



A XVI-a Conferință internațională – multidisciplinară  
„Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești”  
SEBEȘ, 2016

## **ANALIZA REGIMURILOR TERMICE ALE UNUI HIDROGENERATOR**

Angela IAGĂR, Gabriel Nicolae POPA, Corina Maria DINIȘ

### **ANALYSIS OF A HYDRO GENERATOR THERMAL REGIMES**

The paper analyses the thermal regimes of a vertical synchronous hydro generator, coupled with a Kaplan hydraulic turbine, depending on its active and reactive powers. Operation at temperatures higher than permissible limits leads to defects and abnormal functioning of hydro generator. The optimal temperature increases stability and extends the lifetime of hydro generator, by slowing aging of the rotor and stator windings.

Keywords: hydro, monitoring, temperature

Cuvinte cheie: hidrogenator, monitorizare, regim termic

#### **1. Introducere**

În prezent se pune tot mai acut problema utilizării resurselor regenerabile de energie, datorită avantajelor pe care le oferă comparativ cu arderea combustibililor solizi. Pe lângă avantajele economice se remarcă impactul scăzut asupra mediului și creșterea securității energetice naționale [1-3].

În România, datorită potențialului hidroenergetic bun (teoretic 70 TWh/an, tehnic amenajabil 40 TWh/an), energia hidraulică se află în topul surselor de energie regenerabilă.

În continuare se analizează regimurile termice ale unui hidrogenator vertical sincron HVS 426/66-36 de tip suspendat, cuplat cu o turbină hidraulică de tip Kaplan. Caracteristicile tehnice principale

ale hidrogenatorului sunt: puterea aparentă nominală  $S_N = 6640$  kVA; puterea activă nominală  $P_N = 5978$  kW; tensiunea nominală  $U_N = 6300$  V  $\pm 5$  %; curentul statoric nominal  $I_N = 608$  A; factorul de putere nominal  $\cos\varphi = 0,9$  [4].

Funcționarea la temperaturi mai mari decât limitele admisibile conduce la defecte și regimuri anormale de funcționare ale hidrogenatorului. Cele mai întâlnite defecte sunt: supraîncălzirea circuitului magnetic al statorului; supraîncălzirea înfășurării statorului; supraîncălzirea înfășurării de excitație.

Câmpul magnetic din axa periiilor nefiind nul (datorită reacției indusului) apar tensiuni electromotoare de rotație. Acestea se compun, dând naștere, în spira aflată în comutație, la un curent suplimentar, care depinde de suma rezistențelor dintre perie și cele două lamele de colector vecine. Acest curent conduce la solicitări termice suplimentare în circuitul magnetic al statorului. La anularea acestui curent, prin părăsirea primei lamele de către perie se stabilește o tensiune care întreține scânteii periculoase. În unele cazuri scânteile pot fi foarte intense și încălzirea colectorului poate depăși limitele admisibile, funcționarea hidrogenatorului fiind periclitată.

Supraîncălzirea înfășurării statorului se datorează efectului Joule al curenților în regim de suprasarcină sau defect (defect exterior generatorului, scurtcircuit între spire, funcționarea în regim asincron), sau răcirii defectuoase. Înfășurarea de excitație se supraîncălzește datorită scurtcircuitelor între spire, suprasarcinilor reactive sau contactelor imperfecte. În acest caz, se variază fluxul de excitație prin introducerea unui reostat în circuitul de excitație. Prin reducerea fluxului de excitație se modifică atât turația de mers în gol cât și panta caracteristicii mecanice. Pentru evacuarea căldurii datorată pierderilor în părțile active, hidrogenatorul este prevăzut cu un sistem de ventilație în circuit închis, aerul fiind răcit la trecerea prin răcitoarele montate sub carcasa generatorului.

Ventilația generatorului este de tip radial (tip "coroană polară"). Aerul este răcit prin intermediul a 6 răcitoare de aer montate pe periferia statorului. Elementul de răcire este format din țevi de cupru a căror suprafață de răcire este majorată cu ajutorul unor aripioare din aluminiu, obținute prin refulare pe toate lungimea activă a țevii de cupru, a unei țevi de aluminiu.

Aerul de ventilație, trecând prin canalele radiale din coroana polară, răcește polii din înfășurarea de excitație și de amortizare, trece prin întrefierul mașinii, intră în canalele radiale ale statorului și răcește înfășurarea și miezul magnetic al statorului.

În paralel cu această ramură a circuitului de ventilație acționează aerul care, antrenat de ventilatoare, răcește capetele frontale ale înfășurării și apoi printre degetele de presare ale statorului intră în carcasă. Aici cele două ramuri se unesc. Aerul încălzit intră în răcitoarele de aer, unde cedează căldura elementelor de răcire și, în final, apeii de răcire. Aerul rece, ieșind din răcitoare, se împarte în două fluxuri care înconjoară statorul și reintră în partea superioară și inferioară a statorului și în rotor. Fluxul superior trece printre placa de acoperire și scutul superior, între brațele stelei; fluxul inferior trece prin canalele special prevăzute în fundația generatorului.

Răcirea uleiului în lagărele axial și radial se realizează cu răcitoare de ulei sub formă de baterii individuale, având ca și agent de răcire apa. Distribuția inegală a apei de răcire poate produce o supraîncălzire locală a statorului hidrogenatorului.

La puterea nominală a hidrogenatorului, temperatura aerului rece trebuie să fie mai mică de 40 °C, debitul apei de răcire fiind 90 m<sup>3</sup>/h. Temperatura maximă admisă pentru aerul cald este 60 °C.

Tabelul 1

Parte hidrogenator	Limita admisă a temperaturii	Metode de măsură
Înfășurarea statorului, clasa F (155°C)	130 °C	Termorezistențe așezate între barele din creștătură
Înfășurarea rotorului, clasa F (155°C)	125 °C	Metoda variației rezistenței
Miezul magnetic stator	120 °C	Termorezistențe așezate pe fundul creștăturii
Inele de contact	90 °C	Termometru
Segmenti lagăre	65 °C	Cu detectoarele de temperatura înglobate în segmenti
Ulei de răcire și ungere lagăre	55 °C	Cu detectoarele de temperatura imersate în vana lagărelor.

În anotimpul rece, pentru a evita condensarea vaporilor de apă, nu se recomandă răcirea, sub o anumită limită, a răcitorului de aer. În aceste cazuri se micșorează debitul de apă prin răcitoare. În tabelul 1 se prezintă valorile maxim admisibile ale temperaturilor în regimul nominal de funcționare a hidrogenatorului.

## 2. Analiza regimurilor termice ale hidrogenatorului

Sistemul pentru monitorizarea temperaturilor hidrogenatorului acoperă principalele zone ale căror regim termic contribuie decisiv la o

bună funcționare și stabilitate a acestuia; aceste zone sunt cele mai solicitate din punct de vedere termic.

Controlul temperaturii înfășurării statorului și a miezului magnetic se efectuează cu ajutorul a 12 termorezistențe de platină PT100 (6 active și 6 de rezervă) plate, montate între barele din bobinaj, respectiv în fundul creștăturilor miezului statoric. Termorezistențele sunt simetric repartizate pe cele trei faze ale înfășurării statorului.

Controlul temperaturii din lagărul axial și lagărul radial se realizează cu ajutorul termorezistențelor cilindrice montate în segmentii lagărelor și în vanele de ulei ale acestora. Numărul elementelor de control termic sunt: în lagărul radial superior, 4 termorezistențe; în lagărul axial, 6 termorezistențe; aer cald și aer rece, 10 termorezistențe; în lagărul radial inferior, 6 termorezistențe.

Pentru monitorizarea temperaturilor hidrogeneratorului se utilizează înregistratorul ISU-MMC-24C și calculatorul de proces WS-875GS/832AP/T-R, împreună cu CITECT, unul din cele mai complexe și complete produse din categoria sistemelor SCADA [5, 6].

Echipamentul de control termic îndeplinește, în principal, următoarele cerințe:

- afișarea în timp real a temperaturilor din principalele părți ale hidroagregatului în funcțiune;
- semnalizarea în timp real a situațiilor în care temperaturile depășesc limitele de prealarmare;
- declanșarea în timp real a hidroagregatului în cazul în care temperaturile ating și depășesc limitele de alarmare;
- semnalizarea stărilor anormale de funcționare pentru fiecare canal de măsură: termorezistență întreruptă; termorezistență în scurtcircuit;
- inactivarea automată a canalului de măsură întrerupt în caz de funcționare anormală.

Programul INFOSTAR, de monitorizare a temperaturilor, permite afișarea numerică a valorilor pentru toate punctele de măsură ale temperaturii care sunt distribuite pe schema sinoptică a agregatului energetic, oferind o interfață intuitivă operatorului uman.

În figura 1 se prezintă valorile temperaturii în toate punctele de măsură, grupate după zonele principale ale hidrogeneratorului. Semnificația indicatoarelor de stare corespunzătoare fiecărui punct de măsură se prezintă în tabelul 2.

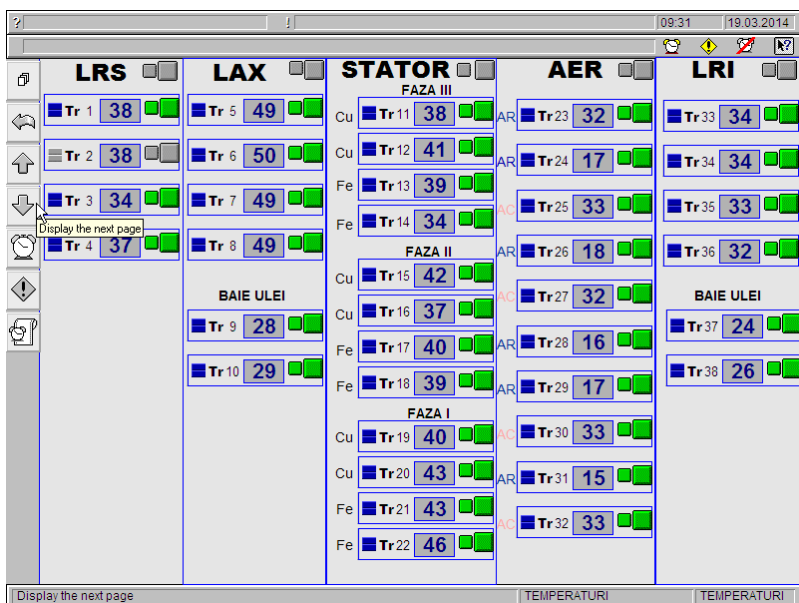


Fig. 1 Afişarea numerică a valorilor temperaturii în toate punctele de măsură

Tabelul 2

Indicator stare	Semnificație	Indicator stare	Semnificație
	punct de măsură activat		punct de măsură inactivat
	punct de măsură dezactivat		limita de avarie nu este atinsă
	limita de preavarie nu este atinsă		limita de avarie este atinsă
	limita de preavarie este atinsă		punct de măsură inactivat

Se constată (din figura 1) că în toate punctele de măsură temperaturile sunt în limitele normale, iar termorezistența Tr2 din lagărul radial superior nu este activă.

În figura 2 se prezintă schema sinoptică a temperaturilor hidrogeneratorului.

Se pot vizualiza astfel dispunerea termorezistențelor în punctele de măsură considerate cele mai importante și valoarea temperaturii în timp real. Culoarea verde indică faptul că toate temperaturile sunt în limitele normale.

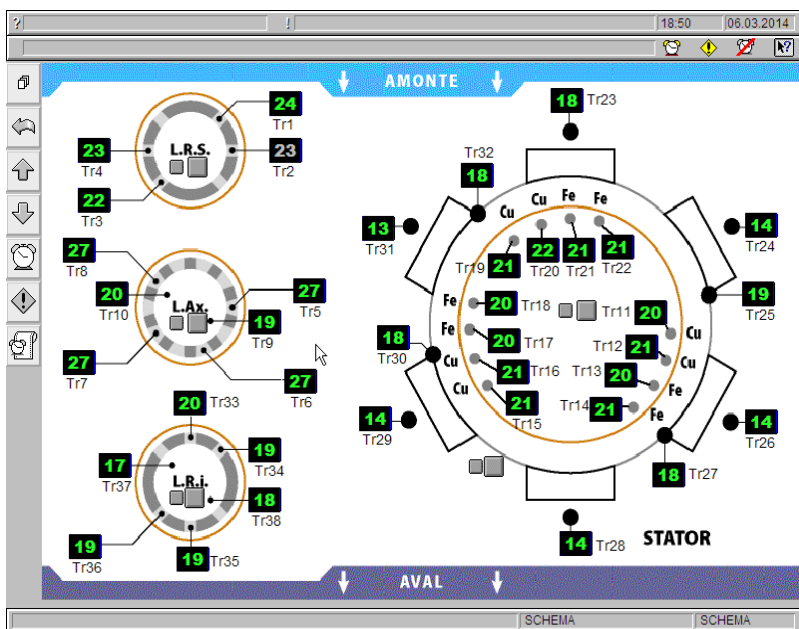


Fig. 2. Schema sinoptică a temperaturilor hidrogenatorului

În continuare se prezintă un studiu privind variația temperaturilor hidrogenatorului în funcție de puterile activă și reactivă ale acestuia.

În primul caz, măsurătorile au fost realizate la puterea reactivă  $Q_1 = 0,5$  MVar, pentru puteri active în domeniul  $P = 1,8...6$  MW. S-au luat ca reper câte două termorezistențe din fiecare grup de temperaturi. Valorile măsurate ale temperaturilor, cu ajutorul calculatorului de proces, se prezintă în tabelul 3 (Variația temperaturilor hidrogenatorului în funcție de puterea activă  $Q_1 = 0,5$  MVar).

Tabelul 3

P [MW]	LRS		LAX		STATOR				AER		LRI	
	Tr1 [°C]	Tr2 [°C]	Tr5 [°C]	Tr6 [°C]	Tr17 [°C]	Tr18 [°C]	Tr19 [°C]	Tr20 [°C]	Tr24 [°C]	Tr25 [°C]	Tr34 [°C]	Tr35 [°C]
1,8	37	38	48	49	39	38	40	42	17	32	33	32
3	38	38	49	50	40	39	40	43	17	33	34	33
4	40	39	50	50	42	41	43	45	19	36	36	34
5	40	40	51	51	46	45	47	49	19	36	36	35
6	42	42	52	52	50	50	53	55	20	38	38	37

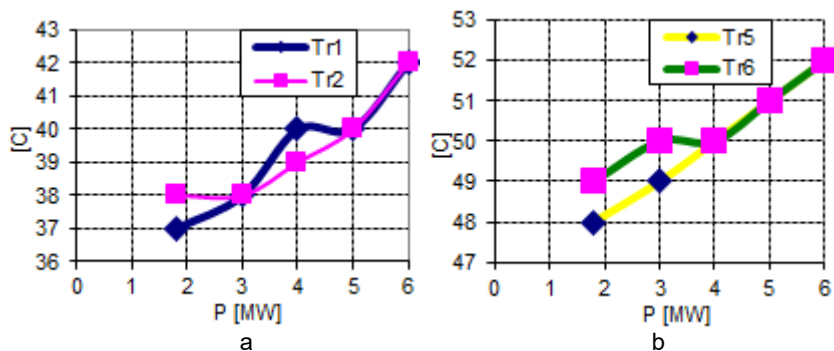


Fig. 3 Variația temperaturii în lagărul radial superior (a) și în lagărul axial (b)

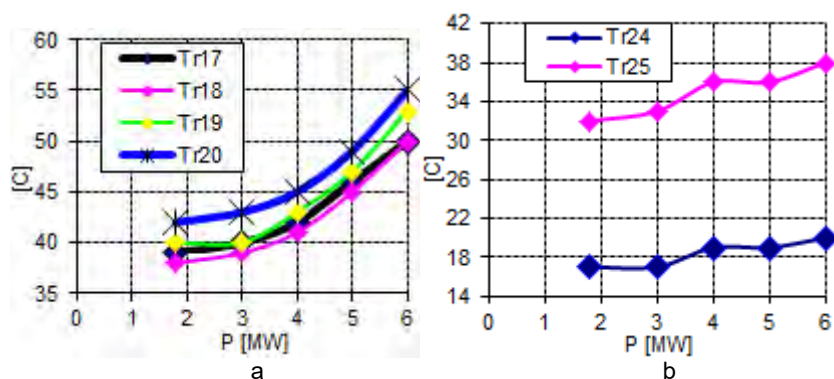


Fig. 4 Variația temperaturii în stator (a), respectiv variația temperaturii aerului rece (Tr24) și a aerului cald (Tr25), (b)

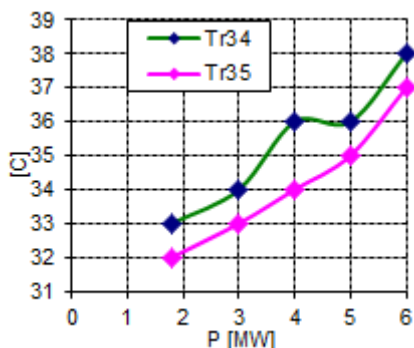


Fig. 5 Variația temperaturii în lagărul radial inferior

În al doilea caz, măsurătorile au fost realizate la o putere reactivă mai mare,  $Q_2 = 1,5$  MVar, pentru puteri active în domeniul  $P = 1,8..6$  MW. Rezultatele măsurătorilor se prezintă în tabelul 4 (Variația temperaturilor hidrogeneratorului în funcție de puterea activă  $Q_2 = 1,5$  MVar).

Tabelul 4

P [MW]	LRS		LAX		STATOR				AER		LRI	
	Tr1 [°C]	Tr2 [°C]	Tr5 [°C]	Tr6 [°C]	Tr17 [°C]	Tr18 [°C]	Tr19 [°C]	Tr20 [°C]	Tr24 [°C]	Tr25 [°C]	Tr34 [°C]	Tr35 [°C]
1,8	37	38	48	49	40	40	41	44	17	34	33	32
3	38	38	49	50	41	42	43	47	17	35	34	33
4	40	39	50	50	43	44	46	49	19	37	36	34
5	40	40	51	51	47	47	50	53	19	38	36	35
6	42	42	52	52	52	51	53	55	20	39	36	35

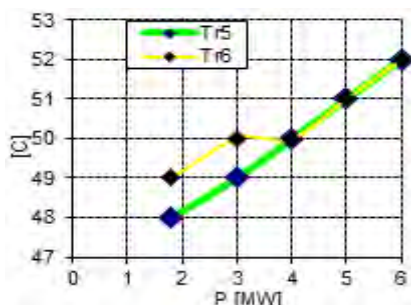
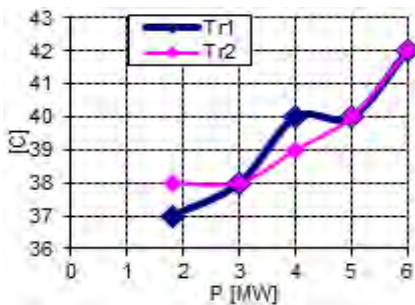


Fig. 6 Variația temperaturii în lagărul radial superior (a) și în lagărul axial (b)

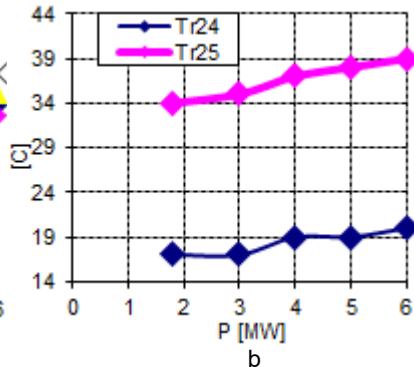
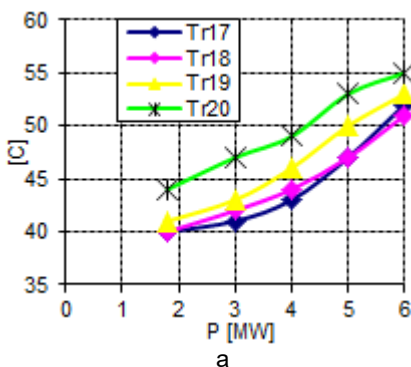


Fig. 7 Variația temperaturii în stator (a), respectiv variația temperaturii aerului rece (Tr24) și a aerului cald (Tr25), (b)



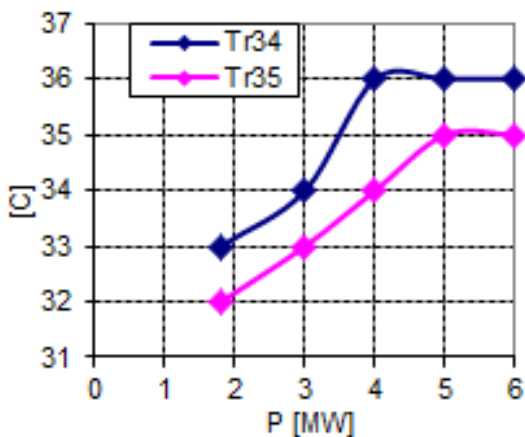


Fig. 8 Variația temperaturii în lagărul radial inferior

Din figurile 3-5 se constată o creștere exponențială a temperaturii, atunci când puterea activă a generatorului crește liniar. Diferențele de temperatură corespunzătoare unor valori consecutive ale puterii active sunt foarte mici. Cele mai mari creșteri de temperatură se regăsesc în rotor și în aerul cald, acesta fiind influențat cel mai mult de creșterea temperaturii din rotor.

Figurile 6-8 arată că dacă se funcționează cu o putere reactivă mai mare (1,5 MVar), la aceleași puteri active, crește temperatura în stator, datorită creșterii curentului de excitație (acesta influențează și creșterea temperaturii aerului cald). Se observă o ușoară scădere a temperaturii în lagăre.

### 3. Concluzii

- Pentru o bună funcționare și stabilitate a hidrogeneratorului analizat se impune monitorizarea temperaturilor în zonele cele mai solicitate din punct de vedere termic: lagărul radial superior, lagărul axial, stator, aer cald și aer rece, respectiv lagărul radial inferior.

- Programul INFOSTAR permite afișarea numerică a valorilor pentru toate punctele de măsură ale temperaturii și pune la dispoziția utilizatorului un mod global de evidențiere și de inspectare a istoricelor de evenimente, pe grupuri. Astfel se poate afla într-un timp foarte scurt dacă a apărut un eveniment de tip prealarmă sau alarmă pe oricare dintre cele cinci grupuri de puncte de măsură. Sunt afișate momentele de apariție, duratele și momentele de dispariție a evenimentelor de prealarmă și alarmă, pe fiecare grup de puncte de măsură în parte.

- Dacă puterea activă a generatorului crește liniar, se constată o creștere exponențială a temperaturilor acestuia. În cazul funcționării cu o putere reactivă mai mare, la aceleași puteri active, se constată o

creștere a temperaturii în stator datorită creșterii curentului de excitație (acesta influențează și creșterea temperaturii aerului cald).

■ Păstrarea unei temperaturi optime în hidrogenerator crește stabilitatea în funcționare și prelungeste durata de viață a acestuia, prin încetinirea îmbătrânirii înfășurărilor rotorice și statorice.

■ Este extrem de important ca funcționarea termorezistențelor așezate în statorul hidrogeneratorului să fie monitorizată permanent, pentru ca acestea să indice valorile reale ale temperaturii; altfel pot apare creșteri periculoase (locale) ale temperaturii, care determină deteriorarea unor părți ale hidrogeneratorului.

## BIBLIOGRAFIE

[1] Popa, B., ș.a., *Manualul inginerului termotehnician*, vol. I, Editura Tehnică, București, 1984.

[2] Goia, H., Goia, E., Gavrilesco, O., *Partea termică a centralelor electrice*, Editura Universității din Oradea, 2003.

[3] Branche, E., *Hydropower: the strongest performer in the CDM process, reflecting high quality of hydro in comparison to other renewable energy sources*, EDF, Paris, 2011.

[4] \* \* \* Hydro Engineering Reșița – *Carte tehnică instalație hidrogenerator*.

[5] \* \* \* [www.infostar-pascani.ro](http://www.infostar-pascani.ro), Infostar Pașcani, ISU-MMC-24C, *Indicator-înregistrator numeric multicanal*, Carte tehnică.

[6] \* \* \* [www.infostar-pascani.ro](http://www.infostar-pascani.ro), Infostar Pașcani, *Manual de utilizare*.

Șef lucr.Dr.Ing. Angela IAGĂR

Facultatea de Inginerie Hunedoara, Universitatea „Politehnica” Timișoara,  
membru IEEE, membru AGIR  
e-mail: [angela.iagar@fih.upt.ro](mailto:angela.iagar@fih.upt.ro)

Conf.Dr.Ing. Gabriel Nicolae POPA

Facultatea de Inginerie Hunedoara, Universitatea „Politehnica” Timișoara,  
Senior Member IEEE, membru AGIR  
e-mail: [gabriel.popa@fih.upt.ro](mailto:gabriel.popa@fih.upt.ro)

Șef lucr.Dr.Ing. Corina Maria DINIȘ

Facultatea de Inginerie Hunedoara, Universitatea „Politehnica” Timișoara,  
membru IEEE, membru AGIR  
e-mail: [corina.dinis@fih.upt.ro](mailto:corina.dinis@fih.upt.ro)