

UDK: 636.084 :621.016:621.1.

Originalni naučni rad
Original Scientific paper
doi: 10.5937/POLJTEH2102001K

DIREKTNE METODE ZA ODREĐIVANJE ČVRSTOĆE LJUSKE JAJA

Ranko Koprivica¹, Biljana Veljković^{*1}, Simeon Rakonjac¹, Miloš Božić², Vojislav Vujičić², Dušan Radivojević³, Dušan Marković¹, Goran Topisirović³

¹Univerzitet u Kragujevcu, Agronomski fakultet, Cara Dušana 34, 32000 Čačak, R.Srbija

²Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet Tehničkih nauka, Svetog Save 65, 32000 Čačak, R.Srbija

³Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Institut za poljoprivrednu tehniku,
Nemanjina br.6, 11080 Beograd-Zemun, R.Srbija

Sažetak: U toku manipulacije kokošijih jaja od farme do potrošača usled delovanja spoljašnjih sila i slabe mehaničke čvrstoće ljuske dolazi do lomljenja jaja. Cilj proizvođača jaja je da se u toku proizvodnje i plasmana smanje gubici pri lomljenju jaja i time povećaju prihodi. Svako jaje može da bude oštećeno delovanjem spoljašnjih sila čije su vrednosti veće od maksimalne čvrstoće ljuske jaja. Za utvrđivanje kvaliteta jaja (čvrstoće ljuske) koriste se direktne i indirektno metode. Direktnim metodama čvrstoća ljuske se može odrediti na osnovu merenja sile probijanja, sile udara, sile kvazistatičke kompresije i sile slobodnog pada na poznatu podlogu. U našim istraživanjima za realizaciju oglada konstruisan je uređaj i primenjena direktna metoda za određivanje čvrstoće jaja na osnovu izmerene sile probijanja ljuske. Uređaj za merenje čvrstoće jaja direktnom metodom probijanja jaja konstruisan je i primenjen na Fakultetu tehničkih nauka i Agronomskom fakultetu u Čačku.

U istraživanjima su korišćena kokošija jaja klase "M" proizvedena na farmi "Grbović" u okolini Čačka. Kokoši nosilje su hibrid Isa Brown starosti 41 nedelju.

* Autor za korespondenciju. E-mail adresa: biljavz@kg.ac.rs

U toku istraživanja su određene fizičke osobine kokošijih jaja: dužina, širina, indeks oblika i masa jaja, kao i masa ljuske, udeo ljuske u ukupnoj masi jaja, debljina i sila probijanja ljuske.

Rezultati istraživanja pokazuju da je dužina jaja 57,00 mm, širina 44,59 mm sa koeficijentom varijacije 2,7- 1,4%. Debljina ljuske jaja je prosečno 0,39 mm, u opsegu 0,377-0,416 mm. Udeo ljuske je 10,54 % od prosečne mase jaja (62,43 g).

Kvalitet ispitivanih jaja je bio prilično ujednačen jer se sila probijanja ljuske jaja kretala od 20,35-23,97 N.

Rezultati istraživanja su značajni za konstrukciju kaveza, projektovanje opreme za prikupljanje jaja, dizajniranje ambalaže za jaja, a primenljivi i u selekciji za dobijanje novih genotipova kokoši nosilja sa povećanom otpornošću na lomljenje ljuske jaja.

Ključne reči: Čvrstoća jaja, metode za utvrđivanje kvaliteta - čvrstoća jaja, sila probijanje ljuske, fizičke osobine jaja.

UVOD

U procesu proizvodnje i prometa jaja oštećenja mogu da budu u vidu naprsline na ljusci i lom ljuske. Na farmama kokoši nosilja naprsline na jajima obično nastaju u kavezu udarom jaja jedno od drugo, ili od dela opreme za sakupljanje, dok lom jaja može nastati i od strane samih kokoši ili u toku pakovanja i transporta jaja. Oštećenja na ljuski jaja mogu da se kreću od 8 do 10% od ukupno snesenih jaja, što predstavlja veliki ekonomski gubitak na farmi [7]. Zbog toga je cilj proizvođača jaja da se smanje gubici nastali oštećenjem ljuski i da lom jaja u toku proizvodnje i plasmana bude što manji. Na kvalitet ljuske jaja značajno utiče sistem gajenja kokoši nosilja, genotip, starost koka, vreme nošenja jaja i mineralna ishrana sa dovoljno kalcijuma. Glavni razlog za oštećenje jaja je slaba čvrstoća ljuske i mala otpornost da se odupre silama koje deluju na nju prilikom manipulacije. Svako jaje može da bude oštećeno pod uticajem spoljašnjih sila ako one dovoljno jako deluju na njihovu ljusku i ako se pređe granica maksimalne čvrstoće.

Da bi poboljšali čvrstoću ljuske jaja genetičari ispituju koja karakteristika jaja određuje čvrstoću ljuske na pucanje, kao i strukturu same ljuske jaja. Za unapređenje proizvodnje istraživačima su potrebne pouzdane metode sa kojima se vrlo brzo i lako može meriti veliki broj uzoraka i ispitivati kvalitet jaja. Diskutabilno je da li se sa postojećim metodama, koje se koriste mogu tačno odrediti jačine sile čvrstoće na razbijanje ljuske jaja.

Postoji decenijsko interesovanje istraživača za utvrđivanje čvrstoće ljuske jaja, u tu svrhu je korišćen različit pribor, a postoje i elektronski uređaji pomoću kojih se utvrđuju mehaničke osobine ljuske jaja. Monogi autori su konstruisali razne uređaje i primenili metode za utvrđivanje čvrstoće jaja [17], [18], [6], [9], [5], [10], [7], [11].

Ispitujući kvalitet jaja primenom tri metode autori [17] su došli do zaključka: Čvrstoća jaja utvrđena kvazistatičkom kompresijom kretala se od 2,7 do 4,9 kg (sa koeficijentom varijacije od 14 do 25%), sila probijanja 1,5 do 1,6 kg (sa koeficijentom varijacije od 14 do 15%) i srednja deformacija ljuske od 0,037 do 0,076 mm (sa koeficijentom varijacije od 10 do 29%).

Pri uporednom ispitivanju čvrstoće ljuske jaja metodom kvazistatične kompresije i metodom probijanja, prosečna vrednost sile razbijanja jaja izmerene testom kompresije je 3303,9 g, a sa testom probijanja 1491,5 g [6].

Radi utvrđivanja čvrstoće ljuske jaja autori [17] su među prvima primenili metodu probijanja. Prosečna vrednost sile probijanja je 1,6 kg, sa koeficijentom varijacije od 14,6 do 15,2%. Isti autori u sledećim istraživanjima [18] navode da je prosečna sila probijanja ljuske jaja kokoši 1739 g, sa variranjem od 1714 g do 1764 g.

Kod organski gajenih kokoški sila probijanja jaja je 20,57 N, kod kokoški gajenih u objektu sa ispustom 26,51 N, a kod kontrolne grupe gajenih u kavezima 30,17 N, pri debljini ljuske 0,308 mm 0,320 mm i 0,338 mm redom [9].

Metodom probijanja jačine ljuske priplodnih jaja može da se utvrdi na više mesta pre stavljanja jaja u inkubator, bez uticaja na % izleganja jaja. Sila probijanja ljuske jaja rase Leghorn kretala od 13,8-14,3 N, a kod Brojlara 16,1-16,9 N [5].

Kod kokoši Hisex Brown prosečna sila razbijanja jaja izmerena kvazi statičkom metodom kompresije na ekvatoru je 36,43 N, a na polovima 34,92 N, a varirala je od 10,03 N do 58,96 N [10].

Autori [11] su kvazi statičkom metodom utvrdili vrednosti sile loma (čvrstoće) ljuske hibrda Hises (4,31 kg i 4,71 kg) i Isa Brown (4,0 kg i 3,98 kg) kod jaja sakupljenih u periodu 5-7 h i 9-11 h, između kojih nije bilo statistički značajnih razlika.

Čvrstoća jaja kokoši je u korelaciji sa debljinom ljuske 0,48, masom ljuske 0,35 i učešćem ljuske u ukupnoj masi jaja [7].

Cilj rada je u doprinosu rešavanja problema merenja čvrstoće jaja, primenom direktne metode za utvrđivanje minimalne sile probijanja ljuske, odnosno, maksimalne čvrstoće pucanja jaja pomoću konstruisanog uređaja za ispitivanje.

Metode za ispitivanje čvrstoće ljuske jaja

Sve metode za utvrđivanje čvrstoće ljuske jaja uglavnom su podeljene u dve osnovne grupe i to: direktne i indirektne metode. Indirektnim metodama čvrstoća jaja se može utvrditi: metodom određivanja specifične težine jaja, metodom nerazorne deformacije ljuske i na osnovu fizičkih osobina jaja (debljinom ljuske). Prednost ovih metoda je u tome što se u toku eksperimenta jaja ne razbijaju, ali dobijene vrednosti čvrstoće jaja nisu dovoljno pouzdane.

Direktnim metodama čvrstoća ljuske se može utvrditi na osnovu merenja sile probijanja, sile udara, sile kvazistatičke kompresije i sile slobodnog pada na poznatu podlogu.

Autori su u ispitivanjima merenja čvrstoće ljuske jaja najviše koristili direktan metod kvazistatičke kompresije. Jaje čija se čvrstoća ispituje stavlja se između dve paralelne ploče. Na fiksnoj ploči se postavlja jaje, a potisnom pločom se vrši pritisak na ljusku jaja. Sile deluju na sredinu (ekvator) jaja, vršeći postepeno opterećenje ljuske sve dok ne dođe do potpunog razbijanja. Porastom veličine sile dolazi do lomljenja ljuske jaja, pri čemu se registruje minimalna vrednost sile razbijanja, odnosno maksimalna čvrstoća ljuske jaja [6], [5], [11], [10], [17].

Određivanje sile probijanja vrši se opisanim uređajem samo što se umesto pritisne ploče postavlja sonda određenog prečnika (2, 3, 4, 5 mm) kojom se deluje na ekvator ili pol jaja sve dok se ljuska ne probije. U tom momentu prestaje pritisak sonde i registruje se minimalna sila probijanja ljuske i najveća otpornost tj. čvrstoća jaja.

U početku je za ispitivanje čvrstoće jaja korišćena aparatura za ispitivanje mašinskih osobina materijala koja se koriste u metalnoj industriji određivanjem maksimalnih sila na pritisak, smicanje i probijanje.

Mašina kidalica za utvrđivanje mehaničkih osobina čelika bila je dosta skupa, a zbog većih dimenzija nije mogla da se prenosi, već je bila stacionirana u laboratoriji.

Autori [17] su konstruisali po dimenzijama manji prenosivi uređaj namenjen samo za utvrđivanje čvrstoće ljuske jaja. Uređajem je moguće testirati i do 180 jaja/sat jednom od metoda za merenje čvrstoće ljuske jaja (kvazistatičke kompresije, metodom probijanja ili nerazorne deformacije). Navedenim metodama čvrstoća jaja se može izmeriti na jednom te istom jajetu. Prvo se izmeri deformacija jaja, zatim sila probijanja i na kraju sila lomljenja jaja, pri čemu se precizno snimaju i registruju izmereni parametri.

Treća direktna metoda za merenje čvrstoće ljuske je utvrđivanje otpornosti jaja na udar. Sa različite visine ispušta se nekoliko puta čelična kuglica, određene mase na površinu ljuske jajeta, sve dok se ne razbije. Visina i broj udaraca potrebnih za razbijanje jaja koristi se kao indeks čvrstoće jaja [15], [2].

U primeni je i test slobodnog pada [16], gde su jaja ispuštana sa određene visine od 50-1500 mm na čvrstu podlogu od različitog materijala. Prilikom pada pomoću kamere merena je brzina pada, jačina udara o podlogu i kinetička energija pada.

Najčešće korišćene indirektno metode za ocenu jačine ljuske jaja su metoda nerazorne deformacije i test specifične težine (gravitacije). Navedene metode su prihvaćene i koriste se na farmama kokoši nosilja, zbog toga što su jeftine, izvode se vrlo brzo u više ponavljanja, i što se jaja u toku utvrđivanja čvrstoće ne razbijaju.

Metod nerazorne deformacije se sastoji u tome što se jaje u horizontalnom položaju na ekvatoru izlaže određenom silom do granice elastičnosti ljuske jaja. Sve promene koje se dešavaju dejstvom određene sile na ljusku jaja registruje senzor deformacije. Prestankom delovanja sile na jaje pročitaju se izmerene vrednosti elastične deformacije izražene u μm . Pomoću instrumenta za merenje elastične deformacije može se ispitati od 900 do 1000 jaja na sat [19].

Merenje čvrstoće jaja metodom određivanja specifične težine jaja izvodi se tako što se jaja potapaju u više (3-5) slanih rastvora različite specifične težine. Jaje ima istu specifičnu težinu kao i rastvor u kome je prvo počelo da pluta na površini.

Najjednostavniji indirektan način merenja kvaliteta ljuske je na osnovu izmerenih fizičkih osobina jaja. Utvrđeno je da postoji korelacija između debljine ljuske i čvrstoće ljuske [18], [16], [7].

Naprslina ljuske jaja koja idu u promet mogu se utvrditi i drugim indirektnim metodama na primer pomoću snopa svetlosti (prosvetljavanjem) ili elektronskim detektorom za otkrivanje naprslina i loma jaja.

MATERIJAL I METOD RADA

U ispitivanju su korišćena jaja uzeta slučajnim uzorkom iz ambalaže i predstavljaju prosečan uzorak partije koja je upakovana za promet. Jaja "M" klase su proizvedena na farmi "Grbović" u okolini Čačka od hibridnih kokoši Isa Brown starosti 41 nedelja. Ukupno je za analizu uzeto po 10 komada jaja, koja su prethodno obeležena, a zatim su izvršena merenja: dužine, širine i mase jaja, kao i masa, debljina i čvrstoće ljuske.

Dužina, širina jaja i debljina suve ljuske merena su pomoću elektronskog pomičnog merila sa displejom Pro-max Sylvec system sa tačnošću 0,01 mm. Masa jaja i ljuske sa opnom merena su na analitičkoj vagi Kern EMS 3000-2 sa tačnošću 0,01 g. Za realizaciju postavljenog cilja konstruisan je i primenjen uređaj za ispitivanje čvrstoće jaja direktnom metodom probijanja ljuske.

Postupak određivanja čvrstoće ljuske vrši se na taj način što se jaje postavi na oslonu ploču u horizontalnom položaju (po dužini) upravno na pravac dejstva sile (Sl.1). Sandom prečnika 2 mm vrši se probijanje ljuske na ekvatorijalnom delu jaja. U momentu probijanja ljuske registruje se minimalna sila probijanje izražena u N i predstavlja maksimalnu čvrstoću jaja. Podatke o izmerenim vrednostima maksimalne sile probijanja jaja, uređaj registruje i prikazuje u Exel tabeli i grafički (Slika 1). U tabelarnom izveštaju dobijaju se podaci o maksimalnim silama probijanja ljuske, kao i osnovni statistički podaci (minimum, maksimum, srednja vrednost, koeficijent varijacije, standardna devijacija).

Uređaj za merenje čvrstoće jaja primenom direktne metode probijanja ljuske konstruisan je u Laboratoriji za mehatroniku Fakulteta tehničkih nauka u Čačku, a primenjen na Agronomskom fakultetu u Čačku. Pored merenja čvrstoće ljuske jaja uređajem se može meriti i sila otvaranja-pucanja plodova (uljane repice, soje, pasulja, žutog zvezdana i dr.), kao i sila kršenja i otkidanja plodova od grančica i peteljki. Detaljan opis merno akvizicionog sistema za merenje mehaničkih osobina prikazan je u radu [3].



Slika 1. Uređaj za merenje sile probijanja ljuske jaja
Figure 1. Device for measuring puncture force of egg shell

REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

Glavni pokazatelj kvaliteta jaja ogleda se kroz vrednosti njegovih spoljašnjih osobina. Od spoljašnjih osobina jaja u istraživanjima su ispitivane dužina, širina, indeks oblika i masa jaja. Prosečna dužina jaja iznosila je 57,00 mm sa koeficijentom varijacije 2,7%, a širina jaja 44,59 mm sa koeficijentom varijacije 1,4 % (Tab.1).

Indeks oblika je jedna od najvažnijih osobina spoljašnjeg kvaliteta jaja, jer se na osnovu njega vrši klasiranje jaja i dizajniranje ambalaže za pakovanje jaja [8]. Po indeksu oblika jaja su podeljena u šiljasta (izdužena) kod kojih je indeks oblika manji od 72, zatim okrugla sa indeksom oblika većim od 76 i standardnog oblika sa indeksom od 72 do 76.

Najbolji indeks oblika kokošijih jaja je 74, jer je najmanja mogućnost da dođe do pucanja ljuske u toku sakupljanja, klasiranja, pakovanja i transporta jaja do potrošača.

Na osnovu rezultata prikazanih u Tabeli 1. indeks oblika iznosi 78,26%, što navodi na zaključak da su jaja okruglastog oblika. Dobijeni rezultati istraživanja za indeks oblika su u saglasnosti sa rezultatima koje navode [8], [1], [14], [4], [10], [13].

Tabela 1. Fizičke osobine jaja

Table 1. Physical properties of eggs

Osobine Properties	Prosečno Average	ST dev. ST dev.	CV (%) CV (%)	min.	max.
Dužina jaja (mm) Length of eggs (mm)	57,00	1,514	2,7	55,12	59,74
Širina jaja (mm) Width of eggs (mm)	44,59	0,644	1,4	43,7	45,79
Index oblika (širina/dužina jaja) u % Index of shape (width/length eggs) %	78,26	2,343	3,0	74,24	81,2
Masa jaja (g) Mass of eggs (g)	62,43	2,008	3,2	60,42	66,83

Osnovne osobine prikazane u radu koje su bitne za određivanje kvaliteta ljuske jaja su: masa ljuske, učešće ljuske u ukupnoj masi jaja, debljina i čvrstoća ljuski.

Rezultati ispitivanja navedenih osobina ljuske jaja prikazani su u Tabeli 2. Prosečna masa jaja je 62,43 g sa varijacijom od 3,2%, a masa ljuske 6,57 g uz koeficijent varijacije od 4,7 %.

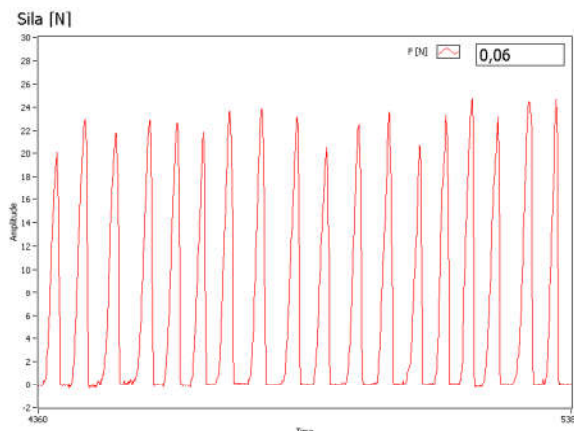
Vrednost prosečne debljina osušene ljuske sa opnom je 0,39 mm, varirala je od 0,373 do 0,416 mm.

Udeo ljuske u ukupnoj masi jaja prikazan u radu (10,54%) je manji od rezultata [12], [13].

Tabela 2. Fizičke osobine i sila probijanja ljuske jaja

Table 2. Physical properties and puncture force of eggs shell

Osobine ljuske Properties of shape	Prosečno Average	ST dev. ST dev.	CV (%) Cv (%)	min.	max.
Masa ljuske (g) Mass of shape (g)	6,57	0,306	4,7	6,06	7,09
Udeo ljuske u jaju (%) Share of shape/eggs (%)	10,54	0,516	4,9	9,8	11,34
Debljina ljuske sa opnom (mm) Shell with membrane (mm)	0,39	0,014	3,5	0,373	0,416
Sila probijanja ljuske jaja (N) The puncture force of eggs shell (N)	22,04	1,229	5,6	20,35	23,97



Grafik 1. Grafički izveštaj izmerene sile probijanja ljuski jaja na uređaju
Chart 1. Graphic report of the measured puncture force of egg shells on the device

Čvrstoća ljuske je jedan od najvažnijih pokazatelja kvaliteta jaja. Čvrstoća ljuske jaja predstavlja sposobnost ljuske da se odupre dejstvu spoljašnih sila koje teže da ga polome, razbiju ili mu promene oblik.

Na jačinu ljuske jaja utiču mnogi faktori: genotip, starost kokoši, način gajenja, ishrana, masa, zapremina, površina, ideks oblika jaja, mikrostruktura, debljina i udeo ljuske jaja itd. [10], [13].

Vrednosti sile probijanja ljuske kretale su se od 20,35 do 23,97 N što ukazuje na činjenicu da su ispitivana jaja bila prilično ujednačena po kvalitetu, čvrstoći (Grafik 1.) Prosečna sila probijanja ljuske jaja je 22,04 N sa malim koeficijentom varijacije od 5,6%, što je još jedan od dokaza ujednačenosti kvaliteta jaja, odnosno čvrstoće ljuske. Prikazane vrednosti sile probijanja su manje od rezultata koje navodi [9], a veće od vrednosti koje navode [6], [17], [18], [5]. Vrednosti sile razbijanja jaja metodom kvazistatične kompresije do kojih su došli autori [10], [11] su veće od rezultata probijanja ljuski prikazanih u radu.

Neusaglašenost dobijenih rezultata za vrednosti sile probijanja prikazanih u radu sa rezultatima drugih autora su zbog gajenja različitih hibrida, uslova držanja, starosti kokoši, ishrane itd.

ZAKLJUČAK

Postoje razne metode za ocenu čvrstoće ljuske jaja koje su svrstane u dve grupe i to: direktne i indirektne. U direktne metode za utvrđivanje čvrstoće ljuske jaja spadaju metode za merenje: sile probijanja, sile kvazistatičke kompresije, sile udara i sile slobodnog pada na poznatu podlogu. Za praktičnu upotrebu na farmi može se koristiti metoda sa kojom se relativno brzo može uraditi veliki broj uzoraka. Pored toga metoda za merenje čvrstoće ljuske treba da bude jeftina, jednostavna i laka za upotrebu, ali dovoljno precizna i pouzdana.

Sve prethodno navedene činjenice poslužile su kao osnova za konstrukciju uređaja za utvrđivanje kvaliteta jaja primenom direktne metode probijanja ljuske jaja.

Primenom direktne metode probijanja ne dolazi do potpunog razbijanja jaja kao kod kvazistatične metode, već samo do probijanja jaja, pa se na jednom uzorku može utvrditi sila probijanja i razbijanja. Metodom probijanja čvrstoću jaja je moguće meriti na bilo kojem mestu, na ekvatoru i polovima što nije bio slučaj sa kvazistatičkom metodom.

Uređaj za merenje sile probijanja ljuske je lagane konstrukcije, pa se može prenositi i čvrstoća jaja meriti ne samo u laboratoriji nego i na farmi. Rad na uređaju je vrlo jednostavan, a dobijeni rezultati sile probijanja ljuske su konkretni, precizni, pouzdani i uporedivi sa rezultatima drugih autora. Prvi rezultati istraživanja sile probijanja ljuske jaja na konstruisanom uređaju ukazuju da će se istraživanja nastaviti i da će isti naći primenu na farmama.

Dobijeni rezultati istraživanja mogu poslužiti kao osnova za konstrukciju kaveza, projektovanje opreme za prikupljanje jaja, dizajniranje ambalaže za jaja, kao i u procesu selekcije za dobijanje novih genotipova kokoši nosilja sa povećanom otpornošću na razbijanje jaja.

ACKNOWLEDGMENT: This study was supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia, Contract No. 451-03-9/2021-14.

LITERATURA

- [1] Ahammed, A., Chae, B.J., Lohakare, J., Keohavong, B., Lee, M.H., Lee, S.J., Kim, D.M., Lee, J.Y., Ohh, S.J. 2014. Comparison of aviary, barn and conventional cage raising of chickens on laying performance and egg quality. *Asian-Austral J. Anim* 2014; 27, pp. 1196-1203.
- [2] Anderson, G.B., Carter, T.C. 1976. The Hen's Egg. Shell Cracking at Impact on a Heavy, Stiff Body and Factors that Affect it. *British Poultry Science*, 17., 613-626.
- [3] Božić, M., Koprivica, R., Bošković, N., Veljković, B. 2014. Merno akvizicioni sistem za merenje sile otvaranja plodova poljoprivrednih kultura. *Traktori i pogonske mašine*. Vol 19., No.4, pp.98-106
- [4] Dikmen, B.Y., Ipek, A., Sahan, U., Sozcu, A., Baycan, S. C. 2017. Impact of different housing systems and age of layers on egg quality characteristics. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Science* 41, pp. 77-84
- [5] Hamilton, R.M.G., Thompson, B.K. 1986. The Effects of the Egg Shell Strength Puncture Test on the Subsequent Hatchability of Eggs from White Leghorn and Broiler Hens! 1986 *Poultry Science* 65, pp.1502-1509
- [6] Hunt, J. R., Voisey, P. W., Thompson, B. K. 1977. Physical properties of eggshells: A comparison of the puncture and compression tests for estimating shell strength. *Can. J. Anim. Sci.* 57, pp.329-338.
- [7] Ketta, M., Tumova, E. 2018. Relationship between egg shell thickness and other egg shell measurements in eggs from litter and cages, *Italian Journal of Animal Science*, 17 (1), pp.234-239.
- [8] Kralik, Z., Kralik, G., Grčević, M., Škrtić, Z., Biazik, E. 2012. Usporedba kvalitete konzumnih jaja različitih proizvođača. *Krmiva* 54, (1), 17-21.
- [9] Krawczyk, J. 2009. Quality of eggs from Polish native Greenleg Partridge chicken-hens maintained in organic vs. backyard production systems. *Animal Science Papers and Reports*, 27 (3): pp.227-235.

- [10] Nedomova, Š., Severa, L., Buchar, J. 2009. Influence of hen egg shape on eggshell compressive strength. *Int. Agrophysics*. Pp. 249–256.
- [11] Pavlovski, Z., Vitorović, D. 1996. Direktan metod za određivanje čvrstoće ljuske jaja. *Nauka u živinarstvu*, 3-4, 171-175.
- [12] Rakonjac, S., Bogosavljević-Bošković, S., Škrbić, Z., Perić, L., Dasković, V., Petrović, M., Petričević, V. 2017. The effect of the rearing system, genotype and laying hens age on the egg weight and share of main parts of eggs. *Acta Agriculture Serbica*, Vol XXII, 44, pp.185-192.
- [13] Tumova, E., Vlčkova, J., Charvatova, V., Drabek, O., Tejnecky, V., Ketta, M., Chodova, D. 2016. Interactions of genotype, housing and dietary calcium in layer performance, eggshell quality and tibia characteristics. *SA Anim Sci*. 46 (3), pp.285-293.
- [14] Turker, I., Alkan, S. 2019. Comparisons of Physical and Chemical Characteristics of Eggs Obtained using Hens Reared in Deep Litter and free-range Systems. *Tarim Bilimleri Dergisi – Journal of Agricultural Sciences* 25, pp.181-188.
- [15] Tyler, C., Moore, D. 1965. Types of Damage Caused by Various Cracking and Crushing Methods Used for Measuring Eggshell Strength. *British. Poultry Science*, §. 175-182.
- [16] Selles, A.G., Marce-Nogue, J., Vila, Perez, M.,A., Gil, L., Galobart, A., Fortuny, J., 2019. Computational approach to evaluating the strength of eggs: Implications for laying in organic egg production. *Biosystems Engineering* (IF 3.215) Pub Date : 2019-07-29 , DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2019.06.017
- [17] Voisey, P. W., Mac Donald, D. C. 1978. Laboratory measurements of eggshell strength. 1. An instrument for measuring shell strength by quasistatic compression, puncture and non-destructive deformation. *Poultry Sci*. 57, pp.860-869.
- [18] Voisey, P. W., Hamilton, R. M. G., Thompson, B. K. 1979. Laboratory measurement of eggshell strength. 2. The quasi-static compression, puncture, non-destructive deformation, and specific gravity methods applied to the same egg. *Poultry Sci*. 58, pp.288-294.
- [19] <https://planemy-ndv.ru/bs/usn/opredelenie-kachestva-i-svezhesti-yaic-metody-ocenki-kachestva-yaic.html>

Zahvalnost: Istraživanje je podržalo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, Ugovor br. 451-03-9 / 2021-14.

DIRECT METHODS FOR DETERMINATION OF THE EGG SHELL STRENGTH

Ranko Koprivica¹, Biljana Veljković¹, Simeon Rakonjac¹, Miloš Božić², Vojislav Vujičić², Dušan Radivojević³, Dušan Marković¹, Goran Topisirović³

¹University of Kragujevac, Faculty of Agronomy, 34 Cara Dušana, 32000 Čačak, R.Serbia

²University of Kragujevac, Faculty of Technical Sciences, 65 Svetog Save, 32000 Čačak, R.Serbia

³University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Nemanjina 6, 11080 Belgrade-Zemun, R.Serbia

Abstract: During the manipulation of hen eggs from the farm to the consumer due to action of external forces and weak mechanical strength of shell, the eggs break. The goal of egg producers is to reduce losses when breaking eggs during the production and placement, and thus increase revenues. Each egg can be damaged by external forces whose values are greater than maximum strength of the egg shell.

Direct and indirect methods are used to determine the quality of eggs and shell strength. By direct methods, strength of the shell can be determined on the basis of puncture force measurements, impact forces, quasi-static compression forces and free fall forces on a known surface.

In our research, a device was constructed for the realization of experiment and a direct method for determining strength of eggs was applied on the basis of measured breaking force of the shell. The device for measuring strength of eggs by the direct method of puncture eggshell was constructed and applied at the Faculty of Technical Sciences and the Faculty of Agronomy in Čačak.

Class "M" hen eggs produced on the "Grbović" farm in the vicinity of Čačak were used in the research. The laying hens are a 41-week-old Isa Brown hybrid. During the research, physical characteristics of hen eggs were determined: length, width, index of shape and weight of eggs, as well as weight of the shell, share of the shell in the total mass of eggs, thickness and puncture force of the shell.

The results of research show that the length of egg is 57.00 mm, width 44.59 mm with a coefficient of variation from 2.7 to 1.4%. The thickness of egg shell is on average 0.39 mm, in range from 0.377 to 0.416 mm. The share of shell is 10.54% of average weight of eggs (62.43 g). The quality of the tested eggs was quite uniform because the puncture force of egg shell ranged from 20.35 to 23.97 N.

The research results are important for cage construction, design of egg collection equipment, design of egg packaging, and applicable in selection for obtaining new genotypes of laying hens with increased resistance to egg breaking.

Key words: Eggs strength, methods for determining the quality - egg strength, shell puncture force, physical properties of eggs.

Acknowledgment: This study was supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the R. of Serbia, Contract No. 451-03-9/2021-14.

Prijavljen: 20.04.2021.

Submitted:

Ispravljen: 12.05.2021.

Revised:

Prihvaćen: 16.05.2021.

Accepted: