# DEZVOLTAREA UNUI PROTOTIP DE SISTEM MECATRONIC PORTABIL PENTRU DEPISTAREA PATOLOGIILOR ÎN FAZĂ INCIPIENTĂ PRIN ANALIZA MOSTRELOR PRELUATE DIN SUBSTANȚE VITALE

Șef lucr. dr. ing. **Barbu-Cristian BRAUN** [1], Șef lucr. dr. ing. **Corneliu-Nicolae DRUGĂ** [1], Șef lucr. dr. ing. **Ionel ȘERBAN** [1], Șef lucr. dr. ing. **Leonard-Gabriel MITU**[1]

[1] Universitatea TRANSILVANIA, Facultatea de Design de Produs și Mediu, Brașov, România

**REZUMAT. Lucrarea prezinntă o soluție prin care, în viitorul apropiat ar putea fi implementat un dispozitiv medical destinat în special persoanelor cu dizabilități și/sau de vârsta a treia, cu domiciliul în zone rurale și/sau cu probleme financiare, care au dificultăți în a accesa un serviciu medical. Este prezentat modul de lucru, etapizat în care s-a proiectat, s-a realizat și s-a testat dispozitivul, fiind vorba de un sistem mecatronic portabil pentru analiza unor mostre din substanțe vitale precum mucusul, sputa sau saliva. Rolul acestui sistem este acela de se depista obiectiv, eficient și în timp util anumite patologii virale precum gripa, COVID-ul boala West Nile etc.**

**Cuvinte cheie:** sistem, comandă, software, analiză, probă, imagini, rezultate

**ABSTRACT. The paper presents a solution for the near-future implementation of a medical device designed specifically for individuals with disabilities and/or the elderly—particularly those living in rural areas or facing financial constraints—who struggle to access medical services. It outlines the step-by-step process of designing, building, and testing the device, which is a portable mechatronic system for analyzing samples of vital substances such as mucus, sputum, or saliva. The system's purpose is to enable the objective, efficient, and timely detection of viral pathologies such as influenza, COVID-19, West Nile disease, and others.**

**Keywords:** Cuvinte cheie în limba engleză. system, command, analysis, software, sample, images, results

## 1. ASPECTE PRIVIND DEPISTAREA PATOLOGIILOR ÎN FAZĂ INCIPIENTĂ

Pe parcursul ultimilor ani tot mai multe studii în domeniul medical s-au axat pe analiza de substanțe vitale, precum saliva, mucusul sau sputa, ce pot da informații extrem de valoroase cu privire la starea de sănătaate a organismului uman. Problema pusă, în vederea obținerii unor rezultate concludente a fost legată de analiză a mostrelor prelevate din organism. În acest sens, un aspect deosebit de important este precizia de examinare, implicând determinarea unor parametri fizici și chimici de interfață, precum tensiunea superficială și unghiul de contact la nivelul picăturii din mostra analizată. Una dintre metodele de investigare este profilaxia picăturii, prin care se studiază forma și geometria unei picături de lichid, de obicei așezată pe o suprafață plată, permițându-se extragerea unor date despre energia de suprafață și densitatea probei, parametri strict legați de prezența unor agenți patogeni [1], [2]. În practica medicală, fluidele biologice precum mucusul, urina, sângele sau saliva funcționează ca indicii pentru starea de sănătate prin proprietățile lor exterioare [3]. De exemplu, culoarea unei probe de urină sau de mucus nazal poate semnala prezența unei infecții bacteriene sau a unui anumit grad de inflamație. Pe de altă parte, diametrul de răspândire al unei picături și densitatea acestuia oferă informații despre concentrația de proteine sau prezența unor agenți patogeni în substanță. Acești parametri vizuali pot constitui indicatori obiectivi ai unor modificări interne alarmante, cu privire la starea de sănătate a persoanei în cauză [4], [5].

## 2. SOLUȚIILE ACTUALE PRIVIND DEPISTAREA UNOR PATOLOGII, PRIN ANALIZA UNOR MOSTRE PRELEVATE DIN SUBSTANȚE VITALE

Studii recente arată mai multe soluții ce s-au dezvoltat de-a lungul ultimilor ani în acest scop, fiind specificate mai jos cele mai relevante dintre acestea:

Sistemul DSA100, dezvoltat de Krüss Scientific (Germania), reprezintă o platformă de înaltă precizie specializată în analiza formei picăturii; acest sistem constituie un instrument de referință atât în mediul academic de cercetare cât și în cel industrial, fiind optimizat pentru determinarea proprietăților de umectare și a tensiunii superficiale.

Goniometrul produs de compania Ossila Ltd. (Marea Britanie) reprezintă o soluție de laborator compactă, proiectată pentru a oferi măsurători de înaltă precizie ale unghiului de contact la un cost accesibil; acesta se adresează cercetării în domeniul științei materialelor, nanotehnologiei și ingineriei biomedicale. Principiul de funcționare se bazează pe identificarea rapidă a proprietăților de suprafață (hidrofilie/hidrofobie) ale substraturilor utilizate în dezvoltarea de senzori și dispozitive medicale. ]. Pentru picăturile mici, se utilizează de regulă algoritmul "Circle Fitting". Acest algoritm se bazează pe detectarea unor cercuri de referință prin utilizarea tehnicilor de înfășurătoare convexă. Ulterior, determinarea centrului optim se realizează prin procesarea acestor date geometrice cu ajutorul diagramelor Voronoi, asigurând astfel o localizare precisă și stabilă din punct de vedere matematic a punctului central. Pentru picăturile mai mari sau cu forme neregulate se aplică metode de tip "Polynomial Fitting", calculând panta tangentei în punctul de contact cu suprafața[3], [4].

Analizorul Mission U120, dezvoltat de ACON Laboratories (SUA), este un instrument de diagnostic destinat automatizării procesului de urinaliză în laboratoarele clinice și unitățile de spital. Aparatul este proiectat pentru a standardiza interpretarea benzilor de testare chimică, pentru a elimina subiectivitatea analizei vizuale umane. Reprezintă un punct de referință în medicina preventivă, fiind utilizat pentru scanarea rapidă a afecțiunilor renale, hepatice și metabolice, precum diabetul zaharat. Principiul de funcționare se bazează pe fotometria de reflexie. Aparatul măsoară intensitatea luminii reflectate de pe zonele reactive ale unor benzi de testare date după interacțiunea cu proba biologică. Valoarea reflexiei este calculată ca raport între intensitatea luminii reflectate și cea incidentă.

Pe măsură ce reacția chimică produce o schimbare de închidere a culorii, intensitatea luminii reflectate scade. Software-ul compară automat valoarea obținută cu o curbă de calibrare internă pentru a furniza un rezultat semicantitativ.

Sistemul DSA100, dezvoltat de Krüss Scientific (Germania), reprezintă o platformă de înaltă precizie specializată în analiza formei picăturii; acest sistem constituie un instrument de referință atât în mediul academic de cercetare cât și în cel industrial, fiind optimizat pentru determinarea proprietăților de umectare și a tensiunii superficiale [1], [6].

Goniometrul produs de compania Ossila Ltd. (Marea Britanie) reprezintă o soluție de laborator compactă, proiectată pentru a oferi măsurători de înaltă precizie ale unghiului de contact la un cost accesibil; acesta se adresează cercetării în domeniul științei materialelor, nanotehnologiei și ingineriei biomedicale; principiul defuncționare se bazează pe identificarea rapidă a proprietăților de suprafață (hidrofilie/hidrofobie) ale substraturilor utilizate în dezvoltarea de senzori și dispozitive medicale.

Analizorul Mission U120, dezvoltat de ACON Laboratories (SUA), este un instrument de diagnostic destinat automatizării procesului de urinaliză în laboratoarele clinice și unitățile de spital; aparatul este proiectat pentru a standardiza interpretarea benzilor de testare chimică, pentru a elimina subiectivitatea analizei vizuale umane. Reprezintă un punct de referință în medicina preventivă, fiind utilizat pentru scanarea rapidă a afecțiunilor renale, hepatice și metabolice (diabetul zaharat) [2], [3].

Platforma digitală Healthy.io este o platformă din domeniul sănătății digitale, fiind prima soluție bazată pe telefon inteligent care a primit aprobarea FDA pentru analiza urinei la domiciliu; dispozitivul transformă camera foto a telefonului într-un instrument de diagnostic de grad clinic; se adresează categoriei de monitorizare la distanță a pacienților cu afecțiuni cronice (boli renale, complicații ale sarcinii), eliminând necesitatea prezenței fizice într-un laborator și facilitând intervenția medicală timpurie [7].

Sistemul de analiză a suprafețelor, Attension Theta Flex, dezvoltat de Biolin Scientific reprezintă una dintre cele mai avansate platforme modulare; spre deosebire de sistemele compacte, Theta Flex este conceput pentru a fi scalabil, fiind utilizat intens în cercetarea biomedicală avansată pentru a studia interacțiunile dintre fluidele biologice și biomateriale Acesta este un instrument esențial în laboratoarele care necesită o precizie înaltă și capacitatea de a schimba rapid modulele de măsură. Principiul de

funcționare se bazează pe analiza automată a formei picăturii, susținută de un software denumit OneAttension care utilizează algoritmi de inteligență artificială pentru a detecta linia de bază chiar și pe suprafețe cu contrast scăzut [8].

## 3. SOLUȚIA PROPUSĂ

Studiul privind soluțiile existente pe piață, a pus în evidență faptul că soluțiile existente pe piață sunt profesioniste dar cu costuri adesea inaccesibile unor persoane izolate și/sau cu venituri modeste. În acest context s-a propus o soluție prin care s-ar putea utiliza un sistem mecatronic portabil, cu costuri de până la cel mult 20% din media costurilor sistemelor existente pe piață. Acesta ar reprezenta o platformă mecatronică integrată, low-cost, dezvoltată special pentru analiza la punctul de îngrijire a probelor biologice prelucrate.

Arhitectura sistemului se bazează pe combinația dintre un ansamblu mecanic de poziționare precisă, un modul electronic de achiziție și control, și o interfață software dedicată analizei colorimetrice.

Partea de comandă și procesare hardware este centralizată în jurul unui microcontroler ESP32, recunoscut pentru eficiența sa în dezvoltarea prototipurilor de monitorizare și a sistemelor IoT. Acesta interfațează direct cu driverele motoarelor pas cu pas pentru a executa comenzile de poziționare [9].

Legătura dintre hardware și decizia medicală este realizată prin intermediul unei aplicații dezvoltate și rulate în mediul Visual Studio Code; fluxul de funcționare începe cu introducerea datelor pacientului și selectarea tipului de secreție analizată (salivă, mucus nazal sau spută); ulterior, interfața grafică afișează fluxul video în timp real captat de camera Web.

În figura 3.1 este prezentată schema bloc a sistemului electronic de comandă al platformei.

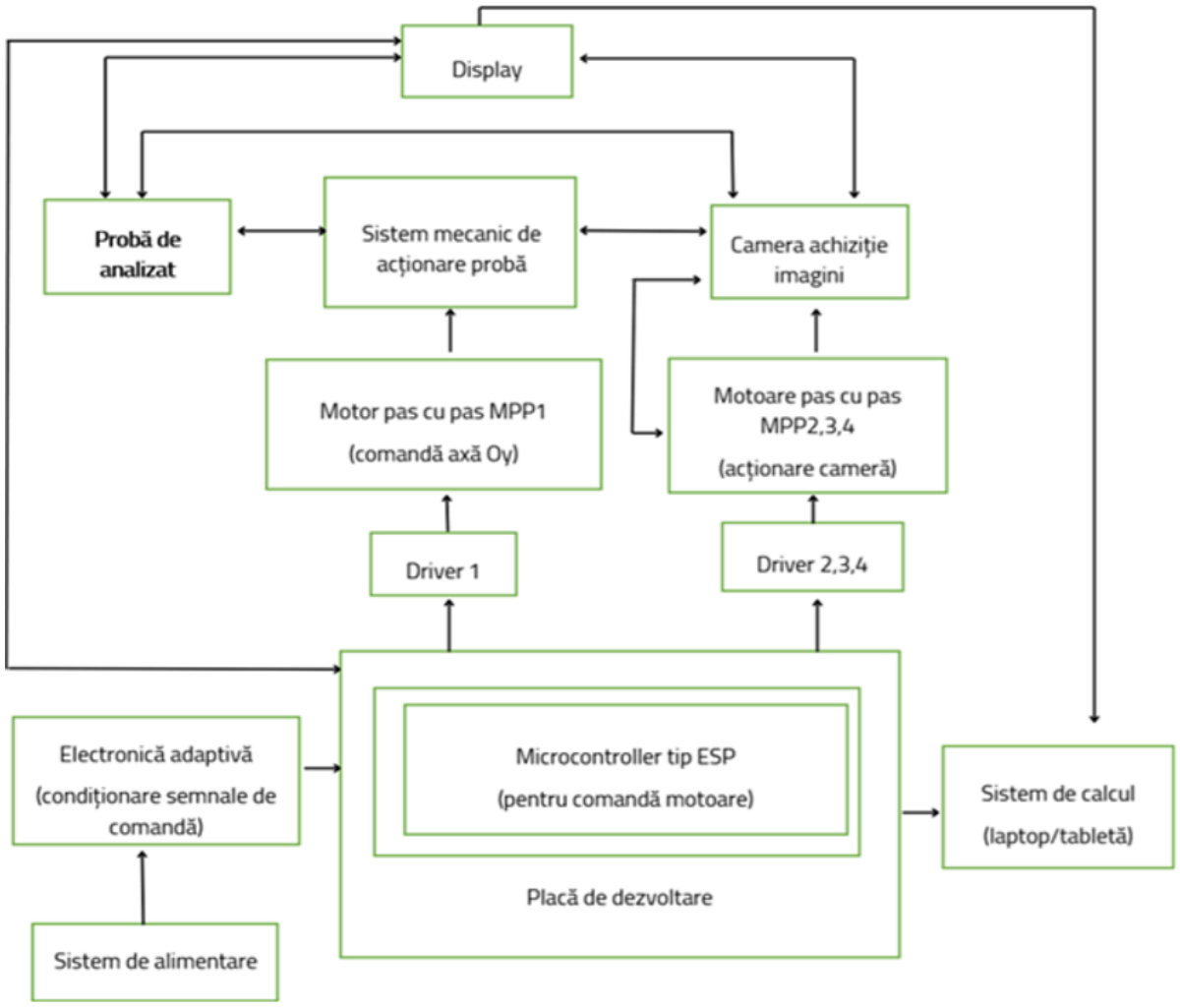



**Fig. 3.1.** Schema-bloc a sistemului electronic de comandă

**Proiectarea sistemului** a avut ca primă etapă **proiectarea sistemului mecanic**. Pentru aceasta s-a utilizat mediul software Autodesk Fusion 360, realizându-se, totodată simularea jocurilor cinematice, verificarea toleranțelor de asamblare și modelarea componentelor personalizate înainte de trecerea la etapa de fabricație prin tehnologia de imprimare 3D. Structura de rezistență a dispozitivului a fost definită ca o carcasă cubică, având latura de 250 mm și grosimea de 2,5 mm realizată din panouri transparente de plexiglas; prin această se asigură vizibilitatea procesului de analiză și protejează componentele interne de factorii de mediu, respectând totodată standardele de igienă necesare manipulării substanțelor vitale. placa de dispunere a probelor, a fost dimensionată pentru a acomoda o lamelă de microscopie standard, dimensiunile acesteia fiind stailite la valorile de 55 x 110 x 2,5 mm; geometria include o bordură de siguranță în perimetru, proiectată pentru a bloca alunecarea lamelei în timpul accelerării și decelerării motorului de pe axa de translație; suprafața de contact a fost optimizată pentru a fi plană și ușor de igienizat. suportul mobil al dispozitivului a fost proiectat pentru a prelua și susține tava pe care este poziționată proba biologică; din punct de vedere cinematic, această piesă acționează ca elementul central al sistemului de ghidaj liniar. proiectarea mecanismului de antrenare în translație pe axe a presupus o cinematică bazată pe ghidaje liniare paralele, formate din tije filetate, țevi de suport din metal și rulmenți liniari asociați. Proiectarea mecanismului de antrenare în translație pe axe a presupus o cinematică bazată pe ghidaje liniare paralele, formate din tije filetate, țevi de suport din metal și rulmenți liniari asociați. Figura 3.2 prezintă o vedere a proiectării axei de anntrenare a platformei de analiză a mostrelor, respectiv a axelor de antrenare a camerei de achiziție de imagini.

Pentru axa inferioară, acest mecanism asigură mișcarea lină a tăviței față-spate iar ansamblul superior, conectat la cameră, permite translatări după direcție transversală, cât și verticală. Pentru reducerea coeficientului de frecare aproape de zero au fost prevăzuți rulmenți radiali cu bile. Prin aceasta se agigură o mișcare fluentă, aspect crucial pentru a nu se dispersa sau contamina picătura de probă așezată pe lamelă.

Sub aspectul **proiectării interfeței hardware de comandă**, au fost parcurse două etape și anume: alegerea camerei de captare a imaginilor și proiectarea sistemului de comandă și control. Alegerea camerei s-a făcut în conformitate cu cerințele impuse pentru analiza mostrelor de substanțe prelevate.

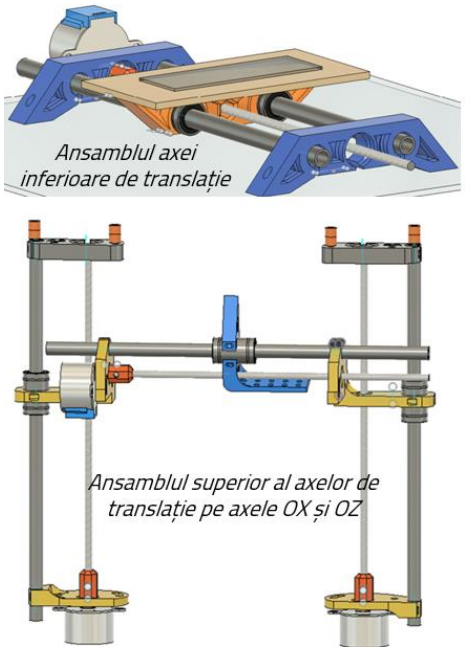



**Fig. 3.2.** Proiectarea axelor de antrenare în translație a platformei de analiză și a camerei

Întrucât informația de interes este culoarea probei, caracteristicile impuse camerei sunt următoarele: recunoașterea culorilor fundamentale (RGB), pentru identificarea și clasificarea culorii probei; fidelitate și reproductibilitate a culorii, astfel încât aceeași culoare să poată fi redată identic la fiecare măsurătoare; iluminare controlată, realizată sub o sursă de lumină proprie, pentru ca rezultatul să nu depindă de lumina ambientală. Proiectarea sistemului de comandă și control s-a făcut în scopul unei cât mai precise și rapide coordonări a deplasării platformei și a camerei deasupra probelor. Pentru circuitul electronic a fost s-a prevăzut o placă de prototipare perforată, pentru dispunerea centrală microcontrollerului ESP32, iar în jurul ei sunt dispuse grupurile de conectori pentru fiecare subsistem. Circuitul sistemului hardware de comandă este arătat în figura 3.3.

Motoarele de acționare a platformei de analiză au fost alese de tip pas cu pas, 28BYJ-48 cu tensiunnea de alimentare la 5V în variantă unipolară, cu reductor intern (1:64), având următoarele avantaje: mișcare precisă, în pași mici, potrivită pentru poziționarea lentă și exactă a platformei și a camerei, cuplu suficient la viteze mici, fără a necesita un mecanism suplimentar, consum redus și alimentare la 5 V, compatibilă cu restul sistemului. Au fost prevăzute 4 astfel de motoare: unul pentru axa Y (platforma), unul pentru axa X (deplasarea orizontală a camerei) și două pentru axa Z (deplasarea verticală a camerei, cu două șuruburi paralele).

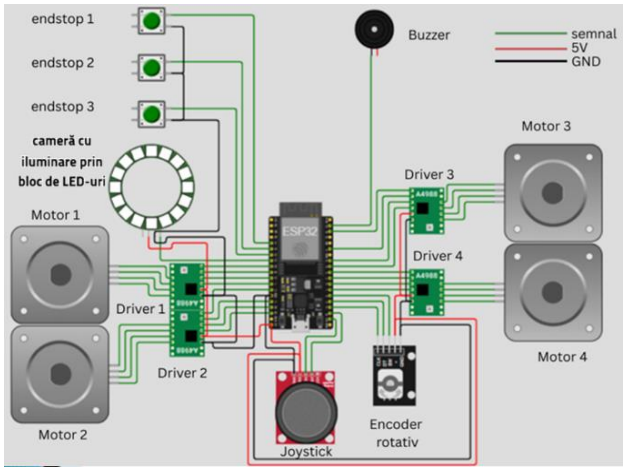



**Fig. 3.3.** Proiectarea schemei hardware de comandă

Fiecare motor este comandat printr-un modul driver ULN2003, acestea, la rândul lor fiind comandate prin microcontroller-ul ESP32. Pentru comanda sistemului hardware fost ales micro-controlerul ESP32, montat pe o placă de dezvoltare cu interfață USB și convertor CH340C. Motivele alegerii au fost următoarele: număr mare de pini de intrare/ieșire (suficienți pentru cele 4 drivere, cei 3 senzori de capăt de cursă, encoder, joystick, buzzer și linia de date a LED-urilor), alimentare la 3,3 V, compatibilă cu intrările driverelor ULN2003 și cu modulele auxiliare, programare simplă prin USB, fără programator extern, cost redus, disponibilitate ridicată, resurse de comunicație (WiFi și Bluetooth) disponibile pentru eventuale extinderi ulterioare. Ca placă de bază a fost folosită o placă de prototipare perforată, pe care se montează placa ESP32 și se realizează interconectarea tuturor modulelor. De asemenea, în scopul asigurării unor procese de comandă și control, cât mai eficiente și sigure au fost prevăzute mai multe elemente auxiliare, precum: senzori capăt de cursă, de tip microîntrerupător, un modul Joystick pentru deplasarea manuală și ajustarea poziției axelor, un buzzer pentru semnalarea sonoră a anumitor evenimente, fire de conexiune pentru realizarea legăturilor electrice și de date între module și placa de dezvoltare.

**Realizarea fizică a sistemului mecanic** a urmărit construirea unei structuri rigide, de tip imprimantă 3D, care să asigure deplasarea controlată a probei și a camerei pe cele trei axe de translație. Structura este alcătuită dintr-un cadru fix, realizat din plăci de plexiglas, în interiorul căruia se deplasează sistemul mobil. Acționarea axelor se realizează cu motoare pas cu pas, prin intermediul tijelor filetate, deplasarea fiind ghidată de tije din aluminiu. După asamblarea completă a structurii mecanice pentru axele de translație X, Y, Z, au fost efectuate teste de funcționare pentru verificarea deplasării pe axe și a stabilității ansamblului, urmate de remedierea eventualelor probleme constatate. S-a verificat deplasarea platformei și a camerei pe fiecare axă, urmărindu-se uniformitatea mișcării și absența blocajelor; au fost ajustate jocurile mecanice și aliniamentul tijelor, pentru a asigura o deplasare precisă și repetabilă. O atenție deosebită a fost acordată vibrațiilor sistemului mobil, deoarece acestea pot afecta calitatea imaginilor achiziționate; au fost verificate fixările și s-au luat măsuri pentru reducerea vibrațiilor, astfel încât proba să rămână stabilă în timpul achiziției de imagini.

Procurarea și montarea camerei pentru captarea de imagini a implicat alegerea și achiziționarea unei camere compacte, conectată prin interfața USB, care oferă o rezoluție suficientă pentru analiza colorimetrică și se integrează ușor cu sistemul de comandă. Aceasta a fost montată paralel cu suportul imprimat 3D și prinsă cu coliere de plastic. inelul de iluminare LED a fost montat în jurul obiectivului camerei, asigurând o iluminare concentrică și uniformă a zonei de analiză. Fixarea acestuia a fost realizată cu coliere de cablu, soluție simplă și eficientă care menține ansamblul compact și stabil în timpul funcționării. În figura 3.4 este prezentată o imagine a structurii mecanice.

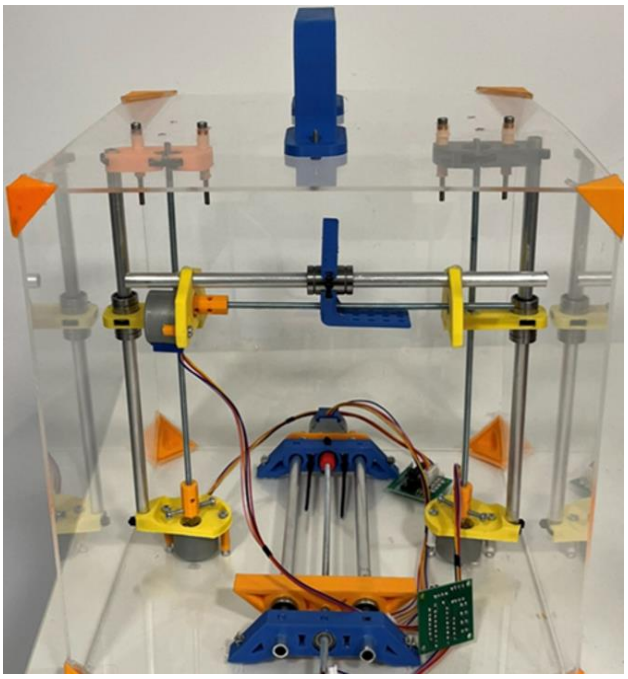


**Fig. 3.4.** Structura mecanică a sistemului

Realizarea **sistemului electronic de comandă** a presupus, într-o primă etapă procurarea componentelor necesare (microcontraller, placă de bază, butoane, conectori etc.). Pentru realizarea sistemului de comandă și control, la plăca de circuit au fost realizate conexiunile electrice dintre componentele sistemului. Firele de semnal, alimentare și masă au fost grupate și dirijate ordonat, fiecare componentă având alocată o linie de conectare separată. Pe fața anterioară a plăcii a fost montat microcontrolerul ESP32, iar fiecare conector a fost etichetat corespunzător pentru a facilita identificarea rapidă a conexiunilor și intervenția ulterioară în caz de depanare. În figura 3.5 este prezentată varianta finală a sistemului în urma proiectării și realizării fizice.

La finalul aasamblării componentelor și obținerea sistemului, ca ansamblu s-a procedat la testarea funcționării acestuia, atât ca structură mecanică, precum și sub aspectul comenzii prin interfața hardware.

Odată verificată și remediat aspectul funcțional, s-a trecut la etapa următoare, și anume conceperea, programarea, testarea și implementarea **interfețelor software**.

Într-o primă etapă, implementarea algoritmilor de acționare a presupus realizarea unei *interfețe software pentru comanda și controlul sistemului hardware a platformei mecatronice*, prin intermediul microcontrolerul ESP32. codul de comandă a părții mecanice fiind dezvoltat și compilat utilizând mediul de programare *Arduino IDE*. Microcontrolerul coordonează toate componentele active ale sistemului: cele patru motoare pas cu pas, comandate prin driverele ULN2003, care asigură deplasarea pe cele trei axe de translație, axa Y, ce platanul (pe care se dispune mostra de analizat), și axele X și Z, ce deplasează ansamblul camerei Web. Rolul codului este de a traduce logica de poziționare a sistemului în semnale digitale precise, dirijând driverele care comandă motoarele pas cu pas. Algoritmii de acționare implementați controlează direcția, viteza și numărul de pași pentru fiecare axă de translație, permițând o mișcare fină și a elementelor funcționale, mobile. Pe lângă comanda manuală locală, realizată prin encoder și joystick, microcontrolerul comunică cu aplicația desktop printr-o interfață serială (USB), interpretând comenzile primite de la aceasta. În acest fel, deplasarea axelor X, Y și Z, precum și aprinderea inelului de iluminare, pot fi comandate direct din aplicație, fără vreo modificare a cablajului existent.

O *a doua interfață software* a fost dezvoltată în mediul de programare Visual Studio Code, ca interfață interactivă dintre operator și protocolul de achiziție. Rolul principal al acestei aplicații este de a prelua fluxul video în timp real de la senzorul optic și de a executa algoritmul de analiză colorimetrică asupra probelor biologice prelevate (salivă, mucus nazal și spută). Astfel, prin intermediul mediului de procesare creat, informația vizuală brută este tradusă automat într-un diagnostic preliminar, realizând tranziția completă de la o platformă de ghidare mecanică la un dispozitiv medical funcțional. Programul a fost realizat în limbajul Python, folosind biblioteca OpenCV pentru prelucrarea imaginii, permițând afișarea unei interfețe grafice, rezultatele fiind stocate într-o bază de date SQLite. În figura 3.5 este prezentată o schemă logică asociată algoritmului de programare a interfeței software pentru. Această interfață este asociată interpretării de imagini captate prin intermediul camerelor. În figura 3.5 este prezentată o schemă logică a algoritmului de programare specific interpretăriii imagistice.

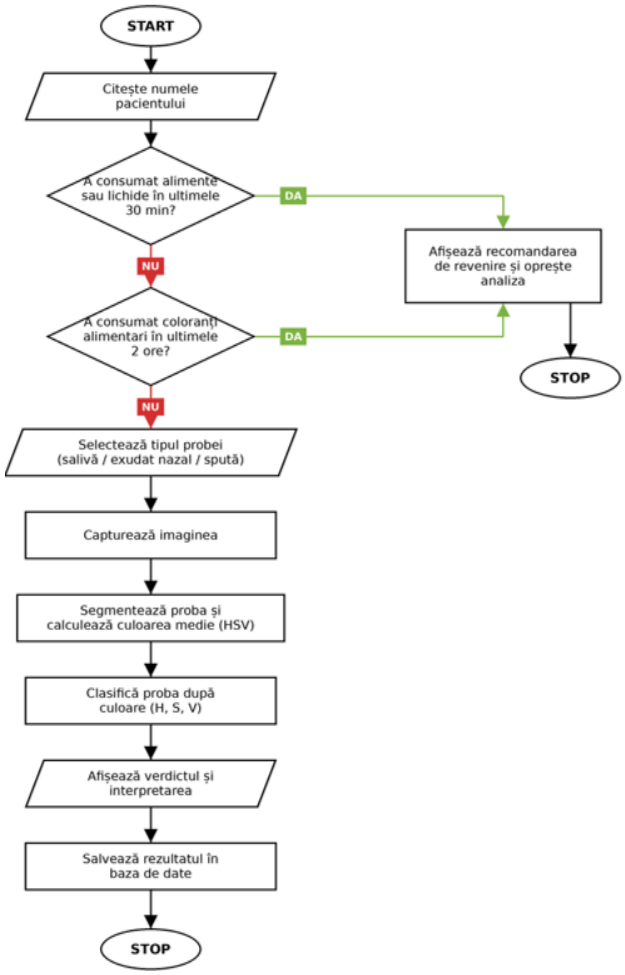



**Fig. 3.5.** Schema logică a algoritmului de programare pentru interfața dezvoltată în mediul Pyton, specifică interpretării imagistice a probelor

Utilizarea interfeței software pentru analiză permite parcurgerea unui ciclu, având următoarele etape: etapa 1: Identificarea sau introducerea pacientului, etapa a 2-a: chestionarul preliminar (pacientului i se adresează două întrebări care elimină factorii ce pot altera culoarea probei: dacă a consumat alimente sau lichide în ultimele 30 de minute și dacă a consumat cafea, vin, sfeclă, turmeric sau fructe de pădure în ultimele 2 ore); etapa a 3-a: selectarea tipului de probă; etapa a 4-a: captarea imaginii (se pornește camera, se afișează fluxul video în timp real, iar la comanda operatorului se captează un cadru sub iluminarea controlată a sistemului); etapa a 5-a: segmentarea probei - cadrul este transformat în tonuri de gri, este filtrat pentru reducerea zgomotului și i se aplică un prag adaptiv; prin detecția contururilor se izolează cel mai mare obiect din imagine; etapa a 6-a: extragerea culorii – regiunea izolată este convertită în spațiul de culoare HSV (nuanță, saturație, luminozitate), mai robust la variațiile de iluminare decât spațiul RGB, și se calculează valorile medii ale celor trei componente; etapa a 7 – a: Clasificarea - pe baza valorilor medii, proba este încadrată într-o categorie de culoare, căreia îi corespunde un verdict: o luminozitate foarte mică ($V < 40$ lx) indică o probă întunecată, asociată unei posibile afecțiuni grave; o saturație mică ($S < 40$) indică o probă transparentă, considerată normală; o nuanță roșiatică ($H \leq 10$ sau $H \geq 160$) este asociată unei posibile afecțiuni grave; o nuanță în domeniul galben–verde ($H \leq 85$) este clasificată drept gălbuie sau verzuie și semnalează o posibilă afecțiune ușoară; orice altă situație este marcată momentan ca analiză invalidă; etapa a 8-a: afișarea rezultatului (se afișează verdictul și, după caz, un sfat (de exemplu, recomandarea de a consulta un medic)) și etapa a 9-a: salvarea (rezultatul, împreună cu fotografia capturată, este salvat în baza de date și adăugat în istoricul pacientului).

Sub aspectul utilizării interfeței software, pot fi menționate următoarele aspecte: În secțiunea principală a interfeței create este generată o listă centralizată cu numele tuturor pacienților înregistrați în sistem. prin selectarea oricărui pacient din listă, aplicația deschide o pagină dedicată de date, unde sunt stocate și structurate detaliile măsurătorilor și fotografia corespunzătoare ultimei analize captate. Pe lângă stocarea punctuală a ultimei investigații, programul execută și o analiză evolutivă a datelor pacientului. Această funcție permite compararea automată a parametrilor cromatici și geometrici actuali cu cei din înregistrările precedente, oferind posibilitatea de a urmări dinamica și evoluția proprietăților substanțelor vitale pe o anumită perioadă de timp.

Sub **aspectul costului sistemului propus** s-a ținut cont de următoarele aspecte: a) costurile de realizare; b) costurile specifice consumului energetic; c) costurile privind mentenanța sistemului. În tabelul 1 sunt specificate costurile asociate realizării sistemului:

*Tabelul 1.* **Specificarea costurilor pentru realizarea sistemului**

| Componenta | Cantitatea | Prețul unitar [lei] | Preț total [lei] |
|---|---|---|---|
| Placă dezvoltare ESP32 CH340C | 1 | 41,19 | 41,19 |
| Modul coborâtor tensiune LM2596 | 1 | 8,13 | 8,13 |
| Motor pas cu pas 28BYJ-48 | 4 | 10,29 | 41,16 |
| Driver pas cu pas ULN2003 | 4 | 4,41 | 17,64 |
| Inel LED adresabil WS2812 (61 LED) | 1 | 29,96 | 29,96 |
| Endstop mecanic SS-5GL2 | 3 | 5,23 | 15,69 |
| Set 40 fire Dupont 10 cm (M-M) | 1 | 7,73 | 7,73 |
| Set 40 fire Dupont 20 cm (T-M) | 1 | 8,97 | 8,97 |
| Modul encoder rotativ KY-040 | 1 | 5,59 | 5,59 |
| zModul joystick 2 axe XY | 1 | 5,45 | 5,45 |
| Sursă alimentare 5V / 3A | 1 | 24,05 | 24,05 |
| Buzzer activ 5V | 1 | 1,11 | 1,11 |
| Mufă mamă 5.5×2.1 | 1 | 1,51 | 1,51 |
| țeavă aluminiu Ø8×1 (1 m) | 2 | 6,00 | 12,00 |
| Tijă filetată M4 (1 m) | 1 | 11,90 | 11,90 |
| Rulment liniar LM8UU | 8 | 4,90 | 39,20 |
| Rulment 624ZZ | 6 | 1,82 | 10,92 |
| Placă acrilică 500×250×2 mm | 3 | 8,00 | 24,00 |
| Cameră web Full HD 1080p | 1 | 55,00 | 55,00 |
| Lame de microscopie (set) * | 1 | 10,00 | 10,00 |
| Filament PLA (piese imprimate) * | - | 15,00 | 15,00 |
| Elemente de fixare diverse * | - | 10,00 | 10,00 |
| **Prețul total de realizare:** | | | **396,2** |

Costurile uzuale asociate consumului energetic s-au calculaat după următorul considerent: Prețul energiei electrice pentru consumatorii din România (2026, piață liberalizată) se situează în intervalul de aproximativ 1,03-1,48 lei/kWh cu TVA. S-a adoptat o valoare medie de 1,30 lei/kWh ($p_e$). Costul

energetic lunar rezultă înmulțind consumul lunar cu prețul energiei:

$$C_e = W_{lună} * p_e = 0{,}55 \text{ hWh} * 1{,}3 \text{ lei} = 0{,}72 \text{ lei/lună} \quad (3.1)$$

unde $W_{lună}$ reprezintă consumul lunar. Rezultă un cost energetic anual de aproximativ $0{,}72 \times 12 \approx 8{,}6$ lei, ceea ce confirmă consumul redus al sistemului.

Pentru costurile cu mentenanța se estimează un cost anual al pieselor de uzură de aproximativ 10% din costul de realizare al componentelor cu uzură (circa 40 lei/an), la care se adaugă consumabilele (lame, agenți de curățare), estimate la aproximativ 30 lei/an:

$$C_{ment} = 40 + 30 = 70 \text{ lei / an} \quad (3.2)$$

Costul total redus de realizare şi costurile de operare foarte mici (energie şi mentenanță) confirmă caracterul accesibil al sistemului, adecvat pentru utilizarea într-un cabinet din mediul rural.

Conform obiectivelor cercetării, costul sistemului propus trebuie să se situeze în limita a maximum 70% din costul mediu al unei soluții existente pentru analiza probelor în identificarea riscurilor patologice. Pentru verificarea acestui obiectiv, costul de realizare al sistemului (C_real ≈ 390,75 lei) se compară cu media costurilor a cinci soluții comerciale existente, comparabile funcțional prin analiza optică sau colorimetrică a probelor. Prețurile au fost preluate de pe site-urile producătorilor şi de pe platforme de comerț specializate şi convertite în lei la cursul aproximative 1 EUR = 5,28 lei și 1 USD = 4,63 lei. Valorile marcate cu asterisc (*) sunt estimate.

*Tabelul 2.* **Prețurile soluțiilor existente pe piață ale aparatelor de analiză a picăturii**

| Compania | Sistemul existent pe piață | Prețul [Euro] | Prețul [lei] |
|---|---|---|---|
| Krüss DSA100 | Analizor formă picătură (premium) | 28.975 € | 152.988 |
| Attension Theta Flex | Tensiometru optic (premium) * | ~30.000 € | 158.400 |
| Ossila Contact Angle | Goniometru unghi de contact | 3.000 $ | 13.890 |
| Mission U120 | Analizor de urină (point-of-care) | ~360 $ | 1.667 |
| Healthy.io (Minuteful) | Kit de unică folosință * | ~30 $/test | 139 |
| | | **Costul mediu ($C_{med}$)** | **65.417** |

Costul mediu al soluțiilor existente se calculează ca medie aritmetică a celor cinci prețuri:

$$C_{med} = 152.988 + 158.400 + 13.890 + 1.667 + \\ + 139 \text{ lei} / 5 = 65.417 \text{ lei} \quad (3.3)$$

Costul maxim admis pentru sistemul propus, conform obiectivului, este de 70% din costul mediu:

$$C_{max_pr} = (0{,}7) * C_{med} = (0{,}7) * 65.417 \text{ lei} = \\ = 45.792 \text{ lei} \quad (3.4)$$

Costul de realizare al sistemului propus, $C_r$ = 396,20 lei, este cu mult sub această (396,20 lei ≤ 45.792 lei). Ponderea costului sistemului în costul mediu al soluțiilor existente este:

$$p = (C_r / C_{med}) * 100 = (396{,}2 / 65.417) * 100 = \\ = 0{,}62\% \quad (3.5)$$

Deoarece costul sistemului propus reprezintă doar aproximativ 0,62% din costul mediu al soluțiilor existente, mult sub pragul de 70% impus prin obiectiv, obiectivul de cost este îndeplinit. Acest rezultat confirmă caracterul accesibil al sistemului şi avantajul său economic major față de soluțiile comerciale existente.

## 4. PARTEA EXPERIMENTALĂ

După finalizarea realizării sistemului fizic, testarea acestuia, respectiv după testarea funcționării interfețelor software s-a procedat la evaluarea performanțelor dispozitivului în condiții reale de laborator, prin testarea sa pe mostre biologice cu proprietăți optice diferiteText de bază. Text de bază. Prin aceste determinări experimentale s-a urmărit verificarea capacității algoritmului de procesare numerică de a izola corect proba în câmpul vizual, de a detecta marginile acesteia sub iluminare controlată și de a genera un diagnostic preliminar bazat pe analiza componentelor de culoare. Pentru fiecare tip de substanță analizată, protocolul experimental a cuprins așezarea mostrei în zona centrală a suportului de sticlă, poziționarea automată sau manuală a ansamblului optic la distanța optimă de focalizare și declanșarea secvenței de captură. Datele extrase din analiză au fost comparate cu proprietățile vizuale cunoscute ale probelor pentru a stabili gradul de acuratețe al sistemului mecatronic.

Primele determinări experimentale au fost efectuate pe **mostre de salivă**, colectate pe lamele de plastic. Acest tip de substanță prezintă o transparență ridicată și o densitate fluidă, fiindun test important

pentru sensibilitatea senzorului optic și a contrastului realizat de inelul LED.

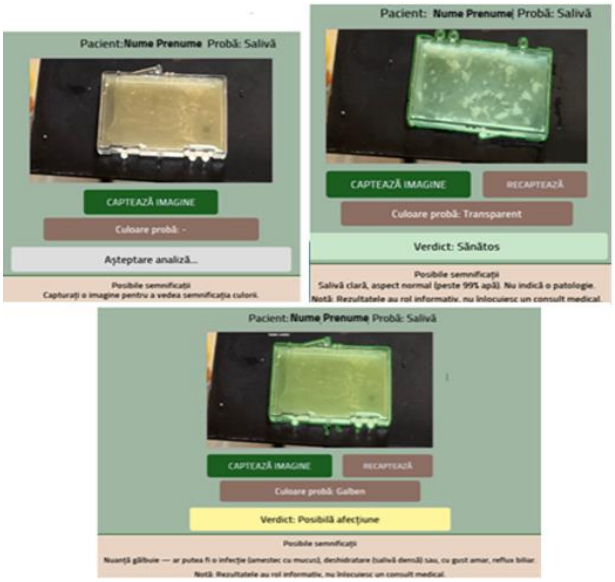



**Fig. 4.1** Exemple de rezultate ale analizei software pentru diferite mostre de salivă

Testele au urmărit dacă algoritmul poate detecta conturul exterior al unei probe cu reflexii pronunțate și dacă nuanțele de culoare asociate stării de sănătate (sau eventualelor impurități) sunt identificate corect în raport cu fundalul de analiză. În figura 4.1 sunt prezentate trei exemple de rezultate în cazul determinărilor experimentale pe mostre de salivă:

Cea de-a doua serie de teste s-a concentrat pe analiza unor mostre de **exudat nazal**. Spre deosebire de salivă, acest fluid prezintă o opacitate mai mare și o consistență adesea neomogenă, caracteristici care influențează modul în care lumina este reflectată spre camera de captură.

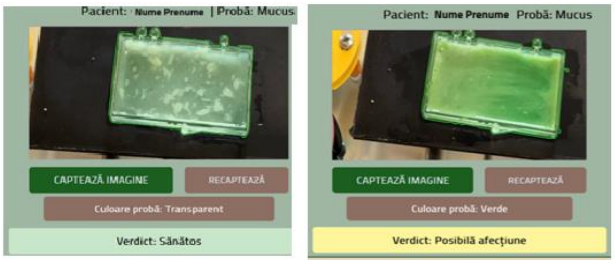



**Fig. 4.2** Exemple de rezultate ale analizei software pentru diferite mostre exudat nazal (stînga – mucus transparent; dreapta – mucus de culoare galben-verzuie

A treia categorie de teste s-a axat pe analiza unor mostre prelevate din **spută**, substanță care se remarcă printr-o vâscozitate crescută și o încărcare densă de particule. Aceata are o culoare și o textură mult mai pronunțate în comparație cu fluidele testate anterior. Prin aceste probe s-a verificat stabilitatea algoritmului în condiții de reflexie scăzută a luminii și capacitatea sistemului de a clasifica corect zonele cu opacitate ridicată, generând verdicte precise pe baza paletei cromatice detectate la nivelul probei. În figura 4.3 este prezentat un exemplu de imagini captate dintr-o mostră prelevată din spută, indicând o posibilă afecțiune respiratorie severă.

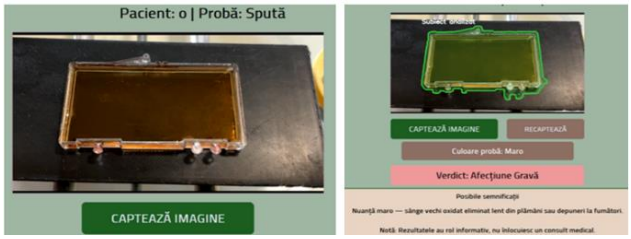



**Fig. 4.3** Exemplu de captare a unei imagini dintr-o mostră de spută de culoare maro, indicînd o posibilă afecțiune respiratorie gravă

## 5. REZULTATE

În urma procesării, toate imaginile și datele numerice rezultate au fost direcționate către modulul de istoric al aplicației, acesta fiind accesibil și afișat direct pe pagina de început a interfeței grafice.




**Fig. 5.1** Exemplu listă generată, constituind istoricul analizei pe baza datele obținute, cu informații privind un diagnostic asociat unor posibile afecțiuni virale

Pentru mostrele de salivă, sistemul a dovedit o sensibilitate ridicată, reușind să detecteze corect variațiile cromatice introduse experimental (transparente, galbene, roșii) și să le înregistreze corect în fișa fiecărui subiect. În cazul exudatelor nazale și al sputei, deși texturile au fost mai opace și neomogene, calibrarea software a pragurilor de filtrare a prevenit apariția erorilor de segmentare.

În urma analizării tuturor probelor, s-a demonstrat că aparatul funcționează stabil ca ansamblu integrat.

Structurarea aplicației cu o pagină de început ce conține istoricul pacienților s-a dovedit eficientă pentru organizarea fluxului de date.

Corelarea dintre poziționarea mecanică pe tije, iluminarea controlată cu inelul LED și funcția de analiză evolutivă din software asigură repetabilitatea măsurătorilor.

Rezultatele obținute confirmă că dispozitivul nu doar că realizează o analiză vizuală preliminară precisă, dar permite și monitorizarea corectă în timp a modificărilor apărute la nivelul substanțelor vitale prelucrate.

## 6. CONCLUZII

Sub aspect funcțional, s-a constatat că dispozitivul realizează poziționarea automată a probei și a camerei pe cele trei axe de translație, asigurând achiziția controlată a imaginilor și prelucrarea colorimetrică ulterioară a acestora.

În ceea ce privește eficiența, automatizarea procesului de poziționare și de captură elimină erorile de operare manuală și asigură condiții de măsurare reproductibile de la o probă la alta.

Din punctul de vedere al costului, soluția propusă se remarcă printr-un raport excelent între performanță și preț; costul total al componentelor utilizate a fost de aproximativ 400 lei, reprezentând aproximativ 1% din media costurilor pentru 5 soluții comerciale de referință; acest rezultat confirmă caracterul accesibil al dispozitivului și potențialul său de a reduce semnificativ barierele economice asociate echipamentelor de analiză existente. Sub aspectul utilității, dispozitivul răspunde nevoii de soluții portabile și economice pentru analiza la locul îngrijirii, putând fi folosit în contexte în care echipamentele de laborator clasice nu sunt disponibile sau sunt prea costisitoare pentru pacienți. Prin combinarea portabilității, a costului redus și a unui mod de utilizare relativ simplu, soluția propusă constituie o bază solidă pentru dezvoltarea ulterioară a unui instrument de analiză accesibil unui număr mare de utilizatori.

## BIBILOGRAFIE


[1] Krüss Scientific. DSA100, *Drop Shape Analyzer. Installation and Operation Manual*, Krüss GmbH, Hamburg, Germania, 2026.

[2] Ossila Ltd., *Contact Angle Goniometer. User Manual*, Sheffield: Ossila Publishing, SUA, 2026.

[3] Thomas, E. A. *Surface Tension Triggered Wetting and Point of Care Sensor Design*, Nature Communications, vol. 7, nr. 10852, pag. 1–8, Boston University, SUA, 2016.

[4] Roblegg, E.; Coughran, A.; Sirjani, D. Saliva, *An all-rounder of our body*, European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, vol. 142, pag. 1–10, 2019.

[5] Medical News Today, *Sputum: Causes, Colors, Symptoms, and What It Means*, WebMD, 2026.

[6] Krüss Scientific, DAS 100, *Drop Shape Analyzer. Specifications*, Krüss GmbH Hamburg, Germania, 2025.

[7] Healthline, *Your Mucus Color Meaning. Green Mucus to Clear Snot Meanings*, 2025.

[8] Biolin Scientific, *Attension Theta Flex, Optical Tensiometer*, Biolin Scientific, Gothenburg, Suedia, 2026.

[9] Obreja, N., P., Platformă mecatronică portabilă pentru analiza vizuală a mostrelor prelucrate din substanțele vitale, în scopul identificării unor posibile patologii. Proiect de Diplomă, coordonatori: Prof. Dr. ing. Radu Săulescu, Șef lucr. Dr. ing. Barbu BRAUN, promoția IMED, 2026.


### Despre autori


Șef lucr. dr. ing. **Barbu BRAUN**
Universitatea TRANSILVANIA, Brașov, România


Braun Barbu este absolvant al Facultății de Mecanică, specializarea Mecatronică, promoția 2000. A urmat cursurile de Studii Aprofundate (specializarea Structuri de Mecanică Fină pentru Managementul Sistemelor Tehnice) în cadrul aceleași facultăți. Din 2001, este angajat al Universității Transilvania din Brașov, la Facultatea de Inginerie Mecanică, iar din 2009 este Doctor în domeniul Inginerie Mecanică. În perioada 2010 – 2013 a urmat un stagiu post-doctoral, în cadrul programului P0S-DRU, având ca tematică biomecanica și modelarea susținătorilor plantari. A publicat în calitate de autor sau coautor: 8 cărți și 146 de articole în reviste de specialitate și în volumele unor conferințe internaționale și naționale.
În calitate de unic autor a publicat o monografie după Teza de Doctorat.


Șef lucr. dr. ing. **Corneliu DRUGĂ**
Universitatea TRANSILVANIA, Brașov, România


Drugă Corneliu este absolvent al Facultății de Mecanică, specializarea Mecanică Fină (promoția 1998). A urmat cursurile de Studii Aprofundate (specializarea Structuri de Mecanică Fină pentru Managementul Sistemelor

Tehnice) în cadrul aceleași facultăți. Din 2001, este angajat al Universității Transilvania din Brașov, la Facultatea de Inginerie Mecanică, iar din 2011 este Doctor în domeniul Inginerie Mecanică. Din 2013, este șef de lucrări la Departamentul de Design de Produs, Mecatronică și Mediu din cadrul Universități Transilvania din Brașov. A publicat în calitate de autor sau coautor: 9 cărţi şi peste 135 de articole în reviste de specialitate şi în volumele unor conferinţe internaţionale și naţionale.

Șef lucr. dr. ing. **Ionel ȘERBAN**
Universitatea TRANSILVANIA, Brașov, România

Ionel Şerban este absolvent al Facultății de Mecanică, specializarea Mecanică Fină (promoția 2008). A urmat cursurile de master în cadrul Facultăţii de Inginerie Tehnologică, specializarea Ingineria şi Managementul Calităţii în Industrie. A absolvit studiile doctorale în anul 2011, în cadrul Facultăţii Design de Produs şi Mediu, în domeniul Inginerie Mecanică. Din 2012 este angajat pe postul de cercetător științific gradul III în cadrul Institutului ICDT, Brașov. Din 2017 este angajat, şef de lucrări, al Universități Transilvania din Brașov, la Facultatea de Design de Produs şi Mediu. A publicat în calitate de autor sau coautor: o monografie, 3 cărți şi peste 103 articole în reviste de specialitate şi în volumele unor conferinţe internaţionale și naţionale.

Șef lucr. dr. ing. **Leonard MITU**
Universitatea TRANSILVANIA, Brașov, România

Mitu Leonard Gabriel este absolvent al Facultății de Știința și Ingineria Materialelor, specializarea Inginerie Economică Industrială. A urmat cursurile de Ingineria și managementul materialelor avansate – metalice, ceramice și compozite în cadrul aceleași facultăți. În anul 2013 a obținut titlul de doctor în Inginerie Mecanică în cotutela cu Universitat Politècnica de València, Alicante, Escuela Politécnica Superior de Alcoy, Dpto. de Inginieria Mecánica y de Materiales. Din 2021, este angajat pe postul de șef lucrări la Departamentul de Design de Produs, Mecatronică și Mediu din cadrul Universității Transilvania din Brașov. A publicat în calitate de autor sau coautor: o monografie și peste 27 de articole în reviste de specialitate şi în volumele unor conferințe internaționale și naționale.