**fișa disciplinei**

**1. Date despre program**

|  |  |
| --- | --- |
| 1.1 Instituția de învățământ superior/  | Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA din București/  |
| 1.2 Facultatea  | **Inginerie aerospațială** |
| 1.3 Departamentul | Ştiinţe aerospaţiale „Elie Carafoli”  |
| 1.4 Ciclul de studii universitare | Licență |
| 1.5 Programul de studii universitare  | Sisteme de propulsie |
| 1.6 Limba de predare | Română |
| 1.7 Locația geografică de desfășurare a studiilor  | București  |

**2. Date despre disciplină**

|  |  |
| --- | --- |
| 2.1 Denumirea disciplinei | **Modelarea și simularea transferului de caldură** |
| 2.2 Titularul activităților de curs | Grigore Cican |
| 2.3 Titularul activităților de proiect | Grigore Cican |
| 2.4 Anul de studiu | 3 | 2.5 Semestrul  | 2 | 2.6. Tipul de evaluare | V | 2.7 Statutul disciplinei | Ob |
| 2.8 Categoria formativă | DS | 2.9 Codul disciplinei | **UPB.09.S.06.O.013** |

**3. Timpul total** (ore pe semestru al activităților didactice

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 3.1 Număr de ore pe săptămână | 3 | Din care: 3.2 curs | 1 | 3.3 seminar | 2 |
| 3.4 Total ore din planul de învățământ  | 42 | Din care: 3.5 curs/  | 14 | 3.6 seminar | 28 |
| Distribuția fondului de timp | ore |
| Studiul după bibliografie și notițe. Documentare suplimentară în bibliotecă, pe platformele electronice de specialitate . Pregătire proiect, teme, referate, portofolii și eseuri | 6 |
| Tutorat |  |
| Examinări | 2 |
| Total activități asistate |  |
| Alte activități (dacă există):  |  |
| **3.7 Total ore studiu individual** | **8** |
| 3.8 Total ore pe semestru | **50** |
| 3.9 Numărul de credite | **2** |

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

|  |  |
| --- | --- |
| 4.1 de curriculum | Parcurgerea disciplinelor: Analiza Matematica. Ecuaţiil diferenţiale. Mecanica fluidelor . Termotehnică |
| 4.2 de rezultate ale învățării | Programarea in medii de calcul. Metode numerice. |

**5. Condiții necesare pentru desfășurarea optimă a activităților didactice** (acolo unde este cazul)/

|  |  |
| --- | --- |
| 5.1 de desfășurare a cursului  | Cursurile se desfășoară într-o sală dotată cu videoproiector, calculator și acces la internet, fiind utilizate platforme digitale pentru prezentări interactive și simulări demonstrative. Studenții au acces la bibliografie online și materiale multimedia care sprijină învățarea vizuală a fenomenelor de transfer de căldură. |
| 5.2 de desfășurare a proiectului | Seminariile și lucrările aplicative se desfășoară în laboratoare dotate cu software CAD și cu pachete de analiză numerică FEA precum **ANSYS**, utilizate pentru modelarea și simularea fenomenelor de transfer termic în regim staționar și tranzitoriu.  |

**6. Obiectiv general**

Această disciplină se înscrie în cadrul domeniului **Inginerie Aerospațială** și are ca obiectiv familiarizarea studenților cu metodele avansate de modelare și simulare a fenomenelor de transfer de căldură, cu aplicații directe în ingineria termică a sistemelor aerospațiale. Cursul dezvoltă capacitatea studenților de a înțelege, analiza și rezolva probleme complexe de inginerie termică folosind instrumente moderne de simulare numerică.

Tematica disciplinei acoperă următoarele concepte și principii esențiale:

* Fundamentele transferului de căldură prin conducție, convecție și radiație, în regim staționar și tranzitoriu;
* Modelarea matematică a proceselor de transfer termic în medii solide si fluide;
* Aplicarea metodelor numerice (diferențe finite, elemente finite) pentru rezolvarea ecuațiilor de transfer de căldură;
* Utilizarea software-urilor CAE precum **ANSYS** pentru simularea distribuțiilor de temperatură, fluxuri termice și interacțiuni termice complexe în sisteme aerospațiale;
* Introducerea conceptului de cuplare termică între fenomene de transfer de căldură și solicitări mecanice (analiză termo-mecanică);
* Modelarea componentelor cu aplicație în propulsie, structură sau control termic (aripă, ajutaje, pereți de camere de ardere, conducte, etc.);
* Analiza influenței materialelor, geometriilor și condițiilor de frontieră asupra comportamentului termic al sistemelor;
* Validarea rezultatelor numerice prin comparație cu soluții analitice sau date experimentale.

Toate aceste teme contribuie la formarea unei perspective interdisciplinare, practice și teoretice asupra proceselor termice, cu aplicabilitate directă în cercetarea aerospațială și în dezvoltarea de soluții tehnologice inovatoare.

**7. Rezultatele învățării**

|  |  |
| --- | --- |
| **Cunoștințe** | * Identifică principiile fundamentale ale transferului de căldură (conducție, convecție, radiație) și regimurile de funcționare (staționar și tranzitoriu);
* Explică metodele de modelare matematică a fenomenelor de transfer termic în structuri și sisteme complexe;
* Descrie etapele procesului de simulare termică: de la definirea modelului fizic și geometric până la validarea rezultatelor;
* Clasifică metodele numerice aplicabile (metoda diferențelor finite, metoda elementelor finite) în funcție de specificul aplicației;
* Exemplifică aplicații relevante în ingineria aerospațială, cum ar fi sistemele de răcire, protecția termică, sau transferul de căldură în motoare.
 |
| **Abilități** | * Elaborează modele analitice și numerice pentru rezolvarea ecuațiilor de transfer de căldură în diferite geometrii și condiții de frontieră;
* Utilizează software de simulare (ANSYS) pentru analiza comportamentului termic al componentelor aerospațiale;
* Interpretează și validează rezultatele simulărilor termice prin comparații cu soluții analitice sau date experimentale;
* Proiectează și optimizează configurații termice în sisteme reale prin integrarea modelelor numerice;
* Analizează influența parametrilor geometrici, fizici și de material asupra eficienței transferului de căldură;
* Colaborează în echipă pentru dezvoltarea de soluții integrate de gestionare termică în aplicații aerospațiale.
 |
| **Responsabilitate și autonomie** | * Respectă standardele de calitate și etică academică în procesul de modelare, simulare și raportare a rezultatelor;
* Manifestă responsabilitate în alegerea metodelor de calcul și în interpretarea rezultatelor cu impact asupra siguranței termice a sistemelor;
* Propune soluții pentru îmbunătățirea performanțelor termice ale componentelor aerospațiale;
* Demonstrează autonomie în planificarea și realizarea unui proiect complex de analiză termică asistată de calculator;
* Conștientizează impactul utilizării tehnologiilor de simulare în eficientizarea energetică și protecția mediului
 |

**8. Metode de predare**

Pornind de la caracteristicile specifice de învățare ale studenților și de la cerințele complexe ale domeniului ingineriei aerospațiale, procesul de predare pentru cursul *Modelarea și simularea transferului de căldură* va integra metode diverse și complementare, menite să stimuleze învățarea activă și aplicativă.

Vor fi utilizate metode expozitive (prelegerea, explicația), dar și metode interactive (conversația euristică, brainstorming-ul, dezbaterea aplicată), precum și metode de învățare prin descoperire și cercetare (experimentul numeric, demonstrația asistată de calculator, modelarea matematică și fizică).

Accentul va fi pus pe metode practice bazate pe acțiune și învățare prin aplicare: lucrul în laborator, simulări termice numerice, studii de caz, exerciții rezolvate individual sau în echipă, precum și proiecte de analiză și optimizare a transferului de căldură în structuri aerospațiale reale.

Fiecare curs va începe cu o recapitulare activă a sesiunii anterioare și o enunțare clară a obiectivelor de învățare. Se vor utiliza prezentări multimedia, diagrame, animații numerice și modele geometrice 3D pentru o mai bună înțelegere vizuală a proceselor implicate.

Demonstrațiile vor include simulări numerice în software specializat (ANSYS), în care studenții vor fi activ implicați în definirea geometriei, condițiilor de frontieră și interpretarea rezultatelor. Astfel, se urmărește dezvoltarea gândirii inginerești și a capacității de corelare între modelul fizic și comportamentul simulat.

Activitățile vor încuraja colaborarea prin proiecte de echipă, discuții tematice și dezvoltarea de soluții originale pentru probleme termice aplicate în domeniul aerospațial

Învățarea va fi centrată pe student și pe progresul său, prin integrarea de instrumente de autoevaluare, peer-review și feedback constructiv în cadrul lucrului colaborativ, contribuind la dezvoltarea unui mediu educațional modern, aplicativ și orientat spre cercetare.

**9. Conținuturi**

|  |
| --- |
| **CURS** |
| **Curs** | **Conținutul** | **Nr. ore** |
| I |  **Introducere în transferul de căldură*** Tipuri de mecanisme de transfer: conducție, convecție, radiație
* Modele de bază: regim staționar vs. nestationar
* Legile fundamentale (Fourier, Newton, Stefan-Boltzmann)
* Domenii de aplicabilitate și importanța simulării numerice
 | **2** |
| II | **Conducția termică staționară*** Ecuația generală a conductiei în regim staționar (1D, 2D)
* Pereți planari simpli și stratificați
* Conducția în cilindri și sfere (perete simplu și compus)
* Rezistențe termice echivalente
 | **2** |
| III | **Conducția termică în regim nestationar (transitoriu)*** Soluții analitice: metoda nodală, semianalitică și soluția exactă pentru corpuri semi-infinite
* Noțiuni de timp caracteristic, Biot, Fourier
* Cazuri aplicative: răcirea arborilor cilindrici și plăcilor plane
 | **2** |
| IV | **Convecția liberă*** Legile empirice, corelații Nusselt
* Convecția naturală peste pereți verticali și orizontali
* Cazuri relevante: pereți calzi, conducte verticale, geometrii deschise
 | **2** |
| V | **Convecția forțată*** Transferul de căldură prin curgere internă (conducte, ajutaje).
* Regimuri laminar/turbulent, criterii de tranziție.
* Convecția forțată peste suprafețe exterioare (plăci plane, aripi de avion).
* Criterii de similitudine (Re, Nu, f).
* Cazuri particulare în ingineria aerospațială (aripi, turbomașini)
 | **2** |
| VI | **Radiația termică*** Legile fundamentale (Stefan–Boltzmann, Kirchhoff, Planck).
* Emisivitate, absortivitate, factori de formă.
* Transfer radiativ între suprafețe difuze.
* Calculul radiației în sisteme închise și aplicații aerospațiale.
 | **2** |
| VII | **Schimbătoare de căldură*** Tipuri de schimbătoare (cu suprafață dublă, co-curență, contra-curență etc.).
* Metoda NTU – ε și metoda diferenței de temperatură medie logaritmică.
* Dimensionarea schimbătoarelor în ANSYS.
* Aplicații în sistemele de răcire ale turbomotoarelor.
 | **2** |
|  | **Total:** | **14** |
| **Bibliografie:**1. **Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., Lavine, A. S.** – *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 8th Edition, Wiley, 2017.**Çengel, Y. A., Ghajar, A. J.** – *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications*, 6th Edition, McGraw-Hill, 2020.**Bejan, A.** – *Convection Heat Transfer*, 4th Edition, Wiley, 2013.
2. **Lienhard, J. H., Lienhard, J. H. IV** – *A Heat Transfer Textbook*, 4th Ed., Phlogiston Press, 2012
 |

|  |
| --- |
| **Seminar** |
| **Nr. crt.**  | **Conținutul** | **Nr. ore** |
| 1. | **Introducere în analiza și simularea transferului de căldură*** **Prezentarea obiectivelor disciplinei și a platformei ANSYS.**
* **Exemple simple de flux termic 1D.**
* **Inițiere în realizarea geometriei și a rețelei de discretizare**
* **Tema de casa**
 | 2 |
| 2. | **Conducția termică prin pereți simpli în regim staționar*** **Soluții analitice și implementare numerică în ANSYS (plăci plane).**
* **Studiu de caz: perete plan cu gradient termic impus.**
* **Tema de casa**
 | 2 |
| 3 | **Conducția prin pereți stratificați (materiale diferite)*** **Aplicație analitică pentru pereți compuși.**
* **Simulare ANSYS: influența proprietăților materialelor.**
* **Tema de casa**
 | 2 |
| 4 | **Conducția cilindrică în conducte simple și stratificate*** **Soluții teoretice în coordonate cilindrice.**
* **Modelare termică ANSYS a conductei cu izolație.**
* **Tema de casa**
 | 2 |
| 5 | **Conducția prin pereți sferici – aplicații la rezervoare*** **Regim staționar pentru sferă plină și sferă cu izolație.**
* **Simulare comparativă: strat izolator interior vs. exterior.**
* **Tema de casa**
 | 2 |
| 6 | **Transfer de căldură în regim nestationar: plăci și cilindri*** **Soluții analitice și cu metode numerice.**
* **ANSYS Transient Thermal: analiză de răcire în timp**
* **Tema de casa**
 | 2 |
| 7 | **Transfer termic tranzitoriu în arbori cilindrici*** **Aplicații specifice sistemelor de rotație (arbori, rotoare).**
* **Verificarea duratei de răcire pentru arbori masivi.**
* **Tema de casa**
 | 2 |
| 8 | **Aripioare de răcire: modele longitudinale și radiale*** **Randament termic și coeficient de eficiență.**
* **Modelare CAD + analiză termică statică în ANSYS.**
* **Tema de casa**
 | 2 |
| 9 | **Convecția naturală în jurul suprafețelor plane și verticale*** **Aplicații: panouri solare, pereți exteriori.**
* **Simulări CFD – setare condiții de convecție naturală.**
* **Tema de casa**
 | 2 |
| 10 | **Convecție forțată în conducte (curgere internă)*** **Determinarea coeficientului de transfer (h).**
* **Simulare ANSYS Fluent – regim laminar vs. turbulent.**
* **Tema de casa**
 | 2 |
| 11 | **Convecția peste suprafețe externe – aripi de avion, plăci*** **Studiu comparativ: profil NACA vs. placă plană.**
* **Distribuții de temperatură și h pe extrados.**
* **Tema de casa**
 | 2 |
| 12 | **Radiația termică între două suprafețe*** **Calcul manual al fluxului radiativ.**
* **Modelare simplă în ANSYS pentru radiație în cavități.**
* **Tema de casa**
 | 2 |
| 13 | **Schimbătoare de căldură – modelare și analiză termică*** **Aplicații tip shell-and-tube și co-/contra-curent.**
* **Validare a eficienței prin simulare numerică.**
* **Tema de casa**
 | 2 |
| 14 | **Evaluare finală** | 2 |
|  | **Total:** | **14** |
| **Bibliografie:**1. **ANSYS Inc.** – *ANSYS Fluent Theory Guide* și *ANSYS Fluent User’s Guide*
 |

**10. Evaluare**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Tip activitate | 10.1 Criterii de evaluare | 10.2 Metode de evaluare | 10.3 Pondere din nota finală |
| 10.4 Curs | Rezolvarea subiectelor de examen | Examen scris. Întrebări si aplicatii din tematica cursului (teoretice și aplicative). | 20% |
| Cunoașterea conceptelor fundamentale privind transferul de caldura- teorie si aplicatii |  |  |
|  |  |
| 10.5 Aplicatii | Temele de casă vor fi evaluate atât din perspectiva corectitudinii soluțiilor, cât și a modului de prezentare și argumentare a răspunsurilor.Studenții sunt încurajați să rezolve individual problemele propuse și să respecte termenele de predare stabilite. Punctualitatea și claritatea în redactarea temelor vor fi luate în considerare în evaluarea finală.Implicarea activă în activitățile din clasă, inclusiv participarea la dezbateri, rezolvarea problemelor pe tablă sau contribuții la simulări în ANSYS, va constitui un criteriu de evaluare continuă.Calitatea întrebărilor adresate în timpul cursului sau seminarului, precum și inițiativa în explicarea unor concepte colegilor, vor fi apreciate pozitiv.Studenții care propun teme suplimentare de simulare sau explorează scenarii alternative în ANSYS pot primi puncte suplimentare la evaluarea pe parcurs. | Evaluare teme si alte notari | 80% |
|  |  |
| 10.6 Condiții de promovare |
| Obținerea a 50% din punctajul total. |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Data completării  | Titular de cursProf. dr. ing. Grigore Cican | Titular de aplicațiiProf. dr. ing. Grigore Cican |
|  |  |  |
|  |  |  |
| Data avizării  | Director Prof. dr. ing. Marius Stoia\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |