

Sistem za regulaciju i daljinsko očitavanje temperature u procesu vještačke inkubacije jaja

Nataša Popović, *Member, IEEE*, Božidar Popović, *Member, IEEE*

Apstrakt—Prema podacima Ujedinjenih nacija, meso živine je primarni pokretač rasta ukupne proizvodnje mesa na svjetskom nivou. Kratak proizvodni ciklus ove vrste mesa, kao i napredak u genetici, briga o zdravlju životinja, način njihove ishrane, uslovi uzgoja i okruženje za uzgoj omogućavaju proizvođačima da brzo odgovore na potrebe tržišta. Izlijevanje treba da se sprovedi na odgovarajući način kako bi se maksimizirao broj izleženih zdravih pilića i kako bi se smanjila njihova smrtnost. Kada se za inkubaciju jaja koriste vještački inkubatori, važno je pratiti i kontrolisati ambijentalne uslove koji u njima vladaju. Ambijentalni uslovi se odnose na temperaturu i vlažnost, pri čemu je održavanje temperature na određenoj vrijednosti unutar inkubatora od najveće važnosti. U ovom radu opisan je sistem za regulaciju i daljinsko praćenje vrijednosti temperature u vještačkom inkubatoru u kome se inkubiraju kokošija jaja. Za regulaciju temperature projektovan je PID (proporcionalno-integralni-derivativni) regulator koji održava temperaturu na 37,8°C, dok su očitavanja temperature dostupna preko veb pretraživača. Predloženi sistem predstavlja jednostavno, jeftino ali veoma efikasno rješenje koje obezbjeđuje neophodne uslove za pravilan razvoj embriona unutar jaja i primarno je namijenjen malim proizvođačima.

Ključne reči — živinarstvo; vještački inkubator; regulacija temperature; Arduino; Internet of Things.

I. UVOD

Ujedinjene nacije u izvještaju datom u [1] predviđaju da će potrošnja mesa koje potiče od svih vrsta živine porasti na 145 miliona tona do 2029. godine, odnosno da će meso živine činiti 50% ukupnog konzumiranog mesa na svjetskom nivou. Ova činjenica govori da će meso živine ostati primarni pokretač rasta proizvodnje mesa uopšte, čineći polovinu od ukupnog proizvedenog mesa u narednoj deceniji. Kratak proizvodni ciklus mesa živine, kao i brzi razvoj u oblasti genetike, savremene metode brige o zdravlju svih vrsta živine, način njihove ishrane, uslovi uzgoja i okruženje za uzgoj omogućavaju proizvođačima da brzo odgovore na potrebe tržišta.

Za ostvarenje navedenih predviđanja potrebno je obezbijediti optimalne uslove u svim fazama uzgoja živine i proizvodnje mesa od živine. U fazi izvođenja pilića važna etapa vezana je za proces inkubacije jaja. Inkubacija jaja je

proces u kojem se pri optimalnim vrijednostima temperature i vlažnosti vazduha iz oplođenih jaja izliježu pilići. Izvođenje pilića može biti prirodno i vještačko. U prirodnom izvođenju kokoška obezbjeđuje sve neophodne uslove tako što sjedi na jajima (obično do 15 komada), redovno ih okreće i inkubira dok se ne izlegu pilići. Vještačko izvođenje podrazumijeva korišćenje vještačkih inkubatora koji imitiraju prirodni proces izvođenja tako što automatski održavaju neophodne uslove za inkubaciju velikog broja jaja i obavljaju ostale neophodne radnje potrebne za uspješno izlijevanje pilića. Tokom inkubacije, oplođena jaja treba da su izložena toploti kako bi se zagrijala i kako bi se omogućio pravilan razvoj embriona u pile. Osim inkubacije, postavljanje, smještanje i okretanje jaja treba da se obavljaju pravilno kako bi se maksimizirao broj izleženih zdravih pilića i smanjila stopa uginuća.

U vještačkoj inkubaciji, uspješno izlijevanje zavisi od pravilnog održavanja odgovarajućih uslova ambijenta unutar inkubatora (temperatura, vlažnost, kvalitet vazduha), posebno u fazi inkubacije, od kojih je temperatura najkritičnija i ima najveći uticaj na povoljan ishod izvođenja pilića [2]. Temperatura ambijenta je različita za različite vrste živine i različite faze izvođenja pilića, ali u opštem slučaju ona treba da se kreće između 37°C i 38 °C [3].

Savremeni komercijalni automatizovani vještački inkubatori su opremljeni jedinicama za grijanje i hlađenje, ovlaživačima vazduha, ventilacionim sistemom i mehanizmom za okretanje jaja [3]. Industrijski inkubatori velikih razmjera mogu da skladište od nekoliko stotina do nekoliko hiljada jaja, dok manji uzgajivači koji proizvode piliće za vlastite potrebe, obično koriste vještačke inkubatore u koje se smješta nekoliko desetina jaja. Mali uzgajivači mogu da koriste i nekomercijalne vještačke inkubatore koji se izrađuju po njihovim specifičnim zahtjevima i potrebama uzgoja a koji imaju sve funkcionalnosti komercijalnih inkubatora koji su skupi i nisu isplativi za inkubaciju manjeg broja jaja. Ovi inkubatori se mogu efikasno realizovati hardverom i softverom Interneta stvari (*Internet of Things-IoT*), a za regulaciju ambijentalnih uslova mogu se koristiti različite tehnike i metode iz oblasti sistema automatskog upravljanja (npr. projektovanje PID ili fazi regulatora). Različite razvojne ploče iz domena IoT su adekvatne za upotrebu u ovakvim rješenjima, pa je tako ploča Raspberry Pi korišćena u [4] i [5], a Arduino u [6]-[8]. PID upravljanje je korišćeno u [6] i [9], dok je fazi upravljanje implementirano u [10] i [11]. U [12] je predložen pametni automatski balansirani sistem sa Android aplikacijom i Bluetooth modulom za bežičnu komunikaciju, dok su autori u [13] razvili regulator temperature i relativne vlažnosti sa GSM

Nataša Popović—Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Vuka Karadžića 30, 71123 Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina (e-mail: natasa.popovic@etf.ues.rs.ba), ORCID ID (<https://orcid.org/0000-0002-2812-1993>)

Božidar Popović—Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Vuka Karadžića 30, 71123 Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina (e-mail: bozidar.popovic@etf.ues.rs.ba), ORCID ID (<https://orcid.org/0009-0009-0397-3776>)

modulom i SMS obavještenjima. Termoelektrični inkubator je predložen u radu [14], dok je sistem za inkubaciju jaja sa automatskom regulacijom temperature u zatvorenoj povratnoj sprezi opisan u [15].

U ovom radu opisan je sistem razvijen za regulaciju i daljinsko praćenje vrijednosti temperature u vještačkom inkubatoru u kome se legu kokošija jaja. Za regulaciju temperature projektovan je PID regulator, koji održava temperaturu na 37,8°C. Očitavanja temperature su dostupna preko veb pretraživača, odnosno Internet veze. Predloženi sistem predstavlja jednostavno, jeftino ali veoma efikasno i nadogradivo rješenje namijenjeno malim proizvođačima koje obezbjeđuje neophodne temperaturne uslove za pravilan razvoj embriona.

Rad je organizovan na sljedeći način. U drugom poglavlju su date osnovne karakteristike vještačkih inkubatora i temperaturni uslovi koji treba da su zadovoljeni u uslovima vještačke inkubacije. U trećem poglavlju opisan je razvoj sistema za regulaciju i daljinsko praćenje vrijednosti temperature u vještačkom inkubatoru u kome se inkubiraju kokošija jaja. Na kraju su dati zaključci rada i budući pravci istraživanja.

II. VJEŠTAČKA INKUBACIJA

A. Vještački inkubatori

Vještačko izvođenje podmlatka kod ptica u prirodi zabilježeno je veoma davno. Poznato je da ptica *Eulipoa Wallacei* koja naseljava indonežanska ostrva svoja jaja zakopava na obali okeana u pijesak na dubinu od 35 cm do 60 cm i ostavlja ih da se, pod dejstvom sunčeve toplote i talasa koji im obezbjeđuju vlagu, u njima pravilno razvija embrion a zatim izlegu zdravi ptići [16]. U ovom primjeru pijesak igra ulogu vještačkog inkubatora dok sunčeva toplota i talasi obezbjeđuju najneophodnije ambijentalne uslove za razvoj embriona - temperaturu i vlažnost.

Prvi vještački inkubatori koje je čovjek konstruisao i koristio za vještačko izvođenje pilića potiču iz starog Egipta i Kine i datiraju iz perioda od prije dvije do tri hiljade godine [17],[18]. Ovi inkubatori su se gradili od blata i gline, zagrijavali su se ugljem i imali su ventilacione otvore. Temperatura je regulisana jačinom vatre koja je ložena radi zagrijavanja prostora i otvaranjem ventilacionih otvora, a vlažnost vazduha prekrivanjem jaja navlaženom jutom. Tek krajem 19. vijeka, kada je konstruisan prvi termometar i kada je počela intenzivna upotreba električne energije, bilo je moguće dizajnirati vještačke inkubatore koji su mogli adekvatnije održavati ambijentalne uslove za inkubaciju jaja.

Ekspanzija u proizvodnji mesa živine iz šezdesetih godina prošlog vijeka i razvoj digitalnih računara i drugih elektronskih komponenti kao i industrijska automatizacija omogućili su proizvodnju poluautomatizovanih i automatizovanih vještačkih inkubatora. Ovi inkubatori su imali automatske ovlaživače vazduha, automatsku regulaciju temperature sa odstupanjem od 0,1°C, automatsko okretanje jaja 24 puta u toku dana, alarmne sisteme za slučaj pojave bilo kakvog problema, digitalne displeje za prikaz svih relevantnih

parametara koji su praćeni, a kompletan rad inkubatora je bio kontrolisan i vođen preko centralnog računara. Novi milenijum je omogućio sofisticirane tehnologije koje su se mogle iskoristiti za bolje praćenje i regulaciju parametara sredine unutar inkubatora. Današnji komercijalni inkubatori, osim standardnih dijelova, imaju automatizovane sisteme za mjerenje nivoa ugljen-dioksida, za procjenu težine embriona, za mjerenje temperature jaja *in situ* (temperatura ljuske i unutrašnjosti) i svi ti podaci se, zajedno sa svim ostalim, koriste u svrhu optimalne regulacije grijanja, hlađenja, ovlaživanja i ventilacije unutar inkubatora. Komercijalni vještački inkubatori se u opštem slučaju mogu podijeliti na više načina [18]. Prema načinu smještanja jaja dijele se na

- jednoslojne (vodoravne ili pljosnate) i
- višeslojne (etažne ili duboke).

Prema načinu zagrijavanja dijele se na

- inkubatore koji se zagrijavaju toplom vodom i
- inkubatore koji se zagrijavaju toplim vazduhom.

Prema kapacitetu dijele se na:

- male (50-600 jaja),
- srednje (600-5000) i
- velike (više desetina i stotina hiljada jaja).

Na Sl. 1 prikazani su jednoslojni i višeslojni inkubatori.



Sl. 1. Jednoslojni i višeslojni inkubatori za jaja [19]

Brzi razvoj paradigme Interneta stvari tokom posljednje decenije omogućio je proizvodnju pametnih inkubatora. Ovi inkubatori su veoma efikasni za upotrebu u malim uzgajalištima i omogućavaju jednostavnu regulaciju i praćenje parametara ambijenta u kome se odvija inkubacija. Osim toga, imaju mogućnost za uspostavljanje konekcije sa Internetom preko žičanih i bežičnih komunikacionih mreža, što nije slučaj sa uobičajenim vještačkim inkubatorima, čime je uzgajivačima pilića omogućeno da prate sve parametre u bilo koje vrijeme sa bilo kog mjesta. Najvažniji dijelovi pametnog inkubatora su mikrokontroler i različite vrste senzora, a brojne razvojne IoT platforme su veoma pogodne za izgradnju sistema za mjerenje, regulaciju i praćenje parametara sredine u pametnim inkubatorima.

Prednosti korišćenja vještačkih inkubatora se iskazuju kroz manju angažovanost uzgajivača, veliki kapacitet koji se odnosi na broj inkubiranih jaja, bolje higijenske uslove, te činjenicu da se izvođenje pilića i uzgajanje živine može obavljati u bilo koje doba godine.

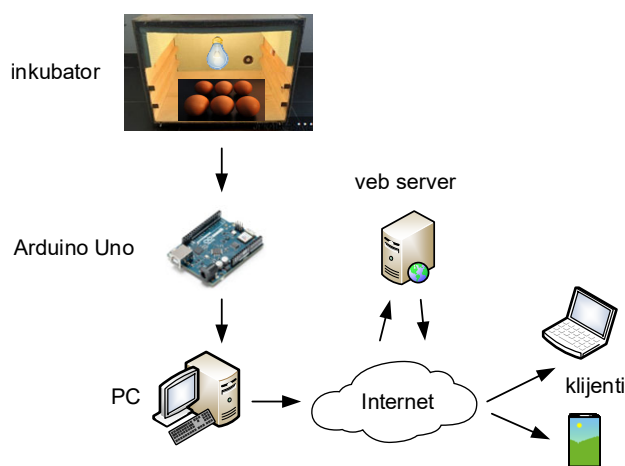
B. Temperaturni uslovi za inkubaciju jaja

Optimalna temperatura inkubacije rezultira izljetanjem velikog broja zdravih pilića sa dobrim performansama [20]. Temperaturu u procesu inkubacije potrebno je podesiti u skladu sa zahtjevima embriona i fetusa u različitim fazama inkubacije. Za različite vrste živine proces inkubacije vremenski različito traje. Na primjer, kod kokošijih jaja inkubacija traje 21 dan, i odvija se u dvije etape od čega prva traje od prvog do osamnaestog dana, a druga od devetnaestog do dvadeset prvog dana. Temperatura u inkubatoru u ovim etapama treba biti različita.

Optimalna temperatura u inkubatoru za inkubaciju jaja svih vrsta živine treba da bude između 37°C i 38°C [3]. Da bi se temperatura ljuske jajeta održala na odgovarajućoj vrijednosti, temperatura u inkubatoru mora biti između $37,5^{\circ}\text{C}$ i 38°C [20]. Temperatura ljuske jajeta varira tokom inkubacije, ali odstupanja do $0,1^{\circ}\text{C}$ u odnosu na temperaturu u inkubatoru ne utiču na pozitivan ishod izljetanja pilića. U [21] navodi se da se najbolje izljetanje kod inkubatora koji se zagrijevaju toplim vazduhom, postiže održavanjem temperature na vrijednosti od $37,8^{\circ}\text{C}$ do 38°C , sa fluktuacijama manjim od $0,5^{\circ}\text{C}$. Slično, u [22] se sugerise da temperatura u inkubatoru treba da bude između $37,5^{\circ}\text{C}$ i 38°C za piliće tokom prvih osamnaest dana inkubacije. U fazi izljetanja, od devetnaestog dana, temperatura treba da je između $36,1^{\circ}\text{C}$ i $37,2^{\circ}\text{C}$ [23].

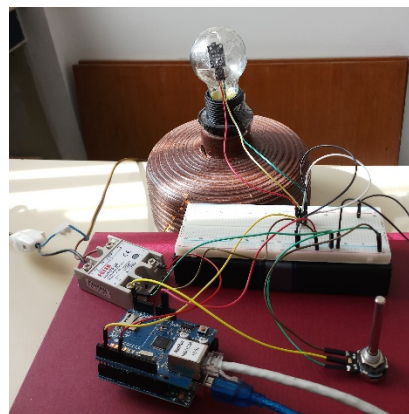
III. RAZVOJ SISTEMA ZA REGULACIJU I DALJINSKO PRAĆENJE VRIJEDNOSTI TEMPERATURE U VJEŠTAČKOM INKUBATORU

Na Sl. 2 prikazan je funkcionalni dijagram razvijenog sistema za regulaciju i daljinsko praćenje vrijednosti temperature u vještačkom inkubatoru u kome se inkubiraju kokošija jaja. Sistem mjeri i reguliše temperaturu u inkubatoru, očitane vrijednosti temperature pohranjuju se u bazu podataka i korisniku se daje mogućnost uvida u izmjerene vrijednosti preko veb pretraživača. Sistem je realizovan hardverom Interneta stvari, a regulacija temperature je realizovana projektovanjem PID regulatora u softverskom dijelu sistema.



Sl. 2. Funkcionalni dijagram razvijenog sistema

Hardverski dio sistema, prikazan na Sl. 3, se sastoji od mikrokontrolera, grijača, senzorskog modula za očitavanje temperature, relaja, potencijometra i komunikacionog modula.



Sl. 3. Eksperimentalna postavka razvijenog sistema

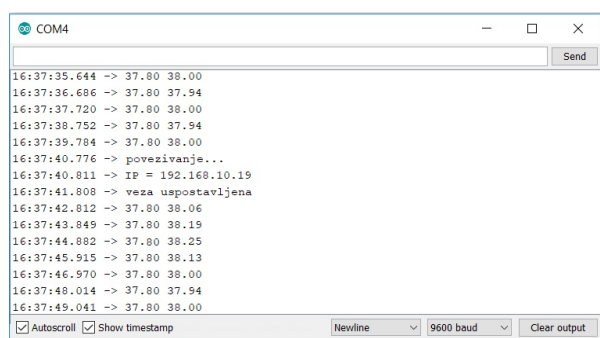
Sistem je baziran na razvojnoj ploči Arduino Uno [24] koja obezbjeđuje napajanje senzorskog modula, očitava vrijednosti temperature generisane na njegovom izlazu, te generiše digitalni signal koji uključuje i isključuje relej, odnosno grijač. Kao grijač korišćena je sijalica sa žarnom niti snage 40 W. Releji SSR-25DA [25] služi da trenutno uključi i isključi grijač u zavisnosti od izmjerene temperature. Potencijometar se koristi za ručno postavljanje vrijednosti referentne temperature. Referentna temperatura je podešena na $37,8^{\circ}\text{C}$.

Za mjerenje temperature unutar inkubatora korišćen je senzorski modul koji ima integrisan senzor temperature DS18B20 i otpornik od $4,7\text{ k}\Omega$. Senzor temperature DS18B20 [26] je digitalni senzor koji omogućava mjerenje temperature izražene direktno u stepenima celzijusa. Za komunikaciju sa mikrokontrolerom koristi jednu magistralu za prenos podataka preko koje može i da se napaja naponom od 3 V do $5,5\text{ V}$.

Veza između ploče Arduino Uno i interneta omogućena je komunikacionim modulom, odnosno ethernet modulom [27] iz familije dodatnih modula za proširivanje funkcionalnosti ploča Arduino.

Softverski dio sistema u kojem je implementirana upravljačka logika za očitavanje i regulaciju temperature napisan je u okruženju Arduino IDE. Da bi bio podržan rad svih hardverskih komponenti, u kodu je, na samom početku, uključen određeni broj predefinisanih biblioteka. Za komunikaciju sa digitalnim senzorom temperature uključena je biblioteka OneWire.h. Komunikacija mikrokontrolera i perifernih uređaja odvija se preko serijskog porta za šta je neophodna biblioteka SPI.h. Za funkcionisanje ethernet modula i povezivanje Arduino ploče na Internet korišćena je biblioteka Ethernet.h, a da bi bio podržan rad PID regulatora uključena je biblioteka PID_v1.h. Komunikacija između klijenta i servera je ostvarena specifikacijom odgovarajućih MAC i IP adresa. Nizom naredbi za inicijalizuju ethernet konekcije, za upućivanje HTTP zahtjeva i slanje podataka server, te za izvršavanje PID petlje omogućena je regulacija temperature i komunikacija sa projektovanom bazom podataka. Ispis vrijednosti relevantnih parametara u IDE okruženju se može pratiti pomoću serijskog monitora (što je

prikazano na Sl. 4) ili u grafičkom okruženju putem serijskog plotera.



Sl. 4. Prikaz serijskog monitora

Za pohranjivanje izmjerenih vrijednosti temperature, pomoću MySQL sistema kreirana je baza podataka u okviru koje se nalazi tabela sa parametrima od interesa. Sistem svake sekunde očitava temperaturu i u bazu podataka svakih pola minuta upisuje prosječnu temperaturu trideset uzastopnih mjerenja. Kreirane su tri .php datoteke koje služe za uspostavljanje veze sa bazom podataka, za komunikaciju ploče Arduino sa bazom podataka i za prikaz vrijednosti parametara iz baze podataka u veb pretraživaču. Kao veb server korišćen je Apache HTTP server.

Testiranjem sistema u laboratoriji utvrđeno je da je sistem u stanju da na adekvatan način reguliše temperaturu i održava je u granicama koje su preporučene u dostupnoj literaturi. Na Sl. 5 dat je dio prikaza vrijednosti izmjerene i referentne temperature u veb pretraživaču generisan iz baze podataka koji potkrepljuju rezultate testa. Osim toga, generisanjem odskočnog odziva sistema na jediničnu pobudu ustanovljeno je da se sistem ponaša na željeni način i da je sposoban da temperaturu održava na zadatoj vrijednosti.

ID	Датум и време	Температура	Реф. температура
5273	2023-02-27 13:04:12	37.79	37.80
5272	2023-02-27 13:03:40	38.00	37.80
5271	2023-02-27 13:03:07	37.94	37.80
5270	2023-02-27 13:02:35	37.03	37.80
5269	2023-02-27 13:02:03	37.94	37.80
5268	2023-02-27 13:01:31	36.47	37.80
5267	2023-02-27 13:00:59	37.45	37.80
5266	2023-02-27 13:00:27	38.13	37.80
5265	2023-02-27 12:59:55	37.84	37.80
5264	2023-02-27 12:59:23	37.03	37.80
5263	2023-02-27 12:58:50	37.79	37.80
5262	2023-02-27 12:58:18	38.13	37.80
5261	2023-02-27 12:57:46	37.56	37.80
5260	2023-02-27 12:57:13	36.95	37.80
5259	2023-02-27 12:56:41	37.45	37.80
5258	2023-02-27 12:56:09	37.81	37.80
5257	2023-02-27 12:55:37	38.02	37.80
5256	2023-02-27 12:55:04	37.94	37.80
5255	2023-02-27 12:54:32	37.56	37.80
5254	2023-02-27 12:54:00	38.00	37.80
5253	2023-02-27 12:53:22	37.56	37.80
5252	2023-02-27 12:52:55	37.88	37.80
5251	2023-02-27 12:52:23	38.13	37.80

Sl. 5. Prikaz vrijednosti izmjerene i referentne temperature u veb pretraživaču

IV. ZAKLJUČAK

Od svih ambijentalnih uslova koji treba da vladaju u vještačkom inkubatoru, održavanje temperature na optimalnoj vrijednosti je od najvećeg značaja da bi se izlegao maksimalan broj pilića, odnosno da bi stopa uginuća bila minimalna. Opisani sistem za regulaciju i daljinsko praćenje vrijednosti temperature u inkubatoru za inkubaciju kokošijih jaja predstavlja jednostavno, jeftino i efikasno rješenje namijenjeno malim farmama pilića, u kojima se izliježe mali broj pilića, kako za potrebe vlastitog domaćinstva, tako za potrebe prodaje trećim licima. Sistem je zasnovan na hardverskim komponentama i softveru iz domena Interneta stvari i koristi internet vezu za prikazivanje vrijednosti temperature izmjerene unutar inkubatora. Korisnici sistema mogu pristupiti očitanjima senzora temperature preko veb pretraživača. Regulacija temperature u razvijenom sistemu omogućena je PID regulatorom. Testovima u laboratorijskim uslovima utvrđeno je da sistem održava temperaturu u granicama propisanih koje garantuju pravilan razvoj embriona i izlijevanje zdravih pilića. Razvijeni sistem se u opisanom obliku može koristiti ne samo za inkubaciju kokošijih jaja, nego i za inkubaciju jaja svih ostalih vrsta živine za šta je potrebno samo da se podesi odgovarajuća vrijednost referentne temperature. Ovaj rad predstavlja početak istraživanja autora u oblasti primjene koncepta Interneta stvari u poljoprivredi i ima veliki potencijal za dalju nadogradnju. Funkcionalnost predloženog sistema može se proširiti dodavanjem senzora vlažnosti i kvaliteta vazduha, Wi-Fi modula, slanjem obavještenja na pametni telefon i slično, što će biti predmet budućih istraživanja. Pored toga, izvođenjem malih modifikacija razvijenog sistema moguće je dobiti sisteme koji bi se mogli efikasno koristiti u brojnim aplikacijama vezanim za praćenje i regulaciju parametara sredine i poljoprivredi (plastenici, različita skladišta, silosi za čuvanje žitarica, štale, itd.). Ovo je veoma značajno i sa aspekta digitalne transformacije kroz koju društvo trenutno prolazi a koja se u oblasti poljoprivrede ogleda u konceptu digitalne poljoprivrede. Digitalna poljoprivreda treba da vodi održivoj poljoprivredi, čiji su sastavni dio mali proizvođači, o kojoj se danas mnogo raspravlja a bez koje će budućnost biti nezamisliva.

LITERATURA

- [1] OECD/Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020). "Meat", in OECD-FAO Agricultural Outlook 2020-2029, OECD Publishing, Paris/Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. DOI: <https://doi.org/10.1787/29248f46-en>
- [2] P. J Clauer (2009). Incubating Eggs, Virginia Cooperative Extension, Virginia Polytechnic Institute and State University, www.ext.vt.edu
- [3] N. A. French (2009). The Critical Importance of Incubation Temperature, Avian Biology Research, 2(1-2), 55–59. doi:10.3184/175815509x431812.
- [4] I. G. P. S. S. Adnyana, I. N. Piarsa, K. S. Wibawa (2018). Internet of Things: Control and Monitoring System of Chicken Eggs Incubator Using Raspberry Pi, International Journal of Internet of Things, 7(1): 16-21, DOI: 10.5923/j.ijit.20180701.03.
- [5] S. Purwanti, A. Febriani, M. Mardeni, Y. Irawan (2021). Temperature Monitoring System for Egg Incubators Using Raspberry Pi3 Based on

- Internet of Things (IoT), Journal of Robotics and Control (JRC) Volume 2, Issue 5, DOI: 10.18196/jrc.25105.
- [6] S. Shafiudin, N. Kholis (2018). Monitoring System and Temperature Controlling on PID Based Poultry Hatching Incubator. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 336, 012007. doi:10.1088/1757-899x/336/1/012007.
- [7] E. J. Bacalso, N. Sobejana (2021). Development and Construction of Poultry Egg Incubator Temperature and Humidity Controller (Peitch) With SMS Notification, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3779301>.
- [8] S. Gutierrez, G. Contreras, H. Ponce, M. Cardona, H. Amadi, J. Enriquez-Zarate, (2019). Development of Hen Eggs Smart Incubator for Hatching System Based on Internet of Things, 2019 IEEE 39th Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXIX). doi:10.1109/concapanxxxix47272.2019.897698.
- [9] P. E. Ohpagu, A. W. Nwosu (2016). Development and Temperature Control of Smart Egg Incubator System for Various Types Egg, European Journal of Engineering and Technology, vol. 4, no. 2, pp. 13–21
- [10] D. O. Aborisade, S. Oladipo (2014). Poultry House Temperature Control Using Fuzzy-PID Controller, International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), Volume 11, Number 6, pp. 310-314, DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V11P259
- [11] R. Rakhmawati, Irianto, F. D. Murdianto, A. Luthfi, A. Y. Rahman (2019). Thermal Optimization on Incubator using Fuzzy Inference System based IoT. 2019 International Conference of Artificial Intelligence and Information Technology (ICAIIIT). doi:10.1109/icaait.2019.8834530
- [12] M. T. Islam Juel, M. S. Ahmed, (2019). A Smart Auto-Balanced System for Incubation Process, 2019 International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST). doi:10.1109/icrest.2019.8644295
- [13] E. J. Bacalso, N. Sobejana (2021). Development and Construction of Poultry Egg Incubator Temperature and Humidity Controller (Peitch) With SMS Notification, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3779301>
- [14] T. Suriwong, S. Banthuek, E. Singhadet, S. Jiajitsawat (2017). A new prototype of thermoelectric egg incubator integrated with thermal energy storage and photovoltaic panels, Maejo Int. J. Sci. Technol. 11(02), 148-157
- [15] S.M. Lawal, M. Umar, I. Muhammad (2014). Design and Performance Evaluation of an Automatic Temperature Control System in an Incubator, International Journal of Applied Electronics in Physics & Robotics, [S.l.], v. 2, n. 1, p. 8-12
- [16] Nur Sjafani, L. Hakim, V.M.A. Nurgiartiningih, S. Suyadi (2015), The habitat and estimation population of mamoa bird (Eulipoa Wallacei) in Galela-Halmahera; JBES, V7, N2, August, P1-9, <https://innspub.net/the-habitat-and-estimation-population-of-mamoa-bird-eulipoa-wallacei-in-galela-halmahera/>
- [17] M. Paniago, Artificial incubation of poultry eggs - 3,000 years of history -, Ceva Animal Health Asia Pacific, Issue No.2, 2005
- [18] V. Petrović, Inkubiranje jaja-Tov pilića, NOLIT, Beograd, 1991.
- [19] <https://el-ka.hr/inkubatori/>
- [20] I.C. Boleli, V.S. Morita, J.B. Matos Jr., M. Thimotheo, V.R. Almeida (2016). Poultry Egg Incubation: Integrating and Optimizing Production Efficiency, Brazilian Journal of Poultry Science, Special Issue 2 Incubation/001-016, <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9061-2016-0292>
- [21] T. W. Smith, (2004). Care and incubation of hatching eggs, Mississippi State University Extension Service
- [22] G.S. Archer, A.L. Cartwright (2018). Incubating and hatching eggs, Texas A&M AgriLife Extension Service, AgriLifeBookstore.org. EPS-001 7/13
- [23] A. Sözcü, A. İpek, Incubation Conditions Affect Chick Quality and Broiler Performance, Journal of Agricultural Faculty of Uludag University, 2013, Vol. 27, No. 2, 139-146
- [24] Arduino, <http://www.arduino.cc>
- [25] Solid-state relay, <https://datasheetspdf.com/pdf-file/789331/Fotek/SSR-25DA/1>
- [26] Digital sensor, <https://osoyoo.com/2018/11/14/arduino-lesson-ds18b20-temperature-sensor-module/>
- [27] Arduino Ethernet Shield, <https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoEthernetShield>

ABSTRACT

According to the report of the Food and Agriculture Organization of the United Nations, poultry meat is the primary driver of growth in total meat production at the world level. The short production cycle of this type of meat, as well as advances in genetics, animal health care, feeding methods, breeding conditions and environment allow producers to quickly respond to market needs. Hatching should be done properly to maximize the number of healthy chicks hatched and to minimize their mortality. When artificial incubators are used to incubate eggs, it is important to monitor and control the ambient conditions prevailing in them. Ambient conditions refer to temperature and humidity, whereby maintaining the temperature at a certain value inside the incubator is of utmost importance. This paper describes a system for regulation and remote monitoring of temperature values in an artificial incubator in which chicken eggs are incubated. For temperature control, a PID (proportional-integral-derivative) controller was designed to maintain the temperature at 37.8°C, while temperature readings are available via a web browser. The proposed system is a simple, low-cost but very efficient solution that provides the necessary conditions for the proper development of the embryo and is primarily intended for small hatcheries.

System for control and remote monitoring of temperature in the egg artificial incubation process

Nataša Popović, Božidar Popović