



Universitatea Transilvania din Brașov

TEZĂ DE ABILITARE

**Aplicații ale sistemelor mecatronice avansate în agricultură,
industrie și medicină**

Domeniul: Inginerie mecanică

**Autor: Conf. dr. ing. Marius Cristian LUCULESCU
Universitatea Transilvania din Brașov**

BRAȘOV, 2017

CUPRINS

MULȚUMIRI	3
LISTA DE ABREVIERI	4
A. SUMMARY	7
B. REALIZĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI PROFESIONALE ȘI PLANURI DE EVOLUȚIE ȘI DEZVOLTARE A CARIEREI	9
B1. REALIZĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI PROFESIONALE	10
1. INTRODUCERE	10
2. APLICAȚII ALE SISTEMELOR MECATRONICE AVANSATE ÎN AGRICULTURA DE PRECIZIE	12
2.1 Context	12
2.2 Tematica cercetărilor privind utilizarea sistemelor mecatronice în agricultura de precizie	13
2.3 Desfășurarea cercetărilor privind utilizarea sistemelor mecatronice în agricultura de precizie – proiectul Monicult	16
2.3.1 Scopul, obiectivele și modul de organizare	16
2.3.2 Utilizarea informației multispectrale în managementul culturilor agricole	18
2.3.3 Sistemul de Achiziție, Procesare, Stocare și Transmisie a Informațiilor Multispectrale (SAPSTIM)	22
2.3.4 Sistem Mecatronic Mobil Multispectral Terestru (SMMMT) de monitorizare multispectrală a stării de vegetație a culturilor agricole	34
2.3.5 Sistemului Mecatronic Mobil Multispectral Autonom Aerian (SMMMAA) de monitorizare multispectrală a stării de vegetație a culturilor agricole	42
2.3.6 Tehnologie Inovativă de Monitorizare Multispectrală a Stării de Vegetație a Culturilor Agricole (TIMMSVCA).....	50
2.3.7 Stadiul actual al cercetărilor în proiectul Monicult.....	53
2.4 Desfășurarea cercetărilor privind utilizarea sistemelor mecatronice în agricultura de precizie – proiectul MultiCanSPEC	54
2.4.1 Scopul, obiectivele și modul de organizare	54
2.4.2 Îmbunătățirea tehnologiei sistemului HexaSPEC prin identificarea și adaptarea unor noi senzori CMOS și creșterea numărului de canale de captură.....	57
2.4.3 Activități de cercetare care urmează să se desfășoare în cadrul proiectului MultiCanSPEC	65

2.5 Concluzii privind activitățile desfășurate în cadrul direcției de cercetare APLICAȚII ALE SISTEMELOR MECATRONICE AVANSATE ÎN AGRICULTURA DE PRECIZIE	66
3. APLICAȚII ALE SISTEMELOR MECATRONICE AVANSATE ÎN INDUSTRIE	71
3.1 Contracte cu terți	71
3.2 Granturi de cercetare câștigate în competiții naționale	74
3.3 Alte activități de cercetare privind aplicații ale sistemelor mecatronice avansate în industrie	78
3.3.1 Sistem mecatronic pentru monitorizarea și managementul unor vehicule individuale sau flotelor de vehicule	78
3.3.2 Utilizarea rețelelor de senzori fără fir (wireless) pentru monitorizarea la distanță a parametrilor de mediu din incinte, respectiv a sistemelor wireless pentru controlul parametrilor de mediu din interior	84
3.4 Concluzii privind activitățile desfășurate în cadrul direcției de cercetare APLICAȚII ALE SISTEMELOR MECATRONICE AVANSATE ÎN INDUSTRIE	88
4. APLICAȚII ALE SISTEMELOR MECATRONICE AVANSATE ÎN MEDICINĂ	89
4.1 Utilizarea tehnicilor de inteligență artificială în diagnosticarea imagistică asistată ...	89
4.2 Proiectarea și dezvoltarea de sisteme mecatronice avansate pentru asistarea pacienților	97
4.3 Aplicații ale informaticii medicale în cercetări ale colegilor de la Facultatea de Medicină	100
4.4 Concluzii privind activitățile desfășurate în cadrul direcției de cercetare APLICAȚII ALE SISTEMELOR MECATRONICE AVANSATE ÎN MEDICINĂ	100
5. CONCLUZII PRIVIND REALIZĂRILE ȘTIINȚIFICE ȘI PROFESIONALE ...	102
B2. PLANURI DE EVOLUȚIE ȘI DEZVOLTARE A CARIEREI	103
1. EDUCAȚIE ȘI FORMARE	103
2. ACTIVITATE DIDACTICĂ	104
3. ACTIVITATE DE CERCETARE	107
4. VIZIBILITATE LA NIVEL LOCAL, NAȚIONAL, INTERNAȚIONAL	112
B3. BIBLIOGRAFIE	118

Motto:

*Profesorul nu trebuie să fie altceva decât
grădinarul sufletelor și al minților...*

MULȚUMIRI

Autorul acestei teze de abilitare aduce mulțumirile sale și se înclină cu respect în fața tuturor celor ce au avut încredere în el, tuturor celor ce i-au stat alături când a avut nevoie, tuturor celor care au găsit de dat un cuvânt bun, un zâmbet și o încurajare, tuturor celor ce l-au înțeles atunci când lucrurile păreau neînțelese, tuturor celor care i-au arătat calea, atunci când drumurile păreau fără ieșire, tuturor celor care l-au sprijinit atunci când a avut nevoie... Și toate acestea nu s-au întâmplat de acum de când cuvintele au început să se adune și să se aștearnă pe colile de hârtie, ci au început demult, atunci când părăsind băncile școlii și trecând de partea cealaltă, a înțeles că are o misiune de îndeplinit...

Mulțumirile se îndreaptă către familia lui, părinți și-n primul rând către soție, un suflet mare, cald pe care l-a simțit mereu alături, care a știut să aibă răbdarea, delicatețea și înțelegerea atât de căutate în ultima vreme la oameni... Le mulțumește apoi colegilor, celor cu care a lucrat alături și care se vor regăsi în realizările din toți acești ani, celor de la care întotdeauna a avut și va avea câte ceva de învățat, prietenilor, tuturor...

Către fiecare dintre voi, cei ce citiți aceste rânduri, se îndreaptă mulțumirile mele.

Spuneam odată că Profesorul nu trebuie să fie altceva decât grădinarul sufletelor și al minților... Nu cred că există împlinire mai mare ca atunci când vedem că semințele, pe care le sădim zilnic în sufletele și mințile studenților noștri, încolțesc și dau roade. Și cât este de frumos, și cât este de emoționant când plimbându-ne pe aleile vieții vedem chipuri care ne zâmbesc, frunți care se apleacă cu respect și auzim voci timide care ne șoptesc: “Bună ziua, domnule Profesor...”

Indiferent de vreme, de zile înnegurate sau zile senine, indiferent de resursele financiare de care dispunem, indiferent de problemele pe care le avem, florile, plantele din grădina noastră așteaptă să-și primească porția de căldură și razele de lumină.

Aceasta este misiunea de Dascăl. O misiune purtată cu demnitate, mândrie și onoare de către cei dinaintea noastră, de către cei care au înțeles răspunderea ce o au pentru ceea ce sădesc și cresc. Și dacă nu punem sufletul înainte de toate, misiunea aceasta nu poate fi dusă la bun sfârșit.

Valorile materiale pe care le lăsăm în urma noastră sunt toate trecătoare...

Valorile spirituale pe care le sădim în sufletele și mințile celor ce vin în urma noastră sunt singurele, adevăratele și cele mai de preț valori care rămân peste vremuri...

LISTA DE ABREVIERI

ADC	Analog to Digital Converter
ARM	Advanced RISC Machines
BD	Baza de Date
BLDC	Brushless DC electric motor
BLMC	BrushLess Motor Controller
CAN	Controller Area Network
CARI	Chlorophyll Absorption Ratio Index
CMOS	Complementary Metal-Oxide Semiconductor
CNC	Computer Numerical Control
CO	Coordonator
CVI	Chlorophyll Vegetation Index
DAC	Digital to Analog Converter
DLC	Data Logger Controller
ESC	Electronic Speed Controller
EVI	Enhanced Vegetation Index
fAPAR	fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation
FWHM	Full Width at Half Maximum
GIS	Geographic Information System
GNDVI	Green Normalized Difference Vegetation Index
GPIO	General-Purpose Input/Output
GPS	Global Positioning System
GPRS	General Packet Radio Service
GSD	Ground Sampling Distance
GSM	Global System for Mobile communication
HFOV	Horizontal Field Of View
I2C	Inter-Integrated Circuit

IMM	Intreprinderi Mici și Mijlocii
LAI	Leaf Area Index
Li-Po	Lithium-ion Polymer
MCARI	Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NDWI	Normalized Difference Water Index
NIR	Near InfraRed
OEM	Original Equipment Manufacturer
OSAVI	Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index
P1	Partener 1
P2	Partener 2
P3	Partener 3
PC	Personal Computer
PHP	Hypertext Preprocessor
PHTS	Patient' Health Tracking System
PSRI	Plant Senescence Reflectance Index
PWM	Pulse Width Modulation
RAM	Random Acces Memory
RE	Red Edge
RFID	Radio-Frequency IDentification
RGB	Red, Green, Blue
RISC	Reduced Instruction Set Computer
RNA	Rețea Neurală Artificială
ROM	Read Only Memory
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System
RSSI	Recieved Signal Strength Indicator
RTC	Real-Time Clock
RTL	Return To Launch
SAPSTIM	Sistem de Achiziție, Procesare, Stocare și Transmisie a Informațiilor Multispectrale
SAVI	Soil-Adjusted Vegetation Index
SBC	Single Board Computer
SD	Secure Digital

SMMMT	Sistem Mecatronic Mobil Multispectral Terestru
SMMMAA	Sistem Mecatronic Mobil Multispectral Autonom Aerian
SMS	Short Message Service
SPI	Serial Peripheral Interface
SR	Simple Ratio
SWIR	Short Wave InfraRed
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
TIMMSVCA	Tehnologie Inovativă de Monitorizare Multispectrală a Stării de Vegetație a Culturilor Agricole
TVI	Transformed Vegetation Index
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UDP	User Datagram Protocol
UGVS	Unmanned Ground Vehicle System
USB	Universal Serial Bus
UV	UltraViolet
VFOV	Vertical Field Of View
VIS	VISible
VNIR	Visible-Near Infrared
VTS	Vehicle Tracking System
WBI	Water Band Index
WMI	Water Moisture Index
WP	Work Package

A.

SUMMARY

Habilitation thesis entitled *Implementations Advanced Mechatronic Systems in Agriculture, Industry and Medicine* does a review in the first section, of the most important author's scientific and professional achievements starting after obtaining the PhD degree until now and presents in the second section, the evolution and development plans for career development that define the goals for the next period.

The entire research activity conducted within the period referred within is according to the mission of *Advanced Mechatronic Systems* Research Centre, meaning the development of highly complex research in high performance mechatronic systems implemented in industry, agriculture and medicine. For all this research it was considered as main objective the transfer of results to practical applications that make a direct contribution to improving people's lives. The research topics are in perfect accordance with the research center topics and aims to implementations of mechatronic systems in agriculture (a), industry (b) and medicine (c).

(a) The first research direction and that with the most significant achievements wants to make a major contribution to the development and improvement of **precision farming** through conception, design, development, testing and validation, and to improve **models of mechatronic systems used to monitor the crops vegetation status**. This is possible by using *vegetation indices*, values calculated after measuring the reflectance of sunlight on the surface of the plant and its correlation with the development status and their health. This helps answer before you actually see if a crop needs water, nutrients to grow optimally or a pesticide to help in the fight against pests. Two important projects are coordinated by the author as director on this topic. First develops two functional mechatronic systems, a terrestrial one and an unmanned air vehicle namely a drone with which we practically move over the crop the data acquisition systems specially designed. Data collected will represent inputs of a software system that will calculate the vegetation indices, will geo-reference (will correlate with the geographical position the points where data was collected), and can generate maps of favorability and risk, giving an interpretation of them. The second project improves an existing multispectral mechatronic system from one of the project partners in order to increase capture performance of vegetative parameters.

(b) Research conducted on **implementations of advanced mechatronic systems in industry** focused on two research, development and innovation contracts with third parties, as

director; on participation as a research team member in grants obtained by national competitions and on research collaborations. In this respect two achievements were more consistent, one that covers the design and implementation of a mechatronic system for monitoring and management of individual vehicles or fleets automotive vehicles, and the other relates to remote monitoring environmental parameters from storage buildings using Wireless Sensor Networks and control environmental parameters from the inside using similar equipment.

(c) The third direction, **implementations of advanced mechatronic systems in medicine**, has directed research to: *using artificial intelligence techniques in Imaging Computer-Aided Diagnosis*, a continuation of research from the PhD thesis and taking advantage of its achievements; *design and development of advanced mechatronic systems for assisting patients*; applications of medical informatics in research of the colleagues from the Faculty of Medicine. Important results obtained were the starting point for collaboration with partners and research institutes abroad.

The scientific and professional achievements of the author of this Habilitation thesis take into account research projects, patents, books, articles published in journals, participation in international conferences, organization of workshops, documented visits, participation in scientific sessions, products and innovative technologies obtained by all this work, each of them putting its mark on the author's personal development.

Over the years, the author has gained important experience in coordinating research teams, setting goals and carrying them out successfully completing them on time, within the limits of budgets and fulfilling technical standards and quality requirements.

The research results were and always will be the starting points for further research.

The second section of the thesis contains the evolution and development plans for career development that were structured on four areas: education and training; teaching activity; research; local, national and international visibility. For each of them the current context was identified and there were proposed explicit measures and realistic deadlines.

Getting the habilitation certificate will reward all the authors' efforts to date, but it will be also a moral obligation for him to transmit all the experience gained in the research to doctoral students, to those who should assume the mission to continue our work skillfully, diligently, passionately determined to face new challenges. It is up to us to plant the love for this job in their souls and do it to germinate and bear fruit. It will look like a souls' and minds precision agriculture of tomorrow people...

B.

REALIZĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI

PROFESIONALE ȘI PLANURI DE EVOLUȚIE

ȘI DEZVOLTARE A CARIEREI

B1. REALIZĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI PROFESIONALE

1. INTRODUCERE

Absolvent din anul 1993 al Universității *Transilvania* din Brașov, Facultatea de Mecanică, specializarea *Echipamente periferice pentru calculatoare și aparatură biomedicală*, ca șef de promoție, am ales să-mi încep activitatea nu ca angajat al unei companii, ci orientându-mă direct către cariera universitară unde orizontul de cunoaștere este permanent deschis. Semințele sădite de profesorii mei începeau să prindă rădăcini.

Dorința de a explora pas cu pas domenii noi, conexe pregătirii mele de bază a reprezentat și reprezintă o provocare.

În perioada 1994 – 1996 am urmat cursurile unui masterat cu dublă recunoaștere, obținând o diplomă de studii postuniversitare în *Management Energetic și Inginerie Mecanică* și un European Master of Science Degree Certificate in *Energy Management and Mechanical Engineering*, iar trei ani mai târziu, după o intensă perioadă de studii și căutări, am decis să aleg în cadrul tezei de doctorat direcția specializării legate de aparatura biomedicală, dar cu o temă de excepție care pune toate cunoștințele acumulate ca inginer, în slujba vieții pacienților. Lucrarea aborda un subiect inter-, multi- și transdisciplinar de strictă actualitate ce combina aspecte din domeniile biosistemelor (sistemul vizual uman), achiziției, prelucrării și analizei de imagine (imagistică medicală), tehnicilor de inteligență artificială (rețele neurale) și managementului informației (baze de date). Cercetările realizate nu s-au definitivat doar prin studii teoretice și demonstrative, ci s-au concretizat în realizarea unui produs care se poate utiliza practic în domeniul diagnosticării. Preocupările legate de acest domeniu au continuat și după finalizarea tezei de doctorat așa cum se va prezenta într-unul dintre subcapitolele următoare.

În paralel cu aceste cercetări, studiile din domeniul mecanic, au început să se combine cu cele din domeniul electronicii și cu cele din IT și astfel au început să prindă viață sistemele mecatronice, una dintre direcțiile în care realizările au fost și sunt remarcabile.

Mecatronics, prin natura ei multi- și transdisciplinară, a reprezentat, reprezintă și va reprezenta întotdeauna o atracție și o provocare.

De la preocuparea ca cercetările să poată fi aplicate concret în practică, cu precădere în scopul îmbunătățirii vieții oamenilor și până la implementarea sistemelor mecatronice în domeniul agriculturii, nu a fost decât un pas. O solicitare de colaborare a colegilor de la Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Cartof și Sfeclă de Zahăr din Brașov a condus către concepția, proiectarea și realizarea unor sisteme mecatronice avansate utilizate în agricultura de precizie, pentru monitorizarea stării de vegetație a culturilor agricole. Modele experimentale și funcționale ale unor sisteme terestre și aeriene ce includ module de achiziție de date special proiectate au fost și sunt dezvoltate în cadrul cercetărilor care se desfășoară în două importante proiecte la momentul redactării prezentei teze de abilitare, proiecte coordonate de autor.

Privind în urmă, încă de la terminarea studiilor universitare, activitatea de cercetare s-a derulat, cronologic, în următoarele domenii de competențe:

- Inginerie mecanică – proiectare/ fabricație asistată;
- Aplicații ale calculatoarelor în inginerie (hardware și software);
- Automatizări cu microprocesoare și microcontrollere, sisteme de achiziții de date;
- Informatică medicală, imagistică medicală, aparatură biomedicală, inteligență artificială;
- Sisteme mecatronice avansate cu aplicații în agricultura de precizie.

Activitatea de cercetare s-a desfășurat inițial în cadrul Centrului de cercetare CESMA CC-C68 (*Centrul de Excelență Științifică în Mecanică Aplicată*), Divizia B - *Aparate și Sisteme de Mecanică Fină, Nanotehnologii și Mecatronică Utilizate în Industrie și Medicină*, din care s-a format în anul 2005 Centrul de Cercetare *Sisteme Mecatronice Avansate*. Începând cu anul 2016, autorul tezei de abilitare este coordonatorul acestui centru.

Această teză de abilitare cuprinde rezultatele științifice publicate/ brevetate și realizările profesionale de la obținerea titlului de doctor și până în prezent.

Informațiile sunt structurate în trei capitole distincte care se referă la:

- Aplicații ale sistemelor mecatronice avansate în agricultura de precizie;
- Aplicații ale sistemelor mecatronice avansate în industrie;
- Aplicații ale sistemelor mecatronice avansate în medicină.

2. APLICAȚII ALE SISTEMELOR MECATRONICE AVANSATE ÎN AGRICULTURA DE PRECIZIE

2.1 Context

Trăim într-o lume în continuă schimbare. Probleme precum creșterea demografică, resursele limitate de hrană, modificările climatice globale, poluarea și deteriorarea mediului înconjurător marchează starea actuală a societății și au implicații majore asupra evoluției acesteia, asupra a ceea ce avem la acest moment și asupra a ceea ce vom lăsa celor care vin după noi.

Dezvoltarea durabilă, așa cum a fost definită de către Comisia Mondială pentru Mediul Înconjurător și Dezvoltare "*reprezintă capacitatea omenirii de a asigura continuu cerințele generației prezente, dar fără a le compromite pe cele ale generațiilor viitoare*".

În acest context, conceptul de **agricultură durabilă** ar putea fi una dintre cheile rezolvării numeroaselor probleme actuale. Agricultura durabilă vizează realizarea de producții intensive cu rezultate competitive, având raporturi "prietenose" cu mediul înconjurător, folosind sisteme integrate bazate pe utilizarea științifică, echilibrată a tuturor componentelor tehnologice [Mediu, 13].

Pentru implementarea unui astfel de concept este esențial un management eficient și eficace al culturilor agricole, ce are în vedere, printre altele, **monitorizarea** atentă a resurselor de sol și a dinamicii stării de vegetație a culturilor agricole [Puiu, 11].

În funcție de nevoile identificate ale plantelor, acestora li se pot furniza cantitățile optime de apă sau de input-uri chimice (îngrășăminte și pesticide spre exemplu). Monitorizarea continuă a stării de vegetație permite ca intervențiile să se realizeze în timp real, în locul unde este necesar, la momentul la care este necesar și în cantitatea care este necesară, toate acestea având un impact major din punct de vedere economic și al mediului.

Se definește astfel conceptul de **agricultură de precizie**, ca fiind cea mai avansată formă de agricultură ce are ca scop fundamental optimizarea utilizării resurselor de sol, apă și a input-urilor chimice pe baze specifice locale, pentru obținerea de producții mari și de calitate, optimizarea profiturilor economice, realizarea integrată a protecției mediului, mărirea durabilității sistemelor agricole [Olteanu, 12].

2.2 Tematica cercetărilor privind utilizarea sistemelor mecatronice în agricultura de precizie

Din aria largă de aplicabilitate a sistemelor mecatronice, realizările științifice și profesionale cele mai recente ale autorului acestei teze de abilitare vizează implementarea acestor sisteme în domeniul agriculturii.

Există o mare diversitate de aplicații ale sistemelor mecatronice în agricultură. Utilaje agricole care efectuează lucrări complet automatizat sau chiar autonom, de la faza de pregătire a terenului, însămânțare, tratare și până la cea de recoltare, dispunând de sisteme de navigație prin satelit și corelând poziția geografică cu tipul de decizie pe care trebuie să o ia (fertilizări localizate spre exemplu), cântărind în timp real produsele recoltate și întocmind hărți de productivitate a terenului sunt numai câteva exemple. [Brown J. H., 13], [NS Naik, 16], [Yaghoubi, 13].

Conceptul de „agricultură de precizie” are în vedere, printre altele, și folosirea informației și a tehnologiei mecatronice avansate, în gestionarea recoltelor. După cum se prezintă în referințele [Olteanu, 02] și [Puiu, 14], agricultura de precizie presupune o abordare sistemică a factorilor implicați, biologici, ecologici și socioeconomi, având ca elemente caracteristice componente spațiale și de timp și apărând ca o necesitate a eficientizării cantității de îngrășăminte și pesticide sub presiunea economică, legislativă și de protecție a mediului, a creșterii profitului și a controlului sistemelor agricole. Metodologic, agricultura de precizie înglobează metode de cercetare și interpretare a rezultatelor experimentale, pornind de la observații, experimentări, analiză statistică clasică și spațială, abordare sistemică, modelare și simulare a proceselor, până la utilizarea tehnologiilor spațiale de vârf.

O contribuție majoră la dezvoltarea și perfecționarea agriculturii de precizie. o reprezintă **monitorizarea stării de vegetație a culturilor agricole**, parte a unui management agricol de precizie, tematică a unor importante cercetări ce se desfășoară la nivel mondial și totodată **subiectul principal al cercetărilor autorului acestei teze de abilitare.**

Una dintre metodele utilizate pentru luarea unor decizii la momentul potrivit, presupune utilizarea **indicilor de vegetație**, valori calculate prin măsurarea reflectanței luminii soarelui de pe suprafața plantelor și corelate cu starea de dezvoltare și sănătate a acestora.

Pentru realizarea măsurărilor sunt necesare echipamente specializate care constau în sisteme de achiziție de date de la senzori mono, multi sau hiperspectrali, respectiv sisteme care să deplaseze, orienteze și poziționeze sistemele de achiziție deasupra culturilor pe suprafața monitorizată. **Toate aceste operații pot fi realizate numai cu ajutorul sistemelor mecatronice.** Având în componență elemente mecanice, module electronice și programe necesare funcționării,

sistemele mecatronice pot duce la îndeplinire aceste acțiuni, oferind fermierului un instrument util în preluarea informațiilor necesare din teren.

Datele culese vor reprezenta intrări ale unui sistem software care va calcula indicii de vegetație, îi va georeferenția (îi va corela cu poziția geografică a punctelor de unde datele au fost culese) și va putea genera hărți de favorabilitate și de risc, oferind o interpretare a acestora.

Preocupările autorului pentru această direcție de cercetare au început în anul 2013 în urma unei solicitări de colaborare sosite de la colegii din Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Cartof și Sfeclă de Zahăr din Brașov (INCDCSZ), prin domnul cercetător CS I ing. Gheorghe OLTEANU, care au propus dezvoltarea unui sistem cu ajutorul căruia să poată fi monitorizată “din mers” starea de vegetație a culturilor agricole. La acel moment măsurătorile se realizau static, prin deplasarea în teren cu echipamentele și preluarea informațiilor punct cu punct de către o persoană desemnată să le culeagă manual. Prima condiție impusă era ca noul sistem să se poată deplasa deasupra culturilor și să înregistreze datele în mod automat.

Tema se anunța extrem de ambițioasă și rezolvarea ei trebuia să implice echipe cu o bună pregătire și o bogată experiență. S-a decis realizarea unui consorțiu format din două universități (Universitatea Transilvania din Brașov și Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca – responsabil de proiect domnul șef lucr. dr. ing. Olimpiu HANCU), un institut de cercetare (INCDCSZ – responsabil de proiect domnul cercetător CS I ing. Gheorghe OLTEANU) și un partener din mediul economic (HIBRIDUL S.A. Hărman – responsabil de proiect domnul ing. Ioan BENEĂ) care să aplice rezultatul cercetărilor și s-a depus o cerere de finanțare în cadrul competiției naționale PNII - Parteneriate - Proiecte Colaborative de Cercetare Aplicativă, intitulată **“Proiectarea, realizarea și experimentarea unui sistem mecatronic de monitorizare multispectrală a stării de vegetație a culturilor agricole – MoniCult”**. Propunerea a obținut 93 de puncte în urma evaluării și a fost acceptată pentru finanțare, coordonator al proiectului fiind Universitatea Transilvania din Brașov, iar directorul de proiect fiind autorul acestei teze de abilitare. Valoarea totală a proiectului este de 1.437.500 lei (din care 1.250.000 lei de la bugetul de stat și 187.500 lei din alte surse atrase), cota Universității Transilvania fiind de 500.000 lei.

Gândit ca un instrument eficient și eficace de implementare a conceptului de agricultură de precizie, un astfel de proiect nu ar fi putut fi abordat individual de niciunul dintre parteneri. Expertiza institutului de cercetări agricole privind metodele de observare a stării de vegetație a culturilor agricole este pusă în valoare prin proiectarea și realizarea de către universitățile partenere a unor modele de sisteme mecatronice de tip terestru și respectiv aerian care să permită culegerea informațiilor în regim dinamic și interpretarea acestora cu ajutorul unui sistem suport decizional. Testarea și validarea rezultatelor revin atât institutului, cât și partenerului IMM care realizează

loturile demonstrative, monitorizează starea culturilor proprii, implementează managementul la nivel de fermă, asigurând totodată unul din cele mai importante de diseminare a soluțiilor inovative oferite de către proiect.

Cercetările în cadrul proiectului Monicult s-au desfășurat începând cu luna iulie 2014 și se vor încheia în luna septembrie a anului 2017.

În paralel cu acest proiect, echipa formată din specialiști ai Universității Transilvania din Brașov, alături de cei ai Institutului Național de Cercetare Dezvoltare pentru Cartof și Sfeclă de Zahăr din Brașov și ai companiei Drift Data Systems S.R.L. au depus o altă cerere de finanțare în anul 2016 pentru o tematică complementară proiectului Monicult, în cadrul competiției naționale PNIII, Programul 2 - Creșterea competitivității economiei românești prin cercetare, dezvoltare și inovare, Proiecte de tip Transfer de cunoaștere la agentul economic „Bridge Grant”. Cererea a fost și ea aprobată, primind un punctaj de 87 de puncte în urma evaluării, coordonator al proiectului fiind Universitatea Transilvania din Brașov, iar directorul de proiect fiind autorul acestei teze de abilitare. Valoarea totală a proiectului este de 460.000 lei, cota Universității Transilvania fiind de 322.000 lei.

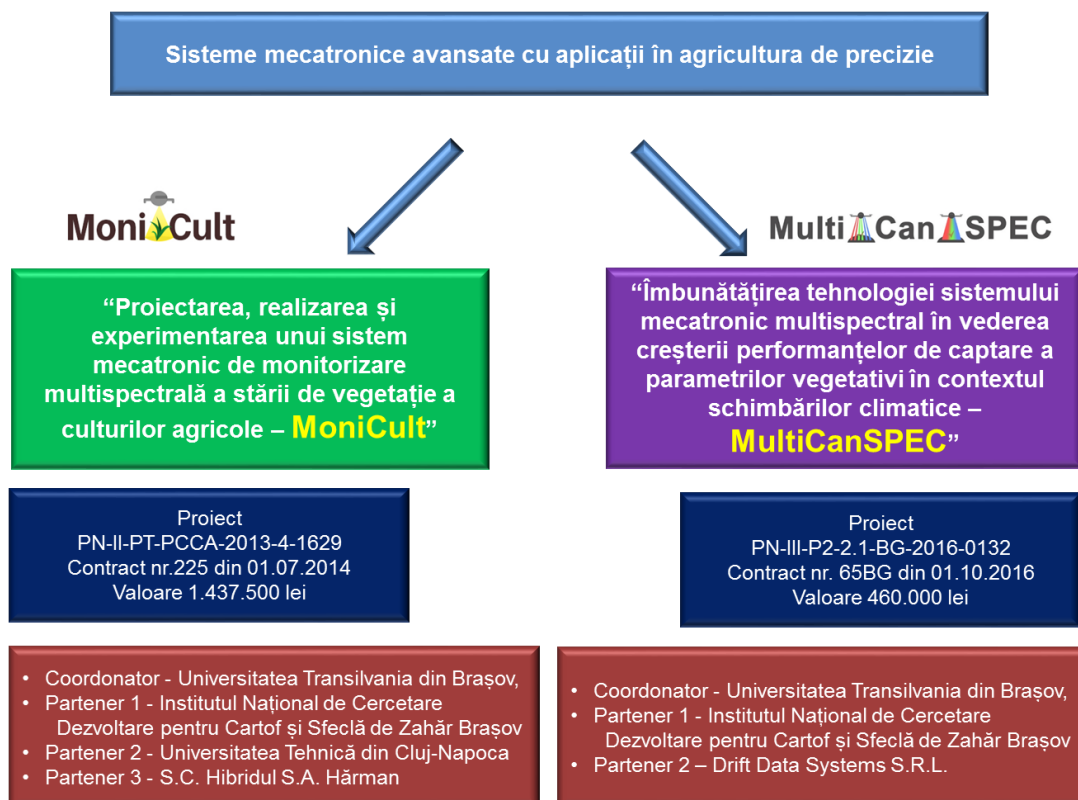


Fig. 1 Proiectele aferente cercetărilor privind implementarea unor sisteme mecatronice avansate în agricultura de precizie

Noul proiect intitulat “*Îmbunătățirea tehnologiei sistemului mecatronic multispectral în vederea creșterii performanțelor de captare a parametrilor vegetativi în contextul schimbărilor*”

climatică – **MultiCanSPEC**” își propune să perfecționeze, prin metode și procese avansate, tehnologia sistemului mecatronic hexaspectral existent la agentul economic Drift Data Systems S.R.L. Cercetările în cadrul proiectului MultiCanSPEC au început în luna octombrie 2016 și se vor încheia în luna septembrie a anului 2018

Prezentarea realizărilor științifice și profesionale în cadrul direcției de cercetare privind sistemele mecatronice avansate cu aplicații în agricultura de precizie se va axa pe activitatea din cadrul celor două proiecte amintite, publicațiile, cererile de brevete și rezultatele obținute.

O parte din informațiile prezentate în capitolele următoare se regăsesc în rapoartele tehnice și științifice ale proiectelor Monicult și MultiCanSPEC întocmite de autor [Monicult, 14], [Monicult, 15], [Monicult, 16], [MultiCanSPEC, 16].

2.3 Desfășurarea cercetărilor privind utilizarea sistemelor mecatronice în agricultura de precizie – proiectul Monicult

2.3.1 Scopul, obiectivele și modul de organizare

Scopul proiectului Monicult îl reprezintă **asigurarea unei soluții inovative de monitorizare multispectrală a stării de vegetație a culturilor agricole, bazată pe sisteme mecatronice, în vederea îmbunătățirii managementului agricol de precizie.**

Considerat de unii evaluatori ca un proiect prea ambițios, Monicult își propune ca obiective proiectarea, realizarea și experimentarea următoarelor produse (Fig.2):

- Model experimental ale unui **Sistem de Achiziție, Procesare, Stocare și Transmisie a Informațiilor Multispectrale (SAPSTIM)** pentru perfecționarea managementului culturilor agricole;
- Modele experimental și funcțional ale unui **Sistem Mecatronic Mobil Multispectral Terestru (SMMMT)** de monitorizare multispectrală a stării de vegetație a culturilor agricole;
- Modele experimental și funcțional ale unui **Sistem Mecatronic Mobil Multispectral Autonom Aerian (SMMMAA)** de monitorizare multispectrală a stării de vegetație a culturilor agricole;
- **Tehnologie Inovativă de Monitorizare Multispectrală a Stării de Vegetație a Culturilor Agricole (TIMMSVCA)** pentru perfecționarea managementului de precizie al acestora.

SAPSTIM trebuia să fie special proiectat pentru a se integra cu cele două sisteme mecatronice mobile din cadrul proiectului și pentru a furniza întreaga paletă de informații pentru TIMMSVCA.

Caracterul integrativ al mecatronicii se reflectă și în produsele finale ale proiectului, produse care trebuie să lucreze împreună pentru a oferi fermierului o unealtă completă în ceea ce privește un management de calitate, de precizie asupra monitorizării stării de vegetație a culturilor agricole.

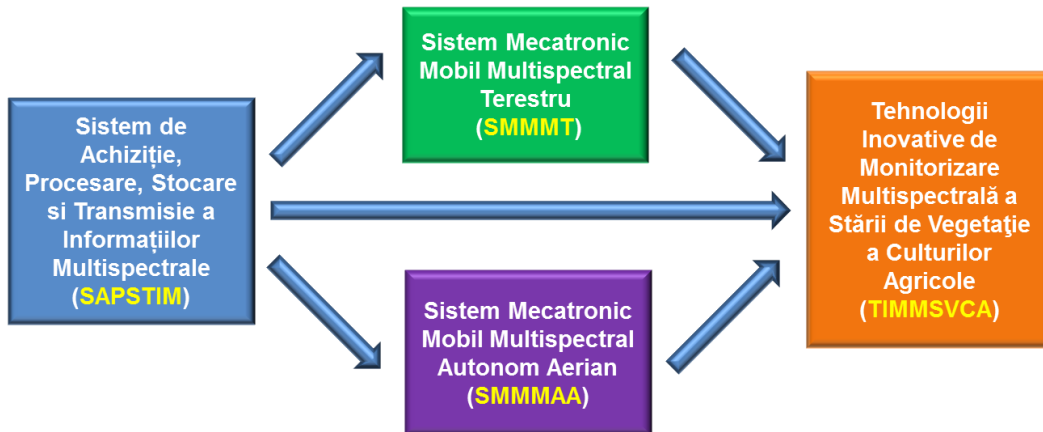


Fig. 2 Produsele obținute în urma finalizării proiectului Monicult

Inițial s-a intenționat ca cercetările să acopere doar sistemul mobil terestru, însă ideea celui aerian era o provocare prea tentantă ca să nu fie acceptată.

La momentul depunerii cererii de finanțare, cercetările și realizările la nivel mondial privind utilizarea de sisteme mobile autonome aeriene (cunoscute și sub denumirea de drone sau UAV-uri – Unmanned Aerial Vehicles) în aplicații de monitorizare a stării de vegetație a culturilor agricole erau destul de restrânse. Un an mai târziu interesul pentru astfel de sisteme “a explodat” existând la acest moment pe piață diverse soluții comerciale care oferă posibilitatea de preluare a informațiilor cu camere multispectrale și calculul unui număr limitat de indici de vegetație.

În cercetările efectuate în cadrul proiectului nu au fost utilizate astfel de camere, ci senzori multispectrali (pe sistemul terestru), respectiv hiperspectrali (pe sistemul aerian) descriși în subcapitolele următoare.

Proiectul nu își propune să ofere un prototip sau o versiune comercială a produsului, pe care fermierul să o poată achiziționa din magazin. Cercetările concretizate prin modele experimentale și funcționale vor sta însă la baza identificării de noi indici de vegetație, verificării celor existenți și pregătirii pentru realizarea produsului comercial în varianta optimizată din punct de vedere al costurilor.

Activitățile de cercetare au fost organizate pe patru pachete de lucru și anume: WP1 - *Proiectarea, realizarea și experimentarea unui Sistem de Achiziție, Procesare, Stocare și Transmisie a Informațiilor Multispectrale (SAPSTIM)* pentru perfecționarea managementului culturilor agricole, coordonat de Universitatea Transilvania din Brașov (Coordonator al proiectului), WP2 - *Proiectarea, realizarea și experimentarea unui Sistem Mecatronic Mobil Multispectral Terestru (SMMM-T)* de monitorizare multispectrală a stării de vegetație a culturilor agricole coordonat de Partenerul P2 – Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, WP3 - *Proiectarea, realizarea și experimentarea unui Sistem Mecatronic Mobil Multispectral Autonom Aerian (SMMM-AA)* de monitorizare multispectrală a stării de vegetație a culturilor agricole coordonat de Universitatea Transilvania din Brașov și WP4 - *Proiectarea, realizarea și experimentarea unei Tehnologii Inovative de Monitorizare Multispectrală a Stării de Vegetație a Culturilor Agricole (TIMMSVCA)* coordonat de partenerul P1 - Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Cartof și Sfeclă de Zahăr Brașov.

Fiecare pachet a cuprins activități repartizate partenerilor care au lucrat individual sau activități la care s-a lucrat în comun.

2.3.2 Utilizarea informației multispectrale în managementul culturilor agricole

Pentru o bună informare asupra a ceea ce exista la nivel național și internațional a fost realizată o vastă documentare și întocmită o analiză asupra stadiului actual în domeniul agriculturii de precizie, privind monitorizarea stării de vegetație.

În studiul realizat de coordonator au fost vizate următoarele elemente: tehnologiile și echipamentele cu care se fac măsurătorile; tehnicile de măsurare; metodele și algoritmi de procesare a informațiilor; tehnologiile de interpretare a rezultatelor și generare a deciziilor.

Monitorizarea resurselor și a stării de vegetație se efectuează cu senzori cu contact și senzori fără contact (pentru măsurări la distanță), achiziția automată a datelor fiind corelată cu coordonatele GPS (georeferențierea datelor) și prelucrarea acestora în sistemul GIS (Geographic Information System) pentru realizarea hărților necesare în managementul spațial și de precizie.

În ceea ce privește tehnologiile avansate și echipamentele implicate în astfel de măsurători sunt amintite: vederea artificială, spectroscopia, utilizarea razelor X, rezonanța magnetică, metodele chimice de detecție, rețelele de senzori wireless și senzori RFID [Ruiz-Altisent, 10], [Bencini, 09], [Sankaran, 10], [Ruiz-Garcia, 09]. Utilizarea metodelor de detecție multispectrale a fost studiată pe scară largă pentru a evalua nivelul de nutriție al culturilor bazat pe nivelul de reflectanță în mai multe benzi spectrale [Kim, 00], [Sui, 05], [Grift, 08]. Pentru monitorizare, cele

mai bune rezultate se obțin prin folosirea echipamentelor hiper- sau multispectrale care permit supravegherea de arii întinse [Lorente, 12]. Pentru detectarea, identificarea, cuantificarea și monitorizarea bolilor culturilor se folosesc senzori optici, iar rezultate bune se obțin cu ajutorul termografiei, clorofil-fluorescenței și senzorilor multi- și hiperspectrali [Mahlein, 12], [Borhan, 04].

Când radiația solară întâlnește o suprafață, ea poate fi absorbită, reflectată sau transmisă mai departe într-o anumită măsură. Fiecare suprafață va afecta diferit radiația solară, în sensul celor trei acțiuni amintite. În acest fel fiecare material va avea propria amprentă asociată spectrului de reflectanță definit pentru un interval de lungimi de undă ale radiației incidente și va putea fi identificat după ea, în măsura în care rezoluția spectrală este suficient de mare pentru a putea face distincție între diverse materiale [Ashraf, 11]. Acest principiu stă la baza identificării suprafețelor cu vegetație și chiar la determinarea stării de sănătate sau de dezvoltare a acestei vegetații. În Fig.3 este prezentat spectrul de reflectanță pentru diferite materiale.

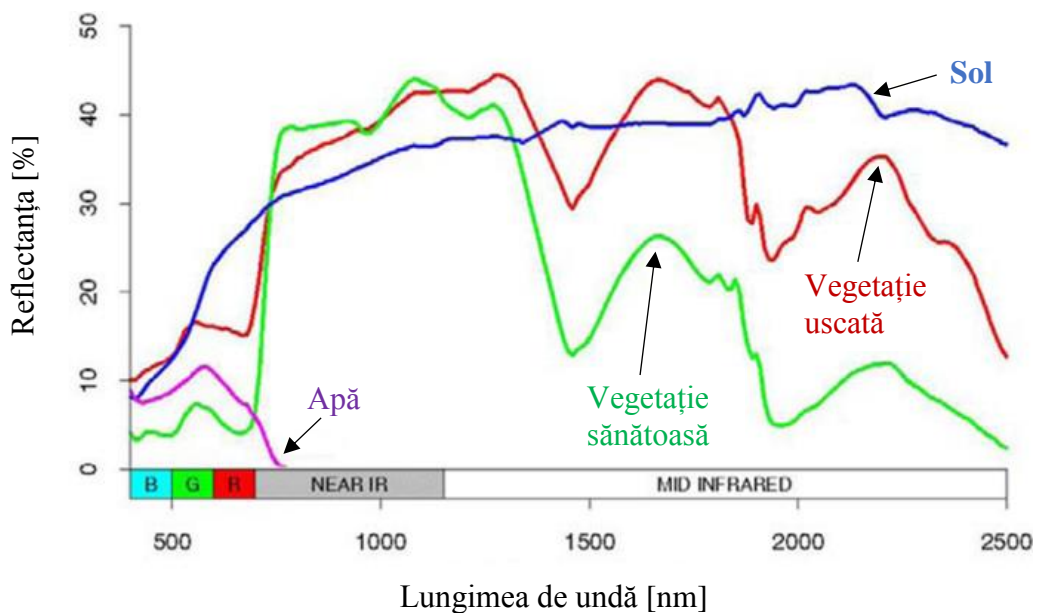


Fig. 3 Spectrul de reflectanță pentru diferite materiale [Ashraf, 11]

Așa cum se observă în Fig.3, vegetația are propria amprentă care o diferențiază de alte elemente. Reflectanța este redusă în zonele de albastru și roșu ale spectrului, datorită absorbției de către clorofilă în procesul de fotosinteză și are un vârf în zona de verde. În domeniul infraroșu apropiat (NIR – Near Infrared) reflectanța este mult mai mare decât în spectrul vizibil (VIS) datorită structurii celulare din frunze, fapt ce recomandă identificarea acestora folosind măsurătorile din domeniul NIR.

Forma spectrului vegetației permite determinarea tipului de vegetație. În Fig. 3 se poate remarca faptul că vegetația uscată va avea o reflectanță mai mare în domeniul VIS și mai mică în

NIR. Spre exemplu, pentru același tip de vegetație, spectrul poate fi influențat de conținutul de apă din frunze (sesizabil în domeniul SWIR – Short Wave InfraRed) și de starea de sănătate a plantelor, analiza lui permițând punerea în evidență a stresului hidric sau a altor factori ce pot afecta plantele [Ashraf, 11] (Fig.4).

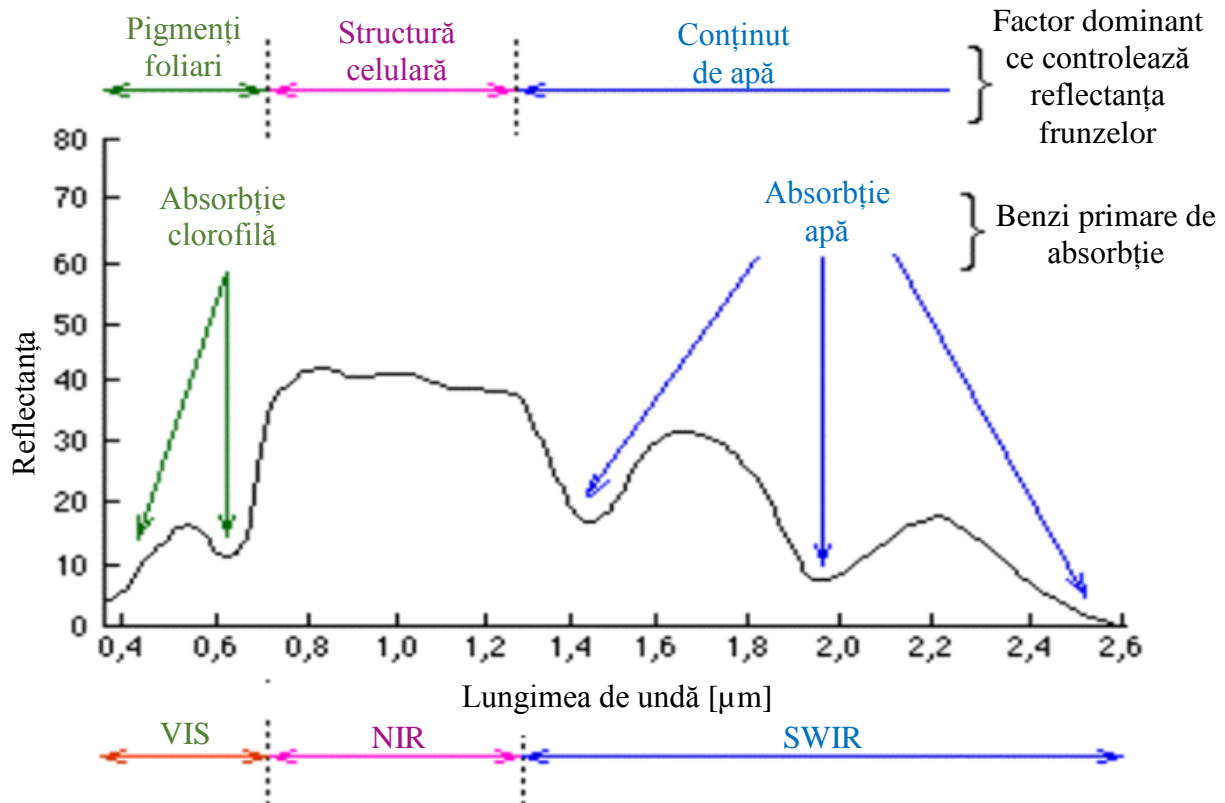


Fig. 4 Caracteristici ale spectrului de reflectanță al plantelor [Ashraf, 11]

Ținând cont de aceste aspecte, starea de vegetație a plantelor poate fi determinată prin analiza informațiilor spectrale, utilizând indici de vegetație calculați pentru valori ale reflectanței la diferite lungimi de undă.

Unul dintre primii și cei mai cunoscuți indici de vegetație este NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – *Indicele de vegetație diferență normalizată*, calculat cu ajutorul relației:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

reprezentând raportul normalizat dintre reflectanța măsurată pentru benzile Roșu (RED) 670 nm și Infraroșu apropiat (NIR) 800 nm [Rouse, 74]. Acest indice oferă informații despre dezvoltarea și densitatea vegetației și este utilizat pentru estimarea biomasei, intensității de verde (Greenness), producției, fracției de radiație activă absorbite în procesul de fotosinteză (fAPAR), indicelui

suprafeței foliare (LAI), identificarea speciilor dominante de plante etc. [Myneni, 94], [North, 02], [Pettorelli, 05].

Un alt indice important este LAI (Leaf Area Index) – *Indicele suprafeței foliare* care oferă informații despre starea generală de dezvoltare a plantelor.

Starea clorofilei poate fi monitorizată cu ajutorul indicelui CARI (Chlorophyll Absorption Ratio Index) care măsoară nivelul de absorbție a clorofilei la lungimea de undă de 670 nm raportat la vârful de reflectanță de verde la 550 nm și reflectanța la 700 nm [Kim, 94].

CARI a fost apoi simplificat [Daughtry, 00] obținându-se indicele modificat MCARI (Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index) dat de relația [Haboudanea, 04]:

$$MCARI = [(R_{700} - R_{670}) - 0.2 \cdot (R_{700} - R_{550})] \cdot \frac{R_{700}}{R_{670}} \quad (2)$$

unde R_x este reflectanța măsurată la lungimea de undă x .

Informații asupra stării apei în învelișul foliar se pot obține prin intermediul indicilor WBI Water Band Index [Penuelas, 97], respectiv WMI (Water Moisture Index) [Hunt, 89]:

$$WBI = \frac{R_{970}}{R_{900}}, \quad WMI = \frac{R_{1600}}{R_{820}} \quad (3)$$

Utilizând informațiile spectrale se poate identifica din timp starea de stres a plantelor datorată lipsei de apă, bolilor sau dăunătorilor, fermierii având astfel posibilitatea să intervină în vederea salvării culturilor. Nivelul de stres poate fi sesizat printr-o scădere progresivă a reflectanței în domeniul NIR, însoțită de o creștere a acesteia în domeniul SWIR [Ashraf, 11] Fig.5.

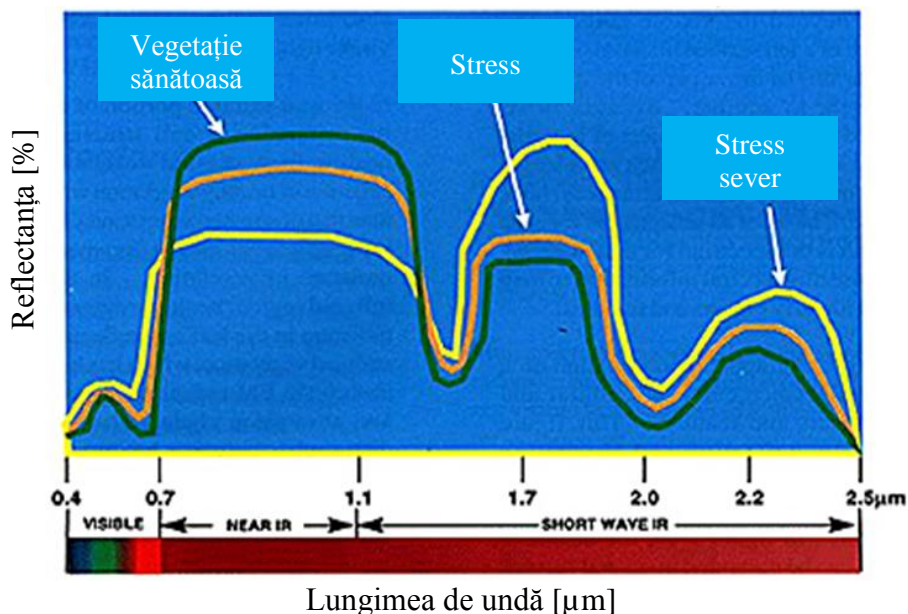


Fig. 5 Amprente spectrale ce evidențiază nivelul de stres al plantelor [Ashraf, 11]

Bazat pe bogata experiență în domeniul agriculturii și a monitorizării stării de vegetație a culturilor agricole, studiul partenerului P1 - Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Cartof și Sfeclă de Zahăr Brașov, a vizat analiza celor mai importanți indici de vegetație grupați pe șapte categorii [Monicult, 14]: Intensitatea de Verde Scanată în Bandă Largă (Broadband Greenness) - lungimi de undă: 450, 500, 555, 600, 680, 800 nm - 23 de indici de vegetație; Intensitatea de Verde Scanată în Bandă Îngustă (Narrowband Greenness) - lungimi de undă: 445, 550, 690, 700, 705, 715, 720, 740, 740, 747, 750, 800 nm - 12 de indici de vegetație; Azotul Învelișului Foliar (Canopy Nitrogen) - lungimi de undă: 1510, 1680 nm - un indice de vegetație; Conținutul de Apă al Învelișului Foliar (Canopy Water Content) - lungimi de undă: 819, 857, 900, 970, 1241, 1599, 1640, 1649, 2130 nm - 5 indici de vegetație; Carbonul Foliajului Uscat sau Îmbătrânit (Dry or Senescent Carbon) - lungimi de undă: 500, 750, 1680, 1754, 2000, 2200 nm - 3 de indici de vegetație; Pigmenții Foliari (Leaf Pigments) - lungimi de undă: 510, 550, 700 nm - 4 indici de vegetație; Eficiența Utilizării Luminii - lungimi de undă: 445, 500, 531, 570, 699, 800 nm - 3 de indici de vegetație.

În acest fel, partenerul P1 a furnizat date esențiale care privesc caracterizarea informațiilor spectrale specifice managementului culturii plantelor (Tabel 1) [Monicult, 14].

Tabel 1 Modul de centralizare al indicilor de vegetație realizat de partenerul P1 [Monicult, 14]

Nr. crt.	Acronim	Denumire	Descriere	Formulă calcul	Lung. undă	Domeniul	Valori curente	Sursa	Bibliografie
1	NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	Indicele de vegetație diferență normalizată – NDVI reprezintă o transformare non-lineară a benzilor vizibil (roșu) și infraroșu apropiat (NIR) fiind definită ca diferența dintre aceste două benzi, împărțită la suma lor. NDVI este o „unitate de măsură” a dezvoltării și densității vegetației și este asociat cu parametrii biofizici ca: biomasa (tone/ ha), indicele foliar (LAI), folosit foarte des în modele de creștere a culturilor, procentul de acoperire cu vegetație al terenului, activitatea fotosintetică a vegetației.	$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$	680, 800.	-1/+1	0.2/0.8	ENVI	Rouse, J., R. Haas, J. Schell, and D. Deering, 1973; Raport al Proiectului CLIMHYDEX - cod PNII-ID-2011-2-0073), Contract nr. 5/2012. 05.11.

Informațiile despre indicii de vegetație oferite au fost prezentate centralizat, cuprinzând: acronimul, denumirea, descrierea, formula de calcul, lungimile de undă utilizate, domeniu, valori curente, sursa și informațiile bibliografice.

Odată cunoscute tipurile de date spectrale care trebuie achiziționate, s-a trecut la identificarea variantelor de senzori și a echipamentelor care vor forma sistemele de achiziție a datelor.

2.3.3 Sistemul de Achiziție, Procesare, Stocare și Transmisie a Informațiilor Multispectrale (SAPSTIM)

Etapele cercetărilor desfășurate în cadrul primului pachet de lucru al proiectului Monicult vizând elaborarea, proiectarea, realizarea și testarea modelului experimental al SAPSTIM sunt prezentate în Fig. 6.

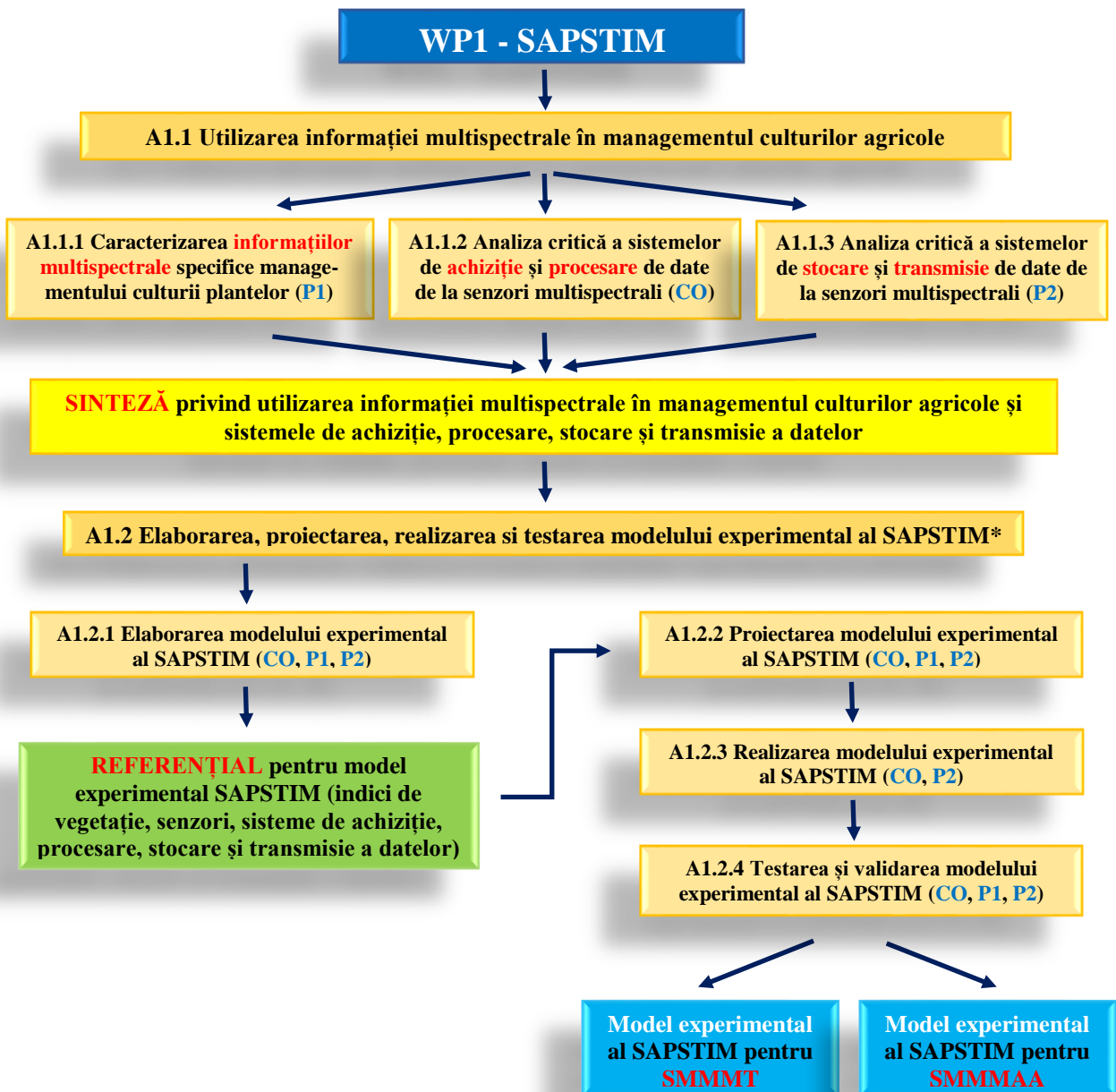


Fig. 6 Modul de organizare al cercetărilor pentru elaborarea, proiectarea, realizarea, testarea și validarea modelului experimental al SAPSTIM

Așa cum s-a putut remarca din subcapitolul anterior, plaja lungimilor de undă aferentă indicilor de vegetație este foarte mare, ea poate fi acoperită integral, în faza de cercetare, prin intermediul unor senzori **hiperspectrali**. Senzorii multispectrali care existau în cadrul infrastructurii partenerului P1 (Cropscan cu optică MSR87, respectiv MSR16R) furnizau citiri pentru 16 lungimi de undă, cuprinse în intervalul 460 - 1500 nm. Era de dorit ca aceștia să poată fi completați cu echipamente care să permită efectuarea de măsurători și pentru alte lungimi de undă din domeniul 350 – 2500 nm.

În acest sens coordonatorul proiectului a avut în vedere un studiu complex pentru alegerea **tipului/ tipurilor de senzori** ce puteau fi utilizați în modelul experimental. Acești senzori trebuiau

să îndeplinească o serie de condiții esențiale pentru a fi folosiți în cadrul proiectului. Dintre cele mai importante caracteristici impuse amintim: lățimea de bandă (350 – 2500 nm); greutatea pentru a fi montați pe Sistemul Mecatronic Mobil Multispectral Autonom Aerian (SMMMMAA) – dronă; integrarea în sisteme de achiziție de date programabile și reconfigurabile în funcție de cerințele modelelor sistemelor mecatronice din cadrul acestui proiect (SMMMMAA și SMMMMAA); utilizarea în condiții diferite de iluminare și de la înălțimi diferite de măsurare.

Au fost studiate ofertele celor mai importante firme care fabrică senzori hiperspectrali. Spectrometre miniatură oferă companii precum OCEAN OPTICS (STS microspectrometer), HAMAMATSU (C11009MA, C11010MA mini-spectrometers, C10988MA-01 ultra compact mini-spectrometer integrating MEMS and image sensor technologies), NANO OPTIC DEVICES (Nano-Stick Spectrometer), StellarNet Inc (BLUE-Wave Miniature Fiber Optic Spectrometers), THOTH Technology Inc. (Argus IR Spectrometers) și altele.

În prima etapă, coordonatorul proiectului a reușit să achiziționeze trei spectrometre miniatură OCEAN OPTICS: unul care acoperă domeniul VIS (350-800 nm) și două pentru domeniul NIR (650-1100 nm), cu rezoluție optică de 1,5 nm. Ulterior a fost achiziționat al patrulea spectrometru, pentru domeniul VIS.

Tehnicile de măsurare utilizate în prezent se diferențiază prin tipul de mobilitate a sistemului de achiziție de date și pot viza [Luculescu, 16a]:

- **Măsurători statice**, în care fermierul se deplasează pe teren și culege succesiv datele spectrale în anumite puncte ale culturii agricole. Dezavantaje: operație lentă, informațiile culese puține, echipamente transportate și utilizate de fermier;
- **Măsurători dinamice** (din mers), în care echipamentele de măsurare sunt fixate pe sisteme mobile de tip terestru (utilaje agricole, sisteme mobile autonome special create), sisteme mobile de tip aerian (cu pilot - avioane, elicoptere, respectiv sisteme aeriene fără pilot – drone: aeroplane, deltaplane, quad-coptere etc.) [Laliberte, 11], [Zhang, 12] sau sateliți de observare [Grift, 08].

Sistemele de achiziție, procesare, stocare și transmisie a informațiilor din domeniul agriculturii de precizie, utilizate în măsurători dinamice, trebuie să respecte o serie de condiții foarte importante, dintre care amintim:

- Timp de conversie scurt pentru obținerea numărului dorit de eşantioane per unitatea de timp;
- Greutate și consum de energie reduse, pentru sistemele de achiziție folosite pe drone;
- Procesare rapidă a datelor;
- Posibilitate de stocare a informațiilor și de transmisie la distanță a acestora;

- Posibilitatea de integrare a altor tipuri de senzori;
- Posibilitate de integrare a unui GPS de precizie, necesar georeferențierii datelor achiziționate în vederea trasării hărților de favorabilitate și de risc al culturilor agricole.

Studiile efectuate au identificat o mare diversitate de soluții evidențiate în rapoartele pe care partenerii din proiect le-au întocmit. Dintre soluțiile comerciale s-au remarcat cele de la Aimagin (<https://www.aimagin.com/>), Advanticsys (<http://www.advanticsys.com/>), Libelium (<http://www.libelium.com/>).

Modulele de la Libelium fac parte din infrastructura de cercetare de care dispune coordonatorul proiectului și cu ajutorul acestora au fost realizate o serie de teste în cadrul modelului experimental al SAPSTIM.

Elaborarea modelului experimental al SAPSTIM a fost realizată de către partenerii CO, P1 și P2 în colaborare, corespunzător competențelor fiecărei echipe de cercetare. Pentru aceasta s-au avut în vedere particularitățile pe care un astfel de sistem trebuie să le aibă în cele două versiuni în care va funcționa: încorporat în SMMMT, respectiv purtat de SMMMAA, condițiile fiind mult mai severe la această din urmă variantă.

În urma analizelor efectuate s-a stabilit un **referențial** de la care s-a pornit pentru proiectarea, realizarea și testarea SAPSTIM. Acesta conținea elemente comune pentru cele două produse ale proiectului (SMMMT și SMMMAA), dar și particularități suplimentare pentru SMMMAA.

Astfel referențialul modelului experimental al SAPSTIM pentru SMMMT și SMMMAA conține condiții referitoare la senzori, sistemul de achiziții de date, sistemul de stocare a datelor, sistemul de transmisie a datelor, georeferențiere a datelor multispectrale, software-ul de achiziție, procesare, stocare și transmisie de date. Suplimentar, referențialul modelului experimental al SAPSTIM pentru SMMMAA conține condiții referitoare la gabarit și consum de energie. S-a stabilit, de asemenea, un referențial și pentru baza de date (BD) în care vor trebui importate informațiile culese.

Procesul de dezvoltare s-a constituit ca o abordare ”top-down”, plecând de la generic către specific, de la nivelul sistemului către nivelul componentei, de la imaginea de ansamblu la cele mai mici părți componente. Activitățile principale desfășurate în cadrul dezvoltării SAPSTIM sunt prezentate în Fig. 7 [Monicult, 15].

1. **Stabilirea referențialului sistemului.** Pornind de la conceptul agriculturii de precizie, cunoscând semnificația informațiilor multispectrale, având în vedere obiectivele proiectului, în prima etapă s-au delimitat cerințele pe care sistemul de achiziție de date trebuie să le îndeplinească. Studiul amănunțit, critic, privind utilizarea informației multispectrale în

managementul culturilor agricole, realizat în cadrul primei etape, a permis stabilirea referențialului pentru modelul experimental al SAPSTIM (indici de vegetație, senzori, sisteme de achiziție, procesare, stocare și transmisie a datelor), referențial ce a stat la baza proiectării acestui sistem;

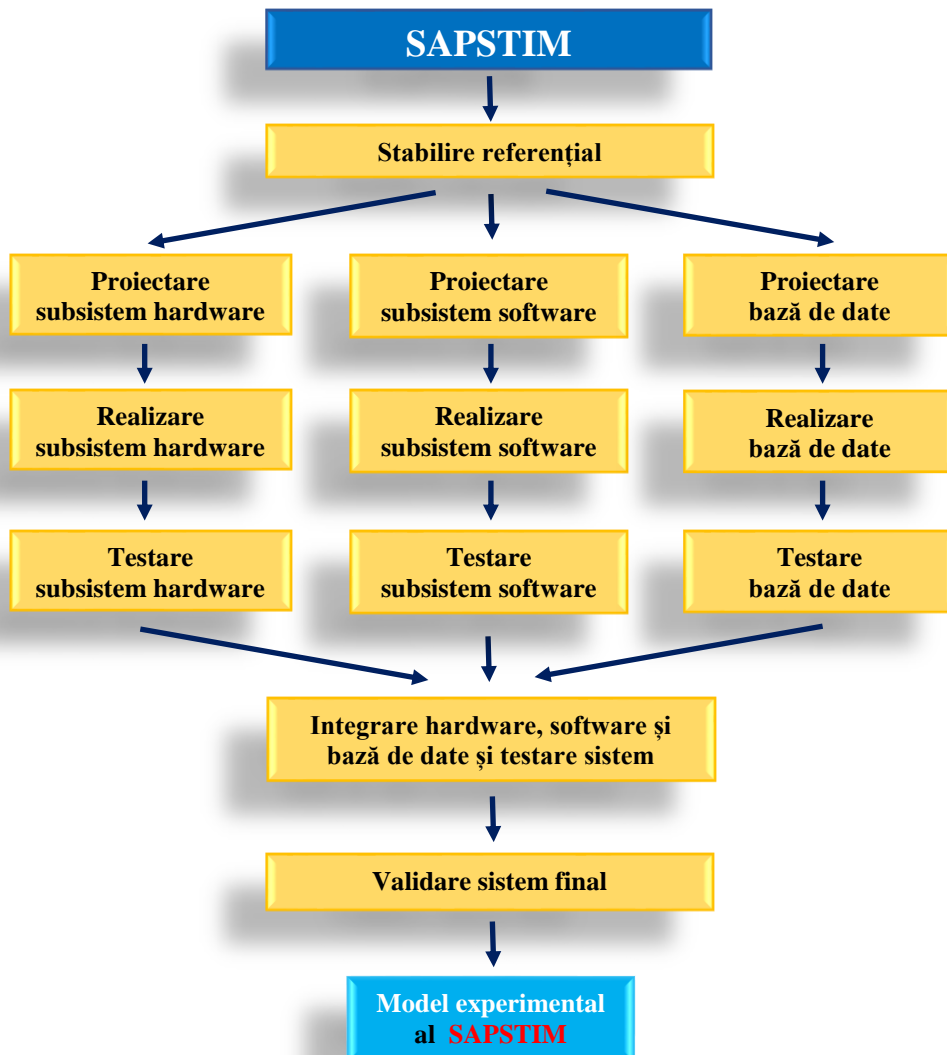


Fig. 7 Etapele dezvoltării SAPSTIM

2. **Proiectarea subsistemelor hardware, software și a bazei de date.** După stabilirea referențialului s-a trecut la **proiectarea structurii subsistemului hardware**, avându-se în vedere particularitățile elementelor componente precum și condițiile specifice de funcționare și relaționare. La alegerea componentelor au fost luate în considerare multiplele opțiuni disponibile pe piață precum și cele aflate în dotarea partenerilor din proiect. **Proiectarea subsistemului software** a presupus definirea modulelor componente, a funcționalității sistemului de achiziție în întregime și a fiecărui modul în particular, stabilirea interfețelor dintre module, stabilirea modului de legătură cu componente

hardware etc. Problemele au fost discutate atât în cadrul larg între parteneri, cât și în cadrul echipei responsabile de dezvoltarea software. **Proiectarea bazei de date** utilizate pentru stocarea informațiilor a avut în vedere o soluție parametrizată utilizabilă pentru ambele sisteme (SMMMT și SMMMAA) în ceea ce privește transferul și procesarea datelor spectrale. S-a definit o structură de bază de date ce a fost folosită în întregul proiect. Conform cu această structură se vor face stocarea și transferul informațiilor de la SMMMT, respectiv SMMMAA către TIMMSVCA;

3. **Realizarea subsistemelor hardware, software și a bazei de date** a fost făcută de coordonator la nivel experimental. O mare parte a timpului alocat procesului de dezvoltare a fost utilizat pentru realizarea efectivă a software-ului. Programele de funcționare sunt diferite pentru SMMMT și SMMMAA.
4. **Testarea subsistemelor hardware, software și a bazei de date** a fost făcută de către coordonator împreună cu partenerii, fiind necesar un timp semnificativ pentru fiecare test și corectare a erorilor;
5. **Integrarea subsistemelor hardware, software și a bazei de date și testarea sistemului** a presupus punerea laolaltă a modulelor și funcționalităților dezvoltate separat, integrarea pentru o funcționare optimă, adaptarea și corectarea anumitor inconsistențe. Integrarea a fost un proces asiduu, deoarece la asamblarea modulelor au apărut o serie de limitări ale microcontroller-ului și platformei de achiziție, care nu s-au manifestat în testele individuale. Au fost întâmpinate probleme deosebite în ceea ce privește achiziția dinamică a datelor.
6. **Validarea sistemului final.** Prin teste de simulare a funcționării în mediul real, cu toate funcționalitățile active și apoi prin testarea în teren, s-au analizat, corectat, validat rezultatele obținute de către sistem în totalitatea sa, raportat la obiectivele stabilite și s-au evidențiat performanțele sistemului realizat.

Structura modelului experimental al SAPSTIM destinat utilizării pe SMMMT este prezentată în Fig. 8.

Elementele componente ale sistemului cuprind [Luculescu, 16a]: placa de dezvoltare cu microcontroller (s-a optat pentru o platformă Arduino Mega 2560); senzorul multispectral Cropsan care dispune de posibilitatea de a achiziționa informații pentru 16 lungimi de undă; datalogger-ul DLC pentru achiziționarea informațiilor de la senzorul multispectral; un GPS necesar georeferențierii datelor achiziționate (Trimble GeoXH); un senzor de temperatură în infraroșu pentru măsurarea temperaturii la suprafața plantelor; un senzor de distanță cu ultrasunete ce poate lucra în mediu exterior protejat la praf și umezeală; un sistem pentru stocarea informațiilor

pe card SD; un panou de control pentru interfața cu utilizatorul/ operatorul; o interfață pentru transmisia informațiilor la distanță.

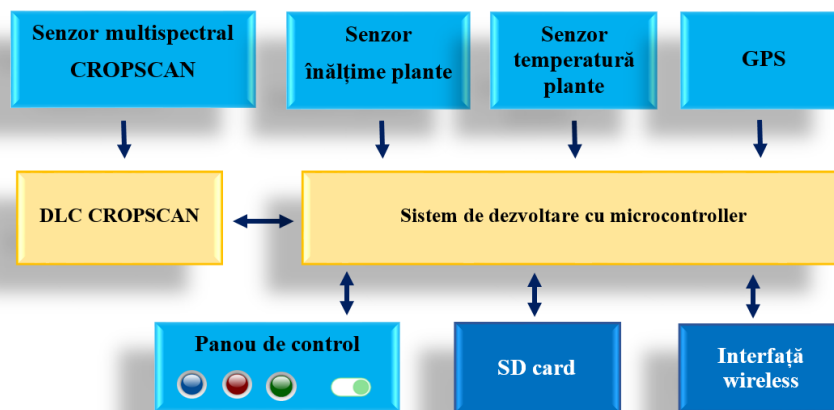


Fig. 8 Structura modelului experimental al SAPSTIM [Monicult, 15]

În cadrul modelului funcțional al SMMMT, senzorii se montează pe o platformă mecanică a cărei poziționare se face prin intermediul unui sistem cu acționare hidraulică. Pentru conectare la cutia controllerului se folosesc cabluri individuale. Carcasa, protejată la umezeală și praf este montată în partea frontală a tractorului, panoul de control se află poziționat în cabina tractorului.

Din punct de vedere al software-ului, acesta a fost proiectat integral de echipa proiectului. Având în vedere diversitatea și faptul că intrările și ieșirile sunt asincrone, a fost necesară o organizare modulară, descentralizată a programului, astfel încât toate funcțiile să fie îndeplinite independent și fără a fi afectate prin utilizarea excesivă a resurselor de timp de procesare și/ sau memorie sau întrerupere [Monicult, 15].

Sistemul de achiziție realizează un volum redus de procesări ale datelor. În faza inițială el trebuie doar să stocheze informațiile în fișiere, conform formatului stabilit, pe un card de memorie, urmând ca în faza finală a proiectului să se implementeze și posibilitatea de transmisie wireless a informațiilor. Procesarea datelor pentru adăugarea în baza de date și prezentarea lor se face pe un calculator personal.

Modelul experimental al SAPSTIM destinat utilizării pe SMMMAA.

Considerentele legate de gabarit și consum de energie, nu permit utilizarea aceleiași versiuni de SAPSTIM de pe SMMMT și pe SMMMAA (dronă). Datorită acestor motive, s-a optat pentru un sistem de achiziție hiperspectral STS de la Ocean OPTICS care acoperă domeniile VIS (350-800 nm) și NIR (650-1100 nm), cu rezoluție optică de 1.5 nm (FWHM), ce oferă date pentru 1024 de valori ale lungimilor de undă (Fig.9).



Fig. 9 Soluția hardware aleasă pentru SAPSTIM ce va fi montat pe SMMMAA [***, 17b], [Monicult, 15]

Achiziției datelor experimentale de la cele două spectrometre (NIR și VIS) se va face printr-o **platformă software** creată special de echipa coordonatorului proiectului, bazată pe pachetul de drivere Seabreeze al companiei Ocean OPTICS și un server web pentru facilitarea accesului la setări, respectiv vizualizarea datelor sub formă de grafice. Pachetul software rulează pe un sistem cu microcontroller Raspberry Pi, ce are instalat sistemul de operare Linux (distribuția Pidora). Componentele principale ale pachetului software, precum și interacțiunea acestora sunt ilustrate în Fig.10.

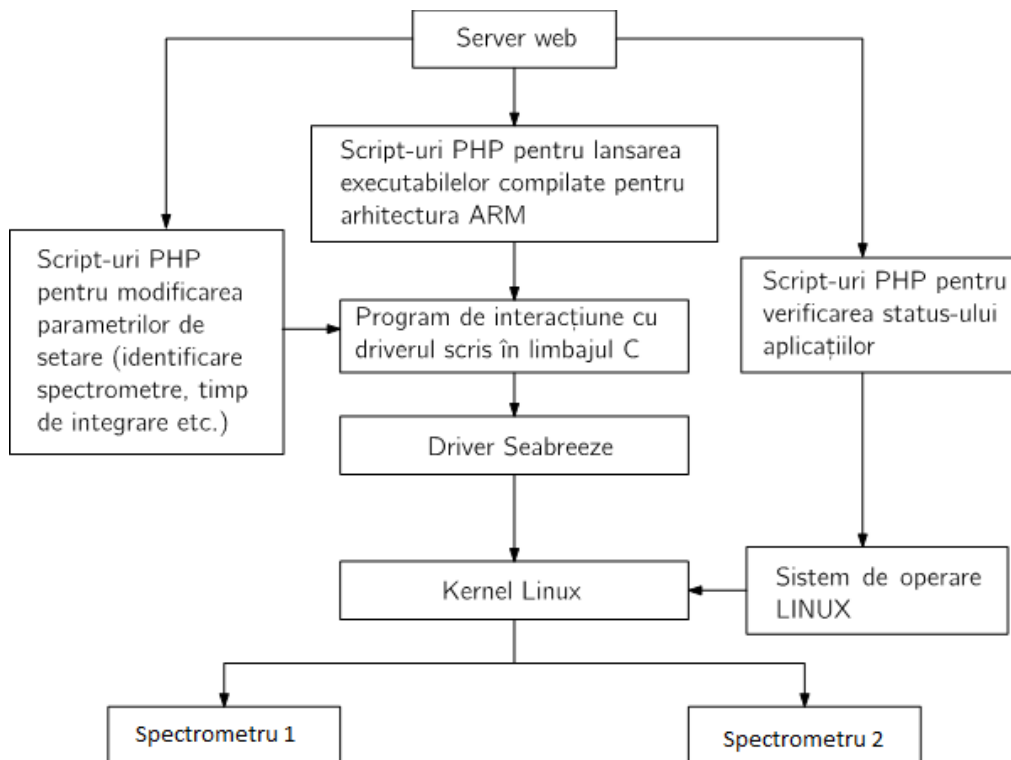


Fig. 10 Soluția software dezvoltată pentru SAPSTIM ce va fi montat pe SMMMAA [Monicult, 15]

Aplicația are în componență programele scrise în limbaj C pentru interacțiunea cu driver-ele Seabreeze; script-urile PHP pentru comunicația dintre serverul web și executabilele compilate pentru arhitectura ARM și server-ul web Apache.

O imagine cu datele experimentale achiziționate și reprezentate grafic este prezentată în Fig.11.

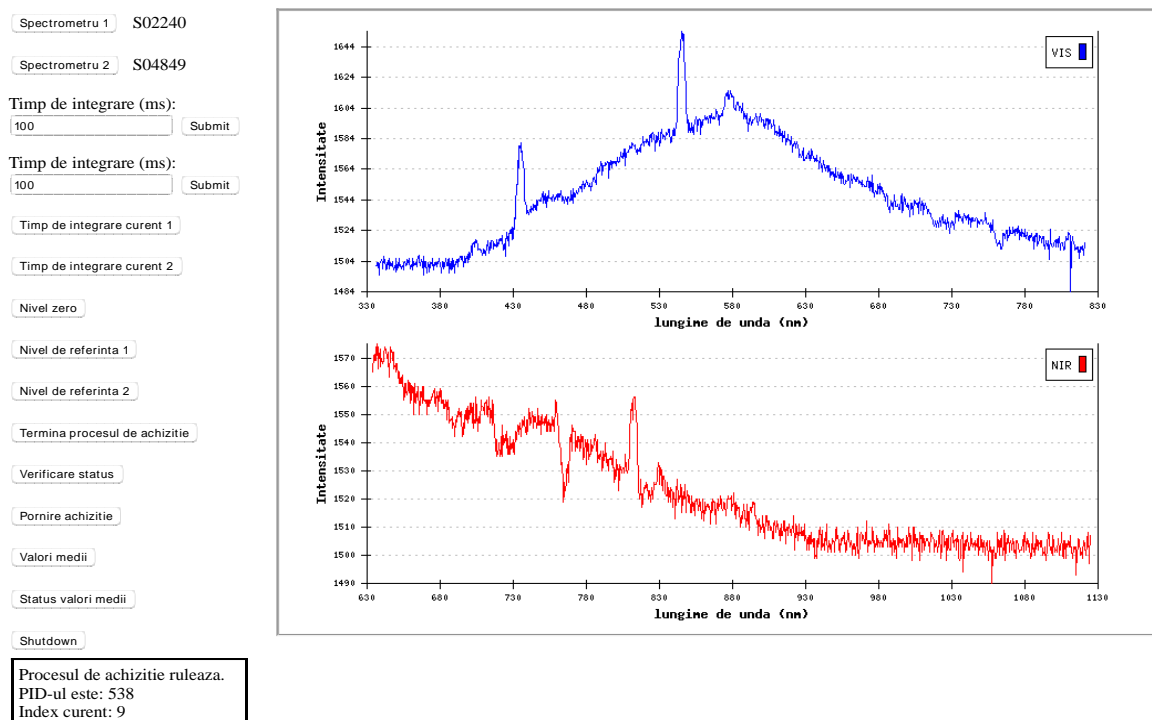


Fig. 11 Interfața de achiziție de date pentru SAPSTIM ce va fi montat pe SMMMAA [Monicult, 15]

În Fig.11 pot fi observate distribuția spațială a datelor, precum și o serie de grafice.

Pe parcursul realizării și testării modelelor experimentale ale SMMMAA modelul SAPSTIM a trecut prin diverse faze de îmbunătățire în vederea montării și funcționării pe sistemele aeriene, soluțiile hardware și software elaborate în anii 2014 și 2015 fiind refăcute.

În **varianta inițială** sistemul de achiziție era realizat pentru un singur spectrometru. Acesta era conectat la o placă de tip SBC Single Board Computer Raspberry Pi 2 cu care sosise în urma cumpărării. Cu ajutorul acestui spectrometru se măsura mai întâi nivelul de referință, apoi se realiza achiziția propriu-zisă de date. La acel moment erau efectuate măsurători separate pentru cele două domenii NIR și VIS (se schimba spectrometru), folosind software-ul distribuit prin STS Developers Kit.

În **a doua versiune** a fost elaborat **software-ul de achiziție propriu** care aducea ca îmbunătățire **utilizarea simultană a ambelor spectrometre**, din domeniile NIR și VIS, conectate la același SBC. Modul de lucru presupune măsurarea nivelului de referință, apoi efectuarea de

măsurători pentru achiziția de date propriu-zisă (pentru radiația reflectată). Dezavantajul care a fost constatat îl reprezintă faptul că în timpul măsurătorilor se poate modifica nivelul de referință prin schimbarea condițiilor meteo, spre exemplu.

În **versiunea actuală** sistemul permite achiziția și reprezentarea grafică simultană a datelor provenite de la ambele spectrometre. Conceput în varianta utilizării a două spectrometre din domeniile VIS și NIR conectate la un Raspberry Pi, sistemul a fost dezvoltat pentru conectarea simultană a 4 spectrometre pe același SBC (Fig. 12).



Fig. 12 Conectarea celor patru mini spectrometre la Raspberry Pi3 [Monicult, 16]

Două spectrometre vor efectua măsurătorile pentru nivelul de referință, iar celelalte două se folosesc pentru achiziția propriu-zisă a datelor. În această variantă fiecare măsurătoare a intensității radiației reflectate va fi însoțită de nivelul de referință corespunzător. Problemele cu care echipa se confrunta la momentul redactării tezei de abilitare sunt următoarele:

- Fiecare spectrometru aferent unui domeniu (VIS sau NIR) are propria „amprentă” în ceea ce privește valorile citite (dacă se citește nivelul de referință cu ambele spectrometre, între citiri există anumite diferențe) motiv pentru care vor fi necesare anumite calibrări;
- Valorile citite la marginile intervalelor de lungimi de undă care se suprapun (intervalul 650-800 nm) nu sunt identice.

S-a luat în acest sens legătura cu firma producătoare și urmează a se găsi soluții.

În Fig.13 este prezentată schema bloc a structurii hardware a SAPSTIM ce va fi plasat pe SMMMAA. Sistemul de achiziție include cele patru spectrometre miniatură Ocean Optics de tip STS, cu masa de 60g, aferente domeniilor vizibil (VIS, 350-800 nm) și infraroșu apropiat (NIR, 650-1100 nm), conectate la un calculator single-board de tip Raspberry Pi generația 3.

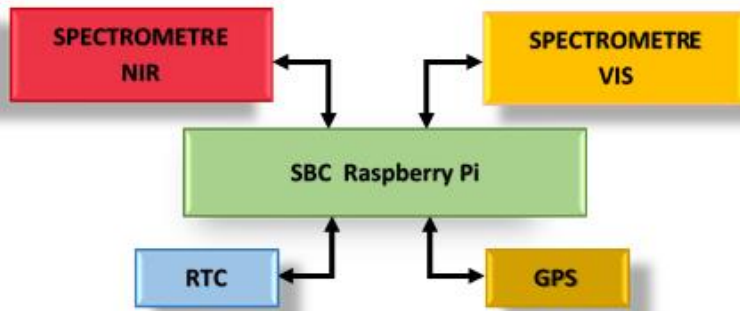


Fig. 13 Structura hardware a sistemului de achiziție de date hiperspectrale plasat pe dronă [Monicult, 16]

Pentru măsurarea timpului se folosește un ceas de timp real RTC (Real-Time Clock), iar pentru preluarea informațiilor despre poziția geografică, un modul GPS. Spectrometrele sunt conectate prin port-uri USB 2.0, iar GPS-ul și RTC-ul prin GPIO [Monicult, 16].

În Fig.14 poate fi observată interacțiunea dintre modulele sistemului software al SAPSTIM pentru SMMMAA.

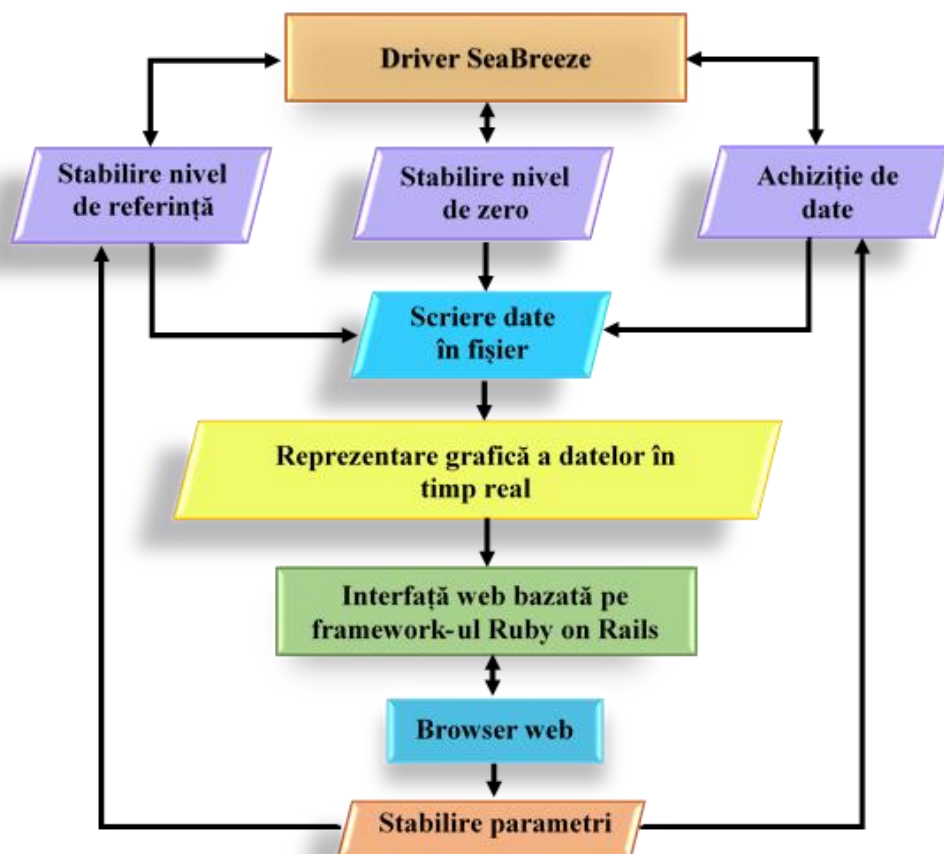


Fig. 14 Modulele sistemului software al SAPSTIM pentru SMMMAA și interacțiunea dintre acestea [Monicult, 16]

Noua interfață web în care reprezentarea grafică a nivelului de referință se face sub formă de număr de incremenți (proporțional cu intensitatea radiației incidente) în funcție de lungimea de undă, se poate observa în Fig.15.

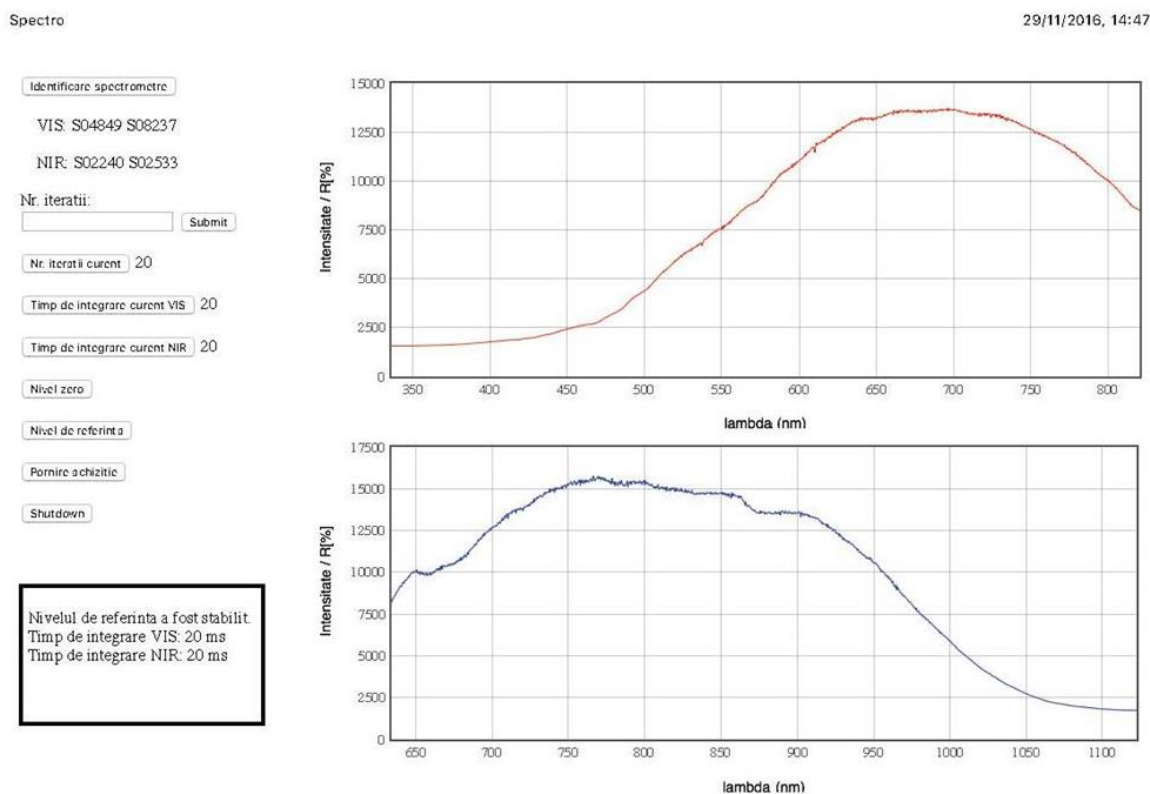


Fig. 15 Interfața web a sistemului de achiziție de date. Etalonare spectrofotometre cu auto reglare a timpului de integrare în funcție de nivelul de iluminare [Monicult, 16]

Un lucru important de menționat este faptul că deși până la sfârșitul anului trecut compania Ocean Optics nu lansase pe piață versiunea de spectrometre STS care să funcționeze cu modelul Raspberry Pi3, acest lucru este posibil în cadrul proiectului nostru încă din prima jumătate a anului 2016 (ultimul spectrometru achiziționat a sosit de la Ocean Optics tot pe varianta Raspberry Pi 2). De altfel, metoda de achiziție și prelucrare a datelor hiperspectrale cu ajutorul acestor spectrometre a constituit subiectul celei de-a doua cereri de brevet depuse în cadrul proiectului.

Pentru a testa modelele experimentale ale SAPSTIM, partenerii P1 și P3 au realizat o serie de loturi demonstrative pe parcele pregătite special, în care s-au materializat condiții diferite ce influențează starea de vegetație a culturilor de cartof.

În Fig.16 poate fi observată distribuția spațială a acestora, precum și o serie de grafice aferente diferitelor parcele la care măsurarea s-a făcut cu SAPSTIM pentru SMMMAA. Parcelele cuprind două soiuri de cartof, notate în imagine cu S1 și S2. Condițiile de stres hidric au fost realizate prin irigarea diferențiată a parcelelor (B1 = neirigat; B2 = irigat). De asemenea s-au materializat condiții diferențiate de fertilizare a parcelelor, aplicându-se cantități diferite de îngrășămintă (D1, D2, D3).

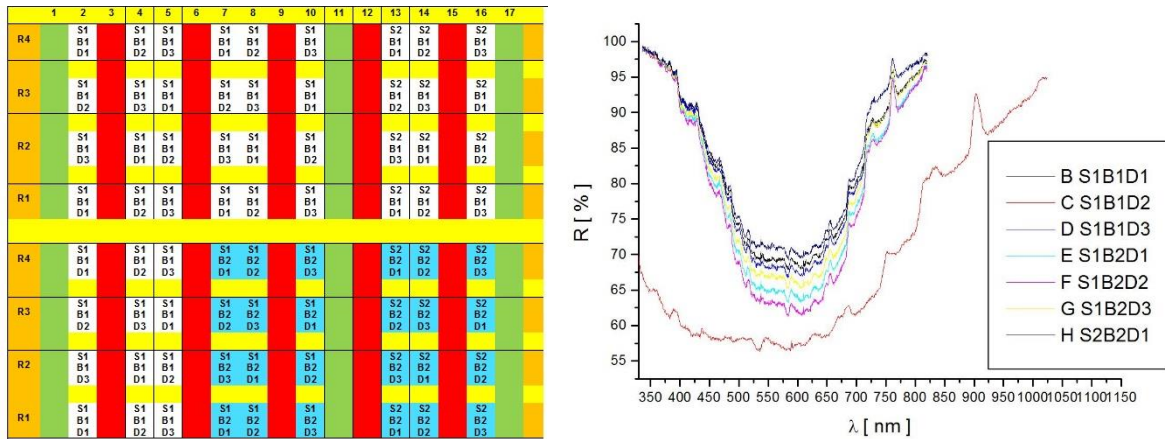


Fig. 16 Distribuția spațială a parcelelor și rezultate obținute folosind SAPSTIM pentru SMMMAA [Monicult, 15]



Fig. 17 Modul de realizare a experimentelor privind starea de vegetație a culturilor de cartof [Monicult, 15]

Măsurătorile s-au realizat în regim static, datele fiind achiziționate și stocate pe card-uri de memorie de unde ulterior au fost descărcate și procesate. Rezultatele testelor efectuate au condus la validarea modelului experimental.

2.3.4 Sistem Mecatronic Mobil Multispectral Terestru (SMMMT) de monitorizare multispectrală a stării de vegetație a culturilor agricole

Cercetările privind sistemul mecatronic terestru care va deplasa SAPSTIM deasupra culturilor au demarat în paralel cu activitățile de elaborare și proiectare ale sistemului de achiziție și au făcut parte din cadrul celui de-al doilea pachet de lucru al proiectului Monicult, coordonat de Partenerul P2 – Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca.

S-a avut în vedere elaborarea, proiectarea, realizarea, testarea și validarea celor două modele, experimental și respectiv funcțional al SMMMT. Etapele cercetărilor desfășurate în cadrul celui de-al doilea pachet de lucru al proiectului Monicult sunt prezentate în Fig. 18.

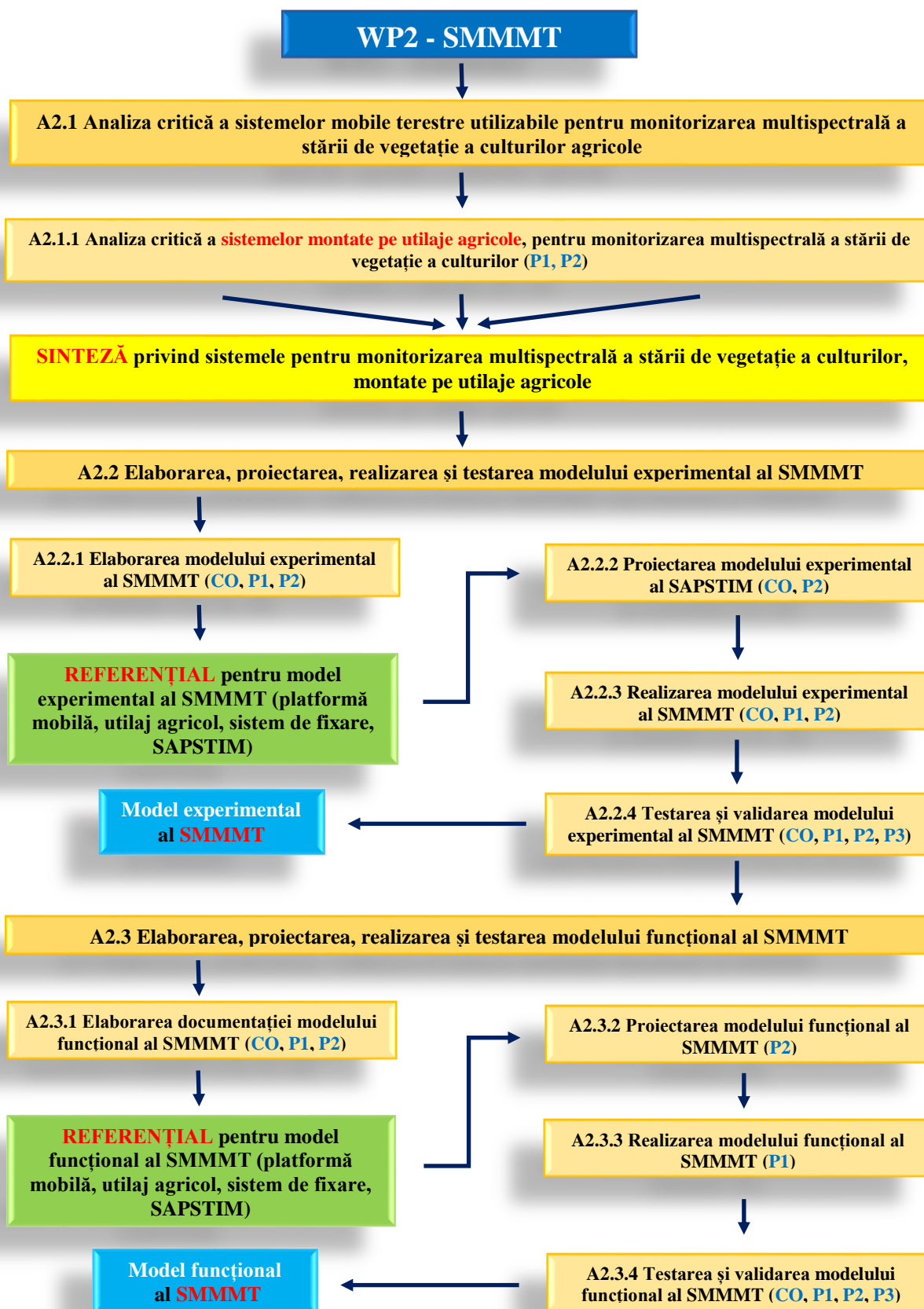


Fig. 18 Modul de organizare al cercetărilor pentru elaborarea, proiectarea, realizarea, testarea și validarea modelelor experimental și funcțional ale SMMMT

În prima fază s-a realizat un **studiu amănunțit asupra stadiului actual** în ceea ce privește sistemele terestre folosite pentru monitorizarea stării de vegetație.

S-au identificat două categorii de soluții: sisteme montate pe utilaje agricole (Fig.19), respectiv sisteme mecatronice mobile special construite pentru preluarea de informații spectrale (Fig.20).

Plasarea echipamentelor pe tractoare oferă posibilitatea de a efectua măsurători chiar în timpul desfășurării lucrărilor agricole.



a)



b)



c)

Fig. 19 Platforme de monitorizare plasate pe utilaje agricole a) PhenoTracker [***, 17a], b) Platformă senzorială dispusă frontal [White, 12], c) Platformă senzorială plasată în spatele vehiculului [Gouache, 16]

În Fig.19 a, se poate observa o platformă ce permite măsurarea precisă a caracteristicilor culturii, înălțimii plantelor, conținuturilor de clorofilă și de azot, biomasei, indicelui LAI. Platforma senzorială din Fig.19 b, conține un set de senzori care măsoară simultan înălțimea și temperatura plantelor, precum și reflectanța pentru trei lungimi de undă. Precizia de poziționare GPS este de 2 cm. În Fig.19 c, este prezentată o platformă ce conține camere RGB și spectrometre pentru determinarea răspunsului dinamic al grâului la diferite tratamente cu azot.

Vehiculele pentru transport trebuie să aibă gardă înaltă și pneuri subțiri cu despicător de lan pentru a afecta într-o măsură cât mai redusă culturile la deplasarea prin acestea.

Există de asemenea posibilitatea plasării sistemelor de achiziție de date pe platforme terestre mobile, autonome sau ghidate, cu grad de complexitate diferențiat (Fig.20).



Fig. 20 Platforme mobile pentru monitorizarea stării culturilor a) Platformă mobilă reconfigurabilă [Xiong, 12], b) Platforma mobila autonomă - Unmanned Ground Vehicle System (UGVS) [Wang, 14]

Platformele trebuie să dispună de posibilitatea modificării poziției sistemului de senzori atât pe orizontală, cât și pe verticală.

În urma studiilor și analizelor critice efectuate **s-a stabilit un referențial** de la care s-a pornit pentru proiectarea, realizarea și testarea SMMMT.

Referențialul modelului experimental al SMMMT viza aspecte legate de tipul platformei mobile (între platformă autonomă și utilaj agricol s-a optat pentru a doua variantă), sistemul de poziționare a senzorilor pe orizontală și verticală, sistemul de fixare și plasare a SAPSTIM, suportul senzorilor, suportul antenei GPS, senzorii, antena GPS, cutia de senzori, panoul/ cutia de alimentare cu tensiune, parametrii de utilizare, sistemul de achiziție, procesare, stocare și transmisie a datelor, modulul GPS.

La stabilirea referențialului s-a ținut cont ca pentru preluarea datelor multispectrale se utilizează în cadrul SAPSTIM senzorul CropScan. Dacă se au în vedere faptul că dimensiunea amprentei la sol a acțiunii sensorului în zona investigată depinde de înălțimea de la care se face citirea și că monitorizarea se realizează în diferitele faze de dezvoltare a culturii de cartof pe care se fac testele, platforma trebuie să asigure o poziționare a sensorului la o înălțime variabilă față de sol.

Ca referențial, sistemul de acționare trebuie să permită:

- atașarea în partea frontală a tractoarelor agricole, permițând astfel realizarea simultană a altor lucrări agricole;
- poziționarea controlată a sistemului senzorial într-un plan vertical, situat în partea frontală a tractorului la o distanță dată, cu reglare continuă în intervalul $1 \div 3$ m față de la sol;
- menținerea orientării efectorului final (respectiv a sistemului senzorial atașat) independent de poziția acestuia în domeniul de lucru;
- acoperirea unei deschideri în lateralele tractorului de 3 m, pe brațele respective fiind plasați senzorii, cu posibilitatea de ajustare a poziției pe orizontală;
- extinderea structurii pentru atingerea înălțimii maxime de măsurare prescrise și plierea acesteia pentru ocuparea unui volum cât mai mic în poziție de repaus;
- controlul electronic al poziției efectorului final.

În baza referențialului s-a trecut la proiectarea modelului experimental al SMMMT, activitate realizată de partenerul P2 și coordonatorul proiectului. S-au avut în vedere proiectarea conceptuală însoțită de o analiză comparativă, proiectarea sistemului de transmitere a mișcării, proiectarea sistemului de acționare și a sistemului de control.

A fost realizată o analiză comparativă a surselor de energie care ar putea fi utilizate pentru acționarea platformei purtătoare a SAPSTIM pe SMMMT. S-a optat pentru un sistem hidraulic alimentat de la pompa tractorului. Acesta va ridica platforma prin intermediul unui sistem mecanic de amplificare a cursei pistoanelor.

Pentru proiectarea sistemului de transmisie s-au propus mai multe soluții constructive care au fost detaliate și analizate în raportul aferent pachetului de lucru: mecanismul paralelogram, mecanismul dublu-paralelogram oscilant, un sistem de transmitere și amplificare a mișcării tip patrulater, o versiune a acestuia care include un mecanism de orientare cu lanț, o versiune care adaugă sistemului un batiu de fixare și alte trei soluții care utilizează pentru orientare un mecanism cu bare. La acestea din urmă sunt aplicate diverse optimizări, conducând către variante noi, îmbunătățite [Monicult, 15]. Soluția finală este prezentată în Fig. 21.

Proiectarea sistemului de poziționare pe verticală a fost realizată de partenerul P2, coordonatorului revenindu-i sarcina de proiectare a cadrului pliabil pe care se vor monta senzorii sistemului.

Pentru modelarea CAD a fost utilizat pachetul de programe SolidWorks.

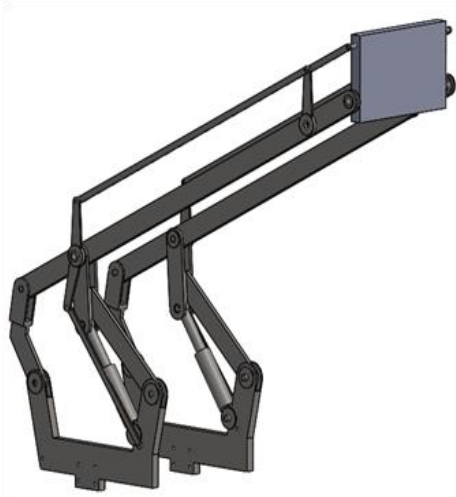


Fig. 21 Sistem de transmitere și amplificare a mișcării: ansamblu final [Monicult, 15]

Utilizând metodele numerice de analiză cu element finit, soluția cea mai eficientă de acționare a platformei senzoriale a fost analizată de către partenerul P2 din punct de vedere cinematic și dinamic, respectiv din punct de vedere structural. Au fost determinate deplasarea și viteza efectorului final, traiectoria spațială, forțele de acționare, cursa și diametrul pistoanelor de acționare necesare ridicării platformei. De asemenea au fost analizate și verificate brațele, cadrul, cuplele, bolțurile și flanșele ansamblului pentru diferite valori dimensionale (Fig. 22).

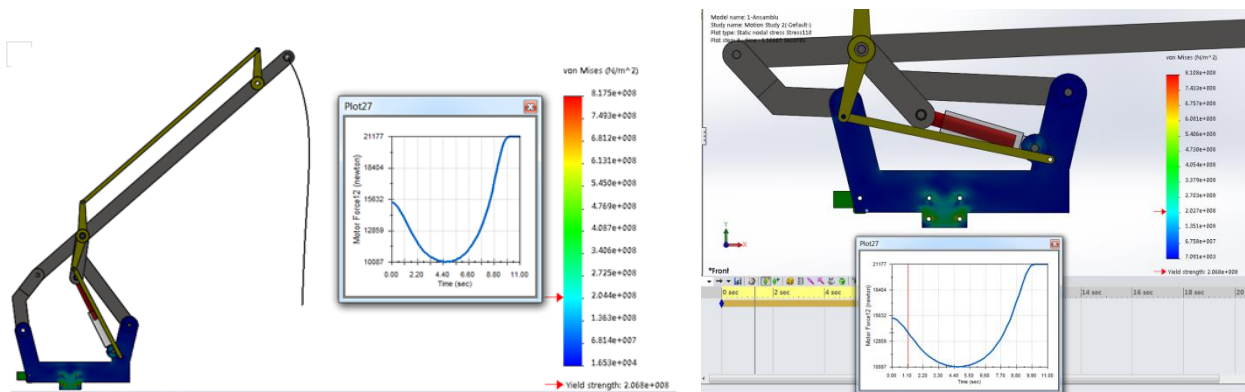


Fig. 22 Analize numerice – metoda elementului finit [Monicult, 15]

Pentru soluția finală a sistemului mecatronic de acționare și poziționare pentru aplicații în agricultura de precizie a fost depusă o cerere de brevet.

La proiectarea sistemului hidraulic s-a ținut cont că structura mecanică va fi acționată de doi cilindri pneumatici liniari a căror funcționare trebuie sincronizată pentru a menține platforma senzorială în poziție orizontală.

Au fost propuse și analizate trei soluții de acționare și sincronizare hidraulică și a fost proiectat sistemul de control.

Posibilitățile de acționare pneumatică a sistemului au luat analizate și ele. Rezultatele au confirmat că sistemele pneumatice pot realiza funcția impusă, însă ridicarea platformei la înălțimea de culegere a datelor se face prin cursa proprie a pistoanelor, ceea ce implică curse și dimensiuni mari (curse de 1.5 m). Pentru alimentarea cu aer comprimat a sistemului de acționare este necesară

utilizarea unui compresor convențional (8-10 bar, 12-24 Vcc) sau a compresorului de pe tractor. Ridicarea platformei necesită sincronizarea mecanică și/ sau electrică a celor două pistoane pneumatice.

În Fig.23 se poate observa varianta finală a platformei pentru modelul experimental al SMMMT.



Fig. 23 Vederi cu platforma frontală pe care se va plasa SAPSTIM pe SMMMT
[Monicult, 15]

Deschiderea brațelor acoperă o lățime de 6 m, cadrul este detașabil față de sistemul de ridicare, iar brațele sunt pliabile în vederea depozitării și transportului.

În urma finalizării modelului experimental al SMMMT au rezultat o serie de concluzii, care corelate cu caracteristicile tractorului de la partenerul P1 (pe care se va monta SMMMT, un NEW – HOLLAND, model TD 5050) au condus la **elaborarea documentației modelului funcțional al SMMMT.**

Sistemul mecanic are ca principal rol susținerea rigidă a senzorilor deasupra culturii în timpul monitorizării stării de vegetație a acestora, dar oferă și posibilitatea de poziționare a lor în funcție de condițiile impuse citirii. Distanța dintre senzori și plante trebuie să fie reglabilă pentru a putea compensa creșterea în timp a acestora și pentru a modifica aria de integrare a citirilor făcute de senzori (cu excepția senzorului cu ultrasunete pentru măsurarea înălțimii plantelor).

Senzorii pot fi poziționați variabil și pe orizontală prin modificarea locului prinderii acestora pe cadrul suport în funcție de tipul culturii/ distribuția și dimensiunile rândurilor, astfel încât dispunerea deasupra plantelor să se facă în condițiile corespunzătoare.

S-a stabilit un **referențial pentru modelul funcțional al SMMMT**, în ceea ce privește platforma mobilă, utilajul agricol, sistemul de fixare, SAPSTIM etc., apoi s-a trecut la proiectarea și realizarea acestuia.

Proiectarea a fost făcută de partenerul P2, iar realizarea intra în sarcina partenerului P1.

S-a ales implementarea modelului funcțional pe un tractor NEW – HOLLAND existent la partenerul P1, model TD 5050, cu capacitate cilindrică de 4500 cm³, putere nominală de 95 CP, transmisie 4 x 4 cu 12 viteze, priză de putere independentă cu 540 și 1000 rot/min și pompă hidraulică cu debit de 45 l/min [Monicult, 16].

Platforma extensibilă poate fi poziționată pe verticală într-un interval continuu de înălțimi cuprinse între 1000 și 3000 mm față de sol. Există de asemenea posibilitatea de ridicare cu încă 200 sau 400 mm a acesteia în funcție de poziționarea diferită în urechile de prindere a cadrului cu senzori.

Platforma de culegere a datelor permite extinderea pe o lățime corespunzătoare lucrărilor agricole realizate de tractor, deschiderea brațelor acoperind 2525 mm în fiecare parte laterală a tractorului.

Versiunea de SAPSTIM pentru acest SMMMT este plasată într-o cutie poziționată în partea frontală și are în componență datalogger-ul DLC la care se conectează senzorul multispectral Cropsan și sistemul cu microcontroller folosit pentru culegerea datelor de la ceilalți senzori (senzorul cu ultrasunete pentru măsurarea înălțimii plantelor; senzorul în infraroșu pentru măsurarea temperaturii de la suprafața plantelor).

Cutia permite găzduirea a două unități DLC în vederea folosirii a doi senzori multispectrali Cropsan (la acest moment partenerul P1 dispune doar de unul singur). La această cutie, în afara celor doi senzori amintiți se mai conectează: senzorul multispectral Cropsan și GPS-ul pentru georeferențierea datelor. Toți acești senzori pot fi poziționați reglabil pe orizontală și verticală în funcție de cultură, respectiv distribuția și dimensiunile rândurilor.

Controlul asupra procesului, în sensul pornirii, opririi achiziției de date și urmării lui, se face printr-un panou aflat în cabina tractorului. Tot prin intermediul lui se face și calibrarea senzorului de înălțime a plantelor.

Pe panoul de control există LED-uri care indică starea sistemului începând cu faza de inițializare, verificare a stării GPS-ului, până la monitorizarea funcționării corespunzătoare.

2.3.5 Sistemului Mecatronic Mobil Multispectral Autonom Aerian (SMMMAA) de monitorizare multispectrală a stării de vegetație a culturilor agricole

Cercetările privind sistemul mecatronic aerian care va purta SAPSTIM deasupra culturilor au demarat după finalizarea modelului experimental al SAPSTIM pentru SMMMAA și în paralel cu activitățile de elaborare a documentației modelului funcțional al SMMMT și au făcut parte din cadrul celui de-al treilea pachet de lucru al proiectului Monicult, coordonat de Universitatea Transilvania din Brașov.

S-a avut în vedere elaborarea, proiectarea, realizarea, testarea și validarea celor două modele, experimental și respectiv funcțional al SMMMAA. Etapele cercetărilor desfășurate în cadrul celui de-al treilea pachet de lucru al proiectului Monicult sunt prezentate în Fig. 24.

La momentul redactării acestei teze de abilitare sunt în curs de desfășurare activitățile de realizare a modelului funcțional al SMMMAA, urmând cele de testare și validare a acestuia.

Impedimente importante ale sistemelor mobile terestre în ceea ce privește monitorizarea stării de vegetație a culturilor, pot fi depășite prin utilizarea soluțiilor aeriene și ne referim aici la câteva dintre acestea:

- afectarea culturii în zonele în care se deplasează sistemul mobil terestru;
- apariția de șocuri și vibrații datorită denivelărilor de teren;
- abateri de orientare a senzorilor față de direcția de măsurare;
- corelarea vitezei de citire a datelor cu viteza utilajului agricol;
- viteză redusă de scanare a culturilor.

Vehiculele mobile aeriene fără pilot sunt cunoscute și sub denumirile de *drone* sau UAV-uri (*Unmanned Aerial Vehicles*) sau RPAS-uri (*Remotely Piloted Aircraft Systems*).

Aceste sisteme își aduc o importantă contribuție într-o multitudine de domenii, având aplicații civile sau militare. UAV-urile le pot executa următoarele tipuri de misiuni: monitorizare (spre exemplu zone de frontieră; trasee montane pentru prevenirea avalanșelor; cursuri de apă în cazul pericolelor de inundații, căi de comunicații rutiere, feroviare, fluviale; rețele de transport pentru petrol, gaze, electricitate; mediu înconjurător; incendii; lucrări agricole; stare de vegetație; culturi agricole, pomicole, viticole etc.); inspecție (structuri aflate la mare înălțime, câmpuri de panouri fotovoltaice etc.); cartografiere; căutare sau salvare în cazul unor accidente sau calamități; misiuni militare și speciale (spre exemplu pază aeriană a bazelor militare, aeroporturilor, depozitelor, obiectivelor militare; spionaj militar în teatrele de operații; supraveghere exerciții militare etc.); misiuni cu caracter științific, spre exemplu studiul unor fenomene naturale (vulcani, tsunami); transport colete în zone greu accesibile; intervenții de prim ajutor etc.

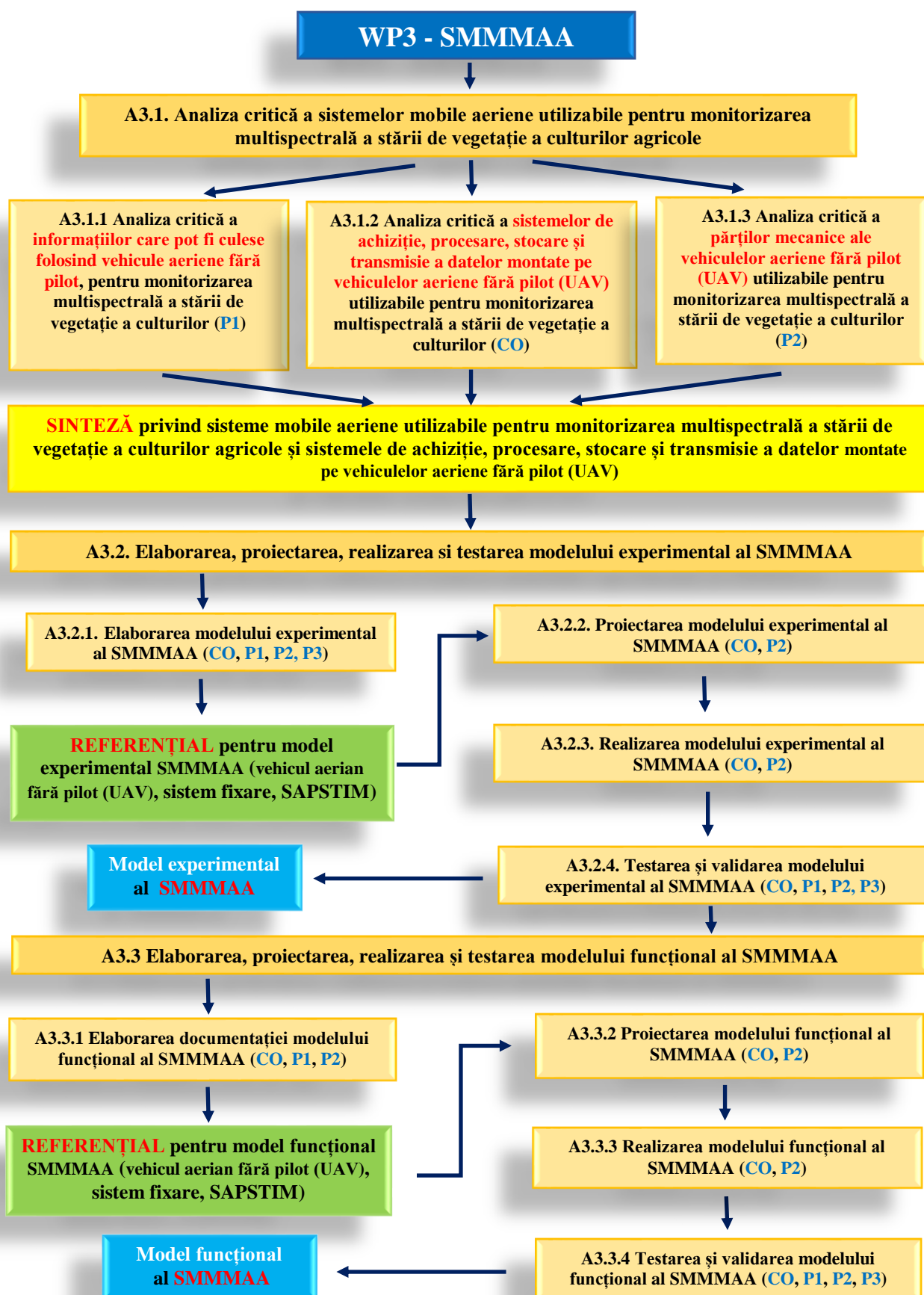


Fig. 24 Modul de organizare al cercetărilor pentru elaborarea, proiectarea, realizarea, testarea și validarea modelelor experimental și funcțional ale SMMMAA

Activitățile aferente acestui pachet de lucru au început cu studii ale stadiului actual asupra sistemelor mobile aeriene utilizabile pentru monitorizarea spectrală a stării de vegetație a culturilor agricole, repartizate conform expertizei partenerilor. Astfel, Institutului Național de Cercetare Dezvoltare pentru Cartof și Sfeclă de Zahăr din Brașov i-a revenit partea de informare asupra datelor care pot fi culese folosind vehicule aeriene fără pilot, pentru monitorizarea multi sau hiperspectrală a stării de vegetație a culturilor. Echipa Universității Tehnice din Cluj-Napoca s-a ocupat cu UAV-uri punând accentul pe structura mecanică și elementele componente de acest tip care se regăsesc în cadrul acestora, iar cea a coordonatorului, Universitatea Transilvania din Brașov, și-a direcționat atenția către UAV-uri cu accent pe sistemele de achiziție, procesare, stocare și transmisie a datelor montate pe acestea.

Dacă la momentul depunerii propunerii de proiect, realizările pe această problematică erau limitate, în urma analizei s-a constatat că în ultimii ani a avut loc o “explozie” a preocupărilor pentru acest domeniu.

Din studiile efectuate de către parteneri s-au desprins următoarele concluzii:

- Sistemele autonome aeriene fără pilot folosite pentru monitorizarea stării de vegetație a culturilor agricole se împart în două categorii, multicoptere, respectiv aripi zburătoare;
- Indiferent de soluția constructivă, UAV-urile sunt controlate de un sistem cu microcontroller denumit *autopilot*, care dispune de senzori integrați (giroscopic, accelerometre, magnetometre, barometre etc.), interfețe de comunicație (UART, CAN, I2C, SPI, USB etc.), un sistem de afișare și memorii ROM și RAM;
- La autopilot pot fi conectate diverse elemente sau module de intrare (senzori externi, receptor GPS etc.) și el poate genera semnale de comandă pentru diverse elemente de ieșire (motoare, rele etc.);
- Sistemele de control pot fi programate utilizând aplicații de tip open-source care permit implementarea codului de bază, programarea misiunilor de zbor, accesul la instrumente de calibrare, raportare, monitorizare. Aceste aplicații sunt compatibile cu anumite structuri hardware destinate construcției de UAV-uri.

Alegerea corectă a tipului de UAV (multicopter sau aripă zburătoare) se face în funcție de tipul de aplicație în care acesta va fi utilizat.

Echipa coordonatorului a realizat o analiză multicriterială privind RPAS-urile folosite în activitățile de monitorizare a stării de vegetație a culturilor agricole [Cristea, 16].

Criteriile care au stat la baza analizei sunt prezentate în Tabelul 2.

Tabel 2 Criteriile și domeniile de valori [Cristea, 16]

Criteriul	Domeniul de valori
Costuri	
C1. Costuri de achiziție	12000\$-300\$
C2. Costuri de întreținere	0-800\$
Performanță zbor	
C3. Autonomie de zbor	10- 60 minute
C4. Oprire la punct fix	Da/ Nu (1/0)
C5. Decolare/ aterizare verticală	Da/ Nu (1/0)
C6. Viteză	30km/h - 90km/h
C7. Înălțime de zbor	Min 1 m – Max 2000 m
C8. Mod aterizare de urgență	Aterizare orizontală/cădere verticală (1/0)
C9. Precizie de aterizare	0 - 5 m
C10. Suprafață acoperită la un singur zbor	4 – 15 km ²
C11. Durată de viață	1,5 - 2 ani
C12. Dimensiuni- (Deschidere aripi/ Diametru)	0,3 - 1,8 m
C13. Consum de curent	7200 – 10000 mA/h
C14. Viteză/ Consum de curent	30 / 7200 – 90 / 10000 km/h / mA
C15. Masă cu echipament	3 – 7 kg
C16. Poate fi montat sistem de achiziție de date pentru aplicații în agricultură	Da/ Nu (1/0)
C17. Funcții speciale de securitate	Da/ Nu (1/0)
C18. Distanță eșantionată la sol - Ground Sampling Distance (GSD)	Până la 5 cm /pixel

Au fost analizate câte trei dintre cele mai cunoscute modele de aripi zburătoare (Skywalker [***, 16a], SENSIFLY eBee [***, 16b], Draganfly Tango [***, 16c]), respectiv multicoptere (DJI Phantom3 Agro [***, 16d], Parrot [***, 16e], Draganflyer-X4-P [***, 16f])

Matricea de performanță pentru criteriile analizate se regăsește în lucrarea [Cristea, 16]. S-au stabilit ponderi pentru fiecare criteriu și s-a normalizat matricea după metoda vectorială și după calculul scorurilor pentru fiecare criteriu s-au obținut rangurile modelelor de UAV-uri analizate. S-a concluzionat că pentru ferme mijlocii cea mai rentabilă alegere o reprezintă multicopterele.

În structura unui sistem mecatronic de tip multicopter se regăsesc următoarele elemente mecanice și electronice:

- **Cadrul** pentru susținerea tuturor elementelor componente ce poate fi realizat din materiale ușoare și rezistente (plastic, lemn, aluminiu, fibră de carbon). Cadrul poate avea diferite forme și un număr diferit de brațe (3, 4, 6, 8);
- **Motoarele** (de obicei de tip brushless – motoare fără perii). Numărul acestora dă denumirea multicopterului – tricopter, quadcopter, hexacopter, octocopter;
- **Elicele** realizate de obicei din plastic sau fibră de carbon;
- **Controller-ul electronic al vitezei** (ESC - Electronic Speed Controller) ce primește comenzile de la controller-ul de zbor și le transmite către motoare;
- **Controller-ul de zbor** (autopilotul), partea cea mai importantă în funcționarea UAV-ului, el gestionând întreg procesul de zbor (stabilizare giroscopică, autostabilizare, controlul altitudinii, controlul poziției, revenirea în punctul de decolare, navigarea după un plan de zbor etc.). Controller-ul primește comenzile transmise de operator cu ajutorul radiocomenzii, prin intermediul unui modul receptor (receiver), calculează și generează semnalele de comandă către ESC. Programele de funcționare alcătuiesc **Firmware-ul** controller-ului de zbor.
- **Radiocomanda** sau **sistemul de teleoperare**, caracterizată prin numărul de canale de transmisie;
- **Acumulatorii** de tip Li-Po, caracterizați prin numărul de celule și capacitatea acestora.

După finalizarea studiilor realizate de fiecare partener echipele de cercetare din cadrul proiectului s-a întrunit, au fost prezentate și discutate toate aspectele legate de utilizarea sistemelor aeriene multi- și hiperspectrale în managementul culturilor agricole, s-a realizat o sinteză a problemelor, s-a stabilit referențialul și s-a trecut la elaborarea modelului experimental al SMMMAA.

Referențialul avea în vedere următoarele condiții:

- Posibilitatea de integrare a SAPSTIM-ului realizat în cadrul proiectului. Din acest punct de vedere majoritatea sistemelor comerciale sunt “închise”, iar cele câteva care oferă soluții de conectare a unor module suplimentare au un preț foarte ridicat;
- Masă echipament cu care UAV trebuie să zboare, minim 2kg. Ulterior, după optimizări ale SAPSTIM sarcina s-a redus la 1,4 kg;
- Timpul de zbor impus cu echipament, minim 20 min;
- Număr de waypoint-uri programabile (puncte prin care drona să poată fi programată să treacă), minim 140;
- Software de navigație pentru laptop și tabletă;

- Monitor cu receptor video și afișarea datelor de navigație pe monitor;
- Existența următorului minim de funcții speciale de siguranță, având în vedere costul SAPSTIM cu care drona zboară:
 - RTL - întoarcerea la locul de decolare în cazul pierderii legăturii cu radiocomanda sau stația de sol;
 - Fail safe de baterie;
 - Geofence: gard virtual care nu poate fi depășit, la atingerea lui UAV-ul revine la bază;
 - Avertizări privind parametrii de zbor emiși de stația de sol;
 - Dublarea legăturilor de comandă - radiocomandă + stație de sol;
 - Radiocomandă cu avertizare de limită de comunicație radio, cu sistem RSSI integrat, pentru identificarea poziției în caz de pierdere;
 - Înregistrarea traiectului pe stația de sol;
 - GPS/GSM tracker.

Pentru a face o alegere corectă în achiziționarea echipamentului de zbor, au avut loc întâlniri și schimburi de experiență atât cu reprezentanți în România ai unor importanți producători de drone (microdrones GmbH, DJI), cât și cu distribuitori și producători de drone, persoane cu o bogată experiență în domeniu.

O bună parte din soluțiile oferite nu respectau în totalitate referențialul sau erau soluții „închise” la care problema integrării SAPSTIM nici nu se putea pune. O bună parte dintre comercianți nu au dorit să se implice în cerințele privind asigurarea unor cursuri de pregătire în utilizarea acestor aparate de zbor sau în asigurarea unui suport tehnic. Conform legislației în vigoare aceste UAV-uri trebuie înmatriculate, există niște restricții clare de zbor, niște norme de securitate și utilizare etc.

Deși inițial s-a optat pentru varianta de achiziționare completă, „la cheie”, a soluției de zbor pe care să fie apoi montat SAPSTIM, analizele au demonstrat ca soluția nu ar fi fost bună.

Partea financiară a fost de asemenea un element decisiv în alegerea care trebuia să fie făcută.

Atât coordonatorul proiectului (împreună cu compania Aero Drone), cât și partenerul P2 au proiectat propriile **modele experimentale ale UAV-ului**, de tip quadcopter, le-au realizat și le-au testat atât în laborator, cât și pe teren (Fig. 25, 26).

Modelul experimental al echipei de cercetători ai partenerului P2 are în componență 4 motoare de tip brushless, model KDE3510XF-475; elice din fibră de carbon de 15”, model IdeaFly Storm 800 15”; controller de zbor cu Raspberry Pi împreună cu shield-ul Navio+; un ESC model

Q Brain 4 x 20A Brushless Quadcopter, modul ce permite controlul a 4 motoare; un receiver FrSky D8R – XP 2.4 GHz; un FrSKY SBUS to CPPM Decoder; un modul bluetooth HC-05 pentru comunicația cu PC-ul; un acumulator Li-Po de 10.000mAh, 4S1P/ 15.2V/ 4 celule [Monicult, 16].

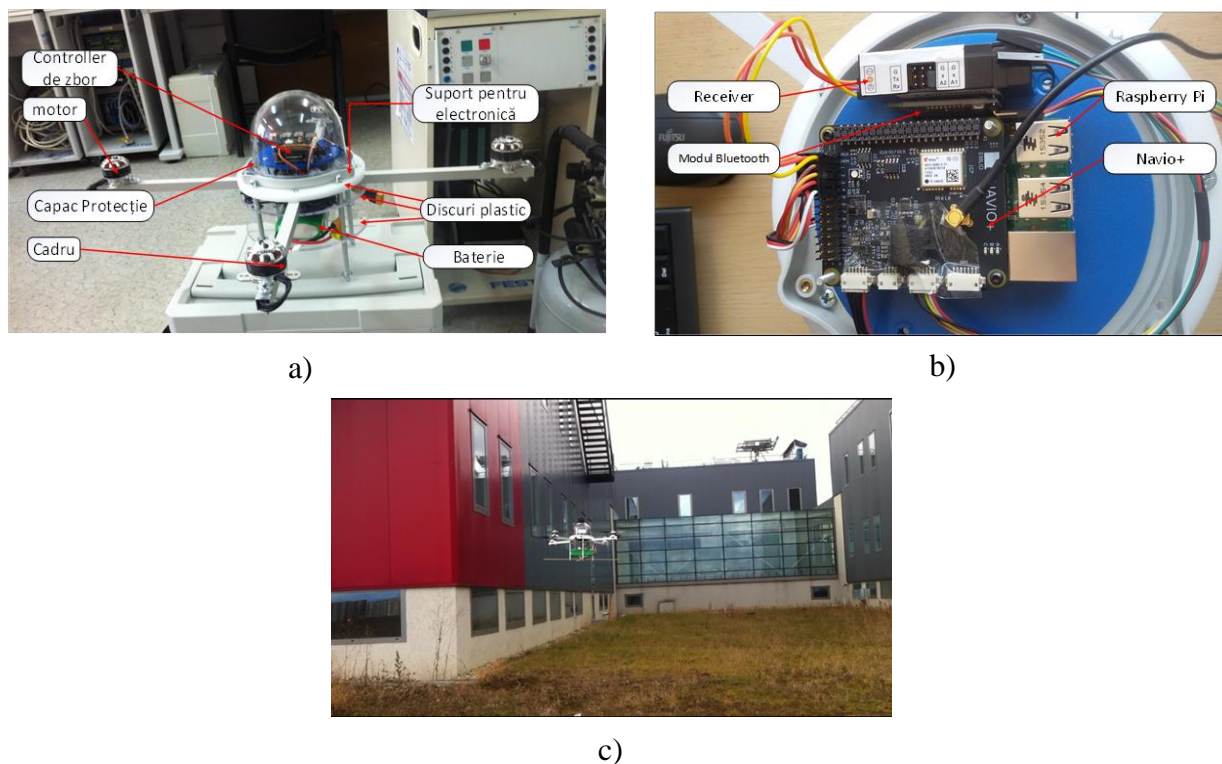


Fig. 25 Modelul experimental al quadcopter-ului partenerului P2. a) Testare în laborator, b) Partea electronică, c) Testarea la Institutul de cercetare dezvoltare al coordonatorului [Monicult, 16]

Pentru programarea autopilotului s-a utilizat pachetul APM Planner 2, o platformă de control open-source ce permite calibrarea și configurarea UAV-ului. De asemenea există posibilitatea realizării planurilor de zbor, gestionării evenimentelor de control precum și redării în timp real a imaginilor și filmărilor.



Fig. 26 Modelul experimental al quadcopter-ului coordonatorului [Monicult, 16]

Modelul experimental realizat de coordonator are în componență următoarele elemente: structură din carbon; carcasă de protecție; autopilot 3DR Pixhawk cu GPS Neo6; senzori de curent

și tensiune; sistem de telemetrie 433MHz cu kit extra – range; 4 motoare Turnigy Multistar 3508, 640 Kv, dispuse la o distanță de 650 mm între axele motoarelor pe diagonala quadcopter-ului; ESC de 40 A; elice carbon 14 x 4,8; emițător 5,8GHz 600mW pentru canalul video; sistem OSD pentru canalul video; ghimbal cu stabilizare pe 2 axe; acumulatori Li-Po 4s 10000mAh [Monicult, 16].

Modelul experimental a fost testat cu succes în laborator și pe teren, în cadrul sesiunii speciale de training organizate de coordonator la Brașov în luna februarie 2016.

În urma testelor efectuate pe modelul experimental al UAV-ului, au fost sintetizate și analizate rezultatele și au fost reformulate o serie de cerințe. S-a stabilit astfel **referențialul pentru modelul funcțional al UAV-ului pe care va fi montat SAPSTIM.**

Modelul funcțional a fost proiectat, realizat și supus diferitelor teste de zbor (Fig.27) pe care le-a trecut cu succes.



Fig. 27 Modelul funcțional a octocopter-ului (planificare misiuni de zbor folosind Mission Planner și imagini de la testări) [Monicult, 16]

Componente hardware: structură octocopter cu 4 brațe din carbon și sistem de prindere motoare side by side, distanța între axele motoarelor pe diagonală fiind de 850 mm; carcasă de protecție pentru sistemul electronic; Power Distribution Board integrat; autopilot 3DR Pixhawk cu GPS neo7+; senzor de curent de 180A; senzor de tensiune; sistem de telemetrie cu frecvență de 433MHz cu kit extra – range; 8 motoare T-Motors Navigator Series; ESC 40 A; elice carbon 14 x 4,8; radiocomandă 2,4Ghz, cu posibilitate de montare a 2 emițătoare în benzi diferite, avertizări

vocale, avertizare de RSSI; monitor cu diagonala de 7" cu sistem Rx 5,8 Ghz Diversity integrat și parasolar; emițător 5,8 GHz 800mW pentru canalul video; video switch pentru 2 canale; sistem OSD pentru canalul video; cameră navigație HD cu înregistrator local pe card micro SD; GPS/GSM tracker; acumulatori Li-Po 6s 5000mAh; Li-Po safer; RC finder (emițător sonor pentru determinarea poziției) [Monicult, 16].

La momentul redactării acestei teze de abilitare se lucrează la modelul funcțional al sistemului de achiziție de date (SAPSTIM) pentru dronă, în versiunea cu 4 spectrometre și la sistemul de montare a acestuia pe dronă.

2.3.6 Tehnologie Inovativă de Monitorizare Multispectrală a Stării de Vegetație a Culturilor Agricole (TIMMSVCA)

Cercetările privind elaborarea, proiectarea și realizarea pachetului software care va prelua datele achiziționate de SAPSTIM-urile de pe sistemul terestru și respectiv cel aerian au demarat în a doua jumătate a anului 2015 și au făcut parte din cadrul celui de-al patrulea și ultimul pachet de lucru al proiectului Monicult, coordonat de Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Cartof și Sfeclă de Zahăr din Brașov partener cu o bogată experiență în monitorizarea stării de vegetație și interpretarea indicilor de vegetație.

Aplicația se dorește a fi una cu interfețe prietenoase care să ofere utilizatorilor răspunsurile necesare luării de decizii.

Etaplele cercetărilor desfășurate în cadrul acestui pachet de lucru al proiectului Monicult sunt prezentate în Fig. 28.

Pentru elaborarea TIMMSVCA a avut loc o întâlnire a tuturor partenerilor din proiect, în care s-a stabilit un referențial pe care tehnologia va trebui să-l respecte. Pentru a duce la bun sfârșit această provocare științifică și tehnică ce trebuie să pună în valoare rezultatele obținute în cadrul celorlalte trei pachete de lucru, a fost și este încă necesară concentrarea tuturor eforturilor cercetătorilor atât pe partea de hardware, cât și pe cea de software.

Se acordă o atenție deosebită modului de preluare a informațiilor achiziționate, sincronizării și integrării acestora, procesării și oferirii rezultatelor într-un format clar, simplu și ușor de utilizat și interpretat de beneficiari.

Pentru testele actuale sunt utilizate datele preluate în sezoanele agricole 2015 și 2016 cu ajutorul modelelor experimentale ale SAPSTIM. Informațiile stocate sub formă de fișiere pe carduri de memorie, în timpul procesului de achiziție, sunt importate în aplicația care a primit denumirea de MoniSCAN, procesate și salvate tot sub formă de fișiere, în formate care vor putea fi utilizate pentru calculul indicilor de vegetație și al hărților de favorabilitate sau de risc.

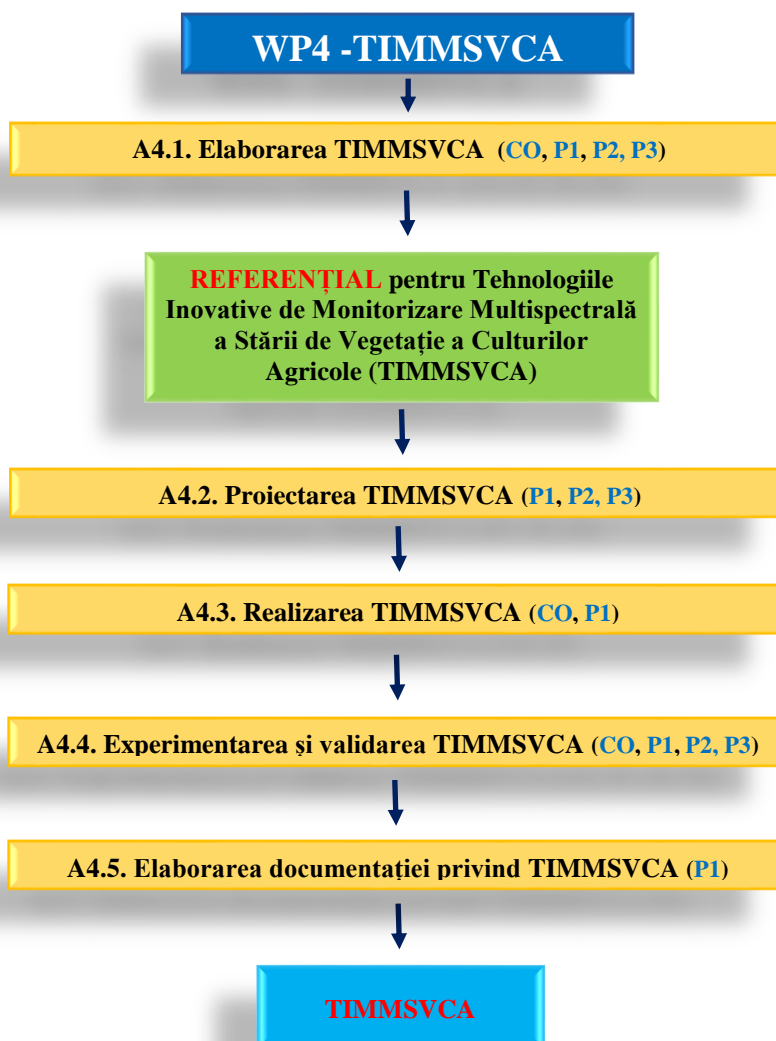


Fig. 28 Modul de organizare al cercetărilor pentru elaborarea, proiectarea, realizarea, testarea și validarea modelelor experimental și funcțional

În baza referențialului stabilit în etapa a doua a proiectului, pentru realizarea, experimentarea și validarea TIMMSVCA prin Sisteme Mecatronice Mobile Multispectrale Terestre (SMMMT) și Autonome Aeriene (SMMMAA), pe teritoriul Institutului Național de Cercetare Dezvoltare pentru Cartof și Sfeclă de Zahăr din Brașov a fost realizată o **platformă experimentală** (Fig. 29 a), atât în anul 2015 cât și în anul 2016, materializată printr-o experiență polifactorială (2 soiuri x 2 niveluri de irigație x 3 niveluri de fertilizare x 5 repetiții) descrisă pe larg în raportul partenerului P1 [Monicult, 16]. Platforma experimentală a fost concepută pentru a asigura o variabilitate multiplă de situații posibil de întâlnit în practica agricolă (soiuri, niveluri diferite de fertilizare și irigare), unde au fost monitorizate: solul (pedologic, agrochimic, conductibilitate electrică – VERIS – NIRS/EC/3150, umiditate – TDR/300, compactare sol –

SC/900, etc.); dinamica elementelor climatice în aer (stația meteo DACOM) și pe profilul de sol (60 cm, senzor de umiditate și temperatură DACOM); elementele tehnologice (pregătirea terenului, plantarea, întreținerea culturii, controlul bolilor și dăunătorilor, recoltarea); starea de vegetație (observații terestre: vizual, imagistic - camera foto, amprentă spectrală – Cropsan/300-1500 nm, NDVI – CM/1000, conținut clorofilă – SPAD/502,) și fenofazele culturii; starea de vegetație (observații aeriene dronă), amprentă spectrală – Cameră MultiSpectrală (vizibil + 6 filtre); elemente de producție, în dinamică și producția finală; calitatea producției (chimică, organoleptică, tehnologică etc.) [Monicult, 16].

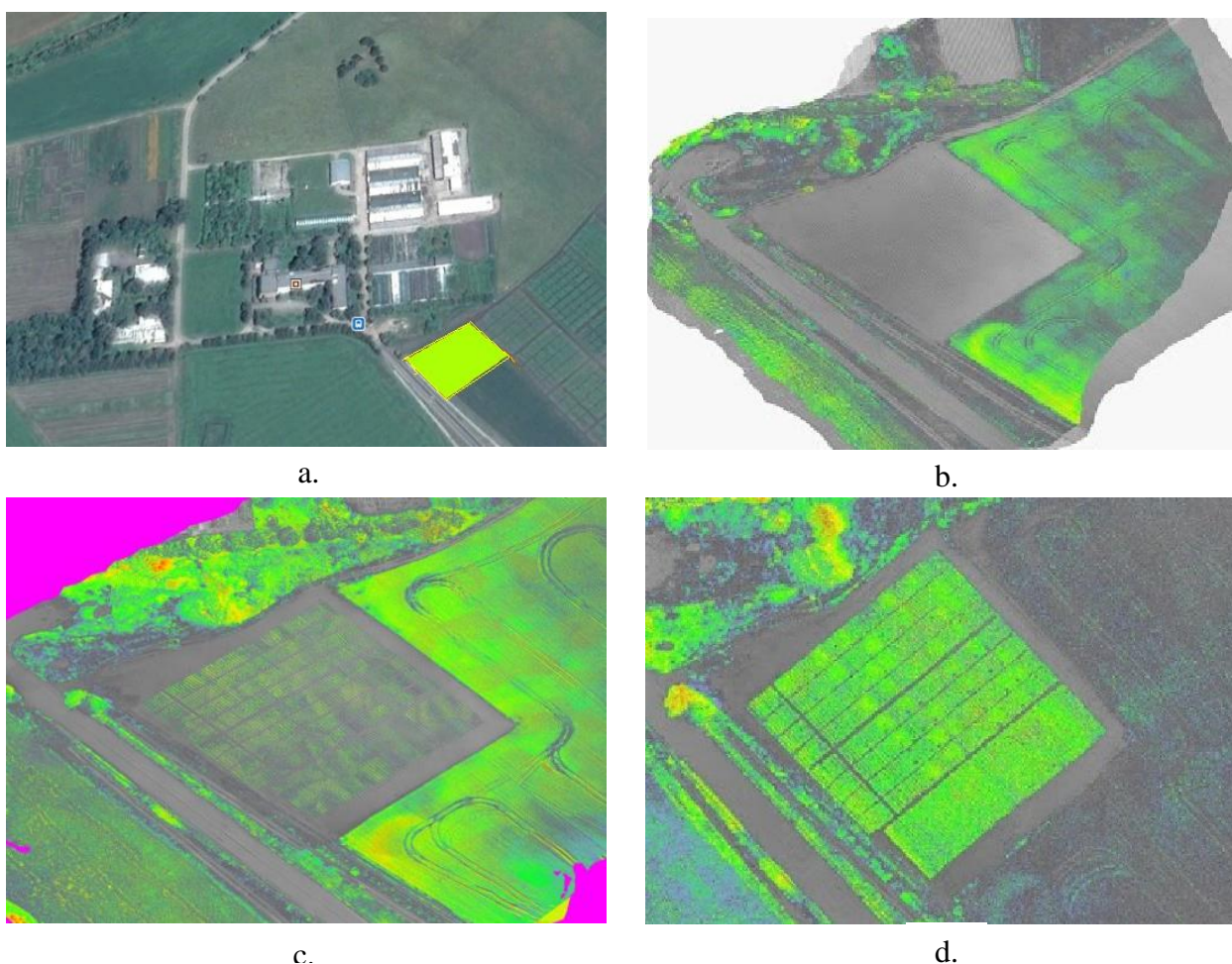


Fig. 29 Platforma experimentală pregătită și utilizată de partenerul P1 în vederea asigurării variabilității necesare validării măsurătorilor efectuate cu senzori specifici folosiți în sistemele SMMMT, SMMMAA și TIMMSVCA (explicații a, b, c, d în text) [Monicult, 16]

Toate informațiile aferente întregului ciclu de vegetație au fost achiziționate, procesate și interpretate. Imaginile din Fig. 29 b, c, d sunt realizate cu o cameră multispectrală purtată de o dronă la înălțimea de 30 m și prezintă hărțile NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) aferente câmpului experimental astfel: Fig. 29 b - imediat după plantarea cartofului (30.04.2016) – în jurul parcelei de cartof care apare cu nuanțe de gri se pot vedea zonele cu triticale în vegetație

- nuanțe de verde; Fig. 29 c - după răsărirea completă a cartofului (22.05.2016) - se pot vedea diferențele dintre variante (nuanțe de verde pal) și triticalele aflate în plină vegetație (nuanțe de verde intens); Fig. 29 d - realizată în plină vegetație a cartofului (18.06.2016) - diferențele dintre variante la cartof sunt foarte evidente (nuanțe de verde intens), în timp ce triticalele au ajuns la maturitate, înainte de recoltare (nuanțe de gri). Intensitatea de verde (practic valoarea NDVI) semnifică starea de vegetație corelată și cu tratamentele aplicate (variantele experimentale) [Monicult, 16]. Toate aceste informații au fost oferite de partenerul P1 în raportul de activitate al etapei a III-a.

Aplicația MoniSCAN, cea care gestionează funcționalitatea TIMMSVCA are în componență următoarele module:

- Modul pentru importul și procesarea datelor achiziționate de la SAPSTIM plasat pe SMMMT. Datele multispectrale sunt preluate din fișiere în vederea calculării reflectanțelor, sincronizării lor cu valorile preluate de la senzorii de înălțime și temperatură plante și georeferențierii;
- Modul pentru importul și procesarea datelor achiziționate de la SAPSTIM plasat pe SMMMAA. Datele hiperspectrale sunt preluate din fișiere și georeferențiate;
- Modulul pentru calculul indicilor de vegetație oferă posibilitatea de calcul a unor indici prestabiliți (NDVI, LAI, OSAVI, MCARI, NDWI, WBI, PSRI) dar și flexibilitatea de a introduce orice formulă într-un fișier de configurare, pentru orice index (la această opțiune se lucrează la momentul redactării acestei teze);
- Modulul pentru generarea hărților de favorabilitate sau de risc;
- Un modul de administrare

2.3.7 Stadiul actual al cercetărilor în proiectul Monicult

Activitățile din cadrul proiectului Monicult au demarat la începutul lunii iulie 2014 și se vor finaliza la sfârșitul lunii septembrie 2017. Sunt în curs de desfășurare la acest moment activitățile din cadrul ultimelor două pachete de lucru, respectiv realizarea, testarea și validarea modelului funcțional al SMMMAA cuprinse în pachetul al treilea și experimentarea și validarea TIMMSVCA din pachetul al patrulea. Se lucrează la fixarea SAPSTIM pe SMMMAA, se definitivează aplicația MoniSCAN, se pregătesc câmpurile experimentale pentru cel de-al treilea an consecutiv, se așteaptă răsărirea plantelor și se vor demara testele. Vor continua de asemenea testările sistemului mecatronic mobil terestru.

2.4 Desfășurarea cercetărilor privind utilizarea sistemelor mecatronice în agricultura de precizie – proiectul MultiCanSPEC

2.4.1 Scopul, obiectivele și modul de organizare

Scopul proiectului MultiCanSPEC îl reprezintă îmbunătățirea, prin metode și procese avansate, a tehnologiei sistemului mecatronic hexaspectral existent la compania Drift Data Systems, în vederea creșterii performanțelor acestuia de captare a parametrilor vegetativi..

Datele generale ale proiectului au fost prezentate în capitolul 2.2 al tezei de abilitare.

Înființată în anul 2013 de către doi experți în tehnologii inovatoare, Drift Data Systems este o întreprindere, cu peste 30 de ani de experiență cumulată ce are ca misiune declarată inovarea și automatizarea de procese care să creeze valoare mediului de afaceri “prin promovarea dispozitivelor mobile inteligente și folosind principiile obiectelor inteligente (IoT)”.

Sistemul mecatronic de care dispune în prezent Drift Data reprezintă o **cameră multispectrală** destinată captării parametrilor vegetativi ai culturilor. Tehnologia achiziționată în anul 2015 a fost prezentată de partenerul Drift Data și are în componență șase camere Mobius Action Cam care utilizează senzori CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) pentru captarea imaginii. Pentru cinci din cele șase camere a fost prevăzut câte un filtru de interferență de tip trece-bandă, corespunzător următoarelor lungimi de undă: 450 nm (albastru; 10 nm FWHM), 550 nm (verde; 10nm FWHM), 630 nm (roșu; 10 nm FWHM), 710 nm (roșu-edge; 10 nm FWHM), 820 nm (NIR - infraroșu apropiat; 10 nm FWHM), în timp ce a șasea cameră preia imaginea RGB (vizibil) [MultiCanSPEC, 16] (Fig. 30).

Camera poate prelua astfel imagini ale vegetației pentru cele 5 lungimi de undă, respectiv imaginea RGB, motiv pentru care sistemul a primit denumirea de HexaSPEC. Deplasarea deasupra culturilor se poate face cu ajutorul unui UAV de tip multicopter sau aripă zburătoare. Imaginile achiziționate sunt procesate cu ajutorul unui software specializat, dezvoltat având la bază informațiile din literatura de specialitate [Huete, 04], [Hunt, 05], [Hunt, 10], [Hunt, 11], [Hunt, 13], [Fletcher, 07], [Geipel, 15], [Geipel, 16].

În urma concatenării lor se pot genera **hărți de reflectanță** a radiației de pe suprafețele investigate corespunzătoare lungimilor de undă amintite mai sus și se pot calcula **indici de vegetație** (ex. NDVI [Rouse, 74] [Tucker, 79]; SR [Sellers, 85] [Jordan, 69], [Pearson, 72]; GNDVI [Gitelson, 96]; EVI [Huete, 97]; SAVI [Huete, 88]; CVI [Vincini, 08]; TVI [Vincini, 08] etc.) și reprezenta în teren distribuția acestora tot sub forma unor hărți (Fig. 31).

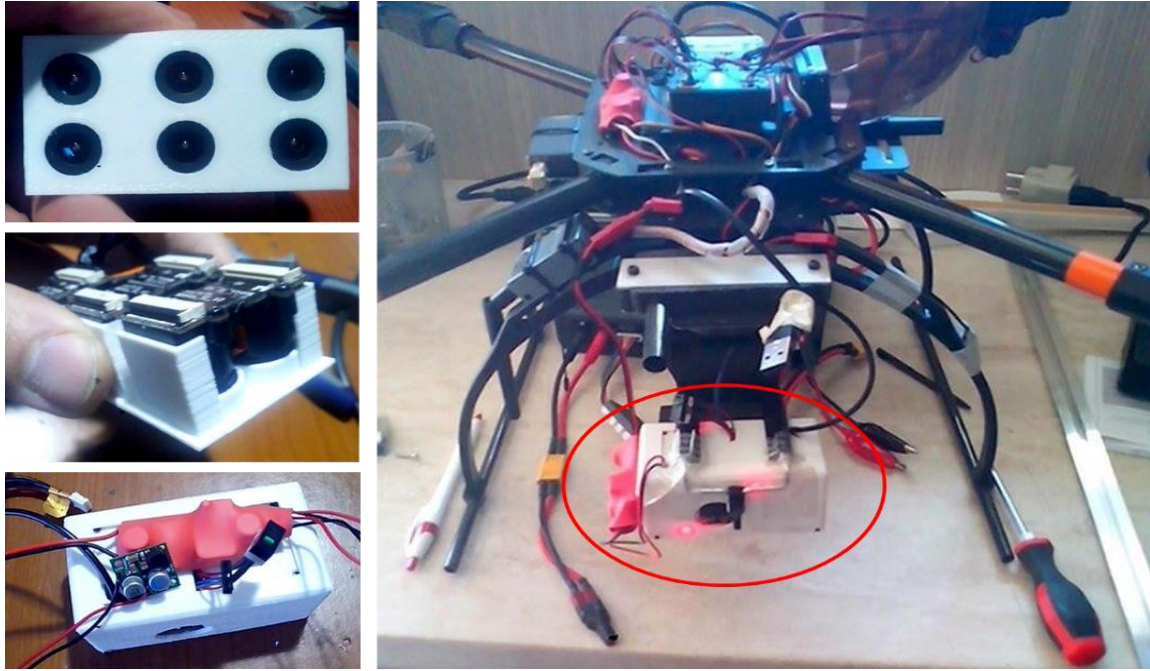


Fig. 30 Sistemul mecatronic HexaSPEc și amplasarea acestuia pe un UAV
[imagine furnizată de partenerul Drift Data Systems]

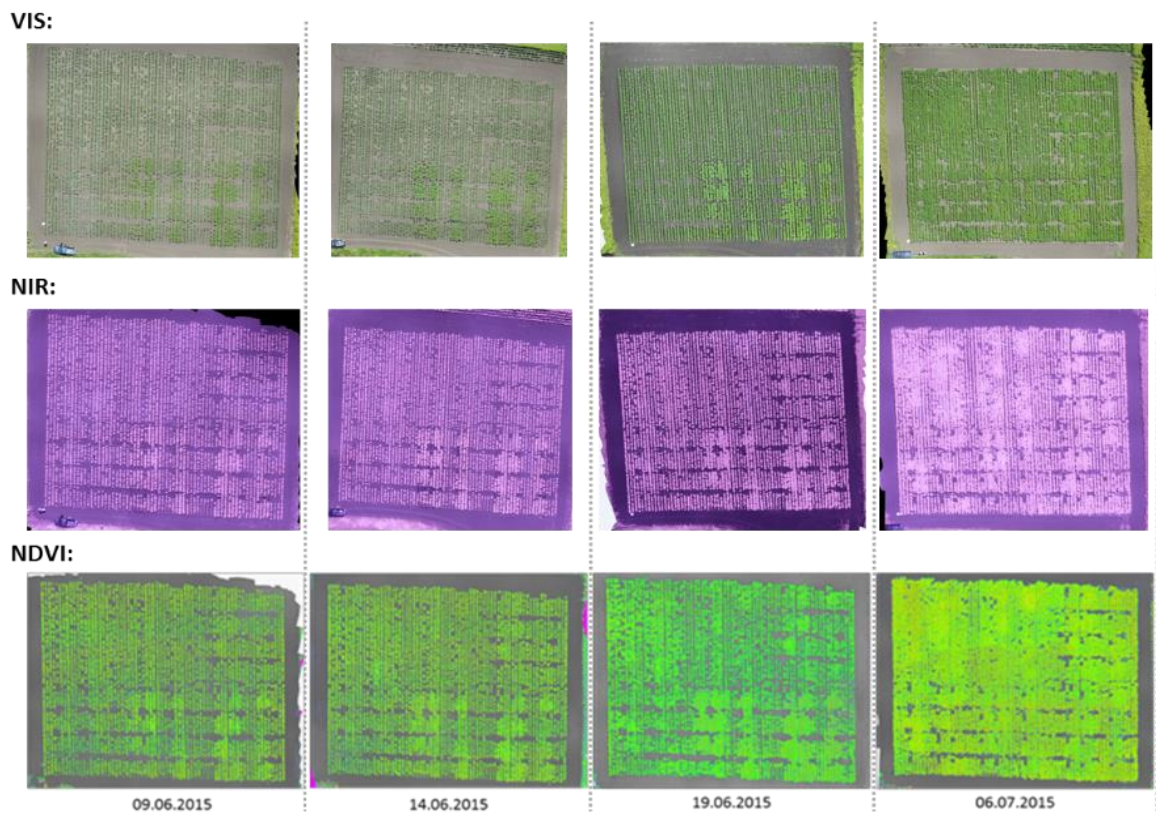


Fig. 31 Hărți de reflectanță (VIS, NIR), respectiv hărți cu indici de vegetație (NDVI)
[imagine furnizată de partenerul Drift Data Systems]

Proiectul MultiCanSPEC vine ca o completare a proiectului Monicult, fructificând experiența existentă a partenerilor în domeniul monitorizării stării de vegetație a culturilor agricole.

Obiectivele specifice ale proiectului sunt pliate pe necesitățile identificate în urma analizei și constau în:

O1: Îmbunătățirea tehnologiei sistemului HexaSPEC prin identificarea și adaptarea unor noi senzori CMOS și creșterea numărului de canale de captură;

O2: Optimizarea alinierii imaginilor și sincronizarea achiziției de date de la senzori prin crearea unui ansamblu optic unic;

O3: Automatizarea fluxului de prelucrare a imaginilor achiziționate și îmbunătățirea aplicației actuale cu noi funcționalități prin integrarea de noi metode și tehnici pentru prelucrarea datelor colectate.

În cadrul proiectului sunt cuprinse și două stagii de pregătire practică pentru studenți masteranzi.

În urma dezvoltării, îmbunătățirii și optimizării tehnologiei existente, noul sistem se va numi **MultiCanSPEC** (crește numărul de canale de captură), iar noua aplicație de procesare a datelor se va numi **DriftSPEC** (Fig. 32).



Fig. 32 Produsele obținute în urma finalizării proiectului MultiCanSPEC

Activitățile de cercetare au fost organizate pe patru pachete de lucru și anume: WP1 - *Îmbunătățirea tehnologiei sistemului HexaSPEC prin identificarea și adaptarea unor noi senzori CMOS și creșterea numărului de canale de captură*, WP2 - *Proiectarea, realizarea, testarea și validarea sistemului MultiCanSPEC*, WP3 - *Automatizarea fluxului de prelucrare a imaginilor achiziționate și îmbunătățirea aplicației actuale cu noi funcționalități prin integrarea de noi metode și tehnici pentru prelucrarea datelor colectate* și WP4 - *Organizarea și derularea stagiilor de pregătire practică pentru masteranzi*.

Fiecare pachet cuprinde activități repartizate partenerilor care lucrează individual sau activități la care se lucrează în comun.

2.4.2 Îmbunătățirea tehnologiei sistemului HexaSPEc prin identificarea și adaptarea unor noi senzori CMOS și creșterea numărului de canale de captură

Activitățile de cercetare cuprinse în primul pachet de lucru sunt prezentate în Fig. 33.

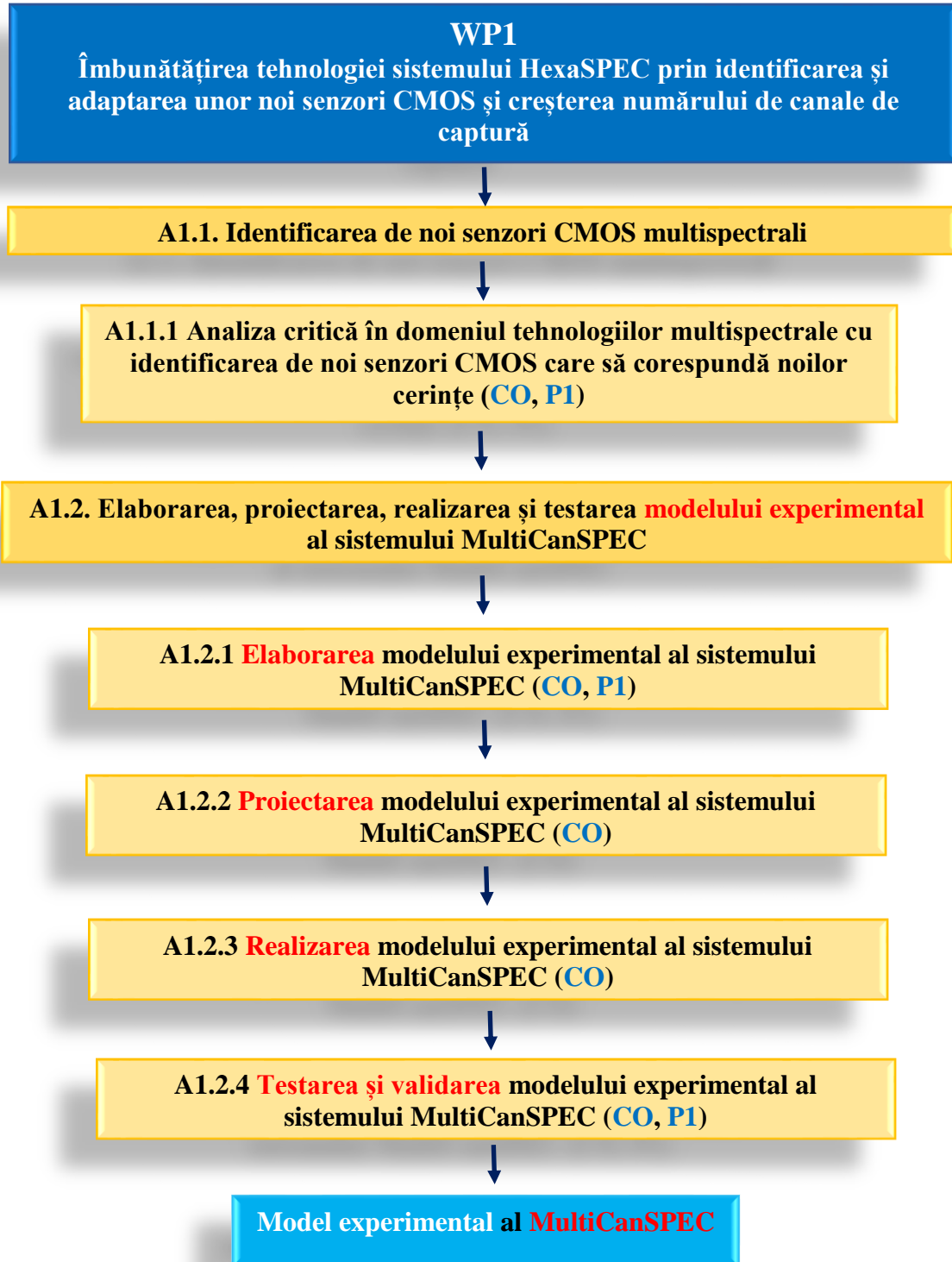


Fig. 33 Modul de organizare al cercetărilor în vederea îmbunătățirii tehnologiei sistemului HexaSPEc prin elaborarea, proiectarea, realizarea, testarea și validarea modelului experimental al sistemului MultiCanSPEc

Din cadrul acestui pachet s-a desfășurat în anul 2016 doar activitatea A1.1 care a presupus realizarea de către fiecare partener a câte unui **studiu detaliat cu privire la senzorii utilizați în prezent pentru preluarea datelor multispectrale**.

Coordonatorul proiectului a avut de întocmit o analiză multicriterială a acestor tipuri de senzori, cu accent pe aspectele tehnice și economice. Partenerul P1, Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Cartof și Sfeclă de Zahar din Brașov, în baza experienței și expertizei de care dispune, a analizat și formulat cerințelor specifice utilizatorului final în ceea ce privește domeniile spectrale prin care se pot obține indici de vegetație, cu accent asupra celor mai utilizați indici.

Analiza critică în domeniul tehnologiilor multispectrale cu identificarea de noi senzori CMOS care să corespundă noilor cerințe (A1.1.1) urmează să se finalizeze la începutul etapei a II-a, iar în urma acesteia, se vor completa elementele care compun **referențialul privind modelul experimental** al unui noului sistem de achiziție de date multispectrale MultiCanSPEC. Până la acest moment, cerințele pe care sistemul va trebui să le respecte se referă la următoarele:

- număr sporit de canale de captură;
- acoperirea celor mai potrivite intervale de lungimi de undă din domeniile VIS și VNIR, recomandate în studiul vegetației și culturilor agricole;
- furnizarea de imagini cu rezoluție ridicată în vederea generării de ortofotoplanuri detaliate, precum și de hărți de reflectanță de detaliu.

În urma cercetărilor realizate până acum, partenerul P1 a stabilit principalii parametri de producție care vor fi vizați în vederea monitorizării [MultiCanSPEC, 16]:

- viteza de creștere a plantelor;
- densitatea culturii;
- înălțimea plantelor;
- turgescența (aprovizionare cu apă);
- nutriția plantelor (în special aprovizionarea cu azot);
- concentrația în clorofilă a frunzelor („gradul de verde”);
- stresul biotic (boli, dăunători) și abiotic;
- identificarea culturilor și discriminarea acestora.

Studiul realizat de partenerul P1 a selectat 16 intervale spectrale [MultiCanSPEC, 16] luând în considerare avantajele legate de: modelul optim pentru proprietățile biofizice și biochimice; posibilitatea de a separa vegetația și culturile agricole pe baza tipului speciei, structurii și compoziției; clasificarea precisă a tipurilor de cultură, culturii dominante și speciilor de cultură.

Benzile înguste de lungimi de undă alese se aplică numai pentru studiile legate de terenurile agricole, cu mențiunea că lățimea de bandă îngustă pentru spectrul selectat ar trebui să fie de 3 nm, însă sunt acceptate și lățimi de bandă de până la 10 nm în vederea obținerii celor mai bune rezultate în cuantificarea, modelarea și cartografierea culturilor agricole [MultiCanSPEC, 16].

În cadrul studiului efectuat de coordonatorul proiectului cu privire la senzorii spectrali utilizați pentru monitorizarea stării de vegetație a culturilor agricole au fost analizate critic o serie de soluții tehnice existente în momentul acesta pe piață. Soluții identificate au fost grupate în trei categorii în funcție de principiul constructiv și modul de funcționare:

1. Senzori multispectrali cu fotodiode;
2. Camere monospectrale/ multispectrale cu aplicarea unui singur filtru pe senzorul de imagine;
3. Camere cu senzori de imagine multispectrali.

În continuare sunt prezentate primele două categorii de soluții, la cea de-a treia analiza fiind în curs de desfășurare.

1. Senzori multispectrali cu fotodiode

Ca senzori pentru detecția luminii se pot utiliza fotodiodele cu Si sau Ge, în combinație cu filtre de interferență corespunzătoare diferitelor lungimi de undă. Senzorii de acest tip conțin fotodiode care măsoară atât radiația incidentă cât și pe cea reflectată. Semnalele analogice provenite de la fotodiode trec printr-o serie de blocuri electronice de adaptare (filtre, amplificatoare) în vederea pregătirii pentru conversia în valori digitale. Aceste operații se desfășoară într-un sistem de achiziții de date personalizat.

Pe piață există în variantă comercială mai multe modele de astfel de senzori. Spre exemplu Cropsan Inc distribuie trei variante distincte [***, 16g]:

- MSR5 - 5 Lungimi de undă în intervalul 460-1750nm;
- MSR87 - 8 Lungimi de undă – interval 460-810nm;
- MSR16R – maxim 16 lungimi de undă în intervalul 450-1750nm, configurabile la solicitarea beneficiarului.

Pentru achiziția de date acesta folosește o unitate Data Logger Controller (DLC).

Tot în aceeași categorie se încadrează și senzorul multispectral cu fotodiode – tip PixelSensor™ [***, 16h]

Lungimile de undă pentru care pot fi achiziționate datele sunt cuprinse în domeniul VIS-NIR (400-1000nm).

Din punct de vedere constructiv, elementul sensibil constă într-o matrice de 8 fotodiode cu Si, având suprafața totală de 9mm x 9mm (Fig. 34). Dimensiunea unei fotodiode este de 1,0mm x

0,8 mm, iar filtrele acoperă o lățime de bandă cuprinsă între 10-100 nm, FWHM (Full Width at Half Maximum).

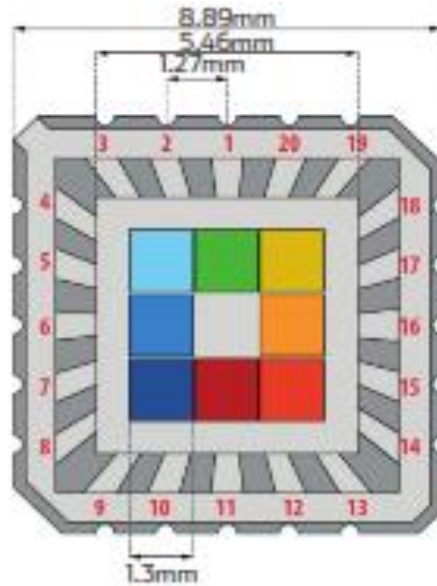


Fig. 34 Matricea de fotodiode a senzorului PixelSensor™ [***, 16h]

Spectrul este divizat în 8 benzi de culoare, discrete și suprimă lumina de fundal (out-of band), îmbunătățind contrastul și sensibilitatea. Versiunile personalizate OEM sunt disponibile, cu benzi spectrale definite de utilizator, senzorii fiind furnizați cu sau fără modulul electronic de preluare a informațiilor.

2. Camere monospectrale/ multispectrale cu aplicarea unui singur filtru pe senzorul de imagine

Cea de-a doua categorie cuprinde camerele foto clasice cărora li s-a adăugat un filtru de interferență corespunzător unei anumite lungimi de undă (cameră monospectrală).

Aceste camere se pot întâlni în trei variante [MultiCanSPEC, 16]:

- a. **Individuale cu un singur filtru** (camera + un filtru – spre exemplu Canon S110 NIR - Fig. 35, Canon S110 RE [***, 16i]);
- b. **Individuale cu un set de filtre** (camera + un set de filtre care se aplică secvențial prin fața camerei - spre exemplu PixelTec – SpectrocamTM [***, 16j]);
- c. **Multiple** în care un anumit număr de astfel de camere monospectrale, fiecare cu un anumit filtru de interferență, sunt încorporate într-un senzor multispectral. Acesta din urmă este și cazul sistemului HEXASPEC existent în dotarea partenerului P2 – Drift Data Systems, a cărui îmbunătățire constituie unul din obiectivele acestui proiect.

a. **Camerele individuale care au aplicat un filtru de interferență** beneficiază de rezoluția maximă furnizată de senzorul de imagine și sunt adaptate astfel încât să fie comandate de autopilotul sistemului mobil autonom aerian.



Fig. 35 Camere monospectrale Canon S110 NIR, Canon S100 RE [***, 16i]



Fig. 36 Camera Spectrocam™ [***, 16j]

b. **Camerele individuale care aplică secvențial un set de filtre în fața senzorului de imagine** exploatează întreaga rezoluție a senzorului de imagine. Camerele Spectrocam™, (Fig. 36) pot prelua imagini în 6 sau 8 benzi spectrale (ultraviolet - UV, vizibil -VIS, infraroșu apropiat – NIR, Short-Wave Infrared – SWIR), cu o frecvență de până la 25 cadre/s, prin deplasarea secvențială a unor filtre în fața senzorului de imagine. Imaginile pot avea rezoluții de 1392 x 1040 pixeli (1.4 Mp), 2456 x 2058px (5 Mp), 640 x 512px (0.3Mp), 320 x 256 px (0,08 Mp) [***, 16j].

c. Din categoria de **camere multiple**, în urma unei analize comparative a pieței s-au identificat sisteme cu patru sau cinci canale și prețuri cuprinse între 3.500 și 10.000 USD (Parrot Sequoia™ - 3.500 USD; MicaSense RedEdge® – 5.900 USD; senseFly MultiSpec 4C – 9990 USD) [MultiCanSPEC, 16].

Camera multispectrală **Parrot Sequoia** (Fig. 37) are în componență 4 camere monospectrale pentru preluarea radiației reflectate, cu rezoluție de 1.2 Mpx pentru domeniile Red, Green, Near infrared, Red edge și o cameră RGB de 16 Mpx. Este disponibil de asemenea și un senzor pentru măsurarea radiației incidente (sunshine sensor) în vederea autocalibrării [***, 16k].

Similar există un senzor de radiație incidentă și la camera **MicaSense RedEdge®** (Fig. 38). Domeniile spectrale în care aceasta achiziționează simultan imagini sunt în număr de cinci: Blue, Green, Red, Red-edge, NIR, cu o frecvență de un cadru pe secundă pentru toate benzile spectrale. Imaginile pot fi stocate pe un card SD și sunt georeferențiate. Pentru partea de configurare și control a camerei sunt disponibile interfețe Ethernet și serială (controlul poate fi făcut direct de pe dronă) [***, 161].



Fig. 37 Camera multispectrală Parrot Sequoia™ [***, 16k]



Fig. 38 Camera multispectrală MicaSense RedEdge® [***, 161]

Cea de-a treia cameră din această categorie este **MultiSpec 4C**, produsă de AIRNOV pentru senseFly în vederea montării pe UAV-uri aripă zburătoare de tip eBee [***, 16i]. Aceasta pune la dispoziție posibilitatea de a achiziționa imagini de la 4 camere monospectrale în benzile: Green, Red, Red-edge, NIR, cu o rezoluție de 1.2Mp. Calibrarea se face automat cu ajutorul unui luxmetru integrat. Senzorul preia și informații privind poziția geografică și ora și în funcție de acestea realizează o corecție a radiației reflectate în funcție de unghiul razelor solare [MultiCanSPEC, 16].

În aceeași categorie se încadrează și micro camerele **Micro-MCA de la TetraCam** [***, 16m] care se regăsesc în variantele cu 4, 6 sau 12 canale, cu senzori de imagine de 1.3Mp, sistem propriu de stocare cu card microSD pentru fiecare canal și acoperind intervalul de lungimi de undă cuprins între 450 – 1000 nm.

Cele două categorii de soluții de preluare a datelor spectrale au fost analizate critic din punct de vedere tehnic și economic, situația centralizatoare fiind prezentată în Tabelul 3.

Tabel 3 Comparație a primelor două categorii de senzori pentru preluarea datelor multispectrale [MultiCanSPEC, 16]

Tip senzor	Senzor multispectral cu fotodiode		Cameră monospectrală / multispectrală				
Producător	Cropscan	PixelTeq	PixelTeq	AIRNOV pt. senseFly	Micasense	AIRNOV pt. senseFly eBee	Tetracam
Model	MSR	PixelSensor	SpectroCam™	Parrot Sequoia™	RedEdge®	MultiSpec 4C	Micro-MCA
Referință bibliografică	[CO.1]	[CO.2]	[CO.4]	[CO.5]	[CO.6]	[CO.6]	[CO.7]
Domenii (VIS, NIR etc.)	VIS NIR (450 – 1750 nm)	VIS-NIR (400-1000 nm)	<ul style="list-style-type: none"> 200-900nm UV+VIS+NIR 400-1000nm VIS+NIR 500-1700nm SWIR 	Green (550) Red (660) Red Edge (735) NIR (790)	Blue, Green, Red, Red-edge, NIR	Green (550nm), Red (660 nm), Red-edge (735 nm), NIR (790 nm)	450-1000 nm
FWHM	MSR87: 7-14 nm MSR5: 70 – 200 nm MSR16R: 10-14nm	10 – 100 nm	-	40, 40, 10, 40 nm		40, 40, 10, 40 nm (pentru vers.prototip.)	25
Rezoluție (benzi spectrale)	5, 8, 16	8 standard sau configurabile	6 - 8	4 + 1 RGB	5	4	4, 6, 12
Senzor	Diode cu Si, Ge	Diode cu Si	<ul style="list-style-type: none"> CCD, UV-enhanced Si CCD, Si InGaAs 	-	-	CCD	CMOS
Câmp de vizualizare (Field of view)	Radiație incidentă 180° Radiație reflectată 28°	Configurabil		HFOV: 70.6 ° VFOV: 52.6 ° DFOV: 89.6 °	47.2 ° HFOV		HFOV: 38.26 ° VFOV: 30.97 ° DFOV: 89.6 °
Dimensiuni [mm]	<ul style="list-style-type: none"> Senzor 80x80x100 Data logger DLC 184x248x45 	<ul style="list-style-type: none"> Senzor 9 x 9 , OEM Board 45.72 x 21.34 	<ul style="list-style-type: none"> 136 x124x105 136x 24 x105 136 x124x116 	<ul style="list-style-type: none"> Senzor bază 41 x 59 x 29.5 Senzor rad.incid 47 x 39.6 x 18.5 	121 x 66 x 46		<ul style="list-style-type: none"> 11 5.6 x 80.3 x 68.1 11 5.6 x 155 x 68.1
Masă	DLC: 1.47 kg cu baterie	-	908g, 680g, 908g	72 g & 35 g	150 g	160 g	497 – 1000g
Mod interfațare	RS232, RS485	USB 2.0 pentru placă	Gig-E 10,12,14bit	WI-FI, SD Card	Serial, Ethernet, GPS, SD card	SD Card	USB 2.0, RS232, Video
Preț		Senzor 195 USD Placa cu senzor 895 USD	14500 USD (sistem complet)	3500 USD	5900 USD	9990 USD	
Condiții de funcționare	<ul style="list-style-type: none"> Senzor 0 +50° C DLC - 40 +70° C 	-40 +80° C					0 - 40° C
Tensiune de alimentare	9-15V	5V		5V	5V		9-16.5V
Consum	DLC - 540mW la scanare	-		<ul style="list-style-type: none"> 5 W senzor radiație reflectată, 1 W senzor radiație incidentă 	4W		19.8W
Stocare locală date	<ul style="list-style-type: none"> 64K, 128K, 256K memorie RAM 32K, 64K, 128K, 256K card memorie Epson 	Nu		<ul style="list-style-type: none"> 64 GB intern SD card pe senzorul de radiație incidentă 	SD card	SD Card	16 GB microSD/canal

Tip senzor	Senzor multispectral cu fotodiode		Cameră monospectrală / multispectrală				
Producător	Cropscan	PixelTeq	PixelTeq	AIRNOV pt. senseFly	Micasense	AIRNOV pt. senseFly eBee	Tetracam
Model	MSR	PixelSensor	SpectroCam™	Parrot Sequoia™	RedEdge®	MultiSpec 4C	Micro-MCA
Frecvență cadre	-	-	<ul style="list-style-type: none"> • 15 cadre/s • 20 cadre/s • 25 cadre/s 	1 imagine/ s	1 imagine /s (simultan pentru cele 5 camere)	10 view-points ale aceluiași spot pentru creșterea acurateții	Max 2 cadre/s
Calibrare	Există diode pentru măsurare radiație incidentă	-		Automată, cu senzor de radiație incidentă	Automată, cu senzor de radiație incidentă	Automată, luxmetru integrat	Placă albă teflon
Vehicul pe care se plasează	Static, mobil terestru	Aripă, multicopter	Static, mobil terestru	Aripă, multicopter	Aripă, multicopter	Aripă, multicopter	
Ușurință în utilizare	Senzorul lucrează cu DLC	Placa se poate conecta direct la calculator		Livrare simplu sau cu drona tip aripa sau multicopter	Livrare simplu sau cu drona tip aripa sau multicopter	Livrare simplu sau cu drona tip aripa sau multicopter	Livrare simplu sau cu drona tip aripa sau multicopter
Software	Da	Da	Da	Da	Stocare, procesare date în Cloud (Atlas)	Da	Da

Anumite caracteristici incluse în această comparație nu sunt specificate de producător.

Criteriile luate în considerare se referă la:

- domenii de lungimi de undă pentru care sunt achiziționate datele spectrale (UV, VIS, RE, NIR, SWIR);
- lățime de bandă - FWHM;
- rezoluție (numărul de benzi spectrale în care se poate face achiziția datelor);
- tip de senzor (diode sau camere);
- câmp de vizualizare (Field of view);
- dimensiuni – importante având în vedere plasarea senzorului pe UAV-uri;
- masă – cu cât este mai mare cu atât va crește sarcina pe care UAV-ul trebuie să o transporte;
- mod interfațare (interfețe de comunicație pentru conectare la vehicule mobile autonome de tip aerian sau terestru, respectiv pentru stocare de informații sau conectare la calculatoare PC);
- preț de catalog;
- condiții de funcționare (temperatura);
- tensiune de alimentare;
- consum de energie;
- opțiuni de stocare locală de date (memorie internă sau carduri de memorie);
- frecvență cadre (pentru camere);
- modalități de calibrare;

- vehicul pe care se plasează (vehicul mobil terestru sau aerian-aripă zburătoare sau multicopter);
- ușurință în utilizare (mod de livrare a senzorului- independent sau cu sistem de achiziție de date);
- software (existența unor biblioteci de funcții sau a unor programe specifice pentru preluarea, procesarea și interpretarea datelor).

3. Camere cu senzori de imagine multispectrali

În această categorie se regăsesc camerele care dispun de senzori de imagine peste care se aplică filtre interferențiale aferente anumitor lungimi de undă și cu un anumit pattern de dispunere (mozaic, grupat, liniar).

În prezent se lucrează la studiul și analiza acestor tipuri de senzori și ei vor fi utilizați în noul tip de sistem MultiCanSPEC.

2.4.3 Activități de cercetare care urmează să se desfășoare în cadrul proiectului MultiCanSPEC

Așa cum a fost precizat anterior, proiectul MultiCanSPEC se va încheia în luna septembrie 2018. Activitățile de cercetare programate în continuare vor avea în vedere următoarele obiective:

- În baza analizelor critice efectuate în etapa I, se va definitiva referențialul pentru modelul experimental al sistemului MultiCanSPEC și se va trece la proiectarea, realizarea, testarea și validarea modelului. Aceste activități se vor finaliza în luna octombrie 2017;
- În perioada aprilie – iunie 2017 este programat primul stagiu de pregătire practică în cadrul proiectului, pentru un număr de cinci masteranzi;
- Din luna august 2017 demarează cercetările aferente celui de-al doilea pachet de lucru ce vizează elaborarea, proiectarea, realizarea modelului funcțional al sistemului MultiCanSPEC, urmate de testarea și validarea îmbunătățirii performanței tehnologiei, activitățile încheindu-se abia la finalul proiectului;
- Tot din luna august 2017 încep și cercetările în cadrul pachetului trei care au în vedere automatizarea fluxului de prelucrare a imaginilor achiziționate de la sistemul MultiCanSPEC și îmbunătățirea aplicației actuale cu noi funcționalități prin integrarea de noi metode și tehnici pentru prelucrarea datelor colectate. Noua aplicație, DriftSPEC va fi proiectată, realizată, testată cu datele multispectrale culese în campaniile agricole și validată.

- În perioada aprilie – iunie 2018 este programat cel de-al doilea stagiu de pregătire practică în cadrul proiectului, pentru un număr de cinci masteranzi.

2.5 Concluzii privind activitățile desfășurate în cadrul direcției de cercetare APLICAȚII ALE SISTEMELOR MECATRONICE AVANSATE ÎN AGRICULTURA DE PRECIZIE

Concluziile vor face o trecere în revistă a realizărilor științifice și profesionale din cadrul acestei direcții de cercetare, aplicații posibile cu potențial de piață și modul în care cercetările desfășurate contribuie la îmbunătățirea calității vieții.

Cercetările privind implementarea sistemelor mecatronice avansate în agricultură, concret în agricultura de precizie, ocupă volumul cel mai semnificativ din activitatea științifică și profesională în perioada ultimilor 5 ani.

A. REALIZĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI PROFESIONALE

Realizările științifice și profesionale ale autorului acestei teze de abilitare însumează proiecte de cercetare, cereri de brevete, articole publicate în reviste indexate în baze de date, participări la conferințe, vizite de documentare, organizări de workshop-uri și participări la sesiuni de comunicări științifice, produse și tehnologii inovative rezultate din toată această muncă.

1. Proiecte de cercetare științifică

Două importante proiecte de cercetare câștigate în competiții naționale, ca director de proiect.

- PNII - Parteneriate - Proiecte Colaborative de Cercetare Aplicativă, “*Proiectarea, realizarea și experimentarea unui sistem mecatronic de monitorizare multispectrală a stării de vegetație a culturilor agricole – MoniCult*”, valoare totală a proiectului 1.437.500 lei (din care 1.250.000 lei de la bugetul de stat și 187.500 lei din alte surse atrase), cota Universității Transilvania fiind de 500.000 lei, perioada de implementare 01.07.2014 – 30.09.2017.
- PNIII, Programul 2 - Creșterea competitivității economiei românești prin cercetare, dezvoltare și inovare, Proiecte de tip Transfer de cunoaștere la agentul economic „Bridge Grant”, “*Îmbunătățirea tehnologiei sistemului mecatronic multispectral în vederea creșterii performanțelor de captare a parametrilor vegetativi în contextul*

schimbărilor climatice – MultiCanSPEC”, valoare totală a proiectului 460.000 lei, cota Universității Transilvania fiind de 322.000 lei, perioada de implementare 01.10.2016 – 30.09.2018.

2. Cereri de brevet

Două cereri de brevet depuse în anii 2015, 2016 în cadrul proiectului Monicult.

- **Propunere brevet, cerere A 2015 00737, Patent no. 130906-A0**

Hancu O., Mătieș V., Rad C.R., Simion M., Lăpușan P.C., **Luculescu M. C.**, Cristea L., Zamfira C.S., Barbu I., Rîmbu D., Olteanu Gh., Ghinea A., Pricope T.I., Sistem mecatronic de acționare și poziționare pentru aplicații în agricultura de precizie, cerere publicată în Buletinul Oficial de Proprietate Industrială nr.2/2016, pag.19.

- **Propunere brevet, cerere A 2016 00903,**

Luculescu M. C., Boer A. L., Zamfira C.S., Cristea L., Hancu O., Oltean Gh., Ghinea A., Metodă de achiziție și prelucrare a datelor hiperspectrale cu ajutorul spectrometrelor, cerere înregistrată la OSIM în data de 24.11.2016, în curs de publicare în Buletinul Oficial de Proprietate Industrială.

3. Articole publicate în reviste indexate în baze de date

- **Luculescu, M.C., CRISTEA, L., ZAMFIRA C.S., BARBU I.,** *Spectral Monitoring of the Crops Vegetation Status in Precision Agriculture*, Applied Mechanics and Materials Vol. 811 (2015) pp 236-240 © (2015) Trans Tech Publications, Switzerland, doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.811.236, **indexată BDI - SCOPUS**
- **Luculescu, M.C., CRISTEA, L., ZAMFIRA C.S., BARBU I.,** *Mechatronic System for Spectral Monitoring of the Crops Vegetation Status*, Applied Mechanics and Materials Vol. 823 (2016) pp 405-410 © (2016) Trans Tech Publications, Switzerland, doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.823.405, **indexată BDI - SCOPUS**
- CRISTEA, L., **Luculescu, M.C.**, ZAMFIRA C.S., BOER, A.L., POP, S., *Multiple criteria analysis of remotely piloted aircraft systems for monitoring the crops vegetation status*, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 147 (2016) 012059 doi:10.1088/1757-899X/147/1/012059, **indexată Scopus**
- BOER, A.L., **Luculescu, M.C.**, CRISTEA, L., ZAMFIRA C.S., , BARBU, I., *Comparative Study between Global Positioning Systems Used on Remotely Piloted Aircraft Systems*, The 18th International Conference Scientific Research and Education in the Air Force-AFASES 2016, pp.127-132, DOI: 10.19062/2247-3173.2016.18.1.16, **indexată BDI EBSCO, Copernicus**

4. Articole publicate în reviste de specialitate

- **Luculescu, M.C., CRISTEA, L., ZAMFIRA, S.** - *MoniCult – o alternativă de monitorizare a stării de vegetație a culturilor agricole pentru micii producători de cartof*, ISSN 1583-1655, Revista Cartoful în Romania, 2015.

5. Participări la conferințe

- ZAMFIRA, S., BOER, A., CRISTEA, L., **Luculescu, M. C.** - *Hyperspectral analysis used for monitoring crop vegetation status*, - The International Conference „Climatic changes, a permanent challenge for agricultural research on potato, sugar beet, cereals and medicinal plants”, INCDCSZ Brașov, 2016.
- Participare la *DRONE Berlin International Exhibition & Conference*, 12-16.10.2016, Berlin, Germania

6. Workshop-uri organizate, prezentări publice

- Workshop „MoniCult - Utilizarea informației multispectrale în managementul culturilor agricole”, 12-13 Decembrie 2014, Brașov
- Workshop "MoniCult – Sisteme de achiziție, procesare, stocare și transmisie a informațiilor multispectrale utilizate pe platforme mobile terestre" - Brasov 25-26 iunie 2015.
- Workshop MoniCult "Operarea sistemelor mecatronice mobile autonome aeriene" – Brașov, 08-12.02.2016
- **Luculescu, M.C.**, CRISTEA, L., ZAMFIRA, S., BARBU, I. - prezentare publica cu titlul " Sisteme mobile aeriene utilizate pentru monitorizarea multispectrală a stării de vegetație a culturilor agricole", Workshop "MoniCult – Platforme mobile terestre și aeriene pentru monitorizare multispectrală în agricultura de precizie" - Cluj-Napoca 26-27 Noiembrie 2015.

7. Produse

- Sistem de Achiziție, Procesare, Stocare și Transmisie a Informațiilor Multispectrale (SAPSTIM) - **Model experimental** al unui Sistem de Achiziție, Procesare, Stocare și Transmisie a Informațiilor preluate de la senzori multi- respectiv hiperspectrali, în vederea monitorizării stării de vegetație - produs nou.
- Sistem Mecatronic Mobil Multispectral Terestru (SMMMT) - **Model experimental** al unui Sistem Mecatronic Mobil Multispectral Terestru folosit pentru monitorizarea stării de vegetație a culturilor – produs nou.
- Sistem Mecatronic Mobil Multispectral Terestru (SMMMT) - **Model funcțional** al unui Sistem Mecatronic Mobil Multispectral Terestru folosit pentru monitorizarea stării de vegetație a culturilor – produs nou.
- Sistem Mecatronic Mobil Multispectral Autonom Aerian (SMMMAA) - **Model experimental** al unui Sistem Mecatronic Mobil Multispectral Autonom Aerian folosit pentru monitorizarea stării de vegetație a culturilor – produs nou.

B. APLICAȚII POSIBILE CU POTENȚIAL DE PIAȚĂ

După finalizarea proiectului Monicult produsele și rezultatele obținute se vor exploata în primul rând de către partenerii din proiect: partenerii CO și P2 le vor utiliza în mediul educațional

și în continuarea activităților de cercetare pe direcția de agromecatronică, partenerul P1 le va folosi în continuarea activităților de cercetare și în prestarea de servicii către beneficiari ce doresc implementarea unui management agricol de precizie, iar partenerul P3 le va exploata în activitatea pe care o desfășoară și le va promova în rândul celorlalți fermieri care doresc să treacă la sau să-și completeze logistica necesară unei agriculturi de precizie.

Proiectul oferă și un viitor potențial de comercializare prin transformarea modelelor funcționale în produse comerciale, cu parcurgerea pașilor corespunzători, o extindere către alte unități potențial beneficiare, putând să ofere agricultorilor sau institutelor de cercetare de profil trei soluții pe care aceștia le pot alege în funcție de interesul și posibilitățile financiare:

- a. Varianta cea mai ieftină presupune apelarea la o companie (întreprindere sau institut de cercetări) care deține și utilizează variantele comerciale ale sistemele mecatronice dezvoltate în cadrul acestui proiect, pentru **prestarea unor servicii de monitorizare multispectrală** a stării de vegetație a culturilor agricole.
- b. A doua variantă, medie din punct de vedere al investiției financiare, presupune achiziționarea SMMMT în variantă comercială ce se va monta pe utilajul agricol și a TIMMSVCA, pentru utilizarea în timpul desfășurării lucrărilor agricole.
- c. Cea de-a treia variantă, cea mai ridicată din punct de vedere financiar, o reprezintă monitorizarea de precizie folosind SMMMAA în versiune comercială și interpretarea rezultatelor cu ajutorul TIMMSVCA.

C. CONTRIBUȚIA CERCETĂRILOR LA ÎMBUNĂTĂȚIREA CALITĂȚII VIEȚII

Utilizarea sistemelor mecatronice de monitorizare multispectrală a stării de vegetație a culturilor agricole realizate în cadrul proiectelor va conduce la rezultate semnificative privind îmbunătățirea calității vieții prin creșterea preciziei managementului agricol cu impact major economic și de protecție a mediului. Se realizează în acest sens:

- Optimizarea resurselor de sol, prin selecția în timp a zonelor unde plantele se dezvoltă cel mai bine;
- Optimizarea resurselor de apă, prin monitorizarea atentă a stării de vegetație a culturilor cu ajutorul indicilor de vegetație calculați care permit luarea deciziei la timp în ceea ce privește necesarul de apă al plantelor (aceasta atrage după sine o optimizare a costurilor de irigare – impact economic pozitiv);

- Optimizarea input-urilor chimice (îngrășăminte și pesticide) permițând cunoașterea precisă a momentului când sunt necesare, cantității care trebuie folosită și locului unde trebuie aplicate (impact economic, dar mai ales în ceea ce privește protecția mediului).

Spre exemplu, dacă îngrășămintele și pesticidele nu sunt folosite corespunzător, ținând cont de însușirile solului, gradul lui de aprovizionare cu elemente nutritive, necesarul de nutrienți al plantelor și recoltele prognozate, acestea pot deveni surse importante de poluare a mediului înconjurător și în special a mediului acvatic. Impactul aplicării unui management agricol de precizie se concretizează în obținerea de producții mari și de calitate, optimizarea profiturilor economice, realizarea integrată a protecției mediului și mărirea durabilității sistemelor agricole. Toate acestea se reflectă asupra îmbunătățirii calității vieții.

3. APLICAȚII ALE SISTEMELOR MECATRONICE AVANSATE ÎN INDUSTRIE

Cea de-a doua direcție de cercetare a autorului acestei teze de abilitare vizează aplicații ale sistemelor mecatronice în mediul industrial. Activitățile desfășurate sunt în concordanță și cu disciplinele coordonate și anume “Microcontrollere și microprocesoare”, “Medii de programare pentru microcontrollere”, ”Automate programabile”.

După obținerea titlului de doctor, cercetările privind sistemele mecatronice cu aplicații în industrie au vizat conducerea a două contracte de cercetare dezvoltare inovare cu terți, participarea ca membru în granturi obținute în competiții naționale, participarea la diverse conferințe din țară și străinătate, publicare de cărți și lucrări. În continuare se va face o trecere în revistă a acestor activități cu punerea accentului asupra celor la care contribuțiile au fost mai importante.

3.1 Contracte cu terți

Identificarea de colaborări cu companii din mediul industrial a reprezentat și reprezintă una dintre prioritățile permanente. În acest sens, în anul 2009 a fost încheiat **contractul cadru de cercetare, dezvoltare, inovare nr.4848 cu compania VELFINA S.A. din Câmpulung Muscel**, județul Argeș urmare a solicitării acestora de colaborare în urma unor vizite realizate de către colectivul de specialiști ai Centrului de cercetare *Sisteme Mecatronice Avansate* la beneficiar.

„Înființată în anul 2001, în România, Velfina este o companie internațională dedicată dezvoltării de dispozitive medicale inovante, gata oricând să răspundă exigențelor în ceea ce privește calitatea și menținerea unui bun echilibru al balanței eficiență-cost” se specifică pe site-ul de prezentare al companiei.

Contractul intitulat “**Metode mecatronice avansate aplicate în domeniul fabricației dispozitivelor medicale**” în valoare de 50.000 lei, al cărui director a fost autorul tezei, avea în vedere o serie teme pentru care se solicitase rezolvarea lor de către colectivul Centrului de cercetare *Sisteme Mecatronice Avansate*.

Prima temă a vizat “*Validarea software-ului pentru echipamentul de sterilizare MALLET*”, un sistem mecatronic complex utilizat pentru sterilizarea dispozitivelor medicale, complet automatizat, controlat de un automat programabil Telemecanique conectat la un calculator PC pentru programarea și monitorizarea întregului proces. Validarea se impunea în urma unei

certificări pe care compania trebuia să o obțină în vederea producerii de dispozitive medicale și exportului acestora pe piețele Uniunii Europene. La validare a participat și un specialist în Sisteme de Management de la Global Certification Romania, reprezentanța în Romania a GlobalGROUP UK, acesta gestionând aspectele legate de standarde și proceduri, iar toată partea tehnică a revenit membrilor din colectivul de cercetare.

Pentru validarea aplicației software s-au luat în considerare următoarele aspecte:

- a. Criteriile definite pentru analiza și aprobarea procesului de validare
- b. Aprobarea echipamentului
- c. Calificarea personalului
- d. Utilizarea de metode și proceduri specifice
- e. Cerințele referitoare la înregistrările validării software-ului
- f. Instrucțiunile de lucru
- g. Revalidarea

Produsul software ce trebuia validat realiza operații de comandă, monitorizare și măsurare a parametrilor procesului de sterilizare.

Operația de comandă consta în transmiterea comenzilor de pe calculatorul PC, pe care rulează produsul software, către automatul programabil Telemecanique inclus în sistemul hardware al echipamentului de sterilizare. Comenzile erau generate prin intermediul interfeței grafice utilizator în care se completau parametrii de intrare specifici procesului.

Monitorizarea se efectua prin intermediul senzorilor și avea ca rezultat urmărirea variației în timp real a mărimilor ce interveneau în procesul de sterilizare, cu generarea unor grafice aferente. La apariția unor valori necorespunzătoare se declanșau în mod automat alarme, impunând intervenția personalului calificat.

Operația de măsurare presupunea preluarea informațiilor de la traductori. Valorile măsurate erau stocate și constituiau parte integrantă a procesului special de sterilizare, fiind utilizate pentru validarea șarjei. În acest fel se asigura trasabilitatea și identificarea completă a tuturor produselor conform legislației în vigoare.

Tema a fost finalizată cu succes, VELFINA S.A. atestând aplicarea tehnologiei de validare a software-ului pentru echipamentul de sterilizare MALLETT.

S-a continuat contractul cu o a doua temă ce viza concepția, proiectarea, realizarea și testarea unui sistem mecatronic pentru fabricarea unor periute chirurgicale dezinfectante, de unică folosință, cu iod, utilizate de către medici, în blocul operator, pentru spălarea chirurgicală a mâinilor, preoperatorie. Sistemul trebuia să asambleze reperele componente. Pe periuta din material plastic era lipit buretele, între cele două componente fiind plasat recipientul cu iod. Figura

39 are doar titlu informativ, ea se referă la varianta uscată, fără iod, prezentând cum ar fi trebuit să arate produsul final. Din păcate această temă nu a mai putut fi finalizată din motive financiare, situația economică fiind afectată de criza de la acel moment.



Fig. 39 Periuță chirurgicală uscată [***, 16n]

Cel **de-al doilea contract cu terți** la care autorul a fost director, a fost încheiat cu compania General Numeric S.R.L. din Brașov, în anul 2013 (contract nr.15808) fiind intitulat “**Optimizarea comenzii motoarelor de curent continuu fără perii (brushless) în vederea reducerii variațiilor de cuplu**” și având valoarea de 25.000 lei.

General Numeric, o companie cu peste 25 de ani de activitate, cu o bogată experiență, “produce în România mașini de debitare cu plasma și oxigaz cu comanda numerică, routere CNC și echipamente CNC specializate (mașini de aplicat rășini, lipit, mașini de sudura CNC, manipolatoare, roboți CNC)” așa cum apare în prezentarea firmei de pe site-ul acesteia.

Problema cu care aceștia se confruntau era legată de vibrațiile care apăreau la utilizarea modulelor de comandă pentru motoarele de curent continuu fără perii (Brushless DC electric motor - BLDC).

Obiectivul contractului l-a reprezentat identificarea unor metode de optimizare a comenzii acestor motoare folosite de către beneficiar la fabricarea echipamentelor cu comandă numerică (CNC), în vederea reducerii variațiilor de cuplu care produc zgomot și vibrații în sistem.

Activitățile cuprinse în cadrul contractului au avut în vedere:

1. Sistemul BLMC de control al motoarelor
2. Factorii care determină apariția variațiilor de cuplu în funcționarea BLDC
3. Tehnici de control folosite pentru reducerea variațiilor de cuplu la motoarele BLDC
4. Optimizarea comenzii motoarelor BLDC folosite de către beneficiar la fabricarea echipamentelor cu comandă numerică (CNC), în vederea reducerii variațiilor de cuplu care produc zgomot și vibrații în sistem

Rezultatele contractului se supun unor clauze de confidențialitate.

3.2 Granturi de cercetare câștigate în competiții naționale

Activitatea de cercetare în granturile câștigate în competiții naționale, după obținerea titlului de doctor, s-a desfășurat ca membru în proiectele prezentate în continuare.

1. Contract CNCSIS 393/2006-2008, tema 7, *Modele și sisteme avansate pentru protecția organismului uman la vibrații și prevenirea bolilor profesionale*, valoare 200.000 lei, membru în echipa de cercetare, director proiect Simona LACHE.

Scopul proiectului a reprezentat dezvoltarea de tehnici, specificații și metodologii menite să conducă la aprofundarea cunoașterii fenomenelor de vibrații mecanice la care este supus organismul uman în timpul exercitării diferitelor profesii, potențiale generatoare de boli profesionale.

Activitățile desfășurate în cadrul proiectului au avut în vedere următoarele tematici:

- Identificarea surselor de vibrații cu efecte nocive asupra organismului uman. Cercetările efectuate au evidențiat trei intervale de frecvență care au influențe negative asupra organismului uman: intervalul 0-2 Hz - profesiunile expuse vizează personalul din transportul aeronic, maritim etc.; intervalul 2-20 Hz - profesiunile expuse vizează conducerea de camioane, vehicule (pentru transport intrauzinal), tractoare (agricole, forestiere), excavatoare, buldozere, platforme betoniere, muncitori din jurul mașinilor fixe care transmit trepidațiile prin sol, podea; intervalul 20-200 Hz - profesiunile expuse sunt cele ce presupun utilizarea de unelte și mașini vibratorii care acționează asupra sistemului mână-braț cum ar fi ciocanele pneumatice spre exemplu.
- Studiul bolilor profesionale generate de vibrații, cu referire la diferite categorii profesionale afectate;
- Analiza comparativă a normelor de vibrații admisibile existente în România și în țările Uniunii Europene, în vederea acordării legislației românești la cea europeană.
- Dezvoltarea de tehnici avansate de modelare teoretică a organismului uman;
- Realizarea unor instalații de testare a vibrațiilor organismului uman, analiza și compararea rezultatelor experimentale cu cele teoretice.
- Dezvoltarea de sisteme avansate de control activ pentru vibroizolare;
- Aplicarea controlului activ la sistemele de vibroizolare;

Rezultatele cercetărilor la care a participat autorul acestei teze se concretizează în contribuții aduse la **două dintre cărțile publicate în cadrul proiectului** [Lache, 08a], [Lache,

09a], precum și **publicarea a nouă lucrări pe tematica acestuia** [Luculescu, 08a], [Luculescu, 08b], [Luculescu, 08c], [Lache, 08b], [Lache, 08c], [Lache, 08d], [Lache, 08e], [Lache, 08f], [Lache, 09b].

În cadrul proiectului testele au fost efectuate cu echipamente de achiziție de date a vibrațiilor cu performanțe ridicate (Fig. 40), spre exemplu analizorul LMS Pimento, respectiv analizorul de vibrații umane Bruel & Kjaer (Fig.41).



Fig. 40 Sistem de achiziție de date și analiză LMS Pimento [Luculescu, 08c]



Fig. 41 Analizorul de vibrații umane Bruel & Kjaer tip 4447 [***, 17c]

Sistemul din Fig.41 conține doi senzori de tip accelerometru utilizați, unul pentru preluarea vibrațiilor ansamblului braț-mână (Tip 4524-B-001 Miniature Triaxial DeltaTron® - poziția 3 în Fig. 41) cu sensibilitate de $1 \text{ mV}/(\text{m/s}^2)$ și domeniu de frecvențe cuprins între 2 Hz și 7 kHz, și celălalt pentru preluarea vibrațiilor întregului organism (Tip 4515-B-002 Seat Pad ce include un accelerometru tip 4524-B - poziția 7 în Fig. 41) cu sensibilitate de $10 \text{ mV}/(\text{m/s}^2)$ și domeniu de frecvențe cuprins între 0.25 Hz și 900 Hz.

În lucrarea [Luculescu, 08c] s-a propus o soluție low-cost a unui sistem de achiziție de date care să preia vibrațiile. S-a optat pentru un microcontroller care să aibă încorporat un convertor analog digital. Sistemul care dispunea de o tastatură și un afișor de tip LCD grafic putea prelua semnalele de maxim 8 surse, după ce acestea treceau prin Blocul de Adaptare a Semnalelor (BAS).

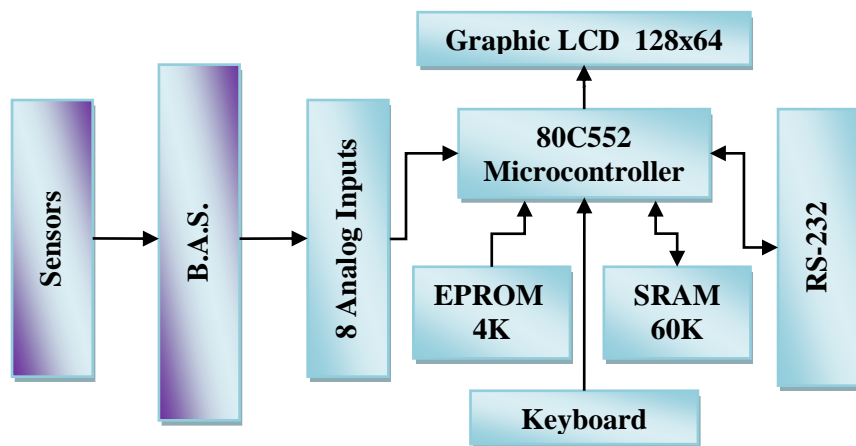


Fig. 42 Schema bloc a sistemului low-cost de achiziții de date propus [Luculescu, 08c]

Programele care gestionează rutinele de achiziție au fost scrise în limbaj de asamblare, iar interfața grafică utilizator prin intermediul căreia sistemul putea fi controlat de pe un calculator, a fost scrisă în limbaj de programare de nivel înalt (Visual Basic) (Fig.43).

Partea de management a fișierelor de date se accesează din meniul *File*, semnalele putând fi vizualizate prin intermediul opțiunii *View*. Au fost implementate de asemenea o serie de funcții pentru analiza și procesarea de semnale, fiind disponibile opțiuni pentru adunări și scăderi, integrări, derivări, calcul de transformată Fourier, precum și instrumente de vizualizare a semnalelor de tipul zoom și pan, cu posibilitate de salvare a datelor procesate.

Parametrii de comunicație dintre sistemul de achiziție și PC pot fi setați prin intermediul meniului *Communication* (portul serial COM, rata de transfer, număr de biți de date, paritate stop

etc.). În acest fel datele pot fi preluate pe calculator și întreg procesul de achiziție poate fi gestionat prin intermediul opțiunii de meniu *Acquisition* (Fig.43).

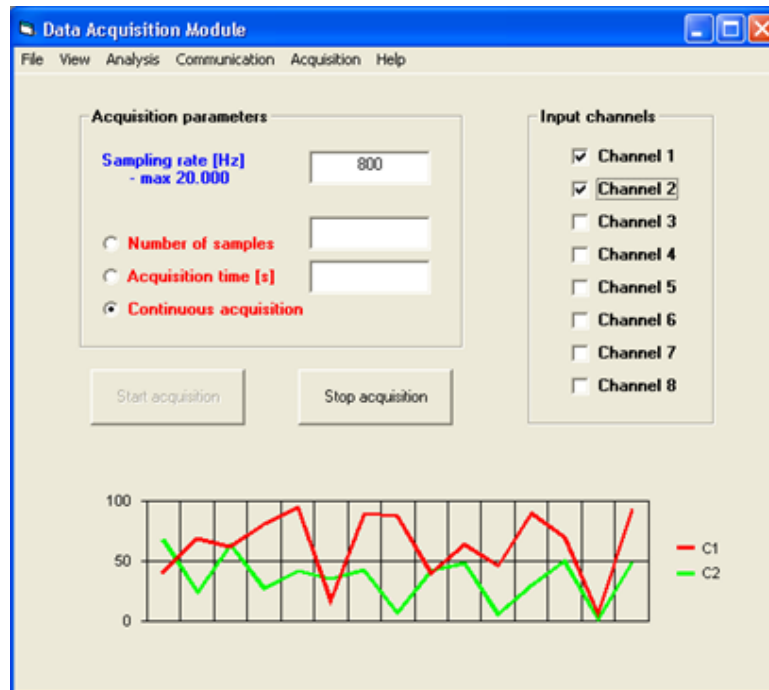


Fig. 43 Fereastra pentru gestionarea procesului de achiziție de date [Luculescu, 08c]

Programul permite setarea ratei de eșantionare, respectiv a canalelor de pe care se face achiziția și a modului în care se dorește să se desfășoare procesul de achiziție: preluarea unui anumit număr specificat de eșantioane; achiziția pentru un anumit interval de timp exprimat în secunde; achiziție continuă, la care pornirea/ oprirea se face din butoanele de pe ecran.

Variația în timp real a semnalelor poate fi urmărită în fereastra de achiziție.

2. Contract CEEEX nr.71-129/2007-2010, *Sisteme mecatronice de acționare realizate cu noi tipuri de actuatori pentru aplicații în robotică și în alte domenii – SMANAR*, partener, coordonator Universitatea Tehnică Cluj Napoca, valoare contract 1.950.000 lei, valoare UTBv 112.586 lei, membru echipă cercetare, director Sorin ZAMFIRA.

Proiectul a avut drept scop cercetarea, conceperea, proiectarea, realizarea și experimentarea unor sisteme mecatronice de acționare, bazate pe noi tipuri de actuatori, pentru aplicații în robotică și în alte domenii.

Activitățile de cercetare împărțite pe cele patru etape ale proiectului au vizat:

- Elaborarea unor studii tehnice asupra sistemelor mecatronice de acționare pe baza de noi tipuri de actuatori;
- Cercetări teoretice și aplicative pentru dezvoltarea de sisteme mecatronice de acționare bazate pe mușchi artificiali;

- Cercetări privind dezvoltarea de sisteme mecatronice de acționare bazate pe actuatori Lorentz;
- Concepția, proiectarea și executarea unui stand experimental pentru testarea sistemelor de acționare bazate pe mușchi artificiali;
- Concepția, proiectarea și executarea unui stand pentru testarea actuatorilor Lorentz;
- Testarea și optimizarea prototipurilor

Implicarea autorului a fost destul de restrânsă vizând aspecte legate de studiile tehnice.

3.3 Alte activități de cercetare privind aplicații ale sistemelor mecatronice avansate în industrie

În această categorie de activități se regăsesc preocupările autorului pentru dezvoltarea unor soluții de monitorizare bazată pe transmisia de informații la distanță.

În acest sens două dintre preocupări au fost mai consistente, una care se referă la **proiectarea și realizarea unui sistem mecatronic pentru monitorizarea și managementul unor vehicule individuale sau flotelor de vehicule**, iar cealaltă se referă la **monitorizarea la distanță a parametrilor de mediu din incinte folosind rețele de senzori wireless, și controlul parametrilor de mediu din interior utilizând echipamente asemănătoare**

3.3.1 Sistem mecatronic pentru monitorizarea și managementul unor vehicule individuale sau flotelor de vehicule

Rezultatele primei direcții au fost publicate într-o lucrare prezentată la Congresul Internațional de Autovehicule, CONAT în anul 2010 [Luculescu, 10]. Cercetările și dezvoltările s-au realizat împreună cu compania Clamar Software din Brașov, cu o bogată experiență în zona programării orientate pe obiecte.

A. Importanța monitorizării vehiculelor

Transmisia, recepția și stocarea de date prin intermediul unor dispozitive de telecomunicație, în combinație cu aplicarea unui control asupra unor obiecte aflate la distanță definesc conceptul de **telematică**, a cărei semnificație are în vedere cele două domenii: **telecomunicații și informatică**. Dacă obiectul vizat este un autovehicul, discutăm despre telematica autovehiculelor.

Urmărirea unui vehicul și colectarea de informații privind poziția sa geografică, starea în care se află (repaus, mișcare), comportamentul acestuia, prezintă o multitudine de avantaje. Este suficient să ne gândim doar la urmărirea unui vehicul furat căruia îi putem determina poziția.

Monitorizarea deplasării vehiculelor poate furniza informații extrem de prețioase din trafic (blocări, încetiniri ale fluxului de vehicule, incidente etc.), facilitate exploatată la momentul actual de aplicații precum Waze care știu să redirecționeze un șofer, în timp real, pentru a ocoli acele blocaje. Diagnosticarea vehiculelor la distanță, controlul vehiculelor în sensul blocării motorului pentru a fi reținute într-un anumit loc sau monitorizarea consumului de combustibil în timp real sunt alte avantaje evidente ale telematicii aplicate în acest domeniu. Companiile de închirieri de mașini pot urmări în timp real dacă șoferii încalcă regulile impuse (limitarea zonelor în care au voie să se deplaseze sau a distanței maxime pe care o pot parcurge). Transportul public beneficiază de aceste avantaje prin gestionarea orarului de sosire al mijloacelor de transport în comun pe panouri de afișare existente în stații, afișează sau transmite mesaje pentru pasageri referitoare la următoarea stație etc.

B. Sisteme de urmărire a vehiculelor

Un sistem de urmărire a vehiculului (VTS - Vehicle Tracking System) are în componență un subsistem hardware și unul software, formând practic un sistem mecatronic. Dacă sistemul colectează datele achiziționate în memorie, el va acționa ca un data-logger și într-o astfel de situație poartă denumirea de **VTS pasiv**. În cazul în care sistemul transmite informațiile în timp real, el va purta denumirea de **VTS activ**. Transmisia de date se poate face prin intermediul unor module GSM GPRS sau al unor sisteme care transmit mesaje SMS. Avantajele unui VTS pasiv pot fi combinate cu cele ale unui VTS activ în momentul în care vehiculul se deplasează într-o zonă în care nu este disponibilă nicio rețea de comunicații. Datele sunt stocate local și ulterior, când vehiculul ajunge în zona de acoperire a unei rețele va transmite și datele stocate.

În funcție de complexitate, VTS poate transmite în afara coordonatelor geografice date preluate de la anumiți senzori din autovehicul (spre exemplu, temperatura din incintele frigorifice ale vehiculului sau chiar informații preluate de la calculatorul de bord prin interfața CAN).

Fig. 44 prezintă structura unui sistem de monitorizare și management pentru autovehicule.

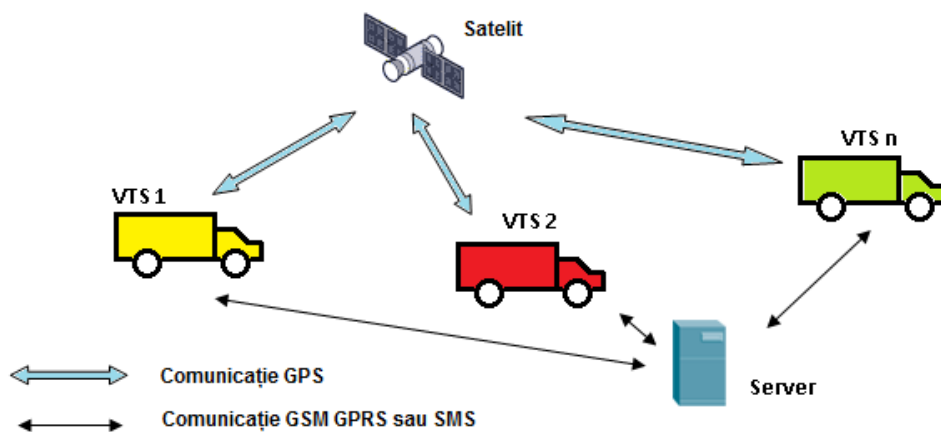


Fig. 44 Structura unui sistem de monitorizare pentru autovehicule [Luculescu, 10]

C. Subsistemul hardware

Subsistemul hardware al unui VTS trebuie să ofere două funcții: achiziția de date și transferul acestora. În Fig. 45 este prezentată structura acestuia.

Datele sunt preluate de la modulul GPS (ora și data, longitudine, latitudine, viteză, precizie) și de la diferite module de intrare (senzori de temperatură, presiune, consum combustibil etc.).

Sistemul oferă acces și la o serie de semnale de ieșire.

Cele mai des întâlnite semnale de intrare și ieșire sunt:

Intrări digitale (DIN):

- Stare motor (ON/OFF);
- Stare sistem securitate;
- Stare lămpi de avertizare pentru defecțiuni
- Diverși senzori digitali.

Ieșiri digitale (DOUT):

- Comandă imobilizare motor, disponibilă numai în starea în care vehiculul este oprit (din motive de securitate a traficului). Această comandă se transmite modulului VTS prin SMS de pe telefonul mobil sau de pe un server GPRS TCP/IP;
- Diferite comenzi de tip ON/OFF, spre exemplu un semnal pentru avertizarea conducătorului auto (vizual sau audio) că trebuie să ia legătura cu baza pentru efectuarea anumitor acțiuni;

Intrări analogice (AIN):

- Senzori de temperatură plasați pe vehicul (temperatură exterioară, temperatură în cabină, temperatura în incinta frigorifică etc);
- Presiune în roți, dacă vehiculul este echipat cu senzori speciali;
- Greutatea pe fiecare axă.

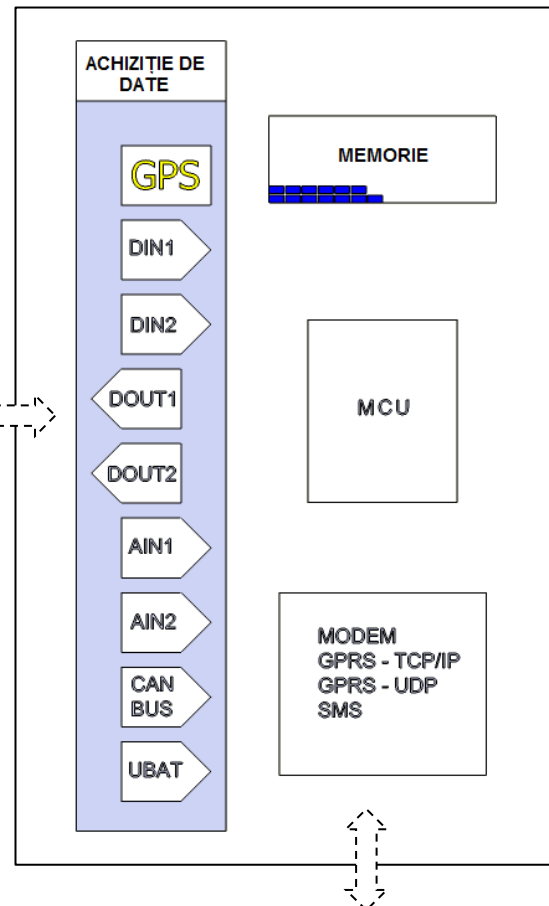


Fig. 45 Structura subsistemului hardware al VTS [Luculescu, 10]

În funcție de complexitatea VTS și de tipul computer-ului de bord pot fi obținute informații suplimentare: viteză vehicul, viteză motor, presiune de ulei, presiunea de la turbină, poziția pedalei de accelerație, consumul instantaneu de combustibil, cantitatea de combustibil din rezervor, stare ABS, ESP etc.).

Stocarea locală de date se face în memoria VTS. Transferul de informații către baza de date a unui server se va face prin GPRS sau SMS în următoarele condiții care pot fi setate:

- Instant, la declanșarea unui eveniment;
- Când se atinge un anumit număr de evenimente;
- La o anumită perioadă de timp;
- La atingerea unei viteze a vehiculului;
- La o anumită oră din zi etc.

VTS poate încorpora toate aceste funcții într-un singur dispozitiv (spre exemplu FM Teltonika seria 4xxx) sau poate fi organizat modular (spre exemplu Squarell). Există module ultracompacte pentru monitorizarea scuterelor, ATV-urilor, bicicletelor etc. care încorporează propriile surse de alimentare.

Alimentarea VTS se poate face de la sursa vehiculului sau de la sursa proprie de tensiune. Dacă este întreruptă alimentarea de la sursa vehiculului (în cazul unui accident sau al unui furt în care sunt tăiate cablurile de alimentare), modulul comută automat pe sursa proprie și informează dispeceratul asupra acestei probleme. Coroborat cu ceilalți parametri recepționați se poate identifica situația și se poate lua de urgență măsura adecvată.

D. Subsistemul software

Aplicația proiectată are în componență următoarele module [Luculescu, 10]:

1. Modulul de server (GPRS – TCP/IP, GPRS – UDP, SMS);
2. Server-ul de baze de date;
3. Modulul de setări;
4. Modulul de management pentru telefoane mobile;
5. Modulul de monitorizare a autovehiculelor;
6. Modulul de rapoarte.

1. Modulul de server (GPRS – TCP/IP, GPRS – UDP, SMS)

a. Pentru versiunile GPRS – TCP/IP, GPRS – UDP

- Recepționează informațiile de la VTS prin intermediul server-ului furnizorului de servicii internet pentru echipamente GPRS;
- Verifică dacă informația recepționată a venit de la un VTS autorizat;

- Preia informațiile din mesajul sosit și le transferă către modulul care actualizează baza de date;
- Efectuează periodic salvări de date (back-up-uri).

b. Pentru versiunea SMS

- Recepționează informațiile de la VTS prin intermediul mesajelor SMS;
- Restul etapelor sunt identice ca mai sus.

2. Modulul de baze de date

Bazele de date sunt atașate server-ului de baze de date. În funcție de volumul datelor și frecvența accesului, tipul de bază de date poate fi: Access, SQL-Express, MySQL, SQL, ORACLE etc.

Întreținerea bazei de date se face de către administrator folosind aplicația pusă la dispoziție de producător sau cu aplicații dedicate acestui scop.

3. Modulul de setări

Aplicația oferă posibilitatea parametrizării, managementului sau actualizării pentru următoarele tipuri de informații:

- Managementul utilizatorilor și a drepturilor acestora în program;
- Managementul flotei, flotilei, centrelor de cost, ariilor virtuale și a punctelor de interes;
- Managementul datelor referitoare la vehicule;
- Managementul conducătorilor auto și a personalului implicat (service etc.)
- Inventare, managementul anvelopelor și alerte;
- Înregistrări și alerte privind: revizii, asigurări, inspecții tehnice, licențe de transport etc.

4. Modulul de management pentru telefoane mobile

Acest modul se poate instala pe telefoanele mobile care suportă sistemul de operare Windows Mobile și Mobile Framework.

Aplicația pentru telefoane mobile permite parametrizarea, interogarea completă și controlul echipamentului VTS utilizând SMS.

5. Modulul de monitorizare a autovehiculelor

Acest modul permite urmărirea vehiculelor prin intermediul unei interfețe grafice utilizator special construite.

În Fig. 46 se poate observa modul de afișare a informațiilor, cu posibilitatea selecției individuale a vehiculelor sau a întregii flote. Pot fi de asemenea afișate informații cu privire

la oră și dată, viteză, stare motor etc. datele pot fi afișate pe ecran la cererea explicită a utilizatorului sau pot fi actualizate la un interval de timp prestabilit.

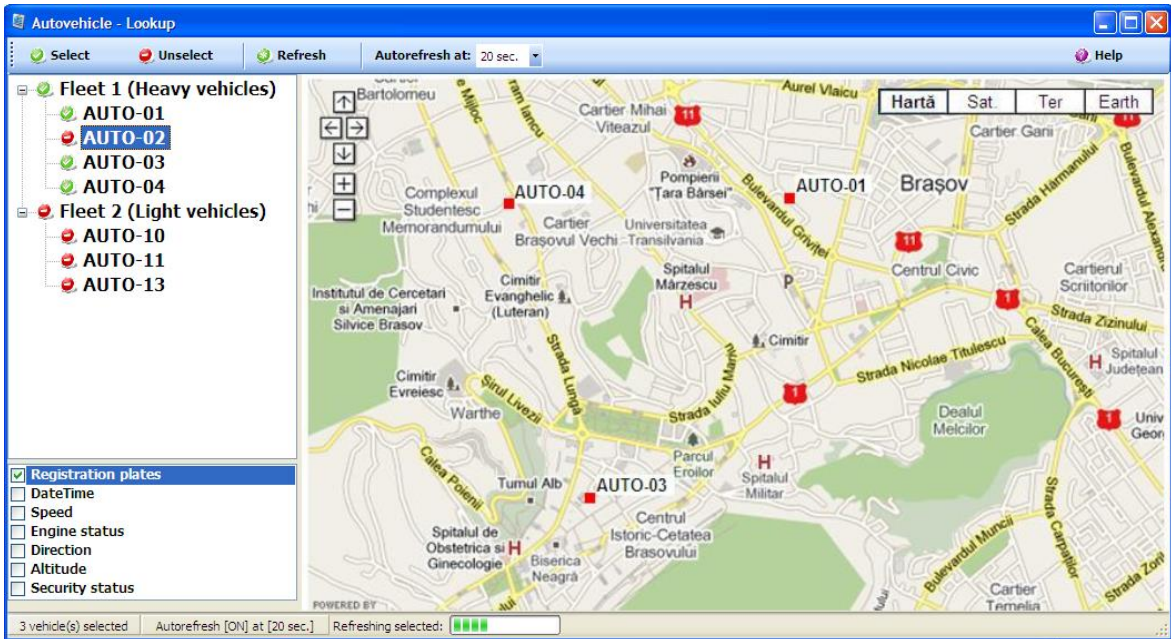


Fig. 46 Afișarea ultimei poziții a vehiculelor [Luculescu, 10]

Utilizatorul are posibilitatea să opteze pentru modul de afișare a hărții care poate conține forme simple, numai drumurile și punctele importante, forme de teren, clădiri etc.)

În Fig. 47 se poate observa modul în care se reconstituie un traseu pe care l-a parcurs un vehicul, într-un anumit interval de timp cu marcarea pe hartă a depășirilor de viteză sau a pauzelor mai mari de o anumită perioadă.

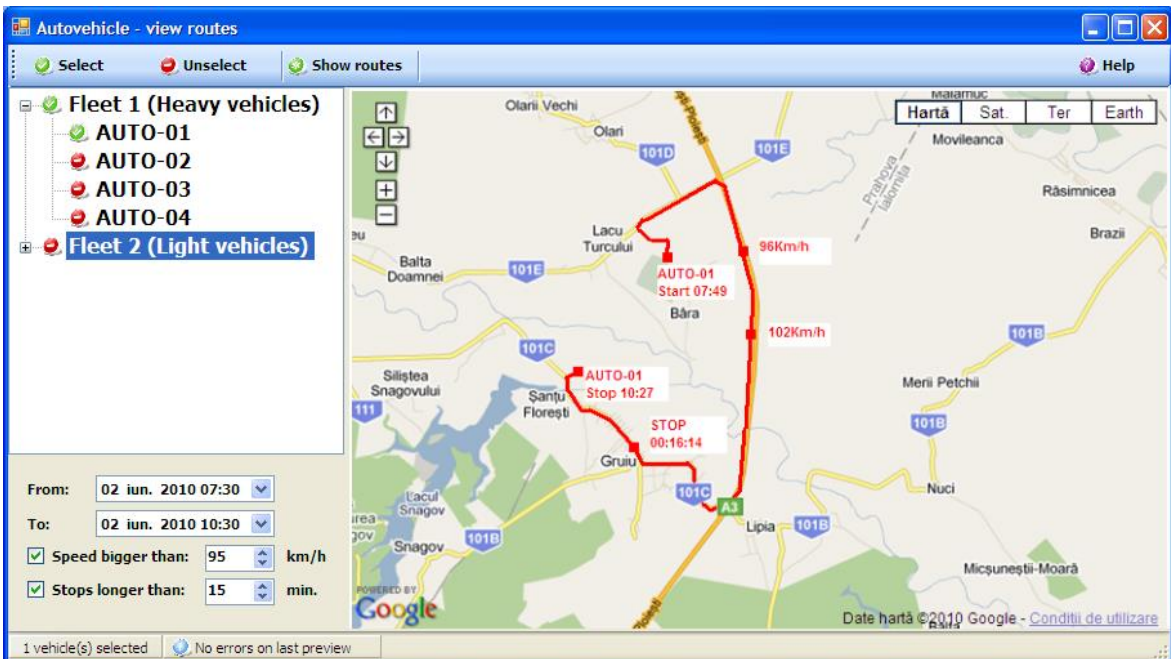


Fig. 47 Reconstituirea traseelor vehiculelor [Luculescu, 10]

6. Modulul de rapoarte

Acest modul permite generarea de rapoarte: zilnice; pentru depășiri de viteză; încărcări neautorizate; combustibil; consum combustibil; statistici consum și comparații; activitate pe anumite perioade de timp; întârzieri pe rutele planificate; costuri de întreținere; centre de cost; organizare flote, flotile etc.

Întregul sistem mecatronic pentru monitorizarea și managementul vehiculelor individuale sau flotelor de vehicule reprezintă o unealtă extrem de utilă în vederea optimizării activității de transport.

Lucrarea a fost foarte bine apreciată în cadrul conferinței, fiind solicitate date suplimentare și apărând chiar oferte de potențiale colaborări.

3.3.2 Utilizarea rețelelor de senzori fără fir (wireless) pentru monitorizarea la distanță a parametrilor de mediu din incinte, respectiv a sistemelor wireless pentru controlul parametrilor de mediu din interior

Utilizarea de rețele de senzori fără fir a căpătat o importanță tot mai ridicată în ultimii ani. Posibilitatea de a plasa senzori în locurile de interes și a culege informațiile de la distanță oferă o multitudine de avantaje.

Cercetările unei echipe a Centrului *Sisteme Mecatronice Avansate* s-au orientat către identificarea unei soluții de monitorizare a parametrilor de mediu dintr-o incintă folosind o astfel de rețea și transmițând la distanță informațiile achiziționate. Soluția a fost apoi dezvoltată adăugând posibilitatea de a controla de la distanță condițiile de mediu dintr-o incintă.

Rezultatele cercetărilor desfășurate în acest domeniu au fost publicate în trei lucrări [Luculescu, 14a], [Luculescu, 14b], [Zamfira, 11].

O rețea de senzori este descrisă ca fiind o colecție de noduri ce conțin senzori care pot comunica între ele sau cu o bază folosind diferite protocoale de comunicație. La proiectarea unei astfel de rețele trebuie să se țină cont de o serie de factori precum: topologia; robustețea la erori; limitări hardware; costuri; mediul în care rețeaua operează; consumul de energie etc.

Dacă interconectarea acestor noduri se face fără fir, discutăm despre o rețea de senzori wireless. Nodurile reprezintă module care includ senzorii și un sistem cu microcontroller și care sunt capabile să preia informațiile, să le proceseze și să le transmită către alte noduri sau către o stație de bază.

Sistemul proiectat a primit denumirea de WiSeIn (**W**ireless **S**ensor Network Used for Data Acquisition from **I**ndoor Locations), iar pentru nodurile rețelei s-au utilizat module Waspnote [***, 17d] Fig. 48, care pot comunica tot cu un modul Waspnote configurat ca și gateway sau cu

un router multiprotocol Meshlium (wireless la 2.4GHz sau 5 GHz, ZigBee, GPRS, Bluetooth și Ethernet) [***, 17e].

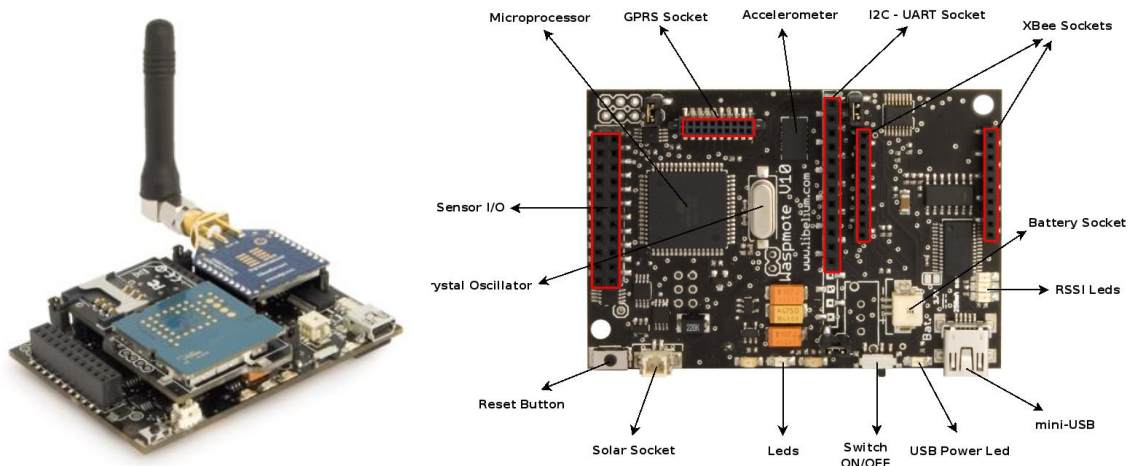


Fig. 48 Modul Wasmote [***, 17d] [Luculescu, 14a]

Modulele Wasmote, realizate de Libelium, sunt sisteme cu microcontroller ATmega 1281 microcontroller care oferă 7 intrări analogice, 8 intrări/ieșiri digitale, o ieșire de tip PWM, 4 interfețe de comunicație (2xUART, 1xI2C și 1xUSB), un ceas de timp real RTC, doi senzori încorporați (temperatură și accelerometru).

La aceste plăci pot fi conectate diverse shield-uri (module) pentru senzori sau comunicație (Bluetooth, XBee, ZigBee) acoperind distanțe de transmisie a datelor de până la 12 km sau chiar module GSM/GPRS la care distanța nu mai contează, ci doar acoperirea unei rețele de comunicații mobile. Există o mare varietate de senzori care pot fi conectați la plăcile Wasmote [Luculescu, 14a].

Rețeaua a fost implementată în 4 zone diferite plasate în clădiri situate la distanțe de sub 100 m, concret o incintă centrală și 3 incinte de tip depozit în scopul monitorizării temperaturii și umidității în timp real (Fig. 49).

Sistemul WiSeIn este integrat cu WiSeManS, **Wireless Sensor Network Data Management System** for Indoor Climatic Control în vedere asigurării controlului climatic în incinte.

Fiecare nod al rețelei preia informațiile de temperatură de la trei senzori DS18B20 (produși de compania Maxim), folosind protocolul OneWire și de la un senzor de umiditate SHT15 (produs de Sensirion) care oferă și informații de temperatură. Senzorii sunt distribuiți în incintă pe verticală pentru a măsura temperatura la diferite înălțimi. Modul de distribuție a nodurilor în incintă este prezentat în Fig.49.

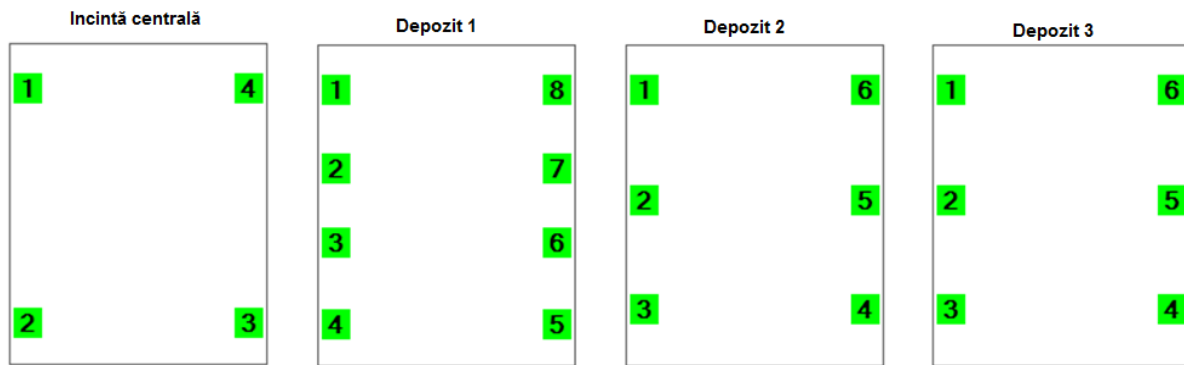


Fig. 49 Modul de distribuție al nodurilor de senzori în incintele monitorizate [Luculescu, 14a]

Datele sunt transmise la intervale de timp setabile din aplicație, către baza care le colectează.

Structura sistemului de control este prezentată în Fig. 50 și ea conține nodurile WmA – pentru achiziție de date, WmC – pentru control și WmAC pentru achiziție și control.

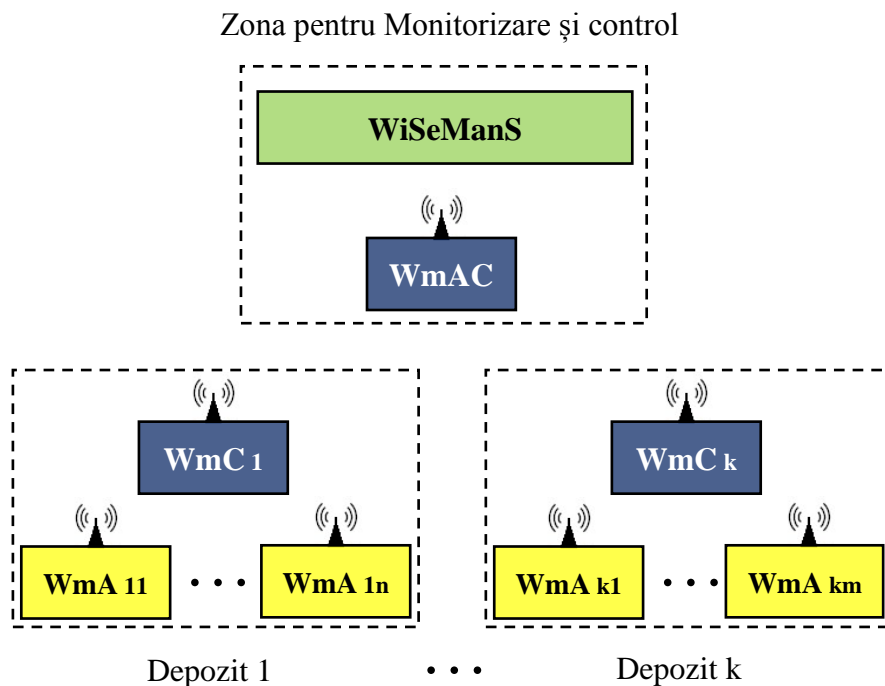


Fig. 50 Modul de distribuție a nodurilor de senzori în incintele monitorizate [Luculescu, 14b]

Valorile setate pentru temperatură și umiditate în incintele monitorizate pe timp de iarnă au fost: incinta centrală, $T_{max} = 22^{\circ}\text{C}$, $H_{min}=40\%$, $H_{max}=55\%$, pentru depozitele 1, 2 și 3, $T_{min} = 3^{\circ}\text{C}$, $T_{max} = 4^{\circ}\text{C}$, $H_{min}=70\%$, $H_{max}=72\%$.

Modulele folosite pentru achiziție pot fi observate în Fig. 51.

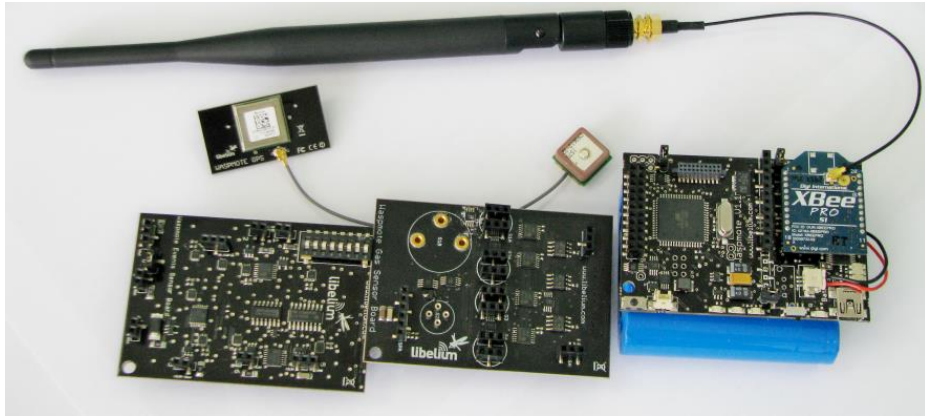


Fig. 51 Nod Wasmote folosit pentru achiziție: modul Wasmote cu baterie și comunicație XBee (dreapta), Placa pentru senzori de gaz (centru), Placa pentru senzori de evenimente, modul GPS (sus) [Luculescu, 14b]

Subsistemul software WiSeManS are ca principal scop controlul temperaturii și umidității din incinte. Orice depășire a parametrilor preșetați va declanșa o alarmă și va determina activarea echipamentelor care trebuie să readucă parametrii în intervalul prescris (încălzire, răcire, ventilare).

În Fig. 52a se prezintă fereastra corespunzătoare dispunerii senzorilor în incinte. Cu culoare verde apar senzorii la care parametrii sunt în intervalele prestabilite, iar cu roșu apar nodurile unde există depășiri. Cu un dublu-click pe numele incintei se va deschide fereastra de detalii unde pot fi observate exact valorile citite de la senzori (Fig. 52b).

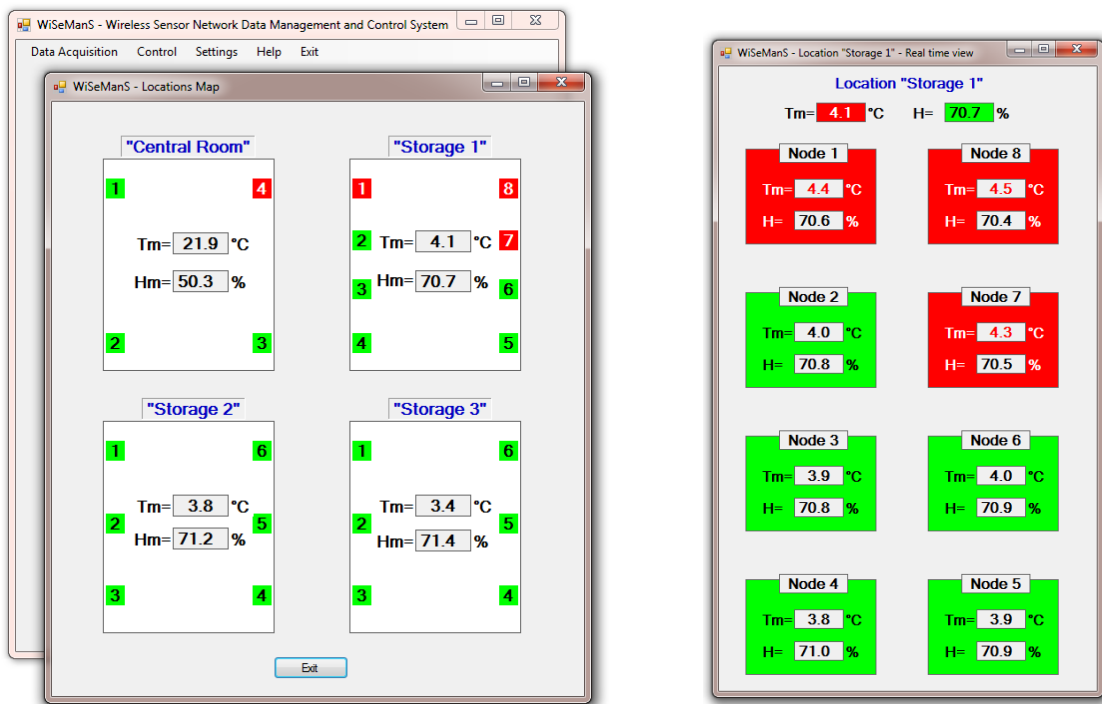


Fig. 51 Aplicația WiSeManS a) Harta cu incintele, b) Detaliere stare incinta 1 [Luculescu, 14b]

Evoluția parametrilor poate fi urmărită în timp real în ferestre cu reprezentarea graficelor de variație a temperaturii și umidității [Luculescu, 14b].

Sistemul este unul versatil, la el putând fi conectați o multitudine de senzori.

3.4 Concluzii privind activitățile desfășurate în cadrul direcției de cercetare APLICAȚII ALE SISTEMELOR MECATRONICE AVANSATE ÎN INDUSTRIE

Așa cum s-a putut observa din descrierile aferente celei de-a doua direcții de cercetare, realizările științifice și profesionale s-au concretizat în următoarele:

- Conducerea în calitate de director a două contracte de cercetare, dezvoltare, inovare cu mediul economic;
- Participarea ca membru într-o serie de granturi câștigate în competiții naționale;
- Cărți și lucrări publicate, participări la conferințe internaționale urmare a activității desfășurate în cadrul granturilor;
- Concepția, proiectarea, realizarea și testarea de sisteme mecatronice cu aplicații în monitorizarea și managementul unor vehicule individuale sau flotelor de vehicule, monitorizarea la distanță a parametrilor de mediu din incinte folosind rețele de senzori wireless, respectiv controlul parametrilor de mediu din interior utilizând echipamente asemănătoare.

Informațiile prezentate s-au referit la cele mai importante realizări din această direcție de cercetare de la obținerea titlului de doctor și până în prezent, însă acestea nu sunt singurele. În lista de lucrări sunt prezentate toate realizările care reflectă preocuparea continuă a autorului pentru direcția de cercetare Sisteme mecatronice avansate cu aplicații în industrie.

4. APLICAȚII ALE SISTEMELOR MECATRONICE AVANSATE ÎN MEDICINĂ

Cea de-a treia direcție de cercetare a autorului acestei teze de abilitare are în vedere aplicații ale sistemelor mecatronice avansate în medicină. Cercetările și realizările au fost orientate către următoarele tematici: **utilizarea tehnicilor de inteligență artificială în diagnosticarea imagistică asistată**, o continuare a cercetărilor din cadrul tezei de doctorat și o fructificare a rezultatelor acesteia; **proiectarea și dezvoltarea de sisteme mecatronice avansate pentru asistarea pacienților; aplicații ale informaticii medicale în cercetări ale colegilor de la Facultatea de Medicină**. Activitățile sunt în concordanță și cu două dintre disciplinele coordonate și anume “*Informatică medicală*” și “*Inteligență artificială*” din cadrul ciclului de licență, respectiv cu disciplina “*Managementul computerizat al pacienților și al sistemelor de inginerie medicală și optometrie*” de la ciclul de masterat la care autorul este co-titular.

4.1 Utilizarea tehnicilor de inteligență artificială în diagnosticarea imagistică asistată

Având o tematică situată la granița unor domenii importante – inginerie – medicină – informatică, ce implică atât cunoștințe referitoare la structura și funcționalitatea biosistemelor, cât și cunoștințe și deprinderi din cadrul sistemelor tehnice și informatice, teza de doctorat intitulată “*Cercetări asupra structurilor biologice vizuale umane privind diagnosticarea afecțiunilor maculare*” și-a propus să identifice și să recunoască o serie de afecțiuni de vedere care se manifestă în zona maculară a retinei, pornind de la imagini ale acesteia care au fost supuse prelucrării și analizei printr-un software special proiectat și realizat și bazându-se pe tehnici de inteligență artificială, concret pe rețele neurale.

Rezultatul direct al acestei teze l-a reprezentat un software de diagnosticare asistată realizat în Matlab și o aplicație pentru managementul pacienților dezvoltată în Microsoft Access.

Interesul pentru tema tratată în cadrul tezei de doctorat s-a confirmat printr-o serie de solicitări de colaborare, spre exemplu directorul Tri-Bridge Capital Group din Hong-Kong a solicitat spre evaluare sistemul de diagnosticare propus în cadrul tezei de doctorat, în vederea testării și comercializării software-ului respectiv pe piața din Asia, semnale pozitive fiind primite și din Canada (unul dintre cercetătorii de la University of Toronto, solicita acces chiar la codul

sursă al aplicației și la bazele de date cu imagini) și din Germania într-o colaborare cu Institute of Experimental and Clinical Pharmacology and Toxicology al Friedrich-Alexander-University Erlangen-Nuremberg Germania.

Inteligența artificială în general și rețelele neurale în mod special au reprezentat mereu o provocare pentru autorul acestei teze de abilitare. Îmbinarea cunoștințelor din domeniul tehnic cu cele din domeniul electronic și cu cele din IT, concretizate de data aceasta în implementarea tehnicilor de inteligență artificială, conduc la obținerea unor sisteme mecatronice avansate ce pot rezolva probleme de graniță ale căror soluționare nu ar fi posibilă prin metode și algoritmi clasici.

De cele mai multe ori rezultatele sunt spectaculoase și încununează efortul depus în astfel de cercetări.

Așa cum spuneam, aplicația realizată în cadrul tezei de doctorat a fost dezvoltată în continuare și după finalizarea tezei, datorită semnalelor primite și interesului manifestat pentru aceasta de către alți cercetători. Modulele de prelucrare și analiză de imagine au fost completate cu funcționalități noi, pentru partea de recunoaștere/ clasificare de imagini anumite funcții au fost rescrise și întreaga interfață a fost tradusă în limba engleză.

În Fig. 52 este prezentată o imagine cu interfața grafică utilizator folosită pentru diagnosticarea unei afecțiuni, în formatul existent la momentul finalizării tezei de doctorat.

Etapele care se parcurg de către utilizator evidențiate în zonele numerotate sunt următoarele [Luculescu, 07]:

1. Deschiderea imaginii care se dorește a fi investigată în modulul de prelucrare și analiză al pachetului software;
2. Stabilirea poziției imaginii, folosind comenzile pentru transformări geometrice, (rotire sau oglindire). Comenzile sunt utile mai ales dacă imaginea este obținută în urma unei scanări a filmului foto sau diapozitivului;
3. Analiza vizuală, cu ochiul liber, pentru identificarea elementelor particulare ale unei posibile afecțiuni. Pentru aceasta, imaginea poate fi mărită (zoom), deplasată în cadrul ferestrei (pan), afișată pe componente de culoare (R, G, B), analizată la nivel de detaliu (unelte imag), îmbunătățită din punct de vedere calitativ (histeq). Zona de interes a imaginii poate fi decupată și salvată;
4. Declanșare recunoaștere asistată, utilizând comenzile specifice de recunoaștere a imaginii decupate sau a unei noi zone dreptunghiulare care se dorește a fi recunoscută;
5. Selectare RNA (Rețea Neurală Artificială) pentru recunoaștere;
6. Recunoaștere imagine;

7. Răspuns sistem de diagnosticare imagistică asistată, constând în 4 diagnostice posibile, ordonate după probabilitate.

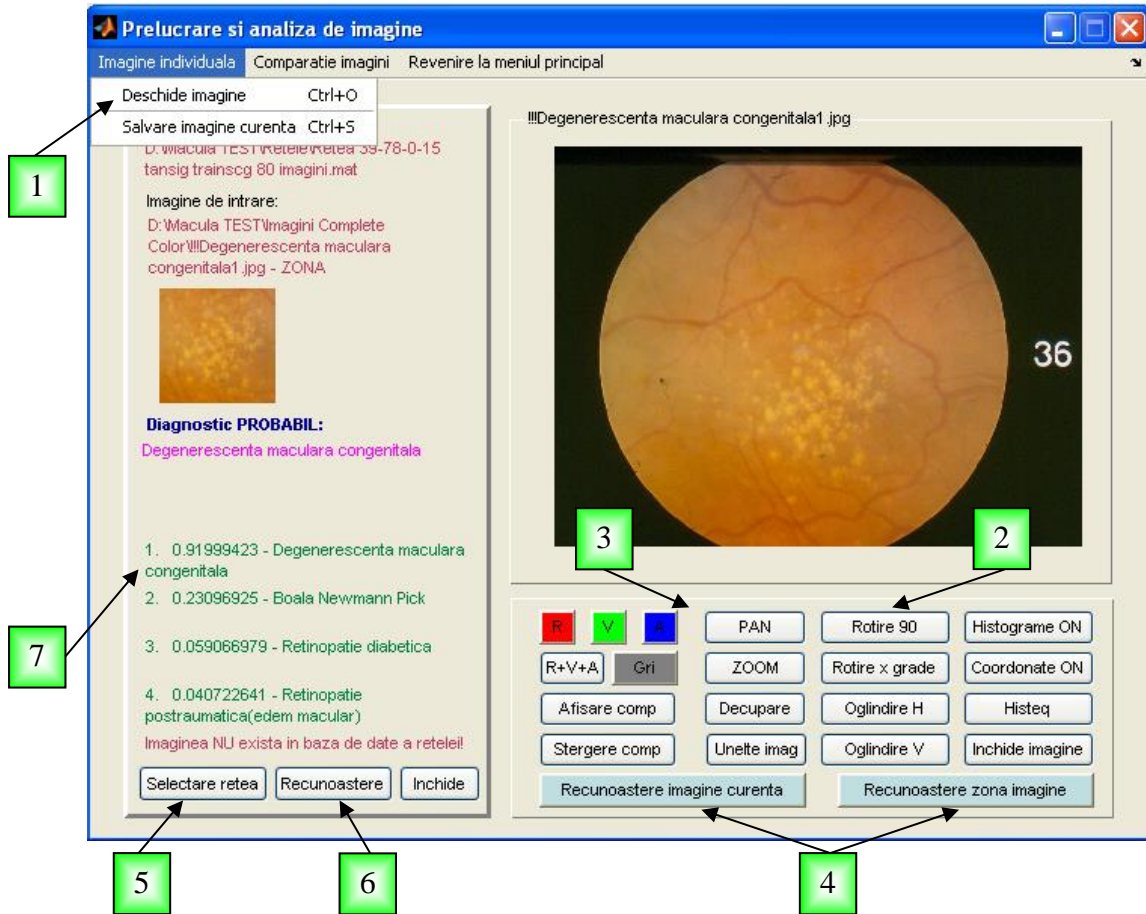


Fig. 52 Etapele diagnosticării unei afecțiuni utilizând aplicația MaculaTEST [Luculescu, 07]

Nucleul de bază al aplicației îl reprezintă în continuare utilizarea trăsăturilor de imagine concretizate în **momentele statistice** și **descriptorii de textură**.

Momentele statistice sunt parametrii caracteristici sub formă de valori medii, abateri standard, asimetrii, excese de distribuții utilizate pentru aprecierea globală a diverselor distribuții ale unor fenomene sau procese [Luculescu, 07].

La începutul anilor '60 Hu a dezvoltat teoria algebrică a momentelor statistice, introducând șapte parametri invariabili ai acestora la transformări precum translația, rotația și scalarea [Tzanakou-Micheli, 00]. Contribuția cea mai importantă o reprezintă aplicarea acestor invariabili în probleme de recunoaștere de forme bidimensionale (2D).

Pentru o imagine digitală a cărei distribuție de intensitate este definită de funcția $f(x,y)$, **momentele statistice de ordin $p+q$** ($p, q = 0, 1, 2, \dots$) sunt date de relația

$$m_{pq} = \sum_x \sum_y x^p y^q f(x, y), \quad (4)$$

în care, x, y sunt valorile coordonatelor pixelilor imaginii. În general, aceste momente nu sunt invariante cu orice transformare geometrică a imaginii, iar pentru a se obține invarianța la translație au fost definite *momentele centrale* corespunzătoare

$$\mu_{pq} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y), \quad (5)$$

utilizându-se următoarele notații:

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}} \quad \text{și} \quad \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (6)$$

Se poate demonstra că momentele centrale de ordin mai mic decât 4 definite cu relația (5) pot fi exprimate în funcție de momentele obișnuite (4):

$$\begin{aligned} \mu_{00} &= m_{00}, \\ \mu_{10} &= \mu_{01} = 0, \\ \mu_{11} &= m_{11} - \frac{m_{10}m_{01}}{m_{00}}, \\ \mu_{20} &= m_{20} - \frac{m_{10}^2}{m_{00}}, \\ \mu_{02} &= m_{02} - \frac{m_{01}^2}{m_{00}}, \\ \mu_{12} &= m_{12} - m_{02}\bar{x} - 2m_{11}\bar{y} + 2m_{10}\bar{y}^2, \\ \mu_{21} &= m_{21} - m_{20}\bar{y} - 2m_{11}\bar{x} + 2m_{01}\bar{x}^2, \\ \mu_{03} &= m_{03} - 3m_{02}\bar{y} + 2m_{01}\bar{y}^2, \\ \mu_{30} &= m_{30} - 3m_{20}\bar{x} + 2m_{10}\bar{x}^2. \end{aligned} \quad (7)$$

În numeroase cazuri este necesar ca momentele centrale să fie normalizate relativ la dimensiunea imaginii, prin împărțirea la aria acesteia (μ_{00}).

Pornindu-se de la relația *momentului central normalizat de ordin $p+q$*

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^\gamma}, \quad (8)$$

cu $p, q = 0, 1, 2, \dots$ și

$$\gamma = \frac{p+q}{2} + 1, \quad (9)$$

cu $p + q = 2, 3, \dots$ se generează un set de șapte parametri numiți **invarianți moment 2D** [Hu, 1962]:

$$\begin{aligned}
 \phi_1 &= \eta_{20} + \eta_{02}, \\
 \phi_2 &= (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2, \\
 \phi_3 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2, \\
 \phi_4 &= (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2, \\
 \phi_5 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + \\
 &\quad + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2], \\
 \phi_6 &= (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}), \\
 \phi_7 &= (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + \\
 &\quad + (3\eta_{12} - \eta_{30})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2],
 \end{aligned} \tag{10}$$

care nu sunt afectați de transformări geometrice precum rotația, translația, oglindirea sau scalarea imaginii. Pentru calculul acestor valori a fost dezvoltată o funcție specializată în Matlab, apelabilă din modulul de analiză a imaginilor, aceasta fiind utilizată ca dată de intrare în modulul de recunoaștere cu rețele neuronale [Luculescu, 07].

Descriptorii de textură țin cont de constituția unei imagini din punct de vedere al elementelor componente și al orientării în spațiu a acestora (de ex., granulație fină sau mare, netedă sau neregulată, omogenă sau neomogenă). Celor șapte invarianți moment 2D li se pot adăuga încă șase parametri ce descriu cu acuratețe regiuni ale imaginilor prin cuantificarea conținutului texturii având la bază proprietățile statistice ale histogramelor intensității [Luculescu, 07]. Cei șase descriptorii de textură și semnificațiile acestora sunt:

- *media* - măsură a intensității medii;
- *abaterea standard* - măsură a contrastului mediu;
- *finețea* - măsură a variației intensității într-o regiune;
- *momentul de ordin 3 sau asimetria* - măsură pentru asimetria histogramelor;
- *uniformitatea sau energia* - măsură a nivelului intensității;
- *entropia* - măsură a gradului de distribuție aleatoare a valorilor intensității.

Dacă z_i este o variabilă discretă, aleatoare, ce corespunde nivelelor de intensitate ale unei imagini și notând cu $p(z_i)$ histograma normalizată corespunzătoare ($i = 0, 1, 2, \dots, L-1$ cu L numărul de valori posibile ale intensității), descrierea formei unei histogramme prin momentele centrale [Gonzales, 04] se face cu relația

$$\mu_n = \sum_{i=0}^{L-1} (z_i - m)^n p(z_i), \quad (11)$$

în care, n este ordinul momentului, iar

$$m = \sum_{i=0}^{L-1} z_i p(z_i), \quad (12)$$

este *media* ca măsură a intensităților medii ale unei imagini. Datorită faptului că histograma este normalizată, suma tuturor componentelor este egală cu 1 și, în plus, se poate observa că momentele statistice de ordinul zero, $\mu_0 = 1$, și cel de ordinul unu, $\mu_1 = 0$.

Momentul statistic de ordin doi denumit *varianță* se poate calcula cu relația

$$\mu_2 = \sum_{i=0}^{L-1} (z_i - m)^2 p(z_i). \quad (13)$$

Abaterea standard (σ), ca măsură a contrastului mediu, se determină cu relația

$$\sigma = \sqrt{\mu_2(z)} = \sqrt{\sigma^2}. \quad (14)$$

Finețea (R) care măsoară variația relativă a intensității într-o zonă a unei imagini se determină cu relația

$$R = 1 - 1/(1 + \sigma^2). \quad (15)$$

Dacă în zona respectivă intensitatea este constantă, $R = 0$, iar pentru variații mari R tinde spre 1.

În practica analizei de imagini se utilizează valoarea normalizată prin împărțirea lui R la $(L-1)^2$.

Momentul de ordinul 3 sau *asimetria* se calculează cu relația

$$\mu_3 = \sum_{i=0}^{L-1} (z_i - m)^3 p(z_i) \quad (16)$$

și măsoară asimetria histogramei intensității imaginii. Dacă histograma este simetrică, $\mu_3 = 0$, dacă aceasta este deplasată în partea dreaptă a mediei, $\mu_3 > 0$, iar dacă este deplasată în partea stângă a mediei, $\mu_3 < 0$. Valorile acestei mărimi sunt normalizate și ele prin împărțirea la $(L-1)^2$.

Uniformitatea sau **energia** [Pratt, 01], ca măsură a nivelelor intensității unei imagini sau zone a acesteia, se determină cu relația

$$U = \sum_{i=0}^{L-1} p^2(z_i), \quad (17)$$

care ia valoare maximă dacă toate nivelele de gri sunt egale.

Entropia, ca o măsură a gradului de distribuție aleatoare a valorilor intensității, se calculează cu relația

$$e = \sum_{i=0}^{L-1} p(z_i) \log_2 p(z_i). \quad (18)$$

Pentru calculul valorilor descriptorilor de textură au fost dezvoltate comenzi speciale în Matlab cu butoane de accesare cuprinse în interfața grafică (fig. 4.16) [Marchand, 03], [Luculescu, 07].

Toate aceste relații de calcul au fost prezentate pentru că ele stau la baza implementării funcțiilor de diagnosticare asistată. O parte din aceste funcții au fost rescrise în Matlab pentru a spori viteza de procesare în versiunea optimizată a aplicației.

Noua versiune este utilizată în cadrul unei colaborări pe care o echipă a Centrului de cercetare Sisteme Mecatronice Avansate, coordonată de autorul acestei teze, o are cu cercetători de la Institute of Experimental and Clinical Pharmacology and Toxicology al Friedrich-Alexander-University Erlangen-Nuremberg Germania.

Activitățile au demarat în anul 2013 și au în vedere utilizarea noii aplicații de diagnosticare asistată, denumite *CA_TEST (Cerebral Activity TEST)*, pentru identificarea și clasificarea unor stimuli în categoria dureros/ nedureros, pornind de la imagini RMN ale creierului șoarecilor supuși experimentelor (Fig. 53).

Datele au fost prelevate și puse la dispoziție de colegii din Germania. Șoarecilor li s-au aplicat pe lăbuță un electrod încălzit la temperaturi de 40°C și 45°C pentru generarea stimulului termic nedureros, respectiv 50°C și 55°C pentru generarea stimulului termic dureros.

Pentru fiecare animal testat și fiecare stimul a fost generat un set de înregistrări conținând 23 de imagini secționale ale activității cerebrale rezultate în urma aplicării stimulului. Din aceste imagini s-a generat o combinație care va trebui clasificată de aplicația noastră ca răspuns la un stimul dureros sau nedureros, folosind rețelele neurale.

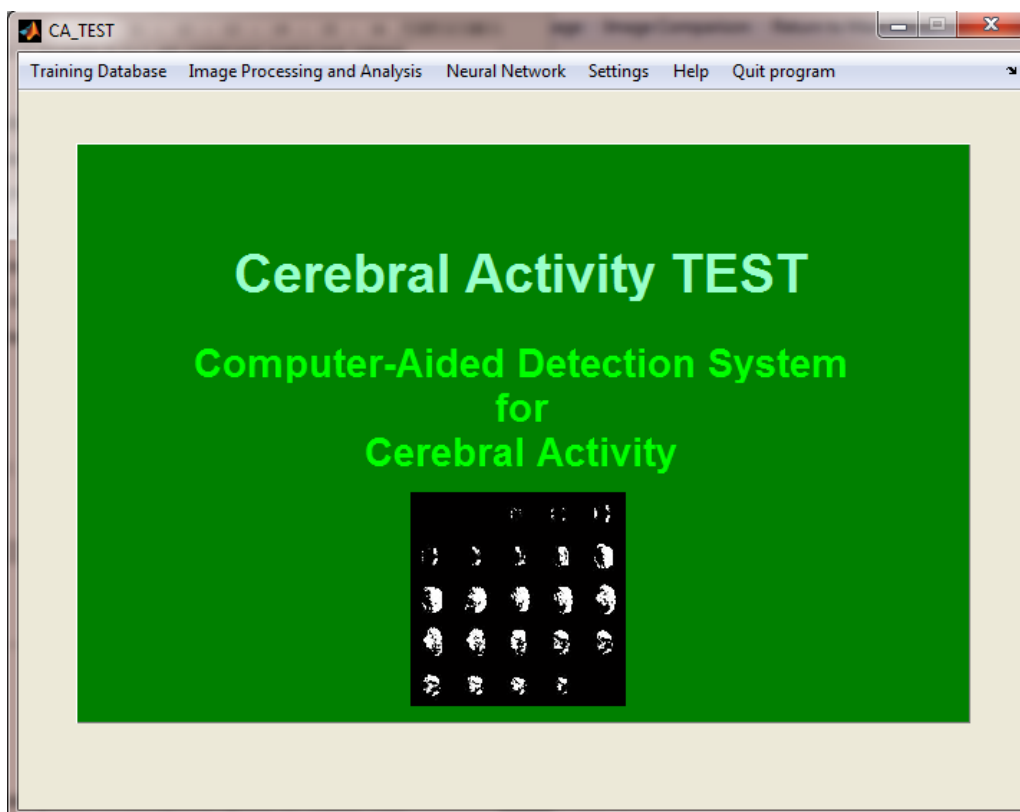


Fig. 53 Fereastra principală a aplicației CA_TEST

În Fig. 54 este prezentată fereastra utilizată pentru recunoașterea tipului de stimul.

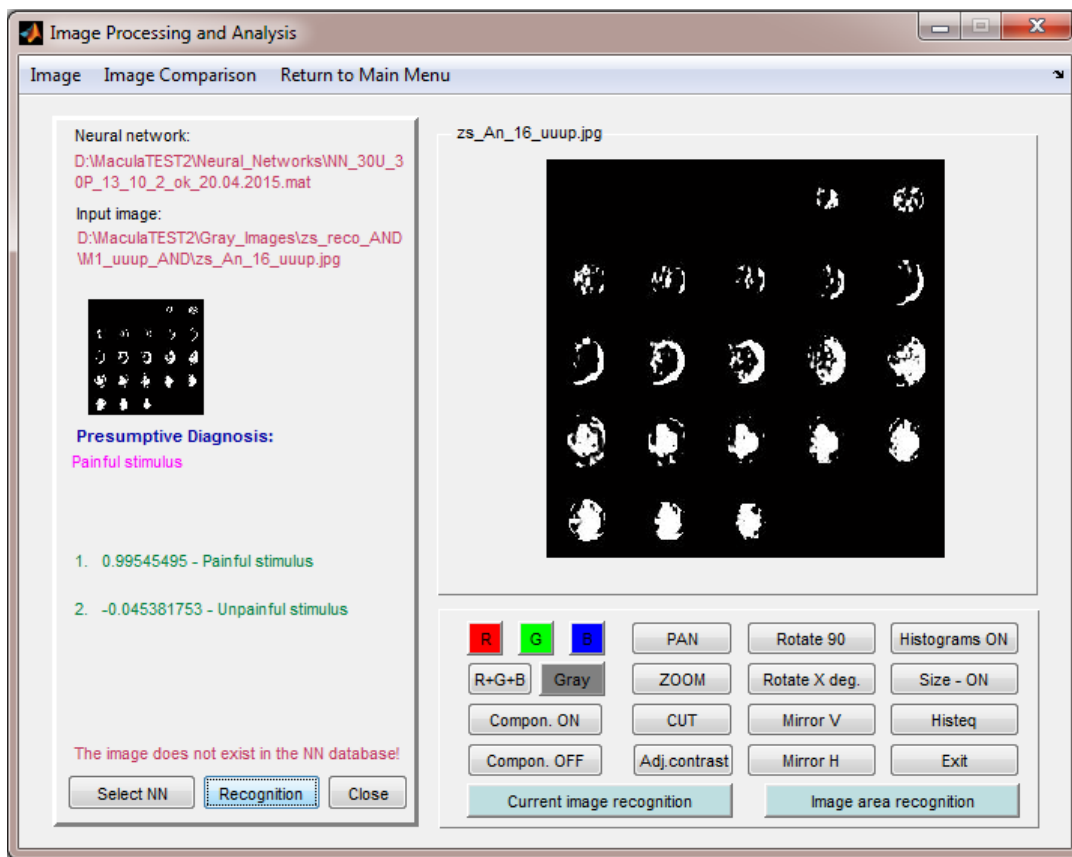


Fig. 54 Fereastra de diagnosticare a aplicației CA_TEST

Cercetările se vor finaliza în acest an și sunt în lucru o serie de articole vizate a fi publicate în jurnale cotate ISI împreună cu colegii din Germania, motiv pentru care mai multe detalii nu pot fi oferite la acest moment.

4.2 Proiectarea și dezvoltarea de sisteme mecatronice avansate pentru asistarea pacienților

Tematica ce vizează proiectarea și dezvoltarea de sisteme mecatronice avansate pentru asistarea pacienților a fost abordată prin valorificarea rezultatelor obținute cu ajutorul sistemului mecatronic de monitorizare și management al unor vehicule individuale sau flotelor de vehicule (descriș în capitolul 3.3.1), care a fost personalizat pentru monitorizarea pacienților cu probleme de sănătate în vederea intervenției în timp real în cazul în care viața acestora este pusă în pericol prin depășirea valorilor parametrilor urmăriți.

Practic în locul telematicii autovehiculelor vom avea de-a face cu așa numita *health telematics*, iar sistemul proiectat a primit denumirea de *LifeMOTE – Sistem de decizie parametrizat pentru telematica stării de sănătate* [Luculescu, 11a]. Structura sistemului de monitorizare este prezentată în Fig.55.

Locul VTS-ului a fost luat de un PHTS (Patient' Health Tracking System) cu structura din Fig. 56 ce oferă funcțiile de achiziție de date, stocare locală și transfer de informații [Luculescu, 11a].

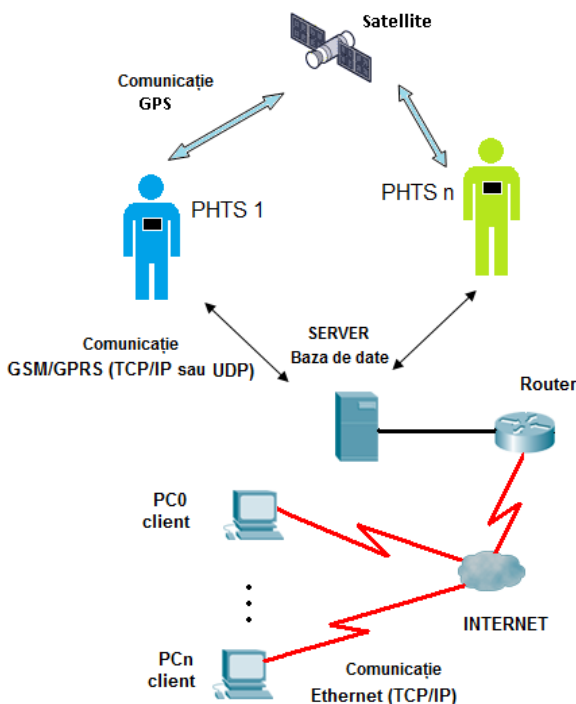


Fig. 55 Structura sistemului LifeMOTE [Luculescu, 11b]

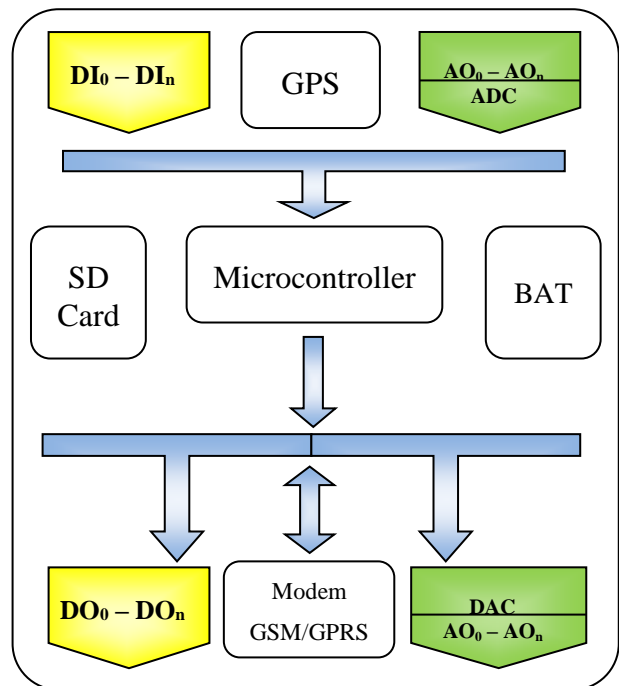


Fig. 56 Structura subsistemului hardware al PHTS [Luculescu, 11a]

Senzorii permit preluarea de date aferente parametrilor vitali ai stării de sănătate a pacienților (ECG, ritmul cardiac, ritm respirator, temperatura cutanată, nivelul activității, postura etc.) și pot fi conectați, în funcție de tipul lor, pe intrările digitale sau pe cele analogice ale sistemului.

Semnalele de ieșire pot fi utilizate pentru avertizarea pacientului spre exemplu atunci când acesta trebuie să contacteze medicul sau dispeceratul de monitorizare pentru a efectua o anumită acțiune sau pentru reamintire atunci când acesta trebuie să ia o anumită medicație.

Prototipul unui PHTS a fost realizat cu ajutorul unui sistem de tip Waspote (vezi Fig. 48) care dispune de toate elementele necesare monitorizării (intrări și ieșiri digitale/ analogice, interfețe de comunicație, modul GPS, shield-uri specializate pentru senzori de monitorizare a stării de sănătate a pacientului).

Subsistemul software are în componență următoarele module [Luculescu, 11b]:

1. Modulul de achiziții de date;
2. Modulul de transfer de date;
3. Modulul de server de date (GPRS – TCP/IP, GPRS – UDP, SMS);
4. Modulul pentru baza de date;
5. Modulul pentru setări și centrul de management;
6. Modulul de management pentru telefoane mobile.

1. Modulul de achiziții de date

Acesta conține rutine scrise în limbaj de asamblare, este implementat la nivelul PHTS-ului, și are în vedere aspecte referitoare la:

- configurarea procesului de achiziție de date (tipuri de senzori, canale de achiziție, rate de eșantionare, intervale de valori normale ale parametrilor monitorizați pentru a putea declanșa alarme la depășirea acestora etc.);
- achiziția de date de la senzori și de la modulul GPS;
- stocarea datelor pe cardul SD;
- setări ale modurilor de alimentare.

Date achiziționate se referă la parametrii pentru anumite funcții biologice ale pacientului, condiții de mediu (temperatură, umiditate, presiune atmosferică) sau orice alte semnale furnizate de senzori.

2. Modulul de transfer de date

Acest modul este implementat tot la nivelul PHTS-ului și conține rutine referitoare la preluarea informațiilor și organizarea lor în mesaje cu structuri bine definite [Luculescu, 11b], respectiv rutinele propriu-zise de transfer a datelor. Transferul se poate face: instant

la declanșarea unor evenimente; atunci când se acumulează un anumit număr de evenimente de prioritate redusă; la un anumit interval de timp; la un anumit moment de timp; la o solicitare a server-ului din centrul de management.

Evenimentele sunt definite ca depășiri ale intervalelor în care parametri fiziologici monitorizați au valori normale. Apariția unei alarme generează un semnal sonor pentru avertizarea pacientului și trimite un mesaj la Centrul de monitorizare a pacienților, permițând ca operatorul sau sistemul să ia decizii în ceea ce privește necesitatea unei intervenții rapide pentru salvarea pacientului.

3. Modulul de server de date (GPRS – TCP/IP, GPRS – UDP, SMS)

Are o structură asemănătoare cu cel descris la capitolul 3.3.1.

4. Modulul pentru baza de date

Funcționează similar cu cel de la capitolul 3.3.1.

5. Modulul pentru setări și centrul de management

Conține opțiuni pentru:

- Managementul utilizatorilor și a drepturilor acestora în program;
- Managementul modulelor PHTS;
- Managementul datelor despre pacienți (date personale, antecedente personale și heredo-colaterale, informații anatomice etc.);
- Managementul parametrilor fiziologici monitorizați pentru fiecare pacient în parte (nume, intervale etc.);
- Managementul regulilor de generare a alertelor (Fig.57);
- Înregistrări și alerte;
- Managementul echipelor de prim ajutor;
- Managementul locațiilor de prim-ajutor;
- Programare a evenimentelor privind informațiile ce trebuie transmise pacienților;
- Grafice de monitorizare a evoluției și analiză a parametrilor fiziologici monitorizați;
- Istoricul pentru toate dispozitivele PHTS și toți pacienții monitorizați.

6. Modulul de management pentru telefoane mobile

Acest modul se poate instala pe telefoanele mobile care suportă sistemul de operare Windows Mobile și Mobile Framework.

Aplicația pentru telefoane mobile permite parametrizarea, interogarea completă și controlul echipamentului PHTS utilizând SMS.

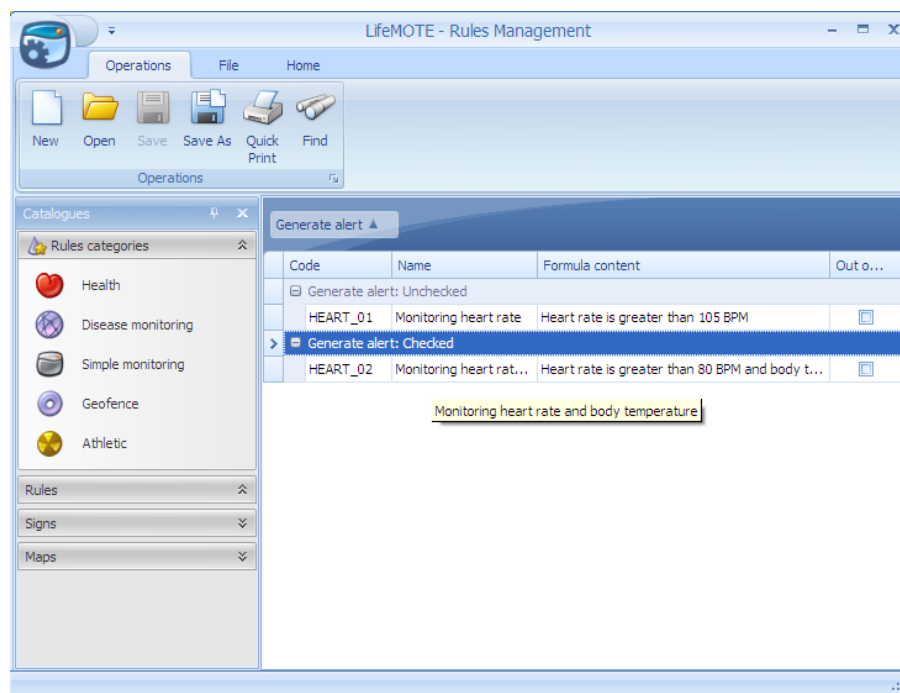


Fig. 57 Fereastra pentru Managementul regulilor de generare a alertelor [Luculescu, 11b]

Sistemul oferă un grad ridicat de flexibilitate, el putând fi ușor personalizat pentru aplicații din alte domenii (cercetare, academic, sport pentru monitorizarea atleților în vederea îmbunătățirii performanțelor acestora etc.).

4.3 Aplicații ale informaticii medicale în cercetări ale colegilor de la Facultatea de Medicină

Nu puține au fost cazurile în care s-au solicitat colaborări ale colegilor de la Facultatea de Medicină vizând aspecte legate de utilizarea tehnologiei informațiilor în cercetările pe care aceștia le desfășoară. Contribuțiile în această zonă au constat în proiectarea unor baze de date care să stocheze informații sau în prelucrări ale acestora [Cheșcă, 10a], [Dogariu, 10], [Cheșcă, 15].

Se intenționează dezvoltarea de colaborări în ceea ce privește partea de imagistică medicală în care tehnicile de inteligență artificială pot fi aplicate pentru diagnosticarea asistată.

4.4 Concluzii privind activitățile desfășurate în cadrul direcției de cercetare APLICAȚII ALE SISTEMELOR MECATRONICE AVANSATE ÎN MEDICINĂ

Din descrierile aferente celei de-a treia direcții de cercetare, realizările științifice și profesionale s-au concretizat în următoarele rezultate:

- Valorificarea potențialului cercetărilor din teza de doctorat prin adaptarea și optimizarea software-ului de diagnosticare imagistică asistată bazată pe tehnici de inteligență artificială pentru o nouă aplicație denumită CA_TEST (Cerebral Activity TEST), utilizată la identificarea și clasificarea unor stimuli în categoria dureros/nedureros, pornind de la imagini RMN ale creierului șoarecilor supuși experimentelor. Aceste activități se desfășoară într-o colaborare pe care o echipă a Centrului de cercetare Sisteme Mecatronice Avansate, coordonată de autorul acestei teze, o are cu cercetători de la Institute of Experimental and Clinical Pharmacology and Toxicology al Friedrich-Alexander-University Erlangen-Nuremberg Germania.
- Proiectarea și dezvoltarea de unui sistem mecatronic avansat pentru asistarea pacienților, valorificând experiența și rezultatele obținute cu ajutorul sistemului mecatronic de monitorizare și management al unor vehicule individuale sau flotelor de vehicule, care a fost personalizat pentru monitorizarea pacienților cu probleme de sănătate în vederea intervenției în timp real în cazul în care viața acestora este pusă în pericol prin depășirea valorilor unor parametri fiziologici urmăriți;
- Colaborări cu echipele de cercetare de la Facultatea de Medicină în ceea ce privește utilizarea experienței din domeniul IT în proiectarea unor baze de date care să stocheze informații sau în prelucrări ale acestora;
- Lucrări publicate, participări la conferințe internaționale urmare a activității de cercetare desfășurate

Ca și la capitolul al treilea al acestei teze, informațiile prezentate s-au referit la cele mai importante realizări din această direcție de cercetare de la obținerea titlului de doctor și până în prezent, însă acestea nu sunt singurele. În lista de lucrări pot fi regăsite și alte realizări care reflectă interesul și preocuparea continuă a autorului pentru direcția de cercetare Sisteme mecatronice avansate cu aplicații în medicină.

5. CONCLUZII PRIVIND REALIZĂRILE ȘTIINȚIFICE ȘI PROFESIONALE

Întreaga activitate de cercetare desfășurată de autorul acestei teze de abilitare, toate realizările științifice și profesionale se încadrează în misiunea Centrului de cercetare *Sisteme Mecatronice Avansate*, aceea de dezvoltare a activităților de cercetare de mare complexitate pentru sisteme mecatronice de înaltă performanță cu aplicații în industrie, agricultură și medicină.

Pentru toate aceste cercetări s-a avut în vedere ca obiectiv principal transferul rezultatelor către aplicații practice, care să aducă o contribuție directă la îmbunătățirea vieții oamenilor.

Tematica cercetărilor se pliază perfect pe direcțiile centrului de cercetare și are în vedere aplicații ale sistemelor mecatronice avansate în agricultură; aplicații ale sistemelor mecatronice avansate în industrie; aplicații ale sistemelor mecatronice avansate în medicină.

Cercetările s-au desfășurat în cadrul unor granturi câștigate în competiții naționale, ca director de proiect, în granturi ca membru în echipe de cercetare, în contracte de cercetare, dezvoltare, inovare cu terți, ca director de contract, în colaborări cu echipe de cercetători din țară și străinătate.

Cărțile publicate, cererile de brevete, lucrările publicate în reviste, participările la conferințe internaționale, workshop-uri, mese rotunde, produsele și tehnologiile inovative rezultate din aceste activități reprezintă toate realizări științifice și profesionale care și-au pus amprenta pe dezvoltarea personală a autorului.

De-a lungul acestor ani, autorul a câștigat o importantă experiență în ceea ce privește coordonarea echipelor de cercetare, stabilirea unor obiective și ducerea lor la îndeplinire cu succes, finalizarea acestora la timp, respectând limitele bugetelor precum și standardele tehnice și cele de calitate impuse.

Rezultatele cercetărilor au reprezentat și vor reprezenta întotdeauna puncte de plecare spre noi cercetări.

B2. PLANURI DE EVOLUȚIE ȘI DEZVOLTARE A CARIEREI

Planurile de evoluție și dezvoltare a carierei universitare au în vedere următoarele patru direcții: *Educație și formare; Activitate didactică; Activitate de cercetare; Vizibilitate la nivel local, național, internațional*. Pentru fiecare dintre acestea se va prezenta într-un format simplificat contextul actual urmat concret de propunerile de dezvoltare a carierei pe direcția respectivă.

1. EDUCAȚIE ȘI FORMARE

A. Context actual

Studii de licență

- Absolvent din anul 1993 al Universității Transilvania din Brașov, Facultatea de Mecanică, specializarea *Echipamente periferice pentru calculatoare și aparatură biomedicală*, ca **șef de promoție**.

Studii de masterat

- 1994 – 1996 - cursuri de masterat cu dublă recunoaștere:
 - diplomă de studii postuniversitare în *Management Energetic și Inginerie Mecanică* eliberată de Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Școala de Studii Postuniversitare;
 - European Master of Science Degree Certificate în *Energy Management and Mechanical Engineering* eliberat de:
 - Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca;
 - International Technological University (Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Universitatea Transilvania din Brașov, The National Technical University of Athens, Greece, The Free University of Brussels, Belgium, The Technical University of Munich, Germany, The University of Padua, Italy).
 - Division of Engineering and Technology of the Secretariat of UNESCO, Paris.

Studii de doctorat

- 1999 – 2007 - Teza de doctorat cu titlul *Cercetări asupra structurilor biologice vizuale umane privind diagnosticarea afecțiunilor maculare*, domeniul fundamental: Științe inginerești, domeniul: Inginerie industrială.

Formare profesională

- Cursuri în domeniul IT (CISCO CCNA - Cisco Certified Network Associate; IT Essentials: PC Hardware and Software - Cisco Networking Academy);
- Cursuri în domeniul tehnic (FESTO Didactic Romania – automate programabile, electro-pneumatică);
- Cursuri în domeniul echipamentelor de urmărire și captare mișcare, simulare, modelare în timp real și analiză a mișcării (Vicon hardware Set-Up and Nexus Training);
- Cursuri de instruire operatori RPAS Multicopter (Remotely Piloted Aircraft Systems – simulatoare de zbor, exploatare drone, planificări și executări de misiuni de zbor etc.);
- Cursuri în domeniul sistemele de management al calității (GLOBAL CERTIFICATION RO - Auditor extern/ Lead Auditor IRCA - International Register of Certificated Auditors - în Sisteme de management al calității ISO 9001:2008, ISO 9001:2015; curs postuniversitar *Asigurarea calității în învățământul superior, Modulul M1.1 Sisteme interne de management și asigurarea calității*)

B. Propunere de dezvoltare a carierei

- Formare profesională - 2017 – 2020:
 - Cisco Certified Security Professional – CCSP;
 - FESTO Didactic Romania – instruire pe echipamente utilizate în competițiile internaționale WorldSkills, EuroSkills;
 - RPAS – perfecționare;
- Studii postdoctorale în străinătate – perspectivă.

2. ACTIVITATE DIDACTICĂ

2.1. Grade didactice

A. Context actual

- Angajat, începând cu data de 1 octombrie 1993, pe bază de concurs, pe postul de **preparator** în cadrul Catedrei de Mecanică Fină și Mecatronică, Facultatea de Mecanică, Universitatea Transilvania din Brașov;
- 1996 - promovat, pe bază de concurs, pe postul de **asistent**;

- 2000 - promovat, pe bază de concurs, pe postul de **șef lucrări**;
- 2014 - promovat, pe bază de concurs, pe postul de **conferențiar**;
- În prezent conferențiar, la Departamentul de Design de produs, Mecatronică și Mediu din Facultatea de Design de Produs și Mediu (din octombrie 2011).

B. Propunere de dezvoltare a carierei

- Promovare pe post de profesor universitar – anul 2017.

2.2. Discipline predate

A. Context actual

- În prezent titular al următoarelor discipline:
 - **Microcontrollere, microprocesoare** (anul 3 MT - Mecatronică, 3 IMED – Inginerie medicală – licență);
 - **Medii de programare pentru microcontrollere** (anul 4 MT, 4 IMED – licență);
 - **Informatică medicală** (anul 3 MT, 3 IMED, 3 OPTO – Optometrie – licență);
 - **Inteligență artificială** (anul 4 MT – licență);
 - **Automate programabile** (anul 3 MT – licență).
- Co-titular al disciplinelor de:
 - **Comanda și controlul proceselor** (anul 1 SMIM – Sisteme Mecatronice pentru Industrie și Medicină – master);
 - **Managementul computerizat al pacienților și al sistemelor de inginerie medicală și optometrie** (anul 1 SMIM – master).

B. Propunere de dezvoltare a carierei

- Păstrarea disciplinelor predate, cu menținerea accentului pe aspectele practice;
- Având în vedere evoluția extrem de dinamică a domeniului IT și faptul că aproape toate disciplinele predate implică cunoștințe din acest domeniu, an de an cursurile se actualizează în proporție de 10-20% - permanent;
- Ediții noi pentru suporturi de curs, îndrumare de laborator – 2018;
- Publicarea unei cărți în edituri recunoscute CNCSIS (Mecatronică) – 2017-2018;
- Publicarea unei cărți într-o editură internațională (Microcontrollere) – 2019;
- Adaptare a programelor analitice ale disciplinelor la cerințele și evoluția pieței muncii (familii noi de microprocesoare și microcontrollere, tipuri noi de automate programabile, tehnici noi de inteligență artificială, metode noi în informatica medicală etc.) – permanent.

2.3. Infrastructură utilizată

A. Context actual

- Plăci de dezvoltare universale cu microcontrollere, MikroElektronika – UNI-DS6;
- Module periferice pentru sistemele de comandă și control;
- Linia modulară de producție FESTO;
- Pachete proprii de programe pentru laborator, respectiv testări periodice și finale.

B. Propunere de dezvoltare a carierei

- Utilizarea de noi tipuri de plăci de dezvoltare cu microcontrollere – în funcție de context;
- Utilizarea de noi limbaje de programare pentru microcontrollere - în funcție de context;
- Actualizarea pachetelor proprii de programe pentru laborator, respectiv testări periodice și finale – 2017-2018;
- Înlocuirea PC-urilor cu dispozitive mobile în vederea controlului de la distanță al sistemelor – 2017-2018.
- Finalizarea laboratorului cu acces la distanță în vederea instruirii studenților în domeniul utilizării microcontroller-elor (etape parcurse: concepție, proiectare, upgrade infrastructură; etape rămase: realizare, testare, exploatare) – 2017;

2.4. Coordonare proiecte de diplomă/ lucrări de disertație

A. Context actual

- Proiecte de diplomă la programele de licență: Mecatronică, Inginerie medicală, Optometrie;
- Lucrări de disertație la masterul Sisteme Mecatronice pentru Industrie și Medicină;
- Toate proiectele de diplomă/ lucrările de disertație au finalizare practică și aplicabilitate în mediul economic, în mediul universitar sau în cadrul spitalelor, cabinetelor sau clinicilor;
- Toate proiectele participă la Sesiuni științifice studențești sau la alte concursuri.

B. Propunere de dezvoltare a carierei

- Participare la Sesiuni de comunicări științifice studențești și la alte concursuri la nivel național – permanent;
- Creșterea numărului de proiecte de diplomă dezvoltate în parteneriat cu companiile – vezi certificare EUR-ACE® a programului de studii Mecatronică - permanent;
- Teme de proiect de diplomă cu aplicații ce vin în sprijinul comunității universitare – permanent.

2.5. Activități conexe celor didactice

A. Context actual

- Coordonare program de studii Mecatronică;
- Activitate de tutorat a studenților;
- Activitate de orientare în carieră a studenților;
- Organizare și coordonare Club de Mecatronică CREATRON (creativitate studențească);

B. Propunere de dezvoltare a carierei

- Certificare EUR-ACE® a programului de studii Mecatronică;
- Dezvoltarea activității la Clubul de Mecatronică pentru asigurarea unei pregătiri de excelență a studenților și pentru a pune în valoare și dezvolta creativitatea, ambiția, spiritul de competiție, capacitatea de a conduce proiecte și abilitățile de lucru în echipă ale acestora.

3. ACTIVITATE DE CERCETARE

Activitatea de cercetare s-a desfășurat, cronologic, în următoarele **domenii de competență**:

1. Inginerie mecanică – proiectare/ fabricație asistată;
2. Aplicații ale calculatoarelor în inginerie (hardware și software);
3. Automatizări cu microprocesoare și microcontrollere, sisteme de achiziții de date;
4. Informatică medicală, imagistică medicală, aparatură biomedicală, inteligență artificială;
5. Sisteme mecatronice avansate cu aplicații în agricultura de precizie

În prezent sunt **coordonatorul** Centrului de Cercetare *Sisteme Mecatronice Avansate* al Institutului ICDT al Universității Transilvania din Brașov și **prodecan** cu cercetarea științifică, informatizarea și asigurarea calității.

3.1. Teza de doctorat

A. Context actual

- Cea de-a patra categorie din cele cinci care cuprind domeniile de competențe enumerate mai sus vizează îndeosebi contribuțiile din cadrul tezei de doctorat *Cercetări asupra structurilor biologice vizuale umane privind diagnosticarea afecțiunilor maculare*, al cărei subiect inter-, multi- și transdisciplinar stârnește interesul numeroșilor cercetători. Combinând aspecte din domeniile biosistemelor (sistemul vizual uman), achiziției, prelucrării și analizei de imagine (imagistică medicală), tehnicilor de inteligență artificială (rețele neuronale) și managementului

informației (baze de date), cercetările realizate nu s-au definitivat doar prin studii teoretice și demonstrative, ci s-au concretizat în realizarea unui produs care se poate utiliza practic în domeniul diagnosticării. Rezultatele au fost valorificate și prin publicarea unei cărți de specialitate, a unui număr de peste 20 de lucrări în domeniu, dintre care 18 ca prim autor, la conferințe naționale și internaționale, în reviste din țară și din străinătate și a unei propuneri de grant, în calitate de director.

B. Propunere de dezvoltare a carierei

- Interesul cercetătorilor pentru tema tratată în cadrul tezei de doctorat continuă și în prezent. Prima din cele 10 lucrări relevante din lista de publicații fost remarcată și de directorul **Tri-Bridge Capital Group din Hong-Kong care a solicitat spre evaluare sistemul de diagnosticare propus în cadrul tezei de doctorat, în vederea comercializării software-ului respectiv pe piața din Asia** (solicitarea oficială disponibilă la cerere). Interfața grafică a pachetului de programe este deja tradusă în limba engleză, iar software-ul va fi actualizat prin folosirea funcțiilor disponibile în ultima versiune de Matlab. Acest program va fi testat pe o baza de date cu imagini pusă la dispoziție de către clinici din Asia. – 2018.
- Există de asemenea o solicitare, sosită de la unul dintre cercetătorii de la **University of Toronto**, Canada, privind accesul la cercetările desfășurate în cadrul tezei de doctorat. El solicită acces chiar la codul sursă al aplicației și la bazele de date cu imagini – 2018.
- De asemenea, rezultatele cercetărilor în ceea ce privește utilizarea rețelelor neurale în imagistica medicală au fost și sunt exploatate într-o colaborare cu **Institute of Experimental and Clinical Pharmacology and Toxicology al Friedrich-Alexander-University Erlangen-Nuremberg Germania** (vizite în Germania în anii 2011 și 2013), unde în cadrul ultimului proiect se lucrează la folosirea rețelelor neurale pentru identificarea și clasificarea unor stimuli în categoria dureros/ nedureros, pornind de la imagini RMN ale creierului șoarecilor supuși experimentelor – 2017-2018;
- Conducător de doctorat – 2017.

3.2. Publicatii

A. Context actual

- Diseminarea rezultatelor cercetării s-a realizat printr-un număr de **77 de publicații** repartizate, conform listei de lucrări, în următoarele categorii:
 - 14 în reviste din fluxul științific național/ internațional principal;

- 53 în lucrări ale principalelor conferințe internaționale de specialitate;
- 10 în alte lucrări și contribuții științifice.
- Din primele două categorii 10 lucrări sunt indexate ISI și 26 în baza de date internaționale (Scopus, Springer Link etc.).
- Există **19 citări** ale lucrărilor cuprinse în lista cu lucrări.

B. Propunere de dezvoltare a carierei

- Publicarea de articole în reviste recunoscute cu factori de impact – minim 2 articole, FI=1...3, în cadrul unor colective cu colaboratori din străinătate – 2017-2018;
- Creșterea numărului de citări – permanent.

3.3. Participare la manifestări științifice

A. Context actual

- Conferințele s-au desfășurat în Sarajevo, BOSNIA – HERZEGOVINA, Puerto De La Cruz, Tenerife, Insulele Canare, SPANIA, Tallinn, ESTONIA, Trnava, SLOVACIA, Viena, AUSTRIA, Faro, PORTUGALIA, Chișinău, Republica MOLDOVA, Atena, GRECIA, New York, SUA, precum și în diverse orașe din România.

B. Propunere de dezvoltare a carierei

- Prezentarea de articole la conferințe cu ISI Proceedings sau care publică în BDI recunoscute (Springer Link, IEEE eXplore etc.) – minim 6 articole – 2017-2020.

3.4. Brevete

A. Context actual

- Există trei propuneri de brevete: una din anul 2011, apărută pe ISI Web of Knowledge, una din 2015 publicată în Buletinul Oficial de Proprietate Industrială și pe espacenet și una din 2016 aflată în curs de publicare.

B. Propunere de dezvoltare a carierei

- Propuneri de brevet național – minim 1 buc - 2017-2018 în proiectul Monicult sau MultiCanSPEC;
- Propuneri de brevet internațional – 1 buc – în funcție de decizia partenerului Drift Data Systems din cadrul proiectului MultiCanSPEC - 2018.

3.5. Cărți cu caracter științific

A. Context actual

- Rezultate ale cercetărilor din cadrul contractelor sau tezei de doctorat au fost diseminate și prin intermediul a **3 cărți** cu caracter științific (una ca unic autor și două ca și coautor).

B. Propunere de dezvoltare a carierei

- Publicarea unei cărți cu caracter științific ca prim autor - 2018-2019.

3.6. Participarea la elaborarea propunerilor de proiecte, la implementarea granturilor și proiectelor de cercetare și educație**A. Context actual**

- De-a lungul celor aproape 24 de ani petrecuți în universitate, activitatea de cercetare s-a desfășurat prin participarea ca **membru în 19 proiecte de cercetare-dezvoltare-inovare** obținute prin competiție pe bază de contract/ grant, **2 proiecte în calitate de director de proiect, membru în 2 proiecte de cercetare-dezvoltare-inovare cu terți** pe bază de contract și **director în alte 2 astfel de proiecte**.
- Celor de mai sus li se adaugă activitatea ca membru, **responsabil program formare profesională**, într-un **proiect educațional internațional** pe bază de grant și participarea ca **membru** în cadrul altor **4 proiecte contract educaționale naționale**.
- Dintre acestea se remarcă proiectul **Agenciei Române de Asigurare a Calității în Învățământul Superior (ARACIS)** finanțat din fonduri structurale, unde activitatea desfășurată a fost cea de **secretar științific al misiunilor de evaluare** la 8 importante instituții de învățământ superior din România: Universitatea Al. I. Cuza din Iași, Universitatea de Artă Teatrală din Târgu Mureș, Universitatea „Petru Maior” din Târgu Mureș, Școala Națională de Studii Politice și Administrative din București, Academia Națională de Informații „Mihai Viteazul” din București, Universitatea Națională de Muzică din București, Universitatea de Medicină și Farmacie „Carol Davila” din București, Universitatea „Danubius” din Galați.
- În alte 2 proiecte educaționale activitatea a fost desfășurată în calitate de **expert pe termen lung** în domeniul formării profesionale flexibile pe platforme mecatronice, în care peste 100 de profesori din învățământul preuniversitar au fost instruiți în Centrul Regional pentru Formare Flexibilă Brașov, respectiv în domeniul dezvoltării educației pentru viabilizarea pieței muncii prin vectori inovatori mecatronică-integronică (M&I), unde un număr semnificativ de studenți au fost îndrumați în carieră.

B. Propunere de dezvoltare a carierei

- Cercetările se desfășoară la acest moment în două contracte câștigate în competiții naționale la care autorul este director de proiect descrise în prima parte a tezei de abilitare și se vor finaliza în 2017, respectiv 2018;
- De asemenea, pe rol este și încheierea unui contract cu o companie de jucării electronice din Thailanda, la care se mai adaugă o serie de cereri de colaborare din partea unor companii din țară.

- Colaborarea cu Hong-Kong-ul vizavi de teza de doctorat poate conduce de asemenea la încheierea unor contracte internaționale de cercetare.
- Contracte internaționale se au în vedere și în ceea ce privește colaborarea cu **Institute of Experimental and Clinical Pharmacology and Toxicology al Friedrich-Alexander-University Erlangen-Nuremberg Germania.**

3.7. Coordonarea Centrului de cercetare Sisteme Mecatronice Avansate

- În corelație cu strategia de cercetare a Facultății de Design de Prods și Mediu și a Centrului de cercetare *Sisteme Mecatronice Avansate*, se va urmări dezvoltarea activităților pe cele două direcții principale ale centrului: sisteme mecatronice cu aplicații în industrie și agricultură, respectiv sisteme mecatronice cu aplicații în medicină și performanță sportivă.
- Se dorește depunerea unei propuneri de proiect internațional în call-urile Horizon 2020 și se urmărește implicarea membrilor Centrului de cercetare *Sisteme Mecatronice Avansate* într-o colaborare internațională în cadrul acestui tip de apel;
- Se vor continua sesiunile de training ale membrilor centrului pe echipamentele de cercetare de care centrul dispune.

3.8. Coordonarea activității de cercetare la nivelul Facultății de Design de Prods și Mediu, ca prodecan cu cercetarea științifică

- În corelație cu strategia de cercetare a Facultății de Design de Prods și Mediu se va acționa pentru îndeplinirea următoarelor obiective:
 - Identificarea domeniilor prioritare la nivel local, național și internațional și orientarea preocupărilor cadrelor didactice și cercetătorilor către aceste domenii;
 - Asigurarea unui mediu competitiv de cercetare științifică, la nivelul standardelor europene, pentru formarea și atragerea resurselor umane înalt calificate, capabile să lucreze în echipe și să dezvolte activități de cercetare avansată în institut, în alte entități de cercetare, precum și în mediul economic;
 - Dezvoltarea și extinderea ofertei de cercetare avansată, consultanță, servicii de cercetare-inovare către mediul economic, în vederea creșterii competitivității cercetării științifice și a mediului economic din Regiunea 7 Centru, având ca țintă piețele europeană și internațională de cercetare și dezvoltare tehnologică;
 - Promovarea cooperării naționale și internaționale prin realizarea de parteneriate de cercetare cu instituții din țară și străinătate;
 - Valorificarea rezultatelor cercetării prin identificarea modului de aplicare al acestora în diferite domenii: economic, social, cultural etc.;

- Stimularea participării la competițiile interne, naționale și internaționale de proiecte prin identificarea de mijloace specifice;
- Sprijinirea organizării și participării la manifestări științifice la nivel local, național și internațional pentru a fi în permanent contact cu realizările și cercetările de ultimă oră.

4. VIZIBILITATE LA NIVEL LOCAL, NAȚIONAL, INTERNAȚIONAL

4.1. VIZIBILITATE LA NIVEL LOCAL

4.1.1. Implicarea în rezolvarea problemelor departamentului/ facultății/ universității

A. Context actual

La nivel de catedră/ departament

- În perioada 2004 – 2011: secretar științific al Catedrei de Mecanică fină și Mecatronică, Facultatea de Inginerie Mecanică;
- Din anul 2011 - membru în Consiliul Departamentului Design de produs, Mecatronică și Mediu;
- Organizare *Ziua Porților Deschise*, *Școala altfel* și promovare programe de studii/ facultate;
- Elaborare materiale de promovare programe de studii;
- Promovare programe de studii în învățământul preuniversitar (proiect FLEXFORM).
- Coordonator IT a activității Centrului de Competență în Simularea și Analiza Sistemelor Inginerești, dezvoltat împreună cu compania LMS International Belgia.
- Responsabil al laboratorului DI3 în care funcționează Centrul de Competență în Simularea și Analiza Sistemelor Inginerești;
- Participare la elaborare planuri de învățământ;
- Coordonator al programului de studii de licență Mecatronică;
- Participare la activitățile de autorizare provizorie sau acreditare a programelor de studii de licență sau masterat și la vizitele comisiilor (*Inginerie medicală* - 2008, *Mecatronică* – 2012, *Sisteme Mecatronice pentru Industrie și Medicină* - 2009);
- Pregătit dosar pentru vizita de evaluare periodică a programului de studii de licență Mecatronică;
- Pregătit dosar pentru certificarea EUR-ACE® a programului de studii Mecatronică.

La nivel de facultate

- În perioada 1997 – 2009 – **secretar al Comisiei de admitere** a Facultății de Inginerie Mecanică și **coordonator al Comisiei de prelucrare a datelor**;
- În perioada 2004 – 2011 – membru în Consiliul Facultății de Inginerie Mecanică;
- Din anul 2011 – membru în Consiliul Facultății de Design de Prods și Mediu, responsabil IT la nivel de facultate;
- Din noiembrie 2015 - Prodecan cu cercetarea științifică, informatizarea și asigurarea calității la Facultatea de Design de Prods și Mediu;

La nivel de universitate

- **Coordonator în calitate de expert proiecte**, în perioada 2003-2004, al **Filialei Regionale Leonardo da Vinci Brașov**;
- Din anul 2009 – **membru în Comisia centrală de admitere pe universitate**;
- Din anul 2012 – **secretar adjunct** al Comisiei centrale de admitere;
- Din anul 2014 – **secretar** al Comisiei centrale de admitere;
- Din februarie 2016 - **coordonator al Centrului de cercetare C04 - Sisteme Mecatronice Avansate**.
- **Responsabil achiziții** al Centrului de cercetare *Sisteme Mecatronice Avansate*;
- **Responsabil IT** al laboratorului L11 al Institutului ICDT;
- **Expert pe termen lung** în cadrul Centrului Regional de Formare Flexibilă Brașov, dezvoltat în cadrul proiectului contract nr. POSDRU/8/71.3/S/64069, 2010-2013, *FlexFORM – Program de formare profesională flexibilă pe platforme mecatronice*.

B. Propunere de dezvoltare a carierei

- Dezvoltarea activităților la nivel de departament, facultate, universitate - permanent.
- Pozițiile ocupate la nivel de departament și facultate asigură o bună vizibilitate la nivelul acestor structuri;
- Poziția din cadrul Comisiei centrale de admitere, cea din conducerea Facultății de Design de Prods și Mediu și cea de coordonator al centrului de cercetare C04 asigură o bună vizibilitate la nivelul universității.

4.1.2. Îndrumarea cercurilor științifice studentești/ proiecte/ concursuri profesionale/ alte evenimente dedicate studenților**A. Context actual**

- Participant la înființarea și coordonarea Clubului de Mecatronică – CreaTRON;

- Participant la organizarea **Sesiunii de Comunicări Științifice Studentești – faza locală**;
- O bună parte dintre studenții îndrumați la proiectele de diplomă din ultimii ani au participat la **Conferința “Absolvenții în fața companiilor – AFCO”** organizată la nivelul Universității Transilvania din Brașov, unde au obținut rezultate remarcabile;
- Implicarea mediului economic în susținerea participării studenților la competiții și premierea rezultatelor obținute de aceștia.

B. Propunere de dezvoltare a carierei

- Continuarea pregătirii studenților în cadrul Clubului de Mecatronică prin introducerea de noi cursuri, noi proiecte și provocări în ceea ce privește participarea la competiții;
- Pregătirea studenților pentru participarea la Olimpiadele internaționale WorldSkills și EuroSkills - permanent;
- Creșterea vizibilității prin pregătirea studenților în realizarea de proiecte de diplomă care să fie remarcate la conferința AFCO - permanent;
- Implicarea mediului economic în susținerea proiectelor studenților - permanent.

4.2. VIZIBILITATE LA NIVEL NAȚIONAL

4.2.1. Dezvoltarea de legături/ colaborări cu universități și alte organizații din țară

A. Context actual

- În cadrul proiectului FlexFORM s-au dezvoltat colaborări cu următoarele universități și societăți comerciale: Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Universitatea „Politehnica” din Timișoara, Universitatea Politehnica din București, Universitatea din Craiova, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași, Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați, FESTO Romania, alcătuind **Rețeaua Națională de Mecatronică**.
- În cadrul proiectului contract nr. POSDRU/90/2.1/S/62144, 2010-2013, *Dezvoltarea educației pentru viabilizarea pieței muncii prin vectori inovatori mecatronică-integrativă (M&I)*, s-au dezvoltat colaborări cu următoarele instituții: Institutul Național de Cercetare - Dezvoltare pentru Mecatronică și Tehnica Măsurării (INCDMTM) București; Universitatea Politehnica din București - Centrul de Cercetare - Dezvoltare pentru Mecatronică; Universitatea Valahia din Târgoviște; Camera de Comerț și Industrie a Municipiului București; Asociația Profesională Patronatul Român din Industria de Mecanică Fină, Optică și Mecatronică – APROMECA.

- Colaborări ca director de proiect în cadrul contractelor de cercetare-dezvoltare-inovare cu terți: S.C. VELFINA S.A. Câmpulung Muscel, S.C. GENERAL NUMERIC S.R.L Brașov.
- Cele două proiecte de cercetare coordonate au parteneri din țară (Cluj-Napoca și București).

B. Propunere de dezvoltare a carierei

- Continuarea colaborării cu celelalte centre universitare și companii în vederea propunerii de noi proiecte și organizării de cursuri și competiții pentru studenți - permanent;
- Organizarea de conferințe internaționale - permanent.

4.2.2. Participarea studenților la competiții naționale

A. Context actual

- Studenții pregătiți în cadrul Clubului de Mecatronică au obținut numeroase premii:
 - **Patru ani consecutivi** (Timișoara 2011, Cluj Napoca 2012, Galați 2013, București 2014) – **locul I la Olimpiada Națională de Mecatronică – secțiunea Sisteme Mecatronice**, apoi locul II la Craiova 2015 și locul 3 la Iași 2016;
 - **Locul II** (Timișoara 2011), **locul III** (Cluj Napoca 2012, Craiova 2015), **locul I** (Galați 2013 și București 2014), **Mențiuni** (Iași 2016) **la Olimpiada Națională de Mecatronică – secțiunea Roboți Mobili**;
 - **Premiile II, III și mențiuni** (Timișoara 2011), **Premiile I, II și două mențiuni** (Cluj Napoca 2012), **Premiul II, mențiuni și premiul special** (Galați 2013), **Premiul II** (București 2014), **Premiile I și II** (Craiova 2015), **Premiul III și 3 mențiuni** (Iași 2016) la **Concursul Național de Realizări Studentești în Domeniul Mecatronicii**;
 - **Premiul III și premiul special** (Timișoara 2011), **Premiul III, mențiuni și două premii speciale** (Galați 2013), **Premiul I și premiul special** (București 2014), **Premiile II și III** (Craiova 2015), **Premiile I și III** (Iași 2016) la **Sesiunea Națională de Comunicări Științifice Studentești**;

B. Propunere de dezvoltare a carierei

- Participarea cu studenții la manifestările reunite sub egida *Zilele Educației Mecatronice* de la Brașov, 16-19 mai 2017, manifestări care includ:

- Olimpiada Națională de Mecatronică
 - Secțiunea SISTEME MECATRONICE;
 - Secțiunea ROBOȚI MOBILI;
 - Sisteme Mecatronice de Zbor fără Pilot - Secțiunea INDOOR;
 - Sisteme Mecatronice de Zbor fără Pilot - Secțiunea OUTDOOR;
- Concursul Național de Realizări Studentești în Domeniul Mecatronicii;
- Sesiunea Națională de Comunicări Științifice Studentești
- Participarea la alte competiții din România;
- Înființarea la Brașov a unui Centru Național de Pregătire de Excelență în Mecatronică WorldSkills, în colaborare cu WorldSkills Romania și Festo Didactic Romania.

4.2.3. Alte modalități de creștere a vizibilității la nivel național

A. Context actual

- Membru în organizații științifice/ profesionale naționale în domeniu
 - Membru AGIR (Asociația Generală a Inginerilor din România);
 - Membru SROMECA (Asociația Română de Mecatronică);
 - Membru SRR (Societatea de Robotică din România)
 - Membru AMFOR (Asociația de Mecanică Fină și Optică din România);
 - Membru ARoTMM (Asociația Română de Știința Mecanismelor și Mașinilor)

B. Propunere de dezvoltare a carierei

- Expert ARACIS - 2018;
- Expert evaluator proiecte - 2018.

4.3. VIZIBILITATE LA NIVEL INTERNAȚIONAL

4.3.1. Dezvoltarea de legături/ colaborări cu universități și alte organizații din străinătate

A. Context actual

- **Tri-Bridge Capital Group din Hong-Kong – evaluare - comercializare software teză.**
- **Institute of Experimental and Clinical Pharmacology and Toxicology al Friedrich-Alexander-University Erlangen-Nuremberg Germania** în domeniul utilizării rețelelor neurale în imagistica medicală (vizite în Germania în anii 2011 și 2013).
- **Institut Universitaire de Technologie de Dijon – Universite de Bourgogne – France, 29.05.2001-12.06.2001**

- Universite de Technologie Belfort Montbeliard Franța, 16-23.09.2012

B. Propunere de dezvoltare a carierei

- Dezvoltarea colaborărilor existente și inițierea de noi colaborări - permanent;
- Organizarea de conferințe internaționale- permanent.

4.3.2. Alte modalități de creștere a prestigiului internațional

A. Context actual

- Membru în comitetul științific al unor conferințe internaționale;
- Chairman la conferințe internaționale;
- Reviewer al lucrărilor în conferințe internaționale (IEEE - HSI '09, ITALY; IEEE – DEST 2009, Turkey; IEEE - HSI 2010, Poland; IEEE ISRCS '10 Idaho Falls, ID, U.S.A.; CCCA'11, Tunisia; SYROM 2013, Romania, REV 2017, New York SUA).

B. Propunere de dezvoltare a carierei

- Dezvoltarea participării la activități de tipul celor de mai sus - permanent;
- Accesarea poziției de reviewer la jurnale recunoscute – 2018-2019;
- Publicare în jurnale recunoscute - permanent;
- Citări în jurnale recunoscute - permanent;
- Atrageri de colaborări în proiecte internaționale – permanent;
- Participarea cu studenții la competițiile Internaționale de Mecatronică WorldSkills și EuroSkills.

B3. BIBLIOGRAFIE

- [Ashraf, 11] Ashraf, M.A., Maah, M.J., Yusoff, I., *Introduction to Remote Sensing of Biomass. In: Biomass and Remote Sensing of Biomass. InTech*, pp. 129-170. ISBN 978-953-307-490-0, 2011
- [Bencini, 09] Bencini, L., et al., Advanced distributed monitoring system for agriculture based on wireless sensor network technology. In: Xin, F.S.Z.A.J. (Ed.), *Proceedings of the 7th World Congress on Computers in Agriculture and Natural Resources. ASABE, Reno, NV, 2009. USA.*
- [Borhan, 04] Borhan, M.S., *Multispectral and color imaging techniques for nitrate and chlorophyll determination of potato leaves in a controlled environment*, Transactions of the ASAE, 2004 Mar-Apr, v. 47, no. 2, p. 599-608.
- [Brown J. H., 13] Brown J. H. *From precision farming to autonomous farming: How commodity technologies enable revolutionary impact*, 2013, <http://robohub.org/from-precision-farming-to-autonomous-farming-how-commodity-technologies-enable-revolutionary-impact/>, accesat in 15.11.2016
- [Cheșcă, 10a] Cheșcă, A., Dogariu, F., **Luculescu, M.C.**, Diaconescu, D., *The employment field of the patients suffering of tuberculosis as part of an IT system of the disease causing decisive factors*, The 12th WSEAS International Conference on Mathematical and Computational Methods in Science and Engineering (MACMESE '10), Advances in Mathematical and Computational Methods, University of Algarve, Faro, Portugal, November 3-5, 2010, pp.209-214, ISSN: 1792-6114, ISBN: 978-960-474-243-1
- [Dogariu, 10] Dogariu, F., Chesca, A., **Luculescu, M.C.**, Idomir, M.E., *IT Monitoring of Determinative Factors in Adherence to Treatment of Patients Having Tuberculosis*, The 12th WSEAS International Conference on Mathematical and Computational Methods in Science and Engineering (MACMESE '10), Advances in Mathematical and Computational Methods, University of Algarve, Faro, Portugal, November 3-5, 2010, pp.199-204, ISSN: 1792-6114, ISBN: 978-960-474-243-1.

- [Cheșcă, 15] Cheșcă, A., **Luculescu, M. C.**, Sandle, T., Considerations of melanocytic nevi in children, The Romanian Society for Cell Biology, Annals of R.S.C.B., Vol. XIX, Issue 2, 2015, pp. 19 – 22, ISSN: 2067 –3019, e - ISSN: 2067 – 8282, doi: 10.ANN/RSCB-2015-0001:RSCB.
- [Cristea, 16] Cristea, L., **Luculescu, M.C.**, Zamfira C.S., Boer, A.L., Pop, S., *Multiple criteria analysis of remotely piloted aircraft systems for monitoring the crops vegetation status*, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 147 (2016) 012059 doi:10.1088/1757-899X/147/1/012059
- [Daughtry, 00] Daughtry, C. S. T., Gallo, K. P., Goward, S. N., Prince, S. D., & Kustas, W. D., *Spectral estimates of absorbed radiation and phytomass production in corn and soybean canopies*. Remote Sens. Environ., 39, 141 – 152, 1992.
- [Fletcher, 07] Fletcher, R. S., Everitt, J. H., *A six-camera digital video imaging system sensitive to visible, red edge, near-infrared, and mid-infrared wavelengths*, Geocarto International, 22:2, 75-86, 2007
- [Geipel, 15] Geipel, J., et al., *A Sensor Web-Enabled Infrastructure for Precision Farming*. ISPRS Int. J. Geo-Inf, 4, 385-399, 2015
- [Geipel, 16] Geipel, J., et al, *A Programmable Aerial Multispectral Camera System for In-Season Crop Biomass and Nitrogen Content Estimation*. Agriculture, 6, 4, 2016
- [Gitelson, 96] Gitelson, A.A., et al, *Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS*. Remote Sens. Environ. 58:289 – 298, 1996
- [Grift, 08] Grift, T. , Qin Zhang, Naoshi Kondo, K.C. Ting, *A review of automation and robotics for the bioindustry*, Journal of Biomechatronics Engineering Vol. 1, No. 1, (2008) 37-54
- [Gonzales, 04] Gonzales R. C., et al., *Digital Image Processing Using Matlab*, Pearson Prentice Hall, New Jersey, 2004.
- [Gouache, 16] Gouache., D., *Remote sensing for crop cultivation: From research to industry*, Sensing & Measurement, 25 March 2016, SPIE Newsroom. DOI: 10.1117/2.1201603.006355
- [Haboudanea, 04] Haboudanea, D., Miller, J.R., Patteyc, E., Zarco-Tejadad, P.J., Strachane, I.B., *Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green*

- LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture*, Remote Sensing of Environment 90 (2004), pp.337–352
- [Huete, 88] Huete, A.R., 1988, *A soil-adjusted vegetation index (SAVI)*. Remote Sens. Environ. 25:295–309
- [Huete, 97] Huete, A.R., et al, *A Comparison of Vegetation Indices Over a Global Set of TM Images for EOS-MODIS*. Remote Sensing of Environment 59(3):440-451, 1997
- [Huete, 04] Huete, A. R., 2004, *Remote sensing of soils and soil processes*. In: Remote sensing for Natural Resource Mangement and Environment Monitoring. Manual of Remote Sensing, Vol. 4, pp. 3–52
- [Hunt, 89] Hunt, E. R., Jr., Rock, B. N., *Detection of changes in leaf water content using near- and middle-infrared reflectances*. Remote Sensing of Environment 30:43-54, 1989.
- [Hunt, 05] Hunt, E., et al., *High-Resolution Multispectral Digital Photography using Unmanned Airborne Vehicles*, 20th Biennial Workshop on Aerial Photography, Ideography, and High Resolution Digital Imagery for Resource Assessment, Oct. 4-6, 2005
- [Hunt, 10] Hunt, E., Jr., et al., *Acquisition of NIR-green-blue digital photographs from unmanned aircraft for crop monitoring*. Remote Sens., 2, 290–305, 2010
- [Hunt, 11] Hunt Jr, et al., *Comparison of hyperspectral retrievals with vegetation water indices for leaf and canopy water content*. Proc. of SPIE Optics & Photonics: Remote Sensing Vol. 8156, 2011
- [Hunt, 13] Hunt Jr, et al., *Remote sensing with unmanned aircraft systems for precision agriculture applications*. Proc. 2nd Intl. Conf. on Agro-Geoinformatics, Fairfax, Virginia. p.131-134, 2013
- [Jordan, 69] Jordan, C.F., *Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor*. Ecology 50:663–666, 1969
- [Kim, 94] Kim, M. S., Daughtry, C. S. T., Chappelle, E. W., McMurtrey III, J. E., Walthall, C. L., *The use of high spectral resolution bands for estimating absorbed photosynthetically active radiation (Apar)*. Proceedings of the 6th Symp. on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, Jan. 17 – 21, 1994, Val D’Isere, France, pp. 299 – 306.

- [Kim, 00] Kim, Y. S., Reid, J. F., Hansen, A. C., Zhang, Q., *On-field crop stress detection system using multispectral imaging sensor*. Agricultural and Biosystems Engineering, 2000, 1, 88-94.
- [Lache, 08a] Lache, S., Barbu, D.M., **Luculescu, M.C.**, Popovici, B., Necula, R., Secară, E., *Boli profesionale datorate influenței vibrațiilor asupra organismului uman*, Editura Universității Transilvania din Brașov, 2008, ISBN 978-973-598-205-8.
- [Lache, 08b] Lache, S., **Luculescu, M.C.**, Popovici, B., *Advanced Models and Systems for Human Body Protection to Vibrations and Occupational Diseases Prevention – A Survey (I)*, 2nd International Conference “Advanced Composite Materials Engineering” COMAT 2008, Workshop “Advanced to Human Body Protection to Vibrations”, 9th – 11th October 2008, BRAȘOV, Romania.
- [Lache, 08c] Lache, S., **Luculescu, M.C.**, *Advanced Models and Systems for Human Body Protection to Vibrations and Occupational Diseases Prevention – A Survey (II)*, 2nd International Conference “Advanced Composite Materials Engineering” COMAT 2008, Workshop “Advanced to Human Body Protection to Vibrations”, 9th – 11th October 2008, BRAȘOV, Romania.
- [Lache, 08d] Lache, S., **Luculescu, M.C.**, *Designing systems for prevention of occupational diseases caused by human body vibration*, 6th International DAAAM Baltic Conference Industrial Engineering, 24-26th April 2008, Tallinn, ESTONIA
- [Lache, 08e] Lache, S., **Luculescu, M.C.**, *Developing reliable hand-arm models for reducing vibration exposure levels*, 2008 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics (AQTR 2008) THETA 16th edition, 22nd-25th May 2008, Cluj-Napoca, Romania, Tome I, pp.168-173, ISBN978-1-4244-2576-1
- [Lache, 08f] Lache, S., **Luculescu, M.C.**, *Specific features in pressure microsensors design*, The 19th International Daaam Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Next Generation of Intelligent Systems and Solutions", 22nd -25th October 2008, Trnava, Slovakia, pp.737-738 ISSN 1726-9679, ISBN 978-3-901509-68-1
- [Lache, 09a] Lache, S., Barbu, D.M., **Luculescu, M.C.**, Barbu, I., *Modele si sisteme avansate pentru protecția organismului uman la vibrații și prevenirea bolilor profesionale*, Editura Universității Transilvania din Brașov, 2009, ISBN 978-973-598-379-6.

- [Lache, 09b] Lache, S., **Luculescu, M.C.**, Velea, M.N., Frîncu, D., *Adaptive-Passive Control System for Hand-Arm Protection to Vibration*, The 3rd International Conference on Computational Mechanics and Virtual Engineering COMEC 2009, 29-30 October 2009, Braşov, Romania, ISBN 978-598-572-1, pp. 361-366.
- [Laliberte, 11] Laliberte, AS; Goforth, MA; Steele, CM; Rango, A. *Multispectral Remote Sensing from Unmanned Aircraft: Image Processing Workflows and Applications for Rangeland Environments*, Remote Sensing; NOV, 2011; 3; 11; p2529-p2551.
- [Lorente, 12] Lorente, D. et al, *Recent advances and applications of hyperspectral imaging for fruit and vegetable quality assessment*, Food and Bioprocess Technology 5 (4) New York: Springer ,2012, 1121-1142
- [Luculescu, 07] Luculescu, M.C., *Cercetări asupra structurilor biologice vizuale umane privind diagnosticarea afecţiunilor maculare*, Teză de doctorat, 2007
- [Luculescu, 08a] **Luculescu, M.C.**, Lache, S., *Using Microcontrollers in Data Acquisition Systems Designed for Human Body Vibrations Analysis*, Buletinul Institutului Politehnic din Iaşi, publicat de Universitatea Tehnică Gh. ASACHI Iaşi, Secţia Construcţii de Maşini (Revistă cotate CNCSIS - categoria B), Tomul LIV (LVIII), Fasc.4, pag.405-410, ISSN 1011-2855, 2008, IAŞI.
- [Luculescu, 08b] **Luculescu, M.C.**, Barbu, D., Barbu, I., *Graphical User Interface for Microcontroller Based Data Acquisition Systems*, Buletinul Institutului Politehnic din Iaşi, publicat de Universitatea Tehnică Gh. ASACHI Iaşi, Secţia Construcţii de Maşini (Revistă cotate CNCSIS - categoria B), Tomul LIV (LVIII), Fasc.4, pag.379-384, ISSN 1011-2855, 2008
- [Luculescu, 08c] **Luculescu, M.C.**, Lache, S., *Low-cost Data Acquisition Systems Designed for Human Body Vibrations Analysis*, 2nd International Conference “Advanced Composite Materials Engineering” COMAT 2008, Workshop “Advanced to Human Body Protection to Vibrations”, 9th – 11th October 2008, BRAŞOV, Romania, Vol. 1B, ISSN 1844-9336, pp. 525-530.
- [Luculescu, 10] **Luculescu, M.C.**, Enache C. I., *Digital System for Monitoring and Management of Individual or Fleet Automotive Vehicles*, International Congress on Automotive and Transport Engineering CONAT 2010, The XIth Edition, 27-29 October 2010, vol.IV, pp.143-150, ISSN 2069-0401

- [Luculescu, 11a] **Luculescu, M.C.**, Enache, I.C., Lache, S., Zamfira S.C., *LifeMOTE - Decision-Parametric System for Health Telematics. General and Hardware Aspects*, Revista Mecatronica – Ed. Societatea Română de Mecatronică, nr. 2/2011, pag. 22-26, ISSN 1583-7653.
- [Luculescu, 11b] **Luculescu, M.C.**, Enache, I.C., *LifeMOTE - Decision-Parametric System for Health Telematics. Software Aspects*, Revista Mecatronica – Ed. Societatea Română de Mecatronică, nr. 2/2011, pag. 27-32, ISSN 1583-7653.
- [Luculescu, 14a] **Luculescu, M.C.**, Zamfira, C.S., Cristea, L., *WiSeIn: Wireless Sensor Network Used for Data Acquisition from Indoor Locations*, Mechanisms and Machine Science Volume 18, 2014, pp 391-399, Print ISBN 978-3-319-01844-7, Online ISBN 978-3-319-01845-4, Series ISSN 2211-0984, DOI 10.1007/978-3-319-01845-4_39, Springer International Publishing
- [Luculescu, 14b] **Luculescu, M.C.**, Zamfira, C.S., Cristea, L., *WiSeManS: Wireless Sensor Network Data Management System for Indoor Climatic Control*, Mechanisms and Machine Science Volume 18, 2014, pp 401-409, Print ISBN 978-3-319-01844-7, Online ISBN 978-3-319-01845-4, Series ISSN 2211-0984, DOI 10.1007/978-3-319-01845-4_40, Springer International Publishing
- [Luculescu, 15a] **Luculescu, M.C.**, Cristea, L., Zamfira C.S., Barbu I., *Spectral Monitoring of the Crops Vegetation Status in Precision Agriculture*, Applied Mechanics and Materials Vol. 811 (2015) pp 236-240 © 2015.
- [Luculescu, 16a] **Luculescu, M.C.**, Cristea, L., Zamfira C.S., Barbu I., *Mechatronic System for Spectral Monitoring of the Crops Vegetation Status*, Applied Mechanics and Materials Vol. 823 (2016) pp 405-410 © 2016.
- [Mahlein, 12] Mahlein, AK et al., *Recent advances in sensing plant diseases for precision crop protection*, European Journal of Plant Pathology; May, 2012, 133 1, p197-p209, 13p. Special Issue: SI
- [Marchand, 03] Marchand P., Holland T., *Graphics and GUIs with MATLAB*, Third Edition, CRC Press, 2003
- [Mediu, 13] Ministerul Mediului și Schimbărilor Climatice – Cod de bune practici agricole.
- [Monicult, 14] Raport științific și tehnic al Proiectului Monicult - PN-II-PT-PCCA-2013-4-1629, Contract nr.225 din 01.07.2014, Etapa I – 2014, “Utilizarea informației multispectrale în managementul culturilor agricole”

- [Monicult, 15] Raport științific și tehnic al Proiectului Monicult - PN-II-PT-PCCA-2013-4-1629, Contract nr.225 din 01.07.2014, Etapa II – 2015, “*Proiectarea, realizarea și experimentarea unui sistem mecatronic de monitorizare multispectrală a stării de vegetație a culturilor agricole - MoniCult – partea I*”
- [Monicult, 16] Raport științific și tehnic al Proiectului Monicult - PN-II-PT-PCCA-2013-4-1629, Contract nr.225 din 01.07.2014, Etapa III – 2016, “*Proiectarea, realizarea și experimentarea unui sistem mecatronic de monitorizare multispectrală a stării de vegetație a culturilor agricole - MoniCult – partea a II-a*”
- [MultiCanSPEC, 16] Raport științific și tehnic al Proiectului MultiCanSPEC - PN-III-P2-2.1-BG-2016-0132, Contract nr. 65BG din 01.10.2016, Etapa I – 2016, “*Îmbunătățirea tehnologiei sistemului HexaSPEC*”
- [Myneni, 94] Myneni R.B., Williams D.L., *On the relationship between FAPAR and NDVI*. Remote Sens. Environ. 49: 200–211, 1994.
- [Naik, 16] Naik NS. et al., *Precision agriculture robot for seeding function*, International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT), 2016, DOI: 10.1109/INVETIVE.2016.7824880
- [North, 02] North P.R.J., *Estimation of fAPAR, LAI, and vegetation fractional cover from ATSR-2 imagery*. Remote Sens. Environ. 80: 114–121, 2002.
- [Olteanu, 02] Olteanu, Gh., Oltean, I.M., Oltean, I., *Agricultura de precizie – un nou concept în cercetarea și practica agricolă, Priorități ale cercetării științifice în domeniul culturilor de câmp*, Ed. Ceres, București, 99-110, 2002.
- [Olteanu, 12] Gh. Olteanu, I. Puiu, A. Bekö, A. Ghinea, *Agricultura de precizie - o cale pentru eficientizarea producției de cartof*, Sesiunea de comunicări științifice “45 de ani de cercetare-dezvoltare: tradiție, continuitate și viitor pentru agricultura României”, Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Cartof și Sfeclă de Zahăr din Brașov, 2012
- [Pearson, 72] Pearson, R.L., et al. *Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie*. p. 1357–1381. In Eighth Int. Symp. on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, MI. 2–6 Oct. 1972. Univ. of Michigan, Ann Arbor

- [Penuelas, 97] Penuelas, J., Pinol, J., Ogaya, R., Filella, I., *Estimation of Plant Water Concentration by the Reflectance Water Index WI (R900/R970)*, International Journal of Remote Sensing. 18:2863-2868, 1997
- [Pettorelli, 05] Pettorelli N., Vik J.O., Mysterud A., Gaillard J.-M., Tucker C.J. & Stenseth N.C., *Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change*. Trends in Ecology & Evolution 20: 503–510, 2005.
- [Pratt, 01] Pratt W., *Digital Image Processing, PIKS Inside*, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2001
- [Puiu, 11] Puiu I., Olteanu Gh., Ianoși M., Moise A., Ghinea A., *Monitorizarea spațială a resurselor și a stării de vegetație la cultura de cartof*, Sesiunea de comunicări științifice "Oportunități în modernizarea cercetărilor la cartof, sfeclă de zahăr și plante medicinale", Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Cartof și Sfeclă de Zahăr din Brașov, 2011
- [Puiu, 14] Puiu, I., *Studiul producției de cartof în funcție de diversitatea spațială a resurselor*, Teză de doctorat, Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară Cluj-Napoca, Facultatea de Agricultură, 2014.
- [Raport al Proiectului CLIMHYDEX - cod PNII-ID-2011-2-0073, Contract nr. 5/2012. 05.11]
<http://climhydex.meteoromania.ro/system/files/D2.3-report-v0.doc>
- [Rouse, 74] Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A. & Deering D.W. 1974, *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. In: Fraden S.C., Marcanti E.P. & Becker M.A. (eds.), Third ERTS-1 Symposium, 10–14 Dec. 1973, NASA SP-351, Washington D.C. NASA, pp. 309–317.
- [Ruiz-Altisent, 10] Ruiz-Altisent, M. et al., *Sensors for product characterization and quality of specialty crops - A review*, Computers and electronics in agriculture, 2010 Nov., v. 74, no. 2, p. 176-194. 74 2
- [Ruiz-Garcia, 09] Ruiz-Garcia, L., Lunadei, L., Barreiro, P., Robla, J.I., 2009. *A review of wireless sensor technologies and applications in agriculture and food industry: state of the art and current trends*. Sensors 9 (6), 4728–4750. Saaid, M., Saad, B., Hashim, N.H., Mohamed Ali, A.
- [Sankaran, 10] Sankaran, S., Mishra, A., Ehsani, R., Davis, C., 2010. *A review of advanced techniques for detecting plant diseases*. Computers and Electronics in Agriculture 72 (1), 1–13.

- [Sellers, 85] Sellers, P.J., *Canopy Reflectance, Photosynthesis and Transpiration*. International Journal of Remote Sensing 6:1335-1372, 1985
- [Sui, 05] Sui, R., Wilkerson, J. B., Hart, W. E., Wilhelm, L. R., Howard, D. D., *Multi-spectral sensor for detection of nitrogen status in cotton*. Applied Engineering in Agriculture 21, 2005, 167-172.
- [Tzanakou-Micheli, 00] Tzanakou-Micheli E., *Supervised and Unsupervised Pattern Recognition, cap.9, „Visual Ophthalmologist: An Automated System for Classification of Retinal Damage*, CRC Press, 2000.
- [Tucker, 79] Tucker, C.J., *Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation*. Remote Sensing of the Environment 8:127-150, 1979
- [Vincini, 08] Vincini, M., E. et al., *A broad-band leaf chlorophyll index at the canopy scale*. Precis. Agric. 9:303–319, 2008
- [Wang, 14] Wang P, Lan Y B, Luo X W, Zhou Z Y, Wang Z, Wang Y. *Integrated sensor system for monitoring rice growth conditions based on unmanned ground vehicle system*. Int J Agric & Biol Eng, 2014; 7(2): 75 – 81
- [White, 12] White, J.W. et al, *Field-based phenomics for plant genetics research*, Field Crops Research v.133, pp.101-112, 2012, <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2012.04.003>
- [Xiong, 12] Xiong, Y., Tian, L., Ahamed, T., & Zhao, B. (2012). *Development of the reconfigurable data acquisition vehicle for bio-energy crop sensing and management*. Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME, 134(1), [015001]. DOI: 10.1115/1.4004914
- [Yaghoubi, 13] Yaghoubi S. et al., *Autonomous Robots for Agricultural Tasks and Farm Assignment and Future Trends in Agro Robots*, International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS Vol:13 No:03, pp.1-6, 2013
- [Zamfira, 11] Zamfira, S.C., Cadareanu, R., **Luculescu M.C.**, *Low Data Rate Wireless Network*, 8th International Association of Online Engineering (IAOE) Conference, Remote Engineering and Virtual instrumentation - REV 2011, June 28 – July 1, 2011, Brasov, Romania, pp.415-417, ISBN 987-3-89958-555-1
- [Zhang, 12] Zhang ChunHua ; Kovacs, J. M. , *The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review*, Precision Agriculture 13 (6) Amsterdam: Springer, 2012, 693-712

- [***, 16a] *Skywalker*, http://www.airelectronics.es/products/skywalker_brochure.pdf, accesat în 25.04.2016
- [***, 16b] *eBee, The professional mapping drone*, <https://www.sensefly.com/drones/ebee.html>, accesat în 25.04.2016
- [***, 16c] *Draganflyer Tango*, <http://www.draganfly.com/uav-airplane/tango/>, accesat în 25.04.2016
- [***, 16d] *DJI Phantom 3 AGRO*, <http://dronshop.ro/produs/dji-phantom-agro/>, accesat în 25.04.2016
- [***, 16e] *Parrot ar.drone 2.0 elite edition*, <http://www.parrot.com/usa/products/ardrone-2/>, accesat în 25.04.2016
- [***, 16f] *Draganflyer X4-P*, <http://www.draganfly.com/products/x4-p/overview>, accesat în 25.04.2016
- [***, 16g] *Cropscan - Multispectral Radiometers*, <http://www.cropscan.com/msr.html>, accesat în 28.11.2016
- [***, 16h] *PixelSensor™ Multispectral Sensors*, <http://pixelteq.com/wp-content/uploads/2016/10/PixelSensor-Datasheet.pdf>, accesat în 28.11.2016
- [***, 16i] *SenseFly Accesories*, <https://www.sensefly.com/drones/accessories.html>, accesat în 28.11.2016
- [***, 16j] *SpectroCAM™ – Multispectral Cameras*, <http://pixelteq.com/wp-content/uploads/2016/03/SpectroCam-Datasheet.020416-1.pdf>, accesat în 28.11.2016
- [***, 16k] *Parrot Sequoia™*, https://www.parrot.com/us/sites/default/files/sequoia_official_documentation_and_specifications_2016_3.pdf, accesat în 28.11.2016
- [***, 16l] *MicaSense RedEdge® Multispectral Camera*, <https://www.micasense.com/rededge/>, accesat în 28.11.2016
- [***, 16m] *Tetracam's Micro-Miniature Multiple Camera Array System*, http://www.tetracam.com/Products-Micro_MCA.htm, accesat în 28.11.2016
- [***, 16n] *Medline Surgical Scrub Dry Brushes / Staples®*, http://www.staples.com/Medline-Surgical-Scrub-Dry-Brushes/product_SS1102424, accesat 17.12.2016

- [***, 17a] *Crop-Efficiency Monitoring for Higher Yields - Hyper Care for Healthy Crops*, <https://www.cropscience.bayer.com/en/stories/2016/crop-efficiency-monitoring-for-higher-yields-hyper-care-for-healthy-crops>, accesat în 15.01.2017
- [***, 17b] *Ocean Optics - STS Developers Kit*, <https://oceanoptics.com/product/sts-developers-kit/>, accesat în 16.01.2017
- [***, 17c] *Human Vibration Analyzer Type 4447 - User Manual*, <https://www.bksv.com/downloads/4447/be1772.pdf>, accesat în 16.01.2017
- [***, 17d] *Waspnote*, <http://www.libelium.com/products/waspnote/>, accesat în 20.01.2017
- [***, 17e] *Meshlium*, <http://www.libelium.com/products/meshlium/>, accesat în 20.01.2017