



Sveučilište u Zagrebu
AGRONOMSKI FAKULTET

Nevena Opačić

**UPRAVLJANJE AGROTEHNIČKIM MJERAMA PRI
SUVREMENIM HIDROPONSKIM TEHNIKAMA UZGOJA
KOPRIVE (*URTICA DIOICA L.*)**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2024.



University of Zagreb
FACULTY OF AGRICULTURE

Nevena Opačić

**MANAGEMENT OF AGRICULTURAL PRACTICES FOR THE
CULTIVATION OF NETTLE (*URTICA DIOICA L.*) WITH
MODERN HYDROPONIC TECHNIQUES**

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu
AGRONOMSKI FAKULTET

Nevena Opačić

**UPRAVLJANJE AGROTEHNIČKIM MJERAMA PRI
SUVREMENIM HIDROPONSKIM TEHNIKAMA UZGOJA
KOPRIVE (*URTICA DIOICA L.*)**

DOKTORSKI RAD

Mentori:
izv. prof. dr. sc. Sanja Radman
izv. prof. dr. sc. Jana Šic Žlabur

Zagreb, 2024.



University of Zagreb
FACULTY OF AGRICULTURE

Nevena Opačić

**MANAGEMENT OF AGRICULTURAL PRACTICES FOR THE
CULTIVATION OF NETTLE (*URTICA DIOICA L.*) WITH
MODERN HYDROPONIC TECHNIQUES**

DOCTORAL THESIS

Supervisors:
Assoc. Prof. Sanja Radman
Assoc. Prof. Jana Šic Žlabur

Zagreb, 2024.

Bibliografski podaci:

Znanstveno područje: Biotehničko područje

Znanstveno polje: Poljoprivreda (Agronomija)

Znanstvena grana: Povrćarstvo

Institucija: Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zavod za povrćarstvo

Voditelji doktorskog rada: izv. prof. dr. sc. Sanja Radman i izv. prof. dr. sc. Jana Šic Žlabur

Broj stranica: 108

Broj slika: 24

Broj grafova: 36

Broj tablica: 8

Broj priloga: /

Broj literaturnih referenci: 193

Datum obrane doktorskog rada: _____._____._____.

Sastav povjerenstva za obranu doktorskog rada:

1. izv. prof. dr. sc. Sanja Fabek Uher (predsjednica),
2. prof. dr. sc. Lepomir Čoga,
3. izv. prof. dr. sc. Maja Repajić

Rad je pohranjen u:

Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu, Ulica Hrvatske bratske zajednice 4 p.p. 550,
10 000 Zagreb,

Knjižnici Sveučilište u Zagrebu Agronomskog fakulteta, Svetosimunska cesta 25, 10 000
Zagreb.

Tema rada prihvaćena je na sjednici Fakultetskog vijeća Sveučilište u Zagrebu Agronomskog fakulteta, održanoj dana 8. ožujka 2022. godine, te odobrena na sjednici Senata Sveučilišta u Zagrebu, održanoj dana 25. svibnja 2022. godine.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZJAVA O IZVORNOSTI

Ja, **Nevena Opačić**, izjavljujem da sam samostalno izradila doktorski rad pod naslovom:

**UPRAVLJANJE AGROTEHNIČKIM MJERAMA PRI SUVREMENIM
HIDROPONSKIM TEHNIKAMA UZGOJA KOPRIVE (*URTICA DIOICA L.*)**

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica ovog doktorskog rada
- da je doktorski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi nisam koristila drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni
- da sam upoznata s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

Zagreb, 24.6.2024.

Potpis doktorandice

Ovu doktorsku disertaciju ocijenilo je povjerenstvo u sastavu:

1. izv. prof. dr. sc. Sanja Fabek Uher
izvanredna profesorica Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta
2. prof. dr. sc. Lepomir Čoga
redoviti profesor u trajnom zvanju Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta

3. izv. prof. dr. sc. Maja Repajić
izvanredna profesorica Sveučilišta u Zagrebu Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta

Disertacija je obranjena na Sveučilištu u Zagrebu Agronomskom fakultetu, _____
pred povjerenstvom u sastavu:

1. izv. prof. dr. sc. Sanja Fabek Uher _____
izvanredna profesorica Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta
2. prof. dr. sc. Lepomir Čoga _____
redoviti profesor u trajnom zvanju Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta
3. izv. prof. dr. sc. Maja Repajić _____
izvanredna profesorica Sveučilišta u Zagrebu Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta

INFORMACIJE O MENTORIMA:

Izv. prof. dr. sc. Sanja Radman, viša znanstvena suradnica

Sanja Radman (rođ. StUBLJAR) rođena je 6. srpnja 1986. u Novom Mestu u Republici Sloveniji. Srednju školu nastavnog programa Opća gimnazija završila je 2005. godine u Karlovcu, a iste godine upisuje prediplomski studij Hortikultura na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Završni rad na temu „Nastanak ozljeda plodova breskve i nektarine od niske temperature“ obranila je 2008. godine i iste godine upisala diplomski studij, smjer Voćarstvo. Diplomirala je 2010. godine obranivši diplomski rad naslova „Kakvoća plodova i intenzitet pojave fitopatogenih gljiva na toplinski tretiranoj nektarini sorte 'Venus' poslije berbe“. Tijekom diplomskog studija obaveznu stručnu praksu obavljala je u inozemstvu u instituciji Technische Universität München. Godine 2011. upisuje poslijediplomski doktorski studij Poljoprivredne znanosti te se zapošljava kao znanstveni novak (asistent) u Zavodu za povrćarstvo. Doktorsku disertaciju naslova „Utjecaj gnojidbe dušikom i načina uzgoja na kemijski sastav dvodomne koprive (*Urtica dioica L.*)“ obranila je 2015. godine na Sveučilištu u Zagrebu Agronomskom fakultetu i stekla akademski stupanj doktorice znanosti iz područja Biotehničkih znanosti, polja Poljoprivrede, grane Povrćarstvo. U suradničko zvanje i na radno mjesto poslijedoktorand izabrana je 2015. godine, u nastavno-znanstveno zvanje docentice 2017. godine, a u izvanrednu profesoricu 2022. godine.

Aktivno sudjeluje u provedbi znanstveno-istraživačkih i stručnih projekata, kao i razvojnih te nastavnih projekta iz Erasmus+ programa. Uža znanstvena djelatnost vezana je za područje ekološkog uzgoja povrća, ljekovitog i aromatičnog bilja, introdukcije ljekovitih biljnih vrsta u poljoprivrednu proizvodnju, utjecaja ekoloških i antropoloških čimbenika na prinos i kvalitetu droge ljekovitog i aromatičnog bilja te primjenu suvremenih tehnika uzgoja u uzgoju povrća i ljekovitog bilja.

Kao nositelj ili suradnik sudjeluje u izvođenju nastave na akreditiranim Agronomskog fakulteta na prijediplomskom (Osnove povrćarstva, Osnove proizvodnje povrća, Osnove uzgoja aromatičnog i ljekovitog bilja, Zaštićeni prostori) i diplomskom studiju (Organsko-biološka proizvodnja povrća, Proizvodnja i prerada jestivih i ljekovitih gljiva, Proizvodnja sjemena povrća, Suvremena proizvodnja aromatičnog i ljekovitog bilja) te na poslijediplomskom doktorskom studiju (Tehnološki čimbenici proizvodnje ljekovitog bilja). Bila je mentorica nekoliko diplomskih i završnih radova te stručnih projekata, kao i mentorica te voditeljica stručne prakse na obje razine studija. U cilju nastavnog usavršavanja u 2016. godini pohađala je ciklus radionica naslova „Podizanje kvalitete izvedbe visokoškolske nastave“, a u 2020. godini „Aktivno učenje i kritičko mišljenje u visokoškolskoj nastavi“.

Kao autor ili koautor objavila je ukupno 50 znanstvenih radova te sudjelovala na 13 međunarodnih znanstvenih skupova i 1 nacionalnom znanstvenom skupu. Bila je članica organizacijskog odbora međunarodnog znanstvenog simpozija „6th Balkan Symposium on Vegetables and Potatoes“, održanog u Zagrebu 2014. godine te urednica znanstvenog zbornika istog simpozija. Na međunarodnom simpoziju agronoma u Vodicama 2019. godine bila je moderatorica sekcije „Vegetable Growing, Ornamental, Aromatic and Medicinal Plants“, a 2023. godine voditeljica iste sekcije na međunarodnom simpoziju agronoma u Dubrovniku. Od 2011. godine članica je Međunarodnog znanstvenog hortikulturnog društva – International Society for Horticultural Science (ISHS). Od 2018. je članica stručne radne skupine za Codex Alimentarius - Odbor za začine i začinsko bilje u Ministarstvu poljoprivrede RH. Trenutno je članica Uređivačkog Odbora međunarodnog znanstvenog časopisa Journal of Central European Agriculture (JCEA). Pored navedenog, recenzirala je preko 20 znanstvenih radova. Bila je gostujući urednik u specijalnom broju časopisa Plants (IF 3.935) i Horticulture (IF 3.1). Izv. prof. dr. sc. Sanja Radman objavila je nekoliko stručnih te stručno-popularnih radova, aktivno je sudjelovala na stručnim skupovima kao i ostalim javnim predstavljanjima Fakulteta (Dani očaranosti biljkama, Dani otvorenih vrata, Smotra fakulteta), čime kontinuirano pridonosi popularizaciji agronomске struke. Od 2016. godine voditeljica je Vrtlarske grupe, izvannastavne aktivnosti Agronomskog fakulteta. Od 2021. članica je Odbora za nastavu, Fakultetskog vijeća i predstavnica nastavnika u Vijeću diplomskog studija Mediteranska poljoprivreda. Od iste godine djeluje kao voditeljica pokušališta Zavoda za povrćarstvo.

Izv. prof. dr. sc. Jana Šic Žlabur, viša znanstvena suradnica

Jana Šic Žlabur rođena je 6. listopada 1984. u Zagrebu. Srednju školu nastavnog programa Opća gimnazija završila je 2003. godine u Oroslavju te iste godine upisuje studijski program profesor biologije i kemije na Sveučilištu u Zagrebu Prirodoslovno-matematičkom fakultetu. Diplomirala je 2009. godine obranivši diplomski rad naslova „Značajke tala u vinogradima okolice Oroslavja u Hrvatskom zagorju“. Godine 2010. zapošljava se kao znanstveni novak u Zavodu za održive tehnologije i obnovljive izvore energije na projektu „Nutritivna vrijednost plodovitog i sumporskog povrća“ (MZOS, 2007.-2013.). Iste godine upisuje poslijediplomski doktorski studij Poljoprivredne znanosti. Doktorsku disertaciju naslova „Utjecaj bioaktivnih komponenata stevije (*Stevia rebaudiana* Bertoni) na kvalitetu voćnog soka“ obranila je 2015. godine na Sveučilištu u Zagrebu Agronomskom fakultetu i time stekla akademski stupanj doktorice znanosti iz područja Biotehničkih znanosti, polja Poljoprivreda. U suradničko zvanje i na radno mjesto poslijedoktorand izabrana je 2015. godine, u nastavno-znanstveno zvanje docentice 2016. godine, a u izvanrednu profesoricu 2021. godine.

Aktivno sudjeluje u provedbi znanstveno-istraživačkih i stručnih projekata, projekata iz programa LIFE i COST, kao i razvojnih te edukativnih projekata iz Erasmus+ programa. Uža znanstvena djelatnost vezana je uz područje bioaktivnih spojeva, odnosno specijaliziranih metabolita, kao i nutritivne te funkcionalne vrijednosti biljnih vrsta i njihovih proizvoda. U istraživačkom radu aktivno doprinosi novim spoznajama iz područja utjecaja pojedinih stresnih čimbenika prilikom uzgoja bilja, posebice utjecaju vodnog stresa, temperaturnog stresa, mehaničkog stresa i ostalih na povećanje sadržaja specijaliziranih metabolita. Nadalje, osim spomenutog, bavi se istraživanjima iz koncepta održivog razvoja, posebice u području mogućnosti upotrebe organskog ostatka od voća i povrća i otpada od hrane u proizvode dodane vrijednosti primjenom metoda zelene kemije.

Kao nositelj ili suradnik sudjeluje u izvođenju nastave na akreditiranim studijima Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta na prijediplomskom (Prerada voća i povrća, Neinvazivne metode u preradi poljoprivrednih proizvoda, Tehnološki postupci obrade hortikulturnih sirovina) i diplomskom studiju (Tehnologija obrade organskog ostatka od voća i povrća, Kvaliteta voća, povrća i prerađevina, Fiziološki procesi ubranog voća i povrća, Dorada hortikulturnih sirovina za dekorativnu primjenu, Dorada i prerada mediteranskih povrtnih i aromatično-ljekovitih vrsta, Funkcionalna vrijednost mediteranskih sirovina i proizvoda, Dorada i prerada voćnih vrsta Mediterana) te na poslijediplomskom doktorskom studiju (Metode vrednovanja nutritivnih karakteristika voća, povrća i prerađevina, Određivanje biološki aktivnih komponenti u poljoprivrednim proizvodima, Tehnološki čimbenici proizvodnje ljekovitog bilja). Bila je mentorica nekoliko diplomskih i završnih radova te stručnih projekata, kao i mentorica stručne prakse na obje razine studija. U cilju nastavnog usavršavanja u 2016. godini pohađala je ciklus radionica naslova „Podizanje kvalitete izvedbe visokoškolske nastave“.

Kao autor ili koautor objavila je preko 70 znanstvenih radova, od kojih 37 indeksiranim u a1 časopisima te sudjelovala na 20 međunarodnih znanstvenih skupova. Bila je članica organizacijskog odbora međunarodnog znanstvenog skupa „The 4th International Congress on Green Extraction of Natural Products (GENP2022)“, održanog u Poreču 2022. godine te članica znanstvenog odbora međunarodnog znanstvenog skupa „V Balkan Symposium on Fruit Growing“ održanog u Zagrebu 2023. godine. Na međunarodnom simpoziju agronoma u Dubrovniku 2024. godine bila je voditeljica sekcije „Food, Feed and Quality“. Trenutno je članica Uredivačkog Odbora međunarodnog znanstvenog časopisa *Agriculturae Conspectus Scientificus*. Pored navedenog, recenzirala je preko 30 znanstvenih radova. Uz to, bila je gostujući urednik u specijalnom broju časopisa *Plants* (IF 3.935) i časopisa *Frontiers in Plant Science* (IF 3.7).

Izv. prof. dr. sc. Jana Šic Žlabur objavila je nekoliko stručnih te stručno-popularnih radova, aktivno je sudjelovala na stručnim skupovima kao i ostalim javnim predstavljanjima Fakulteta (Smotra fakulteta, MUZZA), čime kontinuirano pridonosi popularizaciji agronomске struke. Od 2021. članica je Odbora za izbore i napredovanja te Fakultetskog vijeća.



Ovaj rad doktorandice Nevene Opačić sufinancirala je Hrvatska zaklada za znanost projektima "Nutritivna i funkcionalna vrijednost koprive (*Urtica dioica* L.) primjenom suvremenih hidroponskih tehnika uzgoja" (IP-2019-04-3325) te „Projekt razvoja karijera mladih istraživača – izobrazba novih doktora znanosti“.

ZAHVALA

SAŽETAK

Uzgoj hrane postaje sve zahtjevniji zbog klimatskih promjena koje negativno utječu na poljoprivredne prinose, ali i na kvalitetu i nutritivnu vrijednost namirnica. Uvođenje zanemarenih biljnih vrsta u proizvodnju s ciljem očuvanja bioraznolikosti i sigurnosti hrane jedno je od održivih rješenja za sve veće izazove s kojima se današnja poljoprivreda susreće. Kopriva je višegodišnja biljna vrsta bogata specijaliziranim metabolitima prepoznata po brojnim biološkim i funkcionalnim svojstvima značajnim za zdravlje ljudi. Iako raste samoniklo u prirodi, teži se uvođenju koprive u poljoprivrednu proizvodnju u svrhu dobivanja proizvoda ujednačene kvalitete. Hidroponski uzgoj koprive u zaštićenom prostoru još uvek nije raširen, unatoč brojnim prednostima koje ima u odnosu na uzgoj na tlu, uključujući smanjenje mnogih rizika povezanih s proizvodnjom na otvorenom. Takav način uzgoja pruža mogućnost upravljanja abiotskim čimbenicima zraka (temperatura i relativna vлага zraka) i hranive otopine (pH, elektroprovodljivost, koncentracija otopljenog kisika i temperatura), dok se odabranim agrotehničkim mjerama, poput balansirane gnojidbe i upravljanja režimom navodnjavanja, može utjecati na prinose i sadržaj specijaliziranih metabolita u biljnom materijalu. Ovaj način uzgoja također pruža mogućnost cjelogodišnje proizvodnje tijekom mjeseci kada to na otvorenom ne bi bilo moguće. Cilj ovog doktorskog rada bio je istražiti utjecaj četiri hranive otopine različitog sastava i dva režima navodnjavanja na agronomске karakteristike, količinu nitrata i sadržaj specijaliziranih metabolita te antioksidacijski kapacitet svježeg lista koprive. Biljke koprive uzgajane su u hidroponskom sustavu koristeći tehnike plutajući hidropon (FH) te dotjecanje i otjecanje (EF). Dva jednofaktorijska pokusa provedena su s hranivom otopinom i režimom navodnjavanja kao faktorima u proljetno-ljetnom roku uzgoja, a postavljeni su po metodi slučajnog bloknog rasporeda u 3 ponavljanja. Pri uzgoju koprive tehnikom FH ostvarene su tri košnje, dok je pri uzgoju tehnikom EF ostvareno osam košnji od kojih je šest košnji uključeno u ovo istraživanje. Uzgoj koprive tehnikom FH u hranivoj otopini EC vrijednosti 1,7 mS/cm rezultirao je biljnim materijalom prosječno viših vrijednosti suhe tvari (19,92 % ST), sadržaja askorbinske kiseline (91,73 mg/100 g sv.t.) i ukupnih fenola (309,59 mg GAE/100 g), dok je uzgoj u hranivoj otopini EC vrijednosti 1,5 mS/cm rezultirao najvećim kumulativnim prinosom ($4,2 \text{ kg/m}^2$) uz najnižu prosječnu količinu nitrata u svježem listu koprive (5069 mg/kg NO_3^-). Antioksidacijski kapacitet listova koprive prema FRAP metodi iznosio je od 963,27 do 3237,62 $\mu\text{mol TE/L}$ tijekom uzgoja tehnikom FH. Uzgoj koprive tehnikom EF uz režim navodnjavanja svaka 72 h rezultirao je višim vrijednostima svih agronomskih karakteristika koprive tijekom cijelog razdoblja uzgoja, osim u petom vegetacijskom periodu. Režim navodnjavanja svakih 48 h pozitivno je utjecao na sadržaj askorbinske kiseline, ukupnih fenola, neflavonoida i flavonoida (prosječno 98,80 mg/100 g sv.t., 245,73 mg GAE/100 g, 128,33 mg GAE/100 g, 117,40 mg GAE/100 g) te je rezultirao nižim količinama nitrata u listu koprive (prosječno 3570 mg/kg NO_3^-). Vrijednosti antioksidacijskog kapaciteta tijekom uzgoja tehnikom EF bile su više od onih utvrđenih pri uzgoju tehnikom FH, što potvrđuje kako je list koprive uzgajane tehnikom EF izvrstan izvor antioksidansa. Ovo istraživanje pokazalo je kako su obje istraživane tehnike hidroponskog uzgoja (FH i EF) perspektivne za uzgoj koprive. Međutim, tehnika EF, u kombinaciji s optimiziranim režimom navodnjavanja i sastavom hranive otopine, može značajno povećati prinos i kvalitetu lista koprive. Za postizanje optimalnog prinsa listova koprive visoke nutritivne vrijednosti u hidroponskom uzgoju, preporučuje se korištenje hranive otopine EC vrijednosti 1,5 mS/cm i tehnike EF uz režim navodnjavanja svaka 72 h.

Ključne riječi: plutajući hidropon, dotjecanje i otjecanje, prinos, specijalizirani metaboliti, održiva poljoprivreda

EXTENDED ABSTRACT

MANAGEMENT OF AGRICULTURAL PRACTICES FOR THE CULTIVATION OF NETTLE (*URTICA DIOICA L.*) WITH MODERN HYDROPONIC TECHNIQUES

Growing food is becoming more challenging due to climate change, which has a negative impact on food quality, nutritional value and yields. A sustainable solution to the challenges of modern agriculture is to adopt agricultural practices with a low environmental footprint while preserving biodiversity and ensuring food security by introducing foods with high nutritional value. At the same time, today's consumers are looking for novel, highly nutritious foods that enhance their overall health and well-being. Stinging nettle (*Urtica dioica L.*) is recognized not only as a medicinal plant, but also as a desirable green leafy vegetable rich in phytonutrients, demonstrating its significant potential for human nutrition. Stinging nettle is a perennial plant species with a high content of specialized metabolites and known for their numerous biological and functional properties that benefit human health. Although it grows wild, efforts are being made to introduce stinging nettle into agricultural production in order to obtain uniform quality and safe plant material. Hydroponic cultivation of nettle, although not yet widespread, offers numerous advantages over soil cultivation, including reduced risks associated with outdoor production. This method allows the management of abiotic factors such as air temperature and relative humidity, as well as nutrient solution parameters such as pH, electrical conductivity, dissolved oxygen and temperature. In addition, selected agrotechnical measures such as balanced fertilization and controlled irrigation regimes can influence the morphological characteristics and yield but also the content of specialized metabolites in the plant material. Hydroponic cultivation also enables year-round production in a completely closed system that maximizes the use of resources and energy, creating a circular system and thus greater sustainability and resilience of the entire cultivation system.

The aim of this PhD thesis was to investigate the possibilities of nettle cultivation in a hydroponic system, respectively in floating system and ebb and flow system, and to investigate the influence of four nutrient solutions with different compositions of macro and micronutrients and two irrigation regimes on the agronomic properties, nitrate quantity and content of specialized metabolites as well as the antioxidant capacity of fresh nettle leaves.

The nettle was grown in a hydroponic system using Floating Hydroponic (FH) and Ebb and Flow (EF) techniques. Two monofactorial experiments were conducted in the spring-summer growing period, with nutrient solution and irrigation regime as factors, laid out in 3 replicates using the randomized block design method. During the cultivation period, the abiotic factors of the greenhouse and the nutrient solution were continuously monitored and adjusted if necessary. In the cultivation of stinging nettle using the FH technique, 3 consecutive cuts were obtained, while in the cultivation using the EF technique, 8 consecutive cuts were obtained, 6 of which were analyzed for the purposes of this study. Morphological and chemical analyses of the plant material were carried out after each consecutive cut.

Cultivation of stinging nettle using the FH technique in a nutrient solution with an EC value of 1.7 mS/cm resulted in plant material with higher average values for dry matter (19.92% DM), ascorbic acid content (91.73 mg/100 g fw) and total phenols (309.59 mg GAE/100 g), while cultivation in a nutrient solution with an EC value of 1.5 mS/cm resulted in the highest cumulative yield (4.2 kg/m²) with the lowest average amount of nitrate in fresh nettle leaves (5069 mg/kg NO₃⁻). The antioxidant capacity of nettle leaves using the FRAP method ranged from 963.27 to 3237.62 µmol TE/L using the FH technique. Cultivation of nettle using the EF technique with irrigation every 72 h resulted in higher values of all nettle agronomic traits in all six vegetation periods, except in the fifth vegetation period. Irrigation every 48 h had a positive effect on the content of ascorbic acid, total phenols, non-flavonoids and flavonoids (average 98.80 mg/100 g fw, 245.73 mg GAE/100 g, 128.33 mg GAE/100 g, 117.40 mg GAE/100 g) and resulted in lower nitrate levels in the nettle leaves (average 3570 mg/kg NO₃⁻). The antioxidant capacity value was higher when cultivated using the EF technique than when cultivated using the FH technique, confirming that nettle leaves obtained by cultivation in the EF hydroponic system are an excellent source of antioxidants.

This study has shown that both hydroponic cultivation techniques investigated (FH and EF) prove to be promising hydroponic techniques for the cultivation of nettle. However, the EF technique, in combination with an optimized irrigation regime and nutrient solution content, can significantly improve the yield and quality of nettle leaves. To achieve an optimal yield of nettle leaves with high nutritional value in hydroponic cultivation, it is recommended to use a nutrient solution with an EC value of 1.5 mS/cm and an EF technique with an irrigation regime every 72 h.

The results of this research will expand the existing knowledge on the possibilities of growing nettle with modern hydroponic techniques and provide recommendations for the composition of the nutrient solution and the irrigation regime that will lead to an optimal yield and high nutritional quality of the fresh plant material. This research also provides an important scientific contribution on the role and effect of water stress on the increase in the content of specialized metabolites in the fresh nettle leaf with the aim of obtaining nutrient-rich plant material. These results will serve as a basis for further research in the field of growing vegetable, medicinal and aromatic plants using modern hydroponic techniques.

Key word: floating hydropon, ebb and flow, yield, specialized metabolites, sustainable agriculture

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Hipoteze i ciljevi istraživanja	3
2. PREGLED RELEVANTNE LITERATURE.....	4
2.1. Morfološke karakteristike koprive	4
2.2. Nutritivna i funkcionalna vrijednost koprive.....	6
2.3. Upotreba koprive.....	10
2.4. Kultivacija koprive.....	12
2.5. Mogućnosti hidroponskog uzgoja koprive	16
2.6. Upravljanje hidroponskim tehnikama koje utječu na sadržaj SM u biljkama .	22
3. MATERIJAL I METODE	24
3.1. Postavljanje i provedba pokusa.....	24
3.1.1. Uzgoj koprive tehnikom FH.....	24
3.1.2. Uzgoj koprive tehnikom EF	28
3.2. Praćenje čimbenika uzgoja.....	33
3.3. Analiza morfoloških svojstava i prinos	34
3.4. Kemijska analiza biljnog materijala	34
3.4.1. Određivanje količine nitrata i suhe tvari	34
3.4.2. Određivanje SM i antioksidacijskog kapaciteta.....	34
3.5. Statistička obrada podataka.....	37
4. ABIOTSKI ČIMBENICI TIJEKOM ISTRAŽIVANJA	38
4.1. Abiotski čimbenici zaštićenog prostora.....	38
4.1.1. Uzgoj tehnikom FH.....	38
4.1.2. Uzgoj tehnikom EF	39
4.2. Abiotski čimbenici HO	41
4.2.1. Uzgoj tehnikom FH.....	41
4.2.2. Uzgoj tehnikom EF	44
5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA.....	47
5.1. Uzgoj koprive tehnikom FH	47
5.1.1. Morfološka svojstva i prinos koprive	48
5.1.2. Količina ST i nitrata u listovima koprive	50
5.1.3. Sadržaj SM u listu koprive	52
5.1.4. Antioksidacijski kapacitet listova koprive	60
5.2. Uzgoj koprive tehnikom EF.....	62
5.2.1. Morfološka svojstva i prinos koprive	63
5.2.2. Količina ST i nitrata u listovima koprive	65
5.2.3. Sadržaj SM u listovima koprive.....	67
5.2.4. Antioksidacijski kapacitet listova koprive	75
6. RASPRAVA	77
6.1. Utjecaj sastava HO u FH sustavu na morfološka svojstva i prinos, količinu ST i nitrata, sadržaj SM te antioksidacijski kapacitet koprive	77

6.2. Utjecaj RN u EF sustavu na morfološka svojstva i prinos, količinu ST i nitrata, sadržaj SM i antioksidacijski kapacitet lista koprive	86
7. ZAKLJUČCI	92
8. POPIS LITERATURE.....	94
ŽIVOTOPIS	104

Popis kratica

AK	Askorbinska kiselina
DO	Dissolved oxygen, koncentracija otopljenog kisika
EC	Electroconductivity; električna vodljivost
EF	Ebb and flow, dotjecanje i otjecanje
FH	Floating hydropon; plutajući hidropón
GAE	Gallic acid equivalent; ekvivalent galne kiseline
HO	Hraniva otopina
ILP	Indeks lisne površine
RN	Režim navodnjavanja
RVZ	Relativna vлага zraka
SM	Specijalizirani metaboliti
ST	Suha tvar
sv. t.	svježa tvar
TE	Trolox Equivalent; ekvivalent Troloxa
VP	Vegetacijski period

Popis tablica:

Tablica 1. Količina minerala u koprivi prema različitim autorima

Tablica 2. Sadržaj SM i antioksidacijski kapacitet koprive prema različitim autorima

Tablica 3. Količine soli za pripremu otopina prema Lorenz i Maynard (1988)

Tablica 4. Rezultati kemijske analize vodovodne vode korištene za pripremu HO

Tablica 5. ANOVA utjecaja sastava HO na svojstva koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

Tablica 6. Utjecaj HO na morfološka svojstva i prinos koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

Tablica 7. ANOVA za utjecaj RN na svojstva koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

Tablica 8. Utjecaj RN na morfološka svojstva i prinos koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

Popis slika:

Slika 1. Trihomi na stabljici i listovima koprive (foto: N. Opačić)

Slika 2. Sjeme koprive (foto: S. Radman)

Slika 3. Kopriva uzgajana na tlu prema Dogan i sur., 2022 (a) i u hidropónu (b)

Slika 4. Priprema čipsa od koprive (foto: N. Opačić)

Slika 5. Pivo (IPA) s koprivom

Slika 6. Presadnice koprive u polistirenskom kontejneru (foto: N. Opačić)

Slika 7. Košnja koprive škarama iznad prva dva nodija (foto: N. Opačić)

Slika 8. Hidroponska tehnika FH (prilagođeno prema: Velazquez-Gonzalez i sur., 2022)

Slika 9. Hidroponska tehnika aeropon (prilagođeno prema: Velazquez-Gonzalez i sur., 2022)

Slika 10. Hidroponska tehnika hraničog filma (prilagođeno prema: Velazquez-Gonzalez i sur., 2022)

Slika 11. Hidroponska tehnika EF (prilagođeno prema: Velazquez-Gonzalez i sur., 2022)

Slika 12. Punjenje polistirenskih ploča perlitom (foto: N. Opačić)

Slika 13. Sjetva sjemena koprive u polistirenske ploče (a) i zasijano sjeme koprive (b) (foto: N. Opačić)

Slika 14. Shema uzgoja koprive tehnikom FH (shema: N. Opačić)

Slika 15. Bazeni za uzgoj koprive tehnikom FH (a) i polistirenske ploče s naklijalim sjemenom koprive postavljene u bazu (b) (foto: N. Opačić)

Slika 16. Početak nicanja koprive (foto: N. Opačić)

Slika 17. Biljke koprive u fazi prije cvatnje pred košnjom (a) i košnja koprive (b) (foto: N. Opačić)

Slika 18. Sjetva sjemena koprive u polistirenske kontejnere s 40 lončića (foto: N. Opačić)

Slika 19. Nicanje koprive (foto: N. Opačić)

Slika 20. Prorjeđivanje koprive na 3 biljke po lončiću (foto: N. Opačić)

Slika 21. Shema uzgoja koprive tehnikom EF (shema: N. Opačić)

Slika 22. Dotjecanje hranične otopine na potopni stol (foto: N. Opačić)

Slika 23. Biljke koprive u vodnom stresu (foto: N. Opačić)

Slika 24. Biljke koprive uzgajane tehnikom EF za vrijeme košnje (8. lipnja 2022.) (foto: N. Opačić)

Popis grafikona:

Grafikon 1. Abiotski čimbenici (temperatura i RVZ) u zaštićenom prostoru tijekom uzgoja koprive tehnikom FH

Grafikon 2. Abiotski čimbenici (temperatura i RVZ) u zaštićenom prostoru tijekom uzgoja koprive tehnikom EF

Grafikon 3. pH vrijednosti HO tijekom uzgoja koprive tehnikom FH

Grafikon 4. EC vrijednosti HO tijekom uzgoja koprive tehnikom FH

Grafikon 5. Koncentracija otopljenog kisika u HO tijekom uzgoja koprive tehnikom FH

Grafikon 6. Temperature HO tijekom uzgoja koprive tehnikom FH

Grafikon 7. pH vrijednosti HO tijekom uzgoja koprive tehnikom EF

Grafikon 8. EC vrijednosti HO tijekom uzgoja koprive tehnikom EF

Grafikon 9. Koncentracija otopljenog kisika HO tijekom uzgoja koprive tehnikom EF

Grafikon 10. Temperature HO tijekom uzgoja koprive tehnikom EF

Grafikon 11. Kumulativni prinos koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

Grafikon 12. Utjecaj HO na količinu ST u listovima koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

Grafikon 13. Utjecaj HO na količinu nitrata u listovima koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

Grafikon 14. Utjecaj HO na sadržaj AK u listovima koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

Grafikon 15. Utjecaj HO na sadržaj ukupnih fenola u listovima koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

Grafikon 16. Utjecaj HO na sadržaj ukupnih neflavonoida u listovima koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

Grafikon 17. Utjecaj HO na sadržaj ukupnih flavonoida u listovima koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

Grafikon 18. Utjecaj HO na sadržaj klorofila *a* u listu koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

Grafikon 19. Utjecaj HO na sadržaj klorofila *b* u listu koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

Grafikon 20. Utjecaj HO na sadržaj ukupnog klorofila u listu koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

Grafikon 21. Utjecaj HO na sadržaj ukupnih karotenoida u listu koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

Grafikon 22. Utjecaj HO na antioksidacijski kapacitet (ABTS) listova koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

Grafikon 23. Utjecaj HO na antioksidacijski kapacitet (FRAP) listova koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

Grafikon 24. Kumulativni prinos koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

Grafikon 25. Utjecaj RN na količinu ST u listu koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

Grafikon 26. Utjecaj RN na količinu nitrata u listu koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

Grafikon 27. Utjecaj RN na sadržaj AK u listu koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

Grafikon 28. Utjecaj RN na sadržaj ukupnih fenola u listu koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

Grafikon 29. Utjecaj RN na sadržaj ukupnih neflavonoida u listu koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

Grafikon 30. Utjecaj RN na sadržaj ukupnih flavonoida u listu koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

Grafikon 31. Utjecaj RN na sadržaj klorofila *a* u listu koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

Grafikon 32. Utjecaj RN na sadržaj klorofila *b* u listu koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

Grafikon 33. Utjecaj RN na sadržaj ukupnih klorofila u listu koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

Grafikon 34. Utjecaj RN na sadržaj ukupnih karotenoida u listu koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

Grafikon 35. Utjecaj RN na antioksidacijski kapacitet (ABTS) lista koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

Grafikon 36. Utjecaj RN na antioksidacijski kapacitet (FRAP) lista koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

1. UVOD

Uzgoj hrane postaje sve veći izazov uslijed izraženih posljedica klimatskih promjena poput globalnog zatopljenja i suše, koji ne samo da negativno utječu na prinos već i na kvalitetu te nutritivnu vrijednost namirnica. Poljoprivredna proizvodnja na otvorenom izložena je mnogobrojnim rizicima kao što su ekstremne vremenske prilike, promjene u raspodjeli oborina, značajnim temperaturnim oscilacijama i slično, a zbog čega se održive poljoprivredne prakse sve više okreću suvremenim metodama uzgoja u zaštićenim prostorima (Datta i sur., 2023; Fresno i sur., 2023; Janni i sur., 2024). S druge pak strane, uvođenje zanemarenih i nedovoljno iskorištenih samoniklih biljnih vrsta u uzgoj prepoznato je kao važan cilj u promicanju poljoprivredne bioraznolikosti i općenito poboljšanje sigurnosti u opskrbi hranom, ali i kao mogući odgovor u prevladavanju posljedica izravnih i sve znatnijih klimatskih promjena (Marotti et al., 2022). Zdravlje planeta i njegovih ekosustava izravno je povezano sa zdravljem ljudi. Namirnice biljnog porijekla bogatog nutritivnog sastava, koje se proizvode u kontroliranim uvjetima i uz primjenu praksi s niskim negativnim utjecajem na okoliš, imaju dvostruki pozitivan učinak. Smanjujući onečišćenje, doprinose očuvanju ekosustava i bioraznolikosti, dok istovremeno osiguravaju hranjive i funkcionalno vrijedne nutrijente važne za zdravlje ljudi.

Kopriva (*Urtica dioica L.*) je široko rasprostranjena samonikla vrsta na područjima koje karakterizira umjerena klima, stoga ju nalazimo u širokim arealima diljem Europe, Azije, sjeverne Afrike i Amerike. Od antičkih vremena poznata je upotreba koprive kao biljnog lijeka, za prevenciju i liječenje mnogih oboljenja (Radman i sur., 2014; Đurović i sur., 2017; Grauso i sur., 2020). Danas se uglavnom percipira kao korovna vrsta te je njezina upotreba, što u medicinske, a što u prehrambene svrhe, značajno zanemarena (Upton, 2013; Di Virgillio i sur., 2015; De Vico i sur., 2018; Kregiel i sur., 2018). Zahvaljujući brojnih istraživanjima, sve se više prepoznaju brojne blagodati koprive kao potencijalno funkcionalne namirnice visoke nutritivne vrijednosti i značajnog doprinosa ljudskom zdravlju (Kukrić i sur., 2012; Di Virgillio i sur., 2015; Ozola i sur., 2019; Marotti i sur., 2022; Đurović i sur., 2024). Sve dijelove biljke, od korijena do stabljike, lista i sjemena karakterizira specifičan fitokemijski profil, prilikom čega se skupina specijaliziranih metabolita (SM) izdvaja po sastavu i sadržaju. Tako je u listu koprive identificirano nekoliko kategorija SM: terpenoidi, klorofili i karotenoidi, masne kiseline, polifenolni spojevi, esencijalne aminokiseline, vitamini, tanini, ugljikohidrati, fitosteroli, izolektini te minerali (Di Virgillio i sur., 2015; Stanojević i sur., 2016; Đurović i sur., 2018).

Samonikli biljni materijal često je promjenjivog kemijskog sastava i neujednačene kvalitete, a ponajviše zato što su specifične fitokemikalije i SM produkti različitih metaboličkih puteva čija je sinteza pod izravnim utjecajem brojnih abiotских, biotskih i antropoloških čimbenika

(Biesiada i sur., 2009; Ozola i sur., 2019; Demir i sur., 2020; Grauso i sur., 2020; Radman i sur., 2021). Također, vrlo je zahtjevno, skupo i često neodrživo provoditi kontinuiranu kontrolu standarda kvalitete samoniklog biljnog materijala prikupljenog u prirodi, što je razlog zašto se preporučuje kultivacija biljnog materijala pa tako i koprive u odnosu na sakupljanje materijala iz prirodnih izvora (Radman i sur., 2014). Uzgoj u kontroliranim uvjetima zaštićenog prostora pruža mogućnost ujednačavanja kvalitete sirovine praćenjem i upravljanjem abiotskim čimbenicima tijekom rasta biljaka (Nicola i sur., 2006). Prinosom i nutritivnom kvalitetom koprive moguće je upravljati balansiranom gnojidbom, rokom uzgoja i dinamikom košnje. Kontinuirano se razvijaju i nove strategije i tehnologije za rješavanje specifičnih ograničenja tijekom uzgoja, kako bi se smanjio negativan utjecaj klimatskih čimbenika u cilju prilagodbe novim zahtjevima tržišta i potrebama potrošača (Rutto i sur., 2012). Takve suvremene tehnike proizvodnje uključuju i hidroponski uzgoj ljekovitog i aromatičnog bilja koji predstavlja alternativu konvencionalnoj poljoprivredi uzgoja na tlu. Hidroponski uzgoj omogućuje efikasnije korištenje vode i hraniva čime se postiže ubrzani rast biljaka, raniji rok berbe, višekratna berba, veći broj proizvodnih ciklusa, a time i veća produkcija biomase u jedinici vremena i površine što u konačnici rezultira većim prinosom (Hayden, 2006; Nicola i sur., 2006). Pri hidroponskom načinu proizvodnje koristeći različite tehnike uzgoja, prilagođene potrebama uzgajane kulture, moguće je regulirati količinu pojedinih biogenih elemenata, izbjegći antagonizam hraniva te postići optimalnu ishranjenost biljaka i visok sadržaj bioaktivnih tvari u biljnog materijalu. Dosadašnja istraživanja suvremenih hidroponskih tehnika bazirala su se na uzgoju lisnatog povrća kratke vegetacije poput rige, salate, matovilca, endivije, potočarke, špinata, portulaka, kres salate i dr. (Gonnella i sur., 2004; Nicola i sur., 2006), dok su istraživanja hidroponskog uzgoja višegodišnjih lisnatih vrsta poput koprive rijetka (Hayden, 2006; Radman i sur., 2014; Radman i sur., 2021). Za uzgoj navedenih vrsta primjerene su tehnike plutajući hidropón (eng. *floating hydropon*) te tehnika dotjecanja i otjecanja (eng. *ebb and flow technique*) (Nicola i sur. (2006).

Upravljanje sastavom hranive otopine (HO) jedan je od izazovnijih procesa pri hidroponskoj proizvodnji, stoga je, u cilju ostvarenja visokog sadržaja SM te adekvatnog prinosa koprive, potrebno odrediti optimalni sastav HO te rok košnje ovisno o roku uzgoja i namjeni proizvoda (Tomasi i sur., 2015; Radman i sur., 2021). Važno je naglasiti i da dostupnost određenih biogenih elemenata, posebice dušika, može negativno utjecati na SM poput polifenolnih spojeva (Radman i sur., 2015; Abanto-Rodriguez i sur., 2016; Heimler i sur., 2017; Bustamante i sur., 2020; Ebrahimian i sur., 2021; Vilkickyte i Raudone, 2021).

Ovo istraživanje doprinijelo je boljem uvidu u utjecaj različitih hidroponskih tehnika uzgoja na morfološka svojstva, prinos i sadržaj SM u listu koprive, kao i novim spoznajama o utjecaju sastava hranive otopine i kontroliranog vodnog stresa na prinos i sadržaj SM svježeg lista koprive.

1.1. Hipoteze i ciljevi istraživanja

Istraživanjem u okviru ove doktorske disertacije bit će testirane sljedeće hipoteze:

- I. Plutajući hidropón i sustav dotjecanja i otjecanja prihvatljive su tehnike uzgoja koprive uz postizanje adekvatnog prinosa i visoke nutritivne kvalitete svježeg lista,
- II. Sastav HO utjecat će na morfološka svojstva i sadržaj SM lista koprive,
- III. Vodni stres utjecat će na morfološka svojstva i sadržaj SM lista koprive.

Temeljem hipoteza postavljeni su sljedeći ciljevi istraživanja:

- I. Ispitati mogućnosti uzgoja koprive tehnikama plutajući hidropón te dotjecanje i otjecanje koje će rezultirati koprivom optimalnog sadržaja SM i prinosa,
- II. Istražiti utjecaj sastava HO na morfološka svojstva i sadržaj SM lista koprive uzgajane u plutajućem hidropónu,
- III. Istražiti utjecaj vodnog stresa na morfološka svojstva i sadržaj SM u koprivi uzgajanoj tehnikom dotjecanja i otjecanja,
- IV. Utvrditi HO i režim vodnog stresa koji će rezultirati visokim sadržajem SM u koprivi uz optimalni prinos.

2. PREGLED RELEVANTNE LITERATURE

2.1. Morfološke karakteristike koprive

Kopriva (*U. dioica* L.) je višegodišnja zeljasta vrsta iz porodice Urticaceae porijeklom iz Euroazije. Jedna je od najrasprostranjenijih samoniklih biljaka i raste do 3000 m nadmorske visine u svim regijama svijeta koje karakterizira umjerena klima (Grauso i sur., 2020). Latinski naziv koprive potječe od riječi *urere* (opeći) zbog žarnih dlaka koje prekrivaju nadzemne dijelove biljke i riječi *dioica* (dva doma) što ukazuje na to da se ženski i muški cvjetovi nalaze na različitim biljkama (Mueen i Subramani, 2014).

Stabljika je razgranata, četverobridna i dlakava, zelene ili ljubičaste boje, visine od 30 do 250 cm (Dogan i sur., 2022).

Korijen je razgranat, smeđe boje s puno rizoma u obliku kojih biljka prezimljuje (Upton, 2013; Radman, 2015).

Listovi su nasuprotno raspoređeni na stabljici, socolikog oblika i nazubljenih rubova dugi 3 do 15 cm i široki 2 do 8 cm. Listovi, kao i stabljika, prekriveni su posebnom vrstom biljnih dlaka, trihomima, odnosno žaokama (slika 1) koje sadrže histamin i druge kemikalije koje uzrokuju osjećaj peckanja i reakciju kože, a služe za obranu biljaka od predatora (Upton, 2013; Radman, 2015; Dugan i sur., 2022).



Slika 1. Trihomi na stabljici i listovima koprive

Biljka je dvodomna sitnih cvjetova koji su zelenkaste ili smeđkaste boje, skupljeni u paštitaste cvatove nalik metlici. Muški su cvatovi uspravni, dok ženski cvatovi vise, a smješteni su u pazušcima listova i oprašuju se vjetrom (Glavaš, 2019).

Sjeme (slika 2) je vrlo sitno i u potpunosti ispunjava plod, odnosno oraščić jajastog oblika i svijetlozelene boje (Joshi i sur., 2014; Radman, 2015; Grauso i sur., 2020).



Slika 2. Sjeme koprive (foto: S. Radman)

Međutim, iz osobnog iskustva, morfološke karakteristike (ponajviše stabljike i korijena) kultivirane koprive razlikuju se ovisno o načinu uzgoja. Kopriva uzgojena u hidroponskom sustavu ima manje vlaknastu stabljiku i manji korijenov sustav bez rizoma u odnosu na biljke uzgajane na tlu (slika 3).



Slika 3. Kopriva uzgajana na tlu prema Dogan i sur., 2022 (a) i u hidropunu (b)

2.2. Nutritivna i funkcionalna vrijednost koprive

Kopriva je biljka značajne nutritivne vrijednosti s obzirom na specifični kemijski profil, odnosno značajan diverzitet kemijskih spojeva (fitokemikalija) visokog biološkog potencijala.

Osnovni kemijski sastav listova koprive uključuje prosječno 4 do 7 % ugljikohidrata, 6 % dijetalnih vlakana, 0,6 do 9 % masti i 0,4 do 4 % proteina (Rutto i sur., 2012; Adhikari i sur., 2016). Među najzastupljenijim masnim kiselinama u koprivi ističu se palmitinska i linolna kiselina (Upton, 2013; Guil-Guerrero i sur., 2016; Đurović i sur., 2017). Kopriva je bogat izvor vitamina A, C i K, kao i vitaminima B kompleksa, minerala (ponajviše Ca, Fe, Mg, P i K), polifenola (poput fenolnih kiselina), flavonoida i pigmenata od kojih se najviše ističu klorofili i karotenoidi (Repajić i sur., 2021).

Prema Kuštrak (2005), kopriva spada u skupinu droga s vitaminima i mineralima, a kao oficialna droga u farmakopeji se spominju nadzemni dio koprive prije cvatnje (*Urticae herba*), list (*Urticae folium*) i korijen (*Urticae radix*). U tablici 1 navedene su količine nekih od najzastupljenijih minerala u koprivi prema različitim autorima. U tablici 2, naveden je sadržaj karakterističnih SM i antioksidacijski kapacitet koprive prema različitim literurnim izvorima. Osim SM navedenih u tablici, kopriva sadrži i esencijalne aminokiseline, tanine, razne flavonoide (Stanojević i sur., 2016; Đurović i sur., 2017; De Vico i sur., 2018; Grauso i sur., 2020; Shonte i sur., 2020; Repajić i sur., 2021), hlapljive spojeve (Biesiada i sur., 2009; Joshi i sur., 2014; Grauso i sur., 2020), eterična ulja s karvakrolom, karvonom i naftalenom kao glavnim spojevima (Kukrić i sur., 2012; Joshi i sur., 2014; Đurović i sur., 2017), fitosterole, saponine (Joshi i sur., 2014), kumarine (Stanojević i sur., 2016; Paulauskienė i sur., 2021),

amine, glukokinin (De Vico i sur., 2018) i terpenoide (Upton, 2013; Đurović i sur., 2017; Kregiel i sur., 2018; García i sur., 2021; Paulauskiene i sur., 2021).

Tablica 1. Količina minerala u koprivi prema različitim autorima

Mineral	Koncentracija	Dio biljke	Referenca
Ca	28,605 µg/g	suhi list	Đurović i sur., 2017
	853 – 1050 mg/100 g	cijela biljka	Upton, 2013
	3,43 %	list	Biesiada i sur., 2009
	2,15 – 3,09 %	list	Radman i sur., 2021
	168,77 mg/100 g	suhi list (prah)	Adhikari i sur., 2016
	278 – 788 mg/100 g	mladi izboji prije cvatnje	Rutto i sur., 2013
	323 mg/100 g	list	Shonte i sur., 2020
	3,04 %	list	Paulauskiene i sur., 2021
	2,63 – 5,09 %	list	Rafajlovska i sur., 2013
	5,21 %	herba prije cvatnje	Radman i sur., 2015
Fe	150,97 µg/g	suhi list	Đurović i sur., 2017
	227,89 mg/100 g	list (prah)	Kregiel i sur., 2018
	2 – 200 mg/100 g	cijela biljka	Upton, 2013
	79,20 – 89,50 mg/kg	list	Radman i sur., 2021
	886 – 3651 mg/kg	list	Radman i sur., 2016
	227,89 mg/100 g	suhi list (prah)	Adhikari i sur., 2016
	1,2 – 3,4 mg/100 g	mladi izboji prije cvatnje	Rutto i sur., 2013
	2,5 mg/100 g	list	Shonte i sur., 2020
	224,78 mg/kg	list	Paulauskiene i sur., 2021
	2765 ppm	herba prije cvatnje	Radman i sur., 2015
Mg	145 – 2717 mg/kg	herba prije cvatnje	Radman, 2015
	8699,76 µg/g	suhi list	Đurović i sur., 2017
	0,34 %	list	Biesiada i sur., 2010
	0,23 – 0,48 %	list	Radman i sur., 2021
	104 mg/100 g	list	Shonte i sur., 2020
	0,61 %	list	Paulauskiene i sur., 2021
	2,51 – 3,56 %	list	Rafajlovska i sur., 2013
	50 – 265 mg/100 g	cijela biljka	Upton, 2013
	0,39 %	list	Biesiada i sur., 2010
	0,41 – 0,49 %	list	Radman i sur., 2021
P	82,6 mg/100 g	list	Shonte i sur., 2020
	0,82 %	list	Paulauskiene i sur., 2021

Tablica 2. Sadržaj SM i antioksidacijski kapacitet koprive prema različitim autorima

SM	Sadržaj	Dio biljke	Referenca
Ukupni karotenoidi	0,81 – 1,01 mg/g	list	Biesiada i sur., 2009
	1,31 mg/g	list	Biesiada i sur., 2010
	0,216 – 0,323 mg/g	list	Kukrić i sur., 2012
	2,95 – 8 mg/100 g	cijela biljka	Upton, 2013
	0,55 mg/g	mladi izboji	Zeipiņa i sur., 2014
	3496,67 µg/g	suhu list (prah)	Adhikari i sur., 2016
	51,4 – 74,8 µg/g	list	Guil-Guerrero i sur., 2016
	5,47 mg/g	suhu list	Đurović i sur., 2017
	1,62 mg/g	list	Ozola i sur., 2019
	15,36 mg/100 g	list	Paulauskienė i sur., 2021
β-karoten	33,03 mg/100 g	list i stabljika	Repajić i sur., 2021
	5035 – 7860 IU/100 gherba prije cvatnje		Rutto i sur., 2012
	3,8 – 5,6 µg/g	list	Guil-Guerrero i sur., 2016
Ukupni klorofili	58,059 µg/100 g	list	Shonte i sur., 2020
	8,03 – 9,45 mg/g	list	Biesiada i sur., 2009
	9,66 mg/g	list	Biesiada i sur., 2010
	1,02 – 1,174 mg/g	list	Kukrić i sur., 2012
	2,17 mg/g	mladi izboji	Zeipiņa i sur., 2014
	24,13 mg/g	suhu list	Đurović i sur., 2017
	4,8 mg/g	list	Kregiel i sur., 2018
	611,19 mg/100 g	list i stabljika	Repajić i sur., 2021
	0,698 – 0,882 mg/g	list	Kukrić i sur., 2012
	16,55 mg/g	suhu list	Đurović i sur., 2017
Klorofil a	5,56 mg/g	list	Ozola i sur., 2019
	67,29 mg/100 g	list	Paulauskienė i sur., 2021
	0,285 – 0,320 mg/g	list	Kukrić i sur., 2012
	7,58 mg/g	suhu list	Đurović i sur., 2017
Klorofil b	1,84 mg/100 g	list	Ozola i sur., 2019
	29,14 mg/100 g	list	Paulauskienė i sur., 2021

Nastavak tablice 2. Sadržaj SM i antioksidacijski kapacitet koprive prema različitim autorima

SM	Sadržaj	Dio biljke	Referenca
Ukupni fenoli	22,01 – 24,94 mg/g	list	Biesiada i sur., 2009
	14,47 mg/g	list	Biesiada i sur., 2010
	208,37 mg GAE/g	list	Kukrić i sur., 2012
	732,49 mg GAE/100 g	herba prije cvatnje	Radman i sur., 2015
	128,75 mg GAE/g	suhi list (prah)	Adhikari i sur., 2016
	450,81 – 539,27 mg GAE/g	suhi list	Stanojević i sur., 2016
	7,9 g/100 g	suha herba u cvatnji	Carvalho i sur., 2017
	28,42 µg/g	herba	Francišković i sur., 2017
	128,75 mg GAE/g	list (prah)	Kregiel i sur., 2018
	26,78 mg GAE/g	USB ekstrakt	Çolak i sur., 2020
Askorbinska kiselina	118,4 mg GAE/g	list	Shonte i sur., 2020
	140 mg GAE/g	list	Garcia i sur., 2021
	8,87 mg GAE/g	list	Paulauskienė i sur., 2021
	380,90 mg/100 g	list i stabljika	Repajić i sur., 2021
	0,5 – 1,1 mg/100 g	mladi izboji prije cvatnje	Rutto i sur., 2013
	20 – 60 mg/100 g	cijela biljka	Upton, 2013
	63,75 mg/100 g	list prije cvatnje	Radman i sur., 2015
Antioksidacijski kapacitet	14,2 mg/100 g	list	Shonte i sur., 2020
	8,4 mg/g	list	Garcia i sur., 2021
	8,53 mg/100 g	list	Paulauskienė i sur., 2021
	10,95 – 11,80 µM Trolox/g	list	Biesiada i sur., 2009
	26,5 µM Trolox/g	list	Biesiada i sur., 2010
	0,85 % DPPH	list	Kukrić i sur., 2012
	1936,58 mM Trolox/L	herba prije cvatnje	Radman i sur., 2015

SM – specijalizirani metaboliti

U koprivi je identificirano čak devet spojeva iz skupine karotenoida, od kojih su najvažniji β -karoten, violaksantin, ksantofil, zeaksantin, luteoksantin i lutein epoksid (Di Virgillio i sur., 2015; Kregiel i sur., 2018; Paulauskienė i sur., 2021). Kopriva također sadrži kafeinsku, hidroksibenzojevu, vanilinsku, kumarinsku i kininsku kiselinu kao i mnoge derivate kafeinske i kininske kiseline (Chrubasik i sur., 2007; Upton, 2013; Joshi i sur., 2014; García i sur., 2021). Valja naglasiti kako se sadržaj ovih kemijskih spojeva značajno razlikuje ovisno od istraživanja. Navedeno dokazuje kako značajan utjecaj na kemijski profil ima niz čimbenika:

od podrijetla biljnog materijala, što je u izravnoj vezi s ekološkim čimbenicima lokaliteta, variranja ovisno o dijelu biljke i fenološkoj fazi biljke do analitičke metode korištene pri određivanju i dr. Mnogi autori (Guil-Guerrero i sur., 2016; Đurović i sur., 2017; Paulauskienė i sur., 2021; Repajić i sur., 2021) ističu list koprive kao sirovinu značajnog antioksidacijskog potencijala, a prvenstveno zbog visokog sadržaja fenola (posebice flavanol glikozida i flavonoida), tanina, vitamina, pigmenata (klorofila i karotenoida) i aminokiselina, čime joj se pripisuju i brojni farmakološki učinci (Grevsen i sur., 2008; AlShuwayeb i Al-Khatib, 2013).

Kopriva ima dugu tradiciju korištenja u narodnoj medicini (Gül i sur., 2012). Zdravstvena stanja poput karcinoma, emfizema, ciroze jetre, ateroskleroze, ateroma, hipertenzije, neoplazme i artritisa povezana su s oksidativnim oštećenjima uzrokovanih slobodnim radikalima u ljudskom tijelu, a namirnice ili dodaci prehrani bogati antioksidansima mogu pomoći smanjenjem oštećenja i potencijalnog razvoja gore spomenutih stanja (Biesiada i sur., 2010; Gül i sur., 2012). Prema različitim istraživanjima (Di Virgilio i sur., 2015; Guil-Guerrero i sur., 2016; Đurović i sur., 2017; Kregiel i sur., 2018; Repajić i sur., 2021), svi dijelovi biljke koprive imaju antiradikalna i antioksidativna, protuupalna, antimikrobna, antifungalna, antivirusna, antireumatska i antikancerogena svojstva što se povezuje s bogatim fitokemijskim sastavom ove biljke.

2.3. Upotreba koprive

Svježa kopriva se još od antičkog doba koristila za liječenje urtikarije, za poticanje cirkulacije i „zagrijavanje“ zglobova i ekstremiteta (Zeipiņa i sur., 2014; Đurović i sur., 2017) te za pomoć kod reume i artritisa (Grevsen i sur., 2008; AlShuwayeb i Al-Khatib, 2013; Francišković i sur., 2017; Grauso i sur., 2020). U današnje vrijeme se vodeni i alkoholni ekstrakti koprive koriste za liječenje rinitisa (Upton, 2013; De Vico i sur., 2018) i plućnih bolesti (Biesiada i sur., 2010; Zeipiņa i sur., 2014; Grauso i sur., 2020), dok je sušena kopriva (herba) dobra za liječenje alergija (Stanojević i sur., 2016). Koristi se i kao umjereni diuretik te kod tegoba povezanih s problemima urinarnog trakta (Chrubasik i sur., 2007; Stanojević i sur., 2016; Kregiel i sur., 2018; Grauso i sur., 2020; Repajić i sur., 2021), kardiovaskularnim problemima (Biesiada i sur., 2009; Upton, 2013; Di Virgilio i sur., 2015; Di Venere i sur., 2016; Francišković i sur., 2017), dijabetesom (Grevsen i sur., 2008), gihtom (Di Virgilio i sur., 2015; Kregiel i sur., 2018; Repajić i sur., 2021), ekcemima (Grevsen i sur., 2008; Zeipiņa i sur., 2014; Di Virgilio i sur., 2015) i cirozom jetre (Gülçin i sur., 2004; Biesiada i sur., 2010). Kemoterapijska sredstva od koprive razvijaju se za liječenje bolesnika oboljelih od raka (Modarresi-Chahardehi i sur., 2012; Zeipiņa i sur., 2014), a fitosteroli iz korijena koriste se za liječenje benigne hiperplazije prostate (Obranović i sur., 2023).

Kopriva se u prošlosti tradicionalno koristila u prehrani kao zeleno lisnato povrće u mnogim mediteranskim i istočnoeuropskim zemljama (Di Virgilio i sur., 2015; Stanojević i sur., 2016; Tardío i sur., 2016; Đurović i sur., 2017). Mlado lišće i izdanci obično se sakupljaju u proljeće prije cvatnje (Upton, 2013; Zeipiņa i sur., 2014; Tardío i sur., 2016), s obzirom da starije biljke mogu sadržavati veće količine cistolita koji izazivaju iritaciju bubrega. Zbog okusa i teksture sličnih špinatu, kuhanu i blanširana kopriva se često koristi kao njegova zamjena (Kregiel i sur., 2018). Također se koristi u pripremi raznih jela (slika 4) kao što su salate, juhe, štrudle ili jela od riže i tjestenine (Upton, 2013; Tardío i sur., 2016).



Slika 4. Priprema čipsa od koprive

Možda najpopularniji proizvod ove biljke predstavlja vodeni infuz, odnosno pripravak na bazi čaja od listova, koji se zbog povoljnog kemijskog sastava može koristiti kao funkcionalno piće (Upton, 2013; Di Virgilio i sur., 2015; Kregiel i sur., 2018; Repajić i sur., 2021). U Velikoj Britaniji se koristi za pripremu piva (slika 5), a može se koristiti i za pripremu koktela i biljnih likera (Upton, 2013). Upotreba koprive kao hrane za stoku poznata je još od davnina, a danas je sve popularnija njezina upotreba kao dodatka u svrhu poboljšavanja kvalitete mesnih proizvoda (npr. kobasicice s dodatkom koprive), jaja i mlijecnih proizvoda (Zeipiņa i sur., 2014; Tardío i sur., 2016; Uher i sur., 2024). Prehrambena industrija koristi koprivu za proizvodnju skute i kao izvor prirodnih pigmenata zelene boje (klorofila E140 iz listova) ili žute boje koja se dobiva ekstrakcijom korijena biljke.



Slika 5. Pivo (IPA) s koprivom

(preuzeto s: <https://gyle59.co.uk/beershop/p/nettle-ipa-500ml>; 28.2.2024.)

Također se koristi u medicinskoj, farmaceutskoj i kozmetičkoj industriji za proizvodnju šampona i tonika za kosu (Otles i Yalcin, 2012; Upton, 2013; Tardio i sur., 2016; Đurović i sur., 2017; Repajić i sur., 2021). Ostale tradicionalne upotrebe koprive uključuju proizvodnju biopesticida i biognojiva (Tardio i sur., 2016) te tekstilnu industriju, gdje se stabljike koriste za izradu laganih i otpornih vlakana (Otles i Yalcin, 2012). Tijekom Prvog svjetskog rata njemačka je vojska, zbog nemogućnosti nabave pamuka, koristila vojne uniforme napravljene od vlakana koprive (Viotti i sur., 2022).

2.4. Kultivacija koprive

Uzgoj koprive još uvijek nije komercijalno proširen i biljni materijal se najvećim dijelom sakuplja s prirodnih staništa pa literaturni navodi o tehnologiji uzgoja nisu brojni.

Zbog velikog potencijala koprive kao nutritivno bogate namirnice funkcionalnih svojstava i široke upotrebe, potražnja za svježom biomasom koprive sve više raste, a samonikli biljni materijal često je varijabilne kvalitete i neujednačenog kemijskog sastava pa čak i neprikladan za prehranu ljudi. Naime, kopriva se navodi kao prekomjerno akumulirajuća biljka koja ima izrazitu sklonost usvajanja teških metala iz tla u listove i mlade izboje (upravo one dijelove biljke koje ljudi najčešće sakupljaju). Ova sposobnost akumulacije teških metala i hraniva, poput dušika i fosfora, ponekad se koristi za sanaciju onečišćenih tala zbog čega se kopriva smatra fitoremedijacijskom biljkom (Viktorova i sur., 2016; Petrović i sur., 2019). Osim toga, kopriva je nitrofilna biljna vrsta koja na samoniklim staništima preferira tla bogata dušikom i organskom tvari, što može dovesti do nakupljanja potencijalno štetnih nitrata u bilnjom

materijalu (Radman i sur., 2015). Sve to ukazuje na potrebu uvođenja koprive u poljoprivrednu proizvodnju, no tehnologija uzgoja je nedovoljno istražena (Maggini i sur., 2014).

Kopriva se može razmnožavati generativno (izravnom sjetvom i presadnicama) i vegetativno (sadnjom podzemnih stabljika, rizoma) (Di Virgilio i sur., 2015; Radman, 2015). Kod generativnog razmnožavanja sjemenom treba napomenuti da je sjeme koprive izrazito sitno (apsolutna težina iznosi 0,13 g) te je kod izravne sjetve u polju važno odgovarajuće pripremiti sjetveni sloj (fina površinska priprema) i ne sijati na dubinu veću od 1 cm. S obzirom da sjemenke koprive imaju tvrdu sjemenu ovojnicu, što otežava klijanje, povoljnija je sjetva u jesen (ali prije kasnih jesenskih mrazova) od sjetve u proljeće. Jesenska sjetva uklanja dormantnost i sjeme klijira sljedeće proljeće. Razmak između redova je 20 cm, preporučuje se sijati oko 1000 sjemenki/m². Na klijanje sjemena mogu utjecati brojni abiotički (vlaga, toplina, svjetlost i supstrat) i biotički (veličina i građa sjemena, dormantnost) čimbenici što može rezultirati nižom klijavošću sjemena (20 do 23 % u kontroliranim uvjetima u klimatskoj komori; Radman i sur., 2015), dugim klijanjem i neujednačenim sklopom. Korovi također mogu predstavljati potencijalni problem pri uzgoju na otvorenom s obzirom da biljkama koprive obično treba duži period kako bi postigle odgovarajuću gustoću sklopa. Radman i sur. (2015) te Radman i sur. (2016) zaključili su da se, iako je izravna sjetva brža i jeftinija metoda razmnožavanja koprive, u praksi ne koristi zbog navedenih ograničenja. Vegetativno razmnožavanje rizomima također je relativno jeftin (eliminira se trošak proizvodnje i nabave sadnog materijala), ali izazovniji način razmnožavanja, posebno za intenzivnu proizvodnju, jer zahtijeva veći broj radnih sati i fizičkog rada. Rizomi se uzimaju iz postojećeg nasada u kasnu jesen, a uklanjuju se nadzemni, truli i odumrli dijelovi. Očišćeni rizomi se odvajaju i režu na duljinu od 25 do 30 cm. Važno je uskladiti vađenje sa sadnjom tako da rizomi budu što kraće izvan tla kako bi se izbjeglo isušivanje. Drugi rizik ove tehnike razmnožavanja su starost rizoma i broj uspavanih pupova kao svojstva koja se ne mogu odrediti u trenutku vađenja (Stepanović i sur., 2009). S obzirom na sve navedeno, preporučuje se uzgoj koprive iz presadnica (slika 6) posijanih u zaštićenom prostoru u rano proljeće te presađenih na otvoreno nakon otprilike 40 dana (Biesiada i sur., 2010; Radman, 2015). Presadnice se preporučuje uzgajati u kontroliranim uvjetima zaštićenog prostora na temperaturi od 15 do 20 °C pri relativnoj vlažnosti zraka od 60 %.



Slika 6. Presadnice koprive u polistirenskom kontejneru

Pri svakom uzgoju važno je osigurati biljkama potrebna hraniva odgovarajućom i uravnoteženom gnojidbom. Koprivi za optimalni rast i razvoj, uz ostala hraniva, treba dušik u većim količinama, zbog čega se smatra nitrofilnom biljnom vrstom (Stepanović i sur., 2009; Radman, 2015). U uzgoju lisnatog povrća veća opskrba dušikom može dovesti do prekomjernog nakupljanja nitrata te negativno utjecati na kvalitetu biljnog materijala i uzrokovati onečišćenje podzemnih voda. Sami nitrati su relativno netoksični, ali njihovi metaboliti mogu dovesti do brojnih zdravstvenih problema, poput methemoglobinemije kod male djece. Europska unija propisuje maksimalno dopuštene razine nitrata u salati i špinatu u Uredbi 2023/915 od 25. travnja 2023. (EC, 2023), ali ne postoje propisi vezani za druge vrste lisnatog povrća (Gonnella i sur., 2004; Radman i sur., 2016). Iz tog je razloga uravnotežena primjena dušičnih gnojiva od iznimne važnosti kako bi se omogućila dostupnost visokokvalitetnog biljnog materijala (Radman i sur., 2016). Za optimalne prinose nutritivno bogatog biljnog materijala preporučuje se primjena 100 kg/ha dušičnog gnojiva (KAN) nekoliko puta tijekom rasta, ovisno o količini raspoloživih hraniva u tlu i planiranom broju košnji. Kopriva je također bogata mineralima kao što su fosfor, kalcij, magnezij i željezo (Rutto i sur., 2012; Radman i sur., 2015; Radman i sur., 2016), što znači da tlo mora biti dobro opskrbljeno tim hranivima u obliku lako dostupnom biljci s obzirom da usvajanje hraniva korjenovim sustavom

ovisi o nizu fizikalno-kemijskih svojstava tla (Radman, 2015). Prema Šilješ i sur. (1992), uz dušik, kopriva ima velike potrebe za kalijem i fosforom pa se ovisno o plodnosti tla primjenjuju količine od 200 kg K₂O/ha, odnosno, 60 do 80 kg P₂O₅/ha.

Osim prihrane dušikom, mjere njegove uključuju međurednu kultivaciju i okopavanje kako bi tlo ostalo rastresito te kako bi se uklonili korovi. Za osiguravanje odgovarajuće količine, preporučljivo je koristiti sustav navodnjavanja kapanjem (Radman, 2015).

Faza razvoja u kojoj se kopriva bere, odnosno kosi ovisi o namjeni. Pri intenzivnom rastu prije cvatnje, kosit će se kada je cilj uzgoja svježi list za ljudsku prehranu. Biljke su u toj fazi visoke oko 30 cm, međutim to će uvelike varirati ovisno o uvjetima uzgoja. Biljke se kose iznad donja dva nodija (slika 7) kako bi se omogućio ponovni rast, odnosno retrovegetacija (Upton, 2013.; Radman, 2015.). Retrovegetacija biljaka će biti moguća sve dok za to postoje povoljni uvjeti i biljka ne uđe u fazu mirovanja. Domaća istraživanja dokazuju da je tijekom jedne vegetacijske godine na otvorenom polju moguće ostvariti šest košnji (Radman i sur., 2015), dok neki autori ističu i više od 10 košnji (Voća i sur., 2023). Pažljivim upravljanjem čimbenicima pri hidroponskom uzgoju koprive mogao bi se ostvariti i veći broj košnji, uz značajno povećanje prinosa/košnji kao i kumulativnog prinosa tijekom jedne vegetacijske sezone.



Slika 7. Košnja koprive škarama iznad prva dva nodija

Za potrebe farmaceutske industrije kopriva se kosi u fazi cvatnje, a za potrebe tekstilne industrije (vlakna) košnja se obavlja u fazi zrelog sjemena (Radman, 2015). Prinos herbe može biti 10 do 15 t/ha, s tim da je nešto manji u prvoj godini uzgoja što je u skladu s istraživanjem Radman i sur. (2016) koji navode prinos od 1,5 kg/m². Prema Radman i sur. (2014) prinos svježeg lista hidroponski uzgojene koprive (tehnikom FH) tijekom 2 vegetacijska perioda varirao je 2,9 do 4,2 kg/m², ovisno o supstratu i gustoći sjetve.

Korijen se može vaditi u nasadima od 2 godine starosti. Najčešće se vadi strojno, plitkim podrivanjem, u jesen prije prvih mrazova. Prinos svježeg korijena je 8 do 10 t/ha (Šilješ i sur., 1992).

2.5. Mogućnosti hidroponskog uzgoja koprive

Kvaliteta biljnog materijala koji se uzgaja na otvorenom varira iz godine u godinu zbog promjenjivih okolišnih uvjeta (rani ili kasni mraz, tuča, ekstremne promjene temperature) te je teško ili čak nemoguće dobiti potpuno standardizirani biljni materijal (Maggini i sur., 2014).

Uzgoj u kontroliranim uvjetima zaštićenog prostora pruža mogućnost povećanja i ujednačavanja kvalitete sirovine praćenjem i upravljanjem abiotičkim čimbenicima tijekom rasta biljaka (Nicola i sur., 2006). Suvremene tehnologije uzgoja stalno se razvijaju kako bi se riješila specifična ograničenja tijekom proizvodnje i kako bi se smanjio negativni utjecaj okolišnih čimbenika (poplave, požari, suša i toplinski valovi) te kako bi proizvođači bili u korak s novim zahtjevima tržišta i potrebama potrošača (Rutto i sur., 2012; Marotti i sur., 2022; Viotti i sur., 2022).

Hidroponski uzgoj, tj. uzgoj u HO sa ili bez supstrata, uspješna je alternativa konvencionalnoj poljoprivredi. S obzirom da nema uzgoja na tlu, od početka se eliminiraju potencijalni problemi uzrokovani onečišćenjem tla teškim metalima i reziduama pesticida, kao i kompleksni odnosi između tla i hranivih tvari. Primjenom ovog pristupa smanjuje se potrošnja vode te se omogućuje precizna i uravnotežena ishrana biljaka prema njihovim specifičnim potrebama, što rezultira visokim prinosima i zadovoljavajućom kvalitetom sirovine (Tomasi i sur., 2015; Fernández i sur., 2018; Savvas i sur., 2018). Hidroponski uzgoj bazira se na činjenici kako biljke mogu sintetizirati sve potrebne metaboličke produkte iz anorganskih iona, vode i CO₂ koristeći sunčevu energiju. Sve hranive tvari osigurane su kroz HO pripremljenu prema prosječnim potrebama određene kulture tijekom uzgoja (Nguyen i sur., 2016). Ovaj način uzgoja može imati visoku učinkovitost u korištenju vode i gnojiva te nizak utjecaj na okoliš (Gonnella i sur., 2014), uklapajući se u koncept održive poljoprivrede koja, osim visokog prinosa, ima za cilj i brigu o okolišu. Prema Nicola i sur. (2006) te Resh (2013), hidroponski sustavi omogućuju ponovnu upotrebu HO kroz recirkulaciju, gdje se iskorištena otopina skuplja i vraća u sustav nakon sterilizacije. Ovakav se sustav naziva zatvorenim i pogodan je za ekološki osjetljiva područja gdje je zaštita tla i podzemnih voda od iznimne važnosti. Ako se HO koristi samo jednom radi se o otvorenom sustavu no i u takvom sustavu utjecaj na okoliš se može smanjiti minimiziranjem gubitaka vode i hranivih tvari korištenjem senzorskih tehnologija i strategija isporuke HO, s ciljem što većeg smanjenja otjecanja otopine iz sustava (Massa i sur., 2020).

Hidroponske tehnike uzgoja zahtijevaju veće početno ulaganje u zaštićeni prostor i opremu, ali s druge strane imaju dugoročne i višestruke prednosti poput mogućnosti cjelogodišnjeg uzgoja i produljenog razdoblja proizvodnje, kao i dostupnosti namirnice kada uzgoj na otvorenom nije moguć. Za uspješnu suvremenu hidroponsku proizvodnju koprive vrlo je važno posjedovanje odgovarajućih alata i opreme za prilagođavanje čimbenika vegetacije (svjetlo, toplina, vлага i sastav zraka) na optimalne vrijednosti.

Za pripremu HO koriste se soli, čisti kemijski spojevi koji se najčešće sastoje od dva do tri elementa. Sve recepture za HO koje se koriste u hidroponskom uzgoju u osnovi su izvedene iz originalnog protokola koji su razvili Hoagland i Arnon 1938. godine. Standardizirana otopina sastoji se od sljedećih makroelemenata: dušika (N), kalija (K), fosfora (P), kalcija (Ca), magnezija (Mg), sumpora (S) i mikroelemenata: topljivog oblika željeza (Fe), bora (B), bakra (Cu), mangana (Mn), cinka (Zn), molibdena (Mo) i klora (Cl). Ponekad se u otopinu dodaju silicij (Si) i selen (Se), iako nisu biogeni elementi, međutim smatraju se korisnima, jer povećavaju otpornost na stres i vegetativni rast biljaka te proizvodnju sjemena (Shavruković i sur., 2012). Važno je naglasiti kako dostupnost određenih biogenih elemenata, posebice dušika, može negativno utjecati na određene SM, kao što su polifenolni spojevi (Radman i sur., 2015) pa je uzgoj biljnog materijala vrlo često kompromis između visokog prinosa i ciljanog sadržaja SM u finalnom proizvodu (Upton, 2013).

Prema Sonneveld i Voogt (2009), prije pripreme HO potrebno je izvršiti kemijsku analizu vode koja će se koristiti, jer se u otopinu dodaje manje onih soli koje sadrže ione koji su već prisutni u vodi (najčešće Ca^{2+} , Mg^{2+} i SO_4^{2-}).

Bez obzira na tehniku koja se koristi, gotova HO priprema se od stostrukog koncentriranog otopina, na temelju koncentracije otopine koja se svakoj biljci dovodi kroz fertirigacijski sustav. Dakle, u svakoj hidroponskoj proizvodnji postoje najmanje tri spremnika za koncentriranu otopinu. Soli se pripremaju kao dvije koncentrirane otopine u dva odvojena spremnika. Zbog kemijskih reakcija i mogućeg taloženja nastalih spojeva potrebno je odvojiti kalcijeve soli od sulfata i fosfata. U trećem spremniku nalazi se otopina dušične ili fosforne kiseline, koja služi za regulaciju pH vrijednosti otopine. Iako ion HCO_3^- nije biljno hranivo, mora se uzeti u obzir pri pripremi otopine. Njegovo nakupljanje uvelike povisuje pH otopine, što može negativno utjecati na usvajanje hraniva. Na dostupnost P i Mn snažno utječe pH pa pri vrijednostima $> 6,5$ može doći do nedostatka ovih minerala u biljci bez obzira na koncentraciju u otopini s obzirom da su ti elementi manje topljni pri višim pH vrijednostima. Stoga se za neutralizaciju HCO_3^- i postizanje željene pH vrijednosti otopine koristi se fosforna ili dušična kiselina (Sonneveld i Voogt, 2009; Benton Jones, 2014).

Biljne vrste mogu se značajno razlikovati u usvajanju pojedinih hranivih tvari, na što utječu brojni abiotički čimbenici zraka (temperatura, relativna vлага, količina svjetlosti i koncentracija CO_2) i HO (temperatura, pH vrijednost, električna vodljivost i sadržaj kisika) te

biotički čimbenici (faza rasta i razvoja, prisutnost štetnih organizama). Tijekom uzgoja potrebno je svakodnevno pratiti prethodno nabrojane čimbenike HO i po potrebi ih korigirati (Marschner, 2012), što je u skladu s Tomasi i sur. (2015), koji ističu da je upravljanje uvjetima uzgoja, a posebno sastavom HO jedan od najvažnijih aspekata uspješne hidroponske proizvodnje. Isti autori ističu kako električna vodljivost (EC, mS/cm), kemijski oblik elemenata (npr. u hidronponici N se obično isporučuje kao NO_3^- jer NH_4^+ oblik nije odmah dostupan biljci), temperatura i pH otopine mogu utjecati na rast, kvalitetu i zdravlje biljaka, zbog čega je potrebno pratiti i korigirati otopinu tijekom cijele vegetacije. EC vrijednost je elektrolitička provodljivost te označava količinu topljivih soli u otopini, a optimalne vrijednosti mogu uvelike varirati među različitim kulturama (Van Delden i sur., 2020). Optimalna pH vrijednost konačne HO za zeleno lisnato povrće, u koju skupinu se svrstava i kopriva, kreće se od 5,8 do 6,5, optimalne EC vrijednosti su 1,5 do 3 mS/cm, dok je optimalna koncentracija otopljenog kisika (DO, mg/L) u HO 2 do 4 mg/L (Toth i sur., 2012). Prema Nguyenu i sur. (2016), korijenje biljaka zahtijeva stalnu opskrbu kisikom. Ako korijenje postane anoksično, više ne može usvajati hraniva i transportirati ih kroz biljku. U hidronponici postoje različita rješenja za to ovisno o tehnici uzgoja, ali u slučajevima kada je korijenje u stalnom kontaktu s HO, obično postoji sustav pumpi koji obogaćuje otopinu kisikom do zadovoljavajuće razine (iznad 2 mg/L). U suvremenim hidroponskim sustavima uzgoja, DO, EC i pH otopine, kao i razrjeđivanje koncentrirane otopine, automatski kontrolira računalni sustav koji koristi posebne senzore.

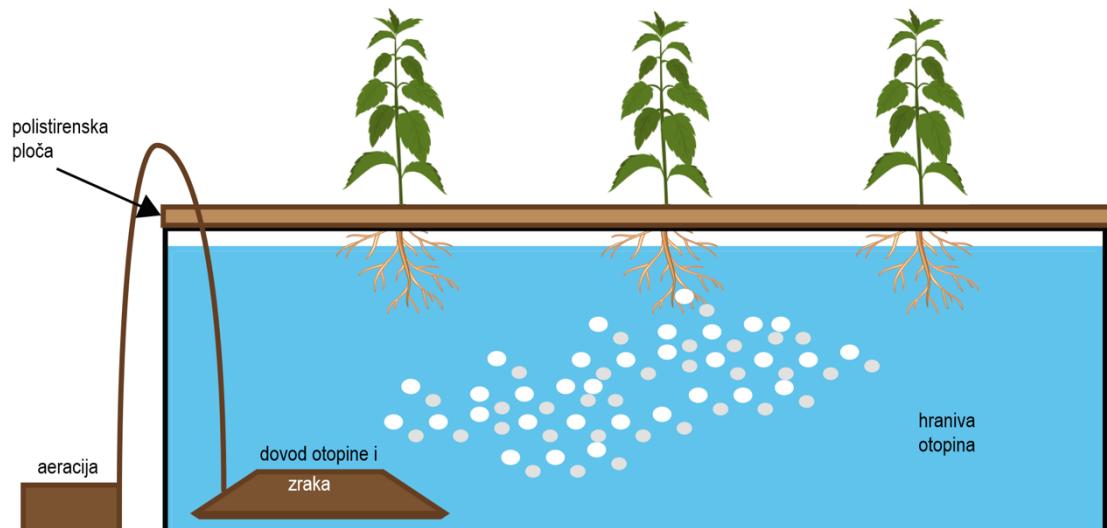
Može se zaključiti kako je HO zasigurno jedan od najvažnijih čimbenika kvalitete i prinosa biljnog materijala, jer omogućuje izravnu kontrolu količine svakog biogenog elementa, izbjegava antagonizam hraniva i osigurava optimalnu ishranu biljaka (Trejo-Téllez i Gómez-Merino, 2012). Za visok sadržaj SM i odgovarajući prinos potrebno je za svaku vrstu odrediti optimalan sastav HO, gustoću sjetve i odgovarajući sortiment ovisno o razdoblju uzgoja i namjeni konačnog proizvoda (Sonneveld i Voogt, 2009).

Do danas je provedeno nekoliko istraživanja (Radman i sur., 2014; Radman i sur., 2021) o HO prikladnim za hidroponski uzgoj koprive. Općenito, hidroponski sustavi za proizvodnju zelenog lisnatog povrća, koji se mogu primijeniti i na koprivu, mogu se podijeliti u dvije skupine prema Resh (2013):

1. Hidroponski sustavi u kojima je korijen biljke potopljen, tj. u stalnom kontaktu s HO (tehnika hranivog filma, FH i aeroponski sustav)
2. Sustavi u kojima se supstrati u kojima su biljke ukorijenjene natapaju u intervalima (sustav EF)

Većina dosadašnjih istraživanja uzgoja koprive provedena je pomoću tehnike FH, koja se pokazala kao adekvatna tehnika za uzgoj koprive. U FH (slika 8) biljke se uzgajaju u

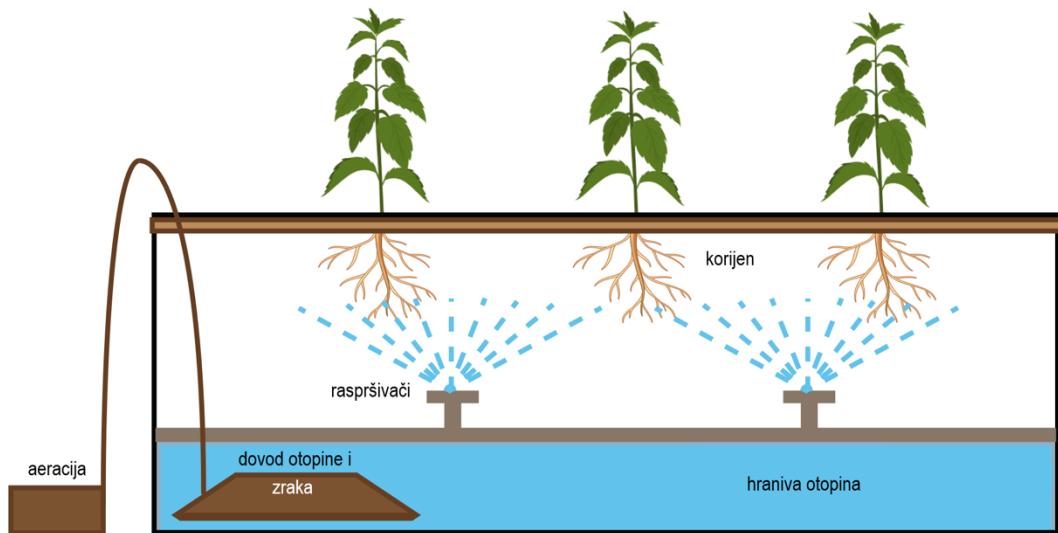
polistirenskim pločama koje plutaju u aeriranoj HO, u bazenima dubine 20 do 25 cm. Ovo je idealna tehnika za uzgoj lisnatog povrća i začinskog bilja, kao što su zelena salata, endivija, kopar, riga, radič, špinat i bosiljak, koje ima kraći proizvodni ciklus i veću gustoću sklopa (Nicola i sur., 2006; Tomasi i sur., 2015).



Slika 8. Hidroponska tehnika FH (prilagođeno prema: Velazquez-Gonzalez i sur., 2022)

Radman i sur. (2014) proučavali su utjecaj gustoće sjetve ($0,2$, $0,5$ i $0,9 \text{ g/m}^2$) i vrste supstrata (perlit, vermikulit) na prinos koprive i broj košnji tijekom uzgoja tehnikom FE. Prednost ovog sustava je u tome što su visoki prinosi uz veći broj košnji tijekom jedne vegetacijske sezone uzgoja postignuti u mjesecima kada je kopriva na otvorenom još u fazi mirovanja. Najveći prinosi ($1,41$ i $1,22 \text{ kg/m}^2$) postignuti su u proljetnom roku uzgoja u kombinaciji perlita i vermikulita pri gustoći sjetve $0,2 \text{ g/m}^2$. Cilj istraživanja Radman i sur. (2021) bilo je utvrditi učinak dvije standardne HO različitih EC vrijednosti ($1,5$ i $2,3 \text{ mS/cm}$) na prinos i sadržaj minerala u koprivi tijekom više vegetacijskih perioda. Obje otopine pokazale su se prikladnima za uzgoj koprive u FE, ali je otopina niže EC vrijednosti rezultirala višim vrijednostima za većinu promatranih svojstava (suha tvar, N, P, K, Fe).

U aeroponskom sustavu (slika 9) biljke se postavljaju u rešetkaste posude u rupe na polistirenskim pločama koje su postavljene vodoravno ili pod kutom od 45 do 60° (A-okviri). Korijenje biljaka visi u zatvorenoj komori i izloženo je zraku. HO se prska svakih nekoliko minuta u trajanju od oko 15 s tako da je korijenski sustav u stalnom kontaktu s otopinom (Resh, 2013; AlShrouf, 2017).

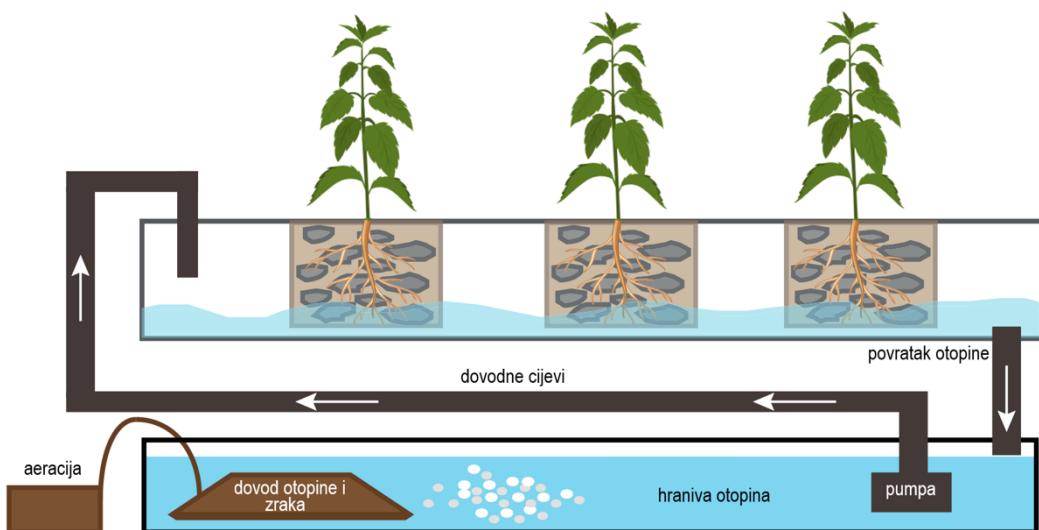


Slika 9. Hidroponska tehnika aeropon (prilagođeno prema: Velazquez-Gonzalez i sur., 2022)

U istraživanju Hayden (2016), kopriva je uzgajana u aeroponskom A-okvir sustavu, bez informacija o korištenoj HO. Kontrolne biljke uzgajane su u mješavini treseta. Aeroponska kopriva proizvela je istu nadzemnu masu, ali manju masu korijena u odnosu na kontrolu. U istraživanju Pagliarulo i sur. (2004), dvije HO s različitim sadržajem P i K testirane su u hidroponski uzgojenoj koprivi (aeroponski sustavi i FH). Promjena u omjeru P i K nije imala značajan utjecaj na prinos, ali je uzgoj u FH rezultirao većom biomasom korijena u usporedbi s aerponikom, dok se prinos herbe nije statistički razlikovao s obzirom na način uzgoja.

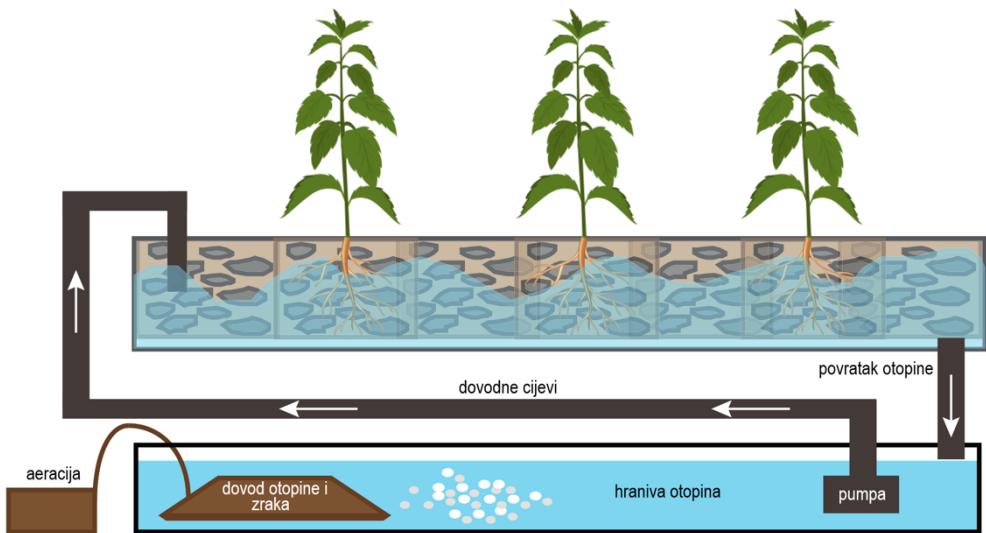
Većina istraživanja provedena je na koprivi uzgojenoj u FH (Radman i sur., 2014; Radman i sur., 2021) i aeroponski (Pagliarulo i sur., 2004; Hayden, 2016), ali kopriva s obzirom na svoje karakteristike pokazuje veliki potencijal i za uzgoj tehnikom hranivog filma (eng. *nutrient film technique*, NFT) te tehnikom EF. Potencijal uzgoja spomenutim tehnikama proizlazi iz racionalnog korištenja hraniva, što rezultira manjim nakupljanjem nitrata te sposobnosti retrovegetacije koprive, što omogućuje višekratne košnje. Uz to, upravljanjem agrotehničkim mjerama tijekom uzgoja, npr. izazivanjem kontroliranog vodnog stresa tijekom uzgoja ovim tehnikama (osobito u sustavu EF) može se utjecati na povećanje sadržaja SM u biljnom materijalu.

U tehnici hranivog filma (slika 10), aerirana HO visine do 1 cm kontinuirano teče plitkim kanalima koji sadrže posude za uzgoj s relativno malom količinom supstrata. Budući da je otopina stalno u pokretu, koncentracija iona u zoni korijena ne raste. Prednost ove tehnike je u tome što niska razina HO smanjuje potrebu za pripremom velikih količina otopine. Ukoliko se HO nakon korištenja sterilizira i recirkulira, održivost tehnike se dodatno povećava (Resh, 2013; Putra i Yuliando, 2015).



Slika 10. Hidropomska tehnika hranivog filma (prilagođeno prema: Velazquez-Gonzalez i sur., 2022)

Sustav EF (slika 11) radi na principu vremenskih intervala između dostupnosti HO (režimi navodnjavanja HO) i sušnih razdoblja (vodni stres) kojima su biljke izložene. Stolovi na koje se postavljaju kontejneri s biljkama potapaju se hranivom otopinom. Nakon određenog vremenskog intervala (programiranog prema vrsti koja se uzgaja), HO otječe sa stola. Sustav je zatvoren, a otopina se reciklira (Resh, 2013; Hayden, 2016). Korištenje sustava EF te regulacija vremenskog intervala između dva navodnjavanja HO (što izaziva vodni stres) može utjecati na morfološke i nutritivne karakteristike biljaka (Erken i sur., 2013). Vodni stres može imati pozitivan ili negativan učinak na kemijski sastav biljaka, ovisno o duljini stresnog razdoblja, genetskim karakteristikama i fenološkoj fazi biljke. Pokazalo se da vodni stres ima negativan učinak na unos P i Ca u rigi te P i Mg u špinatu. S druge strane, vodni stres je pozitivno utjecao na sadržaj bioaktivnih spojeva: vitamina C, ukupnih fenola, neflavonoida i glukozinolata u navedenim vrstama (Cukrov i sur., 2017).



Slika 11. Hidroponska tehnika EF (prilagođeno prema: Velazquez-Gonzalez i sur., 2022)

2.6. Upravljanje hidroponskim tehnikama koje utječu na sadržaj SM u biljkama

Dobro je poznato kako akumulacija SM u biljkama ovisi o nizu abiotskih, biotskih i agrotehničkih uvjeta, kao što su temperatura, osvjetljenje, opskrba hranivim tvarima, okolišni uvjeti, razna stresnog stanja i dr., a koji mogu utjecati na metaboličke puteve odgovorne za akumulaciju bioaktivnih spojeva u biljkama (Selmar i Kleinwächter, 2013). Prema Cukrov i sur. (2017) izazivanjem pozitivnog, kontroliranog vodnog i temperaturnog stresa putem metode uzgoja i primjena agrotehničkih mjera u različitim fazama razvoja biljaka moguće je utjecati na sadržaj SM. Isto tako, Šic Žlabur i sur. (2021) dokazali su kako je mehaničko kondicioniranje četkanjem izazvalo stres kod biljaka te se spomenuta mjera pokazala kao dobar način uzgoja bosiljka koji je rezultirao biljnim materijalom visoke kvalitete bogatog sadržajem antioksidansa i fitokemikalija važnih za ljudsko zdravlje.

Pojedine hidroponske tehnike uzgoja pružaju mogućnost iskorištavanja pozitivnog utjecaja stresa na biljke, što može rezultirati biljnim materijalom bogatijeg sadržaja SM, a time i većom nutritivnom vrijednošću (Rouphael i sur., 2018). Kod biljaka izloženih stresu, povećava se ukupan sadržaj flavonoida, fenola i polifenola, vitamina C i E, karotenoida i antioksidacijskih enzima, tj. svih spojeva sekundarnog biljnog metabolizma odgovornog u obrambenim mehanizmima biljaka (Waraich i sur., 2011; Šic Žlabur i sur., 2021; Yadav i sur., 2021).

Prema Hayden (2016) te Maggini i sur. (2014), moguće je poboljšati sintezu i nakupljanje SM u ljekovitim biljkama manipulirajući sastavom HO kako bi se stvorili određeni uvjeti stresa potrebni za povećanu akumulaciju određenih SM. Prema Maggini i sur. (2016),

sadržaj SM bosiljka povećao se u uvjetima kada su biljke bile izložene umjerenom solnom stresu, umjerenim hipoksičnim uvjetima ili promijenjenom opskrbom dušikom. Konkretno, uslijed tretmana biljaka HO različitim koncentracijama NO_3^- , utvrđeno je da je sadržaj ružmarinske kiseline bio veći u uvjetima smanjenog sadržaja NO_3^- . Općenito, sinteza pojedinih SM u biljkama poput β-karotena, vitamina, flavanola, likopena i fenola povećana je u uvjetima nedostatka dušika. Ova činjenica može se iskoristiti u svrhu kontrole količine nitrata u biljnem materijalu mijenjanjem koncentracije i sastava HO kako bi se utjecalo na povećan sadržaj SM, dok se istovremeno smanjuje nakupljanje neželjenih spojeva (Rouphael i sur., 2018). Linsnato zeleno povrće i kopriva imaju tendenciju nakupljanja nitrata, stoga je smanjenje razine nitrata važan aspekt njihove proizvodnje. Na nakupljanje nitrata u biljkama utječu brojni čimbenici, uključujući gnojidbu, svojstva tla, fazu rasta, temperaturu zraka, intenzitet svjetla i rok berbe (Nicola i sur., 2006). Isti autori navode da se sadržaj nitrata u hidroponski uzgojenom linsnatom povrću može smanjiti prestankom opskrbe biljaka HO nekoliko dana prije berbe. Radman i sur. (2016) također ukazuju na mogućnost smanjenja sadržaja nitrata u matovilcu (*Valerianella locusta* L.) zamjenom opskrbe biljaka HO 3 dana prije berbe. Međutim, isti autori navode kako je taj proces rezultirao manjom količinom suhe tvari i minerala u biljnem materijalu. Prema Gonnella i sur. (2004), zamjena HO vodom 3 dana prije berbe matovilca nije imala utjecaja na prinos i organoleptička svojstva. Povećanje sadržaja K ili Mg u HO također može imati pozitivan učinak na sadržaj SM u biljkama. Međutim, preporučuje se oprez pri odabiru sastava HO, jer može doći do antagonizma između određenih makro i mikroelemenata (Rouphael i sur., 2018).

Hidroponska tehnika EF najprikladnija je za proučavanje utjecaja stresa uzrokovanog nedostatkom vode na sadržaj SM u biljnem materijalu. Sušno razdoblje, odnosno nedostatak vode (vodni stres), značajno utječe na sadržaj i profil SM. Tijekom sušnog razdoblja, biljka počinje nakupljati više SM kao odgovor svog obrambenog mehanizma (Sharma i sur., 2020). Prema De Abreu i Mazzafera (2005), Selmar i Kleinwächter (2013), Bloem i sur. (2014) te Yadav i sur. (2021), moguće je povećati sadržaj SM u ljekovitim i aromatičnim biljkama izazivanjem umjerenog vodnog stresa tijekom uzgoja. Od velike je važnosti postaviti odgovarajući vremenski interval navodnjavanja kako bi biljke bile izložene stresu te proizvele više SM, no istovremeno uzrokovan stres ne smije dovesti do nepovratnog oštećenja biljnog tkiva. S obzirom da čak i umjereni stres može uzrokovati smanjenje prinosa, važno je u poljoprivrednoj proizvodnji optimizirati ravnotežu između izazvanog stresa, koji obogaćuje biljni materijal SM i zadovoljavajućeg prinosa (Selmar i Kleinwächter, 2013; Ahanger i sur., 2017).

3. MATERIJAL I METODE

Za potrebe ovog doktorskog rada provedeno je dvogodišnje (2021. i 2022. godina) istraživanje suvremenim hidroponskim tehnikama uzgoja koprive na Sveučilištu u Zagrebu Agronomskom fakultetu, u zaštićenom prostoru Zavoda za povrćarstvo na pokušalištu Maksimir. Dva jednofaktorijska pokusa postavljena su prema shemi slučajnog bloknog rasporeda u 3 ponavljanja i uključivala su:

- **4 različite HO** u sustavu plutajući hidropon (2021. godine)
- **2 režima vodnog stresa izazvana različitim režimima navodnjavanja (RN)** u sustavu dotjecanja i otjecanja (2022. godine).

3.1. Postavljanje i provedba pokusa

3.1.1. Uzgoj koprive tehnikom FH

Sjetva sjemena koprive proizvođača B&T World Seeds iz Francuske obavljena je 11. ožujka 2021. u polistirenske ploče sa 102 proreza ($0,576 \text{ m}^2$) punjene perlitom (slike 12 i 13) sitne granulacije (Euro-vrt d.o.o.). S obzirom da je sjeme koprive sitno (a.t. = 0,13 g) te slabe i neujednačene klijavosti, sijalo se 50 sjemenki po prorezu polistirenske ploče, uz utrošak sjemena $1,2 \text{ g/m}^2$.



Slika 12. Punjenje polistirenskih ploča perlitom

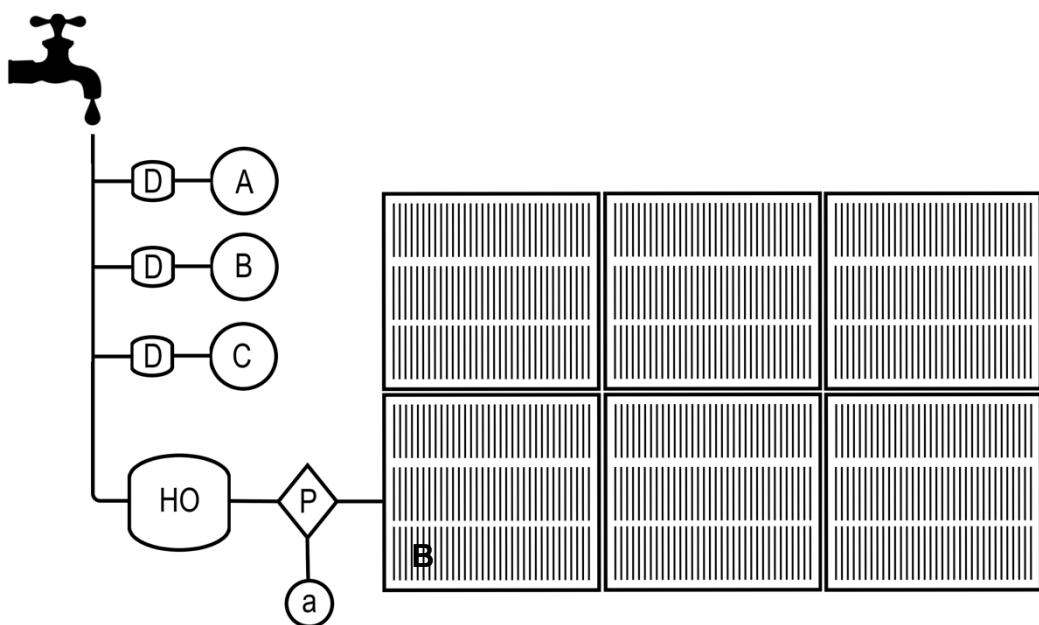


Slika 13. Sjetva sjemena koprive u polistirenske ploče (a) i zasijano sjeme koprive (b)

Nakon sjetve, ploče su postavljene na naklijavanje u optimalnim uvjetima (temperatura: 20 do 25 °C; relativna vлага zraka: 60 do 70 %) te su nakon 14 dana (25. ožujka) postavljene u bazene za uzgoj tehnikom FH dimenzija 3 m × 2,1 m (slika 14) prethodno napunjene vodom. Ploče su postavljene prema slučajnom bloknom rasporedu u tri ponavljanja, pri čemu je u svakom bazenu bilo 6 ploča, a jednu repeticiju su predstavljale 2 ploče (slika 15). Budući da biljke koprive imaju relativno dug period klijanja tijekom kojeg zahtjevi za hranivima nisu tako izraženi, ploče su prvotno postavljene u bazene napunjene vodom. Čim su biljke koprive razvile korijenski sustav, u bazene su dodane sljedeće HO (Lorenz i Maynard, 1988):

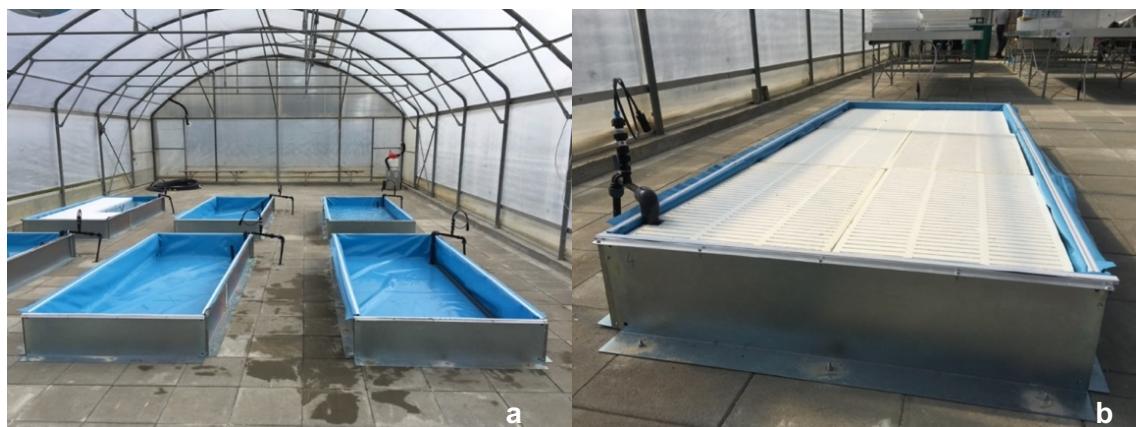
- **HO1** po Johnson-u (EC=1,5 mS/cm; 1166,50 mg/L soli);
- **HO2** po Jensen-u (EC=1,7 mS/cm; 1538,90 mg/L soli);
- **HO3** po Larson-u (EC=2,7 mS/cm; 2287,20 mg/L soli) ;
- **HO4** po Cooper-u (EC=2,9 mS/cm; 2502,10 mg/L soli).

Navedene HO razlikuju se prema recepturi u količini makro i mikroelemenata, a time i u navedenim EC vrijednostima. Otopine su pripremljene i dodane u bazene umjesto vode, 13. travnja 2021.



Slika 14. Shema uzgoja koprive tehnikom FH

D – dozator; A,B,C – spremnici s koncentriranim otopinama; HO – spremnik sa standardnom otopinom; P – pumpa; a – aeracija; B – bazen sa 6 polistirenskih ploča



Slika 15. Bazeni za uzgoj koprive tehnikom FH (a) i polistirenske ploče s naklijalim sjemenom koprive postavljene u bazen (b)

U tablici 3 prikazane su količine soli (mg/L) potrebne za pripremu otopina za hidroponski uzgoj koprive. Za korekciju pH vrijednosti otopina korištena je 56 %-tna HNO_3 .

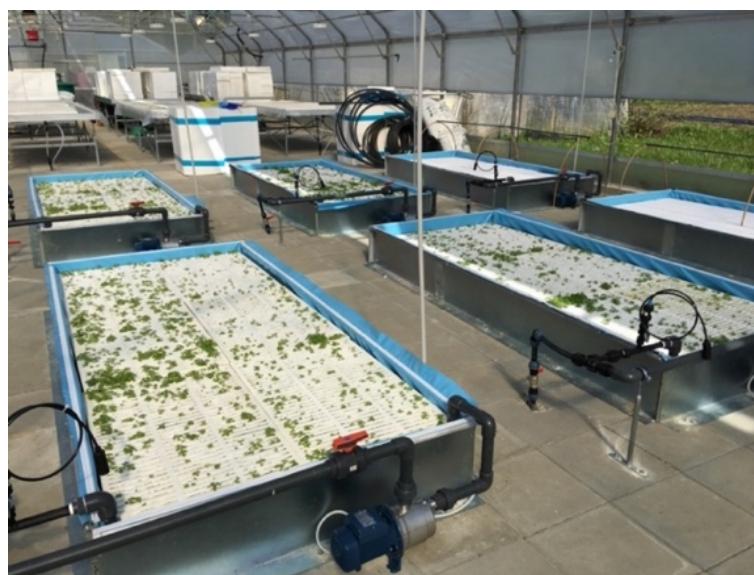
Tijekom uzgoja koprive (slika 16) tehnikom FH u proljetno-ljetnom roku uzgoja realizirane su tri košnje nadzemne mase koprive, a svaka košnja označila je kraj vegetacijskog perioda (VP). Košnje su provedene 20. svibnja (70 dana nakon sjetve; VP I), 8. lipnja (89 dana nakon sjetve; VP II) i 3. srpnja 2021. godine (113 dana nakon sjetve; VP III).

Tablica 3. Količine soli za pripremu otopina prema Lorenz i Maynard (1988)

OTOPINA	HO1	HO2	HO3	HO4
SOLI	mg/L			
KNO ₃	250,99	203,43	177,01	583,88
KH ₂ PO ₄	142,70	272,12	180,00	261,56
K ₂ SO ₄	/	/	343,46	/
Ca(NO ₃) ₂ × 4H ₂ O	501,50	548,70	1063,00	1093,00
MgSO ₄ × 7H ₂ O	256,25	494,06	494,06	512,60
FeEDTA 13%	12,80	13,66	17,07	42,68
H ₃ BO ₃	1,32	2,64	5,81	1,59
CuSO ₄ × 5H ₂ O	0,03	1,32	1,32	0,26
MnSO ₄ × 4H ₂ O	0,79	2,38	3,96	6,08
ZnSO ₄ × 7H ₂ O	0,11	0,40	1,32	0,45
Na ₂ MoO ₄ × 2H ₂ O	0,02	0,07	0,19	/
hraniva kumulativno				
N	12,10	11,89	15,87	21,24
P	7,37	14,00	9,29	13,52
K	49,30	52,86	224,40	109,29
Fe	1,66	1,78	2,21	5,54
pH			5,8 – 6,2	
EC (mS/cm)	1,5	1,7	2,8	3,0

HO – hraniva otopina

Nadzemna masa (herba) koprive je ručno rezana iznad donja dva nodija (slika 17) u fazi intenzivnog porasta biljke prije cvatnje budući da je cilj uzgoja bio svježi list za ljudsku prehranu. Opisanim načinom košnje omogućen je ponovni rast nadzemne mase, odnosno višekratna košnja.



Slika 16. Početak nicanja koprive



Slika 17. Biljke koprive u fazi prije cvatnje pred košnjom (a) i košnja koprive (b)

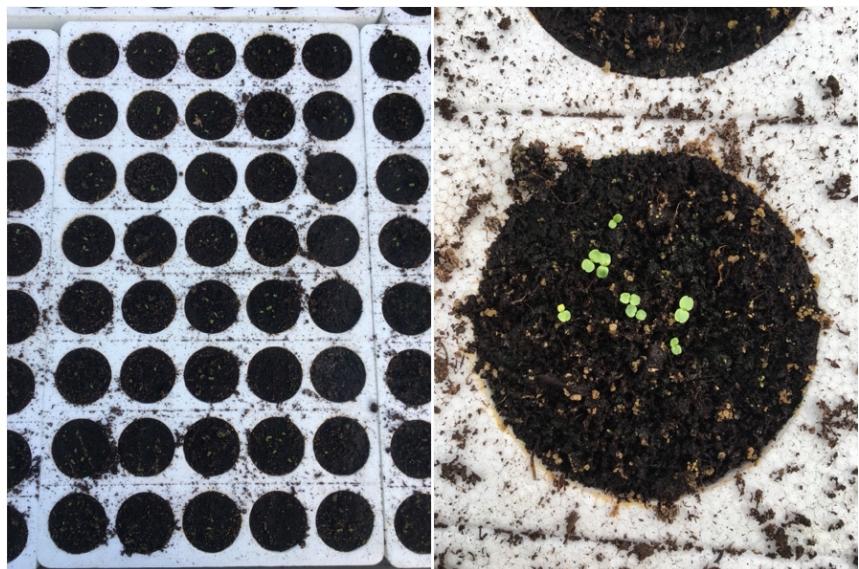
Nakon prve godine istraživanja, izdvojena je HO koja je rezultirala najvećim sadržajem SM u listu koprive uz postizanje optimalnog prinosa i najmanje količine nitrata te se ta otopina koristila za uzgoj koprive tehnikom EF u drugoj godini istraživanja.

3.1.2. Uzgoj koprive tehnikom EF

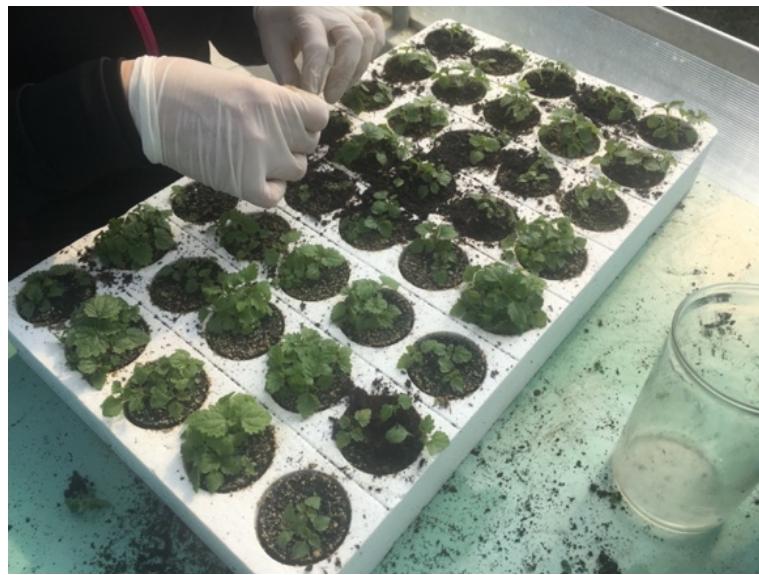
Za razliku od uzgoja tehnikom FH gdje su korištene polistirenske ploče, za uzgoj koprive tehnikom EF korišteni su polistirenski kontejneri s 40 lončića volumena 200 mL ($0,2\text{ m}^2$). Na osnovu osobnog iskustva i preliminarnih istraživanja, za potrebe uzgoja koprive u EF sijano je 10 sjemenki koprive po lončiću, a nakon nicanja obavljeno je prorjeđivanje na 3 biljke po lončiću. Sjetva je provedena 20. siječnja 2022. godine u polistirenske kontejnere (slika 18) napunjene komercijalnim supstratom (Klasman Potgrond H) nakon čega su kontejneri smješteni na potopne stolove te su redovito navodnjavani. Početak nicanja zabilježen je 6. veljače (slika 19), puno nicanje 14. veljače, a prorjeđivanje biljaka obavljeno je 14. ožujka (slika 20).



Slika 18. Sjetva sjemena koprive u polistirenske kontejnere s 40 lončića



Slika 19. Nicanje koprive

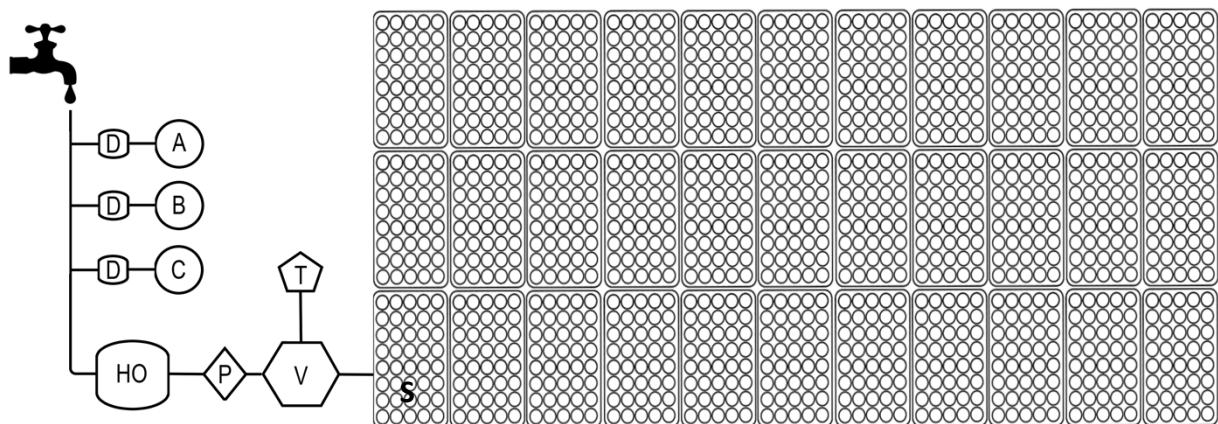


Slika 20. Prorjeđivanje koprive na 3 biljke po lončiću

Istraživana su 2 režima dodavanja HO, a s obzirom da je cilj bio istražiti utjecaj vodnog stresa na morfološka svojstva i sadržaj SM u koprivi, za režime dodavanja HO će se u ovom radu koristiti termin režim navodnjavanja. Za uzgoj koprive korištena su 2 potopna stola (svaki $4\text{ m} \times 1,5\text{ m}$) s 33 kontejnera. Pokus je postavljen po metodi slučajnog bloknog rasporeda u 3 ponavljanja s režimom navodnjavanja kao faktorom (slika 21). Biljke su od sjetve (20. siječnja) do 10. travnja (kada je procijenjeno da su dosegle odgovarajuću veličinu i gustoću sklopa) navodnjavane po potrebi ovisno o temperaturi i relativnoj vlagi zraka (RVZ) u zaštićenom prostoru, a tretmani različitim režimima navodnjavanja (slika 22) započeli su 11. travnja i uključivali su:

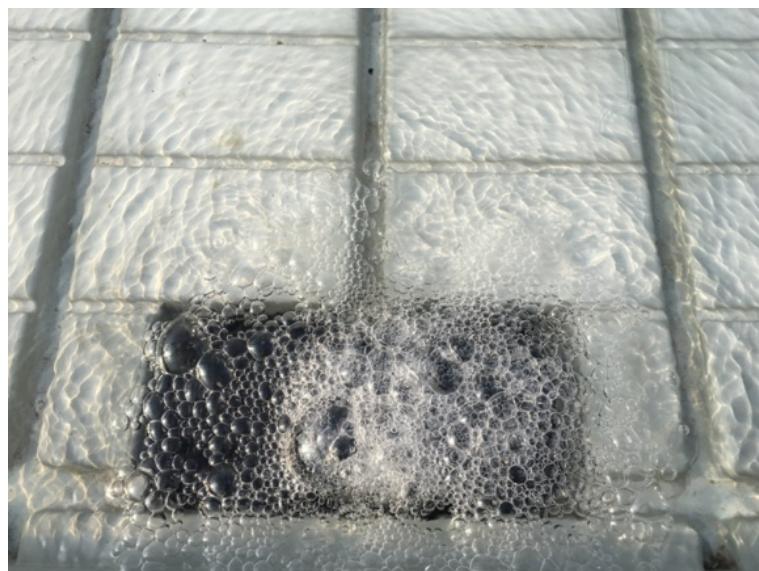
- režim navodnjava u razmaku od 48 h – **RN1** (stol 1);
- režim navodnjavanja u razmaku 72 h – **RN2** (stol 2).

U oba režima biljke su navodnjavane u trajanju od 1 h nakon čega je HO odvođena sa stolova, a prilikom čega je interval slijedećeg navodnjavanja trajao 48, odnosno 72 h. Do 20. travnja provodili su se kraći režimi navodnjavanja (24 i 48 h) koji su potom, zbog nižih temperatura i visoke RVZ u zaštićenom prostoru, povećani s obzirom da nije došlo do izazivanja vodnog stresa (slika 23).



Slika 21. Shema uzgoja koprive tehnikom EF

D – dozator; A,B,C – spremnici s koncentriranim otopinama; HO – spremnik sa standardnom otopinom; P – pumpa; V – ventil; T – vremenski relej; S – potopni stol s 33 kontejnera



Slika 22. Dotjecanje hranive otopine na potopni stol



Slika 23. Biljke koprive u vodnom stresu

Tijekom uzgoja koprive tehnikom EF u proljetno-ljetnom i ljetno-jesenskom roku uzgoja provedeno je ukupno osam košnji nadzemne mase koprive: 10. svibnja, 8. lipnja (139 dana nakon sjetve; VP I; slika 24), 6. srpnja (167 dana nakon sjetve; VP II), 3. kolovoza (195 dana nakon sjetve; VP III), 5. rujna (228 dana nakon sjetve; VP IV), 10. listopada (263 dana nakon sjetve; VP V), 23. studenog 2022. (307 dana nakon sjetve; VP VI) i 28. ožujka 2023. godine. Košnje provedene 10. svibnja 2022. i 28. ožujka 2023. izostavljene su iz ovog doktorskog rada.



Slika 24. Biljke koprive uzgajane tehnikom EF za vrijeme košnje (8. lipnja 2022.)

Prva košnja je eliminirana, jer su se tretmani na početku istraživanja razlikovali, odnosno naknadno su uvedeni duži intervali između dovođenja HO na stolove kao što je prethodno

objašnjeno. Zadnja košnja eliminirana je iz razloga što je kopriva ušla u fazu mirovanja (koja je trajala nekoliko mjeseci) nakon košnje u studenom (VP VI).

3.2. Praćenje čimbenika uzgoja

Tijekom vegetacije u obje godine istraživanja, kontinuirano su praćeni čimbenici uzgoja koprive. Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) i RVZ (%) u zaštićenom prostoru mjereni su jednom dnevno pomoću stolnog termohigrometra (ETI 810-145, Agrologistika d.o.o., Kina), dok je za praćenje DO (mg/L) i temperature ($^{\circ}\text{C}$) te pH i EC (mS/cm) hranive otopine korišten višeparametarski instrument (HI98194, Hanna Instruments, Rumunjska).

Tijekom uzgoja u FH sustavu, provedena je analiza vodovodne vode kako bi se utvrdila količina pojedinih iona u svrhu korekcije receptura za pripremu HO. U tablici 4 prikazane su metode primjenjene u analizi te rezultat kemijske analize vodovodne vode korištene za pripremu HO.

Tablica 4. Rezultati kemijske analize vodovodne vode korištene za pripremu hranivih otopina

Vrsta kemijske analize	Metoda	Jedinica	Vrijednost utvrđena analizom
pH	izravno	/	7,69
EC	H_2O – direktno	mS/cm	0,63
soli	Izračun iz EC	%	0,0405
NO_3^-	spektrofotometrija		8,82
NH_4^+	spektrofotometrija		0,06
P^{3-}	spektrofotometrija		2,97
K^+	plamenofotometrija		2,95
Na^+	plamenofotometrija	mg/L	18,90
Mg^{2+}	volumetrija		10,18
Ca^{2+}	volumetrija		64,96
Cl^-	volumetrija		46,86
SO_4^{2-}	gravimetrija		0,65

Dobivene vrijednosti u skladu su s rezultatima ispitivanja vode za ljudsku potrošnju koju provodi Zagrebački holding, vodoopskrba i odvodnja d.o.o. (VIO, 2024) i količine pojedinih soli uzete su u obzir pri izračunu potrebnih količina soli za pripremu HO za uzgoj koprive prema izabranim recepturama (tablica 3).

3.3. Analiza morfoloških svojstava i prinos

Morfološke analize provodile su se nakon svake košnje (herba koprive ručno je rezana iznad donja dva nodija). Uzimano je 10 reprezentativnih biljaka po repeticiji odnosno, 30 biljaka po tretmanu. Svakoj biljci izmjerena je visina, broj listova većih od 1 cm te dužina i širina prosječno razvijenog lista koristeći digitalno pomicno mjerilo (Alpha Tools, Mannheim, Njemačka) iz čega je izračunat indeks lisne površine (ILP, cm^2). Ukupni prinos koprive uzgajane tehnikom FH određen je vaganjem biljnog materijala koprive po ploči, koji je potom izražen u kg/m^2 . Prinos koprive uzgajane tehnikom EF određen je vaganjem biljnog materijala po stolu koji je zatim preračunat u kg/m^2 .

3.4. Kemijska analiza biljnog materijala

Nakon svake košnje i provedenih morfoloških analiza, reprezentativni uzorci lišća koprive poslani su u laboratorij Zavoda za ishranu bilja na analizu sadržaja suhe tvari (ST) i nitrata te u laboratorij Zavoda za održive tehnologije i obnovljive izvore energije na analizu sadržaja SM te antioksidacijskog kapaciteta.

3.4.1. Određivanje količine nitrata i suhe tvari

Nitrati (NO_3^-) su određeni spektrofotometrijski nakon ekstrakcije vrućom vodom iz svježih uzoraka (AOAC, 2015) i izraženi u $\text{mg } \text{NO}_3^-/\text{kg}$ svježe tvari (sv.t.). Za određivanje udjela **suhe tvari**, svježi uzorci lišća sušeni su pri 105°C do konstantne mase, zatim usitnjeni i homogenizirani. Suha tvar određena je gravimetrijskom metodom prema HRN ISO 11465:2004 i izražena u %.

3.4.2. Određivanje SM i antioksidacijskog kapaciteta

Sadržaj **askorbinske kiseline (AK)** određen je titracijom s 2,6-diklorindofenolom prema standardnoj AOAC metodi (2002). Svaki uzorak lista koprive ($5 \text{ g} \pm 0,01$) homogeniziran je sa 100 mL 2 %-tne oksalne kiseline (v/v). Pripremljena otopina ostavljena je stajati otprilike 30 min, nakon čega je sadržaj filtriran preko Whatmanovog filter papira. Otpipetirano je 10 mL filtrata koji je titriran svježe pripremljenim 2,6-diklorindofenolom do pojave ružičastog obojenja. Konačni sadržaj askorbinske kiseline izražen je u $\text{mg}/100 \text{ g}$ sv.t. i izračunat prema jednadžbi:

$$\text{Askorbinska kiselina} = \frac{V \times F}{D} \times 100$$

V – volumen utrošenog 2,6-diklorindofenola pri titraciji (mL)

F – faktor otopine 2,6-diklorindofenola

D – masa uzorka u filtratu (g)

Udio ukupnih fenola određen je prema metodi koju su prethodno opisali Ough i Amerine (1988). Konačni sadržaj je određen spektrofotometrijski (Shimadzu, 1900i, Kyoto, Japan) pri valnoj duljini od 750 nm koristeći destiliranu vodu kao slijepu probu. Metoda se temelji na reakciji boje koju fenoli razvijaju s Folin–Ciocalteu (FC) reagensom. Za svaki uzorak koprive homogenizirano je 10 g ± 0,01 lista s 40 mL 80 %-tnog etanola (EtOH, v/v) u Erlenmeyerovoj tikvici te je metodom kuhanja uz povratno hladilo (refluks), sadržaj tikvice zagrijavan ukupno 10 min. Dobiveni ekstrakti su potom filtrirani kroz Whatmanov papir u odmjernu tikvicu volumena 100 mL te je postupak ponovljen tako da je ostatak biljnog materijala zajedno s filter papirom ponovno vraćen u Erlenmeyerovu toikvicu, dodano je 50 mL 80 %%-tnog EtOH (v/v), a sadržaj je ponovno zagrijavan 10 min uz povratno hladilo. Dobiveni ekstrakti su ponovno filtrirani te su združeni s ekstraktima iz prvog ciklusa ekstrakcije i dopunjeni do oznake s 80 %%-tним EtOH (v/v) u odmjernoj tikvici od 100 mL. Ekstrakti pripremljeni na ovaj način su korišteni za reakciju s FC reagensom: u odmjernu. U odmjernu tikvicu od 50 mL dodano je kako slijedi: 0,5 mL etanolnih ekstrakata koprive, 30 mL destilirane vode (dH₂O), 2,5 mL svježe pripremljenog FC reagensa (1:2, v/v), 7,5 mL zasićene otopine natrijeva karbonata (Na₂CO₃) i tikvica se zatim dopunila s dH₂O do oznake. Pripremljena reakcija je ostavljena stajati 2 h pri sobnoj temperaturi, uz povremeno mučkanje, a nakon toga je izmjerena apsorbancija otopine pri 750 nm. Isti etanolni ekstrakti pripremljeni za ukupne fenole također su korišteni za analizu **ukupnih neflavonoida**. Određivanje ukupnih neflavonoida (Ough i Amerine, 1988) provedeno je prema sljedećem postupku: 10 mL etanolnog ekstrakta, 5 mL HCl u EtOH (1:4, v/v) i 5 mL formaldehida (p.a.) dodano je u odmjernu tikvicu volumena 25 mL. Pripremljeni uzorci propuhani su dušikom (N₂) i ostavljeni na tamnom mjestu pri sobnoj temperaturi. Nakon 24 h uzorci su filtrirani i provedena je ista reakcija s FC reagensom kao za ukupne fenole. Sadržaj **ukupnih flavonoida** izračunat je kao razlika između količine ukupnih fenola i ukupnih neflavonoida. Galna kiselina korištena je kao vanjski standard, a ukupni fenoli, neflavonoidi i flavonoidi izraženi su kao miligrami ekvivalenta galne kiseline (GAE) na 100 g sv.t.

Ukupni klorofili, klorofil a, klorofil b i ukupni karotenoidi određeni su prema metodi koju su opisali Holm (1954) i Wettstein (1957). Izvagana je količina od 0,2 g ± 0,01 svježeg lista koprive, dodan je ukupni volumen od 15 mL acetona (p.a.) u tri navrata; nakon svakog

dodavanja acetona, uzorci su homogenizirani pomoću laboratorijskog homogenizatora (IKA, UltraTurax T-18, Stauffencity, Njemačka). Homogenizirane otopine su filtrirane i vrijednosti apsorbancije izmjerene su spektrofotometrijski pri valnim duljinama od 662, 644 i 440 nm koristeći aceton (p.a.) kao slijepu probu. Dobivene vrijednosti apsorbancije preračunate su prema Holm–Wettsteinovim jednadžbama:

$$\text{Klorofil } a = 9,784 \times A662 - 0,990 \times A644 \text{ (mg/L)}$$

$$\text{Klorofil } b = 21,426 \times A644 - 4,65 \times A662 \text{ (mg/L)}$$

$$\text{Ukupni klorofil} = 5,134 \times A662 + 20,436 \times A644 \text{ (mg/L)}$$

$$\text{Ukupni karotenoidi} = 4,695 \times A440 - 0,268 \times \text{ukupni klorofil} \text{ (mg/L)}$$

Konačni rezultati sadržaja fotosintetskih pigmenata u listu koprive izraženi su u mg/g sv.t.

Antioksidacijski kapacitet određen je dvjema metodama: **ABTS** prema Miller i sur. (1993) i FRAP prema Benzie i Strain (1996). ABTS metoda korištena je s obzirom da je brza i jednostavna za izvođenje te je jedna od najčešće korištenih za procjenu antioksidativnog kapaciteta, a uključuje kation radikal 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolin-6-sulfonska kiselina) (ABTS⁺ radikal-kationa). U prisutnosti antioksidansa, kation radikal ABTS⁺ reducira se u ABTS, a reakcija se očituje diskoloracijom plavo-zelene boje otopine. Za pripremu stabilne ABTS⁺ otopine, 88 µL 140 mM otopine K₂S₂O₈ pomiješano je s 5 mL ABTS otopine i ostavljeno u mraku 16 h pri sobnoj temperaturi. Za analizu je pripremljena 1 %-tna otopina ABTS u 96 %-tnom etanolu te je izmjerena apsorbancija pri 734 nm. Izravno u kivet, 160 µL ekstrakta pomiješano je s 2 mL 1 % ABTS⁺ otopine i nakon 5 min apsorbancija je izmjerena spektrofotometrijski pri 734 nm. Kao slijepa proba korišten je 96 % etanol. Trolox (6-hidroksi-2,5,7,8-tetrametilkroman-2-karboksilna kiselina, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, SAD) korišten je kao vanjski standard. Konačni rezultati izračunati su na temelju kalibracijske krivulje i izraženi kao µmol TE/L. **FRAP** metoda mjeri antioksidativni kapacitet u uzorcima putem redukcije Fe(III) iona u Fe(II) ion pri pH 3,6, smanjujući bezbojni Fe(III)-tripiridil-triazin (Fe(III)-TPTZ) u intenzivno plavo obojeni kompleks (Fe(II)-TPTZ). Svježi FRAP reagens pripremljen je miješanjem 0,3 M acetatnog pufera, otopine 10 mM TPTZ reagensa u 40 mM HCl i 20 mM FeCl₃·6H₂O u omjeru 10:1:1. Za reakciju, izmiješani su destilirana voda (960 µL), ekstrakti uzorka (320 µL) i FRAP reagens (8320 µL). Iste su reakcije pripremljene i za slijepu probu, osim što je umjesto ekstrakta uzorka korišten 80 % EtOH. Pripremljene smjese inkubirane su 5 min pri 37 °C u vodenoj kupelji, dok su apsorbancije mjerene spektrofotometrijski pri 593 nm. Trolox je korišten kao vanjski standard, a standardna otopina (2 mM) pripremljena je u 80 % etanolu. Rezultati su izraženi kao µmol TE/g uzorka.

3.5. Statistička obrada podataka

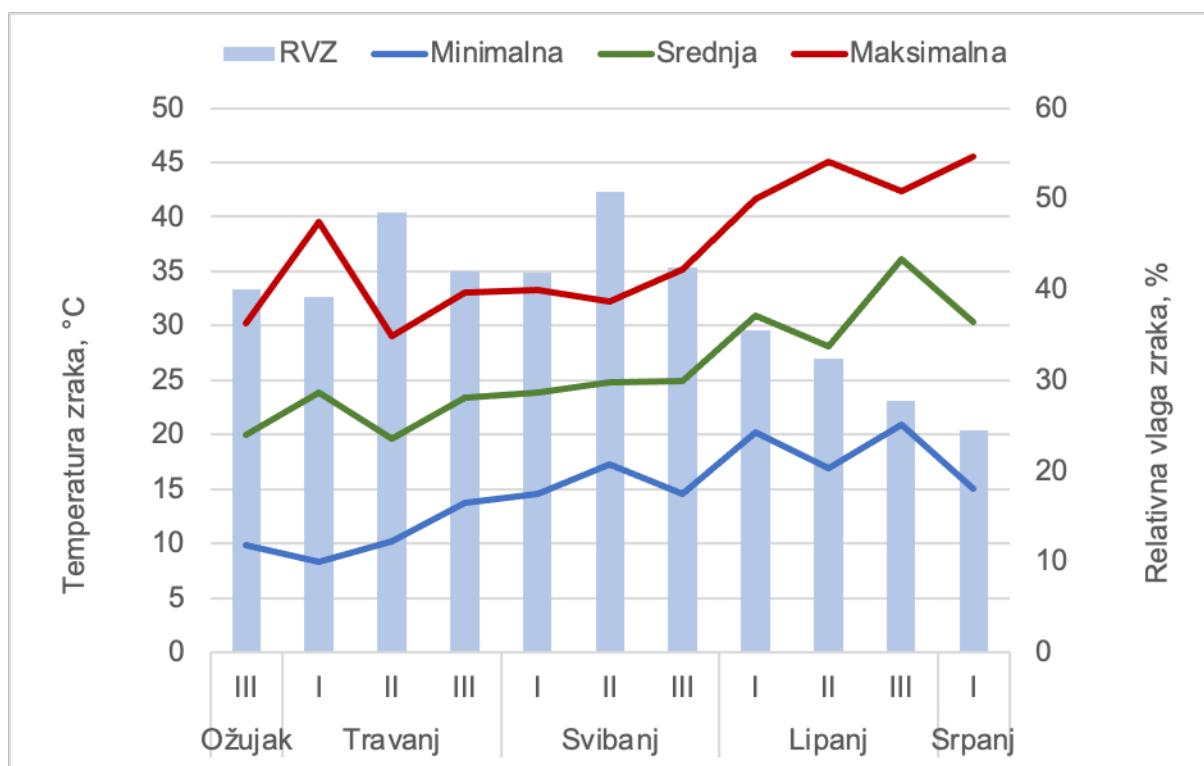
Morfološka svojstva i prinos, količina ST, nitrati, sadržaj SM i antioksidacijski kapacitet listova koprive praćeni su zavisno o sastavu HO (4 različite hranive otopine u sustavu FH) i režimu vodnog stresa (dva režima navodnjavanja u sustavu EF). Dobiveni rezultati statistički su obrađeni pomoću programa SAS Software v. 14.3. (SAD). Sve laboratorijske analize izvedene su u tri ponavljanja. Rezultati su podvrgnuti jednosmjernoj analizi varijance (ANOVA) i izraženi kao srednje vrijednosti. Srednje vrijednosti uspoređivane su t-testom (LSD), a smatrane su značajno različitim pri $p \leq 0,05$. Uz rezultate, u tablicama su navedena različita slova koja označavaju značajne statističke razlike pri $p \leq 0,05$. Također, navedena su prosječna odstupanja rezultata od srednje vrijednosti za svaki ispitivani parametar (standardna devijacija).

4. ABIOTSKI ČIMBENICI TIJEKOM ISTRAŽIVANJA

4.1. Abiotski čimbenici zaštićenog prostora

4.1.1. Uzgoj tehnikom FH

U grafikonu 1 prikazane su srednje dekadne vrijednosti temperature (minimalne, srednje i maksimalne) te RVZ u zaštićenom prostoru tijekom proljetno-ljetnog roka uzgoja koprive tehnikom FH u 2021. godini.



Grafikon 1. Abiotski čimbenici (temperatura i RVZ) u zaštićenom prostoru tijekom uzgoja koprive tehnikom FH

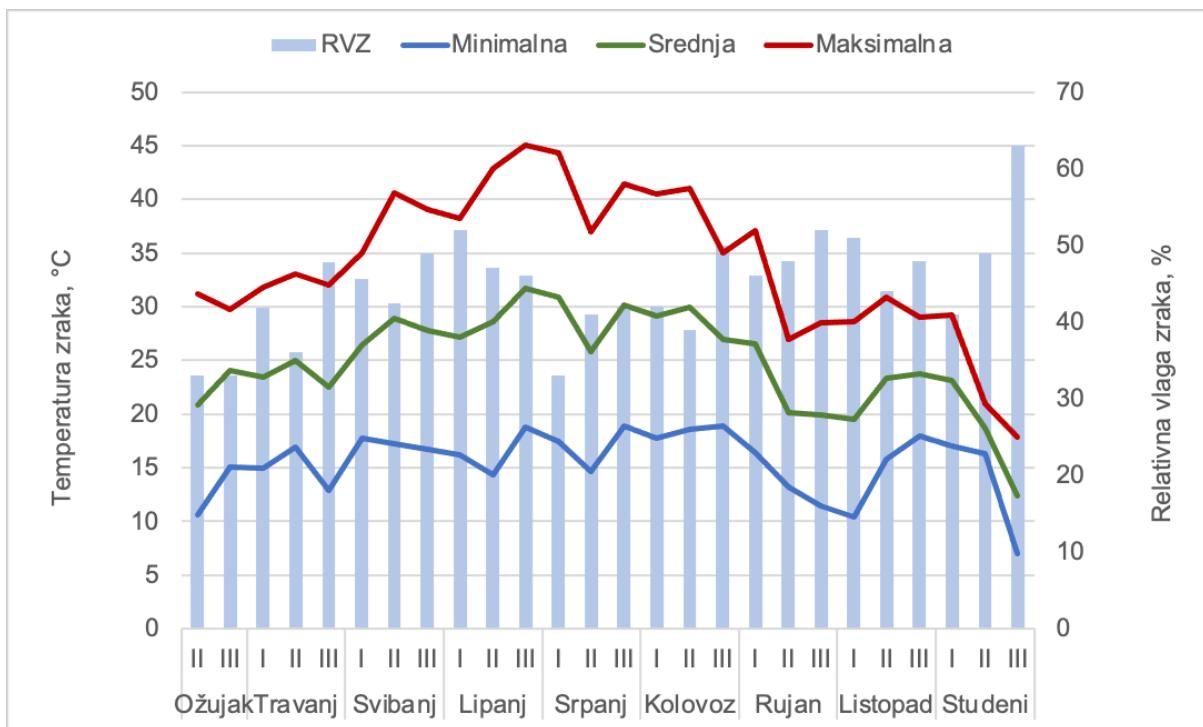
Prosječna minimalna temperatura zraka u zaštićenom prostoru bila je u rasponu od 8,3 °C (prva dekada travnja) do 20,9 °C (treća dekada lipnja). Prosječna maksimalna temperatura varirala je između 29,1 °C (druga dekada travnja) i ekstremnih 45,5 °C (prva dekada srpnja). Prosječna vrijednost srednje temperature zraka bila je od 19,6 °C (druga dekada travnja) do 36,1 °C (treća dekada lipnja), a prosječna vrijednost RVZ varirala od 25 do 51 %. Pri uzgoju zelenog lisnatog povrća u zaštićenim prostorima, ciljana vrijednost RVZ je 60 do 70 % (Chia i Lim, 2022), no u literaturi nema konkretnih podataka za uzgoj koprive. Optimalne temperature

za rast i razvoj herbe koprive su 20 do 25 °C (Rutto i sur., 2012; Radman i sur., 2015) te je iz grafikona vidljivo kako su temperature u vegetacijskom periodu (VP) I bile unutar preporučenog intervala. Period od VP I do VP II obilježio je intenzivan porast biljaka koprive te je razmak između košnji iznosio samo 19 dana, što može biti rezultat optimalnih srednjih temperatura u zaštićenom prostoru u drugoj i trećoj dekadi svibnja. Srednje temperature u zaštićenom prostoru u razdoblju između VP II i III prelazile su preporučene vrijednosti, a u trećoj dekadi lipnja srednja temperatura je bila viša za čak 11 °C od gornje granice optimalnih temperatura za razvoj herbe. Navedeno je svakako moglo utjecati kako na morfološke karakteristike (niže biljke i brži prelazak u generativnu fazu) tako i na akumulaciju SM u listu koprive uslijed temperaturnog stresa. Prema Radman i sur. (2014) temperature iznad 30 °C mogu potaknuti prijevremenu cvatnju koprive te rezultirati nižim prinosom herbe. Visoke temperature u kombinaciji s tehnikom uzgoja vjerojatno su jedan od razloga zašto su tijekom uzgoja tehnikom FH ostvarene samo 3 košnje. Nakon VP III došlo je do odumiranja velikog broja biljaka u svim bazenima bez obzira na tretmane, istraživane HO, no izraženije loše stanje bilo je vidljivo u bazenima s HO3 i HO4 odnosno, u bazenima s HO viših EC vrijednosti.

4.1.2. Uzgoj tehnikom EF

U grafikonu 2 prikazane su srednje dekadne vrijednosti temperature i RVZ u zaštićenom prostoru tijekom proljetno-ljetnog i ljetno-jesenskog roka uzgoja koprive u 2022. godini EF tehnikom.

Prosječna minimalna temperatura zraka u zaštićenom prostoru varirala je od 7,0 °C (treća dekada sudenog) do 18,9 °C (treća dekade srpnja i kolovoza). Prosječna maksimalna temperatura varirala je između 17,9 °C (treća dekada studenog) i 45,0 °C (treća dekada lipnja), a izrazito visoke maksimalne temperature nastavile su se i u prvoj dekadi srpnja (44,3 °C), nakon čega dolazi do očekivanog postupnog opadanja vrijednosti u skladu s razdobljem godine. Prosječna vrijednost srednje temperature zraka kretala se u rasponu od 12,4 °C (treća dekada studenog) do 31,7 °C (treća dekada lipnja) te je prelazila gornje optimalne vrijednosti za rast koprive za 1,5 do 7 °C u razdoblju između VP II i III. Prosječna vrijednost RVZ unutar zaštićenog prostora u periodu uzgoja varirala je od 33 do 63 % što su nešto povoljnije vrijednosti od onih tijekom prve godine istraživanja i bliže preporučenim vrijednostima za uzgoj lisnatog povrća.



Grafikon 2. Abiotski čimbenici (temperatura i RVZ) u zaštićenom prostoru tijekom uzgoja koprive tehnikom EF

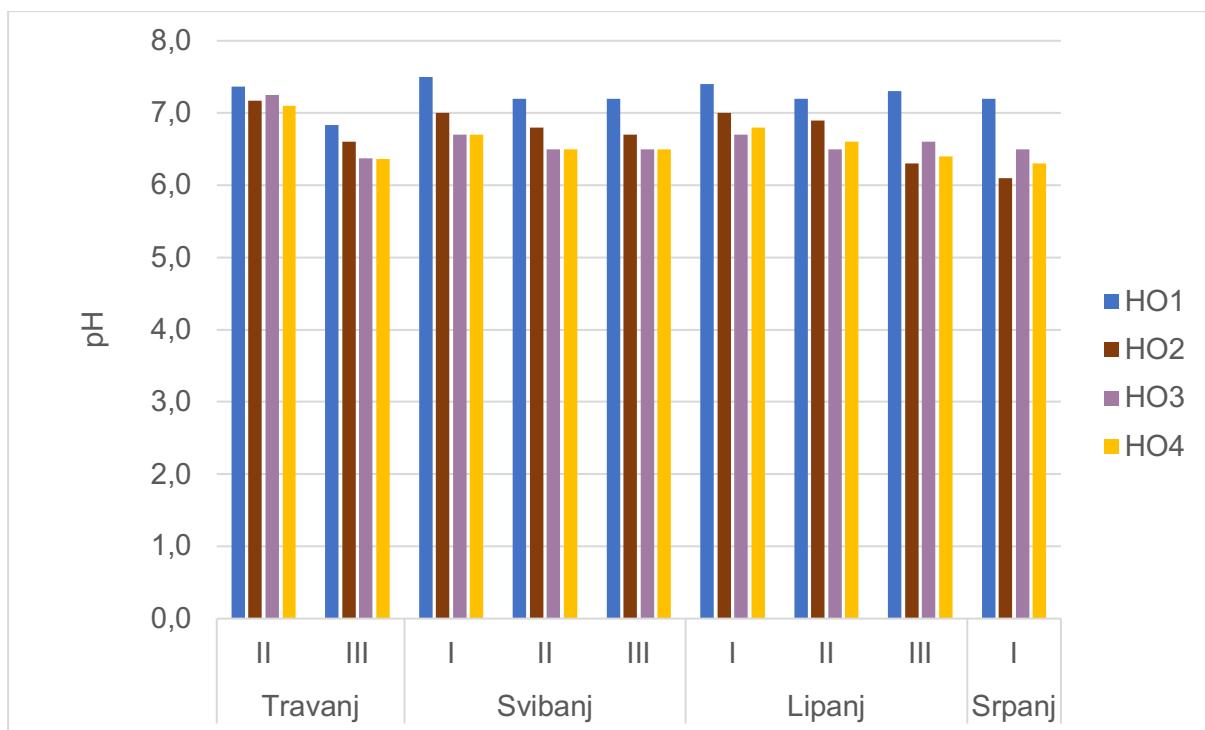
Košnje I do V ostvarene su u 1. dekadi lipnja, srpnja, kolovoza rujna i listopada dok je košnja VI ostvarena u trećoj dekadi studenog, a dinamika košnji je pratila promjene temperature unutar zaštićenog prostora. Tako su više srednje vrijednosti temperature rezultirale kraćim razmacima (28 i 29 dana) između košnji, dok se s padom vrijednosti (19,9 °C u trećoj dekadi rujna, 19,5 °C u prvoj dekadi listopada, 18,7 °C u drugoj dekadi i 12,4 °C u trećoj dekadi studenog) produljio i period između košnje IV i V (35 dana) te košnji V i VI (44 dana). Kombinacija pada temperature i sve kraćih dana vjerojatno je dovelo do ulaska biljaka koprive u fazu mirovanja, što je evidentno i prema činjenici da je posljednja košnja (podaci nisu prikazani) ostvarena tek 125 dana nakon košnje VI. Srednja temperatura razdoblja vegetacije (podaci nisu prikazani) iznosila je 28,5 °C u prvoj godini te 24,9 °C u drugoj godini istraživanja te je pri uzgoju tehnikom EF broj dana između košnji bio veći u odnosu na uzgoj tehnikom FH, ali je ostvaren i veći broj košnji.

4.2. Abiotski čimbenici HO

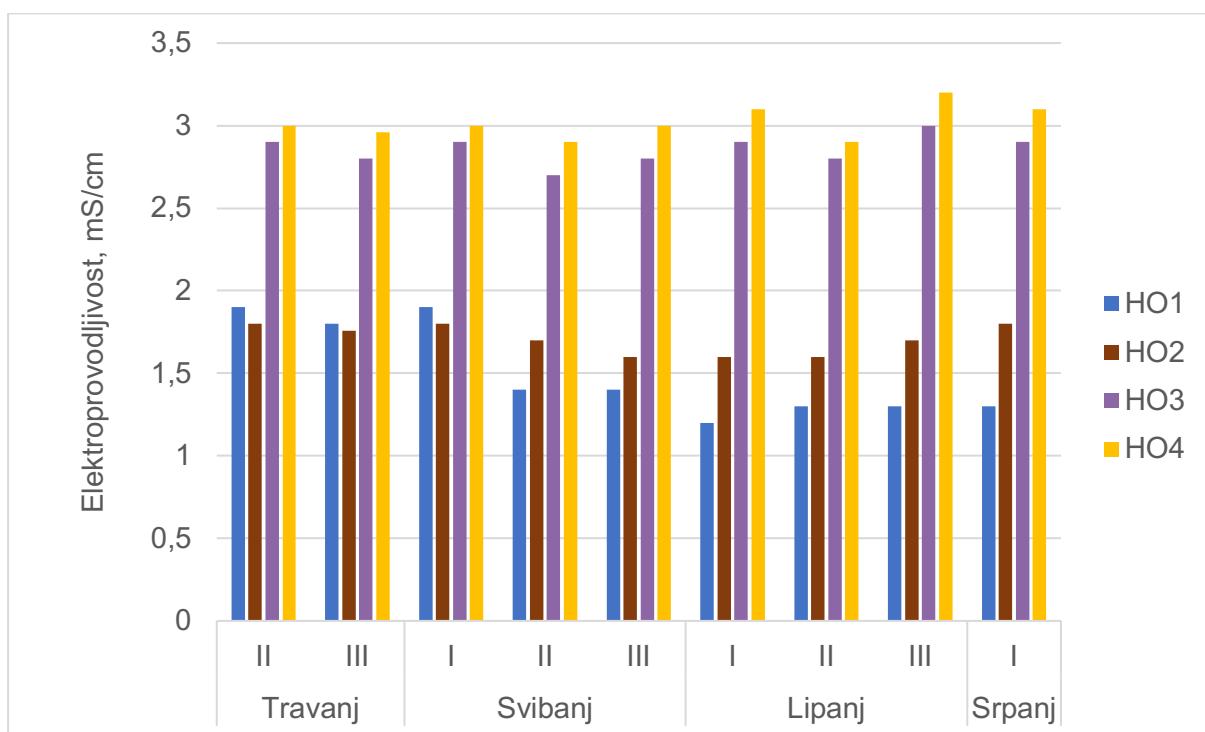
4.2.1. Uzgoj tehnikom FH

Grafikoni 3, 4, 5 i 6 prikazuju srednje dekadne vrijednosti abiotskih čimbenika: pH, EC, DO i temperature po dekadama u testiranim HO tijekom proljetno-ljetnog roka uzgoja koprive tehnikom FH u 2021. godini.

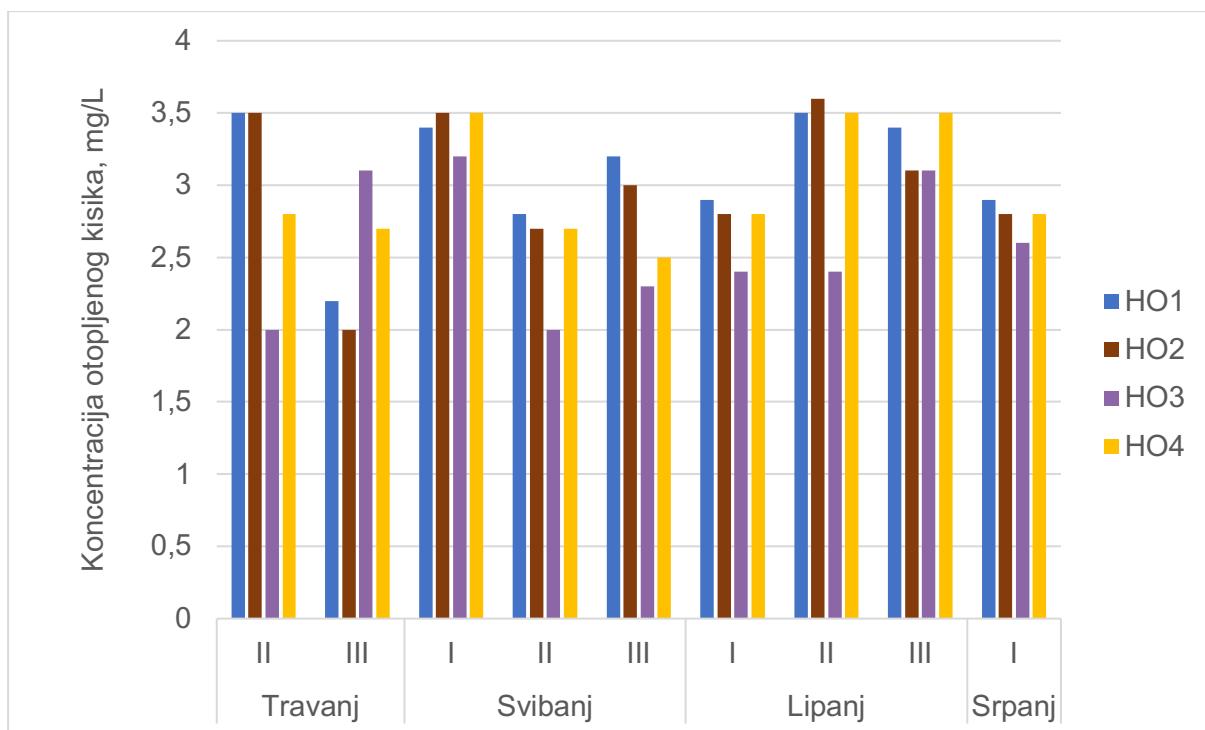
U HO1, pH vrijednost HO prosječno je iznosila 7,2; dok su EC i DO iznosili 1,5 mS/cm i 3,1 mg/L, a temperatura HO varirala je između 15,4 °C (druga dekada travnja) i 31,6 °C (treća dekada lipnja). U HO2, pH vrijednost HO prosječno je iznosila 6,7 dok su EC i DO iznosili 1,7 mS/cm i 3,0 mg/L. Minimalna temperatura HO2 iznosila je 15,2 °C dok je maksimalna vrijednost bila 31,4 °C. U HO3, pH vrijednost prosječno je iznosila 6,6, a EC te DO bili su 2,9 mS/cm i 2,6 mg/L. U HO4, pH vrijednost hranive otopine prosječno je iznosila 6,6, a EC i DO 3,0 mS/cm i 3,0 mg/L. U sve četiri istraživane HO, pH vrijednosti tijekom uzgoja bile su više od preporučenih vrijednosti za uzgoj zelenog lisnatog povrća (5,8 do 6,2) kako navode Toth i sur. (2012), ali u skladu s rezultatima hidroponskog uzgoja koprive prema Radman i sur. (2014). EC vrijednosti bile su u rangu preporučenih za svaku otopinu iz tablice 3. Koncentracija kisika u HO tijekom uzgoja također je bila zadovoljavajuća, premda je vidljiv pad koncentracije u razdobljima kada je temperatura HO bila viša. Prema Nguyen i sur. (2016) vrijednosti DO iznad 1 mg/L smatraju se prihvativima, dok Benko i sur. (2023) navode 4 mg/L kao minimalnu vrijednost pri hidroponskom uzgoju povrća. Porast temperatura HO u skladu je s dinamikom rasta temperatura zraka unutar zaštićenog prostora, što je vidljivo iz grafikona 1 i 6. Temperature HO više od 25 °C zabilježene su u sve četiri HO u prvoj dekadi lipnja te su postupno rasle sve do kraja razdoblja vegetacije. Temperatura HO u kojoj raste korijen može direktno utjecati na njegov rast, usvajanje hraniva kao i na kvalitetu i prinos herbe (Sakamoto i Suzuki, 2015). Temperatura otopine u sustavu FH svakako ovisi i o materijalu korištenom pri konstrukciji bazena za hidroponski uzgoj te će se metalni okvir (kao što je slučaj bazena korištenih u ovom istraživanju) više zagrijavati od materijala poput drveta.



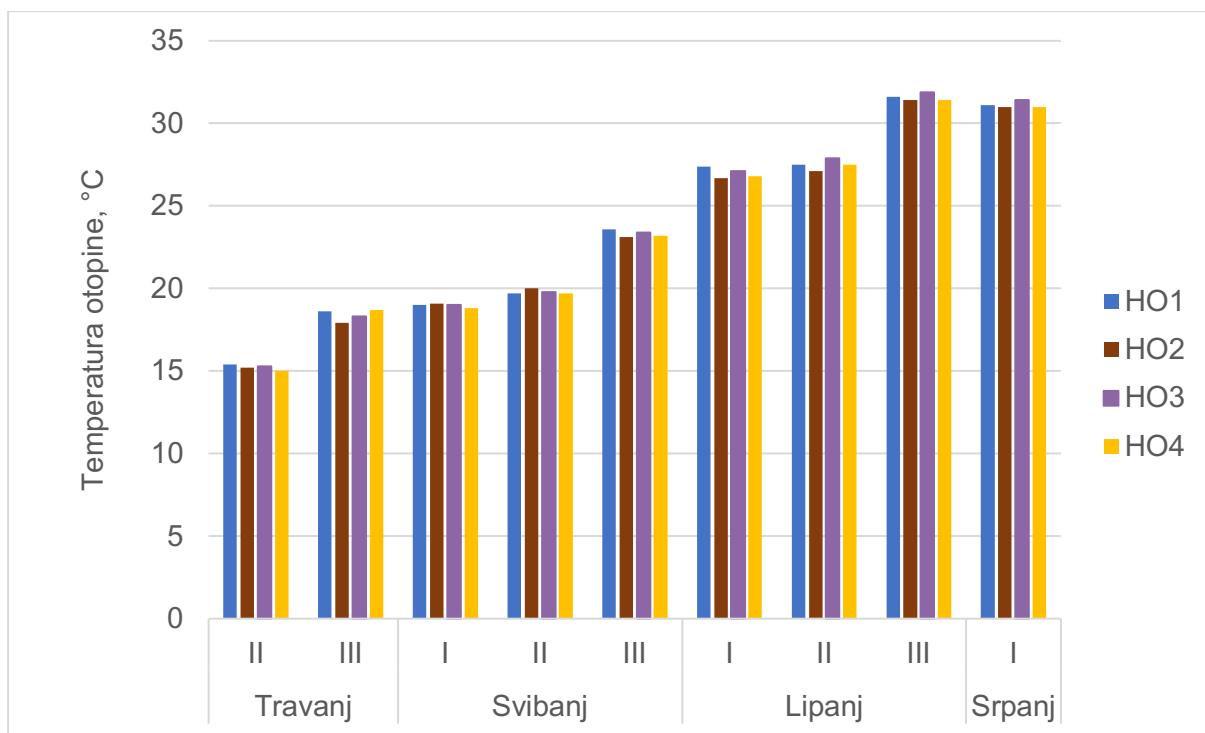
Grafikon 3. pH vrijednosti HO tijekom uzgoja koprive tehnikom FH



Grafikon 4. EC vrijednosti HO tijekom uzgoja koprive tehnikom FH



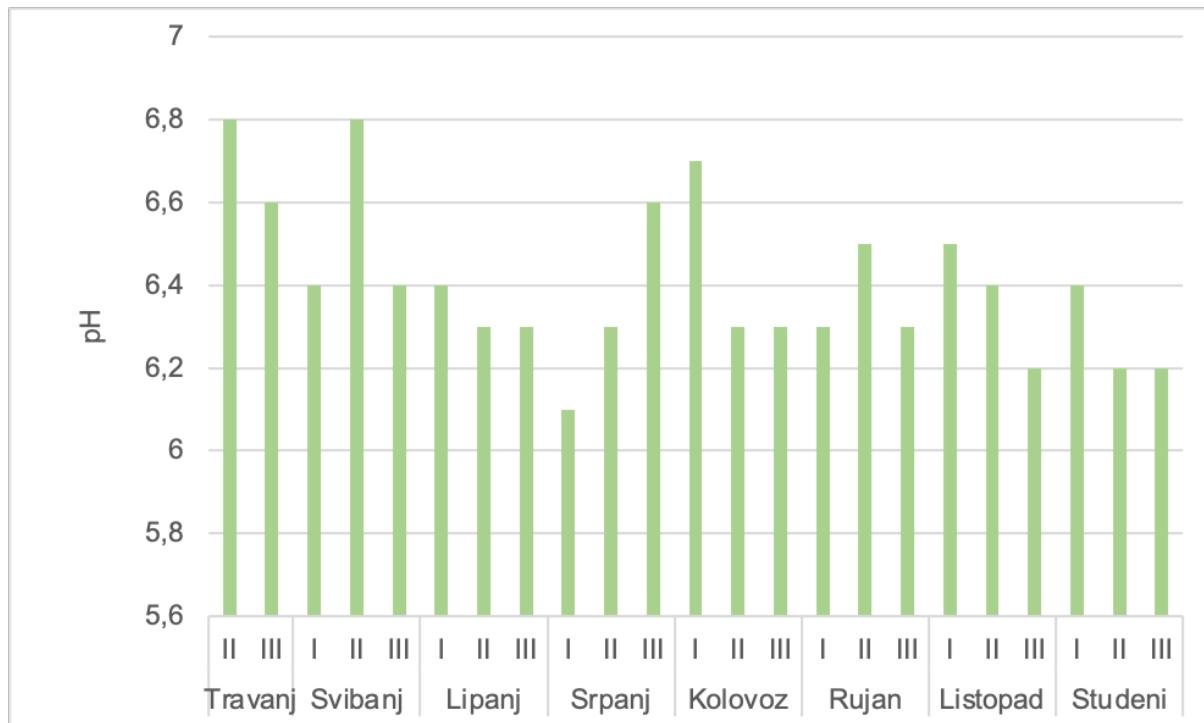
Grafikon 5. Koncentracija otopljenog kisika u HO tijekom uzgoja koprive tehnikom FH



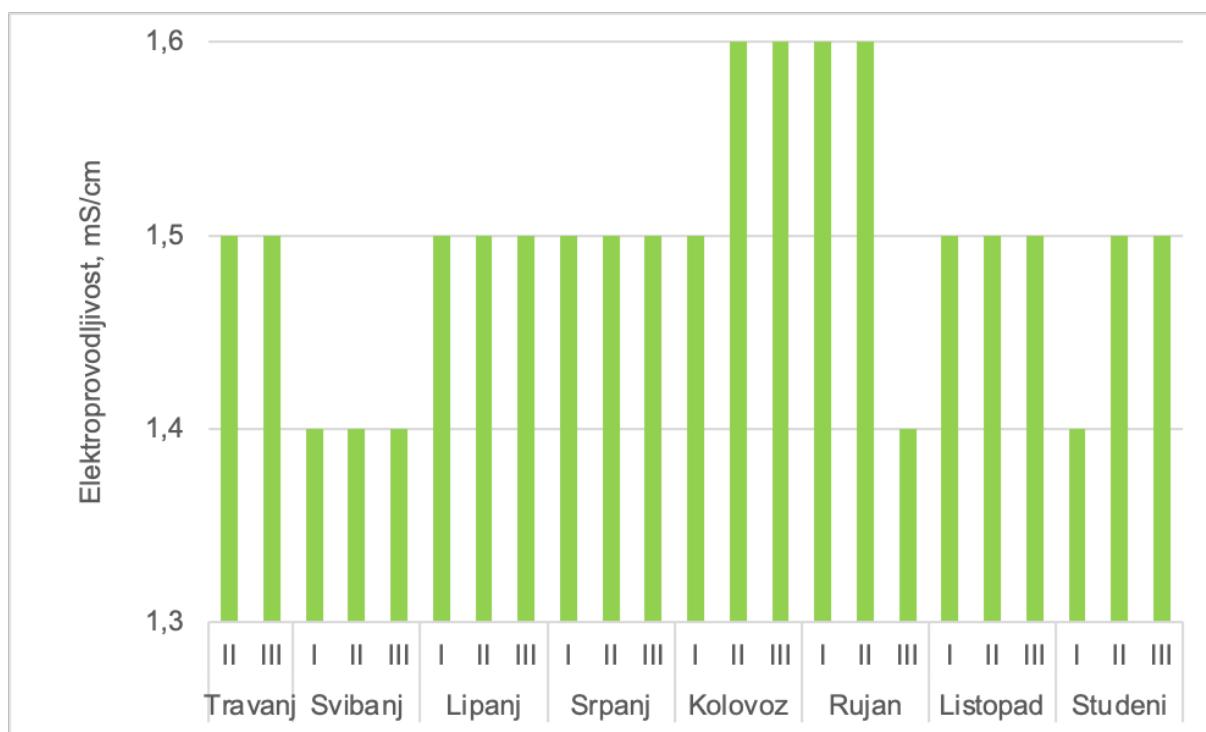
Grafikon 6. Temperaturu HO tijekom uzgoja koprive tehnikom FH

4.2.2. Uzgoj tehnikom EF

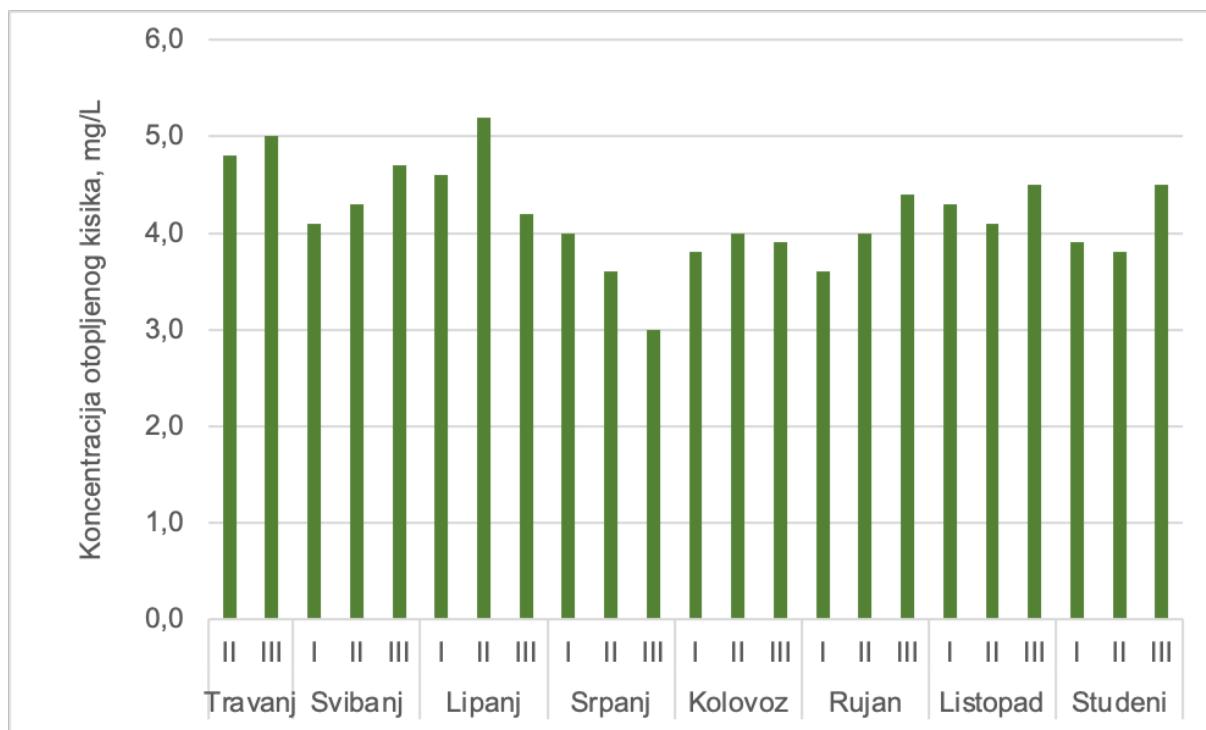
Grafikoni 7, 8, 9 i 10 prikazuju srednje dekadne vrijednosti abiotских чимбеника: pH, EC, DO i temperature po dekadama u HO tijekom proljetno-ljetnog i ljetno-jesenskog roka uzgoja koprive tehnikom EF u 2022. godini. pH vrijednost otopine u spremniku sa standardnom otopinom za potapanje stolova pri uzgoju EF tehnikom prosječno je iznosila 6,4; dok su EC i DO iznosili 1,5 mS/cm i 4,2 mg/L. Srednje dekadne vrijednosti za pH otopine su nešto više od preporučenih vrijednosti za uzgoj zelenog lisnatog povrća, no tijekom većine vegetacijskog razdoblja uzgoja vrijednost je bila blizu preporučenih 6,2 te su općenito pH vrijednosti bile nešto niže od onih tijekom uzgoja tehnikom FH. Vrijednosti električne vodljivosti kao i količina otopljenog kisika u otopini bile su u granicama preporučenih vrijednosti za korištenu HO (1,5 mS/cm i više od 4 mg/L) tijekom cijelog uzgoja. Temperatura HO tijekom uzgoja varirala je između 14,3 i 32,2 °C, no u prosjeku dok je prosječna temperatura iznosila 22,9 °C (podatak nije prikazan) te je uz iznimke (druga i treća dekada lipnja te prva dekada srpnja i rujna) bila u rangu optimalnih vrijednosti. Pri uzgoju tehnikom EF biljke nisu u konstantnom doticaju s HO te se HO ne grijе stajanjem u bazenima pri višim temperaturama zraka međutim ovaj hidroponski sustav često podrazumijeva pripremu HO u spremniku gdje ona stoji do puštanja na potopne stolove. Iz tog razloga i pri ovoj tehnici uzgoja koprive može doći do temperatura HO koje su više od optimalnih, a problem se može riješiti programiranjem pripreme HO neposredno prije tretiranja biljaka ili pripremom HO u izoliranom bazenu.



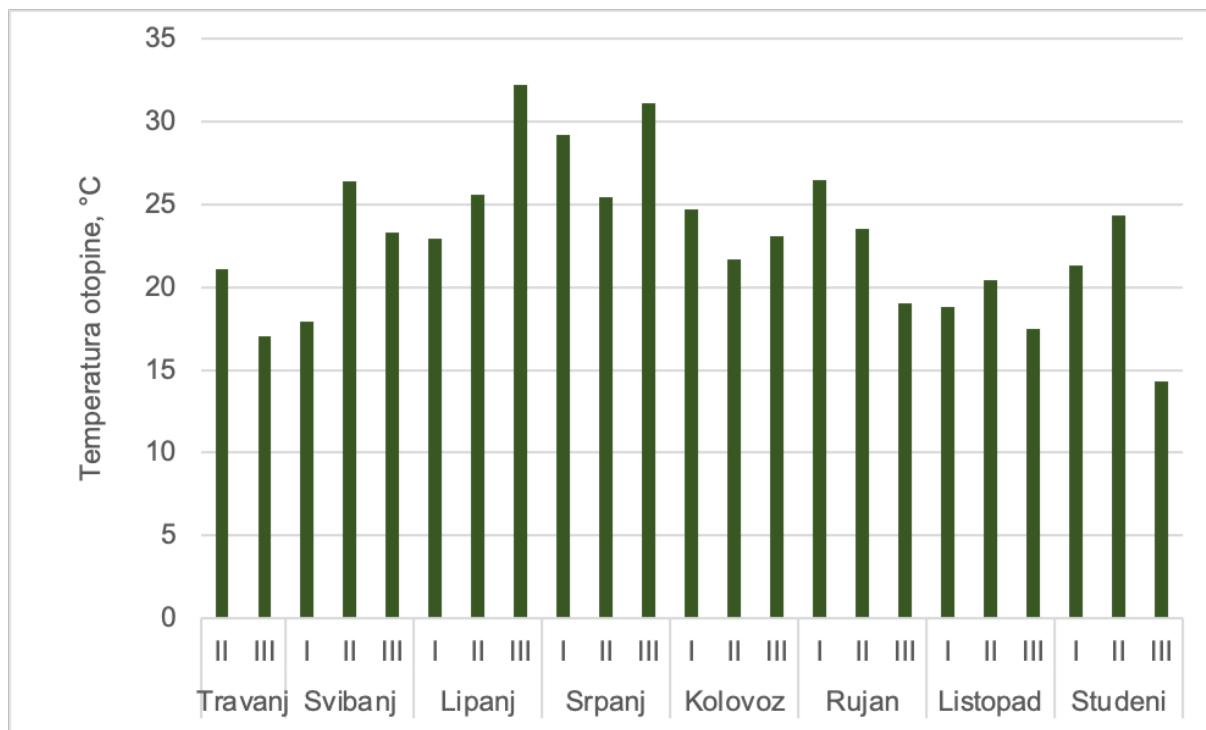
Grafikon 7. pH vrijednosti HO tijekom uzgoja koprive tehnikom EF



Grafikon 8. EC vrijednosti HO tijekom uzgoja koprive tehnikom EF



Grafikon 9. Koncentracija otopljenog kisika HO tijekom uzgoja koprive tehnikom EF



Grafikon 10. Temperature HO tijekom uzgoja koprive tehnikom EF

5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

5.1. Uzgoj koprive tehnikom FH

Utjecaj sastava HO, tijekom uzgoja koprive tehnikom FH na morfološka svojstva, prinos, količinu ST i nitrata, sadržaj SM i antioksidacijski kapacitet listova koprive prikazan je u tablici 5.

Vidljiv je statistički opravdan utjecaj HO na visinu biljaka koprive u VP I i VP II, dok u VP III nisu uočene značajne razlike. Različit sastav HO imao je značajan utjecaj na broj listova koprive u VP II i VP III, no taj je utjecaj izostao u VP I. Opravdan utjecaj HO na svojstvo ILP utvrđen je samo u VP II, dok u VP I i VP III razlike nisu bile signifikantne. Prinos koprive se, s obzirom na istraživane sastave HO, značajno razlikovao u VP I i VP II, no u VP III nije utvrđen opravdan utjecaj HO na ovo svojstvo.

Nadalje, utvrđen je statistički opravdani utjecaj različitog sastava HO na ST, količinu nitrata, AK, udio ukupnih fenola, flavonoida i neflavonoida te antioksidacijski kapacitet (ABTS i FRAP) listova koprive u svim promatranim VP. Istraživane HO imale su statistički opravdan utjecaj na sadržaj klorofila *a* i *b* te udio ukupnih klorofila u listu koprive samo u VP III, a utjecaj HO na sadržaj ukupnih karotenoida u listu koprive bio je značajan u VP II i VP III.

Tablica 5. ANOVA utjecaja sastava HO na svojstva koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

Svojstvo	VP I	VP II	VP III
Visina biljke	*	*	ns
Broj listova	ns	*	*
ILP	ns	**	ns
Prinos	*	*	ns
ST	***	***	**
NO ₃ ⁻	***	**	***
AK	***	*	***
Ukupni fenoli	***	***	***
Neflavonoidi	***	***	***
Flavonoidi	***	***	***
Klorofil a	ns	ns	*
Klorofil b	ns	ns	*
Ukupni klorofil	ns	ns	*
Ukupni karotenoidi	ns	*	*
Ant_kap (ABTS)	*	**	**
Ant_kap (FRAP)	***	***	***

VP – vegetacijski period; ILP – indeks lisne površine; ST – suha tvar; NO₃⁻ - nitrati; AK – askorbinska kiselina; Ant_kap – antioksidacijski kapacitet. Razine statističke značajnosti: * p≤0,05, ** p≤0,01, *** p≤0,001, ns – nije signifikantno.

5.1.1. Morfološka svojstva i prinos koprive

Utjecaj HO na **morfološka svojstva i prinos** koprive tijekom uzgoja tehnikom FH prikazan je u tablici 6.

U VP I statistički opravdano najviše biljke (22,5 cm) izmjerene su pri uzgoju u HO4 (otopina najviše EC vrijednosti), a statistički opravdano najniže biljke (17,8 i 17,6 cm) izmjerene su u HO1 i HO2 (otopine nižih EC vrijednosti). Broj listova i ILP biljaka koprive nisu se statistički razlikovali ovisno o sastavu HO u ovom vegetacijskom periodu. Biljke su, neovisno o HO, prosječno imale 12 listova i ILP od 38,9 cm². Značajno najveći prinos (1,2 kg/m²) ostvaren je pri uzgoju u HO4, a najmanji je prinos utvrđen pri uzgoju biljaka u HO2 (0,7 kg/m²).

U VP II statistički opravdano najveće vrijednosti za analizirana morfološka svojstva (visina biljke = 42,8 cm; broj listova = 11; ILP = 59,9 cm²) utvrđene su pri uzgoju koprive u HO2. Najniže vrijednosti za promatrana morfološka svojstva (visina biljke = 32,3 cm; broj listova = 8; ILP = 34,2 cm²) ostvarene su uzgojem u HO4. Najviši prinos (2,5 kg/m²) u ovom vegetacijskom periodu zabilježen je pri uzgoju koprive u HO1, a opravdano najniži prinos u HO4 (1,8 kg/m²)

U VP III značajno najveći broj listova (12) imale su biljke uzgajane u otopinama niže EC vrijednosti, HO1 i HO2, a statistički opravdano najmanji broj listova (9) utvrđen je kod

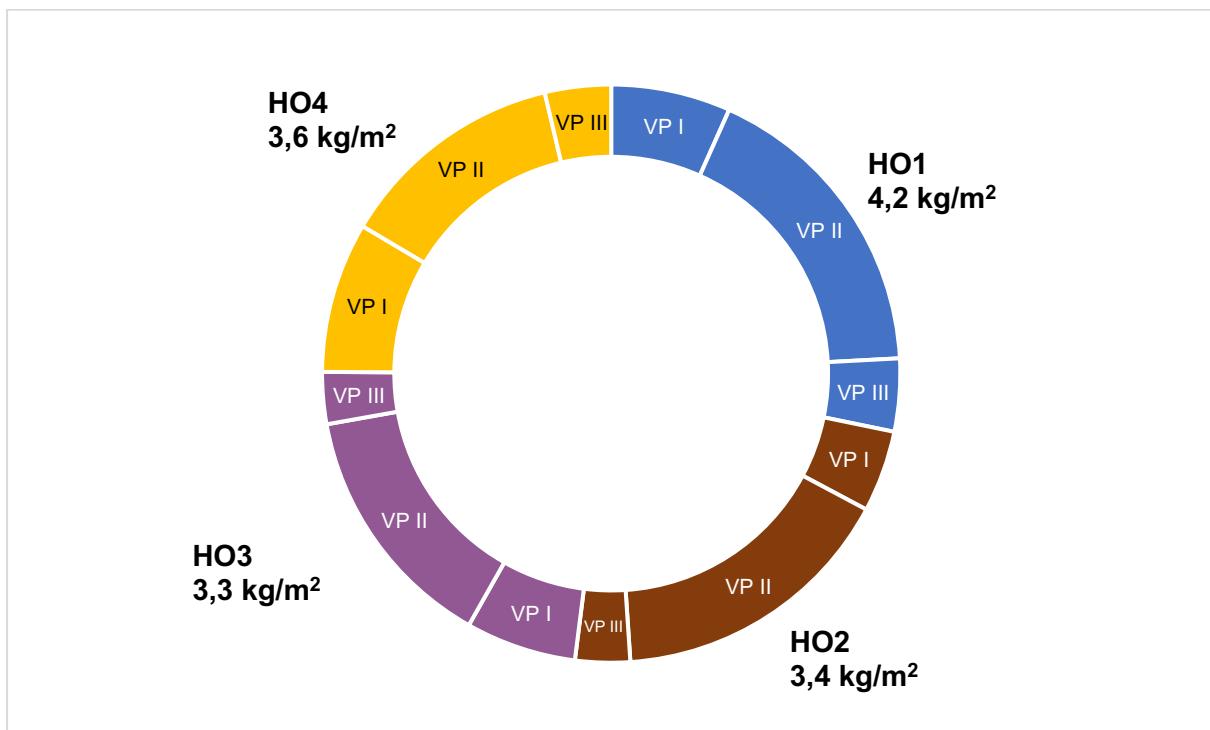
biljaka uzgajanih u HO3. Za visinu biljaka, ILP i prinos nije utvrđena signifikantna razlika ovisno o sastavu HO, a prosječne vrijednosti bile su 11,1 cm (visina biljke), 11,5 cm² (ILP) i 0,5 kg/m² (prinos).

Tablica 6. Utjecaj HO na morfološka svojstva i prinos koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

Otopina	Visina (cm)	Broj listova	ILP (cm ²)	Prinos (kg/m ²)
vegetacijski period I				
HO1	17,8 ^b ± 1,90	13 ^{ns} ± 2,12	38,0 ^{ns} ± 6,03	1,0 ^{ab} ± 0,34
HO2	17,6 ^b ± 0,11	13 ± 1,51	37,3 ± 3,69	0,7 ^b ± 0,14
HO3	18,9 ^{ab} ± 1,96	10 ± 10,01	37,5 ± 6,13	0,9 ^{ab} ± 0,14
HO4	22,5 ^a ± 3,32	12 ± 4,12	43,0 ± 6,42	1,2 ^a ± 0,29
Prosjek	19,2	12	38,9	0,9
vegetacijski period II				
HO1	40,1 ^{ab} ± 4,48	11 ^a ± 1,71	50,3 ^{ab} ± 8,32	2,5 ^a ± 0,36
HO2	42,8 ^a ± 4,40	11 ^a ± 1,40	60,0 ^a ± 9,06	2,3 ^{ab} ± 0,27
HO3	35,0 ^{bc} ± 3,55	11 ^a ± 1,72	37,6 ^{bc} ± 4,74	2,0 ^{ab} ± 0,30
HO4	32,3 ^c ± 2,35	8 ^b ± 0,12	34,2 ^c ± 5,41	1,8 ^b ± 0,32
Prosjek	37,3	10	45,5	2,2
vegetacijski period III				
HO1	13,1 ^{ns} ± 1,9	12 ^a ± 1,11	12,5 ^{ns} ± 1,28	0,6 ^{ns} ± 0,17
HO2	11,4 ± 4,12	12 ^a ± 1,70	9,8 ± 1,73	0,4 ± 0,27
HO3	9,1 ± 1,15	9 ^b ± 1,00	12,2 ± 2,05	0,4 ± 0,01
HO4	11,0 ± 1,78	11 ^{ab} ± 1,30	11,6 ± 2,52	0,5 ± 0,05
Prosjek	11,1	11	11,5	0,5

HO – hraniva otopina; ILP – indeks lisne površine. Različita slova pridodata prosječnim vrijednostima u istom vegetacijskom periodu označavaju da se one značajno razlikuju prema LSD testu, p≤0,05; ns – nije signifikantno.

Grafikon 11 prikazuje kumulativni prinos koprive ostvaren u sva tri vegetacijska perioda tijekom uzgoja FH tehnikom. Najviši kumulativni prinos sva tri vegetacijska perioda tijekom uzgoja koprive tehnikom FH iznosio je 4,2 kg/m² i ostvaren je pri uzgoju u HO1, otopini najniže EC vrijednosti. Niži kumulativni prinosi (za 14, 19 i 21 %) ostvareni su pri uzgoju koprive u HO4, HO2 i HO3.



Grafikon 11. Kumulativni prinos koprive užgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda
VP – vegetacijski period; HO – hraniva otopina.

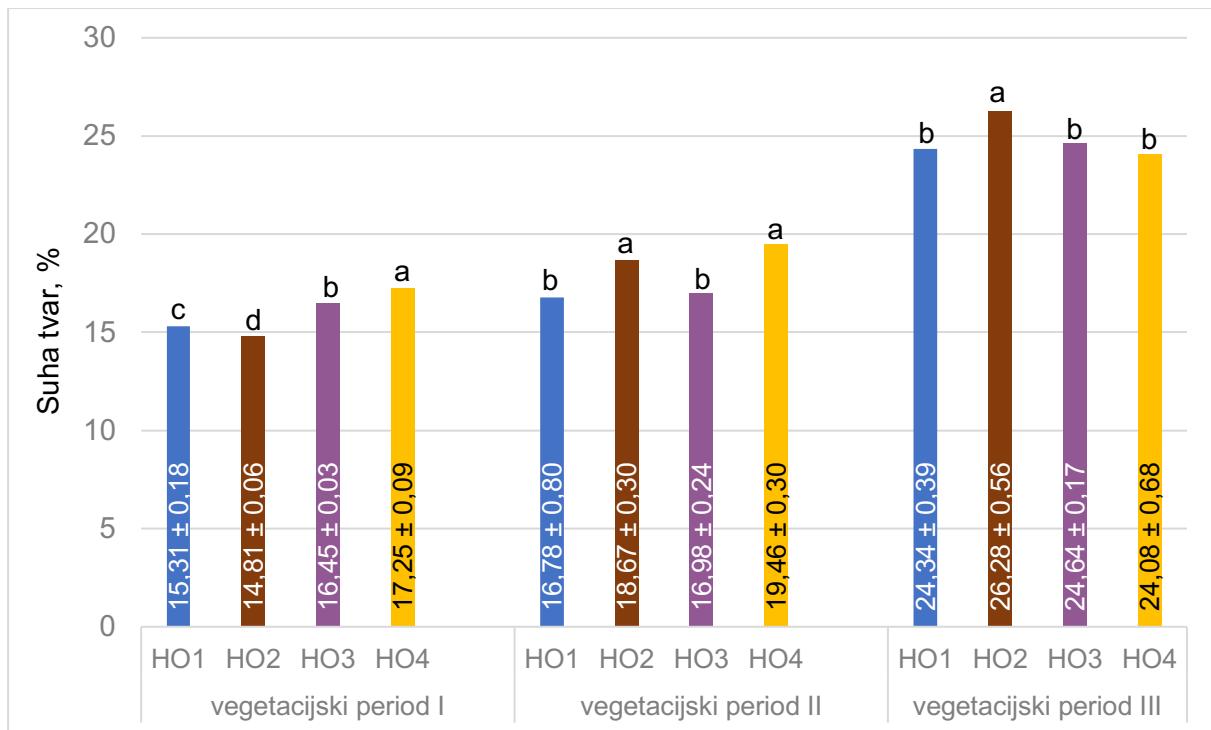
5.1.2. Količina ST i nitrata u listovima koprive

Utjecaj HO na količinu ST i nitrata u listovima koprive tijekom uzgoja tehnikom FH prikazan je grafikonima 12 i 13.

Tijekom VP I opravdano najviši udio **ST** imali su listovi koprive koja je užgajana u HO4 (17,25 % ST), a najniža količina ST utvrđena je u listovima biljaka užgajanih u HO2 (14,81 % ST).

U VP II također su najviše vrijednosti ST utvrđene u listovima koprive užgajane u HO4, ali se ta količina nije statistički razlikovala od one ostvarene uzgojem u HO2 (19,46 i 18,67 % ST). Niže vrijednosti ST ostvarene su uzgojem biljaka u HO1 i HO3 (16,78 i 16,98 % ST), bez utvrđene statističke razlike ovisno o sastavu otopina.

U VP III, značajno viša količina ST (26,28 % ST) utvrđena je u listovima koprive prilikom uzgoja u HO2. Razlika u količini suhe tvari u listovima koprive iz HO1, HO3 i HO4 nije bila statistički opravdana (prosječno 24,35 % ST).



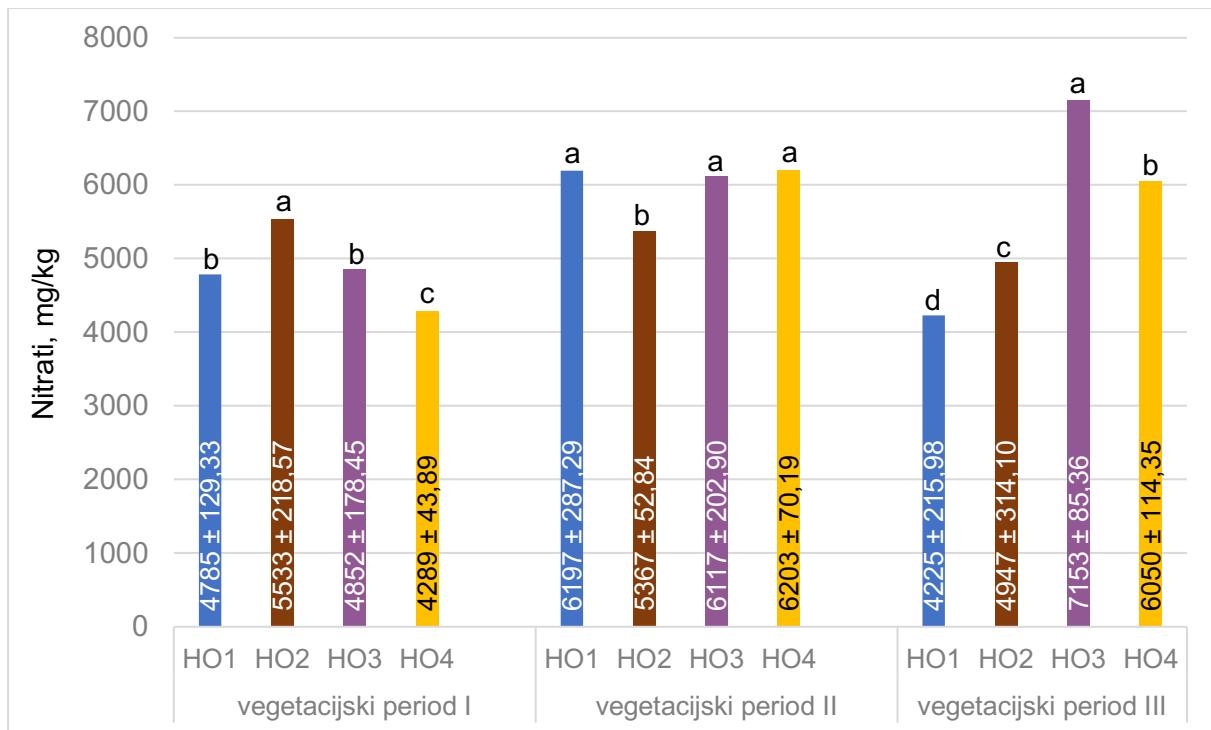
Grafikon 12. Utjecaj HO na količinu ST u listovima koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

HO – hraniva otopina. Različita slova pridodana prosječnim vrijednostima u istom vegetacijskom periodu označavaju da se one značajno razlikuju prema LSD testu, $p \leq 0,05$.

U VP I uzgoj koprive u HO2 rezultirao je statistički opravdano najvišom vrijednosti ($5533 \text{ mg/kg NO}_3^-$) **nitrata** u listu koprive, dok je najniža (1,3 puta niža) količina nitrata utvrđena pri uzgoju u HO4, otopini s najvećom količinom dušika u sastavu. Između HO1 i HO3 nisu utvrđene značajne razlike u količini nitrata u listu koprive (4785 i $4852 \text{ mg/kg NO}_3^-$).

U VP II, najviše vrijednosti nitrata (prosječno $6172 \text{ mg/kg NO}_3^-$) zabilježene su u listovima koprive uzgajane u HO1, HO3 i HO4, bez statističke razlike između istraživanih otopina. Statistički opravdano najniža količina nitrata u ovom VP iznosila je $5367 \text{ mg/kg NO}_3^-$ i utvrđena je u listovima koprive pri uzgoju u HO2.

Tijekom VP III značajno najviše nitrata utvrđeno je u listovima koprive pri uzgoju u HO3 ($7153 \text{ mg/kg NO}_3^-$), dok je uzgoj koprive u HO1 rezultirao opravdano najnižom vrijednosti nitrata koja je iznosila $4225 \text{ mg/kg NO}_3^-$. Utvrđena količina nitrata u listovima koprive pri uzgoju u HO2 i HO4 bila je 4947 i $6050 \text{ mg/kg NO}_3^-$.



Grafikon 13. Utjecaj HO na količinu nitrata u listovima koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

HO – hraniva otopina. Različita slova pridodana prosječnim vrijednostima u istom vegetacijskom periodu označavaju da se one značajno razlikuju prema LSD testu, $p \leq 0,05$.

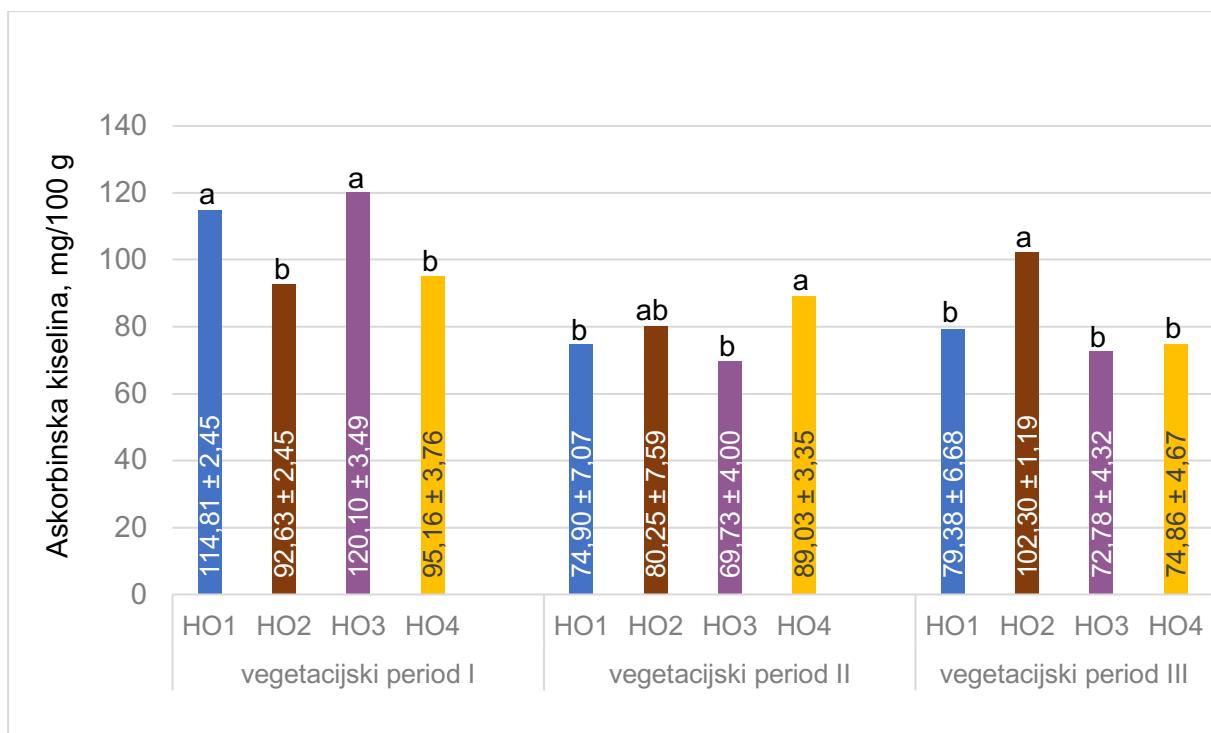
5.1.3. Sadržaj SM u listu koprive

U grafikonu 14 prikazan je utjecaj dominantnog faktora (HO) na sadržaj AK u listovima koprive uzgajane tehnikom FH koji je u svakom vegetacijskom periodu promatran zasebno.

U VP I najviše vrijednosti AK (114,81 i 120,10 mg/100 g sv.t.) utvrđene su u listovima biljaka uzgajanih u HO1 i HO3 bez statističke razlike ovisno o sastavu navedenih otopina, dok su značajno niže vrijednosti (prosječno 93,90 mg/100 g sv.t.) ostvarene uzgojem u HO2 i HO4, također bez utvrđene statističke razlike.

U VP II najviša vrijednost AK (89,03 mg/100 g sv.t.) utvrđena je u listovima koprive pri uzgoju u HO4, a nešto niža tijekom uzgoja u HO2. Uzgoj koprive u HO1 i HO3 rezultirao je značajno nižim sadržajem AK (74,90 i 69,73 mg/100 g sv.t.) bez značajne razlike ovisno o sastavu navedenih HO.

Tijekom VP III uzgoj biljaka u HO2 rezultirao je značajno najvišim vrijednostima AK u listovima koprive i to 26 % više u odnosu na prosječni sadržaj (75,67 mg/100 g sv.t.) utvrđen u listovima koprive uzgajane u preostalim istraživanim HO.



Grafikon 14. Utjecaj HO na sadržaj AK u listovima koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

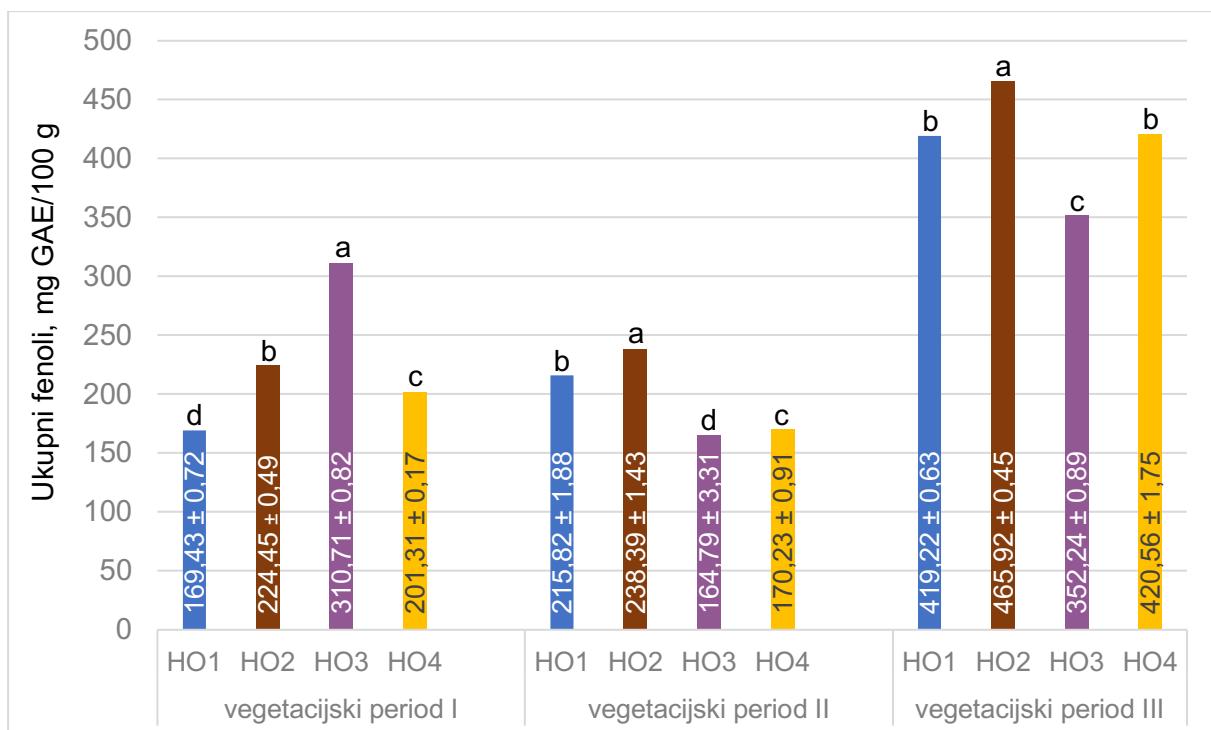
HO – hraniva otopina. Različita slova pridodana prosječnim vrijednostima u istom vegetacijskom periodu označavaju da se one značajno razlikuju prema LSD testu, $p \leq 0,05$.

Utjecaj HO na sadržaj **ukupnih fenola** u listovima koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda prikazan je u grafikonu 15.

Tijekom VP I uzgoj koprive u HO3 rezultirao je statistički najvišim sadržajem ukupnih fenola (310,71 mg GAE/100 g), dok je u listovima koprive uzgajane u HO1 utvrđen signifikantno najniži sadržaj fenola, skoro 2 puta niži u usporedbi sa sadržajem fenola u listu koprive uzgajane u HO3.

Uzgoj u HO2 rezultirao je najvišom vrijednosti ukupnih fenola u VP II (238,39 mg GAE/100 g), dok je statistički najniža vrijednost utvrđena u listovima biljaka uzgajanih u HO3 (164,79 mg GAE/100 g). Sadržaj ukupnih fenola u listovima koprive pri uzgoju u HO1 i HO4 bio je 215,82 i 170,23 mg GAE/100 g.

Statistički opravdano najviša vrijednost ukupnih fenola u VP III utvrđena je u listovima koprive uzgajane u HO2 (465,92 mg GAE/100 g), a uzgoj u HO3 je rezultirao značajno nižim sadržajem ukupnih fenola (352,24 mg GAE/100 g).



Grafikon 15. Utjecaj HO na sadržaj ukupnih fenola u listovima koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

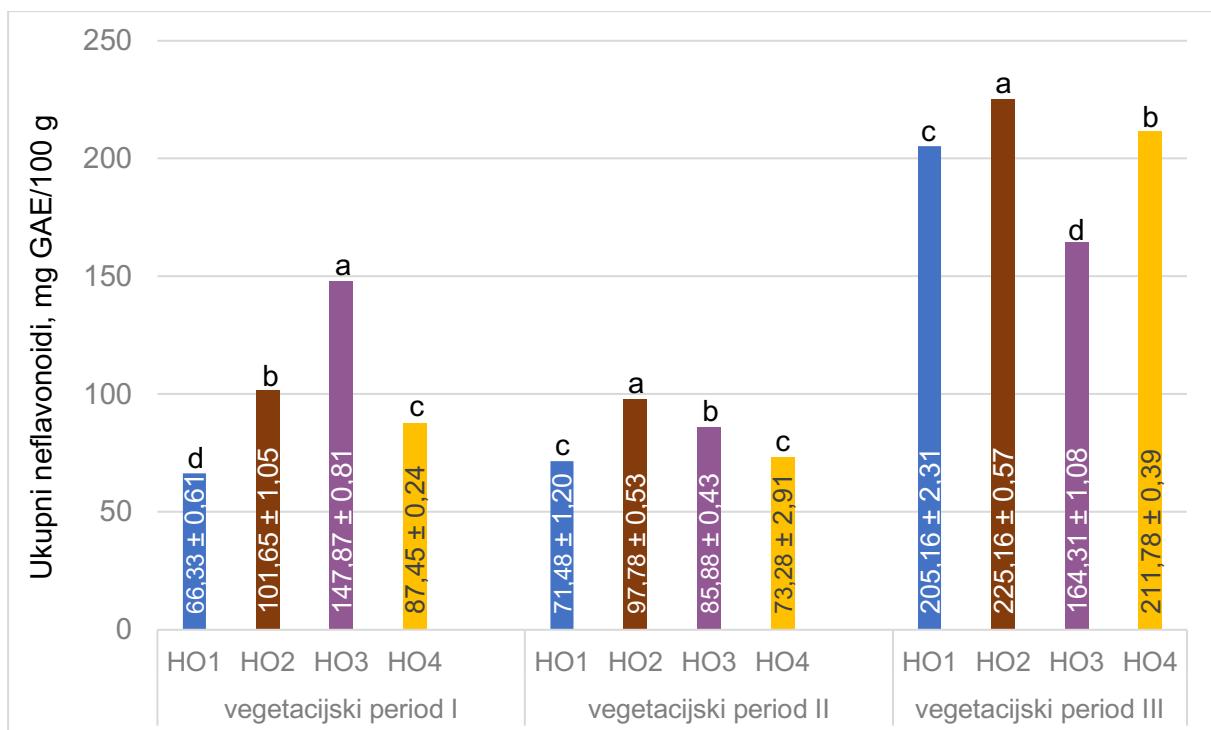
HO – hraniva otopina. Različita slova pridodana prosječnim vrijednostima u istom vegetacijskom periodu označavaju da se one značajno razlikuju prema LSD testu, $p \leq 0,05$.

U grafikonu 16 prikazan je utjecaj HO na sadržaj **ukupnih neflavonoida** u listovima koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda.

Najniži sadržaj ukupnih neflavonoida (66,33 mg GAE/100 g) u VP I ostvaren je pri uzgoju koprive u HO1, dok je uzgoj koprive u HO3 rezultirao 2 puta višom vrijednosti u odnosu na uzgoj u HO1.

U VP II najviša vrijednost ukupnih neflavonoida utvrđena je u listovima koprive uzgajane u HO2 (97,78 mg GAE/100 g), dok su najniže vrijednosti (71,48 i 73,28 mg GAE/100 g) zabilježene u listovima biljaka uzgajanih u HO1 i HO4 bez utvrđene statističke razlike ovisno o sastavu otopine.

Značajno najnižim sadržajem ukupnih neflavonoida (164,31 mg GAE/100 g) u VP III rezultirao je uzgoj koprive u HO3, dok je u listovima koprive uzgajane u HO2 utvrđen najviši sadržaj ukupnih neflavonoida (225,16 mg GAE/100 g).



Grafikon 16. Utjecaj HO na sadržaj ukupnih neflavonoida u listovima koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

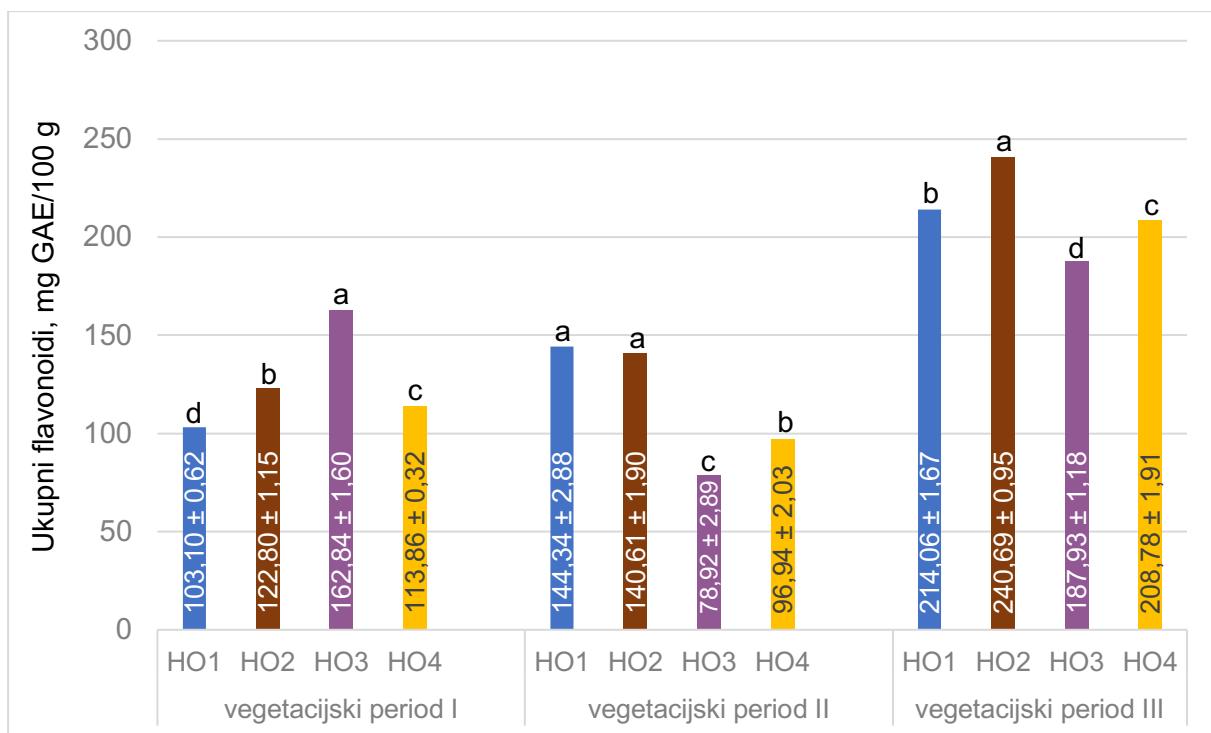
HO – hraniva otopina. Različita slova pridodana prosječnim vrijednostima u istom vegetacijskom periodu označavaju da se one značajno razlikuju prema LSD testu, $p \leq 0,05$.

Grafikon 17 prikazuje utjecaj HO na sadržaj **ukupnih flavonoida** u listovima koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda.

Uzgoj koprive u HO1 rezultirao je najnižom (103,10 mg GAE/100 g), a uzgoj koprive u HO3 najvišom (162,84 mg GAE/100 g) vrijednosti ukupnih flavonoida u listu koprive, u VP I.

Tijekom VP II najviši sadržaj flavonoida utvrđen je listovima koprive uzgajane u HO1 i HO2 (prosječno 142,48 mg GAE/100 g), bez signifikantne razlike između uzoraka uzgajanih u te dvije otopine. Uzgoj koprive u HO3 rezultirao je 1,8 puta nižim sadržajem ukupnih flavonoida u listu koprive u odnosu na HO1 i HO2.

Uzgoj koprive u HO1 rezultirao je najvišom (240,69 mg GAE/100 g), a uzgoj koprive u HO3 najnižom (187,93 mg GAE/100 g). vrijednosti flavanoida u lišću koprive u vegetacijskom periodu VP III. Listovi koprive uzgajane u HO1 i HO4 sadržavali su 214,06 i 208,78 mg GAE/100 g ukupnih flavonoida.

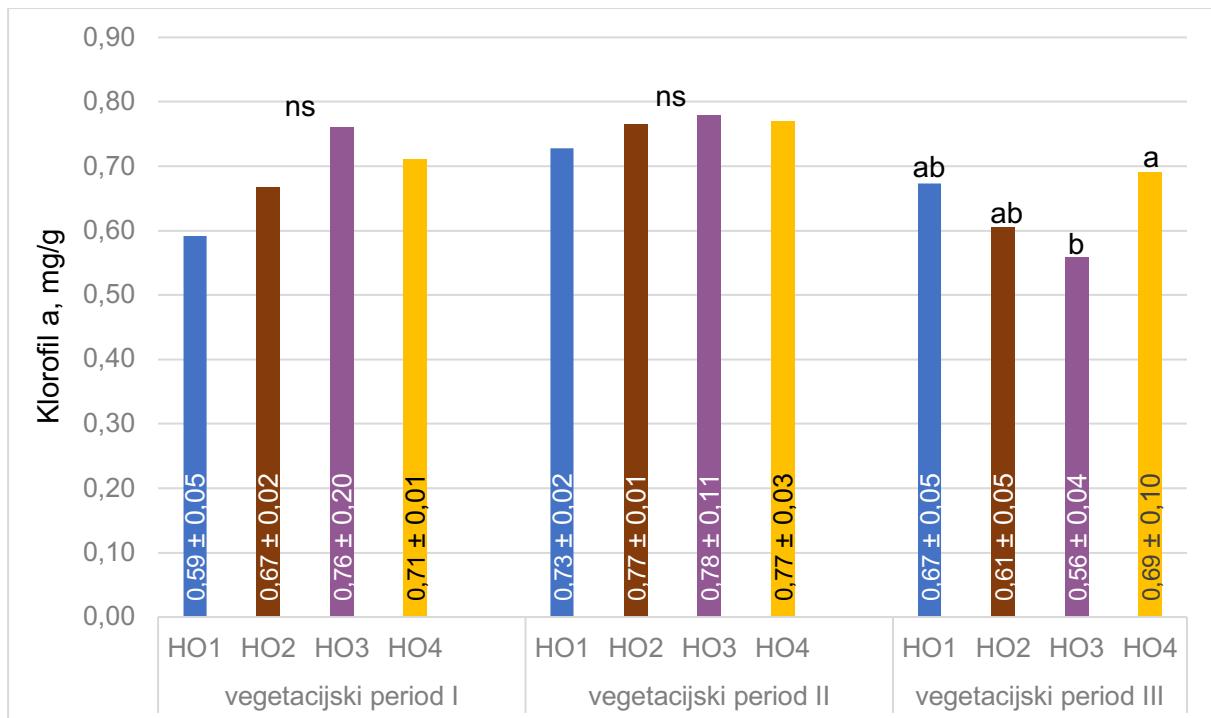


Grafikon 17. Utjecaj HO na sadržaj ukupnih flavonoida u listovima koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

HO – hraniva otopina. Različita slova pridodana prosječnim vrijednostima u istom vegetacijskom periodu označavaju da se one značajno razlikuju prema LSD testu, $p \leq 0,05$.

U VP I i VP II nisu utvrđene statističke razlike u sadržaju **klorofila a** u listovima koprive uzgajane u 4 istraživane HO (grafikon 18), a prosječne vrijednosti iznosile su 0,68 (VP I) i 0,76 mg/g (VP II).

U VP III najviši sadržaj klorofila a utvrđen je u listovima koprive uzgajane u HO4 (0,69 mg/g), a nešto niži sadržaj zabilježen je u biljnom materijalu uzgojenom u HO1 i HO2 (prosječno 0,64 mg/g). Značajno najniži sadržaj klorofila a u ovom vegetacijskom periodu utvrđen je pri uzgoju koprive u HO3 (0,56 mg/g).



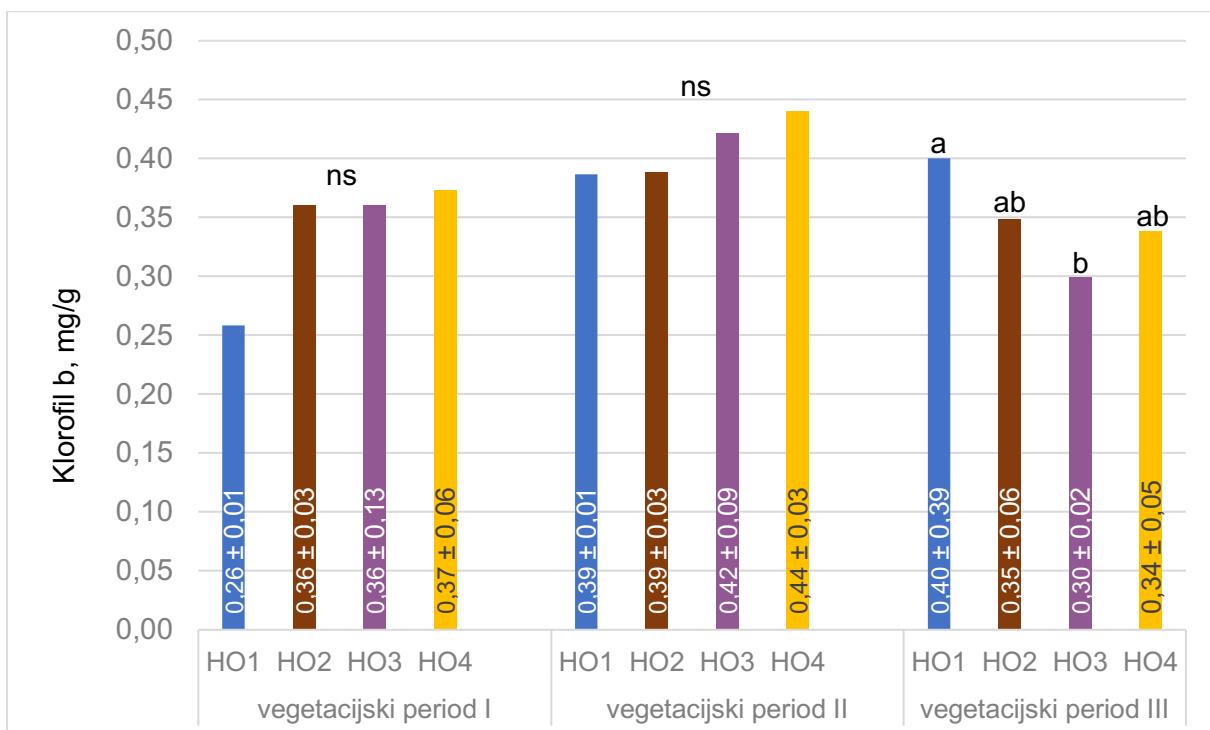
Grafikon 18. Utjecaj HO na sadržaj klorofila a u listu koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

HO – hraniva otopina. Različita slova pridodata prosječnim vrijednostima u istom vegetacijskom periodu označavaju da se one značajno razlikuju prema LSD testu, $p \leq 0,05$; ns – nije signifikantno.

U grafikonu 19 prikazan je utjecaj HO na sadržaj **klorofila b** u listovima koprive uzgajane tehnikom FH.

U VP I i VP II nije utvrđen opravdan utjecaj HO na sadržaj klorofila b, a ostvarene su prosječne vrijednosti od 0,34 (VP I) i 0,41 mg/g (VP II).

Tijekom VP III značajno najviši sadržaj klorofila b utvrđen je u listovima biljaka uzgajanih u HO1 (0,40 mg/g). Uzgoj koprive u HO2 i HO4 rezultirao je sadržajem klorofila b koji je pripadao istom statističkom rangu i bio je nešto viši od 0,30 mg/g (najniži sadržaj utvrđenih u listovima koprive uzgajane u HO3).



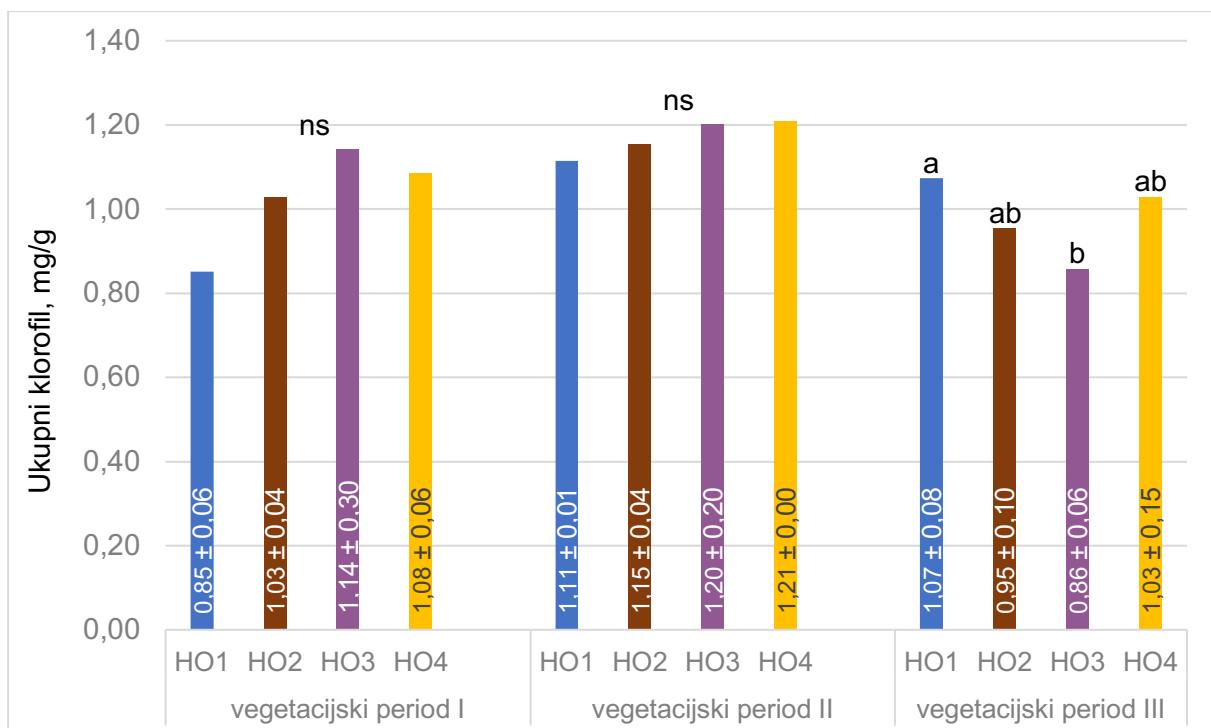
Grafikon 19. Utjecaj HO na sadržaj klorofila *b* u listu koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

HO – hraniva otopina. Različita slova pridodana prosječnim vrijednostima u istom vegetacijskom periodu označavaju da se one značajno razlikuju prema LSD testu, $p \leq 0,05$; ns – nije signifikantno.

Utjecaj sastava HO na **sadržaj ukupnih klorofila** u listu koprive uzgajane tehnikom FH prikazan je u grafikonu 20.

U VP I i VP II nisu utvrđene statističke razlike u sadržaju ukupnih klorofila ovisno o HO, a prosječni sadržaj utvrđen u listu koprive iznosio je 1,03 (VP I) i 1,17 mg/g (VP II).

Značajno najviša vrijednost sadržaja ukupnih klorofila tijekom VP III iznosila je 1,07 mg/g i utvrđena je u listovima biljaka uzgajanih u HO1, dok je statistički opravdano najniža vrijednost zabilježena u listu koprive uzgajane u HO3 te je iznosila 0,86 mg/g.



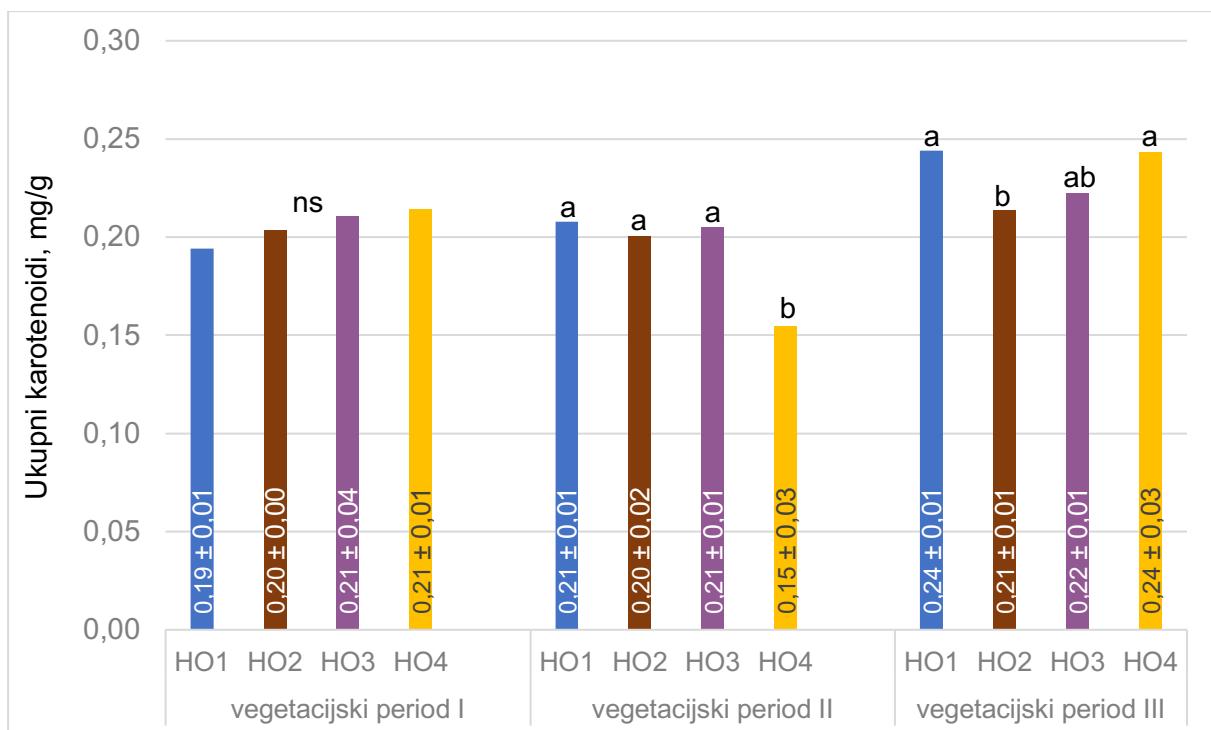
Grafikon 20. Utjecaj HO na sadržaj ukupnih klorofila u listu koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

HO – hraniva otopina. Različita slova pridodana prosječnim vrijednostima u istom vegetacijskom periodu označavaju da se one značajno razlikuju prema LSD testu, $p \leq 0,05$; ns – nije signifikantno.

U VP I nisu utvrđene signifikantne razlike u sadržaju **ukupnih karotenoida** u listu koprive s obzirom na istraživane sastave HO (grafikon 21).

Statistički opravданo više vrijednosti ukupnih karotenoida utvrđene su u listu koprive uzgajane u HO1, HO2 i HO3 tijekom VP II, dok je najniži sadržaj utvrđen kod biljaka uzgajanih u HO4 (0,15 mg/g) u promatranom VP.

U VP III uzgoj koprive u HO1 i HO4 rezultirao je najvišim sadržajem ukupnih karotenoida (0,24 mg/g) u listu, bez utvrđene statističke razlike između navedenih HO. Značajno najniža vrijednost u ovom vegetacijskom periodu zabilježena je u listovima koprive uzgajane u HO3 i iznosila je 0,21 mg/g.



Grafikon 21. Utjecaj HO na sadržaj ukupnih karotenoida u listu koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

HO – hraniva otopina. Različita slova pridodana prosječnim vrijednostima u istom vegetacijskom periodu označavaju da se one značajno razlikuju prema LSD testu, $p \leq 0,05$; ns – nije signifikantno.

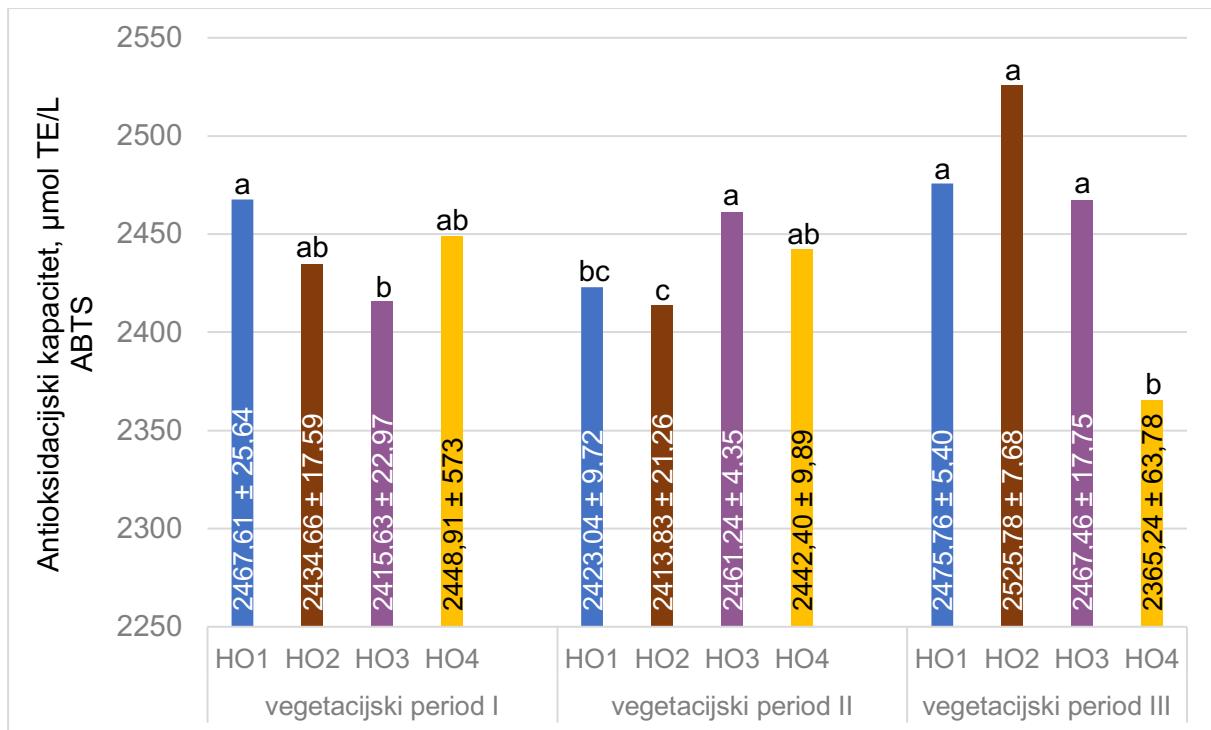
5.1.4. Antioksidacijski kapacitet listova koprive

U grafikonima 22 i 23 prikazan je utjecaj sastava HO na **antioksidacijski kapacitet** listova koprive prema ABTS (grafikon 22) i FRAP (grafikon 23) metodi tijekom uzgoja tehnikom FH.

U VP I najviši antioksidacijski kapacitet prema ABTS metodi ($2467,61 \mu\text{mol TE/L}$) utvrđen je tijekom uzgoja u HO1, a nešto niži u HO2 i HO4, dok je značajno najniža vrijednost utvrđena u listovima koprive uzgajane u HO3 ($2415,63 \mu\text{mol TE/L}$).

U VP II uzgoj koprive u HO3 rezultirao je najvišim ($2461,24 \mu\text{mol TE/L}$), a uzgoj u HO2 najnižim ($2413,83 \mu\text{mol TE/L}$) antioksidacijskim kapacitetom u listu koprive prema ABTS metodi ($2461,24 \mu\text{mol TE/L}$), dok je uzgojem u HO2 određena najniža vrijednost ($2413,83 \mu\text{mol TE/L}$).

Uzgoj koprive u HO1, HO2 i HO3 rezultirao je statistički opravdano najvišim antioksidacijskim kapacitetom prema ABTS metodi u VP III bez signifikantne razlike (prosječno $2489,66 \mu\text{mol TE/L}$), a najniža vrijednost zabilježena je u listu koprive uzgajane u HO4 i iznosila je $2365,24 \mu\text{mol TE/L}$.



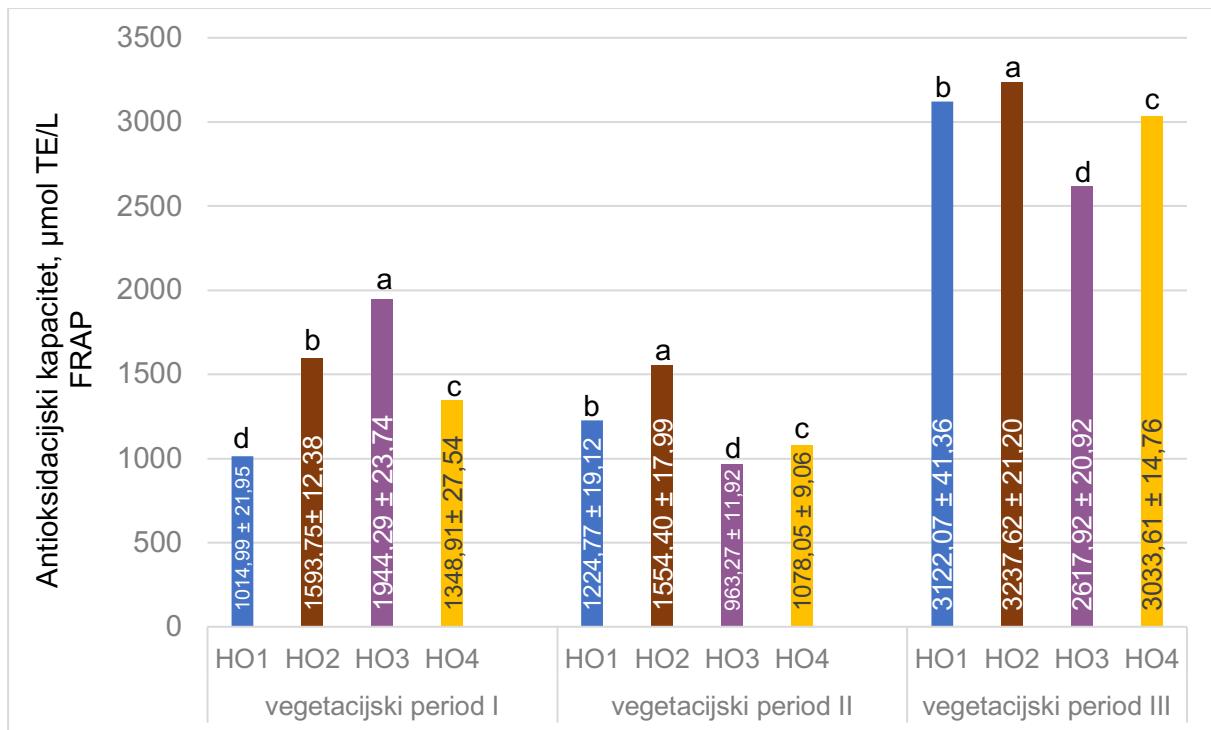
Grafikon 22. Utjecaj HO na antioksidacijski kapacitet (ABTS) listova koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

HO – hraniva otopina. Različita slova pridodana prosječnim vrijednostima u istom vegetacijskom periodu označavaju da se one značajno razlikuju prema LSD testu, $p \leq 0,05$.

Tijekom VP I najviši antioksidacijski kapacitet određen FRAP metodom utvrđen je u listovima koprive uzgajane u HO3 (1944,29 $\mu\text{mol TE/L}$), dok je uzgoj u HO1 rezultirao najnižom vrijednosti (1014,99 $\mu\text{mol TE/L}$) što je obrnuto u odnosu na ABTS metodu, pri kojoj je najviša vrijednost utvrđena u HO1, a najniža u HO3.

Uzgoj koprive u HO2 rezultirao je statistički najvišim antioksidacijskim kapacitetom u listu koprive prema FRAP metodi tijekom VP II (1554,40 $\mu\text{mol TE/L}$), a u listu koprive uzgajane u HO3 zabilježene su najniže (38 % niže) vrijednosti.

U VP III značajno najviši antioksidacijski kapacitet utvrđen FRAP metodom izmjerен je u listovima koprive uzgajane u HO2 (3237,62 $\mu\text{mol TE/L}$) dok je uzgoj koprive u HO3 rezultirao statistički opravdano najnižom vrijednosti (2617,92 $\mu\text{mol TE/L}$).



Grafikon 23. Utjecaj HO na antioksidacijski kapacitet (FRAP) listova koprive uzgajane tehnikom FH tijekom 3 vegetacijska perioda

HO – hraniva otopina. Različita slova pridodana prosječnim vrijednostima u istom vegetacijskom periodu označavaju da se one značajno razlikuju prema LSD testu, $p \leq 0,05$.

5.2. Uzgoj koprive tehnikom EF

Analiza varijance (ANOVA) o utjecaju režima navodnjavanja na morfološka svojstva (visina biljke, broj listova, ILP), prinos, količinu ST, količinu nitrata, sadržaj SM i antioksidacijski kapacitet lista koprive uzgajane tehnikom EF prikazana je u tablici 7.

Vidljiv je statistički opravdan utjecaj RN na visinu biljaka koprive u svim vegetacijskim periodima, uz izuzetak VP IV u kojem nisu utvrđene značajne razlike između istraživanih RN. Statistički opravdan utjecaj RN na broj listova koprive utvrđen je u VP II, V i VI, dok u ostalim VP nije bilo značajnijih razlika. Značajne razlike kod ILP, s obzirom na istraživane RN, utvrđene su samo u VP III. Značajan utjecaj RN na prinos svježe mase koprive utvrđen je u svim vegetacijskim periodima (VP I – VI). Statistički opravdan utjecaj RN na količinu ST utvrđen je samo u VP VI. Istraživani RN imali su statistički opravdan utjecaj na količinu NO_3^- u svim VP. Statistički opravdan utjecaj RN na sadržaj AK utvrđen je u VP II i III, dok u ostalim VP utjecaj RN nije bio signifikantan. Značajan utjecaj RN na udio ukupnih fenola i neflavonoida vidljiv je u svim VP, a utjecaj RN na udio ukupnih flavonoida utvrđen je u VP I, II, IV i V, dok u VP III i VI nisu utvrđene značajne razlike. Utjecaj istraživanih RN na sadržaj klorofila a i b utvrđen je u svim vegetacijskim periodima, dok se sadržaj ukupnih klorofila značajno razlikovao s obzirom na istraživane RN u svim VP osim u VP IV. Statistički opravdana utjecaj RN na sadržaj ukupnih karotenoida utvrđen je u VP I, II, IV i V, dok u VP III i IV razlike nisu bile signifikantne.

Utjecaj RN na antioksidacijski kapacitet određen prema ABTS metodi bio je statistički opravdan u VP III, IV, V i VI, dok u VP I i II razlike nisu bile signifikantne. Utjecaj RN na antioksidacijski kapacitet prema FRAP metodi bio je opravdan u svim vegetacijskim periodima osim u VP V.

Tablica 7. ANOVA za utjecaj RN na svojstva koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

Svojstvo	VP I	VP II	VP III	VP IV	VP V	VP VI
Visina biljke	***	*	***	ns	*	*
Broj listova	ns	**	ns	ns	*	*
ILP	ns	ns	***	ns	ns	ns
Prinos	***	***	***	***	***	***
ST	ns	ns	ns	ns	ns	***
NO ₃ ⁻	***	***	**	**	*	***
AK	ns	**	*	ns	ns	ns
Ukupni fenoli	***	***	*	***	***	**
Neflavonoidi	***	***	*	***	*	**
Flavonoidi	***	***	ns	***	***	ns
Klorofil a	***	***	***	**	***	***
Klorofil b	***	***	***	**	*	***
Ukupni klorofil	***	***	***	ns	**	***
Ukupni karotenoidi	***	*	ns	***	**	ns
Ant_kap (ABTS)	ns	ns	*	**	**	**
Ant_kap (FRAP)	***	***	***	***	ns	***

VP – vegetacijski period; ILP – indeks lisne površine; ST – suha tvar; NO₃⁻ - nitrati; AK – askorbinska kiselina; Ant_kap – antioksidacijski kapacitet. Razine statističke značajnosti: * p≤0,05, ** p≤0,01, *** p≤0,001, ns – nije signifikantno.

5.2.1. Morfološka svojstva i prinos koprive

Utjecaj istraživanih RN (RN1 i RN2) na **morfološka svojstva i prinos** koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda prikazan je u tablici 8.

Tijekom VP I, RN1 je rezultirao statistički opravdano višim biljkama (33,4 cm) i većim prinosom (7,3 kg/m²) u odnosu na RN2 (visina biljaka = 20,3 cm; prinos = 4,3 kg/m²). Isti RN rezultirao je i relativno većim brojem listova (10) i ILP (22,9 cm²), ali bez statistički opravdane razlike u odnosu na RN2 (broj listova = 9; ILP = 19,0 cm²).

Tijekom VP II opravdano više biljke izmjerene su pri RN1 (34,19 cm) u odnosu na RN2 (27,27 cm). RN1 rezultirao je i opravdano većim brojem listova (12) te značajno višim prinosom (7,55 kg/m²). Iako je vidljiv trend utjecaja RN1, u ovom periodu nije utvrđena značajna statistička razlika između istraživanih RN za ILP (RN1 = 25,8 cm²; RN2 = 22,93 cm²).

U VP III, biljke izložene RN2 bile su 12 % niže od biljaka izloženih RN1 (31,0 cm). Broj listova nije se značajno razlikovao između istraživanih RN (RN1 = 12; RN1 = 10). RN2 također je rezultirao manjim ILP (16,65 cm²) i nižim prinosom (6,3 kg/m²) u odnosu na RN 1 (ILP, 26,8 cm²; prinos 8,2 kg/m²).

U VP IV nije utvrđena značajna razlika između istraživanih RN na visinu, broj listova i ILP biljaka koprive, a neovisno o RN, prosječne vrijednosti iznosile su 28,0 cm (visina), 14 (broj listova) i 26,4 cm² (ILP). Tijekom ovog VP značajno viši prinos ostvaren je kod biljaka izloženih RN2 (5,8 kg/m²) u odnosu na RN1 (4,8 kg/m²).

Tijekom VP V uočene su statistički značajne razlike između RN za sva morfološka svojstva osim za ILP (RN1 = 37,6 cm²; RN2 = 32,8 cm²) bez opravdanog utjecaja istraživanih RN). RN2 rezultirao je značajno nižim biljkama (29,9 cm), manjeg broja listova (13) i nižim prinosom (6,8 kg/m²) u odnosu na RN1 (visina biljaka = 35,1 cm; broj listova = 16; prinos = 7,8 kg/m²).

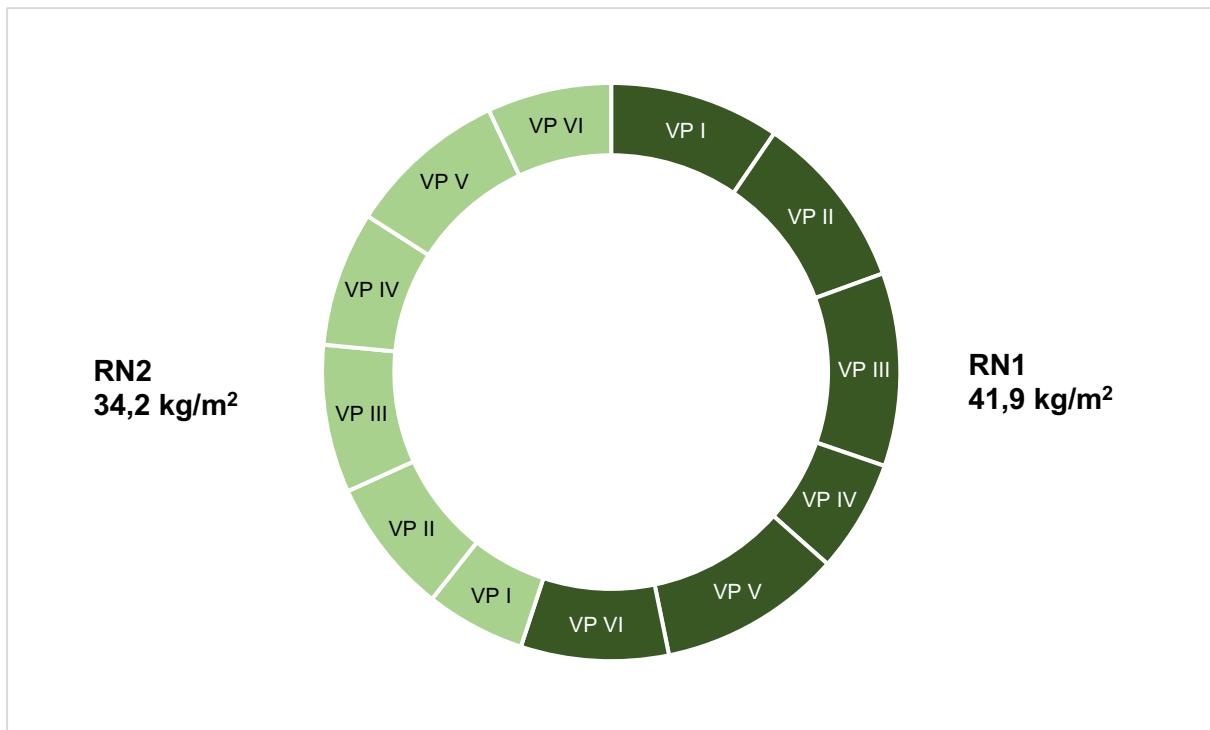
U VP VI varirani RN opet su statistički značajno utjecali na morfološka svojstva i prinos osim u slučaju ILP (RN1 = 57,0 cm²; RN2 = 52,6 cm² bez opravdanog utjecaja RN). Biljke izložene RN1 u ovom su VP rezultirale višim biljkama (35,1 cm), većim brojem listova (18) i većim prinosom (6,3 kg/m²) u odnosu na RN2 (visina biljaka = 31,7 cm; broj listova = 16; prinos = 5,3 kg/m²).

Tablica 8. Utjecaj RN na morfološka svojstva i prinos koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

Režim navodnjavanja	Visina (cm)	Broj listova	ILP (cm ²)	Prinos (kg/m ²)
vegetacijski period I				
RN1	33,4 ^a ± 2,08	10 ^{ns} ± 1,11	23,0 ^{ns} ± 2,86	7,3 ^a ± 0,01
RN2	20,3 ^b ± 0,98	9 ± 0,40	19,0 ± 6,11	4,3 ^b ± 0,02
Prosjek	26,8	10	20,9	5,8
vegetacijski period II				
RN1	34,2 ^a ± 3,14	12 ^a ± 1,21	25,8 ^{ns} ± 3,04	7,6 ^a ± 0,14
RN2	27,3 ^b ± 0,28	8 ^b ± 1,03	22,9 ± 5,34	5,8 ^b ± 0,19
Prosjek	30,7	10	24,4	6,7
vegetacijski period III				
RN1	31,0 ^a ± 0,83	12 ^{ns} ± 0,40	26,8 ^a ± 1,83	8,2 ^a ± 0,13
RN2	23,7 ^b ± 1,51	10 ± 0,95	16,7 ^b ± 1,33	6,3 ^b ± 0,23
Prosjek	27,4	11	21,7	7,3
vegetacijski period IV				
RN1	27,5 ^{ns} ± 0,97	15 ^{ns} ± 0,31	24,9 ^{ns} ± 1,11	4,8 ^b ± 0,20
RN2	28,5 ± 1,00	14 ± 1,50	27,9 ± 2,11	5,8 ^a ± 0,00
Prosjek	27,97	14	26,4	5,3
vegetacijski period V				
RN1	35,1 ^a ± 0,66	16 ^a ± 1,21	37,6 ^{ns} ± 2,94	7,8 ^a ± 0,17
RN2	29,9 ^b ± 2,49	13 ^b ± 1,11	32,8 ± 2,81	6,8 ^b ± 0,01
Prosjek	32,5	14	35,2	7,2
vegetacijski period VI				
RN1	35,1 ^a ± 0,45	18 ^a ± 1,42	57,0 ^{ns} ± 4,18	6,3 ^a ± 0,00
RN2	31,7 ^b ± 1,41	16 ^b ± 0,42	52,6 ± 3,47	5,3 ^b ± 0,00
Prosjek	33,4	17	54,8	5,8

RN – režim navodnjavanja; ILP – indeks lisne površine. Različita slova pridodata prosječnim vrijednostima u istom vegetacijskom periodu označavaju da se one značajno razlikuju prema LSD testu, p≤0,05; ns – nije signifikantno.

Kumulativni prinos koprive ostvaren tijekom 6 vegetacijskih perioda pri uzgoju koprive tehnikom EF prikazan je u grafikonu 24. Veći kumulativni prinos ostvaren je kod koprive uzgajane pri RN1 i iznosio je ukupno $41,9 \text{ kg/m}^2$, a RN2 rezultirao je kumulativnim prinosom od $34,2 \text{ kg/m}^2$.



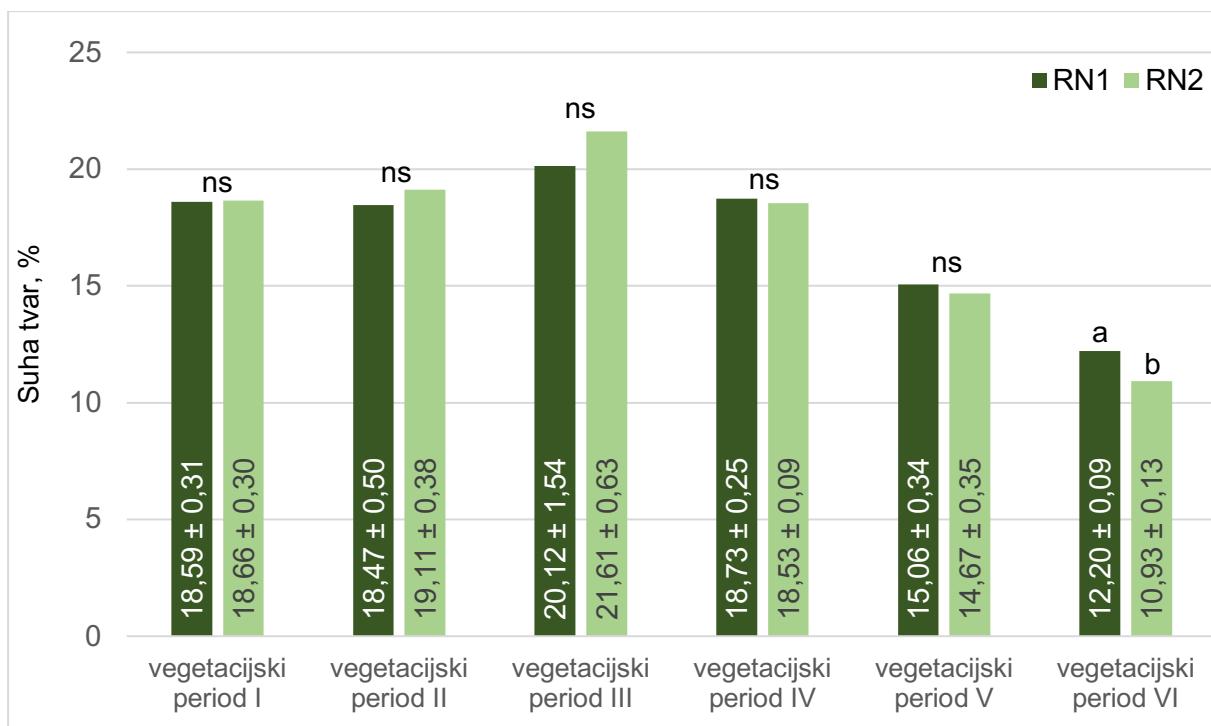
Grafikon 24. Kumulativni prinos koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda
RN – režim navodnjavanja; VP – vegetacijski period.

5.2.2. Količina ST i nitrata u listovima koprive

U grafikonu 25 prikazan je utjecaj RN na količinu **ST** u listovima koprive tijekom uzgoja tehnikom EF.

Prema statističkoj analizi, RN značajno je utjecao na količinu ST u listovima koprive samo u VP VI, dok u ostalim vegetacijskim periodima nisu utvrđene statistički značajne razlike između istraživanih RN. Tijekom VP I – V količina ST, neovisno o RN, varirala je od 14,86 % ST (VP V) do 20,87 (VP III).

U VP VI značajno viša količina ST utvrđena je u biljnem materijalu izloženom RN1 (12,20 % ST) u odnosu na RN2 (10,93 % ST).



Grafikon 25. Utjecaj RN na količinu ST u listu koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

RN – režim navodnjavanja. Različita slova pridodata prosječnim vrijednostima u istom vegetacijskom periodu označavaju da se one značajno razlikuju prema LSD testu, $p \leq 0,05$; ns – nije signifikantno.

Grafikon 26 prikazuje utjecaj RN na količinu **nitrata** u listu koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda.

Pri uzgoju koprive izložene RN2 tijekom VP I utvrđeno je statistički značajno više nitrata ($4018 \text{ mg/kg NO}_3^-$) u listovima u odnosu na RN1 ($2554 \text{ mg/kg NO}_3^-$).

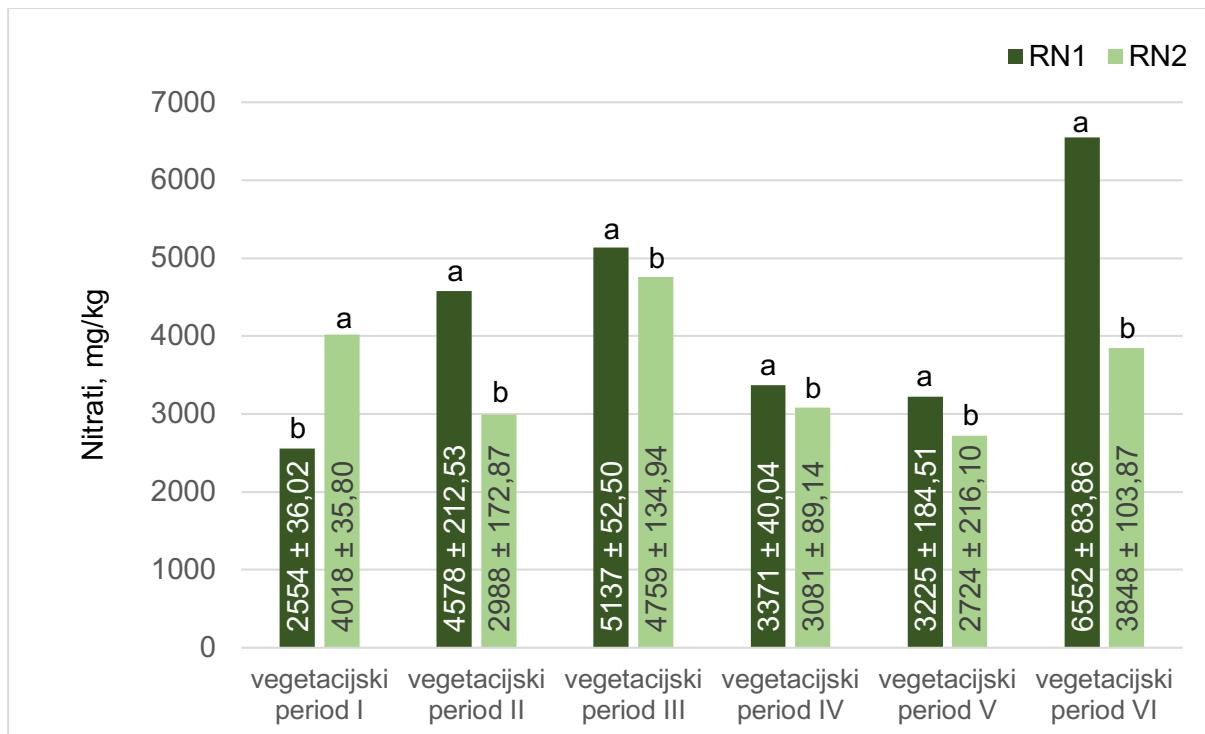
U VP II, RN1 rezultirao je 35 % višom količinom nitrata u listovima koprive u odnosu na listove biljaka uzgajanih pri RN2 ($2988 \text{ mg/kg NO}_3^-$).

Tijekom VP III statistički opravdano viša količina nitrata ($5137 \text{ mg/kg NO}_3^-$) također je zabilježena u listu koprive uzgajane pri RN1. Niža količina nitrata utvrđena u listovima koprive uzgajane pri RN2 iznosila je $4759 \text{ mg/kg NO}_3^-$.

U VP IV opet je uzgoj pri RN1 rezultirao značajno višim vrijednostima nitrata ($3371 \text{ mg/kg NO}_3^-$), dok je u listu koprive uzgajane pri RN2 utvrđena 9 % niža vrijednost.

U VP V značajno niže vrijednosti nitrata ostvarene su pri uzgoju koprive izložene RN2 i iznosile su $2724 \text{ mg/kg NO}_3^-$, dok je u listovima koprive uzgajane pri RN1 utvrđena vrijednost od $3225 \text{ mg/kg NO}_3^-$.

U VP VI količina nitrata bila je značajno viša u listovima koprive uzgajane pri RN1 i to čak 41 % u odnosu na $3848 \text{ mg/kg NO}_3^-$ ostvarenih pri RN2.



Grafikon 26. Utjecaj RN na količinu nitrata u listu koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

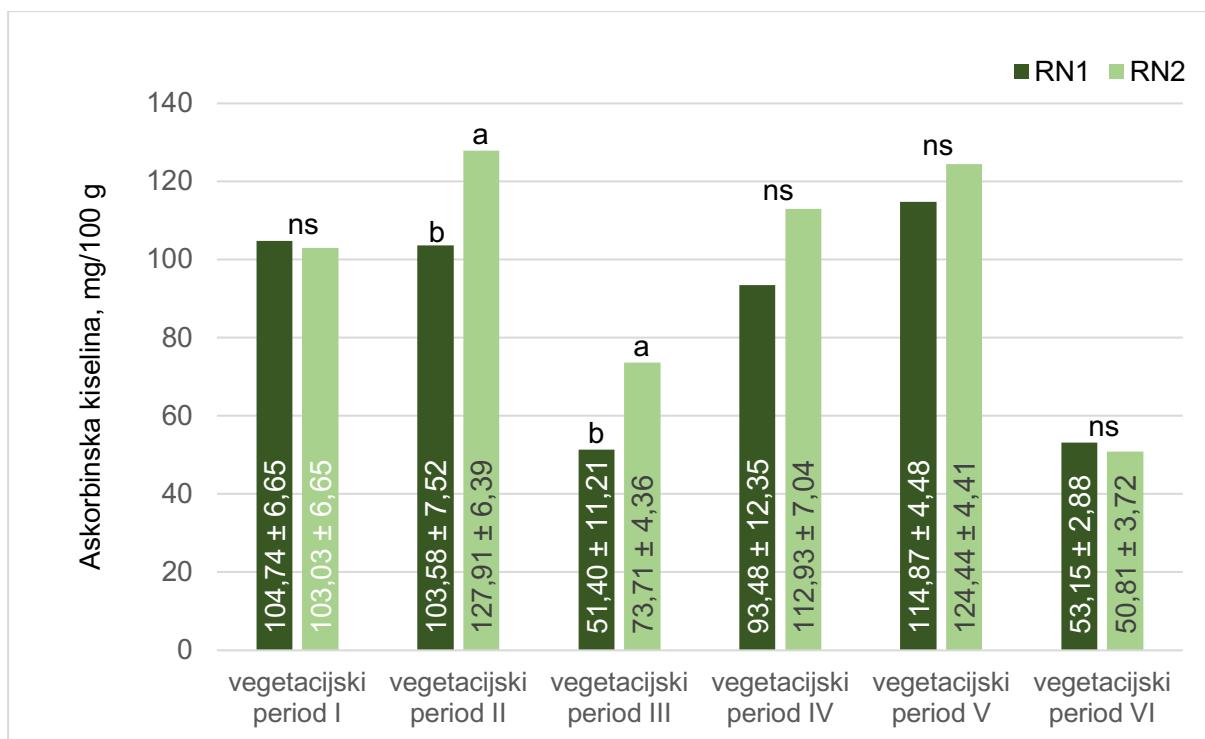
RN – režim navodnjavanja. Različita slova pridodatana prosječnim vrijednostima u istom vegetacijskom periodu označavaju da se one značajno razlikuju prema LSD testu, $p \leq 0,05$.

5.2.3. Sadržaj SM u listovima koprive

Prema statističkoj analizi podataka, RN je značajno utjecao na sadržaj AK u listu koprive tijekom VP II i VP III, dok u ostalim vegetacijskim periodima nisu utvrđene statističke razlike (grafikon 27).

U VP II, sadržaj AK u listovima koprive uzgajane pri RN2 bio je 19 % veći u usporedbi s listovima koprive uzgajane pri RN1 (103,58 mg/100 g sv. t.). Važno je istaknuti da je tijekom ovog VP u uvjetima RN2 zabilježena i najveća vrijednost AK tijekom svih promatranih VP, čak 127,91 mg/100 g sv. t.

U VP III razlike u sadržaju AK ovisno o RN bile su još značajnije, 30 % više u listovima koprive uzgajane pri RN2 u usporedbi s RN1 (51,40 mg/100 g sv. t.).



Grafikon 27. Utjecaj RN na sadržaj AK u listu koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

RN – režim navodnjavanja. Različita slova pridodata prosječnim vrijednostima u istom vegetacijskom periodu označavaju da se one značajno razlikuju prema LSD testu, $p \leq 0,05$; ns – nije signifikantno.

Utjecaj RN na sadržaj ukupnih fenola u listu koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda prikazan je u grafikonu 28.

U VP I utvrđene su značajne razlike između istraživanih RN, prilikom čega su pri RN2 zabilježene značajno više vrijednosti ukupnih fenola (400,76 mg GAE/100 g) u odnosu na listove koprive uzgajane pri RN1 (232,00 mg GAE/100 g).

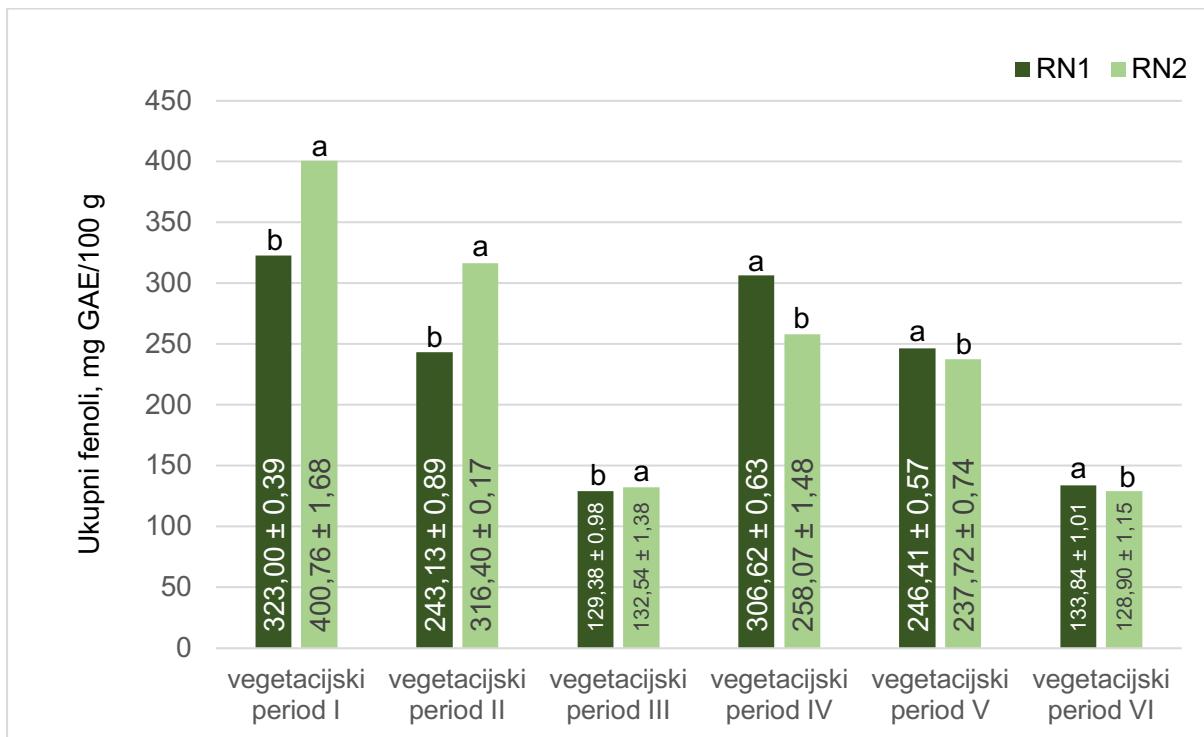
Tijekom VP II ponovno je RN2 rezultirao statistički opravdano višim sadržajem ukupnih fenola (316,40 mg GAE/100 g) u odnosu na RN1. Tako je u listu koprive uzgajane pri RN1 utvrđen 23 % niži sadržaj u odnosu na RN2.

U VP III, u listovima koprive izložene RN2 zabilježene su vrijednosti udjela ukupnih fenola od 132,54 mg GAE/100 g i te su vrijednosti bile statistički značajno više od 129,38 mg GAE/100 g ukupnih fenola određenih u listovima koprive uzgajane pri RN1.

Tijekom VP IV uzgoj biljaka pri RN1 rezultirao je opravdano višim sadržajem ukupnih fenola (306,63 mg GAE/100 g) u listu koprive u odnosu na RN2 (258,07 mg GAE/100 g).

RN1 rezultirao je značajno višim sadržajem ukupnih fenola i u VP V (246,41 mg GAE/100 g), prilikom čega su u listovima koprive uzgajane pri RN2 ostvarene 3,5 % niže vrijednosti.

Tijekom VP VI, u listovima koprive uzgajane pri RN2 utvrđene su statistički opravdano niže vrijednosti ukupnih fenola (128,90 mg GAE/100 g) u odnosu na listove koprive uzgajane pri RN1 (133,84 mg GAE/100 g).



Grafikon 28. Utjecaj RN na sadržaj ukupnih fenola u listu koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

RN – režim navodnjavanja. Različita slova pridodata prosječnim vrijednostima u istom vegetacijskom periodu označavaju da se one značajno razlikuju prema LSD testu, $p \leq 0,05$.

Sadržaj ukupnih **neflavonoida** u listovima koprive tijekom uzgoja tehnikom EF prikazan je u grafikonu 29.

Tijekom VP I zabilježene su značajno više vrijednosti ukupnih neflavonoida (219,58 mg GAE/100 g) u listovima koprive uzgajane pri RN2 u odnosu na RN1 (182,92 mg GAE/100 g).

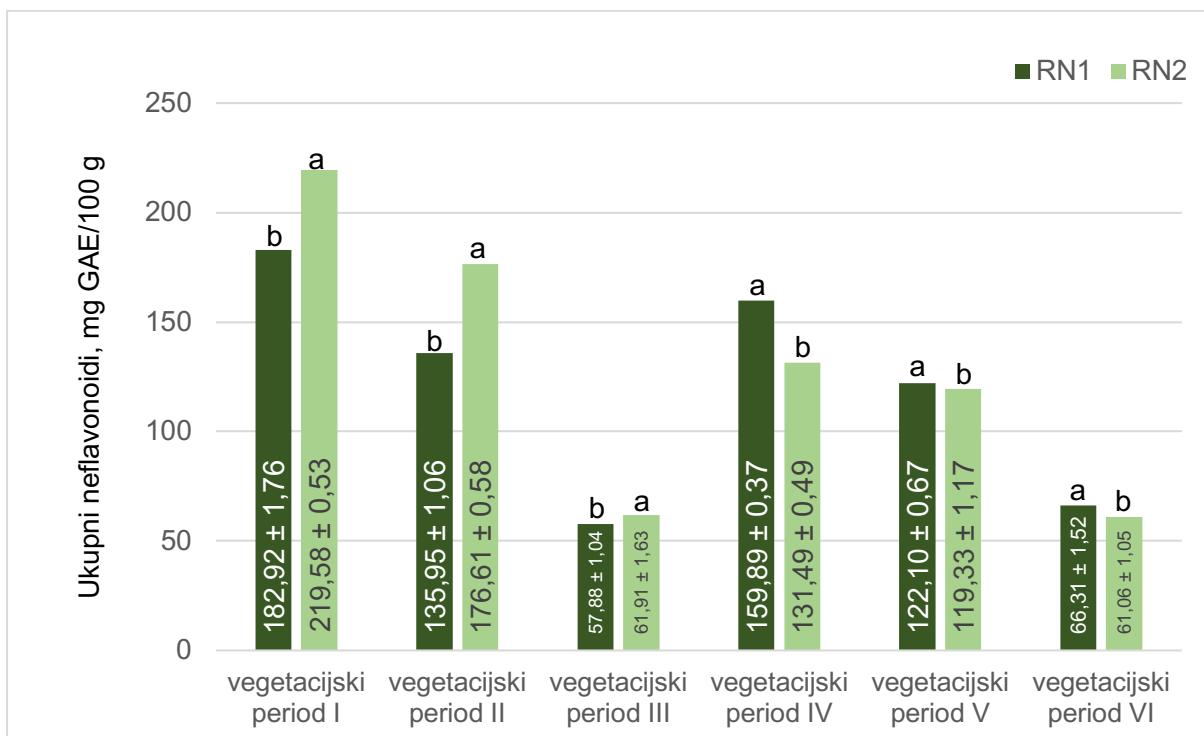
U VP II opet je RN2 rezultirao značajno višim sadržajem ukupnih neflavonoida u listu koprive i vrijednost je iznosila 176,61 mg GAE/100 g. U listu koprive uzgajane pri RN1 sadržaj ukupnih neflavonoida bio je 135,95 mg GAE/100 g.

U VP III u listovima koprive izložene RN2 zabilježene su vrijednosti ukupnih neflavonoida od 61,91 mg GAE/100 g i te su vrijednosti bile statistički značajno više od 57,88 mg GAE/100 g određenih u listovima koprive uzgajane pri RN1.

Tijekom VP IV, uzgoj koprive pri RN1 rezultirao je opravdano višim sadržajem ukupnih neflavonoida (159,89 mg GAE/100 g) u listu, a uzgoj biljaka pri RN2 rezultirao je 18 % nižom vrijednosti.

RN1 rezultirao je opravdano višim sadržajem ukupnih neflavonoida i u VP V (122,10 mg GAE/100 g), dok je u listovima koprive uzgajane pri RN2 utvrđeno 119,33 mg GAE/100 g.

U VP VI također je značajno viša vrijednost ukupnih neflavonoida utvrđena u listovima koprive izložene RN1 i iznosila je 66,31 mg GAE/100 g, a niža vrijednost ostvarena kod RN2 te je iznosila 61,06 mg GAE/100 g.



Grafikon 29. Utjecaj RN na sadržaj ukupnih neflavonoida u listu koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

RN – režim navodnjavanja. Različita slova pridodata prosječnim vrijednostima u istom vegetacijskom periodu označavaju da se one značajno razlikuju prema LSD testu, $p \leq 0,05$.

Grafikon 30 prikazuje utjecaj RN na sadržaj ukupnih **flavonoida** u listu koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda.

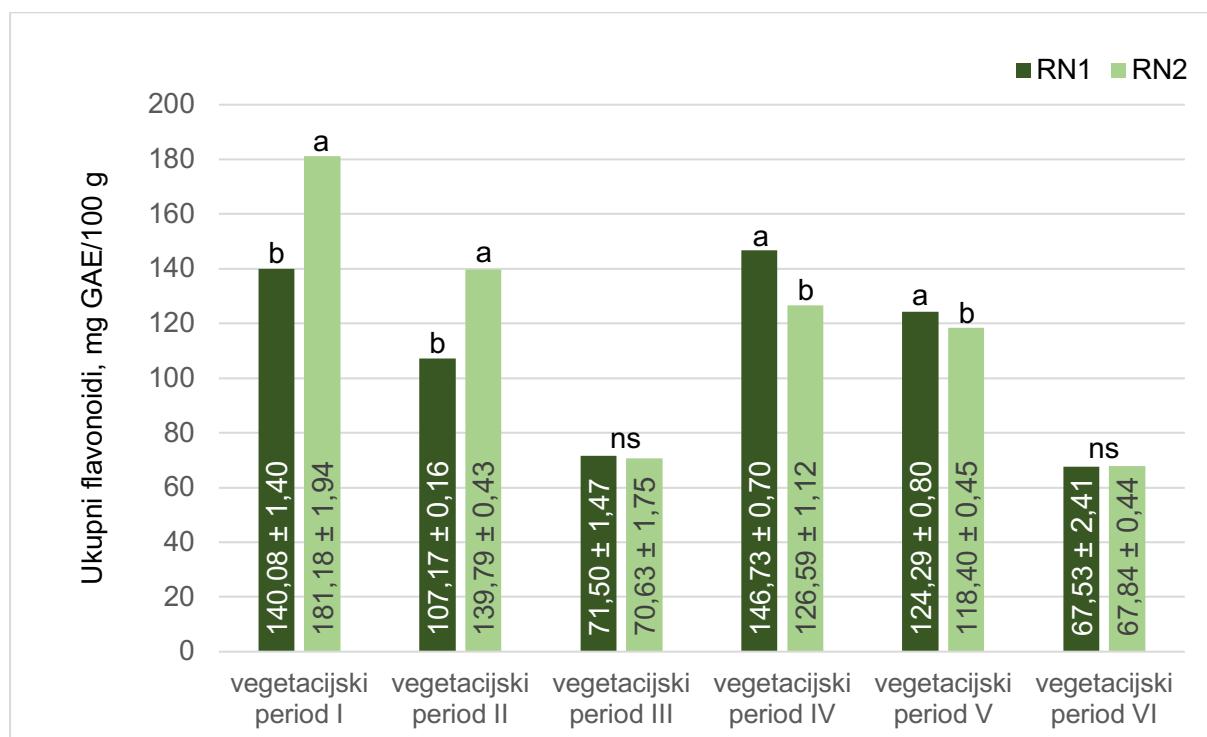
U VP III i VI nije utvrđen statistički opravdan utjecaj RN na sadržaj ukupnih flavonoida, a prosječna vrijednost, neovisno o RN, iznosila je 71,07 mg GAE/100 g u VP III i 67,69 mg GAE/100 g u VP VI.

U VP I statistički opravdano viši sadržaj ukupnih flavonoida utvrđen je u listovima koprive uzgajane pri RN2 (181,18 mg GAE/100 g) u odnosu na RN1 koji je rezultirao nižom vrijednosti od 140,08 mg GAE/100 g.

RN2 rezultirao je značajno višim vrijednostima ukupnih flavonoida i u VP II te je u listovima koprive uzgajane pri tom RN utvrđeno 139,79 mg GAE/100 g, a uzgoj pri RN1 rezultirao je 23 % nižom vrijednosti.

Tijekom VP IV značajno više vrijednosti ukupnih flavonoida utvrđene su u listovima koprive uzgajane pri RN1 (146,73 mg GAE/100 g). Sadržaj ukupnih flavonoida u listovima biljaka uzgajanih pri RN2 iznosio je 126,59 mg GAE/100 g.

U VP V također je RN1 rezultirao statistički opravdano višim vrijednostima ukupnih flavonoida u listovima koprive (124,29 mg GAE/100 g) u odnosu na RN2 (118,40 mg GAE/100 g).



Grafikon 30. Utjecaj RN na sadržaj ukupnih flavonoida u listu koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

RN – režim navodnjavanja. Različita slova pridodata prosječnim vrijednostima u istom vegetacijskom periodu označavaju da se one značajno razlikuju prema LSD testu, $p \leq 0,05$; ns – nije signifikantno.

U grafikonima 31, 32, 33 i 34 prikazan je utjecaj RN na sadržaj **klorofila a i b, ukupnih klorofila i ukupnih karotenoida** u listu koprive uzgajane tehnikom EF.

U VP I, uzgoj biljaka pri RN1 rezultirao je značajno višim sadržajem fotosintetskih pigmenata u listovima koprive (klorofil a = 0,69 mg/g; klorofil b = 0,36 mg/g; ukupni klorofil = 1,04 mg/g i ukupni karotenoidi = 0,24 mg/g) u odnosu na listove biljaka uzgajanih pri RN2.

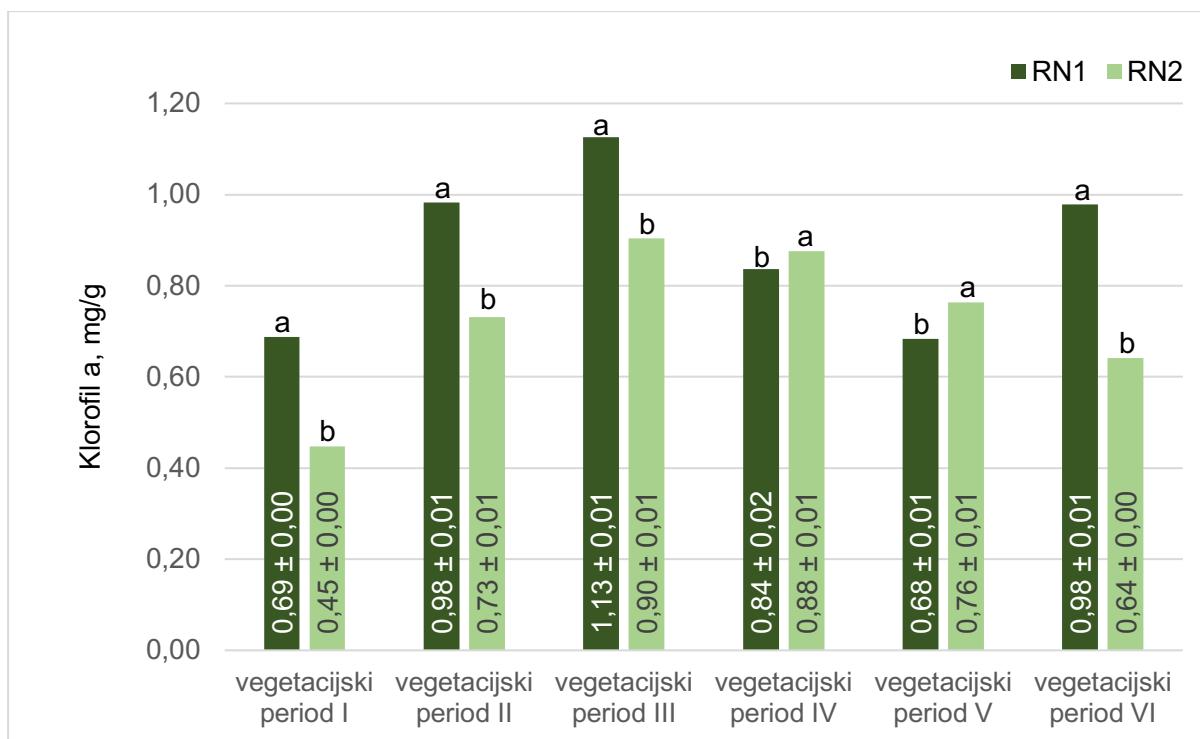
U VP II opravdano viši sadržaj fotosintetskih pigmenata također je utvrđen u uzorcima listova koprive uzgajane pri RN1 i to čak 25 % više vrijednosti za klorofil a, 35 % za klorofil b, 29 % za ukupne klorofile i 4 % za ukupne karotenoide u odnosu na biljke uzgajane pri RN2 (klorofil a = 0,73 mg/g; klorofil b = 0,34 mg/g; ukupni klorofil = 1,07 mg/g; ukupni karotenoidi = 0,25 mg/g).

Tijekom VP III utvrđen je signifikantan utjecaj RN na sadržaj klorofila *a* i *b* te ukupnog klorofila, dok nije zabilježen statistički opravdan utjecaj RN na sadržaj ukupnih karotenoida. U ovom VP, RN2 rezultirao je nižim vrijednostima za klorofil *a* (0,90 mg/g), klorofil *b* (0,39 mg/g) i ukupne klorofile (1,29 mg/g) u listovima koprive u usporedbi s RN1 (klorofil *a* = 1,13 mg/g; klorofil *b* = 0,53 mg/g; ukupni klorofil = 1,66 mg/g).

U VP IV, RN2 je rezultirao statistički opravdano višim vrijednostima za sadržaj klorofila *a* (0,88 mg/g) i ukupnih karotenoida (0,29 mg/g) u odnosu na RN1 (klorofil *a* = 0,84 mg/g; ukupni karotenoidi = 0,26 mg/g). RN2 rezultirao je nižim sadržajem klorofila *b* u listu koprive (0,38 mg/g) u ovom VP pa su tako opravdano više vrijednosti utvrđene u listu koprive uzgajane pri RN1 (0,47 mg/g). Istraživani RN nisu imali signifikantan utjecaj na sadržaj ukupnih klorofila u ovom VP.

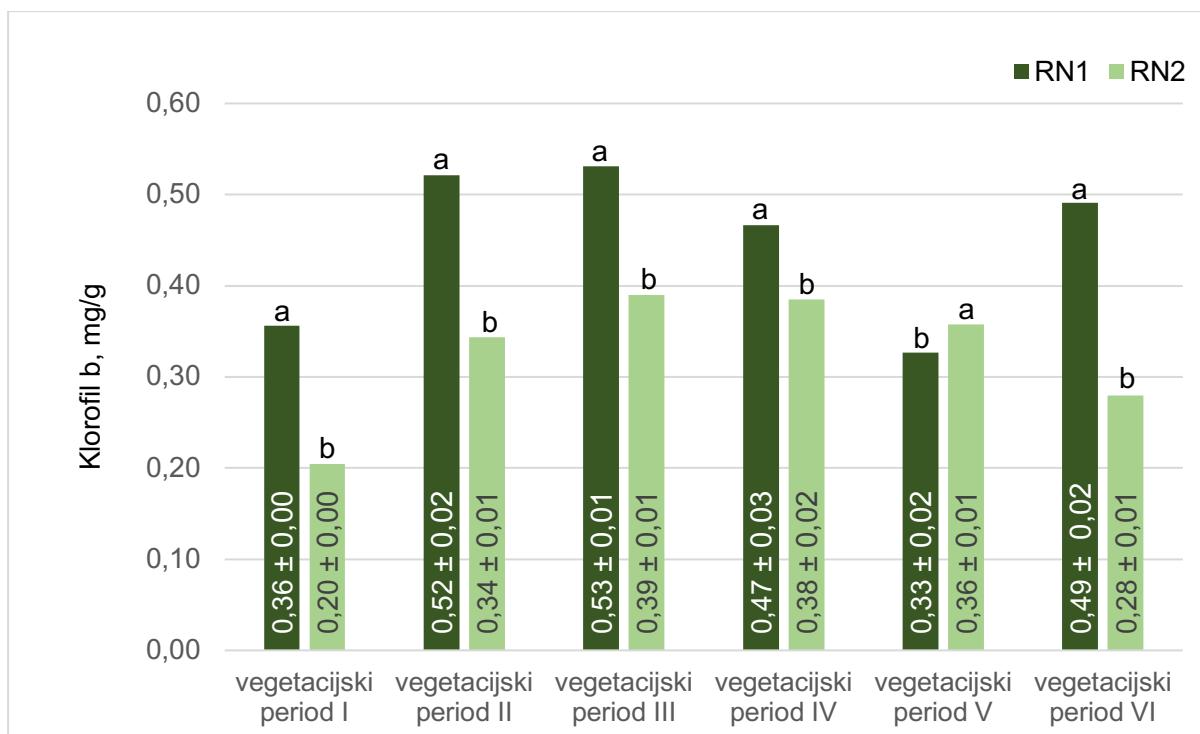
U VP V sadržaj fotosintetskih pigmenata u listu koprive značajno se razlikovao s obzirom na RN kojem su biljke bile izložene. Uzgoj koprive u ovom VP pri RN2 rezultirao je višim vrijednostima svih analiziranih fotosintetskih pigmenata (klorofil *a* = 0,76 mg/g; klorofil *b* = 0,36 mg/g; ukupni klorofil = 1,12 mg/g i ukupni karotenoidi = 0,25 mg/g) u usporedbi s RN1.

Tijekom VP VI utjecaj RN na sadržaj fotosintetskih pigmenata također je bio signifikantan osim u slučaju sadržaja ukupnih karotenoida, prilikom čega nisu utvrđene značajne razlike između RN1 i RN2. Naime, u spomenutom VP značajno viši sadržaj klorofila *a* i *b* te ukupnih klorofila, čak 35, 43 i 37 % utvrđen je u listovima koprive uzgajane pri RN1 u odnosu na RN2 (klorofil *a* = 0,64 mg/g; klorofil *b* = 0,28 mg/g; ukupni klorofil = 0,92 mg/g).



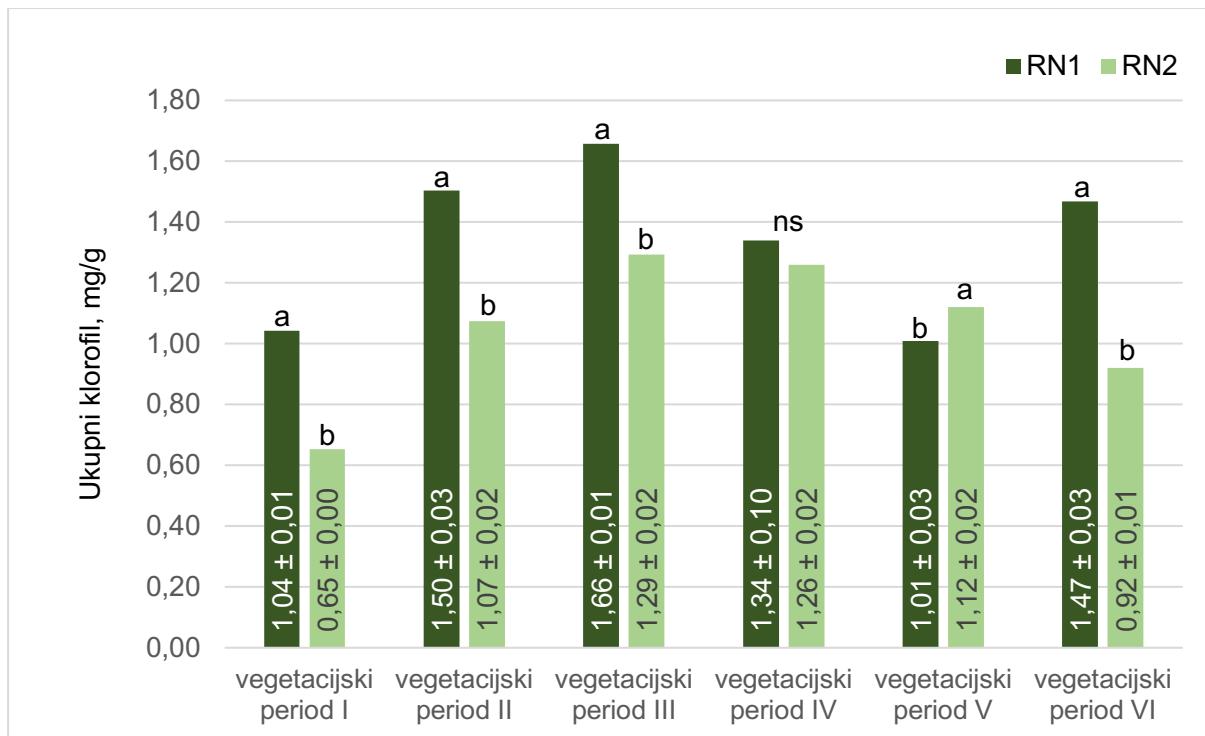
Grafikon 31. Utjecaj RN na sadržaj klorofila a u listu koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

RN – režim navodnjavanja. Različita slova pridodata prosječnim vrijednostima u istom vegetacijskom periodu označavaju da se one značajno razlikuju prema LSD testu, $p \leq 0,05$.



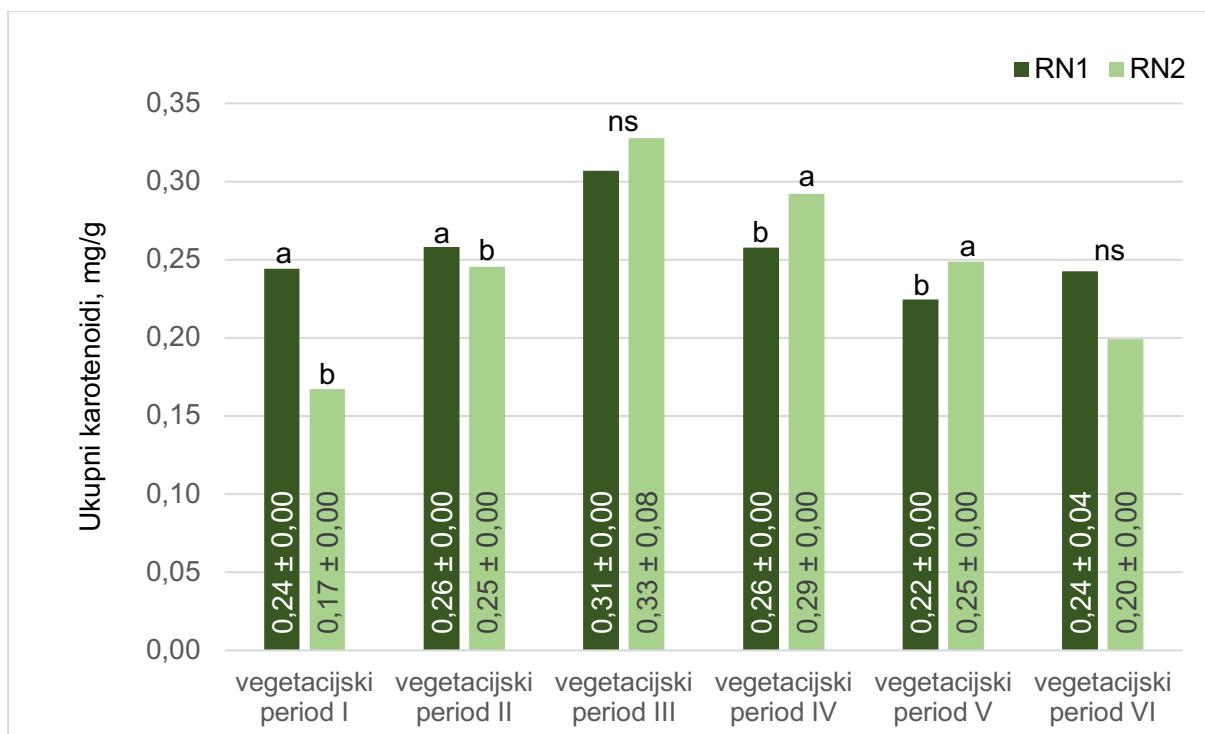
Grafikon 32. Utjecaj RN na sadržaj klorofila b u listu koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

RN – režim navodnjavanja. Različita slova pridodata prosječnim vrijednostima u istom vegetacijskom periodu označavaju da se one značajno razlikuju prema LSD testu, $p \leq 0,05$.



Grafikon 33. Utjecaj RN na sadržaj ukupnih klorofila u listu koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

RN – režim navodnjavanja. Različita slova pridodata prosječnim vrijednostima u istom vegetacijskom periodu označavaju da se one značajno razlikuju prema LSD testu, $p \leq 0,05$; ns – nije signifikantno.



Grafikon 34. Utjecaj RN na sadržaj ukupnih karotenoida u listu koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

RN – režim navodnjavanja. Različita slova pridodata prosječnim vrijednostima u istom vegetacijskom periodu označavaju da se one značajno razlikuju prema LSD testu, $p \leq 0,05$; ns – nije signifikantno.

5.2.4. Antioksidacijski kapacitet listova koprive

Utjecaj RN na **antioksidacijski kapacitet** lista koprive određen ABTS metodom prikazan je u grafikonu 35.

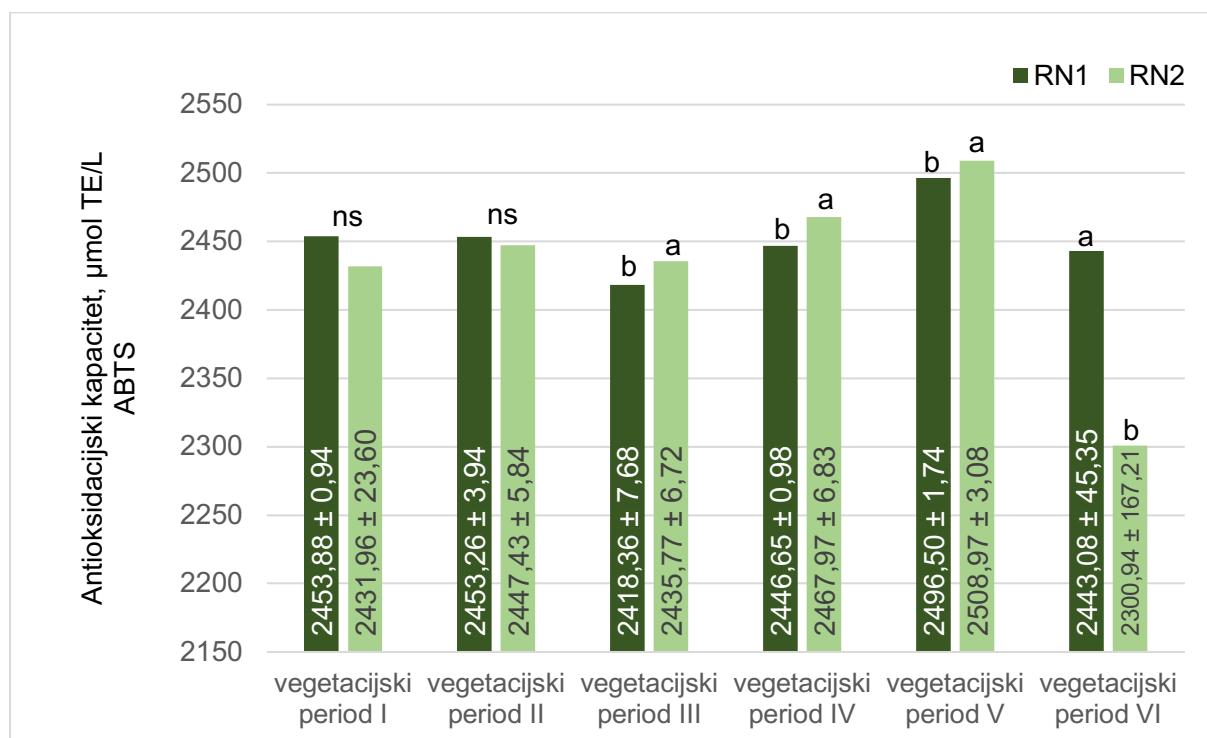
U VP I i II utjecaj proučavanih RN na antioksidacijski kapacitet listova koprive utvrđen ABTS metodom nije bio signifikantan, a prosječne vrijednosti (neovisno o RN) bile su 2442,92 µmol TE/L u VP I i 2450,35 µmol TE/L u VP II (podaci nisu prikazani).

Tijekom VP III značajno najviše vrijednosti ostvarene su u listovima koprive uzgajane pri RN2 (2435,77 µmol TE/L), a antioksidacijski kapacitet listova koprive uzgajane pri RN1 iznosio je 2418,36 µmol TE/L.

U VP IV opravdano niža vrijednost (2446,65 µmol TE/L) izmjerena je u listovima biljaka uzgajanih pri RN1, a statistički opravdano viša vrijednost utvrđena je u listovima koprive uzgajane pri RN2 i iznosila je 2467,97 µmol TE/L.

U VP V značajno viša vrijednost (2508,97 µmol TE/L) antioksidacijskog kapaciteta utvrđena je u listovima biljaka izloženih RN2.

RN2 u VP VI rezultirao je značajno nižim vrijednostima antioksidacijskog kapaciteta (2300,94 µmol TE/L) lista koprive u odnosu na RN1 koji je rezultirao 6 % višom vrijednosti.



Grafikon 35. Utjecaj RN na antioksidacijski kapacitet (ABTS) lista koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

RN - režim navodnjavanja. Različita slova pridodata prosječnim vrijednostima u istom vegetacijskom periodu označavaju da se one značajno razlikuju prema LSD testu, $p \leq 0,05$; ns – nije signifikantno.

Utjecaj RN na antioksidacijski kapacitet određen FRAP metodom u listu koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda prikazan je u grafikonu 36.

Tijekom VP I značajno viši antioksidacijski kapacitet utvrđen je u listu koprive uzgajane pri RN2 ($3912,43 \mu\text{mol TE/L}$) u odnosu na RN1 ($3139,33 \mu\text{mol TE/L}$).

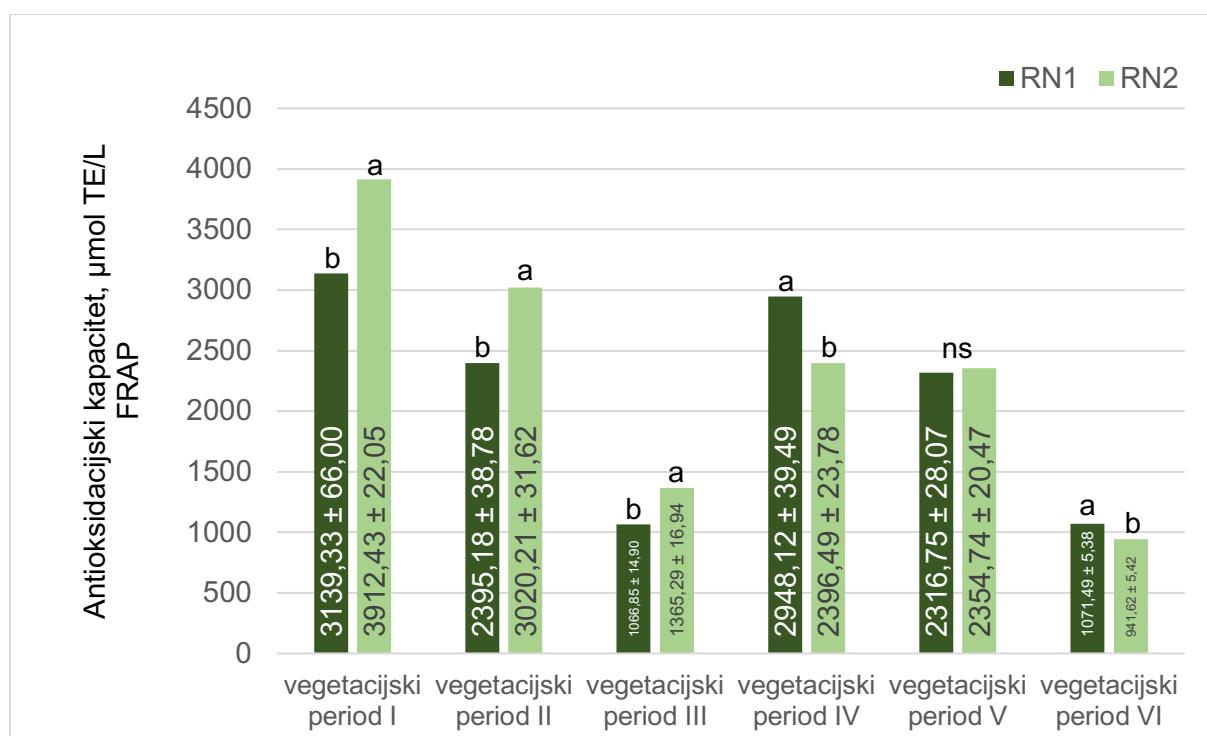
U VP II antioksidacijski kapacitet bio je znatno viši u listovima biljaka uzgajanih pri RN2 ($3020,21 \mu\text{mol TE/L}$), dok je u biljkama uzgajanim pri RN1 utvrđena 21 % niža vrijednost.

Tijekom VP III statistički opravdano viša vrijednost u listu koprive ostvarena je kod uzgoja pri RN2 ($1365,29 \mu\text{mol TE/L}$), a uzgoj koprive pri RN1 rezultirao je antioksidacijskim kapacitetom lista od $1066,85 \mu\text{mol TE/L}$.

Opravdano višim vrijednostima antioksidacijskog kapaciteta u listu koprive tijekom VP IV rezultirao je uzgoj biljaka pri RN1 ($2948,12 \mu\text{mol TE/L}$). U listu koprive uzgajane pri RN2 utvrđen je niži antioksidacijski kapacitet koji je iznosio $2396,49 \mu\text{mol TE/L}$.

U VP V nije utvrđena statistički opravdana razlika između istraživanih RN, a prosječna vrijednost za antioksidacijski kapacitet lista koprive (neovisno o RN) bila je $2335,74 \mu\text{mol TE/L}$.

RN1 u VP VI rezultirao je značajno višim vrijednostima za antioksidacijski kapacitet ($1071,49 \mu\text{mol TE/L}$) u odnosu na RN2 za koji je u listu koprive utvrđena vrijednost od $941,62 \mu\text{mol TE/L}$.



Grafikon 36. Utjecaj RN na antioksidacijski kapacitet (FRAP) lista koprive uzgajane tehnikom EF tijekom 6 vegetacijskih perioda

RN – režim navodnjavanja. Različita slova pridodata prosječnim vrijednostima u istom vegetacijskom periodu označavaju da se one značajno razlikuju prema LSD testu, $p \leq 0,05$; ns – nije signifikantno.

6. RASPRAVA

Brojna znanstvena istraživanja (Chrysargyris i sur., 2017; Radman i sur., 2021; Šic Žlabor i sur., 2021; Zeljković i sur., 2022; Fabek Uher i sur., 2023; Modarelli i sur., 2023) ukazuju na veliki potencijal hidroponskog uzgoja povrtnih vrsta te aromatičnog i ljekovitog bilja u zaštićenim prostorima za dobivanje biljnog materijala odgovarajućih morfoloških svojstava, odnosno visokih prinosa te visoke nutritivne kvalitete biljnog materijala. Pravilnim odabirom, selekcijom i upravljanjem određenim agrotehničkim mjerama tijekom uzgoja može se značajno pozitivno utjecati na prinos, ali i na sadržaj fitokemikalija, odnosno bioaktivnih spojeva čime se poslijedično utječe i na nutritivnu vrijednost takvog biljnog materijala. Stoga, primjena ovih tehnologija ima veliki potencijal u uzgoju koprive, s obzirom na to da istraživanja (Ozola i sur., 2019; Demir i sur., 2020; Grauso i sur., 2020; Radman i sur., 2021) ukazuju na neujednačenost sastava samoniklog materijala.

Ciljevi ovog istraživanja bili su ispitati mogućnosti uzgoja koprive tehnikama FH te EF, kao i istražiti utjecaj sastava HO (pri uzgoju tehnikom FH) i RN (pri uzgoju tehnikom EF) na morfološka svojstva i prinos, količinu ST, nitrata, sadržaj SM te antioksidacijski kapacitet lista koprive. Dodatno, cilj istraživanja bio je identificirati HO i RN koji će rezultirati visokim sadržajem SM i nižim sadržajem nitrata u listu koprive uz optimalni prinos. Statistička analiza pokazala je značajne razlike u promatranih agronomskim i kemijskim svojstvima hidroponski uzgojene koprive u odnosu na istraživane HO (tehnika FH) tijekom tri vegetacijska perioda, kao i u odnosu na režime navodnjavanja (tehnika EF) tijekom šest vegetacijskih perioda.

6.1. Utjecaj sastava HO u FH sustavu na morfološka svojstva i prinos, količinu ST i nitrata, sadržaj SM te antioksidacijski kapacitet koprive

Dvodomna kopriva kao višegodišnja vrsta može narasti do 2,5 m u visinu (Domac, 2002; Grdinić i Kremer, 2009) te će stoga morfološko svojstvo **visina biljke** varirati ovisno o vremenu košnje. Kopriva se ovisno o namjeni može kositи kao lisnato povrće prije cvatnje (25 do 30 cm), zatim u vrijeme cvatnje za potrebe farmaceutske industrije ili u fazi zrelog sjemena za potrebe tekstilne industrije (Radman, 2015). Osim toga, visina biljaka varira ovisno o metodi uzgoja (na tlu ili hidroponski), kao i o tehnološkim faktorima poput gustoće sjetve sjemena te sastava HO (Radman, 2015; Radman i sur., 2021). Prema Javornik (2016) sastav HO u FH sustavu ima značajan utjecaj na visinu biljaka koprive, što je vidljivo i u ovom istraživanju, izuzev u VP III u kojem između testiranih otopina nisu utvrđene statistički značajne razlike u visini biljaka. Isti autor navodi kako je visina biljaka uzgajanih u otopini više EC vrijednosti (3,0 mS/cm) varirala od 20,6 do 28,5 cm tijekom promatranih vegetacijskih

perioda. U ovom istraživanju, tijekom uzgoja koprive tehnikom FH, značajno više vrijednosti za svojstvo visina biljaka ostvarene su u HO4 (otopini s najvišom količinom dušika) u VP I, dok su suprotno tome statistički opravdano više biljke u VP II uzgojene u HO2 (otopini s nižom količinom dušika u sastavu). Prema Radman i sur. (2014) svojstvo visina koprive koja je uzgajana tehnikom FH u otopini više EC vrijednosti ovisila je o gustoći sjetve i vrsti supstrata. U prosjeku su biljke iz navedenog istraživanja bile visoke 13,0 cm (VP I) i 8,6 cm (VP II), što su 32 %, odnosno 77 % niže vrijednosti od onih izmjerениh u VP I i VP II ovog istraživanja. Razlog tome mogu biti abiotički čimbenici zaštićenog prostora tijekom uzgoja. Naime, autori navode visoke temperature (iznad 25 °C) kao razlog bržeg ulaska biljaka koprive u senescenciju, a time i kraćeg vremenskog intervala između košnji zbog čega su kod biljaka utvrđene niže vrijednosti visine. U istraživanju utjecaja različitih biostimulatora na rast koprive (Radman i sur., 2022) nisu utvrđene statistički značajne razlike između kontrolnih varijanti i onih tretiranih biostimulatorima nakon prvog vegetacijskog perioda, a prosječne vrijednosti za svojstvo visina biljaka bile su 47,0 do 57,7 cm što su pak 44 do 55 % više vrijednosti od onih ostvarenih u ovom istraživanju. U istraživanju Radman (2015) visina biljaka koprive uzgajanih na tlu u VP I, ovisno o gnojidbi dušikom, bila je 17,30 do 57,79 cm, dok je u VP II visina biljaka varirala od 24,80 do 46,19 cm.

Broj listova koprive je važna morfološka karakteristika s obzirom da se upravo list koristi kao prehrambena namirnica, a ima i značajan utjecaj na ukupni prinos biljke, budući da biljke s više listova ostvaruju veći prinos (Rajasekar i sur., 2013; Jeon i sur., 2024). Uzgojem koprive u sustavu FH utvrđeno je u prosjeku 11 listova po biljci (tablica 6). Značajno manji broj listova u ovom istraživanju zabilježen je kod biljaka uzgajanih u HO4 (8) tijekom VP II, iako je to bila otopina najviše EC vrijednosti, s više dušika i kalija u sastavu, elemenata važnih za rast biljaka. Temperatura HO4 u VP II dosegla je 26,8 °C, uz prosječnu temperaturu zraka od 24,9 do 30,9 °C i 35 do 51 % RVZ, što je vidljivo iz grafikona 1 i 6. Navedene vrijednosti abiotičkih čimbenika HO i zraka mogli su negativno utjecati na broj listova koprive uzgajane u HO4. Hidroponski uzgoj koprive u HO više EC vrijednosti (3,0 mS/cm) prema istraživanju Radman i sur. (2014) rezultirao je manjim brojem listova u odnosu na provedeno istraživanje u sva 3 VP. Suprotno hidroponskom uzgoju, kod uzgoja koprive na tlu, utvrđen je mnogo veći broj listova, čak za 63 do 89 %. Radman (2015) navodi kako je gnojidba većom količinom dušika (200 kg/ha N) pozitivno utjecala na broj listova koprive, pri čemu su vrijednosti ovisno o VP varirale od 30 do 102, dok je u provedenom istraživanju broj listova ovisno o VP varirao od 8 do 13.

Sabouri i Hassanpour (2015) navode kako ILP znatno utječe na intenzitet fotosinteze i brzinu transpiracije, a time i na ukupni prinos zbog čega je važno tijekom rasta i razvoja biljaka pratiti ovo morfološko svojstvo. Tijekom provedenog istraživanja značajan utjecaj sastava otopine na ILP utvrđen je samo u VP II. Pretpostavka je da će značajno veći ILP biti

u otopini više EC vrijednosti, budući da Taylor (2009) navodi kako je za povećanje ILP potrebna veća količina dušika u HO ili tlu. Suprotno očekivanom, viši ILP zabilježen je kod biljaka koje su uzgajane u otopini niže EC vrijednosti, odnosno nižeg sadržaja dušika (HO2). Navedeno može biti rezultat slabijeg usvajanja dušika iz otopine zbog utjecaja abiotskih čimbenika zraka i HO koji su potencijalno negativno utjecali na rast i razvoj korijenskog sustava, a time i na usvajanje dušika (Benko i sur., 2023). Kod hidroponskog uzgoja tehnikom FH, iskoristivost hraniva iz HO je velika što može objasniti manje vrijednosti ILP kod biljaka koprive uzgajanih u otopinama više EC vrijednosti (HO3 i HO4). Naime, višak hraniva može negativno utjecati na razvoj lista, što dovodi do slabijeg razvoja u usporedbi s biljkama koje rastu u HO s optimalnom količinom hraniva (Gillespie i sur., 2021). U VP I i III nije utvrđen statistički opravdan utjecaj HO na svojstvo ILP, što je sukladno istraživanju Rutto i sur. (2012). U navedenom istraživanju kopriva je uzgajana u lončićima u zaštićenom prostoru tijekom proljetno-ljetnog roka uzgoja i tretirana različitim količinama dušika, pri čemu je također izostao statistički opravdan utjecaj gnojidbe na ovo morfološko svojstvo.

Prinos svih poljoprivrednih kultura uvelike ovisi o količini i dostupnosti hraniva u tlu (Lončarić i sur., 1999), odnosno sastavu HO ako se radi o hidroponskim tehnikama. U sustavu FH tijekom VP I najviši **prinos** ostvaren je, očekivano, uzgojem koprive u otopini s najvišom količinom dušika (HO4), što je u skladu s rezultatima Biesiada i sur. (2009), prema kojima povećana doza dušika (150 kg N/ha) značajno pridonosi prinosu herbe koprive. U preostala 2 vegetacijska perioda (VP II i III) nije uočen isti trend. Prinos koprive uzgajane tehnikom FH u istraživanju Radman i sur. (2021) iznosio je prosječno 0,70 (VP I) i 0,84 kg/m² (VP II), što su niži prinosi od onih ostvarenih u VP I i VP II ovog istraživanja (0,92 i 2,15 kg/m²). Prema Radman (2015), prosječni prinos koprive uzgajane iz presadnica na otvorenom polju na lokaciji Zagreb u VP III iznosio je 0,42 kg/m², dok Radman i sur. (2022) navode 40 % niže prinose u odnosu na ovaj doktorski rad.

HO s manjom količinom dušika u sastavu (HO1) rezultirala je najvišim **kumulativnim prinosom** (VP I + VP II + VP III) tijekom uzgoja koprive tehnikom FH. Navedeno nije u skladu s istraživanjem Radman (2015) prema kojem je gnojdba najvišom količinom dušika rezultirala i najvišim kumulativnim prinosom herbe. U istom istraživanju postignuto je ukupno šest VP, čiji je kumulativni prinos bio niži (24 %) u odnosu na kumulativni prinos nakon tri VP u ovom istraživanju (4,2 kg/m²). Iz grafikona 11 je vidljivo kako je kod sve 4 istraživane otopine više od 50 % ukupnog prinsa (čak 68 % pri uzgoju u HO2) ostvareno tijekom VP II, dok je najmanji udio (13 do 15 %) kumulativnog prinsa ostvaren u VP III. U istraživanju Radman (2015) također je vidljiv trend većeg udjela prinsa iz VP II i nižeg udjela prinsa iz VP III premda su razlike manje u odnosu na ovo istraživanje. Viši udio prinsa iz VP II logičan je s obzirom da se nakon košnje biljke regeneriraju tjeranjem postranih izboja, dok je nizak prinos u VP III vjerojatno rezultat zastoja u rastu uzrokovanog visokim temperaturama u tom razdoblju.

Veća količina **ST** u biljnom materijalu odražava nutritivnu kvalitetu s obzirom da ta vrijednost ukazuje na količinu proteina, ugljikohidrata, vitamina, minerala, specijaliziranih metabolita i drugih tvari. Količina ST može biti pod utjecajem različitih čimbenika kao što su rok uzgoja, dostupnost vode, utjecaj temperatura (Paulauskienė i sur., 2021), zatim dužine dana te količine dušika (Assefa i Debella, 2020). ST se akumulira putem fotosinteze, pri čemu biljke proizvode šećere koji se zatim pretvaraju u različite organske spojeve koji čine i do 95 % suhe mase biljke (Chapin i Eviner, 2014). Prema Paulauskienė i sur. (2021), količina ST samonikle koprive varirala je između 20,5 i 24,4 % ST, ovisno o VP, što je za oko 4 % više od rezultata količine ST lista koprive u VP II, a približno isto rezultatima za list koprive u VP III ovog istraživanja. Biesiada i sur. (2009) navode prosječne vrijednosti ST od 28,34 %, što je nešto više od vrijednosti ST u hidroponskoj koprivi iz ovog istraživanja. Rutto i sur. (2013) pak navode variranje od 11 do 24,9 % ST u svježim listovima koprive uzgajane na otvorenom u proljetnom i jesenskom roku uzgoja. ST listova koprive u šestom VP iz istraživanja Radman i sur. (2015) prosječno je iznosila 23,82 %, što su malo niže vrijednosti od onih ostvarenih u VP III ovog istraživanja.

Kopriva poput drugog zelenog lisnatog povrća ima tendenciju akumulacije **nitrata**, stoga smanjenje njihove razine treba biti važan aspekt proizvodnog procesa (Gonnella i sur., 2004; Nicola i sur., 2006; Luetić i sur., 2023). Prema Uredbi Komisije 2023/915 od 25. travnja 2023. godine (EK, 2023) koja se tiče maksimalnih razina određenih kontaminata u hrani, maksimalna dozvoljena razina nitrata u svježem špinatu iznosi 3500 mg/kg NO₃. Za rigu, maksimalne razine se kreću od 6000 do 7000 mg/kg NO₃, ovisno o roku uzgoja. Vrijednosti nitrata u listu koprive bili su ispod maksimalne dopuštene količine u VP I pri uzgoju u sve četiri istraživane otopine. Nadalje, količina nitrata u listu koprive uzgajane u HO₂ tijekom VP II te u HO₁ i HO₂ tijekom VP III bila je unutar zakonskih granica propisanih za rigu u proljetnom roku uzgoja. Nitrati sami po sebi nisu toksični, međutim, konzumacija povrća bogatog nitratima može biti upitna budući da se ovi spojevi mogu reducirati u nitrite koji mogu blokirati transport kisika i tako imati nežaljene posljedice za ljudski organizam (Ćustić, 1996; Santamaria i sur., 1999; EFSA, 2008). Neka novija istraživanja (Rocha, 2021; Olas, 2024) pak upućuju da nitrati iz povrća pozitivno utječu na liječenje kardiovaskularnih bolesti i usporavaju procese starenja. Unatoč tome, kontrola sadržaja nitrata u biljnoj hrani ključna je kako bi se osigurala njezina sigurnost i nutritivna vrijednost, s obzirom da se oko 80 % nitrata u prehrani unosi u organizam konzumacijom povrća (Brkić i sur., 2017; Luetić i sur., 2023). Akumulacija nitrata u biljkama pod utjecajem je brojnih čimbenika poput RVZ, temperature, dužine dana, količine i formulacije dušičnih gnojiva te dostupnosti drugih hraniva poput fosfora, kalija, kalcija, željeza ili molibdena. Visoke temperature ističu se kao glavni uzrok akumulacije nitrata s obzirom da dovode do povećane transpiracije i posljedično tome viših razina nitrata u biljci (Guffanti i sur., 2022). Naime, zbog povećane transpiracije dolazi do većeg protoka vode unutar biljke, što

znači da se povećava maseno strujanje (mass flow) te više nitrata dospijeva do biljke (Lazarević i Poljak, 2019). Tijekom uzgoja koprive tehnikom FH, temperature HO više od optimalnih u kombinaciji sa sastavom, odnosno količinom dušika u istraživanim otopinama, vjerojatno su bile razlog viših vrijednosti nitrata, pogotovo u VP III. Pojedini autori (Gonnella i sur., 2004; Nicola i sur., 2006; Radman i sur., 2016; Guffanti i sur., 2022) sugeriraju mogućnost smanjenja količine nitrata zamjenom HO vodom nekoliko dana prije košnje ili uranjanjem biljnog materijala u vodu. Osim toga, sadržaj nitrata može se smanjiti i blanširanjem (Wu i sur., 2021), a budući da se listovi koprive najčešće termički obrađuju prije konzumacije, to bi mogao biti način dodatnog smanjenja razine nitrata u ovom tipu biljnog materijala. Razine nitrata u koprivi uzgajanoj na otvorenom polju i tretiranoj različitim količinama dušičnog gnojiva kretale su se od 780 do 2070 mg/kg NO₃ u istraživanju Radman i sur. (2015), dok je Biesiada i sur. (2009) navode još niže vrijednosti.

Spojevi koji imaju važnu ulogu u rastu i razvoju biljaka su među ostalim i vitaminii koji, čak i u vrlo malim količinama, mogu imati izražen učinak na optimalan razvoj biljnog organizma. Konkretno, **AK** ima nekoliko važnih funkcija u bilnjom organizmu uključujući smanjenje diobe stanic, ublažavanje oksidativnog stresa u biljnim stanicama (antioksidativna svojstva), djeluje kao kofaktor za enzime i kao prekursor za sintezu oksalata i tartarata (Gomes i sur., 2014; Naz i sur., 2016; Gaafar i sur., 2020). Glukoza je glavni prekursor sinteze AK u biljnim stanicama, što je pak izravno povezano s primarnim biljnim metabolizmom, odnosno intenzitetom fotosinteze. Akumulacija AK u biljkama može biti i pod utjecajem različitih čimbenika kao što su intenzitet svjetlosti, okolišni stres (visoke ili niske temperature, suša), genotip, tehnike uzgoja, starost i ishrana biljke (Paciolla i sur., 2019). Jedan od ključnih elemenata u svakoj praksi ishrane biljaka je količina dušika, osnovnog biogenog elementa potrebnog za odgovarajući rast i razvoj biljaka. Dušik osim što je ključan čimbenik za izgradnju biljnih stanic, osnovni je element i u procesu fotosinteze s obzirom da je komponenta molekule klorofila. Istovremeno, uslijed previsoke dostupnosti dušika u tlu, akumulacija AK u biljnim tkivima bit će reducirana što sugerira na potrebu balansirane gnojidbe, odnosno kontroliranog unosa dušika prilikom uzgoja biljnih vrsta. Radman i sur. (2015.) navode kako je gnojidba dušikom prilikom uzgoja koprive na otvorenom imala negativan utjecaj na sadržaj AK te su u navedenom istraživanju najviše vrijednosti AK utvrđene pri uzgoju bez dodatnog unošenja dušika (0 kg N/ha), dok je pri gnojidbi najvećom dozom dušika (200 kg N/ha) utvrđen najniži sadržaj AK. U ovom istraživanju, sastav HO, odnosno omjer pojedinih biogenih elemenata u 4 različite HO značajno je utjecao na sadržaj AK, no suprotno očekivanom. Naime, uzgoj koprive u HO viših EC vrijednosti (HO3 i HO4) nije istovjetno rezultirao nižim sadržajem AK, odnosno uzgoj u HO nižih EC vrijednosti (HO1 i HO2) nije uniformno rezultirao i višim AK vrijednostima. U VP I najviše vrijednosti AK ostvarene su uzgojem u HO1 i HO3, a niže vrijednosti u HO2 i HO4. Navedeno se može objasniti utjecajem drugih biogenih

elemenata iz HO na sadržaj SM (u ovom slučaju sadržaj AK) i njihovim sinergističkim učinkom pri čemu nedostatak jednog može utjecati na povećanje količine drugog i obrnuto. Na primjer, sadržaj AK je pozitivno povezan s koncentracijom magnezija i fosfora (Abanto-Rodriguez i sur., 2016) pa je za očekivati kako će HO s višim količinama fosfora i magnezija prilikom uzgoja rezultirati biljnim materijalom viših vrijednostima AK, što se ne poklapa s rezultatima ovog istraživanja. Naime, uzgojem u HO1 i HO3 (niži sadržaj fosfora) u listovima koprive utvrđene su više vrijednosti AK. S obzirom na fenofazu biljke (početna faza rasta u VP I u kojem je utvrđen spomenuti trend) i abiotske čimbenike zaštićenog prostora te HO u različitim VP, efikasnost usvajanja hraniva iz HO mogao bi biti razlog takvoj devijaciji rezultata. Suprotna situacija varijacije vrijednosti AK ovisno o sastavu HO utvrđena je u VP II, prilikom čega su najniže vrijednosti AK utvrđene u HO1 i HO3, odnosno otopinama s nižom količinom fosfora što se pak poklapa s tvrdnjom skupine autora Abanto-Rodriguez i sur. (2016) o pozitivnom utjecaju količine fosfora i magnezija na sadržaja AK. U VP III sukladno očekivanjima, najviša vrijednost AK utvrđena je prilikom uzgoja koprive u HO2, odnosno otopini niže EC vrijednosti (nižim sadržajem dušika i ostalih bioogenih elemenata), što se poklapa s tvrdnjama autora o tome kako prevelika količina dostupnog dušika negativno utječe na sadržaj AK u biljkama. Promatrajući list koprive kao izvor AK, rezultatima ovog istraživanja može se potvrditi kako je uzgojeni biljni materijal vrlo bogat ovim vitaminom. Ne uzimajući u obzir sastav HO kao dominantnog faktora u ovom istraživanju, svi tretmani uzgoja rezultirali su vrlo visokim vrijednostima AK (najviša od 120,10 mg/100 g sv.t., HO3, VP I). Uspoređujući ove podatke s istraživanjima drugih autora može se utvrditi kako se kontroliranim uzgojem u plutajućem hidropunu, uz balansiran unos hraniva, može uzgojiti biljni materijal i višeg sadržaja AK u odnosu na samonikli ili materijal uzgojenom konvencionalnim tehnikama na tlu (Rutto i sur., 2013; Upton, 2013; Dudaš i Benazić, 2014; Radman i sur., 2015; Shonte i sur., 2020; Paulauskienė i sur., 2021). Navedeno može potvrditi učinkovitost ovog načina uzgoja u proizvodnji biljnog materijala visokog sadržaja AK.

Polifenolni spojevi imaju važnu ulogu u zaštiti i reprodukciji biljaka, a isto tako pokazuju mnoge korisne učinke na ljudski organizam zbog čega se smatraju jednom od najvažnijih skupina fitokemikalija iz aspekta ljudskog zdravlja (Razem i sur., 2022). Na polifenolni sastav biljaka utječe mnogo čimbenika poput klime, tla, genetskih karakteristika, fenofaze biljke, roka uzgoja, agrotehničkih mjera (posebice gnojidba) i dr. (Pratyusha i sur., 2022). Iz tog je razloga važno odrediti sadržaj polifenola i identificirati agronomске prakse koje omogućuju povećanje njihovog sadržaja u biljnom tkivu. Svi biogeni elementi kao sastavni dio HO u hidroponskom načinu uzgoja biljaka značajno utječu na sadržaj polifenola djelujući na njihovu biosintezu, akumulaciju i distribuciju u biljnom organizmu (Heimler i sur., 2017; Bustamante i sur., 2020; Ebrahimian i sur., 2021; Vilkyte i Raudone, 2021). Prema Vilkyte i Raudone (2021) te Marlin i sur. (2022) koncentracija i oblik hranivih tvari, a posebice dušika,

odnosno nitratnog oblika (NO_3^-) kao onog kojeg biljka može lakše usvojiti putem HO, značajno utječu na polifenolni profil i sadržaj istih u biljnom tkivu. Biljke pri nedostatku dušika često reagiraju povećanom sintezom i akumulacijom polifenolnih spojeva kao odgovorom obrambenog mehanizma na stres uzrokovani nedostatkom hraniva (Nguyen i Niemeyer, 2008; Fortier i sur., 2010; Stefanelli i sur., 2010; Heimler i sur., 2017). Također, neka istraživanja (Radušienė i sur., 2019.; Marlin i sur., 2022.) ukazuju kako veća dostupnost dušika može usporiti ili potpuno zaustaviti akumulaciju pojedinih polifenolnih spojeva u biljkama. U ovom istraživanju najviši sadržaj ukupnih fenola u VP I utvrđen je u biljkama uzgajanim u HO₃, a u VP II i VP III u HO₂ što ukazuje na značajan utjecaj sastava hranive otopine na akumulaciju polifenolnih spojeva u biljnog materijalu. Naime, u VP I uzgoj koprive u HO više EC vrijednosti, HO₃, rezultirao je i najvišom utvrđenom vrijednosti ukupnih fenola, dok su značajno niže vrijednosti ukupnih fenola utvrđene pri uzgoju u HO₁, odnosno otopini najniže EC vrijednosti. Navedeno je u suprotnosti s istraživanjima koja naglašavaju upravo suprotan učinak dostupnog dušika biljkama. Razlog spomenutoj devijaciji rezultata dobivenih u sklopu ovog istraživanja može biti činjenica kako povećana količina sveukupnih hranivih tvari u otopini (HO₃ u slučaju ovog istraživanja), posebice dušika kao ključnog makro nutrijenta za biljke, uzrokuje umjereni stres. Biljke su na taj stres odgovorile pojačanom sintezom i akumulacijom polifenolnih spojeva kao ključnih nutrijenata sekundarnog metabolizma, odnosno obrambenog odgovara biljaka na stres (Narvekar i Tharayil, 2021). Istovjetan trend uočen je i za prethodno opisano svojstvo, odnosno sadržaj AK koja također poput polifenolnih spojeva pripada u kategoriju SM te je pod snažnim utjecajem abiotskih čimbenika, posebice temperturnih varijacija, ali i količine hraniva (posebice dušika) u HO. No, u VP II i VP III, utjecaj sastava HO imao je suprotan učinak od gore navedenog na sadržaj ukupnih fenola u listu koprive. Naime, u spomenutim VP najviše vrijednosti ukupnih fenola utvrđene su u uzgoju u HO₂, odnosno hranivoj otopini niže EC vrijednosti i općenito niže količine dušika u usporedbi s HO₃ i HO₄. Ovdje je važno istaknuti kako dušik, odnosno njegova dostupnost biljkama, uvjetuje raspodjelu i transport fotosintetskih asimilata između primarnog i sekundarnog metabolizma. Kada je dostupnost dušika veća, biljke imaju tendenciju usmjeriti resurse, posebice proteine i ugljikohidrate, na rast, a manje na sintezu sekundarnih metabolita poput polifenola (Narvekar i Tharayil, 2021). Rezultati sugeriraju kako je upravo balansiran i optimiziran sastav hraniva, odnosno omjer makro- i mikroelemenata neke HO, ključan alat u proizvodnji biljnog materijala visokog sadržaja polifenolnih spojeva. Uspoređujući najviši ostvareni sadržaj ukupnih fenola iz ovog istraživanja (465,92 mg GAE/100 g sv.t., HO₂, VP III) s rezultatima drugih istraživanja (Radman i sur., 2015.), može se utvrditi kako su u ovom istraživanju dobivene značajno niže vrijednosti. Razlog spomenutom leži u činjenici kako je u navedenom istraživanju kopriva uzgojena na otvorenom prilikom čega ključnu ulogu u pojačanom nakupljanju polifenolnih spojeva ima okoliš kao čimbenik stresnih uvjeta. Uspoređujući rezultate sadržaja ukupnih

neflavonoida i flavonoida u listovima hidroponski uzgojene koprive iz ovog istraživanja s rezultatima autora Kapić (2021) te Radman i sur. (2022), utvrđene su značajno niže vrijednosti. Tako su na primjer Radman i sur. (2022) pri uzgoju koprive na otvorenom utvrdili sadržaj ukupnih flavonoida od 376,18 do 433,37 mg GAE/100 g u svježem listu koprive što je više od vrijednosti utvrđenih u ovom istraživanju. Razlog spomenutog odstupanja je porijeklo biljnog materijala, način uzgoja, odnosno abiotski čimbenici i specifične agrotehničke mjere s obzirom kako je u istraživanju Kapić (2021) analiziran sadržaj neflavonoida u samonikloj koprivi, dok su Radman i sur. (2022) istraživali uzgoj koprive konvencionalnom tehnikom uz primjenu biostimulatora. Premda niže, vrijednosti ukupnih neflavonoida i flavonoida utvrđene u biljkama uzgajanim u HO3 tijekom VP I te HO2 tijekom VP II i VP III u ovom istraživanju mogu se smatrati visokim u usporedbi s nekim drugim vrstama zelenog lisnatog povrća uzgajanog u hidroponu (Šic Žlabur i sur., 2021) čime se ponovno list koprive može istaknuti kao vrlo dobar izvor ovih spojeva.

Osim upotrebe biljnih pigmenata kao prehrabrenih i farmaceutskih bojila (Đurović i sur., 2017; Repajić i sur., 2021), istraživanja su pokazala kako konzumacija klorofila i njihovih derivata može imati brojne pozitivne zdravstvene učinke na ljudski organizam i prevenciju bolesti. Zeleno lisnato povrće pa tako i list koprive izvrstan su izvor klorofila, ali i pojedinih karotenoida za koje je dokazan značajan antioksidacijski učinak. Prema različitim autorima (Kukrić i sur., 2012; Kriegel i sur., 2018; Paulauskienė i sur., 2021) na sadržaj **klorofila i karotenoida** u biljkama snažno utječe ekološki čimbenici, posebice temperatura i intenzitet svjetlosti, rok uzgoja i fenofaza biljke, ali i agrotehničke mjere, posebice gnojidba. Snažna interakcija između sadržaja fotosintetskih pigmenata i količine dušika dokazana je u nekoliko istraživanja (Chen i sur., 2018; Botelho i Müller, 2020; Peng i sur., 2021). Dušik je esencijalni sastojak molekule klorofila i ima presudnu ulogu u najvažnijim metaboličkim procesima biljaka, fotosintezi i biosintezi klorofila. Dakle, nedostatak dušika dovodi do smanjenja udjela klorofila i karotenoida zbog smanjene asimilacije CO₂ iz lista (Lin i sur., 2016). S obzirom na navedeno, očekivani su rezultati većeg sadržaja fotosintetskih pigmenta tijekom uzgoja u HO s višim udjelom dušika (otopine HO3 i HO4), no osim u slučaju sadržaja klorofila a u VP III, gdje je uzgoj u HO4 rezultirao najvišim sadržajem ovog pigmenta, ostali rezultati ovog istraživanja nisu u potpunosti u skladu s literaturnim navodima. Naime, razlog odstupanja može biti pojava visokih temperatura tijekom uzgoja u VP III što biljkama može predstavljati ograničenje u usvajanju dostupnog dušika iz HO. U ovom istraživanju zabilježene vrijednosti fotosintetskih pigmenata u listu koprive su u skladu ili nešto niže u odnosu na ostale literaturne podatke (Kukrić i sur., 2012; Kriegel i sur., 2018; Paulauskienė i sur., 2021; Repajić i sur., 2021).

Bioaktivni spojevi biljaka odgovorni su za njihova antioksidacijska svojstva, odnosno često ih nazivamo i antioksidansima s obzirom na biološki aktivna svojstva koja ispoljavaju na staničnoj razini. Antioksidacijski spojevi mogu biti hidrofilnog i lipofilnog karaktera zbog čega

su u ovom istraživanju korištene dvije različite metode za određivanje njihovog **antioksidacijskog kapaciteta**. ABTS metoda pokazuje veću osjetljivost pri detekciji antioksidansa i hidrofilnog i lipofilnog karaktera, dok je FRAP metoda prikladnija za hidrofilne antioksidanse što je vidljivo i iz rezultata koji se međusobno razlikuju s obzirom na korištenu metodu. Antioksidacijski kapacitet izravno je povezan sa sadržajem bioaktivnih spojeva biljne vrste. Polifenolni spojevi, vitamini (posebice AK), fotosintetski pigmenti (klorofili i karotenoidi) pa čak i neki biogeni elementi jedni su od najjačih antioksidansa te je njihov sadržaj ključan za antioksidacijski kapacitet nekog biljnog materijala. Općenito, biljna tkiva s višim sadržajem bioaktivnih spojeva imat će i viši antioksidacijski kapacitet (Jaiswal i Lee, 2022). Kao što je već navedeno na primjeru polifenolnih spojeva, AK i fotosintetskih pigmenata na akumulaciju antioksidansa, a time i na konačni antioksidacijski kapacitet biljaka, mogu utjecati brojni abiotski čimbenici i dostupnost hraniva (Liu i sur., 2016; Weiwei i sur., 2020; Villani i sur., 2023). Prema Weiweiju i sur. (2020), dostupnost dušika ima ključnu ulogu u regulaciji nakupljanja antioksidansa. Podaci o antioksidacijskom kapacitetu iz različitih studija su kontradiktorni pokazujući trend rasta (Ma i sur., 2023) ili pada (Ibrahim i sur., 2013) povećanjem udjela dušika u gnojidbi. Rezultati ovog istraživanja također nisu determinantni pa je tako u VP I uzgoj koprive u HO najniže EC vrijednosti i najmanje količine dušika (HO1) rezultirao najvišim antioksidacijskim kapacitetom prema ABTS metodi. Suprotno, u istom VP prema provedenoj FRAP metodi najviše vrijednosti antioksidacijskog kapaciteta lista koprive utvrđene su prilikom uzgoja u HO više EC vrijednosti i količine dušika (HO3). Istovjetna odstupanja zamjećena su i u VP II i VP III. Razlog ovakve distribucije rezultata može biti u činjenici kako FRAP metoda pokazuje visoku osjetljivost na antioksidanse hidrofilnog karaktera (spojeve topljive u vodi) koji gledajući sastav lista koprive dominiraju, a uključuju AK, polifenole i dr. Promatrajući sadržaj dominantnih bioaktivnih spojeva (AK i ukupnih fenola) u VP I može se uočiti kako su vrijednosti spomenutih bioaktivnih spojeva upravo najviše u listu koprive uzgojene u HO3, a što se poklapa i s najvišom utvrđenom vrijednosti antioksidacijskog kapaciteta prema FRAP metodi. U VP II i VP III ponovno je utvrđena pozitivna povezanost između sadržaja ukupnih polifenolnih spojeva i antioksidacijskog kapaciteta prema FRAP metodi, prilikom čega su najviše vrijednosti antioksidacijskog kapaciteta utvrđene u listovima koprive uzgajane u HO2, što se pak poklapa i s najvišim utvrđenim vrijednostima ukupnih fenola u listovima koprive uzgojene u HO2 tijekom VP II i VP III. Mnogi autori (Biesiada i sur., 2009; Radman i sur., 2015; Repajić i sur., 2021; Marotti i sur., 2022) navode visoke vrijednosti antioksidacijskog kapaciteta u svježem listu koprive neovisno o načinu uzgoja, gnojidbi i vegetacijskom periodu iz čega se može zaključiti kako je kopriva izrazito vrijedan biljni materijal s brojnim potencijalnim funkcionalnim svojstvima, što dokazuju i vrlo visoke vrijednosti antioksidacijskog kapaciteta utvrđenog i u listovima koprive uzgojene FH tehnikom u ovom istraživanju.

6.2. Utjecaj RN u EF sustavu na morfološka svojstva i prinos, količinu ST i nitrata, sadržaj SM i antioksidacijski kapacitet lista koprive

Prioritet poljoprivredne proizvodnje je osigurati dostupnost kvalitetne namirnice uz adekvatan prinos, što može biti izazovno zbog utjecaja različitih abiotskih i biotskih čimbenika, prilikom čega je dostupnost vode jedan od ključnih uvjeta. Voda igra ključnu ulogu u rastu i razvoju biljaka, a u deficitu vode bit će otežan optimalan rast, proces fotosintetize i apsorpcija hranjivih tvari, što će negativno utjecati na njihov prinos i kvalitetu. Međutim, mnoga istraživanja ističu kako umjereni nedostatak vode, odnosno vodni stres može pozitivno utjecati na sadržaj SM u biljnem materijalu. Istovremeno nedostatak vode može negativno utjecati na rast i prinos pa je kontrola i upravljanje kratkotrajnim vodnim stresom od velike važnosti, što se može postići odabirom odgovarajućih tehnika uzgoja (Chia i Lim, 2022; Ahmad i sur., 2023; Kopecká i sur., 2023).

Anjum i sur. (2017) navode kako nedostatak vode uzrokuje promjene u ključnim procesima rasta i razvoja biljaka te među ostalim utječe na **visinu biljke**, promjer stabljike, broj listova, veličinu i površinu lista, količinu suhe tvari i drugo. Prema Chidiac (2017), RN utječe na svojstvo visine biljaka salate, a duži period bez HO negativno utječe na rast, što je u skladu s ovim istraživanjem, gdje su biljke izložene dužem razdoblju bez HO (72 h) bile niže u svim VP, osim u VP IV pri kojem nisu uočene signifikantne razlike između istraživanih RN. Pri usporedbi rezultata za uzgoj koprive tehnikom FH i biljaka uzgajanih tehnikom EF, pri čemu je korištena ista otopina, prosječno više biljke zabilježene su tijekom uzgoja tehnikom EF što je neočekivano. Naime, biljke u FH u konstantnom su kontaktu s HO i ne dolazi do vodnog stresa koji bi uzrokovao zastoj u rastu, no bile su pod utjecajem drugih čimbenika poput visokih temperatura. Kopriva uzgajana tehnikom EF bila je niža u odnosu na biljke uzgajane na tlu u istraživanjima Radman (2015) i Radman i sur. (2022), što je bilo i očekivano s obzirom da su biljke bile izložene RN koji je rezultirao kratkotrajnim stresom.

Mahmood i sur. (2004) utvrdili su da uskraćivanje navodnjavanja do trenutka vidljivog stresa (pad turgora u 2 do 3 donja lista) rezultira manjim brojem **broj listova** kod rige i uljane repice tijekom 6 ciklusa tretiranja. U ovom istraživanju značajno manji broj listova uočen je kod biljaka izloženih RN2 u VP II, VP V i VP VI. U ostalim VP nisu uočene značajne razlike između tretmana, što bi moglo biti posljedica kombinacije temperature i RVZ u zaštićenom prostoru pri kojima nije došlo do vodnog stresa. Prema Ncise i sur. (2020), različiti RN (5, 14 i 21 dan) u hidroponskom uzgoju *Tulbaghia violacea* značajno su utjecali na broj listova, pri čemu je veći broj listova zabilježen pri intervalima u trajanju od 5 i 14 dana u odnosu na 21 dan. Prosječni broj listova koprive primjenom tehnike EF bio je 23 % viši u odnosu na

istraživanje Radman i sur. (2014) u FH sustavu. Uspoređujući dvije hidroponske tehnike (FH i EF) za svojstvo broj listova, u FH sustavu utvrđeno je u prosjeku 11 listova po biljci, a u EF sustavu 13.

Kako navode Mahmood i sur. (2004), ILP, o kojem uvelike ovisi intenzitet fotosinteze i transpiracije, može biti manji u uvjetima vodnog stresa kako bi se biljke prilagodile nedostatku vode s obzirom da smanjenje površine lista može spriječiti gubitak vode transpiracijom. Isti autori su utvrdili najniži ILP kod biljaka rige izloženih najdužem sušnom razdoblju, no bez značajne statističke razlike u odnosu na kontrolu. To je u skladu s ovim istraživanjem u kojem nisu pronađene značajne razlike u vrijednostima ILP pri različitim RN, osim u VP III gdje je značajno viši ILP utvrđen kod biljaka koprive izložene RN1. Prosječni ILP u sustavu EF bio je $30,6 \text{ cm}^2$ i viši je za 40 % od ILP kojeg u svom istraživanju navodi Rutto i sur. (2012). Uzgoj koprive tehnikom EF rezultirao je nešto nižim (4,4 %) ILP u odnosu na biljke uzgajane tehnikom FH u otopini istog sastava.

Na temelju dobivenih rezultata može se zaključiti da produljena nedostupnost HO dovodi do smanjenja **prinosa**, osim u VP IV kada je neočekivano viši prinos ostvaren pri uzgoju biljaka izloženih RN2. Ta anomalija možda je rezultat kombinacije abiotičkih čimbenika zaštićenog prostora i pojave štetnika (gusjenica leptira *Vanessa* sp. i lisnih ušiju) na biljkama izloženim RN1, što je svakako utjecalo na prinos. Mnogi autori (Leskovar i Piccinni, 2005; Najla i sur., 2012; Hasanuzzaman i sur., 2014; Orimoloye, 2022) zabilježili su učinak smanjenja prinosa uzgajanih kultura pod vodnim stresom. U usporedbi s prinosom koprive ostvarenom u drugim istraživanjima (Biesieda i sur., 2009; Radman i sur., 2014; Radman i sur., 2021; Radman i sur., 2022), hidroponski uzgoj tehnikom EF rezultirao je impresivno višim prinosom. Rezultati **kumulativnog prinosa** također su u skladu s literaturnim navodima te potvrđuju kako je RN2 negativno utjecao na prinos. Za razliku od uzgoja koprive tehnikom FH, pri uzgoju tehnikom EF prinos je bio podjednakih vrijednosti kroz sve VP uz iznimku VP IV (RN1) i VP I (RN2) u kojima je prinos bio nešto niži. Ova tehnika također je rezultirala višim prinosom u prva tri VP u odnosu na FH sustav (uzgoj koprive u HO1), i to 1,3 (RN2), odnosno 1,8 (RN1) puta višim prinosom svježe mase koprive.

Od VP I do VP V istraživani RN nisu značajno utjecali na količinu **ST**, dok je u VP VI veća količina ST utvrđena u biljkama koje su bile izložene kraćem intervalu između dva navodnjavanja (RN1). Nedostatak utjecaja RN u VP I – V, a povećano nakupljanje ST u biljkama izloženim RN1 u VP VI može biti posljedica nekoliko razloga. Općenito, na količinu ST utječu različiti čimbenici, uključujući ekološke i agrotehničke (Assefa i Debella, 2022). Vodni stres može imati pozitivan ili negativan učinak na količinu ST u biljnem materijalu, što ovisi o duljini stresnih razdoblja (Soltys-Kalina i sur., 2016). Prosječna veća RVZ u zaštićenom prostoru tijekom pet VP mogla je usporiti transpiraciju, uzrokujući podjednake vrijednosti ST

tijekom oba režima navodnjavanja. Bez obzira na utjecaj ispitivanih RN, dobivena količina ST, izuzev u VP VI, je približno ista vrijednostima za koprivu uzgojenu u plutajućem hidroponomu prema Radman i sur. (2021). Vrijednosti ST utvrđene pri uzgoju na tlu prema Radman i sur. (2016) bile su više od vrijednosti koje su izmjerene u listu koprive pri uzgoju u sustavu EF.

Uz iznimku VP I, više vrijednosti **nitrata** zabilježene su u listu koprive izložene RN1, što je vjerojatno rezultat transpiracije koja je, u uvjetima veće dostupnosti vode, povišena (Guffanti i sur., 2022). U svim VP količina nitrata nije prelazila preporučene maksimalne količine za rigu (EU, 2023), a u VP I (RN1), VP II (RN2), VP IV (oba RN) te VP V (oba RN) vrijednosti su bile niže i od granice propisane za špinat. Utvrđene vrijednosti nitrata u koprivi uzgajanoj tehnikom EF bile su niže od onih utvrđenih u koprivi uzgajanoj tehnikom FH. Kao i u slučaju FH, i kod ove tehnike moglo bi se primijeniti ispiranje vodom nekoliko dana prije berbe u svrhu redukcije količine nitrata u biljnog materijalu (Gonnella i sur., 2004; Nicola i sur., 2006; Radman i sur., 2016; Guffanti i sur., 2022) premda Conversa i sur. (2021) sugeriraju kako je tehnika FH pogodnija za tu strategiju. Isti autori navode više vrijednosti nitrata pri uzgoju salate i endivije tehnikom FH u usporedbi s tehnikom EF, što je sukladno ovom istraživanju gdje su također niže vrijednosti nitrata dobivene uzgojem koprive u sustavu dotjecanja i otjecanja. Premda su količine nitrata u listu koprive utvrđene u sustavu EF bile niže od onih u FH sustavu, one su i dalje su znatno veće od količina nitrata u koprivi uzgajanoj na tlu (Besieda i sur., 2009; Radman, 2015).

Kao što je prikazano i u drugim istraživanjima (Ma i sur., 2011; Najla i sur., 2012; Seminario i sur., 2017; Sarker i Oba, 2018; Orsák i sur., 2020; Dere i sur., 2022) kontrolirani vodni stres koji je postignut uskraćivanjem HO ima značajan utjecaj na sadržaj **AK** u biljkama. Naime, kada su biljke izložene duljim periodima suše, a time i duljim periodima pomanjkanja hraniva, počinju se aktivirati mehanizmi sekundarnog metabolizma producirajući spojeve (obrambene komponente) koji biljku štite od stresnih čimbenika. U pojedinim hidroponskim tehnikama uzgoja upravo je ova konstatacija iskorištena za uspostavljanje sustava uzgoja koji podrazumijeva primjenu strogo kontroliranog i optimiziranog vodnog stresa u svrhu proizvodnje biljnog materijala povećanog sadržaja bioaktivnih spojeva, odnosno većeg nutritivnog sastava (kao što je tehnika dotjecanja i otjecanja, EF). U ovom istraživanju, sadržaj AK u listovima koprive značajno je ovisio o RN, odnosno potencijalnom vodnom stresu. Naime, viši sadržaj AK u listovima koprive ostvaren je upravo u RN2, odnosno kada su biljke u duljem vremenskom periodu bile izložene nedostatku HO, no navedeni trend značajan je bio samo u VP II i VP III, dok se u ostalim VP sadržaj AK nije značajno razlikovao ovisno o RN. Prema dobivenim rezultatima može se utvrditi kako je samo u spomenutim VP postignut kontrolirani vodni stres kojim je proizведен biljni materijal povišenog sadržaja AK. Jedan od razloga mogu biti povišene temperature i ili relativna vlaga zraka zaštićenog prostora i ili pojava oboljenja (pepelnica) te napad štetnika koji su zabilježeni u VP IV - VI. Naime, u

spomenutim VP (IV, V i VI) biljke su se suočile s kombiniranim stresom, uz vodni, bile su izložene temperaturnom stresu i stresu uzrokovanim napadom patogena i štetnika. U takvim uvjetima nemoguće je izolirati pojedinačni čimbenik stresa (sušu, temperaturu, napad patogena) pa je to mogući razlog zašto u listovima koprive u spomenutim VP nije zabilježena razlika u sadržaju AK između RN1 i RN2. Navedeno je posebice izraženo u VP V u kojem su ostvarene najviše vrijednosti AK u listovima koprive. Osim što specifični učinak RN na sadržaj AK može varirati ovisno o biljnoj vrsti, sastavu HO te trajanju i intenzitetu suše, različita biljna tkiva mogu različito reagirati na vodni stres. Promatrajući općenito ostvarene vrijednosti AK u listovima koprive uzgojene tehnikom EF, može se utvrditi kako je ovom tehnikom uzgojen biljni materijal vrlo visokog sadržaja AK u usporedbi s drugim istraživanjima na samonikloj ili koprivi uzgojenoj na tlu (Rutto i sur., 2013; Upton, 2013; Radman i sur., 2015; Shonte i sur., 2020; Garcia i sur., 2021; Paulauskiene ī sur., 2021). Ukoliko usporedimo sadržaj AK u listovima koprive ovisno o primjenjenoj tehnici uzgoja (FH i EF) može se ustvrditi kako su tehnikom EF ostvarene više vrijednosti AK u odnosu na koprivu uzgajanu tehnikom FH.

Specijalizirani metaboliti biljaka, posebice **polifenolni spojevi**, pod značajnim su utjecajem stresnih čimbenika iz okoliša. Naime, primarno, navedeni spojevi temeljni su dio sekundarnog metabolizma biljaka, odgovornog za reakciju obrambenog mehanizma biljaka na stresne uvjete iz okoliša. Prema Hu i sur. (2022) i Pratyusha (2022), stres potiče proizvodnju polifenola u biljkama kao odgovor obrambenog mehanizma na nepovoljne uvjete. Vodni stres (suša) pogotovo može utjecati na sadržaj polifenolnih spojeva u biljkama što sugeriraju Król i sur. (2014), Aninbon i sur. (2016) te Moayedinezhad i sur. (2020), ali također potvrđuju i rezultati ovog istraživanja u kojem je RN2 rezultirao značajno višim vrijednostima ukupnih fenola, neflavonoida u VP I, VP II i VP III i ukupnih flavonoida u VP I i VP II. Suprotno spomenutim istraživanjima, RN1 rezultirao je višim vrijednostima ukupnih fenola i neflavonoida u VP IV, VP V i VP VI te flavonoida u VP IV i VP V u usporedbi s RN2. Naime, biljke su u navedenim VP bile izložene i dodatnom stresu (osim vodnom), uzrokovanim pojavom bolesti (pepelnica) i štetnika (leptiri roda *Vanessa* i lisne uši) kao i visokim temperaturama što je rezultiralo smanjenom akumulacijom polifenolnih spojeva. U takvim uvjetima primarni fokus biljke pomicće se prema preživljavanju što često dovodi do smanjene sinteze SM (Isah, 2019; Rahman i sur., 2023). Upravo ovi rezultati dokazuju kako biljke podvrgнуте ekstremnom stresu imaju smanjenu sposobnost proizvodnje SM. U uvjetima uzgoja tehnikom EF, ključni element proizvodnje biljnog materijala s povećanim sadržajem SM je strogo kontroliran i prilagođen režim navodnjavanja. Rezultati sadržaja ukupnih fenolnih spojeva u listovima koprive uzgajane tehnikom EF iz ovog istraživanja niže su od vrijednosti zabilježenih u listovima koprive uzgajane tehnikom FH, ali i od vrijednosti utvrđenih od drugih autora za kultiviranu koprivu uzgajanu na otvorenom (Biesiada i sur., 2009; Radman i sur., 2015; Radman i sur., 2022). U istraživanjima sadržaja SM samonikle koprive sadržaj ukupnih

fenola uvelike je varirao (Kukrić i sur., 2012; Adhikari i sur., 2016; Stanojević i sur., 2016; Carvalho i sur., 2017; Francišković i sur., 2017; Çolak i sur., 2020), potvrđujući da ekološki čimbenici i stresni uvjeti snažno utječu na fenolni sastav.

Specifični odgovori **fotosintetskih pigmenata** na nedostatak vode mogu varirati ovisno o biljnoj vrsti, intenzitetu i trajanju vodnog stresa te drugim abiotskim čimbenicima (Seleiman i sur., 2021). Niži sadržaj klorofila u listu kod biljaka izloženih vodnom stresu potvrđen je u ranijim istraživanjima (Najla i sur., 2012; Chen i sur., 2016; Zhuang i sur., 2020; Shin i sur., 2021), a isto je utvrđeno rezultatima ovog istraživanja. Općenito, vodni stres značajno utječe na primarni metabolizam biljaka prilikom čega inhibira stopu fotosinteze. Kada biljkama voda postane ograničena, one zatvaraju stome kako bi smanjile gubitak vode kroz transpiraciju, a to također smanjuje dostupnost CO₂ za fotosintezu. Kao rezultat toga, biljke smanjuju sintezu klorofila, jer nije potreban u velikim količinama pri smanjenoj fotosintetskoj aktivnosti, odnosno usporavaju stopu fotosinteze kako bi se zaštitile od nepovoljnih utjecaja iz okoline (Kapoor i sur., 2009; Ghotbi-Ravandi i sur., 2014; Wang i sur., 2018; Li i sur., 2018). Objasnjeni trend utjecaja vodnog stresa na sadržaj fotosintetskih pigmenata potvrđen je rezultatima ovog istraživanja. Naime, sadržaj ukupnih klorofila u listovima koprive uzgojene tehnikom EF bio je značajno niži pri RN2, odnosno kada su biljke bile izložene intenzivnom vodnom stresu. Iznimka navedenog trenda uočena je jedino u VP IV u kojem nisu zabilježene statističke razlike u sadržaju ukupnih klorofila ovisno RN te u VP V u kojem je viši sadržaj ukupnih klorofila utvrđen prilikom uzgoja u RN2. U VP V razlog viših vrijednosti klorofila *a* i *b* te ukupnih klorofila može biti utjecaj abiotskih čimbenika zaštićenog prostora zbog kojih biljke nisu bile u vodnom stresu koji bi utjecao na smanjenje stope fotosinteze, a time i fotosintetskih pigmenata u listu. Karotenoidi su pomoćni pigmenti koji u kombinaciji s klorofilima pomažu u zaštiti biljaka od prekomjerne svjetlosne energije (Hashimoto i sur., 2016). Tijekom vodnog stresa, biljke mogu povećati proizvodnju karotenoida kao obrambeni mehanizam protiv oksidativnog stresa uzrokovanih visokim intenzitetom svjetlosti i ograničenom dostupnošću vode (Sarker i Oba, 2018). Navedeno je u skladu s rezultatima sadržaja karotenoida u VP IV i VP V gdje su više vrijednosti utvrđene u listovima biljaka izloženih RN2, dok u drugim VP to nije bio slučaj. Iako smanjenje udjela klorofila može smanjiti stopu fotosinteze i time ograničiti proizvodnju energije i rast biljke (Lawlor i Tezara, 2009), povećana proizvodnja drugih SM može pomoći u zaštiti biljke od prekomjerne svjetlosti i oksidativnog oštećenja što poboljšava šanse za preživljavanje u uvjetima suše. Vrijednosti za fotosintetske pigmente utvrđene pri uzgoju koprive tehnikom EF bile su više od onih pri uzgoju tehnikom FH. Druga istraživanja sa samoniklom koprivom (Kukrić i sur., 2012; Đurović i sur., 2017; Repajić i sur., 2021) ukazuju na viši sadržaj fotosintetskih pigmenata u takvom biljnem materijalu u usporedbi s vrijednostima zabilježenim u ovom istraživanju.

Antioksidansi su spojevi koji pomažu u zaštiti stanica od oštećenja uzrokovanih slobodnim radikalima (Lobo i sur., 2010; Ahmad i sur., 2023). SM i fotosintetski pigmenti analizirani u ovom istraživanju pripadaju u skupinu antioksidansa, a njihov sadržaj odražava se na sveukupni antioksidacijski kapacitet analiziranog biljnog materijala. Upravo je **antioksidacijski kapacitet** biljaka izloženih vodnom stresu bio predmet različitih istraživanja (You i Chen, 2015; Chen i sur., 2016; Shojaie i sur., 2016; Sarker i Oba, 2018; Kopecká i sur., 2023). Studije pokazuju da vodni stres može dovesti do povećanja proizvodnje reaktivnih kisikovih radikala (ROS) što zauzvrat stimulira antioksidativne obrambene mehanizme biljke. Naime, stres izazvan nedostatkom vode potiče aktivaciju različitih antioksidacijskih enzima u biljkama, koji uklanjuju i transformiraju štetne reaktivne kisikove vrste (eng. reactive oxygen species, ROS) u manje reaktivne ili netoksične oblike. Kao i kod koprive uzgajane tehnikom FH, za određivanje antioksidacijskog kapaciteta u koprivi uzgajanoj tehnikom EF također su korištene ABTS i FRAP metoda s obzirom na činjenicu kako su različite kategorije bioaktivnih spojeva molekule hidrofilnog i lipofilnog karaktera. Utjecaj stresa prilikom uzgoja u RN2 vidljiv je prema rezultatima dobivenim FRAP metodom u VP I i VP II, dok nije uočljiv u slučaju ABTS metode (razlike između testiranih RN nisu bile statistički značajne). U VP III obje su metode detektirale viši antioksidacijski kapacitet u biljkama izloženim RN2. U VP IV rezultati su suprotni s obzirom na korištenu metodu. ABTS metodom utvrđen je utjecaj stresa uzrokovaniog RN2, dok je FRAP metodom viši antioksidacijski kapacitet utvrđen u biljkama izloženim RN1. Rezultati za VP V također nisu sukladni te je ABTS metodom utvrđen utjecaj stresa uzrokovaniog RN2, dok FRAP metodom nisu utvrđene značajne razlike u istraživanim RN. U VP VI vrijednosti antioksidacijskog kapaciteta u slučaju obje metode bile su u skladu s rezultatima za ukupne fenole i neflavonoide te su više vrijednosti utvrđene u biljkama koje su izložene RN1, a razlog čega je vjerojatno već spomenuti ekstremni stres kojem su bile izložene biljke (bolest i pojava štetnika). Potrebno je naglasiti kako su, bez obzira na statističke razlike između RN, tijekom oba tretmana utvrđene visoke vrijednosti antioksidacijskog kapaciteta lista koprive. Dobivene vrijednosti su više od onih utvrđenih pri uzgoju tehnikom FH, a također su više i od vrijednosti utvrđenih ABTS metodom u istraživanju Radman (2015) što ukazuje na to da je list koprive uzgajane tehnikom EF izvrstan izvor antioksidansa.

7. ZAKLJUČCI

Temeljem rezultata istraživanja utjecaja različitih sastava HO (tehnika FH) te režima navodnjavanja (tehnika EF) na agronomске karakteristike i nutritivnu kvalitetu hidroponski uzgojene koprive može se zaključiti sljedeće:

- I. Potvrđena je hipoteza kako su FH i sustav EF prihvatljive tehnike uzgoja koprive uz postizanje adekvatnog prinosa i visoke nutritivne kvalitete svježeg lista.

Istraživanje je pokazalo kako se kopriva može uspješno uzgajati tehnikom FH tijekom minimalno 3 vegetacijska perioda, odnosno tehnikom EF tijekom minimalno 6 vegetacijskih perioda.

Uzgoj koprive tehnikom FH rezultirao je prosječnim kumulativnim prinosom od $3,6 \text{ kg/m}^2$ te visokim sadržajem SM (AK, polifenolnih spojeva i fotosintetskih pigmenata), a time i vrlo visokim antioksidacijskim kapacitetom.

Uzgojem koprive tehnikom EF ostvaren je prosječni kumulativni prinos od čak $38,1 \text{ kg/m}^2$ te su ostvarene još više vrijednosti SM i antioksidacijskog kapaciteta lista koprive u odnosu na tehniku FH.

- II. Potvrđena je hipoteza kako će sastav HO utjecati na morfološka svojstva i sadržaj SM lista koprive.

Uzgoj koprive tehnikom FH u HO₂ (EC=1,7 mS/cm) rezultirao većom količinom ST i sadržajem SM, dok je uzgoj u HO₁ (EC=1,5 mS/cm) rezultirao najvećim prinosom uz najnižu količinu nitrata u svježem listu koprive. Pravilno upravljanje sastavom HO, uz balansirani omjer nutrijenata ključnih za rast i razvoj biljaka u hidroponskom uzgoju, jedna je od najvažnijih mjera u proizvodnji biljnog materijala visokog sadržaja SM i prinosa uz istovremenu kontrolu razine nitrata u listu koprive.

- III. Potvrđena je hipoteza kako će vodni stres utjecati na morfološka svojstva i sadržaj SM lista koprive.

Uzgoj koprive uz RN svakih 48 h rezultirao je višim vrijednostima morfoloških svojstava, kao i većim prinosom tijekom šest vegetacijskih perioda uz iznimku VP V. Uzgoj koprive pri RN svaka 72 h pozitivno je utjecao na povećani sadržaj AK, ukupnih fenola, neflavonoida i flavonoida u VP I, II i III te je rezultirao nižim količinama nitrata u listu koprive u VP II – VI.

Temeljem svega, rezultati ovog istraživanja pružaju temeljit pregled relevantnih podataka i novih informacija o mogućnostima uzgoja koprive suvremenim hidroponskim tehnikama u zaštićenom prostoru. Poseban naglasak je stavljen na sastav HO kao čimbenika ishrane biljaka tijekom uzgoja, kao i na utjecaj kontroliranog vodnog stresa na proizvodnju biljnog materijala adekvatnih morfoloških svojstava i visokog sadržaja SM. Nadalje, istraživanjem je dokazano kako se upravo spomenutim tehnikama može uspješno upravljati u svrhu proizvodnje visoko nutritivno kvalitetne namirnice, lista koprive, visokog antioksidacijskog potencijala, a time i brojnih blagodati za ljudsko zdravlje. Cilj poljoprivredne proizvodnje danas, nije samo postići visoki prinos, već i proizvesti visokokvalitetne namirnice uključujući održive prakse koje smanjuju ekološki otisak i doprinose zaštiti okoliša.

Za hidroponski uzgoj koprive s ciljem postizanja zadovoljavajućeg prinosa svježeg lista visoke nutritivne vrijednosti, a uzevši u obzir održivo gospodarenje resursima pri proizvodnji, može se preporučiti HO1 ($EC = 1,5 \text{ mS/cm}$) uz tehniku dotjecanje i otjecanje te režim navodnjavanja svaka 72 sata.

Rezultati istraživanja ukazuju na mogućnost dalnjih istraživanja sastava HO i utjecaja kontroliranog vodnog stresa na povećanje sadržaja pojedinačnih polifenolnih spojeva koprive, ali i u uzgoju drugih samoniklih biljnih vrsta s ciljem promicanja poljoprivredne bioraznolikosti i poboljšanja sigurnosti u opskrbi hranom.

8. POPIS LITERATURE

1. Abanto-Rodriguez C., Pinedo-Panduro M., Alves-Chagas E., Cardoso-Chagas P., Tadashi-Sakazaki R., Santos de Menezes P. H. (2016). Relation between the mineral nutrients and the Vitamin C content in camu-camu plants (*Myrciria dubia*) cultivated on high soils and flood soils of Ucayali, Peru. *Scientia Agropecuaria* 7 (3): 297–304.
2. Adhikari B. M., Bajracharya A., Shrestha A. K. (2016). Comparison of nutritional properties of Stinging nettle (*Urtica dioica*) flour with wheat and barley flours. *Food Science & Nutrition* 4(1): 119-124.
3. Ahanger M. A., Tomar N. S., Tittal M., Argal S., Agarwal R. (2017). Plant growth under water/salt stress: ROS production; antioxidants and significance of added potassium under such conditions. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 23: 731-744.
4. Ahmad S., Belwal V., Punia S. S., Ram M., Dalip Rajput S. S., Mohamed H. I. (2023). Role of plant secondary metabolites and phytohormones in drought tolerance: a review. *Gesunde Pflanzen* 75(4): 729-746.
5. AlShrouf A. (2017). Hydroponics, aeroponic and aquaponic as compared with conventional farming. *Am. Sci. Res. J. Eng. Technol. Sci* 27(1): 247-255.
6. AlShuwayeb M. H., Al-Khatib A. J. (2013). Molecular and chemical therapeutic features of *Urtica* species. *European scientific journal* 9(24).
7. Aninbon C., Jogloy S., Vorasoot N., Patanothai A., Nuchadomrong S., Senawong T. (2016). Effect of end of season water deficit on phenolic compounds in peanut genotypes with different levels of resistance to drought. *Food chemistry* 196: 123-129.
8. Anjum S. A., Ashraf U., Zohaib A., Tanveer M., Naee, M., Iftikhar Ali I. A., Usman Nazir U. N. (2017). Growth and developmental responses of crop plants under drought stress: a review. *Žemdirbystė (Agriculture)* 104 (3): 267-276.
9. AOAC (2002). Official Methods of Analysis, 17th Edition. Association of Official Analytical Chemist, Washington DC, USA.
10. AOAC (2015). Official Method of Analysis of AOAC International. Association of Official Analytical Chemist, Gaithersburg, Maryland, USA.
11. Assefa A., Debella A. (2020). Review on dry matter production and partitioning as affected by different environmental conditions. *Int. J. Adv. Res. Biol. Sci* 7(3): 37-46.
12. Benko B., Fabek Uher S., Radman S., Opačić N. (2023). Hydroponic Production Systems in Greenhouses. In Climate Smart Greenhouses-Innovations and Impacts. IntechOpen. Dostupno na: <https://www.intechopen.com/chapters/88713> [Pristupljeno 15. travnja 2024.]
13. Benton Jones J. Jr. (2014). Complete Guide for Growing Plants Hydroponically. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
14. Benzie I.F., Strain J.J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Anal. Biochem.* 239: 70–76.
15. Bernaś E., Fiutak G. (2023). The Influence of Pre-Treatment, Preservation Method, and Storage Time on Carotenoid and Chlorophyll Profile in Nettle Juices and its Relation to Colour Changes. *Acta Universitatis Cibiniensis. Series E: Food Technology* 27(2): 199-212.
16. Biesiada A., Wołoszczak E., Sokół-Łętowska A., Kucharska A. Z., Nawirska-Olszańska A. (2009). The effect of nitrogen form and dose on yield, chemical composition and antioxidant activity of stinging nettle (*Urtica dioica* L.). *Herba Pol* 55(3): 84-93.
17. Biesiada A., Kucharsk, A., Sokół-Łętowska A., Kuś A. (2010). Effect of the age of plantation and harvest term on chemical composition and antioxidant avctivity of stinging nettle (*Urtica dioica* L.). *Ecological Chemistry and Engineering. A* 17(9): 1061-1068.
18. Bloem E., Haneklaus S., Kleinwächter M., Paulsen J., Schnug E., Selmar D. (2014). Stress-induced changes of bioactive compounds in *Tropaeolum majus* L. *Industrial Crops and Products* 60: 349-359.
19. Botelho R. V., Müller M. M. L. (2020). Nutrient redistribution in fruit crops: Physiological implications. *Fruit Crops*, Elsevier: 33–46.

20. Brkić D., Bošnir J., Bevardi M., Bošković A. G., Miloš S., Lasić D. (2017). Nitrate in leafy green vegetables and estimated intake. Afr. J. Tradit. Complement. Altern. Medicines 14 (3): 31–41.
21. Bustamante M.Á., Michelozzi M., Barra Caracciolo A., Grenni P., Verbokkem J., Geerdink P. (2020). Effects of soil fertilization on terpenoids and other carbonbased secondary metabolites in *Rosmarinus officinalis* plants: A comparative study. Plants 9: 830.
22. Carvalho A. R., Costa G., Figueirinha A., Liberal J., Prior J. A., Lopes M. C., Batista M. T. (2017). *Urtica* spp.: Phenolic composition, safety, antioxidant and anti-inflammatory activities. Food Research International 99: 485-494.
23. Chapin F.S., Eviner V.T. (2014). Biogeochemical Interactions Governing Terrestrial Net Primary Production. In: Holland HD, Turekian KK, editors. Treatise on Geochemistry (Second Edition). Elsevier, str. 189-216.
24. Chen D.; Wang S.; Cao B.; Cao D.; Leng G.; Li H.; Yin L.; Shan L.; Deng X. (2016). Genotypic Variation in Growth and Physiological Response to Drought Stress and Re-Watering Reveals the Critical Role of Recovery in Drought Adaptation in Maize Seedlings. Front. Plant Sci. 6: 1241.
25. Chen G., Wang L., Fabrice M. R., Tian Y., Qi K., Chen Q. (2018). Physiological and nutritional responses of pear seedlings to nitrate concentrations. Front. Plant Sci. 9.
26. Chia S. Y., Lim M. W. (2022). A critical review on the influence of humidity for plant growth forecasting. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 1257 (1): 012001.
27. Chidiac J. R. (2017). Shallow aggregate ebb-and-flow system for greenhouse lettuce production. Diplomski rad. University of Arkansas, SAD.
28. Chrubasik J. E., Roufogalis B. D., Wagner H., Chrubasik S. A. (2007). A comprehensive review on nettle effect and efficacy profiles, Part I: Herba urticae. Phytomedicine 14(6): 423-435.
29. Chrysargyris A., Nikolaïdou E., Stamatakis A., Tzortzakis N. (2017). Vegetative, physiological, nutritional and antioxidant behavior of spearmint (*Mentha spicata* L.) in response to different nitrogen supply in hydroponics. Journal of applied research on medicinal and aromatic plants 6: 52-61.
30. Çolak S., Çömlekcioglu N., Aygan A. (2020). Investigation of antioxidant and antimicrobial activities of *Urtica dioica* plant extracts. In Proceedings of the 3rd International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences (EurasianBioChem 2020), Ankara, Turkey, str. 19-20.
31. Conversa G., Bonasia A., Lazzizera C., Elia A. (2021). Soilless cultivation system, electrical conductivity of nutrient solution, and growing season on yield and quality of baby-leaf oak-leaf lettuce. Agronomy 11(6): 1220.
32. Cukrov M., Jerončić L., Prelogović L. (2017). Utjecaj Kontroliranog Vodnog Stresa na Sadržaj Bioaktivnih Spojeva u Hidroponskom Uzgoju Rikole (*Eruca sativa* Mill.) i Špinata (*Spinacia oleracea* L.). Rad za Rektorovu nagradu, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet. Zagreb, Hrvatska.
33. Ćustić M. (1996). Djelovanje gnojidbe dušikom na aminokiselinski sastav glavatog radiča. Agronomski fakultet u Zagrebu, Doktorska disertacija, Zagreb.
34. Datta S., Hamim I., Jaiswal D. K., Sungthong R. (2023). Sustainable agriculture. BMC Plant Biology 23(1): 588.
35. De Abreu I. N., Mazzafera P. (2005). Effect of water and temperature stress on the content of active constituents of *Hypericum brasiliense* Choisy. Plant Physiology and Biochemistry 43(3): 241-248.
36. De Vico G., Guida V., Carella F. (2018). *Urtica dioica* (Stinging Nettle): A neglected plant with emerging growth promoter/immunostimulant properties for farmed fish. Frontiers in physiology 9: 360830.
37. Demir E., Turfan N., Özer H., Üstün N. S., Pekşen A. (2020). Nutrient and bioactive substance contents of edible plants grown naturally in Salıpazarı (Samsun). Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus 19(1): 151-160.
38. Dere S.; Kusvuran S.; Dasgan H.Y. (2022). Does drought increase the antioxidant nutrient capacity of tomatoes? Int. J. Food Sci. Technol. 57: 6633–6645.

39. Di Venere D., Gatto M. A., Ippolito A., Bianco V. V. (2016). Antimicrobial potential of wild edible herbaceous species. Mediterranean Wild Edible Plants: Ethnobotany and Food Composition Tables: 233-252.
40. Di Virgilio N., Papazoglou E. G., Jankauskiene Z., Di Lonardo S., Praczyk, M., Wielgusz K. (2015). The potential of stinging nettle (*Urtica dioica* L.) as a crop with multiple uses. Industrial Crops and Products 68: 42-49.
41. Dogan A., Dönmez F., Battal A. (2022). *Urtica dioica* L. In Novel Drug Targets With Traditional Herbal Medicines: Scientific and Clinical Evidence. Cham: Springer International Publishing: str. 553-563.
42. Domac R. (2002). Flora Hrvatske, Školska knjiga, Zagreb
43. Dudaš S., Benazić D. (2014). Mogućnosti uzgoja koprive (*Urtica dioica* L.). Zbornik radova 49. hrvatskog i 9. međunarodnog simpozija agronoma, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, 16.-21.02.2014., Dubrovnik, Hrvatska, str. 301-304.
44. Đurović S., Pavlić B., Šorgić S., Popov S., Savić S., Petronijević M., Zeković Z. (2017). Chemical composition of stinging nettle leaves obtained by different analytical approaches. Journal of Functional Foods 32: 18-26.
45. Đurović S., Zeković Z., Šorgić S., Popov S., Vujanović M., Radojković M. (2018). Fatty acid profile of stinging nettle leaves: application of modern analytical procedures for sample preparation and analysis. Analytical methods 10(9): 1080-1087.
46. Đurović S., Kojić I., Radić D., Smyatskaya Y. A., Bazarnova J. G., Filip S., Tosti T. (2024). Chemical Constituents of Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.): A Comprehensive Review on Phenolic and Polyphenolic Compounds and Their Bioactivity. International Journal of Molecular Sciences 25(6): 3430.
47. Ebrahimian S., Pirzad A., Jalilian J., Rahimi A. (2021). The Effect of Micronutrients Supplementation (Fe, Zn, B, and Mn) on Antioxidant Activity of Milk Thistle (*Silybum marianum* L.) under Rainfed Condition. J. Medicinal Plants Byproducts 1: 43–50.
48. EC, European Commission (2023). Commission Regulation (EU) 2023/915 of 25 April 2023 on maximum levels for certain contaminants in food and repealing Regulation (EC) No 1881/2006. Off. J. Eur. Union 119, str. 103–157.
49. EFSA (2008). Opinion of the scientific panel on contaminants in the food chain on a request from the European commission to perform a scientific risk assessment on nitrate in vegetables. The EFSA Journal 689: 1-79.
50. Erken O.; Oztokat Kuzucu C.; Cakir R. (2013). Impact of different water supply levels on yield and biochemical ingredients in broccoli. Bulg. J. Agric. Sci. 19: 1009–1017.
51. Fabek S. (2012). Vrijednost brokule (*Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck.) kao funkcionalne hrane ovisna o sorti, roku uzgoja i gnojidbi dušikom. Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Doktorska disertacija, Zagreb.
52. Fernández J. A., Orsini F., Baeza E., Oztekin G. B., Muñoz P., Contreras J. (2018). Current trends in protected cultivation in Mediterranean climates. Eur. J. Hortic. Sci. 83 (5): 294–305.
53. Fortier E., Desjardins Y., Tremblay N., Bélec C., Côté M. (2010). Influence of irrigation and nitrogen fertilization on broccoli polyphenolics concentration. Acta Hortic. 856: 55–62.
54. Francišković M., Gonzalez-Pérez R., Orćić D., Sanchez de Medina F., Martínez-Augusti, O., Svirčev E., Mimica-Dukić N. (2017). Chemical Composition and Immuno-Modulatory Effects of *Urtica dioica* L.(Stinging Nettle) Extracts. Phytotherapy research 31(8): 1183-1191.
55. Fresno D. H., Solé-Corbatón H., Munné-Bosch S. (2023). Water stress protection by the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizoglomus irregularare* involves physiological and hormonal responses in an organ-specific manner. Physiologia Plantarum 175(1): e13854.
56. Gaafar A. A., Ali S. I., El-Shawadfy M. A., Salama Z. A., Sèkara A., Ulrichs C. (2020). Ascorbic acid induces the increase of 2ndary metabolites, antioxidant activity, growth, and productivity of the common bean under water stress conditions. Plants 9 (5): 627.
57. García L. M., Ceccanti C., Negro C., De Bellis L., Incrocci L., Pardossi A., Guidi L. (2021). Effect of drying methods on phenolic compounds and antioxidant activity of *Urtica dioica* L. leaves. Horticulturae 7(1): 10.

58. Ghotbi-Ravandi A.A., Shahbazi M., Shariati M., Mulo P. (2014). Effects of Mild and Severe Drought Stress on Photosynthetic Efficiency in Tolerant and Susceptible Barley (*Hordeum vulgare L.*) Genotypes. *J. Agron. Crop Sci.* 200: 403–415.
59. Gillespie D. P., Papio G., Kubota C. (2021). High nutrient concentrations of hydroponic solution can improve growth and nutrient uptake of spinach (*Spinacia oleracea L.*) grown in acidic nutrient solution. *HortScience* 56(6): 687-694.
60. Glavaš M. (2019). Enciklopedija domaćeg ljekovitog bilja. Ceres. Zagreb.
61. Gomes M. P., Smedbol É., Carneiro M. M. L. C., Garcia Q. S., Juneau P. (2014). Reactive oxygen species and plant hormones. *Oxid. damage to Plants*: str. 65–88.
62. Gonnella M., Serio F., Conversa G., Santamaria P. (2004). Production and nitrate content in lamb's lettuce grown in floating system. *Acta Hortic.* 644: 61–68.
63. Grauso L., de Falco B., Lanzotti V., Motti R. (2020). Stinging nettle, *Urtica dioica L.*: Botanical, phytochemical and pharmacological overview. *Phytochemistry Reviews* 19: 1341-1377.
64. Grdinić V., Kremer D. (2009). Ljekovito bilje i ljekovite droge: farmakoterapijski, botanički i farmaceutski pripravci, Hrvatska ljekarnička komora, Zagreb.
65. Grevsen K., Fretté X., Christensen L. P. (2008). Concentration and composition of flavonol glycosides and phenolic acids in aerial parts of stinging nettle (*Urtica dioica L.*) are affected by high nitrogen fertilization and by harvest time. *European Journal of Horticultural Science* 73(1): 20-27.
66. Guffanti D., Cocetta G., Franchetti B. M., Ferrante A. (2022). The effect of flushing on the nitrate content and postharvest quality of lettuce (*Lactuca sativa L. var. acephala*) and rocket (*Eruca sativa mill.*) grown in a vertical farm. *Horticulturae* 8(7): 604.
67. Guil-Guerrero J.L.; Torija-Isasa M.E. (2016). Fatty acid profiles of Mediterranean wild edible plants. In *Mediterranean Wild Edible Plants*, 1st ed.; Sánchez-Mata, M.C., Tardío, J., Eds.; Springer: New York, NY, USA, str. 173–186.
68. Gül S., Demirci B., Başer K. H. C., Akpulat H. A., Aksu P. (2012). Chemical composition and in vitro cytotoxic, genotoxic effects of essential oil from *Urtica dioica L.* *Bulletin of environmental contamination and toxicology* 88: 666-671.
69. Gürçin I., Küfrevoğlu Ö. İ., Oktay M., Büyükkokuroğlu M. E. (2004). Antioxidant, antimicrobial, antiulcer and analgesic activities of nettle (*Urtica dioica L.*). *Journal of ethnopharmacology* 90(2-3): 205-215.
70. Hasanuzzaman M., Bhuyan M. B., Zulfiqar F., Raza A., Mohsin S. M., Mahmud J. A. (2020). Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of a universal defense regulator. *Antioxidants* 9 (8): 681.
71. Hashimoto H., Uragami C., Cogdell R.J. (2016). Carotenoids and Photosynthesis. *Subcell Biochem.* 79: 111–139.
72. Hayden A. L. (2006). Aeroponic and hydroponic systems for medicinal herb, rhizome, and root crops. *HortScience* 41(3): 536-538.
73. Heimler D., Romani A., Ieri F. (2017). Plant polyphenol content, soil fertilization and agricultural management: a review. *Eur. Food Res. Technol.* 2: 1107–1115.
74. Holm G. (1954). Chlorophyll mutations in barley. *Acta Agric. Scand.* 4: 457–471.
75. Hu W., Guan Y., Feng K. (2022). Biosynthesis of phenolic compounds and antioxidant activity in fresh-cut fruits and vegetables. *Front. Microbiol.* 13.
76. Ibrahim M. H., Jaafar H. Z. E., Karimi E., Ghasemzadeh A. (2013). Impact of organic and inorganic fertilizers application on the phytochemical and antioxidant activity of Kacip Fatimah (*Labisia pumila* Benth.). *Molecules* 18: 10973–10988.
77. Isah T. (2019). Stress and defense responses in plant secondary metabolites production. *Biological research* 52.
78. Jaiswal V., Lee H. J. (2022). Antioxidant activity of *Urtica dioica*: An important property contributing to multiple biological activities. *Antioxidants* 11(12): 2494.
79. Janni M., Maestri E., Gullì M., Marmiroli M., Marmiroli N. (2024). Plant responses to climate change, how global warming may impact on food security: a critical review. *Frontiers in Plant Science* 14: 1297569.

80. Javornik M. (2016). Utjecaj sastava hranjive otopine i gustoće sjetve na komponente prinosa hidroponski uzgojene koprive. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zagreb, Hrvatska.
81. Jeon Y. J., Kang Y. G., Eun J. A., Oh T. K. (2024). Yield, functional properties and nutritional compositions of leafy vegetables with dehydrated food waste and spent coffee grounds. *Applied Biological Chemistry* 67(1): 22.
82. Joshi B. C., Mukhija M., Kalia A. N. (2014). Pharmacognostical review of *Urtica dioica* L. *International Journal of Green Pharmacy (IJGP)* 8(4).
83. Kapić N. (2021). Funkcionalna svojstva, sadržaj fitokemikalija i antioksidacijski kapacitet samoniklih jestivih vrsta s lokacije Mosor. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zagreb, Hrvatska.
84. Kapoor D., Bhardwaj S., Landi M., Sharma A., Ramakrishnan M., Sharma A. (2020). The Impact of Drought in Plant Metabolism: How to Exploit Tolerance Mechanisms to Increase Crop Production. *Appl. Sci.* 10: 5692.
85. Kopecká R., Kameniarová M., Černý M., Brzobohatý B., Novák J. (2023). Abiotic stress in crop production. *International Journal of Molecular Sciences* 24(7): 6603.
86. Kregiel D., Pawlikowska E., Antolak H. (2018). *Urtica* spp.: Ordinary plants with extraordinary properties. *Molecules* 23(7): 1664.
87. Król A., Amarowicz R., Weidner S. (2014). Changes in the composition of phenolic compounds and antioxidant properties of grapevine roots and leaves (*Vitis vinifera* L.) under continuous of long-term drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum* 36: 1491-1499.
88. Kukrić Z. Z., Topalić-Trivunović L. N., Kukavica B. M., Matoš S. B., Pavičić S. S., Boroja M. M., Savić A. V. (2012). Characterization of antioxidant and antimicrobial activities of nettle leaves (*Urtica dioica* L.). *Acta periodica technologica* (43): 257-272.
89. Kuštrak D. (2005). Farmakognozija i fitofarmacija. Golden marketing - Tehnička knjiga, Zagreb
90. Lazarević B., Poljak M. (2019). Fiziologija bilja. Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zagreb, Hrvatska. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:366622> [Pristupljeno 13. svibnja 2024.]
91. Lawlor D.W.; Tezara W. (2009). Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: A critical evaluation of mechanisms and integration of processes. *Ann. Bot.* 103: 561–579.
92. Leskovar D. I., Piccinni G. (2005). Yield and leaf quality of processing spinach under deficit irrigation. *HortScience* 40(6): 1868-1870.
93. Li Y., He N., Hou J., Xu L., Liu C., Zhang J., Wang Q., Zhang X., Wu X. (2018). Factors Influencing Leaf Chlorophyll Content in Natural Forests at the Biome Scale. *Front. Ecol. Evol.* 6.
94. Lin Z. H., Zhong Q. S., Chen C. S., Ruan Q. C., Chen Z. H., You X. M. (2016). Carbon dioxide assimilation and photosynthetic electron transport of tea leaves under nitrogen deficiency. *Botanical Stud.* 57: 1–12.
95. Liu W., Yin D., Li N., Hou X., Wang D., Li D. (2016). Influence of environmental factors on the active substance production and antioxidant activity in *Potentilla fruticosa* L. and its quality assessment. *Sci. Rep.* 6: 28591
96. Lobo V.; Patil A.; Phatak A.; Chandra N. (2010). Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacogn. Rev.* 4: 118–126.
97. Lončarić Z., Teklić T., Bertić B., Jug D., Vidović I. (1999). Koncentracija hraniva u kupusnjačama i njihovo iznošenje. *Poljoprivreda* 5(2): 47-51.
98. Lorenz O. A., Maynard D. N. (1988). Knott's Handbook for Vegetable Growers. John Wiley Sons, New York, SAD.
99. Luetić S., Knezović Z., Jurčić K., Majić Z., Tripković K., Sutlović D. (2023). Leafy vegetable nitrite and nitrate content: potential health effects. *Foods* 12(8): 1655.
100. Ma Y., Zhang S., Feng D., Duan N., Ron, L., Wu Z. (2023). Effect of different doses of nitrogen fertilization on bioactive compounds and antioxidant activity of brown rice. *Front. Nutr.* 10.

101. Maggini R., Kiferle C., Pardossi A. (2014). Hydroponic production of medicinal plants. *Medicinal Plants: Antioxidant Properties, Traditional Uses and Conservation Strategies*: 91-116.
102. Mahmood S., Hussain A., Tabassum Z., Kanwal F. (2004). Comparative performance of *Brassica napus* and *Eruca sativa* under water deficit conditions: An assessment of selection criteria. *J. Res. Sci.* 14(4): 439-446.
103. Marlin M., Simarmata M., Salamah U., Nurcholis W. (2022). Effect of nitrogen and potassium application on growth, total phenolic, flavonoid contents, and antioxidant activity of *Eleutherine palmifolia*. *AIMS Agric. Food* 7 (3): 580–593.
104. Marotti I., Frassineti E., Trebbi G., Alpi M., D'Amen E., Dinelli G. (2022). Health-promoting phytochemicals of stinging nettle (*Urtica dioica* L.) grown under organic farming in Italian environments. *Industrial Crops and Products* 182: 114903.
105. Marschner P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, 3rd ed.; Academic Press Elsevier: London, UK.
106. Massa D., Magán J. J., Montesano F. F., Tzortzakis N. (2020). Minimizing water and nutrient losses from soilless cropping in southern Europe. *Agricultural water management* 241: 106395.
107. Miller N. J., Diplock A. T., Rice-Evans C., Davies M. J., Gopinathan V., Milner A. (1993). A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates. *Clin. Sci.* 84: 407–412.
108. Moayedinezhad A, Mohammadparast B, Hosseini Salekdeh G, Mohsenifard E, Nejatian M A. (2020). Effects of drought stress on total phenolics, phenolic acids, polyamines and some organic acids in two important Iranian grapevine cultivars. *Plant Process and Function* 8 (34): 19-26
109. Modarelli G. C., Vanacore L., Rouphael Y., Langellotti A. L., Masi P., De Pascale S., Cirillo C. (2023). Hydroponic and aquaponic floating raft systems elicit differential growth and quality responses to consecutive cuts of basil crop. *Plants* 12(6): 1355.
110. Modarresi-Chahardehi A., Ibrahim D., Fariza-Sulaiman S., Mousavi L. (2012). Screening antimicrobial activity of various extracts of *Urtica dioica*. *Revista de biología tropical* 60(4): 1567-1576.
111. Mueen A. K. K., Subramani P. (2014.). *Urtica dioica* L. (Urticaceae): A stinging nettle. *Systentific Review in Pharmacy* 5(1): 6.
112. Narvekar A. S., Tharayil N. (2021). Nitrogen fertilization influences the quantity, composition, and tissue association of foliar phenolics in strawberries. *Frontiers in Plant Science* 12: 613839.
113. Naz H. I. R. A., Akram N. A., Ashraf M. (2016). Impact of ascorbic acid on growth and some physiological attributes of cucumber (*Cucumis sativus*) plants under water-deficit conditions. *Pak J. Bot.* 48 (3): 877–883.
114. Najla S., Sanoubar R., Murshed R. (2012). Morphological and biochemical changes in two parsley varieties upon water stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 18: 133-139.
115. Ncise W., Daniels C. W., Nchu F. (2020). Effects of light intensities and varying watering intervals on growth, tissue nutrient content and antifungal activity of hydroponic cultivated *Tulbaghia violacea* L. under greenhouse conditions. *Heliyon* 6(5).
116. Nguyen P. M., Niemeyer E. D. (2008). Effects of nitrogen fertilization on the phenolic composition and antioxidant properties of basil (*Ocimum basilicum* L.). *J. Agric. Food Chem.* 56 (18): 8685–8691.
117. Nicola S., Hoeberechts J., Fontana E. (2006). Ebb -and- flow and floating systems to grow leafy vegetables: A review for rocket, corn salad, garden cress and purslane. *Acta Hortic.* 747: 585–593.
118. Obranović M., Balbino S., Repajić M., Robić K., Ritoša E., Dragović-Uzelac V. (2023). Wild nettle (*Urtica dioica* L.) root: Composition of phytosterols and pentacyclic triterpenes upon habitat diversity. *Food chemistry advances* 2: 100262.
119. Olas B. (2024). The Cardioprotective Role of Nitrate-Rich Vegetables. *Foods* 13(5): 691.

120. Orimoloye I. R. (2022). Agricultural drought and its potential impacts: enabling decision-support for food security in vulnerable regions. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 6: 838824.
121. Ors S., Suarez D. L. (2017). Spinach biomass yield and physiological response to interactive salinity and water stress. *Agricultural water management* 190: 31-41.
122. Orsák M., Kotikova Z., Hnilička F., Lachman J., Stanović R. (2020). Effect of drought and waterlogging on hydrophilic antioxidants and their activity in potato tubers. *Plant Soil Environ.* 66: 128–134.
123. Otles S., Yalcin B. (2012). Phenolic compounds analysis of root, stalk, and leaves of nettle. *Sci. World J.*: 564367.
124. Ough C. S., Amerine M. A. (1988). Methods for analysis of musts and wines. 2nd edition, John Wiley & Sons, New York, NY, USA.
125. Ozol, B., Augspole I., Duma M. (2019). Pigments content in different processed edible wild plants. Conference Proceedings. FOODBALT 2019. 13th Baltic Conference on Food Science and Technology "FOOD, NUTRITION, WELL-BEING", 2 - 3 May 2019, Jelgava, Latvia, str. 204-209.
126. Paciolla C., Fortunato S., Dipierro N., Paradiso A., De Leonardis S., Mastropasqua L., de Pinto M.C. (2019). Vitamin C in Plants: From Functions to Biofortification. *Antioxidants* 8: 519.
127. Pagliarulo C. L., Hayden A. L., Giacomelli G. A. (2004). Potential for greenhouse aeroponic cultivation of *Urtica dioica*. *Acta Horticulturae* 659: str. 61-66.
128. Paulauskienė A., Tarasevičienė Ž., Laukagalė V. (2021). Influence of harvesting time on the chemical composition of wild stinging nettle (*Urtica dioica* L.). *Plants* 10(4): 686.
129. Peng J., Feng Y., Wang X., Li J., Xu G., Phonenasay S. (2021). Effects of nitrogen application rate on the photosynthetic pigment, leaf fluorescence characteristics, and yield of indica hybrid rice and their interrelations. *Sci. Rep.* 11 (1): 7485.
130. Petrović J. V., Alagić S. Č., Tošić S. B., Šteharnik M. M., Bugarin M. M., Stevanović Z. O. (2019). The content of heavy metals in the aerial parts of the common nettle and sun spurge from Oštrelj (municipality of Bor): A contribution to the examinations of plant biomonitoring and phytoremediation potentials. *Zaštita Mater.* 60: 105–111.
131. Pratyusha S. (2022). Phenolic compounds in the plant development and defense: an overview. *Plant stress physiology-perspectives in agriculture*, 125-140.
132. Putra P. A., Yuliando H. (2015). Soilless culture system to support water use efficiency and product quality: A review. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 3: 283-288.
133. Radman S., Fabek S., Žutić I., Benko B., Toth N. (2014). Stinging nettle cultivation in floating hydropon. *Contemp. Agric.* 63(3): 215-223.
134. Radman S. (2015). Influence of Nitrogen Fertilization and Cultivation Methods on the Chemical Composition of Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.). *Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Doktorska disertacija*, Zagreb.
135. Radman S., Žutić I., Fabek S., Šic Žlabur J., Benko B., Toth N. (2015). Influence of nitrogen fertilization on chemical composition of cultivated nettle. *Emirates J. Food Agric.* 27 (12): 889–896.
136. Radman S., Žutić I., Fabek S., Toth N., Benko B., Čoga, L. (2016). Influence of propagation method and fertilization on chemical composition and yield of stinging nettle. In *Proceedings of the 51st Croatian & 11th International Symposium on Agriculture*, 15–18 February 2016, Opatija, Hrvatska, str. 192–196.
137. Radman S., Javornik M., Žutić I., Opačić N., Benko B. (2021). Impact of different nutrient solution composition on stinging nettle growth and mineral content. In *VIII South-Eastern Europe Symposium on Vegetables and Potatoes* 1320, str. 157-166.
138. Radman S., Fabek Uher S., Opačić N., Ivanka Ž., Benko B., Jurčić B., Šic Žlabu, J. (2022). Primjena biostimulatora u uzgoju koprive. *Glasnik Zaštite Bilja* 45(3): 22-28.
139. Radušienė J., Marksė M., Ivanauskas L., Jakštė V., Çalışkan Ö., Kurt D. (2019). Effect of nitrogen on herb production, secondary metabolites and antioxidant activities of *Hypericum pruinatum* under nitrogen application. *Ind. Crops Products* 139: 111519.
140. Rafajlovska V., Kavrakovski Z., Simonovska J., Srbinoska M. (2013). Determination of protein and mineral contents in stinging nettle. *Quality of Life (Banja Luka)-APEIRON*, 7(1-2).

141. Rahman A., Albadrani G. M., Waraich E. A., Awan T. H., Yavaş İ., Hussain S. (2023). Plant Secondary Metabolites and Abiotic Stress Tolerance: Overview and Implications. Plant Abiotic Stress Responses and Tolerance Mechanisms. IntechOpen. Dostupno na: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.111696> [Pristupljeno: 2. ožujka 2024.].
142. Rajasekar M., Arumugam T., Kumar S. R. (2013). Influence of weather and growing environment on vegetable growth and yield. Journal of Horticulture and forestry 5(10): 160-167.
143. Razem M., Ding Y., Morozova K., Mazzetto F., Scampicchio M. (2022). Analysis of phenolic compounds in food by coulometric array detector: A review. Sensors 22(19): 7498.
144. Repajić M., Cegledi E., Zorić Z., Pedišić S., Elez Garofulić I., Radman S., Palčić I., Dragović-Uzelac V. (2021). Bioactive Compounds in Wild Nettle (*Urtica dioica L.*) Leaves and Stalks: Polyphenols and Pigments upon Seasonal and Habitat Variations. Foods 10: 190.
145. Resh H. M. (2013). Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardner and the Commercial Hydroponic Grower, 7th ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA.
146. Rocha B. S. (2021). The nitrate-nitrite-nitric oxide pathway on healthy ageing: a review of pre-clinical and clinical data on the impact of dietary nitrate in the elderly. Frontiers in aging 2: 778467.
147. Rouphael Y., Kyriacou M. C., Petropoulos S. A., De Pascale S., Colla G. (2018). Improving vegetable quality in controlled environments. Sci. Hortic. 234: 275–289.
148. Rutto L. K., Ansari M. S., Brandt M. (2012). Biomass yield and dry matter partitioning in greenhouse-grown stinging nettle under different fertilization regimes. HortTechnology 22(6): 751-756.
149. Sabouri A., Hassanpour Y. (2015). Prediction of Leaf Area, Fresh and Dry Weight in Stinging Nettle (*Urtica dioica*) by Linear Regression Models. Med Aromat Plants 4(188): 2167-0412.
150. Sakamoto M., Suzuki T. (2015). Effect of root-zone temperature on growth and quality of hydroponically grown red leaf lettuce (*Lactuca sativa L. cv. Red Wave*). American Journal of Plant Sciences 6(14): 2350.
151. Santamaría P., Elia A., Serio F., Todaro E. (1999). A survey of nitrate and oxalate content in fresh vegetables. Journal of the Science of Food and Agriculture 79(13): 1882-1888.
152. Sarker U., Oba S. (2018). Drought stress enhances nutritional and bioactive compounds, phenolic acids and antioxidant capacity of Amaranthus leafy vegetable. BMC Plant Biol. 18: 258.
153. SAS Institute (2017). SAS/STAT 14.3. Cary, NC, SAD.
154. Savvas D., Gruda N. (2018). Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry – A review. Eur. Hortic. Sci. 83 (5): 280–293.
155. Seleiman M. F., Al-Suhaibani N., Ali N., Akmal M., Alotaibi M., Refay Y., Dindaroglu T., Abdul-Wajid H. H., Battaglia M. L. (2021). Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to Alleviate Its Adverse Effects. Plants 10: 259.
156. Selmar D., Kleinwächter M. (2013). Influencing the product quality by deliberately applying drought stress during the cultivation of medicinal plants. Industrial Crops and Products 42: 558-566.
157. Seminario A., Song L., Zulet A., Nguyen H. T., González E. M., Larraínzar E. (2017). Drought Stress Causes a Reduction in the Biosynthesis of Ascorbic Acid in Soybean Plants. Front. Plant Sci. 8.
158. Shin, Y.K.; Bhandari, S.R.; Jo, J.S.; Song, J.W.; Lee, J.G. (2021). Effect of Drought Stress on Chlorophyll Fluorescence Parameters, Phytochemical Contents, and Antioxidant Activities in Lettuce Seedlings. Horticulturae, 7, 238.
159. Shojaie B., Mostajeran A., Ghanadian M. (2016). Flavonoid dynamic responses to different drought conditions: Amount, type, and localization of flavonols in roots and shoots of *Arabidopsis thaliana* L. Turk. J. Biol. 40: 612–622.
160. Shonte T. T., Duodu K. G., de Kock H. L. (2020). Effect of drying methods on chemical composition and antioxidant activity of underutilized stinging nettle leaves. Heliyon 6(5).

161. Soltys-Kalina D., Pllich J., Strzelczyk-Żyta D., Śliwka J., Marczewski W. (2016). The effect of drought stress on the leaf relative water content and tuber yield of a half-sib family of 'Katahdin'-derived potato cultivars. *Breeding science* 66(2): 328–331.
162. Sonneveld C., Voogt W. (2009). Plant nutrition in future greenhouse production. In *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*; Springer: Dordrecht, The Netherlands, str. 393–403.
163. Stanojević L. P., Stanković M. Z., Cvetković D. J., Čakić M. D., Ilić D. P., Nikolić V. D., Stanojević J. S. (2016). The effect of extraction techniques on yield, extraction kinetics, and antioxidant activity of aqueous-methanolic extracts from nettle (*Urtica dioica* L.) leaves. *Separation Science and Technology* 51(11): 1817–1829.
164. Stefanelli D., Goodwin I., Jones R. (2010). Minimal nitrogen and water use in horticulture: Effects on quality and content of selected nutrients. *Food Res. Int.* 43: 1833–1843.
165. Stepanović B., Radanović D., Turšić I., Nemčević N., Ivanec J. (2009.). *Uzgoj ljekovitog i aromatičnog bilja*. Jan Spider, Pitomača.
166. Šic Žlabur J., Radman S., Fabek Uher S., Opačić N., Benko B., Galić A. (2021). Plant response to mechanically-induced stress: a case study on specialized metabolites of leafy vegetables. *Plants* 10 (12): 2650.
167. Šilješ I., Grozdanić B., Grgesina I. (1992.). *Poznavanje, uzgoj i prerada ljekovitog bilja*, Školska knjiga i HAZU, Zagreb.
168. Tardío J., Sánchez-Mata M. D. C., Morales R., Molina M., García-Herrera P., Morales P., Boussalah N. (2016). Ethnobotanical and food composition monographs of selected Mediterranean wild edible plants. *Mediterranean wild edible plants: ethnobotany and food composition tables*, str. 273–470.
169. Taylor K. (2009.). Biological flora of British Isles: *Urtica dioica* L. *Journal of Ecology* 97(256): 1436–1458.
170. Tomasi N., Pinton R., Dalla Costa L., Cortella G., Terzano R., Mimmo T., Scampicchio M., Cesco S. (2015). New 'solutions' for floating cultivation system of ready-to-eat salad: A review. *Trends Food Sci. Technol.* 46: 267–276.
171. Toth N., Fabek S., Benko B., Žutić I., Stubljar S., Zeher S. (2012). Učinak abiotskih čimbenika, gustoće sjetve i višekratne berbe na prinos rige u plutajućem hidroponu. *Glas. Zaštite Bilja* 35: 24–34.
172. Trejo-Téllez L. I., Gómez-Merino F. C. (2012). Nutrient solutions for hydroponic systems. In *Hydroponics—A Standard Methodology for Plant Biological Researches*; IntechOpen: London, UK, str. 1–22.
173. Uher D., Fabek Uher S., Opačić N., Radman S. (2024). Effects of molasses and commercial inoculant on silage quality of cultivated nettle (*Urtica dioica* L.). *Journal of Central European Agriculture* 25(1): 120–127.
174. Upton R. (2013). Stinging nettles leaf (*Urtica dioica* L.): Extraordinary vegetable medicine. *Journal of herbal medicine* 3(1): 9–38.
175. Van Delden S. H., Nazarideljou M. J., Marcelis L. F. (2020). Nutrient solutions for *Arabidopsis thaliana*: a study on nutrient solution composition in hydroponics systems. *Plant Methods* 16: 1–14.
176. Velazquez-Gonzalez R. S., Garcia-Garcia A. L., Ventura-Zapata E., Barceinas-Sanchez J. D. O., Sosa-Savedra J. C. (2022). A review on hydroponics and the technologies associated for medium-and small-scale operations. *Agriculture* 12(5): 646.
177. Viktorova J., Jandova Z., Madlenakova M., Prouzova P., Bartunek V., Vrchoťová B., Macek T. (2016). Native phytoremediation potential of *Urtica dioica* for removal of PCBs and heavy metals can be improved by genetic manipulations using constitutive CaMV 35S promoter. *PLoS One* 11(12): e0167927.
178. Vilkickyte G., Raudone L. (2021). Phenological and geographical effects on phenolic and triterpenoid content in *Vaccinium vitis-idaea* L. *Leaves Plants* (Basel Switzerland) 10(10): 1986.
179. Villani A., Loi M., Serio F., Montesano F. F., D'Imperio M., De Leonardis S. (2023). Changes in Antioxidant Metabolism and Plant Growth of Wild Rocket *Diplotaxis tenuifolia* (L.) DC cv Dallas Leaves as Affected by Different Nutrient Supply Levels and Growing Systems. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 23: 4115–4126.

180. VIO, Vodovod i odvodnja d.o.o. (2024). Dostupno na: <https://www.vio.hr/online/vodoopskrba/kvaliteta-vode-za-ljudsku-potrosnju/1814> [Pristupljeno 26. veljače 2024.]
181. Viotti C., Albrecht K., Amaducci S., Bardos P., Bertheau C., Blaudez D., Chalot M. (2022). Nettle, a long-known fiber plant with new perspectives. *Materials* 15(12): 4288.
182. Voća S., Šic Žlabur J., Radman S., Opačić N., Dujmović M. (2023). Uzgoj koprive. Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet. Zagreb.
183. Wang Z., Li G., Sun H., Ma L., Guo Y., Zhao Z., Gao H., Mei L. (2018). Effects of drought stress on photosynthesis and photosynthetic electron transport chain in young apple tree leaves. *Biol. Open* 7: bio035279
184. Waraich E. A., Ahmad R., Ashraf M. Y. (2011). Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. *Aust. J. Crop Sci.* 5: 764–777.
185. Weiwei Z. H. O. U., Ting L. V., Yan H. U., Wenjing L. I. U., Qingfang B. I., Chongwei J. I. N. (2020). Effect of nitrogen limitation on antioxidant qualities is highly associated with genotypes of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Pedosphere* 30 (3): 414–425.
186. Wettstein D. (1957). Chlorophyll-letale und der submikroskopische Formwechsel der Plastiden. *Exp. Cell Res.* 12: 427–434.
187. Wu S., Liu Y., Cui X., Zhang Q., Wang Y., Cao L. (2021). Assessment of potential nitrite safety risk of leafy vegetables after domestic cooking. *Foods* 10 (12): 2953.
188. Yadav B., Jogawat A., Rahman M. S., Naraya, O. P. (2021). Secondary metabolites in the drought stress tolerance of crop plants: A review. *Gene Reports* 23: 101040.
189. You J., Chan Z. (2015). ROS Regulation During Abiotic Stress Responses in Crop Plants. *Front. Plant Sci.* 6: 1092.
190. Zeipiņa S., Alsiņa I., Lepse L. (2014). Stinging nettle—the source of biologically active compounds as sustainable daily diet supplement. *Research for Rural Development* 20: 34-38.
191. Zeljković S. Ć., Aucique-Perez C. E., Štefelová N., De Diego N. (2022). Optimizing growing conditions for hydroponic farming of selected medicinal and aromatic plants. *Food chemistry* 375: 131845.
192. Zhang J., Zhang S., Cheng M., Jiang H., Zhang X., Peng C., Jin J. (2018). Effect of drought on agronomic traits of rice and wheat: A meta-analysis. *International journal of environmental research and public health* 15(5): 839.
193. Zhuang J., Wang Y., Chi Y., Zhou L., Chen J., Zhou W., Song J., Zhao N., Ding J. (2020). Drought stress strengthens the link between chlorophyll fluorescence parameters and photosynthetic traits. *PeerJ* 8: e10046.

ŽIVOTOPIS

Nevena Opačić, mag. ing. agr. rođena je 26. lipnja 1985. godine u Zagrebu. Na Sveučilištu u Zagrebu Agronomskom fakultetu 2014. godine završila je preddiplomski studij Hortikultura, a diplomski studij Hortikultura, usmjerenje Povrćarstvo završila je 2017. godine s velikom pohvalom. Tijekom diplomskog studija, dobila je Rektorovu nagradu u kategoriji za timski znanstveni i umjetnički rad u ak. godini 2015./2016. Trenutno radi kao asistentica u Zavodu za povrćarstvo gdje je radila i ranije u nekoliko navrata (2017. i 2019. kao zamjena na određeno vrijeme) te sudjeluje u pripremi i izvođenju vježbi iz nekoliko kolegija vezanih uz povrćarstvo (Opće povrćarstvo, Proizvodnja povrća, Suvremena tehnologija uzgoja povrća, Organsko-biološka proizvodnja povrća) te aromatično i ljekovito bilje (Osnove uzgoja aromatičnog i ljekovitog bilja, Suvremena proizvodnja aromatičnog i ljekovitog bilja). Od 2020. do 2023. godine bila je zaposlena kao doktorandica na projektu „Projekt razvoja karijera mladih istraživača – izobrazba novih doktora znanosti“ u Zavodu za povrćarstvo, provodeći aktivnosti projekta „Nutritivna i funkcionalna vrijednost koprive (*Urtica dioica* L.) primjenom suvremenih hidroponskih tehnika uzgoja“, a poslijediplomski doktorski studij „Poljoprivredne znanosti“ upisuje ak. godine 2020./2021. Objavila je 30 znanstvenih radova (10 - a1 skupina, 4 - a2 skupina, 16 - a3 skupina) te 2 stručna rada. Suradnica je u izvođenju izvannastavne aktivnosti „Vrtlarska grupa“ Agronomskog fakulteta, a bila je i suradnica na Erasmus+ projektu „Easy Gardening“. Članica je društva International Society for Horticultural Science od 2019. godine, a 2018., 2023. i 2024. godine aktivno je sudjelovala u radu organizacijskog odbora Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta za Dan očaranosti biljkama.

CROSBI profil: <https://www.crois.hr/crosbi/searchByContext/2/36216>

Znanstveni radovi:

1. **Opačić, Nevena**; Radman, Sanja; Dujmović, Mia; Fabek Uher, Sanja; Benko, Božidar; Toth, Nina; Petek, Marko; Čoga, Lepomir; Voća, Sandra; Šic Žlabur, Jana (2024). Boosting nutritional quality of *Urtica dioica* L. to resist climate change. *Frontiers in plant science*, 15, 1331327, 17. doi: 10.3389/fpls.2024.1331327
2. Dujmović, Mia; **Opačić, Nevena**; Radman, Sanja; Fabek Uher, Sanja; Čoga, Lepomir; Petek, Marko; Voća, Sandra; Šic Žlabur, Jana (2023). How to Increase the Nutritional Quality of Stinging Nettle Through Controlled Plant Nutrition. *Food technology and biotechnology*, 61, 4; 451-464. doi: 10.17113/ftb.61.04.23.8119
3. Dujmović, Mia; **Opačić, Nevena**; Radman, Sanja; Fabek Uher, Sanja; Voća, Sandra; Šic Žlabur, Jana (2023). Accumulation of Stinging Nettle Bioactive Compounds as a Response to Controlled Drought Stress. *Agriculture*, 13, 7; 1358, 20. doi: 10.3390/agriculture13071358
4. **Opačić, Nevena**; Šic Žlabur, Jana; Sikirić, Lucijan; Petek, Marko; Čoga, Lepomir; Fabek Uher, Sanja; Benko, Božidar; Toth, Nina; Voća, Sandra; Radman, Sanja (2023). Specialized metabolites content in hydroponically grown nettle. *Acta Horticulturae*, 1358, 333-340. doi: 10.17660/ActaHortic.2023.1358.43
5. Fabek Uher, Sanja; Radman, Sanja; **Opačić, Nevena**; Dujmović, Mia; Benko, Božidar; Lagundžija, Denis; Mijić, Valent; Prša, Lucija; Babac, Srđan; Šic Žlabur, Jana (2023). Alfalfa, cabbage, beet and fennel microgreens in floating hydroponics—perspective nutritious food? *Plants*, 12, 11; 2098, 12. doi: 10.3390/plants12112098
6. Dujmović, Mia; Radman, Sanja; **Opačić, Nevena**; Fabek Uher, Sanja; Mikuličin, Vida; Voća, Sandra; Šic Žlabur, Jana (2022). Edible Flower Species as a Promising Source of Specialized Metabolites. *Plants*, 11, 19; 2529, 15. doi: 10.3390/plants11192529

7. Voća, Sandra; Šic Žlabur, Jana; Fabek Uher, Sanja; Peša, Marija; **Opačić, Nevena**; Radman, Sanja (2022). Neglected Potential of Wild Garlic (*Allium ursinum* L.) - Specialized Metabolites Content and Antioxidant Capacity of Wild Populations in Relation to Location and Plant Phenophase. *Horticulturae*, 8, 1; 24, 15. doi: 10.3390/horticulturae8010024
8. Šic Žlabur, Jana; Radman, Sanja; **Opačić, Nevena**; Rašić, Anamaria; Dujmović, Mia; Brnčić, Mladen; Barba, Francisco J.; Castagnini, Juan Manuel; Voća, Sandra (2022). Application of Ultrasound as Clean Technology for Extraction of Specialized Metabolites From Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.). *Frontiers in nutrition*, 9, 870923, 17. doi: 10.3389/fnut.2022.870923
9. **Opačić, Nevena**; Radman, Sanja; Fabek Uher, Sanja; Benko, Božidar; Voća, Sandra; Šic Žlabur, Jana (2022). Nettle Cultivation Practices - From Open Field to Modern Hydroponics: A Case Study of Specialized Metabolites. *Plants*, 11, 4; 483, 19. doi: 10.3390/plants11040483
10. Šic Žlabur, Jana; **Opačić, Nevena**; Žutić, Ivanka; Voća, Sandra; Poštek, Magdalena; Radman, Sanja; Benko, Božidar; Fabek Uher, Sanja (2021). Valorization of Nutritional Potential and Specialized Metabolites of Basil Cultivars Depending on Cultivation Method. *Agronomy*, 11, 6; 1048, 17. doi: doi.org/10.3390/agronomy11061048
11. **Opačić, Nevena**; Betlach, Sara; Šic Žlabur, Jana; Toth, Nina; Radman, Sanja (2021). Influence of different fertilization treatments on yield components and vitamin C content of okra. *Acta Horticulturae*, 1320, 255-260. doi: 10.17660/ActaHortic.2021.1320.33
12. Radman, Sanja; Javornik, Matija; Žutić, Ivanka; **Opačić, Nevena**; Benko, Božidar (2021). Impact of different nutrient solution composition on stinging nettle growth and mineral content. *Acta Horticulturae*, 1320, 157-166. doi: 10.17660/ActaHortic.2021.1320.20
13. Šic Žlabur, Jana; Radman, Sanja; Fabek Uher, Sanja; **Opačić, Nevena**; Benko, Božidar; Galić, Ante; Samirić, Paola; Voća, Sandra (2021). Plant Response to Mechanically-Induced Stress: A Case Study on Specialized Metabolites of Leafy Vegetables. *Plants*, 10, 12; 2650, 14. doi: 10.3390/plants10122650
14. **Opačić, Nevena**; Šagud, Anja; Skomrak, Antonia; Đurak, Josipa; Kos, Fabijan; Butković, Marijan; Fabek Uher, Sanja (2018). Microgreens kao funkcionalna hrana. *Glasnik zaštite bilja*, 41, 3; 18-25.

Stručni radovi:

1. Radman, Sanja; Fabek Uher, Sanja; **Opačić, Nevena**; Žutić, Ivanka; Benko, Božidar; Jurčić, Bruno; Šic Žlabur, Jana (2022). Primjena biostimulatora rasta u uzgoju koprive. *Glasnik zaštite bilja*, 45, 3; 22-28.
2. Radman, Sanja; Fabek Uher, Sanja; Benko, Božidar; **Opačić, Nevena**; Toth, Nina; Žutić, Ivanka (2021). Primjena ljekovitih biljaka u ekološkoj zaštiti povrća. *Glasnik zaštite bilja*, 44, 3; 4-10.

Znanstveni radovi u zbornicima skupova:

1. Šic Žlabur, Jana; Dujmović, Mia; Radman, Sanja; **Opačić, Nevena**; Fabek Uher, Sanja; Mikulec, Nataša; Voća, Sandra (2024). Valorization of bioactive compounds of classic and quick-frozen nettle leaves through a combination of different pretreatments. *Zbornik radova 59. hrvatskog i 19. međunarodnog Simpozija agronoma*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, str. 458-462.
2. **Opačić, Nevena**; Fabek Uher, Sanja; Benko, Božidar; Toth, Nina; Šic Žlabur, Jana; Dujmović, Mia; Voća, Sandra; Čoga, Lepomir; Petek, Marko; Radman, Sanja (2024).

Microelement content in hydroponically cultivated nettle (*Urtica dioica* L.) under varied irrigation intervals. Zbornik radova 59. hrvatskog i 19. međunarodnog Simpozija agronoma. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, str. 156-161.

3. Dujmović, Mia; Kurek, Mia; Mlinar, Zdenko; Pišonić, Petra; Radman, Sanja; **Opačić, Nevena**; Fabek Uher, Sanja; Galić, Kata; Ščetar, Mario; Benko, Božidar (2024). Preservation of bioactive compounds of fresh nettle leaves by modified atmosphere. Zbornik radova 59. hrvatskog i 19. međunarodnog Simpozija agronoma. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, str. 445-451.

4. Fabek Uher, Sanja; Antonina, Gabrijel; Toth, Nina; Šic Žlabur, Jana; Benko, Božidar; Radman, Sanja; **Opačić, Nevena** (2024). The effect of nutrient solution concentration on the yield and bioactive compounds content of hydroponically grown wild rocket. Zbornik radova 59. hrvatskog i 19. međunarodnog Simpozija agronoma. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, str. 150-155.

5. **Opačić, Nevena** ; Benko, Božidar ; Toth, Nina ; Petek, Marko ; Čoga, Lepomir ; Dujmović, Mia ; Šic Žlabur, Jana ; Radman, Sanja (2023). Agronomic traits of hydroponically grown nettle under conditions of two irrigation intervals. Carović-Stanko Klaudija ; Širić, Ivan (ur.), str. 169-174.

6. Fabek Uher, Sanja ; Kobasić, Petra ; Toth, Nina ; **Opačić, Nevena** ; Radman, Sanja: The effect of sowing density on morphological traits and yield of hydroponically grown spinach (2023). Proceedings of the 58th Croatian & 18th International Symposium on Agriculture. Carović-Stanko, Klaudija ; Širić, Ivan (ur.). Zagreb: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 164-168.

7. Brlek, Tamara ; Fabek Uher, Sanja ; Radman, Sanja ; Slunjski, Sanja ; **Opačić, Nevena** (2023). Količina mikroelemenata u mladim izdancima brokule, poriluka i cikle. Proceedings of the 58th Croatian & 18th International Symposium on Agriculture. Carović-Stanko, Klaudija ; Širić, Ivan (ur.). Zagreb: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 159-163.

8. Voća, Sandra ; Galić, Ante ; Dobričević, Nadica ; Radman, Sanja ; **Opačić, Nevena** ; Kumarle, Anita ; Pleša, Maja ; Martić, Andreja ; Dujmović, Mia ; Šic Žlabur, Jana (2022). Sadržaj vitamina C u različitim vrstama krstašica (Brassicaceae) tijekom skladištenja. Zbornik radova 57. hrvatskog i 17. međunarodnog simpozija agronoma. Majić, Ivana ; Antunović, Zvonko (ur.). Osijek: Fakultet agrobiotehničkih znanosti Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, 2022. str. 252-256.

9. **Opačić, Nevena** ; Šic Žlabur, Jana ; Sikirić, Lucijan ; Fabek Uher, Sanja ; Benko, Božidar ; Toth, Nina ; Radman Sanja: Morfološka svojstva koprive (*Urtica dioica* L.) u plutajućem hidroponu (2022). Zbornik radova 57. hrvatskog i 17. međunarodnog simpozija agronoma / Majić, Ivana ; Antunović, Zvonko (ur.). Osijek: Fakultet agrobiotehničkih znanosti Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, str. 247-251.

10. **Opačić, Nevena** ; Radman, Sanja ; Volf, Jasmina ; Petek, Marko ; Fabek Uher, Sanja ; Žutić, Ivanka (2021). Združivanje povrtnih vrsta u ekološkoj proizvodnji. Proceedings book (International Conference "The Holistic Approach to Environment"). Štrkalj A. ; Glavaš Z. (ur.), str. 400-405.

11. Radman, Sanja ; Škvorc, Josipa ; **Opačić, Nevena** ; Toth, Nina ; Benko, Božidar, Žutić, Ivanka (2021). Utjecaj ekoloških pripravaka na prinos i mineralni sastav salate. Proceedings book (International Conference "The Holistic Approach to Environment"). Štrkalj, Anita ; Glavaš, Zoran (ur.), str. 521-528.

12. Radman, Sanja ; Skomrak, Antonia ; Benko, Božidar ; Fabek Uher, Sanja ; **Opačić, Nevena** ; Žutić, Ivanka (2020). Utjecaj predsjetvenih tretmana na klijavost sjemena mrkve, peršina i kopra. Zbornik radova 55. hrvatskog i 15. međunarodnog simpozija agronoma. Širić, Ivan ; Bendelja Ljoljić, Darija (ur.). Zagreb: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 227-231.
13. **Opačić, Nevena** ; Brlek, Tamara ; Slunjski, Sanja ; Kljak, Kristina ; Radman, Sanja ; Fabek Uher, Sanja: Količina makroelemenata u mladim izdancima cikle i brokule (2020). Zbornik radova 55. hrvatskog i 15. međunarodnog simpozija agronoma. Širić, Ivan ; Bendelja Ljoljić, Darija (ur.). Zagreb: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 218-222.
14. Benko, Božidar ; Đurić, Mislav ; Radman, Sanja ; Lazarević, Boris ; Toth, Nina ; Žutić, Ivanka ; **Opačić, Nevena** (2020). Morfometrijska svojstva ploda i prinos krastavca tretiranog biljnim biostimulatorima. Širić, Ivan ; Bendelja Ljoljić, Darija (ur.). Zagreb: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 198-202.
15. Žutić, Ivanka ; Nižić, Ivan ; Mioč, Boro ; Fabek Uher, Sanja ; **Opačić, Nevena** ; Toth, Nina (2019). Uzgoj presadnica bosiljka na supstratu poboljšanom ovčjom vunom // Proceedings 54th Croatian & 14th International Symposium on Agriculture. Mioč, Boro ; Širić, Ivan (ur.). Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 273-278.
16. **Opačić, Nevena** ; Fabek Uher, Sanja ; Žutić, Ivanka ; Radman, Sanja ; Toth, Nina ; Benko, Božidar (2018). Količina makroelemenata muškatne tikve uz primjenu biostimulatora. Zbornik radova 53. hrvatskog i 13. međunarodnog simpozija agronoma. Rozman, Vlatka ; Antunović, Zvonko (ur.). Osijek: Poljoprivredni fakultet Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, str. 238-242.
- Sažeci u zbornicima skupova:**
1. **Opačić, Nevena**; Radman, Sanja; Dujmović, Mia; Fabek Uher, Sanja; Benko, Božidar; Toth, Nina; Petek, Marko; Čoga, Lepomir; Voća, Sandra; Šic Žlabur, Sanja (2024). Leveraging Water Stress for Premium Plant Quality. 7th International Conference on "Plant Abiotic Stress Tolerance", Beč, Austrija, 07.02.2024-08.02.2024.
 2. Benko, Božidar ; Mičetić, Maja ; Periša, Ivana ; Tkalčević, Marija ; Fabek Uher, Sanja ; **Opačić, Nevena** (2023). Lamb's lettuce morphology and yield under different glass coverings. 58th Croatian & 18th International Symposium on Agriculture : Book of Abstracts. Carović-Stanko, Klaudija ; Širić, Ivan (ur.). Zagreb: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 97-97.
 3. Dujmović, Mia ; **Opačić, Nevena** ; Radman, Sanja ; Fabek Uher, Sanja ; Voća, Sandra ; Šic Žlabur, Jana (2023). Accumulation of stinging nettle polyphenols as a response to drought stress. Book of Abstracts: 58th Croatian & 18th International Symposium on Agriculture. Carović-Stanko, Klaudija ; Širić, Ivan (ur.). Zagreb: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 99-99.
 4. Šic Žlabur, Jana; Radman, Sanja; **Opačić, Nevena**; Voća, Neven; Dujmović, Mia; Voća, Sandra (2023). Do we have a recipe for change? - Agenda for Sustainable Food Systems in Europe. 1st European Green Conference - Book of Abstracts. Osijek: International Association of Environmental Scientists and Professionals (IAESP), str. 33-33.
 5. Dujmović, Mia ; **Opačić, Nevena** ; Radman, Sanja ; Fabek Uher, Sanja ; Voća, Sandra ; Galić, Kata ; Kurek, Mia ; Ščetar, Mario ; Šic Žlabur, Jana (2022). Functional and nutritional properties, packaging possibilities and potential use of stinging nettle - case study. Archives of Industrial Hygiene and Toxicology: Abstracts of the 4th International Congress on Food

6. Dujmović, Mia ; **Opačić, Nevena** ; Radman, Sanja ; Fabek Uher, Sanja ; Petek, Marko ; Čoga, Lepomir ; Galić, Ante ; Dobričević, Nadica ; Toth, Nina ; Božidar, Benko (2022). Nutrient solution management – innovative agricultural practice for higher nutrient quality of stinging nettle. Book of Abstracts of the 10th International Congress of Food Technologists, Biotechnologists and Nutritionists. Komes, Draženka (ur.). Zagreb: Hrvatsko društvo prehrambenih tehnologa, biotehnologa i nutrionista, str. 18-19.
7. Petek, Marko ; Radman, Sanja ; **Opačić, Nevena** ; Voća, Sandra ; Čoga, Lepomir ; Fabek Uher, Sanja ; Benko, Božidar ; Toth, Nina ; Šic Žlabur, Jana (2022). Macroelements composition of nettle in hydroponic production. 31st International Horticultural Congress, Angers, Francuska, 14.08.2022-20.08.2022.
8. **Opačić, Nevena** ; Dujmović, Mia ; Šic Žlabur, Jana ; Fabek Uher, Sanja ; Benko, Božidar ; Toth, Nina ; Čoga, Lepomir ; Petek, Marko ; Voća, Sandra ; Radman, Sanja (2022). Floating hydroponics as a sustainable agricultural practice in nettle cultivation - successful management of nutrient solution. CASEE conference 2022, Sustainable agriculture in the context of climate change and digitalization, Book of abstracts. Kadlecová, Petra ; Lošťák, Michal (ur.). Prag: Czech University of Life Sciences Prague (CZU), str. 7.
9. Radman Sanja ; **Opačić Nevena** ; Voća Sandra ; Petek Marko ; Čoga Lepomir ; Fabek Uher Sanja ; Benko Božidar ; Toth Nina ; Šic Žlabur Jana (2021). Sustainable agricultural practices for nettle cultivation. Book of Abstracts of 1st international conference "Food & Climate Change". Šamec, Dunja ; Šarkanj, Bojan ; Sviličić Petrić, Ines (ur.). Koprivnica: Sveučilište Sjever, str. 22.