Principiile deshidratarii legumelor și fructelor

December 5

2018

Acest document contine texte si imagini reeditate din diverse manuale de specialiate. Continutul este actualizat cu informatii obtinute de catre compania noastra in decursul existentei sale.

Manual

BSS

Principiile deshidratarii legumelor şi fructelor

Deshidratarea fructelor şi legumelor este procesul tehnologic prin care se reduce conţinutul natural de apă până la o anumită limită, care să împiedice activitatea microorganismelor, fără a se distruge ţesuturile sau a se deprecia valoarea alimentară a produselor ce se deshidratează.

Ansamblul de procese ce se petrec în timpul deshidratării duce la concentrarea substanţelor, la reducerea volumului materiei prime folosite şi la sporirea valorii alimentare şi deci comerciale a produsului finit. Fructele şi legumele deshidratate trebue să menţină însuşirile calitative, îndeosebi culoarea, gustul, aspectul şi componenţii nutritivi ai produselor proaspete.

Indepărtarea excesului de apă, din fructe şi legume, proces numit deshidratare, se poate face fie cu ajutorul căldurii solare - uscarea naturală - fie cu ajutorul căldurii obţinute pe cale artificială (gaze de ardere, aer cald, suprafeţe încălzite etc.) - deshidratarea artificială. Excesul de apă ce trebuie îndepărtat prin deshidratare variază în funcţie de natura materiei prime, precum şi în funcţie de durata de păstrare a produsului finit.

Legumele şi fructele deshidratate se conservă în bune condiţii timp de 8-12 luni, greutatea lor se reduce în medie la a 10-a parte şi necesită un spaţiu mult mai mic de depozitare faţă de produsele proaspete şi de asemenea necesită cheltuieli de transport, depozitare şi manipulare mai reduse. Fructele şi legumele proaspete conţin aproximativ 85-96% apă, pe când umiditatea maximă a produsului finit este de cca. 10-25%, stabilită în funcţie de destinaţia acestuia.

Apa se înlătură treptat, parţial şi nu brusc, deoarece în acest caz se înregistrează degradări calitative ireversibile. De altfel uscarea totală este inutilă, deoarece fructele complet uscate absorb puţin câte puţin apa din atmosfera înconjurătoare, în final ajungînd la un conţinut în apă de cca. 16%.

1. Formele de legare a apei in fructe şi legume

Produsele vegetale conţin peste 80% apă. Aceasta se prezintă legată diferit în complexul substanţei organice şi anume:

a) Apa liberă, legată mecanic sau capilară, reprezintă cca. 70% din totalul umidităţii produselor alimentare, în care sunt solubilizate cantităţi apreciabile de: zaharuri, acizi, săruri etc. Apa liberă umple capilarele produsului, precum şi spaţiile intercelulare.

Această formă de apă este denumită şi apă liberă deoarece îndepărtarea ei este supusă legilor evaporării lichidelor de pe suprafeţe libere. La deshidratarea produselor alimentare această apă este îndepărtată cu uşurinţă.

b) Apa legată fizic, cuprinde cantitatea de apă adsorbită şi absorbită de substanţele coloidale. Această apă se îndepărtează mult mai greu prin influenţa căldurii deoarece este reţinută mult mai puternic în produsele alimentare: fructe, legume, carne, peşte etc.

Apa coloidală, de umflare, este apa absorbită osmotic de particulele coloidale. Apa de adsorbţie, denumită şi apa de hidratare, este reţinută de forţele moleculare pe suprafeţele particulelor coloidale.

c) Apa legată chimic intră în însăşi compoziţia moleculelor ca apă de constituţie sau de cristalizare şi nu poate fi îndepărtată din produse fără a provoca degradarea lor.

Fenomenele de difuzie a apei.

Procesul de îndepărtare a apei, din produs este determinat în mare măsură de fenomenul de difuzie a apei, adică de migrarea apei în cursul procesului de deshidratare.

a) Difuzia externă reprezintă evaporarea apei de pe suprafaţa produsului supus deshidratării. La începutul procesului de deshidratare produsul are încă o umiditate ridicată, evaporarea de pe suprafeţe având loc în condiţii asemănătoare cu aceea de pe suprafeţele lichidelor libere, adică viteza de evaporare este determinată de suprafaţa de evaporare, de temperatură, de viteza de circulaţie a aerului şi de umiditatea sa relativă.
b) Difuzia internă reprezintă deplasarea apei din interiorul produsului spre suprafaţă şi determină desfăşurarea finală a deshidratării. Deplasarea apei se face din părţile cu un conţinut de apă mai mare, spre cele cu un conţinut mai mic, în urma evaporării apei prin fenomenul de difuzie externă.

Procesul de difuzie internă determină egalizarea umidităţii în toate straturile produsului supus deshidratării. In procesul de deshidratare, o mare importanţă o are raportul dintre difuzia internă şi cea externă. Dacă viteza difuziei externe o depăşeşte pe cea a difuziei interne, atunci suprafaţa produsului se usucă foarte mult, formând o pojghiţă (fenomenul de scorojire) care îngreunează procesul ulterior al uscării. Acest fenomen va împiedica difuzia internă a apei şi va necesita o durată mai lunga de uscare.

2. Teoria deshidratarii

Îndepărtarea excesului de apă din materia primă este condiţionată de transmisia căldurii şi de starea şi mişcarea vaporilor de apă. Transmisia căldurii se realizează pe baza diferenţei de temperatură între materialul supus deshidratării – fructele – şi purtătorul de căldură – aerul cald.

În cursul deshidratării fructelor şi legumelor într-un curent de aer, apa liberă este antrenată imediat prin evaporare. Această evaporare rapidă depinde de suprafaţa totală a fructelor (legumelor),

de viteza de circulaţie a aerului şi de diferenţa dintre tensiunea superficială a vaporilor de la suprafaţa materialului şi tensiunea superficială a vaporilor din curentul de aer. În timpul uscării fructelor şi legumelor apa din sucul celular difuzează până la suprafaţă, datorită difuziei interne şi se evaporă.

Deplasarea apei din interiorul produsului spre exterior este ca urmare a procesului de difuzie internă şi este consecinţa directă a diferenţei de presiune osmotică determinată de o concentraţie diferită în substanţe solubile a lichidului din interiorul şi de la periferia particulei de produs.

Deplasarea apei are loc din punctele cu un conţinut mai mare de apă spre cele cu un conţinut mai mic, rezultate în urma evaporării apei prin fenomenul de difuzie externă. Datorită difuziei interne se realizează în final egalizarea umidităţii în toate straturile produsului supus deshidratării.

În afara difuziei interne trebuie avută în vedere şi termodifuzia apei, provocată de diferenţa de temperatură dintre straturile periferice şi cele interioare ale produsului. Termodifuzia este fenomenul invers difuziei interne, adică provoacă deplasarea apei din exterior spre interior, temperatura exterioară fiind superioară. Deoarece însă, diferenţele de temperatură nu sunt prea mari, difuzia internă este mai mare decât termodifuzia şi în ansamblu predomină mişcarea apei din interior spre exterior.

Crăparea suprafeţei periferice sau a epidermei produsului, de exemplu la prune, are loc atunci când viteza de evaporare a apei de la suprafaţa produsului este mult mai mare decât viteza de difuzie internă, ducând prin aceasta la formarea aşanumitei cruste la suprafaţa produsului.

Pentru evitarea acestui neajuns, temperatura şi umiditatea relativă a aerului trebuie să fie reglate cu deosebită grijă.

Prin încălzire, umiditatea relativă a aerului scade. Astfel, dacă la 15°C umiditatea relativă a aerului este de 60%, prin încălzire la 60°C aceasta ajunge la 5%. Teoretic deci, este indicat să se utilizeze aerul la o temperatură cât mai ridicată, deoarece capacitatea de absorbţie a apei din produs este cu atât mai mare, cu cât umiditatea relativă a aerului este mai scăzută.

Există totuşi o limită care nu trebuie depăşită şi care este determinată de:

a) temperatura la care fructele sau legumele încep să se degradeze (caramelizarea zahărului, ireversibilitatea la rehidratare);
b) umiditatea relativă a aerului cald să nu se apropie de zero deoarece aerul prea uscat duce la formarea crustei, împiedicând difuzia apei din interior spre suprafaţa de evaporare şi, prin aceasta, încetinind uscarea;
c) temperaturia aerului prea ridicată, la finele procesului, face ca o cantitate mare de căldură să fie neutilizată, realizîndu-se astfel un randament caloric scăzut. De asemenea o temperatură prea ridicată la uscare prilejuieşte denaturarea aromei şi culorii produselor.

In general, la deshidratarea fructelor, temperatura aerului la intrarea în instalaţie este de 70-72°C şi cu o umiditate relativă de 20-25%. La ieşirea din uscător, temperatura este mai coborâtă, între 40-45°C, iar umiditatea relativă este de 60-70%.

Viteza de deshidratare este condiţionată şi de viteza difuziei interne a apei, aceasta depinzând la rândul ei de mărimea particulelor de fructe sau de legume.

Temperatura şi viteza de deplasare a aerului cald, sunt factori care condiţionează randamentul economic al procesului de uscare.

Cu cât viteza de evaporare este mai mare, cu atât şi difuzia creşte, aceasta fiind valabilă până la o anumită limită. Depăşirea acestei limite determină formarea crustei. Sub valoarea limită menţionată, există posibilitatea ca viteza de difuzie să fie egală cu viteza de evaporare a apei. Sub o anumită valoare a vitezei de evaporare, uscarea poate deveni neeconomică din cauza cheltuielilor sporite de energie termică pentru evaporarea apei şi de energie mecanică pentru vehicularea aerului.

Desfăşurarea optimă a procesului are loc în momentul în care viteza de evaporare a apei de la suprafaţa fructelor şi legumelor este egală cu viteza de migrare a umidităţii din interior spre suprafaţa lor. Pentru a obţine o deshidratare rapidă, fructele şi legumele sunt tăiate în bucăţi mici, reducându-se prin aceasta timpul necesar pentru difuzia apei şi mărindu-se suprafaţa totală de evaporare. Caisele se taie în jumătăţi, merele şi perele în felii, strugurii şi prunele se lasă întregi, iar legumele sunt tăiate sub formă de felii, cuburi, tăiţei etc.

Viteza de circulaţie a aerului influenţează de asemenea procesul uscării. Dacă circulaţia aerului este prea înceată uscarea se va desfăşura încet deoarece aerul se va satura foarte repede cu umiditate. Viteza de deplasare a aerului în uscătorul tunel este în general cuprinsă între 3-5 m/sec.

Practic, pentru realizarea în condiţii optime a procesului de deshidratare, trebuie să se determine temperatura maximă pe care o poate suporta fiecare produs, respectiv temperatura de intrare în agregat şi cea la care trebuie să iasă aerul încărcat cu umiditate, pentru a se evita condensarea acesteia.

2.1. Efectele deshidratarii asupra dezvoltarii microorganismelor şi activitaţii enzimatice

Celulele microorganismelor suferă în cursul procesului de deshidratare aceleaşi fenomene ca şi celulele produselor alimentare de natură vegetală: creşterea continuă a presiunii osmotice, micşorarea vacuolelor din sucul celular, permeabilizarea membranei protoplasmatice etc., fenomene care duc la tulburarea metabolismului şi chiar la plasmoliza lor.

In general, microorganismele nu pot trăi pe substraturi sărace în apă, respectiv pe medii cu presiuni osmotice ridicate. Procesul de nutriţie, ca şi cel de eliminare a produselor de metabolism a microorganismelor se realizează prin fenomenul de osmoză prin membranele semipermeabile ale celulelor.

Micşorarea conţinutului de apă îngreunează aceste schimburi osmotice şi deci influenţează negativ activitatea vitală a acestora. Pe de altă parte, enzimele, care sunt sensibile faţă de căldură, îşi reduc sau îşi anulează activitatea odată cu ridicarea temperaturii. La unele dintre enzime, de exemplu la fenoloxidază, se reduce activitatea catalitică la 2% dacă substratul este încălzit la 85°C şi este complet anulată la 90°C.

Temperatura optimă de activitate a enzimelor din fructe şi legume este de cca. **43°C**. Această temperatură variază însă atât după natura substratului, cât şi a enzimelor.

Temperatura la care enzimele sunt inactivate depinde mult de aciditatea sau alcalinitatea mediului (pH) in care sunt încălzite, rezistenţa maximă înregistrîndu-se în jurul punctului de neutralitate. In mediu acid inactivarea decurge mai uşor.

La temperatura de 75°C, în cazul opăririi sau aburirii, enzimele încep să fie inactivate dar în legumele şi fructele supuse uscării această temperatură şi altele mai ridicate nu sunt atinse decât în cazuri rare şi mai ales nu în toată masa lor.

Deshidratarea în condiţii industriale obişnuite nu permite să se atingă temperaturi vecine cu **85°C** şi deci nu asigură inactivarea enzimelor. Din această cauză legumele trebuie opărite înainte de deshidratare.

Atunci când nu s-a procedat la inactivarea enzimelor prin opărire sau aburire, în multe cazuri efectul activităţii enzimelor oxidative este mai intens la produsele deshidratate, decât la materiile prime din care provin. Aceasta datorită concentrării substraturilor asupra cărora acţionează enzimele. Aşa de exemplu, cartofii uscaţi fără opărire prealabilă se înnegresc mai repede în comparaţie cu feliile de cartofi nedeshidrataţi.

În cazul umezirii legumelor uscate uneori se produce o regenerare parţială a enzimelor. De aceea, în practica industrială se procedează la inactivarea enzimelor din fructe şi legume înainte de uscarea lor, prin tratarea termică.

2.2. Efectele deshidratarii asupra fructelor şi legumelor

Deshidratarea are ca efect zbârcirea fructelor şi legumelor datorită atât scăderii conţinutului de apă, cât şi micşorării volumului iniţial. Pierderile în greutate se datoresc îndepărtării excesive de apă şi, în oarecare măsură, modificărilor chimice şi biochimice care se produc în cursul procesului.

In cadrul modificărilor fizico-chimice se include coagularea substanţelor proteice, care în condiţiile deshidratării industriale este parţial reversibilă. Din cauza măririi concentraţiei de zahăr a sucului celular în decursul deshidratării se înregistrează creşterea presiunii osmotice.

Prin micşorarea conţinutului de apă se măreşte concentraţia în acizi organici (scăderea valorii pH-ului) care influenţează la rîndul ei unele modificări chimice, cum sunt: denaturarea proteinelor, hidroliza zaharurilor etc. Prin deshidratare se înregistrează, de asemenea, pierderi de zaharuri faţă de conţinutul iniţial, care variază între 1 şi 8%.

Uleiurile eterice se volatilizează uşor la temperaturi superioare limitei de 50-60°C, iar pigmenţii vegetali îşi modifică culoarea, de exemplu, legumele verzi îşi schimbă culoarea în verde-galben, iar legumele şi fructele galbene se brunifică sau se decolorează prin deshidratare. Cauzele acestor modificări sunt fie de natură enzimatică, fie de natură termică.

3. Factorii care influenţeaza deshidratarea

Agentul uzual folosit la deshidratarea fructelor şi legumelor este aerul cald, care serveşte atât pentru transferul căldurii de la sursa de încălzire la produs, cât şi pentru vehicularea apei evaporate.

Principalii factori care influenţează procesul de uscare sunt:

3.1. Materia primă

Natura materiei prime sau felul fructelor şi legumelor influenţează în mod deosebit ritmul de uscare. In plus, viteza de uscare a diferitelor produse variază în funcţie de diferitele forme sau dimensiuni în care sunt pregătite pentru deshidratare (cuburi, felii, tăiţei, jumătăţi sau felii de fructe etc.), precum şi în funcţie de conţinutul de apă, care este foarte diferit. De exemplu, dacă se deshidratează morcovi şi cartofi sub formă de cuburi de aceleaşi dimensiuni, în aceleaşi condiţii de uscare (temperatura 70°C, viteza aerului 4 m/s şi aceeaşi încărcătură pe m^2), bucăţile de morcovi ating umiditatea finală de 6% după 5-6 ore, pe când cele de cartofi după 7 ore.

3.2. Forma şi gradul de mărunţire a materiei prime

Viteza de uscare variază cu forma şi dimensiunile de divizare (tăiere ale materiei prime destinate prelucrării). Din analiza curbelor de uscare a cartofilor sub formă de tăiţei de diferite mărimi, în condiţii de încărcare a grătarelor cu 6-7 kg/m^2, la viteza aerului de cca 4,8 m/s, temperatura de uscare 70°C şi temperatura termometrului umed de 35°C, se observă că o mică diferenţă în mărimea bucăţilor de legume determină modificări semnificative ale duratei de uscare.

Diferenţa este evidentă în toate perioadele de uscare, însă devine mai pregnantă în perioada finală de uscare, când umiditatea este mai scăzută, spre deosebire de perioada iniţială cu umiditate mare, când diferenţele sunt mult mai mici. In timpul fazei iniţiale de uscare, viteza de evaporare pe unitatea de suprafaţă se schimbă puţin, ea rămânând aproape constantă. Dacă comparăm o singură bucată de legumă sub formă de cub cu cele două jumătăţi ale aceluiaşi cub de dimensiuni similare, suprafaţa acestora din urmă va fi cu 33% mai mare. Ritmul sau viteza de uscare la jumătăţile de cuburi va fi şi ea proporţional mai mare.

De asemenea, timpul de uscare poate fi redus până aproape la jumătate, dacă mărimea bucăţilor este redusă cât de mult posibil. Mărimea bucăţilor în care sunt tăiate legumele este determinată în primul rând de necesitatea desfăşurării cât mai rapide a procesului de uscare şi în mai mică măsură de preferinţele consumatorilor.

Deshidratarea fructelor întregi, cum sunt prunele, reprezintă un caz special în care durata procesului este de 24-48 ore la temperaturi ce pot ajunge până la 74°C, fără ca prin aceasta calitatea fructelor să fie diminuată.

În *Fig. 1* este exemplificată influenţa dimensiunii produselor asupra duratei de uscare.

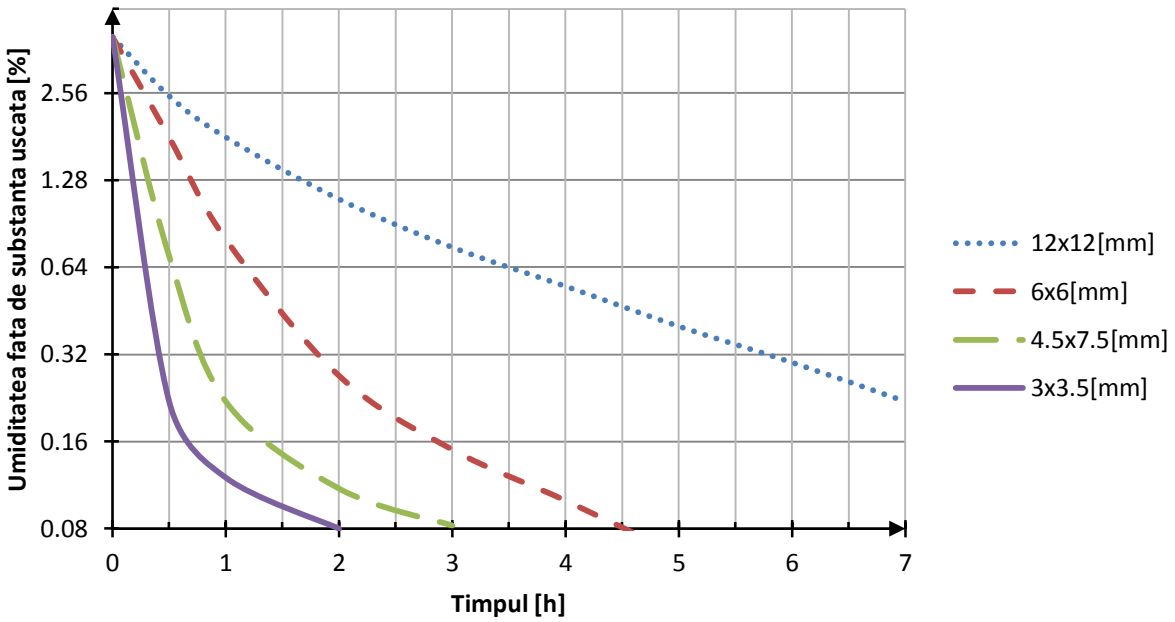

Fig. 1. *Influenţa mărimii bucăţilor de cartof asupra duratei de uscare*

3.3. Aşezarea gratarelor cu material pe carucioare

Grătarele folosite pentru deshidratare trebuie să aibă o suprafaţă cât mai mare de uscare pe unitatea de spaţiu ce este ocupată în instalaţia respectivă. In uscătoarele tunel grătarele se aşează câte 20-30 pe un cărucior, unele sub altele, pe întreaga lăţime a utilajului, cu un spaţiu de 60-70 mm între două grătare consecutive, pentru ca aerul să treacă uşor printre ele. Curentul principal de aer trecând printre grătare în direcţie orizontală, cu o viteză de cca. 5 m/s, devine intens turbulent. Se crează astfel diferenţe de presiune şi se produc curenţi secundari de aer care trec printre grătarele cu material umed.

Aşezarea neregulată a grătarelor cu nerespectarea spaţiului liber dintre ele, încărcarea neuniformă a materiei prime pe grătare sau într-un strat prea gros, are un efect negativ asupra vitezei de desfăşurare a procesului de deshidratare.

3.4. Încarcarea legumelor şi fructelor pe gratare sau site

Legumele tăiate în diferite forme sunt aşezate pe grătare într-un strat uniform, având o grosime de 12-24 mm. Fac excepţie prunele, care se pot aşeza pe 1-2 rânduri, într-un strat cu grosimea de până la 30-40 mm. Încărcarea pe m^2 de grătar în mod obişnuit este de 4-20 kg; într-o

operaţie bine condusă, materia primă este aşezată într-un strat uniform ca grosime, pe toată suprafaţa grătarului. Încărcarea materialului pe grătar sau site influenţează viteza de uscare şi implicit durata procesului. La o încărcare mai mare a grătarelor, peste o anumită limită, randamentul uscătorului nu mai creşte, ci din contră, scade.

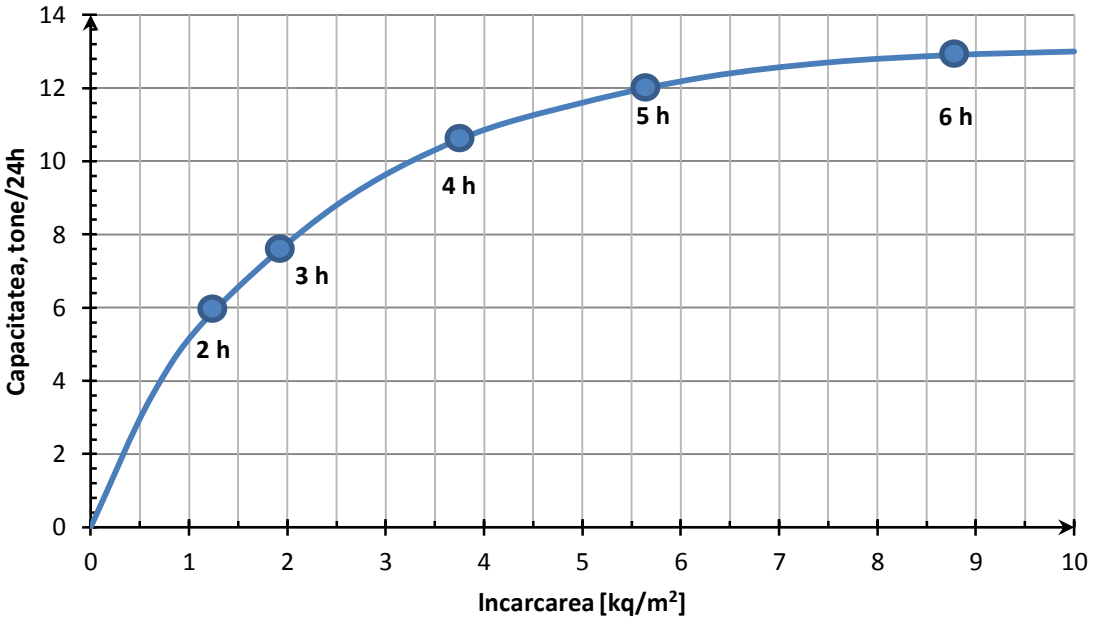

Fig. 2. *Influenţa încărcării gratarelor asupra capacităţii de lucru a deshidratorului tunel (varză)*

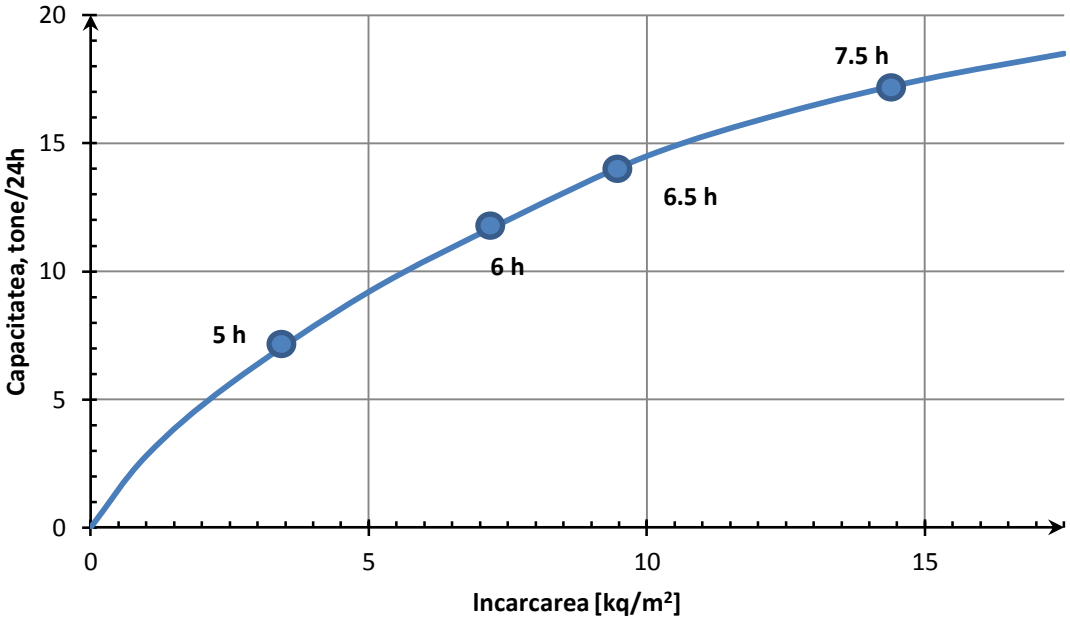

Fig. 3. *Influenţa încărcării gratarelor asupra capacităţii de lucru a deshidratorului tunel (cartofi)*

Dimpotrivă, diminuînd în mod raţional încărcătura pe site se poate micşora sensibil durata uscării, fără a se reduce însă capacitatea de producţie a uscătorului. Aceasta se reflectă printr-o calitate mai bună a produselor, deoarece sunt expuse un timp mai scurt acţiunii căldurii.

Capacitatea unui uscător de **tip tunel** nu se determină prin cantitatea de materie primă aşezată pe suprafaţa grătarelor, ci prin cantitatea totală de produs uscat care se obţine în 24 ore de funcţionare neîntreruptă a acestuia.

Durata de uscare mai este influenţată şi de următorii factori:

- condiţiile în care materia primă vine în contact cu aerul: amestecarea materiei prime, contactul mai intim al aerului cald cu materia primă, afânarea stratului de materiale pe grătare etc.;
- tratarea preliminară a materiei prime: opărirea sau aburirea;
- variaţiile de temperatură din uscător. Variaţiile mici de temperatură sau o temperatură constantă contribuie la o uscare mai uniformă.

3.5. Temperatura şi umiditatea aerului

Încălzirea aerului cu un anumit conţinut de umiditate are ca efect scăderea umidităţii sale relative. Din acest punct de vedere este indicat deci să se utilizeze aer la o temperatură cât mai ridicată, deoarece antrenarea apei va fi cu atât mai rapidă cu cât aerul va fi mai uscat. In practică, există totuşi o limitare atât a temperaturii (pentru prevenirea caramelizării zaharurilor şi a degradării ireversibile a substanţelor proteice) cât şi a umidităţii relative (formarea crustei, care împiedică ulterior difuzia apei, încetinind astfel în final uscarea).

În acelaşi timp, dacă temperatura aerului este prea ridicată, la sfârşitul uscării o cantitate mare de căldură este eliminată. O scurtă supraîncălzire a fructelor sau legumelor cu un conţinut scăzut de apă, poate duce la denaturarea culorii şi aromei.

In general, la deshidratarea fructelor şi legumelor, temperatura aerului la intrarea în tunel este de 62-75°C şi umiditatea relativă de 20-25%, iar la ieşire temperatura scade la 40-45°C, în timp ce umiditatea relativă ajunge la 60-65%.

Aşa, de exemplu, în cazul deshidratării cartofilor sub, formă de cuburi, la temperatura de 60°C, 70°C şi 80°C, în aceleaşi condiţii de încărcare a grătarelor, de viteză a aerului şi la o diferenţă de temperatură constantă între termometrul uscat şi cel umed, ritmul iniţial de uscare când produsele au o umiditate ridicată (peste 40-50%) este aproape identic pentru toate cele trei curbe. In zona cu umiditate scăzută a produsului, ritmul de uscare este diferenţiat, fiind cu mult mai mare la temperaturi mai ridicate (*Fig. 4*).

Pe de altă parte, umiditatea aerului cald este un parametru important al uscării, deoarece influenţează în mod nemijlocit viteza procesului, în sensul că în măsura în care umiditatea aerului este mai mică, capacitatea sa de a prelua vaporii rezultaţi prin evaporare este mai mare, permiţând deci trecerea în faza de vapori a cantităţii respective de apă din produs. Pentru ca uscarea să nu fie prea rapidă în prima fază, ceea ce ar avea ca efect formarea structurii cornoase a straturilor superficiale (apariţia crustei), aerul cald care vine în contact cu produsul proaspăt trebuie să aibă o umiditate relativă mai mare.

In practică acest lucru se realizează prin recircularea parţială a aerului care a trecut o dată prin uscător şi care are o umiditate mai mare decât aerul proaspăt. Pentru legumele tăiate sub diferite forme, în care caz uscarea se desfăşoară în timprelativ scurt, ritmul de uscare este proporţional cu diferenţa de temperatură dintre termometrul uscat şi cel umed. Pentru prune, care necesită o durată mare de uscare, ritmul de uscare este practic independent de temperatura indicată de termometrul umed, dacă umiditatea relativă nu este mai mare de 40%.

In general viteza de uscare este aproximativ proporţională cu temperatura.

Obţinerea unor legume şi fructe uscate de calitate depinde în mare măsură de modul de reglare al amestecului de aer proaspăt şi aer recirculat, amestec ce trebuie determinat în fiecare caz în parte. În afara avantajelor calitative menţionate, recircularea parţială a aerului interesează şi din punct de vedere al economiei de combustibil, întrucât acesta trebuie să fie încălzit într-o măsură redusă.

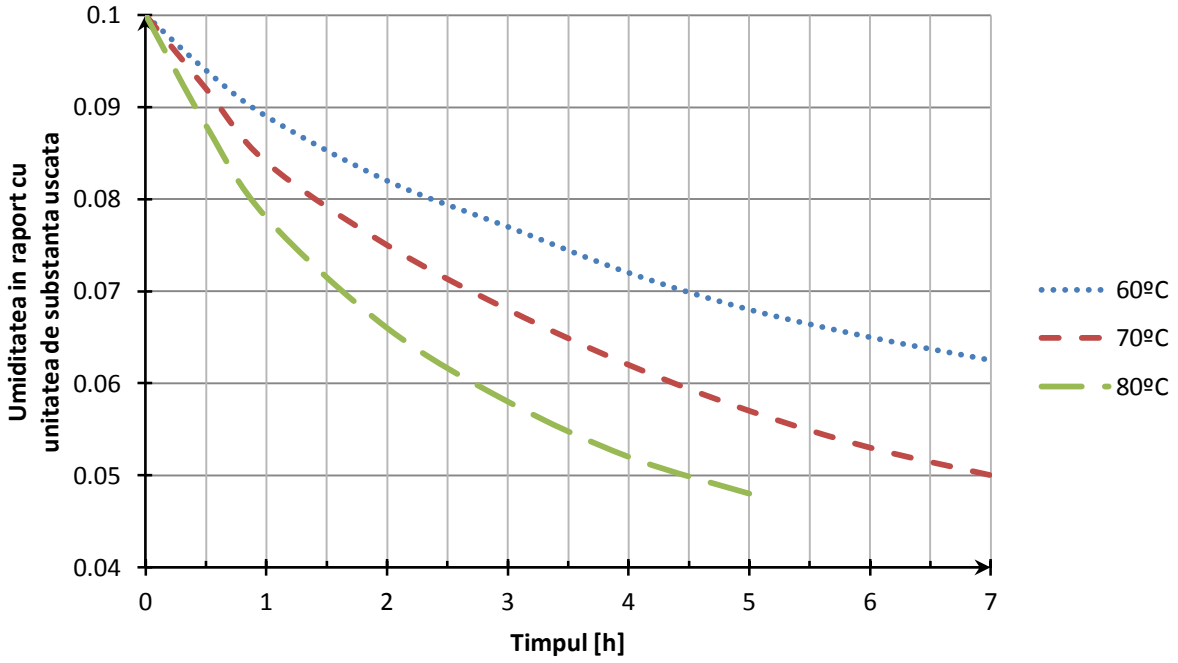

Fig. 4. *Influenţa temperaturii aerului asupra duratei de deshidratare în cazul uscării cartofilor, în perioada cu umiditate scazută*

Instalaţiile de uscare utilizate la deshidratarea legumelor şi fructelor lucrează, în majoritatea cazurilor, cu aer recirculat la care se adaugă numai o parte de aer proaspăt. Astfel, s-a stabilit că prin recircularea aerului în timpul uscării prunelor rezultă o economie de combustibil de aproape 50%.

3.6. Viteza aerului

În prima fază a uscării, viteza aerului are o influenţă mare, întrucât pe lângă funcţia de agent încălzitor, aerul o are şi pe aceea de a prelua şi a vehicula vaporii rezultaţi prin evaporarea umidităţii. Cu cât viteza de îndepărtare a vaporilor va fi mai mare cu atât se vor creea condiţii mai bune pentru

ca alte cantităţi de apă să se evapore de pe suprafaţa produselor. În cea de-a doua fază a uscării, când evaporarea apei se produce în interiorul particulelor, viteza aerului are o influenţă mult mai mică asupra vitezei de uscare.

În practică, pentru uscătoarele tunel s-a stabilit că la viteze mai mari de 5 m/s ale aerului, presiunea statică şi puterea necesară cu care trebuie să lucreze ventilatorul devine atât de mare, încât creşterea în plus a vitezei devine neeconomică.

Viteza aerului are un efect mai mic asupra uscării fructelor, care necesită durată mai mare de uscare (prune şi pere) decât în cazul legumelor tăiate în cuburi şi felii, care au o durată de uscare mai mică.

Aşa de exemplu, curbele de uscare pentru vitezele de 240 şi 300 m/min, sunt aproape identice; oarecare diferenţieri se pun în evidenţă pentru vitezele de 120 şi 180 m/minut.

Bucăţile mici de legume se usucă mai repede decât cele mari pentru că volumul lor este mai mic faţă de suprafaţa de evaporare respectivă şi pentru că umiditatea din interiorul particulelor are o distanţă mai scurtă de parcurs până la atingerea suprafeţei.

Viteza aerului variază foarte mult cu distanţa dintre grătare şi cu încărcarea lor, care la legume în general nu trebuie să depăşească 6-8 kg/m^2. La o viteză a aerului de 1 m/s uscarea este de două ori mai rapidă decât în aer liniştit, iar la o viteză de 2 m/s viteza procesului este de 3 ori mai mare.

3.7. Distribuţia aerului

În afara faptului că uscătorul trebuie aprovizionat cu un volum suficient de aer pentru uscare, acesta trebuie să fie distribuit uniform în masa produselor. În mod frecvent o bună parte din cantitatea de aer caută să treacă prin spaţiul de deasupra cărucioarelor cu grătare, pe dedesubtul cărucioarelor sau lateral faţă de cărucioare, în loc să treacă în întregime printre grătare şi produse. Prin montarea şi reglarea dirijorilor de aer în spaţiul de trecere a curentului de aer, din tunelul superior în cel inferior, aerul este forţat să treacă în primul rând printre grătarele cu produse şi în acelaşi timp este distribuit mai uniform pe toată secţiunea tunelului.

Repartizarea produsului pe grătare trebuie astfel făcută, încât aerul să vină în contact cât mai strîns si cât mai uniform cu întreaga suprafaţă a particulelor de produs.

3.8. Recircularea aerului

Dacă aerul folosit pentru uscarea fructelor şi legumelor este lăsat să iasă direct în atmosferă, se pierde foarte multă căldură. Dacă însă aerul se reintroduce în circuit, această căldură va fi în bună parte păstrată. Dimpotrivă, dacă aerul proaspăt este aspirat în uscător, ca să-l înlocuiască pe cel eliminat, este necesar de două ori mai multă căldură pentru a se încălzi.

Anumite fructe supuse unei temperaturi mai mari, sunt suprasolicitate la suprafaţă şi în acest fel uscarea în ansamblu este întîrziată. Acest lucru este evitat într-o mare măsură, dacă umiditatea relativă este suficient de mare, lucru ce se poate realiza prin recircularea unei părţi din aerul uzat.

Din această cauză, la uscătoarele moderne se practică întotdeauna recircularea aerului deja folosit. Aşa de exemplu, s-a stabilit că prin recirculaţia judicioasă a aerului la uscarea prunelor, se realizează o economie de combustibil de aproape 50%.

4. Desfaşurarea procesului de deshidratare

Întregul proces de deshidratare cu aer cald al legumelor şi fructelor se desfăşoară în trei faze succesive, reprezentate în *Fig. 5*.

4.1. Fazele procesului de deshidratare

Faza de preîncălzire (secţiunea 1-2) este aceea în decursul căreia căldura este consumată aproape în întregime pentru încălzirea produsului până la stabilirea unui echilibru între cantitatea de căldură transmisă produsului şi cea consumată pentru evaporare.

Durata acestei faze este scurtă, depinzînd îndeosebi de caracteristicile aerului cald şi nu constituie propriu-zis o fază de deshidratare.

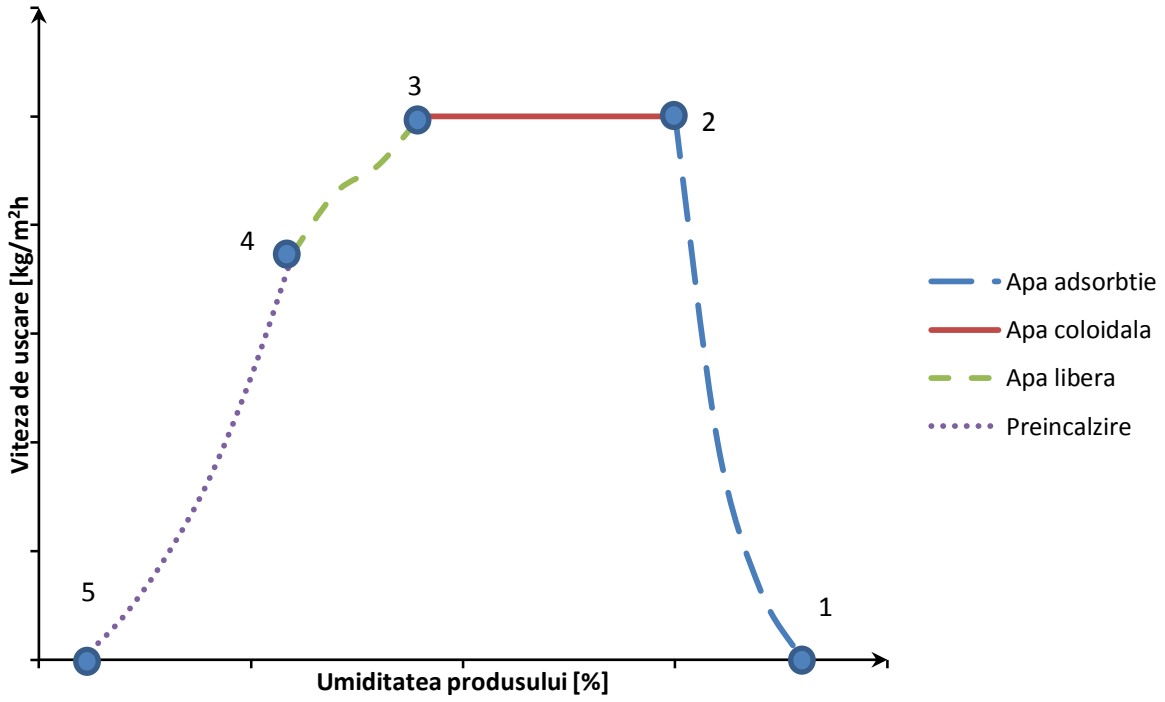

Fig. 5. *Variaţia vitezei de deshidratare în funcţie de umiditatea produsului*

Faza de uscare cu viteză constantă (secţiunea 2-3) constituie perioada de deshidratare propriu-zisă şi durează până la atingerea umidităţii higroscopice în stratul periferic al produsului. În

această fază umiditatea de la suprafaţa produsului chiar dacă se micşorează, este totuşi mai mare decât umiditatea higroscopică in această perioadă, viteza de uscare nu depinde de materialul supus prelucrării, ci de modul cum se realizează procesul.

Dacă nu se schimbă condiţiile uscării, atunci viteza de evaporare pentru toate legumele şi fructele şi prin urmare şi viteza de uscare se menţine constantă. Viteza de evaporare este în acest caz aceeaşi pentru toate produsele şi aproximativ egală cu viteza de evaporare a umidităţii de la suprafaţa apei atunci când condiţiile de temperatură, presiune etc. rămân aceleaşi.

Evaporarea de pe suprafaţa materialului se realizează în măsura în care umiditatea din straturile interne ale produsului migrează către suprafaţă. Aceasta antrenează o anumită proporţie din substanţele solubile (zaharuri, săruri etc.), substanţe care în anumite condiţii duc la formarea crustei.

In această perioadă temperatura suprafeţei produsului care se usucă rămâne practic constantă şi egală cu temperatura indicată de termometrul umed al psichrometrului. Această situaţie se menţine până în momentul când umiditatea de la suprafaţa produsului supus uscării devine egală cu umiditatea higroscopică. În situaţia enunţată, umiditatea produsului capătă denumirea de umiditate critică.

Cantitatea de apă ce se evaporă de pe unitatea de suprafaţă, în unitatea de timp, se numeşte viteză de evaporare şi se măsoară de obicei în [g/(m^2 minut)].

Temperatura aerului se determină după indicaţiile termometrului uscat, iar temperatura de la suprafaţa produsului (în faza de uscare cu viteză constantă) se determină după indicaţiile termometrului umed.

Viteza de evaporare este influenţată de asemenea şi de toţi ceilalţi factori care influenţează uscarea: temperatura şi umiditatea aerului, viteza aerului, mărimea particulelor din produsul de uscat, coeficientul de transmisie a căldurii etc.

In timp ce apa de pe suprafaţa produsului se evaporă, umiditatea din capilare şi din spaţiile celulare difuzează treptat din interior spre straturile superficiale, astfel încât în această perioadă suprafaţa produsului rămîne mereu umedă. In această fază viteza de uscare rămîne constantă până ce nu mai difuzează suficientă apă din interiorul produsului spre exterior.

Perioada de uscare cu viteza descrescândă (secţiunile 3, 4, 5) în care viteza de uscare se reduce treptat, proporţional cu umiditatea produsului, are loc după ce materia primă atinge umiditatea critică. In această situaţie zona de uscare trece în adâncime, substanţele solubile rămânând în produs, spre deosebire de perioada de uscare cu viteza constantă, când acestea se deplasau spre suprafaţă.

Aşa cum rezultă din *Fig. 5*, în punctul 3 curba vitezei de uscare are o inflexiune bruscă, începând perioada de uscare cu viteză descrescândă în care se îndepărtează din produs o parte din apa legată şi anume apa coloidală (3-4) şi parţial cea din adsorbţie (4-5). În această perioadă viteza de uscare depinde numai de proprietăţile produsului (structura şi compoziţia chimică) care influenţează difuzia internă a apei şi este independentă de parametrii aerului cald folosit la uscare.

Pe măsură ce uscarea avansează, temperatura produsului urcă şi acesta devine higroscopic. Când se atinge umiditatea de echilibru, viteza de uscare devine nulă. Prin umiditatea de echilibru se înţelege umiditatea produsului care este în echilibru cu umiditatea relativă a aerului la temperatura de uscare. Această fază finală de uscare prezintă un interes deosebit pentru că depăşirea unei anumite

temperaturi a produsului duce la degradări calitative importante, care se exteriorizează printr-o structură cornoasă a suprafeţei legumelor şi fructelor deshidratate, cum şi prin micşorarea capacităţii lor de rehidratare. De aceea, în faza finală, temperatura aerului cald trebuie micşorată.

4.2. Temperatura produsului

În decursul uscării este necesar ca temperatura produsului să nu depăşească 62-75°C, sensibilitatea la temperatură diferind cu natura acestuia.

Pentru realizarea corectă a procesului de uscare temperatura produsului trebuie menţinută între anumite limite. Micşorarea temperaturii sub o anumită valoare scade mult viteza uscării, iar creşterea peste o anumită limită duce la degradări calitative: brunarea, carbonizarea, caramelizarea zaharurilor, pierderi de substanţe nutritive, scăderea capacităţii de rehidratare, ca rezultat al unor reacţii chimice complexe ce au loc în produs.

Dacă temperatura produsului s-ar menţine în decursul deshidratării la valori în jur de **37°C** s-ar putea produce alterări de natură microbiologică înainte ca procesul de deshidratare să se incheie.

Pe baza experienţei practice se poate considera că în cursul deshidratării, limitele superioare de temperatură ale aerului cald sunt de 70-72°C. La finele uscării, temperatura produsului se apropie de cea a aerului (*Fig. 6*), deoarece aşa cum se ştie, numai în prima perioadă de uscare temperatura produsului este egală cu temperatura indicată de termometrul umed.

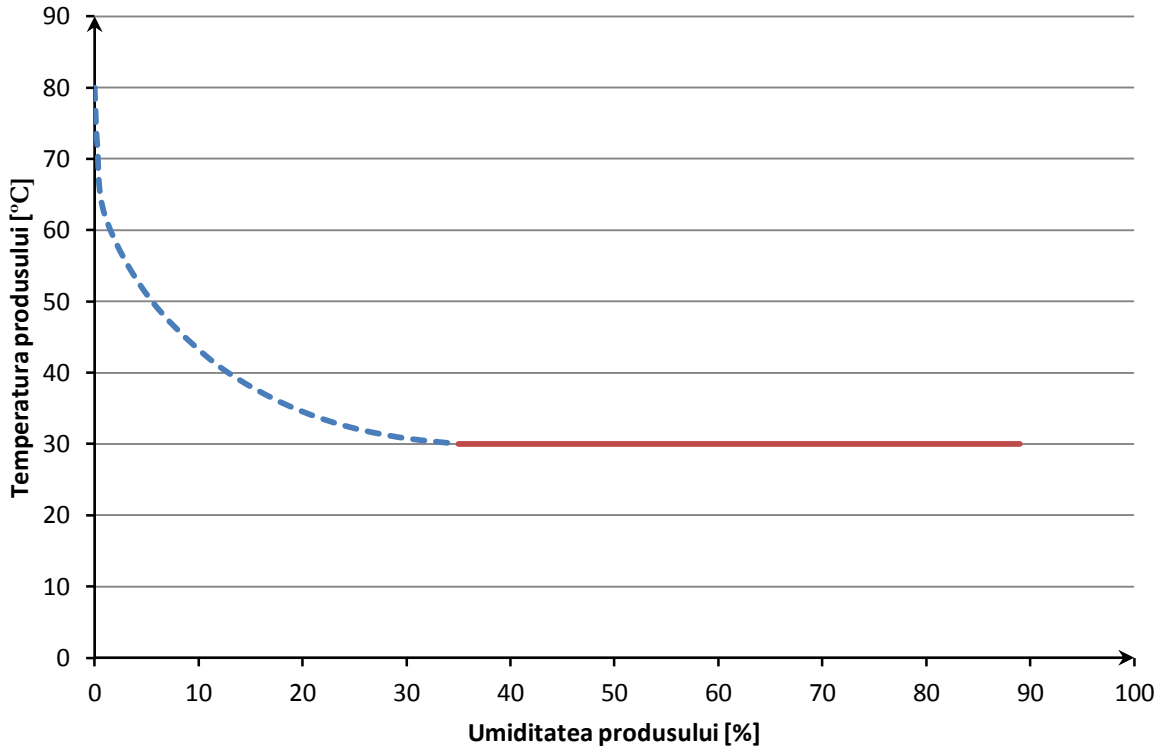

Fig. 6. *Variaţia temperaturii produsului in funcţie de umiditate in timpul deshidratării*

La începutul procesului de deshidratare a legumelor, respectiv în prima parte a fazei a doua (perioada de uscare cu viteză constantă), creşterea temperaturii aerului nu prezintă nici un pericol, deoarece în acest caz temperatura produsului corespunde temperaturii de saturaţie la presiunea parţială de vapori a aerului.

Cu cât uscarea înaintează, presiunea vaporilor de apă de la suprafaţa produsului devine mai mică decât cea de saturaţie şi temperatura produsului creşte. Pentru a se evita creşterea temperaturii produsului peste limitele indicate, respectiv degradarea lui, este necesară reducerea temperaturii agentului de uscare în ultima perioadă a procesului.

In *Fig. 7* se arată variaţia în timp a temperaturii cartofilor tăiaţi sub formă de cuburi şi a aerului într-un tunel cu contracurent, în condiţiile: încărcarea uşoară cu 2,5 kg/m^2, tunelul cu 12 cărucioare, fiecare avînd o suprafaţă de cca 40 m^2. Viteza aerului între grătare la ieşirea din tunel este de 6 m/s, temperatura termometrului umed este de 30°C şi a celui uscat este de 65°C. Timpul de uscare pentru cartofi cu un conţinut de 6% umiditate este de 7 ore.

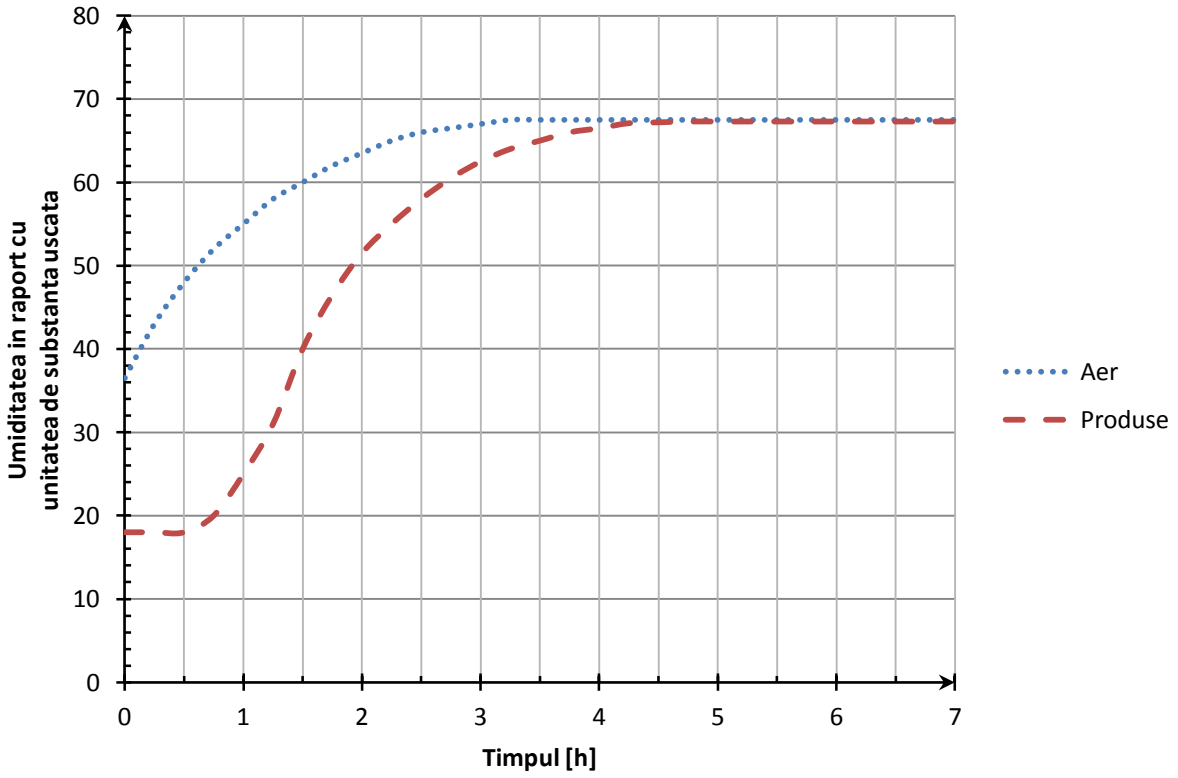

Fig. 7. *Variaţia în timp a temperaturii aerului şi cartofilor într-un deshidrator tip tunel în contracurent*

In *Fig. 8* şi *Fig. 9* se arată variaţia conţinutului de apă în funcţie de durata uscării şi variaţia temperaturii aerului în tunel. Se constată că în cazul cartofilor, în primele trei ore se evaporă cca 80% din apă, iar în următoarele trei ore se evaporă numai câte 6-8% pe oră.

Variaţia conţinutului final de apă este influenţată de: natura şi compoziţia chimică a produsului, temperatura aerului de uscare, viteza aerului cald, umiditatea relativă etc.

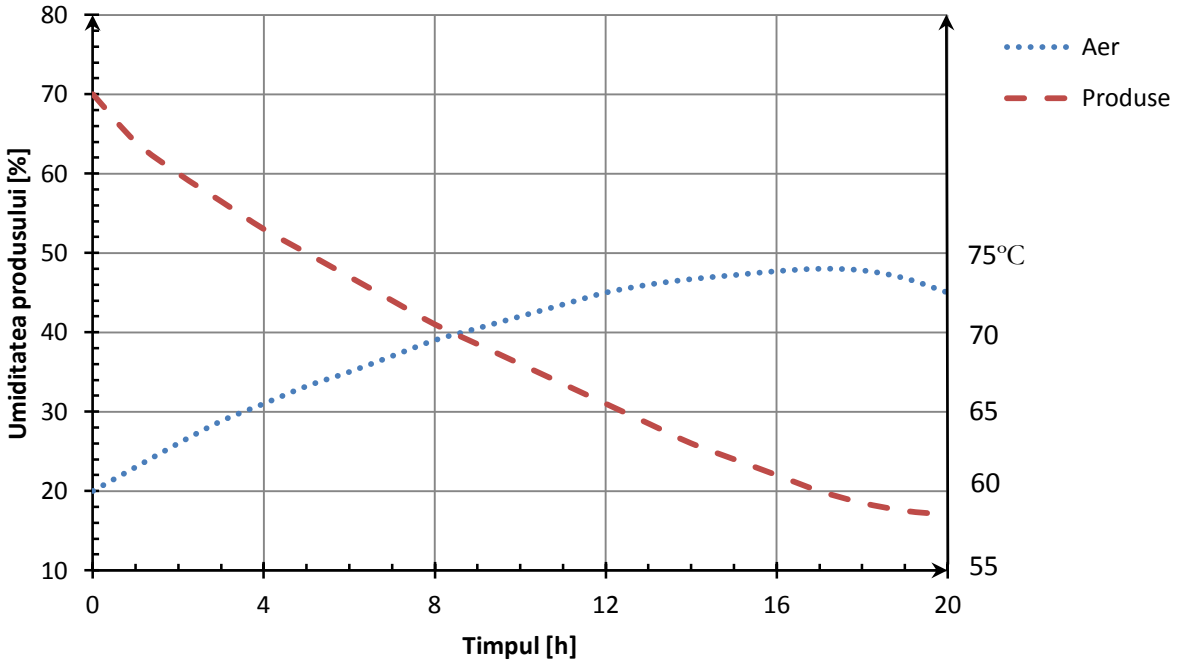

Fig. 8. *Variaţia conţinutului de apă şi a temperaturii în funcţie de durata uscării în uscatorul tip tunel în contracurent la uscarea prunelor*

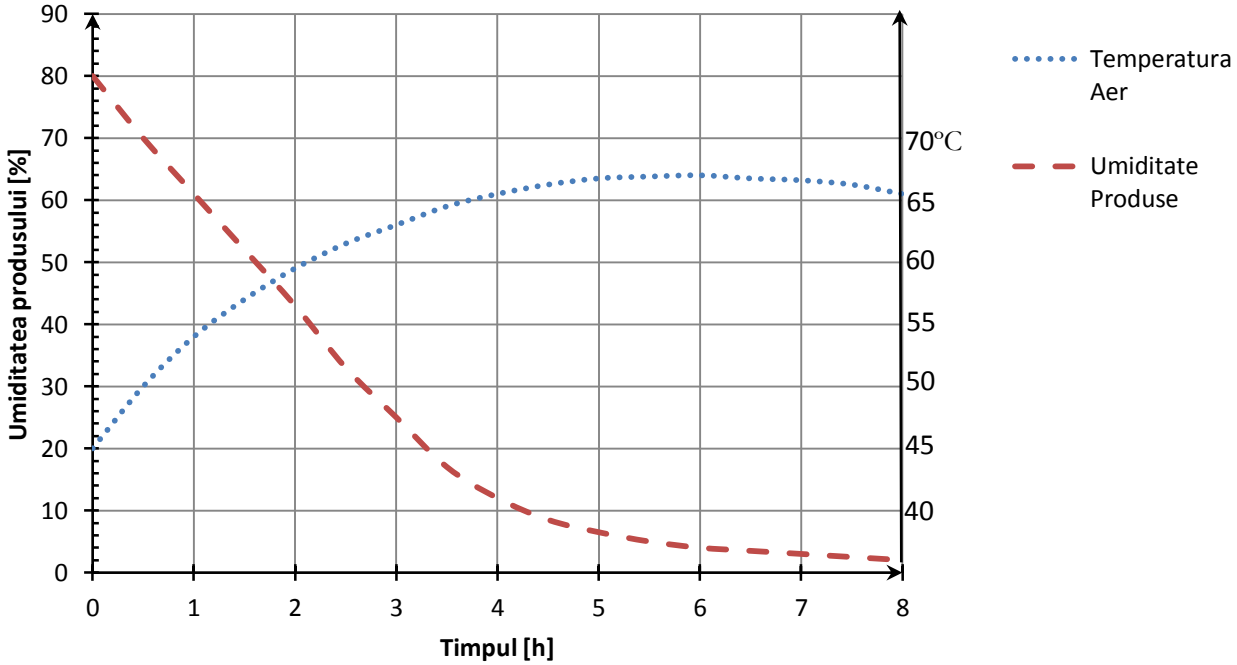

Fig. 9. *Variaţia conţinutului de apă şi a temperaturii în funcţie de durata uscării în uscatorul tip tunel în contracurent la uscarea cartofilor*

Reprezentaţia grafică, în ansamblu, a procesului de uscare, respectiv variaţia umidităţii, a temperaturii produsului şi a vitezei de uscare este dată în *Fig. 10*.

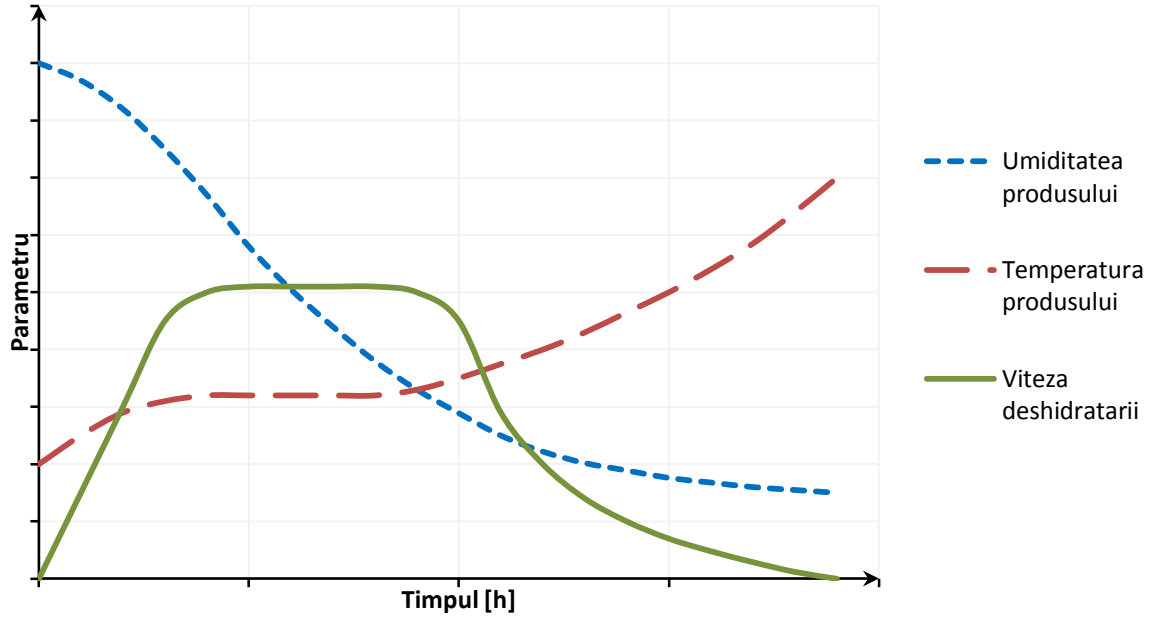

Fig. 10. *Variaţia umidităţii produsului, temperaturii produsului şi vitezei deshidratării în functie de timp*

4.3. Conţinutul final de apa al produselor

Multă vreme s-a crezut că uscarea legumelor până la o umiditate de 10-12%, asigură atât calitatea cât şi buna lor păstrare timp de 8-10 luni. Lucrările executate în ultimii ani au arătat că legumele trebuie uscate la o umiditate mai joasă, sub 5%, pentru a putea satisface integral cerinţele de mai sus. La fructe s-a menţinut multă vreme valoarea 25% drept limita superioară a umidităţii finale; azi această limită a fost redusă pentru multe specii de fructe, în funcţie de compoziţia lor chimică şi, în special de conţinutul lor de zaharuri. La prune limita de 25% umiditate s-a păstrat.

Conţinutul redus de apă asigură o comportare mai bună din punct de vedere microbiologic şi împiedică reacţiile chimice nedorite (oxidări, decolorări, brunificări neenzimatice etc.) în timpul păstrării produselor uscate. Fenomenele enzimatice nu sunt însă inhibate prin această reducere a conţinutului de apă.

Adăugarea unui agent desicant (clorură de calciu, oxid de calciu, silicagel) în recipienţi care conţin legume deshidratate face posibilă reducerea umidităţii reziduale până la un nivel atât de scăzut, încât produsul nu mai este supus brunificărilor.

Intensitatea brunificărilor neenzimatice este proporţională cu concentraţia substanţelor active. În consecinţă prin uscare, crescând concentraţia în substanţe active, intensitatea brunificărilor neenzimatice ar trebui să crească. Această regulă este însă valabilă numai în cazul când produsul conţine o limită minimă de apă.