

Sušare za šumske plodove

Slobodan Jovanović, dipl. inž., "Pobeda-projekt",
21000 Novi Sad, Rada Končara 1

Na domaćem tržištu dugo nije bilo proizvoda pa ni proizvođača sušara namenjenih individualnom posedu, kako kapacitetom, tako i cenom. Poseban problem je iskorišćenje šumskih plodova, osobito šumskih gljiva, proizvoda za koji postoji izuzetna zainteresovanost u Evropi. Šumske pečurke se iz godine u godinu sve više beru, a način njihovog sušenja, izuzev retkih izuzetaka, ostao je isti kao pre 100 godina, tj. izlaganjem suncu.

Posledica takvog načina sušenja je da se preko 80% ubranih pečuraka proda kao III klasa, čija je prodajna cena vrlo niska. Prelaskom na industrijski način sušenja, kvalitet suve pečurke prelazi u gotovo 80% pečurki I i II klase, čija je cena i do 2,5 puta veća od pečurki III klase.

Ako je sušara malog kapaciteta, pa i niske cene, može se očekivati prodor inustrijskog načina sušenja u naš individualni posed, a time povećati cenu uloženog rada. Rukovođeni ovom idejom i stvarnim stanjem na terenu firme "Progres", Beograd, i "Pobeda", Novi Sad, prišli su zajedničkom projektovanju i izradi prototipa mini sušare kapaciteta 10 kg svežih pečurki u jednoj šarži. Vreme sušenja je pretpostavljeno u trajanju od 3 do 6 časova po šarži sa ciljem iznalaženja najoptimalnijeg vremena sušenja.

Poznavajući tehnološke zahteve sušenja, tj. da je moguće poređati 2,0 do 2,5 kg/m² sečenih gljiva u jednom sloju, a da ne dođe do slepljivanja kriški, dolazi se do površine lesa od 75 m² na koji se može rasprostreti 150 kg gljiva. Ovih 75 lesa predviđeno je da se smesti u tri boksa sa 25 lesa po boksu.

U prvim satima sušenja, kada je izdvajanje vlage najveće, sušara bi radila sa nižom temperaturom vazduha, ali sa 100% svežim vazduhom. U daljoj fazi sušenja udeo svežeg vazduha bi se smanjivao, a temperatura vazduha rasla. U završnoj fazi sušenja moguće je raditi sa 100% recirkulacionim vazduhom, uz najvišu radnu temperaturu.

Da bi se ovi tehnološki zahtevi ispunili, bilo je neophodno obezbediti mogućnost izmene radne temperature kao i regulacione klapne za izbor procenta svežeg vazduha.

Principijelna šema rada sušare prikazana je na slici 1. na kojoj se vidi da je kombinacijom položaja žaluzina moguće obezbediti 100% svežeg vazduha, 100% recirkulacionog vazduha ili mešavinu svežeg i recirkulacionog vazduha u željenom odnosu, uz istovremeno usmeravanje pripremljenog

vazduha. Pripremljeni vazduh može da struji preko materijala koji se suši, a u kasnijoj fazi sušenja i kroz materijal koji se suši.

Kao što je već navedeno, kapacitet sušare je 150 kg vlažnih šumskih gljiva, ili 15 kg suvih. Razne kulture imaju različiti prinos u toku sušenja, što se vidi iz tabele 1.

Tabela 1.

Kultura koja se suši	Neočišćeno kg	Pripremljeno kg	Suvo kg
Pečurka	176	150	15
Šljiva	1 000	150	280
Jabuka	850	150	130
Kruška	850	150	125
Kajsija	525	150	75
Breskva	600	150	85
Grožđe	900	150	170
Višnja	670	150	140
Paprika, baštenska	1 250	710	60
Paprika, aleva	870	770	125
Tikvice, meso	1 600	90	30
Mrkva	1 400	1 130	100
Peršun, koren	1 840	1 270	240
Peršun, list	900	80	80
Mirodija	300	280	25
Boranija	1 050	950	90
Krompir	1 760	1 240	350
Cmi luk	1 760	1 550	210
Beli luk	880	670	170
Spanać	800	600	60
Paradajz	600	450	40
Plavi patlidžan	850	690	40

Radi analize termodinamičkog procesa i usvajanja optimalnih karakteristika, analiziraće se rad sa pečurkom kao kulturom koja se suši.

Polazni parametri su:

$G = 150$ kg, unos sirove pečurke u jednoj šarži,

$g = 15$ kg, masa osušene pečurke,

$\varphi = 87\%$, relativna vlažnost sveže pečurke,

$\tau = 3-8$ h⁻¹, vreme sušenja,

$t_1 = 20^\circ\text{C}$, svež vazduh,

$\varphi_1 = 40\%$, relativna vlažnost

$t_2 = 40-60^\circ\text{C}$, radna temperatura.

Količina vode koji treba u toku jednog sata sušenja da odvede zagrejani vazduh je parametar koji određuje najvažnije performanse sušare. Kako je:

$$w = G - g = 150 - 15 = 135 \text{ kg}$$

gde je:

W (kg) – ukupna količina vode koju treba odvesti u procesu sušenja,

τ – vreme sušenja, onda je

$W_1 = \tau$ – prosečna količina vode koju treba odvesti u toku jednog sata sušenja.

Tabela 2.

W (kg)	135	135	135	135	135	135
τ (h-1)	3	4	5	6	7	8
W (kg/h)	45	33,75	27	22,5	19,29	16,87

Predstavljanjem procesa u dijagramu h-x za vlažan vazduh, dobijaju se ostali važni parametri:

$$t_o = 20^\circ\text{C} \quad x_o = 6,0 \text{ g/kg s.v.} \quad h_o = 35 \text{ kJ/kg s.v.}$$

$$\phi_o = 40\%$$

$$t_1 = 60^\circ\text{C} \quad x_1 = x_o = 6,0 \text{ g/kg s.v.} \quad h_1 = 75 \text{ kJ/kg s.v.}$$

$$\phi_2 = 80\% \quad x_2 = 18,0 \text{ g/kg s.v.} \quad h_2 = h_1 = 75 \text{ kJ/kg s.v.}$$

Korišćenjem izraza

$$w_1 = \dot{L}(x_2 - x_o) \quad \text{i} \quad Q = \dot{L}(h_2 - h_o)$$

dobijaju se osnovni parametri sušare:

\dot{L} [kg/h] maseni protok vazduha i

Q [kJ/h] potrebna količina toplote.

Ako radi ilustracije proračuna usvojimo da je vreme sušenja $\tau = 6 \text{ h}^{-1}$, dobijamo:

$$W_1 = \frac{W}{\tau} = \frac{135}{6} = 22,5 \text{ kg/h} \quad \text{kako je} \quad W_1 = \dot{L}(x_2 - x_o)$$

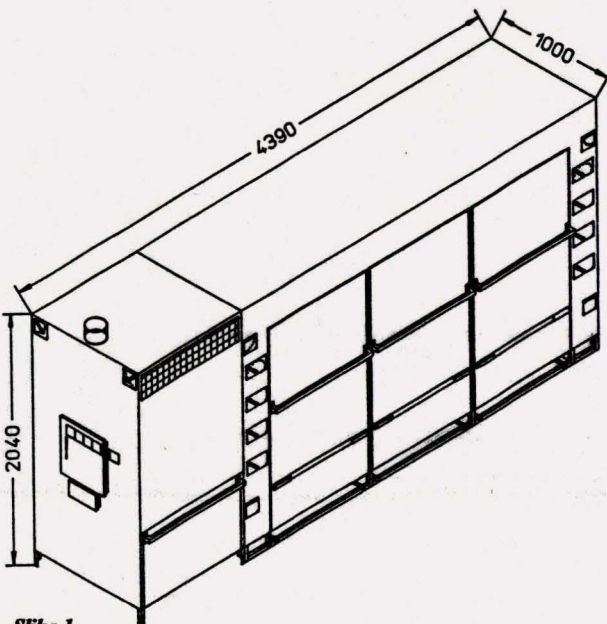
to se dobija da je

$$\dot{L} = \frac{W_1}{x_2 - x_o} = \frac{22,5}{(18,0 - 6,0) \cdot 10^{-3}} = 1875 \text{ kg/h}$$

Iz izraza za $L = L\rho$ gde je ρ [kg/m³] gustina vazduha na određenoj temperaturi, u našem primeru za $t = 60^\circ\text{C}$ gustina vazduha $\rho = 1,06 \text{ kg/m}^3$ dobijamo da je:

$$L = \frac{\dot{L}}{\rho} = \frac{1875}{1,06} = 1770 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q = L(h_2 - h_o) = 1770(75 - 35) = 75000 \text{ kJ/h} = 20,8 \text{ kW}$$



Slika 1.

Da bi se odredili stvarni parametri sa kojima sušara treba da radi, kao što je napred bilo izloženo, varirana je temperatura u opsegu 40-60°C, a vreme sušenja u trajanju 3-8 časova.

Rezultati takvog variranja ova dva osnovna parametra izloženi su u tabeli 3.

Analizom dobijenih rezultata uočava se da je najoptimalniji rad sušare sa $L = 2660 \text{ m}^3/\text{h}$, $\tau = 4,0 \text{ h}^{-1}$, $Q = 31,1 \text{ kW}$, a čime je u potpunosti poštovan zahtev pećurkara, odnosno kupaca, kojima je sušara i namenjena.

Jedna od važnih karakteristika koja je uticala da baš ovi parametri budu prihvaćeni kao optimalni je brzina strujanja vazduha u karakterističnim procesima.

Karakteristični procesi su:

$$\text{Donji kanal: } A = 0,3 \times 1,0 = 0,3 \text{ m}^2$$

$$\text{Bočni kanal: } A = 0,2 \times 1,0 = 0,2 \text{ m}^2$$

$$\text{Iznad leša: } A = 0,03 \times 1 \times 26 = 0,78 \text{ m}^2$$

Tabela 3. Tabelarni prikaz promena količina vazduha L [kg/h] i toplote Q [kJ/h]

Za temperaturu 40°C			
sati	W1 kg/h	kol.vazduha kg/h	toplota
3	45,0	6 818	136 364
4	33,8	5 114	102 273
5	27,0	4 091	81 818
6	22,5	3 409	68 182
7	19,3	2 922	58 442
8	16,9	2 557	51 136
Za temperaturu 45°C			
3	45,0	5 625	140 625
4	33,8	4 219	105 469
5	27,0	3 375	84 375
6	22,5	2 813	70 313
7	19,3	2 411	60 268
8	16,9	2 109	52 734
Za temperaturu 50°C			
3	45,0	4 787	143 617
4	33,8	3 590	107 713
5	27,0	2 872	86 170
6	22,5	2 394	71 809
7	19,3	2 052	61 550
8	16,9	1 795	53 856
Za temperaturu 55°C			
3	45,0	4 245	148 585
4	33,8	3 184	111 439
5	27,0	2 547	89 151
6	22,5	2 123	74 292
7	19,3	1 819	63 679
8	16,9	1 592	55 719
Za temperaturu 60°C			
3	45,0	3 750	150 000
4	33,8	2 813	112 500
5	27,0	2 250	90 000
6	22,5	1 875	75 000
7	19,3	1 607	64 286
8	16,9	1 406	56 250

Kroz lese: $A = 0,812 \times 0,424 \times 6 \times 0,5 = 1,033 \text{ m}^2$ uzeta je perforacija lesa 50%

Izduv: $d = 190 \text{ mm}$ $A = 0,0283 \text{ m}^2$

Za usvojenu temperaturu pripremljenog vazduha od 40 do 60°C i vreme sušenja = 6 h, korišćenjem dijagrama h-x i datih obrazaca, dobile su se vrednosti date u tabeli 4.

Sam pogled na brzine vazduha u karakterističnim preseccima pokazuje da su one u svim preseccima u granicama uobičajenih brzina, dok je brzina u izdivnoj cevi izuzetno velika.

Kako je iz konstrukcionih razloga nemoguće ovu cev napraviti većeg okruglog preseka od 190 mm, to se po sebi izvlači zaključak da ovako rešen izduv treba zameniti.

Tabela 4.

t (°C) ulazna temperatura	60	55	50	45	40
i (kg/h) maseni protok vazduha	1 875	2 123	2 395	2 815	3 410
Q (kW) potrebna toplota	20,8	20,7	20,0	19,6	18,9
L (m ³ /h) zapreminski protok	1 770	2 000	2 260	2 660	3 220
<i>Brzina vazduha u karakterističnim preseccima</i>					
L (m ³ /s) zapreminski protok	0,4916	0,555	0,627	0,738	0,894
Donji kanal	3,0	2,5	2,1	1,85	1,64
Bočni kanal	4,5	3,7	3,1	2,8	2,5
Iznad lesa	1,15	0,95	0,8	0,7	0,63
Kroz lese	0,87	0,715	0,6	0,54	0,476
Izduv	31,6	26,1	22,2	19,6	17,4