

Praćenje životnog ciklusa prehrambenih proizvoda

Vule Reljić, Gordana Ostojić, Dragan Kukolj, Laslo Tarjan, Milovan Lazarević

Fakultet tehničkih nauka
Univerzitet u Novom Sadu
Novi Sad, Republika Srbija

vuketa90@uns.ac.rs, goca@uns.ac.rs, dragan.kukolj.inopat@gmail.com, laci@uns.ac.rs, laza@uns.ac.rs

Sažetak— U ovom radu biće prikazan način na koji je moguće predvideti promenu roka trajanja prehrambenih proizvoda, kao što su razne vrste voća i povrća, s posebnim osvrtom na paradajz. Pored toga, biće prikazani i načini na koje je moguće detektovati bolesti lista i ploda paradajza, odnosno mehanička oštećenja istog, koja utiču na predviđeni rok trajanja, korišćenjem dve metode – spektroskopije i obrade slike. Koristeći prethodno pomenute postupke, moguće je u potpunosti ispratiti životni ciklus prehrambenog proizvoda, u konkretnom slučaju, paradajza i pravovremenom reakcijom isti produžiti u onolikoj meri u kojoj to okolnosti dozvoljavaju.

Ključne riječi- prehrambeni proizvod; predviđanje roka trajanja; infracrvena spektroskopija; obrada slike

I. UVOD

Prehrambeni proizvodi predstavljaju proizvode kojima je s jedne strane rok trajanja kratak, a s druge strane životni ciklus dugačak. Rok trajanja predstavlja vremenski okvir u kojem je preporučljivo upotrebiti proizvod. Pri tome propisani uslovi držanja/čuvanja moraju biti zadovoljeni. Ovi uslovi najčešće se odnose na temperaturu koja treba da bude u tačno definisanim granicama. Ukoliko se ovi uslovi ne poštuju, kao posledica može nastati smanjenje roka trajanja, smanjenje bezbednosti kao i negativna promena nutritivnih svojstava proizvoda.

U današnje vreme postoji veliki broj uticaja na koje treba obratiti pažnju prilikom iznošenja nekog proizvoda na tržište. Da bi postojeći kupci ostali verni i da bi se pridobili kupci konkurentnih proizvoda, neophodno je konstantno usavršavati postojeće proizvode i preduhitriti dejstvo konkurencije. U slučaju prehrambenih proizvoda, situacija je prilično specifična pošto je kupcu uvek neophodno ponuditi kvalitetan i svež proizvod. Iz tog razloga nije teško zaključiti da je neophodno konstantno pratiti životni ciklus prehrambenih proizvoda, posebno ako je reč o voću i povrću, jer njihov životni vek itekako zavisi od uslova transporta, skladištenja i drugih uslova [1].

Obezbeđenje sledljivosti u životnom ciklusu prehrambenih proizvoda predstavlja veoma značajne aktivnosti posebno iz razloga sve češće pojave neželjenih materija (pesticidi, teški metali, itd.) u prehrambenim proizvodima. Sledljivost proizvoda predstavlja efikasan način da se poveća sigurnost i kvalitet hrane i da se redukuju troškovi povlačenja neispravne robe sa tržišta [2]. Pored toga sledljivost utiče i na unapređenje proizvodnih strategija preduzeća [3], kao i na upravljanje proizvodnjom [4]. Sledljivost proizvoda ima izuzetno veliki

značaj u industriji lako kvarljive robe [5]. Prema studiji predstavljenoj u [6] potrošači su spremni da plate i značajno veću cenu za one proizvode za koje postoji transparentnost podataka o sledljivosti, jer ovaj sistem u mnogome utiče na poverenje potrošača u određeni proizvod [7], posebno ako su u pitanju lako kvarljivi proizvodi i proizvodi sa kratkim rokom trajanja.

Usled neadekvatnog skladištenja ili pojave mehaničkih oštećenja do kojih može doći prilikom transporta, dolazi do promene roka trajanja i o tome bi trebalo informisati kupca. Da bi se uspešno predvidela promena roka trajanja prehrambenog proizvoda, neophodno je posedovati informaciju o tome u kojoj fazi svog životnog ciklusa se proizvod nalazi i o tome kakvi su trenutni uslovi skladištenja proizvoda. Jedan od najvažnijih parametara od kojih zavisi svežina i kvalitet prehrambenog proizvoda je temperatura, koja posebno dolazi do izražaja u takozvanim hladnim lancima [8], odnosno kod proizvoda koji se moraju držati zaleđeni, kao što je, na primer, slučaj sa ribom. Na svežinu proizvoda u velikoj meri utiče i relativna vlažnost vazduha. Na promenu roka trajanja prehrambenog proizvoda mogu da utiču i oboljenja izazvana raznim oblicima virusa, bakterija ili gljivičnih infekcija do kojih može doći prilikom razvoja i rasta proizvoda, ili mehanička oštećenja do kojih može doći prilikom transporta ili skladištenja istog. Ovo se uglavnom odnosi na voće i povrće, te na mesne i mlečne preradevine. Detekcija ovih nedostataka može se izvršiti korišćenjem velikog broja metoda od kojih su najčešće u upotrebi infracrvena spektroskopija, magnetna spektroskopija, fluorescentna obrada slike i slično [9]–[11].

U ovom radu prikazan je način na koji je moguće pratiti životni ciklus paradajza kroz predviđanje promene roka trajanja istog, odnosno detekciju oboljenja lista ili ploda paradajza ili njihovih mehaničkih oštećenja. Važno je napomenuti da je postupak moguće primeniti i na bilo koju drugu vrstu voća i povrća, kao i na mesne i mlečne preradevine.

Rad je organizovan na sledeći način: u poglavlju II prikazane su postavke eksperimenata, odnosno način na koji je moguće konstatno pratiti životni ciklus prehrambenih proizvoda. U poslednjem poglavlju - poglavlju III, prikazani su i izvedeni najvažniji zaključci i dati su pravci daljih istraživanja.

II. MATERIJALI I METODE

Kao što je već prethodno naglašeno, u ovom radu biće prikazan način na koji je moguće pratiti životni ciklus paradajza, čime se omogućava uspostavljanje sledljivosti ovog prehrambenog proizvoda. Da bi se praćenje životnog ciklusa moglo smatrati uspešnim, neophodno je omogućiti konstantno predviđanje promene roka trajanja.

A. Predviđanje roka trajanja paradajza

Za uspešno predviđanje roka trajanja odgovarajućeg proizvoda, neophodno je konstantno prikupljati podatke od interesa i koristiti adekvatan matematički model koji omogućava izvršavanje odgovarajućih proračuna. Jedan od onih koji su najčešće u upotrebi naziva se kinetički model [12] i prikazan je jednačinama (1)-(3):

$$K = K_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{R \cdot T}}, \quad (1)$$

$$A_{t_0} = A_0 - K \cdot t_0, \quad (2)$$

$$\ln A_{t_1} = \ln A_{t_0} - K \cdot t_1, \quad (3)$$

gde je sa K označena brzinska konstanta koja zavisi od temperature i karakteristika samog proizvoda; K_0 je integraciona konstanta; R je univerzalna gasna konstanta ($R = 8,31 \left[\frac{J}{K \cdot mol} \right]$); T je apsolutna temperatura u [K]; E_a je

energija aktivacije u $\left[\frac{J}{mol} \right]$ koja predstavlja minimalnu energiju koju sistem mora imati da bi reakcija započela; A je početna koncentracija reaktanata, a A_{t_0} i A_{t_1} koncentracije reaktanata u trenutku t_0 (vreme skladištenja proizvoda pre obrade) i t_1 (vreme skladištenja proizvoda nakon obrade), koji su izraženi u danima. Jednačina (1) predstavlja Arenijusovu jednačinu koja se koristi za analiziranje uticaja temperature na brzinu hemijske reakcije, a jednačine (2) i (3) predstavljaju jednačine kojima se opisuju hemijske reakcije nultog i prvog reda, respektivno.

Ono što je potrebno naglasiti jeste da se vrednosti koncentracije reaktanata dobijaju izvođenjem odgovarajućih merenja, a vrednosti za brzinsku konstantu i energiju aktivacije se procenjuju na osnovu linearne regresione analize. Kada se govori o koncentraciji reaktanata, misli se na nekoliko

elemenata koji imaju visok stepen uticaja na rok trajanja proizvoda, a to su čvrstoća, viskoznost, količina vlažnosti, količina rastvorljivih suvih materija i slično. Vrednosti prethodno pomenutih elemenata mere se u tačno definisanim vremenskim intervalima, a zatim se, primenom senzorske estimacije (prilikom koje se ocenjuju kvalitet, boja, miris, ukus i druge karakteristike prehrambenih proizvoda) određuje koji elementi imaju najviše uticaja na rok trajanja proizvoda. Važno je napomenuti da se postupak senzorske estimacije odvija u istim vremenskim intervalima kad i postupak merenja vrednosti elemenata od značaja. U određivanju najuticajnijih elemenata pomaže Pirsonov korelacioni koeficijent i to na taj način što se elementi biraju samo ako je korelacioni koeficijent veći od 0,9 (u slučaju pozitivne korelacije), odnosno manji od -0,9 (u slučaju negativne korelacije).

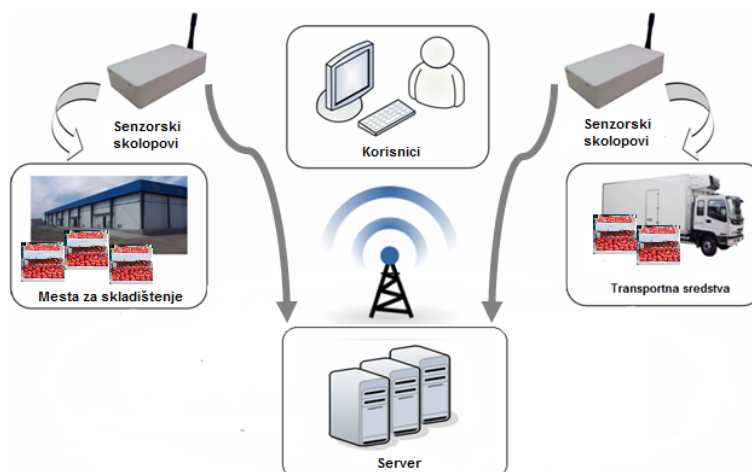
Na samom kraju dolazi se do najvažnijeg dela, a to je zapravo predviđanje roka trajanja proizvoda, odnosno promene u istom. Za tu svrhu koriste se jednačine (4) i (5), koje su iz prethodnih izvedene jednostavnim matematičkim operacijama:

$$t_0 = \frac{A_{t_0} - A_0}{K_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{R \cdot T}}}, \quad (4)$$

$$t_1 = \frac{\ln A_{t_0} - \ln A_0}{K_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{R \cdot T}}}. \quad (5)$$

Za izvođenje samog eksperimenta neophodno je pripremiti nekoliko gajbi svežeg paradajza (ili bilo kog drugog voća i povrća) koje će se skladištiti na različitim temperaturama sve do trenutka dok paradajz ne postane neupotrebljiv za ljudsku ishranu. U prethodno definisanim vremenskim intervalima vrše se merenja parametara od značaja na slučajnim uzorcima (proizvoljno odabranim plodovima iz gajbi). Nakon toga, prema opisanom postupku proračunava se rok trajanja.

Već na početku rada naglašeno je da je izuzetno važno pratiti proizvod kroz sve faze njegovog životnog ciklusa. Na mestima predviđenim za skladištenje proizvoda, bilo tokom same pripreme, bilo na prodajnim mestima, kao i u sredstvima transporta neophodno je postaviti RHT senzore (koji mogu da mere relativnu vlažnost vazduha i temperaturu) i odgovarajuće elektronske sklopove (kao što je prikazano na Sl. 1) koji će, informaciju dobijenu sa senzora, da prenesu do web servera



Slika 1. Arhitektura sistema za praćenje stanja prehrambenog proizvoda i okruženja

bežičnim putem. Za ovu namenu moguće je koristiti GSM (engl. Global System for Mobile Communications) mrežu kao rešenje koje ne zavisi od udaljenosti senzora i web servera iz razloga što su ovi uređaji udaljeni najčešće više desetina ili stotina kilometara, a infrastruktura za drugačiju bežičnu razmenu podataka najčešće nije dostupna. Web server vrši obradu svih dobijenih podataka, i u slučaju promene roka trajanja, obaveštava o tome korisnika putem interneta, kao što je prikazano na Sl. 1. Za ovakvu namenu takođe je predviđena bežična komunikacija.

B. Detekcija bolesti lista ili ploda paradajza

Pored konstantnog praćenja paradajza tokom faza skladištenja, transporta, prodaje i upotrebe u ljudskoj ishrani, paradajz je potrebno pratiti i pre nego što se dobije proizvod za ishranu, odnosno tokom razvoja ploda. U slučaju rane detekcije oboljenja ili oštećenja na listu ili plodu, pravovremenom reakcijom moguće je ista delimično ili u potpunosti ukloniti i na taj način smanjiti kako proizvodne, tako i ekonomske gubitke. Najčešća oboljenja koja se javljaju na listu i plodu paradajza su plamenjača paradajza (izazivač *Phytophthora infestans*), koja se ispoljava u vidu pega maslinaste boje (Sl. 2), crna pegavost lista (izazivač *Alternaria solani*), oboljenje lista izazvano lisnim minerom (izazivač *Tuta absoluta*), koje se ispoljava u vidu svetlih kanalicula ili tunela na listu paradajza i slično. Zbog određenog režima toplote i vlažnosti vazduha, u zaštićenom prostoru kao što su plastenici ili staklenici javljaju se posebne kategorije štetočina paradajza. Prvenstveno su to gljivične bolesti prilagođene visokim temperaturama i zasićenosti vazduha vlagom, a dominantne su lisna plesnivost (izazivač *Fulvia fulva*), siva plesan (izazivač *Botrytis cinerea*), bela trulež (izazivač *Scelerotinia* spp.), te uzročnici patološkog uvenuća i sušenja (izazivači *Verticillium* spp., *Fusarium* spp.) i slično [13]. Ovim je još jednom potvrđeno koliko su temperatura i vlažnost vazduha važni parametri za održavanje svežine povrća i voća.

Za detekciju ovih oboljenja može da se koristi nekoliko metoda, od kojih će u ovom radu biti predstavljene dve – infracrvena spektroskopija i fluorescentna obrada slike. Za detekciju oboljenja primenom infracrvene spektroskopije



Slika 2. Plamenjača paradajza

najčešće se koristi spektrometar sa Furijeovom transformacijom pomoću koga se vrši osvetljavanje lista, odnosno ploda voća ili povrća u tačno definisanim vremenskim intervalima. Infracrvena spektroskopija može da pobudi harmonijske vibracije pa se iste snimaju. Podaci koji se dobijaju ovim postupkom mogu se obrađivati i na računar se prebacuju korišćenjem odgovarajućeg analogno-digitalnog konvertera. Obrada podataka najčešće se radi korišćenjem softvera koji proizvođači isporučuju zajedno sa mernim instrumentom.

Za izvođenje samog eksperimenta neophodno je pripremiti nekoliko zdravih listova i plodova paradajza, kao i nekoliko listova i plodova paradajza namerno zaraženih odgovarajućom infekcijom. Izabrani elementi osvetljavaju se pomoću spektroskopa u unapred definisanim vremenskim intervalima, a onda se nakon statističke obrade podataka izvode odgovarajući zaključci o dobijenim rezultatima.

Za statističku obradu dobijenih podataka mogu se iskoristiti neke od poznatih metoda kao što su: regresiona analiza, koračna analiza razlika i slično. Na primer, moguće je analizirati osetljivost lista i ploda paradajza, kao što je urađeno u radu [9], primenom formule (6):

$$R_s = \frac{R_D - R_0}{R_0} [\%], \quad (6)$$

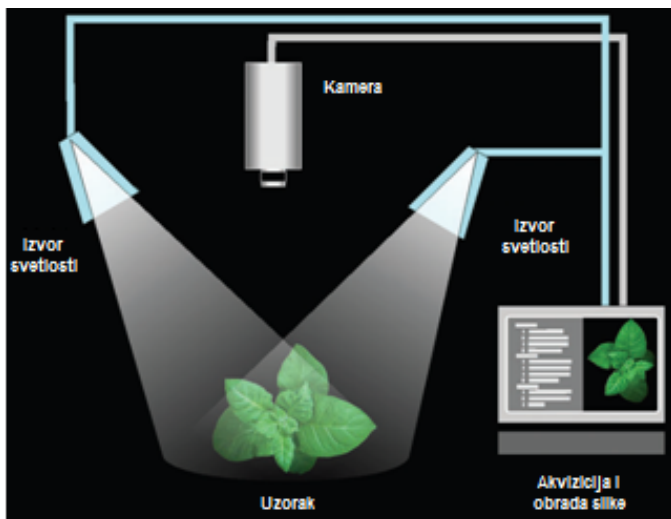
gde je R_0 osetljivost zdravog lista, a R_D osetljivost zaraženog lista.

Pored infracrvene spektroskopije, za detekciju oboljenja ili oštećenja paradajza može da se koristi i obrada slike koja je dobijena nakon prethodnog fluorescentnog osvetljenja lista ili ploda paradajza, kao što je prikazano na Sl. 3. Kao izvor svetlosti, najčešće se koriste ksenonove ili halogene lampe.

Fluorescencija se, na unapred definisanim talasnim dužinama, evidentira korišćenjem CCD (enlg. Charge Coupled Device) uređaja. Regioni elektromagnetnog spektra, koji se koriste kod fluorescentnog snimanja su plavi, zeleni i crveni. Prethodna istraživanja su pokazala da je fluorescentna obrada slike izuzetno efikasna metoda [11] detekcije oboljenja biljaka pošto su prve detekcije oboljenja moguće već nakon dva dana od trenutka unosa virusa u zdrav list.

Za izvođenje samog eksperimenta i u ovom slučaju neophodno je pripremiti nekoliko zdravih i nekoliko zaraženih listova i plodova paradajza, a zatim pristupiti izvođenju samog eksperimenta. Sam eksperiment je potrebno ponoviti nekoliko puta kako bi se dobio što veći broj slika, a zatim analizom istih doći do zaključaka koju bolest paradajza je najlakše detektovati na ovaj način, kao i do podatka koji je optimalan broj slika za detekciju kojeg oboljenja.

Važno je napomenuti da je i ovaj postupak moguće primeniti i na sve ostale vrste voća i povrća, kao i na mlečne i mesne prerađevine. U tim slučajevima, mogla bi se detektovati, na primer, pojava plesni ranije nego što bi ljudsko oko to moglo da detektuje. Većina takvih plesni je bezopasna, ali nisu sve i zato ne bi trebalo rizikovati sa uklanjanjem iste sa tog dela proizvoda (na primer, sira) na kome se i pojavila i nastavkom sa korišćenjem u ishrani. Postoje plesni koje sadrže i mikotoksine, otrovne supstance koje mogu da izazovu



Slika 3. Prikaz uređaja za detekciju bolesti biljaka obradom slike [11]

alergiju ili neke druge respiratorne probleme. Plesni se javljaju zbog visoke vlažnosti prostorije u kojoj je smešten proizvod, pa je itekako važno isti skladištiti na tačno definisan način od strane proizvođača, ali i drugih učesnika u toku životnog ciklusa proizvoda. Kombinacijom prethodnih metoda – praćenjem promene temperature i vlažnosti vazduha i fluorescentnom obradom slike na jednostavan način bi se mogla detektovati pojava neželjenih materija na proizvodu i o tome bi trebalo obavestiti krajnjeg potrošača.

III. ZAKLJUČAK

Jedna od najvažnijih stvari na tržištu danas, posebno na tržištu prehrambenih proizvoda, jeste konstantno održavanje kvaliteta i, po mogućnosti, usavršavanje postojećih proizvoda kako bi postojeći kupci ostali verni i kako bi se pridobili kupci konkurencije. U tu svrhu, neophodno je konstantno praćenje i nadgledanje životnog ciklusa proizvoda kako bi se održao njegov kvalitet. To je moguće uraditi na nekoliko načina, a u ovom radu dat je jedan predlog na primeru paradajza.

Radi smanjenja proizvodnih, a samim tim i ekonomskih gubitaka, neophodno je pratiti sam razvoj paradajza, jer u tom periodu, posebno u zaštićenim prostorima kao što su plastenici ili staklenici zbog specifičnih uslova, dolazi do pojave raznih oboljenja kako lista, tako i ploda paradajza. Ta oboljenja neophodno je eliminisati što je moguće ranije. Da bi se ista mogla detektovati u najranijoj fazi, moguće je iskoristiti više metoda, od kojih su neke prethodno pomenute u ovom radu, a od kojih su dve posebno analizirane. To su infracrvena spektroskopija i fluorescentna obrada slike. U ovom radu prikazana je i postavka eksperimenata koje bi bilo potrebno izvesti, kako bi se dobili odgovarajući rezultati i izveli neophodni zaključci, pre nego što bi se pomenute metode mogle primeniti u realnim uslovima. Ove metode pokazale su se uspešnim u laboratorijskim uslovima gde su u najvećem broju eksperimenata testirane.

U drugom delu životnog ciklusa paradajza, koji se odnosi na skladištenje, transport, prodaju i upotrebu istog u ljudskoj

ishrani (sve dok je to moguće), potrebno je pratiti sve promene okruženja koje mogu da dovedu do izmene roka trajanja paradajza. To je moguće učiniti korišćenjem odgovarajućih elektronskih sklopova i odgovarajućih senzora, koji bi bili postavljeni u istu prostoriju ili prevozno sredstvo u kojem se nalazi paradajz i sa kojih bi se podaci, u tačno definisanim vremenskim intervalima, preuzimali i bili prosleđivani do web servera putem interneta. Server bi, nakon izvršenih proračuna primenom jednog od poznatih matematičkih modela (u ovom radu predložen kinetički model) izveštavao korisnike o mogućim promenama u roku trajanja paradajza ili bilo kog drugog prehrambenog proizvoda. Na taj način ostvarila bi se velika zaštita potrošača, a i pri tom bi se obezbedio kvalitetan prinos, čime bi i proizvođači bili zadovoljni.

Buduća istraživanja biće vezana u prvom redu za praktičnu realizaciju svih eksperimenata o kojima je bilo reči u ovom radu i izvođenje odgovarajućih zaključaka. Nakon toga, istraživanja će biti usmerena na primenu eksperimenata i za neke druge vrste povrća i voća.

LITERATURA

- [1] V. Reljic, T. Laslo, S. Stankovski, M. Lazarevic, G. Ostojic, "Food Product Shelf-Life Prediction," 6th International Symposium on Industrial Engineering - SIE 2015, Belgrade, Serbia, 24th – 25th September, Proceedings pp. 326–329
- [2] A. Regattieri, M. Gamberi, R. Manzini, "Traceability of food products: General framework and experimental evidence," Journal of Food Engineering 81, pp. 347–356, 2007.
- [3] R. Saltini, R. Akkerman, "Testing improvements in the chocolate traceability system: Impact on product recalls and production efficiency", Food Control 23, pp. 221–226, 2012.
- [4] R. Saltini, R. Akkerman, S. Frosch, "Optimizing chocolate production through traceability: A review of the influence of farming practices on cocoa bean quality", Food Control 29, pp. 167–187, 2013.
- [5] V. Lavelli, "High-warranty traceability system in the poultry meat supply chain: A medium-sized enterprise case study", Food Control 33, pp. 148–156, 2013.
- [6] C. Zhang, J. Bai, T.I. Wahl, "Consumers' willingness to pay for traceable pork, milk, and cooking oil in Nanjing, China", Food Control 27, pp. 21–28, 2012.
- [7] M.-F. Chen, C.-H. Huang, "The impacts of the food traceability system and consumer involvement on consumers' purchase intentions toward fast foods", Food Control 33, pp. 313–319, 2013.
- [8] L. Qi, M. Xu, T. Mira, X. Zhang, "A WSN-based perishable food shelf-life prediction and LSF0 strategy decision support system in cold chain logistic", Food Control 38, pp. 19-29, 2014.
- [9] R. H. Xu, Y. B. Ying, X. P. Fu, S. P. Zhu, "Near-infrared Spectroscopy in detecting Leaf Miner Damage on Tomato Leaf", Biosystems Engineering 96, pp. 447-454, 2007.
- [10] S. Sankaran, A. Mishra, R. Ehsani, C. Davis, "A review of advanced techniques for detecting plant diseases", Computer and Electronics in Agriculture 72, pp. 1-13, 2010.
- [11] S. Lenk and others, "Multispectral fluorescence and reflectance imaging at the leaf level and its possible applications", Journal of Experimental Botany, pp. 1-8, 2007.
- [12] P. S. Taoukis, T. P. Labuza, I. S. Saguy, "The Handbook of Food Engineering Practise, Chapter 10 – Kinetics of Food Deterioration and Shelf-Life Prediction", CRC Press, pp. 1-75, 1997.
- [13] M. Đurovka i drugi, "Proizvodnja povrća i cveća u zaštićenom prostoru", Poljoprivredni fakultet u Novom Sadu i Poljoprivredni fakultet u Banjoj Luci, 2006.

ABSTRACT

This paper shows how is it possible to predict a change in the shelf life of food product, such as various types of fruits and vegetables, with a special focus on tomato. In addition, this paper shows how is it possible to detect a diseases of tomato leaf or fruit, or its mechanical damage, which affect on the projected shelf life, using two methods – spectroscopy and image processing. It is possible to follow the life cycle of a food

product, in this case tomato, fully. Furthermore, life cycle can be extended with the timely reaction as far as circumstances permit, using the above-mentioned procedures.

MONITORING THE LIFE CYCLE OF FOOD PRODUCT

Vule Reljic, Gordana Ostojic, Dragan Kukolj, Laslo Tarjan,
Milovan Lazarevic