

**UNIVERSITATEA DIN CRAIOVA**  
**Facultatea de Inginerie în Electromecanică,**  
**Mediu și Informatică Industrială**

**Ing. NEDELCUȚ CĂTĂLIN**

**TEZA DE DOCTORAT**

***Contribuții privind monitorizarea și reglarea  
parametrilor mediului de cultură a ciupercilor din genul  
Pleurotus.***

Rezumat

**Coordonator științific**  
**Prof.dr.ing. Gheorghe MANOLEA**

**Craiova**

**2009**

### **Actualitatea și necesitatea temei.**

Elaborarea acestei lucrări este strâns legată de activitatea de cercetare desfășurată în cadrul temei din programul Cercetare de Excelență “Biotehnologii inovative pentru obținerea de alimente funcționale din ciupercile genului *Pleurotus* și pregătirea exploatarei industriale”.

În ultimul timp cultura ciupercilor a început să capete un aspect foarte divers. Până în prezent, pe plan mondial, se cunoaște tehnologia de cultură a 14 specii comestibile. În Europa se obține peste 58% din producția mondială, care se estimează la peste 1500000 t (2000 t în România). Valoarea nutritivă precum și tehnologia de cultură mai economică, au impus extinderea în cultură a speciilor de ciuperci din genul *Pleurotus*, care ocupă locul doi în cultură și în consum după genul *Agaricus*. După valoarea nutritivă și terapeutică mare sunt plasate pe primul loc.

Datorită importanței lor alimentare și terapeutice, determinată de compoziția chimică, dar nu în ultimul rând cunoașterea mai bună de către consumatori, au favorizat extinderea suprafețelor de cultură și creșterea nevoilor pentru piață.

Ciupercile *Pleurotus* constituie un aliment dietetic foarte indicat pentru alimentația omului. Au un conținut ridicat de proteine, fiind aproape un înlocuitor al cărnii. Conțin de asemenea glucide, acizi organici, săruri minerale și sunt adevărate izvoare de vitamine, în special cele din complexul B și vitaminele D. Substanțele biologic active conținute de aceste ciuperci de cultură, diminuează efectele nocive ale elementelor radioactive din corpul uman, iar conținutul mare de proteine previne și vindecă hepatita, ulcerul gastric, micșorează procentul de colesterol și acționează ca anticancerigen. În plus, aceste ciuperci au și activitate antitumorală, anti-inflamatoare și antibiotică.

Pe plan național, ciupercile genului *Pleurotus* sunt consumate mai mult în stare proaspătă (situație în care se pot păstra 2-3 zile) sau în stare ambalată și refrigerată (cu perioadă de păstrare de 7-10 zile). Fac parte din categoria legumelor foarte perisabile, iar datorită capacității limitate de conservabilitate și a posibilităților scăzute de desfacere oferite de dezvoltarea limitată a marketing-ului de produs, producția de ciuperci devine cu adevărat rentabilă în condițiile în care este însoțită de prelucrare. În general, atât în țară cât și în străinătate, ciupercile genului *Pleurotus* sunt mai puțin prelucrate, consumându-se mai mult în stare proaspătă. Speciile de cultură intensivă la noi din țară sunt: *Pleurotus Ostreatus*, *Pleurotus Florida*, *Pleurotus Cornucopiae*, *Pleurotus Sajor-Caju* și diferiți hibrizi de producție autohtoni sau proveniți din Uniunea Europeană.

**Scopul** principal al tezei constă în realizarea unui sistem automat pentru monitorizarea și reglarea parametrilor mediului de cultură a ciupercilor din genul *Pleurotus* care să permită cercetarea influenței parametrilor specifici asupra calității produsului procesului monitorizat în vederea creșterii calității produselor alimentare prin controlul riguros al mediului de cultură specific și pentru creșterea productivității muncii în sectorul horticol.

Pentru atingerea scopului propus s-au stabilit următoarele **obiective**:

- modelarea matematică și simularea numerică a microclimatului din spațiul de incubare și de fructificare;
- controlul și dirijarea automată a secvențelor tehnologice specifice culturilor de ciuperci;
- conceperea unui software dedicat pentru prelucrarea datelor obținute prin monitorizarea microclimatului;
- realizarea unui sistem computerizat pentru monitorizarea și reglarea parametrilor microclimatului (temperatură, umiditate, iluminare, ventilație).

#### **Gradul de realizare a obiectivelor propuse**

Se apreciază că obiectivele propuse au fost atinse în totalitate.

#### **Suportul metodologic și teoretico-științific.**

În vederea atingerii obiectivelor propuse au fost consultate cărți, brevete de invenție, teze de doctorat, reviste și lucrările științifice ale unor unități de cercetare – dezvoltare din țară și străinătate cu preocupări în domeniu.

Având în vedere caracterul interdisciplinar al temei, metodologia cercetării a vizat atât sistemul de monitorizare și reglare a parametrilor mediului de cultură cât și influența acestor parametri asupra produsului procesului monitorizat – ciupercile din genul *Pleurotus*.

#### **Noutatea științifică și tehnică a rezultatelor obținute.**

**Noutatea științifică** este legată de:

- modelul matematic pentru procesul de încălzire din spațiul de incubare;
- modelului matematic pentru procesul de transfer termic în cazul spațiului de incubare;
- determinarea constantei de aerisire utilizată pentru descrierea eficienței climatizării pasive a spațiului de incubare;
- simularea numerică a procesului de transfer termic în cazul spațiului de incubare în vederea optimizării ciclului incubare-fructificare și reducerii consumului total de energie electrică;
- modelul matematic pentru procesul de eliminare a bioxidului de carbon degajat de ciupercile din genul *Pleurotus* în spațiul de fructificare;

- simularea numerică a procesului de recirculare a aerului din spațiul de fructificare ținând seama de fenomenul de convecție și difuzie;
- estimarea distribuției temperaturii în spațiul de incubare în vederea reducerii numărului de senzori fizici din acest spațiu, având în vedere caracterul variabil al structurii acestui spațiu;
- estimarea distribuției concentrației de bioxid de carbon și a distribuției umidității în spațiul de fructificare în vederea reducerii numărului de senzori fizici din acest spațiu, având în vedere caracterul variabil al structurii acestui spațiu ;

**Noutatea tehnică** este legată de sistemul de monitorizare și reglare a parametrilor mediului de cultură realizat precum și de cererea de brevet de invenție *Filtru de aer pentru spațiul de incubare a ciupercilor*

**Valoarea aplicativă** a tezei rezultă din faptul că sistemul de monitorizare a parametrilor mediului de cultură MONIMAS, funcționează la Stațiunea didactică Banu Mărăcine a Universității din Craiova asigurând derularea unor cercetări specifice din domeniul horticol. Unele rezultate s-au aplicat, parțial, și în cadrul unui alt proiect de cercetare național (*Cercetări privind realizarea unui vehicul feroviar inteligent pentru transportul sigur, confortabil și eficient de călători*).

De asemenea, valoarea practică a tezei poate fi asociată și cu faptul că rezultatele obținute reprezintă o continuare a cercetărilor aplicative desfășurate de autor în ultimii zece ani în domeniul sistemelor de monitorizare și automatizare aplicate la beneficiari industriali și care au făcut obiectul a 24 contracte de cercetare dintre care:

- la 5 am fost responsabil: 2 contracte naționale obținute prin competiție și 3 contracte cu agenți economici;
- 12 contracte naționale obținute prin competiție sau selecție;
- 7 contracte cu agenți economici.

#### **Diseminarea rezultatelor.**

Rezultatele obținute au făcut obiectul a 38 de lucrări științifice, expuse și discutate la diverse conferințe și seminarii științifice naționale și internaționale și publicate în reviste de specialitate sau în volumele conferințelor, dintre care:

- 8 sunt direct legate de monitorizarea și reglarea parametrilor mediului de cultură a ciupercilor din genul *Pleurotus*; la acestea sunt prim autor;

- 10 dezvoltă teme legate de monitorizarea și reglarea parametrilor electrici din alte sisteme tehnice. În acestea s-au utilizat parțial rezultatele obținute în cadrul tezei sau rezultatele prezentate în aceste lucrări au fost dezvoltate în cadrul tezei. La aceste lucrări am fost coautor.

- o lucrare se referă la sistemul electric de încălzire aplicat pentru spațiul de incubare;
- 17 lucrări dezvoltă teme legate de automatizarea altor procese tehnice și în care s-au utilizat parțial rezultatele obținute în cadrul tezei sau rezultatele prezentate au fost aplicate în cadrul tezei. La aceste lucrări am fost coautor;
- o lucrare face obiectul unei cereri de Brevet de invenție pentru filtrul biologic destinat spațiului de incubare;
- o lucrare face obiectul unei cereri de Brevet de invenție pentru circulația energiei electrice în sisteme izolate dotate cu panouri fotovoltaice și care va fi utilizată pentru continuarea cercetărilor privind reducerea consumului de energie la alimentarea spațiilor de cultură.

### **Structura tezei .**

Prezenta lucrare, conține un număr de 177 de pagini, cuprinzând șapte capitole în care sunt expuse: rezultatele cercetării însoțite de 62 relații, 136 figuri, 15 tabele, concluziile finale, contribuțiile personale, o listă bibliografică însumând 109 poziții bibliografice dintre care în 9 poziții sunt autor principal, iar în alte 9 coautor și 12 anexe.

Pentru început (*capitolul 1*), în vederea *monitorizării și reglării parametrilor mediului de cultură a ciupercilor*, s-a făcut o analiză a situației existente pe plan național și internațional în domeniul culturii de ciuperci și în special a celor din genul *Pleurotus*, a importanței acestora din punct de vedere nutritiv și în special din punct de vedere terapeutic. Din această analiză efectuată, rezultă importanța tezei, datorită existenței cererii pe piața internă și externă de ciuperci *Pleurotus* cu valoare alimentară și terapeutică superioară, înscrierea tezei în preocupările europene legate de tehnologii inovative privind hrana și prelucrarea alimentelor, inclusiv hrana funcțională, precum și nealterarea calitatii mediului inconjurător datorită tehnologiei de cultivare a acestor ciuperci.

În *capitolul al doilea*, s-a făcut o analiză a procesului de cultivare a ciupercilor în vederea alegerii soluției de monitorizare și s-au prezentat caracteristicile generale (structura morfologică a ciupercilor *Pleurotus*, fenofazele de creștere, cerințele de temperatură, umiditate, ventilație și iluminat) și tehnologia generală de cultivare a ciupercilor, axându-ne pe spațiile de cultură și sistemele de cultură.

În *capitolul al treilea*, pornind de la necesitatea cunoașterii cât mai exactă a proceselor supuse monitorizării și reglării, se face un studiu asupra influenței parametrilor mediului asupra fazelor de incubare și fructificare, a importanței acestora în cadrul asigurării microclimatului, și implicit asupra calității ciupercilor obținute. Astfel, se

realizează o modelare a fenomenului de aerisire în spațiile cu degajări de căldură și a fenomenului de transfer de căldură între spațiul interior destinat incubării și cel exterior, atât prin conducție cât și prin conducție și convecție. Se prezintă în continuare un model al recirculării aerului, în cazul degajărilor de bioxid de carbon și apoi se identifică fenomenul de recirculare a aerului în spațiile de producție, pentru cazurile în care curgerea aerului este fie prin convecție, fie prin convecție și difuzie. Identificarea a permis să se prevadă o alătură tipică a răspunsului procesului de ventilație va o variație de tip impuls sau treaptă a concentrației bioxidului de carbon. Tot în cadrul acestui capitol, se realizează o analiză a procesului de umidificare din spațiul de fructificare, stabilindu-se posibilitățile de reglare a acestui parametru pentru două situații extreme: vară, iarnă.

*Capitolul patru* este dedicat realizării sistemului de monitorizare și reglare a parametrilor mediului de cultură din spațiul de incubare. Astfel, pentru început se stabilește tipul senzorilor necesari măsurării temperaturii, se realizează apoi o estimare a distribuției acesteia în interiorul spațiului de incubare, în vederea determinării numărului de traductoare de temperatură. În continuare, se prezintă necesitatea și posibilitatea de tratare a aerului introdus în spațiul de incubare în vederea asigurării unui mediu steril și realizarea sistemului computerizat conceput pentru acest spațiu, care presupune interconectarea următoarelor subsisteme funcționale distincte: un calculator ierarhic superior (PC), un echipament numeric pentru achiziția datelor și senzori pentru măsurarea temperaturii microclimatului. Echipamentul numeric permite scanarea senzorilor și a traductoarelor utilizate, achiziționarea informației și transferarea acesteia către structura ierarhică superioară și realizarea secvențelor specifice regimului de funcționare.

*Capitolul cinci*, este dedicat sistemului de monitorizare și reglare a parametrilor mediului de cultură din spațiul de fructificare. În vederea realizării acestui sistem, după determinarea parametrilor decizionali pentru acest proces (concentrația bioxidului de carbon, umiditate și temperatură), se stabilește tipul traductoarelor pentru măsurarea acestor parametrii, iar apoi se face o estimare a distribuției bioxidului de carbon și a umidității în interiorul spațiului de fructificare în vederea determinării numărului acestora.

Echipamentului numeric destinat monitorizării și reglării parametrilor mediului de cultură din spațiul de fructificare este realizat din mai multe blocuri componente: sistemul cu microcontroler, blocul de adaptare, blocul de comunicație serială, blocul de alimentare și blocul de comandă. Software-ul realizat permite achiziționarea informației de la senzori și de la intrările numerice din proces, stocarea acestora într-o bază de date sau sub forma unor fișiere de tip text, prelucrarea informațiilor, astfel încât să se pună în evidență aspectele care prezintă interes, compararea rezultatelor obținute cu valori de referință

(monitorizare) și generarea comenzii către elementele de execuție din proces, pe baza algoritmului numeric de control al microsistemului (automatizare). Software-ul dedicat este structurat în două mari părți: prima permite achiziționarea, prelucrarea și salvarea informațiilor obținute, iar cea de a doua realizează analiza și generarea comenzii elementelor de execuție. Prima parte a programului permite conectarea structurii ierarhice superioare cu echipamentul numeric, verifică sistematic funcționarea corectă a întregului ansamblu, testând continuu informațiile recepționate pentru a avertiza operatorul la apariția unei probleme tehnice sau de altă natură. Informațiile achiziționate sunt memorate în memoria calculatorului central, fiind astfel disponibile pentru a doua parte a programului. Utilizarea programului Visual Basic, prin tabloul impresionant de resurse de programare, eficiența, organizarea și defalcarea problemelor funcționale, a determinat obținerea unui program ușor de utilizat, complet și asemănător modelelor existente pe piața europeană.

Rezultatele experimentale privind funcționarea sistemului propus și realizat sunt prezentate în *capitolul șase*. Experimentarea sistemului de monitorizare și reglare a parametrilor mediului de cultură s-a făcut în spațiile de cultură amenajate în cadrul Stațiunii didactice a Universității din Craiova. Aceste rezultate confirmă corectitudinea modelelor analizate precum și influența parametrilor de mediu, asupra calității și cantității de ciuperci cultivate. S-a verificat totodată, răspunsul și comportarea sistemului pentru diverse perturbații care pot apare în proces și informația obținută de la senzori cu ajutorul unor dispozitive etalon.

## **Contribuții.**

### **1. Contribuții teoretice**

Apreciez că, prin elaborarea tezei de doctorat, am adus următoarele contribuții teoretice:

- Elaborarea modelului matematic pentru procesul de încălzire din spațiul de incubare;
- Elaborarea modelului matematic pentru procesul de transfer termic în cazul spațiului de incubare;
- Determinarea constantei de aerisire utilizată pentru descrierea eficienței climatizării pasive a spațiului de incubare;
- Simularea numerică a procesului de transfer termic în cazul spațiului de incubare în vederea optimizării ciclului incubare-fructificare și reducerii consumului total de energie electrică;
- Elaborarea modelului matematic pentru procesul de eliminare a bioxidului de carbon degajat de ciupercile din genul *Pleurotus* în spațiul de fructificare;

- Simularea numerică a procesului de recirculare a aerului din spațiul de fructificare ținând seama de fenomenul de convecție și difuzie;
- Estimarea distribuției temperaturii în spațiul de incubare în vederea reducerii numărului de senzori fizici din acest spațiu, având în vedere caracterul variabil al structurii acestui spațiu ;
- Estimarea distribuției concentrației de bioxid de carbon în spațiul de fructificare în vederea reducerii numărului de senzori fizici din acest spațiu, având în vedere caracterul variabil al structurii acestui spațiu;
- Estimarea distribuției umidității în spațiul de fructificare în vederea reducerii numărului de senzori fizici din acest spațiu, având în vedere caracterul variabil al structurii acestui spațiu.

## **2. Contribuții software**

- Elaborarea software-ului pentru sistemul de monitorizare și reglare a parametrilor mediului de cultură a ciupercilor din genul *Pleurotus*, într-un limbaj specific aplicațiilor industriale (Visual Basic 6), care permite achiziționarea informației de la senzori și de la intrările numerice din proces, stocarea acestora într-o bază de date sau sub forma unor fișiere de tip text, prelucrarea informațiilor, astfel încât să se pună în evidență aspectele care prezintă interes, compararea rezultatelor obținute cu valori de referință și generarea comenzii către elementele de execuție din proces, pe baza algoritmului specific propus.
- S-a conceput un program specializat pentru monitorizarea și reglarea parametrilor din spațiul de incubare ( Anexa 11)
- S-a conceput o subrutină specializată în limbaj C pentru senzorul de bioxid de carbon destinată calculului CRC (Cyclic Redundant Check) care calculează o sumă de control prin împărțire aritmetică. Secvența de biti este împărțită cu un număr ales. Împărțirea se face în modulo 2, adică folosind operatorul XOR. Restul împărțirii reprezintă semnatura care va fi adăugată la sfârșit, după biții utili. Divizorul se obține cu algoritmul folosit la codurile Hamming. La recepție, se recalculează restul împărțirii și dacă nu coincide cu cel primit, atunci secvența este eronă. Performanțele acestei metode sunt impresionante. CRC-ul detecta: toate erorile în rafală de maxim 16 biti, toate numerele impare de biți din eroare, 99.998 % din toate erorile de orice lungime (Anexa 5).
- S-au elaborat programe dedicate pentru estimarea distribuției temperaturii din spațiul de incubare, pentru estimarea distribuției umidității și bioxidului de carbon în spațiul de fructificare.



### **3. Contribuții hardware**

- Realizarea unui sistem flexibil de monitorizare și reglare a parametrilor mediului de cultură a ciupercilor din genul *Pleurotus*, care presupune interconectarea dintre un calculator ierarhic superior, două automate programabile specializate pentru achiziția datelor și senzori pentru măsurarea parametrilor microclimatului;
- Realizarea automatului programabil specializat MICROMAS I care asigură achiziția și afișarea informațiilor privind temperatura din spațiul de incubare și din spațiul de admisie a aerului proaspăt și a stării elementelor de execuție care asigură obținerea parametrilor din spațiul de incubare: uși, ventilatoare, filtru, surse de încălzire (cap. 6.1.3). De asemenea, automatul MICROMAS I asigură comanda elementelor de execuție specifice: ventilatoarele de admisie a aerului proaspăt, a surselor de încălzire, a filtrului biologic;
- Realizarea automatului programabil specializat MICROMAS F care asigură achiziția semnalelor furnizate de modulele locale, amplasate în spațiul de fructificare, a stării elementelor de execuție care asigură obținerea parametrilor mediului din spațiul de fructificare a ciupercilor din genul *Pleurotus*: uși, ventilatoare, lămpi de iluminat (cap. 6.2.2). De asemenea, automatul MICROMAS F asigură afișarea valorilor concentrației de bioxid de carbon și umiditate și comanda elementelor de execuție specifice: ventilatoarele de admisie a aerului proaspăt și de evacuare a bioxidului de carbon din spațiul de fructificare, a instalației de umidificare și a instalației de iluminat;
- Realizarea modulelor locale (cap. 6.2.1) amplasate în spațiul de fructificare, module care asigură legătura hardware între senzorii specifici și automatul programabil MICROAS F.
- Realizarea traductoarelor de bioxid de carbon și umiditate pe baza unor senzori care furnizează informația sub formă numerică.
- Realizarea filtrului biologic cu radiație ultravioletă (cap. 6.1.2) care poate fi montat pe conductele de ventilație, poate fi cuplat la automatul programabil MICROMAS I, asigură încălzirea aerului proaspăt adus în spațiul de incubare .

### **4. Contribuții experimentale și aplicative**

Contribuțiile experimentale se referă atât la sistemul de monitorizare și reglare a parametrilor mediului de cultură cât și la influența acestor parametrii asupra produsului procesului monitorizat – ciupercile din genul *Pleurotus*.

**a) Contribuții privind sistemul de monitorizare și reglare.**

- Rezultatele experimentale privind funcționarea sistemului de monitorizare și reglare a parametrilor mediului de cultură a ciupercilor din genul *Pleurotus*, demonstrează corectitudinea soluțiilor propuse pentru rezolvarea problemelor identificate.
- Contribuțiile practice au fost aplicate integral în cadrul Proiectului CEEEX nr.21/2005 *“Biotehnologii inovative pentru obținerea de alimente funcționale din ciupercile genului Pleurotus și pregătirea exploatarei industriale”* și parțial în cadrul Proiectului CEEEX 126 /2006 *„Cercetări privind realizarea unui vehicul feroviar inteligent pentru transportul sigur, confortabil și eficient de călători”*.
- Creerea unui sistem flexibil de achiziție de date, necesar conducerii procesului de producție și a monitorizării parametrilor care-l influențează, sistem care poate fi particularizat și pentru alte geometrii de spațiu de cultură.
- Realizarea filtrului cu radiație ultravioletă destinat dezinfecției aerului proaspăt introdus în spațiul de incubare, filtru care elimină dezavantajele soluțiilor cunoscute, pentru că poate fi montat pe conductele de ventilație artificială și poate fi cuplat la automatul programabil specializat, puterea și eficiența elementului de încălzire din componența sa crescând odată cu creșterea debitului de aer, iar reglarea acestuia se face în funcție de temperatura necesară în spațiul de incubare.

**b) contribuții privind influența parametrilor mediului de cultură asupra produsului horticol.**

- S-a reglat referința de temperatură din spațiul de incubare la o valoare mai mare decât cea recomandată de literatura de specialitate și s-a observat o scădere a duratei perioadei de incubare și fructificare, dar cu efecte negative în ceea ce privește valoare nutritivă și comercială a ciupercilor (cap. 6.1.4, 6.2.3).
- S-a reglat referința de bioxid de carbon din spațiul de fructificare la o valoare mai mare decât cea recomandată de literatura de specialitate și s-au observat următoarele efecte: butonii apar într-un număr mic la același nivel și sunt slabi dezvoltăți; stagnarea a creșterii butonilor; piciorul ciupercii este mai gros în raport cu pălăria; carpoforii (pălăriile) se dezvoltă slab și au un ritm redus de creștere; buchetele nu au valoare comercială și trebuie îndepărtate pentru a permite formarea altor elemente de fructificare.
- S-a reglat referința de umiditate la valori în afara domeniului recomandat de literatura de specialitate și s-a observat scăderea valorii nutritive și comerciale a ciupercii.

### **Propuneri și direcții de cercetare**

- Având în vedere că nu există în fabricație un filtru biologic dedicat procesului de incubare a ciupercilor se propune transferul tehnologic către un producător.
- Se propune propune continuarea cercetărilor pe direcția utilizării pompelor de caldură pentru asigurarea necesarului de energie termică
- Se propune continuarea cercetărilor pe direcția utilizării panourilor fotovoltaice pentru asigurarea necesarului de energie electrică.
- Se consideră că cercetarea poate fi continuată pe direcția analizei influenței presiunii asupra procesului de încălzire din hala de incubare, în cazul utilizării unor ventilatoare antrenate cu viteză variabilă de motoare electrice alimentate de la convertoare statice.