

Analiza reoloških i kemijskih osobina ploda masline u ovisnosti o sorti i zrelosti ploda analizom varijance ponovljenih mjerenja

Markovinović, Gabriijela

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:516179>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-29**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO–MATEMATIČKI FAKULTET
MATEMATIČKI ODSJEK

Gabrijela Markovinović

**ANALIZA REOLOŠKIH I KEMIJSKIH
OSOBINA PLODA MASLINE U
OVISNOSTI O SORTI I ZRELOSTI
PLODA ANALIZOM VARIJANCE
PONOVLJENIH MJERENJA**

Diplomski rad

Voditelj rada:
prof. dr. sc. Anamarija Jazbec

Zagreb, veljača 2022.

Ovaj diplomski rad obranjen je dana _____ pred ispitnim povjerenstvom u sastavu:

1. _____, predsjednik
2. _____, član
3. _____, član

Povjerenstvo je rad ocijenilo ocjenom _____.

Potpisi članova povjerenstva:

1. _____
2. _____
3. _____

Sadržaj

| | |
|--|------------|
| Sadržaj | iii |
| Uvod | 1 |
| 1 Analiza varijance | 2 |
| 1.1 Uvod | 2 |
| 1.2 Jednofaktorska ANOVA | 3 |
| 1.3 Tukey-ev <i>post hoc</i> test | 5 |
| 1.4 <i>LS-means</i> | 5 |
| 1.5 Dvofaktorska ANOVA ponovljenih mjerenja | 6 |
| 1.6 Uvjet sferičnosti | 9 |
| 2 Analiza reoloških i kemijskih osobina ploda masline | 11 |
| 2.1 Opis podataka i deskriptivna statistika | 11 |
| 2.2 Analiza varijance ponovljenih mjerenja | 13 |
| 2.2.1 Elastičnost ploda | 13 |
| 2.2.2 Tvrdća ploda | 23 |
| 2.2.3 Suha tvar ploda | 32 |
| 2.3 Zaključak | 42 |
| 3 Dodatak | 43 |
| Bibliografija | 47 |

Uvod

Maslinovo ulje se zbog blagotvornog djelovanja na ljudsko zdravlje sve više upotrebljava u prehrani. Povećava se potražnja za visoko kvalitetnim maslinovim uljima, a time i potreba za unaprijeđenjem proizvodnje i što boljom analizom plodova masline kako bi se odredio optimalan period berbe i uočile kvalitete pojedinih sorti masline.

U ovom radu bavit ćemo se analizom reoloških i kemijskih osobina ploda masline u ovisnosti o sorti i zrelosti ploda analizom varijance ponovljenih mjerenja. Analizirat ćemo elastičnost i tvrdoću kao reološka svojstva te suhu tvar kao kemijsko svojstvo ploda. Podaci koje ćemo analizirati prikupljeni su za projekt „Analiza teksturnog profila kao čimbenik preradbenih značajki i vrednovanja bioraznolikosti autohtonih sorti maslina” Instituta za Jadranske kulture i melioraciju krša u Splitu u sklopu kojega je provedeno istraživanje na odabranim autohtonim i introduciranim sortama maslina.

U prvom dijelu rada uvest ćemo osnovne statističke pojmove i dati teorijsku podlogu za bolje razumijevanje analize varijance ponovljenih mjerenja, a u nastavku ćemo interpretirati rezultate dobivene analizom podataka putem programskog jezika SAS.



Slika 1: Stablo masline (privatna arhiva)

Poglavlje 1

Analiza varijance

1.1 Uvod

Pretpostavimo da nam je dano k uzoraka za koje trebamo odrediti jesu li uzeti iz iste populacije. Kada bismo imali samo dva uzorka, promatrali bismo razliku njihovih očekivanja. Međutim, ukoliko bismo u slučaju većeg broja uzoraka promatrali razliku svaka dva očekivanja međusobno, to nam ne bi u potpunosti pomoglo u rješavanju problema. U opisanom slučaju upotrijebit ćemo statističku metodu analize varijance (ANOVA). Ideja metode je da se problem razlike više uzoraka svede na analizu varijabilnosti unutar uzoraka (neobjašnjena varijabilnosti) i varijabilnosti između uzoraka (objašnjena varijabilnost). Ukoliko je varijabilnost između uzoraka statistički značajno veća od varijabilnosti unutar uzoraka, zaključujemo da se radi o uzorcima iz različitih populacija.

Analizu varijance možemo koristiti ukoliko je zadovoljeno nekoliko pretpostavki:

- nezavisnost uzoraka
- homogenost varijance - populacije iz kojih su uzeti uzorci moraju imati približno jednake varijance
- normalna distribucija populacije iz koje su uzeti uzorci

ANOVA nam daje informaciju samo o tome postoji li statistički značajna razlika među uzorcima, ali ne odgovara na pitanje koji su uzorci statistički značajno različiti. Zbog toga u slučaju da postoji statistički značajna razlika među uzorcima, provodimo neki od *post hoc* testova (mi ćemo provoditi Tukey-ev test). [4]

Nas će posebno zanimati analiza varijance ponovljenih mjerenja jer se podaci koje ćemo analizirati sastoje od tri izmjere prikupljene u različitim vremenskim točkama na istim subjektima. Ovdje će očito postojati korelacija među različitim izmjerama nad istim subjektom, a pretpostavka nezavisnosti bi trebala biti zadovoljena unutar jednog ponavljanja i između subjekata.

1.2 Jednofaktorska ANOVA

Najprije ćemo pobliže objasniti model analize varijance u kojem imamo jednu zavisnu varijablu i jednu nezavisnu varijablu, odnosno faktor.

Pretpostavimo da nam je dano k ($k \geq 3$) nizova podataka

$$\begin{cases} y_{11}, & y_{12}, & y_{13}, & \dots, & y_{1n_1} \\ y_{21}, & y_{22}, & y_{23}, & \dots, & y_{2n_2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{k1}, & y_{k2}, & y_{k3}, & \dots, & y_{kn_k} \end{cases} \quad (1.1)$$

pri čemu je i -ti niz dobiven mjerenjem slučajne varijable $Y_i \sim N(\mu_i, \sigma^2)$ te da su Y_1, \dots, Y_k nezavisne slučajne varijable. U tom slučaju, y_{ij} ($i = 1, \dots, k, j = 1, \dots, n_i$) može se interpretirati kao vrijednost slučajne varijable

$$Y_{ij} = \mu_i + \varepsilon_{ij}, \quad (1.2)$$

pri čemu su $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$ nezavisne slučajne varijable.

Testiramo nul-hipotezu

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k \quad (1.3)$$

naprema alternativnoj hipotezi da u (1.3) postoje i i j takvi da je $\mu_i \neq \mu_j$.

Stavimo

$$n = \sum_{i=1}^k n_i \quad (1.4)$$

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_i \mu_i \quad (1.5)$$

$$\delta_i = \mu_i - \mu, \quad i = 1, \dots, k. \quad (1.6)$$

Uobičajeno je da se veličina μ zove opća srednja vrijednost, a δ_i efekt i -te razine djelujućeg faktora.

Sada jednadžbu (1.2) zapisujemo kao

$$Y_{ij} = \mu + \delta_i + \varepsilon_{ij}, \quad i = 1, \dots, k, \quad j = 1, \dots, n_i, \quad (1.7)$$

a nul-hipoteza iz (1.3) može se zapisati kao

$$H_0 : \delta_1 = \delta_2 = \dots = \delta_k = 0. \quad (1.8)$$

Uvodimo sljedeće oznake

$$\bar{Y}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}, \quad i = 1, \dots, k, \quad (1.9)$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_i \bar{Y}_i, \quad (1.10)$$

$$SST = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2, \quad (1.11)$$

$$SSE = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2, \quad (1.12)$$

$$SS = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y})^2 = SST + SSE, \quad (1.13)$$

pri čemu je \bar{Y}_i aritmetička sredina i -tog niza podataka (i -te grupe), SST je suma kvadrata zbog tretmana, SSE suma kvadrata pogrešaka, a SS suma kvadrata svih odstupanja od sredine.

Testna statistika glasi

$$F = \frac{MST}{MSE} = \frac{SST/(k-1)}{SSE/(n-k)} \sim F(k-1, n-k). \quad (1.14)$$

[4] [5] [6]

Kako bismo preglednije zapisali rezultate dobivene analizom varijance, uobičajeno je koristiti ANOVA tablicu. Opći oblik ANOVA tablice prikazan je u tablici 1.1.

Tablica 1.1: Model jednofaktorske ANOVA-e

| Izvor varijabilnosti | Stupnjevi slobode | Suma kvadrata | Varijanca | F vrijednost |
|----------------------|-------------------|---------------|-----------|-----------------------|
| Između uzoraka | $k - 1$ | SST | MST | $F = \frac{MST}{MSE}$ |
| Unutar uzoraka | $n - k$ | SSE | MSE | |
| Ukupno | $n - 1$ | SS | | |

1.3 Tukey-ev *post hoc* test

Pretpostavimo da nam je dano k nizova podataka definiranih s (1.1) i pretpostavimo najprije da vrijedi $n_1 = n_2 = \dots = n_k$, odnosno da imamo balansirani dizajn. Neka je w raspon tih podataka ($max - min$) te neka je s^2 procjenitelj od σ^2 s ν stupnjeva slobode i nezavisan je od Y_i za $i = 1, \dots, k$. Studentizirani raspon definiran je kao

$$q_\alpha(k, \nu) = \frac{w}{s}, \quad (1.15)$$

a njegova distribucija je tabelirana.

Rubovi Tukey-evog intervala pouzdanosti za usporedbu aritmetičkih sredina grupa po parovima su

$$\bar{y}_i - \bar{y}_j \pm q_\alpha(k, n - k) \sqrt{\frac{s^2}{n}}, \quad i, j = 1, \dots, k, i \neq j. \quad (1.16)$$

Metoda koja se koristi u slučaju nebalansiranog dizajna poznata je kao Tukey-Kramer metoda. Ukoliko pretpostavimo da su n_1 i n_2 veličine grupa koje uspoređujemo, rubovi intervala pouzdanosti računaju se po formuli

$$\bar{y}_i - \bar{y}_j \pm q_\alpha(k, n - k) \sqrt{\frac{s^2(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2})}{2}}, \quad i, j = 1, \dots, k, i \neq j. \quad (1.17)$$

[1] [4]

1.4 *LS-means*

Tukey-Kramer metoda može se koristiti za usporedbu aritmetičkih sredina grupa po parovima, ali i za usporedbu *least square* aritmetičkih sredina (*LS-means*). *LS-means* su procjene marginalnih aritmetičkih sredina za balansiranu populaciju.

Razliku između aritmetičke sredine i *LS-means*-a pokazat ćemo na primjeru dvofaktorskog modela s interakcijom. Pretpostavimo da su obavljena mjerenja mase ploda masline za dvije sorte maslina u dva maslinika. Podaci koje ćemo koristiti dani su u tablici 1.2.

Tablica 1.2: Masa ploda masline

| | sorta _a | sorta _b |
|-----------------------|--------------------|----------------------|
| maslinik ₁ | a_1, a_2 | b_1, b_2, b_3, b_4 |
| maslinik ₂ | a_3, a_4, a_5 | b_5, b_6 |

Želimo izračunati aritmetičku sredinu i *LS-means* za masu ploda za sorte *a* i *b*. Aritmetičke sredine po sortama računamo po formulama:

$$\bar{a} = \frac{\sum_{i=1}^5 a_i}{5}, \quad \bar{b} = \frac{\sum_{i=1}^6 b_i}{6}. \quad (1.18)$$

LS-means po sortama računa se tako da prvo izračunamo aritmetičku sredinu za prvi i drugi maslinik, a zatim aritmetičku sredinu dobivenih rezultata, odnosno

$$a_{LS-means} = \frac{\frac{\sum_{i=1}^2 a_i}{2} + \frac{\sum_{j=3}^5 a_j}{3}}{2}, \quad b_{LS-means} = \frac{\frac{\sum_{i=1}^4 b_i}{4} + \frac{\sum_{j=5}^6 b_j}{2}}{2}. \quad (1.19)$$

Iz formula (1.18) i (1.19) vidimo da bi vrijednosti aritmetičkih sredina i *LS-means*-a bile jednake u slučaju balansirano dizajna, odnosno kada bismo u svakom masliniku imali jednak broj izmjera. U slučaju nebalansiranog dizajna, *LS-means* uzima u obzir i ostale efekte (u našem primjeru je to efekt maslinika). [1], [4]

1.5 Dvofaktorska ANOVA ponovljenih mjerenja

Budući da ćemo prilikom analize osobina ploda masline imati dva faktora, sortu kao nezavisan faktor i rok berbe koji označava ponavljanje, proučit ćemo model dvofaktorske analize varijance ponovljenih mjerenja.

Pretpostavimo da su provedena mjerenja u *t* vremenskih točaka za *s* grupa subjekata.

Tablica 1.3: Opažanja na subjektima unutar grupe *h*

| | Subjekt | b_1 | ... | b_j | ... | b_t |
|-------|----------|------------|-----|------------|-----|------------|
| a_h | 1 | y_{h11} | ... | y_{h1j} | ... | y_{h1t} |
| | \vdots | \vdots | | \vdots | | \vdots |
| | <i>i</i> | y_{hi1} | ... | y_{hij} | ... | y_{hit} |
| | \vdots | \vdots | | \vdots | | \vdots |
| | n_h | y_{hn_1} | ... | y_{hn_j} | ... | y_{hn_t} |

Neka je n_h broj subjekata u grupi *h* i $n = \sum_{h=1}^s n_h$. Neka y_{hij} predstavlja mjerenje u trenutku *j* na *i*-tom subjektu koji pripada grupi *h* za $h = 1, \dots, s$, $i = 1, \dots, n_h$ i $j = 1, \dots, t$. U tablici 1.3 dan je prikaz mjerenja na subjektima koji pripadaju *h*-toj grupi.

Prema [2], model možemo zapisati kao

$$Y_{hij} = \mu + \alpha_h + \beta_j + (\alpha\beta)_{hj} + \pi_{i(h)} + \varepsilon_{hij}, \quad (1.20)$$

pri čemu μ označava ukupnu aritmetičku sredinu, α_h efekt h -te grupe, β_j efekt j -tog ponavljanja, a $(\alpha\beta)_{hj}$ efekt interakcije h -te grupe i j -tog ponavljanja. Pritom pretpostavimo da vrijedi $\sum_{h=1}^s \alpha_h = 0$ i $\sum_{j=1}^t \beta_j = 0$. Interakciju efekata možemo interpretirati kao promatranje ponašaju li se grupe jednako tijekom vremena. Parametri $\pi_{i(h)}$ označavaju slučajni efekt za i -ti subjekt u h -toj grupi i pretpostavljamo da su to nezavisne normalno distribuirane varijable s očekivanjem 0 i varijancom σ_π^2 . Na kraju, pretpostavljamo da su $\varepsilon_{hij} \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ nezavisne slučajne varijable.

U svrhu lakšeg definiranja suma kvadrata, uvodimo oznake (1.21) - (1.25) kojima su redom označene ukupna aritmetička sredina, aritmetička sredina grupe h , aritmetička sredina j -tog ponavljanja, aritmetička sredina grupe h za j -to ponavljanje te aritmetička sredina za i -ti subjekt u grupi h .

$$\bar{Y}_{...} = \frac{\sum_{h=1}^s \sum_{i=1}^{n_h} \sum_{j=1}^t Y_{hij}}{nt} \quad (1.21)$$

$$\bar{Y}_{h..} = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} \sum_{j=1}^t Y_{hij}}{n_h t} \quad (1.22)$$

$$\bar{Y}_{..j} = \frac{\sum_{h=1}^s \sum_{i=1}^{n_h} Y_{hij}}{n} \quad (1.23)$$

$$\bar{Y}_{h.j} = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} Y_{hij}}{n_h} \quad (1.24)$$

$$\bar{Y}_{hi.} = \frac{\sum_{j=1}^t Y_{hij}}{t} \quad (1.25)$$

Ukupnu sumu kvadrata svih odstupanja od sredine (SS) u ovom slučaju možemo podijeliti na sumu kvadrata između subjekata ($SS_{između}$) i sumu kvadrata unutar subjekata (SS_{unutar}). Prvi izvor varijabilnosti proizlazi iz činjenice da su promatrani subjekti različiti, a drugi se definira tako da se za svaki subjekt izračuna kvadratna udaljenost od njegove aritmetičke sredine, a suma svih odstupanja za sve subjekte je preostala varijabilnost. Sada sume kvadrata između i unutar subjekata možemo rastaviti kao

$$SS_{između} = SSG + SSE_G, \quad (1.26)$$

$$SS_{unutar} = SSP + SSGP + SSE_P, \quad (1.27)$$

pri čemu su korištene sume kvadrata definirane s

$$SSG = \sum_{h=1}^s \sum_{i=1}^{n_h} \sum_{j=1}^t (\bar{Y}_{h..} - \bar{Y}_{...})^2 = t \sum_{h=1}^s n_h (\bar{Y}_{h..} - \bar{Y}_{...})^2, \quad (1.28)$$

$$SSE_G = \sum_{h=1}^s \sum_{i=1}^{n_h} \sum_{j=1}^t (\bar{Y}_{hi.} - \bar{Y}_{h..})^2 = t \sum_{h=1}^s \sum_{i=1}^{n_h} (\bar{Y}_{hi.} - \bar{Y}_{h..})^2, \quad (1.29)$$

$$SSP = \sum_{h=1}^s \sum_{i=1}^{n_h} \sum_{j=1}^t (\bar{Y}_{..j} - \bar{Y}_{...})^2 = n \sum_{j=1}^t (\bar{Y}_{..j} - \bar{Y}_{...})^2, \quad (1.30)$$

$$SSGP = \sum_{h=1}^s \sum_{i=1}^{n_h} \sum_{j=1}^t (\bar{Y}_{h.j} - \bar{Y}_{h..} - \bar{Y}_{..j} + \bar{Y}_{...})^2, \quad (1.31)$$

$$SSE_P = \sum_{h=1}^s \sum_{i=1}^{n_h} \sum_{j=1}^t (Y_{hij} - \bar{Y}_{h.j} - \bar{Y}_{hi.} + \bar{Y}_{h..})^2. \quad (1.32)$$

F-statistika pomoću koje testiramo postoji li statistički značajna razlika između grupa definirana je s

$$F_1 = \frac{MSG}{MSE_G} = \frac{SSG/(s-1)}{SSE_G/(n-s)} \sim F(s-1, n-s). \quad (1.33)$$

Testna statistika pomoću koje testiramo postoji li statistički značajna razlika između ponavljanja definirana je s

$$F_2 = \frac{MSP}{MSE_P} = \frac{SSP/(t-1)}{SSE_P/[(n-s)(t-1)]} \sim F(t-1, (n-s)(t-1)). \quad (1.34)$$

Testna statistika pomoću koje testiramo značajnost interakcije Grupa x Ponavljanje definirana je s

$$F_3 = \frac{MSGP}{MSE_P} = \frac{SSGP/[(s-1)(t-1)]}{SSE_P/[(n-s)(t-1)]} \sim F((s-1)(t-1), (n-s)(t-1)). \quad (1.35)$$

[2] [5]

Kao i kod jednofaktorske analize varijance, sve sume kvadrata, stupnjeve slobode, vrijednosti srednjekvadratnih odstupanja te testne statistike radi preglednosti zapisujemo u ANOVA tablicu (Tablica 1.4).

Tablica 1.4: Model dvofaktorske ANOVA-e ponovljenih mjerenja

| Izvor varijabilnosti | Stupnjevi slobode | Suma kvadrata | Varijanca | F vrijednost |
|----------------------|-------------------|---------------|-----------|--------------------------|
| Između subjekata | | | | |
| Grupa | $s - 1$ | SSG | MSG | $F = \frac{MSG}{MSE_G}$ |
| Greška _a | $n - s$ | SSE_G | MSE_G | |
| Unutar subjekata | | | | |
| Ponavljanje | $t - 1$ | SSP | MSP | $F = \frac{MSP}{MSE_P}$ |
| Grupa x Ponavljanje | $(s - 1)(t - 1)$ | $SSGP$ | $MSGP$ | $F = \frac{MSGP}{MSE_P}$ |
| Greška _b | $(n - s)(t - 1)$ | SSE_P | MSE_P | |

1.6 Uvjet sferičnosti

Prilikom provođenja analize varijance ponovljenih mjerenja, dodatan uvjet koji treba provjeriti jest uvjet sferičnosti. Taj uvjet možemo poistovjetiti s ranije spomenutim uvjetom homogenosti varijance kod analize varijance bez ponovljenih mjerenja. Prema [2], uvjet sferičnosti možemo zapisati na dva načina:

- $Var(Y_{ij} - Y_{i'j})$ je konstantna za sve j, j' pri čemu je Y_{ij} j -to ponovljeno mjerenje na i -tom subjektu.
- $\varepsilon = 1$, pri čemu je

$$\varepsilon = \frac{t^2(\bar{\sigma}_{ii} - \bar{\sigma}_{..})^2}{(t - 1)(S - 2t \sum \bar{\sigma}_i^2 + t^2 \bar{\sigma}_{..}^2)}. \quad (1.36)$$

i $\bar{\sigma}_{ii}$ označava aritmetičku sredinu dijagonalnih elemenata kovarijacijske matrice modela Σ , $\bar{\sigma}_{..}$ označava aritmetičku sredinu svih elemenata matrice Σ , $\bar{\sigma}_i$ označava aritmetičku sredinu elemenata i -tog retka matrice Σ , S je suma kvadrata svih elemenata matrice Σ , a t je broj ponovljenih mjerenja.

Prvi uvjet poznat je kao Huynh-Feldtov uvjet, a epsilon koji je dan formulom (1.36) naziva se Box-ov epsilon.

Ukoliko je uvjet sferičnosti zadovoljen, prilikom testiranja postoji li statistički značajna razlika između ponavljanja i testiranja značajnosti interakcije, koristimo testne statistike (1.34) i (1.35).

Ukoliko uvjet sferičnosti nije zadovoljen, koristimo prilagodbe stupnjeva slobode F statistike. Prema [7], može se pokazati da za epsilon iz (1.36) vrijedi

$$\frac{1}{t-1} \leq \varepsilon \leq 1. \quad (1.37)$$

Greenhouse i Geisser ([7]) preporučuju provođenje niza koraka koje navodimo u nastavku. Najprije uspoređujemo realizaciju testne statistike s kritičnom vrijednosti iz F distribucije s brojem stupnjeva slobode bez prilagodbe. Dakle, u prvom koraku za testnu statistiku F_2 iz (1.34) uzimamo da je broj stupnjeva slobode $t-1$ i $(n-s)(t-1)$, a za testnu statistiku F_3 iz (1.35) $(s-1)(t-1)$ i $(n-s)(t-1)$. Ukoliko je realizacija testne statistike manja od izračunate kritične vrijednosti, tada ne odbacujemo nultu hipotezu i zaustavljamo postupak. U slučaju da se realizacija testne statistike nalazi u kritičnom području, realizaciju testne statistike uspoređujemo s kritičnom vrijednosti iz F distribucije s brojem stupnjeva slobode pomnoženima faktorom $\frac{1}{t-1}$. Ovdje ćemo za F_2 koristiti distribuciju $F(1, n-s)$, a za F_3 distribuciju $F(s-1, n-s)$. Ukoliko se realizacija testne statistike nalazi u kritičnom području, odbacujemo nultu hipotezu na nivou značajnosti α i zaustavljamo postupak. Međutim, ukoliko ne možemo odbaciti nultu hipotezu, potrebno je izračunati procjenu Box-ovog epsilon, $\hat{\varepsilon}$, koristeći uzoračku kovarijacijsku matricu i prilagoditi stupnjeve slobode F statistike pomoću izračunate aproksimacije parametra epsilon koja se naziva Greenhouse-Geisserov epsilon. Zatim se ponovno provodi test koristeći izračunatu prilagodbu stupnjeva slobode F statistike.

Hyunh i Feldt ([3]) predlažu sljedeću procjenu Box-ovog epsilon:

$$\tilde{\varepsilon} = \min \left\{ 1, \frac{n(t-1)\hat{\varepsilon} - 2}{(t-1)(n-1-(t-1)\hat{\varepsilon})} \right\}, \quad (1.38)$$

pri čemu je $\hat{\varepsilon}$ ranije definirani Greenhouse-Geisserov epsilon. Procjenu $\tilde{\varepsilon}$ nazivamo Hyunh-Feldtov epsilon. Naime, prema [3], $\hat{\varepsilon}$ je manje pristrana procjena za Box-ov epsilon kada je $\varepsilon \leq 0.5$, a $\tilde{\varepsilon}$ je manje pristrana procjena u slučaju da je $\varepsilon \geq 0.75$. Međutim, vrijednost Box-ovog epsilon u praksi nije poznata.

Procedura *glm* koju ćemo koristiti za provedbu analize varijance u SAS-u, daje nam i Greenhouse-Geisserovu i Hyunh-Feldtovu prilagodbu stupnjeva slobode, a mi ćemo koristiti Greenhouse-Geisserovu prilagodbu.

Poglavlje 2

Analiza reoloških i kemijskih osobina ploda masline

2.1 Opis podataka i deskriptivna statistika



Slika 2.1: Plod sorte oblica (privatna arhiva)

Podaci koje ćemo analizirati prikupljeni su u vremenskom razdoblju od 18. rujna 2019. do 29. listopada 2019. u masliniku OPG-a Jagoda Alfirević u Kaštel Sućurcu. Promatrat ćemo četiri sorte: oblica, leccino, lastovka i coratina te tri roka berbe koji su određeni prema obojenosti ploda masline tijekom dozrijevanja - u prvom roku je plod nezreli, u drugom optimalno zreli, a u trećem prezreli. U svakom roku berbe s određenog broja stabala maslina iz maslinika ubran je određeni broj plodova te su za ubrane plodove utvrđene vrijednosti tvrdoće, elastičnosti i suhe tvari.

U tablicama 2.2, 2.3 i 2.4 dana je deskriptivna statistika. Možemo primijetiti da je prikupljeno zamjetno manje podataka o suhoj tvari u odnosu na podatke o elastičnosti i tvrdoći ploda masline. To je opravdano činjenicom da je svojstvo suhe tvari manje varijabilno pa je za svako promatrano stablo suha tvar određena samo za jedan plod masline, dok su elastičnost i tvrdoća određeni za veći broj plodova po stablu.

Tablica 2.2: Deskriptivna statistika za elastičnost ploda u tri roka berbe (Ispis iz SAS-a)

| sorta | Variable | N | Mean | Std Dev | Minimum | Maximum | Median |
|----------|---------------|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| coratina | elasticnost_1 | 88 | 1.0162090 | 0.0541711 | 0.9940080 | 1.2814203 | 0.9996157 |
| | elasticnost_2 | 86 | 1.0228881 | 0.1367514 | 0.5191729 | 1.9137258 | 1.0002976 |
| | elasticnost_3 | 84 | 0.9999067 | 0.1258224 | 0.0478569 | 1.2342944 | 1.0008185 |
| lastovka | elasticnost_1 | 75 | 1.0508236 | 0.1192568 | 0.9809375 | 1.6172751 | 1.0015734 |
| | elasticnost_2 | 75 | 1.0597504 | 0.1169851 | 0.9858317 | 1.4073726 | 1.0043895 |
| | elasticnost_3 | 73 | 1.0799195 | 0.1540788 | 0.9572162 | 1.6208645 | 1.0016916 |
| leccino | elasticnost_1 | 101 | 1.0053177 | 0.0379811 | 0.9376428 | 1.3460640 | 0.9995463 |
| | elasticnost_2 | 99 | 0.9977205 | 0.0720291 | 0.7042453 | 1.5409969 | 0.9999916 |
| | elasticnost_3 | 99 | 1.0107472 | 0.0607307 | 0.9936272 | 1.5564461 | 0.9998505 |
| oblica | elasticnost_1 | 89 | 1.0035081 | 0.0768446 | 0.5415543 | 1.3564858 | 1.0004528 |
| | elasticnost_2 | 86 | 1.0035952 | 0.0800817 | 0.3996950 | 1.2547603 | 1.0012842 |
| | elasticnost_3 | 86 | 0.9977828 | 0.0505179 | 0.5459950 | 1.0578469 | 1.0005333 |

Tablica 2.3: Deskriptivna statistika za tvrdoću ploda u tri roka berbe (Ispis iz SAS-a)

| sorta | Variable | N | Mean | Std Dev | Minimum | Maximum | Median |
|----------|-----------|-----|------------|------------|------------|-------------|------------|
| coratina | tvrdoca_1 | 88 | 65.6504512 | 47.7819008 | 11.5053989 | 145.4072285 | 49.6002425 |
| | tvrdoca_2 | 86 | 68.1843354 | 44.2112003 | 8.8224570 | 176.7239774 | 69.6862061 |
| | tvrdoca_3 | 84 | 69.0505098 | 48.8819290 | 11.3577207 | 165.3187490 | 55.4848672 |
| lastovka | tvrdoca_1 | 75 | 59.7065829 | 17.0023706 | 21.5561950 | 98.8595786 | 59.8327368 |
| | tvrdoca_2 | 75 | 61.1754289 | 20.4303839 | 23.8746124 | 142.4839963 | 61.0974293 |
| | tvrdoca_3 | 73 | 59.0328364 | 21.8628122 | 18.6037949 | 159.5404554 | 59.6378032 |
| leccino | tvrdoca_1 | 101 | 83.8263781 | 60.1000470 | 7.9913759 | 230.5408903 | 88.1596647 |
| | tvrdoca_2 | 99 | 86.1629974 | 55.8000807 | 10.1017603 | 207.2940846 | 92.3287086 |
| | tvrdoca_3 | 99 | 86.1152622 | 59.0763579 | 8.3655878 | 197.5632822 | 95.0524260 |
| oblica | tvrdoca_1 | 89 | 60.3456440 | 36.3477971 | 16.5652934 | 131.9740489 | 41.9087503 |
| | tvrdoca_2 | 86 | 62.4977324 | 37.7419788 | 15.6343342 | 149.8671263 | 42.3737228 |
| | tvrdoca_3 | 86 | 60.9936186 | 36.2047152 | 14.4524027 | 164.4885101 | 48.8288401 |

Tablica 2.4: Deskriptivna statistika za suhu tvar ploda u tri roka berbe (Ispis iz SAS-a)

| sorta | Variable | N | Mean | Std Dev | Minimum | Maximum | Median |
|----------|-------------|---|------------|-----------|------------|------------|------------|
| coratina | suha_tvar_1 | 4 | 63.2037469 | 4.9034655 | 59.4807122 | 70.4175258 | 61.4583748 |
| | suha_tvar_2 | 4 | 44.0195410 | 0.9142426 | 42.7646454 | 44.8914432 | 44.2110377 |
| | suha_tvar_3 | 3 | 51.8872452 | 1.7388447 | 50.7658834 | 53.8903171 | 51.0055351 |
| lastovka | suha_tvar_1 | 4 | 66.8521535 | 0.8363803 | 66.1488512 | 67.8571429 | 66.7013100 |
| | suha_tvar_2 | 4 | 62.4262146 | 0.7150093 | 61.5772727 | 63.3022571 | 62.4126644 |
| | suha_tvar_3 | 4 | 64.0958252 | 0.9776320 | 63.1787109 | 65.3539382 | 63.9253258 |
| leccino | suha_tvar_1 | 6 | 67.0802691 | 1.2626409 | 65.5794206 | 69.0112705 | 66.9851385 |
| | suha_tvar_2 | 4 | 65.8786132 | 0.6123150 | 65.3532875 | 66.7468720 | 65.7071467 |
| | suha_tvar_3 | 3 | 62.3653260 | 2.9055085 | 59.6343780 | 65.4185268 | 62.0430733 |
| oblica | suha_tvar_1 | 6 | 60.0850910 | 1.0956605 | 58.2012467 | 61.0657119 | 60.3827752 |
| | suha_tvar_2 | 4 | 59.0124555 | 2.0913425 | 56.3798220 | 61.4593781 | 59.1053109 |
| | suha_tvar_3 | 4 | 64.7097871 | 2.4067226 | 61.6392318 | 67.0488889 | 65.0755139 |

2.2 Analiza varijance ponovljenih mjerenja

Provodimo analizu varijance ponovljenih mjerenja koristeći proceduru *glm* u programskom jeziku SAS za elastičnost, tvrdoću i suhu tvar u ovisnosti o sorti i zrelosti ploda. Za svaku zavisnu varijablu najprije ćemo interpretirati rezultate jednofaktorske analize varijance u svakom od tri roka berbe, zatim rezultate Tukey-evog *post hoc* testa i testa sferičnosti, a na kraju i protumačiti rezultate analize varijance ponovljenih mjerenja. Prilikom interpretacije rezultata provedenih testova, za razinu značajnosti koristit ćemo vrijednost od 5%.

Prilikom interpretacije ispisa iz SAS-a za analizu varijance ponovljenih mjerenja, potrebno je posebno obratiti pozornost na tablicu s rezultatima testa sferičnosti (engl. *Sphericity Tests*), tablicu između subjekata (engl. *Between Subjects Effects*) te na tablicu unutar subjekata (engl. *Within Subject Effects*). U tablici s rezultatima testa sferičnosti dani su rezultati testa za transformirane podatke i za ortogonalne komponente. Prema [1], potrebno je analizirati rezultate testa za ortogonalne komponente. Ukoliko je p-vrijednost manja od odabrane razine značajnosti, uvjet sferičnosti nije zadovoljen. U tom slučaju pri interpretaciji rezultata iz tablice unutar subjekata gledamo Greenhouse-Geisserovu prilagodbu p-vrijednosti (u tablici unutar subjekata označena s G-G) koja je dobivena prilagodbom stupnjeva slobode koristeći Greenhouse-Geisserov epsilon. U tablici između subjekata testira se ima li razlike među sortama za promatranu zavisnu varijablu. Test se provodi tako da se uprosječe tri izmjere zavisne varijable za tri roka berbe te se testira postoji li statistički značajna razlika u vrijednosti zavisne varijable među četiri sorte. U tablici unutar subjekata testira se postoji li statistički značajna razlika za zavisnu varijablu između rokova berbe na način da se uprosječe vrijednosti za svaki rok berbe i testira se postoji li statistički značajna razlika između tih prosjeka. Nadalje, testira se ponaša li se zavisna varijabla približno jednako po sortama za različite rokove berbe. [4]

2.2.1 Elastičnost ploda

Promotrimo najprije rezultate jednofaktorskih analiza varijance za elastičnost ploda po rokovima berbe u ovisnosti o sorti i rezultate Tukey-evog *post hoc* testa za svaki od tri roka berbe.

Tablica 2.5: Rezultati jednofaktorske analize varijance za elastičnost ploda u prvom roku berbe (Ispis iz SAS-a)

Dependent Variable: elasticnost_1

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Pr > F |
|-----------------|-----|----------------|-------------|---------|--------|
| Model | 3 | 0.11232832 | 0.03744277 | 6.48 | 0.0003 |
| Error | 338 | 1.95302000 | 0.00577817 | | |
| Corrected Total | 341 | 2.06534831 | | | |

| R-Square | Coeff Var | Root MSE | elasticnost_1 Mean |
|----------|-----------|----------|--------------------|
| 0.054387 | 7.466961 | 0.076014 | 1.018008 |

| Source | DF | Type I SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|--------|----|------------|-------------|---------|--------|
| sorta | 3 | 0.11232832 | 0.03744277 | 6.48 | 0.0003 |

| Source | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|--------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| sorta | 3 | 0.11232832 | 0.03744277 | 6.48 | 0.0003 |

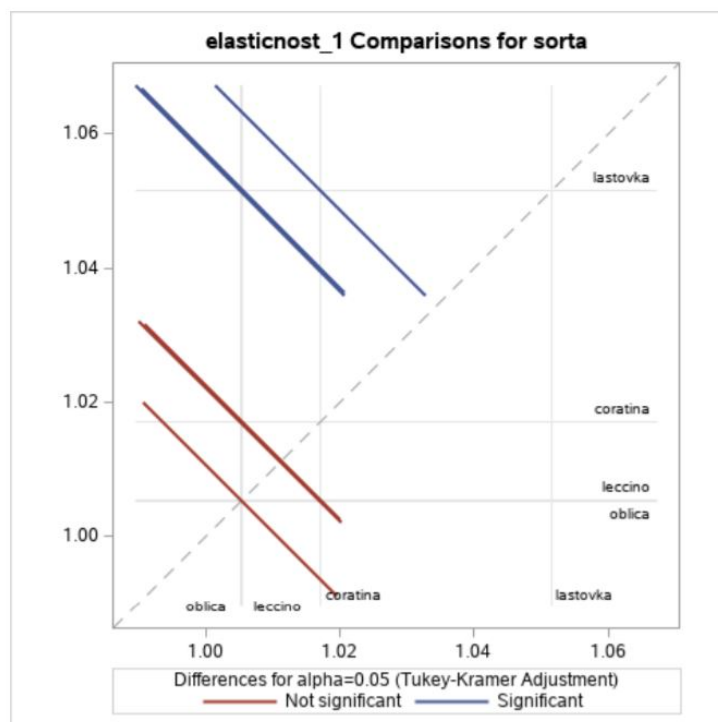
U tablici 2.5 prikazan je ispis rezultata jednofaktorske analize varijance u prvom roku berbe te vrijednosti ostalih dijagnostičkih informacija o modelu jednofaktorske analize varijance: koeficijenta determinacije (engl. *R-square*), koeficijenta varijacije (oznaka u tablici: engl. *Coeff Var*) te aritmetičke sredine. Također, dane su i sume kvadrata tipa I i III (engl. *Type I SS*, *Type III SS*) čiji je iznos u ovom slučaju jednak jer se radi o jednofaktorskoj analizi varijance. Iz rezultata u tablici 2.5 vidimo da postoji statistički značajna razlika među sortama za elastičnost ploda u prvom roku berbe (p-vrijednost je 0.0003). Koeficijent determinacije iznosi 0.054387 pa zaključujemo da je mali dio varijabilnosti zavisne varijable (oko 5%) objašnjen ovim modelom.

U tablici 2.6 nalaze se rezultati Tukey-evog *post hoc* testa za prvi rok berbe. Vidimo da statistički značajnu razliku među sortama čini lastovka obzirom na preostale tri promatrane sorte.

Tablica 2.6: Rezultati Tukey-evog *post hoc* testa za elastičnost ploda u prvom roku berbe (Ispis iz SAS-a)

| sorta | elasticnost_1 LSMEAN | LSMEAN Number |
|----------|----------------------|---------------|
| coratina | 1.01694236 | 1 |
| lastovka | 1.05155187 | 2 |
| leccino | 1.00544396 | 3 |
| oblica | 1.00503832 | 4 |

| Least Squares Means for effect sorta Pr > t for H0: LSMean(i)=LSMean(j) Dependent Variable: elasticnost_1 | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|
| i/j | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | | 0.0242 | 0.7380 | 0.7373 |
| 2 | 0.0242 | | 0.0006 | 0.0008 |
| 3 | 0.7380 | 0.0006 | | 1.0000 |
| 4 | 0.7373 | 0.0008 | 1.0000 | |



Slika 2.2: Grafički prikaz rezultata Tukey-evog *post hoc* testa za elastičnost ploda u prvom roku berbe (Ispis iz SAS-a)

Tablica 2.7: Rezultati jednofaktorske analize varijance za elastičnost ploda u drugom roku berbe (Ispis iz SAS-a)

Dependent Variable: elasticnost_2

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Pr > F |
|-----------------|-----|----------------|-------------|---------|--------|
| Model | 3 | 0.19705533 | 0.06568511 | 6.08 | 0.0005 |
| Error | 338 | 3.64884198 | 0.01079539 | | |
| Corrected Total | 341 | 3.84589732 | | | |

| R-Square | Coeff Var | Root MSE | elasticnost_2 Mean |
|----------|-----------|----------|--------------------|
| 0.051238 | 10.19570 | 0.103901 | 1.019066 |

| Source | DF | Type I SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|--------|----|------------|-------------|---------|--------|
| sorta | 3 | 0.19705533 | 0.06568511 | 6.08 | 0.0005 |

| Source | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|--------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| sorta | 3 | 0.19705533 | 0.06568511 | 6.08 | 0.0005 |

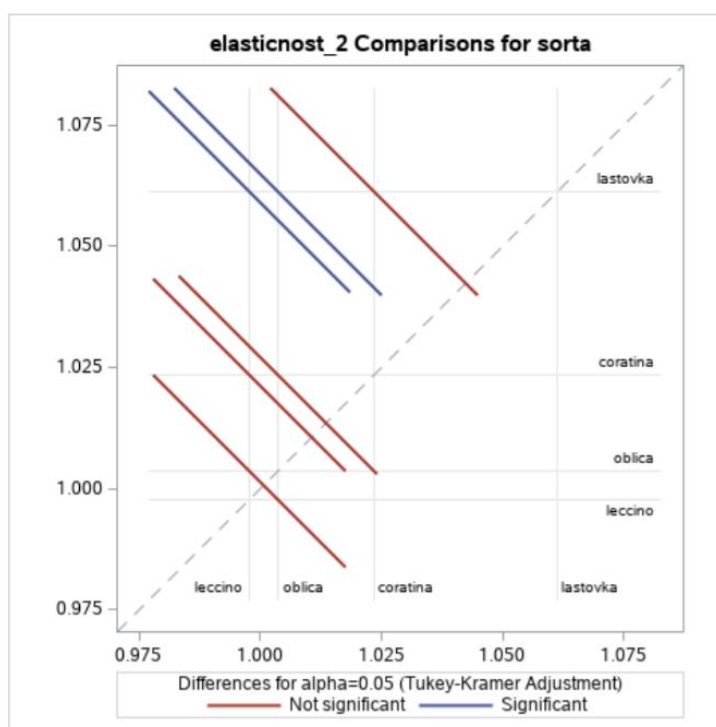
U tablici 2.7 prikazan je ispis rezultata jednofaktorske analize varijance u drugom roku berbe te vrijednosti ostalih dijagnostičkih informacija o modelu jednofaktorske analize varijance. Iz rezultata u tablici 2.7 vidimo da postoji statistički značajna razlika među sortama za elastičnost ploda u drugom roku berbe (p-vrijednost je 0.0005). Primijetimo da je iznos F vrijednosti približno jednak u prvom i drugom roku berbe (u prvom roku berbe iznosi 6.48, a u drugom 6.08). Iznos koeficijenta determinacije je ponovno oko 5% kao i u prvom roku berbe pa zaključujemo da je mali dio varijabilnosti zavisne varijable objašnjen ovim modelom.

U tablici 2.8 nalaze se rezultati Tukey-evog *post hoc* testa za drugi rok berbe. Vidimo da statistički značajnu razliku među sortama čini lastovka obzirom na oblicu i leccino.

Tablica 2.8: Rezultati Tukey-evog *post hoc* testa za elastičnost ploda u drugom roku berbe (Ispis iz SAS-a)

| sorta | elasticnost_2 LSMEAN | LSMEAN Number |
|----------|----------------------|---------------|
| coratina | 1.02341983 | 1 |
| lastovka | 1.06122873 | 2 |
| leccino | 0.99772047 | 3 |
| oblica | 1.00359521 | 4 |

| Least Squares Means for effect sorta Pr > t for H0: LSMean(i)=LSMean(j) | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|
| Dependent Variable: elasticnost_2 | | | | |
| i/j | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | | 0.1061 | 0.3426 | 0.5994 |
| 2 | 0.1061 | | 0.0005 | 0.0031 |
| 3 | 0.3426 | 0.0005 | | 0.9808 |
| 4 | 0.5994 | 0.0031 | 0.9808 | |



Slika 2.3: Grafički prikaz rezultata Tukey-evog *post hoc* testa za elastičnost ploda u drugom roku berbe (Ispis iz SAS-a)

Tablica 2.9: Rezultati jednofaktorske analize varijance za elastičnost ploda u trećem roku berbe (Ispis iz SAS-a)

Dependent Variable: elasticnost_3

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Pr > F |
|-----------------|-----|----------------|-------------|---------|--------|
| Model | 3 | 0.34687748 | 0.11562583 | 10.85 | <.0001 |
| Error | 338 | 3.60166568 | 0.01065582 | | |
| Corrected Total | 341 | 3.94854316 | | | |

| R-Square | Coeff Var | Root MSE | elasticnost_3 Mean |
|----------|-----------|----------|--------------------|
| 0.087849 | 10.12437 | 0.103227 | 1.019589 |

| Source | DF | Type I SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|--------|----|------------|-------------|---------|--------|
| sorta | 3 | 0.34687748 | 0.11562583 | 10.85 | <.0001 |

| Source | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|--------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| sorta | 3 | 0.34687748 | 0.11562583 | 10.85 | <.0001 |

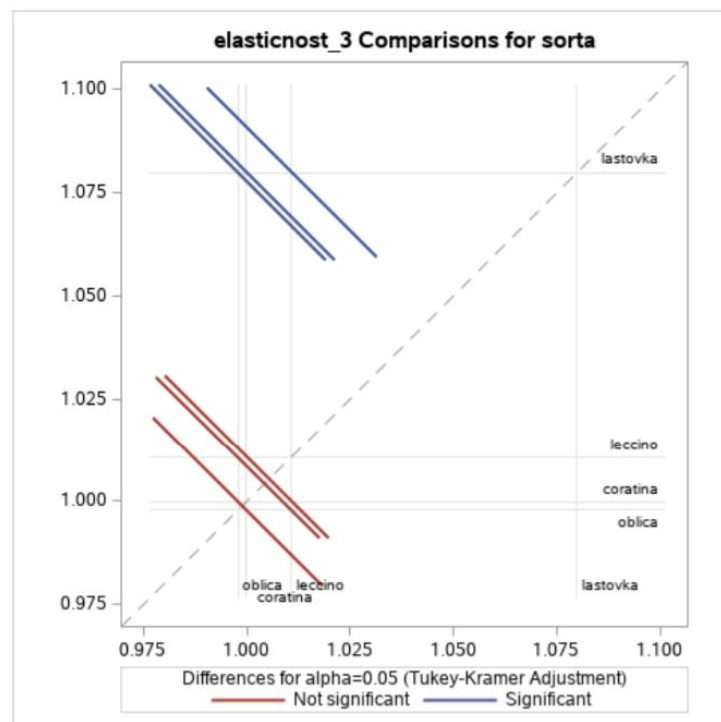
U tablici 2.9 prikazan je ispis rezultata jednofaktorske analize varijance u trećem roku berbe te vrijednosti ostalih dijagnostičkih informacija o modelu jednofaktorske analize varijance. Vidimo da postoji statistički značajna razlika među sortama za elastičnost ploda u trećem roku berbe (p-vrijednost je manja od 0.0001). U usporedbi s vrijednostima u prvom i drugom roku berbe, F vrijednost ima veći iznos (10.85) što znači da je u trećem roku berbe razlika među sortama veća. Koeficijent determinacije ima malo veću vrijednost nego u prethodna dva roka berbe (iznosi 0.087849), ali i dalje zaključujemo da je mali dio varijabilnosti zavisne varijable objašnjen ovim modelom.

U tablici 2.10 nalaze se rezultati Tukey-evog *post hoc* testa za drugi rok berbe. Vidimo da statistički značajnu razliku među sortama čini lastovka obzirom na preostale tri promatrane sorte.

Tablica 2.10: Rezultati Tukey-evog *post hoc* testa za elastičnost ploda u trećem roku berbe (Ispis iz SAS-a)

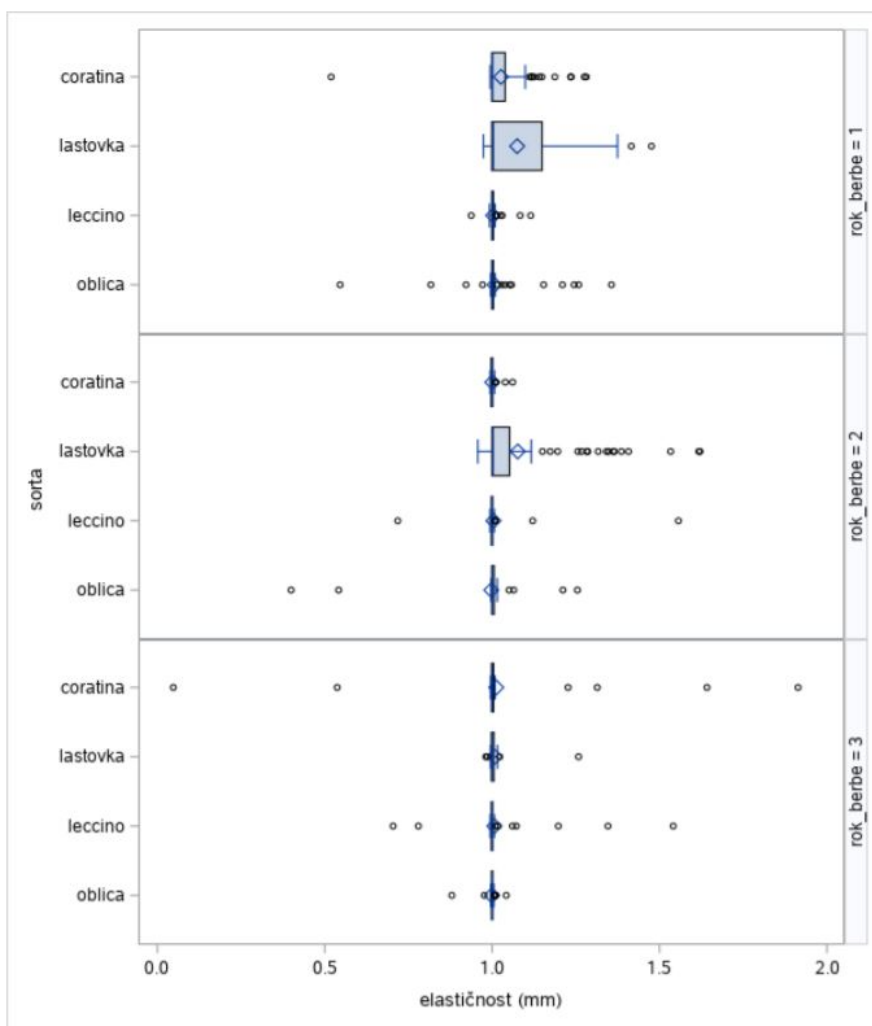
| sorta | elasticnost_3 LSMEAN | LSMEAN Number |
|----------|----------------------|---------------|
| coratina | 0.99990669 | 1 |
| lastovka | 1.07991947 | 2 |
| leccino | 1.01074717 | 3 |
| oblica | 0.99778278 | 4 |

| Least Squares Means for effect sorta Pr > t for H0: LSMean(i)=LSMean(j) | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|
| Dependent Variable: elasticnost_3 | | | | |
| i/j | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | | <.0001 | 0.8939 | 0.9991 |
| 2 | <.0001 | | 0.0001 | <.0001 |
| 3 | 0.8939 | 0.0001 | | 0.8294 |
| 4 | 0.9991 | <.0001 | 0.8294 | |



Slika 2.4: Grafički prikaz rezultata Tukey-evog *post hoc* testa za elastičnost ploda u trećem roku berbe (Ispis iz SAS-a)

Na slici 2.5 prikazan je *boxplot* za elastičnost ploda s podjelom po rokovima berbe i sortama. Najveću razliku u elastičnosti ploda za različite rokove berbe primjećujemo kod sorte lastovka. Za navedenu sortu se razlika između gornjeg i donjeg kvartila smanjuje od prvog do trećeg roka berbe iz čega zaključujemo da se sazrijevanjem ploda smanjuje varijabilnost elastičnosti ploda.



Slika 2.5: *Boxplot* prikaz elastičnosti ploda s podjelom po rokovima berbe i sortama (Ispis iz SAS-a). Sivi pravokutnik označava dio između donjeg (q_L) i gornjeg kvartila (q_U), plava okomita linija unutar pravokutnika medijan, a plavi kvadratić označava aritmetičku sredinu. *Outlieri* su označeni kružićima, a okomite plave linije van pravokutnika označavaju vrijednosti koje su udaljene najviše $1.5(q_U - q_L)$ od donjeg, odnosno gornjeg kvartila.

Tablica 2.11: Test sferičnosti za elastičnost ploda (Ispis iz SAS-a)

| Sphericity Tests | | | | |
|-----------------------|----|---------------------|------------|------------|
| Variables | DF | Mauchly's Criterion | Chi-Square | Pr > ChiSq |
| Transformed Variates | 2 | 0.5770771 | 185.27565 | <.0001 |
| Orthogonal Components | 2 | 0.9171932 | 29.129328 | <.0001 |

U tablici 2.11 dani su rezultati testa sferičnosti. Iz rezultata vidimo da odbacujemo nultu hipotezu da je uvjet sferičnosti zadovoljen (p-vrijednost je manja od 0.0001).

Tablica 2.12: Tablica rezultata ANOVA-e ponovljenih mjerenja između subjekata za elastičnost ploda (Ispis iz SAS-a)

The GLM Procedure
Repeated Measures Analysis of Variance
Tests of Hypotheses for Between Subjects Effects

| Source | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|--------|-----|-------------|-------------|---------|--------|
| sorta | 3 | 0.59052936 | 0.19684312 | 20.82 | <.0001 |
| Error | 338 | 3.19527683 | 0.00945348 | | |

U tablici između subjekata testiramo postoji li statistički značajna razlika u elastičnosti ploda među sortama. Iz rezultata u tablici 2.12 vidimo da postoji statistički značajna razlika između sorti (p-vrijednost je manja od 0.0001). Dakle, uprosječimo li podatke po rokovima berbe za svaku sortu, vidimo da postoji statistički značajna razlika među sortama.

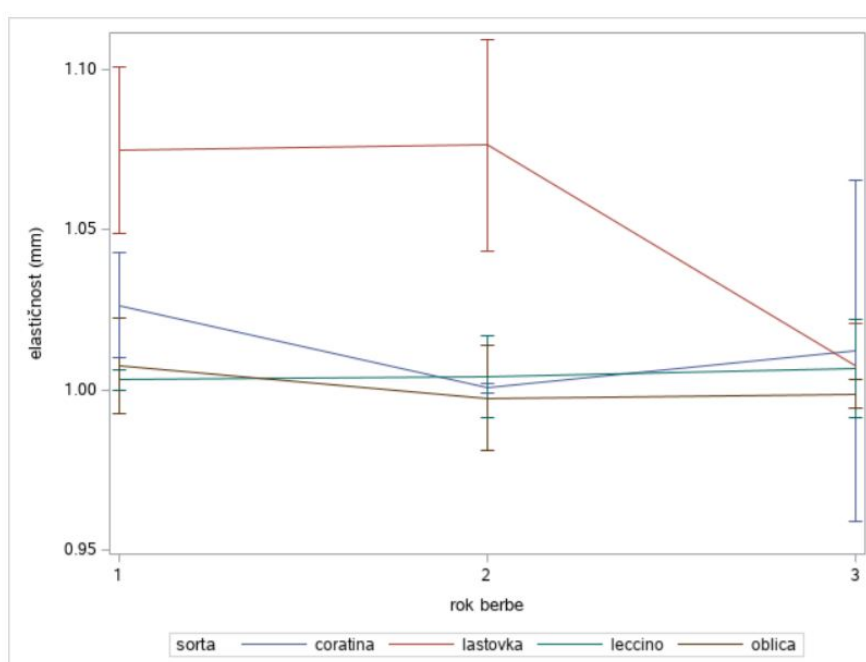
Tablica 2.13: Tablica rezultata ANOVA-e ponovljenih mjerenja unutar subjekata za elastičnost ploda (Ispis iz SAS-a)

The GLM Procedure
Repeated Measures Analysis of Variance
Univariate Tests of Hypotheses for Within Subject Effects

| Source | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F | Adj Pr > F | |
|------------------|-----|-------------|-------------|---------|--------|------------|--------|
| | | | | | | G - G | H-F-L |
| rok_berbe | 2 | 0.00100373 | 0.00050186 | 0.06 | 0.9451 | 0.9343 | 0.9350 |
| rok_berbe*sorta | 6 | 0.06573177 | 0.01095530 | 1.23 | 0.2874 | 0.2897 | 0.2896 |
| Error(rok_berbe) | 676 | 6.00825083 | 0.00888795 | | | | |

| | |
|------------------------------|--------|
| Greenhouse-Geisser Epsilon | 0.9235 |
| Huynh-Feldt-Lecoutre Epsilon | 0.9284 |

U tablici unutar subjekata testira se postoji li statistički značajna razlika za elastičnost ploda između rokova berbe. Nadalje, testira se ponaša li se elastičnost približno jednako po sortama za različite rokove berbe. Budući da uvjet sferičnosti nije zadovoljen, pri donošenju zaključaka gledamo Greenhouse-Geisserovu prilagodbu p-vrijednosti. Iz rezultata u tablici 2.13 vidimo da su obje prilagođene p-vrijednosti veće od 0.05 pa zaključujemo da ne postoji statistički značajna razlika između rokova berbe te da interakcija "rok_berbe*sorta" nije statistički značajna što znači da se elastičnost ploda ponaša približno jednako po rokovima berbe.



Slika 2.6: Grafički prikaz aritmetičkih sredina i 95% pouzdanih intervala za elastičnost ploda po sortama u sva tri roka berbe (Ispis iz SAS-a)

Na slici 2.6 prikazane su vrijednosti aritmetičkih sredina i pripadajućih 95% pouzdanih intervala za aritmetičku sredinu za elastičnost ploda obzirom na sortu i rok berbe. Iz grafičkog prikaza možemo iščitati da je vrijednost aritmetičke sredine elastičnosti ploda za sortu lastovka zamjetno veća u prva dva roka berbe u odnosu na preostale tri sorte, dok u trećem roku berbe zamjećujemo pad u vrijednosti elastičnosti ploda za sortu lastovka i nema zamjetne razlike među sortama. Vidimo da su vrijednosti elastičnosti ploda približno jednake po rokovima berbe, osim spomenutog pada u vrijednosti elastičnosti za sortu lastovka u trećem roku berbe. Međutim, taj pad nije statistički značajan obzirom na kretanje elastičnosti ploda ostalih sorti (Tablica 2.13).

2.2.2 Tvrdoća ploda

Promotrimo najprije rezultate jednofaktorskih analiza varijance za tvrdoću ploda po rokovima berbe u ovisnosti o sorti i rezultate Tukey-evog *post hoc* testa za svaki od tri roka berbe.

Tablica 2.14: Rezultati jednofaktorske analize varijance za tvrdoću ploda u prvom roku berbe (Ispis iz SAS-a)

Dependent Variable: tvrdoca_1

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Pr > F |
|-----------------|-----|----------------|-------------|---------|--------|
| Model | 3 | 36378.9689 | 12126.3230 | 6.05 | 0.0005 |
| Error | 338 | 677618.7849 | 2004.7893 | | |
| Corrected Total | 341 | 713997.7538 | | | |

| R-Square | Coeff Var | Root MSE | tvrdoca_1 Mean |
|----------|-----------|----------|----------------|
| 0.050951 | 64.41097 | 44.77487 | 69.51436 |

| Source | DF | Type I SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|--------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| sorta | 3 | 36378.96889 | 12126.32296 | 6.05 | 0.0005 |

| Source | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|--------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| sorta | 3 | 36378.96889 | 12126.32296 | 6.05 | 0.0005 |

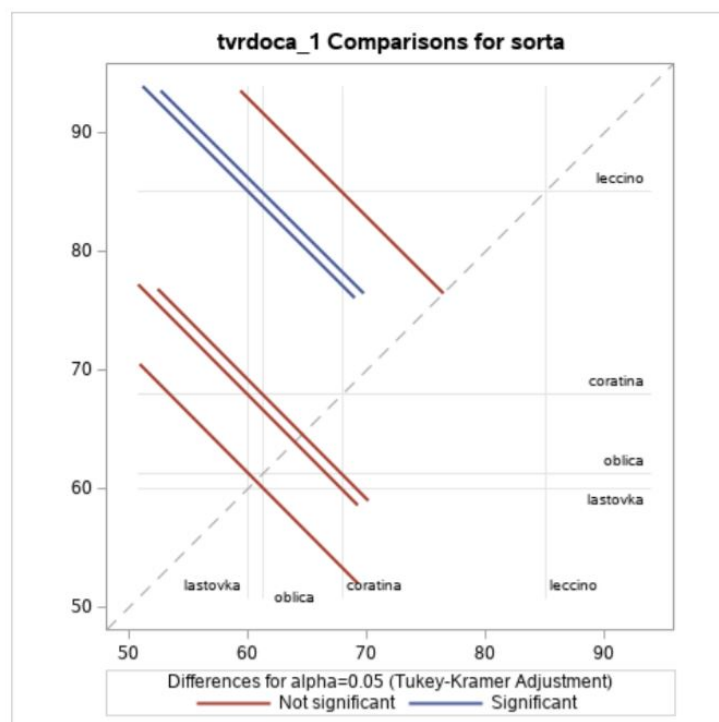
U tablici 2.14 prikazan je ispis rezultata jednofaktorske analize varijance u prvom roku berbe te vrijednosti ostalih dijagnostičkih informacija o modelu jednofaktorske analize varijance. Iz rezultata u tablici 2.14 vidimo da postoji statistički značajna razlika među sortama za tvrdoću ploda u prvom roku berbe (p-vrijednost je 0.0005). Koeficijent determinacije iznosi 0.050951 pa zaključujemo da je mali dio varijabilnosti zavisne varijable (oko 5%) objašnjen ovim modelom.

U tablici 2.15 nalaze se rezultati Tukey-evog *post hoc* testa za prvi rok berbe. Vidimo da statistički značajnu razliku među sortama čini leccino obzirom na lastovku i oblicu.

Tablica 2.15: Rezultati Tukey-evog *post hoc* testa za tvrdoću ploda u prvom roku berbe (Ispis iz SAS-a)

| sorta | tvrdoca_1 LSMEAN | LSMEAN Number |
|----------|------------------|---------------|
| coratina | 67.9275391 | 1 |
| lastovka | 60.0552076 | 2 |
| leccino | 85.0096797 | 3 |
| oblica | 61.2559237 | 4 |

| Least Squares Means for effect sorta Pr > t for H0: LSMean(i)=LSMean(j) Dependent Variable: tvrdoca_1 | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|
| i/j | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | | 0.6905 | 0.0513 | 0.7659 |
| 2 | 0.6905 | | 0.0020 | 0.9983 |
| 3 | 0.0513 | 0.0020 | | 0.0021 |
| 4 | 0.7659 | 0.9983 | 0.0021 | |



Slika 2.7: Grafički prikaz rezultata Tukey-evog *post hoc* testa za tvrdoću ploda u prvom roku berbe (Ispis iz SAS-a)

Tablica 2.16: Rezultati jednofaktorske analize varijance za tvrdoću ploda u drugom roku berbe (Ispis iz SAS-a)

Dependent Variable: tvrdoca_2

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Pr > F |
|-----------------|-----|----------------|-------------|---------|--------|
| Model | 3 | 35716.4168 | 11905.4723 | 6.52 | 0.0003 |
| Error | 338 | 617511.8028 | 1826.9580 | | |
| Corrected Total | 341 | 653228.2196 | | | |

| R-Square | Coeff Var | Root MSE | tvrdoca_2 Mean |
|----------|-----------|----------|----------------|
| 0.054677 | 60.34465 | 42.74293 | 70.83135 |

| Source | DF | Type I SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|--------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| sorta | 3 | 35716.41680 | 11905.47227 | 6.52 | 0.0003 |

| Source | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|--------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| sorta | 3 | 35716.41680 | 11905.47227 | 6.52 | 0.0003 |

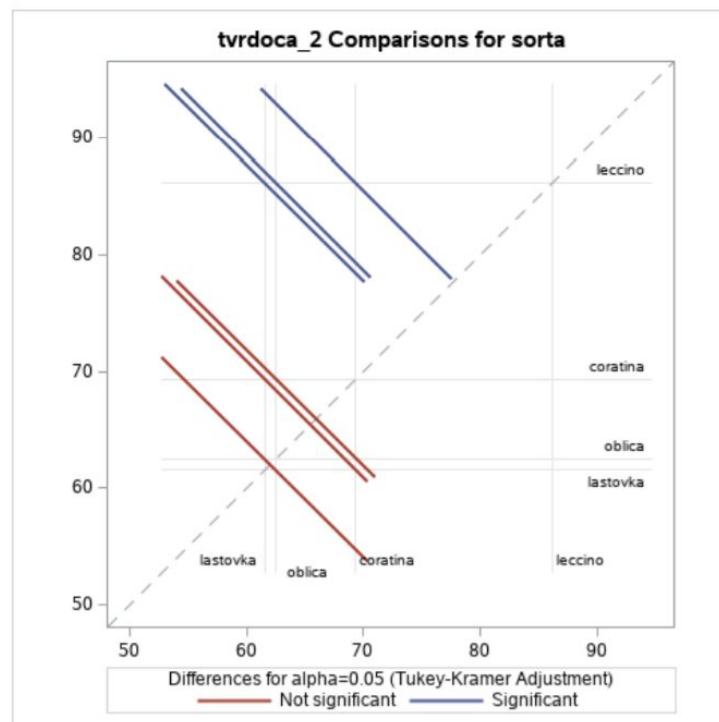
U tablici 2.16 prikazan je ispis rezultata jednofaktorske analize varijance u drugom roku berbe te vrijednosti ostalih dijagnostičkih informacija o modelu jednofaktorske analize varijance. Vidimo da postoji statistički značajna razlika među sortama za tvrdoću ploda u drugom roku berbe (p-vrijednost je 0.0003). Možemo zamijetiti da je iznos F vrijednosti približno jednak u prvom i drugom roku berbe (u prvom roku berbe iznosi 6.05, a u drugom 6.52). Iznos koeficijenta determinacije je ponovno oko 5% kao i u prvom roku berbe pa zaključujemo da je mali dio varijabilnosti zavisne varijable objašnjen ovim modelom.

U tablici 2.17 nalaze se rezultati Tukey-evog *post hoc* testa za drugi rok berbe. Vidimo da statistički značajnu razliku među sortama čini leccino obzirom na preostale tri sorte.

Tablica 2.17: Rezultati Tukey-evog *post hoc* testa za tvrdoću ploda u drugom roku berbe (Ispis iz SAS-a)

| sorta | tvrdoća_2 LSMEAN | LSMEAN Number |
|----------|------------------|---------------|
| coratina | 69.3618418 | 1 |
| lastovka | 61.5477577 | 2 |
| leccino | 86.1629974 | 3 |
| oblica | 62.4977324 | 4 |

| Least Squares Means for effect sorta Pr > t for H0: LSmean(i)=LSmean(j) | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|
| Dependent Variable: tvrdoća_2 | | | | |
| i/j | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | | 0.6634 | 0.0418 | 0.7220 |
| 2 | 0.6634 | | 0.0013 | 0.9990 |
| 3 | 0.0418 | 0.0013 | | 0.0012 |
| 4 | 0.7220 | 0.9990 | 0.0012 | |



Slika 2.8: Grafički prikaz rezultata Tukey-evog *post hoc* testa za tvrdoću ploda u drugom roku berbe (Ispis iz SAS-a)

Tablica 2.18: Rezultati jednofaktorske analize varijance za tvrdoću ploda u trećem roku berbe (Ispis iz SAS-a)

Dependent Variable: tvrdoca_3

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Pr > F |
|-----------------|-----|----------------|-------------|---------|--------|
| Model | 3 | 41532.0692 | 13844.0231 | 6.82 | 0.0002 |
| Error | 338 | 686176.5055 | 2030.1080 | | |
| Corrected Total | 341 | 727708.5747 | | | |

| R-Square | Coeff Var | Root MSE | tvrdoca_3 Mean |
|----------|-----------|----------|----------------|
| 0.057072 | 64.52711 | 45.05672 | 69.82603 |

| Source | DF | Type I SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|--------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| sorta | 3 | 41532.06922 | 13844.02307 | 6.82 | 0.0002 |

| Source | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|--------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| sorta | 3 | 41532.06922 | 13844.02307 | 6.82 | 0.0002 |

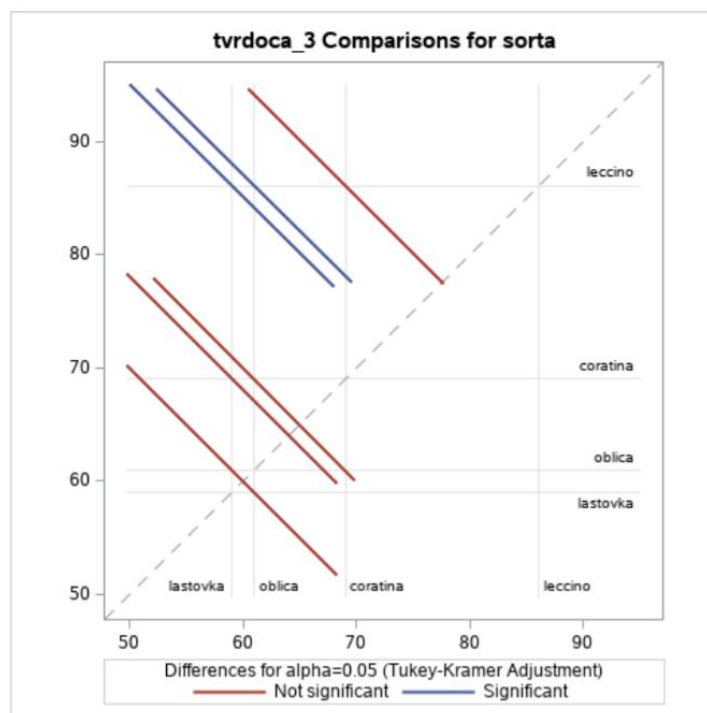
U tablici 2.18 prikazan je ispis rezultata jednofaktorske analize varijance u trećem roku berbe te vrijednosti ostalih dijagnostičkih informacija o modelu jednofaktorske analize varijance. Vidimo da postoji statistički značajna razlika među sortama za tvrdoću ploda u trećem roku berbe (p-vrijednost je 0.0002). Primijetimo da je iznos F vrijednosti približno jednak kao u prva dva roka berbe (iznosi 6.82) pa zaključujemo da se dozrijevanjem ploda ne povećava razlika između sorti. Iznos koeficijenta determinacije je ponovno oko 5% kao i u prethodna dva roka berbe pa zaključujemo da je mali dio varijabilnosti zavisne varijable objašnjen ovim modelom.

U tablici 2.19 nalaze se rezultati Tukey-evog *post hoc* testa za treći rok berbe. Vidimo da statistički značajnu razliku među sortama čini leccino obzirom na lastovku i oblicu.

Tablica 2.19: Rezultati Tukey-evog *post hoc* testa za tvrdoću ploda u trećem roku berbe (Ispis iz SAS-a)

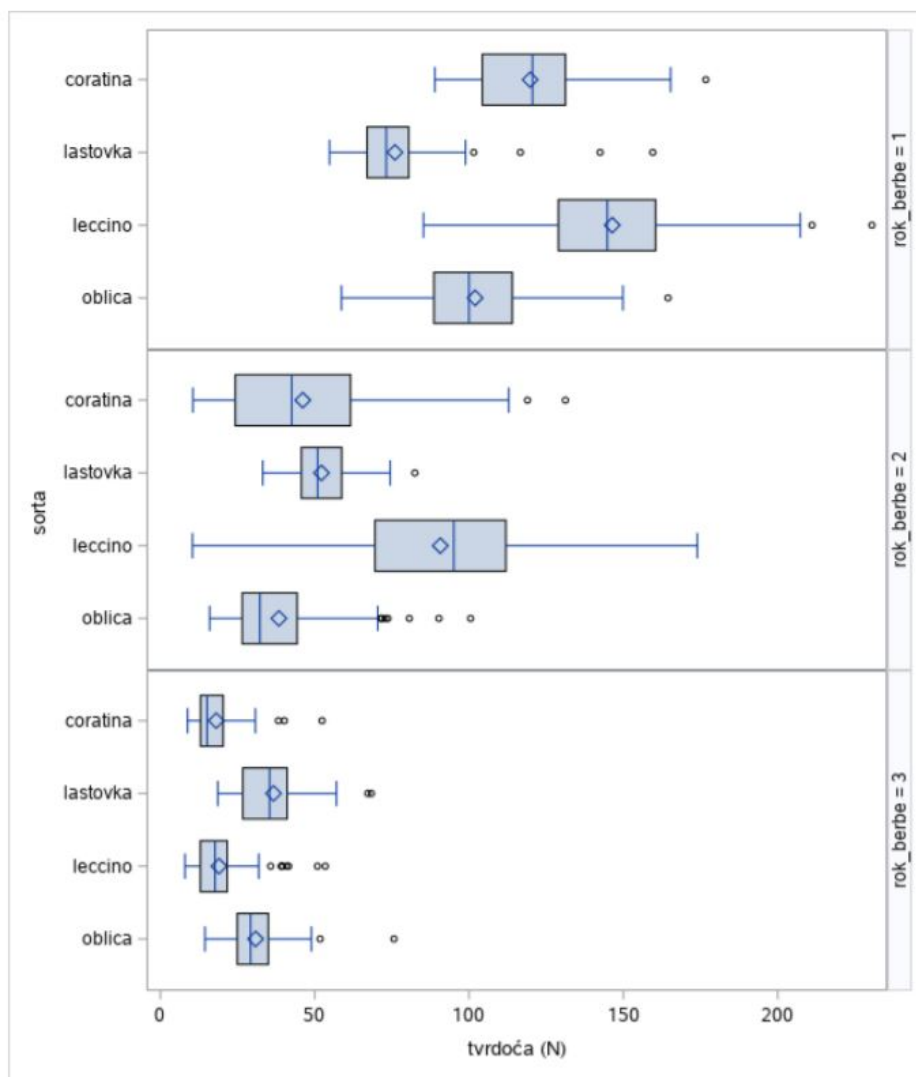
| sorta | tvrdoca_3 LSMEAN | LSMEAN Number |
|----------|------------------|---------------|
| coratina | 69.0505098 | 1 |
| lastovka | 59.0328364 | 2 |
| leccino | 86.1152622 | 3 |
| oblica | 60.9936186 | 4 |

| Least Squares Means for effect sorta Pr > t for H0: LSmean(i)=LSmean(j) | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|
| Dependent Variable: tvrdoca_3 | | | | |
| i/j | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | | 0.5068 | 0.0539 | 0.6489 |
| 2 | 0.5068 | | 0.0007 | 0.9928 |
| 3 | 0.0539 | 0.0007 | | 0.0010 |
| 4 | 0.6489 | 0.9928 | 0.0010 | |



Slika 2.9: Grafički prikaz rezultata Tukey-evog *post hoc* testa za tvrdoću ploda u trećem roku berbe (Ispis iz SAS-a)

Na slici 2.10 prikazan je *boxplot* za tvrdoću ploda s podjelom po rokovima berbe i sortama. Iz prikaza možemo zaključiti da se tvrdoća smanjuje sazrijevanjem ploda te da je varijabilnost najmanja za prezrele plodove.



Slika 2.10: *Boxplot* prikaz tvrdoće ploda s podjelom po rokovima berbe i sortama (Ispis iz SAS-a). Sivi pravokutnik označava dio između donjeg (q_L) i gornjeg kvartila (q_U), plava okomita linija unutar pravokutnika medijan, a plavi kvadratić označava aritmetičku sredinu. *Outlieri* su označeni kružićima, a okomite plave linije van pravokutnika označavaju vrijednosti koje su udaljene najviše $1.5(q_U - q_L)$ od donjeg, odnosno gornjeg kvartila.

Tablica 2.20: Test sferičnosti za tvrdoću ploda (Ispis iz SAS-a)

| Sphericity Tests | | | | |
|-----------------------|----|---------------------|------------|------------|
| Variables | DF | Mauchly's Criterion | Chi-Square | Pr > ChiSq |
| Transformed Variates | 2 | 0.7001197 | 120.14183 | <.0001 |
| Orthogonal Components | 2 | 0.9758229 | 8.2477766 | 0.0162 |

U tablici 2.20 dani su rezultati testa sferičnosti. Iz rezultata vidimo da odbacujemo nultu hipotezu da je uvjet sferičnosti zadovoljen (p-vrijednost iznosi 0.0162).

Tablica 2.21: Tablica rezultata ANOVA-e ponovljenih mjerenja između subjekata za tvrdoću ploda (Ispis iz SAS-a)

The GLM Procedure
Repeated Measures Analysis of Variance
Tests of Hypotheses for Between Subjects Effects

| Source | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|--------|-----|-------------|-------------|---------|--------|
| sorta | 3 | 113426.964 | 37808.988 | 7.55 | <.0001 |
| Error | 338 | 1692834.174 | 5008.385 | | |

U tablici između subjekata testiramo postoji li statistički značajna razlika u tvrdoći ploda među sortama. Iz rezultata u tablici 2.21 vidimo da postoji statistički značajna razlika između sorti (p-vrijednost je manja od 0.0001). Dakle, uprosječimo li podatke po rokovima berbe za svaku sortu, vidimo da postoji statistički značajna razlika među sortama.

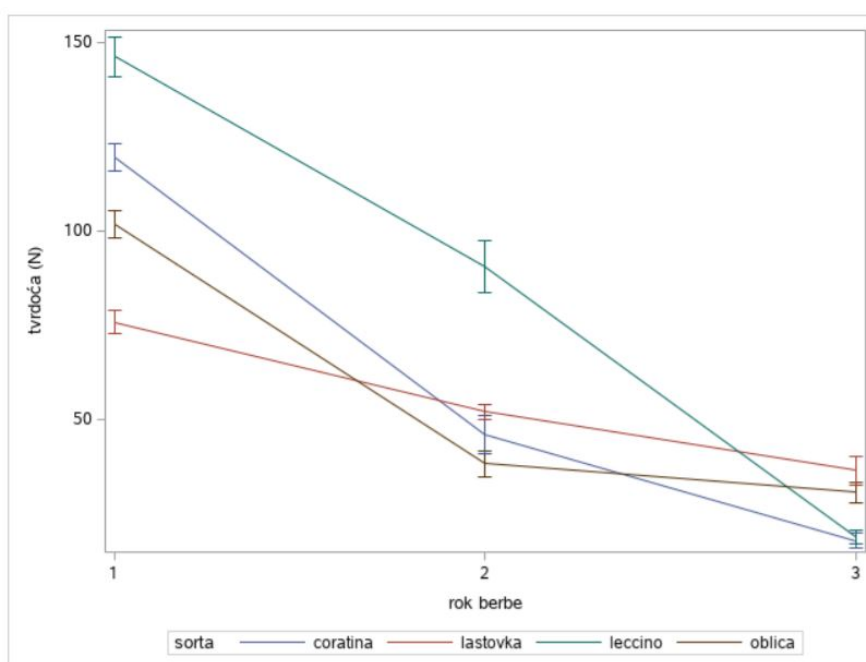
Tablica 2.22: Tablica rezultata ANOVA-e ponovljenih mjerenja unutar subjekata za tvrdoću ploda (Ispis iz SAS-a)

The GLM Procedure
Repeated Measures Analysis of Variance
Univariate Tests of Hypotheses for Within Subject Effects

| Source | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F | Adj Pr > F | |
|------------------|-----|-------------|-------------|---------|--------|------------|--------|
| | | | | | | G - G | H-F-L |
| rok_berbe | 2 | 340.7267 | 170.3634 | 0.40 | 0.6710 | 0.6661 | 0.6672 |
| rok_berbe*sorta | 6 | 200.4910 | 33.4152 | 0.08 | 0.9982 | 0.9979 | 0.9980 |
| Error(rok_berbe) | 676 | 288472.9193 | 426.7351 | | | | |

| | |
|------------------------------|--------|
| Greenhouse-Geisser Epsilon | 0.9764 |
| Huynh-Feldt-Lecoutre Epsilon | 0.9820 |

U tablici unutar subjekata testira se postoji li statistički značajna razlika za tvrdoću ploda između rokova berbe. Nadalje, testira se ponaša li se tvrdoća približno jednako po sortama za različite rokove berbe. Budući da uvjet sferičnosti nije zadovoljen, pri donošenju zaključaka gledamo Greenhouse-Geisserovu prilagodbu p-vrijednosti. Iz rezultata u tablici 2.22 vidimo da su obje prilagođene p-vrijednosti veće od 0.05 pa zaključujemo da ne postoji statistički značajna razlika između rokova berbe te da interakcija "rok_berbe*sorta" nije statistički značajna što znači da se tvrdoća ploda ponaša približno jednako po rokovima berbe.



Slika 2.11: Grafički prikaz aritmetičkih sredina i 95% pouzdanih intervala za tvrdoću ploda po sortama u sva tri roka berbe (Ispis iz SAS-a)

Na slici 2.11 prikazane su vrijednosti aritmetičkih sredina i pripadajućih 95% pouzdanih intervala za aritmetičku sredinu za tvrdoću ploda obzirom na sortu i rok berbe. Iz grafičkog prikaza vidimo da se vrijednosti tvrdoće za sve sorte smanjuju od prvog do trećeg roka berbe, a najveći pad u vrijednosti tvrdoće vidljiv je za sortu leccino. Međutim, iz rezultata iz tablice 2.22 zaključujemo da taj pad u vrijednosti tvrdoće tijekom rokova berbe nije statistički značajan, odnosno da ne postoji statistički značajna razlika između rokova berbe.

2.2.3 Suha tvar ploda

Promotrimo najprije rezultate jednofaktorskih analiza varijance za suhu tvar ploda po rokovima berbe u ovisnosti o sorti i rezultate Tukey-evog *post hoc* testa za svaki od tri roka berbe.

Tablica 2.23: Rezultati jednofaktorske analize varijance za suhu tvar ploda u prvom roku berbe (Ispis iz SAS-a)

Dependent Variable: suha_tvar_1

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Pr > F |
|-----------------|----|----------------|-------------|---------|--------|
| Model | 3 | 148.4782867 | 49.4927622 | 6.61 | 0.0097 |
| Error | 10 | 74.9091907 | 7.4909191 | | |
| Corrected Total | 13 | 223.3874774 | | | |

| R-Square | Coeff Var | Root MSE | suha_tvar_1 Mean |
|----------|-----------|----------|------------------|
| 0.664667 | 4.244214 | 2.736954 | 64.48671 |

| Source | DF | Type I SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|--------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| sorta | 3 | 148.4782867 | 49.4927622 | 6.61 | 0.0097 |

| Source | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|--------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| sorta | 3 | 148.4782867 | 49.4927622 | 6.61 | 0.0097 |

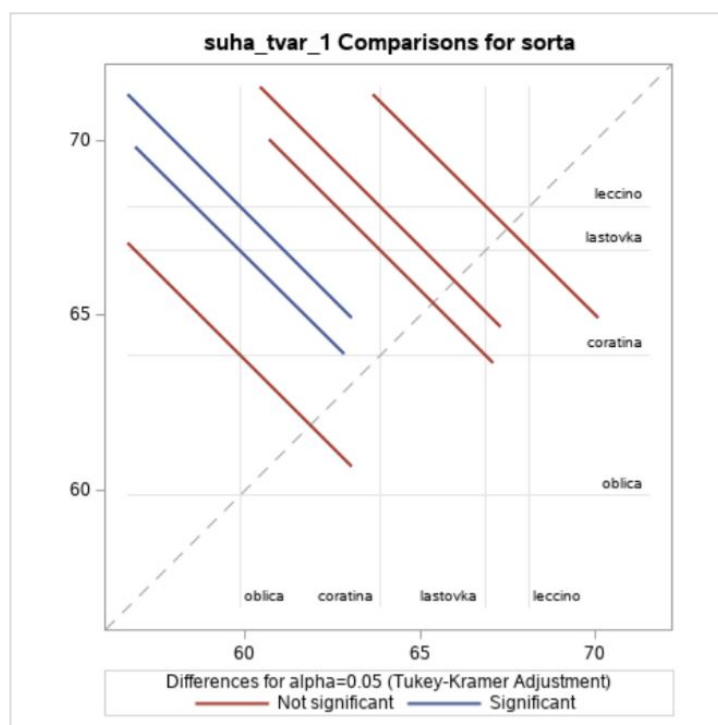
U tablici 2.23 prikazan je ispis rezultata jednofaktorske analize varijance u prvom roku berbe te vrijednosti ostalih dijagnostičkih informacija o modelu jednofaktorske analize varijance. Vidimo da postoji statistički značajna razlika među sortama za suhu tvar ploda u prvom roku berbe (p -vrijednost je 0.0097). Koeficijent determinacije iznosi 0.664667 pa zaključujemo da je oko 66% varijabilnosti zavisne varijable objašnjeno ovim modelom.

U tablici 2.24 nalaze se rezultati Tukey-evog *post hoc* testa za prvi rok berbe. Vidimo da statistički značajnu rezliku među sortama čini oblica obzirom na sorte lastovka i leccino.

Tablica 2.24: Rezultati Tukey-evog *post hoc* testa za suhu tvar ploda u prvom roku berbe (Ispis iz SAS-a)

| sorta | suha_tvar_1 LSMEAN | LSMEAN Number |
|----------|--------------------|---------------|
| coratina | 63.8736289 | 1 |
| lastovka | 66.8521535 | 2 |
| leccino | 68.1118787 | 3 |
| oblica | 59.8622142 | 4 |

| Least Squares Means for effect sorta Pr > t for H0: LSmean(i)=LSmean(j) Dependent Variable: suha_tvar_1 | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|
| i/j | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | | 0.5131 | 0.2887 | 0.2801 |
| 2 | 0.5131 | | 0.9289 | 0.0208 |
| 3 | 0.2887 | 0.9289 | | 0.0123 |
| 4 | 0.2801 | 0.0208 | 0.0123 | |



Slika 2.12: Grafički prikaz rezultata Tukey-evog *post hoc* testa za suhu tvar ploda u prvom roku berbe (Ispis iz SAS-a)

Tablica 2.25: Rezultati jednofaktorske analize varijance za suhu tvar ploda u drugom roku berbe (Ispis iz SAS-a)

Dependent Variable: suha_tvar_2

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Pr > F |
|-----------------|----|----------------|-------------|---------|--------|
| Model | 3 | 870.7360840 | 290.2453613 | 161.84 | <.0001 |
| Error | 10 | 17.9336360 | 1.7933636 | | |
| Corrected Total | 13 | 888.6697200 | | | |

| R-Square | Coeff Var | Root MSE | suha_tvar_2 Mean |
|----------|-----------|----------|------------------|
| 0.979820 | 2.299445 | 1.339165 | 58.23863 |

| Source | DF | Type I SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|--------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| sorta | 3 | 870.7360840 | 290.2453613 | 161.84 | <.0001 |

| Source | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|--------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| sorta | 3 | 870.7360840 | 290.2453613 | 161.84 | <.0001 |

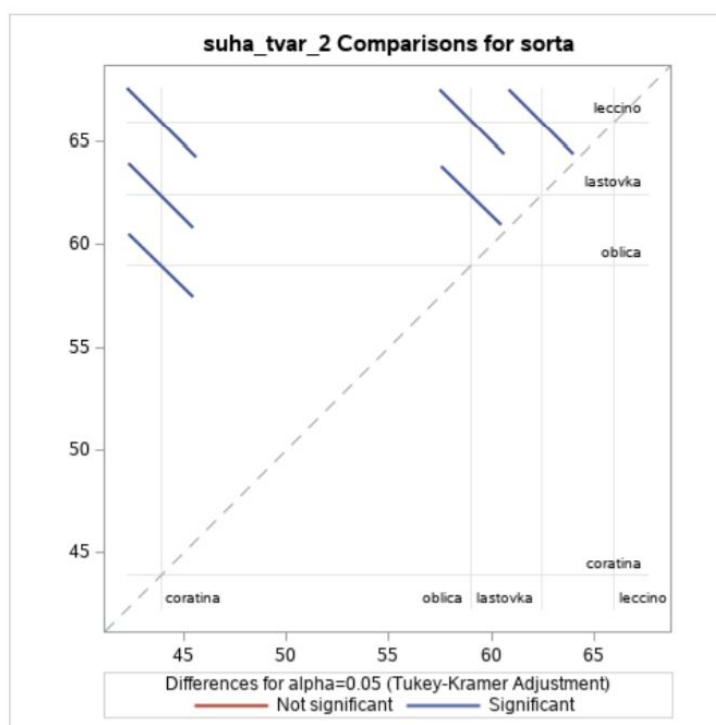
U tablici 2.25 prikazan je ispis rezultata jednofaktorske analize varijance u drugom roku berbe te vrijednosti ostalih dijagnostičkih informacija o modelu jednofaktorske analize varijance. Vidimo da postoji statistički značajna razlika među sortama za suhu tvar ploda u drugom roku berbe (p-vrijednost je manja od 0.0001). Primijetimo da je u usporedbi s prvim rokom berbe, iznos F vrijednosti u drugom roku berbe zamjetno veći (u prvom roku berbe F vrijednost je 6.61, a u drugom 161.84) što nam govori da je razlika među sortama veća u drugom roku berbe. Koeficijent determinacije iznosi 0.97982 pa zaključujemo da je gotovo 98% varijabilnosti zavisne varijable objašnjeno ovim modelom. Dakle, ovaj model jako dobro objašnjava varijabilnost zavisne varijable.

U tablici 2.26 nalaze se rezultati Tukey-evog *post hoc* testa za drugi rok berbe. Vidimo da je razlika između svakog para sorti statistički značajna.

Tablica 2.26: Rezultati Tukey-evog *post hoc* testa za suhu tvar ploda u drugom roku berbe (Ispis iz SAS-a)

| sorta | suha_tvar_2 LSMEAN | LSMEAN Number |
|----------|--------------------|---------------|
| coratina | 43.8814718 | 1 |
| lastovka | 62.4262146 | 2 |
| leccino | 65.9805812 | 3 |
| oblica | 59.0124555 | 4 |

| Least Squares Means for effect sorta Pr > t for H0: LSMean(i)=LSMean(j) | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|
| Dependent Variable: suha_tvar_2 | | | | |
| i/j | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | | <.0001 | <.0001 | <.0001 |
| 2 | <.0001 | | 0.0258 | 0.0210 |
| 3 | <.0001 | 0.0258 | | 0.0002 |
| 4 | <.0001 | 0.0210 | 0.0002 | |



Slika 2.13: Grafički prikaz rezultata Tukey-evog *post hoc* testa za suhu tvar ploda u drugom roku berbe (Ispis iz SAS-a)

Tablica 2.27: Rezultati jednofaktorske analize varijance za suhu tvar ploda u trećem roku berbe (Ispis iz SAS-a)

Dependent Variable: suha_tvar_3

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Pr > F |
|-----------------|----|----------------|-------------|---------|--------|
| Model | 3 | 346.9743142 | 115.6581047 | 26.79 | <.0001 |
| Error | 10 | 43.1753546 | 4.3175355 | | |
| Corrected Total | 13 | 390.1496689 | | | |

| R-Square | Coeff Var | Root MSE | suha_tvar_3 Mean |
|----------|-----------|----------|------------------|
| 0.889336 | 3.390539 | 2.077868 | 61.28430 |

| Source | DF | Type I SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|--------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| sorta | 3 | 346.9743142 | 115.6581047 | 26.79 | <.0001 |

| Source | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|--------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| sorta | 3 | 346.9743142 | 115.6581047 | 26.79 | <.0001 |

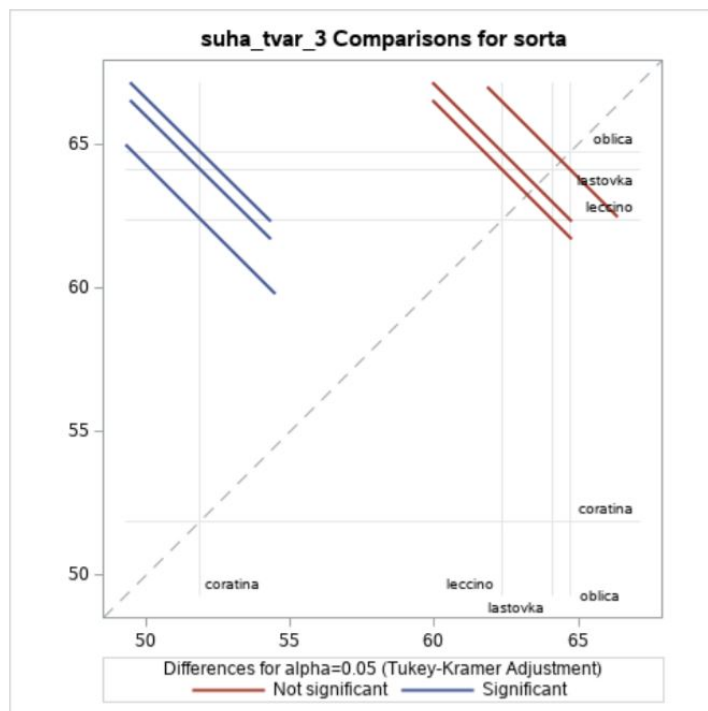
U tablici 2.27 prikazan je ispis rezultata jednofaktorske analize varijance u trećem roku berbe te vrijednosti ostalih dijagnostičkih informacija o modelu jednofaktorske analize varijance. Vidimo da postoji statistički značajna razlika među sortama za suhu tvar ploda u trećem roku berbe (p-vrijednost je manja od 0.0001). F vrijednost iznosi 26.79 što je manje u odnosu na vrijednost iz drugog roka berbe pa zaključujemo da je u trećem roku berbe manja razlika između sorti u usporedbi s drugim rokom berbe. Koeficijent determinacije iznosi 0.889336 pa zaključujemo da je gotovo 90% varijabilnosti zavisne varijable objašnjeno ovim modelom. Dakle, ovaj model jako dobro objašnjava varijabilnost zavisne varijable.

U tablici 2.28 nalaze se rezultati Tukey-evog *post hoc* testa za treći rok berbe. Vidimo da statistički značajnu razliku među sortama čini coratina obzirom na preostale tri promatrane sorte.

Tablica 2.28: Rezultati Tukey-evog *post hoc* testa za suhu tvar ploda u trećem roku berbe (Ispis iz SAS-a)

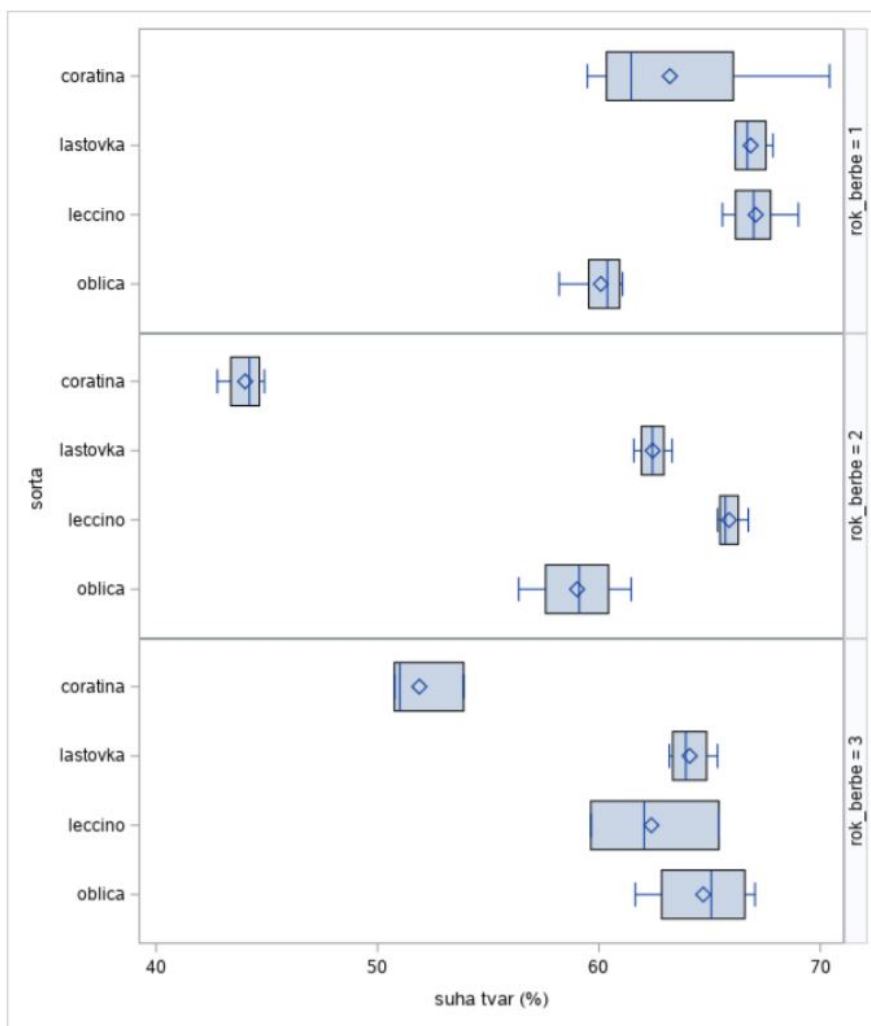
| sorta | suha_tvar_3 LSMEAN | LSMEAN Number |
|----------|--------------------|---------------|
| coratina | 51.8872452 | 1 |
| lastovka | 64.0958252 | 2 |
| leccino | 62.3653260 | 3 |
| oblica | 64.7097871 | 4 |

| Least Squares Means for effect sorta Pr > t for H0: LSmean(i)=LSmean(j) Dependent Variable: suha_tvar_3 | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|
| i/j | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | | <.0001 | 0.0005 | <.0001 |
| 2 | <.0001 | | 0.7029 | 0.9741 |
| 3 | 0.0005 | 0.7029 | | 0.4846 |
| 4 | <.0001 | 0.9741 | 0.4846 | |



Slika 2.14: Grafički prikaz rezultata Tukey-evog *post hoc* testa za suhu tvar ploda u trećem roku berbe (Ispis iz SAS-a)

Na slici 2.15 prikazan je *boxplot* za suhu tvar ploda s podjelom po rokovima berbe i sortama. Možemo zamijetiti veće razlike u vrijednostima među sortama i po rokovima berbe. Primijetimo da je za sortu coratina u prvom roku berbe veći raspon vrijednosti, zatim se u drugom roku berbe raspon smanjuje kao i same vrijednosti suhe tvari ploda, a u trećem roku berbe vrijednosti su ponovno veće.



Slika 2.15: *Boxplot* prikaz suhe tvari ploda s podjelom po rokovima berbe i sortama (Ispis iz SAS-a). Sivi pravokutnik označava dio između donjeg (q_L) i gornjeg kvartila (q_U), plava okomita linija unutar pravokutnika medijan, a plavi kvadratić označava aritmetičku sredinu. *Outlieri* su označeni kružićima, a okomite plave linije van pravokutnika označavaju vrijednosti koje su udaljene najviše $1.5(q_U - q_L)$ od donjeg, odnosno gornjeg kvartila.

Tablica 2.29: Test sferičnosti za suhu tvar ploda (Ispis iz SAS-a)

| Sphericity Tests | | | | |
|-----------------------|----|---------------------|------------|------------|
| Variables | DF | Mauchly's Criterion | Chi-Square | Pr > ChiSq |
| Transformed Variates | 2 | 0.7692732 | 2.3607825 | 0.3072 |
| Orthogonal Components | 2 | 0.999302 | 0.0062843 | 0.9969 |

U tablici 2.29 dani su rezultati testa sferičnosti. Iz rezultata zaključujemo da je uvjet sferičnosti zadovoljen (p-vrijednost iznosi 0.9969).

Tablica 2.30: Tablica rezultata ANOVA-e ponovljenih mjerenja između subjekata za suhu tvar ploda (Ispis iz SAS-a)

The GLM Procedure
Repeated Measures Analysis of Variance
Tests of Hypotheses for Between Subjects Effects

| Source | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|--------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| sorta | 3 | 865.8888797 | 288.6296266 | 51.98 | <.0001 |
| Error | 10 | 55.5240587 | 5.5524059 | | |

U tablici između subjekata testiramo postoji li statistički značajna razlika u suhoj tvari ploda među sortama. Iz rezultata u tablici 2.12 vidimo da postoji statistički značajna razlika između sorti (p-vrijednost je manja od 0.0001). Dakle, uprosječimo li podatke po rokovima berbe za svaku sortu, vidimo da postoji statistički značajna razlika među sortama.

Tablica 2.31: Tablica rezultata ANOVA-e ponovljenih mjerenja unutar subjekata za suhu tvar ploda (Ispis iz SAS-a)

The GLM Procedure
Repeated Measures Analysis of Variance
Univariate Tests of Hypotheses for Within Subject Effects

| Source | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F | Adj Pr > F | |
|------------------|----|-------------|-------------|---------|--------|------------|--------|
| | | | | | | G - G | H-F-L |
| rok_berbe | 2 | 323.8896941 | 161.9448470 | 40.24 | <.0001 | <.0001 | <.0001 |
| rok_berbe*sorta | 6 | 500.2998052 | 83.3833009 | 20.72 | <.0001 | <.0001 | <.0001 |
| Error(rok_berbe) | 20 | 80.4941227 | 4.0247061 | | | | |

| | |
|------------------------------|--------|
| Greenhouse-Geisser Epsilon | 0.9993 |
| Huynh-Feldt-Lecoutre Epsilon | 1.2488 |

U tablici unutar subjekata testira se postoji li statistički značajna razlika za suhu tvar ploda između rokova berbe. Nadalje, testira se ponaša li se suha tvar jednako po sortama za različite rokove berbe. Iz rezultata u tablici 2.31 vidimo da su obje p-vrijednosti manje od 0.0001 pa zaključujemo da postoji statistički značajna razlika između rokova berbe te da je interakcija "rok_berbe*sorta" statistički značajna. Budući da je interakcija statistički značajna, zaključak o tome razlikuje li se suha tvar ploda po sortama različit je u ovisnosti o tome koji rok berbe promatramo.

Tablica 2.32: Analiza varijance kontrastnih varijabli (Ispis iz SAS-a)

Repeated Measures Analysis of Variance
Analysis of Variance of Contrast Variables

rok_berbe_N represents the contrast between the nth level of rok_berbe and the 1st

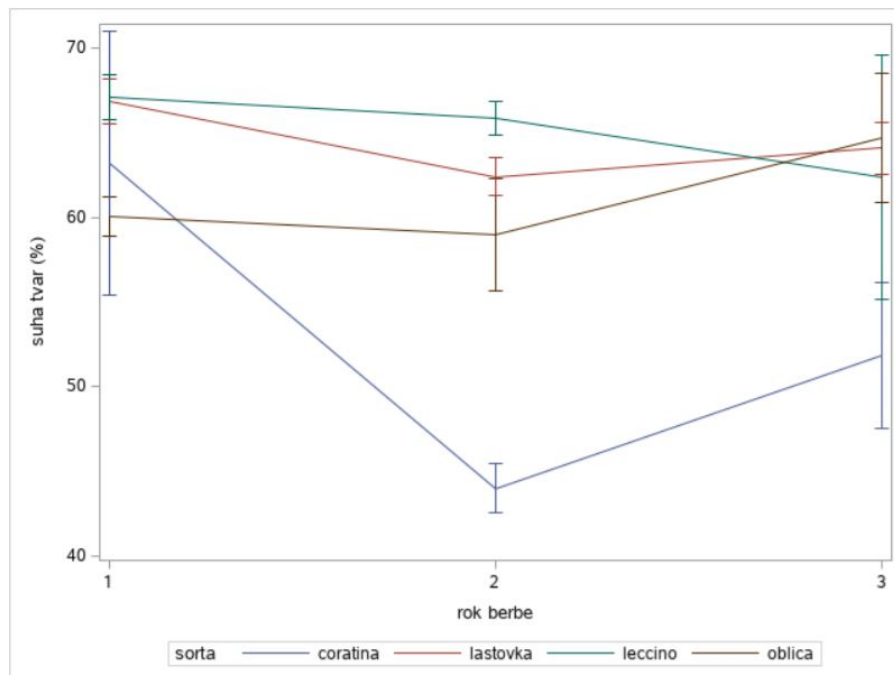
Contrast Variable: rok_berbe_2

| Source | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|--------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| Mean | 1 | 643.4687443 | 643.4687443 | 77.92 | <.0001 |
| sorta | 3 | 747.3909444 | 249.1303148 | 30.17 | <.0001 |
| Error | 10 | 82.5790790 | 8.2579079 | | |

Contrast Variable: rok_berbe_3

| Source | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|--------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| Mean | 1 | 209.7107320 | 209.7107320 | 26.27 | 0.0004 |
| sorta | 3 | 510.8974256 | 170.2991419 | 21.34 | 0.0001 |
| Error | 10 | 79.8145256 | 7.9814526 | | |

U tablici unutar subjekata dobili smo potvrđan odgovor na pitanje postoji li statistički značajna razlika za suhu tvar ploda među rokovima berbe. Sada ćemo usporediti suhu tvar ploda u drugom i trećem roku berbe s prvim rokom berbe. U tablici 2.32 testiramo postoji li statistički značajna razlika za suhu tvar ploda između prvog i drugog roka berbe te između prvog i trećeg roka berbe. Također, testiramo postoji li statistički značajna razlika između sorti u prvom i drugom, odnosno prvom i trećem roku berbe. Prema rezultatima u tablici 2.32 zaključujemo da postoji statistički značajna razlika za suhu tvar ploda između prvog i drugog roka berbe te da postoji statistički značajna razlika u suhoj tvari ploda među sortama u prvom i drugom roku berbe (p-vrijednosti su manje od 0.0001). Nadalje, isti zaključak vrijedi i prilikom usporedbe prvog i trećeg roka berbe (p-vrijednosti iznose 0.0004 i 0.0001).



Slika 2.16: Grafički prikaz aritmetičkih sredina i 95% pouzdanih intervala za suhu tvar ploda po sortama u sva tri roka berbe (Ispis iz SAS-a)

Na slici 2.16 prikazane su vrijednosti aritmetičkih sredina i pripadajućih 95% pouzdanih intervala za aritmetičku sredinu za suhu tvar ploda obzirom na sortu i rok berbe. Iz grafičkog prikaza možemo iščitati da se vrijednosti za sortu coratina u drugom i trećem roku berbe razlikuju od vrijednosti za preostale sorte te je za sortu coratina primjetna razlika u vrijednostima za različite rokove berbe.

2.3 Zaključak

Sumirajmo na kraju rezultate za sve tri zavisne varijable koje smo analizirali.

Što se tiče elastičnosti ploda, postoji statistički značajna razlika među sortama u svakom od tri roka berbe. U prvom i trećem roku berbe statistički značajnu razliku među sortama čini lastovka obzirom na preostale tri promatrane sorte, dok u drugom roku berbe statistički značajnu razliku među sortama čini lastovka obzirom na oblicu i leccino. Nadalje, postoji statistički značajna razlika u elastičnosti ploda među sortama, a ne postoji statistički značajna razlika u elastičnosti ploda između rokova berbe te interakcija "rok_berbe*sorta" nije statistički značajna.

Kod tvrdoće ploda također postoji statistički značajna razlika među sortama u svakom od tri roka berbe. U prvom i trećem roku berbe statistički značajnu razliku među sortama čini sorta leccino obzirom na lastovku i oblicu, dok u drugom roku berbe statistički značajnu razliku među sortama čini leccino obzirom na preostale tri promatrane sorte. Postoji statistički značajna razlika u tvrdoći ploda među sortama, a ne postoji statistički značajna razlika u tvrdoći ploda između rokova berbe te interakcija "rok_berbe*sorta" nije statistički značajna.

Posljednja analizirana osobina ploda masline bila je suha tvar ploda. Zaključili smo da postoji statistički značajna razlika među sortama u svakom od tri roka berbe. U prvom roku berbe statistički značajnu razliku među sortama čini oblica obzirom na lastovku i leccino. U drugom roku berbe razlika između svakog para sorti statistički je značajna, dok u trećem roku berbe statistički značajnu razliku među sortama čini coratina obzirom na preostale tri promatrane sorte. Nadalje, postoji statistički značajna razlika u suhoj tvari ploda među sortama te postoji statistički značajna razlika između rokova berbe i interakcija "rok_berbe*sorta" statistički je značajna.

Poglavlje 3

Dodatak

Kod u SAS-u

Podaci su na početku učitani u tablice podaci_st i podaci_tv_el koje se sastoje od stupaca sorta, rok_berbe, stablo (oznaka stabla s kojega je ubran plod) te oznake zavisne varijable (suha_tvar, elasticnost, tvrdoca). Nakon toga podaci su sortirani po sorti i oznaci stabla te restrukturirani kako bismo ih pripremili za *glm* proceduru.

```
/*restrukturiranje podataka*/
data podaci_el_glm(keep=sorta stablo elasticnost_1-elasticnost_3);
    array el(3) elasticnost_1-elasticnost_3;
    do Time=1 to 3;
        set podaci_tv_el;
        by sorta stablo;
        el(Time)=elasticnost;
        if last.stablo then return;
    end;
run;

data podaci_tv_glm(keep=sorta stablo tvrdoca_1-tvrdoca_3);
    array tv(3) tvrdoca_1-tvrdoca_3;
    do Time=1 to 3;
        set podaci_tv_el;
        by sorta stablo;
        tv(Time)=tvrdoca;
        if last.stablo then return;
    end;
run;
```

```
data podaci_st_glm(keep=sorta stablo suha_tvar_1-suha_tvar_3);
  array st(3) suha_tvar_1-suha_tvar_3;
  do Time=1 to 3;
    set podaci_st;
    by sorta stablo;
    st(Time)=suha_tvar;
    if last.stablo then return;
  end;
run;
```

```
/*deskriptivna statistika*/
```

```
proc means data=PODACI_TV_GLM chartype n mean std min max median
  vardef=df qmethod=os nonobs;
  var tvrdoca_1 tvrdoca_2 tvrdoca_3;
  class sorta;
run;
```

```
proc means data=PODACI_ST_GLM chartype n mean std min max median
  vardef=df qmethod=os nonobs;
  var suha_tvar_1 suha_tvar_2 suha_tvar_3;
  class sorta;
run;
```

```
proc means data=PODACI_EL_GLM chartype n mean std min max median
  vardef=df qmethod=os nonobs;
  var elasticnost_1 elasticnost_2 elasticnost_3;
  class sorta;
run;
```

```
/*grafički prikaz*/
```

```
proc sgplot data=podaci_st;
  vline rok_berbe / response=suha_tvar group=sorta stat=mean
    limitstat=CLM;
  yaxis label='suha tvar (%)';
  xaxis label='rok berbe';
run;
```

```
proc sgplot data=podaci_tv_el;
    vline rok_berbe / response=tvrdoća group=sorta stat=mean
        limitstat=CLM;
    yaxis label='tvrdoća (N)';
    xaxis label='rok berbe';
run;

proc sgplot data=podaci_tv_el;
    vline rok_berbe / response=elasticnost group=sorta stat=mean
        limitstat=CLM;
    yaxis label='elastičnost (mm)';
    xaxis label='rok berbe';
run;

/*boxplot-ovi*/
ods graphics / reset width=600px height=700px;

proc sgppanel data=PODACI_TV_EL;
    panelby rok_berbe / columns=1 layout=rowlattice;
    hbox elasticnost / category=sorta boxwidth=0.7;
    colaxis label='elastičnost (mm)';
run;

proc sgppanel data=PODACI_TV_EL;
    panelby rok_berbe / columns=1 layout=rowlattice;
    hbox tvrdoća / category=sorta boxwidth=0.7;
    colaxis label='tvrdoća (N)';
run;

proc sgppanel data=PODACI_ST;
    panelby rok_berbe / columns=1 layout=rowlattice;
    hbox suha_tvar / category=sorta boxwidth=0.7;
    colaxis label='suha tvar (%)';
run;
```

```
/*anova ponovljenih mjerenja*/
proc glm data=podaci_el_glm;
    class sorta;
    model elasticnost_1 - elasticnost_3=sorta;
    repeated rok_berbe 3 / printe;
    lsmeans sorta / pdiff adjust=tukey;
    means sorta;
run;

proc glm data=podaci_tv_glm;
    class sorta;
    model tvrdoca_1 - tvrdoca_3=sorta;
    repeated rok_berbe 3 / printe;
    lsmeans sorta / pdiff adjust=tukey;
    means sorta;
run;

proc glm data=podaci_st_glm;
    class sorta;
    model suha_tvar_1 - suha_tvar_3=sorta;
    repeated rok_berbe 3 contrast(1) / summary printm;
    lsmeans sorta / pdiff adjust=tukey;
    means sorta;
run;
```

Bibliografija

- [1] https://documentation.sas.com/doc/en/pgmsascdc/9.4_3.4/statug/statug_glm_toc.htm.
- [2] Davis, C.S.: *Statistical methods for the analysis of repeated measurements*. Springer, New York, 2002.
- [3] H. Huynh, L.S. Feldt: *Estimation of the Box Correction for Degrees of Freedom from Sample Data in Randomized Block and Split-Plot Designs*. *Journal of Educational Statistics*, 1:69 – 82, 1976.
- [4] Jazbec, A.: *Odabrane statističke metode u biomedicini*. PMF-MO, nastavni materijali, 2020.
- [5] Molnar, N.: *Višefaktorska analiza varijance ponovljenih mjerenja*. diplomski rad, 2016.
- [6] Pažin, I.: *Analiza varijance ponovljenih mjerenja*. diplomski rad, 2014.
- [7] S.W. Greenhouse, S. Geisser: *On methods in the analysis of profile data*. *Psychometrika*, 24:95–112, 1959.

Sažetak

U ovom radu analizirali smo reološke i kemijske osobine ploda masline u ovisnosti o sorti i zrelosti ploda analizom varijance ponovljenih mjerenja s interakcijom između sorte i zrelosti ploda. Analizirali smo elastičnost i tvrdoću kao reološka svojstva te suhu tvar kao kemijsko svojstvo ploda. Promatrali smo četiri sorte: oblica, leccino, lastovka i coratina te tri roka berbe koji su određeni prema obojenosti ploda masline tijekom dozrijevanja. Podaci koje smo obrađivali prikupljeni su za projekt „Analiza teksturnog profila kao čimbenik preradbenih značajki i vrednovanja bioraznolikosti autohtonih sorti maslina” Instituta za Jadranske kulture i melioraciju krša u Splitu tijekom rujna i listopada 2019. godine u masliniku OPG-a Jagoda Alfirević u Kaštel Sućurcu.

Naglasak rada bio je na praktičnoj primjeni analize varijance ponovljenih mjerenja te na interpretaciji rezultata dobivenih korištenjem *glm* procedure u statističkom programu SAS. Prije praktične primjene, u prvom poglavlju objašnjeni su statistički pojmovi koje smo koristili u nastavku rada.

Za sve tri zavisne varijable (elastičnost, tvrdoća i suha tvar ploda) postoji statistički značajna razlika među sortama u svakom od tri roka berbe. Kod elastičnosti ploda, u prvom i trećem roku berbe statistički značajnu razliku među sortama čini lastovka obzirom na preostale tri promatrane sorte, dok u drugom roku berbe statistički značajnu razliku među sortama čini lastovka obzirom na oblicu i leccino. Što se tiče tvrdoće ploda, u prvom i trećem roku berbe statistički značajnu razliku među sortama čini sorta leccino obzirom na lastovku i oblicu, dok u drugom roku berbe statistički značajnu razliku među sortama čini leccino obzirom na preostale tri promatrane sorte. Kod suhe tvari ploda, u prvom roku berbe statistički značajnu razliku među sortama čini oblica obzirom na lastovku i leccino, u drugom roku berbe razlika između svakog para sorti statistički je značajna, dok u trećem roku berbe statistički značajnu razliku među sortama čini coratina obzirom na preostale tri promatrane sorte. Nadalje, postoji statistički značajna razlika u elastičnosti i tvrdoći ploda među sortama, a ne postoji statistički značajna razlika između rokova berbe te interakcija "rok_berbe*sorta" nije statistički značajna. Na kraju, zaključili smo da postoji statistički značajna razlika u suhoj tvari ploda među sortama te da postoji statistički značajna razlika između rokova berbe i interakcija "rok_berbe*sorta" statistički je značajna.

Summary

In this paper we have analysed the rheological and chemical properties of olive fruit depending on the cultivar and fruit maturity by using the repeated measures analysis of variance with the interaction between cultivar and fruit maturity. Springiness and hardness as rheological properties as well as dry matter as a chemical property of the fruit were examined. We observed four cultivars: 'Oblica', 'Leccino', 'Lastovka' and 'Coratina', and three harvest periods that were determined by the colour of the olive fruit during ripening. The data we processed were collected as a part of the project "Analysis of textural profile as a factor in processing characteristics and evaluation of biodiversity of autochthonous olive cultivars" conducted by the Institute for Adriatic Crops and Karst Reclamation in Split during September and October 2019 in the olive orchard Jagoda Alfirević in Kaštel Sućurac.

The emphasis of the paper was on the practical application of the repeated measures analysis of variance and the interpretation of the results obtained using the *glm* procedure in SAS. Before practical application, the first chapter explains the statistical concepts that we used in the following chapter.

For all three dependant variables (fruit springiness, hardness and dry matter) there is a statistically significant difference between cultivars in each of the three harvest periods. In terms of fruit springiness, in the first and third harvest period a statistically significant difference between cultivars is found at 'Lastovka' with regard to the remaining three observed cultivars, while in the second harvest period a statistically significant difference between cultivars is detected at 'Lastovka' with regard to 'Oblica' and 'Leccino'. As for fruit hardness, in the first and third harvest period a statistically significant difference between cultivars is detected at the cultivar 'Leccino' with regard to 'Lastovka' and 'Oblica', while in the second harvest period a statistically significant difference between cultivars is found at 'Leccino' with regard to the remaining three observed cultivars. In the case of fruit dry matter, in the first harvest period a statistically significant difference between cultivars is made by 'Oblica' with regard to 'Lastovka' and 'Leccino', in the second harvest period there is a statistically significant difference between every pair of cultivars, while in the third harvest period there is a statistically significant difference between 'Coratina' and remaining three observed cultivars. Furthermore, there is a statistically significant difference

in fruit springiness and hardness between cultivars, however there is no statistically significant difference between harvest periods and the interaction "harvest_period*cultivar" is not statistically significant. Finally, it was concluded that both difference in fruit dry matter between cultivars and a difference in harvest periods were found to be statistically significant, as well as the interaction "harvest_period*cultivar".

Životopis

Rođena sam 4. travnja 1997. godine u Zagrebu. Pohađala sam Osnovnu školu Vjenceslava Novaka u Zagrebu, a nakon toga II. gimnaziju u Zagrebu. Tijekom osnovne i srednje škole aktivno sam se bavila odbojkom. Nakon završetka srednje škole, 2016. godine upisala sam preddiplomski studij Matematike na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu. Preddiplomski studij završila sam 2019. godine te iste godine upisala diplomski studij Matematičke statistike na istom fakultetu.