



UNIVERSITATEA NAȚIONALĂ DE ȘTIINȚĂ ȘI TEHNOLOGIE POLITEHNICA
BUCUREȘTI

FACULTATEA INGINERIA SISTEMELOR BIOTEHNICE
ȘCOALA DOCTORALĂ INGINERIA SISTEMELOR BIOTEHNICE

TEZĂ DE DOCTORAT - REZUMAT

CERCETĂRI PRIVIND CREȘTEREA PERFORMANȚELOR ECHIPAMENTELOR DE EXTRAȚIE A PRINCIPIILOR ACTIVE DIN PLANTE MEDICINALE ȘI AROMATICE

Conducător științific:

CS 1 Habil. dr. ing. Nicolae-Valentin VLĂDUȚ

Conducător științific în cotutelă:

Prof. Habil. dr. ing. Mihaela BEGEA

Autor:

Ana-Maria TĂBĂRAȘU

**-București-
2026**

CUPRINS

CAPITOLUL 1	4
INTRODUCERE	4
1.1. Prezentarea temei de cercetare și justificarea abordării acesteia	4
1.2. Importanța și actualitatea temei de cercetare	4
1.3. Prezentarea obiectivului general al tezei și a obiectivelor specifice	4
1.4. Structura tezei de doctorat cu prezentarea succintă a conținutului capitolelor	5
CAPITOLUL 2	7
CONSIDERAȚII PRIVIND PLANTELE MEDICINALE ȘI AROMATICE. FACTORI DE MEDIU. PRINCIPII ACTIVE	7
2.1. Considerații privind plantele medicinale și aromatice	7
2.2. Factori de mediu care influențează creșterea și calitatea plantelor medicinale și aromatice	9
2.3. Principiile active din plante medicinale și aromatice	10
CAPITOLUL 3	11
TEHNOLOGII ȘI ECHIPAMENTE PENTRU OBTINEREA PRINCIPIILOR ACTIVE DIN PLANTE MEDICINALE ȘI AROMATICE	11
3.1. Metode clasice (tradiționale) pentru extracția principiilor active din plante medicinale și aromatice	11
3.2. Echipamente clasice pentru extracția principiilor active din plante medicinale și aromatice	11
3.3. Metode moderne pentru extracția principiilor active din plante medicinale și aromatice	13
3.4. Echipamente moderne pentru extracția principiilor active din plante medicinale și aromatice	13
CAPITOLUL 4	15
STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND PROCESUL DE EXTRAȚIE A PRINCIPIILOR ACTIVE DIN PLANTE MEDICINALE ȘI AROMATICE	15
4.1. Stadiul actual al cercetărilor teoretice privind procesul de extracție a principiilor active din plante medicinale și aromatice	15
4.2. Stadiul actual al cercetărilor experimentale privind procesul de extracție a principiilor active din plante medicinale și aromatice	16
CAPITOLUL 5	17
CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA PERFORMANȚELOR ECHIPAMENTELOR DE EXTRAȚIE A PRINCIPIILOR ACTIVE DIN PLANTE MEDICINALE ȘI AROMATICE	17
5.1. Prelucrarea materialului vegetal și alegerea metodei de extracție	17
5.1.1. Caracterizarea și pregătirea materialului vegetal (recoltare, determinarea umidității, caracterizare plante)	17

5.1.2. Mărunțirea plantelor pentru etapa de selecție a metodei de extracție	19
5.1.3. Alegerea celei mai eficiente metode de extracție	19
5.1.4. Evaluarea influenței gradului de mărunțire pentru metoda hibridă percolare sub presiune asistată cu ultrasunete	21
5.2. Selectarea puterii optime de extracție a ultrasunetelor	23
5.3. Evaluarea eficienței echipamentelor de extracție hibridă percolare sub presiune asistată cu ultrasunete prin conținutul de principii active	25
5.3.1. Pregătirea probelor vegetale pentru testele experimentale	27
5.3.2. Validarea metodei de extracție în funcție de conținutul de principii active rezultate	29
5.3.3. Corelarea consumului energetic cu eficiența procesului de extracție	32
CAPITOLUL 6	33
PRELUCRAREA ȘI INTERPRETAREA DATELOR EXPERIMENTALE. MODELAREA MATEMATICĂ A PROCESULUI DE EXTRACȚIE A PRINCIPIILOR ACTIVE DIN PLANTE MEDICINALE ȘI AROMATICE	33
6.2. Modelare statistică	33
CAPITOLUL 7	37
CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII PERSONALE. DIRECȚII NOI DE CERCETARE	37
7.1. Concluzii generale privind cercetările teoretice și experimentale	37
7.2. Contribuții personale	39
7.3. Direcții noi de cercetare	41
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ	42

Listă de simboluri și notații

Q	debitul volumetric al fluidului [m^3/s]
K	conductivitatea hidraulică a materialului poros [m/s]
A	aria secțiunii transversale prin care curge fluidul [m^2]
$\frac{dh}{dl}$	gradientul hidraulic, care reprezintă modificarea înălțimii pe lungimea de interes
dQ	volumul de lichid percolat într-un interval de timp dt , [m^3]
P_p	coeficientul de permeabilitate al mediului poros [m/s]
I	gradientul hidraulic
h	înălțimea coloanei de lichid care determină percolarea [m]
l	lungimea coloanei de material permeabil [m]
A_m	aria secțiunii transversale a materialului [m^2]
p	presiunea [Pa]
F	forța aplicată [N]
A_c	suprafața de contact [m^2]
k	permeabilitate mediului poros [m^2]
L	lungimea mediului poros pe direcția curgerii [m]
Δp	diferența de presiune [$\frac{\text{kg}}{(\text{m} \cdot \text{s}^2)}$]
η	vâscozitatea fluidului [$\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$]
J	fluxul de difuzie [$\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$]
dm	variația cantității de substanță [mol]
D	coeficientul de difuzie [m^2/s]
C	concentrația particulelor [mol/m^3]
x	parametrul de poziție [m]
R	raza bulei [m]
\dot{R}	viteza de variație a razei bulei [m/s]
\ddot{R}	acelerația variației razei bulei [m/s^2]
p_g	presiunea parțială a gazului necondensabil [Pa]
p_v	presiunea parțială a vaporilor [Pa]
μ	vâscozitatea lichidului [$\text{Pa} \cdot \text{s}$]
p_0	presiunea statică ambientală [Pa]
$p_s(t)$	presiunea acustică instantanee [Pa]
ρ_0	densitatea de echilibru a lichidului [kg/m^3]
σ	tensiunea superficială a interfeței bulă-lichid [N/m]
c_∞	viteza sunetului în lichid în condiții ambientale [m/s]

p_{∞}	presiunea ambientală și densitatea lichidului este considerată constantă în condiții ambientale ($\rho = \rho_{L,\infty} = \text{const.}$) [Pa]
p_B	presiunea lichidului la peretele bulei [Pa]
R_{max}	raza maximă a bulei [μm]
R_0	raza inițială a bulei [μm]
$v_{microjet}$	viteza microjetului [m/s]
v_{colaps}	viteza colapsului bulei [m/s]
τ_w	stresul de forfecare la perete [Pa]
U	viteza lichidului la perete [m/s]
y	distanța până la limită [m]
μ_a	vâscozitatea dinamică a apei [$10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$]
UI	intensitate ultrasonică [W/cm^3]
P	puterea ultrasunetelor [W]
V	volumul probei [cm^3]
Y	valoarea estimată a răspunsului
X	factor independent
b_1, b_2, b_3	coeficienți de regresie pentru efectul liniar
b_{11}, b_{22}, b_{33}	coeficienți pentru efectul pătratic
b_{12}, b_{13}, b_{23}	coeficienți pentru efectul de interacțiune liniară
μ_m	media generală a observațiilor
α_i	efectul asociat nivelului i al factorului α
β_j	efectul asociat nivelului j al factorului β
$(\alpha\beta)_{ij}$	efectul de interacțiune dintre nivelurile i și j ale factorilor α și β
ε_{ijk}	eroarea aleatorie a modelului
X_i, X_j	valorile asociate factorilor analizați
β_0	termen constant
$\beta_i, \beta_{ii}, \beta_{jj}$	coeficienții care exprimă efectul principal al fiecărei variabile
β_{ij}	coeficienții care reflectă efectele de interacțiune dintre variabile
ε	eroare reziduală
n	numărul de factori studiați
N_i	nivelul fiecărui factor
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$	coeficienți ai efectelor individuale
$\alpha_{12}, \alpha_{13}, \alpha_{23}$	coeficienți ai efectelor de interacțiune binară
α_{123}	coeficient al efectului de interacțiune ternară
D_{eff}	coeficient de difuzie constant și efectiv [m^2/s]
C_{sol}	concentrația locală a compusului în solid [$\text{mg}/\text{g dm}$]
x_d	distanța dintre axe [m]

t	timpul de extracție [s]
$C_{e\ sol}$	conținutul de principii active la echilibru în faza solidă
Bi	importanța relativă a rezistențelor interne și externe la transferul de masă [h _m , m/s]
L_p	jumătate din grosimea plăcii [m]
D_0	factorul pre-exponențial [m ² /s]
E_a	energia de activare [J/mol K]
R_g	constanta gazului [8,31 J/mol K]
T	temperatura de extracție [°C]
Pot	densitatea de putere a ultrasunetelor [W/L]
ε_p	porozitate
S_0	coeficient stocare specifică
Dk	difuzia moleculară
T_0	temperatura inițială
Λ	tensor de conductivitate hidrodinamica termică
C_m^s	concentrația necunoscută
$\rho^s c^s$	capacitatea termică volumetrică solidă
ρc	capacitatea termica volumetrica a fluidului
R_m^s	viteza totală de reacție
ε_s	fracție volumică solidă
χ, f_μ	coeficientul de flotabilitate și funcția relației de vâscozitate
K_h	tensor de conductivitate hidraulică
e	vectorul unitar de coordonate
q	fluxul Darcy
R_k	viteza totală de reacție a speciilor, k
j_k	dispersia hidrodinamică
Y_c	concentrația de extracție a compusului
B	raport solvent-solid [mL/g]
X_{SA}	amplitudinea sonicării [%]
X_{PC}	ciclu de puls [s]
C_p	conținut total principii active (polifenoli) [mg GAE/100g]

CAPITOLUL 1

INTRODUCERE

1.1. Prezentarea temei de cercetare și justificarea abordării acesteia

Teza de doctorat „*Cercetări privind creșterea performanțelor echipamentelor de extracție a principiilor active din plante medicinale și aromatice*” își propune să contribuie la dezvoltarea domeniului prin îmbunătățirea echipamentelor utilizate în proces, pe baza analizei variabilității parametrilor operaționali. Cercetarea integrează metode avansate de extracție, în special tehnologii hibride, urmărind comportamentul echipamentelor în diverse configurații și identificarea acelor combinații de parametri care duc la o funcționare stabilă și eficientă.

1.2. Importanța și actualitatea temei de cercetare

Motivația alegerii acestei teme are la bază necesitatea îmbunătățirii echipamentelor industriale pentru a obține principii active în condiții de randament ridicat, costuri reduse și impact minim asupra mediului. Acest aspect este deosebit de relevant pe măsură ce resursele devin tot mai limitate, iar în ingineria mecanică este nevoie să se dezvolte tehnologii avansate care să răspundă acestor provocări. Noutatea acestei lucrări se bazează pe utilizarea unei *metode hibride de extracție*: percolare sub presiune asistată cu ultrasunete, care combină beneficiile percolării, oferind o extracție constantă și uniformă, cu cele ale ultrasunetelor, care amplifică procesul prin acțiunea undelor ultrasonice.

1.3. Prezentarea obiectivului general al tezei și a obiectivelor specifice

Obiectivul general al tezei „*Cercetări privind creșterea performanțelor echipamentelor de extracție a principiilor active din plante medicinale și aromatice*” constă în creșterea performanțelor echipamentelor de extracție utilizate în procesarea plantelor medicinale și aromatice, prin îmbunătățirea parametrilor tehnologici și integrarea unei metode hibridă percolare sub presiune asistată cu ultrasunete care să asigure un randament ridicat și eficiență energetică. În această teză de doctorat, activitatea științifică a urmărit realizarea treptată a unor obiective specifice, după cum urmează:

- Asigurarea aparaturii și a dispozitivelor de măsurare necesare desfășurării experimentelor privind extracția principiilor active.
- Stabilirea variantelor de experimentare, prin alegerea și configurarea echipamentelor utilizate.
- Determinarea caracteristicilor plantelor medicinale utilizate în experiment.
- Selectarea materiilor prime vegetale folosite în experimente: urzică, lavandă și salvie;

- Identificarea optimă a gradului de mărunțire și a cantității de material vegetal necesare experimentărilor.
- Studiul influenței parametrilor tehnologici asupra eficienței procesului de extracție, prin reglarea controlată a acestora.
- Prelucrarea și interpretarea datelor experimentale, în vederea evidențierii relațiilor dintre parametrii de proces și randamentul de extracție.
- Modelarea matematică a procesului de extracție.

1.4. Structura tezei de doctorat cu prezentarea succintă a conținutului capitolelor

Lucrarea este structurată în 7 capitole, dezvoltate în 147 pagini care cuprind 108 figuri, 38 tabele, 49 relații matematice, precum și o listă bibliografică alcătuită din 189 referințe.

- **Capitolul 1** *“Introducere”* prezintă tema cercetării, justificarea și importanța ei. Lucrarea urmărește creșterea performanțelor echipamentelor de extracție a principiilor active din plante medicinale și aromatice prin optimizarea parametrilor de proces și folosirea unei metode hibride - percolare sub presiune asistată cu ultrasunete. Sunt definite ipoteza, obiectivele generale și specifice, provocările tehnice și metodologia experimentală care combină analiza teoretică și practică în vederea obținerii unor procese eficiente, stabile și sustenabile.
- **Capitolul 2** *“Considerații privind plantele medicinale și aromatice. Factori de mediu. Principii active”* prezintă caracteristicile generale ale plantelor medicinale și aromatice (urzică, lavandă și salvie). De asemenea, sunt analizați principalii factori de mediu care influențează dezvoltarea acestor specii, precum și categoriile esențiale de compuși activi prezenți în structura lor.
- **Capitolul 3** denumit *“Tehnologii și echipamente pentru obținerea principiilor active din plante medicinale și aromatice”* prezintă atât metodele clasice de extracție a compușilor din plante (cu accent pe extracția prin percolare sub presiune), cât și metodele moderne (cu accent pe extracția asistată cu ultrasunete), fiind urmat de o descriere a echipamentelor specifice fiecărei categorii.
- În **Capitolul 4** *“Stadiul actual al cercetărilor privind procesul de extracție a principiilor active din plante medicinale și aromatice”* este structurat în două părți. Prima parte prezintă studii recente privind cercetările teoretice axate pe modelarea statistică aplicată în optimizarea metodelor de extracție, utilizând metode precum metodologia suprafeței de răspuns, designul factorial complet și designul factorial fracționat. A doua secțiune

prezintă sinteza cercetărilor experimentale actuale, evidențiind aplicarea acestor metode statistice și rezultatele obținute.

- **Capitolul 5** intitulat *“Cercetări experimentale privind îmbunătățirea performanțelor echipamentelor de extracție a principiilor active din plante medicinale și aromatice”* prezintă etapele de prelucrare a materialului vegetal, precum recoltarea, determinarea umidității, mărunțirea și sortarea. Sunt realizate evaluări comparative ale performanței diferitelor metode de extracție, evidențiind influența unor parametri precum presiunea, timpul și puterea ultrasunetelor asupra eficienței procesului. De asemenea, sunt analizate direcții de îmbunătățire a echipamentelor hibride, în special a celor care combină percolarea sub presiune cu ultrasunetele. Pregătirea probelor experimentale și analiza conținutului de principii active servesc drept instrumente de evaluare a eficienței condițiilor de extracție aplicate.
- În **Capitolul 6** *“Prelucrarea și interpretarea datelor experimentale. Modelarea matematică a procesului de extracție a principiilor active din plante medicinale și aromatice”* sunt prezentate atât un model matematic care evidențiază influența parametrilor de proces asupra extracției, precum și modele statistice aplicate pentru cele trei tipuri de plante analizate. Sunt utilizate metode de analiză multivariată liniară și regresii polinomiale multivariate pentru interpretarea și corelarea datelor experimentale.
- **Capitolul 7** intitulat *„Concluzii generale. Contribuții personale. Direcții noi de cercetare”*, sintetizează rezultatele obținute în urma cercetărilor teoretice și experimentale privind îmbunătățirea echipamentelor de extracție a compușilor bioactivi din plante medicinale și aromatice. Sunt prezentate concluziile generale referitoare la influența parametrilor de proces asupra funcționării echipamentelor hibridă de extracție, contribuțiile personale aduse în domeniul modelării și testării experimentale, precum și direcții viitoare de cercetare în procesarea, sortarea și extracția plantelor medicinale.

CAPITOLUL 2

CONSIDERAȚII PRIVIND PLANTELE MEDICINALE ȘI AROMATICE. FACTORI DE MEDIU. PRINCIPII ACTIVE

2.1. Considerații privind plantele medicinale și aromatice

Utilizarea plantelor medicinale și aromatice pentru scopuri terapeutice datează din preistorie, iar primele documente scrise referitoare la utilizarea lor pentru tratarea afecțiunilor au apărut în urmă cu aproximativ 5000 de ani, marcând începutul unui proces continuu de integrare și dezvoltare în medicină (Hassan, 2015; Jamshidi-Kia et al., 2018; Khan, 2014; Pergola et al., 2024).

În acest context vast, unele plante se remarcă printr-o combinație unică de proprietăți terapeutice și economice. În cadrul acestei lucrări, atenția este îndreptată către trei specii reprezentative: *urzica* (*Urtica dioica*), *lavanda* (*Lavandula angustifolia*) și *salvia* (*Salvia officinalis*), care exemplifică potențialul și complexitatea acestui domeniu. Aceste plante nu doar că reflectă diversitatea funcțională a speciilor medicinale, dar oferă și o bază solidă pentru investigațiile specifice desfășurate în cadrul acestei cercetări.

- **Urzica** (fig. 2.1) este o plantă erbacee perenă din familia Urticaceae, răspândită în zonele temperate ale Europei, Asiei, Americii de Nord și Africii de Nord (Bhusal et al., 2022). Din punct de vedere chimic, urzica se remarcă printr-o compoziție bioactivă diversificată, care o face o resursă extrem de valoroasă. Frunzele conțin flavonoide, cum ar fi quercetina și kaempferolul, recunoscute pentru proprietățile lor antioxidante și antiinflamatorii, precum și acizi fenolici (cafeic, ferulic), carotenoide (luteină, beta-caroten), vitamine (A, C, K și B) și minerale esențiale (calciu, fier, magneziu, potasiu).

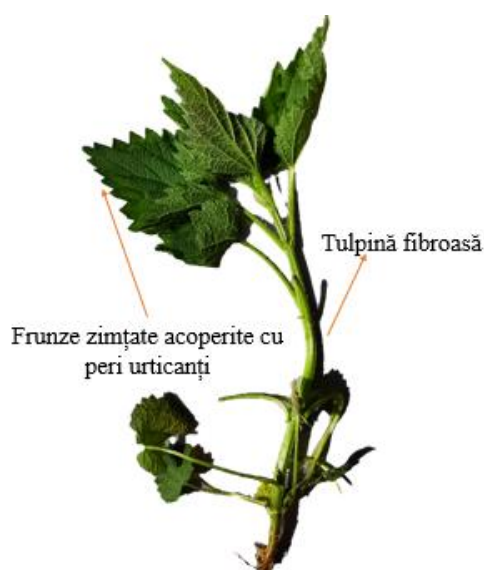


Fig. 2.1 - Urzica (*Urtica dioica*)

- **Lavanda** (fig. 2.2) este o plantă aromatică perenă din familia Lamiaceae, originară din regiunea mediteraneană. Lavanda este cunoscută pentru conținutul său bogat în uleiuri esențiale, dintre care cele mai importante componente sunt linalolul și acetatul de linalil. Pe lângă acestea, planta conține polifenoli, taninuri, triterpene și acizi fenolici, precum și minerale precum potasiu, calciu și magneziu. Această compoziție complexă face ca lavanda să fie extrem de versatilă (Prusinowska și Śmigielski, 2014).

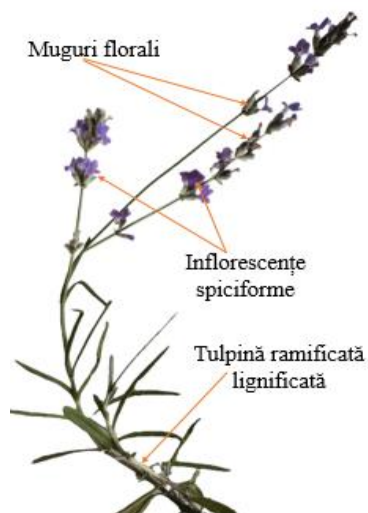


Fig. 2.2 - Lavanda (*Lavandula angustifolia*)

- **Salvia** (fig. 2.3) este o plantă perenă aromatică, aparținând familiei Lamiaceae, cu origini în regiunea mediteraneană (Khedher et al., 2017). Din punct de vedere chimic, salvia are o compoziție deosebită: este bogată în uleiuri esențiale precum tuiona și cineolul, recunoscute pentru efectele lor antimicrobiene și antifungice. Totodată, conține acid rozmarinic, cu proprietăți antioxidante puternice, flavonoide cu efect antiinflamator, precum și triterpene și taninuri, care au rol astringent și cicatrizant. Mineralele esențiale precum calciul, magneziul, fierul și zincul contribuie la beneficiile nutriționale și terapeutice ale plantei (Jassam și Kareem, 2019; Dent et al., 2015; Veličkovici et al., 2006).

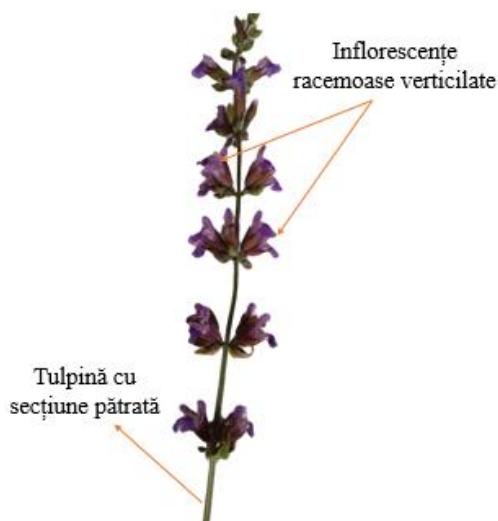


Fig. 2.3 - Salvia (*Salvia officinalis*)

Urzica, *lavanda* și *salvia* au fost selectate pentru această cercetare datorită conținutului lor ridicat de polifenoli, compuși prezenți în cantități semnificative în compoziția chimică a tuturor celor trei specii.

2.2. Factori de mediu care influențează creșterea și calitatea plantelor medicinale și aromatice

Schimbările climatice și factorii de mediu, precum temperaturile extreme, concentrațiile ridicate de CO₂, ozonul, salinitatea solului, intensitatea luminii, calitatea și disponibilitatea apei în sol și fertilitatea solului, influențează complex dezvoltarea plantelor medicinale, determinând modificări în ciclurile lor de viață, sinteza metaboliților secundari și adaptarea la stresuri, ceea ce impune necesitatea unor strategii sustenabile de cultivare și conservare pentru menținerea calității și productivității acestor resurse esențiale (*Pant et al., 2021; Shruti et al., 2024; Laftouhi et al., 2023*).

- **Temperatura**, influențează în mod semnificativ creșterea și dezvoltarea plantelor medicinale, având efecte directe asupra proceselor fiziologice și fenologice. Temperaturile ridicate asociate schimbărilor climatice accelerează etapele de dezvoltare, precum înflorirea timpurie, și perturbă echilibrul dintre procesele metabolice primare și secundare (*Shruti et al., 2024; Kalariya et al., 2023; Vâtcă et al., 2020*).
- **Dioxidul de carbon (CO₂)** - creșterea concentrației în atmosferă are un impact semnificativ asupra plantelor medicinale și aromatice, influențând atât creșterea acestora, cât și compoziția fitochimică. Un nivel mai ridicat de CO₂ stimulează procesul de fotosinteză, determinând o creștere accelerată și o acumulare mai mare de biomasă. Acest fenomen poate însemna o producție mai ridicată de frunze, flori sau rădăcini (*Sharma et al., 2020; Jamlaki et al., 2021*).
- **Ozonul troposferic**, deși recunoscut pentru efectele sale de protecție împotriva radiațiilor UV, poate induce stres fiziologic în plante, activând căi metabolice responsabile de sinteza compușilor secundari bioactivi; acest fenomen este benefic pentru anumite plante, care își cresc concentrațiile de antioxidanți și fitochimicale cu potențial terapeutic, precum fenoli și flavonoizii, însă poate avea efecte negative asupra altor specii, reducând calitatea și cantitatea metabolitelor produși, în funcție de sensibilitatea speciilor și de condițiile de expunere (*Hounsou et al., 2024 ; Madheshiya et al., 2023 ; Han et al., 2023 ; Pradhan et al., 2017*).

- **Salinitatea solului** - reprezintă un factor de stres major pentru plante, influențând negativ germinarea, creșterea și productivitatea acestora prin dezechilibre nutriționale, stres hiperosmotic, și toxicitate ionică, ceea ce afectează fotosinteza și procesele biochimice (Said-Al Ahl și Omer, 2011; Al Otaibi et al., 2024).

2.3. Principiile active din plante medicinale și aromatice

Plantele medicinale și aromatice reprezintă o sursă remarcabilă de principii active, utilizate din vremuri străvechi pentru diverse scopuri, de la remedii naturale la conservanți alimentari.

✓ **Uleiurile esențiale**, substanțe volatile extrase din plante aromatice, sunt utilizate de secole pentru proprietățile lor terapeutice și medicinale. Acestea sunt produse în metabolismul secundar al plantelor, conținând o gamă variată de principii active precum monoterpenele, sesquiterpenele și fenilpropanidele, responsabili pentru mirosul, proprietățile și eficacitatea lor terapeutică. (de Oliveira et al., 2018; Mustapa et al., 2023).

✓ **Polifenolii** sunt principii active produse de plante prin procesele metabolice secundare, având o structură chimică caracterizată de un nucleu aromatic și una sau mai multe grupări hidroxil, ceea ce le conferă o mare diversitate. Clasificarea lor principală include două categorii majore: flavonoidele (substanțe precum flavanoli, flavonoli, antocianine și izoflavone) și non-flavonoidele (cum sunt acizii fenolici, stilbenele și lignanii). Acești compuși sunt întâlniți frecvent în alimente precum fructele, legumele, cerealele integrale, ceaiul verde, dar și în plantele aromatice și medicinale (Pinto et al., 2021; Mueed et al., 2023; Singla et al., 2019).

✓ **Alcaloizii** sunt compuși organici naturali, sintetizați prin metabolismul secundar al plantelor și întâlniți ocazional în fungi, bacterii sau animale. Aceștia sunt definiți prin prezența unui atom de azot cu proprietăți bazice, care le conferă un spectru larg de caracteristici biologice și aplicabilități. Structura lor diversă și funcțiile complexe îi plasează în centrul cercetărilor din domeniul farmacologic și agricol (El-Saadony et al., 2025).

✓ **Saponinele** sunt compuși glicozidici naturali întâlniți în numeroase plante, recunoscuți pentru structura lor unică, formată dintr-un aglicon triterpenoid sau steroidal legat de una sau mai multe molecule de zahăr (Maghsoudloo et al., 2023; Sharma et al., 2023).

CAPITOLUL 3

TEHNOLOGII ȘI ECHIPAMENTE PENTRU OBȚINEREA PRINCIPILOR ACTIVE DIN PLANTE MEDICINALE ȘI AROMATICE

Obținerea principiilor active din plantele medicinale și aromatice reprezintă un proces complex, care implică utilizarea unor tehnologii și echipamente variate, adaptate în funcție de tipul compușilor urmăriți, sensibilitatea acestora și aplicațiile finale.

3.1. Metode clasice (tradiționale) pentru extracția principiilor active din plante medicinale și aromatice

3.1.1. Macerarea este o metodă tradițională de extracție utilizată pentru separarea principiilor active din materiale vegetale, ce se realizează prin scufundarea plantelor în solvent, fără aplicarea unei surse de căldură directă (*Tambun et al., 2021; Hidayat și Wulandari, 2021*).

3.1.2. Distilarea cu abur reprezintă cea mai utilizată metodă pentru extragerea uleiurilor esențiale, fiind apreciată datorită simplității și costurilor accesibile. Procesul presupune utilizarea aburului pentru a desprinde compușii volatili din materia vegetală, care sunt ulterior condensați și separați în uleiuri esențiale (*Machado et al., 2022; Kapadia et al., 2022; Lesage-Meessen et al., 2015*).

3.1.3. Extracția Soxhlet reprezintă o metodă continuă de separare a principiilor active, bazată pe un ciclu repetitiv de vaporizare și condensare a solventului. Materialul vegetal măcinat este expus unui flux de solvent volatil încălzit, care permite dizolvarea substanțelor de interes într-un proces repetitiv (*Abubakar și Haque, 2020; Bitwell et al., 2023*).

3.1.4. Percolarea constă în trecerea controlată a unui solvent printr-un material mărunțit, amplasat într-un vas special numit percolator, având ca scop dizolvarea și extragerea substanțelor active solubile. Percolarea poate fi realizată în două moduri:

a) *fără presiune*, utilizând gravitația pentru a permite solventului să curgă lent prin stratul vegetal (*Kumar et al., 2023*).

b) *cu presiune*, unde aplicarea presiunii generate de piston asupra solventului îmbunătățește pătrunderea acestuia în structura materialului vegetal, crescând eficiența transferului de masă și randamentul extracției.

3.2. Echipamente clasice pentru extracția principiilor active din plante medicinale și aromatice

3.2.1. Echipamente pentru extracția prin distilare cu abur

a) *Instalația de distilare cu abur IDP500*, realizată de INMA București, este concepută pentru extragerea uleiurilor esențiale din plante medicinale și aromatice și poate fi utilizată atât în centre de cercetare dar și de fermieri (*Fișă tehnică produs INMA București*).



Fig. 3.1 - Instalație de distilare cu abur a plantelor medicinale și aromatice, IDP500
1 - generator abur, 2 - recipient distilare, 3 - condensator vapori de ulei, 4 - separator ulei, 5 - rezervoare apă

3.2.2. Echipamente pentru extracția Soxhlet

O gamă variată de extractoare Soxhlet - de la modele compacte de 30 mL, capabile să proceseze între 1 și 8 probe simultan, până la extractoare de mare capacitate, de 5000 mL, destinate unei singure probe - sunt realizate de către compania Behr Labor-Technik (Germania) (<https://behr-labor.com/en/index.html>).

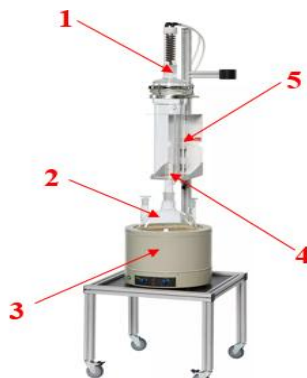


Fig. 3.2 - Echipament Soxhlet KEX 500F/TK (<https://behr-labor.com/en/index.html>)

3.2.3. Echipamente pentru extracția prin percolare

a) fără presiune

Există echipamente de extracție prin percolare fără presiune, atât pentru laborator, cât și pentru producția industrială. În figura 3.3 este prezentat un extractor vertical de tip percolator realizat de compania ABLE Engineering (India), utilizat pentru extragerea principiilor active din plante prin trecerea unui solvent lichid prin materialul vegetal utilizat (<https://www.ableengineers.in/>).



Fig. 3.3 - Extractor tip percolator – ABLE Engineering (<https://www.ableengineers.in/>)

b) cu presiune

Pentru extracția prin percolare sub presiune, echipamentele TIMATIC, produse de compania TECNOLAB (Italia), se remarcă prin eficiența lor și sunt utilizate pe scară largă în industria alimentară, farmaceutică și în producția de extracte vegetale.

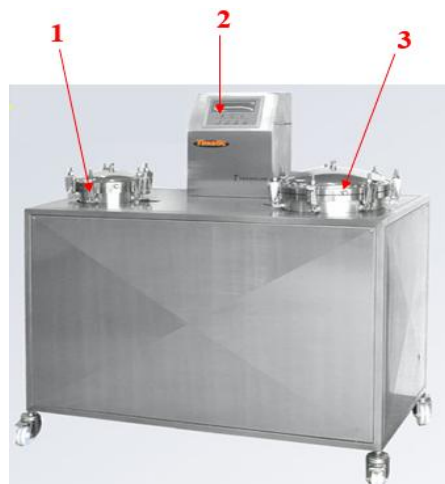


Fig. 3.4 - Extractor Duo TIMATIC - TECNOLAB (www.timatic.it)

3.3. Metode moderne pentru extracția principiilor active din plante medicinale și aromatice

3.3.1. Extracția asistată de microunde (MAE) utilizează energia microundelor pentru a încălzi rapid solventul și materialul vegetal, determinând ruperea pereților celulari sub efectul presiunii și temperaturii ridicate (Usman et al., 2023; Tsevdou et al., 2024).

3.3.2. Extracția fluidelor supercritice (SFE) este o tehnologie ecologică ce utilizează dioxidul de carbon (CO_2) în stare supercritică pentru a extrage principii active din diverse materiale. Metoda implică comprimarea și încălzirea CO_2 pentru a-l aduce în starea supercritică, urmată de trecerea acestuia prin materialul supus extragerii (Tăbărașu et al., 2023).

3.3.3. Extracția asistată cu ultrasunete (EAU) este o tehnologie modernă și eficientă pentru izolarea principiilor active din materiale vegetale, optimizând procesul prin reducerea timpului și a resurselor. În EAU, undele sonore se propagă prin lichid sub formă de oscilații succesive de comprimare și rarefiere, generând vibrații intense care declanșează fenomenul de cavitație (Shen et al., 2023).

3.4. Echipamente moderne pentru extracția principiilor active din plante medicinale și aromatice

3.4.1. Echipamente de extracție cu microunde

În categoria echipamentelor cu microunde destinate extracției, pentru laborator se remarcă *modelul Milestone EOS-G*, iar pentru procesarea la scară pilot, echipamentul MAC-

75, din studiul (Petigny et al., 2014), utilizate pentru extracția compușilor organici din frunze de material vegetal.

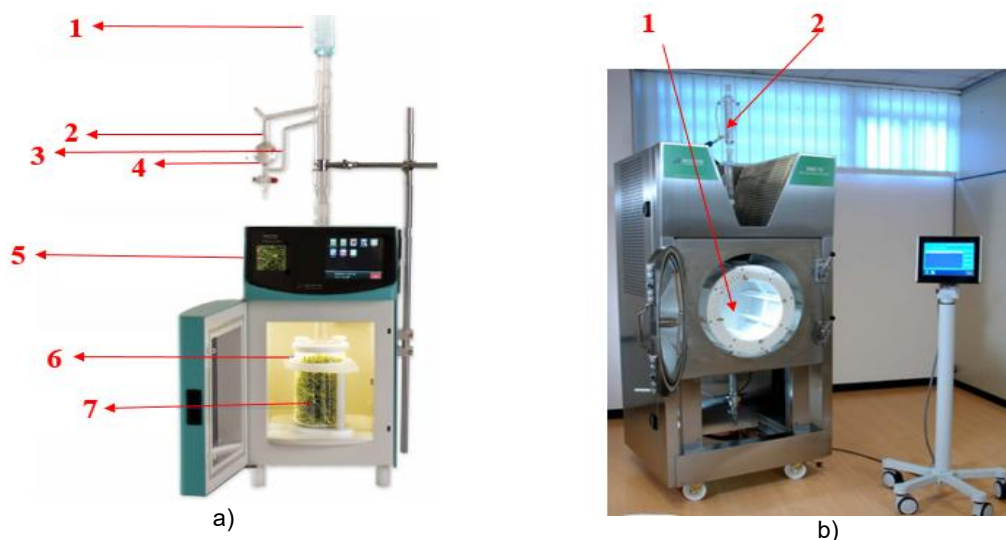


Fig. 3.5 - Echipamente de extracție cu microunde (Petigny et al., 2014)

a) Milestone EOS-G: 1 – condensator, 2 – ulei esențial, 3 – sistem de cohobație, 4 – faza apoasă, 5 – cuptor cu microunde, 6 – reactor cu microunde, 7 – material vegetal; b) MAC-75: 1 – reactor cu microunde, 2 – condensator

3.4.2. Echipamente de extracție cu ultrasunete

Există o gamă variată de echipamente de extracție cu ultrasunete, adaptate pentru diferite aplicații, de la modele de laborator cu o putere de 50 W, până la echipamente industriale de mare capacitate, care ating 16.000 W.



Fig. 3.6 - Ultrasonicator UP400St
(<https://www.hielscher.com>)



Fig. 3.7 - Sonicator UIP16000
(<https://www.hielscher.com>)

CAPITOLUL 4

STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND PROCESUL DE EXTRACȚIE A PRINCIPIILOR ACTIVE DIN PLANTE MEDICINALE ȘI AROMATICE

4.1. Stadiul actual al cercetărilor teoretice privind procesul de extracție a principiilor active din plante medicinale și aromatice

Pentru a optimiza extracția asistată cu ultrasunete a principiilor active din materiale vegetale, se folosesc diverse metode statistice care ajută la înțelegerea relației dintre factori și rezultatul final.

- Metodologia suprafeței de răspuns (MSR) - este frecvent utilizată ca instrument de optimizare a proceselor tehnologice, inclusiv în extracția principiilor active din plante medicinale și aromatice. Din punct de vedere matematic, MSR se bazează pe modele predictive, de obicei sub forma unor ecuații polinomiale de ordinul doi (ecuația 4.1), care permit estimarea comportamentului sistemului studiat (*Anaya-Esparza et al., 2023*).

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 \quad (4.1)$$

unde:

Y – valoarea estimată a răspunsului;

X – factor independent;

b_1, b_2, b_3 – coeficienți de regresie pentru efectul liniar;

b_{11}, b_{22}, b_{33} – coeficienți pentru efectul pătratic;

b_{12}, b_{13}, b_{23} – coeficienți pentru efectul de interacțiune liniară.

- *Designul factorial fracționat* - analizează doar o parte dintre combinațiile posibile, menținând o reprezentare fidelă a procesului. Este util mai ales în fazele inițiale ale cercetării, pentru a elimina factorii neesențiali înainte de optimizarea detaliată. Un astfel de design este exprimat ca 2^{k-m} .

unde:

k - numărul total de factori luați în considerare,

m - numărul de factori excluși pentru a reduce numărul de experimente (*Anaya-Esparza et al., 2023*).

- *Designul Plackett–Burman (DPB)*- selectează doar factorii cei mai importanți pentru proces, economisind resurse și timp. Ecuația utilizată pentru acest design este simplificată:

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i \quad (4.2)$$

unde coeficientul, β_i cu cea mai mare valoare absolută indică factorul care influențează cel mai puternic procesul (*Anaya-Esparza et al., 2023*).

4.2. Stadiul actual al cercetărilor experimentale privind procesul de extracție a principiilor active din plante medicinale și aromatice

Un exemplu reprezentativ de aplicare a metodei suprafeței de răspuns (MSR) este oferit de studiul (Muzykiewicz-Szymańska *et al.*, 2024) care a urmărit optimizarea extracției asistate cu ultrasunete din părțile aeriene ale plantei sanguisorba (*Sanguisorba officinalis* L.). Procesul a fost realizat într-o baie ultrasonică (40 kHz, 40 ± 1 °C), folosind material vegetal măcinat, cu particule sub 0.25 mm. Parametrii incluși în designul experimental au fost: concentrația materialului vegetal (2.25–7.5 g/100 mL), concentrația de etanol (20–60%) și timpul de extracție (1–15 minute). Modelarea suprafeței de răspuns a fost realizată utilizând un polinom de ordin 2, conform ecuației:

$$Y_i = a_0 + \sum_{i=1}^3 a_{i1}X_i + \sum_{i=1}^3 a_{i2}X_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 a_{ij}X_iX_j \quad (4.3)$$

unde: X_i reprezintă factorii independenți ai procesului (conținut de materie primă, concentrație de etanol, timp de extracție), a_i sunt coeficienții de regresie, iar Y_i reprezintă variabila dependentă, respectiv activitatea antioxidantă și conținutul total de compuși.

Parametrii optimi determinați prin MSR au fost: timp de extracție 10 minute, concentrație etanol 47% v/v, conținut de materie primă 7.5 g/100 mL solvent. În aceste condiții, s-au obținut valorile maxime raportate pentru obiectivele propuse. Graficele rezultate (fig. 4.1, fig. 4.2) ilustrează efectele combinate ale parametrilor asupra conținutului de compuși și asupra activității antioxidante, fiind relevante pentru evidențierea relației dintre condițiile de proces și eficiența extracției.

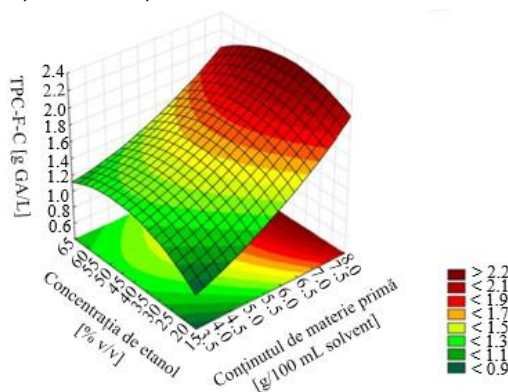


Fig. 4.1 - Efectul conținutului de materie primă și al concentrației de etanol asupra conținutului de compuși bioactivi; timp de extracție: 10 min (Muzykiewicz-Szymańska *et al.*, 2024)

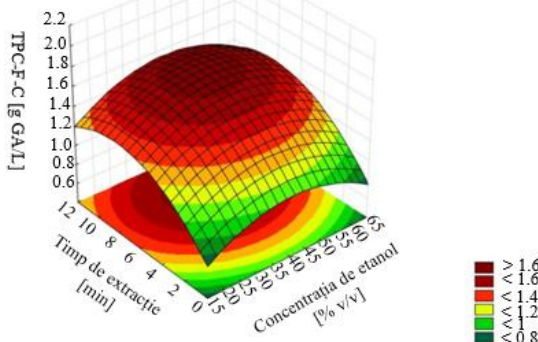


Fig. 4.2 - Efectul concentrației de etanol și al timpului de extracție asupra conținutului de compuși; materie primă: 7.5 g/100 mL (Muzykiewicz-Szymańska *et al.*, 2024)

CAPITOLUL 5

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA PERFORMANȚELOR ECHIPAMENTELOR DE EXTRAȚIE A PRINCIPIILOR ACTIVE DIN PLANTE MEDICINALE ȘI AROMATICE

Obiectivele cercetărilor experimentale privind îmbunătățirea echipamentelor de extracție hibridă percolare sub presiune - ultarsunete utilizate în procesarea plantelor medicinale și aromatice sunt:

- ✚ elaborarea unei metodologii generale de cercetare experimentală pentru obținerea extractelor vegetale concentrate, utilizând tehnologii hibride de extracție;
- ✚ selecția și configurarea aparaturii utilizate în cadrul procesului experimental, în vederea asigurării compatibilității cu cerințele tehnologice ale echipamentelor hibride;
- ✚ determinarea conținutului de umiditate al plantelor medicinale uscate, urmată de testarea performanțelor procesului de mărunțire pe trei dimensiuni diferite ale materialului vegetal, în vederea selectării sortului optim pentru etapa de extracție;
- ✚ obținerea extractelor vegetale utilizând un solvent comun, aplicat pe trei sorturi diferite pentru fiecare dintre cele trei specii de plante medicinale: urzică, lavandă și salvie;
- ✚ evaluarea influenței sortului vegetal asupra randamentului de extracție, în vederea identificării variantei care asigură cel mai bun compromis între eficiența de extracție și consumul energetic asociat echipamentului de mărunțire a plantelor medicinale;
- ✚ determinarea concentrațiilor maxime de principii active (polifenoli) în extractele obținute din materiile vegetale (prin analiza spectrelor de absorbție UV-VIS), în scopul corelării performanței echipamentelor cu calitatea compozițională a extractelor.

5.1. Prelucrarea materialului vegetal și alegerea metodei de extracție

5.1.1. Caracterizarea și pregătirea materialului vegetal (recoltare, determinarea umidității, caracterizare plante)

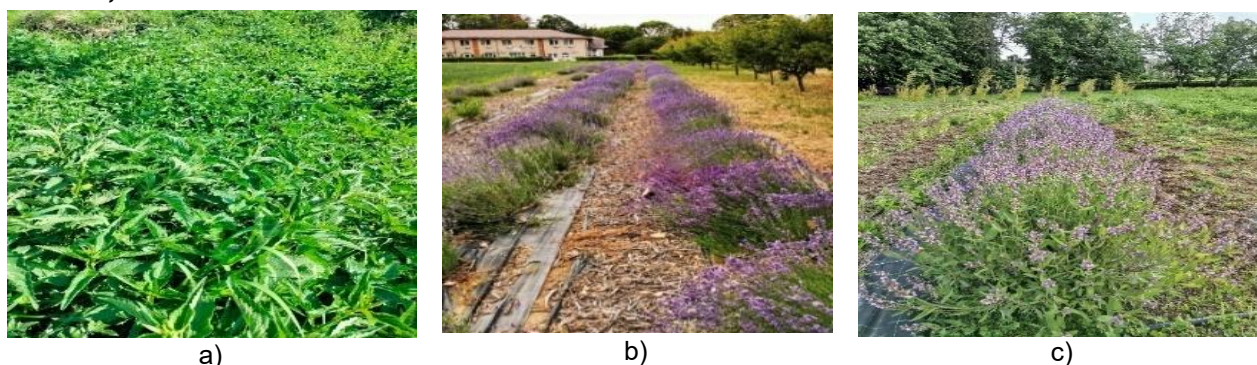


Fig. 5.1 - Culturi de plante medicinale și aromatice:
a) urzică; b) lavandă; c) salvie

Materialul vegetal utilizat în cadrul acestui studiu a fost obținut prin recoltarea a trei specii de plante medicinale și aromatice: urzică, lavandă și salvie (fig. 5.1).

Plantele de urzică au fost recoltate manual, la o distanță de aproximativ 5 cm de la sol. Plantele de lavandă și salvie au fost recoltate mecanizat cu ajutorul unui echipament special conceput pentru recoltarea plantelor medicinale și aromatice care asigură o tăiere uniformă a materialului vegetal. Înălțimea de recoltare a fost reglată la aproximativ 10–15 cm de la nivelul solului pentru salvie și la circa 15 cm pentru lavandă.

În cadrul acestei lucrări, materialul vegetal a fost supus unui proces de uscare naturală, desfășurat pe site, la o temperatură ambientală de aproximativ 25°C. Conținutul de umiditate al celor 3 plante urmărite în studiu: urzică, lavandă și salvie s-a redus de la circa 80% (urzică), 55% (salvie) și 50% (lavandă) după 14 zile la aproximativ 10% (fig. 5.2).

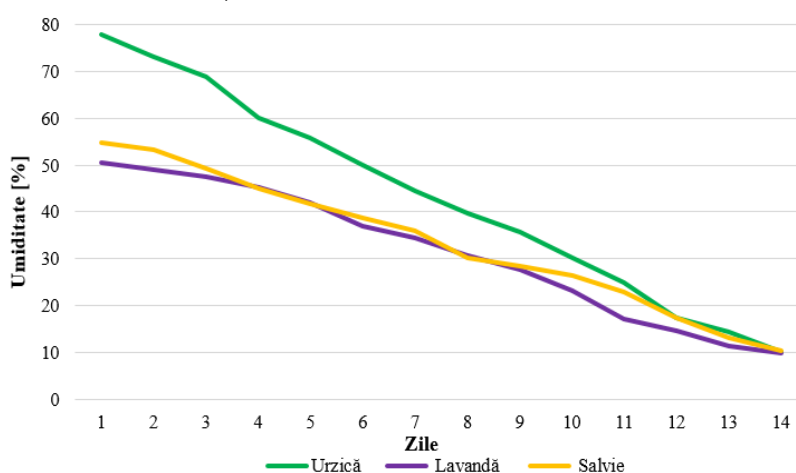


Fig. 5.2 - Variația conținutului de umiditate în timpul procesului de uscare (14 zile) pentru: urzică, lavandă și salvie

Evaluarea preliminară a inclus și determinarea conținutului de principii active. Pentru estimarea conținutului inițial, probele de plante uscate au fost tratate cu apă, fiind menținute în repaus timp de aproximativ 24 de ore, la temperatura camerei, în condiții neforțate. Această etapă nu a reprezentat o metodă standardizată de extracție și nu a avut scop tehnologic, ci strict informativ, vizând obținerea unei estimări orientative a principiilor active prezente în plantele analizate, anterior aplicării metodei hibride de extracție. Conținutul total de principii active a fost determinat din extract, utilizând reactivul Folin-Ciocalteu, iar rezultatele au fost exprimate în conținut de principii active (mg GAE/100 g) (tabel 5.1).

Tabel 5.1

Conținutul inițial de principii active identificat în plantele studiate

Conținut principii active, C_p , pentru urzică [mg GAE/100g]	Conținut principii active, C_p , pentru lavandă [mg GAE/100g]	Conținut principii active, C_p , pentru salvie [mg GAE/100g]
14,97	28,03	33,18

5.1.2. Mărunțirea plantelor pentru etapa de selecție a metodei de extracție

Procesarea materialului vegetal a continuat prin mărunțire mecanizată, realizată cu echipament *HERBCUT TIMATIC* (Tecnolab srl, Spello, Italy), conceput pentru a asigura fragmentarea eficientă a plantelor medicinale și aromatice (fig. 5.3). Inițial, o parte din plante au fost procesate la un grad de mărunțire de 30 mm, utilizat ulterior pentru testarea a trei metode de extracție: percolare sub presiune, extracția cu ultrasunete și metoda hibridă de extracție percolare sub presiune asistată cu ultrasunete.



Fig. 5.3 - Aspecte din timpul mărunțirii mecanizate a plantelor medicinale și aromatice cu HERBCUT TIMATIC

Echipamentul *HERBCUT* permite obținerea unor dimensiuni de mărunțire variabile, în funcție de necesitățile procesării ulterioare, fiind caracterizat printr-o construcție robustă, eficiență energetică și adaptabilitate la diverse tipuri de material vegetal.

5.1.3. Alegerea celei mai eficiente metode de extracție

Pentru a identifica cea mai eficientă variantă de extracție, au fost investigate cinci metode de extracție, pornind de la metode clasice de percolare la presiuni joase și înalte, până la combinații moderne care includ tratamentul ultrasonic. Toate probele au fost procesate la un grad de mărunțire de 30 mm, cantitatea de material vegetal pentru fiecare probă a fost de 400 g, iar ca solvent de extracție s-a utilizat apă. Rezultatele experimentale au arătat că asocierea percolării la presiune înaltă cu tratamentul ultrasonic determină cele mai bune randamente în ceea ce privește extracția compușilor bioactivi (C_p) pentru cele trei tipuri de plante analizate în cadrul acestei lucrări.

Tabelele 5.2–5.4 prezintă parametrii de proces utilizați pentru fiecare metodă și valorile obținute în urma aplicării acestora.

Tabel 5.2

Comparația metodelor de extracție pentru urzică pe baza influenței parametrilor de proces, având conținutul de principii active ca indicator de eficiență

Metodă de extracție	Presiune [bar]	Timp [min]	Putere ultrasunete [W]	Conținut principii active, Cp, pentru urzică [mg GAE/100g]
Percolare sub presiune joasă	5	60	-	5,19
Percolare sub presiune înaltă	7	60	-	6,24
Percolare sub presiune joasă asistată cu ultrasunete	5	60	140	7,58
Percolare sub presiune înaltă asistată cu ultrasunete	7	60	140	8,16
Extracție asistată cu ultrasunete	-	60	140	7,09

Metodele de extracție au fost testate și pentru timpi de lucru mai mari: 90, 120 și 150 min și în urma rezultatelor s-au ales doar 3 valori ale timpului de extracție: 60, 90 și 120 min, deoarece la 150 min conținutul de principii active a înregistrat o creștere de doar 1,21% față de 120 min ($t > 25\%$), rezultatul fiind nesemnificativ din punct de vedere al randamentului.

Tabel 5.3

Comparația metodelor de extracție pentru lavandă pe baza influenței parametrilor de proces, având conținutul de principii active ca indicator de eficiență

Metodă de extracție	Presiune [bar]	Timp [min]	Putere ultrasunete [W]	Conținut principii active, Cp, pentru lavandă [mg GAE/100g]
Percolare sub presiune joasă	5	60	-	14,46
Percolare sub presiune înaltă	7	60	-	15,07
Percolare sub presiune joasă asistată cu ultrasunete	5	60	140	15,13
Percolare sub presiune înaltă asistată cu ultrasunete	7	60	140	16,90
Extracție asistată cu ultrasunete	-	60	140	13,52

Tabel 5.4

Comparația metodelor de extracție pentru salvie pe baza influenței parametrilor de proces, având conținutul de principii active ca indicator de eficiență

Metodă de extracție	Presiune [bar]	Timp [min]	Putere ultrasunete [W]	Conținut principii active, Cp, pentru salvie [mg GAE/100g]
Percolare sub presiune joasă	5	60	-	17,19
Percolare sub presiune înaltă	7	60	-	20,75
Percolare sub presiune joasă asistată cu ultrasunete	5	60	140	23,10
Percolare sub presiune înaltă asistată cu ultrasunete	7	60	140	24,24
Extracție asistată cu ultrasunete	-	60	140	21,51

Pe baza valorilor din tabelele 5.6–5.8, se observă că percolarea la presiune înaltă asistată cu ultrasunete este metoda de extracție cea mai eficientă, oferind randamente mai mari decât celelalte metode analizate.

5.1.4. Evaluarea influenței gradului de mărunțire pentru metoda hibridă percolare sub presiune asistată cu ultrasunete

Pentru stabilirea dimensiunii optime de mărunțire a materialului vegetal destinat extracțiilor, au fost realizate teste preliminare utilizând trei grade diferite de fragmentare: 30 mm / 16 mm / 12 mm. După tocarea preliminară cu echipamentul HerbCut, materialul vegetal mărunțit a fost preluat de transportorul înclinat cu bandă (fig. 5.4).



Fig. 5.4 - Transportor înclinat cu bandă:

1 – tambur superior, 2 – cadru de susținere, 3 – bandă de transport, 4 – tambur inferior

Etapa următoare a constat în sortarea materialului vegetal cu ajutorul sortatorului de plante tăiate (fig. 5.5), un echipament specializat în separarea fragmentelor vegetale în trei fracții dimensionale distincte, în funcție de mărimea ochiurilor sitelor utilizate.



Fig. 5.5 - Sortator plante medicinale și aromatice tăiate:

1 – cuvă introducere material vegetal, 2 – rame cu site, 3 – orificii ieșire sorturi material vegetal, 4 – motor electrovibrator, 5 – suport site, 6 – cadru suport, 7 – amortizoare vibrații

După realizarea etapelor pregătitoare a materialelor vegetale, au fost desfășurate experimentele preliminare de extracție, având ca obiectiv identificarea metodei cu cea mai bună eficiență. Acestea s-au realizat în condiții constante de procesare: timp de extracție de 60 de minute, presiune de percolare de 7 bar, putere a ultrasunetelor de 100 W, iar ca solvent a

fost utilizată apa. Rezultatele obținute, prezentate în tabelele 5.5–5.7, reflectă influența combinată a gradului de mărunțire (12 / 16 / 30 mm) și a cantității de material vegetal (200, 400, 600 g) asupra procesului de extracție, având drept indicator conținutul de principii active.

Tabel 5.5

Efectul gradului de mărunțire și al cantității de material vegetal asupra randamentului extracției principiilor active din urzică

Presiune [bar]	Timp [min]	Putere ultrasunete [W]	Cantitate material vegetal [g]	Grad de mărunțire [mm]	Conținut principii active, Cp, pentru urzică [mgGAE/100g]
7	60	100	200	30	5,57
7	60	100	200	16	6,02
7	60	100	200	12	6,23
7	60	100	400	30	8,87
7	60	100	400	16	9,47
7	60	100	400	12	10,43
7	60	100	600	30	10,05
7	60	100	600	16	11,08
7	60	100	600	12	11,55

Tabel 5.6

Efectul gradului de mărunțire și al cantității de material vegetal asupra randamentului extracției principiilor active din lavandă

Presiune [bar]	Timp [min]	Putere ultrasunete [W]	Cantitate material vegetal [g]	Grad de mărunțire [mm]	Conținut principii active, Cp, pentru lavandă [mgGAE/100g]
7	60	100	200	30	11,53
7	60	100	200	16	12,39
7	60	100	200	12	12,89
7	60	100	400	30	14,93
7	60	100	400	16	15,89
7	60	100	400	12	16,99
7	60	100	600	30	16,32
7	60	100	600	16	17,96
7	60	100	600	12	18,47

Tabel 5.7

Efectul gradului de mărunțire și al cantității de material vegetal asupra randamentului extracției principiilor active din salvie

Presiune [bar]	Timp [min]	Putere ultrasunete [W]	Cantitate material vegetal [g]	Grad de mărunțire [mm]	Conținut principii active, Cp, pentru salvie [mgGAE/100g]
7	60	100	200	30	23,41
7	60	100	200	16	25,26
7	60	100	200	12	25,97
7	60	100	400	30	26,81
7	60	100	400	16	28,50
7	60	100	400	12	30,10
7	60	100	600	30	27,47
7	60	100	600	16	30,20
7	60	100	600	12	30,27

Analiza valorilor din tabelele 5.5-5.7 arată că variațiile rezultate în funcție de gradul de mărunțire și cantitatea de material vegetal nu sunt foarte mari, cu diferențe procentuale sub 20%. Reducerea dimensiunii fragmentelor de la 30 mm la 16 mm și respective 12 mm nu a produs modificări semnificative în eficiența generală a extracției, conform valorilor determinate.

În plus, pentru urzică, consumul energetic aferent mărunțirii unei cantități mai mare de 25 kg a fost de 0,109 kWh la gradul de 30 mm. La 16 mm, consumul a crescut cu 25% (0,136 kWh), iar la 12 mm cu 31% (0,143 kWh).

Pentru lavandă, s-a înregistrat un consum de energie de 0,132 kWh la un grad de mărunțire de 30 mm, în timp ce valorile au crescut cu 28% la 16 mm (0,169 kWh) și cu 35% la 12 mm (0,178 kWh).

În cazul salviei, consumul de energie pentru mărunțirea aceleiași cantități de material a fost de 0,156 kWh la 30 mm, crescând cu 30% la 16 mm (0,203 kWh) și cu 38% la 12 mm (0,215 kWh).

Reducerea dimensiunii fragmentelor presupune, în toate cazurile, un efort de tăiere mai îndelungat, ceea ce conduce la o solicitare superioară a sistemului de acționare și a ansamblului de tocare. Frecvența mai ridicată a tăieturilor și contactul prelungit cu materialul vegetal, în special în cazul plantelor cu structură densă sau lemnoasă, pot accelera uzura lamelor și crește sarcina transmisă către motorul echipamentului.

În consecință, având în vedere necesitatea eficientizării consumului energetic în procesul de mărunțire și creșterea eficienței procesului tehnologic, pentru etapele ulterioare ale studiului a fost selectat gradul de mărunțire de **30 mm**, cantitatea de **400 g** material vegetal menținându-se constantă. Această alegere asigură un echilibru eficient între eficiența extracției și costurile energetice asociate procesului de pregătire a materialului vegetal.

5.2. Selectarea puterii optime de extracție a ultrasunetelor

Înainte de începerea efectivă a experimentărilor, s-au realizat teste suplimentare în care puterea ultrasunetelor a fost variată la: 80, 100, 120, 140 și 160 W pentru a evalua influența acestui parametru asupra eficienței procesului de extracție. Gradul de mărunțire al plantelor utilizat la experimente a fost de 30 mm și 400 g cantitate de material vegetal. Rezultatele au indicat un nivel de putere la care transferul compușilor bioactivi din materialul vegetal s-a realizat cel mai eficient (tabelele 5.8-5.10).

Tabel 5.8

Efectul variației puterii ultrasunetelor asupra eficienței extracției la urzică

Presiune [bar]	Timp [min]	Putere ultrasunete [W]	Conținut principii active, C_p, pentru urzică [mg GAE/100g]
5	60	80	7,53
5	60	100	8,16
5	60	120	9,28

5	60	140	7,58
5	60	160	5,71
6	60	80	7,82
6	60	100	8,65
6	60	120	9,77
6	60	140	7,63
6	60	160	5,90
7	60	80	7,95
7	60	100	8,87
7	60	120	10,88
7	60	140	8,16
7	60	160	6,25

În cazul urzicii, experimentările au evidențiat că aplicarea unei puteri de 120 W a ultrasunetelor, în condiții de timp constant (60 min) și presiuni variabile (5, 6, 7 bar), a condus la atingerea celei mai ridicate eficiențe a procesului din punct de vedere al extracției. Depășirea acestui prag de putere a determinat o scădere a performanței procesului, cel mai probabil ca urmare a intensificării cavitației, care poate afecta negativ stabilitatea procesului prin efecte mecanice excesive asupra matricei vegetale.

Tabel 5.9

Efectul variației puterii ultrasunetelor asupra eficienței extracției la lavandă

Presiune [bar]	Timp [min]	Putere ultrasunete [W]	Conținut principii active, Cp, pentru lavandă [mg GAE/100g]
5	60	80	15,10
5	60	100	14,40
5	60	120	15,16
5	60	140	15,13
5	60	160	14,73
6	60	80	16,25
6	60	100	14,58
6	60	120	16,60
6	60	140	16,09
6	60	160	15,85
7	60	80	16,39
7	60	100	14,93
7	60	120	16,92
7	60	140	16,89
7	60	160	16,02

În cazul lavandei, testele desfășurate la 60 min, presiuni între 5 și 7 bar și puteri ale ultrasunetelor între 80 și 160 W, au indicat că cea mai ridicată eficiență a procesului de extracție a fost înregistrată la presiunea de 7 bar și puterea acustică de 120 W. La puteri mai mari (140–160 W), eficiența a scăzut ușor, ceea ce sugerează că, dincolo de un anumit prag energetic, efectele cavitației devin mai puțin favorabile pentru proces, probabil cauzat de suprasolicitarea structurii vegetale și perturbarea echilibrului de extracție.

Tabel 5.10

Efectul variației puterii ultrasunetelor asupra eficienței extracției la salvie			
Presiune [bar]	Timp [min]	Putere ultrasunete [W]	Conținut principii active, Cp, pentru salvie [mg GAE/100g]
5	60	80	20,04
5	60	100	25,55
5	60	120	23,29
5	60	140	23,10
5	60	160	22,85
6	60	80	22,59
6	60	100	26,79
6	60	120	23,81
6	60	140	23,21
6	60	160	22,61
7	60	80	24,57
7	60	100	26,81
7	60	120	24,40
7	60	140	24,24
7	60	160	23,90

Pentru salvie, testele realizate la timp constant de 60 min și presiuni între 5 și 7 bar și puteri între 80 și 160 W, au arătat că valoarea maximă a eficienței de extracție s-a obținut la o presiune de 6 bar și o putere acustică de 100 W. Ulterior, la creșterea puterii către 120 W și peste, s-au înregistrat valori mai scăzute, indicând o tendință descrescătoare. Totuși, la presiunea de 7 bar, valorile încep să crească din nou la intensități mai mari, fără a atinge însă nivelul anterior, ceea ce sugerează un comportament oscilant al sistemului în raport cu puterea ultrasunetelor, posibil influențat de caracteristicile structurale ale materialului vegetal.

5.3. Evaluarea eficienței echipamentelor de extracție hibridă *percolare sub presiune asistată cu ultrasunete* prin conținutul de principii active

Instalația experimentală este alcătuită dintr-un extractor Timatic DUO (Tecnolab srl, Spello, Italia) modificat și un generator de ultrasunete UP400St (Hielscher Ultrasonics GmbH, Teltow, Germania), configurate astfel încât să permită desfășurarea simultană a celor două procese în același mediu de extracție.

Extractorul Timatic DUO (fig. 5.6) este un echipament automatizat utilizat pentru realizarea proceselor de extracție solid-lichid sub presiune controlată, folosind ca solvenți apă, etanol sau alte lichide chimic compatibile. În configurația sa inițială din fabrică, sistemul este proiectat să funcționeze într-un regim de presiune cuprins între 3 și 7 bar, fiind echipat cu două camere de extracție, având volume utile de 12 litri și respectiv 24 litri. Echipamentul mai include doi cilindri hidropneumatici, o pompă, supape solenoide pentru controlul fluxurilor, un rezervor pentru solvent, un distribuitor pneumatic și un senzor de presiune pentru monitorizarea în timp real a parametrilor de proces.

Pentru a adapta echipamentul la cerințele specifice ale aplicației experimentale, configurația originală a fost modificată prin înlăturarea camerei de extracție de 24 litri,

păstrându-se doar camera de 12 litri. Aceasta este realizată din oțel inoxidabil, un material ales pentru rezistența sa la coroziune și compatibilitatea cu o gamă largă de solvenți utilizați în procesele de extracție. Camera permite introducerea materialului vegetal ambalat în pungi filtrante reutilizabile, asigurând astfel o manipulare facilă și un grad ridicat de repetabilitate a procesului.



Fig. 5.6 - Echipament de extracție Timatic Duo:

1 – panou de comandă, 2 – camera de extracție, 3 – cadru de susținere, 4 – rezervor de solvent, 5 – compresor, 6 – vas colectare extract

Pentru a permite realizarea extracției hibride, vasul de extracție al percolatorului a fost adaptat tehnic prin integrarea unei sonde ultrasonice direct în interiorul camerei de lucru (fig. 5.7 și 5.8). Sonda este conectată la sistemul UP400St, un generator de ultrasunete de laborator, cu frecvență fixă de 24 kHz și putere reglabilă între 0 și 400 W. Echipamentul permite reglarea amplitudinii vibrațiilor ultrasonice într-un interval cuprins între 20 și 100%, în funcție de necesitățile procesului. Sonda utilizată este fabricată din titan, având un diametru al vârfului de 19 mm și o lungime de aproximativ 215 mm. Energia ultrasunetelor generată de acest sistem produce fenomene de cavitație în masa lichidă, cu formarea de microbule care colapsează violent în apropierea pereților celulari ai materialului vegetal. Această acțiune mecanică favorizează distrugerea structurilor celulare și eliberarea rapidă a compușilor intracelulari, ceea ce determină o creștere semnificativă a eficienței procesului de extracție, fără a fi necesară o creștere suplimentară a temperaturii sau utilizarea unor solvenți agresivi.

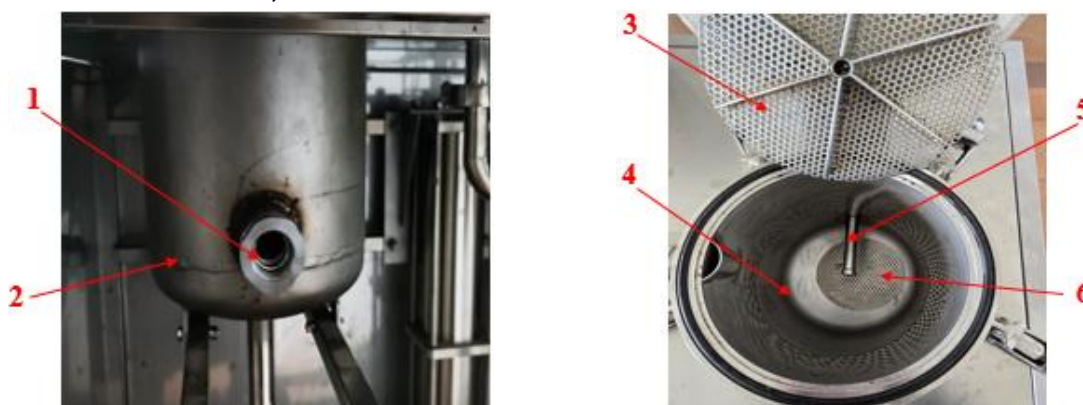


Fig. 5.7 - Integrarea sonicatorului Hielscher UP400St în camera de extracție a percolatorului Timatic Duo: 1 – port de inserție a sondei ultrasonice; 2,4 – cameră de extracție; 3 – sită superioară; 5 – sonotrod; 6 – sită inferioară



Fig. 5.8 - Aspecte din timpul procesului de extracție:

1 – camera de extracție, 2 – sonotrod, 3 – generator ultrasonic și unitate de control (Hielscher UP400St)

5.3.1. Pregătirea probelor vegetale pentru testele experimentale

După pregătirea prealabilă a materialului vegetal: uscare, mărunțire și sortare granulometrică, s-au cântărit probe individuale de 400 g, care au fost introduse în saculeți textili permeabili, fiind astfel pregătite pentru extracția principiilor active.

Saculeții au fost poziționați în interiorul camerei de extracție, peste care s-a adăugat un volum de 12 l de apă (fig. 5.9). Pentru ca instalația să funcționeze corect, sistemul extrage automat aproximativ 7 litri de solvent tampon din rezervor, această cantitate neintrând în contact cu proba, ci fiind folosită doar pentru completarea circuitului intern și menținerea presiunii necesare în timpul procesului. Ca solvent de extracție s-a utilizat apa, datorită caracterului său blând și a compatibilității cu structura materialului vegetal, precum și datorită faptului că nu favorizează degradarea principiilor active sensibile.

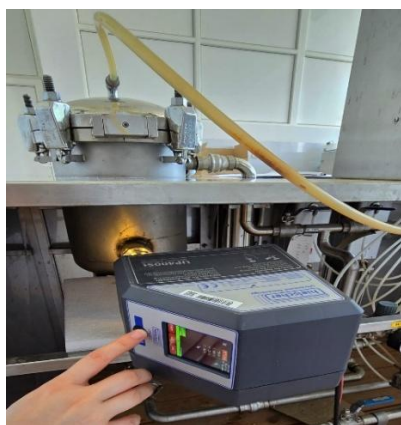


Fig. 5.9 - Aspecte din timpul pregătirii probelor pentru procesul de extracție

După încărcarea camerei de extracție și completarea circuitului cu solvent, s-au setat parametrii de funcționare prin intermediul panoului digital al instalației de percolare și al ecranului tactil al generatorului de ultrasunete (fig. 5.10).



(a)



(b)

Fig. 5.10 - Reglarea parametrilor de intrare la:

(a) panoul digital de control al percolatorului, (b) ecranul tactil al generatorului de ultrasunete

În cadrul studiului experimentărilor, s-au variat controlat trei parametric de lucru: presiunea de lucru, durata extracției și puterea aplicată a ultrasunetelor, în vederea evaluării impactului acestora asupra randamentului de extracție – conținutul de principii active (tabel 5.11).

Tabel 5.11**Parametrii procesului de extracție hibridă: percolare sub presiune asistată cu ultrasunete**

Presiune [bar]	Timp [min]	Putere ultrasunete [W]
5	60	80
6	60	80
7	60	80
5	60	100
6	60	100
7	60	100
5	60	120
6	60	120
7	60	120
5	90	80
6	90	80
7	90	80
5	90	100
6	90	100
7	90	100
5	90	120
6	90	120
7	90	120
5	120	80
6	120	80
7	120	80
5	120	100
6	120	100
7	120	100
5	120	120
6	120	120
7	120	120

O particularitate a metodei de extracție aplicate constă nu doar în combinarea percolării sub presiune cu ultrasunetele, ci și în modul de aplicare a presiunii, realizată ciclic prin alternanța a două faze: statică și dinamică (fig. 5.11). Pe parcursul extracțiilor, această percolare sub presiune în regim ciclic a permis un control eficient asupra procesului, fiecare ciclu contribuind la îmbunătățirea contactului între solvent și materialul vegetal.

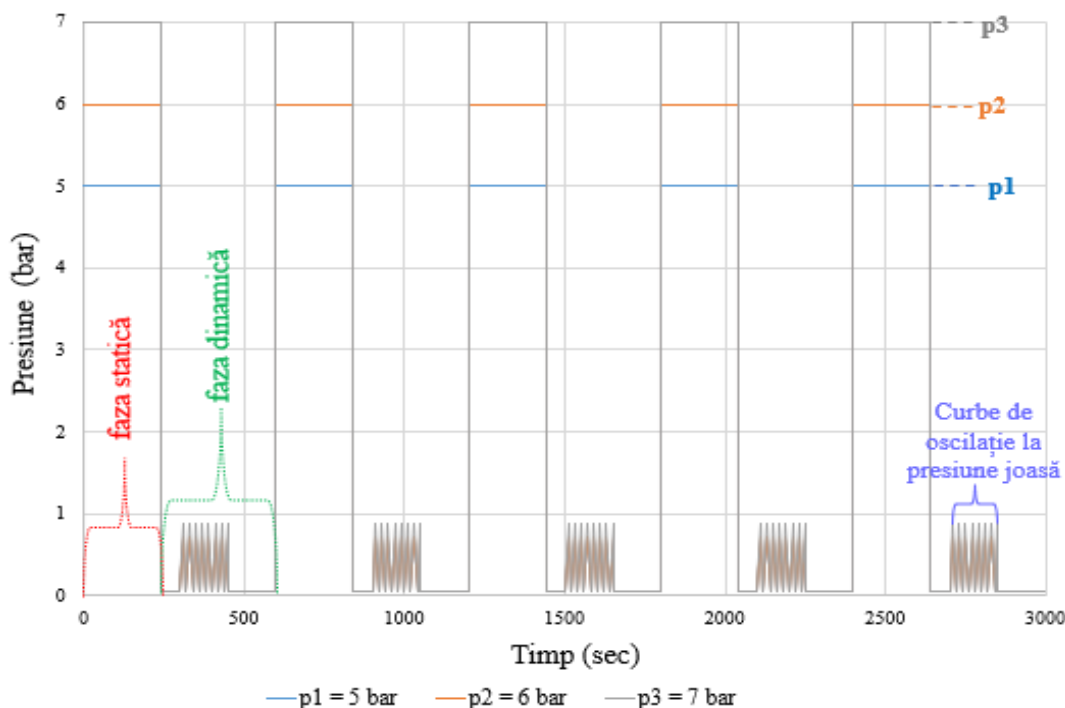


Fig. 5.11 - Diagrama generală a presiunilor de extracție din proces: faza statică și faza dinamică

- Faza statică (primele 240 secunde din fiecare ciclu) constă în aplicarea unei presiuni constante de 5, 6 sau 7 bar, în funcție de condițiile experimentale, fără variații.
- Faza dinamică (următoarele 360 secunde) este caracterizată de oscilații ciclice ale presiunii între o valoare ridicată și una scăzută, de exemplu: între 0,69 și 0,06 bar pentru presiunea de 5 bar, respectiv între 0,87 și 0,12 bar pentru 7 bar.

Alternanța dintre cele două faze se repetă pe întreaga durată a extracției: 6 cicluri pentru 60 de minute, 9 cicluri pentru 90 de minute și 12 cicluri pentru 120 de minute. În fiecare ciclu, faza statică (de compresie) are o durată constantă de 4 minute, iar faza dinamică (de decompresie) se desfășoară pe parcursul a 6 minute.

5.3.2. Validarea metodei de extracție în funcție de conținutul de principii active rezultate

Eficiența extracției s-a verificat prin metoda Folin-Ciocalteu, măsurând absorbția la 755 nm și comparând rezultatele cu curba de calibrare pentru acid galic, exprimată în [mg GAE/g] sau [mg GAE/100 g]. Pentru fiecare combinație de parametri de extracție, au fost obținute valori care permit evaluarea influenței acestora asupra procesului. Rezultatele sunt prezentate în tabelele 5.12-5.14, în concordanță cu condițiile experimentale descrise în tabelul 5.11.

Tabel 5.12

Corelația dintre parametrii de proces și randamentul extracției principiilor active din urzică

Presiune [bar]	Timp [min]	Putere ultrasunete [W]	Conținut principii active, Cp, pentru urzică [mg GAE/100g]
5	60	80	7,53
6	60	80	7,82
7	60	80	7,95
5	60	100	8,16
6	60	100	8,65
7	60	100	8,87
5	60	120	9,28
6	60	120	9,77
7	60	120	10,88
5	90	80	8,56
6	90	80	8,78
7	90	80	9,02
5	90	100	8,33
6	90	100	8,39
7	90	100	9,22
5	90	120	9,43
6	90	120	9,86
7	90	120	10,50
5	120	80	6,59
6	120	80	9,03
7	120	80	12,55
5	120	100	8,10
6	120	100	9,80
7	120	100	12,92
5	120	120	8,64
6	120	120	11,97
7	120	120	13,71

Tabel 5.13

Corelația dintre parametrii de proces și randamentul extracției principiilor active din lavandă

Presiune [bar]	Timp [min]	Putere ultrasunete [W]	Conținut principii active, Cp, pentru urzică [mg GAE/100g]
5	60	80	15,10
6	60	80	16,25
7	60	80	16,39
5	60	100	14,40
6	60	100	14,58
7	60	100	14,93
5	60	120	15,16
6	60	120	16,60
7	60	120	16,93
5	90	80	16,95
6	90	80	18,43
7	90	80	20,41
5	90	100	17,49
6	90	100	18,03
7	90	100	18,56
5	90	120	22,95

Presiune [bar]	Timp [min]	Putere ultrasunete [W]	Conținut principii active, Cp, pentru urzică [mg GAE/100g]
6	90	120	23,04
7	90	120	23,16
5	120	80	21,99
6	120	80	22,46
7	120	80	23,21
5	120	100	19,71
6	120	100	22,59
7	120	100	24,28
5	120	120	23,12
6	120	120	24,24
7	120	120	25,91

Tabel 5.14**Corelația dintre parametrii de proces și randamentul extracției principiilor active din salvie**

Presiune [bar]	Timp [min]	Putere ultrasunete [W]	Conținut principii active, Cp, pentru salvie [mg GAE/100g]
5	60	80	20,04
6	60	80	22,59
7	60	80	24,57
5	60	100	25,55
6	60	100	26,79
7	60	100	26,81
5	60	120	23,29
6	60	120	23,81
7	60	120	24,40
5	90	80	25,51
6	90	80	25,70
7	90	80	25,83
5	90	100	24,45
6	90	100	24,66
7	90	100	29,35
5	90	120	25,34
6	90	120	26,50
7	90	120	30,40
5	120	80	21,49
6	120	80	24,97
7	120	80	26,93
5	120	100	24,16
6	120	100	26,44
7	120	100	28,72
5	120	120	28,15
6	120	120	28,94
7	120	120	30,79

În urma experimentelor realizate (tabelele 5.12-5.14), s-a observat că presiunea, durata și puterea ultrasunetelor folosite în timpul procesului de extracție influențează direct principiile active care pot fi extrase din plantele analizate.

Presiunea mai ridicată (7 bar) a condus la extragerea unei cantități mai mari de principii active (polifenoli) și acest lucru se întâmplă deoarece lichidul pătrunde mai bine în plante atunci când este împins cu o forță mai mare, extrăgând mai eficient compușii activi. Puterea ultrasunetelor (folosită pentru a agita amestecul și a sparge structura celulară a plantelor) a avut, de asemenea un efect important. Cu cât puterea a fost mai mare (120 W), cu atât s-a obținut un randament mai bun, în special la presiuni ridicate. Astfel, cei mai eficienți parametric la care s-au obținut cele mai mari cantități de principii active (din intervalul studiat în cadrul acestor experimentări), au fost:

- presiunea: 7 bar;
- timpul de extracție: 120 min;
- puterea ultrasunetelor: 120 W.

5.3.3. Corelarea consumului energetic cu eficiența procesului de extracție

Pentru a corela eficiența procesului de extracție cu necesarul energetic, a fost evaluat consumul de energie al echipamentului la parametrii cei mai eficienți: timp: 120 min, presiunile variate: 5, 6 și 7 bar și puterile ultrasunetelor: 80, 100 și 120 W (tabel 5.15).

Tabel 5.15

Consum energetic total al echipamentului de extracție hibridă percolare asistată cu ultrasunete la parametrii cei mai eficienți ai procesului

Timp [min]	Presiune [bar]	Putere ultrasunete [W]	Consum energetic total [kWh]
120	5	80	0,450
120	6	80	0,459
120	7	80	0,466
120	5	100	0,473
120	6	100	0,481
120	7	100	0,492
120	5	120	0,507
120	6	120	0,519
120	7	120	0,528

Analiza comparativă a datelor de eficiență și consum energetic evidențiază o corelație directă între intensificarea parametrilor tehnologici (presiune și puterea ultrasunetelor) și creșterea conținutului de principii active. Pentru *urzică*, s-a înregistrat cea mai ridicată creștere procentuală, de aproximativ 108%, la un consum energetic cu doar 17% mai mare, ceea ce sugerează un raport eficient între randament și energie consumată.

În cazul *lavandei*, creșterea conținutului de principii active a fost de aproximativ 18%, fiind aproape proporțională cu creșterea consumului energetic (17%). Acest raport sugerează că, deși creșterea eficienței de extracție a fost mai modestă comparativ cu celelalte specii, eficiența energetică a rămas echilibrată, fără un cost suplimentar semnificativ.

Pentru *salvie*, creșterea de aproximativ 43% a conținutului bioactiv a fost obținută cu o creștere a consumului similară cu cea a urzicii (aproximativ 17%), ceea ce validează performanța echipamentului și a setului de parametri utilizați.

CAPITOLUL 6

PRELUCRAREA ȘI INTERPRETAREA DATELOR EXPERIMENTALE. MODELAREA MATEMATICĂ A PROCESULUI DE EXTRACȚIE A PRINCIPIILOR ACTIVE DIN PLANTE MEDICINALE ȘI AROMATICE

6.2. Modelare statistică

URZICA

6.2.3. Rezultatele statisticii regresiiilor polinomiale multivariate

S-a utilizat funcția din Multiple Linear Regression Calculator, a programului Mathcad 15, pentru calculul acestor regresii, astfel în ordinea crescătoare a gradelor polinoamelor de interpolare, se obțin coeficienții polinoamelor de regresie statistică (tabel 6.1):

Tabel 6.1

Coeficienții polinoamelor de regresie statistică, probabilitățile de a fi refuzați și coeficientul de determinare pentru variabila dependentă, C_p

Termen	Coef. Gr. 1	Prob.	Coef. Gr. 2	Prob.
$p^0 t^0 P^0$	-4,479037	0,0420000	34,194546	0,033431
p	1,166000	0,0001099	-3,886500	0,219219
t	0,026650	0,0042100	-0,275558	0,002799
P	0,045036	0,0015850	-0,166040	0,224380
pt	-	-	0,036453	0,000049
pP	-	-	0,003704	0,366373
tP	-	-	-0,000064	0,385658
p^2	-	-	0,116778	0,360198
t^2	-	-	0,000500	0,116437
P^2	-	-	0,000973	0,155541

Rezultatele obținute folosind programul Multiple Linear Regression Calculator, sunt prezentate în tabelul 6.1, observându-se că pentru polinomul complet de gradul al doilea calculele probabilităților de ignorare a coeficienților sunt, multe dintre ele, superioare lui 0,05. Aceste valori arată că interpolarea polinomială este posibilă și sigură doar pentru polinoame de gradul întâi. Totuși, există și termeni ai polinomului complet de gradul al doilea inferiori nivelului de semnificație 0,05, sau puțin superiori, termenii respectivi fiind acceptați pentru regresia polinomială de gradul al doilea selectată de programul de analiză a regresiei multivariate - PTC Mathcad Prime 9.0.0.0. Pentru progresia de gradul al doilea ai cărei coeficienți sunt prezentați în tabelul 6.1, coeficientul de determinare are valoarea 0,889, iar coeficientul de determinare ajustat, 0,83, obținându-se regresia neliniară (6.1). În cazul polinomului de gradul al doilea, utilizând programul de analiză statistică PTC Mathcad Prime 9, s-a selectat formula finală din (6.1):

$$C_p = 17,371707 - 2,11475p - 0,192067t + 0,0364528pt + 0,000227666P^2 \quad (6.1)$$

Coeficientul de determinare ajunge la $R^2=0,86$, iar cel ajustat la $R^2_{adj} = 0,84$ cu $F(4,22) = 34,9$. Predictorii considerați în regresia neliniară (6.1), p , t , pt și P , explică 86,4% din variația C_p .

O alta regresie neliniară sugerată de programul Multiple Linear Regression Calculator este regresia de puteri din formula (6.2).

$$C_p = 0,121781p^{0.7014}t^{0.20496}P^{0.472451} \quad (6.2)$$

Pentru care coeficientul de determinare este $R^2 = 0,67$, coeficientul de determinare ajustat are valoarea $R^2_{adj} = 0,62$, obținându-se $F(3,23) = 15,41$, $p = 0.001$. Predictorii regresiei (6.2) explică 66,8% din variația variabilei dependente C_p .

LAVANDA

6.2.8. Rezultatele statisticii regresiiilor polinomiale multivariate

Regresiile polinomiale multivariate se găsesc folosind funcția din Multiple Linear Regression Calculator, a programului Mathcad 15, în ordinea crescătoare a gradelor polinoamelor de interpolare, se obțin rezultatele din tabelul (6.2). Pentru regresia liniară, coeficientul de determinare are valoarea $R^2=0,86$, iar coeficientul de determinare ajustat, $R^2_{adj} = 0,841$ iar pentru regresia neliniară (polinomială de gradul al doilea), coeficientul de determinare are valoarea $R^2 = 0,938$, iar coeficientul de determinare ajustat, $R^2_{adj} = 0,905$.

Se observă că pentru polinomul complet de gradul al doilea calculele probabilităților de ignorare a coeficienților sunt superioare lui 0,05 sau nu pot fi reprezentate numeric (numere foarte mari). Aceste erori arată că interpolarea polinomială este posibilă și sigură doar pentru polinoame de gradul întâi. Un singur coeficient din cei 21 are probabilitatea de respingere, $p = 0,000251 < 0,05$, anume termenul neliniar P^2 , pătratul puterii. Pentru a obține totuși o regresie liniară, s-au considerat toți termenii liniari la care s-a adăugat pătratul puterii P^2 . Programul PTC Mathcad Prime 9 reține în regresia polinomială de gradul al doilea termenii care apar în formula (6.3). Se obține regresia neliniară (6.3).

Tabel 6.2

Coeficienții polinoamelor de regresie statistică, probabilitățile de a fi refuzați și coeficientul de determinare pentru variabila dependentă C_p

termen	Coef. Gr. 1	Prob. de refuz	Coef.Gr. 2	Prob. de refuz
$p^0t^0P^0$	-2,851074	0,23600	44,010454	0,070688
p	0,939278	0,01200	1,393028	0,381066
t	0,124406	0,00000	0,089719	0,298040
P	0,055325	0,00396	-0,893582	0,002561
pt	-	-	0,013858	0,167212
pP	-	-	-0,005017	0,373173
tP	-	-	0,000648	0,185367
p^2	-	-	-0,099944	0,383080
t^2	-	-	-0,000629	0,177416
P^2	-	-	0,004603	0,000851

$$C_p = 53,060209 - 0,920149P + 0,0106074pt + 0,000608567tP + 0,00460347P^2 \quad (6.3)$$

Coeficientul de determinare al regresiei (6.3) este $R^2=0,93$, iar cel ajustat $R^2_{adj}=0,92$ cu $F(4,22) = 74,64$. Predictorii considerați în regresia neliniară (6.3) reprezintă 93,1% din variația C_p .

O alta regresie neliniară sugerată de programul Multiple Linear Regression Calculator este regresia de puteri din formula (6.4).

$$C_p = 0,305857p^{0,284324}t^{0,5645676}P^{0,242651} \quad (6.4)$$

pentru care coeficientul de determinare este $R^2=0,87$ iar coeficientul de determinare ajustat are valoarea $R^2_{adj}=0,85$. Se obține $F(3,23) = 50,11$, $p < 0,001$. Parametrul presiune, p , este nesemnificativ. Predictorii regresiei (6.4) reprezintă 86,7% din variația variabilei dependente C_p .

SALVIE

6.2.13. Rezultatele statisticii regresiiilor polinomiale multivariate

Regresiile polinomiale multivariate se găsesc folosind diverse programe de calcul folosind funcția Multiple Linear Regression Calculator, a programului Mathcad 15, în ordinea crescătoare a gradelor polinoamelor de interpolare, se obțin rezultatele din tabelul 6.3.

Se observă că pentru polinomul complet de gradul al doilea calculele probabilităților de ignorare a coeficienților sunt superioare lui 0,05, ceea ce arată că interpolarea polinomială este posibilă și sigură doar pentru polinoame de gradul întâi. Programul PTC Mathcad Prime 9.0.0.0 reține în urma analizei de regresie multiliniare termenii de gradul al doilea pt , tP și t^2 . Se obține regresia neliniară (6.5), având coeficientul de determinare $R^2 = 0,74$ și $R^2_{adj} = 0,7$ ($F(3,23) = 21,42$).

$$C_p = 15,831455 + 0,0184703pt + 0,000796597tP - 0,000826513t^2 \quad (6.5)$$

Se observă că programul de analiză prin regresii multivariate alege forma finală bazată pe coeficienții cu cea mai mică probabilitate de respingere, ceea ce se poate observa în rezultatele complete ale programului Multiple Linear Regression Calculator, tabelul 6.3. Programul PTC Mathcad Prime 9.0.0.0 dă și el rezultatele din fiecare etapă de calcul, rezultatele programului Multiple Linear Regression Calculator, tabelul 6.3 corespunzând primei etape de calcul a programului de analiză multivariată.

Coeficientul de determinare pentru regresia liniară obținută cu polinomul de interpolare de gradul întâi, folosind Multiple Linear Regression Calculator, este 0,65, iar coeficientul de determinare ajustat are valoarea 0,604. Pentru polinomul de interpolare de gradul al doilea se obține valoarea 0,776, pentru coeficientul de determinare și 0,658, pentru coeficientul de determinare ajustat.

Tabel 6.3

Coeficienții polinoamelor de regresie statistică, probabilitățile de a fi refuzați și coeficientul de determinare pentru variabila dependentă C_p

Termen	Coef. Pol. Gr. 1	Prob. de refuz	Coef. Pol. Gr. 2	Prob. de refuz
$p^0 t^0 P^0$	5,394167	0,095927	5,117111	0,387644
p	1,656444	0,000273	-2,469139	0,372563
t	0,042085	0,003452	-0,005731	0,392874
P	0,066636	0,002225	0,382536	0,204218
pt	-	-	0,015967	0,209057
pP	-	-	-0,006154	0,376541
tP	-	-	0,001414	0,061869
p^2	-	-	0,275333	0,353078
t^2	-	-	-0,001052	0,118942
P^2	-	-	-0,002031	0,160615

O altă regresie neliniară sugerată de programul PTC Mathcad Prime 9.0.0.0 este regresia de puteri din formula (6.6).

$$C_p = 2,044269p^{0,382214}t^{0,145835}P^{0,260955} \quad (6.6)$$

pentru care coeficientul de determinare este $R^2=0,66$ iar coeficientul de determinare ajustat are valoarea $R^2_{adj} = 0,61$. Se obține $F(3,23) = 14,81$, $p < 0,001$. Parametrul gradului de mărunțire este nesemnificativ. Predictorii regresiei (6.6) reprezintă 65,9% din variația variabilei dependente C_p .

CAPITOLUL 7

CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII PERSONALE. DIRECȚII NOI DE CERCETARE

7.1. Concluzii generale privind cercetările teoretice și experimentale

Plantele medicinale și aromatice sunt utilizate de secole pentru proprietățile lor terapeutice, alimentare și cosmetice, iar interesul științific actual se axează pe valorificarea eficientă a compușilor bioactivi pe care acestea îi conțin.

S-a constatat că factorii de mediu (temperatura, lumina, umiditatea solului sau nivelul de dioxid de carbon) influențează direct acumularea compușilor activi în plante, ceea ce are un impact important asupra calității și cantității extractului final.

Totodată, analiza metodelor de extracție a evidențiat tranziția clară de la tehnicile clasice, cum ar fi macerarea sau percolarea gravitațională, către metode moderne, care permit un control mai precis al procesului și o eficiență mai mare. Dintre acestea, extracția asistată cu ultrasunete și percolarea sub presiune s-au remarcat prin capacitatea lor de a scurta timpul de procesare, de a reduce consumul energetic și de a crește randamentul în extragerea compușilor valoroși.

Pe lângă evoluția tehnologică, studiile recente arată că modelarea matematică și optimizarea experimentală au devenit instrumente esențiale în proiectarea proceselor de extracție. Metode precum metodologia suprafeței de răspuns și alte tipuri de design experimental permit determinarea rapidă și eficientă a condițiilor optime de extracție, ținând cont de variabile precum timpul, temperatura, presiunea, ultrasunetele sau raportul lichid-solid. În unele cazuri, aceste modele au fost extinse cu ajutorul inteligenței artificiale pentru a obține previziuni și reglaje automate ale procesului, cu scopul de a maximiza randamentul și eficiența energetică.

Pentru atingerea obiectivelor și desfășurarea experimentelor au fost necesare următoarele etape:

- *Asigurarea aparaturii și a dispozitivelor de măsurare adecvate*, precum:
 - Termobalanța Shimadzu MOC63u, echipament HERBCUT TIMATIC pentru tăiere, transportor înclinat și sortator de plante;
 - Percolator TIMATIC Duo și sonicator Hielscher UP400St pentru extracție;
 - Spectrofotometru UV-VIS Jasco V-550, sistem de sitare RETSC, balanță de precizie KERN și Chauvin Arnoux C.A 8334 pentru măsurători.
- *Pregătirea materialului vegetal*:
 - plantele au fost mărunțite și sortate pe dimensiuni, apoi introduse în echipamentul de extracție pentru testare.
- *Teste preliminare – alegerea metodei de extracție*: au fost comparate cinci metode:

- percolare sub presiune la 5 bar,
- percolare sub presiune la 7 bar,
- percolare sub presiune la 5 bar asistată cu ultrasunete,
- percolare sub presiune la 7 bar asistată cu ultrasunete sonicare,
- extracție cu ultrasunete.

Rezultatele acestor teste au arătat că cea mai eficientă metodă, pentru toate cele trei plante, a fost percolarea sub presiune la 7 bar asistată de ultrasunete.

• *Optimizarea parametrilor tehnologici:* pentru a obține o eficiență maximă, s-au realizat în prealabil testări la diferite grade de mărunțire, respectiv cantități de material, astfel:

- Grad de mărunțire: 12 / 16 / 30 mm;
- Masă material: 200 / 400 / 600 g.

Cel mai bun echilibru randament-consum energetic s-a obținut la 30 mm și 400 g.

• *Evaluarea influenței ultrasunetelor:*

- Puteri testate: 80, 100, 120, 140, 160 W;

Puterea optimă a fost de 120 W pentru urzică și lavandă și de 100 W pentru salvie, dar deoarece diferențele între 100 W și 120 W la salvie au fost nesemnificative, s-a ales valoarea de 120 W pentru putere la toate plantele.

• *Testări complexe cu parametrii selectați:* la valorile de 30 mm și 400 g, s-au variat parametri:

- Presiune: 4 / 6 / 7 bar;
- Timp: 60 / 90 / 120 min;

Combinația optimă pentru toate plantele a fost: 7 bar, 120 min.

• *Rezultatele extracției:* utilizând combinația de presiune / timp: 7 bar / 120 minute, s-au obținut creșteri importante ale conținutului de principii active, raportat la un consum energetic moderat, astfel:

- pentru *URZICĂ*: +108%, maxim 13,71 mg GAE/100 g, consum >17%;
- pentru *SALVIE*: +43%, maxim 30,79 mg GAE/100 g, consum similar;
- pentru *LAVANDĂ*: +18%, maxim 25,91 mg GAE/100 g, cu proporționalitate între randament și consum.

• *Observații suplimentare:*

- Percolarea ciclică cu oscilații de presiune a accelerat transferul de masă;
- Dimensiunea materialului influențează puțin randamentul, dar consumul energetic crește mult pentru particule mici;
- Consumul energetic al echipamentului a crescut de la 0,450 kWh (5 bar, 80 W) la 0,528 kWh (7 bar, 120 W), adică >17%, în timp ce randamentele au crescut mult mai mult.

7.2. Contribuții personale

Lucrarea de față cuprinde o serie de contribuții originale, atât teoretice, cât și experimentale, realizate în cadrul cercetării privind îmbunătățirea echipamentelor de extracție a compușilor bioactivi din plante medicinale prin metode moderne. Printre contribuțiile proprii se numără:

- *Realizarea unei sinteze documentare* privind compoziția chimică, proprietățile bioactive și importanța industrială a trei plante medicinale selectate: urzică, lavandă și salvie;
- *Elaborarea unei analize comparative asupra metodelor de extracție tradiționale și moderne*, cu accent pe percolarea sub presiune și extracția asistată cu ultrasunete, subliniind avantajele integrării acestora într-un sistem hibrid;
- *Stabilirea condițiilor preliminare de lucru* pentru desfășurarea testelor experimentale, prin evaluarea influenței gradului de mărunțire (12 / 16 / 30 mm) și a masei de material vegetal (200 / 400 / 600 g), în vederea alegerii variantei adecvate pentru testarea parametrilor tehnologici;
- *Analiza influenței parametrilor tehnologici esențiali* (putere ultrasunete: 80 / 100 / 120 / 140 / 160 W; presiunea: 5, 6 și 7 bar; timp de extracție: 60 / 90 / 120 minute) asupra randamentului procesului de extracție, aplicat pentru cele trei specii vegetale analizate;
- *Stabilirea ciclului de funcționare specific pentru percolarea sub presiune*, format din faze statice (4 minute la presiune constantă maximă) și faze dinamice (6 minute cu oscilații de presiune la intervale de 10 secunde), aplicat în mod repetat pentru intensificarea procesului de extracție;
- *Identificarea parametrilor tehnologici optimi* care să asigure un randament ridicat de extracție și consum energetic echilibrat pentru toate cele trei plante analizate: presiune: 7 bar; timp: 120 minute; putere a ultrasunete: 120 W. Eficiența metodei hibride (percolare sub presiune asistată cu ultrasunete) a fost evaluată atât din punct de vedere tehnologic prin raportare la compoziția chimică inițială a materialului vegetal, cât și energetic;
- *Evidențierea comportamentului plantelor în raport cu tehnologia aplicată*, inclusiv creșterea procentuală a conținutului de principii active extrași (până la 108% în cazul urzicii), în corelație cu consumul energetic;
- *Dezvoltarea unui model matematic* care stabilește legătura dintre parametrii tehnologici și randamentul procesului;
- *Identificarea unui regim optim de funcționare al procesului de extracție* pentru a obține eficiența maximă în extracția principiilor active din plantele medicinale studiate.

Rezultatele cercetării au fost valorificate prin publicarea a 6 articole cotate ISI, a 2 lucrări apărute în jurnale indexate BDI (1 indexat Scopus) și a 4 lucrări publicate în volumele unor conferințe internaționale (BDI):

1. **A-M. Tăbărașu**, N-V. Vlăduț, F. Nenciu, P. Cârdei, I. Găgeanu, L. Catană, M. Begea, M-G. Matache, D-N. Anghelache, I-C. Persu, T-A. Oncescu. Improved Hybrid Percolation–Ultrasound Extraction of Bioactive Compounds and Their Application as Nettle and Sage-Derived Biostimulants in Tomato and Pepper Crops. *FOODS*, 2025, 14(22), 3900; <https://doi.org/10.3390/foods14223900>, (FI = 5,1).
2. **Tăbărașu, A.-M.**, Anghelache, D.-N., Găgeanu, I., Biriș, S.-Șt., Vlăduț, N.-V. (2023). Considerations on the Use of Active Compounds Obtained from Lavender. *Sustainability*, 15, 8879, <https://doi.org/10.3390/su15118879>, (FI = 3,9).
3. **Tăbărașu, A.-M.**, Nenciu, F., Anghelache, D.-N., Vlăduț, V.-N., Găgeanu, I. (2024). Hybrid Percolation Ultrasound Method for Extracting Bioactive Compounds from *Urtica dioica* and *Salvia officinalis*. *Agriculture*, 14, 1561, <https://doi.org/10.3390/agriculture14091561>, (FI = 3,3).
4. **Tăbărașu A-M.**, Vlăduț N-V., Găgeanu I., Nenciu F., Cismaru M-E., Oncescu T-A., Gheorghe G-V., Harabagiu A., Anghelache D-N., Cujbescu D., Vocea I. (2025). Extraction and valorization of active principles from medicinal plants – a perspective for the sustainable development of farms in Romania. *INMATEH Agric. Eng.*, vol. 77, no.3, pp. 126-146, <https://inmateh.eu/archive/volumes>, (FI = 0,7).
5. **Tăbărașu, A-M.**, Găgeanu, I., Vlăduț, N-V., Matache, M-G., Anghelache, D-N. (2024). Experimental research on the extraction of polyphenols from nettle, lavender, and sage using the percolation method. *INMATEH Agric. Eng.*, vol. 73, no.2, pp. 678-687, DOI: <https://doi.org/10.35633/inmateh-73-58>, (FI = 0,6).
6. **A.-M. Tăbărașu**, I. Găgeanu, D.-N. Anghelache, L. Catana, N-V. Vlăduț F. Nenciu. Evaluation of the biostimulatory effects of nettle and sage extracts on the development of green beans. 50th Symposium "Actual Tasks on Agricultural Engineering", Opatija, Croatia, 2025, pg. 295-304, (FI ≥ 0).
7. **A-M. Tăbărașu**, N-V., Vlăduț, P. Cârdei, D-N. Anghelache, N-A. Vanghele, M. Cristea. Statistical Modeling of the Hybrid Percolation–Ultrasound Method for Extracting Bioactive Compounds from Lavender. *U.P.B. Sci. Bull., Series D*, 2025, vol. 87, Iss. 4, pp. 325-340 .
8. **Tăbărașu, A-M.**, Biriș, S-Șt., Vlăduț N-V., Anghelache, D-N., Zamfir, L-C., Găgeanu, I., Marin, F., Hâncu, I. (2022). Influence of environmental factors on the growth of medicinal and aromatic plants. *AGRI INMA Sustain. Agric. Environ. Prot.*, vol.1, no. 1, p. 75-88.
9. **Tăbărașu, A-M.**, Biriș. S-Șt., Găgeanu, I., Anghelache, D., Bălțatu, C., Persu, C. (2021). Methods of extracting the active principles from medicinal and aromatic plants. A review. *Int. Symp. ISB INMATEH Agric. Mech. Eng.*, p. 88-95, ISSN 2537 – 3773.
10. **Tăbărașu, A-M.**, Biriș, S-Șt., Begea, M., Anghelache, D-N., Constantin, A-M. (2022). The use of medicinal and aromatic plants in agriculture to fight pests but also as

- fertilizers. A review. Int. Symp. ISB INMATEH Agric. Mech. Eng., ISSN 2344 – 4118, 84-91.
11. **Tăbărașu A-M.**, Anghelache D-N., Găgeanu I., Biriș S-Ș., Constantin A-M., Marin F., Hâncu I. - Mathematical models for the extraction of volatile oils and active principles from medicinal and aromatic plants. A review, *TECHNICUM* 2023, pg. 74-79, Vol. 14 (2023): Special Issue of the 11-th International Conference on Thermal Equipment, Renewable Energy and Rural Development (TE-RE-RD 2023), <https://techniumscience.com/index.php/technium/issue/view/152>.
12. **Tăbărașu, A-M.**, Vlăduț, N-V., Catană, L., Găgeanu, I., Anghelache, D-N., Nae, G., Vlăduțoiu, L., Mircea, C. (2024). Benefits of using active principles from medicinal and aromatic plants for agriculture. Int. Symp. ISB INMATEH Agric. Mech. Eng., ISSN 2344 – 4118, 24-29.

De asemenea, activitatea de cercetare a fost recunoscută prin obținerea a 5 premii în cadrul Saloanelor de Invenții, pentru lucrarea intitulată *Innovative Technologies for Increasing the Extraction Yield of Active Principles from Medicinal and Aromatic Plants*:

1. **Medalie de aur**, obținută la *Salonul de Invenții „Festival of Innovative and Technological Transfer”*, Târgoviște, 17–20 noiembrie 2025.
2. **Premiul special „Student Innovation Award”**, obținut la *Salonul de Invenții „Festival of Innovative and Technological Transfer”*, Târgoviște, 17–20 noiembrie 2025.
3. **Medalie de aur**, obținută la *Salonul Internațional INFOINVENT*, ediția a XIX-a, Chișinău, Republica Moldova, 3–5 decembrie 2025.
4. **Medalie de aur**, obținută la *innoCENTA - International Exhibition of Innovation and Technological Transfer*, Timisoara, România, 06-07 Noiembrie 2025.
5. **Medalie de argint**, obținută la *Salonul de Invenții UGAL INVENT*, Galați, 23–24 octombrie 2025.

7.3. Direcții noi de cercetare

Pe baza rezultatelor obținute în cadrul acestei teze, se pot continua cercetările în următoarele direcții:

- Testarea metodei hibride (percolare sub presiune asistată cu ultrasunete) pe alte plante medicinale cu profil fitochimic diferit.
- Cercetarea influenței altor variabile tehnologice (temperatura solventului, tip de solvent, număr de cicluri) asupra randamentului de extracție.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- [1]. Abubakar, A.R, Haque, M. (2020). Preparation of medicinal plants: Basic extraction and fractionation procedures for experimental purposes. *J. Pharm. Bioal. Sci.*, 12:1-10, DOI: 10.4103/jpbs.JPBS_175_19.
- [2]. Al Otaibi, F., Alghamdi, S.A., Abo-Elyousr, K.A.M. (2024). The Influence of Salinity on Plant Growth and Amendment Strategies. *Sohag J. Sci.*, 9(3), 261-267, <https://doi.org/10.21608/sjsci.2024.258471.1168>.
- [3]. Anaya-Esparza, L.M., Aurora-Vigo, E.F., Villagrán, Z., Rodríguez-Lafitte, E., Ruvalcaba - Gómez, J.M., Solano-Cornejo, M.Á., Zamora-Gasga, V.M., Montalvo-González, E., Gómez-Rodríguez, H., Aceves-Aldrete, C.E., González-Silva, N. (2023). Design of Experiments for Optimizing Ultrasound-Assisted Extraction of Bioactive Compounds from Plant-Based Sources. *Molecules*, 28, 7752, <https://doi.org/10.3390/molecules28237752>.
- [4]. Bhusal, K.K., Magar, S.K., Thapa, R., Lamsal, A., Bhandari, S., Maharjan, R., Shrestha, S., Shrestha, J. (2022). Nutritional and pharmacological importance of stinging nettle (*Urtica dioica* L.): A review. *Heliyon*, 8, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09717>.
- [5]. Bitwell, C., Indra, S.S., Luke, C., Kakoma, M.K. (2023). A review of modern and conventional extraction techniques and their applications for extracting phytochemicals from plants. *Scientific African*, 19, <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01585>.
- [6]. Dent, M., Dragovic-Uzelac, V., Garofulic, I.E., Bosiljkov, T., Ježek, D., Brncic, M. (2015). Comparison of conventional and ultrasound-assisted extraction techniques on mass fraction of phenolic compounds from sage (*Salvia officinalis* L.). *Chem. Biochem. Eng. Q.*, 29, 475–484.
- [7]. El-Saadony, M.T., Saad, A.M., Mohammed, D.M., Korma, S.A., Alshahrani, M.Y., Ahmed, A.E., Ibrahim, E.H., Salem, H.M., Alkafaas, S.S., Saif, A.M., Elkafas, S.S., Fahmy, M.A., Abd El-Mageed, T.A., Abady, M.M., Assal, H.Y., El-Tarabily, M.K., Mathew, B.T., AbuQamar, S.F., El-Tarabily, K.A., Ibrahim, S.A. (2025). Medicinal plants: bioactive compounds, biological activities, combating multidrug-resistant microorganisms, and human health benefits - a comprehensive review. *Front. Immunol*, 16:1491777, doi: 10.3389/fimmu.2025.1491777.
- [8]. Han, Y.J., Beck, W., Mewis, I., Förster, N., Ulrichs, C. (2023). Effect of Ozone Stresses on Growth and Secondary Plant Metabolism of *Brassica campestris* L. ssp. *chinensis*. *Horticulturae*, 9, 966, <https://doi.org/10.3390/horticulturae9090966>.
- [9]. Hassan, H.M.A. (2015). A Short History of the Use of Plants as Medicines from Ancient Times. *Chimia*, 69, No.10, doi:10.2533/chimia.2015.622.
- Hidayat, R., Wulandari, P. (2021). Methods of Extraction: Maceration, Percolation and Decoction. *Eureka Herba Indonesia*, Vol. 2, Issue 1, <https://doi.org/10.37275/ehi.v2i1.15>.
- [10]. Hounsou, K. E., Sonibare, M. A., Elufioye, T. O. (2024). Climate change and the future of medicinal plants research. *Bioactive Compounds in Health and Disease*, 7(3):152-169, DOI: <https://doi.org/10.31989/bchd.v7i3.1310>.
- [11]. Jamloki, A., Bhattacharyya, M., Nautiyal, M.C., Patni, B. (2021). Elucidating the relevance of high temperature and elevated CO₂ in plant secondary metabolites (PSMs) production. *Heliyon*, 7, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07709>.

- [12]. Jamshidi-Kia, F., Lorigooini, Z., Amini-Khoei, H. (2018). Medicinal plants: past history and future perspective. *J Herbmед Pharmacol.* 7(1):1-7, doi: 10.15171/jhp.2018.01.
- [13]. Jassam, Y.A., Kareem, T.A. (2019). The effect of plant extracts of sage (*Salvia officinalis*) and thyme (*Thymus vulgaris*) in the cause of disease complicating the roots of nematodes meloidogyne incognita on the tomato in Iraq. *Plant Archives*, Vol. 19, pp. 1164-1169 e-ISSN:2581-6063.
- [14]. Kalariya, K. A., Shahi, D., Das, M. (2023). Impact of climate change on physiology of medicinal and aromatic plants. *Indian Horticulture*, 68(5), 31-33.
- [15]. Kapadia, P.; Newell, A.S.; Cunningham, J.; Roberts, M.R.; Hardy, J.G. (2022). Extraction of High-Value Chemicals from Plants for Technical and Medical Applications. *Int. J. Mol. Sci.*, 23, 10334. <https://doi.org/10.3390/ijms231810334>.
- [16]. Khan, H. (2014). Medicinal Plants in Light of History: Recognized Therapeutic Modality. *Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine*, Vol. 19(3) 216-219, DOI: 10.1177/2156587214533346.
- [17]. Khedher, M.R.B., Khedher, S.B., Chaieb, I., Tounsi, S., Hammami, M. (2017). Chemical composition and biological activities of *Salvia officinalis* essential oil from Tunisia. *EXCLI Journal*, 16:160-173, ISSN 1611-2156, <http://dx.doi.org/10.17179/excli2016-832>.
- [18]. Kumar, A., P, N., Kumar, M., Jose, A., Tomer, V., Oz, E., Proestos, C., Zeng, M., Elobeid, T., K, S., Oz, F. (2023). Major Phytochemicals: Recent Advances in Health Benefits and Extraction Method. *Molecules*, 28, 887, <https://doi.org/10.3390/molecules28020887>.
- [19]. Laftouhi, A., Eloutassi, N., Ech-Chihbi, E., Rais, Z., Abdellaoui, A., Taleb, A., Beniken, M., Nafidi, H.-A., Salamatullah, A.M., Bourhia, M., Taleb, M. (2023). The Impact of Environmental Stress on the Secondary Metabolites and the Chemical Compositions of the Essential Oils from Some Medicinal Plants Used as Food Supplements. *Sustainability*, 15, 7842. <https://doi.org/10.3390/su15107842>.
- [20]. Lesage-Meessen, L., Bou, M., Sigoillot, J-C., Faulds, C.B., Lomascolo, A. (2015). Essential oils and distilled straws of lavender and lavandin: a review of current use and potential application in white biotechnology. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 99:3375–3385, DOI 10.1007/s00253-015-6511-7.
- [21]. Machado, C.A., Oliveira, F.O., de Andrade, M.A., Hodel, K.V.S., Lepikson, H., Machado, B.A.S. (2022). Steam Distillation for Essential Oil Extraction: An Evaluation of Technological Advances Based on an Analysis of Patent Documents. *Sustainability*, 14, 7119, <https://doi.org/10.3390/su14127119>.
- [22]. Madheshiya, P., Gupta, G.S., Sahoo, A., Tiwari, S. (2023). Role of Elevated Ozone on Development and Metabolite Contents of Lemongrass [*Cymbopogon flexuosus* (Steud.) (Wats.)]. *Metabolites*, 13, 597, <https://doi.org/10.3390/metabo13050597>.
- [23]. Mueed, A., Shibli, S., Al-Quwaie, D.A., Ashkan, M.F., Alharbi, M., Alanazi, H., Binothman, N., Aljadani, M., Majrashi, K.A., Huwaikem, M., Abourehab, M.A.S., Korma, S.A., El-Saadony, M.T. (2023) Extraction, characterization of polyphenols from certain medicinal plants and evaluation of their antioxidant, antitumor, antidiabetic, antimicrobial properties, and potential use in human nutrition. *Front. Nutr.* 10:1125106, doi: 10.3389/fnut.2023.1125106.

- [24]. Mustapa, M.A., Guswenrivo, I., Zurohtun, A., Khairul Ikram, N.K., Muchtaridi, M. (2023). Analysis of Essential Oils Components from Aromatic Plants Using Headspace Repellent Method against *Aedes aegypti* Mosquitoes. *Molecules*, 28, 4269. <https://doi.org/10.3390/molecules28114269>.
- [25]. Muzykiewicz-Szymańska, A., Kucharska, E., Pelech, R., Nowak, A., Jakubczyk, K., Kucharski, Ł. (2024). The Optimisation of Ultrasound-Assisted Extraction for the Polyphenols Content and Antioxidant Activity on *Sanguisorba officinalis* L. Aerial Parts Using Response Surface Methodology. *Appl. Sci.*, 14, 9579, <https://doi.org/10.3390/app14209579>.
- [26]. de Oliveira, M. S., Almeida, M. M., Salazar, M. de L. A. R., Pires, F. C. S., Bezerra, F. W. F., Cunha, V. M. B., Cordeiro, R.M., Urbina, G.R.O., de Silva, M.P., e Silva A.P.S., Pinto, R.H.H., Junior, R. N. de C. (2018). Potential of Medicinal Use of Essential Oils from Aromatic Plants. *InTech*. doi: 10.5772/intechopen.78002.
- [27]. Pant, P., Pandey, S., Dall'Acqua, S. (2021). The Influence of Environmental Conditions on Secondary Metabolites in Medicinal Plants: A Literature Review. *Chem. Biodiversity*, 18, doi.org/10.1002/cbdv.202100345.
- [28]. Pergola, M., De Falco, E., Belliggiano, A., Ievoli, C. (2024). The Most Relevant Socio-Economic Aspects of Medicinal and Aromatic Plants through a Literature Review. *Agriculture*, 14, 405. <https://doi.org/10.3390/agriculture14030405>.
- [29]. Petigny, L., Périno, S., Minuti, M., Visinoni, F., Wajsman, J., Chemat, F. (2014). Simultaneous Microwave Extraction and Separation of Volatile and Non-Volatile Organic Compounds of Boldo Leaves. From Lab to Industrial Scale. *Int. J. Mol. Sci.*, 15, 7183-7198, doi:10.3390/ijms15057183.
- [30]. Pinto, T., Aires, A., Cosme, F., Bacelar, E., Morais, M.C., Oliveira, I., Ferreira-Cardoso, J., Anjos, R., Vilela, A., Gonçalves, B. (2021). Bioactive (Poly)phenols, Volatile Compounds from Vegetables, Medicinal and Aromatic Plants. *Foods*, 10, 106. <https://doi.org/10.3390/foods10010106>.
- [31]. Pradhan, J., Sahoo, S.K., Lalotra, S., Sarma, R.S. (2017). Positive impact of abiotic stress on medicinal and aromatic plants. *IJPS International Journal of Plant Sciences*, vol. 12, 2, 309-313, DOI: 10.15740/HAS/IJPS/12.2/309-313.
- [32]. Prusinowska, R., Śmigielski, K.B. (2014). Composition, biological properties and therapeutic effects of lavender (*Lavandula angustifolia* L.). A review. *Herba polonica*, vol. 60 no. 2, DOI: 10.2478/hepo-2014-0010.
- [33]. Said-Al Ahl, H.A.H., Omer, E.A. (2011). Medicinal and aromatic plants production under salt stress. A review. *Herba Polonica*, vol. 57, no.1, p. 72-87.
- [34]. Sharma, K., Kaur, R., Kumar, S., Saini, R.K., Sharma, S., Pawde, S.V., Kumar, V. (2023). Saponins: A concise review on food related aspects, applications and health implications. *Food Chemistry Advances*, 2, <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100191>.
- [35]. Sharma, S., Walia, S., Rathore, S., Kumar, P., Kumar, R. (2020). Combined effect of elevated CO₂ and temperature on growth, biomass and secondary metabolite of *Hypericum perforatum* L. in a western Himalayan region. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 16, <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2019.100239>.
- [36]. Shen, L., Pang, S., Zhong, M., Sun, Y., Qayum, A., Liu, Y., Rashid, A., Xu, B., Liang, Q., Ma, H., Ren, X. (2023). A comprehensive review of ultrasonic assisted extraction (UAE)

- for bioactive components: Principles, advantages, equipment, and combined technologies. *Ultrasonics Sonochemistry*, 101, <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106646>.
- [37]. Shruti, S., Trivedi, A., Chaudhary, K.B., Ghadiali, J. (2024). Global Climate Change and Its Effects on Medicinal and Aromatic Plants: A Review Article. *Int. J. Environ. Clim. Change*, vol. 14, no. 2, pp. 149-160, DOI: 10.9734/IJECC/2024/v14i23931.
- [38]. Singla, R.K., Dubey, A.K., Garg, A., Sharma, R.K., Ameen, S.M., Haddad, M.A., Al-Hiary, M. (2019). Natural Polyphenols: Chemical Classification, Definition of Classes, Subcategories, and Structures. *Journal of AOAC international*, Vol. 102, no. 5, 2019, DOI: <https://doi.org/10.5740/jaoacint.19-0133>.
- [39]. Tambun, R., Alexander, V., Ginting, Y. (2021). Performance comparison of maceration method, soxhletation method, and microwave-assisted extraction in extracting active compounds from soursop leaves (*Annona muricata*): A review. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 1122, doi:10.1088/1757-899X/1122/1/012095.
- [40]. Tăbărașu, A.-M., Anghelache, D.-N., Găgeanu, I., Biriș, S.-Șt., Vlăduț, N.-V. (2023). Considerations on the Use of Active Compounds Obtained from Lavender. *Sustainability*, 15, 8879, <https://doi.org/10.3390/su15118879>.
- [41]. Tsevdou, M., Ntzimani, A., Katsouli, M., Dimopoulos, G., Tsimogiannis, D., Taoukis, P. (2024). Comparative Study of Microwave, Pulsed Electric Fields, and High Pressure Processing on the Extraction of Antioxidants from Olive Pomace. *Molecules*, 29, 2303, <https://doi.org/10.3390/molecules29102303>.
- [42]. Usman, M., Nakagawa, M., Cheng, S. (2023). Emerging Trends in Green Extraction Techniques for Bioactive Natural Products. *Processes*, 11, 3444. <https://doi.org/10.3390/pr11123444>.
- [43]. Vâtcă, S., Gâdea, Ș., Vâtcă, A., Stoian, V. (2020). Research trends in ecophysiology of medicinal plants. *Hop and Medicinal Plants*, Year XXVIII, no. 1-2, ISSN 2360-0187.
- [44]. Veličković, D.T., Milenović, D.M., Ristić, M.S., Veljković, V.B.(2006). Kinetics of ultrasonic extraction of extractive substances from garden (*Salvia officinalis* L.) and glutinous (*Salvia glutinosa* L.) sage. *Ultrasonics Sonochemistry*, 13, 150–156.
- [45]. ***Fișă tehnică produs INMA București, Instalație de distilare cu abur a plantelor medicinale și aromatice IDP500.
- [46]. *** <https://www.ableengineers.in/> , (accesat in data de 15.02.2025).
- [47]. *** www.timatic.it (accesat 14.01.2025)
- [48]. *** <https://behr-labor.com/en/index.html> (accesat 27.02.2025)
- [49]. *** <https://www.hielscher.com> (accesat 14.01.2025).
- [50]. *** https://www.statskingdom.com/410multi_linear_regression.html
- [51]. *** https://support.ptc.com/help/mathcad/r9.0/en/index.html#page/PTC_Mathcad_Help/statistics_of_multivariate_