

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

**SECȚIUNEA 1**

**RAPORTUL ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC (RST) /  
scurt (20 pagini)**

<b>Etapa de execuție:</b>	IV
<b>Titlul etapei:</b>	Experimentări pentru evaluarea modelului experimental
<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>	30.09.2017

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<sup>1</sup>

(Sinteza 20 pagini)<sup>2</sup>

## Cuprins

1. Rezumatul etapei
2. Rezultatele etapei
3. Descrierea științifică și tehnică
4. Gradul de realizare a obiectivelor
5. Modul de diseminare a rezultatelor
6. Concluziile etapei

## 1. Rezumatul etapei

### 1.1. Cadrul 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 mașinilor și utilajelor industriale.

Proiectul își propune să dezvolte metode noi, originale și competitive internațional, care să ofere soluții la rezolvarea problemelor CDD pentru procese vibratorii. Acestea vor fi testate atât prin simulare, cât și pe module hardware în modul de lucru on-line, utilizând date reale.

Primul produs este o bibliotecă de programe, de tip Toolbox Matlab (VIBROTOOL), care implementează algoritmi pentru CDD (unii originali, brevetabili, dar și unii existenți, optimizați în cadrul proiectului), utilizând tehnici clasice, dar și tehnici noi, bazate pe analiza multirezoluție, soft computing și fuziunea informației. Produsul constituie o referință pentru rezolvarea problemei CDD și permite evaluarea și raportarea performanțelor algoritmilor noi, dezvoltată în cadrul proiectului, la cei cunoscuți.

Al doilea produs este un sistem hardware experimental, utilizat în monitorizarea unor procese pilot, în condiții de laborator, și a unor componente din procese industriale, prin implementarea și testarea anumitor componente din VIBROTOOL. Modulul fizic permite verificarea algoritmilor în condiții reale de exploatare și constituie baza pentru lansarea comercială a produselor pentru CDD. Cele două componente menționate, VIBROTOOL și VIBROMOD, împreună cu sistemul de măsură VIBROSIG, constituie modelul experimental pentru CDD: VIBROCHANGE.

### 1.2. Obiectivele proiectului

Obiectivul general al proiectului constă în 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.

---

<sup>1</sup> Documentul este întocmit conform indicațiilor UEFISCDI: Rezumat+Descriere tehnico-științifică

<sup>2</sup> Raportul de cercetare al etapei conține cca 333 pagini și poate fi furnizat la cerere.

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;

**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, de tip Toolbox Matlab (VIBROTOOL), care să implementeze atât metodele CDD clasice (cunoscute) cât și cele care vor fi dezvoltate în cadrul proiectului;

**O5:** Realizarea unui modul hardware experimental pentru CDD (VIBROMOD), 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, au fost parcurse patru etape:

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

**Etapa II** (decembrie 2015), **Stabilirea structurii modelului experimental și a metodelor CDD implementate**, a constat în definirea structurii modelului experimental, proiectarea componentelor acestuia, inclusiv stabilirea metodelor și tehnicilor CDD care urmează a fi implementate. De asemenea, au fost dezvoltate metode, tehnici și algoritmi pentru monitorizarea proceselor vibratorii (ce apar pe mașini și utilaje industriale), bazate pe model și utilizând tehnici avansate de prelucrare a semnalelor.

**Etapa III** (decembrie 2016), **Construcție model experimental și finalizare toolbox CDD**, a constat în construirea componentelor VIBROMOD, hardware și software, și VIBROGEN, pentru testarea modelului experimental, precum și în finalizarea toolbox-ului Matlab (VIBROTOOL) prin completarea cu funcții avansate și evaluare prin simulare Monte Carlo.

**Etapa IV** (septembrie 2017), **Experimentări pentru evaluarea modelului experimental**, a constat în efectuarea de experimentări cu date din laborator, dar și din medii industriale, în vederea testării modelului experimental VIBROCHANGE.

### 1.3. Obiectivele Etapei a IV-a

**Etapa a IV-a** a proiectului a avut ca obiectiv de bază experimentarea și evaluarea performanțele sistemului experimental VIBROCHANGE, precum și a componentelor sale, atât cu date din laborator, cât și cu date obținute din procese fizice reale. Un al doilea obiectiv a constat în elaborarea unor documente tehnice, gen manuale de utilizare, pentru toate produsele/componentele realizate în cadrul proiectului, în vederea folosirii eficiente a acestora:

- VIBROGEN – echipament de generare vibrații;
- VIBROTOOL – toolbox Matlab pentru detectia schimbarilor si diagnoza acestora;
- VIBROMOD – modul hardware de procesare on-line pentru monitorizarea vibratiilor;
- VIBROCHANGE – sistem experimental pentru detectia schimbarilor.

## 1.4. Descrierea activităților

Activitățile desfășurate în cadrul **Etapei a IV-a** a proiectului au condus la finalizarea și testarea sistemului experimental VIBROCHANGE și a componentele sale: Toolbox-ul Matlab pentru CDD, VIBROTOOL, componenta modul VIBROMOD, având la bază o aplicație software, ca echipament independent pentru rezolvarea problemei CDD; componenta sistem de generare VIBROGEN.

Activitățile desfășurate în cadrul acestei etape sunt conforme cu cele planificate în cadrul **Etapei a IV-a**, din planul de realizare al proiectului. De regulă, rezultatele acestor activități se regăsesc în cadrul diferitelor capitole ale raportului de cercetare al etapei.

Activitatea **A.4.1. Finalizare construcție model experimental** a constat în finalizarea punerii în funcțiune și a testărilor funcționale, prin conectarea modulelor componente ale sistemului VIBROCHANGE.

Activitatea **A.4.2. Efectuarea de experimentări pe mașini și utiliaje în laborator** a permis efectuarea unor experimente în laborator, atât cu date înregistrate, cât și cu date, generate de modulul VIBROGEN.

Activitatea **A.4.3. Efectuarea de experimentări pe diferite componente ale unui proces industrial complexa** a constat în efectuarea de teste cu date înregistrate de la echipamente industriale reale, o pompa industrială și o mașina de rectificat.

Activitatea **A.4.4. Analiza și evaluarea rezultatelor obținute** a avut ca obiectiv evaluarea rezultatelor obținute cu algoritmi din modulul VIBROTOOL, precum și cu algoritmi din acest modul, implementați în VIBROMOD.

Activitatea **A.4.5. Elaborarea documentației tehnice pentru produsele realizate** a constat în elaborarea manualelor de utilizare pentru următoarele componente și produse: VIBROGEN, VIBROTOOL, VIBROMOD și VIBROCHANGE.

Activitatea **A.4.6. Management proiect** a permis organizarea unor întâlniri de lucru la sediile partenerilor. Cea mai mare parte a activităților de lucru și de schimb de experiență, precum și de validare reciprocă a rezultatelor obținute s-a desfășurat prin comunicare electronică (email și telefon).

Raportul final de cercetare al **Etapei a IV-a** cuprinde 6 capitole și 3 Anexe, însumând 333 de pagini, sub forma a cinci volume: Vol. I – Rezultatele experimentărilor; Vol. II - VIBROTOOL - Toolbox Matlab pentru detecția schimbărilor. Manual de utilizare; Vol. III - VIBROGEN – Echipament de generare vibrații. Manual de utilizare; Vol. IV - VIBROMOD – Modul hardware de procesare on-line. Manual de utilizare; Vol. V – VIBROCHANGE – Sistem experimental. Manual de utilizare.

Majoritatea capitolelor corespund, ca denumire și obiective, cu activitățile și subactivitățile din Planul de realizare, însă sunt capitole cu rezultate care se regăsesc în mai multe activități. Legăturile de bază, dintre capitolele Raportului de cercetare și activitățile din Planul de realizare, sunt prezentate în Tabelul 1.

Tabel 1: Legăturile primare dintre raportul de cercetare și activități

Nr.	Denumire capitol	Activități
1.	Introducere	A.4.1...A.4.6

2.	Descrierea sistemului experimental VIBROCHANGE	A.4.1.
3.	Experimentari pe masini in conditii de laborator	A.4.2.
4.	Experimentari pe o pompa Landustrie	A.4.3
5.	Experimentari pe o masina de rectificat	A.4.3
6.	Concluzii finale	A.4.4
	Vol. II-Vol. V	A.4.5

## 2. Rezultate etapei

Rezultatele activității de cercetare, desfășurate în cadrul **Etapei a IV-a** a proiectului, sunt prezentate sub forma unui Raport de cercetare. Pentru activitatea de predare s-a realizat, conform instrucțiunilor UEFISCDI, prezentul document, Raport tehnico-științific de etapă, ce reprezintă o sinteză a Raportului de cercetare original (complet, cca. 333 pagini). Raportul de față se regăsește pe pagina de internet a proiectului <sup>3</sup>. De asemenea, s-a întocmit și un Raport final de cercetare, document public pe pagina de internet.

Din cele prezentate în cadrul studiului, ce face obiectul **Etapei a IV-a** a proiectului, se pot evidenția următoarele rezultate de bază:

1. S-a finalizat construcția sistemului experimental VIBROCHANGE, cu modulele componente: VIBROGEN, VIBROTOOL și VIBROMOD;
2. S-au evaluat funcțiile și algoritmi din toolbox-ul VIBROTOOL, pe date înregistrate din procese industriale;
3. S-au evaluat funcțiile și algoritmi implementați avansați implementați în VIBROMOD, prin folosirea de date reale înregistrate, dar și cu date generate și măsurate local cu modulul VIBROGEN;
4. S-au elaborat manualele de utilizare ale produselor/componentelor rezultate în cadrul proiectului: VIBROGEN, VIBROTOOL, VIBROMOD și VIBROCHANGE.
5. S-au publicat 12 lucrări științifice în volumele unor manifestări indexate ISI, referite în Web of Science;
6. S-a publicat o lucrare într-o revistă cotate ISI, Q2 (Impact Factor = 1.694, zona galbenă);
7. S-a depus o Cerere de brevet de invenție cu titlul: „VIBROCHANGE.DS - Sistem pentru detecția schimbărilor în procese vibratorii folosind tehnici avansate de analiză bazate pe model”.

## 3. Descrierea științifică și tehnică

În continuare, se descriu succint, tehnic și științific, obiectivele și rezultatele obținute în cadrul **Etapei a IV-a** a proiectului, prezentate detaliat, sub formă de capitole, în cadrul Raportului de cercetare al etapei.

Capitolul 1, Introducere, prezintă obiectivele **Etapei a IV – a** proiectului, precum și principalele activități desfășurate în cadrul acesteia.

Capitolul 2, Descrierea sistemului VIBROCHANGE, prezintă sistemul experimental VIBROCHANGE, ca sistem de testare și dezvoltare, dar și fiecare din componentele principale ale acestuia.

<sup>3</sup><http://www.etc.ugal.ro/VIBROCHANGE/vibrochange.php>

În Fig. 1 se prezintă legătura dintre principalele module ale sistemului experimental VIBROCHANGE: VIBROTOOL (Toolbox Matlab pentru CDD) și VIBROMOD (Modulul hardware de procesare on-line pentru CDD, care implementează software o parte din componentele VIBROTOOL). Pentru lucrul în condiții de laborator, s-a construit un sistem electromecanic de testare (VIBROGEN), având drept obiect generarea vibrațiilor, în condiții controlate de lucru, a proceselor electro-mecanice studiate.

În Fig. 2. se prezintă o imagine parțială de ansamblu a sistemului VIBROCHANGE, utilizat în cadrul experimentarilor. Fiecare modul este descris separat în secțiunile ce urmează. De la stanga la dreapta, se pot distinge partea de comanda a echipamentului VIBROGEN, modelul experimental VIBROMOD și, în final, în partea dreaptă, calculatorul pentru execuția programelor din VIBROTOOL.

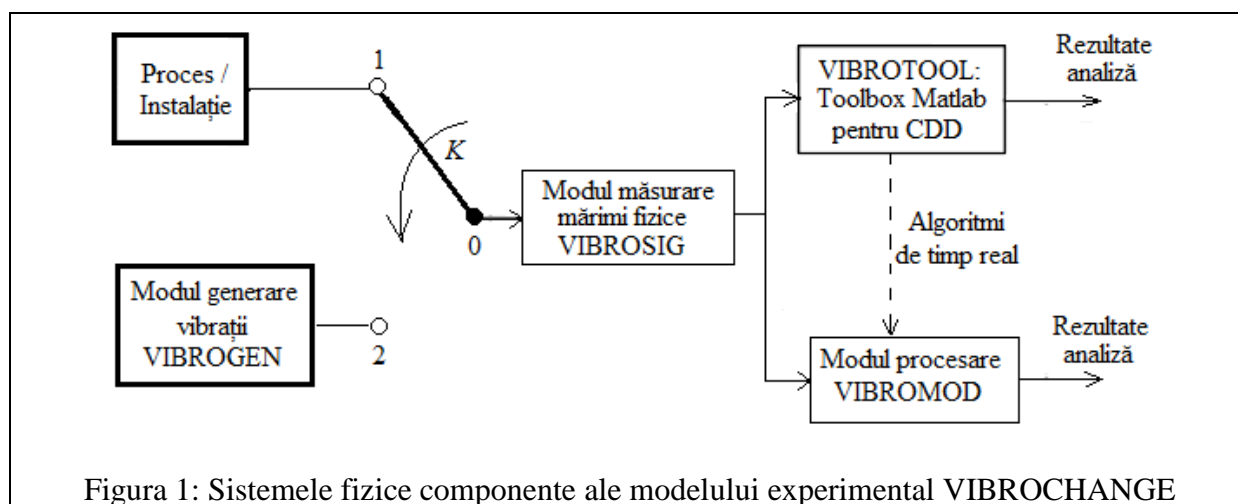


Figura 1: Sistemele fizice componente ale modelului experimental VIBROCHANGE

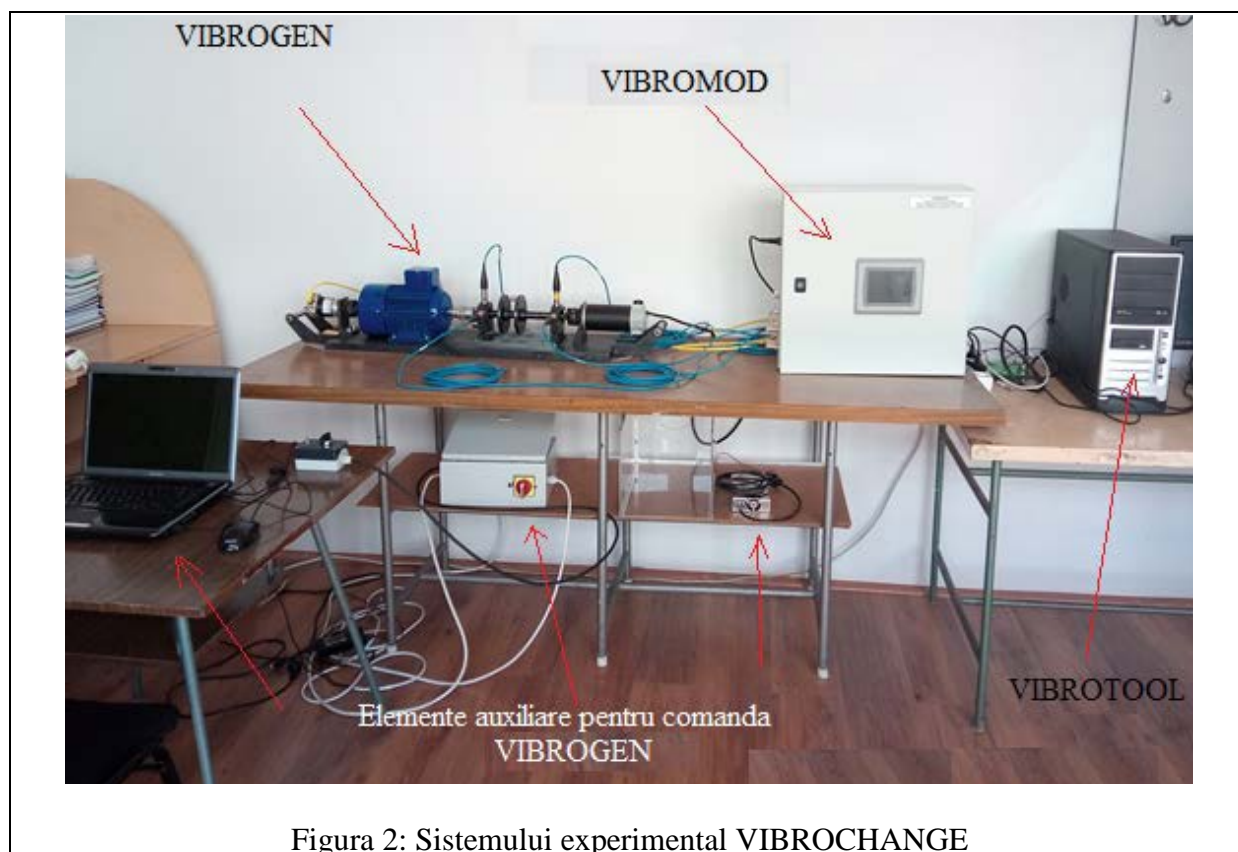


Figura 2: Sistemului experimental VIBROCHANGE

În vederea efectuării experimentelor, cât mai aproape de specificul proceselor industriale, precum și realizarea a diferite scenarii de lucru, a fost construit un echipament generator de vibrații, numit VIBROGEN, ce se prezintă în Fig. 3. Echipamentul este constituit dintr-o mașină electrică, care transmite mișcarea de rotație la o sarcină, emulată printr-un motor electric de c.c. În configurația actuală se pot studia defecte în lagăre (rulmenți) și dezechilibrări în arbore. Cu modificări adecvate, se pot studia și defecte în funcționarea mașinii electrice. Vibrațiile sunt preluate de patru senzori piezoelectrice de tip industrial, monodirecționali. Echipamentul este prevăzut cu circuite de protecție și oprire automată, cu acționare manuală, în situații critice. Prin structura și modul de funcționare, acesta poate fi folosit și independent, prin conectarea la alte sisteme de monitorizare. Acesta este și motivul pentru care VIBROGEN este prezentat ca un echipament relativ separat, independent.

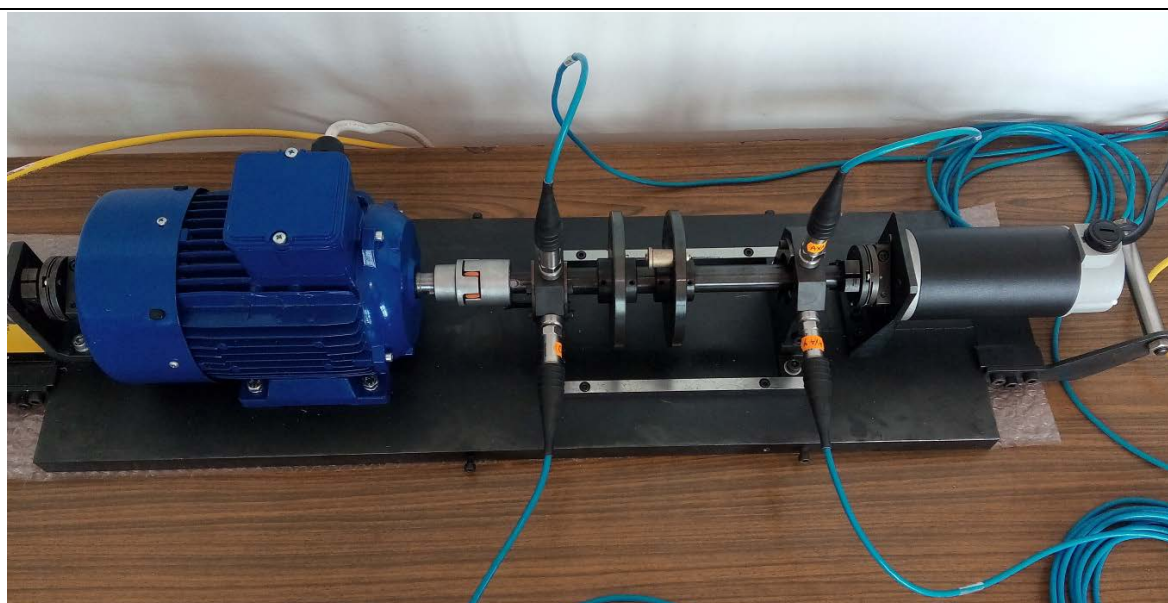


Figura 3: Echipamentul VIBROGEN (partea de execuție) – vedere parțială

Componenta de bază a sistemului VIBROCHANGE este toolbox-ul VIBROTOOL. Toolbox-ul elaborat implementează mai mulți algoritmi pentru rezolvarea problemei de detecție și diagnoză (CDD), dintre care unii originali, dezvoltăți în cadrul proiectului, dar și unii preluați din diferite surse publice, care împreună cu cei originali concurează la rezolvarea problemei CDD.

Toolbox-ul Matlab VIBROTOOL vizează monitorizarea și diagnoza componentelor mecanice ale mașinilor și utilajelor tehnologice, de regulă mașini rotative. Lagărele și cutiile de viteze reprezintă două componente centrale ale acestor mașini care se pretează la o astfel de analiză, monitorizarea realizându-se pe baza analizei semnalelor de vibrație, măsurate de senzori specifici. Instrumentul realizat în cadrul proiectului poate fi utilizat și la analiza altor categorii de semnale: biomedicale (EEG, EKG), semnale vocale, semnale seismice, etc. unde prezintă interes detecția schimbărilor în dinamica acestora.

VIBROTOOL este structurat sub forma unei colecții de funcții Matlab pentru rezolvarea problemelor specifice analizei proceselor vibratorii, însoțite de un număr de funcții auxiliare (simulare, reprezentare grafică, etc.) și de un număr de programe demo, pentru demonstrarea funcționalității componentelor acestuia. Prezentarea funcțiilor Matlab este făcută sub forma funcției componente, a modului de utilizare și a parametrilor de intrare/ieșire. Funcționalitatea acestor componente software este demonstrată în cadrul

programelor demo, pe grupe de funcții. VIBROTOOL conține următoarele categorii de module software:

1. Module program pentru prelucrarea primară a datelor (PRO)
2. Module program pentru detecție și segmentare (CDS)
3. Module program pentru separarea "oarbă" a surselor (BSS)
4. Module program pentru analiza timp-frecvență (TFR)
5. Module program auxiliare (AUX)

Modulele program ale Toolbox-ului Matlab VIBROTOOL sunt prezentate sintetic în tabelele care urmează.

Tabelul 2.1: Module program pentru prelucrare primară

Domeniul	Acronim program	Funcție
PRO	statpar	Calculul parametrilor statistici
PRO	specfour	Calculul spectrului de amplitudine Fourier
PRO	sfilt	Filtrarea semnalelor

Tabelul 2.2: Module program pentru detecție și segmentare

Domeniul	Acronim program	Funcție
CDS	chmean	Detecția schimbărilor în valoarea medie a unui semnal afectat de zgomot (change point estimation)
CDS	char1m	Detecția schimbărilor utilizând un singur model de tip AR
CDS	char2m	Detecția schimbărilor utilizând două modele de tip AR și o fereastră mobilă
CDS	segmap	Detecția schimbărilor multiple și segmentarea semnalului folosind metoda probabilității maxime a posteriori (MAP)
CDS	cdmhyp	Detecția schimbărilor în parametri și/sau în dispersia zgomotului folosind metoda verisimilității maxime și o abordare de tip fereastră alunecătoare.
CDS	cdglr	Detecția schimbărilor în starea unui sistem liniar utilizând testul raport de verosimilitate generalizat (GLR).
CDS	cdmlr	Detecția schimbărilor în starea unui sistem liniar utilizând testul raport de verosimilitate marginalizat (MLR).

Tabelul 2.3: Module program pentru separarea "oarbă" a surselor

Domeniul	Acronim program	Funcție
BSS	sobi	Separarea "oarbă" a surselor în cazul mixărilor instantanee utilizand statistici de ordinul doi pentru semnale reale
BSS	jader	Separarea "oarbă" a surselor în cazul mixărilor instantanee utilizand statistici de ordin superior pentru semnale reale



Tabelul 2.4: Module program pentru analiza timp-frecvență

Domeniul	Acronim program	Funcție
TFR	tfrsp	Calculul spectrogramei
TFR	tfrwv	Calculul distribuției Wigner-Ville
TFR	tfrpwv	Calculul pseudo-distribuției Wigner-Ville
TFR	tfrspwv	Calculul pseudo-distribuției Wigner-Ville netezite
TFR	tfrcw	Calculul distribuției Choi-Williams
TFR	tfridb	Calculul distribuției cu interferență redusă cu nucleu Bessel
TFR	tfridbn	Calculul distribuției cu interferență redusă cu nucleu binomial
TFR	tfridh	Calculul distribuției cu interferență redusă cu nucleu Hanning
TFR	tfridt	Calculul distribuției cu interferență redusă cu nucleu triunghiular
TFR	tfrqview	Vizualizarea rapidă a reprezentării timp-frecvență
TFR	margtfr	Calculul marginalelor și a energiei unei reprezentări timp-frecvență
TFR	momtfr	Calculul momentelor de ordinul 1 și 2, în frecvență, ale reprezentării timp-frecvență
TFR	monttfr	Calculul momentelor de ordinul 1 și 2, în timp, ale reprezentării timp-frecvență.
TFR	renyi	Calculul măsurii informației Rényi
TFR	renyent	Calculul entropiei Rényi normalizate de ordin 3

Tabelul 2.5: Module program auxiliare pentru detecție și segmentare

Domeniul	Acronim program	Funcție
CDS	rlse	Estimarea parametrilor unui model AR, a dispersiei zgomotului și a erorii de predicție la fiecare moment de timp, utilizând metoda celor mai mici pătrate
CDS	rlse_ssm	Realizează estimarea de tipul celor mai mici pătrate a vectorului de stare, dispersiei zgomotului și a erorii de predicție pentru datele intrare-ieșire și matricea de structura a modelului de stare.
CDS	ssm_nnn	Realizează conversia modelului de stare (A,B,C,D,Q,R,P0) la matricea de structură a modelului (nnn)
CDS	nnn_ssm	Realizează conversia matricei structură a modelului (nnn) modelul de stare (A,B,C,D,Q,R,P0)
CDS	simch	Simularea unui model AR cu schimbări abrupte în parametri
CDS	simch_ssm	Realizează simularea unui sistem liniar în spațiul stărilor cu schimbări abrupte în parametri.
CDS	plots	Reprezentarea grafică a parametrilor estimați și a parametrilor reali ai modelului
CDS	plotp	Reprezentarea grafică a semnalului segmentat

Tabelul 2.6: Programe demo pentru prelucrare primară

Domeniul	Acronim program	Funcție
PRO	demopro	Calculul Statistical Matrix (mu, rng, med, va, sigma), Parameter Matrix (RA, RMS, Pk, Cf, Skw, K, sigma), valori numerice și diagrame, funcției densitate de probabilitate (histograma), a spectrul de amplitudine Fourier, precum și filtrarea unui semnal real

Tabelul 2.7: Programe demo pentru detecție și segmentare

Domeniul	Acronim program	Funcție
CDS	demochmean	Detecția schimbărilor în valoarea medie a unui semnal simulat, afectat de zgomot, (change point estimation)
CDS	demoar1m	Detecția schimbărilor într-un semnal simulat, afectat de zgomot, utilizând un singur model de tip AR
CDS	demoar2m	Detecția schimbărilor într-un semnal simulat afectat de zgomot, utilizând două modele de tip AR și o fereastră mobilă
CDS	demoseg	Detecția schimbărilor multiple și segmentarea unui semnal simulat, afectat de zgomot, folosind metoda probabilității maxime a posteriori (MAP)
CDS	demomhyp	Detecția schimbărilor în parametri și/sau în dispersia zgomotului folosind metoda verisimilității maxime și o abordare de tip fereastră alunecătoare.
CDS	demoglr	Detecția schimbărilor în starea unui sistem liniar utilizând testul raport de verosimilitate generalizat (GLR).
CDS	demomlr	Detecția schimbărilor în starea unui sistem liniar utilizând testul raport de verosimilitate marginalizat (MLR).

Tabelul 2.8: Programe demo pentru separarea "oarbă" a surselor

Domeniul	Acronim program	Funcție
BSS	demosobi	Separarea "oarbă" a surselor în cazul mixărilor instantanee utilizând statistici de ordinul doi, pentru semnale simulate, afectate de zgomot și furnizând matricea de mixare și estimațiile surselor
BSS	demojade	Separarea "oarbă" a surselor în cazul mixărilor instantanee utilizând statistici de ordin superior, pentru semnale simulate, afectate de zgomot și furnizând matricea de mixare și estimațiile surselor

Tabelul 2.9: Programe demo pentru analiza timp-frecvență

Domeniul	Acronim program	Funcție
TFR	demospcc	Calculul spectrogramei, vizualizarea reprezentării timp-frecvență, calculul întârzierii de grup și a dispersiei estimatorului, frecvenței instantanee și a dispersiei estimatorului, calculul marginalelor și al energiei reprezentării, calculul informației Rényi și respectiv calculul entropiei Rényi, pentru un semnal real
TFR	demowvd	Calculul distribuției Wigner-Ville, a pseudo-distribuției Wigner-Ville, a pseudo-distribuției Wigner-Ville netezite, vizualizarea reprezentării timp-frecvență, calculul întârzierii de grup și a dispersiei estimatorului, frecvenței instantanee și a dispersiei estimatorului, calculul marginalelor și al energiei reprezentării, calculul informației Rényi și respectiv calculul entropiei Rényi, pentru un semnal real, pentru fiecare din cele trei distribuții
TFR	democw	Calculul distribuției Choi-Williams, vizualizarea reprezentării timp-frecvență, calculul întârzierii de grup și a dispersiei estimatorului, frecvenței instantanee și a dispersiei estimatorului, calculul marginalelor și al energiei reprezentării, calculul informației Rényi și respectiv calculul entropiei Rényi, pentru un semnal real
TFR	demorid	Calculul distribuțiilor cu interferență redusă cu nucleu Bessel, binomial, Hanning și triunghiular, vizualizarea reprezentării timp-frecvență, calculul întârzierii de grup și a dispersiei estimatorului, frecvenței instantanee și a dispersiei estimatorului, calculul marginalelor și al energiei reprezentării, calculul informației Rényi și respectiv calculul entropiei Rényi, pentru un semnal real, pentru fiecare din cele patru distribuții
TFR	demorenyent	Calculul entropiei Rényi pentru oricare din distribuțiile timp-frecvență menționate anterior

De asemenea, a fost dezvoltat un set de funcții pentru problema detecției semnalelor folosind tehnici din paradigma „Sparse Computing”. Toolbox-ul VIBROTOOL-SPARSE este constituit dintr-o familie de funcții ce implementează mai mulți algoritmi utilizați pentru detecția și diagnoza defectelor din perspectiva reprezentărilor rare. Întregul set de fișiere \*.m care intră în componența bibliotecii este menționat în Tabelul 2.10.

Tabelul 2.10: Programele bibliotecii VIBROTOOL-SPARSE

Denumire fișier	Descriere
Main	Fișierul în care utilizatorul scrie parametrii simulării
GenerateFaultPattern	Generează modelul defectului, a semnalului observat și a dicționarului
Algorithms	Fișierul în interiorul căruia sunt apelate funcțiile aferente algoritmilor propuși pentru găsirea soluțiilor convexe respectiv neconvexe
IterativeSoftPD	Funcție care implementată algoritmul primal dual de proximitate [9]
IterativeHardThreshold	Funcție care implementată algoritmul de tip hard-thresholding [10]
SpectralEstimFB	Funcție care implementează algoritmul de tip forward-backward [11]
spike	Funcție care reprezintă grafic rezultatele sub forma unor impulsuri
Demo	Rulează un exemplu pentru estimarea modelului defectului atunci când acestuia îi este asociat spectrul unui semnal modulat în amplitudine

Modulul VIBROTOOL-MOD este un modul de tranziție între VIBROTOOL și VIBROMOD. În VIBROTOOL sunt implementați algoritmi avansați, dezvoltați în cod Matlab, utilizând funcții dedicate ale mediului Matlab. În VIBROTOOL-MOD sunt implementați o parte din algoritmi avansați din VIBROTOOL, utilizând însă numai funcții standard/simple din Matlab, compatibile, de exemplu, cu biblioteca standard a limbajului de programe C sau Java. Rezultatele furnizate de algoritmi și funcțiile din VIBROTOOL-MOD sunt aceleași cu rezultatele furnizate de funcțiile similare din modulul hardware de procesare on-line pentru CDD, VIBROMOD. Funcțiile din VIBROTOOL-MOD sunt prezentate în tabelele următoare, în cadrul a patru categorii: (1) Parametri statistici de bază; (2) Procesarea semnalelor; (3) Transformări de bază; (4) Algoritmi avansați.

Modulul hardware de procesare on-line, VIBROMOD, este compus dintr-un echipament electric echipat cu aparatul de înaltă fiabilitate produs de Rockwell Automation (Allen Bradley) – nivelul 1, precum și o stație operator tip PC – nivelul 2. În Fig. 4 se prezintă o imagine de ansamblu a acestui modul. Echipamentul electric este echipat cu un PLC Allen Bradley CompactLogix 1769-L24ERQB1B, echipament programat cu toată logica necesară pentru operarea nivelului 1. Pe ușa modulului este montat un echipament HMI Allen Bradley PanelView Plus 7 care asigură interfața operatorului cu nivelul 1.

VIBROSIG este un modul electronic pentru măsurarea mărimilor fizice din diverse domenii, prin intermediul semnalelor generate de transductoare adecvate. În varianta actuală, VIBROSIG este distribuit sub forma a două sub-module, câte unul pentru fiecare echipament de prelucrare a semnalelor.

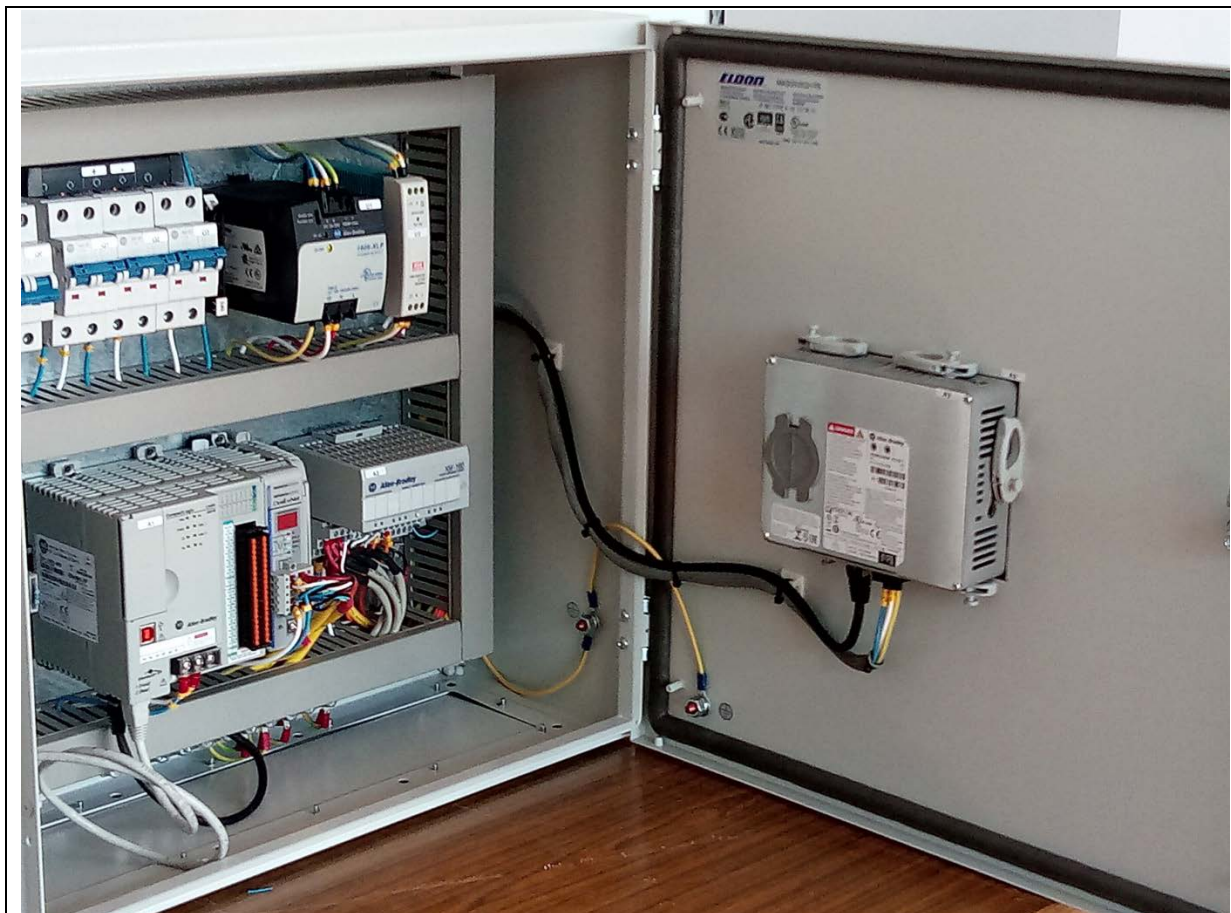


Figura 4: Sistemul VIBROMOD – nivel 1

Capitolul 3 prezintă **Rezultatele experimentărilor efectuate în condiții de laborator**, folosind funcții din modulul Toolbox VIBROTOOL-MOD și din VIBROMOD. Datele sunt specifice pentru un rulment de tip 6205, dintr-un sistem de generare lucrând fără sarcină mecanică, cu viteza arborelului de cca 1797 rpm. Defectele în diversele elemente de mișcare au fost obținute cu o mașină specială cu descărcări electrice (electro-discharge machining (EDM)). În esență, s-au considerat patru clase: fără defect, cu defect pe calea de rulare interioară, cu defect de bilă și defect pe calea de rulare exterioară. Avantajul acestor date constă din faptul că fiecare clasă/defect are asociate (membri) mărimea defectelor: mică, medie, mare și foarte mare. Astfel, se poate face testarea detecției incipiente a defectelor. Clasele și tipurile de defecte sunt prezentate în tabelul 3.1.

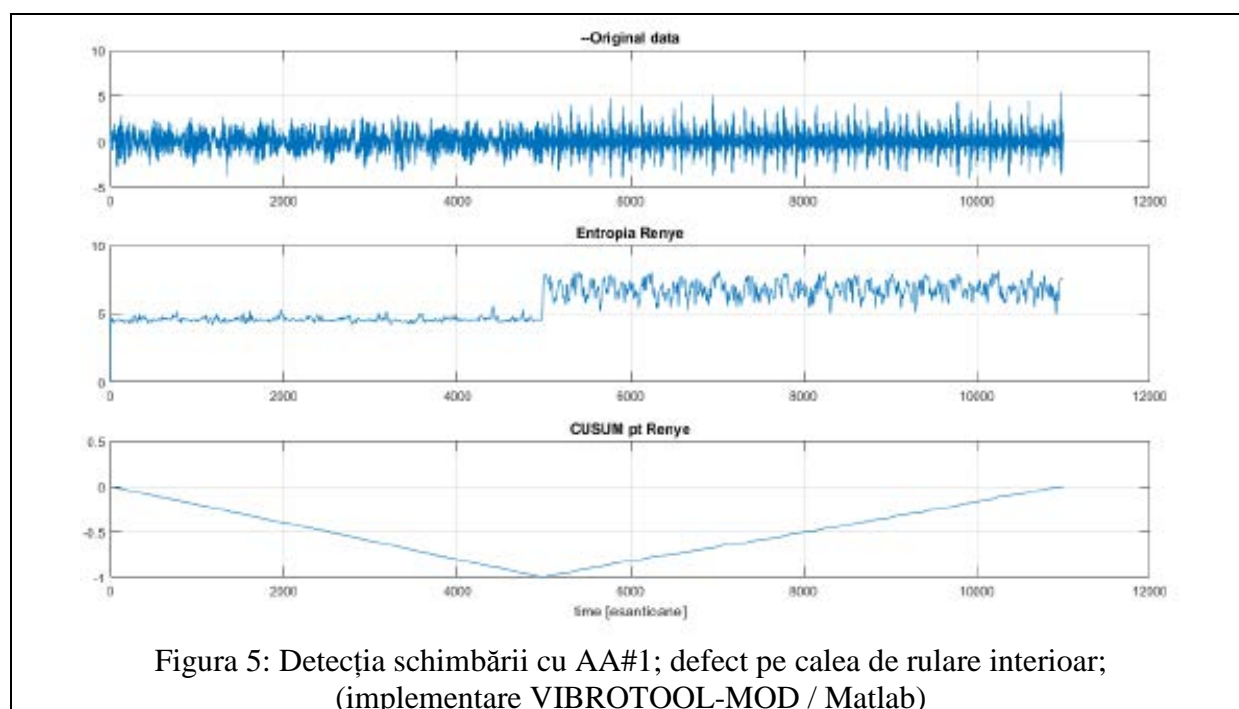
În acest context au fost testați patru algoritmi:

1. AC#1 - algoritm clasic ce utilizează criteriul CUSUM;
2. AC#2 – algoritm clasic ce utilizează criteriul verosimilitatii maxime;
3. AA#1 – algoritm avansat ce utilizează criteriul CUSUM aplicat entropiei Renyi;
4. AA#2 – algoritm avansat ce utilizează metoda reprezentării și analiză ce face uz de transformata Wigner-Ville.

Ca exemplu, în Fig. 5 și în Fig. 6, se prezintă rezultatele obținute cu VIBROTOOL-MOD și respectiv VIBROMOD-nivel 2 (Java), pentru algoritmul AA#1.

Tabel 3.1: Clase de defecte pentru testarea off-line

Nr.	Clasa defect	Inregistrare, conditii	Nume fisier	Variabile, parametri	Obs.
0.	Fara defect.	Conditii normale, fara sarcina	data_0.mat	fd	243938 x 1
1.	Defect pe calea de rulare interioara		data_1.mat	data 1 x 11.000	Caz 1, Defect mic
2.	Defect de bila		data_2.mat	data 1 x 11.000	Caz 1, Defect mic
3.	Defect pe calea de rulare exterioara	Pozitia 6H	data_3.mat	data 1 x 11.000	Caz 1, Defect mic
4.		Pozitia 3H	data_4.mat	data 1 x 11.000	Caz 1, Defect mic
5.		Pozitia 12H	data_5.mat	data 1 x 11.000	Caz 1, Defect mic
6.	Defect pe calea de rulare interioara		data_6.mat	data 1 x 11.000	Caz 2, Defect mediu
7.	Defect de bila		data_7.mat	data 1 x 11.000	Caz 2, Defect mediu
8.	Defect pe calea de rulare exterioara	Pozitia 6H	data_8.mat	data 1 x 11.000	Caz 2, Defect mediu
9.	Defect pe calea de rulare interioara		data_9.mat	data 1 x 11.000	Caz 3, Defect mare
10.	Defect de bila		data_10.mat	data 1 x 11.000	Caz 3, Defect mare
11.	Defect pe calea de rulare exterioara	Pozitia 6H	data_11.mat	data 1 x 11.000	Caz 3, Defect mare
12.		Pozitia 3H	data_12.mat	data 1 x 11.000	Caz 3, Defect mare
13.		Pozitia 12H	data_13.mat	data 1 x 11.000	Caz 3, Defect mare
14.	Defect pe calea de rulare interioara		data_14.mat	data 1 x 11.000	Caz 4, Defect foarte mare
15.	Defect de bila		data_15.mat	data 1 x 11.000	Caz 4, Defect foarte mare



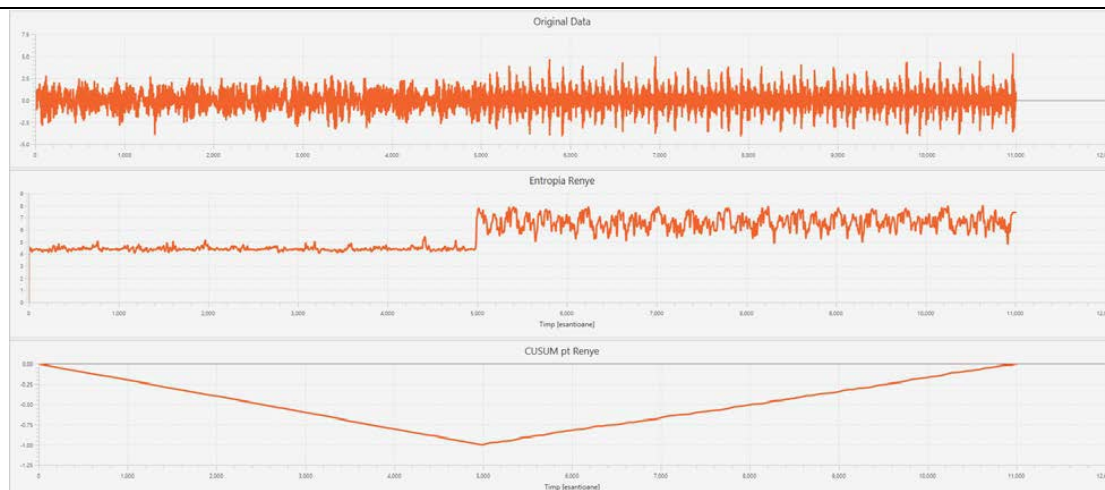


Figura 6: Detecția schimbării cu AA#1; defect pe calea de rulare interioară; (implementare VIBROMOD-nivel 2 / Java)

Algoritmul AA#2 folosește transformata timp-frecvență Wigner-Ville. Pentru fiecare înregistrare de  $N=11.000$  elemente se consideră o fereastră alunecătoare de lungime  $n=500$ . Criteriile de decizie sunt: (1). Cantitativ, bazat pe modificarea energiei în domeniul frecvență, de la un cadru (fereastră) la alta; 2). Calitativ, pe baza imaginii timp-frecvență, se poate descrie evoluția spectrului, cu o clasificare imediată a vibrațiilor analizate: staționare sau nestaționare. În Fig. 7 și în Fig. 8 se prezintă rezultatele obținute în cazul utilizării VIBROTOOL-MOD și respectiv VIBROMOD-nivel 2, pentru algoritmul AA#2.

S-au efectuat, de asemenea, teste și cu date generate de echipamentul VIBROGEN. S-au înregistrat vibrații în cazul a două regimuri de lucru, descrise prin vitezele  $v_1 = 600$  rpm (frecvența de rotație, 10 Hz) și 1200 rpm (frecvența de rotație 20 Hz). S-au considerat defecte la un rulment, la capătul dinspre sarcina mecanică. Defectele au fost realizate de partenerul P3-INCDMTM București. De la acest rulment s-au prelevat patru semnale de vibrație: vertical (X), orizontal (Y), longitudinal (Z) și un canal suplimentar pentru vibrații pe axa X (în corpul sarcinii mecanice).

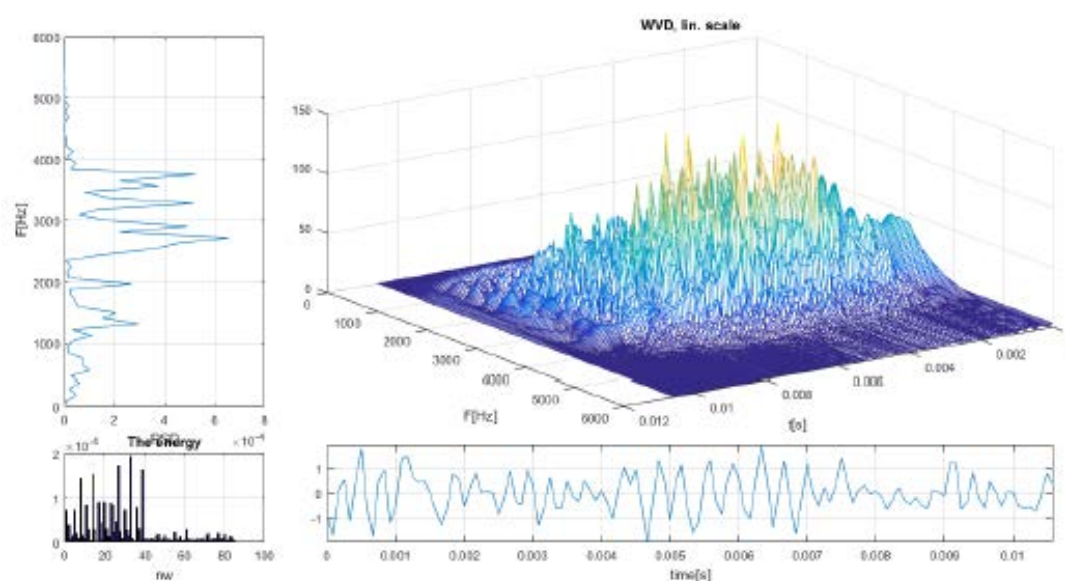


Figura 7: Detecția schimbării cu AA#2; defect pe calea de rulare interioară; (implementare VIBROTOOL-MOD / Matlab)

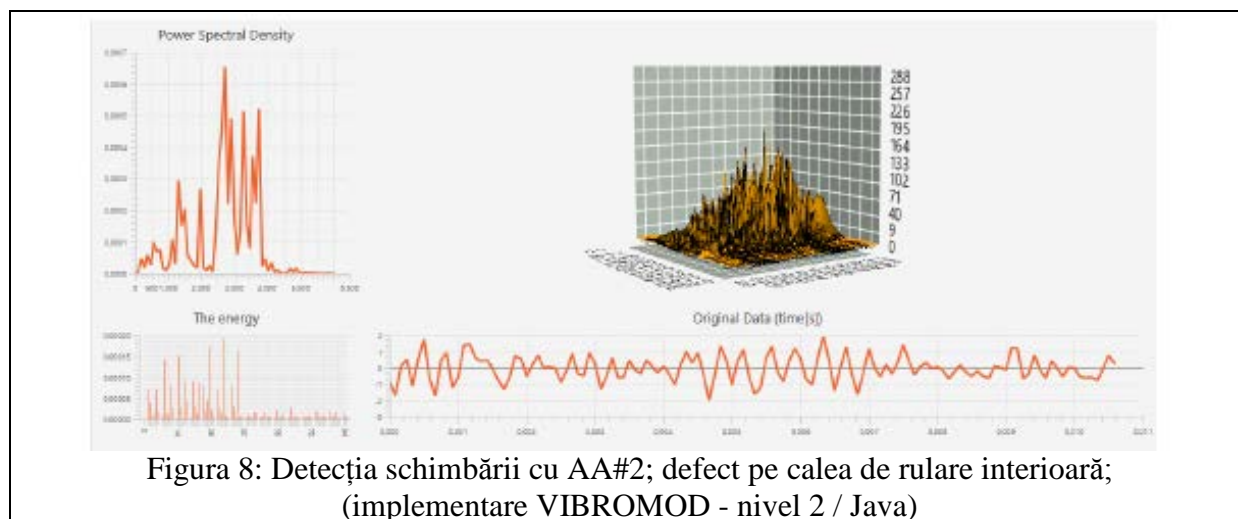


Figura 8: Detectia schimbării cu AA#2; defect pe calea de rulare interioară; (implementare VIBROMOD - nivel 2 / Java)

În cadrul experimentelor au fost analizate următoarele cazuri: 00 = vibrații de fond, elemente fără mișcare; 0 = vibrații în regim normal de funcționare (fără defecte); 1 = vibrații cu excentricități montate la mijlocul arborelui; 2 = defect la o bilă; 3 = defect la 2 bile; 4 = lovitură cămașă interioară; 6 = cămașă deformată; 7 = lovitură cameră exterioară; 8 = o lovitură; 9 = două lovituri. S-a folosit frecvența de eșantionare de 5 kHz și s-au efectuat câte două înregistrări de durată  $T1 = 5$  sec ( $N1 = 250.000$  eșantioane) și  $T2 = 10$  sec ( $N2 = 500.000$  eșantioane). Înainte de formarea seturilor de date care să facă obiectul analizei, acestea au fost pre-procesate prin eliminarea valorii medii și scalarea deviației standard.

Pentru cele nouă cazuri analizate, numerotate de la 1 la 9, cu valoarea reală a producerii/începerii defectului de 25001, estimările punctului de schimbare cu AA#1 sunt [25914, 24916, 24979, 24977, 24974, 24971, 30427, 24988]. În toate cazurile testate, rezultatele au fost foarte bune, indicându-se cu precizie de câteva eșantioane, momentul producerii/începerii defecțiunii. Algoritmii avansați își dovedesc superioritatea prin performanțe mai bune.

Testările efectuate cu algoritmii implementați în Java, cu rulare pe platforma experimentală VIBROMOD- nivel 2, au scos în evidență faptul că algoritmii clasici cât și cei avansați furnizează aceleași rezultate cu cei implementați în mediul Matlab. Acest fapt confirmă fezabilitatea soluției implementate, prin folosirea tandemului VIBROTOOL, VIBROTOOL-MOD și VIBROMOD.

În Capitolul 4 se prezintă **rezultatele experimentărilor realizate cu date provenind de la o pompă industrială Landindustrie**. Semnalele de vibrație, accelerațiile, sunt măsurate pe 7 canale. Măsurătorile au fost repetate pe două mașini identice, prima aflată în regim de funcționare normal, iar pentru cea de a doua s-a procedat la inducerea unei defecțiuni la cutia de viteze.

În cadrul analizei au fost selectate măsurătorile efectuate la înaltă frecvență eșantionate cu 12800 Hz, și un segment de date de 4096 valori, 2048 de la pompa aflată în regim de funcționare normal, și 2048 de la pompa la care a fost indusă defecțiunea la cutia de viteze, ambele la încărcare minimă. Date au fost filtrate trece jos la 5000 Hz.

S-au utilizat două abordări de rezolvare a problemei de detecție a schimbărilor produse în funcționarea pompei. Prima abordare utilizează separarea surselor de vibrație independente și segmentarea acestora, rezultând momentele producerii schimbării în dinamica mașinii. Cea de a doua abordare face uz, de asemenea, de principalele surse independente de vibrație ale mașinii, rezultate din semnalele măsurate și de entropia Renyi pe termen scurt, estimată din distribuția timp-frecvență (TFD) a surselor independente de vibrație, și de un

algoritm de segmentare a acestora, bazat pe estimatorul de probabilitate maximă a posteriori (MAP). Algoritmul de segmentare operează pe entropia Renyi, ca un nou spațiu de decizie, ceea ce permite o detecție mai robustă a schimbărilor în semnalele de vibrație, decât în cazul aplicării procedurii de segmentare pe semnalele originale, sau pe semnalele sursă independente.

În urma analizei rezultatelor obținute cu prima abordare s-a constatat că metodele de detecție utilizate au determinat momentul real de producere a schimbării în cea de a doua sursă estimată, indus de defecțiunea produsă la cutia de viteze, dar deoarece separarea surselor nu se realizează perfect, schimbarea reală poate fi indusă și în celelalte surse, în cazul de față în prima sursă. Dar, în acest caz este important a se detecta schimbarea în oricare dintre surse, pentru alarmare în cazul unei posibile avarii a mașinii. Performanțele detectorului depind în mare măsură de alegerea parametrilor de proiectare în testele CUSUM și GMA.

În cadrul celei de a doua abordări, s-a constatat că sursa de vibrație S1 a fost indusă de producerea unei defecțiuni în funcționarea mașinii, ținând seama și de valoarea schimbării în conținutul spectral al sursei. Deoarece separarea surselor nu este realizată perfect, există posibilitatea ca o schimbare reală produsă într-una din surse să poată fi indusă și în alte surse, în cazul nostru în sursa S2, dar schimbarea în conținutul spectral al acestei surse este de valoare redusă în raport cu sursa S1.

Analiza vizuală a entropiei Renyi pentru ambele surse scoate în evidență faptul că există un moment de timp în care se produce o schimbare în conținutul de energie și de frecvență. Pe baza experienței anterioare în situații similare, un model cu parametri constanți pe porțiuni poate conduce la un compromis satisfăcător între complexitatea și eficiența algoritmilor de estimare on-line a momentelor producerii unor schimbări în dinamica semnalului. Procedura de detecție a schimbărilor în cazul celor două entropii Renyi s-a realizat cu estimatorul MAP, în cazul unui zgomot constant necunoscut.

Estimațiile parametrilor modelului și ale dispersiei zgomotului rezultate în urma aplicării algoritmului bazat pe estimatorul MAP, pentru entropia Renyi a primei surse sunt prezentate în Fig. 9.

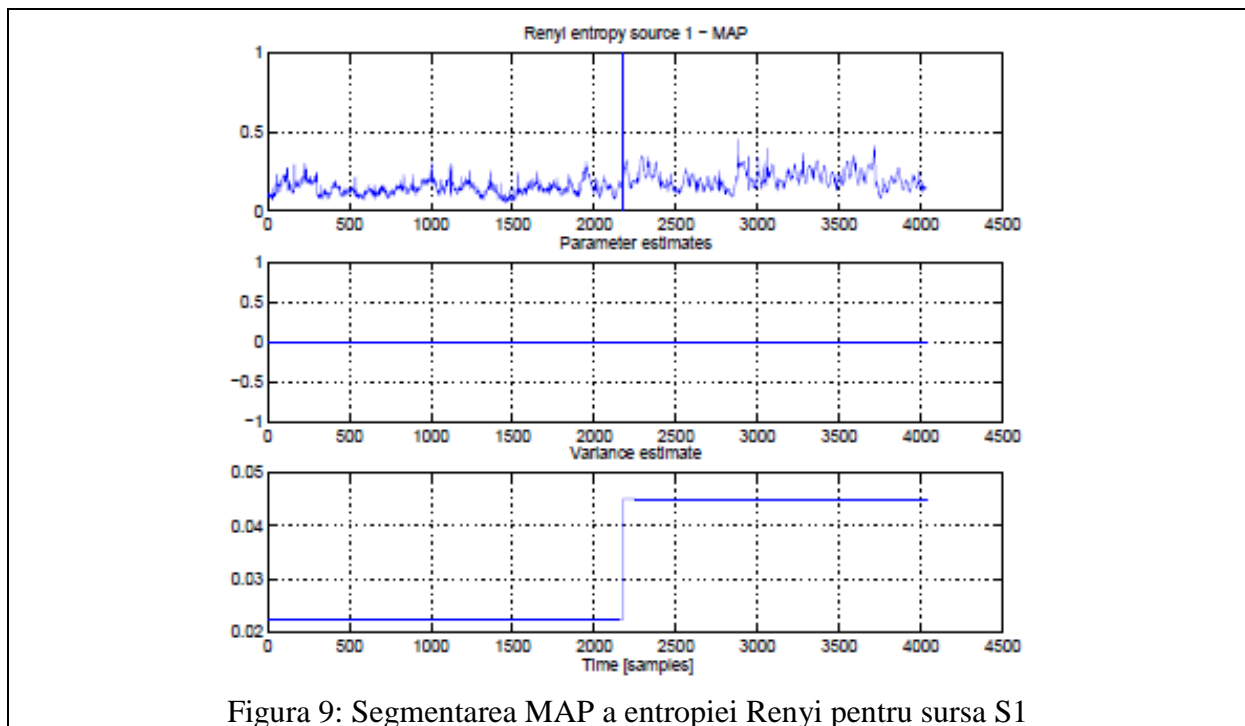


Figura 9: Segmentarea MAP a entropiei Renyi pentru sursa S1



Valorile dispersiei zgomotului modelului cu parametrii constanți pe porțiuni, în cazul ambelor surse, prezintă salturi semnificative în cea de a doua parte a semnalului, ceea ce denotă un fenomen de ruptură, datorat inducerii defecțiunii în funcționarea mașinii.

În **Capitolul 5** s-au prezentat **rezultatele experimentărilor efectuate pe o mașină de rectificat**. Setul de date care a făcut obiectul analizei a constat din înregistrările multicanal efectuate pentru 6 canale. Măsurătorile au fost repetate pe aceeași mașină în regim de funcționare normală și după inducerea unei defecțiuni prin dezechilibrarea păpușei. S-a selectat din măsurătorile de înaltă frecvență, efectuate cu frecvența de 12.500 Hz, un segment de date de 12.500 valori măsurate în cazul regimului de funcționare normală al mașinii și 12.500 valori măsurate în cazul regimului de funcționare cu inducerea defecțiunii (dezechilibrarea păpușei). Măsurătorile au fost filtrate trece jos la 5 kHz frecvență de tăiere.

Datele de măsură filtrate au făcut obiectul analizei componentelor independente, în vederea separării principalelor surse de vibrație. A fost aplicat algoritmul JADE pentru două surse de vibrație și 6 senzori. Din analiza acestor surse se pot constata modificări evidente după eșantionul cu nr. 12.500, corespunzător momentului inducerii anomaliei de funcționare. Acest lucru nu era vizibil din analiza datelor de măsură primare. Se poate constata, o deplasare a spectrului de frecvențe în zona de joasă frecvență, precum și o creștere a amplitudinii acestuia, fapt ce era de așteptat.

Pentru detecția schimbărilor în sursele de vibrație, s-au utilizat segmente de 5000 de valori care includeau la momentul 2500 producerea schimbării în dinamica mașinii, ca urmare a inducerii dezechilibrului. Prima procedură aplicată a constat în estimarea punctului de schimbare, utilizând o tehnică de verosimilitate maximă (ML) și estimarea punctului de schimbare (CPE). Rezultate sunt reprezentate în Fig.10 pentru sursa S2. Așa cum se poate observa, apare în mod clar momentul producerii schimbării. Întârzierea care apare la detecție este nesemnificativă ținând seama de frecvența mare de eșantionare, 12.500 Hz.

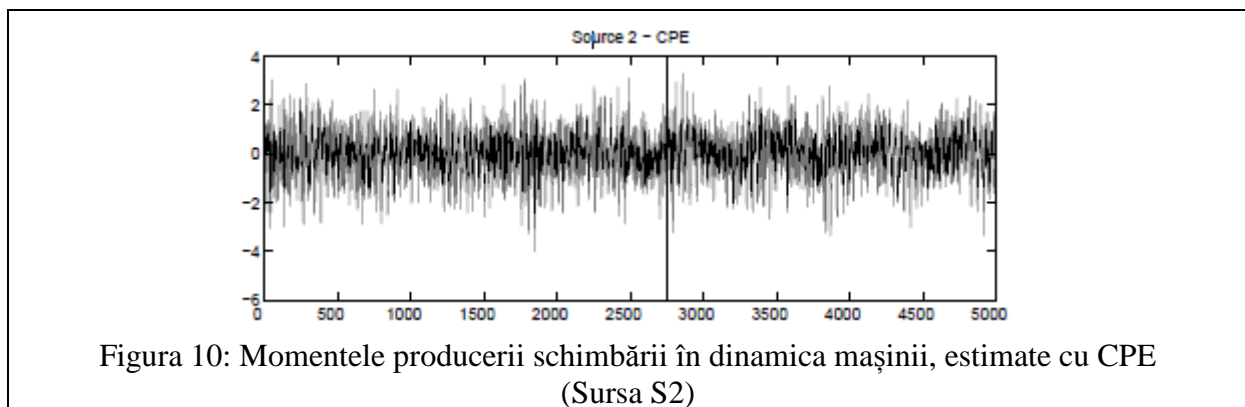


Figura 10: Momentele producerii schimbării în dinamica mașinii, estimate cu CPE (Sursa S2)

Următoarea etapă a analizei a constat în segmentarea semnalelor sursă, pentru punerea în evidență a schimbărilor în dinamica mașinii, utilizând probabilitatea maximă a posteriori (MAP). Rezultatele sunt prezentate în Fig. 11 pentru sursa S2. Se poate remarca și în acest caz detecția momentului real al producerii schimbării, dar și prezența unor schimbări "false". Totuși, ținând seama de frecvența mare de eșantionare, 12.500 Hz, acestea pot fi asimilate schimbării reale.

Rezultatele obținute au condus la evidențierea clară a producerii schimbării induse în cazul mașinii de rectificat, fapt ce demonstrează nu numai funcționalitatea sistemului de analiză, VIBROTOOL, dar și eficiența acestuia, în rezolvarea unor astfel de probleme.

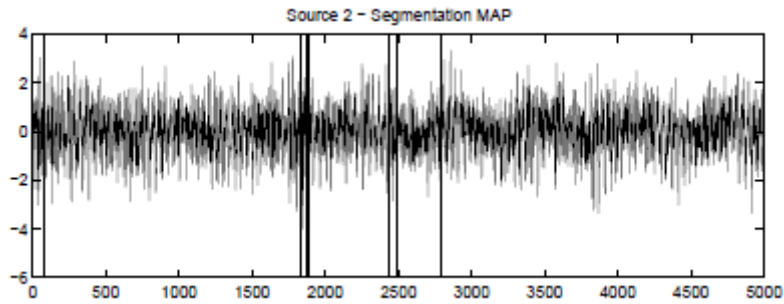


Figura 11: Momentele producerii schimbării în dinamica mașinii în cazul segmentării cu MAP (Sursa S2)

**Capitolul 6, Concluzii finale**, vizează principalele rezultate obținute și recomandări făcute în urma cercetării ce a făcut obiectul acestei etape a proiectului, și care au fost menționate deja în secțiunile anterioare ale prezentului Raport Științific și Tehnic (RST). O sinteză este prezentată în secțiunea finală a acestui raport.

Raportul de cercetare extins mai conține trei Anexe, astfel: **A1.** Lucrările prezentate și publicate, realizate în cadrul **Etapei a IV-a** a proiectului; **A2.** Parametrii geometrici ai rulmenților pentru testarea off-line; **A3.** Descrierea defectelor rulmenților pentru testarea on-line.

## 4. Gradul de realizare a obiectivelor

Rezultatele obținute au creat premisele finalizării în bune condiții a **Etapei a IV-a** a proiectului, “*Experimentări pentru evaluarea modelului experimental*”, etapa finală, ce a avut ca prim obiectiv experimentarea și evaluarea performanțelor componentelor sistemului experimental VIBROCHANGE, considerate individual, dar și în conexiunea lor, atât cu date din laborator cât și cu date obținute din procese fizice reale.

Al doilea obiectiv a constat în elaborarea unor documente de utilizare, gen manuale tehnice, pentru toate produsele/componentele dezvoltate în cadrul proiectului, în vederea folosirii eficiente a acestora.

Pe baza celor prezentate anterior, considerăm că toate activitățile propuse în Planul de realizare al proiectului au fost realizate cu succes, iar obiectivele etapei și ale proiectului au fost îndeplinite în totalitate.

## 5. Modul de diseminare a rezultatelor

Rezultatele cercetărilor din cadrul **Etapei a IV-a** a proiectului s-au concretizat sub forma unor lucrări prezentate și publicate la diferite manifestări științifice internaționale și reviste, majoritatea referite în Web of Science (WOS). De asemenea, s-a depus o Cerere de brevet de invenție la OSIM pentru sistemul VIBROCHANGE.

În cadrul simpoziunului ISEEE-2017 (The 5th International Symposium on Electrical and Electronics Engineering, Galati, 20-22 October 2017) se va organiza o Sesiune specială “*Change detection in vibrational processes*” în care vor fi prezentate, de fiecare partener, realizările de baza din cadrul proiectului VIBROCHANGE.

Publicațiile aferente prezentei etape sunt:

1. Popescu, Th.D, Aiordachioaie, D., *New Procedure for Change Detection Operating on Renyi Entropy with Application in Seismic Signals Processing*, Circuit Systems and Signal Processing, vol. 36, no. 9, 2017, pp. 3778-3798, WOS = 000404650200017 (**IF = 1.694**).
2. Dorel Aiordachioaie, *An Analysis System of Sonar Signals Based on Time-Frequency Representation*, ECAI 2017 - International Conference – The 9th Edition Electronics, Computers and Artificial Intelligence, 29 June -01 July, 2017, Targoviste, Romania, (**ISI Proceedings**).
3. Dorel Aiordachioaie, Theodor D. Popescu, *A Method to Detect and Filter the Cross Terms in the Wigner-Ville Distribution*. ISSCS 2017 (IEEE 13-th International Symposium on Signals, Circuits and Systems), 13-14 July 2017, Iasi, Romania, (**ISI Proceedings**).
4. Th. D. Popescu, M. Manolescu, *Blind Source Separation - A Tool for Multivariate Time Series Forecasting*, Proc. The 9th International Conference on Modelling, Identification and Control (ICMIC 2017), July 10-12, 2017, Kunming, P.R. China. (**ISI Proceedings**).
5. Th. D. Popescu, Aiordachioaie Dorel, M. Manolescu, *Change detection. A review of problems and solutions*, The 5th International Symposium On Electrical And Electronics Engineering (ISEEE-2017), 20-22 October. Galati ROMANIA, Special Sesion“Change Detection In Vibrational Processes”, Paper No. 1 (**IEEE Explore**)
6. M. Electra, C. Resteanu, *Learning with OREL Software*, Proc. The 9th Annual International Conference on Education and New Learning Technologies, EDULEARN17, Barcelona, Spain, July 3-5, 2017. (**ISI Proceedings**).
7. Dorel Aiordachioaie, *Aspects Of Change Detection In Vibrational Processes Based On Time-Frequency Transforms*, The 5th International Symposium On Electrical And Electronics Engineering (ISEEE-2017), 20-22 October. Galati ROMANIA, Special Sesion“Change Detection In Vibrational Processes”, Paper No. 2. (**IEEE Explore**)
8. Anisia Culea-Florescu, Mihai Culea, *Sparse paradigm for change detection applications*, The 5th International Symposium On Electrical And Electronics Engineering (ISEEE-2017), 20- 22 October. Galati Romania , Special Sesion“Change Detection In Vibrational Processes”, Paper No. 3. (**IEEE Explore**)
9. Daniela Cioboata, Aurel Abalaru, Dănuț Stanciu, Logofătu Cristian, *Advanced measurement systems for vibration signals*, The 5th International Symposium On Electrical And Electronics Engineering (ISEEE-2017), 20-22 October. Galati Romania, Special Sesion“Change Detection In Vibrational Processes”, Paper No. 4. (**IEEE Explore**)
10. Bogdan Theodor, Anamaria Tiron, George Marinescu, Iulian Nacu, Laurentiu Luca, Nicu Roman, *A multi-level software solution for process monitoring*, The 5th International Symposium On Electrical and Electronics Engineering (ISEEE-2017), 20-22 October. Galati Romnia, Special Sesion“Change Detection In Vibrational Processes”, Paper No. 5. (**IEEE Explore**)
11. Bogdan Dumitrașcu, Nicușor Nistor, Dorel Aiordăchioaie, *Analysis of Transient Signals by Feature Extraction from Time-Frequency Images*, 2017 IEEE 23<sup>rd</sup> International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), 26-29 Oct 2017, Constanța, Romania. (**IEEE Explore**) (**ISI Proceedings**)
12. N. Nistor, B. Dumitrascu, D. Aiordachioaie, *Smart Data Acquisition Board with Software Calibration of the Nonlinear Sensors*, 2017 IEEE 23<sup>rd</sup> International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), 26-29 Oct 2017, Constanța, Romania. (**IEEE Explore**) (**ISI Proceedings**)
13. Cerere brevet de inventie: nr. 10571 / 20.06.2017, Registratura OSIM=A/00400/20.06.2017, *VIBROCHANGE.DS - Sistem pentru detecția schimbărilor în procese vibratorii folosind tehnici avansate de analiză bazate pe model*.

## 6. Concluziile etapei

Principalele rezultate obținute în cadrul **Etapei a IV-a** sunt:

- Finalizarea și testarea a trei module experimentale: VIBROGEN, VIBROTOOL și VIBROMOD. Conectarea în paralel a modulelor VIBROTOOL și VIBROMOD permite obținerea unui sistem experimental de dezvoltare puternic, VIBROCHANGE, pentru rezolvarea problemei CDD. După caz, modulele VIBROTOOL și VIBROGEN pot să funcționeze conectate sau independent, pe un proces fizic sau pe datele furnizate de VIBROGEN;
- Realizarea de experimentări pentru rezolvarea problemei CDD cu date înregistrate din procese fizice reale;
- Validarea algoritmilor avansați din VIBROTOOL, atât cu date sintetice cât și cu date înregistrate din procese fizice reale;
- Realizarea unui studiu al detecției și diagnozei schimbărilor în procesele vibratorii, prin prisma vectorilor rari;
- Testarea a patru algoritmi (doi din categoria celor clasici și doi din categoria celor avansați) pentru detecția schimbărilor, ce definesc VIBROTOOL-MOD, algoritmi în cod Matlab, dar fără funcții dedicate. Aceștia sunt implementați în VIBROMOD-nivel 2, folosind Java;
- Elaborarea manualelor tehnice de utilizare pentru produsele elaborate: VIBROTOOL, VIBROGEN, VIBROMOD și VIBROCHANGE.

În concluzie, ca urmare a celor prezentate, se poate considera că **obiectivele generale și specifice ale Etapei a IV-a a proiectului VIBROCHANGE au fost îndeplinite în totalitate.**

Galați, 15.09.2017

Director proiect,  
Prof. Dr. Ing Dorel Aiordăchioaie