

REZUMAT

Semințele de cereale și plante tehnice sunt produse de bază în alimentația omului, datorită conținutului în proteine, lipide, glucide și minerale, iar consumul acestora este benefic pentru sănătate.

Datorită umidității pe care o conțin, semințele culturilor agricole după recoltare sunt perisabile, astfel încât pentru conservarea lor este necesară deshidratarea acestora.

Așadar, obiectivul uscării este scăderea umidității masei de semințe până la cea de echilibru sau critică, la care păstrarea se poate face timp îndelungat, fără pierderi. Fenomenele care au loc datorită proceselor fiziologice ce se desfășoară cu intensități diferite în timpul depozitării, în majoritate nedorite și cu consecințe deosebit de grave, se datoresc umidității prea ridicate a semințelor depozitate.

Există numeroase sisteme de păstrare a semințelor, dar păstrarea în stare uscată constituie în prezent sistemul cel mai larg utilizat, indiferent de destinație, întrucât în aceste condiții procesele fiziologice decurg cu intensitate mică, microorganismele nu găsesc condiții de dezvoltare, fiind deci eficient și economic. Progresele înregistrate pentru uscarea controlată a semințelor culturilor agricole permit păstrarea acestora pe perioade îndelungate, fiind găsite soluții pentru instalații tehnice de uscare a semințelor, cu randamente superioare, păstrând proprietățile alimentare și senzoriale ale materiilor prime.

S-a dovedit că prin utilizarea unor echipamente performante se poate conduce procesul de uscare astfel încât produsele finale să fie de cea mai bună calitate, iar costurile conservării să fie reduse.

Din cercetările efectuate de diverși autori, se constată că influența cea mai ridicată asupra procesului de uscare a semințelor o are temperatura agentului de uscare, viteza agentului de uscare și umiditatea acestuia.

În acest cadru se înscriu și cercetările efectuate în această teză de doctorat, cu titlul „**Cercetări privind optimizarea procesului de lucru pentru uscarea semințelor de cereale și plante tehnice**”, în care autorul își propune să analizeze stadiul actual al cunoștințelor și realizărilor tehnice din domeniul conservării prin uscare a semințelor culturilor agricole și să studieze mai multe variante de optimizare a procesului de lucru, pe baza cărora să se obțină produse finite de calitate superioară.

Teza are 319 pagini, fiind structurată pe 9 capitole. În teza de doctorat sunt incluse 109 figuri, 111 tabele, 67 relații matematice și 172 titluri bibliografice.

În **capitolul I**, intitulat „*Aspecte generale privind culturile de cereale și plante tehnice*”, se fac precizări asupra importanței semințelor de cereale și plante tehnice în alimentația umană, se prezintă caracteristicile fizice și chimice ale unor categorii de semințe de culturi agricole și anume semințe de grâu, orz, porumb și floarea-soarelui, produse cu care s-au efectuat cercetările experimentale.

Cerealele sunt plantele ierboase de cultură care ocupă cele mai întinse suprafețe agricole de pe glob. Ele prezintă o importanță deosebită în alimentația omului și a animalelor domestice.

Boabele de cereale reprezintă hrana de bază pentru aproape întreaga populație a globului, acestea fiind utilizate sub diferite forme, măcinate și

preparate sub formă de pâine, griș, paste făinoase, mămăligă etc, sau fierte și consumate ca atare.

Sub formă de boabe întregi sau măcinate, ca plante verzi, uscate sau însilozate, ca produse secundare (paie, pleavă sau tulpini de porumb) și subproduse (tărâțe), semințele de cereale sunt utilizate în hrana tuturor speciilor de animale crescute de om.

Boabele de cereale sunt utilizate ca materie primă pentru o serie de industrii, precum cea a spiritului, alcoolului, amidonului, berii, dextrinei, glucozei etc, iar paiele sunt folosite ca materie primă în industria celulozei și hârtiei.

De asemenea, în acest capitol se fac precizări referitoare la masa volumică, căldura specifică, conținutul în apă al semințelor, elemente necesare la aprecierea calitativă a conservării acestora prin uscare, pentru unele categorii de semințe.

Capitolul II, intitulat „*Stadiul actual al cunoașterii în domeniul tehnologiilor și utilajelor pentru uscarea semințelor de plante agricole*”, include mai multe părți importante. În primul subcapitol se abordează importanța uscării semințelor de cereale și plante tehnice, procesele fiziologice din masa de semințe și proprietățile fizico-mecanice ale semințelor în procesul de uscare.

Indicii de apreciere a calității uscării artificiale a semințelor sunt: uscarea în timp scurt și fără degradarea boabelor, consumul redus de energie, compoziția chimică neschimbată a semințelor, menținerea purității semințelor și a capacității lor germinative. Pentru realizarea acestor indici de calitate, trebuie avute în vedere temperatura agentului termic și cea de încălzire a boabelor, durata expunerii semințelor, metoda de uscare și alegerea tipului adecvat de instalație.

Extracția de umiditate din semințe la o trecere a acestora prin uscător nu poate depăși o anumită limită fără a afecta calitatea, iar între două treceri ale semințelor prin uscător se impune o perioadă de repaus pentru redistribuirea umidității în interiorul seminței.

Uscarea artificială este cel mai sigur mijloc pentru deshidratarea semințelor, dar presupune un consum mare de energie și un grad sporit de vătămare a boabelor prin fisurare sau spargere, datorită tensiunilor interne mari care se produc în timpul procesului de uscare. Pentru eliminarea acestor inconveniente, se impune uscarea progresivă a semințelor cu ajutorul unor instalații complexe, în care regimul termic este controlat automat în funcție de natura și umiditatea semințelor și de parametrii agentului de uscare.

În continuare, se fac precizări asupra stadiului actual în domeniul tehnologiilor pentru uscarea semințelor culturilor agricole și tendințelor, precum și asupra construcției de utilaje și echipamente folosite în acest scop.

Capitolul III, intitulat „*Studii și cercetări privind procesul de lucru pentru uscarea semințelor de plante agricole*”, abordează aspecte legate de transferul de căldură și masă, care poate fi prin conducție termică, convecție termică și radiație termică.

Transferul de căldură respectă două principii ale termodinamicii: primul principiu exprimă legea conservării energiei termice în procesele de transfer și cel de al doilea principiu exprimă faptul că transferul de căldură se realizează întotdeauna de la o temperatură mai ridicată către o temperatură mai coborâtă.

Mecanismul de transfer al căldurii prin conducție presupune transferul de energie din zonele cu temperatura mare către zonele cu temperaturi mai mici.

Acest transfer de energie se produce în principal prin contact (din aproape în aproape) cu materia adiacentă și nu există nici o mișcare fizică a masei de la o locație la alta. Conductivitatea termică este o proprietate a corpurilor, care depinde de natura acestora, de temperatură, umiditate și presiune.

Prin convecție termică se înțelege transmiterea căldurii între un fluid în mișcare și un corp solid, sub acțiunea unei diferențe de temperatură între fluid și corpul solid. Procesul de convecție termică se realizează prin acțiunea simultană a convecției în stratul de fluid din imediata apropiere a peretelui (strat-limită) și a convecției propriu-zise care presupune amestecarea particulelor de fluid.

Radiația termică reprezintă procesul de transmitere a căldurii între corpuri aflate la distanță, fără contact direct. Radiația termică este rezultatul transformării energiei interne a corpurilor în energie a undelor electromagnetice care se propagă în spațiu cu lungimi de undă cuprinse între $\lambda = 0,7 \mu\text{m}$ și $\lambda = 400 \mu\text{m}$, ce corespund domeniului razelor infraroșii vizibile și celor ultraviolete.

În **capitolul IV**, intitulat „*Scopul și obiectivele tezei de doctorat*”, se realizează o scurtă sinteză a capitolelor anterioare, din care rezultă că tema tezei de doctorat este de mare actualitate.

Semințele culturilor agricole sunt produse termosensibile, iar pe parcursul procesului de uscare suferă unele modificări: scăderea conținutului de proteine, deteriorarea capacității de germinare, schimbări de culoare, modificarea volumului, apariția unor arome nespecifice, reducerea unor componente nutritive etc. Procesul de uscare se bazează pe cunoașterea compoziției chimice a produselor și a particularităților specifice privind transformările acestora în timpul prelucrării.

Se precizează faptul că obiectivul principal al lucrării de doctorat se referă la optimizarea procesului de lucru pentru uscarea semințelor de cereale și plante tehnice.

Pentru atingerea obiectivului general, s-au rezolvat și următoarele obiective specifice:

- analiza stadiului actual în domeniul cercetărilor teoretice și al realizărilor practice privind uscarea semințelor de cereale și plante tehnice;
- analiza stadiului actual privind construcția uscătoarelor pentru semințe de culturi agricole;
- analizarea parametrilor tehnico-funcționali ai uscătoarelor și influenței lor asupra parametrilor energetici ai procesului de uscare;
- proiectarea și construcția instalației pentru uscare de laborator, prevăzută cu două casete, din care una paralelipipedică conform tehnologiei convenționale și una cilindrică cu deflector conic interior, pentru uniformizarea curgerii agentului de uscare;
- determinarea nivelului maxim de temperatură și influenței lui asupra conservării calităților nutritive ale semințelor la un regim de uscare constant;
- determinarea influenței regimului de uscare asupra capacității germinative a semințelor după uscare, cu evidențierea efectelor;
- alegerea echipamentelor de investigare experimentală;
- alegerea materialului biologic;

- simularea numerică (CFD) a procesului de uscare.

La modelarea matematică a procesului de conservare prin uscare a semințelor culturilor agricole și simularea procesului de uscare, s-au utilizat și valorile reale obținute prin măsurarea parametrilor specifici procesului de uscare cu ajutorul instalației de uscare folosite în cadrul cercetărilor experimentale. Analiza cineticii procesului de uscare a semințelor și a indicilor calitativi ai probelor obținute a permis determinarea regimului optim de uscare.

Capitolul V, „*Material și metodă*”, prezintă pe larg materialul biologic și metodele de lucru utilizate, precum și etapele din construcția instalației pentru deshidratarea semințelor de culturi agricole în condiții de laborator. Materialul biologic folosit în experiențe a fost alcătuit din semințe de grâu, orz, porumb și floarea-soarelui.

Cercetările experimentale s-au desfășurat pe perioada a doi ani. Acestea au avut loc în Laboratorul de utilaje pentru industria alimentară, din cadrul disciplinelor de mecanizare a agriculturii din Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară din Iași.

Semințele de grâu, orz, porumb și floarea-soarelui au fost recoltate, fiecare, la patru stadii de maturitate, având umidități diferite, de pe solele lucrate de o societate agricolă din județul Neamț, specializată în producție vegetală.

Experiențele privind uscarea semințelor s-au efectuat cu ajutorul instalației de laborator pentru uscarea produselor agricole. Instalația permite controlul și monitorizarea parametrilor procesului de uscare, care pot fi aleși de utilizator înaintea sau în timpul rulării programului de uscare.

În prezent, pe plan mondial, pentru uscarea semințelor de plante agricole sunt folosite uscătoare verticale și orizontale, cu funcționare continuă și discontinuă, și care se bazează pe deshidratarea prin convecție.

Toate aceste uscătoare nu rezolvă problema uniformității curgerii agentului de uscare.

De exemplu la uscătoarele verticale, existente pe plan mondial, de tipul cu cilindri concențrici perforați (semințele supuse uscării se deplasează prin spațiul dintre cei doi cilindri concențrici), uscarea este mai intensă către capătul camerei de uscare a semințelor.

Pentru a elimina acest neajuns, în cadrul tezei de doctorat s-a conceput un dispozitiv pentru uniformizarea parametrilor agentului de uscare, de tipul cu talere tronconice bazate pe efectul Coandă, și care permite repartizarea uniformă a aerului cald în masa de produs supus uscării.

Dispozitivul cu talere tronconice de dirijare a agentului de uscare a fost conceput prin simulare, folosind metoda de calcul pentru dinamica fluidelor (CFD), după care s-au efectuat reglaje de dispunere optimă, pentru a obține o uniformitate a profilului de viteză și temperatură a agentului de uscare pe toată suprafața interioară a cilindrului perforat în care este inclus, indiferent de porozitatea stratului de semințe.

Acest dispozitiv constituie un brevet de invenție înregistrat la OSIM.

Scopul acestei invenții este de a rezolva uscarea uniformă a stratului de produs aflat în uscător, prin conceperea unui procedeu și a unui aparat care să permită uniformizarea curgerii fluidului.

Procedeu, conform invenției, constă în distribuția uniformă a agentului de uscare în toată masa de produs, prin crearea unui profil de viteză constantă și egală în fiecare secțiune circulară a stratului de semințe supus uscării.

În vederea evaluării semințelor de cereale și plante tehnice supuse uscării, s-au utilizat următoarele metode:

- metoda uscării în etuvă, conform metodologiei din Anexa 4 a Ordinului Ministrului Agriculturii 70/2006;
- metoda determinării umidității semințelor de cereale cu termobalanța analitică MAC, cu ajutorul căreia se fac analizele de umiditate și se obțin rezultatele direct în procente;
- metoda Kjeldahl pentru determinarea conținutului de proteine;
- metoda determinării glutenului umed la grâu (SR EN ISO 21415-2, 2008);
- metoda determinării indicelui de deformare la grâu (STAS 90, 1988);
- interpretarea statistică a rezultatelor.

Tot în acest capitol se prezintă grafic planul experimental general, pe baza căruia s-au desfășurat cercetările experimentale, etapele desfășurării procesului de uscare, aparatura folosită la cercetarea experimentală, dar și aparatura de laborator necesară desfășurării experiențelor.

Totodată, se fac referiri cu privire la modelarea matematică a procesului de uscare precum și simularea CFD (Computational Fluid Dynamics) a acestuia.

Capitolul VI, „*Modelarea și simularea procesului de lucru pentru uscarea semințelor de cereale și plante tehnice*”, abordează modelarea matematică și simularea numerică CFD (Computational Fluid Dynamics) a procesului de uscare pentru semințele culturilor agricole, prin folosirea a două casete, una de formă paralelipipedică și cealaltă de formă cilindrică, ambele cu trei straturi de semințe.

Optimizarea curgerii agentului de uscare în caseta cilindrică a avut ca obiect uniformizarea gradientului de temperatură și a vitezei agentului de uscare. Procesul complex de optimizare a urmat simularea CFD a curgerii agentului de uscare, în funcție de parametrii constructivi ai distribuitorului de agent de uscare al casetei și parametrii funcționali de viteză și temperatură ai agentului de uscare.

Simularea CFD utilizează modelul matematic propus prin: parcurgerea etapelor de discretizare numerică a domeniului de calcul cu metoda volumelor finite în etapa de preprocesare; impunerea condițiilor la limită pentru obținerea unui sistem determinat de ecuații, ce se realizează în etapa de preprocesare pentru geometrie și în etapa de procesare pentru parametrii de viteză ai agentului de uscare, de temperatură și umiditate; rezolvarea sistemului de ecuații în fiecare nod al domeniului prin metoda iterativă până la obținerea convergenței, în etapa de procesare; reprezentarea grafică a soluțiilor obținute în fiecare nod din domeniul studiat, pentru parametrii viteză, temperatură, umiditate și linii de curent ai agentului de uscare, în etapa de postprocesare. Cu ajutorul simulării CFD s-a construit un model optim al distribuitorului de agent de uscare în interiorul casetei cilindrice (inițial interiorul casetei cilindrice era gol, iar în final distribuitorul este format dintr-un deflector conic cu trei trunchiuri de con și un

con de capăt), ce determină obținerea unor semințe uscate uniform, iar în urma uscării, obținerea unor parametri tehnologici și calitativi superiori.

Capitolul VII, intitulat „*Cercetări experimentale privind optimizarea procesului de lucru pentru uscarea semințelor de cereale*”, prezintă rezultatele obținute în urma procesului de uscare a semințelor de cereale (grâu, orz, porumb), influența fiecărui parametru al agentului de uscare asupra procesului de uscare, interpretarea statistică a rezultatelor obținute, precum și compararea acestora cu studiile teoretice.

Temperaturile agentului termic la care s-a efectuat uscarea semințelor, au fost de 40°C, 50°C, 60°C, 70°C și 80°C, iar vitezele acestuia, de 1 m/s, 1,5 m/s, 2 m/s și 2,5 m/s. Fiecare probă, indiferent de tipul de sămânță și umiditatea inițială, a avut același volum. Prin variația vitezelor și temperaturilor agentului termic, a umidităților inițiale ale semințelor și prin testarea celor două casete de uscare, s-au studiat un număr de 160 de variante experimentale pentru fiecare categorie de semințe.

Pe parcursul cercetărilor a fost urmărită influența parametrilor constructivi și funcționali ai instalației de uscare asupra produsului, respectiv variația umidității și temperaturii în cele trei straturi cu semințe, până la atingerea umidității de conservare. De asemenea, au fost determinate conținutul de proteine al semințelor, capacitatea de germinare a acestora, consumul energetic pe unitatea de masă, conținutul de gluten (pentru semințele de grâu) și indicele de deformare (pentru semințele de grâu). În final este precizată varianta optimă pentru procesul de uscare a fiecărei categorii de produs.

Valori înalte pentru durata de uscare au fost înregistrate la vitezele agentului de uscare de 1 m/s și 1,5 m/s. De asemenea, iese în evidență tendința descrescătoare a timpului de uscare odată cu creșterea vitezei agentului termic și a temperaturii de lucru a acestuia.

La intrare, umiditatea agentului de uscare variază invers proporțional cu temperatura acestuia. La ieșire, umiditatea agentului de uscare are inițial tendință de creștere, urmată de scădere datorită eliminării apei din produs. Până la jumătatea perioadei de uscare umiditatea se menține constantă, după care scade odată cu creșterea temperaturii.

Pentru fiecare viteză a agentului de uscare umiditățile finale descresc odată cu mărirea temperaturilor acestuia.

Se poate afirma că valorile capacității de germinare a semințelor variază invers proporțional cu temperatura aerului și direct proporțional cu viteza acestuia. Atât proteinele cât și capacitatea de germinare a semințelor au fost afectate cel mai sever, în general, la temperatura de 80°C a agentului de uscare.

Utilizarea casetei cilindrice a optimizat toți parametrii urmăriți în timpul uscării și după uscare.

Capitolul VIII, „*Cercetări experimentale privind optimizarea procesului de lucru pentru uscarea semințelor de plante tehnice*”, prezintă rezultatele obținute în urma procesului de uscare a semințelor de floarea-soarelui, compararea acestora cu cele teoretice precum și interpretarea statistică a acestor rezultate. În final este precizată varianta optimă pentru procesul de uscare a semințelor de floarea-soarelui.

În cazul semințelor de floarea-soarelui, durata de uscare a crescut treptat odată cu scăderea vitezelor și temperaturilor aerului. În general durata de uscare

a semințelor de floarea-soarelui a fost mult mai ridicată față de timpii obținuți pentru uscarea semințelor de cereale, indiferent de umiditatea inițială a semințelor. Acest fapt se datorează umidității de conservare scăzute pentru semințele de floarea-soarelui, conform STAS-ului.

Variația umidităților finale în straturile I și II de semințe a urmat în mare parte aceleași tipare ca în cazul celorlalte semințe studiate. Spre deosebire de semințele de cereale, varianta cu uscare uniformă, în care umiditățile straturilor I și II de semințe nu au coborât foarte mult față de stratul al treilea, s-a obținut pentru viteza aerului de 1 m/s, la temperatura acestuia de 40°C.

Consumul energetic a variat după un tipar bine definit și anume valorile acestuia au scăzut odată cu creșterea temperaturii aerului și au crescut odată cu mărirea vitezei agentului termic. Pentru ambele categorii de casete de uscare, consumul energetic minim a fost înregistrat la viteza agentului termic de 2,5 m/s și temperatura acestuia de 80°C. De remarcat este faptul că spre deosebire de semințele de cereale luate în studiu, consumul maxim de energie pentru uscarea semințelor de floarea-soarelui, în special pentru cele cu umiditatea inițială de 19%, a fost obținut tot pentru temperatura agentului termic de 40°C, dar la viteza acestuia de 2 m/s.

Conținutul de proteine al semințelor de floarea-soarelui a variat în mare măsură ca și în cazul semințelor de porumb. Acesta a fost foarte afectat în cazul uscării la viteza aerului de 1 m/s și temperaturile acestuia de 60°C, 70°C și 80°C. Pentru temperaturile de 40°C și 50°C nu s-au înregistrat modificări. Conținutul de proteine a înregistrat valori mai scăzute la temperatura de 55°C ...60°C. Odată cu creșterea vitezei agentului de uscare, conținutul de proteine nu mai este atât de afectat. Scăderea mare a conținutului de proteine s-a înregistrat la viteza agentului de uscare de 1 m/s și la temperatura acestuia de 80°C. În urma analizei statistice, s-a constatat că la variația temperaturii aerului de uscare se obțin diferențe semnificative ale conținutului de proteine și ale capacității de germinare a semințelor de floarea-soarelui uscate în ambele casete, fiind respectate condițiile testului. În cazul variației vitezei agentului de uscare nu se obțin diferențe semnificative ale conținutului de proteine și ale capacității de germinare pentru semințele de floarea-soarelui.

În **capitolul IX**, intitulat „*Concluzii și recomandări*”, se face o sinteză a concluziilor cu care se încheie fiecare capitol din lucrare; acestea sunt grupate în concluzii generale și concluzii privind cercetările teoretice și experimentale, urmând să se încheie în final cu recomandări.

Realizarea casetei cilindrice prevăzută cu deflector conic interior, deschide noi căi de cercetare privind obținerea de semințe uscate de calitate superioară, reducerea consumului energetic pentru procesul de uscare, reducerea duratei procesului de uscare, reducerea costurilor de construcție a unui uscător, reducerea lungimii coloanei de uscare, respectiv a mărimii uscătorului, întrucât uscarea se realizează uniform. La uscătoarele existente, unde interiorul cilindrului perforat este gol, uscarea are loc doar în capătul acestuia.