

Rezumat teză abilitare

ABORDAREA INTERDISCIPLINARĂ A INGINERIEI CHIMICE DE PROCES ȘI A CONTROLULUI AVANSAT AL PROCESELOR PE BAZA MODELĂRII, SIMULĂRII ȘI A INSTRUMENTELOR INTELIGENȚEI ARTIFICIALE

Dezvoltarea mea profesională a fost angajată în domeniile cu caracter interdisciplinar ale ingineriei chimice de proces și ingineriei sistemelor, care îmbină automatizarea cu modelarea și optimizarea proceselor, utilizând mijloace și instrumente asistate de calculator. Automatizarea proceselor are rădăcini adânci și legături puternice în ingineria chimică de proces, jucând un rol de prim rang în aplicațiile ingineriei chimice pentru asigurarea operării eficiente și în condiții de siguranță a întregului complex chimic precum și pentru dezvoltarea durabilă a acestuia.

Activitățile de cercetare și academică desfășurate au fost înscrise următoarelor direcții principale:

I. Modelarea matematică în ingineria chimică de proces

Această activitate orientată spre dezvoltarea de modele își are originea și motivația în constatările făcute și concluziile formulate în perioada primilor opt ani de început al carierei profesionale când am activat ca inginer într-un combinat chimic. În acei ani am conștientizat faptul că pentru operarea cu succes a instalațiilor chimice, bazată pe sistemele de monitorizare și control, este imperios necesară cunoașterea și înțelegerea funcționării procesului chimic. Mi-am propus și însușit în anii care au urmat dobândirea cunoștințelor de legate de sistemul supus automatizării, esențiale pentru dezvoltarea capacității de a-i descrie cantitativ și calitativ comportarea în timp și spațiu.

Activitatea pe care am desfășurat-o în domeniul dezvoltării modelelor și simulatoarelor de procese chimice poate fi grupată în *modelarea de tip analitic* și *modelarea de tip statistic*. Dezvoltarea aplicațiilor de modelare analitică poate fi la rândul ei împărțită în modelarea sistemelor cu *parametri concentrați* și a sistemelor cu *parametri distribuiți*. Am elaborat modele matematice analitice pentru o gamă variată de procese din domeniul ingineriei chimice sau al protecției mediului, precum:

- Instalația de cracare catalitică în strat fluidizat, instalația de tratare a apelor uzate, camerele uscătoare din procesul de producție a izolatorilor electrici de înaltă tensiune, instalația de distilare funcționând în regim discontinuu sau continuu - pentru sisteme cu parametri concentrați;
- Propagarea poluării accidentale pe cursul râurilor, uscarea convectivă forțată a produselor alimentare, descompunerea carbonatului de calciu, uscarea izolatorilor electrici, calcinarea tronei sau bicarbonatului de sodiu în calcinatorul rotativ - pentru sisteme cu parametri distribuiți.

O mențiune specială se cuvine a fi acordată informației furnizate de modelele cu parametri distribuiți, care este valorificată în scopul proiectării și operării sistemelor de automatizare. Dezvăluirea evoluției temporale și spațiale a variabilelor controlate sau a stărilor sistemului cu parametri distribuiți se bazează pe un set de ecuații diferențiale cu derivate parțiale și ecuații algebrice care descriu conservarea masei, impulsului sau energiei sistemului, la care sunt asociate relațiile constitutive. Alocarea în spațiu a poziției traductoarelor de măsură și a elementelor de execuție aferente sistemului de automatizare este realizată cu ajutorul acestor modele. De asemenea, evaluarea performanțelor sistemului de automatizare beneficiază de descrierea spatio-temporală a variabilelor procesului. Activitatea de cercetare desfășurată în acest sens prezintă un potențial important de dezvoltare viitoare.

O componentă distinctă a activității de modelare a constituit-o modelarea statistică bazată pe rețele neuronale artificiale (RNA), datorită capacităților acestora de clasificare sau predicție

pentru sisteme în care nu sunt cunoscute legile (fenomenele) detaliate care le guvernează funcționarea și care sunt greu formalizabile sub forma ecuațiilor algebrice și diferențiale. Capacitatea de predicție a RNA se bazează pe abilitatea acestora de a învăța, de a face generalizare și comportamentului lor robust în prezența zgomotului. Performanțele modelelor bazate pe RNA sunt apreciate și datorită vitezei cu care acestea prelucrează datele (aproximativ cu un ordin de mărime mai rapid decât modelele analitice bazate pe ecuații diferențiale). Am dezvoltat modele bazate pe RNA pentru diferite procese, precum: Instalația de cracare catalitică în strat fluidizat, instalația de tratare a apelor uzate, bioreactorul de fermentație funcționând în regim discontinuu, uscătoarele izolatorilor electrici sau pentru simularea diagramelor de impedanță a sistemelor electrochimice. Am dezvoltat metodologii de proiectare a arhitecturii RNA precum și proceduri de antrenare specifice aplicațiilor tratate. Am utilizat RNA de tip feedforward cu algoritm de antrenare backpropagation, de tip radial-basis, probabilistic sau de regresie generalizată.

II. Automatizarea în ingineria chimică de proces

Modelele dezvoltate au fost în mare proporție utilizate pentru îmbunătățirea operării sistemului chimic utilizând metodele automatizării proceselor. Reglarea predictivă bazată pe model (RPM) reprezintă cea mai promițătoare metodologie de reglare avansată de proces, destinată proceselor chimice. A fost utilizată ca structură de reglare de sine stătătoare sau cuplată cu regulatoare PID, și implementată în configurații de reglare descentralizată, de tip supervisory, sau multivariabil. Aplicațiile de reglare RPM au exploatat caracteristicile remarcabile ale acestui algoritm, precum caracterul optimal al legii de reglare, capacitatea de a include restricțiile într-un mod sistematic, abordarea de tip reglare multivariabilă și includerea predicției în elaborarea mărimum de comandă. Reglarea RPM a unui set de procese diverse a fost investigată pe baza:

- Modelelor analitice anterior dezvoltate, precum: RPM a instalației de cracare catalitică în strat fluidizat, RPM a instalației de tratare a apelor uzate, reglarea calcinatorului rotativ pentru obținerea sodiei calcinate, reglarea uscătoarelor pentru izolatori electrici, reglarea automată utilizată pentru contracararea poluării accidentale în râuri.
- Modelelor statistice bazate pe RNA, precum: RPM a instalației de cracare catalitică în strat fluidizat, RPM a instalației de tratare a apelor uzate, reglarea uscătoarelor pentru izolatori electrici.

Reglarea fuzzy a instalației de cracare catalitică în strat fluidizat, a reactorului de producție a hexametilentetraminei și a procesului de uscare a materialelor poroase a fost de asemenea investigată. Modele diverse, de tip răspuns la semnal treaptă, model în spațiul stărilor sau cu RNA au fost utilizate pentru predicția variabilelor supuse reglării (cu variabile reglate măsurate direct sau calculate inferențial). De asemenea s-a studiat modalitatea de acordare a regulatorului RPM. Pentru procesele neliniare s-a utilizat reglarea RPM adaptivă bazată pe reevaluarea programată a modelului liniar implicat în predicție. S-au analizat și considerat aplicații ale reglării RPM în prezența restricțiilor și cu utilizarea unui număr excesiv de variabile de comandă față de numărul de variabile reglate. Au fost concepute sisteme de reglare bazate pe reglarea după perturbație, atât în structură clasică, cât și în configurație de reglare RPM.

III. Data Mining

O altă direcție de cercetare a constituit-o extragerea de informații ascunse din date (data mining) având ca instrument de lucru RNA și ca bază principială de operare capacitatea RNA de clasificare (spre exemplu RNA de tip: probabilistic, radial-basis, competitiv sau RNA cu autoorganizare). Aceste instrumente au fost utilizate pentru dezvăluirea unor caracteristici ascunse în datele măsurate, care au servit ulterior proiectării, optimizării sau reglării proceselor chimice. Au fost dezvoltate aplicații pentru: predicția datelor de echilibru lichid-

vapori, predicția activității antioxidante sau clasificării unor sortimente de ceaiuri, predicția unor proprietăților termodinamice, clasificarea de vinuri sau a diferite sortimente de oțet, diagnosticarea cirozei și a hipertensiunii arteriale. Metode de selecție a variabilelor reprezentative au fost de asemenea utilizate pentru a reduce dimensiunea datelor de intrare și a structurilor de calcul.

IV. *Activitatea didactică*

Principalul obiectiv al activității didactice a fost promovarea în învățământul de inginerie chimică a abordării ingineriei chimice de proces pe baza conceptului de sistem. Programele de studiu de inginerie chimică de la Facultatea de Chimie și Inginerie Chimică UBB Cluj-Napoca au fost completate prin introducerea unor componente consistente ale ingineriei de proces chimic asistate de calculator, atât la nivel licență, cât și master, prin cursurile predate, precum: Teoria sistemelor, Automatizarea proceselor chimice, Conducerea avansată a proceselor chimice, Modelarea matematică a proceselor chimice, Inteligență artificială cu aplicații în ingineria chimică de proces.

Am coordonat și dezvoltat programul de masterat Inginerie Chimică Avansată de Proces contribuind la internaționalizarea studiilor de masterat la UBB cu studenți provenind din India, Turcia, Vietnam, Egipt sau Kazahstan, Irak, Algeria.

Am condus un număr de 48 de lucrări de diplomă (nivel licență) și 32 lucrări de disertație (nivel master). Am îndrumat studenți străini în stagiile efectuate de aceștia în facultatea de Chimie și Inginerie Chimică (11 studenți). Am coordonat activitatea a doi post doctoranzi și am participat ca membru în comisiile de îndrumare a 10 doctoranzi în domeniul ingineriei chimice. Am făcut parte, în calitate de referent, din comisiile de evaluare a tezelor de doctorat pentru 14 teze de doctorat din domeniul inginerie chimică (13) și ingineria sistemelor (1), la: Universitatea Politehnică București, Universitatea Politehnică din Timișoara, Universitatea Petrol-Gaze Ploiești, Universitatea Tehnică Cluj și Universitatea Babeș-Bolyai.

Activitatea de cercetare viitoare se va plasa în zona de suprapunere sinergică a domeniilor ingineriei chimice și a ingineriei sistemelor, consecință a faptului că modelarea matematică și optimizarea au devenit părți integrante ale proiectării sistemelor de conducere iar controlul automat joacă un rol major ca importanță în proiectarea și operarea proceselor chimice. Sistemele ingineriei chimice de proces prezintă neliniaritate, caracter multivariabil și incertitudine, având asociate restricții de operare sau de echipament, ceea ce transformă controlul automat într-o problemă complexă dar provocatoare. O echipă de studenți doctoranzi motivată și inspirată ar oferi ingredientul esențial pentru abordarea activității de cercetare în spiritul acestor multiple provocări.

Principalele direcții de cercetare viitoare cu potențialii studenți doctoranzi sunt:

- *Conducerea proceselor cu parametrii distribuiți pentru aplicații în ingineria chimică* (modelarea utilizând instrumente ale Computational Fluid Dynamics; proiectarea și acordarea reguletoarelor pentru asigurarea stabilității, în prezența incertitudinii; alocarea optimală a poziției elementelor de măsură; controlul descentralizat; reducerea dimensiunii modelului; dezvoltarea de estimatoare de stare bazate pe modele matematice, creșterea eficienței energetice a instalațiilor, reducerea consumurilor specifice),
- *Conducerea evoluată bazată pe modele matematice și optimizare cu aplicații în domeniile ingineriei chimice și protecției mediului* (reglarea cu model intern, reglarea predictivă bazată pe model RPM, RPM cu modele multiple, RPM care utilizează modele bazate pe rețele neuronale artificiale RNA și pe logica de tip fuzzy, RPM neliniară, reducerea sarcinii de calcul a RPM, RPM economic, RPM care utilizează algoritmi genetici sau hibridi, algoritmi de tip swarm, optimizarea de tip ant colony, optimalitatea de tip Pareto),

- *Aplicații ale calculului inteligent și a data mining-ului pentru îmbunătățirea operării și conducerii proceselor chimice* (elaborarea de modele hibride analitice-RNA-fuzzy, optimizarea bazată pe familia de algoritmi genetici, clasificarea bazată pe RNA și logica de tip fuzzy, reglarea neliniară bazată pe modele ale inteligenței artificiale),

Activitatea de educație viitoare se va desfășura pe trei nivele:

- *Nivelul de bază*, care va fi dedicat lucrului cu studenții de la programele de licență și masterat (baza piramidei învățământului superior),
- *Nivelul intermediar*, alocat dezvoltării grupului de cercetare (Centrul de Cercetare în Domeniul Ingineriei Chimice Asistate de Calculator) care va îmbina cunoștințele și experiența în domeniul modelării, conducerii și optimizării proceselor chimice a membrilor mai experimentați cu entuziasmul tinerilor membrii doctoranzi,
- *Nivelul superior*, destinat dezvoltării colectivului de studenți doctoranzi (în calitate de potențial conducător de doctorat) și afilierea la școala doctorală de inginerie chimică (selecția resursei umane, dezvoltarea infrastructurii didactice și de cercetare, participarea la competiții de finanțare a proiectelor de cercetare pentru obținerea de resurse financiare, colaborarea cu grupuri de cercetare naționale și internaționale, creșterea vizibilității școlii doctorale de inginerie chimică prin dezvoltarea de aplicații care să rezolve probleme practice din industrie sau societate și prin publicarea rezultatelor în reviste științifice reprezentative).