

## FIȘA DISCIPLINEI

### 1. Date despre program

1.1 Instituția de învățământ superior	Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
1.2 Facultatea	Inginerie Electrică
1.3 Departamentul	Electrotehnică și Măsurări
1.4 Domeniul de studii	Științe Ingineresti Aplicate
1.5 Ciclul de studii	Licență
1.6 Programul de studii / Calificarea	Inginerie Medicală
1.7 Forma de învățământ	IF – învățământ cu frecvență
1.8 Codul disciplinei	53.70

### 2. Date despre disciplină

2.1 Denumirea disciplinei	<b>MODELAREA SISTEMELOR BIOLOGICE</b>		
2.2 Titularul de curs	Prof. dr. ing. Dan RAFIROIU Dan.Rafiroiu@ethm.utcluj.ro		
2.3 Titularul activităților de seminar / laborator / proiect	Prof. dr. ing. Dan RAFIROIU Dan.Rafiroiu@ethm.utcluj.ro		
2.4 Anul de studiu	IV	2.5 Semestrul	I
2.6 Tipul de evaluare			C
2.7 Regimul disciplinei	Categoría formativă		DS
	Opționalitate		DOP

### 3. Timpul total estimate

3.1 Număr de ore pe săptămână	4	din care:	3.2 Curs	2	3.3 Seminar		3.3 Laborator	2	3.3 Proiect	
3.4 Număr de ore pe semestru	56	din care:	3.5 Curs	28	3.6 Seminar		3.6 Laborator	28	3.6 Proiect	56
3.7 Distribuția fondului de timp (ore pe semestru) pentru:										
(a) Studiul după manual, suport de curs, bibliografie și notițe										10
(b) Documentare suplimentară în bibliotecă, pe platforme electronice de specialitate și pe teren										10
(c) Pregătire seminarii / laboratoare, teme, referate, portofolii și eseuri										15
(d) Tutoriat										5
(e) Examinări										4
(f) Alte activități:										0
3.8 Total ore studiu individual (suma (3.7(a))...3.7(f))					44					
3.9 Total ore pe semestru (3.4+3.8)					100					
3.10 Numărul de credite					4					

### 4. Precondiții (acolo unde este cazul)

4.1 de curriculum	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fiziologie, Metode numerice</li> </ul>
4.2 de competențe	<ul style="list-style-type: none"> <li>Programare MATLAB/Simulink</li> </ul>

### 5. Condiții (acolo unde este cazul)

5.1. de desfășurare a cursului	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calculator, acces la Internet</li> </ul>
5.2. de desfășurare a seminarului / laboratorului / proiectului	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calculator, software specific (Matlab, ECGSim, SEMCAD, ANSYS),</li> <li>Cunoașterea noțiunilor predate la curs</li> <li>Prezența la laborator este obligatorie</li> </ul>

## 6. Competențele specifice acumulate

Competențe profesionale	<p>După parcurgerea disciplinei studenții vor fi capabili:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sa cunoasca, sa aleaga si sa implementeze metodele numerice de integrare a ecuatiilor si sistemelor de ecuatii diferentiale sau cu derivate partiale cele mai adecvate modelelor matematice ale sistemelor biologice</li> <li>- sa utilizeze instrumentele de modelare: Matlab, Ansys, SEMCAD, Comsol</li> <li>- sa implementeze modelele studiate la curs si laborator si in alte conditii decat cele analizate,</li> <li>- să utilizeze metode de prelucrare a imaginilor sau tehnici avansate de antropometrie pentru implementarea modelelor CAD ale unor organe sau ale unor portiuni ale corpului,</li> </ul>
Competențe transversale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizarea mijloacelor experimentale de investigare a comportamentului sistemelor biologice,</li> <li>- Proiectarea dispozitivelor medicale,</li> <li>- Capacitatea de a lucra în echipa, de a comunica in mod eficient si de a intelege responsabilitatile profesionale si de etica.</li> <li>-</li> </ul>

## 7. Obiectivele disciplinei (reieșind din grila competențelor specifice acumulate)

7.1 Obiectivul general al disciplinei	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dezvoltarea de modele matematice ale sistemelor biologice si capacitatea de interpretare si validare a rezultatlor modelelor simulate.</li> </ul>
7.2 Obiectivele specifice	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicarea metodelor matematice la modelarea proceselor si sistemelor biologice si utilizarea metodelor analitice si numerice la rezolvarea lor;</li> <li>• Identificarea parametrilor biomedicali din date medicale masurate;</li> <li>• Analiza comportamentului dinamic al sistemelor biologice cu ajutorul modelelor matematice si numerice</li> <li>• Proiectarea experimentală a sistemelor biomedicale si a dispozitivelor medicale care interactioneaza cu acestea.</li> </ul>

## 8. Conținuturi

8.1 Curs	Nr. ore	Metode de predare	Observații
<p><b>1. Introducere in biomodelare:</b> modele fiziologice cantitative si calitative, modele deterministe si stocastice, solutiile modelelor, clasificarea modelelor cantitative (domenii, ecuatii diferentiale, conditii pe frontiera), modele 0D, 1D, 3D, medii de implementare a modelelor bioingineresti (Matlab/Octave, ANSYS/Comsol, etc. [Rafiroiu 2006]</p>	2	- Expunere pe baza slide-urilor și la tablă, dezbateri	
<p><b>Partea I      Principii, metode, teorie</b></p> <p><b>2. Integrearea numerica a ecuatiilor diferentiale ordinare (EDO):</b> teorema lui Taylor, metode numerice cu pasi separati (Euler, Runge Kutta, explicit, implicit), alegerea solverelor Matlab pentru rezolvarea EDO [Dokos 2017, Rafiroiu note de curs 2021]</p>	2		
<p><b>3. Solvere analitice Fourier pentru EDO:</b> variabile periodice, transformata Fourier discreta (fft), discretizarea EDO utilizand fft, rezolvarea EDO utilizand transformata Fourier discreta, comparatie cu solutiile numerice [Rafiroiu note de curs 2021]</p>	2		
<p><b>4. Modele cu parametri distribuiti descrise de ecuatii cu derivate partiale (EDP):</b> modelarea cu ajutorul EDP (gradientul, divergenta, rotorul, teorema divergentei, legi de conservare, laplaceanul, conditii de frontiera ale EDP), metode analitice si numerice de baza (separarea variabilelor, metoda</p>	2		

diferentelor finite (MDF), metoda elementelor finite (MEF) <i>[Dokos 2017, Rafiroiu note de curs 2021]</i>			
<b>Partea II</b>	<b>Aplicatii din bioinginerie</b>		
<b>5.</b>	<b>Un model OD multiscara redus al sistemului cardiorespirator</b> - <b>modelul sistemului cardiovascular:</b> circuitul electric echivalent, modelul elastantelor variabile (modelul dublu cosinus, modelul „double hill”), modelul valvelor cardiace, modelul circulatiei coronariene, sistemul complet ale ecuatiilor diferentiale, parametri de intrare/iesie ai modelului, neliniaritatea si rigiditatea modelului, metode numerice/implementari (metoda Euler explicita/implicita (solverul Matlab fsolve), metoda Runge Kutta de ordinul IV explicita, solve Matlab (ode54 vs ode16s). <i>[Rafiroiu note de curs 2021]</i>	2	
<b>6.</b>	<b>Un model OD multiscara redus al sistemului cardiorespirator</b> - <b>modelul respiratiei si al circulatiei gazelor:</b> diagrama modelului, ecuatii de disociere, conservarea masei de O2 si de CO2 in alveolele pulmonare si in tesuturi, solutii de regim stationar, sistemul complet de ecuatii ale modelului, simularea regimurilor de repaus si efort fizic, solutia de regim tranzitoriu in functie de puterea dezvoltata in regim de efort fizic <i>[Rafiroiu note de curs 2021]</i>	2	
<b>7.</b>	<b>Un model OD multiscara redus al sistemului cardiorespirator</b> - <b>modelul circulatiei controlate:</b> mecanisme de control a respiratiei si a sistemului circulator (controlul respiratiei, auto-reglarea, controlul baro-receptor), concurenta sistemelor de control (simpatoliza), sistemul complet de ecuatii ale modelului cardiorespirator controlat, solutii si probleme de implementare <i>[Rafiroiu note de curs 2021]</i> .	2	
<b>8.</b>	<b>Modele orientate pe pacient in cardiopatia ischemica moderata:</b> cardiopatia ischemica, debitul fractionar de rezerva (FFR), modelele ZCR si ZCRCR ale arterei coronare lezate, solutia analitica Fourier 1D a debitului prin artera coronara lezata, solutii numerice alternative OD (Euler, Runge Kutta) pentru fenomene aperiodice, modelarea debitului sanguin si calculul FFR in cazul arterelor coronare cu leziuni multiple <i>[Rafiroiu note de curs 2021]</i> .	2	
<b>9.</b>	<b>Modele 3D ale curgerii sangelui prin arterele stenozate:</b> modele geometrice parametrizate, ecuatiile Navier-Stokes si conditii pe frontiera, densitatea si vascozitatea dinamica a fluidului (reologie sanguina), regimuri de curgere (stationar/nestationar, Newtonian/ne-Newtonian, laminar/turbulent), implementare in ANSYS, utilizand solverul Fluent sau CFX <i>[Rafiroiu note de curs 2021]</i> .	2	
<b>10.</b>	<b>Modele geometrice multiscara ale curgerii sangelui prin arterele stenozate:</b> modelarea geometrica multiscara, conditii pe frontiera complexe (cuplarea modelelor OD la frontierele modelelor 3D), rezolvarea modelelor OD in ANSYS(CFX/Fluent) <i>[Rafiroiu note de curs 2021]</i> .	2	
<b>11.</b>	<b>Deformarea peretilor arteriali - modele de interactiune fluid-structura (FSI):</b> modelul de deformare elastica a peretelui arterial (vase cu pereti subtiri/grosi), ecuatiile deformarii elastice a peretelui arterial si conditii pe frontiera, viteza de propagare a undei de presiune in lungul peretilor arteriali,	2	

modelarea deformarii peretilor arteriali utilizand solverul Transient Structural din ANSYS si cuplarea acestuia cu solverul CFD Fluent sau CFX (modulul System Coupling) [Rafiroiu note de curs 2021].			
<b>Partea III</b>	<b>Chestiuni speciale</b>		
<b>12. Identificarea parametrilor sistemelor biomedicale:</b> identificarea pe baza de modele matematice, regresia liniara, identificarea parametrilor prin cautare globala – algoritmi genetici si metode de gradient, identificarea parametrilor prin cautare directa – “pattern search” [Rafiroiu note de curs 2021]	2		
<b>13. Efectele fortei Lorentz asupra curgerii sangelui prin arterele stenozate:</b> comportamentul fluidelor biomagnetice in conducte circulare, curgerea Hartmann, efecte magnetohidrodinamice (MHD) in arterele stenozate [Rafiroiu note de curs 2021].	2		
<b>14. Recapitulare</b>	2		
<p>Bibliografie</p> <p>În biblioteca UTC-N</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Rafiroiu, D., Modelarea si Simularea Sistemelor Medicale. Sistemul cardiovascular. Vol. I Teorie si Exemple, Mediamira, 2006</li> <li>2. Herman, I.P., „Physics of the Human Body”, Springer, 2007</li> <li>3. Zamir, M., „The Physics of the Coronary Blood Flow”, Springer, 2010</li> <li>4. Brown B.H. si altii, “Medical physics and biomedical engineering”, Institute of Physics Publishing Philadelphia, 1999</li> </ol> <p>Materiale didactice virtuale</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <a href="http://www.mathworks.com/matlabcentral">www.mathworks.com/matlabcentral</a></li> <li>2. <a href="http://physiomeproject.org/software/cellml">http://physiomeproject.org/software/cellml</a></li> <li>3. <a href="https://www.physiome.org/jsim/">https://www.physiome.org/jsim/</a></li> <li>4. www.ansys.com</li> </ol> <p>În alte biblioteci</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hoppensteadt, F. C., “Modeling and Simulation in Medicine and the Life Sciences”, 2<sup>nd</sup> Ed. Springer, 2004</li> <li>2. Rideout, V., “Mathematical and Computer Modeling of Physiological Systems”, Prentice Hall, 1991</li> <li>3. Formaggia, L., Quarteroni, A., Veneziani, A., “Cardiovascular Mathematics”, Springer, 2009</li> <li>4. Guccione, J., M., Kassab, G., S., Ratcliffe, M., B. „Computational Cardiovascular Mechanics: Modeling and Applications in Heart Failure”, Springer, 2014</li> </ol> <p>Dokos, S., Modelling Organs, Tissues, Cells and Devices using Matlab and Comsol Multiphysics, Springer 2017</p>			
<b>8.2 Seminar / laborator / proiect</b>	<b>Nr. ore</b>	<b>Metode de predare</b>	<b>Observatii</b>
Medii de simulare universale si dedicate: Matlab/Octave, JSim, CellML, ANSYS/Comsol.	2	Coordonare, discutii privind metodele de implementare a modelelor si de interpretare a rezultatelor simularilor.	
Solvere Matlab pentru integrarea EDO.	2		
Solverul Matlab pdepe pentru rezolvarea EDP.	2		
Implementarea in Matlab a modelului OD redus al sistemului circulator.	2		
Implementarea in Matlab a modelului OD al sistemului respirator si al circulatiei gazelor.	2		
Implementarea in Matlab a mecanismelor de control a sistemului cardiorespirator: probleme de stabilitate a solutiei.	2		
Implementarea in Matlab a solverului analitic Fourier pentru rezolvarea modelului OD al circulatiei coronariene si calculul FFR.	2		
Implementarea in ANSYS Design Modeler a modelului geometric parametrizat al unor artere stenozate generice	2		
Utilizarea solverelor CFD din ANSYS, CFX sau Fluent, pentru simularea curgerii sangelui prin arterele stenozate generice: regimuri stationare si tranzitorii, modele Newtoniene si ne-Newtoniene.	2		

Implementarea in ANSYS-CFX/Fluent a unor modele geometrice multiscara a curgerii sangelui prin artere coronare stenozate: cuplarea modelelor 3D cu modele 0D.	2		
Implementarea ANSYS Workbench a unor modele complexe de interactiune fluid-structura: viteza de propagare a undelor de presiune prin arterele stenozate, reflexia undelor de presiune in stenozate si bifurcatii.	2		
Identificarea parametrilor circulatiei coronariene utilizand Algoritmi Genetici: implementare Matlab	2		
Simularea in ANSYS-Fluent a curgerilor magnetohidrodinamice (MHD): curgerea Hartmann, curgerea prin artere stenozate	2		
Recapitulare	2		
<p><b>Bibliografie</b>  <i>În biblioteca UTC-N</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Rafiroiu, D., Modelarea si Simularea Sistemelor Medicale. Sistemul cardiovascular. Vol. I Teorie si Exemple, Mediamira, 2006</li> <li>Herman, I.P., „Physics of the Human Body”, Springer, 2007</li> <li>Zamir, M., „The Physics of the Coronary Blood Flow”, Springer, 2010</li> <li>Brown B.H. si altii, “Medical physics and biomedical engineering”, Institute of Physics Publishing Philadelphia, 1999</li> </ol> <p><i>Materiale didactice virtuale</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><a href="http://www.mathworks.com/matlabcentral">www.mathworks.com/matlabcentral</a></li> <li><a href="http://physiomeproject.org/software/cellml">http://physiomeproject.org/software/cellml</a></li> <li><a href="https://www.physiome.org/jsim/">https://www.physiome.org/jsim/</a></li> <li>www.ansys.com</li> </ol> <p><i>În alte biblioteci</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Hoppensteadt, F. C., “Modeling and Simulation in Medicine and the Life Sciences”, 2<sup>nd</sup> Ed. Springer, 2004</li> <li>Rideout, V., “Mathematical and Computer Modeling of Physiological Systems”, Prentice Hall, 1991</li> <li>Formaggia, L., Quarteroni, A., Veneziani, A., “Cardiovascular Mathematics”, Springer, 2009</li> <li>Guccione, J., M., Kassab, G., S., Ratcliffe, M., B. „Computational Cardiovascular Mechanics: Modeling and Applications in Heart Failure”, Springer, 2014</li> <li>Dokos, S., Modelling Organs, Tissues, Cells and Devices using Matlab and Comsol Multiphysics, Springer 2017</li> </ol>			

### 9. Coroborarea conținuturilor disciplinei cu așteptările reprezentanților comunității epistemice, asociațiilor profesionale și angajatorilor reprezentativi din domeniul aferent programului

Conținutul disciplinei este în concordanță cu ceea ce se face în alte centre universitare din țară și din străinătate. Pentru o mai bună adaptare la cerințele pieței muncii a conținutului disciplinei au avut loc consultări atât cu reprezentanți ai mediului de afaceri cât și cu profesori din învățământul preuniversitar.

### 10. Evaluare

Tip activitate	10.1 Criterii de evaluare	10.2 Metode de evaluare	10.3 Pondere din nota finală
10.4 Curs	Gradul de acumulare a cunoștințelor teoretice	Lucrare scrisă constând din probleme și aplicații din domeniu.	50%
10.5 Seminar/Laborator /Proiect	Capacitatea de rezolvare a exercițiilor și activitate	Teste pe parcurs	50%
10.6 Standard minim de performanță 50%			

<b>Data completării:</b>	<b>Titulari</b>	<b>Titlu Prenume NUME</b>	<b>Semnătura</b>
05.09.2021	Curs	Prof. dr. ing. Dan RAFIROIU	
	Aplicații	Prof. dr. ing. Dan RAFIROIU	

Data avizării în Consiliul Departamentului Electrotehnică și Măsurări Septembrie 2021	Director Departament Prof.dr.ing. Călin Munteanu
Data aprobării în Consiliul Facultății Inginerie Electrică Septembrie 2021	Decan Conf.dr.ing. Andrei Cziker