

PRODUCTION OF THE CONVECTIONAL DRYER AND ITS APPLICATION TO DRYING OF SOME VEGETABLES AND MUSHROOMS

IZRADA KONVEKCIJSKE SUŠNICE I NJENA PRIMJENA ZA SUŠENJE NEKIH VRSTA POVRĆA I GLJIVA

OBRADOVIC, Valentina; DOKIC, Kristijan; ERGOVIC RAVANCIC, Maja; SKRABAL, Svjetlana & KOVACIC, Senka

Abstract: *In this research a convectional dryer is made from parts available in stores and on the Internet. In order to verify it's correctness three different types of vegetables and mushrooms were dried: red beet, carrot and champignon. Prepared vegetables were cut into slices 2 and 4 mm thick, and dried at 60 °C and 75 °C. The amount of water in samples is determined by drying at 105 °C to constant weight. Equations of drying curves and correlation coefficient were determined by the polynomial regression.*

Key words: *drying, carrot, red beet, champignon*

Sažetak: *U radu je izrađena komorna konvekcijska sušnica od dijelova dostupnih u trgovinama i na Internetu. Kako bi se provjerila njena kakvoća i odredili uvjeti sušenja, upotrijebljeno je tri različite vrste namirnica: cikla, mrkva i šampinjoni. Prethodno pripremljeno povrće i gljive su rezani na kriške debljina 2 mm i 4 mm, te su sušeni pri temperaturama 60°C i 75°C. Količina vode u uzorcima tijekom sušenja je određena sušenjem na 105°C do konstantne mase. Određene su jednadžbe krivulja brzine sušenja metodom polinomne regresije, te koeficijent korelacije.*

Ključne riječi: *sušenje, mrkva, šampinjoni, cikla*



Authors' data: Valentina, **Obradović**, dr.sc., Veleučilište u Požegi, Vukovarska 17, Požega, vobradovic@vup.hr; Kristijan, **Đokić**, mr.sc., Veleučilište u Požegi, Vukovarska 17, Požega, kdjokic@vup.hr; Maja, **Ergović Ravančić**, dr.sc., Veleučilište u Požegi, Vukovarska 17, Požega, mergovic@vup.hr; Svjetlana, **Škrabal**, dr.sc., Zvečevo d.d., Kralja Zvonimira 1, Požega, svjetlana.skrabal@zvecevo.hr; Senka, **Kovačić**, Veleučilište u Požegi, Vukovarska 17

1. Uvod

Osnovni cilj sušenja je uklanjanje vode iz namirnica do razine pri kojoj su mikrobiološka aktivnost i kemijske reakcije minimalizirane [1]. Prednosti osušene hrane su također u smanjenju mase i volumena što omogućuje smanjenje troškova transporta [2]. Tijekom procesa sušenja voda se iz namirnica uklanja u obliku vodene pare pri čemu je glavni cilj sušenja dobiti proizvod porozne otvorene strukture, dobre moći rehidracije, sa što manje promijenjenim organoleptičkim svojstvima s obzirom na početna svojstva sirovine [3]. Uklanjanje vlage iz namirnice se zasniva na simultanom prijenosu topline i mase [4]. Vrsta materijala koji se suši je važan faktor u samom procesu sušenja, budući da njegova fizikalna i kemijska svojstva utječu na promjene koje se događaju tijekom sušenja [5]. Proces sušenja vrućim zrakom pri konstantnim uvjetima okoline može se podijeliti na period konstantne brzine i jedan ili više perioda padajuće brzine sušenja [3]. Voće i povrće se ubrajaju u higroskopne materijale kod kojih je parcijalni tlak vode manji od tlaka pare čiste vode pri istom kritičnom sadržaju vlage [5], a proces sušenja se sastoji od perioda konstantne brzine sušenja i jednog ili više perioda padajuće brzine sušenja [6]. To je slučaj kod hrane koja je pretežno sastavljena od ugljikohidrata budući da hidroksilne grupe molekula šećera omogućuju formiranje vodikovih veza sa molekulama vode [5]. Najjednostavniji tipovi sušnica jesu tzv. komore, koje su pravilu diskontinuirane, a sastoje se iz jedne izolirane komore-prostora za smještaj materijala (obično na lesama), ventilatora i grijača [7]. Komorne sušnice su široko rasprostranjene za sušenje povrća, jer imaju jednostavnu konstrukciju i lake su za održavanje [8]. Upravo takva sušnica je konstruirana i izrađena u svrhu ovog rada. Budući da su temperatura zraka za sušenje i sadržaj vlage u zraku koji vrši sušenje najvažniji faktori [9,1], izvršeno je programiranje uređaja koje omogućuje automatsko održavanje željenih uvjeta tijekom sušenja. U posljednjim desetljećima zahtjevi potrošača vezano za kvalitetu i sigurnost hrane znatno su se promijenili. Potrošači su sve bolje educirani i svjesni su da način prehrane znatno utječe na njihovo zdravlje što postaje sve važniji kriterij pri izboru prehrambenih proizvoda. S druge strane, navedeno predstavlja veliki izazov proizvođačima hrane da kreiraju proizvode koji će, pored osiguranja hranjivih tvari, poboljšati fizičko i mentalno stanje potrošača. Posebno značenje u ovom kontekstu ima funkcionalna hrana, segment koji je posebno aktualan u posljednja dva desetljeća. S obzirom na činjenicu da je znatno porastao interes potrošača za prirodnu hranu bez stabilizatora i aditiva [10], u ovom radu je bio cilj doći do relativno jednostavnog i jeftinog načina da se to i ostvari. Cikla je korištena jer je bogat izvor betalaina, a prah cikle se sve više koristi kao prirodni kolorant [10]. Mrkva je odabrana jer pripada u grupu najpopularnijeg povrća visoke nutritivne vrijednosti i općenito se u industriji suši u velikim količinama [11, 12], a šampinjoni su također namirnica koja se obilato koristi u ovom obliku, osobito u hotelima i restoranima.

2. Eksperimentalni dio

Sušnica koja se koristila u radu visine je 72 cm, širine 42 cm i dubine 60 cm. Izrađena

je većim dijelom od drveta jele, dok se namirnice stavljaju na mreže od nehrđajućeg čelika (AISI 304) koje su razvučene na drvenim okvirima (Slika 1.). Pri izradi je korištena mreža s otvorom oka 2 mm, a debljina žice je 0,56 mm. U sušnici je pet okvira s mrežama, a iskoristiva površina jedne mreže je oko 0,075 m² što ukupno daje površinu od 0,375 m² za sušenje.

Za zagrijavanje zraka u sušnici se koristi električni grijač snage 1200 W, a za kruženje zraka kroz sušnicu koristi se radijalni aluminijski ventilator snage 22 W. Osim toga za izmjenu zraka odnosno ispuhivanje vlažnog zraka koristi se mali aksijalni ventilator snage oko 2 W. Sam proces sušenja kontroliran je osmobicnim mikrokontrolerom ATmega8 koji u ovisnosti o zadanim granicama vlažnosti i temperature uključuje i isključuje grijač, odnosno ventilator za ispuh zraka. Željeni parametri sušenja zadaju se preko numeričke tipkovnice i zaslona s tekućim kristalima (*Liquid Crystal Display*). Relativna vlaga i temperatura zraka u sušnici mjeri se senzorom koji je spojen na mikrokontroler, a tijekom sušenja trenutne vrijednosti relativne vlažnosti zraka i temperature unutar sušnice vidljive su na zaslonu. Prije pokretanja procesa sušenja zadaju se i vrijednosti kojima se definiraju uvjeti prekidanja sušenja, tako da sušnica ima mogućnost automatskog isključivanja kada se postignu zadane vrijednosti što se u radu nije koristilo.



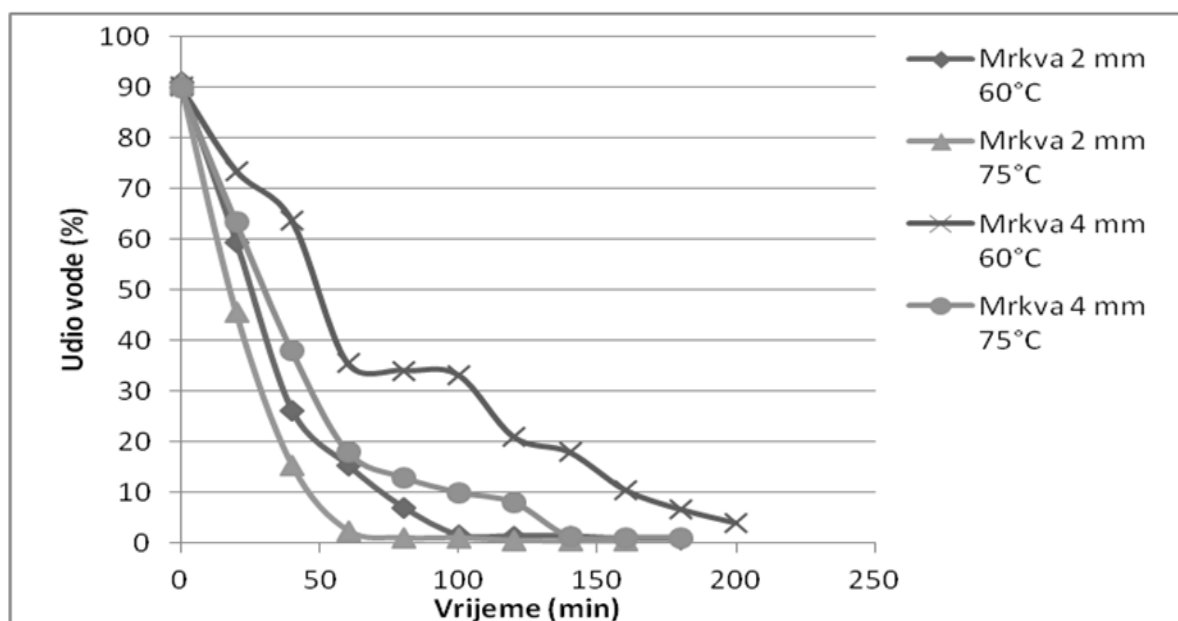
Slika 1. Sušnica korištena u radu

Povrće korišteno za sušenje je kupljeno u lokalnoj trgovini. Mrkva i cikla su najprije oguljene, a šampinjoni samo izbrisani, te su nakon toga rezani nožem na kriške debljine 2 odnosno 4 mm. Debljina uzoraka je provjeravana pomičnim mjerilom. Iz sušnice su izuzimani uzorci svakih 20 min (po tri paralelna uzorka) te im je mjerena

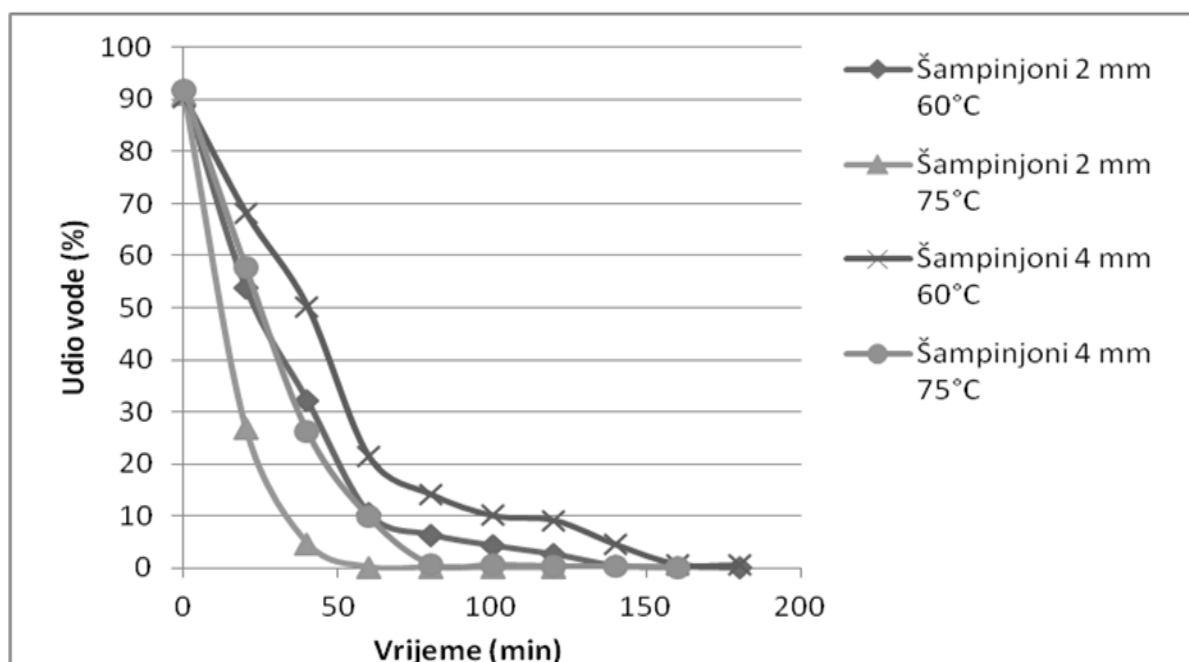
vlažnost metodom sušenja na 105 °C, do konstantne mase. Dobivene prosječne vrijednosti su prikazane grafički u ovisnosti o vremenu sušenja.

Krivuljama sušenja je određena jednadžba polinomnom regresijom pomoću programa Microsoft Excel. Matematički modeli mogu poslužiti kao početna točka za pripremu industrijskog procesa sušenja, tj. za serijsku proizvodnju ovakvih proizvoda.

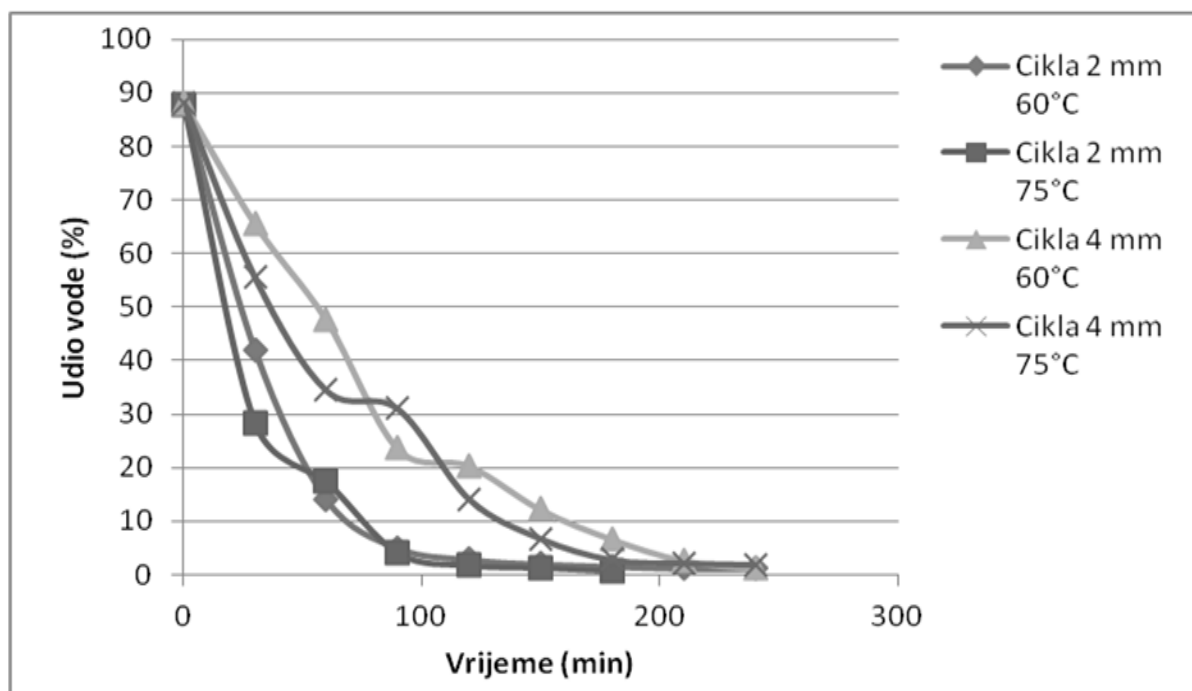
3. Rezultati i rasprava



Slika 2. Krivulje sušenja Mrkve



Slika 3. Krivulje sušenja šampinjona



Slika 4. Krivulje sušenja cikla

	Polinomna regresija 60°C	Polinomna regresija 75°C
Mrkva 2 mm	$y=0,0053x^2-1,3778x+84,034$ $R^2=0,9611$	$y=0,0072x^2-1,5953x+79,72$ $R^2=0,9251$
Mrkva 4 mm	$y=0,002x^2-0,8028x+88,5$ $R^2=0,9739$	$y=0,0044x^2-1,234x+85,18$ $R^2=0,972$
Šampinjoni 2 mm	$y=0,0052x^2-1,3472x+82,783$ $R^2=0,9547$	$y=0,0131x^2-2,1659x+79,408$ $R^2=0,9066$
Šampinjoni 4 mm	$y=0,0042x^2-1,2211x+89,352$ $R^2=0,9774$	$y=0,007x^2-1,6148x+86,955$ $R^2=0,9718$
Cikla 2 mm	$y=0,0029x^2-0,9884x+79,312$ $R^2=0,9367$	$y=0,0049x^2-1,2737x+77,625$ $R^2=0,9243$
Cikla 4 mm	$y=0,0018x^2-0,79x+87,137$ $R^2=0,9901$	$y=0,002x^2-0,82x+82,971$ $R^2=0,9815$

Tablica 1. Jednadžbe polinomne regresije krivulja sušenja

Slike 2.-5. pokazuju krivulje sušenja upotrijebljenih namirnica. Vidi se kako krivulje imaju oblik karakterističan za tijek sušenja voća i povrća [8, 1, 13]. Prvi period sušenja, tzv konstantna brzina sušenja se odvija sve dok površina materijala ostaje zasićena vodom, odnosno dok je brzina kojom se voda iz unutrašnjosti materijala kreće prema površini, dovoljna da bi kompenzirala uklanjanje vode sa površine isparavanjem [5]. Takva brzina sušenja se na krivuljama očituje kao strmi nagib, gotovo pravocrtan. Kod svih uzoraka taj period traje dok vlažnost ne padne ispod 5%, nakon čega nastupa znatno usporavanje sušenja i krivulje poprimaju gotovo horizontalan karakter. Proučavani uzorci se suše do razine vlažnosti potrebne za

dugotrajno čuvanje tijekom tog prvog perioda sušenja što je u skladu sa istraživanjem koje je proveo [14]. Temperatura sušenja utječe na brzinu kojom se postiže kritičan sadržaj vlažnosti, naime prilikom sušenja mrkve i šampinjona debljine 2 mm na 60 °C, bilo je potrebno približno 90 min sušenja kako bi se postigla vlažnost ispod 5%, dok je pri temperaturi 75 °C za isto povrće bilo potrebno gotovo dvostruko manje vremena za postizanje vlažnosti ispod 5%. Jedino pri sušenju cikle debljine 2 mm, pri obje temperature sušenja nema znatne razlike u brzini sušenja, te se krivulje sušenja gotovo poklapaju. Kod uzoraka debljine 4 mm, pri temperaturi sušenja 60 °C je bilo potrebno više od tri sata za postizanje kritične vlažnosti, odnosno kod uzoraka šampinjona oko dva i pol sata, što čini ovu temperaturu nepogodnu za sušenje debljih uzoraka zbog dugotrajnosti i velike potrošnje energije. Pri temperaturi sušenja 75 °C, sušenje je nešto kraće, ali kod cikle i mrkve je još uvijek riječ o znatno dužem periodu sušenja u usporedbi sa sušenjem uzoraka 2 mm. Jedino kod šampinjona su slične krivulje sušenja uzorka debljine 2 mm na 60 °C i uzorka debljine 4 mm na 75 °C. Iz jednadžbi polinomne regresije i odgovarajućih koeficijenata korelacije se može zaključiti kako polinom drugog stupnja matematički bolje odgovara sporijoj brzini sušenja gdje je nagib krivulje najmanji. Pri najvećim brzinama sušenja (uzorci debljine 2 mm i temperatura sušenja 75 °C, gdje se prvi period sušenja očituje vrlo strmim nagibom krivulje bolje odgovara polinom trećeg stupnja. Npr. Za sušenje šampinjona debljine 2 mm pri 75 °C, polinom naveden u tablici 1 ima koeficijent korelacije svega 0,9066, dok polinom trećeg stupnja koji glasi $y=0,0002x^3+0,05012x^2-3,8193x+89,328$, ima koeficijent korelacije 0,9923. Kako je sušenje među tehnološkim postupcima konzerviranja hrane koji su veliki potrošači energije [15], u ovom slučaju je poželjno sušiti u što kraćem vremenu, znači na 75 °C, a uzorci manje debljine su pokazali u konačnici manju žilavost, što je osobito važno kod cikle, od koje se u konačnici proizvodi prah koji može poslužiti kao kolorant. Kako navodi [9], temperatura zraka za sušenje je 20-25 °C viša nego samog materijala, a kako bi se sačuvala kakvoća proizvoda, temperatura voća i povrća tijekom padajuće brzine sušenja ne bi trebala preći 60 °C, a tijekom konstantne brzine sušenja može biti i do 80 °C. Prema tome temperatura sušenja 75 °C je zadovoljavajuća i u pogledu očuvanja kakvoće proizvoda.

4. Zaključak

Izrada sušnice se pokazala uspješnom, što su dokazale krivulje sušenja koje imaju očekivani oblik i međusoban odnos u skladu s odnosom temperature sušenja i debljine uzoraka. Oba parametra: temperatura sušenja i debljina uzoraka su se pokazala kao bitni čimbenici koji utječu na tijek sušenja. Predloženi matematički modeli imaju visok stupanj korelacije sa eksperimentalnim rezultatima. Temperatura od 75 °C se u ovom slučaju pokazala kao energetske učinkovitijom, a istovremeno je dovoljna za očuvanje kakvoće proizvoda. Uzorci debljine 2 mm su pokazali manju žilavost u konačnici.

5. Literatura

- [1] Krokida, M.K.; Karathanos, V.T.; Maroulis, Z.B. & Marinou-Kouris, D. (2003). Drying kinetics of some vegetables. *Journal of food engineering*, 59., 391-403, 0260-8774/03.
- [2] Alzamora, S.M.; Tapia, M.S. & Lopez-Malo, A. (2000). *Minimally processed fruits and vegetables*, Maryland: An Aspen Publication, 0834216728, Gaithersburg,
- [3] Herceg, Z. (2009). *Procesi konzerviranja hrane novi postupci*, Golden marketing: Tehnička knjiga, 978-953-212-371-5, Zagreb.
- [4] Yucel, U.; Alpas, H. & Bayindirli, A. (2010). Evaluation of high pressure pretreatment for enhancing the drying rates of carrot, apple and green bean. *Journal of food engineering*, 98., 266-272, 0260-8774.
- [5] Ibarz, A. & Barbosa-Canovas, G.V. (2003). *Unit operations in food engineering*, CRC Press, 9781566769297, Boca Raton, USA.
- [6] Lovrić, T. (2003). *Procesi u prehrambenoj industriji s osnovama prehrambenog inženjerstva*, Hinus, 978-953-6904-25-9, Zagreb, Hrvatska.
- [7] Lovrić, T. & Piližota, V. (1994). *Konzerviranje i prerada voća i povrća*, Nakladni Zavod Globus, 953-167-026-9, Zagreb, Hrvatska.
- [8] Umesh Hebbar, H., Vishwanathan, K.H. & Ramesh, M.N. (2004). Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *Journal of food engineering*, 65., 557-563, 0260-8774.
- [9] Hui, Y.H. (2006). *Handbook of fruits and fruit processing*, Blackwell Publishing Professional, 9780813819815, Ames, USA.
- [10] Nemzer, B., Pietrzkowski, Z., Sporna, A.; Stalica, P.; Thresher, W.; Michalowski, T. & Wybraniec, M. (2011). Betalainic and nutritional profiles of pigment-enriched red beet root (*Beta vulgaris* L.) dried extracts. *Food Chemistry*, 127., 42-53, 0308-8146.
- [11] Zielinska, M. & Markowski, M. (2010). Air drying characteristics and moisture diffusivity of carrots. *Chemical engineering and processing*, 49., 212-218, 0255-2701.
- [12] Togrul, H. (2006). Suitable drying model for infrared drying of carrot. *Journal of food engineering*, 77., 610-619, 0260-8774.
- [13] Dobričević, N.; Voća, S.; Plišćić, S. & Magdić, D. (2008). Utjecaj sorte jabuke na kvalitetu suhog proizvoda. *Pomologia Croatica*, 14., 1., 27-36, 1330-6626.
- [14] Pabis, S. (1999). The initial phase of convection drying of vegetables and mushrooms and the effect of shrinkage. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 72., 187-195, 0021-8634/99/020187.
- [15] Ratti, C. (2001). Hot air and freeze-drying of high value foods: a review. *Journal of food engineering*, 49., 311-319, 0260-8774/01.



Photo 044. View from the airplane / Pogled iz aviona