

Implementarea dronelor în agricultura de precizie. Recomandări de politici

Dorin Afanas, expert asociat IDIS "Viitorul

Chisinau 2022



Acest studiu a fost elaborat în cadrul proiectului „Consolidarea gestionării cunoștințelor pentru o mai mare eficacitate a dezvoltării în Orientul Apropiat, Africa de Nord, Asia Centrală și Europa”/“Strengthening Knowledge Management for Greater Development Effectiveness in the Near East, North Africa, Central Asia and Europe (SKiM)”, finanțat de către International Center for Agricultural Research in Dry Areas (ICARDA) și International Fund for Agricultural Development

(IFAD).



Pagina web a proiectului:

<https://mel.cgiar.org/projects/SKiM>

Portalul proiectului:

<https://knowledgemanagementportal.org/n/portal>



Opiniile exprimate aparțin autorului. Administrația IDIS „Viitorul” și Consiliul administrativ al IDIS nu poartă răspundere pentru estimările și opiniile prezentate în cadrul acestei publicații.

Orice utilizare a unor extrase ori opinii ale autorului acestei publicații trebuie să conțină referință la IDIS „Viitorul”.



ADRESA DE CONTACT:

Institutul pentru Dezvoltare și Inițiative Sociale (IDIS)
„Viitorul”
Republica Moldova; MD-2005;
mun. Chișinău; str. Iacob Hîncu, 10/1;
Telefon: 373-22-22-18-44;
Fax: 373-22-24-57-14.

CUPRINS

Introducere	4
LISTA ABREVIERILOR	5
I. Tematica cercetărilor privind utilizarea sistemelor mobile fără pilot în Agricultură de precizie	6
II. Desfășurarea cercetărilor privind utilizarea SAFP în agricultura de precizie	7
II.1. Scopul, obiectivele și modul de organizare	7-8
II.2. Utilizarea informației multispectrale în managementul culturilor agricole	8-12
III. Sistemul de Achiziție, Procesare, Stocare și Transmisie a Informațiilor Multispectrale (SAPSTIM)	13-21
IV. Sistemului Multispectral Autonom Aerian fără pilot (SMAAFP) de monitorizare multispectrală a stării de vegetație a culturilor agricole	22-27
V. Tehnologie Inovativă de Monitorizare Multispectrală a Stării de Vegetație a Culturilor Agricole (TIMMSVCA)	27-30
VI. Concluzii privind activitățile desfășurate în cadrul direcției de cercetare	
APLICAȚII ALE SISTEMELOR AVANSATE ÎN AGRICULTURA DE PRECIZIE	30-31
VII. CONCLUZII GENERALE și RECOMDĂRI DE POLITICI	32-34
BIBLIOGRAFIE	34-36

Introducere

La momentul actual societatea modernă se află într-o schimbare continuă confruntându-se cu următoarele probleme majore:

- creșterea demografică;
- resursele limitate de hrană;
- modificările climatice globale;
- poluarea și deteriorarea mediului înconjurător.

Problemele ilucidate marchează starea actuală a societății și au implicații majore asupra evoluției acesteia, asupra a ceea ce avem la momentul de față și asupra a ceea ce vom lăsa generațiilor următoare.

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 soluțiile numeroaselor probleme existente la etapa actuală. Agricultură durabilă vizează realizarea de producții intensive cu rezultate competitive, având raporturi "prietenoase" cu mediul înconjurător, folosind sisteme integrate bazate pe utilizarea științifică, echilibrată a tuturor componentelor tehnologice [16].

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 [26].

În funcție de nevoile identificate ale plantelor, acestora li se pot furniza cantități optime de apă sau de input-uri chimice (de exemplu, îngrășăminte și pesticide). Monitorizarea continuă a stării de vegetație permite ca intervențiile să se realizeze în timp real, în locul unde este necesar, la momentul necesar și în cantitatea 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 [23].

LISTA ABREVIERILOR

ARM	Advanced RISC Machines
CAN	Controller Area Network
CARI	Chlorophyll Absorption Ratio Index
ESC	Electronic Speed Controller
fAPAR	fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation
FWHM	Full Width at Half Maximum
GIS	Geographic Information System
GPIO	General-Purpose Input/Output
GPS	Ground Sampling Distance
GSD	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile communication
I2C	Inter-Integrated Circuit
LAI	Leaf Area Index
Li-Po	Lithium-ion Polymer
MCARI	Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NIR	Near InfraRed
RAM	Random Acces Memory
RFID	Radio-Frequency IDentification
RISC	Reduced Instruction Set Computer
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
SAFP	Sistem Aerian fără pilot
SBC	Single Board Computer
SD	Secure Digital
SAFP	Sistem Aerian fără pilot
SBC	Single Board Computer
SD	Secure Digital
SMAAFP	Sistem Multispectral Autonom Aerian fără pilot
SPI	Serial Peripheral Interface
SWIR	Short Wave InfraRed
TIMMSVCA	Tehnologie Inovativă de Monitorizare Multispectrală a Stării de Vegetație a Culturilor Agricole
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
USB	Universal Serial Bus
VIS	VISible
WBI	Water Band Index
WMI	Water Moisture Index
WP	Work Package

I. Tematica cercetărilor privind utilizarea sistemelor mobile fără pilot în agricultura de precizie

Din aria largă de aplicabilitate a sistemelor aeriene fără pilot, cercetările din această lucrare vizează implementarea acestor sisteme în domeniul agriculturii. Există o mare diversitate de aplicații ale sistemelor aeriene fără pilot (SAFP) în agricultură, care efectuează lucrări complet automatizate sau chiar autonome, de la faza de inspecție a terenului, tratare și până la întocmirea hărților de productivitate a terenului. [4], [20], [33].

Conceptul de „agricultură de precizie” include în sine, de asemenea, folosirea informației și a tehnologiei SMFP avansate, în gestionarea recoltelor. După cum se prezintă în referințele [22] și [27], 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 din această lucrare. Una dintre metodele utilizate pentru luarea deciziilor la momentul oportun, presupune utilizarea indicilor de vegetație, valori calculate prin măsurarea reflectanței luminii solare 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 să poziționeze sistemele de achiziție deasupra culturilor pe suprafața monitorizată. Toate aceste operații pot fi realizate cu ajutorul SAFP. Având în componență elemente mecanice, module electronice și programe necesare funcționării, SAFP 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.

II. Desfășurarea cercetărilor privind utilizarea SAFP în agricultura de precizie

II.1. Scopul, obiectivele și modul de organizare

Scopul cercetării îl reprezintă asigurarea unei soluții inovative de monitorizare multispectrală a stării de vegetație a culturilor agricole, bazată pe sisteme aeriene fără pilot, în vederea îmbunătățirii managementului agricol de precizie. Pentru aceasta este necesară atingerea următoarelor obiective: proiectarea, realizarea și experimentarea următoarelor produse (fig. 1):

- Model experimental ale unui Sistem de Achiziție, Procesare, Stocare și Transmitere a Informațiilor Multispectrale (SAPSTIM) pentru perfecționarea managementului culturilor agricole;
- Modele experimental și funcțional ale unui Sistem Multispectral Autonom Aerian fără pilot (SMAAFP) 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.

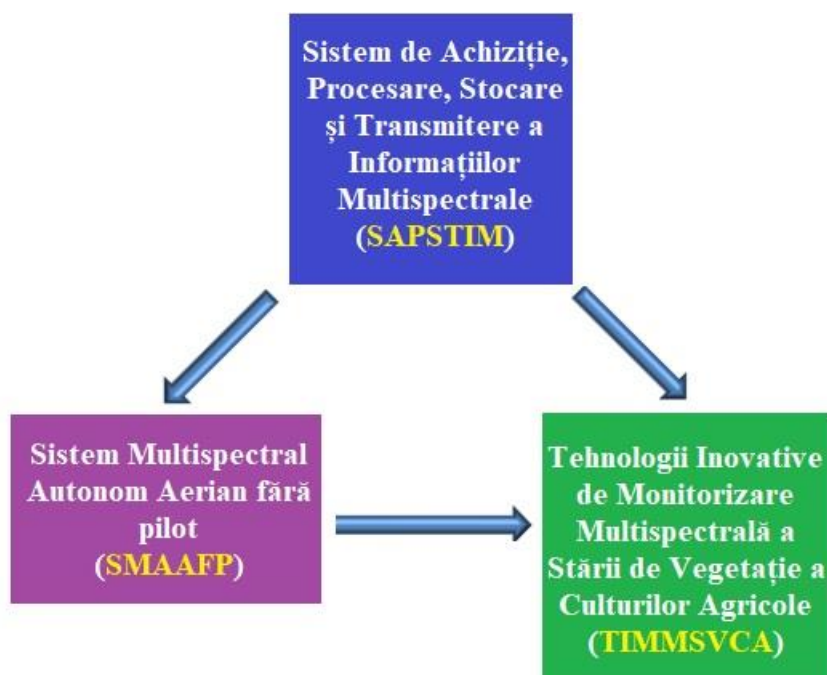


Figura 1. Produsele obținute în urma atingerii obiectivelor propuse

Până nu demult cercetările și realizările la nivel mondial privind utilizarea sistemelor aeriene fără pilot, 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. Însă cu timpul interesul pentru astfel de sisteme a crescut și ca urmare au apărut

diverse soluții comerciale care oferă posibilitatea de preluare a informațiilor cu camere multispectrale și calculul unui număr anumit de indici de vegetație.

Prezenta cercetare 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 se recomandă de organizat pe următoarele pachete de lucru:

- WP1 – Proiectarea, realizarea și experimentarea unui Sistem de Achiziție, Procesare, Stocare și Transmisie a Informațiilor Multispectrale (SAPSTIM) pentru perfecționarea managementului culturilor agricole;

- WP2 – Proiectarea, realizarea și experimentarea unui Sistem Multispectral Autonom Aerian fără pilot (SMAAFP) de monitorizare multispectrală a stării de vegetație a culturilor agricole și

- WP3 – Proiectarea, realizarea și experimentarea unei Tehnologii Inovative de Monitorizare Multispectrală a Stării de Vegetație a Culturilor Agricole (TIMMSVCA).

II.2. Utilizarea informației multispectrale în managementul culturilor agricole

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

Se recomandă ca studiul să conțină 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 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.

Tehnologiile avansate și echipamentele implicate în măsurători pot fi:

- vederea artificială;
- spectroscopia;
- utilizarea razelor X;
- rezonanța magnetică;
- metodele chimice de detecție;

– rețelele de senzori wireless și senzori RFID [29], [2], [31], [28].

Utilizarea metodelor de detecție multispectrale este necesară pentru a evalua nivelul de nutriție al culturilor bazat pe nivelul de reflectanță în mai multe benzi spectrale [10], [32], [7]. Pentru monitorizare, cele mai bune rezultate se obțin prin folosirea echipamentelor hiper- sau multispectrale care permit supravegherea de arii întinse [13].

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 [3], [15].

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 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 [1]. Acest principiu stă la baza identificării suprafețelor cu vegetație și chiar la determinarea stării de sănătate sau de dezvoltare a acestei vegetații. În Fig. 2 este prezentat spectrul de reflectanță pentru diferite materiale.

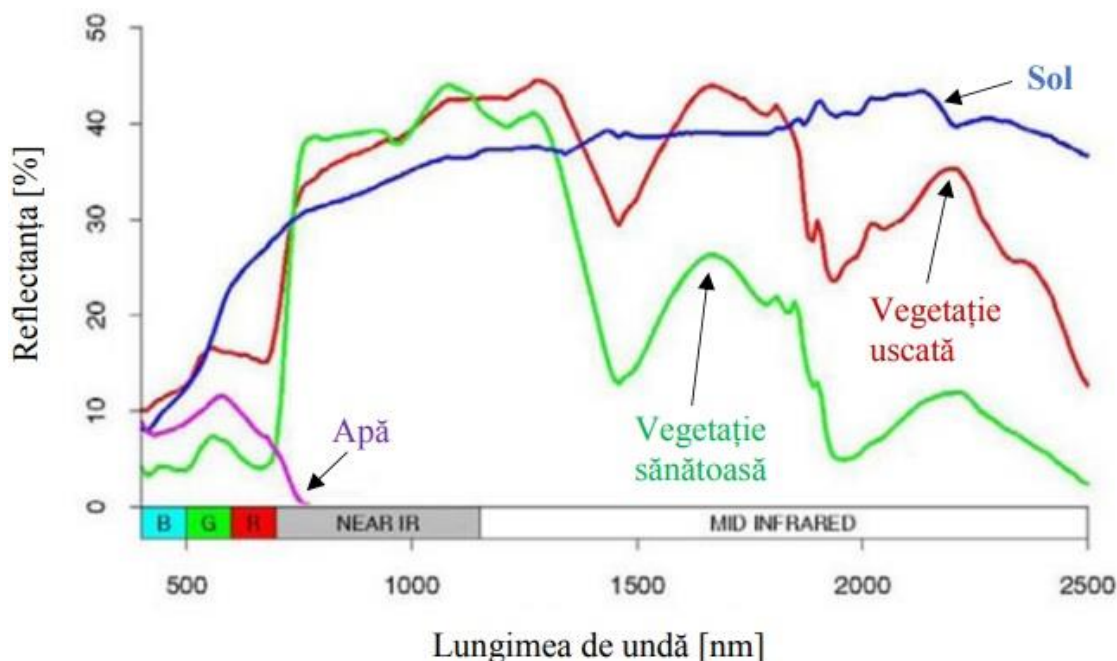


Figura 2. Spectrul de reflectanță pentru diferite materiale

Din Fig. 2 observăm, că 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. 2 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 [1] (Fig. 3).

Luând în considerație aspectele enunțate, 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 [30].

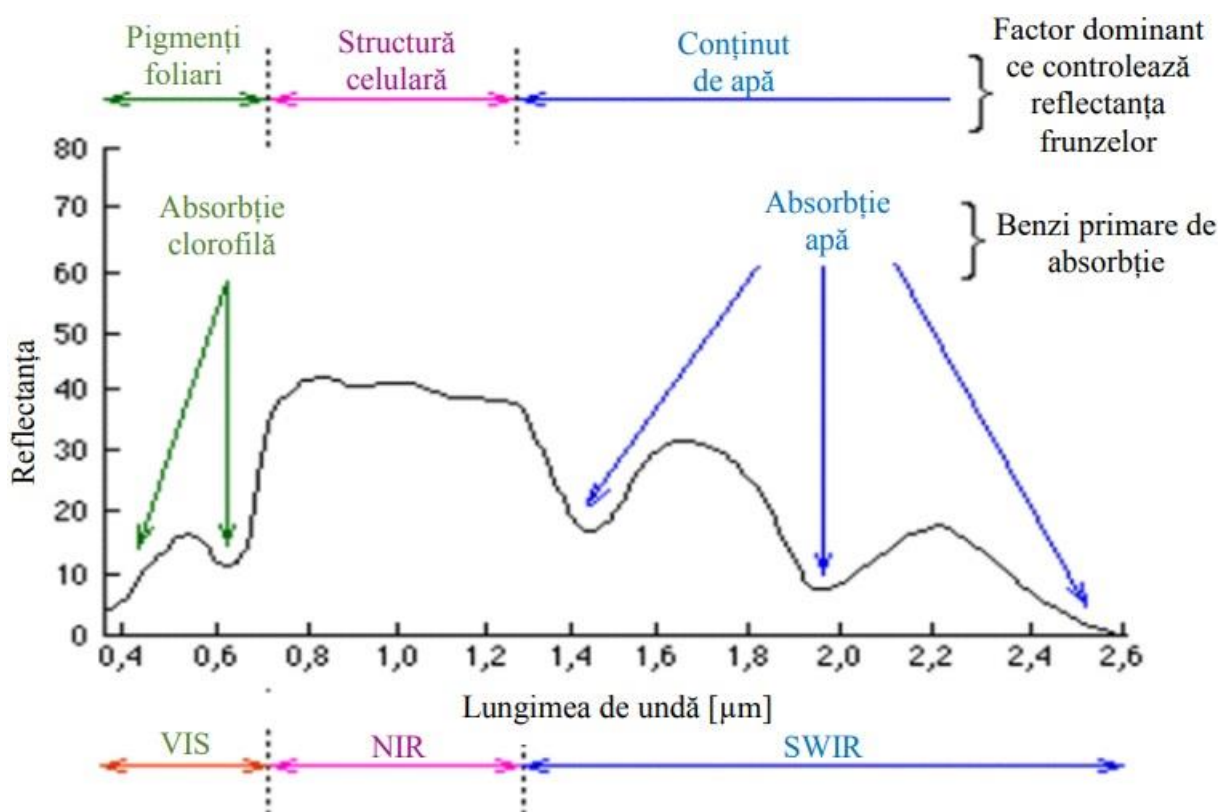


Figura 3. Caracteristici ale spectrului de reflectanță al plantelor

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. [19], [21], [25].

Un alt indice important este LAI (Leaf Area Index) – Indicele suprafeței foliare ce 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 [11].

CARI a fost apoi simplificat [6] obținându-se indicele modificat MCARI (Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index) dat de relația [8]:

$$MCARI = [(R_{700} - R_{670}) - 0,2 \cdot (R_{700} - R_{550})] \cdot \frac{R_{700}}{R_{670}}, \quad (2)$$

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) [24], respectiv WMI (Water Moisture Index) [9]:

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

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 [1] (Fig. 4).

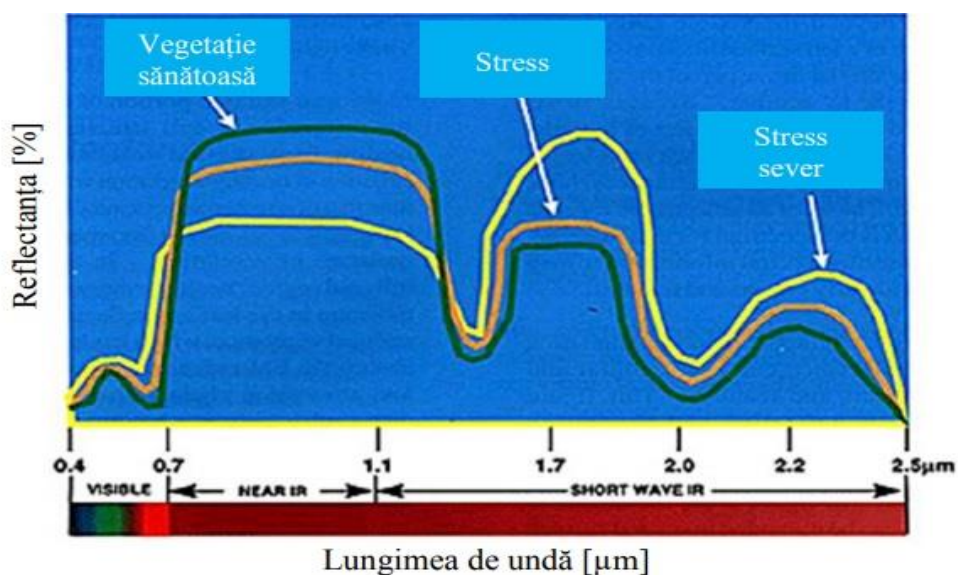


Figura 4. Amprente spectrale ce evidențiază nivelul de stres al plantelor

Pentru o monitorizare relevantă a stării de vegetație a culturilor agricole este necesar de analizat cei mai importanți indici de vegetație grupați pe șapte categorii:

- 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, vom putea obține date esențiale care privesc caracterizarea informațiilor spectrale specifice managementului culturii plantelor (Tabel 1).

Tabelul 1. Modul de centralizare al indicilor de vegetație

Acronim	Denumire	Descriere	Formulă de calcul	Lung. undă
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

Informațiile despre indicii de vegetație oferite trebuie să cuprindă: 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, se poate de trecut la identificarea variantelor de senzori și a echipamentelor care vor forma sistemele de achiziție a datelor.

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

Desfășurarea etapelor de cercetare în cadrul primului pachet de lucru vizând elaborarea, proiectarea, realizarea și testarea modelului experimental al SAPSTIM pot fi în Fig. 5.

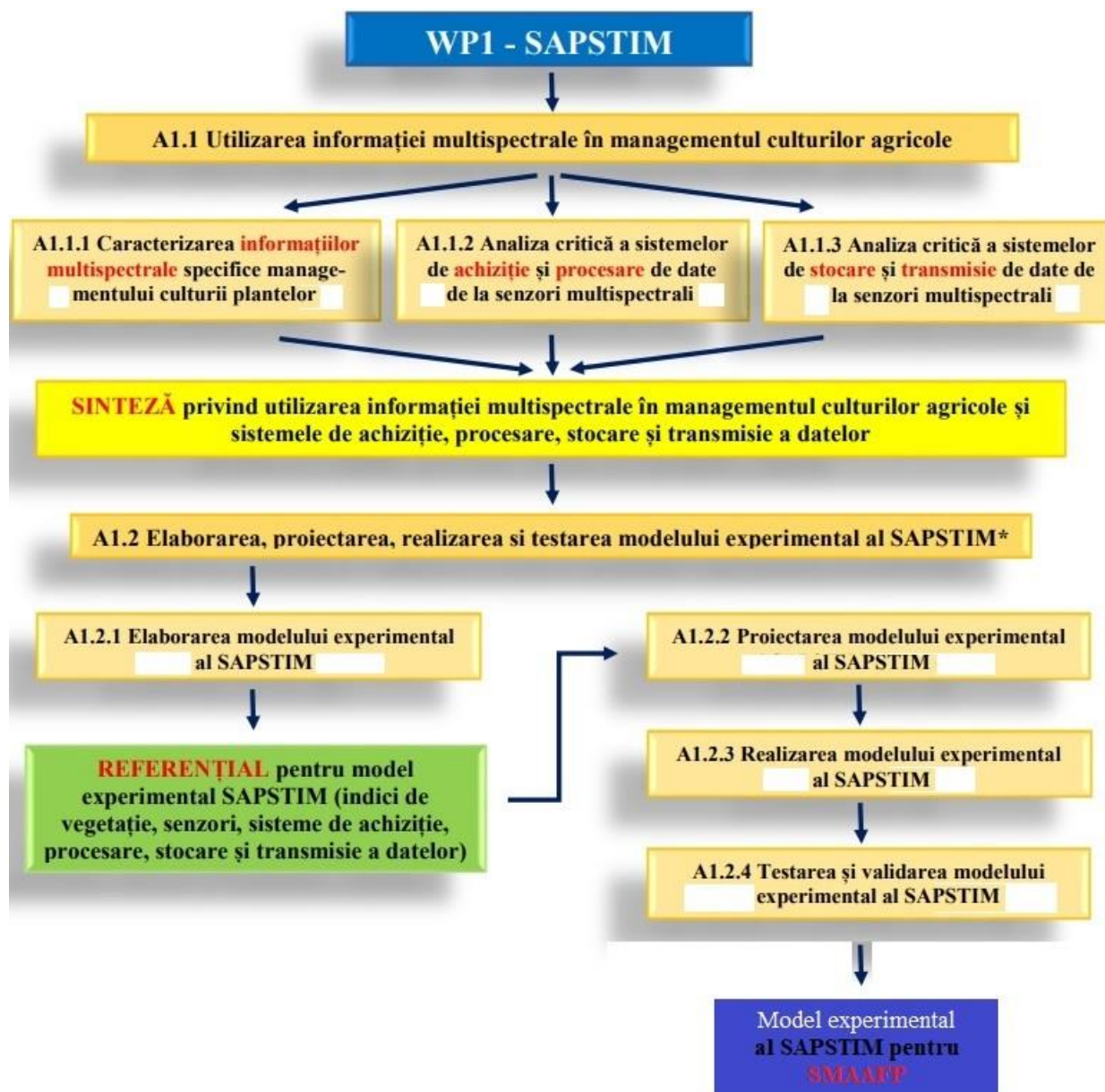


Figura 5. Modul de organizare aal cercetărilor pentru elaborarea, proiectarea, realizarea, testarea și validarea modelului experimental al SAPSTIM

Diapazonul lungimilor de undă aferent indicilor de vegetație este foarte mare și el poate fi acoperit integral, în faza de cercetare, prin intermediul unor senzori hiperspectrali. Senzorii multispectrali (de exemplu: Cropscan cu optică MSR87, respectiv MSR16R) pot furniza citiri pentru 16 lungimi de undă, cuprinse în intervalul 460 - 1500 *nm*. Însă aceștia pot fi completați cu echipamente care să permită efectuarea de măsurători și pentru alte lungimi de undă din domeniul 350 – 2500 *nm*.

În acest sens apare problema studiului complex pentru alegerea tipului/tipurilor de senzori ce pot fi utilizați în modelul experimental. Acești senzori trebuie să îndeplinească o serie de condiții esențiale pentru a fi folosiți în cadrul cercetării și trebuie să posede așa caracteristici importante cum ar fi:

- lățimea de bandă (350 – 2500 *nm*); greutatea pentru a fi montați pe Sistemul Multispectral Autonom Aerian fără pilot (SMAAFP) – dronă;
- integrarea în sisteme de achiziție de date programabile și reconfigurabile în funcție de cerințele modelelor create;
- utilizarea în condiții diferite de iluminare;
- utilizarea de la înălțimi diferite de măsurare.

Cu acest scop este necesar să studiem ofertele celor mai importante companii 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.

Tehnicile de măsurare utilizate în prezent se diferențiază prin tipul de mobilitate a sistemului de achiziție de date și pot viza [14]:

- 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, deltaplanelor, quad-coptere etc.) [12], [34] sau sateliți de observare [7].

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 eșantioane 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.

Procesul de dezvoltare se poate avea la bază 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 pot fi schițate conform Fig. 6 [17].

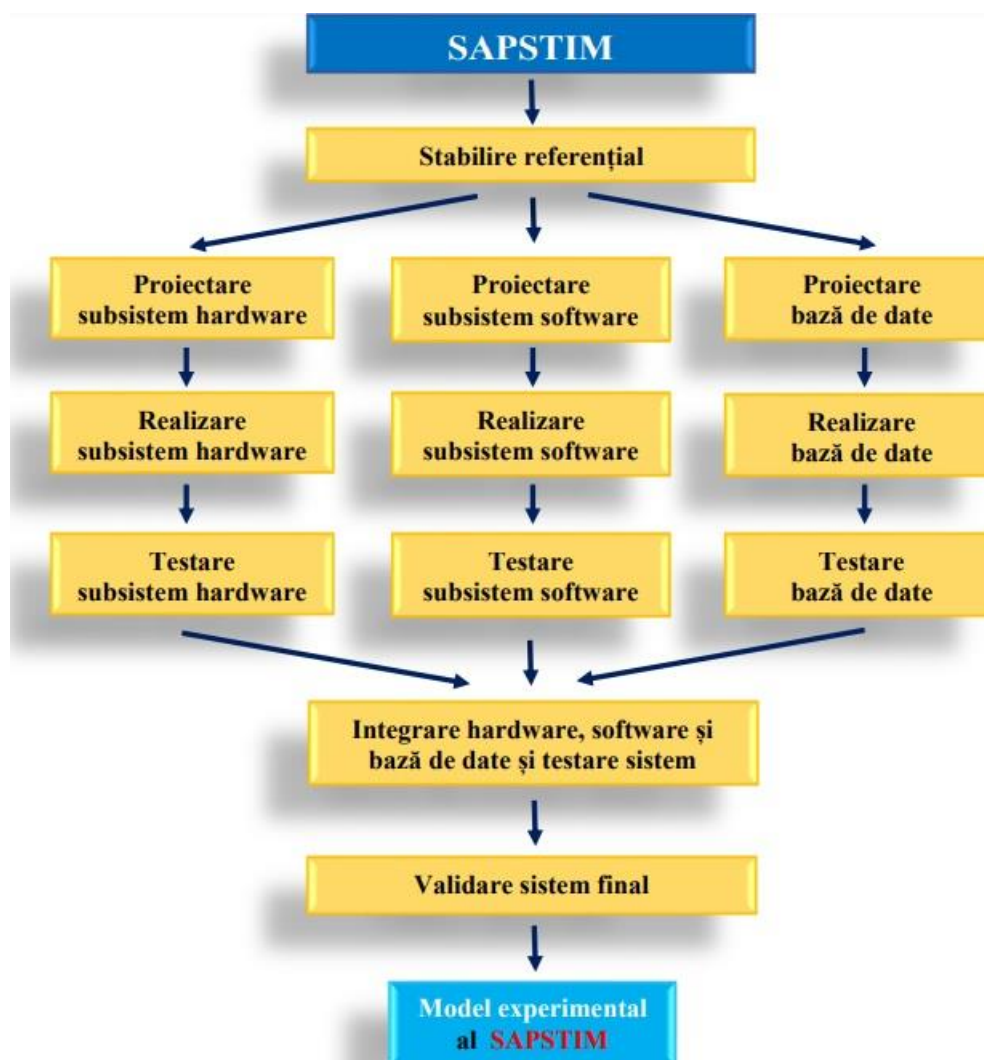


Figura 6. Etapele dezvoltării SAPSTIM

1. Stabilirea referențialului sistemului. Pornind de la conceptul agriculturii de precizie, cunoscând semnificația informațiilor multispectrale, având în vedere obiectivele propuse, la prima etapă trebuie să delimităm cerințele pe care sistemul de achiziție de date trebuie să le îndeplinească. Studiul amănunțit, critic, privind utilizarea informației multispectrale în managementul culturilor agricole va permite 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.

2. Proiectarea subsistemelor hardware, software și a bazei de date. După stabilirea referențialului se trece la proiectarea structurii subsistemului hardware, avându-se în vedere particularitățile elementelor componente precum și condițiile specifice de funcționare și relaționare. La alegerea componentelor vom fi nevoiți să luăm în considerare multiplele opțiuni disponibile pe piață precum proiectarea subsistemului software presupune 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.

Proiectarea bazei de date utilizate pentru stocarea informațiilor trebuie să aibă în vedere o soluție parametrizată utilizabilă pentru Sistemul Multispectral Autonom Aerian fără pilot (SMAAFP) în ceea ce privește transferul și procesarea datelor spectrale. Cu acest scop este necesar să definim o structură de bază de date ce va fi folosită în întregul proiect. Conform unei asemenea structuri vom putea face stoca și transfera informațiile de la SMAAFP către TIMMSVCA.

3. Realizarea subsistemelor hardware, software și a bazei de date se recomandă de realizat la nivel experimental. Evident că o mare parte a timpului alocat procesului de dezvoltare va fi utilizat pentru realizarea efectivă a software-ului.

4. Testarea subsistemelor hardware, software și a bazei de date trebuie făcută de către specialiști în domeniul programării împreună cu echipa de lucru deoarece este necesar de timp semnificativ pentru fiecare test și corectare a erorilor.

5. Integrarea subsistemelor hardware, software și a bazei de date și testarea sistemului trebuie să presupună punerea laolaltă a modulelor și funcționalităților dezvoltate separat, integrarea pentru o funcționare optimă, adaptarea și corectarea anumitor inconsistențe. Integrarea este un proces asiduu, deoarece la asamblarea modulelor pot apărea o serie de limitări ale microcontroller-ului și platformei de achiziție, care nu s-au manifestat în testele individuale. De asemenea, ne putem întâlni cu 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, trebuie analizate, corectate și validate rezultatele obținute de către sistem în totalitatea sa, raportat la obiectivele stabilite și trebuie evidențiate performanțele sistemului realizat.

Elaborarea modelului experimental al SAPSTIM destinat utilizării SMAAFP va lua în considerație gabaritul și consumul de energie al componentelor. Datorită acestor motive,



Figura 7. Soluția hardware aleasă pentru SAPSTIM ce poate fi montat pe SMAAFP

se va opta pentru un sistem de achiziție hiperspectral STS (de la Ocean OPTICS, de exemplu) care acoperă domeniile VIS (Visible) (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. 7).

Achiziția datelor experimentale de la cele două spectrometre (NIR și VIS) se va realiza printr-o platformă software 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. 8.

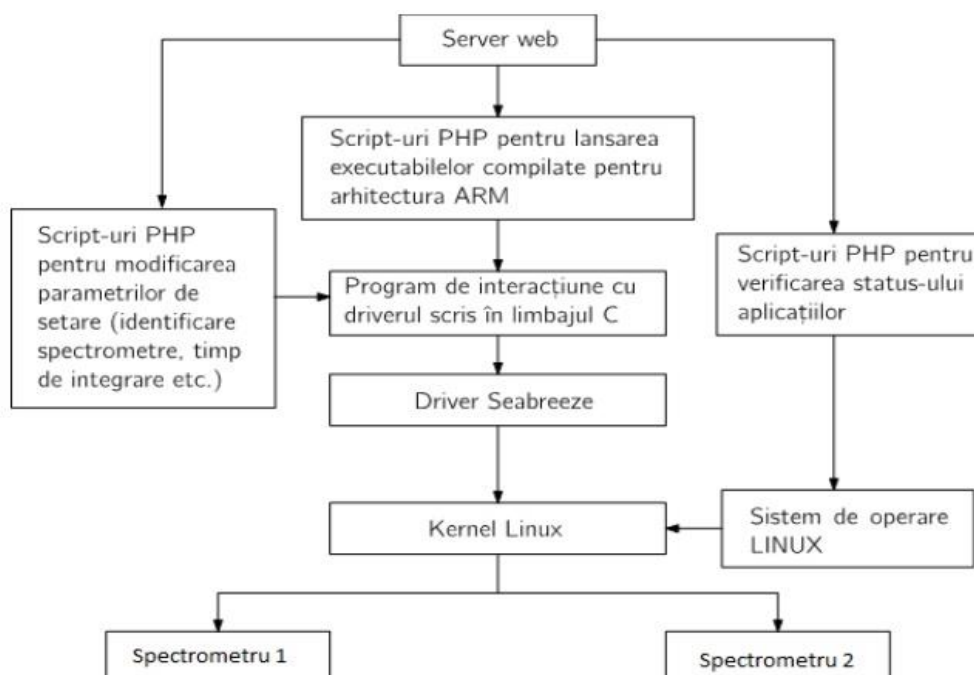


Figura 8. Soluția software dezvoltată pentru SAPSTIM ce poate fi montat pe SMAAFP

Aplicația are în componența sa programele scrise în limbajul C pentru interacțiunea cu driver-ele Seabreeze; script-urile PHP pentru comunicația dintre serverul web și executabilele compilate pentru arhitectura ARM (Advanced RISC Machines) și server-ul web Apache.

Deoarece pe parcursul realizării și testării modelelor experimentale ale SMAAFP modelul SAPSTIM va trece prin diverse faze de îmbunătățire în vederea montării și funcționării pe sistemele aeriene, soluțiile hardware și software elaborate vor fi refăcute de mai multe ori. Se poate de experimentat, cel puțin, în următoarele două variante:

- Sistemul de achiziție este realizat pentru un singur spectrometru. Acesta va fi conectat la o placă de tip SBC Single Board Computer Raspberry Pi 2. Cu ajutorul acestui spectrometru putem măsura mai întâi nivelul de referință, apoi să realizăm achiziția propriu-zisă de date. Astfel vom putea efectua măsurători separate pentru cele două domenii NIR și VIS (se schimbă spectrometrul), folosind software-ul distribuit prin STS Developers Kit.

- Sistemul de achiziție este realizat pentru 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 poate fi îl reprezintă faptul că în timpul măsurătorilor se poate modifica nivelul de referință prin schimbarea condițiilor meteo, spre exemplu.

- 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 poate fi dezvoltat pentru conectarea simultană a 4 spectrometre pe același SBC (Fig. 9).



Figura 9. Conectarea celor patru mini spectrometre la Raspberry Pi 3

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 ne putem confrunta pot fi 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. La asemenea întrebare, mai de grabă, nu veți primi răspuns, nici chiar de la producător.

În Fig.10 este prezentată schema bloc a structurii hardware a SAPSTIM ce va fi

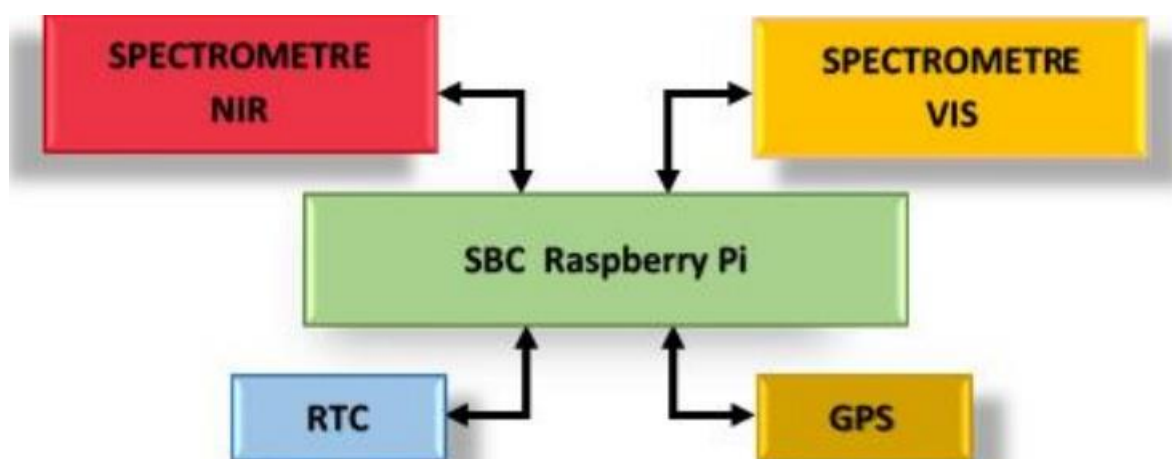


Figura 10. Structura hardware a sistemului de achiziție de date hiperspectrale plasat pe dronă plasat pe SMAAFP. Sistemul de achiziție include cele patru spectrometre miniatură Ocean Optics de tip STS, cu masa de 60g, aferente domeniilor vizibil (VIS, 350 – 800 nm) și infraroșu apropiat (NIR, 650 – 1100 nm), conectate la un calculator single-board de tip Raspberry Pi generația 3.

Pentru măsurarea timpului poate fi folosit 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.

În Fig.11 poate fi observată interacțiunea dintre modulele sistemului software al SAPSTIM pentru SMAAFP.

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.12.

Spectro

Identificare spectrometre

VIS: S04849 S08237
NIR: S02240 S02533

Nr. iteratii: Submit

Nr. iteratii curent: 20

Temp de integrare curent VIS: 20
Temp de integrare curent NIR: 20

Nivel zero

Nivel de referinta

Pornire achizitie

Shutdown

Nivelul de referinta a fost stabilit
Temp de integrare VIS: 20 ms
Temp de integrare NIR: 20 ms

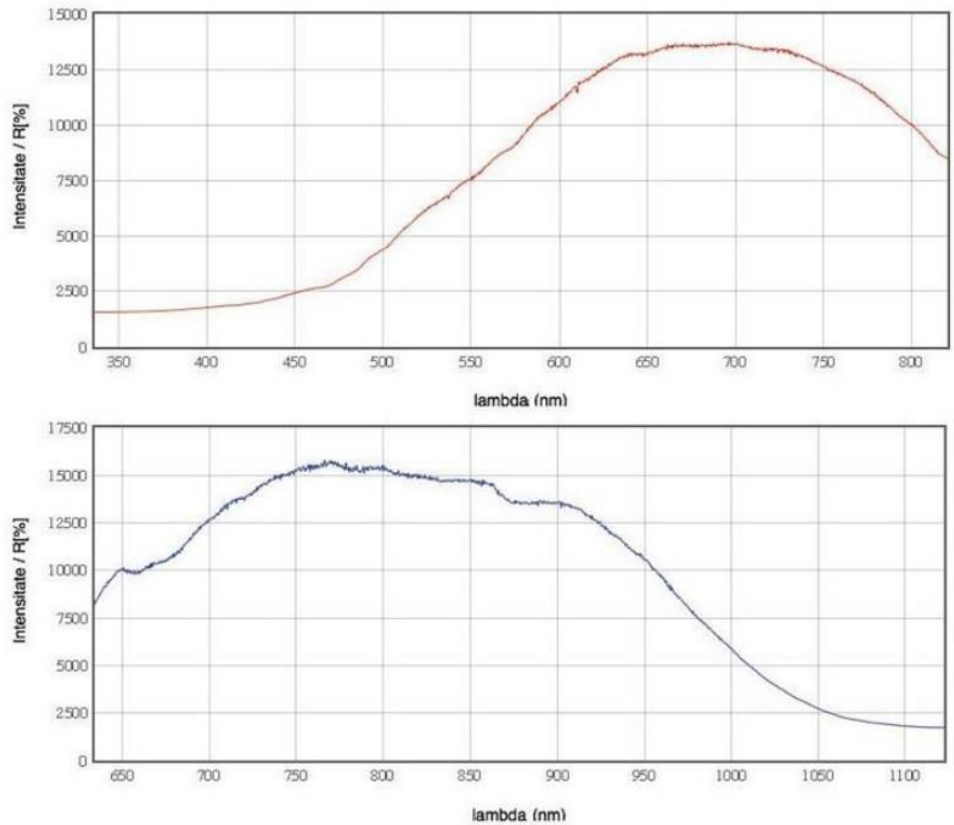


Figura 12. Interfața web a sistemului de achiziție de date. Etalonare spectrofotometre cu auto reglare a timpului de integrare în funcție de nivelul de iluminare

Pentru a testa modelele experimentale ale SAPSTIM, va fi necesar de realizat o serie de loturi

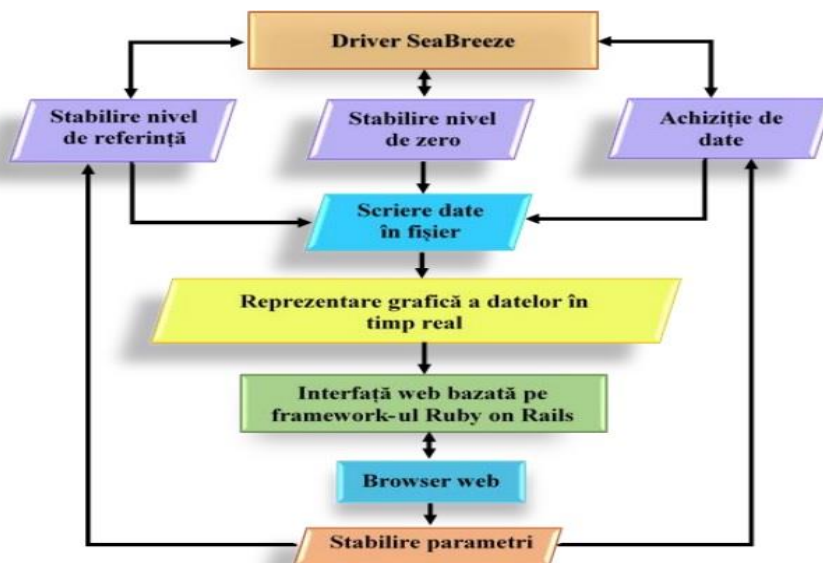


Figura 11. Modulele sistemului softwarw al SAPSTIM pentru SMAAFP și interacțiunea lor

demonstrative pe loturile pregătite special, în care s-au materializat condiții diferite ce influențează starea de vegetație a culturilor (în cazul dat a culturii de cartof).

În Fig.13 poate fi observată distribuția spațială a acestora, precum și o serie de grafice aferente diferitelor loturi la care măsurarea poate fi realizată cu SAPSTIM pentru SMAAFP. Loturile 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 loturilor, aplicându-se cantități diferite de îngrășăminte (D1, D2, D3).

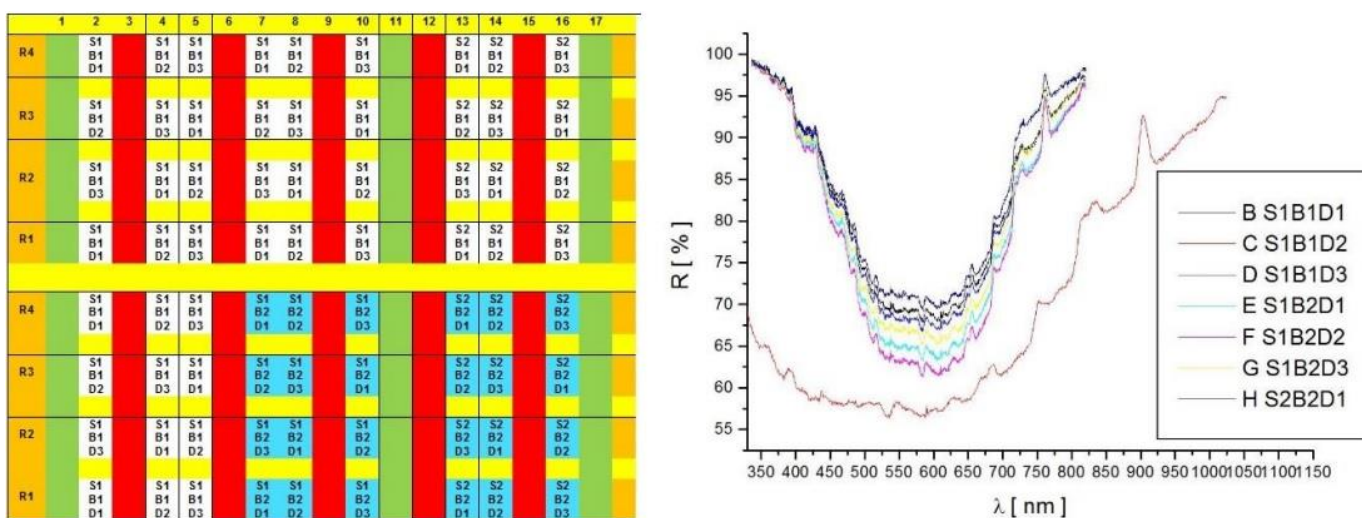


Figura 13. Distribuția spațială a loturilor și rezultatele pe care le putem obține la folosirea SAPSTIM pentru SMAAFP



Figura 14. Parcela de cartofi supusă experimentului

Pentru concretizare se recomandă de realizat măsurătorile și în regim static pentru validarea/nevalidarea modelului experimental.

IV. Sistemului Multispectral Autonom Aerian fără pilot (SMAAFP) de monitorizare multispectrală a stării de vegetație a culturilor agricole

Etaplele cercetărilor privind sistemul multispectral autonom aerian (SMAAFP) care va purta SAPSTIM deasupra culturilor vor demara în cadrul celui de-al doilea pachet de lucru. Aici se are în vedere elaborarea, proiectarea, realizarea, testarea și validarea celor două modele, experimental și respectiv funcțional al SMAAFP.

Etaplele cercetărilor care pot fi desfășurate în cadrul celui de-al doilea pachet de lucru sunt prezentate în Fig. 15.

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 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 pot executa următoarele tipuri de misiuni:

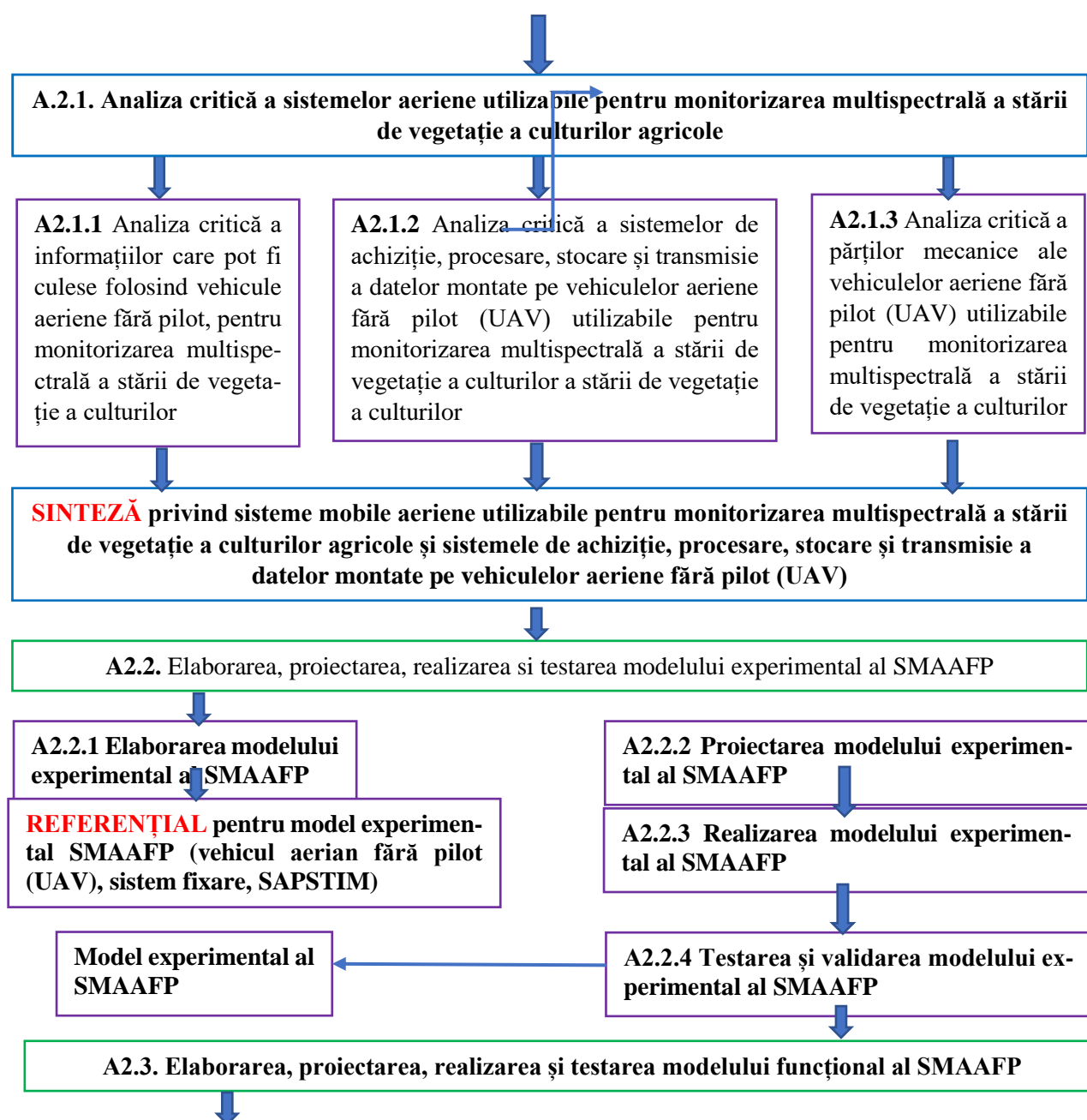
- monitorizare (spre exemplu zone de frontieră; trasee montane pentru prevenirea avalanșelor;
- monitorizarea cursurilor de apă în cazul pericolelor de inundații, căilor de comunicații rutiere, feroviare, fluviale;
- inspectarea rețelelor de transport pentru petrol, gaze, electricitate;
- cercetarea mediului înconjurător;
- monitorizarea incendiilor;
- monitorizarea lucrărilor agricole;
- monitorizarea/inspectarea stării de vegetație, culturilor 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.

Activitățile aferente pachetului de lucru WP-2 trebuie să conțină următoarele activități:

- studii ale stadiului actual asupra sistemelor mobile aeriene utilizabile pentru monitorizarea spectrală a stării de vegetație a culturilor agricole;

WP2 – SMAAFP



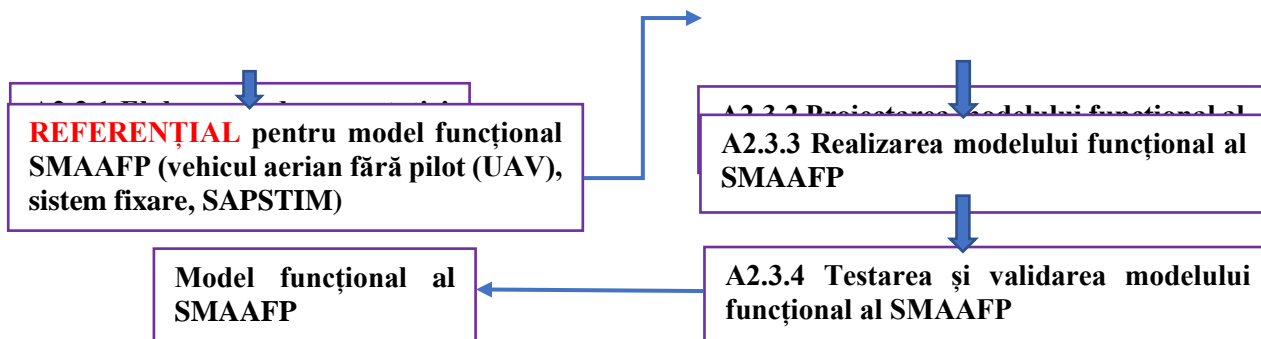


Figura 15. Modul de organizare al cercetărilor pentru elaborarea, proiectarea, realizarea, testarea și validarea modelelor experimental și funcțional ale SMAAFP

informare asupra datelor care pot fi culese folosind vehicule aeriene fără pilot, pentru monitorizarea multi sau hiperspectrală a stării de vegetație a culturilor;

- cercetarea structurii mecanice și elementelor componente ale UAV-urilor;
- direcționarea atenției către UAV-uri cu accent pe sistemele de achiziție, procesare, stocare și transmisie a datelor montate pe acestea.

Datorită faptului că în ultimii ani a avut loc o "explozie" pentru acest domeniu, putem cu certitudine să desprindem următoarele concluzii:

- Sistemele autonome aeriene fără pilot folosite pentru monitorizarea stării de vegetație a culturilor agricole se împart în două categorii: multicoptere și 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 de lucru trebuie să realizeze o analiză multicriterială privind RPAS-urile folosite în activitățile de monitorizare a stării de vegetație a culturilor agricole [5].

Criteriile care se vor afla la baza analizei sunt prezentate în Tabelul 2.

Tabel 2. Criteriile și domeniile de valori

Criteriul	Domeniul de valori
Costuri	
C1. Costuri de achiziție	300\$ – 12000\$
C2. Costuri de întreținere	0\$ – 800\$
Performanță de 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	8m/s – 25m/s
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 ani – 2 ani
C12. Dimensiuni- (Deschidere aripi/ Diametru)	0,3 m – 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

În structura unui SMAAFP 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.

Referențialul are în vedere următoarele condiții:

- Posibilitatea de integrare a SAPSTIM-ului. 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-ul trebuie să zboare, minim 2kg. Ulterior, după optimizări ale SAPSTIM sarcina poate fi redusă;

- 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:

- o RTL - întoarcerea la locul de decolare în cazul pierderii legăturii cu radiocomanda sau stația de la sol;

- o Fail safe de baterie;

- o Geofence: gard virtual care nu poate fi depășit, la atingerea lui UAV-ul revine la bază;

- o Avertizări privind parametrii de zbor emiși de stația de la sol;

- o Dublarea legăturilor de comandă - radiocomandă + stație de la sol;

- o Radiocomandă cu avertizare de limită de comunicație radio, cu sistem RSSI integrat, pentru identificarea poziției în caz de pierdere;

- o Înregistrarea traiectului pe stația de sol;

- o GPS/GSM tracker.

Pentru programarea autopilotului poate fi 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.

Modelul funcțional trebuie proiectat, realizat și supus diferitelor teste de zbor care să se succedă cu succes (Fig. 16).

Componente hardware:

- structură octocopter cu 4 brațe din carbon și sistem de prindere motoare side by side, distanța între axele motoarelor pe diagonală este de 850 mm;

- carcasă de protecție pentru sistemul electronic;



Figura 16. Modelul funcțional a octocopter-ului (planificare misiuni de zbor folosind Mission Planner și imagini de la testări)

- Power Distribution Board integrat;
- autopilot 3DR Pixhawk cu GPS neo7+;
- senzor de curent de 180 A; senzor de tensiune;
- sistem de telemetrie cu frecvență de 433 MHz cu kit extra – range;
- 8 motoare T-Motors Navigator Series;
- ESC 40 A;
- elice carbon 14 x 4,8; radiocomandă 2,4 Ghz, 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 800 mW 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 5000 mAh;
- Li-Po safer;
- RC finder (emițător sonor pentru determinarea poziției) [18].

De asemenea poate fi realizat un model funcțional al sistemului de achiziție de date (SAPSTIM) pentru dronă, în versiunea cu 4 spectrometre și un sistem de montare a acestuia pe dronă.

V. 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 aerian va demara în cadrul celui de-al treilea pachet de lucru. Etapele cercetărilor desfășurate din cadrul acestui pachet de lucru sunt prezentate în Fig. 17.

Pentru elaborarea TIMMSVCA este necesar să respectăm următoarea consecutivitate:

- stabilirea unui referențial pe care tehnologia va trebui să-l respecte;

- concentrarea tuturor eforturilor cercetătorilor atât pe partea de hardware, cât și pe cea de software;
- acordarea unei atenții deosebite 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;
- 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.

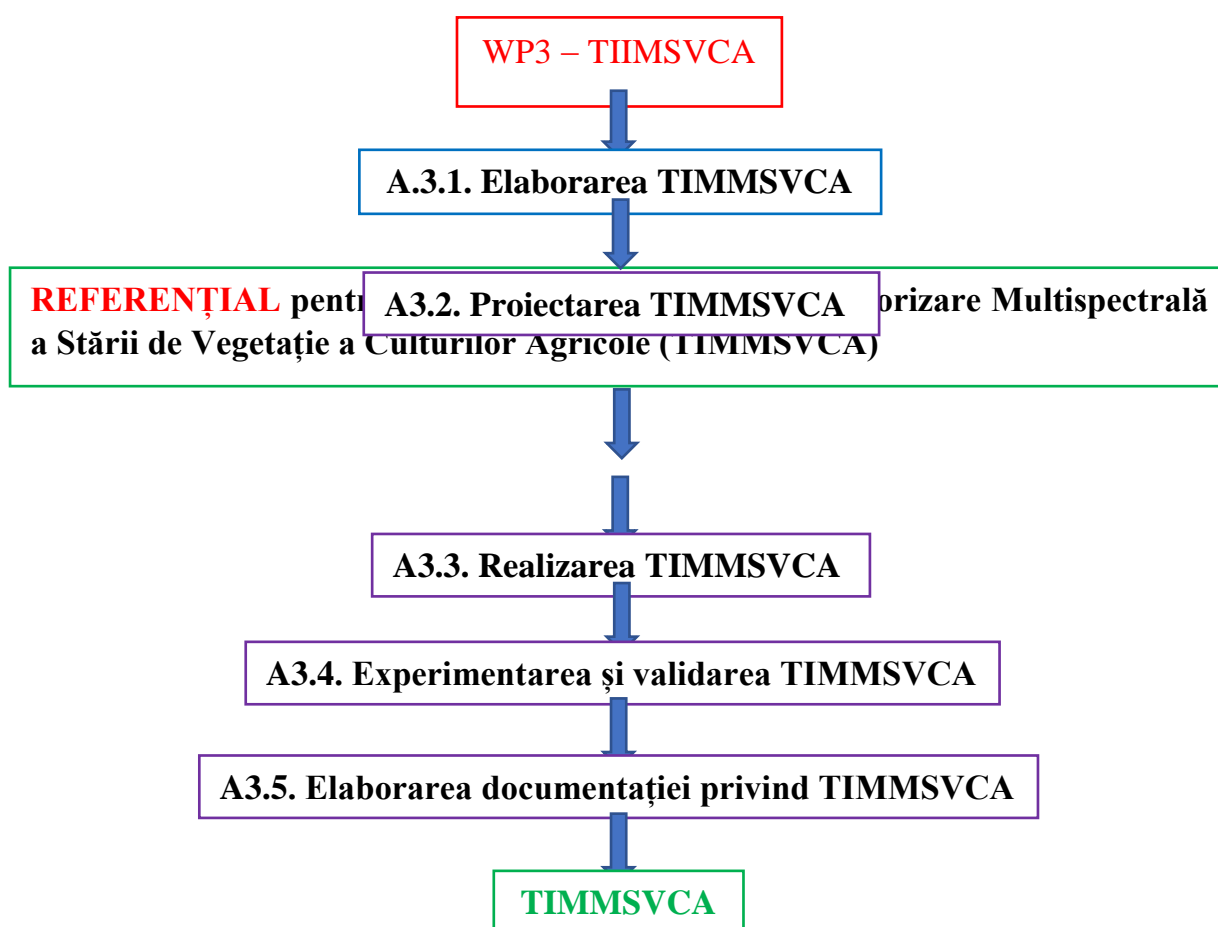


Figura 17. Modul de organizare al cercetărilor pentru elaborarea, proiectarea, realizarea, testarea și validarea modelelor experimental și funcțional

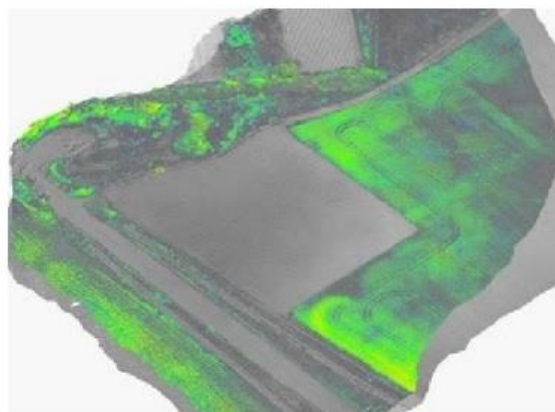
În baza referențialului stabilit, pentru realizarea, experimentarea și validarea TIMMSVCA prin Sisteme Multispectrale Autonome Aeriene fără pilot (SMAAFP), se recomandă de realizat o platformă experimentală (Fig. 18a) materializată printr-o experiență polifactorială (2 soiuri x 2 niveluri de irigație x 3 niveluri de fertilizare x 5 repetiții). Platforma experimentală trebuie 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:

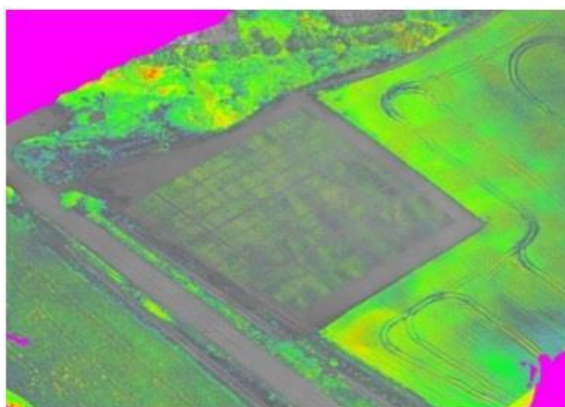
- solul (pedologic, agrochimic, conductibilitate electrică – VERIS – NIRS/EC/3150, umiditate – TDR/300, compactare sol – SC/900, etc.);
- dinamica elementelor climatice în aer (stația meteo DACOM) și pe profilul de sol (60 cm, senzor de umiditate și temperatură DACOM);
- elementele tehnologice (pregătirea terenului, plantarea, întreținerea culturii, controlul bolilor și dăunătorilor, recoltarea);
- starea de vegetație (observații terestre: vizual, imagistic – camera foto, amprentă spectrală – Cropscan/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.).



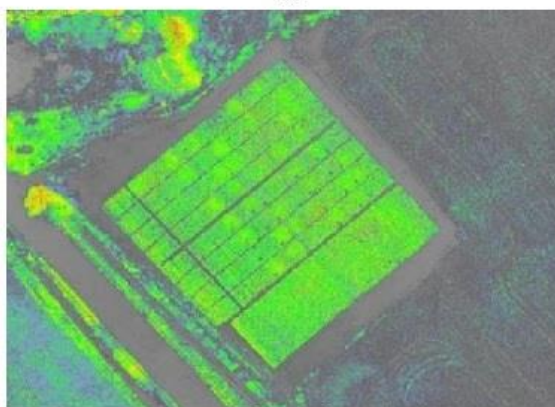
a.



b.



c.



d.

Figura 18. Platforma experimentală pregătită și utilizată în vederea asigurării variabilității necesare validării măsurătorilor efectuate cu senzori specifici folosiți în sistemele SMAAFP și TIMMSVCA

Toate informațiile aferente întregului ciclul de vegetație trebuie achiziționate, procesate și interpretate. Imaginile din Fig. 18 b, c, d pot fi 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. 18 b – imediat după plantarea culturii agricole: în jurul parcelei ce apare cu nuanțe de gri se pot vedea zonele cu triticale în vegetație – nuanțe de verde;
- Fig. 18 c – după răsărirea completă a culturii agricole: se pot vedea diferențele dintre variante (nuanțe de verde pal) și triticalele aflate în plină vegetație (nuanțe de verde intens);
- Fig. 18 d – realizată în plină vegetație a culturii agricole: diferențele dintre variante la cartof, de exemplu, 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).

VI. Concluzii privind activitățile desfășurate în cadrul direcției de cercetare.

APLICAȚII ALE SISTEMELOR AVANSATE ÎN AGRICULTURA DE PRECIZIE

În urma realizării activităților enunțate putem obține următoarele 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.
- Sistem Multispectral Autonom Aerian fără pilot (SMAAFP) – Model experimental al unui Sistem Multispectral Autonom Aerian fără pilot folosit pentru monitorizarea stării de vegetație a culturilor.
- Sistem Multispectral Autonom Aerian fără pilot (SMAAFP) – Model experimental al unui Sistem Multispectral Autonom Aerian fără pilot folosit pentru monitorizarea stării de vegetație a culturilor.
- Aplicații posibile cu potențial de piață: comercializarea prin transformarea modelelor funcționale în produse comerciale, cu parcurgerea pașilor corespunzători, o extindere către alte unități potențial beneficiare, putând să ofere agriculturilor sau institutelor de cercetare de profil două 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 Sistemelor Multispectrale Autonome Aeriene fără pilot dezvoltate în această cercetare, pentru

prestarea unor servicii de monitorizare multispectrală a stării de vegetație a culturilor agricole.

b) A doua variantă, mai ridicată din punct de vedere financiar, o reprezintă monitorizarea de precizie folosind SMAAFP în versiune comercială și interpretarea rezultatelor cu ajutorul TIMMSVCA.

- Rezultatele obținute pot fi aplicate în mediul educațional și în continuarea activităților de cercetare pe direcția agriculturii de precizie.

Utilizarea Sistemelor Multispectrale Autonome Aeriene fără pilot de monitorizare multispectrală a stării de vegetație a culturilor agricole va conduce la rezultate semnificative privind îmbunătățirea calității vieții prin creșterea preciziei managementului agricol cu impact major economic și de protecție a mediului. În acest sens se realizează:

- 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).

De 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.

Cercetările realizate în această lucrare ne conduc la următoarele propuneri 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;
- Publicarea unei cărți în edituri recunoscute;
- Publicarea unei cărți într-o editură internațională;
- Adaptare a programelor analitice ale disciplinelor la cerințele și evoluția pieței muncii (familii noi de microprocesoare și microcontrolere, tipuri noi de automate programabile, tehnici noi de inteligență artificială, metode noi în informatica medicală etc.).

VII. CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMDĂRI DE POLITICI

Concluzii

- În agricultura de precizie munca fizică este substituită cu cea intelectuală, cu reducere de resurse umane până la valoarea unitară pe o fermă (complet cibernetizată), cu o ergonomie cognitivă de excelență și o productivitate extrem de ridicată.
- Implementarea conceptului agriculturii de precizie, oferă premize de sporire a productivității, reducere a cheltuielilor de producție și minimizare a efectelor negative asupra mediului.
- Implementarea dronelor în agricultură va permite industriei alimentare să ajungă la un nivel calitativ nou de producție, care va falicita (prin intermediul unor schimbări în politicile guvernamentale privind sprijinirea agriculturii) companiile agricole să concureze eficient pe piața internațională.
- Agricultura de Precizie este un instrument adecvat și relevant care contribuie la creșterea productivității în special pentru agricultorii cu posibilități financiare reduse, îmbunătățirea semnificativă a securității alimentare și creșterea veniturilor.
- Agricultura de Precizie poate consolida lanțul alimentar la nivel national și regional creând unul dintre cele mai "fierbinți sectoare pentru cercetare și investiții în tehnologie" cât și oportunități majore pentru inovații.
- În cazul dronelor moderne și GPS-urile de ghidare pentru fermieri nu este obligatoriu să înțeleagă principiile de funcționare a dispozitivelor respective dar este mai mult decât necesar să înțeleagă procesul de utilizare a noilor tehnologii în soluționarea probelemelor practice din agricultură. Odată ce acest lucru se va întâmpla fermierii se vor convinge de creșterea semnificativă a productivității în agricultură.

Recomandări de politici privind intensificarea procesului de implementarea dronelor în agricultura de precizie

Piața dronelor care ar putea să opereze anual în domeniul agriculturii în Republica Moldova se estimează la circa 600-700 de drone. Costul unei drone moderne variază de la 17-20 mii de euro. Utilizarea dronelor modern în agricultură, contribuie direct la îmbunătățirea calității vieții a populației, sporind bunăstarea nu numai a locuitorilor din mediul rural, dar și al întregii societăți. În scopul dezvoltării unei agriculturii de precizie și creșterea productivității agricole în Republica Modernă se propune implementarea următoarelor:

- 1) Elaborarea de către Ministerul Agriculturii și Industriei Alimentare a unei *Foi de Parcurs privind dezvoltarea Agriculturii de Precizie* în care s-ar puncta o listă consolidată de măsuri, angajamente și termene de implementare a acțiunilor în vederea implementării dronelor în agricultura modernă și în mod special în agricultura de precizie cu accent special pe:

- Constituirea unui Fond special, cu surse de la stat și private, pentru susținerea tuturor companiilor agricole, inclusiv cele cu posibilități financiare medii, pentru procurarea și utilizarea tehnologiilor de ultimă oră în agricultura modernă;
- Organizarea și desfășurarea sistematică la nivel national a trainigurilor și seminarelor pentru fermieri privind utilizarea dronelor în agricultura de precizie;
- Încurajarea companiilor private specializate în utilizarea dronelor pentru acordarea de servicii calitative și accesibile companiilor agricole privind implementarea dronelor în agricultură.
- Elaborarea de regulamente și ghiduri pentru fermieri privind utilizarea dronelor referitor la:
 - Cartografierea exactă a zonelor agricole pentru realizarea unor baze de date;
 - Implementarea dronelor multispectrale (viteză de 47 km/h și zboară la o înălțime de maxim 100 de metri) la dezvoltarea imageriei multispectrale a plantațiilor agricole, informative importantă pentru specialiștii din agricultură;
 - Măsurarea sănătății plantelor, pentru luarea unei decizii "fitosanitarre" corecte, în funcție de numărul de plante afectate;
 - Identificarea culturilor problematice (cu câteva săptămâni înainte de apariția semnelor fizice), ceea ce ar conduce la estimarea cu exactitate a ratei de randament și ulterior la aplicarea corectă a îngrășămintelor, etc., prin intermediul dronelor
 - Evaluarea corectă a daunelor și atenuarea pierderilor după un eveniment meteo extrem sau răspândirea unei anumite boli; inspectarea și evaluarea exacta prin intermediul dronelor a pagubelor provocate de schimbările climatice, dăunători sau calamități, incendii care ar conduce la luarea unor decizii, corecte.
 - Intensificarea procesului de polenizare și utilizarea tehnologiilor moderne pentru semănarea culturilor agricole prin intermediul dronelor;
 - Promovarea și implementarea pe larg a dronelor în procesul de stropire, pulverizare a plantațiilor. Drona poate zbura la 3-4 metri înălțime de asupra culturilor cu o viteză de 25 km/h utilizând circa 20-25 de litri de amestec pe hectar, în loc de 300-350 litri prin intermediul tehnologiilor tradiționale. Astfel, grație dronelor culturile sunt pulverizate cu picături de circa 130-210 microni, astfel încât lichidul se lipește de plantă și nu mai e nevoie de stropit cu cantități enorme de apă, economisându-se cantități substanțiale de apă;
 - Deoarece Agricultura de Precizie se află doar la stadiul inițial de dezvoltare, este necesară o analiză sistematică profesionistă pentru fermieri și publicul larg, din partea autorităților și experților privați, în procesul de extindere a conceptului respectiv în agricultura moldovenească, privind modalitățile de creștere a profitabilității companiilor agricole cât și reducerea impactului negativ asupra mediului prin operarea precisă, normată și calitativă a lucrărilor agricole

tehnologizate cât și a preparatelor chimice conform standardelor stabilite și necesităților identificate.

- Lansarea la nivel național a unei companii de educație, pentru o perioadă de 3-5 ani, pentru fermieri privind beneficiile care țin de utilizarea dronelor în agricultură;
- Promovarea prin intermediul societății civile a celor mai Bune Practici privind utilizarea dronelor în agricultura de precizie; Diseminarea pe scară largă a a celor mai bune rezultate în Agricultura de Precizie.

BIBLIOGRAFIE

1. 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
2. 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
3. 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
4. Brown J. H. From precision farming to autonomous farming: How commodity technologies enable revolutionary impact, 2013, <http://robohub.org/fromprecision-farming-to-autonomous-farming-how-commodity-technologies-enablerevolutionary-impact/>
5. 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
6. 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
7. 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
8. 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
9. 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
10. 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

11. 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
12. 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; pp. 2529 – 2551
13. 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, pp. 1121 – 1142
14. 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
15. Mahlein, AK et al., Recent advances in sensing plant diseases for precision crop protection, European Journal of Plant Pathology; May, 2012, 1331, pp. 197 – 209, Special Issue: SI
16. Ministerul Mediului și Schimbărilor Climatice – Cod de bune practici agricole.
17. 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”
18. 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”
19. Myneni R.B., Williams D.L., On the relationship between FAPAR and NDVI. Remote Sens. Environ. 49: 200 – 211, 1994
20. Naik NS. et al., Precision agriculture robot for seeding function, International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT), 2016, DOI: 10.1109/INVETIVE.2016.7824880
21. North P.R.J., Estimation of fAPAR, LAI, and vegetation fractional cover from ATSR-2 imagery. Remote Sens. Environ. 80: 114 – 121, 2002
22. 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
23. 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

24. 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

25. 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.

26. 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

27. Puiu, I., Studiul producției de cartof în funcție de diversitatea spațială a resurselor, Teză de doctorat, Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară ClujNapoca, Facultatea de Agricultură, 2014

28. 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.

29. 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

30. 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

31. 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

32. 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

33. 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

34. Zhang Chun Hua; Kovacs, J. M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review, *Precision Agriculture* 13 (6) Amsterdam: Springer, 2012, 693 – 712.