

MERJENJE VLAGE LEŠNIKOV S POMOČJO KAPACITIVNOSTI

Mitja SOLAR¹, Anita SOLAR²

POVZETEK

Sušenje je eno najpomembnejših faz v tehnologiji pridelave in dodelave lešnikov. Tehnološko zrele plodove, ki vsebujejo okrog 30 % vlage, je potrebno v kratkem času osušiti na 12 % (celi lešniki v luščini) oz. 6 % (jedrca). Za pravilno izvedbo sušenja je potrebna večkratna kontrola vsebnosti vlage. V raziskavi smo vlago v lešnikih določili s pomočjo merjenja električne prevodnosti (z enosmernim in izmeničnim tokom) ter merjenja kapacitivnosti. Oba načina smo primerjali z metodo merjenja mase in sočasnega sušenja plodov. Merjenje kapacitivnosti je najbolj uporabna metoda za določanje vlage v celih lešnikih. Na osnovi ugotovljene zveze med vlago celega ploda in njegovega jedrca lahko sklepamo na vsebnost vlage v jedrcu.

Ključne besede: lešnik, sušenje, določanje vlage, kapacitivni senzor

DETERMINATION OF THE MOISTURE CONTENT IN HAZELNUT FRUITS WITH CAPACITANCE MEASUREMENTS

ABSTRACT

Drying is one of the most important phases in the hazelnut production and postharvest technology. Technologically mature fruits which contain around 30 % of the moisture should be dried to 12 % (inshell) and 6 % (kernel) in a short time after harvest. During the drying process, the moisture content is controlled a few times to achieve quality fruits. In the present study, the moisture content of the hazelnut fruits was determined with measurements of electrical conductivity (AC and DC current) and capacitance. Both methods were compared to common one where loss in mass of the fruits caused by drying was measured. Capacitance measurement is the most appropriate method for determination of the moisture content in hazelnut fruits. Based on the relationship between the moisture content in the inshell fruit, it is possible to conclude the level of the moisture in the kernel.

Key words: hazelnut, drying, moisture determination, capacitance sensor

¹ Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Smetanova 17, 2000 Maribor, E-mail: mitja.solar@uni-mb.si

² Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Raziskovalno polje za lupinarje, Vinarska 14, 2000 Maribor, E-mail: anita.solar@email.si

1. UVOD

Lešniki dozorevajo od sredine avgusta do konca septembra, odvisno od leta, sorte in pridelovalnega območja. Faza tehnološke zrelosti nastopi, ko se zelena ovojnica (kupola) in spodnja stran luščine rjavo obarvata. V tem času vsebujejo lešniki od 16 do 30 % vlage (Germain in Sarraquigne, 2004). Običajno so jedrca bolj mokra od luščin. Taki lešniki niso primerni za takojšen konzum, pa tudi ne za skladiščenje, saj bi se na njih hitro razvila plesen ali bi prišlo do gnitja jedrc. Zato jih je potrebno takoj po spravilu posušiti. Po veljavnih evropskih standardih (UNECE, 2004) smejo lešniki na tržišče, ko se vsebnost vlage v celih plodovih stabilizira pri 12 %, v jedrcih pa pri 6 %.

Umetno sušenje v sušilnicah na topel zrak traja od 50 do 80 ur. Med sušenjem je nujno preverjati temperaturo zraka v sušilnici, ki ne sme presegati 45°C, ter pretok zraka, ki mora biti med 1.500 in 2.500 m³/uro/m². Večkrat je potrebno kontrolirati tudi vlago plodov (Germain in Sarraquigne, 2004).

Vlago v lešnikih lahko merimo s pomočjo tehtanja vzorca, lahko jo tudi izmerimo s priročnimi, pa tudi z laboratorijskimi merilniki.

Laboratorijska referenčna metoda, ki temelji na tehtanju vzorca, omogoča določitev vlage v celem lešniku ali samo v jedrcu (ISO665-2000). Vsebnost vlage v suhi snovi je izražena kot izguba mase pri sušenju proti začetni masi vzorca in je podana v %. Vlago določamo s sprotim sušenjem vzorca pri temperaturi 103±2°C in pri normalnem zračnem tlaku. Sušenje poteka, dokler se masa vzorca ne ustali. Da bi bilo sušenje vzorca čim bolj hitro, ima merilnik vgrajen mehanski mlinček za mletje vzorca, sito z okroglimi luknjami premera 3mm, posodico iz stekla, porcelana ali nekorozivne kovine, ki omogoča hrambo 0,2g/cm² (približno 5mm višine) ter električni grelec s termostatom, ki regulira temperaturo med 101 in 105 °C.

V standardu je izbrana 3 urna inicializacijska perioda. Po njej se izmeri masa jedrca in določi vlaga. Vzorec je velik najmanj 100 g jedrc ali vsaj 200 g lešnikov v luščini. Vzorec se razreže in ne zmelje, da ne pride do nastanka olja. Za merilni vzorec se izbere 10g iz celega vzorca in pri celih lešnikih 15g.

Metode merjenja vlage z instrumenti temelijo na merjenju mase jedrca s pomočjo halogenske ali IR žarnice, merjenju električne prevodnosti ali upornosti (UNECE, 2004) merjenju kapacitivnosti oz. dielektičnosti jedrca (Wang et al., 2003; Venkatesh in Raghavan, 2005). Ročne merilne naprave, ki delujejo po zgornjih metodah, imajo nekaj večjo merilno negotovost kot referenčna laboratorijska metoda. Za določitev vlage je potrebno lešnike izluščiti in jedrca razrezati, kar je dokaj zamudno. Poleg tega so te naprave tudi drage.

V raziskavi smo želeli poiskati enostavnejšo in hitrejšo metodo za merjenje vlage v lešnikih. Merili smo (1) električno prevodnost ali upornost z enosmernim tokom, (2) električno prevodnost ali upornost z izmeničnim tokom različnih frekvenc ter (3) električno kapacitivnost. V vseh primerih smo merili vlago celega lešnika, brez mletja oz. rezanja. Zanimalo nas je, kakšna je zveza med vlago luščine in vlago jedrca.

2. MATERIAL IN METODE

2.1. Merilni vzorec

Meritve prevodnosti smo opravili na sortah 'Tonda di Giffoni', 'Segorbe' in 'Tonda gentile Romana', ki se med sabo razlikujejo po obliki in velikosti plodov. Izhodiščni vzorec za merjenje prevodnosti je štel 90 plodov/sorto (tri ponovitve po 30 plodov). Prevodnost smo izmerili na vsakem posameznem plodu.

Kapacitivnost smo izmerili na 120 plodovih/sorto. Skupni vzorec smo razdelili na podvzorce po 10 plodov (tri obravnavanja po 10 plodov v štirih ponovitvah). Meritve smo ponovili v treh fazah: vlažni celi lešniki, delno osušeni lešniki (en dan sušenja pri sobni temperaturi) in suhi lešniki (4 dni sušenja na zraku). Izmerili smo vlago celih lešnikov in jedrc.

2.2. Merjenje prevodnosti

Pri merjenju prevodnosti smo uporabili generator enosmerne napetosti velikosti 75 V (postopek 1). Merili smo tok, ki teče skozi lešnike. Izdelali smo priročno orodje, s katerim smo prijeli lešnik z dveh strani. Na vsaki strani smo imeli po en kontakt za vzpostavitev napetosti. Tok smo merili na zaporedno vezanem uporu velikosti 8,2 k Ω . Pri postopku 2 smo uporabili generator izmenične napetosti velikosti 10 V. Merili smo pri frekvencah 30 Hz, 300 Hz, 3 kHz in 30 kHz. Sam postopek merjenja je bil enak kot v prvem primeru.

2.3. Merjenje kapacitivnosti

Kapacitivnost smo določili z merilno napravo iz kapacitivnega senzorja, pretvornika kapacitivnosti v frekvenco in merilnika frekvence. Blokovna shema merilnika je prikazana na sliki 1.

V plastično posodico z okroglima kovinskima ploščama smo vlagali lešnike. Težavo pri naših meritvah je predstavljala zelo majhna kapacitivnost posameznega lešnika. Zato smo se odločili za večjo posodico, v katero smo vložili dvajset ali več lešnikov.

Kapacitivnost senzorja C je podana v izrazu: $C = \epsilon_r \times \epsilon_0 (S / d)$ (en1)

kjer je ϵ_r relativna dielektrična konstanta, $\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12}$ (As/Vm) dielektrična konstanta praznega prostora, S ploščina elektrode in d razdalja med ploščama. ϵ_r je skrita dielektrična konstanta lešnikov in praznega prostora med lešniki. Dielektrične konstante različnih olj so med 2 in 4, dielektrična konstanta vode pa je odvisna od temperature in je velika 87,8 pri temperaturi 0°C in 69,7 pri 50°C. Zato smo pričakovali, da je kapacitivnost lešnika zelo povezana z vlago in manj odvisna od drugih snovi.

Vlago v lešnikih smo določili tako, da smo primerjali izmerjeno kapacitivnost z deležem zmanjšane mase celih plodov oz. jedrc v postopku sušenja. Za referenčno meritev smo vzorec tehtali s priročno tehtnico s preciznostjo 0,1g.

3. REZULTATI IN RAZPRAVA

Pri določanju prevodnosti po prvi metodi z merjenjem enosmernih tokov so bile izmerjene vrednosti zelo odvisne od globine vboda kontakta v lešnik ter od ionizacije v okolici kontakta. Izmerjena vrednost toka se je od začetne vrednosti zmanjševala eksponentno proti vrednosti, ki jo ima suh plod. Zato je ta metoda sicer primerna za merjenje jedrc, ne pa tudi za merjenje celih lešnikov.

Pri merjenju prevodnosti z izmenično napetostjo smo se izognili ionizaciji, ki je nastala pri meritvi z enosmerno napetostjo. Iskali smo najbolj primerno frekvenco izmenične napetosti in ugotovili, da je najbolj primerna frekvenca 3kHz. Opravili smo meritve na več vzorcih, vendar pa je bila razpršenost rezultatov prevelika. Težave verjetno izhajajo iz neenakomerne kontaktne upornosti pri posameznih vzorcih.

Pri kapacitivnosti smo v prvi meritvi izmerili frekvenco iz C/f pretvornika v odvisnosti od mase vzorca oz. števila plodov. Pri tem smo maso povečevali za en plod od enega ploda do polne posodice. Pri sortah 'Tonda di Giffoni' in 'Segorbe' smo za polno merilno posodico potrebovali po 21 lešnikov, pri sorti 'Tonda gentile Romana' pa 23 lešnikov. Na sliki 2a je podana zveza med frekvenco in maso za 'Tonda di Giffoni', na sliki 2b za 'Segorbe' in na sliki 2c za 'Tonda gentile Romana'.

Regresijske premice na slikah 2a,b,c prikazujejo zvezo med frekvenco merilnika in maso lešnikov. Če se, npr. masa merjenih celih lešnikov poveča za 10 g, lahko pričakujemo, da se bo frekvenca zmanjšala za 2,47 kHz (zgled za 'Tonda di Giffoni', slika 2a). Kot je razvidno iz slik 2a,b,c, smo za vse tri sorte dobili podobne vrednosti frekvenc. To pomeni, da meritev ni potrebno opravljati za vsako sorto posebej, ampak lahko merimo mešani vzorec. Iz nagiba regresijske premice, ki je pri vseh treh sortah skoraj enak, lahko sklepamo tudi, da za zanesljivost meritve zadošča vsaj 10 plodov.

Nato nas je zanimala zveza med vlago vzorcev lešnikov v luščini in vlago njihovih jedrc. Na sliki 3 predstavljamo posamezne merjene frekvence iz kapacitivno-frekvenčnega pretvornika v odvisnosti od izmerjene vlage jedrc. Vlago jedrc smo izračunali iz izmerjenih mas vzorcev jedrc pred in po sušenju po enačbi:

$$\text{Vlaga jedrc (\%)} = 100 \times (m_{\text{plodov}} - m_{\text{jedrc}}) / m_{\text{plodov}} \quad (\text{en } 2)$$

Vlačnost jedrc smo opazovali na več vzorcih lešnikov. Vsaka točka na grafu predstavlja meritev vzorca z desetimi jedrci. Izbrali smo različno vlažne lešnike.

Najprej smo izmerili maso lešnikov v luščini in frekvenco iz pretvornika. Tako smo dobili v grafu na sliki 3 točke, označene z fp1. Nato smo izluščili jedrca in ponovili meritev mase jedrc in frekvenc iz pretvornika. Dobili smo točke, označene z fj2. Lešnike smo nato sušili na zraku do polne osušenosti. Pri njej se masa jedrc ni več spreminjala. Dobili smo točke, označene z fj3.

Iz nagibov regresijskih premic vidimo, da je občutljivost merilnika večja za cele lešnike kot za jedrca. To si lahko razlagamo z dosti manjšim volumnom, ki ga dosežejo jedrca vzorca v primerjavi s celimi lešniki istega vzorca pri konstantni razdalji med merilnima ploščama. To slabost bomo v praksi odpravili tako, da bomo z vzorcem lešnikov ali jedrc napolnili celotno merilno skledico.

Iz razsipanja podatkov okrog regresijskih premic prav tako vidimo, da je lahko jedrce malo manj ali malo bolj vlažno od luščine in s tem od celega lešnika.

Ko so jedrca suha, se frekvence iz pretvornika zelo malo razlikujejo. To je razvidno iz zelo majhnega naklona premic. Pove nam, da kapacitivnost ni več povezana z vlago, ampak samo še z ostalimi sestavinami jedrca, npr. maščobami.

4. ZAKLJUČEK

Cilj dela je bil raziskati možnost izdelave preprostega merilnika, ki bi ga lahko uporabljali za hitro merjenje vlažnosti lešnikov med sušenjem. Izmed treh preizkušanih metod se je kot najbolj uporabno pokazalo merjenje kapacitivnosti plodov, s katerim smo potrdili domnevno zvezo med vlago celega lešnika in vlago jedrca. Uporabne rezultate dobimo torej z merjenjem celih lešnikov, kar je prednost te metode. To nam omogoča, da bomo v praksi lahko merili samo lešnike v luščini. S tem se bomo izognili potrebnemu izluščenju in rezanju plodov, kar je sicer običajna praksa pri uveljavljenih metodah merjenja vlage v lupinastem sadju (Rouvès in sod., 2002; Mitcham in sod., 2004; Petit- Rouvès in sod., 2005).

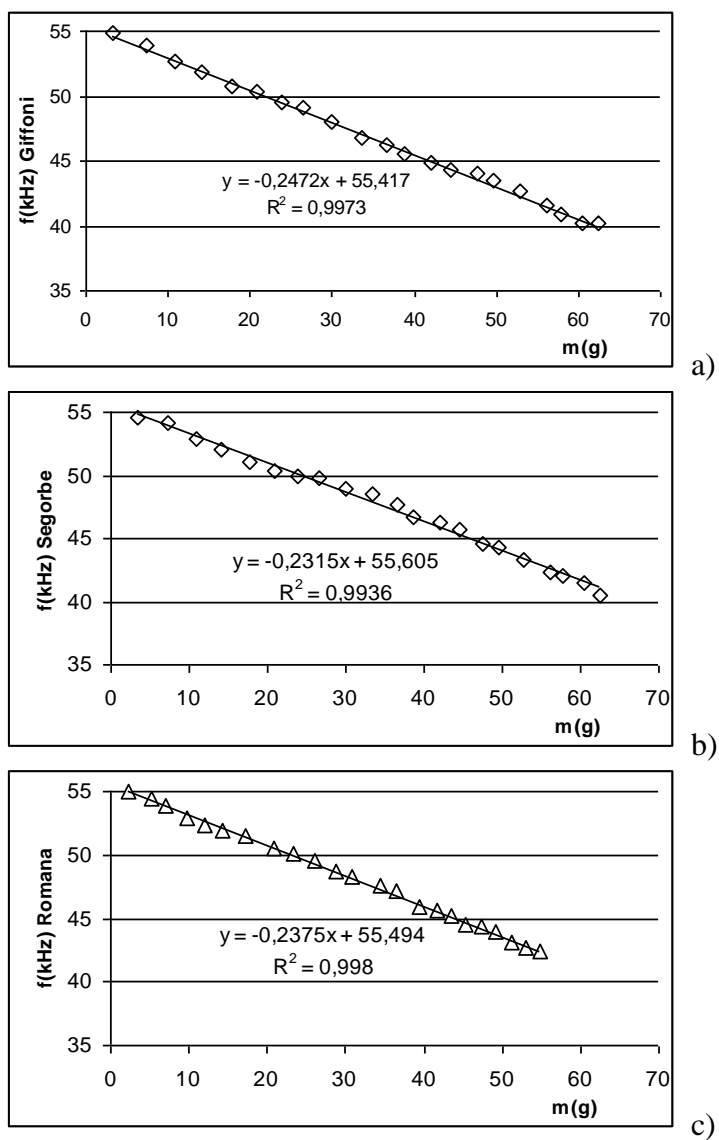
Merjenje je potekalo v kontroliranih pogojih pri sobni temperaturi. Pričakujemo, da bo potrebno rezultate pri meritvah na prostem tudi temperaturno kompenzirati.

6. LITERATURA

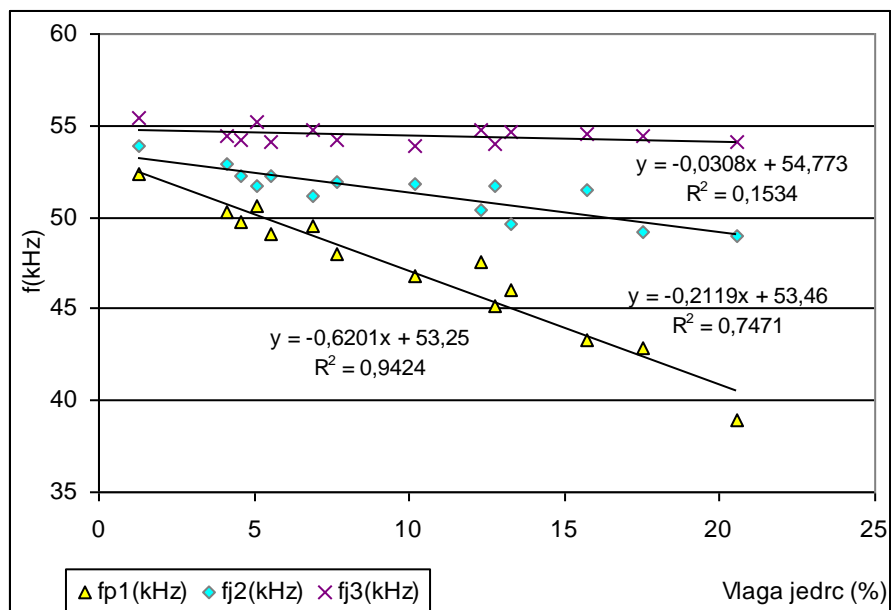
- Germain, E., Sarraquigne, J.P. 2004. Le noisetier. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, Paris, 296 s.
- ISO Standards : ISO665 :2000. Oilseeds. Determination of moisture and volatile matter content. http://standards.mackido.com/is.2/is-is24-view_1958.html
- Mitcham, E.J., Veltman, R.H., Feng, X., de Castro, E., Johnson, J.A., Simpson, T.L., Biasi, W.V., Wang, S., Tang, J. 2004. Application of radio frequency treatments to control insects in in-shell walnuts. *Postharvest Biology and Technology* 33(1) : 93-100.
- Petit-Rouvès, M., Coudon, R., Prunet, J.P. 2005. Mesure de la teneur en eau. Precision du Samap-O-Test sur noix en coque. Ctifl, Station de Creysse, Fiche technique, 3 s.
- Rouvès, M., Blache, C., Prunet, J.P., A. Verhaeghe 2002. Teneur en eau de la noix en coque. Des indicateurs d'humidité pour la noix, *Infos-Ctifl* 186: 36-39
- UNECE standard DF-4 concerning the marketing and commercial quality control of hazelnut kernels moving in international trade between and to UNECE member countries. www.unece.org/trade/agr/standard/dry/dry_e/04hazker.pdf
- Venkatesh M.S. in Raghavan G.S.V. 2005. An overview of dielectric properties measuring techniques, *Canadian biosystems engineering*, 47.,7.15-7.30
- Wang, S., Tang, J., Johnson, J.A., Mitcham, E., Hansen, J.D., Hallman, G., Drake, S.R., Wang, Y. 2003. Dielectric properties of fruits and insect pests as related to radio frequency and microwave treatments. *Biosystems Engineering* 85(2) : 201-212.



Slika 1. Blokovna shema merilnika.



Slika 2. Zveza med maso vzorca in frekvenco izhodnega signala iz pretvornika pri sortah 'Tonda di Giffoni' (a), 'Segorbe' (b) in 'Tonda gentile Romana' (c).



Slika 3. Odvisnost frekvence iz pretvornika od vlage jedrc za lešnike v luščini (fp1), za jedrca (fj2) in osušena jedrca (fj3).