

**PROGRAMUL PARTENERIATE ÎN DOMENIILE PRORITARE  
PROIECTE COLABORATIVE DE CERCETARE APLICATIVĂ (PCCA)**

**SECȚIUNEA 1**

**RAPORTUL ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC (RST)**

<b>Etapa de execuție:</b>	I
<b>Titlul etapei:</b>	Analiza sistemelor de detecție și diagnoză a schimbărilor în procese vibratorii
<b>Titlu proiect:</b>	Model experimental pentru detecția și diagnoza schimbărilor în procese vibratorii folosind tehnici avansate de măsurare și analiză bazate pe model
<b>Cod proiect:</b>	PN-II-PT-PCCA-2013-4-0044
<b>Acronim proiect:</b>	VIBROCHANGE
<b>Autoritate contractantă:</b>	Unitatea Executivă pentru Finanțarea Învățământului Superior, a Cercetării, Dezvoltării și Inovării (UEFISCDI)
<b>Contractor:</b>	Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați
<b>Contract de finanțare nr:</b>	224 / 01.07.2014
<b>Termen etapă:</b>	15.12.2014

Parteneriat:

CO - Universitatea Dunărea de Jos Galați, Aiordăchioaie Dorel, *Director proiect*  
P1 - INCD în Informatică București, Popescu Dan Theodor, *Responsabil P1*  
P2 - INCDMTM București, Cioboată Daniela, *Responsabil P2*  
P3 - TeamNet Engineering SRL București, Roman Nicu, *Responsabil P3*

# RAPORTUL ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC

(Sinteza 20 pagini)<sup>1</sup>

## 1. Rezumatul etapei

### 1.1. Localizarea cercetării

Proiectul abordează problema detecției și diagnozei schimbărilor (*Change Detection and Diagnosis - CDD*) în procese vibratorii folosind tehnici avansate de măsurare și analiză bazate pe model, pentru asigurarea mentenanței predictive a mașinilor și utilajelor industriale. Procesele vibratorii sunt caracterizate de fenomene vibratorii, care includ, în principal, ca efect, semnale de tip vibrații mecanice, rezultate în urma funcționării normale sau anormale a acestora.

Cercetările din cadrul proiectului se înscriu în tendința și cerința tot mai crescută (din partea utilizatorilor) în ceea ce privește înlocuirea procedurilor de întreținere sistematică a mașinilor și utilajelor industriale prin strategii de întreținere condițională, bazate pe supravegherea continuă sau prin sondaj a comportării lor, cu scopul de a preveni funcționarea anormală a acestora și a evita producerea unor catastrofe de natură economică sau ecologică. În acest context, apare ca soluție necesară, posibilă și eficientă, detecția din timp a funcționării anormale a sistemului în raport cu o caracterizare a sa în modul de lucru normal: fără excitare artificială, schimbare a regimului de lucru sau oprire.

Proiectul își propune să construiască două produse, ambele noi, originale și competitive internațional, și care să ofere soluții la problemele CDD pentru procese vibratorii. Primul produs este o bibliotecă de programe (Toolbox Matlab) care să implementeze cei mai buni algoritmi pentru CDD (unii originali, brevetabili, dar și unii existenți, care vor fi optimizați în cadrul proiectului), utilizând tehnici clasice, dar și tehnici noi, bazate pe analiza multirezoluție, soft computing și fuziunea informației. Produsul va constitui o referință pentru problema CDD și va permite evaluarea și raportarea performanțelor algoritmilor noi la cei cunoscuți. Al doilea produs este un model fizic experimental, având la bază o aplicație software pentru CDD, ce va fi utilizat în monitorizarea unor procese pilot, în condiții de laborator, și a unui proces industrial complex. Modelul fizic va permite verificarea algoritmilor în condiții reale de exploatare și va constitui baza pentru lansarea comercială a produselor pentru CDD.

Proiectul este implementat de un consorțiu format din Universitatea „Dunărea de Jos” Galați (CO), INCD în Informatică din București (P1), INCD pentru Mecatronică și Tehnica Măsurării din București (P2) și SC Teamnet Engineering din București (P3).

### 1.2. Obiectivele proiectului

Obiectivul general al proiectului este realizarea unui model experimental pentru monitorizarea proceselor vibratorii în vederea detecției și diagnozei schimbărilor în mașini și utilaje industriale, folosind tehnici avansate de măsurare și analiză bazate pe model.

Obiectivele specifice urmărite se referă la:

**O1:** Dezvoltarea, implementarea și validarea unor metode noi, tehnici și algoritmi pentru detecția și diagnoza schimbărilor în funcționarea mașinilor și utilajelor industriale;

---

<sup>1</sup> Raportul de cercetare al etapei conține cca 250 pagini. El poate fi furnizat la cerere.

**O2:** Optimizarea algoritmilor clasici, cunoscuți, pentru CDD și pentru diverse procese vibratorii;

**O3:** Fuziunea informațiilor rezultate în urma (și în timpul) procesului de detecție și diagnoză a schimbărilor, precum și a efectelor acestora în spectrul de energie de până la 100 kHz;

**O4:** Realizarea unei biblioteci de programe pentru CDD (Toolbox Matlab) care să implementeze atât metodele CDD clasice (cunoscute) cât și cele care vor fi dezvoltate în cadrul proiectului;

**O5:** Realizarea unui model experimental, având la bază o aplicație software, care să aibă ca obiectiv monitorizarea unui utilaj industrial, și care să utilizeze rezultatele la nivel teoretic, algoritmic și metodologic, obținute în cadrul proiectului.

Pentru atingerea obiectivelor menționate, vor fi parcurse patru etape.

**Etapa I** (decembrie 2014), „*Analiza sistemelor de detecție și diagnoză a schimbărilor (CDD) în procese vibratorii*”, are ca obiectiv evaluarea diverselor metode, tehnici și algoritmi existenți, în vederea obținerii unei referințe definitive, la zi, pentru metodele și algoritmi de CDD, ce va permite definirea unor direcții de aprofundare a domeniului.

**Etapa II** (iunie 2015), „*Stabilirea structurii modelului experimental și a metodelor CDD implementate*”, va consta în definirea structurii modelului experimental, proiectarea componentelor acestuia, inclusiv stabilirea metodelor și tehnicilor CDD care urmează a fi implementate. De asemenea, în acest context, vor fi dezvoltate metode, tehnici și algoritmi pentru monitorizarea proceselor vibratorii (ce apar pe mașini și utilaje industriale), bazate pe model și utilizând tehnici avansate de măsurare.

**Etapa III** (decembrie 2015), „*Elaborare module software pentru CDD și construcția modelului experimental*”, va dezvolta o bibliotecă de programe scrise în cod Matlab, pe structura mediului de modelare-simulare Matlab-Simulink, pentru analiza semnalelor de vibrații și se va construi modelul experimental al sistemului CDD, cu toate componentele acestuia.

**În Etapa IV** (iunie 2016), „*Efectuarea de experimentări în vederea evaluării modelului experimental*” se vor verifica funcționalitatea și performanțele modulelor software elaborate cu date reale, în cadrul unor experimente pe mașini și utilaje de laborator, precum și pe diferite componente ale unui proces industrial complex.

### **1.3. Obiectivele Etapei I**

**Etapa I**, „*Analiza sistemelor de detecție și diagnoză a schimbărilor (CDD) în procese vibratorii*”, are ca obiectiv prezentarea conceptuală a diverselor metode, tehnici și algoritmi existenți, în vederea obținerii unei referințe definitive, la zi, pentru metodele și algoritmi de CDD. Studiul rezultat conține o descriere largă și cuprinzătoare a nucleului de principii și metode, algoritmi numerici și al aplicațiilor majore, cu accent pe monitorizarea mașinilor rotative. S-a realizat astfel o documentare profundă privind experiența internațională și rezultatele obținute în domeniul ce face obiectul cercetării, precum și sistematizarea și aprofundarea acestei experiențe.

## 1.4. Descrierea activităților

Activitățile desfășurate în cadrul acestei etape sunt conforme cu cele definite în cadrul **Etapei I**, din planul de realizare al proiectului. De regulă, aceste activități se regăsesc în cadrul diferitelor capitole ale raportului de cercetare. Facem, în continuare, o scurtă descriere a acestor activități.

În cadrul activității **A.1.1., Analiza sistemelor de monitorizare și a semnalelor generate de procesele vibratorii**, s-a făcut o trecere în revistă a sistemelor de monitorizare a vibrațiilor ce apar în funcționarea mașinilor și utilajelor tehnologice. Sunt prezentate diferite abordări de detecție și diagnoză, cu și fără model, unele extensii ce fac apel la modelele de tip rețele neurale sau wavelet, precum și la modele dinamice hibride numerice/simbolice. S-au formulat principii generale de monitorizare și, în final, se prezintă o schema posibilă de organizare a software-ului asociat acestei abordări generale de detecție și diagnoză.

Activitatea **A.1.2., Analiza soluțiilor adoptate în monitorizarea proceselor vibratorii pentru mașini și utilaje industriale**, a permis evidențierea soluțiilor folosite în mediul industrial, în scopul detecției și diagnozei schimbărilor. S-a făcut o trecere în revistă a principalelor caracteristici ale proceselor vibroacustice, specifice mașinilor rotative, și au fost evidențiate principalele componente ale acestora (rulmenți, cutii de viteze, etc) care pot fi sediul producerii unor incidente sau defecțiuni în funcționare. Au fost trecute în revistă mai multe metode de extragere a caracteristicilor semnalelor de vibrație, ce utilizează modelarea parametrică, analiza spectrală, analiza unor fenomene neliniare și nestaționare. Au fost puse în evidență și au fost descrise în mod corespunzător două categorii de metode de detecție, ce utilizează modele cantitative și calitative. Au fost prezentate soluții bazate pe sisteme expert și s-au pus în evidență limitările acestora.

Activitatea **A.1.3., Formularea teoretică și algoritmică a problemelor CDD**, a permis evidențierea metodelor de bază, atât la nivel de principiu cât și la nivel de implementare, cu avantaje și dezavantaje, precum și cu restricțiile impuse de mediul industrial sau de limitările de natură numerică de implementare. S-a realizat o trecere în revistă a concepției algoritmice și a fundamentelor teoretice care stau la baza metodelor de detecție și diagnoză a proceselor și instalațiilor tehnologice, elaborate la începutul anilor 2000, și utilizate în multe dintre aplicațiile în domeniu. S-au prezentat principalele componente care apar într-o problemă de monitorizare: modelarea sistemului, alegerea indicatorului „semnătură”/măsurători, identificarea sau achiziția „semnăturii”, supravegherea, diagnoza și poziționarea senzorilor, componente inerente într-o astfel de aplicație.

Activitățile **A.1.4., Analiza structurii, funcțiilor și performanțelor sistemelor comerciale pentru CDD**, **A.1.5., Analiza soluțiilor software pentru sistemele de monitorizare a proceselor vibratorii și CDD**, și **A.1.9., Stabilirea cerințelor funcționale ale modelului experimental**, s-au axat pe studierea echipamentelor comerciale disponibile, de la producători de renume din țară și străinătate, specifice CDD. Au fost analizate ofertele firmelor SPM Instrument AB GmbH, Emerson Process Management, Delphin Technology, Femaris SRL (Romania), Ergocontrol (Polonia), Crystal Instruments (SUA). S-a realizat identificarea structurilor și funcțiilor comune în cadrul echipamentelor pentru monitorizarea vibrațiilor, precum și a resurselor hardware și software necesare realizării unor astfel de aplicații. Funcțiile și resursele necesare, astfel identificate, vor constitui punctul de plecare în realizarea modelului experimental ce face obiectul proiectului de față.

Activitățile **A.1.7., Selecția proceselor vibratorii investigate**, și **A.1.8., Selecția componentelor investigate**, au permis selectarea unor procese reprezentative care să facă obiectul monitorizării, utilizând tehnici CDD. Selecția proceselor s-a făcut din punctul de vedere al aplicabilității unui număr cât mai mare de metode pentru CDD dar și a posibilității accesului și realizării experimentelor pe durata proiectului. Din multitudinea de mașini și utilaje în funcționarea cărora apar fenomene de natură vibratorie, în cadrul funcționării normale sau

anormale, categoria proceselor care includ mașini rotative este considerată ca fiind reprezentativă pentru analiza semnalelor de vibrație, ca obiect principal al prezentului proiect de cercetare-dezvoltare. Drept componente eligibile pentru experimentările din cadrul următoarelor etape ale proiectului vor fi avute în vedere anumite subansamble ale acestor mașini.

În cadrul activității **A.1.6., Management proiect**, s-au organizat întâlniri de lucru la sediul coordonatorului, Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați, la sediul partenerului P1 – ICI București, și la sediul P3-Teamnet Engineering București. Cea mai mare parte a activităților de lucru și de schimb de experiență și de validare reciprocă a rezultatelor obținute s-a desfășurat însă prin comunicare electronică, prin email și telefon. O parte însemnată a timpului a fost alocată negocierii, contractării, întocmirii, semnării și urmării documentelor Contractului de finanțare și a Actului adițional pentru suplimentarea finanțării pe 2014.

Raportul final de cercetare al etapei cuprinde 10 capitole și o Anexă, în cadrul a 250 de pagini. Majoritatea capitolelor corespund, ca denumire și obiective, cu activitățile și subactivitățile din planul de realizare, însă sunt capitole cu rezultate din mai multe activități. Legăturile de bază dintre capitolele din raportul de cercetare și activitățile din planul de realizare, sunt prezentate în Tabelul 1.

**Tabelul 1** – Legăturile primare dintre capitolele raportului de cercetare și activitățile din planul de realizare

Nr. Capitol	Denumire Capitol	Activități
1.	Introducere	A.1.1 – A.1.9
2.	Analiza sistemelor de monitorizare a proceselor vibratorii – metode și algoritmi bazați pe model	A.1.1.
3.	Analiza soluțiilor adoptate în monitorizarea proceselor vibratorii pentru mașini și utilaje industriale	A.1.2.
4.	Formularea teoretică și algoritmică a problemelor de detecție și diagnoză - CDD	A.1.3.
5.	Metode și algoritmi de detecție și diagnoză bazați pe model – <i>Abordarea cantitativă</i>	A.1.2.+A.1.3.
6.	Metode mixte și algoritmi pentru detecție și diagnoză – <i>Abordarea calitativă</i>	A.1.2.+A.1.3.
7.	Analiza semnalelor infra- și ultra-acustice generate de procesele vibratorii	A.1.1.
8.	Analiza structurii, funcțiilor și performanțelor sistemelor (hard+soft) comerciale pentru CDD	A.1.4. + A.1.5. + A.1.9
9.	Selecția metodelor, proceselor și componentelor sistemului CDD	A.1.7.+ A.1.8.
10.	Concluzii finale	A.1.1 – A.1.9

În cadrul etapei următoare a proiectului, **Etapa II** „*Stabilirea structurii modelului experimental și a metodelor CDD implementate*”, cu termen de predare 30.06.2015, se va avea în vedere realizarea mai multor activități ce se referă, în principal, la: stabilirea structurii modelului experimental, proiectarea componentelor acestuia, precum și la stabilirea metodelor și tehnicilor CDD care urmează a fi implementate. De asemenea, în acest context, vor fi dezvoltate metode, tehnici și algoritmi pentru monitorizarea proceselor vibratorii (ce apar pe mașini și utilaje industriale), bazate pe model și utilizând tehnici avansate de măsurare.

## 1.5. Rezultate

Rezultatele activității de cercetare, desfășurate în perioada ultimelor șase luni, care a făcut obiectul **Etapei I** a proiectului, sunt prezentate sub forma unui Raport de cercetare ce conține cca 250 pagini. Pentru activitatea de predare s-a realizat, conform instrucțiunilor UEFISCDI, prezentul document, ce reprezintă o sinteză a Raportului de cercetare original. Raportul de față poate fi găsit și pe pagina de internet a proiectului <sup>2</sup>.

Rezultatele principale obținute în cadrul acestei etape au fost generate de activitățile de analiză desfășurate și care au furnizat, într-o manieră logică, soluțiile ce vor fi adoptate în următoarele etape. Astfel :

- S-a realizat o analiză a diverselor abordări în domeniul detecției și diagnozei mașinilor și utilajelor tehnologice, cu și fără model, și au fost generate unele extensii ale acestor abordări ce fac apel la modelele de tip rețele neuronale sau wavelet, precum și la modele dinamice hibride numerice/simbolice. Pe baza acestei analize s-a prezentat o schemă posibilă de organizare a structurii software-ului asociat unei abordări generale de detecție și diagnoză.
- Deoarece în cazul monitorizării mașinilor rotative (dar și a celor complementare) se dorește determinarea unei "semnături" a acestora, care să nu fie afectată de zgomotul de interferență, generat de mașinile funcționând în vecinătate, sau de mediu, a fost utilizată diversitatea spațială și redundanța în măsurătorile multicanal ale vibrațiilor mașinii, pentru a separa "semnătura" mașinii de monitorizat de zgomotele perturbatoare.
- Dată fiind prezența unor mixări instantanee cât și convolutive, în funcționarea mașinilor rotative, în scopul separării componentelor vibratorii, proprii mașinii ce face obiectul monitorizării, s-a făcut apel la tehnicile specifice Analizei Componentelor Independente (ICA), ca principal instrument al separării "oarbe" a surselor (BSS), care să fie utilizate, în scopul reconstrucției "semnăturilor" mărimilor individuale sau ale componentelor care vor face obiectul detecției propriu-zise (posibil subiect propunere de brevetare).
- Detecția nestaționarității poate fi făcută prin măsurarea răspunsului sistemului la diferite tipuri de excitații sau utilizând statistici de ordin superior și spectre ale măsurătorilor. O formă particulară de nestaționaritate, ciclostaționaritatea, poate fi observată în cadrul mașinilor rotative, în special în funcționarea rulmenților din lagăre și cutiilor de viteze. În scopul analizei diferitelor fenomene de nestaționaritate și extragerii caracteristicilor semnalelor ce fac obiectul analizei și diagnozei se va utiliza analiza timp-frecvență, combinată cu alte proceduri de modelare parametrică și de detecție (posibil subiect propunere de brevetare).
- S-a realizat formularea teoretică și algoritmică a problemelor de detecție și diagnoză – CDD, care asigură cadrul general de dezvoltare a unor aplicații în domeniu.
- În ceea ce privește detecția schimbărilor în valoarea medie a unui semnal, pe lângă testele de bază, ce utilizează raportul de verosimilitate, au fost prezentate diferite moduri de utilizare și proprietățile acestora, în cazul secvențial și nesecvențial, în paralel cu introducerea altor tipuri de detectoare ce se remarcă prin modul simplu de utilizare (filtrele derivate, detectorul Shiryayev, detectorul cusum Hines).
- Detecția schimbărilor în semnale, ca element esențial în procedurile de monitorizare a mașinilor și utilajelor tehnologice, face uz de modele parametrice (AR și ARMA), în scopul discriminării caracteristicilor semnalului, înainte și după producerea schimbării. Prezenta etapă

---

<sup>2</sup> <http://www.etc.ugal.ro/VIBROCHANGE/vibrochange.php>

a vizat analiza principalelor metode și tehnici din literatură în acest domeniu: tehnici ce fac apel la suma cumulată a inovațiilor, tehnici de tip Bayes, verosimilitate maximă, selectarea ordinului modelului, diferite forme pătrate, informația Kullback, “distanța” cepstrală, precum și la alte măsuri ale acestei “distanțe”, care vor constitui baza dezvoltării de noi metode și tehnici care să fie implementate în cadrul bibliotecii de programe CDD și modelului experimental.

- Problema detecției schimbărilor în sistemele dinamice, care se bucură de un spațiu larg în raportul de cercetare, reprezintă o extensie a problemei detecției schimbărilor în semnale, și pe lângă o prezentare a metodelor și tehnicilor existente, în raport se fac diferite conexiuni între acestea, cu luarea în considerare a unor euristici de diagnosticare și a unor metode specifice de extragere a caracteristicilor semnalelor de vibrație, ce conduc la creșterea robusteții acestei categorii de metode și tehnici. Se face uz atât de modele de stare cât și de modele intrare-ieșire ale sistemului. În primul caz, se utilizează tehnici bazate pe redundanța informației, modele multiple și calculul inovațiilor, asociat cu teste de centrare și independență a acestora (SPRT, GLR). În cel de al doilea caz, se dezvoltă mai multe statistici de test în domeniul timp și frecvență, pentru modele de tip ARMAX, abordarea în domeniul frecvență fiind caracterizată prin asigurarea robusteții procedurii de detecție la dinamica nemodelată a sistemului, sau la efectul perturbațiilor. De asemenea, se prezintă o procedură de detecție a schimbărilor în caracteristicile modale ale sistemelor mecanice, de mare utilitate în cadrul sistemelor de monitorizare a acestora. Accentul, în cadrul acestui capitol, este pus pe problemele de detecție a schimbărilor în dinamica semnalelor sau sistemelor, deși se fac unele referiri și la modul în care informația obținută poate fi utilizată în scopuri de diagnoză. Abordarea propusă oferă un cadru solid pentru monitorizarea proceselor și instalațiilor tehnologice, dar nu o procedură complet automată de monitorizare a acestora.
- În unele cazuri, efectul unei schimbări în dinamica sistemului asupra variabilelor observate este direct și simplu, situație în care efortul de detecție a unei schimbări se concentrează asupra stabilirii unei reguli de decizie. În alte situații, efectul unei astfel de schimbări se manifestă într-un mod mult mai complex (indirect). În acest ultim caz, apar, de regulă, două probleme: (1) prelucrarea semnalelor observate în scopul accentuării și simplificării efectului schimbării și (2) definirea unor statistici și reguli de decizie în termenii ieșirilor prelucrate. Prima problemă reprezintă o direcție importantă în dezvoltarea unor metode de detecție robuste la elementele de incertitudine ale dinamicii modelelor utilizate. Prezenta cercetare scoate în evidență aceste aspecte și furnizează atât metode directe, rezultate prin prelucrarea directă a semnalelor din proces, cât și metode indirecte, bazate pe transformări, atât pentru detecție cât și pentru diagnoză.
- Dat fiind interesul crescut, în unele cazuri, pentru detecție și diagnoză utilizând tehnici inteligente de recunoaștere, inclusiv în cazurile în care informația este asigurată de semnale vibroacustice, cercetarea include mai mulți algoritmi CDD din această categorie. Utilitatea acestei categorii de algoritmi se dovedește în special în cazul în care nu se dispune de modele analitice exacte, și se face uz de modele bazate pe cunoștințe, modele fuzzy sau modele neurale, în general modele rezultate din procese de instruire (învățare). În plus, rețelele neurale pot fi folosite la clasificarea reziduurilor, iar logica fuzzy poate fi folosită la luarea deciziei.
- Au fost identificate mai multe metode avansate ce pot fi folosite în problemele CDD. Astfel, se propun algoritmii genetici ce pot fi folosiți în cadrul mai larg al unei probleme de optimizare, și pentru rezolvarea unor sub-probleme din cadrul CDD. Metodele bazate pe reprezentări rare (sparse) permit dezvoltarea de noi abordări și vin să completeze metodele clasice prezentate, prin furnizarea unor soluții în cazul semnalelor tranzitorii, sau a celor care apar cu intermitență.

- Din analiza efectuată a rezultat faptul că există un interes sporit în folosirea unor surse diferite de semnal (vibrații, acustice și ultraacustice) în elaborarea unor soluții pentru CDD. Raportul de cercetare abordează această problemă și prezintă mai multe soluții care vor face obiectul etapelor viitoare, inclusiv al implementării în cadrul modelului experimental.

## 2. Descrierea științifică și tehnică

În continuare se descriu, detaliat, obiectivele și rezultatele fiecărui capitol din Raportul de cercetare.

**Capitolul 1, Introducere**, prezintă obiectivele proiectului, obiectivele etapei, rezumatul etapei, descrie activitățile desfășurate în cadrul etapei și principalele rezultate obținute în cadrul cercetării, în această etapă.

**Capitolul 2, Analiza sistemelor de monitorizare a proceselor vibratorii – metode și algoritmi bazați pe model**, are ca obiectiv prezentarea unei abordări generale de monitorizare a proceselor și instalațiilor industriale în scopul întreținerii condiționale a acestora. Se prezintă diferite abordări de detecție și diagnoză, cu și fără model, unele extensii ce fac apel la modelele de tip rețele neurale sau wavelet, precum și la modele dinamice hibride numerice/simbolice.

Rezultatele obținute au facilitat elaborarea unei abordări generale de supraveghere/diagnoză pentru o clasă largă de modele, care permite stabilirea unei concepții sistematice pentru algoritmi necesari, cu plecare de la structura modelului sistemului (mașină, structură mecanică complexă, proces industrial supravegheat, etc.). Aceasta implică trei etape principale: separarea “oarbă” a surselor, extragerea caracteristicilor și detecția schimbărilor, așa cum se prezintă în Fig. 1.

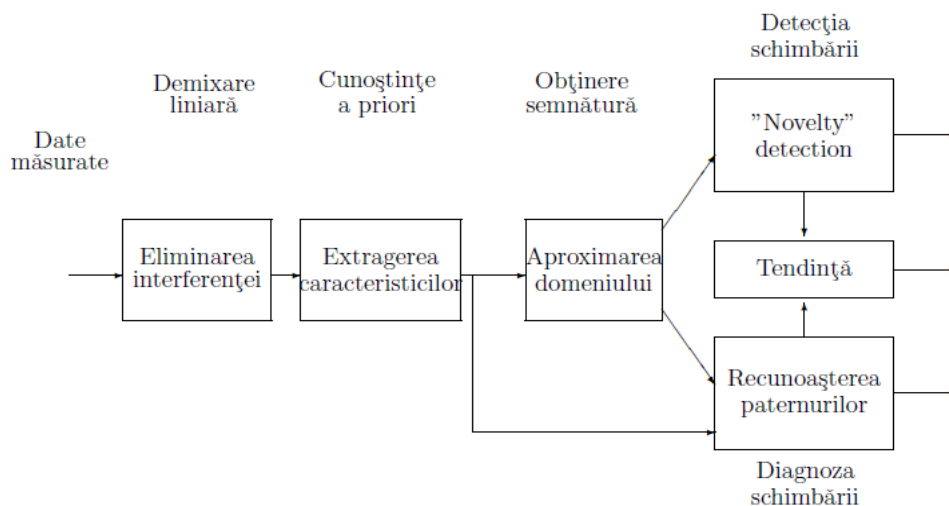


Figura 1. Principalele etape în monitorizare stării de „sănătate” a unei mașini sau utilaj tehnologic

Procedura generală de supraveghere face apel la tehnicile avansate de prelucrare a semnalelor multi-senzor și include următoarele etape: achiziție semnătură, supraveghere, diagnoză și poziționare senzori (vezi Fig. 2).

O posibilă schemă de organizare a software-ului asociat acestei proceduri se prezintă în Fig. 3. Aceasta include mai multe module ce sunt descrise succint în continuare.



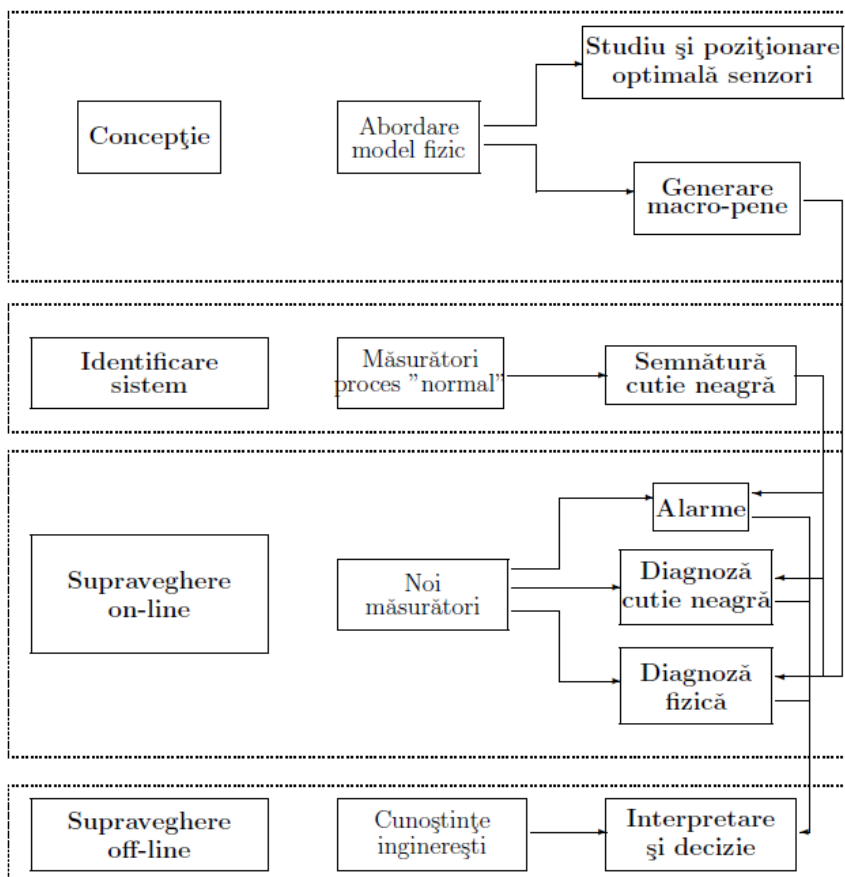


Figura 2: Schema generală a procedurii de supraveghere

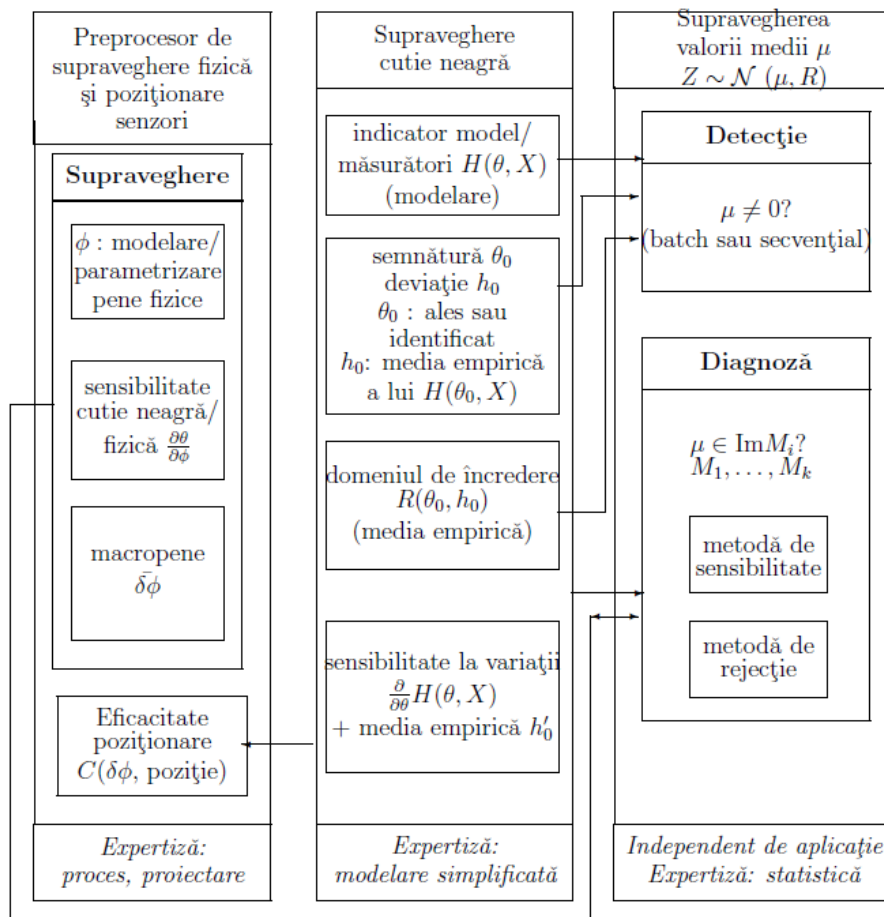


Figura 3: Organizarea instrumentului software pentru detecție și diagnoză

- Modulul de supraveghere a valorii medii a unei variabile gaussiene este complet independent de aplicație, iar expertiza corespunzătoare este concentrată integral pe statistica matematică. Pentru alarma globală se pot utiliza mai mulți detectori de schimbare a valorii medii. Pentru diagnoză - sau supravegherea anumitor componente ale vectorului medie - sunt disponibile mai multe metode. Toate aceste teste implică calculul unei forme pătratice, cu evitarea unor probleme de natură numerică.
- Modulul de supraveghere cutie-neagră presupune concentrarea expertizei pe modelarea simplificată a instalației de supraveghere. Acest modul de supraveghere poate face uz de diverși algoritmi de identificare, on-line sau off-line, ce pot depinde sau nu de indicatorul de "distanță"  $H(\theta, X)$ , unde  $\theta$  este semnătura și  $X$  reprezintă măsurătorile. Restul modulului este independent de alegerea acestui indicator. Ieșirile acestui modul servesc ca intrări pentru modulul de supraveghere a valorii medii.
- Preprocesorul de supraveghere fizică și poziționare a senzorilor face apel la expertiza referitoare la cunoștințele a priori privind procesul și proiectarea sa. Punctul cheie îl constituie buna alegere a procedurii de modelare și a parametrizării fizice  $\Phi$ , în termenii în care se dorește a se face diagnoza. Calculul sensibilităților, în cazul modelării de tip cutie-neagră sau al modelării fizice, depinde în general de parametrizare; acesta servește ca intrare în modulul de supraveghere a valorii medii. Modulul de agregare statistică servind la generarea macro-penelor este independent de parametrizare, și chiar de aplicație.

**Capitolul 3, Analiza soluțiilor adoptate în monitorizarea proceselor vibratorii pentru mașini și utiliaje industriale**, prezintă mai multe soluții adoptate în monitorizarea stării de "sănătate" a mașinilor și utilajelor industriale, pe baza măsurătorilor vibrațiilor. Într-o primă etapă, s-a făcut o trecere în revistă a principalelor caracteristici ale proceselor vibroacustice, specifice mașinilor rotative, și au fost evidențiate principalele componente ale acestora, care pot fi sediul producerii unor incidente sau defecțiuni în funcționare.

În cazul monitorizării mașinilor rotative (dar și a celor complementare) se dorește determinarea unei "semnături" a acestora care să nu fie afectată de zgomotul de interferență, generat de mașinile funcționând în vecinătate, sau de mediu. S-a utilizat diversitatea spațială și redundanța în măsurătorile multicanal ale vibrațiilor mașinii, pentru a separa "semnătura" mașinii de monitorizat de zgomotele perturbatoare.

Pe baza analizei proceselor de mixare, care au loc în structurile mecanice și în propagarea vibrațiilor, se poate remarca faptul că în funcționarea mașinilor rotative sunt prezente atât mixări instantanee cât și mixări convolutive, care pot fi separate cu tehnicele specifice Analizei Componentelor Independente (ICA), ca principal instrument al separării "oarbe" a surselor (BSS).

Au fost trecute în revistă mai multe metode de extragere a caracteristicilor semnalelor de vibrație, ce utilizează modelarea parametrică, analiza spectrală, analiza unor fenomene neliniare și nestaționare.

Detecția nestaționarității poate fi făcută prin măsurarea răspunsului sistemului la diferite excitații sau utilizând statistici de ordin superior și spectre ale măsurătorilor. O formă particulară de nestaționaritate, ciclostacionaritatea, poate fi observată în cadrul mașinilor rotative, în special în funcționarea rulmenților din lagăre și cutiilor de viteze. Dacă frecvența ciclică proprie este cunoscută, pot fi obținute informații care urmează a fi utilizate în scopuri de diagnosticare. Fenomenele de nestaționaritate pot fi detectate cu analiza timp-frecvență.

**Capitolul 4, Formularea teoretică și algoritmică a problemelor de detecție și diagnoză - CDD**, face o trecere în revistă a concepției algoritmice și a fundamentelor teoretice care stau la baza metodelor de detecție și diagnoză a proceselor și instalațiilor tehnologice, elaborate la începutul anilor 2000, și utilizate în multe dintre aplicațiile din domeniul supravegherii mașinilor și utilajelor tehnologice. Sunt prezentate principalele componente care apar într-o problemă de monitorizare: modelarea sistemului, indicatorul semnătură/măsurători, identificarea sau achiziția semnăturii, supravegherea, diagnoza și poziționarea senzorilor.

**Capitolul 5, Metode și algoritmi de detecție și diagnoză bazați pe model – Abordarea cantitativă**, este axat pe prezentarea conceptuală a principalelor metode și algoritmi de detecție bazați pe model – abordarea cantitativă.

Materialul este structurat pe trei secțiuni principale ce tratează detecția schimbărilor în valoarea medie a unui semnal, utilizată în abordarea locală, detecția schimbărilor în semnale și detecția schimbărilor în sistemele dinamice.

În ceea ce privește detecția schimbărilor în valoarea medie a unui semnal sunt prezentate mai multe teste de bază, ce fac uz de raportul de verosimilitate, proprietățile acestora, precum și alte trei tipuri de detectoare: de tip filtre derivative, detectorul Shiryaev și detectorul propus de Hines. Detecția schimbărilor în semnale face uz de modele parametrice (AR și ARMA), utilizate pentru discriminarea caracteristicilor semnalului, înainte și după producerea schimbării. În acest scop se prezintă mai multe tehnici ce fac apel la suma cumulată a inovațiilor, tehnici de tip Bayes, verosimilitate maximă, selectarea ordinului modelului, diferite forme pătratice, informația Kullback, “distanța” cepstrală, precum și la alte măsuri ale acestei “distanțe”.

Abordările prezentate, privind detecția schimbărilor în sistemele dinamice, fac uz de modele de stare, sau de modele intrare-ieșire ale sistemului. În primul caz se utilizează tehnici bazate pe redundanța informației, modele multiple și calculul inovațiilor, asociat cu teste de centrare și independență a acestora (SPRT, GLR). În cel de al doilea caz, se dezvoltă mai multe statistici de test în domeniul timp și frecvență, pentru modele de tip ARMAX, abordarea în domeniul frecvență fiind caracterizată de asigurarea robusteții procedurii de detecție la dinamica nemodelată a sistemului, sau la efectul perturbațiilor. De asemenea, se prezintă o procedură de detecție a schimbărilor în caracteristicile modale ale sistemelor mecanice, de mare utilitate în monitorizarea acestora.

Accentul, în cadrul acestui capitol, este pus pe problemele de detecție a schimbărilor în dinamica semnalelor sau sistemelor, deși se fac unele referiri și la modul în care informația obținută poate fi utilizată în scopuri de diagnoză. Abordarea propusă oferă un cadru solid pentru monitorizarea proceselor și instalațiilor tehnologice, dar nu o procedură complet automată de monitorizare a acestora.

**Capitolul 6, Metode mixte și algoritmi pentru detecție și diagnoză – Abordarea calitativă**, prezintă metodele pentru CDD din punctul de vedere al semnalelor generate de proces, cu toate etapele necesare legate de modelarea acestora și, apoi, compararea datelor măsurate cu cele generate de model. S-a evidențiat existența celei de a doua categorii de metode pentru problemele de detecție și diagnoză a schimbării, și anume metodele bazate pe prelucrarea semnalelor din proces pe bază de model. În această abordare, procesul este cunoscut prin semnalele efect (în principal, vibrațiile mecanice) iar metodele pentru CDD folosesc modele și transformări ale semnalelor generate de procesul studiat.

S-a evidențiat existența metodelor directe, prin prelucrarea directă a semnalelor din proces, dar și a metodelor indirecte, bazate pe transformări, atât în detecție cât și în diagnoză, așa cum se

prezintă în Fig. 4. Prin prelucrări primare se înțeleg prelucrările efectuate direct asupra semnalelor achiziționate, cum sunt filtrarea, calculul unor medii sau parametri statistici, sau estimarea unor parametri ai modelelor. În spațiile transformate, semnalele fizice pot să-și piardă semnificația fizică însă pot oferi informații mai bune despre starea procesului generator. Astfel de transformări sunt transformările timp-frecvență sau transformările entropice.

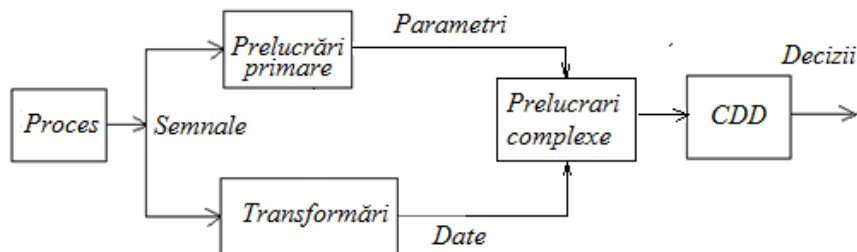


Figura 4: Metode directe vs indirecte pentru CDD

Metodele investigate se referă la: (1) recunoașterea formelor; (2) prelucrarea statistică a semnalelor; (3) transformări de semnal; (4) metode ce folosesc algoritmi genetici, ca metode de bază sau auxiliare (ajutătoare); (5) metode bazate pe sisteme inteligente (neuro-fuzzy); (6) metode bazate pe reprezentări rare (*sparse computing*).

Se constată că există un interes crescând pentru detecția schimbării și diagnoza defectelor, prin tehnici de recunoaștere, inclusiv în cazurile în care informația relevantă este generată de semnale vibroacustice. În afară de lucrările clasice, mai vechi, care includ formulări mai generale, se constată multe lucrări foarte recente, unele cu abordări promițătoare, care merită să fie considerate și utilizate în etapele următoare ale proiectului.

Câteva observații privitoare la specificul metodelor de recunoaștere, aplicate în contextul monitorizării mașinilor și utilajelor industriale:

1. Clasificarea dorită în mai toate cazurile este cea supervizată, pentru că atribuie vectorii observați la clase cu semnificație cunoscută. Existența expertului nu este o problemă, este suficientă asocierea vectorilor cu defectul care s-a manifestat în momentul observației.
2. Metodele cu instruire supervizată au aplicabilitate limitată în clasele de probleme în care nu se pot culege date de la utilaje defecte (când defectarea survine brusc, neașteptat și nu permite funcționarea în regim de avarie). Acolo sunt utile metodele din afara recunoașterii, bazate pe model, sau metodele de grupare nesupervizată, care doar sesizează anomaliiile, fără a recunoaște tipul defectului.
3. Dacă este disponibilă o metodă care să acționeze prin model parametric – este preferabilă, pentru că oferă timp de răspuns bun și necesar mic de memorie. Metoda neparametrică rămâne utilizabilă acolo unde nu există metodă bazată pe model sau modelul este complicat și nemanevrabil prin mijloace simple.
4. Instruirea, în cazul metodelor parametrice, necesită un volum mare al setului de instruire și calcule destul de complexe. Din fericire, aceste calcule se fac în etapa de proiectare a clasificatorului. În etapa de exploatare, durata calculelor pentru clasificatori parametrice este mult mai mică decât pentru cei neparametrici.
5. Chiar dacă clasificarea propriu-zisă este realizată cu rețele neurale sau fuzzy, metodele clasice de analiză a structurii datelor și de evaluare a puterii de discriminare sunt necesare pentru selectarea trăsăturilor din vectorul de recunoscut.

Metodele statistice sunt metode directe și sunt folosite atât pentru calculul unor mărimi statistice, precum momentele statistice de diverse ordine, cât și pentru teste statistice, în cadrul problemei de detecție (în cazul binar, există sau nu defect) dar și în cazul problemei de diagnoză (cazul multiplu, legat de estimarea stării defect).

S-au prezentat soluții pentru analiza timp-frecvență: transformata Fourier în timp scurt (STFT), distribuția Wigner-Ville (WV), distribuția Choi-Williams (CW) și transformata wavelet. Fiecare dintre acestea optimizează anumite variabile, cum sunt rezoluția în frecvență sau reducerea termenilor intermediari. Alegerea unei distribuții pentru o analiză timp-frecvență este rezultatul unui compromis între artefacte (termeni intermediari, nedoriți și perturbatori) și rezoluția în frecvență a aplicației de interes. Trăsături aparte de localizare, în timp și în frecvență, le are transformata wavelet. Funcțiile wavelet (undinele) continue sunt mai bune pentru analiza timp-frecvență. Undinele discrete sunt mai indicate pentru descompunere, compresie și selecția trăsăturilor.

Algoritmii genetici pot fi folosiți în cadrul mai larg al unei probleme de optimizare, și ca subproblema în cadrul CDD. De asemenea, s-a evidențiat posibilitatea folosirii unor circuite FPGA (Field-Programmable Gate Array) pentru implementarea eficientă a metodelor ce folosesc algoritmi genetici.

Metodele bazate pe sisteme inteligente sunt prezente din ce în ce mai mult în practica CDD. Există mai multe rațiuni legate atât de aspectele de învățare și generalizare, cât – mai ales – de apropierea reprezentării rezultatelor de forma folosită curent în exploatarea utilajelor, folosind logica fuzzy. În domeniul detecției și diagnozei proceselor vibratorii, metodele bazate pe inteligență artificială utilizează diverse tehnici de estimare, clasificare și identificare, folosind semnalele acustice și de vibrații, achiziționate de la sistemul diagnosticat. Metodele neuro-fuzzy, utilizate ca atare sau combinate cu metodele clasice, pot fi împărțite în trei mari categorii: cele bazate pe logică fuzzy, pe rețele neurale și tehnici hibride neuro-fuzzy.

Metodele bazate pe reprezentări rare (sparse) vin să acopere și să completeze metodele clasice prezentate, prin oferirea unor soluții eficiente pentru semnalele tranzitorii sau care apar cu intermitență. Soluțiile posibile pentru detectarea schimbărilor în semnale constau în modelarea condițiilor staționare, ca fiind reprezentări rare în raport cu un dicționar fix, dar necunoscut. Schimbările intervenite în procese sunt astfel detectate prin apariția schimbărilor în reprezentările rare estimate ale semnalelor observate.

**Capitolul 7, Analiza semnalelor infra și ultra-acustice generate de procesele vibratorii**, abordează o direcție exploratorie<sup>3</sup>, legată de folosirea altor două surse de semnal, specifice proceselor mecanice vibratorii, sursele acustice și ultra-acustice. În final, cele trei surse de semnal, prelucrate corespunzător la un nivel superior, informațional, urmează a fi supuse unui proces de fuziune, în vederea luării deciziilor, așa cum se prezintă în Fig. 5.

Se pot evidenția următoarele sisteme: (1) un sistem clasic de măsurare a variabilelor de interes din proces, variabil ca număr de intrări și metode de măsurare, în funcție de procesul studiat (mărime fizică, acces măsurători, disponibilitate variabile, etc); (2) sistemul de prelucrare a semnalelor din proces, pe cele trei componente (vibrații, acustice și ultra-acustice); (3) sistemul de funcții pentru luarea deciziilor, inclusiv fuziunea primară a variabilelor măsurate anterior, în esență filtrare, scalare și memorare; (4) sistemul de prelucrare a informațiilor extrase din evaluarea funcțiilor de interes, inclusiv fuziune, în vederea luării deciziilor.

---

<sup>3</sup> Abordarea simultană a celor trei surse de semnal (vibrații, acustice și ultra-acustice) a fost evidențiată în propunerea de proiect. Din cauza reducerii la 50% a finanțării, a fost păstrată doar sursa de vibrații. Celelalte două surse (și, mai ales, combinarea informațiilor provenind de la toate sursele) vor fi considerate, în acest context, ca direcții de explorare.

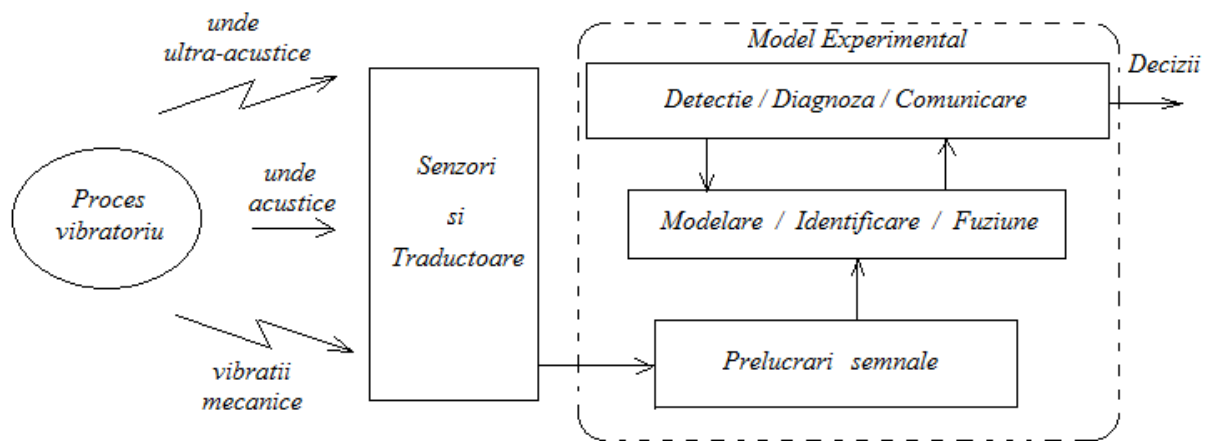


Figura 5 : Schema generală de agregare și fuziune a surselor de informație

Analiza soluțiilor disponibile din domeniul monitorizării proceselor vibratorii, pentru detecția schimbărilor și diagnoză, utilizând cele trei tipuri de semnale, permite stabilirea următoarelor concluzii:

1. Fiecare proces are o comportare specifică, în ceea ce privește generarea de semnale care să facă obiectul analizei într-o problemă CDD. De obicei, unul dintre tipurile de semnale este predominant. De exemplu, procesele de frecare și – în general – cele mecanice de prelucrare la rece a metalelor - sunt generatoare importante de unde ultra-acustice; pentru mașinile electrice cu sarcina conectată prin intermediul arborelui, mărimea efect cea mai importantă este dată de semnalele de vibrații în diferite domenii de frecvență;
2. În funcție de proces sau de regimul procesului studiat, utilizarea benzilor de frecvență, fixe sau variabile, oferă o soluție mai bună decât prelucrarea întregului spectru, la un moment dat;
3. Puține sunt cazurile în care procesele vibratorii acceptă montarea permanentă a unor sisteme de măsurare a tuturor celor trei surse (vibrații, acustice și ultra-acustice); vor trebui găsite sisteme flexibile și adaptive de măsurare, care să folosească la maxim capacitatea transformărilor de semnal disponibile (de exemplu, transformările timp-frecvență și reprezentările spațiu-timp);
4. Senzorii de vibrații trebuie montați în mod rigid pe mașina sau utilajul ce face obiectul monitorizării, în timp ce senzorii pentru celelalte două surse, acustice și ultra-acustice, sunt montați în apropierea procesului pentru „ascultarea” (monitorizarea) acestuia. În plus, traductoarele ultra-acustice trebuie montate în imediata vecinătate a surselor de ultrasunete (distanțe maxime de 0.5 m pentru domeniul de frecvențe de 100-200 kHz) din cauza atenuărilor în aer.

**Capitolul 8, Analiza structurii, funcțiilor și performanțelor sistemelor (hard+soft) comerciale pentru CDD**, face o analiză a funcțiilor și resurselor necesare pentru realizarea echipamentelor comerciale utilizate pentru rezolvarea problemei CDD, folosind analiza semnalelor de vibrație. Se face o trecere în revistă a proprietăților de bază ale echipamentelor disponibile, produse de firme de prestigiu, pentru rezolvarea problemei CDD. Echipamentele sunt evaluate din puncte de vedere informatic, al software-ului disponibil și necesar, pentru realizarea funcțiilor necesare în cadrul analizei. Un spațiu distinct este alocat resurselor hardware de procesare a semnalelor, iar partea specifică măsurătorilor este prezentată în Anexa raportului original.

**Capitolul 9, Selecția metodelor, proceselor și componentelor sistemului CDD**, are în vedere selecția metodelor, proceselor și componentelor care fac obiectul monitorizării în cadrul unui sistem CDD, sub forma aplicabilității acestor metode, precum și sub forma unor aspecte practice privind monitorizarea proceselor vibratorii.

S-au prezentat aspecte privind aplicabilitatea metodelor de detecție și diagnoză (CDD) bazate pe model, în cadrul unor procese tehnice reale, ce includ și monitorizarea semnalelor acustice și de vibrație. Proprietățile acestor tehnici și metode, tipurile reale de defecțiuni sau pene, includerea lor în dinamica modelelor utilizate, precum și generarea simptomelor, reprezintă elemente cruciale în dezvoltarea unor astfel de aplicații. Subiectul discutat se referă și la selecția proceselor vibratorii și a componentelor investigate în procesul de monitorizare.

Din multitudinea de mașini și utilaje în funcționarea cărora apar fenomene de natură vibratorie, în cadrul funcționării normale sau anormale, categoria proceselor care includ mașini rotative este considerată ca fiind reprezentativă pentru analiza semnalelor de vibrație, ca obiect principal al prezentului proiect de cercetare-dezvoltare. Drept componente eligibile pentru experimentările din cadrul următoarelor etape ale proiectului vor fi avute în vedere anumite subsansamble ale acestor mașini. Astfel, se va avea în vedere monitorizarea funcționării cutiilor de viteze, a rulmenților în lagăre, sau a unor pompe hidraulice, etc. Aceste componente vor constitui parte integrantă a unor instalații pilot în cadrul testărilor ce vor fi efectuate la partenerul P2 – INCD în Mecatronica și Tehnica Măsurării București și la CO-Universitatea “Dunărea de Jos” Galați.

**Capitolul 10, Concluzii finale**, are în vedere principalele rezultate și recomandări obținute în cadrul **Etapei I** a proiectului. În ceea ce privește rezultatele obținute în cadrul etapei, acestea au făcut și obiectul Secțiunii 1.5 a prezentului raport, cu referire în special la principalele etape din cadrul procedurii de monitorizare, prezentată în Fig. 1.

În acest capitol sunt discutate aspecte privind extragerea trăsăturilor, mixarea și demixarea „orbnă”, concepția teoretică și algoritmică a problemelor de detecție și diagnoză, abordarea de detecție și diagnoză bazată pe model – CDD.

Cercetarea efectuată a permis formularea unor recomandări privind generalitatea abordării, extragerea trăsăturilor și dimensionalitatea, separarea surselor în practică și detecția schimbărilor, probleme care trebuie să fie în atenția proiectanților, dar și a utilizatorilor soluțiilor pentru CDD.

Concluzia ce se poate desprinde în urma cercetării este că abordarea propusă oferă un cadru solid pentru monitorizarea proceselor și instalațiilor tehnologice, dar nu o procedură complet automată de monitorizare a acestora.

**Anexa - Considerații practice referitoare la monitorizarea condiției utilajelor** se referă la unele aspecte privind sistemele de măsurare pentru monitorizarea stării de funcționare a mașinilor și utilajelor tehnologice, cu referire la traductoarele de vibrație.

### 3. Diseminare

Parte din rezultatele obținute în cadrul proiectului, încă de la elaborarea propunerii de ofertă în 2013, au fost publicate în cadrul unor reviste (2) și volume ale unor conferințe internaționale organizate de IEEE (5), astfel: patru în anul 2013 și trei în anul 2014. De asemenea, au fost elaborate două lucrări destinate prezentării și publicării în cadrul unor conferințe internaționale în anul 2015, și se are în vedere elaborarea în anul 2015 a unor propuneri de brevet pe tematica proiectului.

1. Theodor Dan Popescu, Signal Segmentation Using Changing Regression Models with Application in Seismic Engineering, *Digital Signal Processing*, Elsevier, Vol. 24, No. 1, 2014, pp. 14-26, ISSN: 1051-2004, DOI:10.1016/j.dsp.2013.09.03 (ISI Journal) – propusă pentru Premiarea rezultatelor cercetării – Articole 2014, UEFISCDI.
2. Dorel Aiordăchioaie, On Quick Change Detection in Finite State Spaces based on Sequential Decisions, *IEEE International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence, (ECAI-2014)*, Bucharest, 23-26 October, 2014, pp. 17-22. (Indexat IEEE Xplore).
3. Dorel Aiordăchioaie, On Quick-Change Detection based on Process Adaptive Modelling and Identification, *The 12th IEEE International Conference on Development and Application Systems DAS-2014*, Suceava, Romania, May 15-17, 2014, pp. 25-28. (Indexat IEEE Xplore).
4. Dorel Aiordăchioaie, On entropy-based measures for change detection, *The Annals of "Dunarea De Jos" University of Galati*, Fascicle III, 2013, 36(1), ISSN 1221-454x, Electrotechnics, Electronics, Automatic Control, Informatics, pp. 43-48. (Indexat BDI).
5. Dorel Aiordăchioaie and Mihaela Andrei, On Change Detection for Improved Reliability, *The 19-th IEEE International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME-2013)*, Galati, 24-27 octombrie 2013, pp.251-254. (Indexat IEEE Xplore)
6. Dorel Aiordăchioaie, Signal Segmentation Based on Direct Use of Statistical Moments and Renyi Entropy, *The 10th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO'13)*, 7-9 Noiembrie 2013, Istanbul, Turkey, pp. 359-362 (Indexat IEEE Xplore), (ISI Proceedings).
7. Dan Theodor Popescu and Aiordăchioaie Dorel, Signal Segmentation in Time-Frequency Plane using Renyi Entropy - Application in Seismic Signal Processing, *The 2nd International Conference on Control and Fault-Tolerant Systems, SysTol-2013*, October 9-11, 2013, Nice, France, pp. 312-317.(Indexat IEEE Xplore),(ISI Proceedings).

Lucrări elaborate și destinate prezentării și publicării în cadrul unor conferințe internaționale în anul 2015:

1. Th. D. Popescu, BSS-Based Fault Detection and Diagnosis of Rotating Machinery, propusă pentru *The 3rd International Conference on Advances in Computational Modeling and Simulation*, July 13-15, 2015, Kunming, China.
2. Th. D. Popescu, A New Statistical Approach for Discrimination of Model Parameter and Noise Variance Changes, propusă pentru *The 10th Asian Control Conference (ASCC 2015)*, 31 May – 3 June, 2015, Sabah, Malaysia.



S-au identificat o serie de concepte și structuri de prelucrare ce vor constitui propuneri de brevet. Acestea vor fi depuse la începutul anului 2015. Unul dintre acestea este:

“*Structura multi-sursă cu fuziune pentru detecția schimbării și diagnoză*”. Se achiziționează și se prelucrează surse de semnal din trei categorii de unde (semnale): unde mecanice, unde acustice și unde ultra-acustice. Prin prelucrări specifice bazate pe instruire, decizia finală privind detecția și diagnoza schimbării se face prin fuziunea informațiilor de la cele trei surse.

Tot în categoria de seminării, la sediul coordonatorului, în cadrul Departamentului de Electronică și Telecomunicații, sunt promovate o serie de seminarii științifice având ca problematică diverse metode pentru detecția schimbării și diagnoză. Programarea seminariilor în semestrul I, 2014/2015, se poate găsi la pagina departamentului <sup>4</sup>.

La aceste seminarii participă tinerii doctoranzi și cercetătorii post-doc din cadrul proiectului, dar și cadre didactice și cercetători din afara proiectului și a departamentului coordonator. Se poate exemplifica cu următoarele seminarii:

1. Metode de recunoaștere a formelor. Autor prof.dr.ing. Laurențiu Frangu.
2. Detecția schimbării. Abordări statistice. Autor prof.dr.ing. D. Aiordăchioaie.

În concluzie, ca urmare a rezultatelor obținute în cadrul etapei, care au făcut obiectul prezentului Raport Științific și Tehnic (RST), se poate considera că **obiectivele generale și specifice ale Etapei I a proiectului VIBROCHANGE au fost îndeplinite în totalitate.** Această etapă a fost necesară pentru analiza modelelor și algoritmilor, precum și a altor aspecte specifice abordării CDD, care urmează a fi dezvoltate și implementate în cadrul următoarelor etape ale proiectului.

Cercetările vor fi continuate în anul 2015 cu activitățile planificate în Planul de realizare al proiectului și în concordanță cu cerințele Autorității contractante.

Galați, 02.12.2014

Manager proiect,

Prof. Dr. Ing D. Aiordăchioaie

---

<sup>4</sup> [http://www.etc.ugal.ro/news/Seminarii\\_sem\\_I\\_2014\\_2015\\_v1.pdf](http://www.etc.ugal.ro/news/Seminarii_sem_I_2014_2015_v1.pdf)

## Anexa 1- Cuprinsul Raportului de Cercetare (250 pagini) / Etapa I

<b>Cap. 1</b>	<b>Introducere</b>	<b>7</b>
	1.1. Obiectivele proiectului	7
	1.2. Obiectivele Etapei I	7
	1.3. Rezumatul Etapei I	8
	1.4. Descrierea activităților	9
	1.5. Rezultate	10
<b>Cap. 2</b>	<b>Analiza sistemelor de monitorizare a proceselor vibratorii – metode și algoritmi bazați pe model</b>	<b>13</b>
	2.1. Preliminarii	13
	2.2. Abordări privind detecția și diagnoza	17
	2.2.1. Abordări de detecție și diagnoză fără model	17
	2.2.2. Abordări de detecție și diagnoză bazate pe model	18
	2.3. Principii generale de monitorizare	20
	2.3.1. Formularea problemei	20
	2.3.2. Abordarea generală de monitorizare	24
	2.3.3. Extensii	30
	2.3.4. Software	30
	2.4. Concluzii	32
	Bibliografie	33
<b>Cap. 3.</b>	<b>Analiza soluțiilor adoptate în monitorizarea proceselor vibratorii pentru mașini și utiliaje industriale</b>	<b>35</b>
	3.1. Procese vibroacustice în mașini	35
	3.1.1. Mașini rotative	35
	3.1.2. Transmisia vibrațiilor sursă	36
	3.1.3. Vibrațiile rulmenților și ale cutiilor de viteze	38
	3.1.4. Uzura mașinii și apariția stării de avarie	42
	3.2. Separarea „oarbă” a surselor de vibrație	43
	3.2.1. Modelul de mixare	43
	3.2.2. Algoritmi de separare	44
	3.2.3. Separarea surselor de vibrație	45
	3.3. Extragerea caracteristicilor semnalelor de vibrație	46
	3.3.1. Identificarea sistemelor mecanice	47
	3.3.2. Modelul frecvențelor echidistante	49
	3.3.3. Analiza spectrului	51
	3.3.4. Neliniarități în mașini	54
	3.3.5. Analiza semnalelor nestaționare	55
	3.4. Sisteme expert de diagnosticare	57
	3.4.1. Euristică de diagnosticare	57
	3.4.2. Limitele sistemelor expert	58
	3.5. Concluzii	59
	Bibliografie	61
<b>Cap. 4</b>	<b>Formularea teoretică și algoritmică a problemelor de detecție și diagnoză - CDD</b>	<b>65</b>
	4.1. Preliminarii	65
	4.2. Identificarea	67
	4.3. Supravegherea și detecția: probleme și instrumente	69
	4.3.1. Validarea modelului și detecția schimbării	69
	4.3.2. Raportul de verosimilitate și versiunea sa locală	70
	4.3.3. Metoda locală propusă	72
	4.4. Detecția și diagnoza: interpretarea instrumentelor propuse	74
	4.4.1. Avertizarea globală	74
	4.4.2. Diagnoza	75
	4.5. Supravegherea și detecția: avertizarea globală	76
	4.5.1. Două teste posibile pentru avertizarea globală	76
	4.5.2. Metoda de calcul	78
	4.6. Diagnoza: algoritmi	79
	4.6.1. Metoda de sensibilitate	80
	4.6.2. Metoda min-max	81

	4.6.3. Algoritmi de diagnoză	82
	4.7. Poziționarea senzorilor	85
	4.8. Concluzii	85
	Bibliografie	86
<b>Cap. 5</b>	<b>Metode și algoritmi de detecție și diagnoză bazați pe model – Abordarea cantitativă</b>	<b>87</b>
	5.1. Preliminarii	87
	5.2. Detecția schimbărilor în valoarea medie	88
	5.2.1. Formularea problemei	88
	5.2.2. Teste de bază	89
	5.2.3. Alte tipuri de detectoare	92
	5.3. Detecția schimbărilor în semnale	94
	5.3.1. Instrumente generale	94
	5.3.2. Tehnici bazate pe suma cumulată a inovațiilor	95
	5.3.3. Tehnici de tip Bayes sau de verosimilitate	99
	5.3.4. Tehnici bazate pe selectarea ordinului modelului	100
	5.3.5. Tehnici bazate pe forme pătratice	101
	5.3.6. Tehnici bazate pe informația Kullback	104
	5.3.7. Tehnici bazate pe „distanța” cepstrală	111
	5.3.8. Tehnici bazate pe alte măsuri ale „distanței” dintre modele	112
	5.4. Detecția schimbărilor în sistemele dinamice	119
	5.4.1. Abordări	119
	5.4.2. Tehnici bazate pe redundanța informației	119
	5.4.3. Tehnici bazate pe model multiple	120
	5.4.4. Tehnici bazate pe inovații	124
	5.4.5. Tehnici bazate pe modele intrare-ieșire	129
	5.4.6. Tehnici robuste în domeniul frecvență	134
	5.4.7. Tehnici de detecție în caracteristicile modale	139
	5.5. Concluzii	143
	Bibliografie	145
<b>Cap. 6</b>	<b>Metode mixte și algoritmi pentru detecție și diagnoză – Abordarea calitativă</b>	<b>150</b>
	6.1. Preliminarii	150
	6.2. Metode de diagnoză bazate pe recunoașterea formelor	152
	6.3. Metode de detecție bazate pe prelucrarea statistică a semnalelor	159
	6.3.1. Introducere	159
	6.3.2. Detecția bazată pe estimarea momentelor statistice	161
	6.3.3. Testarea ipotezelor statistice: praguri fixe	163
	6.3.4. Testarea ipotezelor statistice: raport și praguri variabile	166
	6.4. Detecția schimbării folosind transformări de semnal	169
	6.4.1. Metode folosind transformări entropice	169
	6.4.2. Metode folosind analiza (transformări) timp-frecvență	171
	6.4.3. Extragerea trăsăturilor	172
	6.4.4. Exemple de aplicații	174
	6.5. Metode cu algoritmi genetici	175
	6.5.1. Paradigma calculului evoluționist și algoritmi genetici	175
	6.5.2. Concepția algoritmului genetic	176
	6.5.3. Studiul posibilităților de implementare în circuite FPGA	177
	6.6. Metode bazate pe sisteme inteligente ( <i>neuro-fuzzy</i> )	178
	6.7. Metode și algoritmi bazați pe măsurători rare ( <i>sparse computing</i> )	179
	6.7.1. Reprezentări rare	180
	6.7.2. Basis pursuit și detecția schimbărilor	181
	6.7.3. Detecția schimbărilor cu LASSO	182
	6.7.4. Filtrarea tendinței normei $l_1$	182
	6.8. Concluzii	183
	Bibliografie	183
<b>Cap. 7</b>	<b>Analiza semnalelor infra și ultra-acustice generate de procesele vibratorii</b>	<b>188</b>
	7.1. Preliminarii	188
	7.2. Semnale acustice și ultraacustice (ultrasonore)	188
	7.3. Sisteme și structuri de agregare a informațiilor	189

	7.4. Concluzii	189
	Bibliografie	190
<b>Cap. 8</b>	<b>Analiza structurii, funcțiilor și performanțelor sistemelor (hard+soft) comerciale pentru CDD</b>	<b>193</b>
	8.1. Preliminarii	193
	8.2. Analiza funcțiilor	195
	8.3. Structura hardware a sistemelor comerciale	195
	8.4. Structura informatică a sistemelor comerciale	198
	8.5. Soluții și echipamente comerciale	199
	8.5.1. Soluția prezentată de compania SPM Instrument Int. GMBH	199
	8.5.2. Soluția prezentată de compania Emerson Process Management	211
	8.5.3. Monitorizarea regimului de funcționare a pompelor (Sterling SIHI GmbH)	214
	8.5.4. Monitorizarea online a vibrațiilor cu sisteme Delphin Technology	215
	8.5.5. Sistem on-line de măsurare parametri procese – TopMassage fabricate de Femaris SRL Romania	217
	8.5.6. Sistem on-line de măsurare ProfiMassage fabricate de Femaris SRL Romania	218
	8.5.7. Software pentru monitorizare - Femaris SRL Romania	220
	8.5.8. Monitorizarea online a vibrațiilor cu sisteme Energocontrol Polonia	221
	8.5.9. Sistem on-line de măsurare vibrații și zgomote - Spider 80 fabricate de Crystal Instruments SUA	221
	8.6. Aspecte privind modelarea și identificarea proceselor	222
	8.6.1. Modele	222
	8.6.2. Abordarea numerică	224
	8.6.3. Abordarea simbolică	226
	8.6.4. Complementaritatea celor două tipuri de abordări	228
	8.7. Extragerea și evaluarea funcțiilor sistemelor comerciale	229
	8.8. Concluzii	232
	Bibliografie	232
<b>Cap. 9.</b>	<b>Selecția metodelor, proceselor și componentelor sistemului CDD</b>	<b>233</b>
	9.1. Preliminarii	233
	9.2. Aspecte privind aplicabilitatea metodelor CDD bazate pe model	234
	9.2.1. Ipoteze privind aplicabilitatea metodelor CDD	234
	9.2.2. Modelarea penei	236
	9.2.3. Adecvanța metodelor de detecție bazate pe model	237
	9.2.4. Integrarea diferitelor metode de detecție	238
	9.3. Aspecte practice privind monitorizarea proceselor vibraționale	239
	9.3.1. Monitorizarea proceselor vibraționale	239
	9.3.2. Etapele monitorizării vibrațiilor	240
	9.4. Concluzii	241
	Bibliografie	242
<b>Cap. 10</b>	<b>Concluzii finale</b>	<b>243</b>
	10.1. Principalele rezultate	243
	10.2. Recomandări	245
	10.3. Diseminare rezultate	246
<b>Anexa</b>	<b>Considerații practice referitoare la monitorizarea condiției utilajelor</b>	<b>248</b>