

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

PROTECȚIA INFRASTRUCTURILOR CRITICE. CERCETĂRI PRIVIND DEZVOLTAREA UNUI ECHIPAMENT DE MONITORIZARE INTEGRATĂ, ANALIZĂ ȘI CONTROL AL PRINCIPALILOR FACTORI FIZICO-CHIMICI DE MEDIU IMPLICAȚI ÎN CREȘTEREA PLANTELOR ÎN MEDIU CONTROLAT

Doctorand: dipl. ing. Cornea Olimpiu-Ovidiu,

Conducător Științific: Prof. Univ. Dr. Camen Dorin-Dumitru

Protecția infrastructurilor critice este o obligație legală a fiecărui stat și este reglementată prin legi și norme de aplicare în ceea ce privește măsurile juridice, prin ghiduri de bună practică și standarde în ceea ce privesc măsurile tehnice și organizatorice de protejare. Printre sectoarele desemnate ca infrastructură critică se află sectoarele Apă, păduri și mediu și Alimentație și agricultură. Gestionarea sistemelor de ventilație, răcirea, încălzirea, îmbogățirea cu dioxid de carbon, managementul luminii, au devenit normalitate în serele moderne.

Având în vedere că în țara noastră gradul general de automatizare în domeniul creșterii plantelor nu este foarte ridicat, colaborarea multidisciplinară în scopul dezvoltării unui echipament care să monitorizeze și controleze o parte semnificativă a factorilor fizici și chimici de mediu ce concură la creșterea optimă a plantelor în spațiile controlate, este binevenită și așteptată.

Dezvoltarea unui astfel de echipament este importantă în special datorită scăderii dramatice a timpului de reacție între apariția/constatarea unei probleme (lipsa hidratării, insuficiența nutrienților, lumina și căldura excesivă sau insuficientă, etc) și reacția factorului de decizie, implicat aplicarea de măsuri.

Prin aceasta lucrare ne-am dorit să aducem în atenție un subiect de actualitate, altul decât cele abordate până în prezent, care tratează posibilitatea de dezvoltare a unei platforme de monitorizare și control al principalilor factori fizico-chimici de mediu implicați în creșterea plantelor în spații controlate.

Actualitatea temei alese se justifică prin informațiile și datele obținute din corelarea parametrilor monitorizati și analiza influențării reciproce dintre aceștia.

Tematica abordată evidențiază faptul că lucrarea se adresează atât cercetătorilor cât și specialiștilor în creșterea plantelor.

Dezvoltarea unui astfel de echipament este importantă în special datorită scăderii dramatice a timpului de reacție între apariția unei probleme (lipsa hidratării, insuficiența nutrienților, lumina și căldura excesivă sau insuficientă, etc) și reacția factorului de decizie, implicit aplicarea de măsuri.

Teza de față nu își propune înlocuirea factorului uman în acest domeniu de activitate, dar își propune culegerea, monitorizarea, analiza și controlul unor valori ai parametrilor esențiali în creșterea plantelor și integrarea acestora într-un "tablou de bord" pus la dispoziția specialistului și factorului de decizie dintr-o exploatație agricolă.

La nivel global, datorită prețului devenit accesibil al componentelor electronice necesare unui proiect de monitorizare și control al parametrilor fizico-chimici implicați în creșterea plantelor, o serie de universități, cercetători, investitori și pasionați de automatizări au sprijinit dezvoltarea unor astfel de proiecte în cele mai diverse țări. Totuși, majoritatea proiectelor dezvoltate se rezumă la a rezolva punctual câteva probleme practice cum ar fi, monitorizarea și controlul temperaturii, iluminării, irigării plantelor și mai puține sunt axate pe cercetare sau pe monitorizarea și controlul unui număr mare de parametri.

Ne referim în acest proiect la monitorizarea următorilor parametri: temperatura atmosferică, umiditatea atmosferică, nivelul de CO₂ din atmosferă, presiunea atmosferică, nivelul de iluminare, temperatura solului, umiditatea solului, pH-ul solului, electroconductivitatea solului, cantitatea relativă estimată indirect de N, P, K din sol și analiza spectrometrică a aparatului foliar.

În medii controlate, factorii fizici și chimici monitorizați în timp real și al căror control este la ora actuală uzual automatizat sau semi-automatizat, sunt: temperatura ambiantă, umiditatea aerului, umiditatea solului, temperatura solului, intensitatea luminoasă.

Parametrii fizico-chimici rar monitorizați în timp real: pH-ul solului, electroconductivitatea, calitatea luminii (compoziția spectrală a luminii), nivelul de CO₂, nivelul micro și macroelementelor, administrarea fertilizatorilor odată cu irigarea, rata de creștere a plantelor.

Monitorizarea și controlul principalilor factori fizico-chimici în scopul automatizării creșterii plantelor pe toată durata de viață a culturilor nu este implementată pe scară largă. Deasemenea, sunt rare cazurile în care mulți parametri sunt monitorizați, analizați și corelați de către un singur sistem în mod unitar și integrat.

Principalul scop al proiectului este de a demonstra posibilitatea dezvoltării unui sistem cu costuri reduse, folosind tehnologii accesibile, cel puțin în faza de cercetare hardware opensource și o serie de senzori specifici, pentru a demonstra fezabilitatea dezvoltării unui astfel de proiect la costuri rezonabile. În scopul cercetării influenței factorilor de mediu asupra dezvoltării și creșterii optime a plantelor, valorile acestor parametri vor fi stocate și analizate în scopul detectării și validării unor corelații între acești parametri și diverse anomalii apărute pe parcursul creșterii și dezvoltării unor culturi, pe întreaga perioadă de viață a acestora. Sistemul este destinat creșterii plantelor în medii controlate de tipul serelor, dar cu un minim de efort poate fi adaptat altor situații în foarte multe domenii de activitate. Scopul sistemului este de a ușura luarea unor decizii și de a automatiza o parte din activități, venind astfel în sprijinul producătorilor agricoli de nivel mic, mediu și industriali, a cercetătorilor în domeniul creșterii plantelor și celor ce monitorizează diverși parametri de mediu în scop statistic sau științific.

Sistemul va analiza următorii parametri cu o precizie rezonabilă, fără a-și propune obținerea acurateței echipamentelor de laborator, extrem de scumpe: temperatura, umiditatea și presiunea atmosferică, deasemenea nivelul de CO₂, temperatura, umiditatea, pH-ul, EC-ul solului și analiza spectrofotometrică a aparatului foliar.

Materialul biologic utilizat în vederea efectuării cercetărilor a constat în două culturi aflate în mediu controlat respectiv o cultură de tomate și una de căpșuni.

Obiectivul principal al cercetărilor a fost dezvoltarea unui echipament de monitorizare integrată și control al principalilor factori fizico-chimici de mediu implicați în creșterea plantelor în mediu controlat;

Obiectivele specifice au fost următoarele:

Determinarea unor parametri fizico-chimici din sol utilizând diferite tipuri de senzori electronici

Studierea unor parametri fiziologici și fizico-chimici la specii de plante în spații protejate cu ajutorul unui sistem de senzori integrat la arbuști fructiferi – cultura căpșuni

Studierea unor parametri fiziologici și fizico-chimici la specii de plante în spații protejate cu ajutorul unui sistem de senzori integrat la specii legumicole – cultura tomate

Compararea unor tehnologii și abordări alternative pentru realizarea temei propuse

Deschiderea unor direcții noi de cercetare și dezvoltare

Echipamentele electronice au constat într-o serie de senzori testați, calibrați și validați, conectați la o placă de calcul și o placă de comunicații ethernet. În vederea calibrării și validării rezultatelor au fost utilizate echipamentele laboratorului Oficiului de Studii Pedologice și Agrochimice Timiș.

Principalele etape de desfășurare a cercetărilor au fost următoarele: stabilirea culturilor în vederea desfășurării cercetărilor, stabilirea parametrilor de studiat, stabilirea bazei de cunoaștere în vederea efectuării cercetărilor, alegerea componentelor tehnice și testarea în condiții reale, calibrarea senzorilor cu ajutorul echipamentelor de laborator, efectuarea măsurătorilor, prelucrarea statistică a datelor obținute, enunțarea concluziilor, stabilirea direcțiilor de cercetare viitoare.

În ceea ce privește compararea rezultatelor obținute în analiza solului între valorile date de senzorul utilizat și rezultatele laboratorului Oficiului pentru Studii Pedologice și Agrochimice Timiș, între acestea nu au fost diferențe semnificative statistic, valorile fiind omogene, încadrându-se în intervalul propus de +/- 15%. Studiul a concluzionat că utilizarea senzorului propus, în cazul analizării calitative a solului poate fi făcută fără rezerve pentru tipurile de sol studiate cu condiția ca acesta să fie calibrat anterior corespunzător.

În cazul analizării cantitative a solului, senzorul poate fi utilizat cu condiția unei calibrări inițiale pentru fiecare tip de sol ales. În studiul efectuat au fost determinate 5 intervale necesare de calibrare.

În cazul experimentelor efectuate s-a ajuns la următoarele concluzii: în cazul componentei 1 care a reprezentat 71.92% din varianta totală, s-au constatat corelări între parametrii studiați: temperatura din solar, corelație -0.965, contribuția 13%, temperatura din sol, corelație -0.963, contribuția 12.9%, fenofaza, corelație -0.95, contribuția 12.5%, reflectanța 410, corelație +0.94, contribuția 12.4%, iluminarea din solar, corelație -0.85, contribuția 10.1%, P din sol,

corelație -0.845, contribuția 9.9%, K din sol, corelație -0.84, contribuția 9.9%, sEC, corelație -0.758, contribuția 8.0%, spH, corelație -0.68, contribuția 6.4% spre exemplu.

În cazul experimentelor privind studierea unor parametri fiziologici și fizico-chimici la specii de plante în spații protejate la specii legumicole la cultura de tomate s-a ajuns la următoarele concluzii: în cazul componentei 1 care a reprezentat 58.64% din varianța totală și include variabilele cu cei mai mari coeficienți de corelație: fenofaza [-0.882], temperatura [-0.889], CO2 [-0.888], kluxsolar [-0.711], stemp[-0.82], sec[-0.745], sK[-0.825] și reflectanța 410 [0.956].

În urma experimentelor privind comparația la cultura căpșuni în aer liber a valorii SPAD cu NDVI și cu cele 18 reflectanțe analizate (410, 435, 460, 485, 510, 535, 560, 585, 610, 645, 680, 705, 730, 760, 810, 860, 900 și 940nm) s-a concluzionat ca atât SPAD cât și NDVI_{sat}, se corelează liniar [o corelație puternică, asigurată statistic la nivel $\alpha=0.1\%$] cu aceleși reflectanțe [535, 560, 585, 610, 645, 680 și 705], excepție reflectanta 560, al cărei coeficient de corelație cu NDVI_{sat} este asigurată statistic la nivel $\alpha=1\%$].

În urma experimentelor privind indicele optic de vegetație SD585-560 (original) la cultura de căpșuni se desprinde concluzia ca valoarea acestui indice devine pozitiv (cel puțin în cazul echipamentului dezvoltat de noi) pentru aparatul foliar al căpșunilor, la plantele afectate de anumite carențe sau anomalii. Cu cât valoarea indicelui este mai mare cu atât planta este mai depreciată sau afectată.

În urma experimentelor efectuate privind comparația SPAD vs reflectanță la tomate în solar s-a constatat că există o corelație liniară asigurată statistic între SPAD și reflectanțele: 425, 460, 485, 510, 535, 560, 585, 610, 645, 680, 705, 730, și 810, coeficienții de corelație sunt de la semnificativ la foarte semnificativi. Astfel, SPAD se corelează: foarte strâns cu: 510, 535, 560, 585, 610, 645, 680, 705 – coeficientul de corelație asigurat statistic la nivel $\alpha = 0.1\%$, adică o corelație foarte semnificativă; strâns cu reflectanțele: 485 și 730 – coeficientul de corelație asigurat statistic la nivel $\alpha = 1\%$, adică o corelație distinct semnificativă; slab cu: 425, 460 și 810 – coeficientul de corelație asigurat statistic la nivel $\alpha = 5\%$, adică o corelație semnificativă.

În urma experimentelor efectuate privind comparația SPAD vs indici de vegetație la tomate în solar s-a constatat că există o corelație liniară asigurată statistic între SPAD și oricare dintre indicii de vegetație există o corelație foarte strânsă, astfel: corelație pozitivă cu: mACI[r=0.93***], NOU[r=0.94***], MTCI[r=0.96***], CI_re[r=0.97***], NDVI_{loc}[r=0.90***], rDVI[r=0.90***], SR800/560[r=0.90***], SR800/670[r=0.89***] și

SR750/705[r=0.97***], coeficienții de corelație variază între 0.89 și 0.97; corelație negativă cu: Reflgen[r=-0.88***], ACI[r=-0.91***] și mARI[r=-0.91***].

În cadrul acestei lucrări s-a urmărit posibilitatea dezvoltării unui sistem modern de monitorizare a unor parametri specifici, folosind tehnologii accesibile. Rezultatele obținute cu ajutorul metodelor de cercetare aplicate în funcție de direcția urmărită asigură integral atingerea obiectivelor specifice urmărite iar rezultatele obținute sunt valoroase și pot constitui o bază importantă pentru diversificarea potențialului de valorificare și utilizare a tehnologiilor studiate. În ceea ce privește potențialul de utilizare al sistemelor dezvoltate pot fi continuate cercetările în ceea ce privește identificarea unor noi metode în ceea ce privește efectuarea unor analize de diagnoză foliară rapidă, atât la specii de plante cultivate cât și spontane. Echipamentele dezvoltate pot sta la baza unor noi metode de analiză a impactului unor factori, în unele cazuri nefavorabili (de ex: rezultați în urma schimbărilor climatice) asupra vegetației.

În scopul cercetării influenței factorilor de mediu asupra dezvoltării și creșterii optime a plantelor, valorile acestor parametrii au fost stocate și analizate pe baza acestora pot fi continuate cercetările prezentei teze de doctorat.

Integrarea într-o singură platformă a unui număr mare de parametri fizico-chimici implicați în acest proces, atât la nivelul solului (temperatura, umiditate, pH, electroconductivitate, cantitate N, P, K) cât și la nivel atmosferic (temperatura, umiditate, presiune atmosferică, nivel CO₂, nivel iluminare) și corelarea acestora cu fazele de creștere a culturilor, constituie un element de noutate. Elementele de originalitate a cercetărilor efectuate sunt cel puțin următoarele:

- Compararea diverselor modele de senzori și plăci de dezvoltare. Determinarea stabilității, acurateții și performanței plăcilor de calcul. Alegerea componentelor celor mai performante din clasa lor, având în vedere în același timp și încadrarea într-un buget rezonabil. Adăugarea senzorului de CO₂ și al celui spectrometric pentru a veni în sprijinul cercetătorilor în creșterea plantelor sau al celor care se ocupă de monitorizarea mediului.
- Introducerea spectrometriei într-o platformă de monitorizare multiparametru reprezintă deasemenea un element de noutate. Prin integrarea rezultatelor obținute spectrometric cu ceilalți parametri, avem o tipologie unică, o „amprentă” specifică fiecărei specii. Avem convingerea că aplicarea acestui concept poate duce la dezvoltarea unui echipament de diagnoză având la bază analiza „amprentei” aparatului foliar. Din studiile efectuate rezultă

că acesta ar putea indica starea de sănătate a plantelor în mod neinvaziv, deschizând oportunități noi de cercetare.

- Alt element de noutate este reprezentat de observația că diferența matematică dintre valorile reflectanței aparatului foliar la 585nm respectiv la 560nm are valoare pozitivă (în cazul echipamentului dezvoltat de noi) cel puțin pentru cultura de căpșuni, la plantele care prezintă carențe sau anumite boli. Acest element de noutate merită documentat în continuare. Avem convingerea că este un indice vegetativ nou. A fost numit de autorul tezei SD585-560.

DOCTORAL THESIS SUMMARY

PROTECTION OF CRITICAL INFRASTRUCTURES. RESEARCH ON THE DEVELOPMENT OF AN INTEGRATED MONITORING, ANALYSIS AND CONTROL EQUIPMENT FOR THE MAIN PHYSICO-CHEMICAL ENVIRONMENTAL FACTORS INVOLVED IN PLANT GROWTH IN A CONTROLLED ENVIRONMENT

PhD Candidate: Olimpiu-Ovidiu Cornea, B.Eng.

Scientific Supervisor: Prof. Dr. Camen Dorin-Dumitru

The protection of critical infrastructures is a legal obligation of every state and is regulated by laws and enforcement norms regarding legal measures, best practice guides, and standards concerning technical and organizational protection measures. Among the sectors designated as critical infrastructure are Water, Forests, and Environment, as well as Food and Agriculture. Managing ventilation systems, cooling, heating, carbon dioxide enrichment, and light management have become commonplace in modern greenhouses.

Considering that the general level of automation in plant growth in our country is not very high, multidisciplinary collaboration for the development of equipment that monitors and controls a significant portion of the physical and chemical environmental factors contributing to optimal plant growth in controlled spaces is both welcomed and expected.

The development of such equipment is important, especially due to the dramatic reduction in response time between the occurrence/identification of a problem (such as lack of hydration, nutrient deficiency, excessive or insufficient light and heat, etc.) and the decision-making factor's reaction, and subsequently the implementation of measures.

Through this work, we aimed to draw attention to a subject of current relevance, different from those previously addressed, which deals with the possibility of developing a monitoring and control platform for the main physico-chemical environmental factors involved in plant growth in controlled spaces.

The timeliness of the chosen topic is justified by the information and data obtained from correlating the monitored parameters and analyzing their mutual influence.

The addressed theme highlights that the work targets both researchers and plant growth specialists.

The development of such equipment is important, especially due to the dramatic reduction in response time between the occurrence of a problem (such as lack of hydration, nutrient deficiency, excessive or insufficient light and heat, etc.) and the decision-making factor's reaction, and subsequently the implementation of measures.

This thesis does not aim to replace the human factor in this field of activity, but rather aims to collect, monitor, analyze, and control essential parameters for plant growth and integrate them into a dashboard available to specialists and decision-makers in agricultural operations.

Globally, due to the affordability of electronic components required for monitoring and controlling physico-chemical parameters involved in plant growth, a number of universities, researchers, investors, and automation enthusiasts have supported the development of such projects in various countries. However, most developed projects focus on addressing specific practical issues such as monitoring and controlling temperature, lighting, and plant irrigation, while fewer projects are focused on research or monitoring and controlling a large number of parameters.

In this project, we refer to the monitoring of the following parameters: atmospheric temperature, atmospheric humidity, atmospheric CO₂ level, atmospheric pressure, illumination level, soil temperature, soil moisture, soil pH, soil electroconductivity, estimated relative quantities of N, P, K in the soil, and spectrometric analysis of leaf apparatus.

In controlled environments, the real-time monitored and currently commonly automated or semi-automated physical and chemical factors are ambient temperature, air humidity, soil moisture, soil temperature, and light intensity.

Rarely monitored physico-chemical parameters in real-time include soil pH, electroconductivity, light quality (spectral composition of light), CO₂ level, micro and macroelement levels, fertilizer administration along with irrigation, and plant growth rate.

The monitoring and control of the main physico-chemical factors for the automation of plant growth throughout the crop's entire lifespan are not widely implemented. Additionally, there are few cases where multiple parameters are monitored, analyzed, and correlated by a single system in a unified and integrated manner.

The main objective of the project is to demonstrate the possibility of developing a low-cost system using accessible technologies, at least in the open-source hardware research phase, and a set of specific sensors to prove the feasibility of such a project at reasonable costs. In order to research the influence of environmental factors on optimal plant development and growth, the values of these parameters will be stored and analyzed to detect and validate correlations between these parameters and various anomalies that occur during the growth and development of crops throughout their entire lifespan. The system is designed for plant growth in controlled environments such as greenhouses, but with minimal effort, it can be adapted to other situations in various fields of activity. The aim of the system is to facilitate decision-making and automate certain activities, thereby assisting small, medium, and industrial-level agricultural producers, plant growth researchers, and those monitoring various environmental parameters for statistical or scientific purposes.

The system will analyze the following parameters with reasonable accuracy, without aiming to achieve the precision of expensive laboratory equipment: temperature, humidity, atmospheric pressure, as well as CO₂ level, soil temperature, soil moisture, soil pH, soil EC (electroconductivity), and spectrophotometric analysis of leaf apparatus.

The biological material used for research consisted of two crops in a controlled environment, namely tomato and strawberry cultures.

The main objective of the research was to develop an integrated monitoring and control equipment for the main physico-chemical environmental factors involved in plant growth in a controlled environment.

The specific objectives were as follows:

Determining physico-chemical parameters in the soil using various types of electronic sensors.

Studying physiological and physico-chemical parameters in plant species in protected spaces using an integrated sensor system for fruit shrubs - strawberry culture.

Studying physiological and physico-chemical parameters in plant species in protected spaces using an integrated sensor system for vegetable species - tomato culture.

Comparing alternative technologies and approaches for achieving the proposed theme.

Opening new directions for research and development.

The electronic equipment consisted of a series of tested, calibrated, and validated sensors connected to a computing board and an Ethernet communication board. In order to calibrate and validate the results, the laboratory equipment of the Office of Pedological and Agrochemical Studies in Timiș was used.

The main stages of the research were as follows: establishing the crops for conducting the research, determining the parameters to be studied, establishing the knowledge base for conducting the research, selecting the technical components and testing them under real conditions, calibrating the sensors using laboratory equipment, conducting measurements, performing statistical data processing, stating the conclusions, and establishing future research directions.

Regarding the comparison of soil analysis results between the values provided by the used sensor and the laboratory results of the Office for Pedological and Agrochemical Studies in Timiș, there were no statistically significant differences, with the values being homogeneous and falling within the proposed range of +/- 15%. The study concluded that the proposed sensor can be used without reservation for qualitative soil analysis for the studied soil types, provided that it is properly calibrated beforehand.

For quantitative soil analysis, the sensor can be used with an initial calibration for each selected soil type. In the conducted study, five calibration intervals were determined.

Regarding the experiments, the following conclusions were reached: for component 1, which accounted for 71.92% of the total variance, correlations were found between the studied parameters: solar temperature (correlation -0.965, contribution 13%), soil temperature (correlation -0.963, contribution 12.9%), phenophase (correlation -0.95, contribution 12.5%), reflectance at 410nm (correlation +0.94, contribution 12.4%), solar illumination (correlation -0.85, contribution 10.1%), P in soil (correlation -0.845, contribution 9.9%), K in soil (correlation -0.84, contribution 9.9%), EC (correlation -0.758, contribution 8.0%), pH (correlation -0.68, contribution 6.4%), and so on.

Regarding the experiments on the physiological and physico-chemical parameters studied in vegetable species in protected spaces for tomato cultivation, the following conclusions were reached: for component 1, which accounted for 58.64% of the total variance and included variables with the highest correlation coefficients: phenophase [-0.882], temperature [-0.889], CO₂ [-0.888], kluxsolar [-0.711], stemp[-0.82], sec[-0.745], sK[-0.825], and reflectance at 410nm [0.956].

From the experiments comparing the SPAD value with NDVI and the 18 analyzed reflectances (410, 435, 460, 485, 510, 535, 560, 585, 610, 645, 680, 705, 730, 760, 810, 860, 900, and 940nm) for strawberry cultivation in open air, it was concluded that both SPAD and NDVI_{sat} are linearly correlated [strong correlation, statistically significant at the $\alpha=0.1\%$ level] with the same reflectances [535, 560, 585, 610, 645, 680, and 705], except for reflectance at 560nm, whose correlation coefficient with NDVI_{sat} is statistically significant at the $\alpha=1\%$ level.

Based on the experiments regarding the SD585-560 (original) vegetation index in strawberry cultivation, it can be concluded that the value of this index becomes positive (at least with the equipment developed by us) for the leaf apparatus of strawberries in plants affected by certain deficiencies or anomalies. The higher the index value, the more deteriorated or affected the plant is.

From the experiments comparing SPAD vs reflectance in tomato cultivation under greenhouse conditions, a statistically significant linear correlation was found between SPAD and the reflectances: 425, 460, 485, 510, 535, 560, 585, 610, 645, 680, 705, 730, and 810, with correlation coefficients ranging from significant to highly significant. Thus, SPAD showed a very strong correlation with reflectances: 510, 535, 560, 585, 610, 645, 680, and 705 – correlation coefficients statistically significant at the $\alpha = 0.1\%$ level, indicating a highly significant correlation; a strong correlation with reflectances: 485 and 730 – correlation coefficients statistically significant at the $\alpha = 1\%$ level, indicating a distinct significant correlation; and a weak correlation with reflectances: 425, 460, and 810 – correlation coefficients statistically significant at the $\alpha = 5\%$ level, indicating a significant correlation.

From the experiments comparing SPAD vs vegetation indices in tomato cultivation under greenhouse conditions, it was found that there is a statistically significant linear correlation between SPAD and any of the vegetation indices, showing a very strong correlation. Positive correlations were observed with the following indices: mACI[r=0.93***], NOU[r=0.94***],

MTCI[r=0.96***], CI_re[r=0.97***], NDVIloc[r=0.90***], rDVI[r=0.90***], SR800/560[r=0.90***], SR800/670[r=0.89***], and SR750/705[r=0.97***], with correlation coefficients ranging from 0.89 to 0.97. Negative correlations were observed with the following indices: Reflgen[r=-0.88***], ACI[r=-0.91***], and mARI[r=-0.91***].

This study aimed to explore the possibility of developing a modern system for monitoring specific parameters using accessible technologies. The results obtained through the applied research methods ensure the achievement of the specific objectives, and the obtained results are valuable and can provide an important basis for diversifying the potential for exploitation and use of the studied technologies. Regarding the potential use of the developed systems, further research can be conducted to identify new methods for rapid leaf diagnosis analysis, both for cultivated and spontaneous plant species. The developed equipment can form the basis for analyzing the impact of various factors, including unfavorable conditions (such as climate change), on vegetation.

In order to investigate the influence of environmental factors on the optimal development and growth of plants, the values of these parameters were stored and analyzed. Based on these results, further research can be conducted in the context of this doctoral thesis.

The integration of a large number of physico-chemical parameters involved in this process, both at the soil level (temperature, humidity, pH, electroconductivity, N, P, K quantity) and at the atmospheric level (temperature, humidity, atmospheric pressure, CO₂ level, illumination level), and their correlation with crop growth stages represents a novelty. The original elements of the conducted research are at least as follows:

Comparison of different sensor models and development boards. Determination of stability, accuracy, and performance of the computing boards. Selection of the most performant components in their class, considering at the same time the adherence to a reasonable budget. Adding the CO₂ sensor and the spectrometric sensor to support plant growth researchers or environmental monitoring professionals.

The inclusion of spectrometry in a multiparameter monitoring platform is also a novelty. By integrating the spectrometric results with other parameters, a unique typology is obtained, a specific "fingerprint" for each plant species. It is believed that applying this concept can lead to the development of a diagnostic tool based on the analysis of the leaf apparatus "fingerprint." From the conducted studies, it appears that this tool can indicate the health status of plants in a non-invasive manner, opening new opportunities for research.

Another novelty is the observation that the mathematical difference between the leaf apparatus reflectance values at 585nm and 560nm is positive (with the equipment developed by us), at least for strawberry cultivation in plants exhibiting deficiencies or certain diseases. This novelty deserves further documentation. It is believed to be a new vegetative index, named SD585-560 by the thesis author.