

## SOLUTII DE MODELARE, PREDICTIE SI PROIECTARE, CU MAXIM DE PERFORMANTA, PENTRU REDUCEREA IMPACTULUI CURENTILOR DE DISPERSIE ASUPRA CONDUCTELOR METALICE SUBTERANE DE TRANSPORT GAZ

**Director de proiect: Conf.dr.ing.mat. Dan Doru MICU**  
(Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca)

### Echipa de cercetare

| Nr. crt. | Nume si prenume | Anul nasterii | Titlul stiintific* | Doctorat * * |
|----------|-----------------|---------------|--------------------|--------------|
| 1        | Stet Denisa     | 1978          | Asistent           | DA           |
| 2        | Racasan Adina   | 1980          | Asistent           | DA           |
| 3        | Czumbil Levente | 1985          | Cercetator         | Doctorand    |

### Prezentarea proiectului:

### Importanta si relevanta continutului stiintific:

**Accelerarea coroziunii conductelor metalice subterane** datorita poluarii electromagnetice a solului (totalitatea curentilor care circula prin sol si ale caror linii de curent pot perturba stratul dublu electric aferent sistemului conducta metalica/sol) este factorul determinant in reducerea **mentenabilitatii si fiabilitatii** structurilor metalice subterane. Ponderea cea mai mare a cazurilor de **coroziune accelerata datorita curentilor de dispersie in c.a.** o reprezinta cele cauzate de retelele de distributie si transport a energiei electrice. [1-4]

**Modelarea numerica si analitica** a situatiilor concrete existente din teren reprezinta singura metoda viabila si eficienta de predictie a zonelor de risc cu potentiale periculoase si de analiza a metodelor eficiente de inlaturare a efectelor negative ale acestora. [5], [6], [7] [8]

Dezvoltarea de metode specifice de analiza, instrumente dedicate de modelare, precum si colectarea de informatii necesare pentru identificarea, modelarea si predictia problemelor de interferenta electromagnetica in c.a., reprezinta in prezent o cerinta extrem de importanta atat din punct de vedere al activitatii stiintifice propriu-zise aflata in plina expansiune pe plan mondial in zilele noastre, cat si din punct de vedere al implicarii acesteia in efortul general de aliniere a Romaniei la standardele mondiale de calitate. Dezvoltarea si implementarea acestor metode, instrumente si informatii va asigura **integritatea in ansamblu a retelei de conducte subterane**, avand ca efect siguranta personalului operator in manipularea conductelor si nu in ultimul rand, protectia mediului inconjurator.

**Rezolvarea problemei electrochimice** necesita tehnici experimentale si teoretice specifice studiului proceselor de electrod, in timp ce **rezolvarea problemei electrocinetice** care apare este o problema fizico-matematika de teoria campului electromagnetic in regim armonic stationar.

In literatura de specialitate se pot intalni o serie de metode de rezolvare a acestor probleme de cuplaje dintre liniile electrice aeriene (LEA) si conductele metalice subterane de transport gaz (CMS), dar algoritmi de rezolvare sunt destul de restrictivi si nu tin cont de complexitatea geometriei retelelor de conducte, sau apar o serie de aproximari care cresc gradul de particularitate al problemelor. [9], [10], [11]

Abordarea traditionala in analiza campului electromagnetic din jurul conductoarelor cilindrice infinit lungi aflate in vecinatatea unui semispatiu disipativ (pamantul) a fost publicata pentru prima oara, intr-o varianta simplificata, la inceputul secolului trecut. Cu toate acestea, **primele metode analitice elaborate** si cunoscute pe plan mondial au fost dezvoltate independent de catre Carson si Pollaczek, folosind binecunoscuta formula pentru determinarea impedantelor conductoarelor cu retur prin sol [12], [13], in vreme ce numeroase alte formule aproximative au fost introduse mai tarziu [14-18]. Profitand de dezvoltarea spectaculoasa a tehnicii de calcul, s-au adoptat **modele analitice si numerice avansate** si mai sofisticate. Rezultatul a constat in adoptarea unor recomandari tehnice [19 - 21], bazate si pe rezultate experimentale. La inceputul anilor '90, doua proiecte de cercetare, cel elaborat de Electrical Power Research Institute (EPRI) si cel al American Gas Association (AGA), au avut ca scop **analiza cuplajului inductiv** dintre o LEA si o CMS utilizand expresii analitice pe studii de caz. [22]

O cercetare comuna care **analizeaza atat cuplajul inductiv cat si cel capacitiv** este realizata de SES (Safe

Engineering Services) si AGA (American Gas Association). Mecanismele cuplajului inductiv dintre LEA si CMS sunt studiate si de alti autori pentru multe cazuri practice. [26-29]

Analiza efectelor conductive este in primul rand experimentală; s-a introdus o **teorie generalizata care studiaza cuplajul conductiv** intre instalatiile sistemelor de inalta tensiune si structurile metalice ingropate. [23], [24], [25]

In 1995 a fost elaborat, in cadrul **CIGRE Working Group 36.02**, documentul intitulat *Guide Concerning Influence of High Voltage AC Power Systems on Metallic Pipelines* care abordeaza influenta dispozitivelor energetice de inalta tensiune asupra conductelor metalice aflate in vecinatatea acestora. Acest studiu reprezinta un document de referinta in domeniu si descrie **metodele simple de evaluare a fenomenelor de interferenta electromagnetica si metodele de masurare** a acestora. [30]

In conditii de defect, analiza cuplajului inductiv si conductiv, care este o problema mai recenta, nu este inca complet studiata, in primul rand datorita numarului mare de parametri care intervin in procesele fizice. Contributiile de prim rang asupra acestui subiect provin din lucrarile. [31], [32]

Un grup de cercetatori de la Universitatea Vrije din Brussel (VUB), in colaborare cu compania Elsyca din Brussels, a dezvoltat un **model tridimensional de calcul** in regim stationar in c.c, capabil a analiza structuri continand retele largi de conductoare subterane; modelul poate evalua inclusiv curentii vagabonzi provenind de la alte sisteme de protectie catodica, respectiv de la sinele de cale ferata. [33]

Recent au fost **propuse metode noi**, bazate pe Metoda Elementelor Finite (MEF) sau Metoda Diferentelor Finite care introduc metode alternative de calcul a tensiunilor induse in CMS cu traseu comun cu o LEA. [34-38]

In domeniul interferentelor electromagnetice LEA-CMS la ora actuala exista si cateva incercari **de utilizare a unor tehnici de inteligenta artificiala** pentru solutionarea acestor tipuri de probleme, dar fara a impune o solutie unanim acceptata in literatura de specialitate, care sa studieze efectele asupra CMS cu sau fara protectie catodica in conditii normale de functionare sau in cazul unor defecte complexe pe LEA. [39], [40], [48]

Exista disponibile pe piata cateva **pachete software** (ECCAPP–Electric Power Research Institute; CDEGS-Safe Engineering; CATPro–Elsyca) de simulare a fenomenelor de interferenta electromagnetica in regim cvasistationar de tip armonic dintre LEA si CMS, bazate pe modelari fizice simplificate ale proceselor de interactiune. [41], [42]

**Pe plan mondial** exista de asemenea preocupari sustinute privind **studiul coroziunii structurilor metalice** datorate curentilor de dispersie atat in c.c. cat si in c.a. In ceea ce priveste **controlul coroziunii datorata curentilor de dispersie in c.c.** solutiile tehnice dezvoltate si reglementate [43] se pot implementa relativ usor si asigura o protectie corespunzatoare (drenaj polarizat, drenaj fortat). In ceea ce priveste **controlul coroziunii datorate curentilor de dispersie in c.a.**, desi exista mai multe studii [44] teoretice, performantele si eficienta solutiilor de protectie lasa de dorit – decuplare prin dispozitive PCR / ISP (SUA), decuplare cu celule de polarizare (EU, SUA, Canada) etc.

**In Romania** de cca. 5 ani exista preocupari comune UTCN+INCIE ICPE-CA (dr. Dan Doru Micu+dr. Iosif Lingvay) in studiul efectului accelerator de coroziune a semnalelor in c.a. suprapuse interferentelor metal/electrolit, studii din care au rezultat si solutii tehnice eficiente de **controlul coroziunii in curenti de dispersie in c.a.** [7, 45]

**Experienta directorului de proiect si a membrilor echipei de cercetare** in acest domeniu este vasta, acestia aducandu-si contributia si pana in prezent la rezolvarea acestor tipuri de probleme de interferenta LEA-CMS, fapt ce poate fi remarcat prin lista articolelor prezentate si publicate la diverse manifestari stiintifice internationale de prestigiu precum si numarul de contracte de cercetare la care au participat. Articolele concepute in echipa au fost diseminate in cadrul granturilor ID\_1024 [37], si CEEX\_ICEMECOS [46] (parteneriat si colaborari internationale ulterioare) unde membrii acestei echipe de cercetare si-au adus un aport semnificativ. Directorul de proiect (conf.dr.Dan Doru Micu) **a mai colaborat international** pe aceeasi tematica in cadrul unui contract bilateral romano-flamand derulat cu departamentul ETEC al Universitatii VRIJE Brussel, BILA 2000. [47]

Un studiu efectuat asupra celor mai prestigioase publicatii in domeniu (IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility), reliefeaza faptul ca doar aproximativ **20% din articole** prezinta rezultate ale modelarii unor fenomene de interferenta electromagnetica, restul prezentand rezultate cu caracter experimental sau observational.

In acest context, al efortului general al cercetatorilor din intreaga lume de elaborare a unor **modele fizice de calcul eficiente si simulari matematice a proceselor de interactiune**, corelate cu **metode de analiza numerica** adecvate investigarii si/sau predictiei impactului campurilor electromagnetice create de LEA asupra structurilor metalice din vecinatate, tema propusa prezinta sansa unui pas important inainte in acest domeniu de stringenta actualitate.

## Bibliografie

1. Lingvay I., *Coroziunea provocata de curentii de dispersie vagabonzi*, Editura ELECTRA, Bucuresti, 2005. pp. 101-226.
2. Mazen, A., Abdallah, A. *Induced Voltages on Fence Wires and Pipelines by AC Power Transmission Lines*. IEEE Trans. Industry Applications, vol.30, No.2, March/April, 1994, pag. 341-349.
3. Sobral, S. T. *Interferences between faulted power circuits and communication circuits or pipelines. Simplification using the decoupled method*. PWRD, Vol6, No4, Oct. 1991, pag. 1599-1605.
4. Dawalibi, F. *Analysis of electrical interference from power lines to gas pipelines-Part I-Computation method*. PWRD-4, No3, July 1989, pag. 1840-1848.
5. Dawalibi, F. *Analysis of electrical interference from power lines to gas pipelines-Part II-Parametric analysis*. PWRD-5, No1,

- Jan 1990, pag. 415-421.
6. Southey, R. *Computer Modeling of Pipelines and Their CP Systems for IR Drop Measurement Correction*. 53rd Annual Conference in Corrosion, NACE 98, California, March 22-27, 1998, pag. 34-42.
  7. Dan D. Micu, Iosif Lingvay, Emil Simion, *Modelarea si predictia fenomenelor de interferenta in regim electrocinetic*, Editura ELECTRĂ, Bucuresti, ISBN 978-973-77728-73-9, 2006
  8. Lingvay, I., *Contributions to Study and Control of Accelerated Corrosion due to Stray Currents*. 12<sup>th</sup> Romanian International Conference on Chemistry and Chemical Engineering - September 13-15, 2001, Bucharest, vol. Quality Control and Analytical Chemistry - Corrosion and Electrochemistry, pag. 342-355
  9. Dan D. Micu, Emil Simion, Dan Micu, Andrei Ceclan, *Numerical Methods for Induced Voltage Evaluation in Electromagnetic Interference Problems*, 9<sup>th</sup> International Conference, Electric Power Quality and Utilisation, Barcelona, 9-11 October 2007, IEEEExplore, Compendex 10.1109/EPQU.2007.4424091
  10. Favez, B. *Contribution a l'etude des problemes poses par la proximite de lignes electrique aeriennees et de conduites metallique enterres*. EDF, No 336, Jan. 1989, pag 1-34.
  11. Radwan, R., Emam, A. *Combined efeect of electric and magnetic fields of high voltage transmission lines on metallic pipelines*. CIGRE Paris, 2002, 36-104.
  12. Carson, J. *Wave propagation in overhead wires with ground return*. Bell System Journal, Vol. 5, April 1926, pag. 539-554.
  13. Pollaczek, F. *On the field produced by an infinitely long wire carrying alternating current*. Electricische Nachrichten Technik, vol III, 1929, pag. 339-359.
  14. Gary, C. *Nouvelle methode de calcul des inductances propres et mutuelles des lignes in presence du sol*. Symposium CIGRE Brussels, 1985, pag. 11-17.
  15. Olsen, R. *On the exact, Carson theory for wires at or above the earth's interface*. PAS-102, April 1983, pag. 769-778.
  16. Rogers, E. *Mutual coupling between horizontal earth return conductors*. PWRD, July 1990, pag. 1834-1845.
  17. Ametani, A. *A general formulation of impedance and admittance of cables*. -PAS-99, May/June 1980.
  18. Lucca, G. *Mutual impedance between an overhead and buried line with earth return*. IEEE Conference, 1994, pag. 80-86.
  19. \*\*\*CCITT: *Directives concerning the protection against harmful effects from electric power lines*. ITU Geneva CH, 1990.
  20. \*\*\*Standard – *Electromagnetic Compatibility*. Journal officiel des CE, (EC 89-336) reference number 1000-4-3: 1995.
  21. \*\*\*Technical recommendation No. 7. *Arbitration agency for problems of interference between installations of power utilities Part II*. VWEW Germany 1989.
  22. \*\*\*\* EPRI/AGA Project 742, EL-5472/PR176-520. *Power Line Fault Current Coupling to Nearby Natural Gas Pipelines*. Palo Alto, Canada, 1993, pag. 35-46.
  23. Dawalibi, F., Southey, R. *Advances in Interference Analysis and Mitigation on Pipelines*. NACE International Canadian Region International Conference, Corrosion Prevention '95, Toronto, Ontario, Canada, October 31, 1995, pag. 67-74.
  24. Dawalibi, F., Southey, R. D. *Software Methods: State of the Art in Power Line/pipelines interference analysis*. Joint Right-of-way use by Pipelines and Power Lines, Canadian Association Symposium, Vancouver, Canada, 1988, pag. 23-38.
  25. Dawalibi, F., Southey, R. *New Computational Tool for Analysis of Transmission Line/Pipeline Interference Problems*. American Gas Association Distribution/Transmission Conference, Royal York Hotel, Toronto, Canada, May 16-18, 1988.
  26. G.C. Christoforidis, D.P. Labridis and P. S. Dokopoulos, *Inductive Interference on Pipelines Buried in Multilayer Soil, due to Magnetic Field from Nearby Faulted Power Lines*, IEEE Transactions on EMC, May 2005, Vol. 47, No. 2, pp. 254-262.
  27. Southey, R., Dawalibi, F. *Computer Modeling of AC Interference Problems for the Most Cost Effective Solutions*. 53rd Annual Conference in Corrosion, NACE 98, California, March 22-27, 1998, pag 68-79.
  28. Southey, R. et all. *On the Mechanisms of Electromagnetic Interference between Electrical Power Systems and Neighboring Pipelines*. NACE 2000 T10B Symposium on DC & AC Interference, Orlando, March 26-31, 2000.
  29. Li, Y. et all. *Electromagnetic Interference Caused by a Power System Network and a Neighboring Pipeline* Proceedings of the 62nd Annual Meeting of the American Power Conference, Chicago, April 10-12, 2000, pag. 311-316.
  30. CIGRE Working Group 36.02. *Guide Concerning Influence of High Voltage AC Power Systems on Metallic Pipelines*. 1995.
  31. Satsios, K.J. et all. *Currents and Voltages Induced During Earth Faults in a System consisting of a Transmission Line and parallel Pipeline*. ETEP vol. 8, no. 3, May-June, 1998, pag. 193-199.
  32. Lucca, G., Zucchelli, L. *Electromagnetic interference produced on a complex metallic pipeline network by a fault in a power substation*. CIGRE, Paris 2002, 36-01.
  33. Bortels L., Deconinck J., Munteanu C., Topa V., *A General Applicable Model for Predictive and Mitigation Techniques for Pipeline Networks*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 21, No. 1, 2006, pp. 210-217.
  34. G.C. Christoforidis, D.P. Labridis and P.S. Dokopoulos *Inductive Interference Calculation on Imperfect Coated Pipelines Due to Nearby Faulted Parallel Transmission Lines*, EPRI, August 2003, Vol. 66, No. 2, pp. 139-148.
  35. Dan D. Micu, I. Lingvay, C. Lingvay, L. Darabant, A. Ceclan, *Numerical evaluation of induced voltages in the metallic underground pipelines*, Revue Roumaine des Sciences Techniques serie electrotechnique et energetique, ISI Journal, Tome 54, 2009, Issue: 2, ISSN 0035-4066, pp.175-184.
  36. Dan D. Micu, A. Ceclan, Laura Darabant, Denisa Stet, *Analytical and Numerical Development of the Electromagnetic Interference Between a High-Voltage Power Line and an Underground structures*, 6<sup>th</sup> International Symposium on Advanced Electromechanical Motion Systems, Electromotion 2009, July 1-3, 2009, Lille, France.
  37. \*\*\*PN-II-ID-PCE-2007-1, nr. ID 1024: *Model matematic pentru studiul influentei poluarii electromagnetice in c.a. a conductelor metalice subterane de gaz, cu si fara protectie catodica, aflate in vecinatatea unei statii de transformare*. Director proiect: prof. dr.ing. Emil Simion, membrii: Dan D. Micu, Laura Darabant, Andrei Ceclan, Denisa Stet.
  38. Dan D. Micu, Radu Munteanu jr., Georgios Christoforidis, B. Manea, A. Ceclan, *Original Approaches for Solving Electromagnetic Interference Problems*, Advances in Electrical and Computer Engineering, ISI Journal, No 2-2009, pp. 82-90, ISSN: 1582-7445; e-ISSN: 1844-7600.
  39. K.J. Satsios, D.P. Labridis, P.S. Dokopoulos: *An Artificial Intelligence System for a Complex Electromagnetic Fiels Problem: Finite Element Calculations and Fuzzy Logic Dvelopment*, IEEE Trans. on Magnetics, Vol. 35, No. 1, January 1999

40. S. Al-Alawi, A. Al-Badi, K. Ellity: *An artificial neural network model for predicting gas pipeline induced voltage caused by power lines under fault conditions*. COMPEL: International Journal for Computation and Mathematics in Electrica land Electronic Engineering, Vol. 24, No. 1, 2005.
41. Bortels, L., Munteanu, C., Deconinck, J., Topa, V. *A User-Friendly Simulation Software for AC Predictive and Mitigation Techniques*, 58<sup>th</sup> Annual Conference and Exposition, Corrosion NACEExpo 2003, San Diego, USA, 16-20 March 2003.
42. R.D. Southey: *Engineering User Manual How To...* – Safe engineering Services and technologies.
43. \*\*\*EN 12954 – 2001 *Cathodic Protection of Buried or Immersed Metallic Structures* – Application for Pipelines.
44. Regault, I. *Corrosions dues aux influences des courants alternatifs par des lignes très haute tension sur des canalisations en acier revêtues de polyéthylène* CEOCOR, 4th International Conference, Viena, 1997, pp. 37- 44.
45. I. Lingvay *Metoda si dispozitiv pentru electroprotectia structurilor metalice* - brevet Ro nr. 113778/30.09.1998.
46. \*\*\*CEEx, nr. X2C37/2006: *Impactul campurilor electromagnetice de natura antropica asupra ecosistemelor* – ICEMECOS, Director proiect: prof.Claudia Popescu (Universitatea Politehnica Bucuresti); Responsabil partener UTCN: Dan D. Micu (2006).
47. V. Topa, E. Simion, C. Munteanu, Dan D. Micu, Ro-Flemisch Project-2000: *Development of methods and tools for analysis of the electromagnetic AC interference between high voltage transmission systems and metallic pipelines*. 2000-2003.
48. Dan D. Micu, Levente Czumbil, Andrei Ceclan, Georgios Christoforidis, Laura Darabant, Denisa Stet, *Electromagnetic Interference between HV Power Lines and Metallic Pipeline Evaluated with Neural Network Technique*, 10<sup>th</sup> International Conference Electric Power Quality and Utilisation, EPQU'09, 15-17 September 2009, Lodz, Poland.

## Obiectivele proiectului:

**Misiunea prezentului proiect** consta in aprofundarea si dezvoltarea cunostintelor in domeniul influentei semnalelor in c.a. suprapuse proceselor electrochimice, in special aspectele privind degradarea conductelor metalice de transport gaz (CMS) prin coroziune. In baza acestor cunostinte se doreste **elaborarea atat a unei metode de predictie si control eficient al coroziunii, cat si solutii tehnice si proceduri de urmat in proiectare si executie prin care sa se diminueze degradarile CMS expuse factorilor acceleratori de coroziune.**

Directorul de proiect (conf.dr.ing. Dan Doru Micu), impreuna cu membri echipei, **colaboreaza international** in acest domeniu cu un grup de cercetatori din cadrul Universitatii Aristotle din Salonic (dr. G. Christoforidis). Rezultatul s-a concretizat in **dezvoltarea unui model numeric diferential** pentru estimarea **valorilor tensiunii induse intr-o CMS**, care imparte acelasi coridor de distributie cu o LEA de inalta tensiune. [37], [38]

O alta tratare a problemei de interferenta, dintre LEA si CMS, s-a facut pe baza metodei elementului finit. [26], [28]

Directorul de proiect a mai **colaborat international** pe aceeasi tematica in cadrul unui **contract bilateral romano-flamand** derulat cu departamentul ETEC al Universitatii VRIJE Brussel, finalitatea proiectului fiind determinarea unei solutii precise a problemei de camp prin MEFr. [47]

Directorul de proiect si membri echipei au fost parteneri/coordonatori in proiecte CEEX inter - multidisciplinare. [46]

Astfel, se reflecta **implicarea directorului de proiect si a echipei in colaborari nationale si internationale** in domeniul modelarii numerice a campului electromagnetic, si a interferentelor electromagnetice dintre LEA si CMS.

**Ipotezele de calcul** pentru aceste metode se limiteaza la a trata conducte avand izolatii perfecte si presupunand existenta unui sol omogen, situatii mai rar intalnite in practica. **Defectele de izolatie** ale conductelor sunt un fapt comun, mai ales pentru conducte mai vechi, avand dimensiuni ale caror proportii variaza de la cativa milimetri pana la mai multi decimetri. Daca tensiunea indusa in conducta depaseste 1kV se pot produce chiar descarcari cu scantei la locul de defect sau in zonele poroase. De aceea, prezenta defectelor sau a porilor trebuie luata in considerare la studiul cuplajului dintre o linie de inalta tensiune si o conducta.

Pentru a face un pas inainte fata de modelele existente in prezent, in cadrul **obiectivului I.1** vom dezvolta o **metoda hibrida generalizata** pentru modelarea coridorului comun LEA-CMS si pentru calculul tensiunilor si curentilor indusi in CMS. Denumirea de model hibrid a fost introdusa in cadrul unor articole si o carte [7], [9] diseminate in cadrul grantului ID\_1024 [37] si CEEX\_ICEMECOS [46], doar ca si concept de studiu pentru un tip de circuit echivalent LEA-CMS Thevenin. Avantajul major al metodei fata de metodele precedente va consta din faptul ca se vor utiliza – in cadrul aceluasi model – atat calcule de camp, cat si metode din teoria circuitelor electrice, fiind posibila considerarea defectelor existente in izolatia conductelor. Se confera rezultatelor o acuratete ridicata si prin optimizarea modelului prin considerarea unui tip de sol multistrat. Metoda va utiliza modelul numeric diferential (dezvoltat de 3 dintre membri echipei in cadrul grantului ID\_1024 [37] si imbunatatit in cadrul colaborarii internationale [38]) pentru determinarea **potentialului magnetic vector** pe suprafata conductoarelor LEA, aflata in regim de defect si pe suprafata CMS de pe coridorul comun. Apoi, folosind o combinatie intre legea lui Faraday si rezultatele obtinute pentru potentialul magnetic vector se vor calcula **inductivitatile proprii** ale LEA si CMS, precum si **inductivitatea mutuala** dintre cele doua structuri.

Se va trece apoi la dezvoltarea si implementarea unui **circuit electric echivalent**, care va modela problema specificata prin

considerarea unui numar optimal de sectiuni ale LEA si CMS. Circuitul va contine rezistentele acestora, inductivitatile lor proprii si mutuale, precum si rezistentele de scapari (pentru considerarea defectelor de izolatie). Odata determinati acesti parametri prin modelul numeric diferential, circuitul electric echivalent va fi rezolvat, iar pentru cresterea substantiala a preciziei solutiei numerice se va tine cont de eventualul **caracter rau conditionat** al matricii impedantelor. Acesta ipoteza este neglijata in [34], iar implicarea numarului de conditionare in studiul interferentelor LEA-CMS fiind doar o idee introdusa in cadrul grantului ID\_1024. [37]

Pentru acest prim obiectiv, circuitul va fi implementat intr-un software specializat, modulul PSPICE al programului ORCAD. Datorita numarului mare de elemente de circuit, fisierul de intrare al programului va fi obtinut in format text, eventual ca iesire a unei rutine MATLAB.

In cadrul **obiectivelor I.2 si II.1**, utilizand datele (obtinute prin metoda hibrida generalizata si stocate anterior intr-o baza de date), se va realiza implementarea unor solutii de rezolvare a problemelor de interferenta dintre LEA si CMS prin intermediul unor **tehnici de inteligenta artificiala (TIA)**. Acestea sunt metode cu impact tot mai ridicat in rezolvarea problemelor din diferitele domenii stiintifice. Pornesc de la un **set de solutii** determinate prin diferite metode (in cazul nostru rezultatele obtinute prin metoda hibrida generalizata) si **scaleaza solutiile** unor configuratii geometrice flexibile ale problemei abordate pe baza acestui set de date de antrenare. Avantajul acestor TIA (Logica Fuzzy, Retelele Neuronale si Algoritmi Genetici) este ca odata implementate si antrenate sa rezolve o anumita problema, furnizeaza solutii cu **efort de calcul redus**, pentru orice alta configuratie geometrica a problemei, spre deosebire de metodele numerice clasice (diferente finite [36], element finit [26], element de frontiera [47]) care necesita un timp indelungat si un efort considerabil de calcul pentru fiecare configuratie in parte.

In literatura de specialitate exista cateva incercari de a utiliza TIA pentru rezolvarea acestor probleme de interferente electromagnetice LEA-CMS. Colaboratorii echipei de cercetare din cadrul Universitatii Aristotle din Salonic, in [39] utilizeaza Logica Fuzzy pentru studiul unei probleme de influenta a unui defect monofazat de punere la pamant a unei LEA de 145 kV, asupra unei CMS. In [48] echipa prezentului proiect, impreuna cu colaboratorii din cadrul Universitatii Aristotle pun bazele teoretice pentru realizarea unui studiu de interferenta LEA-CMS cu ajutorul TIA.

In [39] si [40] s-a realizat implementarea unei retele neuronale care sa calculeze direct tensiunea electromotoare indusa in conducta, dar utilizand o serie de ipoteze simplificatoare (eliminarea interfetei sol-aer, defect monofazat considerat in afara coridorului comun).

**Reevaluarea tuturor acestor ipoteze**, in acord cu ultimele studii in domeniu, constituie premisa de plecare in demersul de a imbunatati aceste metode de rezolvare a problemei de interferenta LEA-CMS.

Asadar, se poate spune ca la ora actuala **nu exista o solutie** care sa studieze aceasta problema in conditii normale de functionare a LEA, cu sau fara protectie catodica a conductei, sau in cazul unor defecte mai complexe (defecte bifazate, trifazate, trasnete etc.). Astfel, in cadrul proiectului se considera relevant in contextul cercetarilor pe plan international, **implementarea unor solutii generale folosind tehnici de inteligenta artificiala** (Logica Fuzzy si Retele Neuronale) pentru rezolvarea diferitelor cazuri particulare de interferenta electromagnetica dintre LEA si CMS: functionarea in regim normal cu sau fara protectie catodica, respectiv in regimuri de avarie mono, bi sau trifazate pentru diferite cofiguratii geometrice ale LEA. **Ideea inovativa** consta si in combinarea solutiilor alternative, bazate pe TIA dezvoltate, intr-un Bloc Fuzzy principal, care va fi creat pentru a identifica parametrii care definesc regimurile de functionare specifice (pe baza definirii unui set de legi) si de a apela solutia sau solutiile, care pot rezolva problema particulara de interferenta electromagnetica LEA-CM. In cazul in care exista mai multe solutii posibile (solutii de acuratete apropiata) pentru o anumita problema, acest Bloc Fuzzy principal va avea si rolul de a furniza o solutie finala prin **ponderarea rezultatelor furnizate** de aceste metode alternative. Pentru fiecare caz particular de problema de interferenta electromagnetica LEA-CMS se va constitui o baza de date prin rezolvarea situatiei particulare in cauza cu ajutorul metodei hibride (dezvoltata in cadrul obiectivului I.1).

Pentru **testarea si validarea solutiei generalizate**, dezvoltata prin tehnici de inteligenta artificiala, se vor alege o serie de cazuri concrete de probleme de interferenta LEA-CMS care se vor rezolva cu metoda propusa si se vor compara rezultatele obtinute cu masuratori in situ. Cazurile vor fi furnizate de operatorul sistemului national de transport gaze, Societatea Nationala de Transport Gaze Naturale TRANSGAZ S.A. cu care echipa de cercetare din cadrul acestui proiect are semnat un acord de colaborare si are in derulare un contract de cercetare.

In cadrul **obiectivului II.2**, proiectul propune **dezvoltarea unor solutii tehnice** pentru **diminuarea fenomenelor de coroziune** in mediul electromagnetic prin **atenuarea tensiunilor induse** in CMS de catre o LEA cu care imparte acelasi coridor de distributie.

In lucrari stiintifice identificate pe plan international [43, 44] utilizarea circuitelor echivalente este recomandata in cazul studierii coroziunii galvanice, deoarece poate duce la o simplificare a modului de intelegere al mecanismului din spatele acestui fenomen. Dar deoarece coroziunea nu apare ca urmare a unui mecanism unic, consideram ca se pot utiliza mai multe circuite echivalente care sa descrie cat mai exact aspectele fizice si chimice care se considera a fi relevante in procesul de coroziune. In acest scop se va propune un **circuit electrochimic echivalent** in care **modelarea procesului de coroziune** a unor CMS aflate pe un traseu comun cu o LEA sa se faca prin alegerea unor elemente de circuit menite sa modeleze parametrii ca rezistivitatea solului, rezistenta de scapari, rata de coroziune.

Pentru a **preveni aparitia varfurilor de tensiune induse** intr-o CMS, coridorul comun de distributie LEA – CMS va fi proiectat tinand cont de **efectul discontinuitatilor electrice** sau **geometrice** din zona de influenta.

In scopul atenuarii cuplajului inductiv, in [23] se spune ca o linie electrica aeriana ar putea fi proiectata pentru a genera un camp electric de conductie longitudinal constant si minim in conducta adiacenta. In [4, 5], fara o demonstratie pertinente, se arata ca pentru o configuratie particulara a liniei electrice este posibil sa se obtina minimizarea campului electric de conductie in zona de influenta, printr-o succesiune adecvata a conductorilor de faza. O alta tehnica posibila de reducere a campului electric de conductie longitudinal in zona de influenta LEA-CM, prezentata in literatura de specialitate [6], o reprezinta folosirea unui conductor auxiliar de impamantare si de ecranare, instalat intre stalpii liniei electrice aeriene. In contextul acestor cercetari, pe baza modelului hibrid construit in cadrul obiectivului I.1, vor fi analizate **gradual eficacitatea si limitarile acestor tehnici de reducere a campului electric de conductie longitudinal** pentru diferite geometrii si la diverse conditii de sarcina ale liniei electrice. Algoritmul dezvoltat de echipa de cercetare in [37] si [46], pentru calculul campului electric longitudinal, va trebui modificat pentru aceste analize, el trebuind sa includa si **efectele conductorului auxiliar**. Calculele se vor face cu si fara conductorul auxiliar, pentru a fi posibila o evaluare a eficacitatii acestei tehnici de atenuare, iar procedura se va repeta pentru fiecare geometrie a liniei electrice si pentru fiecare conductor de faza examinat.

In cadrul acordului bilateral cu grupul de cercetatori de la Universitatea din Padova, Departamentul de Inginerie Electrica (prof. Daniele Desideri) (cu care directorul de proiect are in derulare un acord de colaborare pe cercetare pe 3 ani 2009-2011), se preconizeaza realizarea unor simulari in softuri specializate (Maxwell, Comsol), pentru a urmari efectul ecranarii si sincronizarii fazelor conductoarelor LEA asupra campului electric longitudinal de conductie.

In lucrarile [30] si [32] se utilizeaza o aproximare conform careia conductorii orizontali de legare la pamant nu sunt afectati de campul electric de conductie, generat de o LEA adiacenta care are traseu comun cu CMS. Daca ignoram aceasta ipoteza, in calcularea atenuarii (la modelarea circuitului echivalent) va trebui sa tinem seama de faptul ca in conductorii de legare la pamant pot exista tensiuni induse de valori apreciable.

Deoarece in bibliografie [26, 30, 32, 33] s-au identificat doar algoritmi restrictivi, in cadrul acestui obiectiv, vor fi **dezvoltati algoritmi care sa calculeze efectul de atenuare** pentru fiecare configuratie a conductoarelor de impamantare, pentru conductori cu conductivitate si permeabilitate electrica arbitrara, diametre pana la 25 mm si pentru intreg sirul de posibile rezistivitati ale solului.

In literatura de specialitate [23, 29, 30, 32, 34] s-a considerat fiecare conductor ca fiind individual, prin urmare atenuarea s-a facut intr-un singur punct de pe conducta. In general, datorita discontinuitatilor multiple, fizice sau electrice din zona de influenta, intr-o conducta se induce mai multe varfuri de tensiuni (mai multe maxime). Instalarea unui singur conductor de atenuare poate reduce tensiunile induse local pe conducta, dar nu influenteaza alte maxime. Asadar, pentru a **dezvolta o metoda de atenuare completa**, se vor implementa metode de atenuare individuala succesiva a varfurilor de tensiune induse intr-o conducta, pentru a realiza astfel **diminuarea valorilor tensiunilor induse** in conductele de lungimi considerabile.

In cadrul **obiectivului III.1** se vor realiza o serie de cercetari teoretice si aplicative privind conceperea unui **dispozitiv de protectie si drenare a curenților indusi in CMS** de catre LEA de inalta tensiune cu care impart acelasi coridor de distributie. In [31] se studiaza influenta LEA din imediata vecinatate a CMS, manifestata prin prezenta curenților de dispersie generati prin cuplaj inductiv. Aceasta inductie este dependenta de calitatea izolatiei. Fenomenele distructive produse de curenții de dispersie generati de LEA asupra izolatiei si a materialului tubular al conductei ingropate sunt bine documentate in literatura de specialitate [1, 43, 44].

Din studiile anterioare efectuate de directorul de proiect si membrii echipei in cadrul proiectelor CEEX ICEMECOS [46] si ID\_1024 [37] reiese faptul ca vor fi influentate puternic negativ conductele cu izolatie de calitate superioara, incadrate din punct de vedere calitativ ca fiind izolatii bune si foarte bune. Lipsa porilor in aceste izolatii presupune lipsa contactelor cu solul a partilor metalice a conductelor. Inductia aparuta in astfel de conducte (datorita functionarii LEA la diferite incarcari de sarcina), nedrenata catre sol, poate produce varfuri de tensiune (spike-uri) de 5 – 6 V, extrem de daunatoare din punct de vedere al izolatiilor aplicate pe conducta. LEA de inalta tensiune induce in CMS aflate in vecinatatea lor curenti sinusoidali. Daca din acest semnal sinusoidal este drenata spre sol componenta pozitiva a sinusoidei, componenta negativa se suprapune peste semnalul injectat de statia de protectie catodica si determina o scadere a potentialului conducta – sol. Astfel, protectia catodica devine mai eficienta numai pe baza semnalului indus in CMS de catre LEA, semnal a carui **componenta pozitiva este drenata**.

**In Romania** sunt cunoscute o serie de dispozitive ce limiteaza amplitudinea alternantei pozitive a tensiunii alternative induse in conducta, la valori acceptabile din punct de vedere al comportarii in timp a izolatiilor. **Dezavantajul** acestora este ca amplitudinea alternantei negative nu este limitata la un nivel acceptabil, care sa nu dauneze izolatiilor aplicate pe conductele ingropate. Potentiale a caror valori efective sunt mai negative de -1100 mV, masurate prin intermediul electrodului de Cu-CuSO<sub>4</sub>, dauneaza izolatiilor aplicate pe CMS, ducand la desprinderea catodica [45].

**Pe plan international** exista o serie de dispozitive care dreneaza curenții de dispersie indusi in conductele subterane, fara a fi disponibile informatii cu privire la nivelul limitarii potentialelor instantanee. **Dezavantajul** acestor dispozitive este gabaritul marit, lipsa controlului privind potentialul de protectie catodica (potential  $I_{R_{free}}$  ce trebuie sa fie cuprins intre -850 mV si -1100 mV), precum si faptul ca izolatiea nu este protejata la supraprotectie catodica.

Astfel, **solutia optima pentru controlul cuplajului dintre LEA si CMS** o reprezinta **dezvoltarea si implementarea unor dispozitive de drenare controlata a curentilor de dispersie** care sa fie destinate protectiei conductelor metalice subterane, izolate la exterior. **Avantajul** fata de dispozitivele existente ar fi posibilitatea drenarii din forma sinusoidala a curentului indus in conducta sol numai a alternantei pozitive daunatoare protectiei catodice. Dispozitivul va fi conceput pentru **eliminarea supraprotectiei catodice** datorata curentilor indusi de LEA, evitand desprinderea catodica a izolatiei, si pentru **limitarea valorilor tensiunii induse** in conducta, valori care au fost aproiri estimate cu ajutorul metodelor dezvoltate in cadrul **obiectivelor I-II** ale propunerii de proiect. Dispozitivul va trebui sa protejeze orice CMS aflata in apropierea LEA, inclusiv in cazul unui defect monofazat (caderea accidentala a unei faze la pamant in afara zonei coridorului comun), sau bifazat (conform modelelor dezvoltate in cadrul obiectivului II), stiut fiind ca in primul moment este posibila aparitia unei supratensiuni induse in conducta. In acest sens, o problema importanta de rezolvat va fi **timpul de raspuns al dispozitivului**. Inainte de verificarea functionarii si eficientei dispozitivului de drenare acesta va fi supus unor **testari si simulari functionale in conditii de laborator**. Circuitul electric echivalent al dispozitivului va fi implemetat in programul PSPICE si se va simula comportarea dispozitivului in conditii reale.

In final, se va trece la punerea in evidenta a **eficientei functionale a dispozitivului** si a **metodelor de calcul si predictie a tensiunilor induse si curentilor de dispersie** prin masuratori on-line, in dreptul unor statii de protectie catodica, pe doua conducte de tranzit gaze naturale avand traseu comun cu o LEA de 400kV (caz identificat de SNTGN TRANSGAZ S.A.).

**Observatie:** Bibliografia este aceeaasi cu cea prezentata la 9.1.

### **Impactul estimat al proiectului**

**Impactul tehnico-stiintific:** Rezultatele proiectului vizeaza o **regandire a activitatilor de modelare, proiectare, executie si mentenanta** in domeniul transportului de purtatori de energie (gaz metan, combustibili lichizi) intr-un context integrat, in care sa fie cuprinse si cerintele impuse de mediul industrial prin curentii de dispersie, cat si urmarirea continua a starii de degradare a conductelor metalice. Vizeaza **dezvoltarea de metode si algoritmi** care sa permita analiza unor situatii concrete, existente in practica, in ceea ce priveste impactul curentilor de dispersie in c.a asupra CMS, stabilirea situatiilor de risc si simularea comportarii modelului prin introducerea **solutiilor de protectie anticoroziva**. Viabilitatea celor mentionate va permite extinderea solutiilor tehnice adoptate si in alte domenii (tehnice) de activitate, in principal in cel industrial.

**Impactul economic:** Anticiparea prin predictie a starii de degradare a conductelor metalice creeaza premisele fundamentarii unor investitii eficiente si rationale. Aplicare in faza de proiectare, metodologiile care evita degradarea conductelor **creaza premisele dezvoltarii durabile**, chiar si in conditii de mediu intens poluat. Urmarim **ofertarea unor solutii de modelare, predictie si proiectare corecte si realiste cu maxim de performanta, la un cost scazut**, care sa permita evaluarea si estimarea fenomenelor complexe care apar in modelarea fizica si simularea matematica a interactiei campurilor electromagnetice cu conductele metalice. Cuantificarea materiala a acestor rezultate este facil de realizat pentru Operatorii de Transport si Distributie a gazelor naturale, pentru Operatorul de Transport a energiei electrice, care incepand din faza de proiectare sunt nevoiti sa utilizeze trasee comune de retea. Daca atat proiectantii de infrastructura energetica, cat si cei de retea de conducte subterane vor tine cont de rezultatele cercetarilor, avem incredere ca se vor evita incidente electromagnetice intre cele doua parti, se vor reduce costurile de mentenanta a retelelor de conducte.

**Impactul social:** Ofertarea unor **solutii de amplasare optima la dispozitivele si solutiilor de protectie si siguranta** la impactul campurilor electromagnetice, care sa duca la diminuarea aparitiei situatiilor de risc si de poluare a mediului. De rezultatele obtinute in final va beneficia societatea, pentru care se vor putea asigura conditii de viata si de munca mai sigure si mai sanatoase (dezvoltare durabila).

**Impactul asupra mediului:** Cunoasterea agentilor intens poluanti si mai ales a **actiunii curentilor de dispersie** permite aplicarea de solutii tehnice corecte, care sa reduca efectele poluarii odata cu sursele potentiale de poluare. In acest fel, aparitia agentilor poluanti complecsi va fi drastic impiedicata si se va determina o **imbunatatire a conditiilor de mediu**.

**Oportunitati pentru invatamant si perfectionare:** O buna parte din rezultate, aduse la forma de **metodologii si amendamente la normative**, vor constitui baza completarii unor cursuri din universitati si a unor cursuri de perfectionare pentru specialisti. Atat cursurile cat si aplicarea monitorizarii starii conductelor de transport gaz inseamna noi locuri de munca destinate mai ales tinerilor ingineri.

Trebuie sa avem in vedere si oportunitatea construirii, in perspectiva, a unor magistrale de gaz metan, care sa tranziteze tara noastra. Inevitabil, vor apare coridoare comune LEA – CM, deci si posibile **probleme de coroziune**. Intentionam sa ne oferim **capacitatea de expertiza din chiar etapa de studiu de fezabilitate**, pentru a preintampina eventuale efecte daunatoare pe care liniile electrice, deja existente, sa le aiba asupra conductelor.

Problematica abordata si propusa spre rezolvare este de o complexitate teoretica deosebita si de mare importanta practica fiind atat inter- cat si multidisciplinara (electrotehnica, matematica, electrochimie, instalatii electrice) - situatia fiind similara si in strainatate. Nu cunoastem unitati C-D care sa fi abordat unitar, sistematic aceasta problematica atat de complexa si in acelasi timp actuala prin implicatii.