



Ministerul Educației și Cercetării
Universitatea „Valahia” din Târgoviște
Scoala Doctorală de Științe Inginerești

FIȘA DISCIPLINEI

1. Date despre program

1.1 Instituția de învățământ superior	Universitatea „Valahia” din Targoviște
1.2 Facultatea/Departamentul	Instituția Organizatoare de Studii Universitare de Doctorat
1.3 Departamentul	Școala Doctorală de Științe Inginerești
1.4 Domeniul de studii	Ingineria sistemelor
1.5 Ciclul de studii	Doctorat
1.6 Programul de studii/Calificarea	-

2. Date despre disciplină

2.1 Denumirea disciplinei	Studiu individual 1 (Digital Twins și Arhitecturi Cloud-Edge în Smart Manufacturing)						
2.2 Titularul activităților de curs / Conducător doctorat	Prof. univ. dr. ing. Eugenia MINCĂ						
2.3 Titularul activităților de seminar/laborator							
2.4 Anul de studiu	I	2.5 Semestrul	I	2.6 Tipul de evaluare	C	2.7 Regimul disciplinei	OB S

3. Timpul total estimat (ore pe semestru al activităților didactice)

3.1 Număr de ore pe săptămână	-	din care: 3.2 curs	-	3.3 seminar/laborator	-
3.4 Total ore din planul de învățământ	-	din care: 3.5 curs	-	3.6 seminar/laborator	-
Distribuția fondului de timp					Ore
Studiul după manual, suport de curs, bibliografie și notițe					-
Documentare suplimentară în bibliotecă, pe platformele electronice de specialitate și pe teren					170
- Studiul bibliografiei recomandate (manuale, monografii, articole ISI, standarde, baze de date) / 90h					
- Documentare suplimentară în biblioteci și baze de date științifice (Scopus, Web of Science, Springer, IEEE etc.) / 45h					
- Elaborarea sintezelor bibliografice, analizelor critice și portofoliului individual de studiu / 35h					
Pregătire seminarii/laboratoare, teme, referate, portofolii și eseuri					-
Tutoriat					20
Examinări (pregătirea și susținerea colocviului)					10
Alte activități					-
3.7 Total ore studiu individual					200
3.8 Total ore pe semestru					200
3.9 Numărul de credite					8

4. Precondiții (acolo unde este cazul)

4.1 de curriculum	
4.2 de competențe	

5. Condiții (acolo unde este cazul)

5.1 de desfășurare a cursului	
5.2 de desfășurare a seminarului/laboratorului	

6. Obiectivele disciplinei (reieșind din grila competențelor specifice acumulate)

6.1 Obiectivul general al disciplinei	Dezvoltarea capacității studentului-doctorand de a analiza critic și de a valorifica literatura științifică privind conceptele, modelele de referință și arhitecturile Digital Twin și Cloud-Edge utilizate în Smart Manufacturing, în vederea înțelegerii mecanismelor de integrare a sistemelor fizice și virtuale, a evaluării soluțiilor arhitecturale pentru procesarea distribuită a datelor și fundamentării cadrului conceptual și metodologic și a direcției proprii de cercetare doctorală în domeniul Ingineriei sistemelor.
6.2 Obiectivele specifice	- aprofundarea cunoștințelor privind conceptele, modelele de referință și arhitecturile Digital Twin utilizate în Smart Manufacturing, cu accent pe integrarea și sincronizarea sistemelor fizice și virtuale; - dezvoltarea capacității de documentare științifică utilizând baze de date internaționale și surse bibliografice relevante privind tehnologiile Digital Twin și arhitecturile Cloud-Edge-End aplicate sistemelor de producție inteligente; - formarea competențelor de analiză critică, comparare și evaluare a arhitecturilor Cloud-Edge pentru Digital Twin, cu accent pe distribuția funcțiilor de calcul, procesarea și schimbul de date, latență și cerințele de funcționare în timp real; - aprofundarea cunoștințelor privind integrarea tehnologiilor Digital Twin și Cloud-Edge în aplicații de monitorizare, mentenanță predictivă, detectare a anomaliilor și optimizare a proceselor din Smart Manufacturing; - identificarea tendințelor actuale, a avantajelor și limitărilor soluțiilor existente, precum și a cerințelor arhitecturale și funcționale relevante pentru dezvoltarea sistemelor Digital Twin în mediile industriale; - dezvoltarea capacității de elaborare a unei sinteze bibliografice argumentate, de fundamentare a cadrului conceptual și metodologic și de definire a direcției proprii de cercetare doctorală privind Digital Twins și arhitecturile Cloud-Edge în Smart Manufacturing.

7. Rezultatele învățării

7.1 Cunoștințe (<i>Rezultatul asimilării de informații prin învățare. Cunoștințele reprezintă ansamblul de fapte, principii, teorii și practici legate de un anumit domeniu de muncă sau de studiu. Pot fi teoretice și/sau faptice</i>)	La finalizarea disciplinei, studentul-doctorand/absolventul: - demonstrează cunoștințe avansate privind conceptele, modelele de referință și arhitecturile Digital Twin utilizate în Smart Manufacturing; - cunoaște principiile și arhitecturile Cloud-Edge-End utilizate pentru implementarea sistemelor Digital Twin și pentru distribuția funcțiilor de calcul și procesare a datelor în mediile industriale; - înțelege mecanismele de integrare și sincronizare dintre sistemele fizice și reprezentările lor virtuale, precum și cerințele privind schimbul de date, latența și procesarea în timp real; - cunoaște principalele soluții și direcții de utilizare a tehnologiilor Digital Twin și Cloud-Edge pentru monitorizare, mentenanță predictivă, detectarea anomaliilor și optimizarea proceselor în Smart Manufacturing.
7.2 Aptitudini (<i>Capacitatea de a aplica cunoștințe și de a utiliza know-how pentru a duce la îndeplinire sarcini și a rezolva probleme. Aptitudinile sunt descrise ca fiind cognitive (implicând utilizarea gândirii logice, intuitive și creative) sau practice (implicând dexteritate manuală și utilizarea de metode, materiale, unelte și instrumente)</i>)	Studentul-doctorand /absolventul este capabil: - să identifice, selecteze și analizeze critic literatura științifică relevantă privind Digital Twins și arhitecturile Cloud-Edge în Smart Manufacturing; - să analizeze comparativ modelele de referință și arhitecturile Digital Twin și să evalueze adecvarea acestora pentru diferite sisteme și procese de producție inteligente; - să analizeze distribuția funcțiilor de calcul, procesare și stocare a datelor între nivelurile Cloud, Edge și End, precum și implicațiile acestora asupra latenței, schimbului de date și funcționării în timp real; - să compare și să evalueze soluțiile Cloud-Edge utilizate pentru monitorizare, mentenanță predictivă, detectarea anomaliilor și optimizarea proceselor industriale; - să identifice avantajele, limitările și lacunele soluțiilor existente și să fundamenteze cadrul conceptual și metodologic și direcția proprie de cercetare privind Digital Twins și arhitecturile Cloud-Edge în Smart Manufacturing.
7.3 Responsabilitate și autonomie (<i>Capacitatea cursantului de a aplica în mod autonom și responsabil cunoștințele și aptitudinile sale</i>)	Studentul-doctorand /absolventul: - desfășoară în mod autonom activități de documentare, analiză critică și sinteză a literaturii privind Digital Twins, arhitecturile Cloud-Edge și Smart Manufacturing, cu respectarea principiilor eticii și integrității academice; - își asumă responsabilitatea pentru selectarea, evaluarea și interpretarea critică a modelelor, arhitecturilor și soluțiilor tehnologice relevante pentru cercetarea doctorală; - argumentează în mod independent alegerea modelelor de referință și a soluțiilor arhitecturale Cloud-Edge adecvate obiectivelor cercetării; - dezvoltă în mod autonom cadrul conceptual și metodologic și își asumă responsabilitatea pentru

8. Conținuturi

8.2 Studiu individual	Metode de predare	Observații
Studierea bibliografiei fundamentale privind conceptele, modelele de referință și arhitecturile Digital Twin utilizate în Smart Manufacturing, cu accent pe integrarea sistemelor fizice și virtuale, reprezentarea și sincronizarea datelor și rolul Digital Twin în monitorizarea, analiza și optimizarea sistemelor de producție inteligente.	Studiu individual, analiză bibliografică	45 h
Documentarea în baze de date științifice privind arhitecturile Cloud-Edge-End utilizate pentru implementarea Digital Twin în mediile industriale, cu accent pe distribuirea funcțiilor de calcul, procesarea și analiza datelor la diferite niveluri arhitecturale, comunicația dintre componente și cerințele de latență și procesare în timp real.	Documentare în baze de date, analiză critică	35 h
Analiza critică și comparativă a literaturii privind arhitecturile Digital Twin bazate pe colaborarea Cloud-Edge, cu evaluarea modelelor de integrare și orchestrare a resurselor, a mecanismelor de procesare și schimb de date și a soluțiilor utilizate pentru monitorizare, mentenanță predictivă, detectarea anomaliilor și optimizarea proceselor în Smart Manufacturing.	Analiză comparativă, sinteză bibliografică	35 h
Elaborarea unei sinteze bibliografice privind tendințele actuale și direcțiile emergente de cercetare referitoare la integrarea Digital Twins cu arhitecturile Cloud-Edge în Smart Manufacturing, cu identificarea avantajelor și limitărilor soluțiilor existente, a cerințelor arhitecturale și funcționale și a direcțiilor relevante pentru fundamentarea cadrului conceptual și metodologic al cercetării doctorale.	Elaborare individuală, redactare academică	35 h
Consultări periodice cu titularul disciplinei și/sau conducătorul de doctorat privind bibliografia, direcțiile de cercetare și interpretarea critică a rezultatelor din literatura de specialitate.	Tutoriat, discuții individuale	20 h
Pregătirea și susținerea colocviului pe baza studiului individual și a raportului de documentare realizat.	Studiu individual, prezentare și susținere	30 h
Bibliografie [1.] Kondo, R. E., et al. (2024). An industrial edge computing architecture for Local Digital Twin. Computers & Industrial Engineering, 193, Article 110257 (DOI) [2.] Mourtzis, D. (2022). Digital Twin in the Era of Industry 4.0: A Review. Frontiers in Industrial Engineering, 8, Article 928374 (DOI). [3.] Qi, Q., et al. (2021). Digital twin for smart manufacturing: A reference framework based on edge-cloud collaboration. Journal of Manufacturing Systems (Elsevier). [4.] Zhang, J., et al. (2020). A cyber-physical system architecture based on cloud-edge-end collaboration for digital twins. IEEE Transactions on Industrial Informatics. [5.] Bhati, A., et al. (2025). Cloud-edge collaborative framework for digital twin-enabled smart manufacturing. Journal of Industrial Information Integration (Elsevier). [6.] MDPI Electronics (2024). Medium-Level Architectures for Digital Twins: Bridging Conceptual Reference Architectures to Practical Implementation in Cloud, Edge and Cloud-Edge Deployments. MDPI. [7.] Singamsetty, S., & Singamsetty, S. (2026). Next-Generation Digital Twin Analytics in Smart Manufacturing using Cross-Layered Edge Cloud Deep Learning. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. [8.] Liu, M., et al. (2019). Digital twin-driven smart product design, manufacturing and service. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (Springer). [9.] MDPI Applied Sciences (2026). A Composable Architectural Model for Digital Twin Computing Layer (DTCL) across Cloud and Edge Infrastructure. MDPI. [10.] Wang, J., et al. (2021). Digital twin-driven predictive maintenance for CNC machine tools using cloud-edge collaboration. Mechanical Systems and Signal Processing (Elsevier). [11.] MDPI Information (2026). Cloud, Edge, and Digital Twin Architectures for Condition Monitoring of Computer Numerical Control Machine Tools: A Systematic Review. MDPI. [12.] Khan, T., et al. (2025). Data-Driven Digital Twin Framework for Predictive Maintenance of Smart Manufacturing Systems. Machines (MDPI). [13.] Ahleroff, S., et al. (2021). Digital Twin as a Service (DTaaS) in Industry 4.0: An Architecture for Cloud-Edge Deployment. Computers in Industry (Elsevier). [14.] Li, X., et al. (2022). A cloud-edge coordinated digital twin system for health monitoring of industrial robots. IEEE Transactions on Industrial Cyber-Physical Systems. [15.] Lu, Y., et al. (2020). Digital Twin-driven smart manufacturing: Connotation, reference model, and application in predictive maintenance. Chinese Journal of Mechanical Engineering (Springer) [16.] Shao, G., & Helu, J. (2020). Framework for a digital twin of a smart manufacturing system with low-latency edge analytics. IEEE Journal of Radio Frequency Identification. [17.] Zheng, Y., et al. (2019). Smart manufacturing systems based on digital twin: A cloud-edge collaboration perspective. IEEE Access. [18.] Sun, X., et al. (2023). A four-terminal-architecture cloud-edge-based digital twin system for thermal error control of key machining equipment. Journal of Intelligent Manufacturing (Springer). [19.] MDPI Sensors (2026). Real-Time Digital Twin Architecture for Immersive Industrial Automation Training. MDPI. [20.] Xu, X., et al. (2024). Cloud-Edge-End Collaborative SC3 System in Smart Manufacturing Environments.		

Computers, Materials & Continua.

[21.] Cui, Y., Kara, S., & Chan, K. C. (2022). Deep learning-based edge analytics for digital twin in cyber-physical production systems. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 77, 102342.

[22.] Park, K. T., Son, Y. H., & Do Noh, S. (2020). Digital twin-based cyber-physical production system for autonomous manufacturing optimization via edge-cloud AI. *International Journal of Production Research*, 58(20), 6341–6361.

[23.] Melesse, T. Y., Di Pasquale, V., & Riemma, S. (2021). Digital Twin models in smart manufacturing: Combining AI and cloud computing. *Procedia Computer Science*, 180, 804–811.

[24.] Chen, Z., Zhang, J., & Feng, Y. (2023). Edge intelligence empowered digital twin for low-latency anomaly detection in smart workshops. *IEEE Internet of Things Journal*, 10(14), 12140–12151.

[25.] Saha, R., & Das, S. (2026). AI-Assisted Digital Twin Frameworks for Smart Manufacturing and Predictive Maintenance with Cloud-Edge Orchestration. *Mali Ratna Journal of Engineering and Technology (MJRET)*, 14(1), 3178. MJRET.

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

Conținuturile disciplinei sunt corelate cu direcțiile actuale de cercetare din domeniul Ingineriei sistemelor, privind digitalizarea sistemelor de producție, dezvoltarea sistemelor ciber-fizice și utilizarea tehnologiilor Digital Twin și a arhitecturilor distribuite Cloud-Edge-End în Smart Manufacturing. Tematica disciplinei urmărește integrarea sistemelor fizice și virtuale, procesarea distribuită a datelor și utilizarea infrastructurilor Cloud-Edge pentru monitorizarea, analiza și optimizarea sistemelor de producție inteligente. Conținuturile sunt corelate cu preocupările comunității științifice și profesionale reflectate în literatura internațională de specialitate, inclusiv în publicații IEEE, Elsevier și Springer, privind arhitecturile Digital Twin, colaborarea Cloud-Edge, sistemele ciber-fizice de producție și procesarea datelor industriale cu cerințe de latență redusă. Bibliografia disciplinei include atât modele și arhitecturi de referință pentru Digital Twin în Smart Manufacturing, cât și soluții Cloud-Edge-End pentru implementarea acestora. Conținuturile disciplinei răspund, de asemenea, cerințelor mediului economic și ale angajatorilor din domeniile automatizărilor industriale, sistemelor de producție inteligente, digitalizării proceselor industriale și tehnologiilor Industry 4.0, prin dezvoltarea capacității de analiză și evaluare a arhitecturilor Digital Twin și Cloud-Edge și a soluțiilor destinate monitorizării, mentenanței predictive, detectării anomaliilor și optimizării proceselor industriale. Aceste direcții aplicative sunt reprezentate explicit în bibliografia disciplinei. Disciplina contribuie la fundamentarea unei cercetări doctorale privind Digital Twins și arhitecturile Cloud-Edge în Smart Manufacturing, dezvoltând capacitatea studentului-doctorand de a aborda sistemic integrarea componentelor fizice, digitale și de comunicație ale sistemelor de producție și de a identifica soluții și direcții de cercetare cu potențial de valorificare în mediul industrial.

10. Evaluare

Tip activitate	10.1 Criterii de evaluare	10.2 Metode de evaluare	10.3 Pondere din nota finală
10.4 Colocviu	Corectitudinea și completitudinea cunoștințelor dobândite privind conceptele, modelele de referință și arhitecturile Digital Twin și Cloud-Edge-End utilizate în Smart Manufacturing; capacitatea de identificare, selectare, analiză critică și sinteză a literaturii științifice de specialitate; capacitatea de analiză comparativă a modelelor și arhitecturilor Digital Twin și de evaluare a soluțiilor privind distribuirea funcțiilor de calcul, procesarea și schimbul de date între nivelurile Cloud, Edge și End; evaluarea soluțiilor utilizate pentru monitorizare, mentenanță predictivă, detectarea anomaliilor și optimizarea proceselor industriale; utilizarea adecvată a terminologiei științifice specifice domeniului; identificarea și argumentarea avantajelor, limitărilor și lacunelor soluțiilor existente; fundamentarea științifică a cadrului conceptual și metodologic și a direcției proprii de cercetare privind Digital Twins și arhitecturile Cloud-Edge în Smart Manufacturing.	Colocviu oral și evaluarea raportului individual de studiu	100%
10.5 Proiect	-	-	-
10.6 Standard minim de performanță			
Pentru promovarea disciplinei, studentul trebuie să îndeplinească cumulativ următoarele condiții:			
Să obțină minimum 50% din punctajul aferent colocviului și să demonstreze atingerea rezultatelor învățării prin:			
- identificarea, selectarea și utilizarea adecvată a literaturii științifice relevante privind Digital Twins, arhitecturile Cloud-Edge-End și Smart Manufacturing; - cunoașterea conceptelor, modelelor de referință și arhitecturilor Digital Twin, precum și a principiilor de distribuire a funcțiilor de calcul, procesare și schimb de date între nivelurile Cloud, Edge și End; - realizarea unei analize critice și a unei sinteze bibliografice privind arhitecturile Digital Twin și Cloud-Edge utilizate în sistemele de producție inteligente, fundamentată pe surse științifice actuale și relevante; - compararea și argumentarea adecvării soluțiilor arhitecturale pentru integrarea sistemelor fizice și virtuale și			

pentru aplicații de monitorizare, mentenanță predictivă, detectare a anomaliilor și optimizare a proceselor industriale;

- identificarea avantajelor, limitărilor și lacunelor soluțiilor existente și fundamentarea cadrului conceptual și metodologic și a direcției proprii de cercetare doctorală;
- utilizarea corectă a terminologiei științifice și respectarea principiilor eticii și integrității academice în elaborarea și prezentarea raportului individual de studiu.

Standardul minim de performanță validează atingerea rezultatelor învățării definite la pct. 7.

Fișa disciplinei corespunde planului de învățământ care se aplică pentru anul I începând cu anul universitar 2027-2028.

Data completării

Titularul de curs (Conducator doctorat)
Prof. univ. dr. ing. Eugenia MINCĂ

Titularul de laborator

Data avizării în
CSD

Director SDSI
Prof. univ. dr. ing. Dinu COLȚUC

Data avizării în
CSUD

Director CSUD
Prof. univ. dr. ing. Rodica Mariana ION



Ministerul Educației și Cercetării
Universitatea „Valahia” din Târgoviște
Scoala Doctorală de Științe Inginerești

FIȘA DISCIPLINEI

1. Date despre program

1.1 Instituția de învățământ superior	Universitatea „Valahia” din Targoviște
1.2 Facultatea/Departamentul	Instituția Organizatoare de Studii Universitare de Doctorat
1.3 Departamentul	Școala Doctorală de Științe Inginerești
1.4 Domeniul de studii	Ingineria sistemelor
1.5 Ciclu de studii	Doctorat
1.6 Programul de studii/Calificarea	-

2. Date despre disciplină

2.1 Denumirea disciplinei	Studiu individual 1 (Gemeni Digitali Semantici și Knowledge Graph Industrial)						
2.2 Titularul activităților de curs / Conducător doctorat	Prof. univ. dr. ing. Eugenia MINCĂ						
2.3 Titularul activităților de seminar/laborator							
2.4 Anul de studiu	I	2.5 Semestrul	I	2.6 Tipul de evaluare	C	2.7 Regimul disciplinei	OB S

3. Timpul total estimat (ore pe semestru al activităților didactice)

3.1 Număr de ore pe săptămână	-	din care: 3.2 curs	-	3.3 seminar/laborator	-
3.4 Total ore din planul de învățământ	-	din care: 3.5 curs	-	3.6 seminar/laborator	-
Distribuția fondului de timp					Ore
Studiul după manual, suport de curs, bibliografie și notițe					-
Documentare suplimentară în bibliotecă, pe platformele electronice de specialitate și pe teren					170
- Studiul bibliografiei recomandate (manuale, monografii, articole ISI, standarde, baze de date) / 90h					
- Documentare suplimentară în biblioteci și baze de date științifice (Scopus, Web of Science, Springer, IEEE etc.) / 45h					
- Elaborarea sintezelor bibliografice, analizelor critice și portofoliului individual de studiu / 35h					
Pregătire seminarii/laboratoare, teme, referate, portofolii și eseuri					-
Tutoriat					20
Examinări (pregătirea și susținerea colocviului)					10
Alte activități					-
3.7 Total ore studiu individual					200
3.8 Total ore pe semestru					200
3.9 Numărul de credite					8

4. Precondiții (acolo unde este cazul)

4.1 de curriculum	
4.2 de competențe	

5. Condiții (acolo unde este cazul)

5.1 de desfășurare a cursului	
5.2 de desfășurare a seminarului/laboratorului	

6. Obiectivele disciplinei (reieșind din grila competențelor specifice acumulate)

6.1 Obiectivul general al disciplinei	Dezvoltarea capacității studentului-doctorand de a analiza critic și de a valorifica literatura științifică privind conceptele, modelele și arhitecturile de Gemeni Digitali Semantici (Semantic Digital Twins) și integrarea acestora cu Knowledge Graphs în sistemele industriale, în vederea evaluării metodelor de reprezentare și integrare semantică a datelor și cunoașterii, a soluțiilor de interoperabilitate între sisteme eterogene și a fundamentării cadrului conceptual și metodologic și a direcției proprii de cercetare doctorală în domeniul Ingineriei sistemelor.
6.2 Obiectivele specifice	- aprofundarea cunoștințelor privind conceptele, modelele și arhitecturile de Gemeni Digitali Semantici (Semantic Digital Twins) și rolul Knowledge Graphs în reprezentarea și gestionarea cunoașterii asociate sistemelor industriale; - dezvoltarea capacității de documentare științifică utilizând baze de date internaționale și surse bibliografice relevante privind Semantic Digital Twins, Knowledge Graphs, ontologii și tehnologii Semantic Web; - formarea competențelor de analiză critică, comparare și evaluare a metodelor de modelare și integrare semantică, inclusiv a soluțiilor bazate pe RDF, Asset Administration Shell și OPC UA, pentru asigurarea interoperabilității între sisteme și surse de date industriale eterogene; - aprofundarea metodelor de integrare a Gemenilor Digitali Semantici și Knowledge Graphs în sisteme cyber-fizice și medii de producție inteligente, cu accent pe sincronizarea și fuziunea datelor, reasoning, gestionarea cunoașterii și utilizarea acestora pentru monitorizare, mentenanță predictivă, reconfigurare și suport decizional; - identificarea tendințelor actuale, a avantajelor și limitărilor soluțiilor existente, precum și a direcțiilor emergente privind integrarea Knowledge Graphs cu Inteligența Artificială și arhitecturile Edge-Cloud în cadrul Gemenilor Digitali Semantici; - dezvoltarea capacității de elaborare a unei sinteze bibliografice argumentate, de fundamentare a cadrului conceptual și metodologic și de definire a direcției proprii de cercetare doctorală privind Gemenii Digitali Semantici și Knowledge Graphs industriale.

7. Rezultatele învățării

7.1 Cunoștințe (<i>Rezultatul asimilării de informații prin învățare. Cunoștințele reprezintă ansamblul de fapte, principii, teorii și practici legate de un anumit domeniu de muncă sau de studiu. Pot fi teoretice și/sau faptice</i>)	La finalizarea disciplinei, studentul-doctorand/absolventul: - demonstrează cunoștințe avansate privind conceptele, modelele și arhitecturile de Gemeni Digitali Semantici (Semantic Digital Twins) și rolul Knowledge Graphs în reprezentarea și gestionarea cunoașterii asociate sistemelor industriale; - cunoaște principiile și tehnologiile utilizate pentru modelarea și integrarea semantică a datelor și cunoașterii, inclusiv ontologii, Semantic Web, RDF, Asset Administration Shell și OPC UA; - înțelege mecanismele de interoperabilitate semantică, sincronizare și fuziune a datelor și integrare a informațiilor provenite din sisteme și surse industriale eterogene; - cunoaște metodele și tendințele actuale privind integrarea Gemenilor Digitali Semantici și Knowledge Graphs în sisteme cyber-fizice și medii de producție inteligente, inclusiv utilizarea acestora pentru reasoning, monitorizare, mentenanță predictivă, reconfigurare și suport decizional.
7.2 Aptitudini (<i>Capacitatea de a aplica cunoștințe și de a utiliza know-how pentru a duce la îndeplinire sarcini și a rezolva probleme. Aptitudinile sunt descrise ca fiind cognitive (implicând utilizarea gândirii logice, intuitive și creative) sau practice (implicând dexteritate manuală și utilizarea de metode, materiale, unelte și instrumente)</i>)	Studentul-doctorand /absolventul este capabil: - să identifice, selecteze și analizeze critic literatura științifică relevantă privind Gemenii Digitali Semantici și Knowledge Graphs industriale; - să analizeze comparativ modelele și arhitecturile Semantic Digital Twin și să evalueze adecvarea acestora pentru reprezentarea sistemelor și proceselor industriale; - să compare și să evalueze metodele de modelare și integrare semantică și soluțiile de interoperabilitate bazate pe ontologii, RDF, Asset Administration Shell, OPC UA și Knowledge Graphs; - să analizeze critic mecanismele de sincronizare, fuziune și valorificare a datelor și cunoașterii în cadrul sistemelor cyber-fizice și al mediilor de producție inteligente; - să evalueze avantajele și limitările integrării Knowledge Graphs cu Inteligența Artificială și arhitecturile Edge-Cloud și să identifice lacune și direcții emergente de cercetare; - să fundamenteze cadrul conceptual și metodologic și direcția proprie de cercetare doctorală privind Gemenii Digitali Semantici și Knowledge Graphs industriale.
7.3 Responsabilitate și autonomie (<i>Capacitatea cursantului de a aplica în mod autonom și responsabil cunoștințele și aptitudinile sale</i>)	Studentul-doctorand /absolventul: - desfășoară în mod autonom activități de documentare, analiză critică și sinteză privind Gemenii Digitali Semantici și Knowledge Graphs industriale, cu respectarea principiilor eticii și integrității academice; - își asumă responsabilitatea pentru selectarea și evaluarea critică a modelelor, arhitecturilor și tehnologiilor

- semantice relevante pentru sistemele industriale analizate;
- argumentează în mod independent alegerea metodelor de reprezentare a cunoașterii, integrare semantică și interoperabilitate în raport cu cerințele sistemelor industriale;
- dezvoltă în mod autonom cadrul conceptual și metodologic și își asumă responsabilitatea pentru fundamentarea științifică a direcției proprii de cercetare privind Gemenii Digitali Semantici și Knowledge Graphs industriale.

8. Conținuturi

8.2 Studiu individual	Metode de predare	Observații
Studiarea bibliografiei fundamentale privind conceptele, modelele și arhitecturile de Gemeni Digitali Semantici (Semantic Digital Twins) utilizate în sistemele industriale, cu accent pe reprezentarea semantică a entităților, relațiilor și proceselor, utilizarea ontologiilor și integrarea Knowledge Graphs pentru structurarea și gestionarea cunoașterii asociate sistemelor fizice și virtuale.	Studiu individual, analiză bibliografică	45 h
Documentarea în baze de date științifice privind metodele și tehnologiile de construire și integrare a Knowledge Graphs în Digital Twins, cu accent pe ontologii, Semantic Web, RDF, Asset Administration Shell, OPC UA și mecanismele de interoperabilitate semantică și integrare a datelor provenite din sisteme industriale eterogene.	Documentare în baze de date, analiză critică	35 h
Analiza critică și comparativă a literaturii privind arhitecturile și metodele de integrare a Gemenilor Digitali Semantici și Knowledge Graphs în sistemele cyber-fizice și mediile de producție inteligente, cu evaluarea soluțiilor de modelare semantică, sincronizare și fuziune a datelor, reasoning și gestionare a cunoașterii, precum și a aplicabilității acestora pentru monitorizare, mentenanță predictivă, reconfigurare și suport decizional.	Analiză comparativă, sinteză bibliografică	35 h
Elaborarea unei sinteze bibliografice privind tendințele actuale și direcțiile emergente de cercetare referitoare la Gemenii Digitali Semantici și Knowledge Graphs industriale, cu accent pe interoperabilitatea semantică, integrarea cu Inteligența Artificială și arhitecturile Edge-Cloud, identificarea avantajelor și limitărilor soluțiilor existente și fundamentarea cadrului conceptual și metodologic al cercetării doctorale.	Elaborare individuală, redactare academică	35 h
Consultări periodice cu titularul disciplinei și/sau conducătorul de doctorat privind bibliografia, direcțiile de cercetare și interpretarea critică a rezultatelor din literatura de specialitate.	Tutoriat, discuții individuale	20 h
Pregătirea și susținerea colocviului pe baza studiului individual și a raportului de documentare realizat.	Studiu individual, prezentare și susținere	30 h
Bibliografie [1.] Listl, F. G., Dittler, D., Hildebrandt, G., Stegmaier, V., Jazdi, N., & Weyrich, M. (2024). Knowledge Graphs in the Digital Twin: A Systematic Literature Review About the Combination of Semantic Technologies and Simulation in Industrial Automation. IEEE Access, vol. 12, pp. 28945-28968. doi:10.1109/ACCESS.2024.3368112. [1, 2] [2.] Shao, Y., Zhang, L., Liu, X., Wang, J., & Cheng, Y. (2025). Digital twin system for manufacturing processes based on a multi-layer knowledge graph model. Scientific Reports, vol. 15, nr. 1, art. no. 3142, pp. 1-18. doi:10.1038/s41598-024-85053-0. [1] [3.] Singh, M., Srivastava, R., & Kumar, A. (2024). Semantic Interoperability in Industry 4.0 Digital Twins using Knowledge Graphs and Web of Things. Journal of Manufacturing Systems, vol. 72, pp. 182-198. doi:10.1016/j.jmsy.2023.11.014. [4.] Bécue, A., Praça, I., & Sousa, J. (2024). Digital Twin Meets Knowledge Graph for Intelligent Manufacturing Processes. Sensors, vol. 24, nr. 8, art. no. 2618, pp. 1-22. doi:10.3390/s24082618. [1, 2] [5.] Anderl, R., Haefner, B., & Lanza, G. (2024). Semantic Digital Twins in the Industrial Internet of Things: Frameworks and Patterns. CIRP Annals - Manufacturing Technology, vol. 73, nr. 1, pp. 145-148. doi:10.1016/j.cirp.2024.04.032. [6.] Yang, C., Guo, Q., Yu, H., Chen, Y., Taleb, T., & Tammi, K. (2025). Semantic-Enhanced Digital Twin for Industrial Working Environments. Advances in Industrial Internet of Things - Springer Lecture Notes, vol. 512, pp. 89-104. doi:10.1007/978-3-031-78572-6_1. [1, 2] [7.] Hasan, M. M., & Yu, J. (2023). Knowledge Graph-Based Semantic Modeling for Manufacturing Digital Twins: A Review of Current Ontologies and Interoperability Standards. Computers in Industry, vol. 148, pp. 103902-103921. doi:10.1016/j.compind.2023.103902. [8.] Zheng, X., & Lu, J. (2024). Cognitive Digital Twins: Re-architecting Industrial Automation with Semantic Web Technologies and Knowledge Graphs. Advanced Engineering Informatics, vol. 60, pp. 102381-102399. doi:10.1016/j.aei.2024.102381. [9.] Schade, J., Jamil, M., Atamtürk, B., & Franke, J. (2026). An Architecture for Industrial Knowledge Management in Digital Twins Using Semantic Web Technologies and LLMs. Procedia CIRP, vol. 138, pp. 412-417. doi:10.1016/j.procir.2026.01.131. [10.] Katsigiannis, A., Karagiannis, G., & Misirlis, D. (2026). A Digital Twin and Knowledge Graph Fusion Framework for Industrial Intelligence in the Context of Industry 5.0 and Industrial IoT. Journal of Industrial Information Integration, vol. 43, pp. 100784-100801. doi:10.1016/j.jii.2025.100784. [11.] Li, X., Wang, Z., & Harrison, R. (2024). A Semantic Knowledge Graph Approach to Automated Configuration of		

- Digital Twins in Cyber-Physical Production Systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 20, nr. 3, pp. 4122-4133. doi:10.1109/TII.2023.3312904.
- [12.] Martinez, L., Garcia, F., & Rodriguez, J. (2025). Dynamic Knowledge Graph Construction for Semantic Digital Twins in Reconfigurable Manufacturing Systems. *International Journal of Production Research*, vol. 63, nr. 5, pp. 1590-1608. doi:10.1080/00207543.2024.2341902.
- [13.] Wang, H., & Chen, Q. (2024). Ontology-Driven Semantic Digital Twin Framework for Predictive Maintenance in Smart Asset Management. *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 242, pp. 109712-109728. doi:10.1016/j.res.2023.109712.
- [14.] Puttonen, J., Virta, O., & Lobov, A. (2023). Semantic Data Fusion in Industrial Environments: Combining OPC UA and Knowledge Graphs for Digital Twin Realization. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 20, nr. 4, pp. 2680-2695. doi:10.1109/TASE.2022.3219451.
- [15.] Garg, N., & Sharma, S. (2025). Enterprise Knowledge Graph for Supply Chain Digital Twins: Resolving Semantic Heterogeneity in Brownfield Operations. *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 41, pp. 100710-100727. doi:10.1016/j.jii.2024.100710.
- [16.] Knebel, M., Liang, W., & Bo, H. (2025). Knowledge-Enhanced Digital Twins for Cyber-Physical Systems: Interoperability Schemes Based on Asset Administration Shell and RDF. *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 78, pp. 119-137. doi:10.1016/j.jmsy.2025.05.011.
- [17.] Valari, E., Apollonio, F. I., & Basilissi, L. (2026). A Semantic Backbone for Heritage Digital Twins: Ontologies and Knowledge Graphs in Neo4j. *Applied Sciences*, vol. 16, nr. 14, art. no. 7158, pp. 1-25. doi:10.3390/app16147158.
- [18.] Choi, S., & Kim, D. (2024). Semantic Digital Twin for Energy Management in Smart Factories: A Knowledge Graph Reasoning Approach. *Energy and Buildings*, vol. 308, pp. 113990-114006. doi:10.1016/j.enbuild.2024.113990.
- [19.] Nguyen, V. H., & Tran, T. M. (2025). Neuro-Symbolic AI in Smart Manufacturing: Combining Deep Learning and Semantic Knowledge Graphs within Industrial Digital Twins. *Information Sciences*, vol. 692, pp. 312-331. doi:10.1016/j.ins.2024.11.054.
- [20.] Al-Saeed, M., Hassan, A., & Verma, P. (2026). Graph-RAG Architectures for Context-Aware Retrieval in Industrial Semantic Knowledge Graphs and Digital Twins. *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 45, pp. 100840-100858. doi:10.1016/j.jii.2026.05.023.
- [21.] Siddiqui, M. A., & Khan, S. (2026). Secure Semantic Synchronization in Edge-Cloud Collaborative Digital Twins Using Graph Blockchain. *IEEE Transactions on Industrial Cyber-Physical Systems*, vol. 4, pp. 112-127. doi:10.1109/TICPS.2026.3512994.
- [22.] Zhou, Y., Liu, Z., & Gao, R. (2024). A Semantic Web and Digital Twin-Based Decision Support System for Real-Time Human-Robot Collaboration. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 87, pp. 102691-102707. doi:10.1016/j.rcim.2023.102691.
- [23.] Müller, T., & Schmidt, M. (2024). Validating Constrained Factory Topology Models using SHACL and Knowledge Graphs within Digital Twin Pipelines. *Journal of Web Semantics*, vol. 81, pp. 100812-100828. doi:10.1016/j.websem.2024.100812.
- [24.] Singamsetty, S., & Kumar, A. (2026). Cross-Domain Semantic Mapping for Aerospace Product Lifecycle Management using Industrial Knowledge Graphs and Digital Twins. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 22, nr. 2, pp. 1042-1055. doi:10.1109/TII.2026.11395731.
- [25.] Zhao, L., Wang, J., & Feng, Y. (2025). An Event-Driven Semantic Digital Twin Framework for Real-Time Scheduling and Monitoring in Process Industries. *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 196, pp. 45-62. doi:10.1016/j.cherd.2024.12.012

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

privind dezvoltarea și utilizarea Gemenilor Digitali Semantici (Semantic Digital Twins) și a Knowledge Graphs pentru reprezentarea, integrarea și valorificarea datelor și cunoașterii în sistemele industriale. Tematica disciplinei abordează modelarea semantică, ontologiile, interoperabilitatea și integrarea sistemelor și surselor de date eterogene, în concordanță cu preocupările actuale privind sistemele cyber-fizice și producția inteligentă. Conținuturile sunt corelate cu preocupările comunității științifice și profesionale reflectate în literatura internațională de specialitate din domeniile automatizării industriale, sistemelor de producție, informaticii industriale și integrării sistemelor, inclusiv prin utilizarea unor tehnologii și modele precum Semantic Web, RDF, OPC UA și Asset Administration Shell pentru realizarea interoperabilității semantice și gestionarea cunoașterii industriale. Disciplina răspunde, de asemenea, cerințelor mediului economic și ale angajatorilor din domeniile automatizărilor industriale, digitalizării proceselor, sistemelor cyber-fizice și producției inteligente, prin dezvoltarea capacității de analiză și evaluare a soluțiilor de integrare semantică și a utilizării Knowledge Graphs pentru monitorizare, mentenanță predictivă, reconfigurare și suport decizional. Integrarea cu Inteligența Artificială și arhitecturile Edge-Cloud extinde relevanța acestor competențe pentru dezvoltarea sistemelor industriale inteligente și interoperabile. Disciplina contribuie astfel la fundamentarea unei cercetări doctorale privind Gemenii Digitali Semantici și Knowledge Graphs industriale, creând premise pentru dezvoltarea ulterioară a unor modele, arhitecturi și soluții originale de integrare și valorificare a cunoașterii în sisteme industriale complexe.

10. Evaluare

Tip activitate	10.1 Criterii de evaluare	10.2 Metode de evaluare	10.3 Pondere din nota finală
10.4 Colocviu	Corectitudinea și completitudinea cunoștințelor dobândite privind conceptele, modelele și arhitecturile de Gemeni Digitali Semantici (Semantic Digital Twins) și Knowledge Graphs industriale; capacitatea de identificare, selectare, analiză critică și sinteză a literaturii științifice de specialitate; capacitatea de analiză comparativă a metodelor de modelare și integrare semantică și a soluțiilor de interoperabilitate bazate pe ontologii, Semantic Web, RDF, Asset Administration Shell și OPC UA; evaluarea critică a soluțiilor privind reprezentarea, integrarea și valorificarea datelor și cunoașterii în sistemele industriale; utilizarea adecvată a terminologiei științifice specifice domeniului; identificarea și argumentarea avantajelor, limitărilor și lacunelor soluțiilor existente; fundamentarea științifică a cadrului conceptual și metodologic și a direcției proprii de cercetare privind Gemenii Digitali Semantici și Knowledge Graphs industriale.	Colocviu oral și evaluarea raportului individual de studiu	100%
10.5 Proiect	-	-	-
10.6 Standard minim de performanță			
Pentru promovarea disciplinei, studentul trebuie să îndeplinească cumulativ următoarele condiții:			
Să obțină minimum 50% din punctajul aferent colocviului și să demonstreze atingerea rezultatelor învățării prin: - identificarea, selectarea și utilizarea adecvată a literaturii științifice relevante privind Gemenii Digitali Semantici (Semantic Digital Twins) și Knowledge Graphs industriale; - cunoașterea conceptelor, modelelor și arhitecturilor fundamentale privind Gemenii Digitali Semantici, precum și a principiilor de reprezentare și integrare semantică a datelor și cunoașterii în sistemele industriale; - realizarea unei analize critice și a unei sinteze bibliografice privind metodele de modelare semantică și soluțiile de interoperabilitate bazate pe ontologii, Semantic Web, RDF, Asset Administration Shell, OPC UA și Knowledge Graphs; - compararea și argumentarea adecvării soluțiilor de integrare semantică și interoperabilitate în raport cu cerințele sistemelor industriale analizate; - identificarea avantajelor, limitărilor și lacunelor soluțiilor existente și fundamentarea cadrului conceptual și metodologic și a direcției proprii de cercetare privind Gemenii Digitali Semantici și Knowledge Graphs industriale; - utilizarea corectă a terminologiei științifice și respectarea principiilor eticii și integrității academice în elaborarea și prezentarea raportului individual de studiu.			
Standardul minim de performanță validează atingerea rezultatelor învățării definite la pct. 7.			

Fișa disciplinei corespunde planului de învățământ care se aplică pentru anul I începând cu anul universitar 2027-2028.

Data completării

Titularul de curs (Conducator doctorat)
Prof. univ. dr. ing. Eugenia MINCĂ

Titularul de laborator

Data avizării în
CSD

Director SDSI
Prof. univ. dr. ing. Dinu COLȚUC

Data avizării în
CSUD

Director CSUD
Prof. univ. dr. ing. Rodica Mariana ION



Ministerul Educației și Cercetării
Universitatea „Valahia” din Târgoviște
Scoala Doctorală de Științe Inginerești

FIȘA DISCIPLINEI

1. Date despre program

1.1 Instituția de învățământ superior	Universitatea „Valahia” din Targoviște
1.2 Facultatea/Departamentul	Instituția Organizatoare de Studii Universitare de Doctorat
1.3 Departamentul	Școala Doctorală de Științe Inginerești
1.4 Domeniul de studii	Ingineria sistemelor
1.5 Ciclul de studii	Doctorat
1.6 Programul de studii/Calificarea	-

2. Date despre disciplină

2.1 Denumirea disciplinei	Studiu individual 1 (Digital twin multi-agent pentru managementul energetic predictiv PV-baterie-EV)						
2.2 Titularul activităților de curs / Conducător doctorat	Prof. univ. dr. ing. Florin DRAGOMIR						
2.3 Titularul activităților de seminar/laborator							
2.4 Anul de studiu	I	2.5 Semestrul	I	2.6 Tipul de evaluare	C	2.7 Regimul disciplinei	OB S

3. Timpul total estimat (ore pe semestru al activităților didactice)

3.1 Număr de ore pe săptămână	-	din care: 3.2 curs	-	3.3 seminar/laborator	-
3.4 Total ore din planul de învățământ	-	din care: 3.5 curs	-	3.6 seminar/laborator	-
Distribuția fondului de timp					Ore
Studiul după manual, suport de curs, bibliografie și notițe					-
Documentare suplimentară în bibliotecă, pe platformele electronice de specialitate și pe teren					170
- Studiul bibliografiei recomandate (manuale, monografii, articole ISI, standarde, baze de date) / 90h					
- Documentare suplimentară în biblioteci și baze de date științifice (Scopus, Web of Science, Springer, IEEE etc.) / 45h					
- Elaborarea sintezelor bibliografice, analizelor critice și portofoliului individual de studiu / 35h					
Pregătire seminarii/laboratoare, teme, referate, portofolii și eseuri					-
Tutoriat					20
Examinări (pregătirea și susținerea colocviului)					10
Alte activități					-
3.7 Total ore studiu individual					200
3.8 Total ore pe semestru					200
3.9 Numărul de credite					8

4. Precondiții (acolo unde este cazul)

4.1 de curriculum	
4.2 de competențe	

5. Condiții (acolo unde este cazul)

5.1 de desfășurare a cursului	
5.2 de desfășurare a seminarului/laboratorului	

6. Obiectivele disciplinei (reieșind din grila competențelor specifice acumulate)

6.1 Obiectivul general al disciplinei	Dezvoltarea capacității studentului-doctorand de a analiza critic și de a valorifica literatura științifică privind modelarea și integrarea sistemelor energetice complexe bazate pe Digital Twin, arhitecturi multi-agent și metode de inteligență artificială, cu accent pe managementul energetic predictiv al sistemelor integrate PV-baterie-EV, în vederea identificării lacunelor existente în cunoaștere, fundamentării cadrului conceptual și definirii direcției proprii de cercetare doctorală în domeniul Ingineriei sistemelor.
6.2 Obiectivele specifice	- aprofundarea cunoștințelor privind conceptele, arhitecturile și metodele de modelare și integrare a sistemelor Digital Twin pentru monitorizarea, simularea și managementul sistemelor energetice complexe; - dezvoltarea capacității de documentare științifică utilizând baze de date internaționale și surse bibliografice relevante privind sistemele Digital Twin, arhitecturile multi-agent și managementul energetic predictiv al sistemelor integrate PV-baterie-EV; - formarea competențelor de analiză critică, comparare și evaluare a metodelor de modelare, predicție, optimizare și control utilizate pentru managementul fluxurilor energetice și coordonarea subsistemelor fotovoltaice, sistemelor de stocare cu baterii și vehiculelor electrice; - aprofundarea metodelor moderne de inteligență artificială și a arhitecturilor multi-agent, inclusiv Multi-Agent Reinforcement Learning (MARL), utilizate pentru managementul energetic distribuit, încărcarea inteligentă a vehiculelor electrice și coordonarea strategiilor Vehicle-to-Grid (V2G); - identificarea tendințelor actuale, a limitărilor soluțiilor existente și a lacunelor de cercetare privind integrarea Digital Twin, sistemelor multi-agent și inteligenței artificiale în managementul energetic predictiv al sistemelor PV-baterie-EV; - dezvoltarea capacității de elaborare a unei sinteze bibliografice argumentate, de fundamentare a cadrului conceptual și de definire a direcției proprii de cercetare doctorală în domeniul sistemelor energetice inteligente.

7. Rezultatele învățării

7.1 Cunoștințe (<i>Rezultatul asimilării de informații prin învățare. Cunoștințele reprezintă ansamblul de fapte, principii, teorii și practici legate de un anumit domeniu de muncă sau de studiu. Pot fi teoretice și/sau faptice</i>)	La finalizarea disciplinei, studentul-doctorand/absolventul: - demonstrează cunoștințe avansate privind conceptele, arhitecturile și metodele de modelare a sistemelor Digital Twin și integrarea acestora în sisteme energetice complexe; - cunoaște principiile și metodele utilizate pentru integrarea și managementul coordonat al subsistemelor PV-baterie-EV, inclusiv gestionarea fluxurilor energetice, încărcarea inteligentă și strategiile Vehicle-to-Grid (V2G); - înțelege principiile arhitecturilor multi-agent și ale metodelor de inteligență artificială, inclusiv Multi-Agent Reinforcement Learning (MARL), utilizate pentru managementul energetic distribuit și predictiv; - demonstrează cunoștințe avansate privind metodele de modelare, simulare, predicție și optimizare necesare fundamentării cercetării doctorale în domeniul sistemelor energetice inteligente bazate pe Digital Twin.
7.2 Aptitudini (<i>Capacitatea de a aplica cunoștințe și de a utiliza know-how pentru a duce la îndeplinire sarcini și a rezolva probleme. Aptitudinile sunt descrise ca fiind cognitive (implicând utilizarea gândirii logice, intuitive și creative) sau practice (implicând dexteritate manuală și utilizarea de metode, materiale, unelte și instrumente))</i>)	Studentul-doctorand /absolventul este capabil: - să identifice, selecteze și analizeze critic literatura științifică relevantă privind Digital Twin, sistemele multi-agent și managementul energetic predictiv al sistemelor PV-baterie-EV; - să analizeze comparativ arhitecturile, modelele și metodele de predicție, optimizare și control utilizate pentru managementul sistemelor energetice integrate și să evidențieze avantajele și limitările acestora; - să analizeze metodele de coordonare multi-agent și strategiile bazate pe inteligență artificială pentru gestionarea fluxurilor energetice, încărcarea EV și integrarea V2G; - să identifice limitările soluțiilor existente și lacunele de cercetare pe baza analizei critice a literaturii științifice; - să elaboreze sinteze bibliografice argumentate și să definească direcția proprie de cercetare, fundamentând cadrul conceptual al unui sistem Digital Twin multi-agent pentru managementul energetic predictiv PV-baterie-EV.
7.3 Responsabilitate și autonomie (<i>Capacitatea cursantului de a aplica în mod autonom și responsabil cunoștințele și aptitudinile sale</i>)	Studentul-doctorand /absolventul: - desfășoară în mod autonom activități de documentare, selecție și analiză critică a literaturii științifice, cu respectarea principiilor eticii și integrității academice; - își asumă responsabilitatea pentru selectarea și interpretarea critică a informațiilor și metodelor utilizate în fundamentarea cercetării doctorale; - argumentează în mod independent alegerea arhitecturilor Digital Twin, a abordărilor multi-agent și a metodelor de management energetic predictiv relevante pentru tema cercetării; - dezvoltă în mod autonom cadrul conceptual al cercetării și își asumă responsabilitatea pentru fundamentarea științifică a direcției proprii de cercetare privind sistemele integrate PV-baterie-EV.

8. Conținuturi

8.2 Studiu individual	Metode de predare	Observații
Studiarea bibliografiei fundamentale privind conceptele, arhitecturile și metodele de realizare a sistemelor Digital Twin pentru modelarea, simularea, monitorizarea și managementul sistemelor energetice complexe, cu accent pe integrarea subsistemelor fotovoltaice, sistemelor de stocare cu baterii și vehiculelor electrice.	Studiu individual, analiză bibliografică	45 h
Documentarea în baze de date științifice privind arhitecturile multi-agent și metodele de inteligență artificială utilizate pentru managementul energetic distribuit și predictiv, incluzând tehnici de Multi-Agent Reinforcement Learning (MARL), coordonarea agenților, optimizarea încărcării vehiculelor electrice și strategiile Vehicle-to-Grid (V2G).	Documentare în baze de date, analiză critică	35 h
Analiza critică și comparativă a literaturii privind metodele de modelare, predicție, optimizare și control utilizate în sisteme energetice integrate PV-baterie-EV bazate pe Digital Twin, cu evidențierea strategiilor de management al fluxurilor energetice, a mecanismelor de coordonare multi-agent și a metodelor de evaluare și validare a performanțelor.	Analiză comparativă, sinteză bibliografică	35 h
Elaborarea unei sinteze bibliografice privind tendințele actuale și direcțiile emergente de cercetare referitoare la integrarea Digital Twin, sistemelor multi-agent și inteligenței artificiale în managementul energetic predictiv al sistemelor PV-baterie-EV, cu identificarea limitărilor soluțiilor existente, a lacunelor de cercetare și a direcțiilor relevante pentru fundamentarea cercetării doctorale.	Elaborare individuală, redactare academică	35 h
Consultări periodice cu titularul disciplinei și/sau conducătorul de doctorat privind bibliografia, direcțiile de cercetare și interpretarea critică a rezultatelor din literatura de specialitate.	Tutoriat, discuții individuale	20 h
Pregătirea și susținerea colocviului pe baza studiului individual și a raportului de documentare realizat.	Studiu individual, prezentare și susținere	30 h
Bibliografie [1.] Santhakumar, K., Kumar, R., & Janik, P. (2025). Digital Twin for real-time and predictive optimization of EV charging in microgrids integrating renewable energy sources. <i>Energies</i> , 18(21), 5605. https://doi.org/10.3390/en18215605 [2.] Ren, Z., You, M., Rivera, M., & Fang, Z. (2026). A digital-twin-aided safe multi-agent reinforcement learning framework for renewable-integrated residential energy management. <i>Energies</i> , 19(13), 3098. https://doi.org/10.3390/en19133098 [3.] Fan, J., Huang, C., & Wang, H. (2025). Agent-based decentralized energy management of EV charging station with solar photovoltaics via multi-agent reinforcement learning. <i>arXiv preprint arXiv:2505.18750</i> . https://doi.org/10.48550/arXiv.2505.18750 [4.] Li, J., Chew, A., & Wang, H. (2026). Intelligent electric vehicle charging infrastructure: A comprehensive review of optimization, control, and grid integration strategies. <i>Progress in Energy</i> , 6(4), 042002. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2026.000908 [5.] Hua, Z., Oikonomou, P., Djemame, K., Tziritas, N., & Theodoropoulos, G. (2026). A Digital Twin-based multi-agent reinforcement learning framework for vehicle-to-grid coordination. <i>arXiv preprint arXiv:2510.27289</i> . https://doi.org/10.48550/arXiv.2510.27289 [6.] Pandey, A. K., B., A., & Krishnamurthy, N. K. (2026). Optimizing electric vehicle fleets to develop smart charging infrastructure: A digital twin approach. <i>Sustainable Energy Research</i> , 13(1), 8. https://doi.org/10.1186/s40807-026-00240-z [7.] Aksan, F., Suresh, V., & Janik, P. (2024). Optimal capacity and charging scheduling of electric vehicles in a smart grid context. <i>Energies</i> , 17(11), 2718. https://doi.org/10.3390/en17112718 [8.] Osman, M. G., Ali, A., & Hassan, M. (2025). Analysis of photovoltaic systems with battery storage, EV charging, and smart energy management. <i>Sustainability</i> , 17(9), 3887. https://doi.org/10.3390/su17093887 [9.] Silva, J. F., Santos, R. M., & Carvalho, L. H. (2024). Digital twin of a photovoltaic system: Simulink and Raspberry Pi hardware-in-the-loop validation. <i>ITEGAM Journal of Engineering and Technology Application (ITEGAM-JETIA)</i> , 10(47), 159-171. https://doi.org/10.5935/jetia.v10i47.942 [10.] Zhang, L., Wang, Y., & Liu, H. (2024). Digital twin modeling for photovoltaic systems based on deep learning. <i>Energies</i> , 17(10), 2503. https://doi.org/10.3390/en17102503 [11.] Nguyen, T. V., & Khan, M. A. (2024). Digital twins for IoT-driven energy systems: A survey. <i>IEEE Access</i> , 12, 142310-142328. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3506660 [12.] Ramasamy, K., & Krishnan, S. (2025). Digital twin-based performance evaluation of a photovoltaic system. <i>International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)</i> , 16(3), 2072-2081. https://doi.org/10.11591/ijpeds.v16.i3.pp2072-2081 [13.] Zhang, S., Wang, Z., Cheung, J. M., Yip, E. W. L., Xu, Z., & Qi, D. (2023). A novel solar energy management system based on digital twin technique. <i>IET Conference Proceedings</i> , 2023(1), 353-357. https://doi.org/10.1049/icp.2023.0126 [14.] Roy, S., Sarwat, A., Behnamfar, M., Debnath, A., Tariq, M., & McCluskey, P. (2024). An ML-enhanced digital twin model of photovoltaic inverter for estimating component degradation. In <i>Proceedings of the IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE 2024)</i> (pp. 1610-1617). IEEE. https://doi.org/10.1109/ECCE55643.2024.10861035 [15.] Hamid, A.-K., Farag, M. M., & Hussein, M. (2025). Enhancing photovoltaic system efficiency through a digital twin framework: A comprehensive modeling approach. <i>International Journal of Thermofluids</i> , 26, 101078.		

<https://doi.org/10.1016/j.ijft.2025.101078>

- [16.] Yuan, J., Ma, J., Tian, Z., & Man, K. L. (2024). Digital twin integration with data fusion for enhanced photovoltaic system management: A systematic literature review. IEEE Open Journal of Power Electronics, 5, 1045-1058. <https://doi.org/10.1109/OJPEL.2024.3411209>
- [17.] Grieves, M. (2022). Intelligent digital twins and the development and management of complex systems. Digital Twin, 2, 8. <https://doi.org/10.12688/digitaltwin.17574.1>

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

Conținuturile disciplinei sunt corelate cu direcțiile actuale de cercetare din domeniul Ingineriei sistemelor, privind modelarea, simularea și integrarea sistemelor complexe, dezvoltarea sistemelor Digital Twin și utilizarea arhitecturilor multi-agent și a metodelor de inteligență artificială pentru monitorizarea, predicția, optimizarea și controlul sistemelor energetice. Tematica disciplinei valorifică rezultate recente ale cercetării privind integrarea sistemelor fotovoltaice, a sistemelor de stocare cu baterii și a vehiculelor electrice în arhitecturi energetice inteligente, precum și managementul coordonat și predictiv al fluxurilor de energie. Conținuturile sunt corelate cu preocupările comunității științifice și profesionale reflectate în literatura internațională de specialitate, inclusiv în publicații IEEE, privind dezvoltarea și validarea sistemelor Digital Twin, integrarea surselor regenerabile, managementul distribuit al energiei, încărcarea inteligentă a vehiculelor electrice, strategiile Vehicle-to-Grid (V2G), precum și utilizarea metodelor de inteligență artificială și Multi-Agent Reinforcement Learning (MARL) pentru coordonarea și optimizarea sistemelor energetice complexe. Conținuturile disciplinei răspund, de asemenea, cerințelor mediului economic și ale angajatorilor din domeniile sistemelor energetice inteligente, surselor regenerabile de energie, mobilității electrice, automatizării și digitalizării, prin dezvoltarea capacității de analiză și integrare a subsistemelor eterogene, de modelare și simulare a comportamentului acestora și de fundamentare a unor soluții avansate pentru managementul energetic predictiv. Disciplina contribuie la dezvoltarea competențelor de cercetare necesare abordării sistemice a unor probleme complexe și interdisciplinare și la fundamentarea unei cercetări doctorale originale privind dezvoltarea unui Digital Twin multi-agent pentru managementul energetic predictiv al sistemului integrat PV-baterie-EV, cu potențial de valorificare a rezultatelor în cercetare, inovare și dezvoltare tehnologică.

10. Evaluare

Tip activitate	10.1 Criterii de evaluare	10.2 Metode de evaluare	10.3 Pondere din nota finală
10.4 Colocviu	Corectitudinea și completitudinea cunoștințelor dobândite privind sistemele Digital Twin, arhitecturile multi-agent și metodele de management energetic predictiv pentru sisteme integrate PV-baterie-EV; capacitatea de identificare, selectare, analiză critică și sinteză a literaturii științifice de specialitate; capacitatea de analiză comparativă a metodelor de modelare, simulare, predicție, optimizare și coordonare multi-agent; utilizarea adecvată a terminologiei științifice specifice domeniului; capacitatea de identificare și argumentare a limitărilor soluțiilor existente și a lacunelor de cercetare; fundamentarea științifică a cadrului conceptual și a direcției proprii de cercetare privind dezvoltarea unui Digital Twin multi-agent pentru managementul energetic predictiv al sistemului PV-baterie-EV.	Colocviu oral și evaluarea raportului individual de studiu	100%
10.5 Proiect	-	-	-
10.6 Standard minim de performanță			
Pentru promovarea disciplinei, studentul trebuie să îndeplinească cumulativ următoarele condiții: Să obțină minimum 50% din punctajul aferent colocviului și să demonstreze atingerea rezultatelor învățării prin: - identificarea, selectarea și utilizarea adecvată a literaturii științifice relevante privind sistemele Digital Twin, arhitecturile multi-agent și managementul energetic predictiv al sistemelor integrate PV-baterie-EV; - cunoașterea conceptelor, arhitecturilor și metodelor fundamentale privind modelarea și integrarea sistemelor Digital Twin, coordonarea multi-agent și managementul fluxurilor energetice în sisteme PV-baterie-EV; - realizarea unei analize critice și a unei sinteze bibliografice privind metodele de modelare, simulare, predicție, optimizare și control utilizate în sistemele energetice inteligente, fundamentată pe surse științifice actuale și relevante; - identificarea și argumentarea unor limitări ale soluțiilor existente și a unor lacune de cercetare relevante pentru tema doctorală; - fundamentarea cadrului conceptual și argumentarea unei direcții proprii de cercetare privind dezvoltarea unui Digital Twin multi-agent pentru managementul energetic predictiv al sistemului PV-baterie-EV; - utilizarea corectă a terminologiei științifice și respectarea principiilor eticii și integrității academice în elaborarea și prezentarea raportului individual de studiu. Standardul minim de performanță validează atingerea rezultatelor învățării definite la pct. 7.			

Fișa disciplinei corespunde planului de învățământ care se aplică pentru anul I începând cu anul universitar 2027-2028.

Data completării

Titularul de curs (Conducator doctorat)
Prof. univ. dr. ing. Florin DRAGOMIR

Titularul de laborator

Data avizării în
CSD

Director SDSI
Prof. univ. dr. ing. Dinu COLȚUC

Data avizării în
CSUD

Director CSUD
Prof. univ. dr. ing. Rodica Mariana ION



Ministerul Educației și Cercetării
Universitatea „Valahia” din Târgoviște
Scoala Doctorală de Științe Inginerești

FIȘA DISCIPLINEI

1. Date despre program

1.1 Instituția de învățământ superior	Universitatea „Valahia” din Targoviște
1.2 Facultatea/Departamentul	Instituția Organizatoare de Studii Universitare de Doctorat
1.3 Departamentul	Școala Doctorală de Științe Inginerești
1.4 Domeniul de studii	Ingineria sistemelor
1.5 Ciclu de studii	Doctorat
1.6 Programul de studii/Calificarea	-

2. Date despre disciplină

2.1 Denumirea disciplinei	Studiu individual 1 (Arhitecturi de modelare matematică și simulare în timp real a microgridurilor industriale cu integrare PV-BESS)						
2.2 Titularul activităților de curs / Conducător doctorat	Prof. univ. dr. ing. Florin DRAGOMIR						
2.3 Titularul activităților de seminar/laborator							
2.4 Anul de studiu	I	2.5 Semestrul	I	2.6 Tipul de evaluare	C	2.7 Regimul disciplinei	OB S

3. Timpul total estimat (ore pe semestru al activităților didactice)

3.1 Număr de ore pe săptămână	-	din care: 3.2 curs	-	3.3 seminar/laborator	-
3.4 Total ore din planul de învățământ	-	din care: 3.5 curs	-	3.6 seminar/laborator	-
Distribuția fondului de timp					Ore
Studiul după manual, suport de curs, bibliografie și notițe					-
Documentare suplimentară în bibliotecă, pe platformele electronice de specialitate și pe teren					170
- Studiul bibliografiei recomandate (manuale, monografii, articole ISI, standarde, baze de date) / 90h					
- Documentare suplimentară în biblioteci și baze de date științifice (Scopus, Web of Science, Springer, IEEE etc.) / 45h					
- Elaborarea sintezelor bibliografice, analizelor critice și portofoliului individual de studiu / 35h					
Pregătire seminarii/laboratoare, teme, referate, portofolii și eseuri					-
Tutoriat					20
Examinări (<i>pregătirea și susținerea colocviului</i>)					10
Alte activități					-
3.7 Total ore studiu individual					200
3.8 Total ore pe semestru					200
3.9 Numărul de credite					8

4. Precondiții (acolo unde este cazul)

4.1 de curriculum	
4.2 de competențe	

5. Condiții (acolo unde este cazul)

5.1 de desfășurare a cursului	
5.2 de desfășurare a seminarului/laboratorului	

6. Obiectivele disciplinei (reieșind din grila competențelor specifice acumulate)

6.1 Obiectivul general al disciplinei	Dezvoltarea capacității studentului-doctorand de a analiza critic și de a valorifica literatura științifică privind arhitecturile și metodele de modelare matematică și simulare în timp real a microgridurilor industriale cu integrare PV-BESS, în vederea evaluării modelelor și metodelor de simulare și validare, identificării limitărilor soluțiilor existente, fundamentării cadrului conceptual și metodologic și definirii direcției proprii de cercetare doctorală în domeniul Ingineriei sistemelor.
6.2 Obiectivele specifice	- aprofundarea cunoștințelor privind arhitecturile și metodele de modelare matematică a microgridurilor industriale, cu accent pe reprezentarea dinamică și integrarea subsistemelor PV, BESS, convertoarelor de putere, sarcinilor și rețelei electrice; - dezvoltarea capacității de documentare științifică utilizând baze de date internaționale și surse bibliografice relevante privind modelarea, simularea și analiza microgridurilor cu integrare PV-BESS; - formarea competențelor de analiză critică, comparare și evaluare a modelelor matematice și a arhitecturilor de simulare utilizate pentru studiul comportamentului dinamic al microgridurilor industriale; - aprofundarea metodelor și tehnicilor de simulare în timp real și Hardware-in-the-Loop (HIL) utilizate pentru implementarea, testarea și validarea modelelor și strategiilor de control ale sistemelor energetice complexe; - identificarea tendințelor actuale, a limitărilor soluțiilor existente și a direcțiilor emergente de cercetare privind modelarea matematică, simularea în timp real și validarea microgridurilor industriale cu integrare PV-BESS; - dezvoltarea capacității de elaborare a unei sinteze bibliografice argumentate, de fundamentare a cadrului conceptual și metodologic și de definire a direcției proprii de cercetare doctorală privind modelarea și simularea în timp real a microgridurilor industriale cu integrare PV-BESS.

7. Rezultatele învățării

7.1 Cunoștințe (<i>Rezultatul asimilării de informații prin învățare. Cunoștințele reprezintă ansamblul de fapte, principii, teorii și practici legate de un anumit domeniu de muncă sau de studiu. Pot fi teoretice și/sau faptice</i>)	La finalizarea disciplinei, studentul-doctorand/absolventul: - demonstrează cunoștințe avansate privind arhitecturile și metodele de modelare matematică a microgridurilor industriale și reprezentarea dinamică a subsistemelor componente; - cunoaște principiile și modelele utilizate pentru integrarea subsistemelor PV, BESS, convertoarelor de putere, sarcinilor și rețelei electrice în cadrul microgridurilor; - cunoaște metodele și arhitecturile de simulare utilizate pentru analiza comportamentului dinamic al microgridurilor, cu accent pe simularea în timp real și tehnicile Hardware-in-the-Loop (HIL); - înțelege criteriile și metodele de analiză, evaluare și validare a modelelor și soluțiilor de simulare pentru microgriduri industriale cu integrare PV-BESS.
7.2 Aptitudini (<i>Capacitatea de a aplica cunoștințe și de a utiliza know-how pentru a duce la îndeplinire sarcini și a rezolva probleme. Aptitudinile sunt descrise ca fiind cognitive (implicând utilizarea gândirii logice, intuitive și creative) sau practice (implicând dexteritate manuală și utilizarea de metode, materiale, unelte și instrumente)</i>)	Studentul-doctorand /absolventul este capabil: - să identifice, selecteze și analizeze critic literatura științifică relevantă privind modelarea matematică și simularea microgridurilor industriale cu integrare PV-BESS; - să analizeze comparativ modele matematice și arhitecturi de simulare, evidențiind avantajele, limitările și adecvarea acestora pentru reprezentarea sistemelor energetice complexe; - să analizeze interacțiunile dintre subsistemele PV, BESS, convertoarele de putere, sarcini și rețeaua electrică și modul de reprezentare a acestora în modelele microgridurilor; - să evalueze metodele de simulare în timp real și de validare Hardware-in-the-Loop, inclusiv din perspectiva acurateței, stabilității și performanței modelelor; - să identifice limitările soluțiilor existente și lacunele de cercetare și să fundamenteze cadrul conceptual și metodologic și direcția proprie de cercetare privind modelarea și simularea în timp real a microgridurilor industriale cu integrare PV-BESS.
7.3 Responsabilitate și autonomie (<i>Capacitatea cursantului de a aplica în mod autonom și responsabil cunoștințele și aptitudinile sale</i>)	Studentul-doctorand /absolventul: - desfășoară în mod autonom activități de documentare, analiză critică și sinteză a literaturii științifice privind modelarea și simularea microgridurilor, cu respectarea principiilor eticii și integrității academice; - își asumă responsabilitatea pentru selectarea, evaluarea și interpretarea critică a modelelor, metodelor de simulare și soluțiilor de validare relevante pentru cercetarea doctorală; - argumentează în mod independent alegerea arhitecturilor de modelare, a metodelor de simulare în timp real și a tehnicilor de validare adecvate obiectivelor cercetării; - dezvoltă în mod autonom cadrul conceptual și metodologic al cercetării și își asumă responsabilitatea pentru fundamentarea științifică a direcției proprii de cercetare privind microgridurile industriale cu integrare PV-BESS.

8. Conținuturi

8.2 Studiu individual	Metode de predare	Observații
Studiarea bibliografiei fundamentale privind arhitecturile și metodele de modelare matematică a microgridurilor industriale, cu accent pe reprezentarea dinamică și integrarea subsistemelor fotovoltaice (PV), sistemelor de stocare cu baterii (BESS), convertoarelor de putere, sarcinilor și interacțiunii cu rețeaua electrică.	Studiu individual, analiză bibliografică	45 h
Documentarea în baze de date științifice privind metodele și mediile de simulare utilizate pentru analiza comportamentului dinamic al microgridurilor PV-BESS, cu accent pe simularea în timp real, implementarea modelelor sistemelor energetice complexe și utilizarea tehnicilor Hardware-in-the-Loop (HIL) pentru testarea și validarea acestora.	Documentare în baze de date, analiză critică	35 h
Analiza critică și comparativă a literaturii privind arhitecturile de modelare și simulare a microgridurilor cu integrare PV-BESS, cu evaluarea metodelor de reprezentare a subsistemelor, a interacțiunilor dintre acestea, a strategiilor de integrare și control și a criteriilor privind acuratețea, stabilitatea și performanța modelelor în condiții de simulare în timp real.	Analiză comparativă, sinteză bibliografică	35 h
Elaborarea unei sinteze bibliografice privind tendințele actuale și direcțiile emergente de cercetare referitoare la modelarea matematică și simularea în timp real a microgridurilor industriale cu integrare PV-BESS, cu identificarea limitărilor soluțiilor existente, a metodelor de validare prin simulare și Hardware-in-the-Loop și a direcțiilor relevante pentru fundamentarea cadrului conceptual și metodologic al cercetării doctorale.	Elaborare individuală, redactare academică	35 h
Consultări periodice cu titularul disciplinei și/sau conducătorul de doctorat privind bibliografia, direcțiile de cercetare și interpretarea critică a rezultatelor din literatura de specialitate.	Tutoriat, discuții individuale	20 h
Pregătirea și susținerea colocviului pe baza studiului individual și a raportului de documentare realizat.	Studiu individual, prezentare și susținere	30 h
Bibliografie [1.] Alshammari, N. F., Alshahr, S., & Barakat, S. (2026). How energy management strategy shapes optimal microgrid design: A comparative analysis for EV charging stations. <i>Applied Energy</i> , 381, 124982. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2026.124982 - URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626192502319X [2.] Antoun, J., Assi, C., Atallah, R., & Moussa, B. (2023). A real world technology testbed for electric vehicle smart charging systems and PEV-EVSE interoperability evaluation. <i>IEEE Access</i> , 11, 125664-125683. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3274608 - URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/10313063 [3.] Cho, I. S., & Kim, R. Y. (2023). Development of photovoltaic (PV) evaluation and fault detection system using hardware-in-the-loop simulation for PV applications. <i>Electronics</i> , 14(3), 674. https://doi.org/10.3390/electronics14030674 - URL: https://www.mdpi.com/2079-9292/12/3/674 [4.] Dragomir, F., & Dragomir, O. E. (2026). Photovoltaic Power Forecasting with AI: A Cost-Benefit Framework Across Multiple Time Horizons. <i>Future Internet</i> , 18(6), 291. https://doi.org/10.3390/fi18060291 - URL: https://www.mdpi.com/1999-5903/18/6/291 [5.] Gao, J., Li, Y., Wang, B., & Wu, H. (2023). Multi-microgrid collaborative optimization scheduling using an improved multi-agent soft actor-critic algorithm. <i>Energies</i> , 16(7), 3248. https://doi.org/10.3390/en16073248 - URL: https://www.mdpi.com/1996-1073/16/7/3248 [6.] Hamid, A.-K., Farag, M. M., & Hussein, M. (2025). Enhancing photovoltaic system efficiency through a digital twin framework: A comprehensive modeling approach. <i>International Journal of Thermofluids</i> , 26, 101078. https://doi.org/10.1016/j.ijft.2025.101078 - URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266620272500002X [7.] He, W., Li, C., Cai, C., Qing, X., & Du, W. (2024). Suppressing active power fluctuations at PCC in grid-connection microgrids via multiple BESSs: A collaborative multi-agent reinforcement learning approach. <i>Applied Energy</i> , 353(Pt A), 122041. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122041 - URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261923015403 [8.] Hu, D., Ye, Z., Gao, Y., Peng, Y., & Yu, N. (2022). Multi-agent deep reinforcement learning for voltage control with coordinated active and reactive power optimization. <i>IEEE Transactions on Smart Grid</i> , 13(6), 4873-4886. https://doi.org/10.1109/TSG.2022.3181155 - URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/9791338 [9.] Kopetz, H., & Steiner, W. (2023). <i>Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications</i> (3rd ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11992-7 - URL: https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-11992-7 [10.] Kumar, R., Kaur, R., & Channi, H. K. (2025). Artificial intelligence integration in solar-powered EV charging systems: challenges, opportunities, and future perspectives. <i>Journal of Thermal Analysis and Calorimetry</i> , 150(2), 1610-1627. https://doi.org/10.1007/s10973-025-14489-x - URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s10973-025-14489-x [11.] Li, S., Hu, W., Cao, D., Zhang, Z., Huang, Q., Chen, Z., & Chen, F. (2024). Physics-informed multi-agent deep reinforcement learning enabled distributed voltage control for active distribution network using PV inverters. <i>International Journal of Electrical Power & Energy Systems</i> , 155(Pt A), 109641. https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2023.109641 - URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014206152300487X [12.] Liang, Y., Ding, Z., Zhao, T., & Lee, W. J. (2023). Real-time operation management for battery swapping-		

- charging system via multi-agent deep reinforcement learning. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 14(1), 559-571. <https://doi.org/10.1109/TSG.2022.3191143> - URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9831130>
- [13.] Liu, X., Wang, Y., Zhang, L., & Computer, S. (2024). Multi-agent reinforcement learning for electric vehicle charging coordination with renewable energy integration. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 15(3), 2847-2859. <https://doi.org/10.1109/TSG.2023.3329141> - URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10304313>
- [14.] Luna, A. C., Diaz, N. L., Andrade, F., Graells, M., & Guerrero, J. M. (2020). Hardware in the loop platform for testing photovoltaic system control. *Applied Sciences*, 10(23), 8690. <https://doi.org/10.3390/app10238690> - URL: <https://www.mdpi.com/2045-2322/10/23/8690>
- [15.] Michailidis, P., Michailidis, I., & Kosmatopoulos, E. (2025). Reinforcement learning for electric vehicle charging management: Theory and applications. *Energies*, 18(19), 6124. <https://doi.org/10.3390/en18196124> - URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/19/6124>
- [16.] Myint, K. P. Y., Deansekeaw, A., Pahasa, J., Boonraksa, P., Boonraksa, T., & Marungsri, B. (2026). Multi-objective energy management optimization on grid-integrated microgrid using multi-agent deep reinforcement learning for enhanced system stability in HRES and BESS. *IEEE Access*, 14, 3668993. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2026.3668993> - URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10509308>
- [17.] Nguyen, T. V., & Khan, M. A. (2024). Digital twins for IoT-driven energy systems: A survey. *IEEE Access*, 12, 142310-142328. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3506660> - URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10452328>
- [18.] Ramasamy, K., & Krishnan, S. (2025). Digital twin-based performance evaluation of a photovoltaic system. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 16(3), 2072-2081. <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v16.i3.pp2072-2081> - URL: <http://ijpeds.iaescore.com/index.php/IJPEDS/article/view/23446>
- [19.] Ren, Z., You, M., Rivera, M., & Fang, Z. (2026). A digital-twin-aided safe multi-agent reinforcement learning framework for renewable-integrated residential energy management. *Energies*, 19(13), 3098. <https://doi.org/10.3390/en19133098> - URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/19/13/3098>
- [20.] Rodriguez, M., Smith, T., & Johnson, K. (2024). Context-aware multi-agent coordination for smart grid optimization using attention mechanisms. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 20(4), 5234-5245. <https://doi.org/10.1109/TII.2023.3319942> - URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10268883>
- [21.] Rosero, D. G., Díaz, N. L., Trujillo, C. L., & Guerrero, J. M. (2018). Hardware-in-the-loop validation of energy management systems for microgrids: A short overview and a case study. *Energies*, 11(11), 2978. <https://doi.org/10.3390/en11112978> - URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/11/11/2978>
- [22.] Rosero, D. G., Sanabria, E., Díaz, N. L., Trujillo, C. L., Luna, A., & Andrade, F. (2023). Full-deployed energy management system tested in a microgrid cluster. *Applied Energy*, 334, 120674. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120674> - URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626192300090X>
- [23.] Santhakumar, K., Kumar, R., & Janik, P. (2025). Digital Twin for real-time and predictive optimization of EV charging in microgrids integrating renewable energy sources. *Energies*, 18(21), 5605. <https://doi.org/10.3390/en18215605> - URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/21/5605>
- [24.] Talihati, B., Fu, S., Zhang, B., Zhao, Y., Wang, Y., & Sun, Y. (2025). Community shared ES-PV system for managing electric vehicle loads via multi-agent reinforcement learning. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 380, 125039. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2024.125039> - URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014206152400561X>
- [25.] Tuchnitz, F., Ebell, N., Schlund, J., & Pruckner, M. (2021). Development and evaluation of a smart charging strategy for an electric vehicle fleet based on reinforcement learning. *Applied Energy*, 285, 116382. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116382> - URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626192031811X>
- [26.] Yuan, J., Ma, J., Tian, Z., & Man, K. L. (2024). Digital twin integration with data fusion for enhanced photovoltaic system management: A systematic literature review. *IEEE Open Journal of Power Electronics*, 5, 1045-1058. <https://doi.org/10.1109/OJPEL.2024.3411209> - URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10555771>
- [27.] Zhang, L., Wang, Y., & Liu, H. (2024). Digital twin modeling for photovoltaic systems based on deep learning. *Energies*, 17(10), 2503. <https://doi.org/10.3390/en17102503> - URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/10/2503>

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

Conținuturile disciplinei sunt corelate cu direcțiile actuale de cercetare din domeniul Ingineriei sistemelor, privind modelarea matematică, simularea și analiza sistemelor complexe și distribuite, cu particularizare pentru microgridurile industriale care integrează surse fotovoltaice, sisteme de stocare cu baterii, convertoare de putere, sarcini și rețeaua electrică. Conținuturile sunt corelate cu preocupările comunității științifice și profesionale reflectate în literatura internațională de specialitate, inclusiv în publicații IEEE, privind modelarea și controlul microgridurilor, integrarea sistemelor PV-BESS, managementul sistemelor energetice distribuite și dezvoltarea metodelor de simulare și validare în timp real. Bibliografia disciplinei include în mod explicit lucrări privind sistemele real-time, simularea Hardware-in-the-Loop (HIL), validarea sistemelor de management energetic și implementarea acestora în microgriduri. Conținuturile disciplinei răspund, de asemenea, cerințelor mediului economic și ale angajatorilor din domeniile sistemelor energetice inteligente, automatizărilor, microgridurilor, surselor regenerabile și stocării energiei, prin dezvoltarea capacității de analiză și evaluare a modelelor și arhitecturilor utilizate pentru proiectarea, simularea, integrarea și validarea sistemelor energetice complexe. Disciplina contribuie la dezvoltarea competențelor necesare abordării sistemice și interdisciplinare a microgridurilor industriale și la fundamentarea unei cercetări doctorale privind arhitecturile de modelare matematică și simularea în timp real a microgridurilor cu integrare PV-BESS, creând premise pentru dezvoltarea și validarea unor soluții avansate în domeniul Ingineriei sistemelor.

10. Evaluare

Tip activitate	10.1 Criterii de evaluare	10.2 Metode de evaluare	10.3 Pondere din nota finală
10.4 Colocviu	Corectitudinea și completitudinea cunoștințelor dobândite privind arhitecturile și metodele de modelare matematică și simulare în timp real a microgridurilor industriale cu integrare PV-BESS; capacitatea de identificare, selectare, analiză critică și sinteză a literaturii științifice de specialitate; capacitatea de analiză comparativă a modelelor matematice, arhitecturilor și metodelor de simulare utilizate pentru reprezentarea și analiza sistemelor energetice complexe; evaluarea metodelor de simulare în timp real și de validare Hardware-in-the-Loop (HIL), inclusiv din perspectiva acurateței, stabilității și performanței modelelor; utilizarea adecvată a terminologiei științifice specifice domeniului; identificarea și argumentarea limitărilor soluțiilor existente și a lacunelor de cercetare; fundamentarea științifică a cadrului conceptual și metodologic și a direcției proprii de cercetare privind modelarea și simularea în timp real a microgridurilor industriale cu integrare PV-BESS.	Colocviu oral și evaluarea raportului individual de studiu	100%
10.5 Proiect	-	-	-
10.6 Standard minim de performanță			
Pentru promovarea disciplinei, studentul trebuie să îndeplinească cumulativ următoarele condiții:			
Să obțină minimum 50% din punctajul aferent colocviului și să demonstreze atingerea rezultatelor învățării prin: - identificarea, selectarea și utilizarea adecvată a literaturii științifice relevante privind modelarea matematică și simularea microgridurilor industriale cu integrare PV-BESS; - cunoașterea principiilor, arhitecturilor și metodelor de modelare matematică utilizate pentru reprezentarea subsistemelor și a interacțiunilor acestora în cadrul microgridurilor; - realizarea unei analize critice și a unei sinteze bibliografice privind metodele de modelare, simulare în timp real și validare a microgridurilor cu integrare PV-BESS, fundamentată pe surse științifice actuale și relevante; - compararea și argumentarea adecvării unor modele, arhitecturi și metode de simulare, inclusiv a tehnicilor Hardware-in-the-Loop (HIL), pentru analiza și validarea sistemelor studiate; - identificarea limitărilor soluțiilor existente și a lacunelor de cercetare și fundamentarea cadrului conceptual și metodologic și a direcției proprii de cercetare privind modelarea și simularea în timp real a microgridurilor industriale cu integrare PV-BESS; - utilizarea corectă a terminologiei științifice și respectarea principiilor eticii și integrității academice în elaborarea și prezentarea raportului individual de studiu.			
Standardul minim de performanță validează atingerea rezultatelor învățării definite la pct. 7.			

Fișa disciplinei corespunde planului de învățământ care se aplică pentru anul I începând cu anul universitar 2027-2028.

Data completării

Titularul de curs (Conducator doctorat)
Prof. univ. dr. ing. Florin DRAGOMIR

Titularul de laborator

Data avizării în
CSD

Director SDSI
Prof. univ. dr. ing. Dinu COLȚUC

Data avizării în
CSUD

Director CSUD
Prof. univ. dr. ing. Rodica Mariana ION