

**UNIVERSITATEA “OVIDIUS” DIN CONSTANȚA
ȘCOALA DOCTORALĂ DE MATEMATICĂ
DOMENIUL DE DOCTORAT - MATEMATICĂ**

**Rezumat
TEZĂ DE DOCTORAT**

**Conducător de doctorat
Prof. univ. dr. Eduard-Marius Crăciun**

**Student-doctorand
Gilbert Marius Daniel Ghiță**

CONSTANȚA, 2025

**UNIVERSITATEA “OVIDIUS” DIN CONSTANȚA
ȘCOALA DOCTORALĂ DE MATEMATICĂ
DOMENIUL DE DOCTORAT - MATEMATICĂ**

Rezumat

**MODELAREA MATEMATICĂ A
FENOMENULUI DE PROPAGARE A
FISURILOR ÎN MATERIALE
PIEZOELECTRICE SUB ACȚIUNEA
CÂMPURILOR ÎNȚIALE**

**Conducător de doctorat
Prof. univ. dr. Eduard-Marius Crăciun**

**Student-doctorand
Gilbert Marius Daniel Ghiță**

**Comisia de îndrumare
Prof. univ. dr. Luminița Cosma
Prof. univ. dr. Cristina Flaut
Prof. univ. dr. Alina Bărbulescu**

CONSTANȚA, 2025

Rezumat
TEZĂ DE DOCTORAT

CUPRINS

Cuprins	i
1 Introducere	1
2 Preliminarii	5
3 Material piezoelectric pretensionat și prepolarizat cu fisură eliptică	7
4 Propagarea fisurilor armate într-un material piezoelectric pretensionat și prepolarizat	8
5 Modelarea matematică a comportamentului dinamic pentru nanobarele piezotermoelastice	9
6 Concluzii	10
Referințe bibliografice	14

CAPITOLUL 1

INTRODUCERE

Scurt istoric

Materialele piezoelectrice sunt utilizate pe scară largă în imagistica medicală, acustică, în confecționarea cipurilor, senzorilor, hidrofoanelor, a dispozitivelor de acționare a componentelor inteligente ale colectoarelor de energie. Proprietățile mecanice ale materialelor compozite cuplate cu proprietățile electrice ale materialelor piezoelectrice și uneori și cu proprietățile magnetice oferă scopul de a fi create structuri inteligente capabile să răspundă schimbărilor interne și înconjurătoare, fiind folosite datorită capacității lor de a reduce concentrația stării de tensiune și creșterii rezistenței la rupere în domeniul instrumentelor electronice, a aparatelor cu microunde și în optoelectronică.

Studiul câmpurilor de tensiune într-un corp infinit anizotrop sau piezoelectric cu o gaură eliptică a reprezentat și încă reprezintă o problemă interesantă și provocatoare în rândul mecanicienilor. Datorită simplității și importanței sale, acestor studii li s-au alocat un interes considerabil în ultimele decenii din partea multor autori. Studiul unei fisuri sau al unei incluziuni eliptice aflate în materiale compozite are o mare importanță în teorie și aplicații și a fost realizat în multe lucrări interesante, de exemplu ([10], [17], [18], [53], [70]). Din cauza anizotropiei materialului și a efectelor de cuplaj electroelastic, modelarea matematică a materialelor piezoelectrice cu defecte precum fisuri, incluziuni, slăbiri nu este simplu de elaborat din punct de vedere matematic, exemple în acest sens fiind lucrările ([9], [29], [46], [66], [67], [68], [78], [76]).

Utilizând formalismul Lekhnitskii ([14], [42] [50]) pentru materiale compozite elastice anizotrope și metoda lui Guz ([28]) pentru materiale compozite elastice pretensionate, Soos ([4], [5], [19], [64]) obține reprezentarea prin doi potențiali complecși $\Psi_j = \Psi_j(z_j)$, $j = 1, 2$ în cazul problemei incrementale antiplane a

componentelor incrementale ale tensiunii θ , și ale deplasării incrementale electrice Δ .

Aplicațiile materialelor piezoelectrice sunt de o deosebită importanță pentru utilizarea senzorilor și actuatorilor în structurile inteligente din imagistica medicală, în aplicațiile cu ultrasunete, în acustică și în multe alte domenii ale ingineriei.

În ultimele decenii, o mulțime de cercetători au efectuat studii importante în domeniul modelării matematice a materialelor piezoelectrice datorită efectelor de cuplaj apărute între câmpurile electrice și cele mecanice. Eringen și Maugin în primul volum al monografiei fundamentale ([24]) au studiat stabilitatea materialelor piezoelectrice utilizând teoria micilor deformății suprapuse peste marile deformății ale câmpurilor elastice statice. Sosa ([67]-[68]) a studiat propagarea fisurilor în medii piezoelectrice bi și tridimensionale transversal izotrope în cadrul formalismului tehnicilor de variabilă complexă. Într-una dintre primele lucrări referitoare la ruperea la interfața materialelor piezoelectrice multifazice, Suo și colaboratorii ([69]), au dezvoltat o nouă teorie a mecanicii ruperii pentru a determina intensitatea fenomenului de rupere și propagarea fisurilor existente în materialele ceramice piezoelectrice în cazul condițiilor de histerezis. Cu ajutorul formalismului lui Muskhelishvili sau a lui Lekhnitskii aplicat în cazul materialelor piezoelectrice fisurate, mulți autori au obținut rezultate importante și imperativ necesare studiului propagării, Huang ([30]) sau a interacțiunii fisurilor, Crăciun ([15]-[20]). Bardzokas și colaboratorii ([7]-[9]) au studiat ruperea plăcilor piezoceramice având defecte sub formă de fisuri/incluziuni și găuri, reducând problemele cu valori limită ale electroelasticității la rezolvarea unor sisteme de ecuații integrale.

Problemele de fisurare la interfața materialelor piezoelectrice au primit o atenție considerabilă din partea multor cercetători ([29], [57]). Contribuții recente au fost aduse în literatura de specialitate de către alți autori, ([46], [74]), ce au furnizat soluții analitice pentru problemele de fisurare la interfață, în cazul fisurilor de interfață impermeabile sau permeabile. Problema modelării matematice a materialului piezoelectric deformat inițial acționat de câmpuri mecanice și electrice inițiale care conține o fisură armată este insuficient studiată până în prezent.

În ultimii ani, mulți cercetători au fost atrași de studiul structurilor formate din micro și nanomateriale datorită proprietăților lor speciale electronice, electrice și mecanice. Grație acestor proprietăți, nanomaterialele sunt utilizate ca componente structurale elementare, nanobare în sistemele microelectromecanice (MEMS) sau în sistemele nanoelectromecanice (NEMS) precum și în dispozitivele piezoelectrice. Cu toate acestea, au apărut provocări majore pe măsură ce trecem la scara micro sau nano. De aceea, sunt necesare viitoare studii ale materialelor piezoelectrice pentru creșterea performanței tehnologiei de fabricare a senzorilor, filtrelor, actuatorilor, traductoarelor etc.

Foliile subțiri piezoelectrice sunt integrate cu componente structurale pentru a obține structuri inteligente precum MEMS sau NEMS și cu alte materiale compozite utilizate pentru alte diverse funcții cerute. Cristalele piezoelectrice produc sarcină electrică atunci când se aplică o anumită forță mecanică și viceversa. Astfel, materialul piezoelectric ne ajută la acționarea structurii în timp ce se utilizează efectul piezoelectric, adică câmpul electric aplicat generează deformarea mecanică.

Utilizările MEMS/NEMS includ utilizarea traductoarelor pentru obținerea energiei în ingineria mecanică, navigație, industria aerospațială și marină, imagistica medicală cu ultrasunete, la imprimarea cu jet de cerneală, la monitorizarea fluidelor cu ajutorul surselor de alimentare piezoelectrice și în cazul dispozitivelor cu unde acustice de suprafață. Odată cu progresele sistemelor MEMS/NEMS moderne, necesarul surselor de alimentare se reduce și, prin urmare, suntem orientați spre noi amendamente ale teoriei de bază a piezoelectricității.

Există un număr mare de lucrări de cercetare care descriu teoriile de bază în cadrul studiului materialelor piezoelectrice și a altor materiale conexe, dintre care vom cita numai câteva în cele ce urmează. Ieșean, ([39]) a investigat și a obținut rezultatele fundamentale în cazul problemei deformării plane pentru materialele piezoelectrice omogene anizotrope. Liang și Shen, ([44]) au examinat încovoierea nanobarelor de tip Bernoulli-Euler cu efect piezoelectric. Eom și Troler-McKinstry, ([23]) au studiat proiectarea hetero-structurii MEMS cu peliculă subțire cu efect piezoelectric. Vahdat și colaboratorii săi, ([71]) au investigat structura tip sandwich rezonator între două straturi piezoelectrice. Sadek și Abukhaled, ([56]) au analizat vibrațiile unei grinzi datorate căldurii emise de către un actuator piezoelectric. Kumar și Sharma, ([38]) au studiat amortizarea termoelastică într-o grindă piezotermoelastică utilizând ecuația termică derivată de ordin fracțional pentru un material izotrop transversal. Li și He, ([43]) au studiat bara piezoelectrică cu elasticitate nelocală, conducție termică de ordin fracțional și sursă de căldură mobilă. Zenkour, ([73]) a studiat răspunsul termomecanic al microbarei cu ajutorul teoriei analizei tensiunii de cuplu modificate supuse la două temperaturi. Și alți cercetători au studiat comportamentul nanobarei piezoelectrice, precum Sharma și Kaur, ([61], [62]), Abouelregal și Zenkour, ([2]), Lata și Kaur, ([40]).

Scopul și obiectivele cercetării

În această teză de doctorat, îmi propun să studiez și să obțin următoarele rezultate:

1. Am obținut o soluție într-o formă elementară, compactă pentru potențialii complecși precum și a câmpurilor incrementale de tensiune și electricitate pentru

problema unei incluziuni eliptice aflate într-un material piezoelectric pretensionat și prepolarizat acționat la mari distanțe de tensiuni de forfecare antiplane constante și uniforme, utilizând metoda transformării conforme.

2. În cazul unui material piezoelectric acționat inițial de câmpuri mecanice și electrice și care conține o fisură armată de lungime $2a > 0$ situată pe axa Ox_1 , supusă Modului III antiplan de rupere clasică, am obținut și rezolvat problemele Riemann-Hilbert găsite în potențiali complecși, obținând în cazul unei valori constante pentru tensiunea antiplană aplicată, potențialii complecși, câmpurile incrementale de deplasare și de tensiune, precum și direcția de propagare a unei fisuri armate într-un material piezoelectric de tip PZT.

3. În contextul teoriei piezotermoelasticității generalizate sunt obținute noi modele matematice pentru nanobarele de tip piezotermoelastică, determinând astfel expresiile pentru deflecția laterală, potențialul electric, momentul termic, amortizarea termoelastică și saltul frecvenței.

Rezultatele originale ale celor trei studii de mai sus, obținute de autor sunt prezentate fiecare în Capitolele 3, 4 și 5. De asemenea, această teză de doctorat conține acest capitol introductiv, un capitol prezentând preliminariile studiului, un capitol conținând concluziile studiilor din teza de doctorat și un capitol prezentând titlurile bibliografice.

Mulțumiri

Doresc să adresez mulțumiri conducatorului meu de doctorat, prof. univ. dr. Crăciun Eduard-Marius, care m-a îndrumat, încurajat și sprijinit de-a lungul perioadei studiilor doctorale, precum și profesorilor din comisia de îndrumare care m-au ajutat la formarea mea în acești ani de pregătire ai stagiului de doctorat.

CAPITOLUL 2

PRELIMINARII

Rezultatele originale ale tezei de doctorat le găsim în Capitolele 3-5.

În Capitolul 3 al prezentei teze de doctorat studiem problema unei incluziuni/fisuri eliptice într-un material piezoelectric pretensionat și prepolarizat supus unor tensiuni de forfecare antiplane, constante și uniforme la distanță, conform modului trei de rupere, utilizând reprezentarea câmpurilor incrementale elastice și electrice prin doi potențiali complecși $\Psi_j = \Psi_j(z_j)$, $j = 1, 2$ și tehnica reprezentării conforme a regiunilor cu fisură eliptică în exteriorul cercului unitar. Coeficienții necunoscuți ai funcțiilor analitice $\Psi_1(z_1)$ și $\Psi_2(z_2)$ reprezentate prin două serii Laurent în două plane complexe sunt determinați din condițiile pe frontieră și la limită. În cazul unui material piezoelectric pretensionat și prepolarizat de clasa $42m$ cu o incluziune eliptică de tip fisură, când semiaxa mică tinde spre zero, potențialii complecși obținuți în acest capitol sunt de aceeași formă cu cei rezultați din problema propagării fisurii prin rezolvarea problemei Riemann-Hilbert, ([19], [64]).

În Capitolul 4 analizăm starea antiplană a materialelor piezoelectrice pretensionate și prepolarizate care conțin o fisură armată, urmând modelul fisurii armate utilizat de Bigoni și colaboratorii ([12], [72]). Folosindu-ne de celebra monografie a lui Eringen și Maugin ([24]) deducem legile echilibrului incremental, ecuațiile constitutive și condițiile suficiente în care pot exista stări incrementale antiplane în materialul piezoelectric pretensionat și prepolarizat de tip PZT ([63]), având axa de polarizare a materialului în direcția pozitivă Ox_3 . În acest caz, starea incrementală antiplană poate fi reprezentată prin doi potențiali complecși și în cazul în care tensiunea incrementală aplicată are o valoare constantă, determinăm expresiile asimptotice ale potențialilor complecși și reprezentările asimptotice ale câmpurilor incrementale mecanice și electrice. Extinzând criteriul densității energiei de deformare al lui Sih din cazul materialelor izotrope ([59], [63]) în cazul materialelor piezoelectrice pretensionate și prepolarizate determinăm direcția de propagare a

fisurii armate pentru un anumit material piezoelectric PZT în funcție de constanta de rigiditate, și de câmpurile inițiale elastice și electrice.

În Capitolul 5 studiem comportamentul unei nanobare piezotermoelastică având capetele fixate și ținute la o temperatură constantă, utilizând teoria piezotermoelasticității generalizate. Din modelul matematic astfel formulat obținem expresiile adimensionale pentru deflecția laterală, potențialul electric, momentul termic, amortizarea termoelastică și saltul frecvenței. În contextul teoriei piezotermoelasticității generalizate, utilizând reprezentările grafice cu ajutorul programului MATLAB am studiat influența efectului frecvenței în reprezentarea soluțiilor obținute pentru deflecția laterală, potențialul electric, momentul termic, amortizarea termoelastică și a saltului frecvenței în funcție de lungimea nanobarei în cadrul teoriei cuplate (CT), teoriei Lord-Shulman (LS) și respectiv teoriei Green-Lindsey (GL).

CAPITOLUL 3

MATERIAL PIEZOELECTRIC PRETENSIONAT ȘI PREPOLARIZAT CU FISURĂ ELIPTICĂ

Scopul principal al prezentului capitol constă în obținerea unor noi rezultate referitoare la soluția exprimată prin potențiali complecși a problemei unei fisuri eliptice aflate într-un material piezoelectric pretensionat și prepolarizat acționat la mari distanțe de tensiuni de forfecare antiplane constante și uniforme.

Structura capitolului de față este următoarea: în Subcapitolul 3.1 este prezentată reprezentarea câmpurilor incrementale elastice și electrice prin doi potențiali complecși în cazul unui material piezoelectric pretensionat și prepolarizat. În Subcapitolele 3.2 și 3.3 sunt evidențiate rezultatele originale obținute. În Subcapitolul 3.2 utilizând condițiile la limită și metoda reprezentării conforme determinăm expresiile generale ale potențialilor complecși ca serii Laurent, iar în Subcapitolul 3.3 determinăm coeficienții potențialilor complecși în cazul problemei unei fisuri eliptice într-un material piezoelectric pretensionat și prepolarizat de clasa $\bar{4}2m$. Noutatea acestui capitol o reprezintă obținerea unei soluții elementare sub formă compactă a potențialilor complecși cu ajutorul cărora determinăm câmpurile incrementale electrice și de tensiune în cazul problemei fisurii eliptice aflate într-un material piezoelectric pretensionat și prepolarizat acționat la mari distanțe de tensiuni de forfecare antiplane constante și uniforme.

Rezultatele acestui capitol au fost publicate în lucrarea [21] Craciun, EM., Ghita, GMD., Rapeanu, E. Prestressed and prepolarized piezoelectric material with an elliptical hole. Z. Angew. Math. Phys. 76, 18 (2025).

CAPITOLUL 4

PROPAGAREA FISURILOR ARMATE ÎNTR-UN MATERIAL PIEZOELECTRIC PRETENSIONAT ȘI PREPOLARIZAT

Scopul principal al prezentului capitol constă în obținerea unor noi rezultate referitoare la modelarea matematică a unei fisuri armate/ranforsate (bridge crack) în materiale piezoelectrice pretensionate și prepolarizate în modul III de rupere clasică.

Structura capitolului de față este următoarea: în Subcapitolul 4.1 este prezentată starea antiplană a materialelor piezoelectrice pretensionate și prepolarizate, studiind cazul materialului piezoelectric pretensionat și prepolarizat de tip PZT. În Subcapitolele 4.1, 4.2 și 4.3 sunt evidențiate rezultatele originale obținute. În Subcapitolul 4.2 studiem problema unei fisuri antiplane armate în materiale piezoelectrice pretensionate și prepolarizate. Utilizând condițiile la limită ale fisurii armate se obțin ecuațiile diferențiale liniare, neomogene având potențialii complecși ca necunoscute. Pentru o valoare constantă a sarcinilor incrementale aplicate, determinăm potențialii complecși, deplasările și câmpurile incrementale de tensiune corespunzătoare celui de-al treilea mod al ruperii clasice. În Subcapitolul 4.3 vom extinde criteriul de rupere al densității energiei de deformare al lui Sih (SED) în cazul materialelor piezoelectrice pretensionate și prepolarizate și vom studia propagarea fisurilor armate aflate în modul antiplan de rupere într-un material piezoelectric de tip PZT. Cu ajutorul rezultatelor numerice și reprezentării grafice a densității energiei incrementale de deformare, obținem direcția de propagare a fisurii funcție de diferite valori ale constantei de rigiditate precum și de diferite valori ale câmpurilor inițiale elastice și electrice.

Rezultatele acestui capitol au fost publicate în lucrarea [25] Ghita, GMD., Craciun, E.M.: Reinforced crack propagation in a prestressed and prepolarized piezoelectric material, Compos. Struct. 2024;342:118248.

CAPITOLUL 5

MODELAREA MATEMATICĂ A COMPORTAMENTULUI DINAMIC PENTRU NANOBARELE PIEZOTERMOELASTICE

Scopul principal al prezentului capitol constă în obținerea unor noi rezultate referitoare la modelarea matematică a materialelor piezoelectrice unidimensionale în contextul teoriei piezotermoelasticității generalizate.

Structura capitolului de față este următoarea: în Subcapitolul 5.1 sunt prezentate ecuațiile de bază, relațiile constitutive și ecuația de conducție a căldurii pentru un mediu piezo-termoelastic anizotrop. În Subcapitolele 5.1 și 5.2 sunt evidențiate rezultatele originale obținute. În Subcapitolul 5.2 determinăm soluția problemei noastre în cazul unei nanobare piezotermoelastică, omogenă, transversal izotropă cu secțiunea dreptunghiulară, supusă acțiunii unei sarcini de tip armonic uniform distribuite aflate în stare de repaus cu extremitățile fixate și supuse unei temperaturi constante. Pentru diferite cazuri particulare în cazul materialului piezotermoelectric titanat de zirconat de plumb (PZT-5A) se observă influența efectului frecvenței în reprezentarea soluțiilor obținute pentru deflecția laterală, potențialul electric, momentul termic, amortizarea termoelastică și a saltului frecvenței versus lungimea nanobarei în cadrul teoriei cuplate (CT), teoriei Lord-Shulman(LS) și respectiv teoriei Green-Lindsey (GL).

Rezultatele acestui capitol au fost publicate în lucrarea [26] Kaur, I., Singh, K., Ghita, GMD.: New analytical method for dynamic response of thermoelastic damping in simply supported generalized piezothermoelastic nanobeam, ZAMM-Z. Angew. Math. Me. 2021;101(10):e202100108.

CAPITOLUL 6

CONCLUZII

Structura tezei de doctorat

Prezenta teză de doctorat, intitulată *Modelarea matematică a fenomenului de propagare a fisurilor în materiale piezoelectrice sub acțiunea câmpurilor inițiale*, este structurată în șase capitole urmate de o bibliografie cu 82 de titluri.

Rezultate originale

Contribuțiile originale, incluse în prezenta teză de doctorat, sunt următoarele:

1. Studiul inclus în Capitolul 3, intitulat *Material piezoelectric pretensionat și prepolarizat cu fisură eliptică* a fost publicat în lucrarea [21].
2. Studiul inclus în Capitolul 4, intitulat *Propagarea fisurilor armate într-un material piezoelectric precomprimat și prepolarizat* a fost publicat în lucrarea [25].
3. Studiul inclus în Capitolul 5, intitulat *Modelarea matematică a comportamentului dinamic pentru nanobarele piezotermoelastice* a fost publicat în lucrarea [26] și extins pentru nanobarele magnetopiezotermoelastice în lucrarea [27].

Rezultate diseminate

Articole publicate pe durata studiilor doctorale, incluse în teza de doctorat

Pe durata studiilor doctorale am publicat următoarele articole, care au fost incluse în prezenta teză de doctorat:

1. Craciun, EM., **Ghita, GMD.**, Rapeanu, E. Prestressed and prepolarized piezoelectric material with an elliptical hole. *Z. Angew. Math. Phys.* 2025;7618:18 , <https://doi.org/10.1007/s00033-024-02396-4>, revistă indexată ISI, cuartila Q2 (IF, AIS), vezi [21].
2. **Ghita, GMD.**, Craciun, E.M.: Reinforced crack propagation in a prestressed and prepolarized piezoelectric material, *Compos. Struct.* 2024;342:118248, <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2024.118248>, revistă indexată ISI, cuartila Q1 (IF, AIS), vezi [25].
3. Kaur, I., Singh, K., **Ghita, GMD.**: New analytical method for dynamic response of thermoelastic damping in simply supported generalized piezothermoelastic nanobeam, *ZAMM-Z Angew Math Me.* 2021;101(10):e202100108, <https://doi.org/10.1002/zamm.202100108>, revistă indexată ISI, cuartila Q1 (IF), vezi [26].
4. Kaur, I., Singh, K., **Ghita, GMD.**, Craciun, EM.: Modeling of a magneto-electro-piezo-thermoelastic nanobeam with two temperature subjected to ramp type heating, *Proc. Rom. Acad., Ser. A: Math. Phys. Tech. Sci. Inf. Sci* 2022;23(2):143-152, revistă indexată ISI, cuartila Q3 (IF, AIS), vezi [27].

Prezentarea rezultatelor cercetării științifice

Conferințele științifice naționale și internaționale, în cadrul cărora am prezentat rezultatele cercetării pe durata studiilor doctorale, sunt următoarele:

- **Students' International Conference, CERC, București, 06-07 Noiembrie, 2020**, Academia Tehnică Militară Ferdinand I București, cu lucrarea *Cracks in a prestressed and prepolarized piezoelectric material*.
- **Conferința națională a studenților, masteranzilor și doctoranzilor Tehnonav Jr., Ediția a-XI-a, 25 Mai, 2022**, Universitatea Ovidius din Constanța, cu lucrarea *Modelarea matematica a nanobarelor magneto-electro-piezotermoelastice*.
- **15-th International Conference on advanced computational engineering and Experimenting, ACEX 2022, Florența, Italia, 03-07 Iulie, 2022**,

cu lucrarea ACEX 420 *Anti-plane interface crack in piezoceramics with initial fields*, la sesiunea *Plasticity and Constitutive Modelling (SS2)*, online, 06 Iulie ora 10:20-10:50.

- **27th International Conference on Composite Structures, ICCS27, Ravenna, Italia, 03-06 Septembrie, 2024**, University of Bologna, cu lucrarea 1224 *Reinforced crack propagation in a prestressed and prepolarized piezoelectric material*, la sesiunea *Delamination, damage, fracture, failure and durability of composites* online, 06 Septembrie ora 11:50-12:10.

Premierea rezultatelor cercetării științifice

Dintre articolele publicate pe parcursul studiilor doctorale, enumerate în Subcapitolul 6.3.1 a fost premiat în cadrul competiției "Premierea rezultatelor cercetării- UEFISCDI" următorul articol:

1. **New analytical method for dynamic response of thermoelastic damping in simply supported generalized piezothermoelastic nanobeam**, ZAMM-Z. Angew. Math. Me. 2021;101(10):e202100108, vezi [26].

Dacă va continua competiția "Premierea rezultatelor cercetării- UEFISCDI" și următoarele două articole enumerate în Subcapitolul 6.3.1 vor fi premiate, fiind în cuartilele Q2 (zona galbenă) și respectiv Q1 (zona roșie):

1. Craciun, EM., **Ghita, GMD.**, Rapeanu, E. Prestressed and prepolarized piezoelectric material with an elliptical hole. Z. Angew. Math. Phys. 2025;7618:18 , <https://doi.org/10.1007/s00033-024-02396-4>, revistă indexată ISI, cuartila Q2 (IF, AIS), vezi [21].
2. **Ghita, GMD.**, Craciun, E.M.: Reinforced crack propagation in a prestressed and prepolarized piezoelectric material, Compos. Struct. 2024;342:118248, <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2024.118248>, revistă indexată ISI, cuartila Q1 (IF, AIS), vezi [25].

Citări

Articolele publicate pe parcursul studiilor doctorale, enumerate în Subcapitolul 6.3.1 au până în prezent 29 de citări în Web of Science, numărul citărilor pentru fiecare lucrare fiind menționat mai jos:

1. Craciun, EM., **Ghita, GMD.**, Rapeanu, E. Prestressed and prepolarized piezoelectric material with an elliptical hole. *Z. Angew. Math. Phys.* 2025;7618:18 , <https://doi.org/10.1007/s00033-024-02396-4>, revistă indexată ISI, cuartila Q2, vezi [21], **1 citare**.
2. **Ghita, GMD.**, Craciun, E.M.: Reinforced crack propagation in a prestressed and prepolarized piezoelectric material, *Compos. Struct.* 2024;342:118248, <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2024.118248>, revistă indexată ISI, cuartila Q1, vezi [25], **2 citări**.
3. Kaur, I., Singh, K., **Ghita, GMD.**: New analytical method for dynamic response of thermoelastic damping in simply supported generalized piezothermoelastic nanobeam, *ZAMM-Z. Angew. Math. Me.* 2021;101(10):e202100108, <https://doi.org/10.1002/zamm.202100108>, revistă indexată ISI, cuartila Q2, vezi [26], **19 citări**.
4. Kaur, I., Singh, K., **Ghita, GMD.**, Craciun, EM.: Modeling of a magneto-electro-piezo-thermoelastic nanobeam with two temperature subjected to ramp type heating, *Proc. Rom. Acad., Ser. A: Math. Phys. Tech. Sci. Inf. Sci* 2022;23(2):143-152, revistă indexată ISI, cuartila Q3, vezi [27], **7 citări**.

Direcții viitoare de cercetare

1. Pe viitor ne propunem să studiem materialele piezoelectrice pretensionate și prepolarizate cu gaură/fisură eliptică, cu metoda transformării conforme și utilizarea potențialilor complecși în cazul materialelor termopiezoelectrice pretensionate și pentru materialele magneto-electroelastice anizotrope. De asemenea, ne propunem să studiem interacțiunea dintre o gaură eliptică și o fisură clasică în materialele enumerate, precum și extinderea studiului de la o gaură/fisură eliptică cu fețele libere de tensiuni la cazul unei găuri/fisuri eliptice armate situată la interfața dintre două materiale piezoelectrice prepolarizate.

2. Vom extinde studiile actuale la cazurile de interacțiune a fisurilor armate coliniare sau/și paralele, din cazul materialelor compozite anizotrope pretensionate, (a se vedea [15]-[20]) pentru materiale piezoelectrice pretensionate și prepolarizate sau la materiale magnetotermopiezoelectrice pretensionate și prepolarizate.

REFERINȚE BIBLIOGRAFICE

- [1] Abd-Elaziz E.M., Othman, M.I.A.: Effect of Thomson and thermal loading due to laser pulse in a magneto-thermo-elastic porous medium with energy dissipation. ZAMM-Z. Angew. Math. Me. 2019;99(8):e201900079.
- [2] Abouelregal, A.E., Zenkour, A.M.: Thermoelastic response of nanobeam resonators subjected to exponential decaying time varying load. J. Theor. Appl. Mech. 2017;55(3):937-948.
- [3] Ansari, R., Gholami, R.: Nonlocal nonlinear first-order shear deformable beam model for postbuckling analysis of magneto-electro-thermo elastic nanobeams. Sci. Iran.2016;23(6):3099-3114.
- [4] Baesu, E., Soos, E.: Antiplane piezoelectricity in the presence of initial mechanical and electrical fields, Math. Mech. Solids 2001;6: 409-422.
- [5] Baesu, E., Soos, E.: Antiplane fracture in a prestressed and prepolarized piezoelectric crystal, IMA J. of Appl. Math. 2001;66:449-508.
- [6] Bardzokas, D., Filshtinsky, M.L.: Concentration of electroelastic fields in a composite piezoceramic plate with a hole intersecting the interface of materials. Mech. Compos. Mater. 1999;35:249–252.
- [7] Bardzokas, D., Rodriguez, R., Filshtinskii, M.L.: Extension of a piezoceramic bimorph with a crack crossing the interface. Mech. Compos. Mater. 1997;33:338–342.
- [8] Bardzokas, D., Filshtinsky, M.L., Rodriguez, R.: Concentration of electroelastic fields in a composite piezoceramic plate with defects crossing the interface. Mech. Compos. Mater. 1998;34:549–556.
- [9] Bardzokas, D., Filshtinsky, M.L., Rodriguez, R.: Concentration of electroelastic fields in a composite piezoceramic plate with a hole intersecting the interface of materials. Mech. Compos. Mater. 1999;35:249–252.
- [10] Bertoldi, K., Bigoni, D., Drugan, W.J.: A discrete-fibers model for bridged cracks and reinforced elliptical voids, J. Mech. Phys. Solids 2007;55:1016-1035.

- [11] Bigoni, D.: Nonlinear Solid Mechanics, Bifurcation Theory and Material Instability, Cambridge University Press, New York, 2012.
- [12] Bigoni, D., Movchan, A.B.: Statics and dynamics of structural interfaces in elasticity. *Int. J. Solids Struct.* 2002;39:4843-4865.
- [13] Chen, Q., Wang, G. Computationally-efficient homogenization and localization of unidirectional piezoelectric composites with partially cracked interface. *Compos. Struct.* 2020;232:111452.
- [14] Cristescu, N.D., Craciun, E.M., Soos, E.: *Mechanics of Elastic Composites*, CRC Press, Boca Raton, FL, 2004.
- [15] Craciun, E.M., Soos, E.: Interaction of two unequal cracks in a pre-stressed fiber reinforced composite. *Int. J. Fract.* 1998;94:137–159.
- [16] Craciun, E.M., Sadowski, T., Rabaea, A.: Stress concentration in an anisotropic body with three equal collinear cracks in Mode II of fracture. *ZAMM · Z. Angew. Math. Mech.* 2014;94:721–729.
- [17] Craciun, E.M., Barbu, L.: Compact closed form solution of the incremental plane states in a prestressed elastic composite with an elliptical hole, *Z Angew. Math. Mech.*, *ZAMM* 2013;95(2):193-199.
- [18] Craciun, E.M., Soos, E.: Antiplane states in an elastic body containing an elliptical hole. Crack propagation, *Math. Mech. Solids* 2006;11: 459-466.
- [19] Craciun, E.M., Baesu, E., Soos, E.: General solution in terms of complex potentials in antiplane states in prestressed and prepolarized piezoelectric crystals: application to Mode III fracture propagation, *IMA J of Appl. Math.* 2005;70:39-52.
- [20] Craciun, E.M., Rabaea, A., Das, A.: Cracks interaction in a pre-stressed and pre-polarized piezoelectric material. *J. Mech.* 2020;36:177–182.
- [21] Craciun, E.M., Ghita, G.M.D., Rapeanu, E.: Prestressed and prepolarized piezoelectric material with an elliptical hole, *Z. Angew. Math. Phys.* 2025;76:18.
- [22] Ebrahimi, F., Barati, M.R.: Dynamic modeling of a thermo-piezo-electrically actuated nanosize beam subjected to a magnetic field. *Appl. Phys. A* 2016;122(4):451.
- [23] Eom, C.B., Trolier-McKinstry, S.: Thin-film piezoelectric MEMS. *MRS Bull.* 2012;37(11):1007-1017.
- [24] Eringen, A.C., Maugin, G.A.: *Electrodynamics of Continua, Vol.1, Foundations and Solid Media*, Springer, New York, 1990.
- [25] Ghita, G.M.D., Craciun, E.M.: Reinforced crack propagation in a prestressed and prepolarized piezoelectric material, *Compos. Struct.* 2024;342:118248.

- [26] Kaur, I., Singh, K., Ghita, G.M.D.: New analytical method for dynamic response of thermoelastic damping in simply supported generalized piezothermoelastic nanobeam, ZAMM-Z. Angew. Math. Me. 2021;101(10):e202100108.
- [27] Kaur, I., Singh, K., Ghita, G.M.D., Craciun, EM.: Modeling of a magneto-electro-piezo-thermoelastic nanobeam with two temperature subjected to ramp type heating, Proc. Rom. Acad., Ser. A: Math. Phys. Tech. Sci. Inf. Sci 2022;23(2):143-152.
- [28] Guz, A.N.: Fundamentals of the Three Dimensional Theory of Stability of Deformable Bodies, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1999.
- [29] Gherrous, M., Ferdjani, H.: Analysis of a Griffith crack at the interface of two piezoelectric materials under anti-plane loading, Continuum Mech. Thermodyn. 2016;28:1683-1704.
- [30] Huang, Z.Y., Bao, R.H., Bian Z.G.: The potential theory method for a half-plane crack and contact problems of piezoelectric materials. Compos. Struct. 2007;78(4):596-601.
- [31] Kaur, I., Lata, P.: Rayleigh wave propagation in transversely isotropic magneto-thermoelastic medium with three-phase-lag heat transfer and diffusion. Int. J. Mech. Mater. Eng. 2019;14:12.
- [32] Kaur, I., Lata, P.: Stoneley wave propagation in transversely isotropic thermoelastic medium with two temperature and rotation. GEM - Int. J. Geomathematics 2020;11(1): 1-17.
- [33] Kaur, I., Lata, P.: Effect of Hall current in transversely isotropic magneto-thermoelastic rotating medium with fractional-order generalized heat transfer due to ramp-type heat. Indian J. Phys. 2021;95:1165-1174.
- [34] Kaur, I., Lata, P.: Effect of Hall current on propagation of plane wave in transversely isotropic thermoelastic medium with two temperature and fractional order heat transfer. SN Appl. Sci. 2019;1(8):900.
- [35] Kaur, I., Lata, P.: Transversely isotropic thermoelastic thin circular plate with constant and periodically varying load and heat source. Int. J. Mech. Mater. Eng. 2019;14(1):10.
- [36] Khisaeva Z.F., Ostoja-Starzewski, M.: Thermoelastic Damping in Nanomechanical Resonators with Finite Wave Speeds. J. Therm. Stress. 2006;29(3): 201-216.
- [37] Kozinov, S., Sheveleva, A., Loboda, V.: Fracture behavior of periodically bonded interface of piezoelectric bi-material under compressive-shear loading. Math. Mech. Solids. 2019;24(10):3216-3230.
- [38] Kumar R., Sharma, P.: Modelling of piezothermoelastic beam with fractional order derivative. Curved Layer. Struct. 2016;3(1):e0009.

- [39] Iesan, D.: Plane strain problems in piezoelectricity. *Int. J. Eng. Sci.* 1997; 25(11-12):1511-1523.
- [40] Lata, P., Kaur, I.: Thermomechanical interactions due to time harmonic sources in a transversely isotropic magneto thermoelastic solids with rotation. *Int. J. Microstruct. Mater. Prop.* 2019;14(6):549-57.
- [41] Lata, P., Kaur, I.: A Study of Transversely Isotropic Thermoelastic Beam with Green-Naghdi Type-II and Type-III Theories of Thermoelasticity. *Appl. Appl. Math. An Int. J.* 2019;14(1):270-283.
- [42] Lekhnitski, S.G.: *Theory of Elasticity of Anisotropic Elastic Body*, Holden Day, San Francisco, 1963.
- [43] Li, D., He, T.: Investigation of generalized piezoelectric-thermoelastic problem with nonlocal effect and temperature-dependent properties. *Heliyon.* 2018;4(10):e00860.
- [44] Liang X., Shen, S.: Effect of electrostatic force on a piezoelectric nanobeam. *Smart Mater. Struct.* 2012;21(1):015001.
- [45] Lifshitz, R., Roukes, M.L.: Thermoelastic damping in micro- and nanomechanical systems. *Phys. Rev. B.* 2000;61(8):5600-5609.
- [46] Loboda, V.V., Herrmann K.P.: A contact zone approach for an interface crack in a piezoelectric anisotropic bimaterial. *ZAMM · Z. Angew. Math. Mech.* 2000;80(S2):479-480.
- [47] Ma, L., Wu, L.Z., Zhou, Z.G., Guo, L.C.: Scattering of the harmonic anti-plane shear waves by a crack in functionally graded piezoelectric materials. *Compos. Struct.* 2005;69(4):436-441.
- [48] Malikan, M., Eremeyev, V.A.: Flexomagnetic response of buckled piezomagnetic composite nanoplates. *Compos. Struct.* 2021;267:113932.
- [49] Mohamed Othman, I. A., Atwa, S. Y., Waheed, M. H., Ethar, A. A.: Propagation of Plane Waves in Generalized Piezo-thermoelastic Medium: Comparison Of Different Theories, *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.* 2015; 4(4), 2292–2300.
- [50] Muskhelishvili, N.I.: *Some Basic Problems of the Mathematical Theory of Elasticity*, Noordhoff Ltd Groningen, 1953.
- [51] Qin, Q.H., Mai, Y.W.: Crack path selection in piezoelectric bimaterial. *Compos. Struct.* 1999;47(1-4):519-524.
- [52] Peride, N., Carabineanu, A., Craciun, E.M.: Mathematical modelling of the interface crack propagation in a prestressed fiber reinforced elastic composite. *Comp. Mater. Sci.* 2009;45:684-692.

- [53] Pinchas, B., Avrashi, J.: Interlaminar stress analysis for laminated plates containing a curvilinear hole. *Computers & Structures* 1985;21:917–32.
- [54] Pryce, L., Morini, L., Mishuris, G.: Weight function approach to a crack propagating along a bimaterial interface under arbitrary loading in an anisotropic solid. *JOMMS*. 2013;8(8):479-500.
- [55] Rao, S.S.: *Vibration of continuous systems*. New Jersey: John Wiley & sons., 2007.
- [56] Sadek, I., Abukhaled, M.: Optimal control of thermoelastic beam vibrations by piezoelectric actuation. *J. Control Theory Appl.* 2013;11(3):463-467.
- [57] Sigaeva, T., Schiavone, P.: The effect of surface stress on an interface crack in linearly elastic materials. *Math. Mech. Solids*. 2016;21(6):649-656.
- [58] Singh, R., Das, S.: Analysis of multiple parallel cracks in a functionally graded magneto-electro-elastic plane using boundary collocation method. *Arch. Appl. Mech.* 2023;93:4497-4516.
- [59] Sih, G.C., Yu, H.Y.: Volume fraction effect of magnetoelectroelastic composite on enhancement and impediment of crack growth. *Compos. Struct.* 2005;68(1):1-11.
- [60] Singh, B.M., Rokne, J.G., Dhaliwal, R.S.: Closed form solution for an annular elliptic crack around an elliptic rigid inclusion in an infinite solid, *ZAMM* 2012;92(11-12):882-887.
- [61] Sharma J.N., Kaur, I.: Transverse vibrations in thermoelastic-diffusive thin micro-beam resonators. *J. Therm. Stress*. 2014;37(11):1265-1285.
- [62] Sharma, J.N., Kaur, R.: Modeling and analysis of forced vibrations in transversely isotropic thermoelastic thin beams. *Meccanica* 2015;50(1):189-205.
- [63] Shen, S., Nishioka, T.: Fracture of piezoelectric materials: energy density criterion. *Theor. Appl. Fract. Mech.* 2000;33:57-65.
- [64] Soos, E.: Stability, resonance and stress concentration in prestressed piezoelectric crystals containing a crack, *Int. J. Eng. Sci.* 1996;34:1647-1673.
- [65] Sosa, H., Khutoryansky, N.: New developments concerning piezoelectric material with defects. *Int. J. Solids Struct.* 1996;33(23):3399-3414.
- [66] Sosa, H.: Plane problems in piezoelectric media with defects. *Int. J. Solids Struct.* 1991;28(4):491-505.
- [67] Sosa, H.: On the fracture mechanics of piezoelectric solids, *Int. J. Solids Struct.* 1992;29(21):2613-2622.

- [68] Sosa, H., Pak, Y.E.: Three-dimensional eigenfunction analysis of a crack in a piezoelectric material. *Int. J. Solids Struct.* 1990;26(1):1-15.
- [69] Suo, Z., Kuo, C. M., Barnett, D. M., Willis J. R.: Fracture mechanics for piezoelectric ceramics. *J. Mech. Phys. Solids.* 1992;40:739–765.
- [70] Tvardovski, V.V. : Further results on rectilinear line cracks and inclusions in anisotropic medium, *Theor. Appl. Fracture Mech.* 1990;13:193-207.
- [71] Vahdat, A.S., Rezazadeh, G., Ahmadi, G.: Thermoelastic damping in a micro-beam resonator tunable with piezoelectric layers. *Acta Mech. Solida Sin.* 2012; 25(1):73-81.
- [72] Valentini, M., Serkov, S.K., Bigoni, D., Movchan, A.B.: Crack propagation in a brittle elastic material with defects. *J. Appl. Mech.* 1999;66:79-86.
- [73] Zenkour, A.M.: Refined two-temperature multi-phase-lags theory for thermomechanical response of microbeams using the modified couple stress analysis. *Acta Mech.* 2018;229(9):3671-3692.
- [74] Zhu, S., Yu, H., Guo, L.: Analysis of an interfacial crack between two nonhomogeneous piezoelectric materials using a new domain-independent interaction integral. *Compos. Struct.* 2024;331:117873.
- [75] Zuo, J.Z., Sih, G.C.: Energy density theory formulation and interpretation of cracking behavior for piezoelectric ceramics. *Theor. Appl. Fract. Mech.* 2000;34:17-33.
- [76] Xiao, J., Xu, Y., Zhang, F: A rigorous solution for the piezoelectric materials containing elliptic cavity or crack with surface effect. *ZAMM · Z. Angew. Math. Mech.* 2015;96(5):633-641.
- [77] Wang, X., Schiavone, P.: Electroelastic field for a blunt crack in an anisotropic piezoelectric material. *Continuum Mech. Thermodyn.* 2021;33:2509–2514.
- [78] Wang, X., Zhou, K.: A crack with surface effects in a piezoelectric material. *Math. Mech. Solids.* 2017;22(1):3-19.
- [79] Yan, Z., Feng, W.J., Zhang C.: Interfacial crack growth in piezoelectric-piezomagnetic bi-layered structures with a modified mechanical energy release rate criterion. *Compos. Struct.* 2021;262:113344.
- [80] Yang, W., Liu, M., Chen, S., Kang W., Chen J., Li, Y.: Electromechanical analysis of a self-sensing torsional micro-actuator based on CNTs reinforced piezoelectric composite with damage. *Compos. Struct.* 2023;313:116945.
- [81] Yong, H.D., Zhou, Y.H.: A mode III crack in a functionally graded piezoelectric strip bonded to two dissimilar piezoelectric half-planes. *Compos. Struct.* 2007;79(3):404-410.
- [82] Youssef, H. M., El-Bary A. A.: Theory of hyperbolic two-temperature generalized thermoelasticity. *Mater. Phys. Mech.* 2018;40(2):158-171.