

It can be seen that the optimal temperature with the best mycelium growth rate is more or less the same for all six mushrooms, i.e. 22-23°C with a constant humidity of 100%. Under optimal conditions of nutrients, oxygen and relative humidity, the most important parameter for growth is temperature.

Also the moisture because a mushroom is mostly composed of water. There must therefore be enough water in the air to prevent the fungus from being damaged by drought. The right humidity must be ensured for optimal colonization. The humidity can be adjusted to obtain different mycelium characteristics for the insulation, as we will see later. The optimum



humidity for the development of the mycelium depends on the fungus. It is mostly between 85 and 95% humidity. [4]

2.3 Results :

The thermal conductivity of an insulator is a measure of its ability to resist heat transfer through it. It represents the amount of heat that moves through a material per unit of time and area, when the difference in temperature between the two sides of the insulation is one. The observed results show that the thermal conductivity of a mycelium-based insulation board can be as high as 0.08 W/mK depending on the different strains :

	Thermal conductivity (W/(mK))	Specific Heat Capacity MJ/(m ³ *k)
OXY	0.078	0.418
MEG	0.079	0.501
GAN	0.081	0.369

Fig 5 :Thermal insulation test result on a mycelium-based insulating section [3]

From a noise point of view, mycelium insulation is on a par with traditional insulation because it behaves like a foam as shown in some studies. For external noise from cars, the decibel reduction level is equivalent to other traditional insulators.

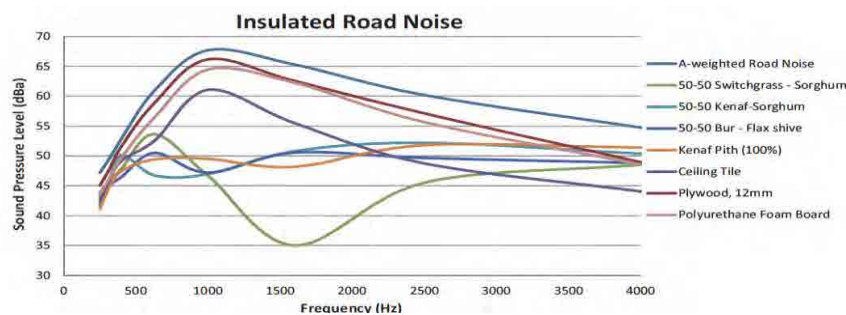


Fig 6 : Result of a Sound insulation test on a mycelium-based insulating section [6]

Mycelium has a natural flame resistance. However, some studies show that this resistance can be increased, as in the case of sound insulation, by combining it with another element.

The most interesting aspect is when mycelium is used with other materials to obtain a composite material with new capabilities. As the result of an experiment shows, a composite material will distribute less heat than a polystyrene type material (red curve). For fire safety, this is of great importance together with the low Co2 emission.

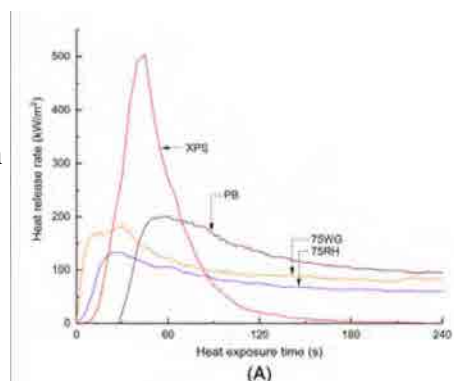


Fig 7 : Result of a Fire resistance test of mycelium on different strains [7]



3. Comparison of mycelium-based insulation with polystyrene insulation

Placo" is the most popular partitioning and insulation system on recent constructions in France, it is used on most buildings for its acoustic and thermal performances. It consists of a thin layer of plaster 1.3 cm thick which serves as a finish and a 10 cm thick insulating Polystyrene lining.

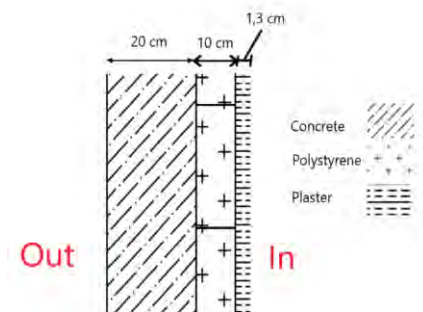


We will therefore compare the performance of a mycelium-based insulation with the polystyrene used for PLACO. To do this, we will calculate the thickness of the mushroom-based insulation needed to achieve the same thermal performance as conventional PLACO insulation. The thermal conductivity of the mycelium will be 0.08 W/mk according to the previous results and the performance of the plasterboard insulation will be taken from the manufacturer's data [8].

The thermal resistance R (in m². K/W) depends on the thickness (e expressed in metres) and the thermal conductivity (λ) of the material: $R = e / \lambda$.

of th
Placo :

Layer	Thickness (m)	λ Thermal conductivity (W/ m.K)	Thermal resistance (m ² .K/W)
Concrete	0,20	1,5	0,133
Polystyrene insulation	0,10	0,032	3,125
Plaster	0,013	0,3	0,043
TOTAL			Rt = 3,301



Mycelium :

Layer	Thickness (cm)	λ Thermal conductivity (W/ m.K)	Thermal resistance (m ² .K/W)
Concrete	20	1,5	0,133
Mycelium	?	0,08	?
Plaster	1,3	0,3	0,043
TOTAL			Rt = 3,301

$$3,301 = 0,133 + 0,043 + x/0,08 \Rightarrow x = 0,39 \text{ m}$$

Using mycelium instead of conventional polystyrene would therefore require an additional 27 cm in thickness to achieve the same thermal performance as a conventional wall (39 cm).



It can therefore be assumed that for the time being mycelium is not a viable solution for major works. But by adjusting certain parameters on its development or by adding certain materials during the process, it may be possible to use it on a large scale in the future.

4. Conclusion

We have presented the mycelium composite material in detail. However, there are many other mycelium composites that can be used for insulation such as side, wood fibre, rape straw... The properties of the mycelium are largely influenced by the substrate that provides the physical support and nutrients for the fungus. However, using mycelium with other materials increases these physical properties.

Furthermore, depending on the composite material, one can adjust the different characteristics we have presented such as density, tensile strength, fire resistance or thermal insulation. The studies show that morphology, density, tensile strength and bending strength, as well as moisture and water absorption properties can be adjusted. However, the mechanical properties (foam) and high moisture absorption are the properties of the mycelium that currently limit the application and common use.

Nowadays, research and development of composite materials combining mycelium and industrial waste has a good future as it is a low-cost and environmentally sustainable technology that could significantly change the future of sustainable construction. These new biomaterials therefore represent a promising alternative for the design and manufacture of products, both in terms of sustainable manufacturing processes and circular life and use of inert waste

Bibliography

1. Biohm : du mycélium et des déchets alimentaires pour créer des matériaux de construction régénératifs 17/01/2023
2. [Matelow-tech](https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Panneau_isolant_au_Myc%C3%A9lium_de_champignon) « Panneau isolant au Mycélium de champignon»
https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Panneau_isolant_au_Myc%C3%A9lium_de_champignon
3. M. Inas Drais, L. Rossini, T. Silvia, A. Faluschi, et A. Mazzaglia, « Modelling germination and mycelium growth rates of *Monostichella coryli* under constant temperature conditions », *Fungal Ecology*, vol. 61, no 101201, févr. 2023
4. Development of an Extrudable paste to build mycelium-bound composites August 2020
5. Z. Xijin, « Naturally grown mycelium-composite as sustainable building insulation materials », *Journal of Cleaner Production*, vol. 342, no 130784, mars 2022
6. [Pelletier, MG](#) ; [Holt, GA](#) ; [Wanjura, JD](#) ; [Bayer, E](#) ; [McIntyre, G](#) «An evaluation study of mycelium based acoustic absorbers grown on agricultural by-product substrates»
7. Waste-derived low-cost mycelium composite construction materials with improved fire safety May 2018
8. PLACO oublage en Polystyrène expansé <https://www.leroymerlin.fr/produits/materiaux/isolation/plaque-polystyrene/placo-polystyrene/doublage-en-polystyrene-expanse-th32-hydro-resi-2-5x1-2m-ep-13-100mm-r-3-15-70926842.html>



STUDIU COMPARATIV ÎNTRE METODA MATRICIALĂ ȘI METODA ELEMENTULUI FINIT PENTRU ELEMENTE DE TIP BARĂ

Autor

ing. Roxana M. PĂCURAR (căs. BANABIC)^{1*}

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, roxanabanabic@gmail.com

Îndrumător

dr. ing. Lucian C. ȘTEFAN

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Lucian.stefan@mecon.utcluj.ro

REZUMAT:

Lucrarea prezintă un studiu comparativ între metoda matricială de analiza statică a structurilor și metoda elementului finit. Prima este folosită de programele clasice de analiză statică iar cea de-a doua este folosită de programe de analiză generală 3D. O grindă simplu rezemată supusă unei forțe concentrată este analizată atât prin intermediul unui program clasic de analiză statică cât și prin intermediul unui program care utilizează metoda elementului finit. În cadrul analizei realizate cu programul care folosește metoda matricială nu se poate selecta tipul de element pentru grinzi-stâlpi, existând doar un singur element tip bară care poate fi utilizat. Programul care utilizează metoda elementului finit, permite alegerea mai multor tipuri de elemente finite, fiecare dintre ele având formulare, performanță și comportament specific. Deplasarea maximă obținută în urma fiecărui tip de analiză este comparată cu rezultatele obținute cu un calcul manual bazat pe metoda lucrului mecanic virtual. Studiul a vizat obținerea unui rezultat cât mai apropiat de calculul manual și identificarea diferențelor dintre cele două metode automate. Înțelegerea în detaliu a formulării diferitelor tipuri de elemente finite care pot fi utilizate este o condiție a alegerii informate a elementului finit potrivit unei anumite aplicații.

Cuvinte cheie: Metoda Elementului Finit, Metoda Matricială, grindă, deplasare.

1. Introducere

1.1 Teorii de grindă

Grinzile sunt elemente structurale care rezistă în principal sarcinilor aplicate perpendicular pe axa longitudinală a acestora, deformându-se predominant datorită încovoierii. Deplasările grinzilor se calculează pentru grinzi zvelte luând în considerare doar efectul momentului încovoietor însă, în cazul grinzilor masive (perete sau grinzi scurte), este necesară luarea în considerare a efectului forței tăietoare.

Atunci când raportul h/l (între înălțimea secțiunii și lungimea barei) nu depășește $1/10$ (grinda zvelta), grinda se poate calcula utilizând teoria de grindă Euler-Bernoulli, care ia în considerare doar efectul încovoierii și consideră ipoteza conform căreia o secțiune plană și normală la axa barei înainte de deformare rămâne plană și normală la axa barei după deformare [1].

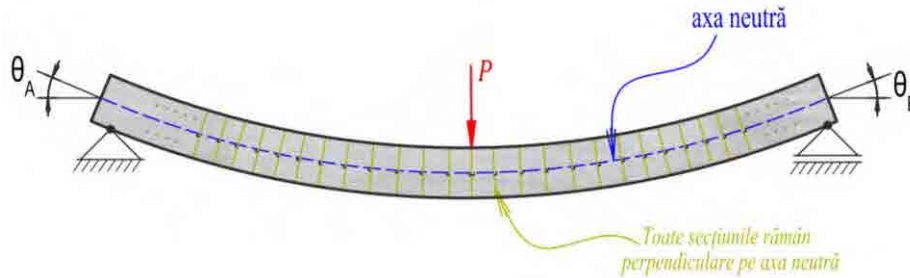


Fig. 1: Grindă analizată cu abordarea Euler-Bernoulli

Atunci când raportul h/l (între înălțimea secțiunii și lungimea barei) depășește $1/10$ (grinda masiva), efectul forțelor tăietoare devine semnificativ și se utilizează teoria grinzii lui Timoshenko. Aceasta, spre deosebire de teoria grinzilor Euler-Bernoulli, ia în considerare și deformarea prin forfecare (incluzând și efectele de lunecare). Secțiunile transversale ale grinzii rămân plane însă nu mai sunt normale la axa neutră luându-se în considerare o rotire a acestora, prin introducerea unei deformații unghiulare, γ , constante pentru toată secțiunea.

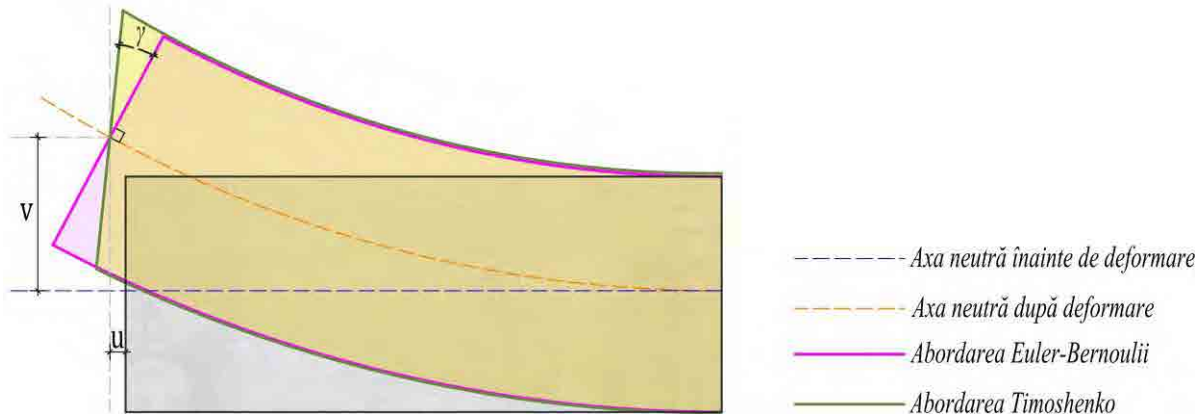


Fig. 2: Poziția secțiunilor față de axa deformată

1.2 Metode de analiză structurală

Determinarea răspunsului structural necesită în general determinarea reacțiunilor, eforturilor, tensiunilor, deplasărilor și deformațiilor. Pentru structuri static determinate, reacțiunile și eforturile se obțin prin ecuații de echilibru, tensiunile prin propunerea unor relații efort-tensiuni folosind ipoteze simplificatoare, iar deplasările și deformațiile prin intermediul principiului lucrului mecanic virtual. Pentru structuri static nedeterminate, acest demers nu mai este posibil deoarece ecuațiile de echilibru nu sunt suficiente pentru a obține reacțiunile și eforturile. Este necesară utilizarea unor relații de compatibilitate de deformații care introduc noi necunoscute fie sub formă de forțe (e.g reacțiuni) fie sub formă de deplasări (e.g. deplasări nodale). În domeniul liniar elastic se poate scrie o relație de legătură între deplasări și forțe prin intermediul unor coeficienți constanți (sau matrici constante pentru structuri cu multiple grade de libertate) numiți flexibilitate „ f ” și rigiditate „ k ”: $f * P = v$, $P = k * v$. Ecuațiile se pot scrie și matricial.

De exemplu, pentru efort axial, pornindu-se de la forțele exterioare și utilizând relații între tensiuni și eforturi, se efectuează lucrul mecanic al forțelor interioare $LMI = \int \sigma \varepsilon dV$ și se determină matricea de rigiditate sau cea de flexibilitate utilizând doar tensiunea normală „ σ ” și forțele exterioare.



$$LMI = \int \sigma \varepsilon dV = \int \underbrace{\sigma \sigma}_{\text{Metoda Matricială}} \frac{\sigma^\varepsilon}{E} dV = \int \underbrace{\varepsilon E \varepsilon}_{\text{Metoda Elementului Finit}} dV \quad (1)$$

unde LMI este lucrul mecanic al forțelor interioare, F este forța exterioară aplicată, d este deplasarea, σ este tensiunea normală, E este modulul de elasticitate al materialului, ε este deformația specifică liniară/axială, N este efortul axial, A este aria secțiunii transversale.

În cadrul ecuațiilor (1) și (2), $\sigma^\sigma = \sigma^\varepsilon$, deci cele două tensiuni sunt egale însă sursa lor este diferită.

1.2.1. *Metoda matricială* este o metodă utilizată de programele clasice de analiză statică. Pornind de la forțele exterioare, se calculează cu precizie diagramele de efort axial, forță tăietoare și moment încovoietor iar apoi se pot calcula deplasări. Pe baza unor legi fizice, se presupun relații între tensiuni și eforturi și se efectuează lucrul mecanic al forțelor interioare.

$$\begin{aligned} \int \sigma \sigma \frac{\sigma^\varepsilon}{E} dV &= \int \frac{N}{A} \frac{N}{EA} dV = \int \frac{N}{A} \frac{N}{EA} dA dx = \int \left(\int \frac{N}{A} \frac{N}{EA} dA \right) dx = \int \frac{N}{A} \frac{N}{EA} A dx \\ &= \int n \frac{N}{EA} dx \end{aligned} \quad (2)$$

$$[D] = [f_{11}] * [N] \quad (3)$$

$$f_{11} = \int_0^L n \frac{N}{EA} = 1 * L * 1 * \frac{1}{EA} = \frac{L}{EA} \quad (4)$$

$$[D] = \left[\frac{L}{EA} \right] * [N] \quad (5)$$

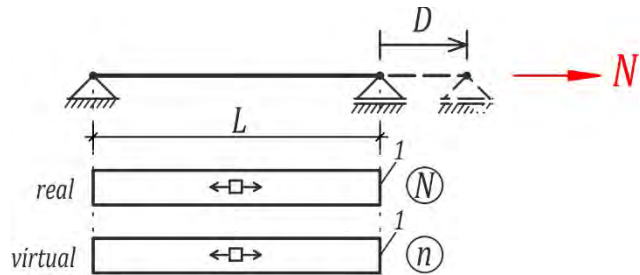


Fig. 2: Bară simplu rezemată sollicitată axial

Unde D este deplasarea și $[f_{11}]$ este matricea de flexibilitate care conține un singur coeficient de flexibilitate, corespunzător unei deplasări pe direcția 1, produsă de o forță unitară în direcția 1, când toate celelalte forțe sunt nule. Direcția 1 corespunde direcției aplicării forței axiale „N”.

Matricea de rigiditate se poate obține inversând apoi matricea de flexibilitate.

1.2.2. *Metoda elementului finit* este o metodă utilizată de programele de analiză generală 3D. Spre deosebire de metoda matricială, metoda elementului finit este pur matematică, nebazându-se pe legi fizice. Se pornește de la forțele exterioare care sunt aplicate structurii și se „presupun” funcții de formă pentru a se determina deplasările. Astfel, între forțele exterioare și deplasări nu există relații precise. Între deplasări și deformația specifică „ ε ” există corelații clare, iar mai departe, prin lucrul mecanic al forțelor interioare, se pot determina tensiunile.

În cazul metodei elementului finit, matricea de rigiditate se determină astfel:

$$K_e = \int B^T C B dV = \int B^T C B A dx \quad (6)$$



Unde C este matricea de rigiditate a materialului (pentru acest caz, $C=E$), $\varepsilon=B U_e$, B este matricea deformațiilor, U_e este vectorul deplasărilor nodale. Funcțiile de formă sunt incluse în calculul deplasării, aceasta fiind calculat pur matematic.

În continuare va fi analizată o grindă simplu rezemată cu lungimea de 6 m, înălțime de 50 cm și lățime de 10 cm, care este solicitată de o încărcare concentrată care acționează la mijlocul deschiderii.

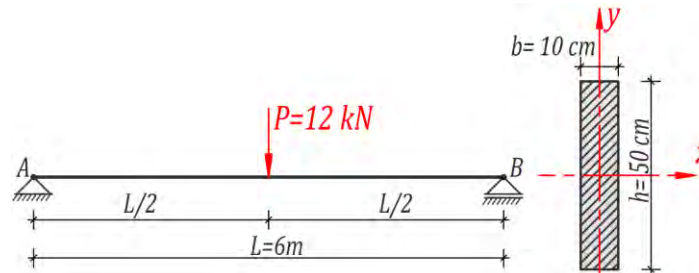


Fig. 3: Grinda analizată

2. Calculul manual utilizând principiul lucrului mecanic virtual

Calculul manual a fost realizat utilizând metode energetice. Astfel, în funcție de caz, deplasările maxime sunt calculate astfel:

$$\Delta_{max.M} = \frac{PL^3}{48EI_y} \text{ deplasarea maximă datorată momentului încovoietor} \quad (7)$$

$$\Delta_{max.V} = \frac{PL}{4GA_V} \text{ deplasarea maximă datorată forței tăietoare} \quad (8)$$

$$\Delta_{max} = \Delta_{max.M} + \Delta_{max.V} \text{ deplasarea maximă} \quad (9)$$

Unde: P este încărcarea aplicată, L este lungimea grinzii, E este modulul de elasticitate longitudinal al materialului, I_y este momentul de inerție în raport cu axa y , $G=E/[2(1+\nu)]$ este modulul de elasticitate transversal, ν este coeficientul lui Poisson, A este aria secțională și $A_V=0.85 \cdot A$ este aria secțională care se consideră ca lucrează la forța tăietoare.

Tabel nr. 1: Rezultatele calculului manual:

Nr. Crt.	ν	Δ_{max} [mm]	$\Delta_{max.M}$ [mm]	$\Delta_{max.V}$ [mm]	$\Delta_{max.V}/\Delta_{max}$
M.1	0.25	2.51899	2.46857	0.05042	0.02002
M.2	nu este relevant	2.52028	2.46857	0.05171	0.02052
M.3	0	2.50891	2.46857	0.04034	0.01608

Pentru M.2, coeficientul lui Poisson nu este relevant deoarece G s-a aproximat ca fiind $0.39 \cdot E$, pentru a fi posibilă comparația cu rezultatele din analiza cu metoda elementului finit.

3. Analiză utilizând Metoda Matricială 1D

Analiza utilizând metoda matricială a fost realizată cu programul SAP2000. Deplasarea maximă rezultată este de 2.469mm, identică cu deplasarea calculată manual considerând doar aportul adus de momentul încovoietor. Dacă se introduce aria la forța tăietoare, deplasarea maximă rezultată este de 2.52mm. S-a folosit un element de tip bară.

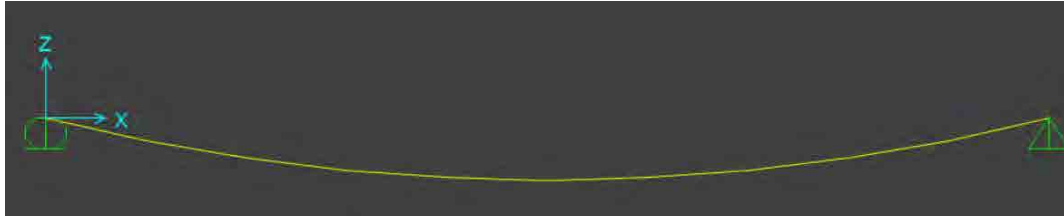


Fig. 4: Deplasarea maximă utilizând programul SAP200

4. Analiză utilizând Metoda Elementului Finit 1D

Pentru analiza cu Metoda Elementului Finit s-a utilizat programul Abaqus.

Pentru analiza 1D a unei grinzi, în programul Abaqus se regăsesc 2 tipuri de elemente finite de tip bară care utilizează abordarea Euler- Bernoulli: B23 și B33 și 4 care utilizează abordarea Timoshenko sunt: B21, B22, B31, B32.

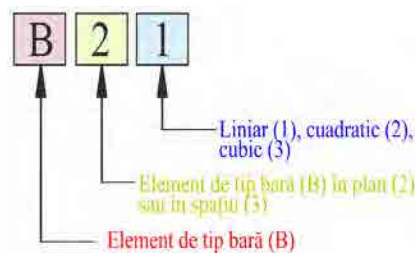


Fig. 5: Denumirea elementelor de tip bară din programul Abaqus [3]

Tabelul nr. 2: Valorile deplasării maxime rezultate din analiza cu Metoda Elementului Finit:

Tip EF	Nr. Crt.	v, Before/After Analysis	Deplasarea maximă [mm]	Identific cu:	Nr. de EF utilizate
B33	A.1	Nu este relevant	2.46857	$\Delta_{max.M}$ (M.1, M.2, M.3)	6
B31	A.2	$v=0$, During analysis	2.50891	M.3	750
	A.3	$v=0.25$, During analysis	2.51899	M.1	400
	A.4	v - nu este relevant, Before analysis	2.52028	M.2	300
B32	A.5	$v=0$, During analysis	2.50891	M.3	6
	A.6	$v=0.25$, During analysis	2.51899	M.1	6
	A.7	v - nu este relevant, Before analysis	2.52028	M.2	6

În cazul elementului finit B33, care utilizează abordarea Bernoulli, deplasarea maximă rezultată corespunde cu calculul manual în varianta în care se ia în considerare doar aportul adus de momentul încovoietor. Elementul finit B33 utilizează interpolarea cubică și sunt necesare 6 elemente finite pentru obținerea unui rezultat precis; această metodă de interpolare permite obținerea unei soluții mai precise cu un număr mai mic de noduri și, prin urmare, cu un număr mai mic de elemente finite, putând aproxima mai precis funcțiile cu o curbă complexă sau cu o variație rapidă. În acest caz, atât coeficientul lui Poisson cât și alegerea momentului integrării secționale nu influențează rezultatul, acestea fiind relevante doar în abordarea Timoshenko.

Pentru elementele finite B31 și B32 care utilizează abordarea Timoshenko, rezultatul diferă și în funcție de alegerea momentului în care se integrează secțiunea. Opțiunea "Before Analysis" se referă la calculul proprietăților secțiunii transversale ale elementelor finite înainte de începerea analizei, în timp ce opțiunea "During Analysis" se referă la calculul acestora în timpul analizei propriu-zise. În cazul integrării secțiunii în timpul analizei, programul ia în considerare în calculul lui „G” coeficientul lui Poisson introdus de utilizator însă în cazul integrării secțiunii înaintea



analizei, G este calculat ca fiind $0.39 \cdot E$, dacă nu se introduce manual valoarea acestuia, ceea ce a condus în cadrul studiului la valori mai mari ale deplasării maxime. Astfel, în cazul integrării secțiunii în timpul analizei, coeficientul lui Poisson nu este relevant în calculul modului de elasticitate transversal.

În cazul elementului finit B31, au fost necesare de la 300 la 750 elemente finite pentru a obține un rezultat precis, datorită interpolării liniare utilizate. În cazul integrării secționale înaintea analizei, rezultatul precis a fost obținut prin utilizarea unui număr mai mic de elemente finite (300), în timp ce integrarea în timpul analizei a necesitat un număr de 400 elemente finite atunci când $\nu=0.25$, respectiv 750 elemente finite pentru $\nu=0$. Când coeficientul lui Poisson este considerat nul, este necesar un număr mai mare de elemente finite, materialul fiind considerat perfect rigid în direcția perpendiculară față de direcția de aplicare a forței, ceea ce înseamnă că trebuie să se ia în considerare mai multe puncte de integrare în această direcție pentru a obține o soluție precisă. Figurile 6, 7 și 8 prezintă stabilizarea rezultatelor odată cu creșterea numărului de elemente finite B31.

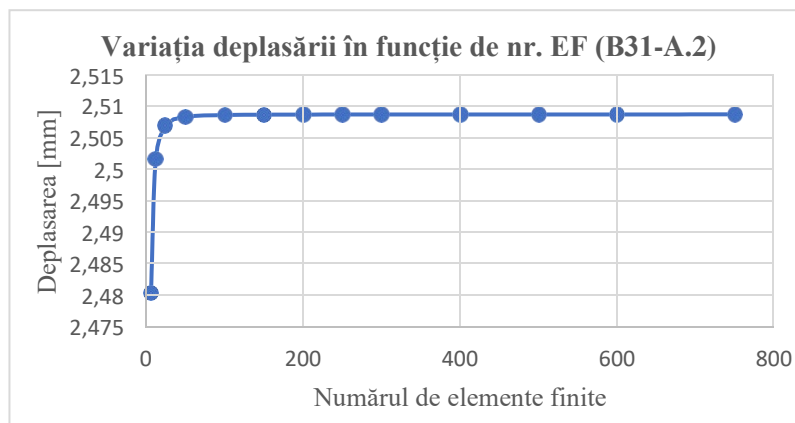


Fig. 6: Variația deplasării în funcție de numărul elementelor finite pentru cazul A.2

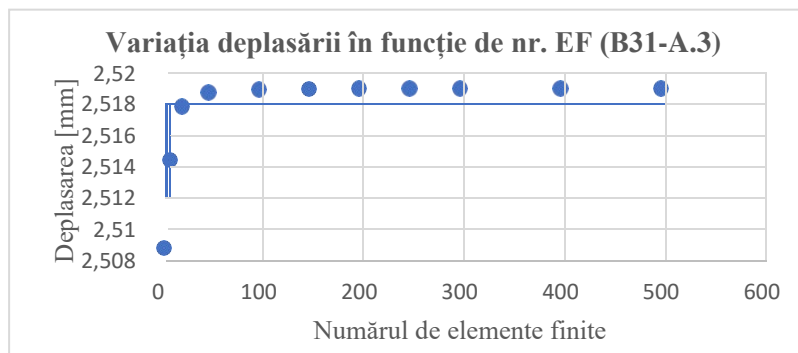


Fig. 7: Variația deplasării în funcție de numărul elementelor finite pentru cazul A.3

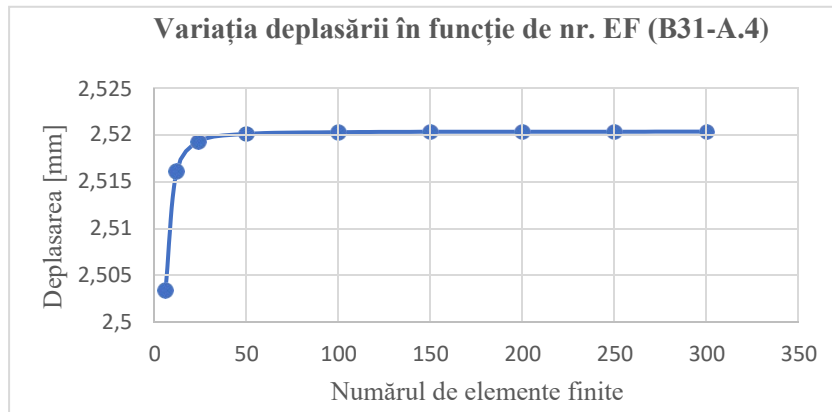


Fig. 8: Variația deplasării în funcție de numărul elementelor finite pentru cazul A.4

În cazul utilizării elementului finit B32, sunt suficiente 6 elemente finite pentru a obține o soluție precisă, elementul utilizând interpolarea quadratică, mai eficientă în acest caz în comparație cu interpolarea cubică sau liniară, rezultatul precis fiind obținut cu un număr mai mic de elemente finite decât în cazul interpolării liniare și cu un efort de calcul mai redus în comparație cu interpolarea cubică.



Fig. 9: Deplasarea utilizând programul Abaqus

5. Comparație:

În programul care utilizează metoda matricială nu se poate selecta tipul de element finit, folosindu-se un singur tip de element finit pentru realizarea analizei 1D pentru elemente de tip bară însă se poate alege utilizarea abordării Bernoulli sau Timoshenko prin schimbarea parametrilor din meniul Proprietăți. În cadrul analizei s-a utilizat doar un element finit.

În programul ce utilizează metoda elementului finit, se poate selecta tipul de element finit, utilizatorul având astfel posibilitatea de a alege un element finit care lucrează după teoria Timoshenko sau Euler- Bernoulli, precum și de a alege tipul de interpolare utilizat de elementul finit. Pentru elementul finit care utilizează teoria Timoshenko și interpolarea liniară, a fost nevoie de un număr mult mai mare de elemente finite (300-750) pentru a obține un rezultat cu precizie ridicată, în timp ce pentru interpolarea liniară a fost nevoie de doar 6 elemente finite. Pentru elementul finit care utilizează teoria Euler-Bernoulli și interpolarea cubică, au fost suficiente 6 elemente finite pentru a obține un rezultat precis. În cadrul unei activități de cercetare, este necesară o precizie ridicată în vederea validării modelului, pentru a înțelege în profunzime fenomenele care apar în cadrul structurii analizate precum și modalitatea în care programul utilizează parametrii introduși. În practica inginerescă, nu sunt necesare validări atât de precise, astfel încât, pentru determinarea deplasării și pentru validarea modelului ar fi fost suficiente 6 elemente finite pentru oricare dintre cele 3 elemente finite. În programele care utilizează metoda matricială este suficient un element finit pentru a obține un rezultat cu precizie ridicată atunci când



se analizează o grindă însă în programele care utilizează metoda elementului finit sunt necesare minim 6 elemente finite pentru a obține un rezultat validat cu o precizie ridicată, analiza neputându-se realiza doar cu un singur element finit.

6. Concluzie:

Programele care utilizează metoda matricială pun la dispoziție un singur tip de element finit pentru analiza 1D a elementelor de tip bară, în timp ce în programele care utilizează metoda elementului finit se poate selecta tipul de element finit utilizat, existând mai multe tipuri de elemente finite, în funcție de abordarea acestora și de tipul de interpolare utilizat, fiecare dintre ele având formulare, performanță și comportament specific. Pentru practica inginerescă, programele care utilizează metoda matricială sunt suficient de eficiente însă pentru activitățile de cercetare, unde este necesară o validare mai precisă, programele care utilizează metoda elementului finit sunt o alegere mai avantajoasă.

BIBLIOGRAFIE:

- 1) C. Bia, V. Ilie, M. V. Soare- Rezistența Materialelor și Teoria Elasticității, Editura Didactică și pedagogică, București, 1983
- 2) S. Timoshenko- Strength of Materials, Part I, Elementary Theory and Problems, D. Van Nostrand Company, 2nd Ed. 1940
- 3) <https://classes.engineering.wustl.edu/2009/spring/mase5513/abaqus/docs/v6.6/books/usb/default.htm?startat=pt06ch23s03alm07.html>



APLICAREA METODEI VARIATIONALE ÎN REZOLVAREA PLĂCII PLANE

Autori

Ștefan.Fl.Antonia Denisa¹, Suba.La.Brigita Dora², Țurca.Gh.Roxana Andrada³

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Cluj Napoca, denisastefan87@yahoo.com

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Cluj Napoca, dorabrigita62@gmail.com

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Cluj Napoca, turcaroxana26@gmail.com

Îndrumători

Conf. Dr. Ing. Mihai NEDELICU

Șef lucr. Dr. Ing. Teodora Simona BESOIU

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Cluj Napoca

mihai.nedelcu@mecon.utcluj.ro

Teodora.BESOIU@mecon.utcluj.ro

REZUMAT: *Lucrarea constă în dezvoltarea unei aplicații de calcul structural a plăcii plane dreptunghiulare sub acțiunea sarcinilor transversale uniform distribuite prin intermediul metodei variaționale Rayleigh-Ritz. Se alege ca necunoscută principală funcția deplasărilor verticale $w(x,y)$. Aplicația dezvoltată în Matlab permite analiza liniară a plăcii plane dreptunghiulare cu diverse condiții de rezemare pe contur și diferite valori ale raportului între laturi (b/a). Lucrarea prezintă un studiu de convergență care stabilește numărul optim de termeni din aproximarea lui $w(x,y)$, în funcție de calitatea rezultatelor și timpul de analiză. Rezultatele sunt comparate cu cele obținute cu ajutorul unui program comercial de calcul structural bazat pe Metoda Elementelor Finite.*

Cuvinte cheie: metodă variațională, placă plană dreptunghiulară, Metoda Elementelor Finite, deplasare transversală.

1. Introducere

Plăcile plane

Plăcile plane sunt corpuri prismatice sau cilindrice drepte având înălțimea h foarte mică în raport cu dimensiunile bazei. Pentru aceste elemente de construcții bidimensionale, înălțimea h reprezintă grosimea plăcii, iar locul geometric al punctelor situate la mijlocul acesteia se numește plan median. Intersecția planului median cu o suprafață laterală a plăcii constituie conturul acesteia. [1]

Ecuția (1) reprezintă ecuația diferențială de ordinul patru, liniară și neomogenă, a plăcilor plane acționate transversal:

$$\nabla^4 w = \frac{p}{D}(1)$$

în care, ∇^4 - operatorul biarmonic $\nabla^4 = \frac{\partial^4}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4}{\partial y^4}$

w – deplasarea transversală;

p – intensitatea sarcinii uniform distribuite;

D – rigiditatea la încovoiere a plăcii ($D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$).

Necunoscuta principală este deplasarea transversală $w(x,y)$ care se poate determina din ecuația (1) aplicând metodele analitice (serii simple sau duble trigonometrice), variaționale



(Rayleigh-Ritz, Bubnov-Galerkin etc.) sau chiar numerice (Metoda Diferențelor Finite sau Metoda Elementelor Finite). În cadrul acestei lucrări s-a utilizat o metodă variațională de calcul și anume Rayleigh-Ritz, iar rezultatele obținute au fost validate cu ajutorul unui program de calcul structural Robot, care are la bază Metoda Elementelor Finite.

Metoda variațională

Dintre metodele aproximative de calcul ale deplasării transversale $w(x,y)$ pentru plăci plane rezemate divers pe contur, cele variaționale conduc la rezultate satisfăcătoare, motiv pentru care sunt destul de larg utilizate în calculele structurale. Deoarece prin metodele variaționale se integrează efectiv ecuația cu derivate parțiale de ordinul patru a plăcilor plane (1) aceasta intră în categoria metodelor directe, unde atenția principală trebuie să fie pe alegerea formei soluției aproximative și pe metoda de aproximare a acesteia. În general, forma convenabilă de alegere a funcției de aproximare este cea dată de:

$$F^*(x,y) = C_1 * \varphi_1(x,y) + C_2 * \varphi_2(x,y) + \dots + C_k * \varphi_k(x,y) = \sum_{i=1}^k (C_i * \varphi_i(x,y)) \quad (2)$$

$$\text{- la plăci plane: } w^*(x,y) = \sum_{i=1}^k (C_i * \varphi_i(x,y)) \quad (3)$$

În care funcțiile liniar independente $\varphi_i(x,y)$ pot satisface total sau parțial condițiile la limită (eventual deloc), în acest caz constantele „ C_i ” determinându-se astfel încât să fie satisfacă ecuația plăcilor plane (1).

Sau, în plus, și celelalte condiții la limită, de asemenea, aceste funcții pot satisface fiecare dintre ele ecuația cu derivate parțiale și atunci constantele „ C_i ” se determină din satisfacerea totală a condițiilor la limită. Procesul de aproximare va fi cu atât mai rapid (numărul de termeni mai mic) cu cât funcțiile $\varphi_i(x,y)$ vor urmări îndeaproape probabilitatea de variație a deplasării transversale $w(x,y)$ a plăcii. [1, 2]

Satisfacerea ecuației cu derivate parțiale a plăcilor plane însă este echivalentă ecuației de minim a energiei potențiale totale Π , compusă din energia potențială de deformare W și dublul lucrului mecanic exterior L_e luat cu semn schimbat ($-2 * L_e$), prin urmare:

$$\Pi = W - 2L_e \quad (4)$$

Metoda Rayleigh-Ritz

Se studiază prin această metodă placa dreptunghiulară din Figura 1, încastrată pe tot conturul, având dimensiunile în plan $2a$ și $2b$, raportată la sistemul de axe xOy , supusă acțiunii unei sarcini uniforme distribuite $p(x,y)=p$.

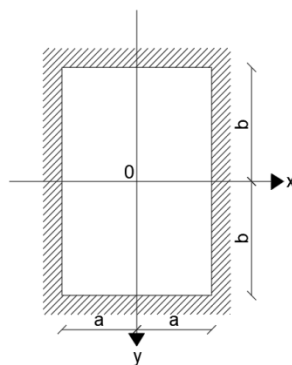




Figura 1. Placa plană dreptunghiulară.

Într-o primă aproximație, se alege funcția deplasării transversale $w(x,y)$ a plăcii sub forma variabilelor separate:

$$w^*(x,y) = CX(x)Y(x) = C(x^2 - a^2)^2(y^2 - b^2)^2 \quad (5)$$

Care satisface condițiile de rezemare pe cele patru laturi ale plăcii (în încadrare deplasarea transversală și rotirea sunt nule):

$$\text{La } x = \pm a: \quad w = 0; \quad \frac{\partial w}{\partial x} = 0$$

$$\text{La } y = \pm b: \quad w = 0; \quad \frac{\partial w}{\partial y} = 0$$

Energia potențială totală este reprezentată prin ecuația:

$$\Pi = \frac{D}{2} * \int_A \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) dx dy - \int_A p(x,y) * w(x,y) dx dy \quad (6)$$

Dacă introducem (5) în (6) rezultă:

$$\begin{aligned} \Pi^* &= \frac{D}{2} \int_{-a}^{+a} \int_{-b}^{+b} \left(\frac{\partial^2 w^*}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w^*}{\partial y^2} \right)^2 dx dy - p \int_{-a}^{+a} \int_{-b}^{+b} w^* dx dy = \\ &= D \left(\frac{16384}{1575} a^5 b^9 + \frac{65536}{11025} a^7 b^7 + \frac{16384}{1575} a^9 b^5 \right) C^2 - \frac{256}{225} a^5 b^5 p C \quad (7) \end{aligned}$$

Iar din condiția ca Π^* să fie minim $\frac{d^2 \Pi}{dC^2} > 0$ rezultă:

$$\frac{d\Pi^*}{dC} = \frac{128}{7} D \left(1 + \frac{4b^2}{7a^2} + \frac{b^4}{a^4} \right) a^4 C - p = 0 \quad (8)$$

Se determină constanta C din (5), în funcție de raportul $\frac{b}{a}$ dintre laturile plăcii obținându-se:

$$C = \frac{1}{1 + \frac{4b^2}{7a^2} + \frac{b^4}{a^4}} * \frac{7}{128} * \frac{p}{a^4 D} \quad (9)$$

În centrul plăcii ($x=y=0$), deplasarea transversală maximă w_{max}^* se obține, după înlocuirea lui C (9) în (5), sub forma:

$$w_{max}^* = \frac{1}{1 + \frac{4b^2}{7a^2} + \frac{b^4}{a^4}} * \frac{7b^4}{128a^4} * \frac{pa^4}{D} \quad (10)$$

2. Aplicația dezvoltată în MATLAB

Toate relațiile prezentate în primul capitol au fost introduse în programul Matlab, în care s-a scris un cod într-o primă etapă utilizând un calcul simbolic, în care s-a considerat lățimea plăcii $2a$ și lungimea plăcii $2b$ (Figura 1). Apoi s-a trecut la un calcul numeric, unde s-au dat valori pentru dimensiunile plăci: lățime ($a=6\text{m}$), lungime ($b=6\text{ m}$, 9 m și 12 m), grosime ($h=0.1\text{m}$), încărcarea s-a considerat de 15 kN/m^2 uniform distribuită, iar ca și material s-a utilizat beton clasa C20/25.



```
%CALCUL SIMBOLIC
%1.Definim parametrii problemei:lungimea,latimea,grosimea,modulul lui Young
%coeficientul lui Poisson si sarcina uniform distribuita pe suprafata

%Lungimea placa
b=sym('b'); %in m -variabil(2b)
%Latimea placa
a=sym('a'); %in m -constant(2a)
%grosime placa
h=sym('h'); %in m
%modulul lui Young
E=sym('E'); %in N/mm
%coeficientului lui Poisson
v=sym('v'); %adimensional
%forta uniform distribuita care actioneaza pe placa
p=sym('p'); %kN/m^2
%rigiditatea placii
D=sym('D');
```

```
%CALCUL NUMERIC pentru 6.148
```

```
%1. Definim intervalul in care iau valori termenii simbolici
E=3*10^7;
h=0.10 ;
v_0=0.2;
a_0=3;%(2a)
b_0=3;%(2b)
D_0=E*h^3/(12*(1-v_0^2));
p_0=15;
x_0=0;
y_0=0;
```

```
%2.Introducem valorile numerice in formula lui C
C_val=eval(subs(C_sol,[a,b,D,p],[a_0,b_0,D_0,p_0]));
```

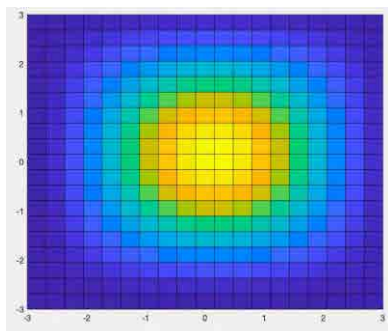
```
%3.Introducem valoarea numerica a lui C in w(x,y) calcul sagetii
w_num = eval(subs(w,[C_sol,x,y,a,b],[C_val,x_0,y_0,a_0,b_0]));
w_0=w_num/((p_0*a_0^4)/D_0);
```

Figura 2. Porțiuni din codul scris în Matlab atât simbolic, cât și numeric.

Pentru a obține aproximații mai bune, în funcția deplasării transversale $w(x,y)$ se iau în considerare mai mulți termeni, sub forma ecuației (11) care de asemenea satisface condițiile pe contur.

$$w^*(x,y) = (C_1 + C_2x^2 + C_3y^2)(x^2 - a^2)^2(y^2 - b^2)^2 \quad (11)$$

La final, s-au generat din Matlab grafice 3D ale deformatelor transversale a plăcii pentru diferite valori ale raportului laturilor $b/a=1$, $b/a=1.5$ și $b/a=2$ care sunt prezentate în continuare.



$w_{max}=0.0099m$

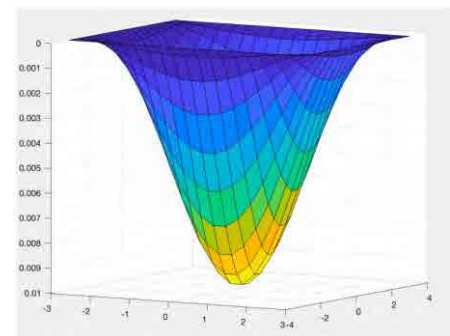
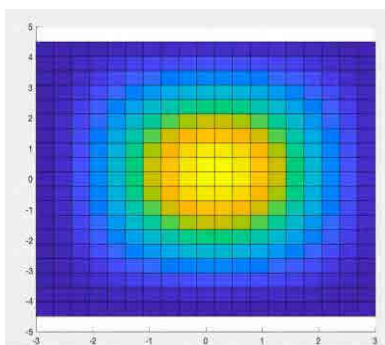


Figura 3. Rezultate din Matlab pentru raportul $b/a=1$.



$w_{max}=0.0176 m$

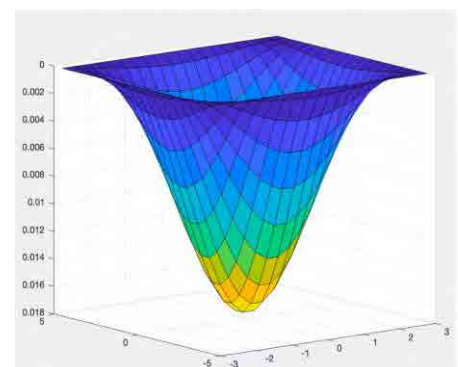
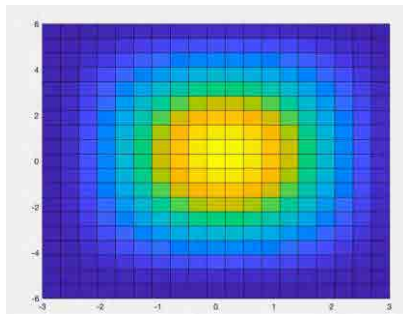


Figura 4. Rezultate din Matlab pentru raportul $b/a=1.5$.



$w_{\max} = 0.0212 \text{ m}$

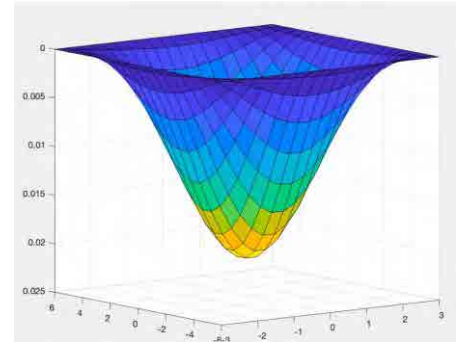


Figura 5. Rezultate din Matlab pentru raportul $b/a=2$.

3. Validarea rezultatelor

Pentru validarea rezultatelor obținute pe baza codului scris în Matlab, s-a modelat placa într-un program de calcul pe baza Metodei Elementelor Finite, Robot Structural Analysis. În cele ce urmează sunt prezentate rezultatele pentru toate cele trei dimensiuni ale raportului laturilor plăcii. Discretizarea plăcii s-a considerat 0.2 m.

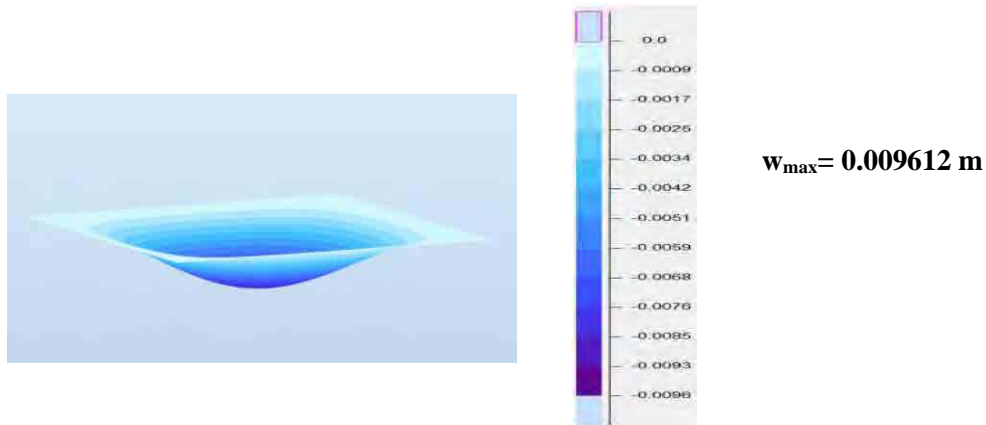


Figura 6. Rezultate din Robot pentru raportul $b/a=1$.

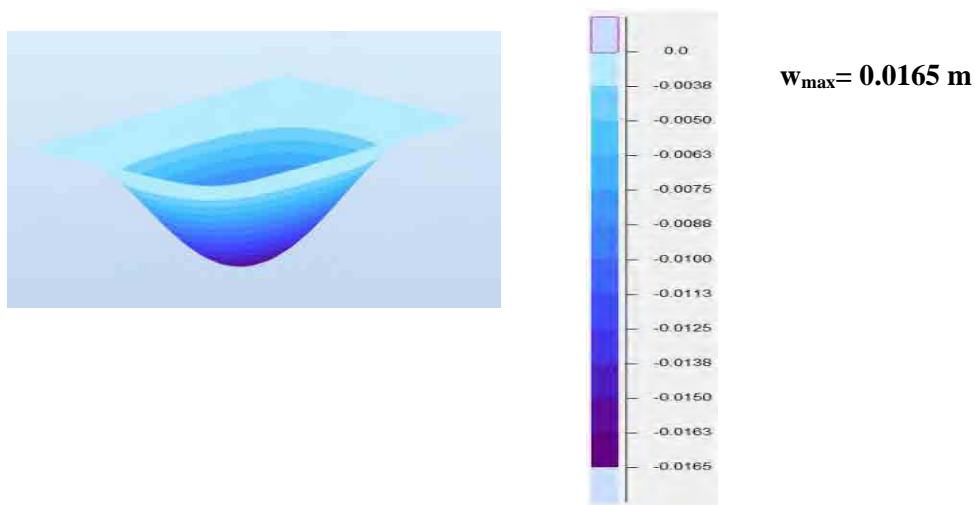


Figura 7. Rezultate din Robot pentru raportul $b/a=1.5$.

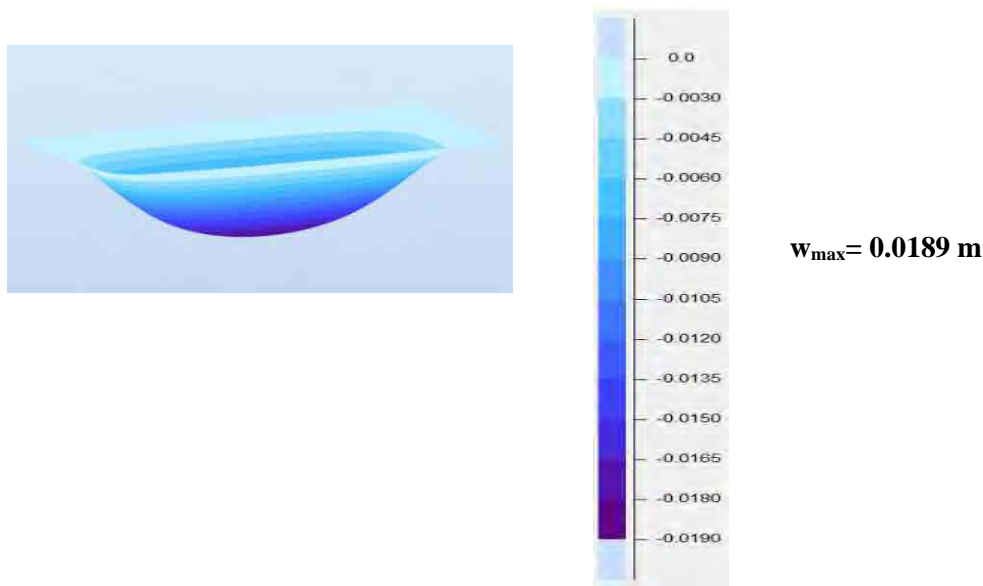


Figura 8. Rezultate din Robot pentru raportul $b/a=2$.

În final s-au comparat valorile obținute ale deplasării transversale maxime a plăcii din MATLAB și ROBOT. Acestea se pot vedea în tabelul 1 în funcție de raportul laturilor b/a , iar în ultima coloană s-a calculat eroarea dintre cele două rezultate obținute.

Tabelul 1. Compararea deplasării maxime w_{\max} [m] a plăcii

	MATLAB	ROBOT	EROARE
$b/a=1$	0.0099	0.009612	3%
$b/a=1.5$	0.0176	0.0165	7%
$b/a=2$	0.0212	0.0189	12%

4. Concluzii

În această lucrare s-a calculat placa plană dreptunghiulară încadrată pe contur aplicând o metoda variațională de calcul Rayleigh-Ritz. Astfel, s-a dezvoltat o aplicație în Matlab, iar rezultatele obținute au fost comparate cu un program de calcul comercial Robot.

S-a observat că folosind mai mulți termeni în expresia deplasării $w(x,y)$, metoda Rayleigh-Ritz conferă o exactitate rezonabilă pentru placa pătrată analizată, deplasarea transversală maximă fiind mai mare cu 3% față de rezultatele obținute în Robot, care are la bază Metoda Elementelor Finite. În timp ce dacă raportul dintre laturi crește erorile sunt din ce în ce mai mari (pană la 12%). În concluzie aplicația dezvoltată în Matlab poate fi utilizată la calculul deplasării transversale maxime a plăcilor plane dreptunghiulare acționate de sarcini uniforme distribuite.

BIBLIOGRAFIE:

1. Marțian, I., *Teoria elasticității și plasticității pentru constructori*, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 1999.
2. Bia, C., Ilie, V., Soare, M.V., *Rezistența materialelor și Teoria elasticității*, Edit. Didactica și Pedagogică, București 1983.
3. https://www.math.uaic.ro/~maticiuc/didactic/MATLAB_Curs_Laboratoare_Checklist.pdf



REZOLVAREA PLĂCILOR PLANE AȘEZATE PE MEDIU ELASTIC UTILIZÂND SERIILE SIMPLE TRIGONOMETRICE

Autor/autori

Mihai Rareș Valentin URIAN^{1*}, Mircea TAFLAN², Adrian ZACHARIEVICI³

¹Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Cluj Napoca, urian.mi.mihai@student.utcluj.ro

²Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Cluj Napoca, taflan.mi.mircea@student.utcluj.ro

³Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Cluj Napoca, zacharievici.ra.adri@student.utcluj.ro

Îndrumător/îndrumători

Conf.Dr.Ing. Mihai NEDELCO

Șef lucr. Dr. Ing. Teodora Besoiu

Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Cluj Napoca

mihai.nedelcu@mecon.utcluj.ro

Teodora.BESOIU@mecon.utcluj.ro

REZUMAT:

Lucrarea constă în dezvoltarea unei aplicații de calcul structural a plăcilor plane dreptunghiulare sub acțiunea sarcinilor transversale așezate pe mediu elastic. Conlucrarea dintre placă și mediu elastic se ia în considerare acceptând ipoteza lui Winkler, iar funcția deplasărilor transversale $w(x,y)$ se exprimă prin serii simple trigonometrice. Aplicația dezvoltată în Matlab permite analiza liniară a plăcilor plane dreptunghiulare pe mediu elastic sub diverse condiții de rezemare pe contur. Rezultatele sunt comparate cu cele obținute în urma unei analize numerice liniare efectuate într-un program comercial de calcul structural bazat pe Metoda Elementelor Finite. Un studiu de convergență stabilește discretizarea optimă în funcție de calitatea rezultatelor și timpul de analiză.

Cuvinte cheie: Winkler, mediu elastic, placă plană, MEF.

1. Introducere

Sunt foarte frecvente cazurile în care plăcile plane acționate transversal pot rezema și pe un mediu elastic (ex. terenul de fundare), așa cum se prezintă îmbrăcămintile din beton ale șoselelor, piste de aterizare ale aeroporturilor, fundațiile pe radiere sau plăcile de baza ale rezervoarelor care înmagazinează lichide sau gaze sub presiune etc.

În această lucrare este abordat calculul plăcilor plane pe mediu elastic în ipoteza lui Winkler, potrivit căreia mărimea reacțiunii $q(x,y)$ a terenului într-un punct oarecare al plăcii este proporțională cu deplasarea transversală $w(x,y)$ în acel punct, aproximație adesea suficientă în calculele ingineresti privind reprezentarea comportării terenului de fundare în interacțiune cu infrastructura. De asemenea, se neglijează forțele de frecare dintre placă și teren, apoi se consideră că placa și mediul elastic rămân permanent în contact, iar coeficientul de pat (sau de tasare) k se presupune același în toate punctele corespunzătoare domeniului plăcii, mediul elastic fiind asimilat cu un material omogen.

Astfel, problema conlucrării dintre placa plană și mediul elastic se rezolva pe baza relației:

$$q(x, y) = k \cdot w(x, y) \quad (1)$$

unde: q -reacțiunea terenului;

w -deplasarea transversală;

k -coeficient de tasare al terenului.

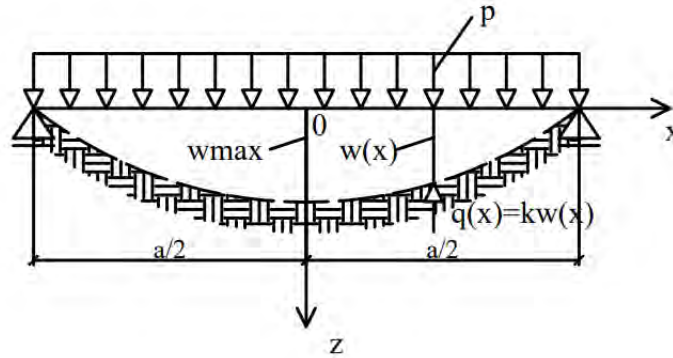


Figura 1. Deformarea suprafeței mediane a plăcii sub acțiunea încărcării uniform distribuite

Coefficientul de tasare (pat) k , având unitatea de măsură $[FL^{-3}]$, se deduce experimental, fiind în funcție de natura terenului, acesta are semnificația unui coeficient de rigiditate al mediului elastic, adică reprezintă reacțiunea necesară producerii într-un punct a unei deplasări unitare. În Tabelul 1 sunt date câteva valori ale acestui coeficient conform normativului de fundații NP 112-2013. Principalul neajuns al ipotezei Winkler este acela că surprinde numai deformarea mediului elastic de sub placa plană, rezultând discontinuități ale acestuia în dreptul conturului ei.

Tabelul 1. Coeficientul de tasare în funcție de natura terenului.

Pământuri grosiere	I_D		
	0=0.33	0.34÷0.66	0.67÷1.00
k_s (kN/m ³)	14000÷25000	25000÷72000	72000÷130000
Pământuri fine	I_c		
	0=0.25	0.25÷0.50	0.50÷0.75
k_s (kN/m ³)	-	7000÷34000	34000÷63000
			63000÷100000

Pentru plăcile plane, având un anumit mod de rezemare și încărcări date, necunoscuta principală devine deplasarea transversală $w(x,y)$, care este soluția ecuației cu derivate parțiale de ordinul 4, liniară și neomogenă (2). De asemenea, această formulă trebuie să satisfacă condițiile pe contur și condițiile la limită, geometrice și statice, potrivit modului de rezemare al fiecărei laturi.

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{p(x,y) - k \cdot w}{D} \quad (2)$$

unde: w – deplasarea transversală;

p – sarcina uniform distribuită;

k – coeficient de tasare (de pat) al terenului;

D – rigiditatea la încovoiere a plăcii $D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$, care depinde de material (E , μ) și de grosimea plăcii (h).

Obiectivul principal al lucrării constă în dezvoltarea unei aplicații în Matlab care să rezolve plăcile plane dreptunghiulare pe mediu elastic încărcate cu sarcini uniform distribuite aflate sub diverse condiții de rezemare, în prezenta lucrare analizându-se placa simplu rezemată pe contur, respectiv încastrată pe două laturi paralele și simplu rezemată pe celelalte două laturi. Rezultatele fiind apoi validate cu ajutorul unui program de calcul Robot Structural Analysis care se bazează pe Metoda Elementelor Finite.

2. Analiza plăcilor plane pe mediu elastic în Matlab



Soluția generală a deplasării transversale $w(x,y)$ se alege sub forma seriei simple trigonometrice cu coeficienți variabili (3).

$$w(x,y) = \sum_{n=1}^{\infty} Y_n(y) \sin \frac{n\pi x}{a} \quad (3)$$

Unde: a – lățimea plăcii; x – variabilă.

Pentru determinarea deplasării transversale $w(x,y)$ s-a scris un cod în Matlab care pe baza ecuației de ordinul IV, liniară și neomogenă, având coeficienți constanți, la care s-a adăugat coeficientul de tasare k (4), se generează valoarea deplasării transversale maxime. Funcțiile $Y_n(y)$ determinându-se astfel încât deplasarea $w(x,y)$ să satisfacă ecuația plăcilor plane (2).

$$Y_n^{IV}(y) - 2 \frac{n^2 \pi^2}{a^2} Y_n''(y) + \left(\frac{n^4 \pi^4}{a^4} + \frac{1k}{D} \right) Y_n(y) = \frac{4p}{\pi D} \quad (4)$$

Unde: p – sarcina uniform distribuită;
 D – rigiditatea la încovoiere a plăcii;
 a – lățimea plăcii.

În programul Matlab s-a utilizat un calcul simbolic, definindu-se următorii termeni cu valoare simbolică: laturile plăcii a, b , rigiditatea la încovoiere a plăcii D , sarcina uniform distribuită p , coeficientul de tasare al terenului k . S-a introdus ecuația (4), urmând ca mai apoi prin aplicarea condițiilor la limită să se creeze funcția deplasării transversale (w). Apoi prin atribuirea valorilor numerice termenilor declarați inițial cu valoare simbolică, prin dezvoltare simplă trigonometrică, să rezulte valoarea deplasării transversale maxime și să se afișeze alura plăcii deformată (Figura3).

```
clear all;
syms Y(y) n a b pi_sim D k p

coef=n^2*pi_sim^2/a^2;

Ec=diff(Y,y,4)-2*coef*diff(Y,y,2)+(coef^2+1*k/D)*Y==4*p/(n*pi_sim*D);
Y_der=diff(Y,y);
cond = [Y(-b/2) == 0, Y(b/2) == 0, Y_der(-b/2)==0, Y_der(b/2)==0];

Y_sol=dsolve(Ec,cond);%solutia w
matlabFunction(Y_sol,'File','w_Y');%se creeaza o functie w
```

Figura 2. Fragment de cod din Matlab care conține ecuația (4).

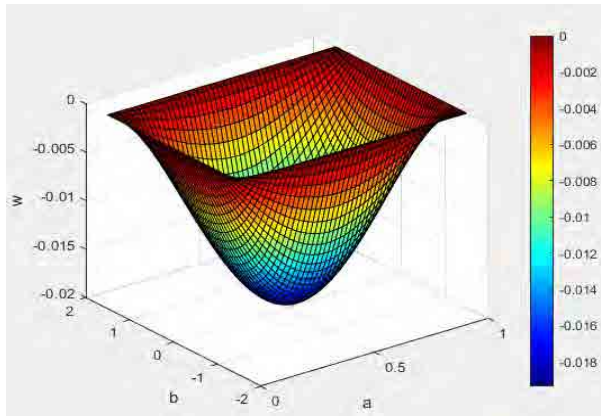


Figura 3. Diagrama tridimensională a deplasării transversale $w(x,y)$ în Matlab.

Analiza s-a efectuat pentru plăcile dreptunghiulare având două tipuri de rezemare: simplu rezemată pe contur (Figura 4), respectiv încastrată pe două laturi paralele și simplu rezemată pe celelalte două (Figura 5).

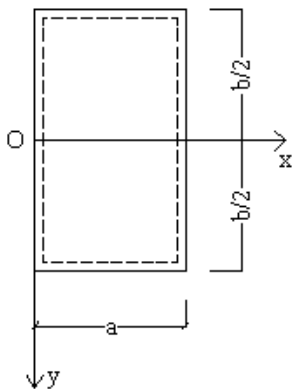


Figura 4. Placă simplu rezemată pe contur

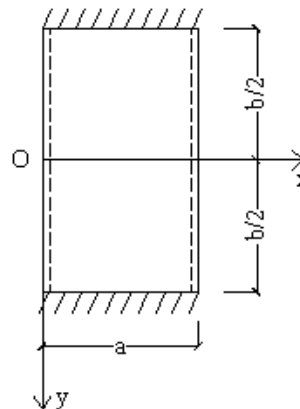


Figura 5. Placă încastrată pe două laturi paralele și celelalte simplu rezemate

3. Rezultate numerice

Considerăm o placă plană cu următoarele caracteristici: coeficientul lui Poisson $\mu=0.2$, modulul de elasticitate $E = 31 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$, grosimea plăcii $h=0.15 \text{ m}$, latura scurtă $a = 1 \text{ m}$, latura lungă $b = 3 \text{ m}$, încărcată cu o sarcină uniform distribuită $p = 15 \text{ kN/m}^2$. Coeficientul de pat s-a ales conform normativului privind proiectarea fundațiilor de suprafață, Indicativ NP112-2013, în funcție de natura terenului, $k=0.05 \text{ N/mm}^2$.

Pentru calculul analitic s-a utilizat programul Matlab R2023a, iar pentru analiza numerică datele au fost introduse în Robot Structural Analysis Professional 2024. Discretizarea s-a realizat tot mai fin (numarul Elementelor Finite rectangulare fiind ales din ce în ce mai mare) pentru o apropiere cât mai exactă de rezultatul real. Metoda Elementelor Finite este o metodă aproximativă iar rezultatele depind de discretizarea introdusă de către utilizator. În această lucrare pentru reprezentările grafice ale rezultatelor s-a ales discretizarea plăcii într-un număr de 50 de termeni.

În Figurile 5a,b, 6a,b se poate observa deformata plăcii, iar în Tabelul 2 sunt date valorile deplasării maxime pentru cele două tipuri de rezemare a plăcii, în funcție de mărimea discretizării.

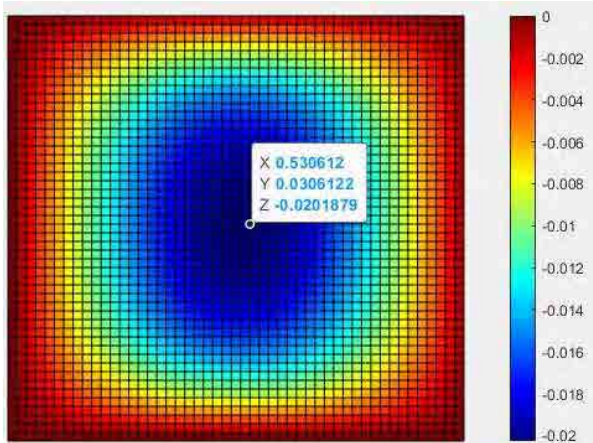


Figura 5a. Diagrama deplasării transversale w pentru placă încastată pe două laturi paralele și simplu rezemată pe celelalte două în Matlab.

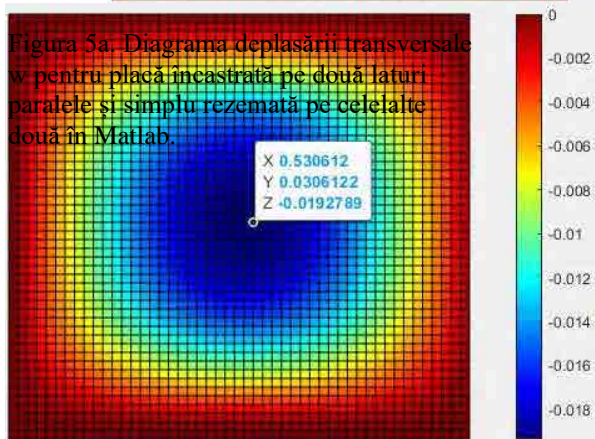


Figura 5b. Diagrama deplasării transversale w pentru placă simplu rezemată pe contur în Matlab.

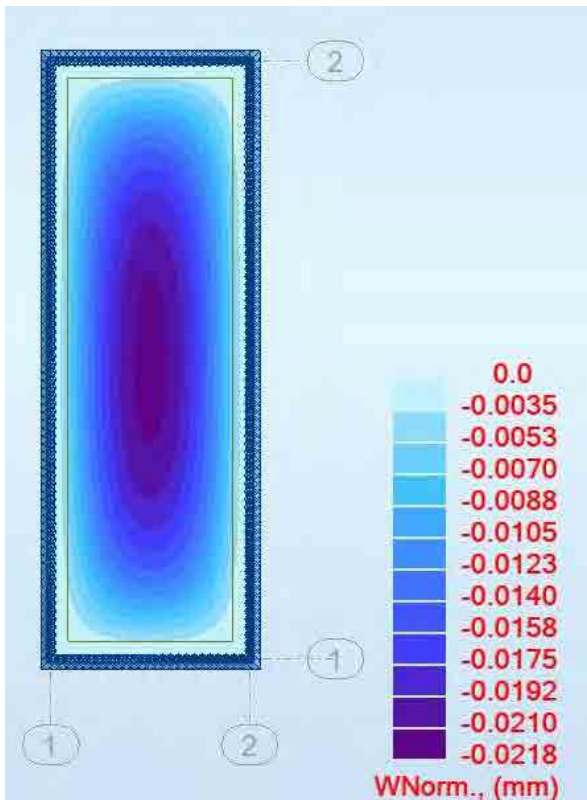


Figura 6a. Diagrama deplasării transversale w pentru placă încastată pe două laturi paralele în Robot Structural Analysis.

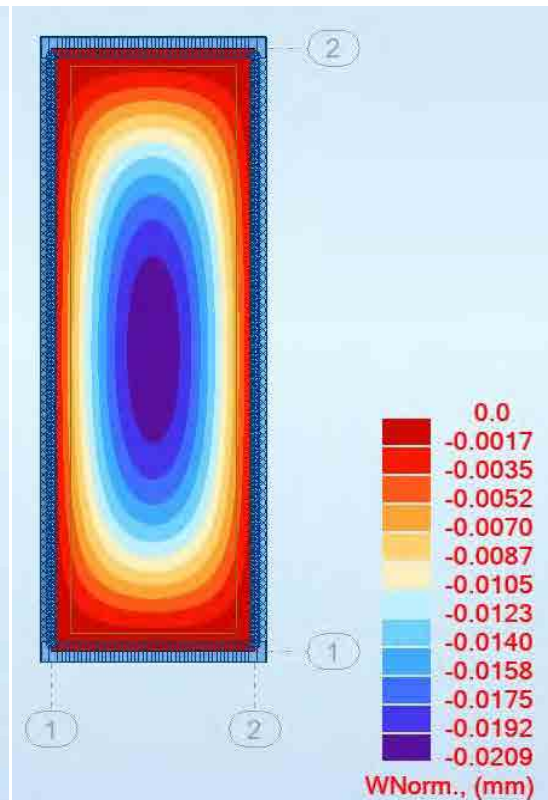


Figura 6a. Diagrama deplasării transversale w pentru placă simplu rezemată pe contur în Robot Structural Analysis.



Tabel 2. Compararea rezultatelor pentru deplasarea maximă în funcție de numărul de discretizări în Matlab și Robot Structural Analysis.

Tipul de rezemare	Numărul de termeni (discretizări)	Matlab	Robot Structural Analysis	Diferența %
Simplu rezemat pe contur	10	0.0203	0.02	1.48
	15	0.0202	0.0213	5.16
	20	0.0203	0.0216	6.02
	25	0.0203	0.0217	6.45
	50	0.0203	0.0218	6.88
	100	0.0203	0.0219	7.31
Încastrată pe două laturi paralele	10	0.0189	0.0193	2.07
	15	0.0194	0.0205	5.37
	20	0.0194	0.0208	6.73
	25	0.0194	0.0208	6.73
	50	0.0194	0.0209	7.18
	100	0.0194	0.021	7.62
Încastrată pe o latură	10	0.0196	0.0198	1.01
	15	0.0198	0.021	5.71
	20	0.0198	0.0213	7.04
	25	0.0199	0.0213	6.57
	50	0.0199	0.0214	7.01
	100	0.0199	0.0214	7.01

4. Concluzii

În prezenta lucrare s-a realizat analiza plăcilor plane dreptunghiulare supuse unei sarcini uniform distribuite, așezate pe un mediu elastic sub două condiții de rezemare, simplă rezemare pe tot conturul, respectiv încastrare pe două laturi paralele și simplă rezemare pe celelalte două laturi, atât din punct de vedere analitic (Matlab), cât și numeric (Robot Structural Analysis), comparându-se în final valorile deplasării transversale maxime.

Mai exact s-a analizat placa plană dreptunghiulară așezată pe un mediu elastic având raportul laturilor (b/a) egal cu 3, dorind să se determine valoarea deplasării transversale maxime, valorile obținute prin cele două metode fiind ulterior comparate ajungându-se la o diferență de maxim 7% între valorile finale, diferență acceptată datorită utilizării metodelor de calcul aproximative.

În concluzie, aplicația dezvoltată în Matlab poate fi utilizată pentru calculul plăcilor plane dreptunghiulare așezate pe mediul elastic acționate de o sarcină uniform distribuită pe toată suprafața datorită rezultatelor obținute.

BIBLIOGRAFIE

1. Marțian, I., *Teoria elasticității și plasticității pentru constructori*, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 1999.
2. C. Bia, V. Ilie, M.V. Soare, *Rezistența materialelor și teoria elasticității*, Editura Didactică și Pedagogică, 1983.
3. *Normativ privind proiectarea fundațiilor de suprafață*, Indicativ NP 112-2013.

PREMII

Premiul	Numele și prenumele autorului/autorilor	Instituția de învățământ	Titlul lucrării	Îndrumător/îndrumători
I	Cristina CIULEI Adrian RADUTA	UNITbv Facultatea de Construcții	Calculul secțiunilor la torsiune prin metoda elementelor finite	A. DOȘA
II	Roxana PĂCURAR	UTCN Facultatea de Construcții	Studiu comparativ între metoda matricială și metoda elementului finit pentru elemente de tip bară	Lucian ȘTEFAN
III	Iulia ILIE Radu Cristian MAN	UTCN Facultatea de Construcții	Analiza seismică neliniară prin prelucrarea accelerogramelor și determinarea caracteristicilor dinamice structurale	Adrei FAUR
Mențiune	David BERENDE Denisa Ioana ANTONIAG Emil COROS	UTCN Facultatea de Construcții	Aplicarea Metodei Diferențelor Finite în rezolvarea problemei plane a teoriei elasticității	Mihai NEDELICU Teodora BESOIU
Mențiune Specială	Raluca Claudia CRĂCIUN Aurel ISIP Alexandra Maria DEAC	UTCN Facultatea de Construcții	Aplicarea Metodei Diferențelor Finite în rezolvarea plăcilor plane	Mihai NEDELICU Teodora BESOIU
Mențiune Specială	Ines GEAFAR	Universitatea Ovidius din Constanța Facultatea de Construcții	Analiza comportării structurilor din beton cu armătură rigidă	Sunai GELMAMBET