



Mikroklimatski uvjeti u vrtači na području krša

Damir Ugarković, Karla Soldo, Ivica Tikvić

Nacrtačak – Abstract

Mikroklima je specifična klima nekoga manjega, a često ograničenoga prostora, šume, livade, nekih reljefnih oblika itd. Ona ovisi o makroklimi širega prostora, ali i o drugim stanišnim i sastojinskim čimbenicima. Cilj je istraživanja bio analizirati mikroklimu vrtače ili ponikve, krškoga fenomena. Istraživanje je obavljeno na području Cipala u Nacionalnom parku Sjeverni Velebit. Mikroklima je izmjerena na tri različite pozicije vrtače, a to su obod (rub), sredina i dno vrtače. Izmjereni su klimatski elementi temperatura zraka (°C), relativna vlažnost zraka (%), temperatura tla (°C) i volumetrijska vlaga tla (%). Najveća je amplituda temperature zraka bila na obodu vrtače. Temperatura se zraka smanjivala s dubinom vrtače, a relativna se vlaga zraka povećavala s dubinom vrtače. Za oba je klimatska elementa postojala statistički značajna razlika samo na dnu vrtače. Temperaturni gradijent u vrtači je iznosio 0,7 °C. Temperatura se tla značajno smanjivala od oboda vrtače do dna vrtače. Apsolutna minimalna vrijednost vlage tla bila je na obodu vrtače, a apsolutna maksimalna vlaga tla bila je na sredini vrtače, gdje je utvrđena i najveće kolebanje vlage tla. Volumetrijska se vlaga tla statistički značajno razlikovala na sva tri mjesta u vrtači. Mikroklima vrtače utjecala je na obrnuti raspored šumskih ekosustava s obzirom na nadmorsku visinu.

Ključne riječi: mikroklima, krš, vrtača, temperaturna inverzija

1. Uvod – Introduction

Klima je prosječno stanje vremena odnosno dugoročni oblik vremena. To je statistički opis vrijednosti i varijabilnosti klimatskih elemenata u određenom razdoblju (Šegota i Filipčić 1996). Klima je ovisna o klimatskim elementima. Klimatski su elementi meteorološke pojave čije su vrijednosti promjenjive, a pod stalnim su utjecajem klimatskih faktora čije su vrijednosti stalne, u većini slučajeva nepromjenjive (Šegota i Filipčić 1996).

Mikroklima označuje specifičnu klimu nekoga manjega ograničenoga prostora koja se odlikuje velikim vremenskim i prostornim razlikama u odnosu na okolni prostor.

Šumska vegetacija modificira klimatske elemente te tako stvara posebnu šumsku klimu odnosno mikroklimu. Na mikroklimu šumske sastojine utječe makroklima širega prostora, tip šumskoga staništa, topografija, vrste šumskoga drveća, dob i struktura šumske sastojine (Aussenac 2000, Ugar-

ković i dr. 2017). Ekološki procesi poput fotosinteze, evapotranspiracije, respiracije, razlaganje tvari i ostali procesi povezani su s klimom te je vrlo važno njezino poznavanje.

Promjenom klime mijenja se horizontalni i vertikalni slijed biljnih zajednica. U vertikalnom smislu biljne zajednice, koje predstavljaju vegetacijske pojase, prostiru se od obalnih područja do planinskih vrhova. Promjene se događaju zbog izraženih reljefnih elemenata. Porast nadmorske visine uvjetuje promjene klime, u prvom redu pad temperature, porast količine oborine, a modificira i ostale klimatske elemente. Sve to utječe na duljinu vegetacijskoga razdoblja i na uspijevanje određenih biljnih vrsta, odnosno biljnih zajednica (Vukelić i Rauš 1998).

U Republici Hrvatskoj ukupno je pet klimatskih temperaturnih zona prema vertikalnim gradijentima srednje godišnje temperature zraka. Vertikalni gradijent pokazuje smanjenje temperature u odnosu na povećanje nadmorske visine. Temperatura zraka najsporije pada s porastom nadmorske visine u I.

zoni (nizinski dio Hrvatske, područje Like i Gorsko-ga kotara), gdje vertikalni temperaturni gradijent iznosi 0,5 °C na svakih 100 m n. v. Područje se istraživanja nalazi na granici I. i III. temperaturne zone u kojoj vertikalni temperaturni gradijent iznosi 0,7 °C (Zaninović i dr. 2004)

Reljef u Nacionalnom parku Sjeverni Velebit vrlo je razveden s mnoštvom različitih konkavnih i konveksnih oblika. Na terenu postoje svi elementi i fenomeni karakteristični za krš, kao što su vrhovi, glavice, kukovi, vrtače i doline.

Vrtače ili ponikve krški su fenomen (Vukelić i Rauš 1998). One su konkavni reljefni oblik koji ima rub ili obod, padine i dno. Padine su vrlo velikih nagiba, uglavnom strmih i vrletnih. Dno vrtače može biti šire ili uže, a većinom je uže od promjera na njezinu rubu ili obodu. Zbog velike dubine, odnosno zbog velike visinske razlike ruba i dna vrtača je tipičan primjer temperaturne inverzije (Seletković 1984, Hrašovec i dr. 1994, Whiteman i dr. 2004, Vilović i dr. 2019), a zbog temperaturne inverzije obrnut je redosljed i pojave šumskih ekosustava s obzirom na nadmorsku visinu. Na dnu vrtače skuplja se hladni zrak te je dno uglavnom i mrazište (Vilović i dr. 2019, Pernar i dr. 2022).

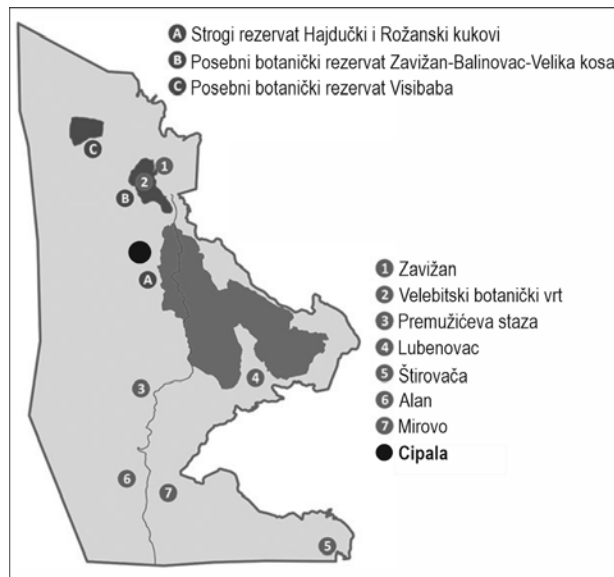
Mikroklima vrtače ovisi o reljefu vrtače, odnosno o obliku, veličini, dubini vrtače, promjeru na obodu vrtače, nagibu i ekspoziciji padina, visinskoj razlici oboda i dna, šumskoj vegetaciji u vrtači i lokalnoj klimi (Soldo 2020). Osim reljefa na vrijednosti mikroklimatskih elemenata utječe i sastav šumske sastojine odnosno vrste šumskog drveća, sklop krošanja stabala, dob i uzgojni oblik sastojine, strukturni elementi sastojine te obrast (Ugarković i dr. 2017). Mikroklima vrtača rezultat je temperaturne inverzije. Temperaturna je inverzija takav raspored slojeva zraka u atmosferi pri kojem je sloj toplijega zraka smješten iznad hladnijega sloja zraka, što je u suprotnosti s vertikalnim gradijentom (Jug i dr. 2011). Istraživana je mikroklimatskim mjerenjima u Gorskom kotaru na lokalitetu Viljska vrtača (Hrašovec i dr. 1994) te na Žumberku na lokalitetu Japage (Buzjak i dr. 2011).

Cilj je istraživanja bio izmjeriti mikroklimu na različitim položajima u vrtači odnosno na različitoj nadmorskoj visini.

2. Materijal i metode rada – *Material and methods*

Istraživanje mikroklimе i temperaturne inverzije provedeno je u vrtači u Nacionalnom parku Sjeverni Velebit. Vrtača je smještena u Cipalima na lokaciji

Crna duliba (44,75161 N i 14,98797 E). Cipala se nalaze u podnožju Rožanskih kukova između Velikoga Zavižana na sjeveru i Rožanskoga vrha na jugu (slika 1).

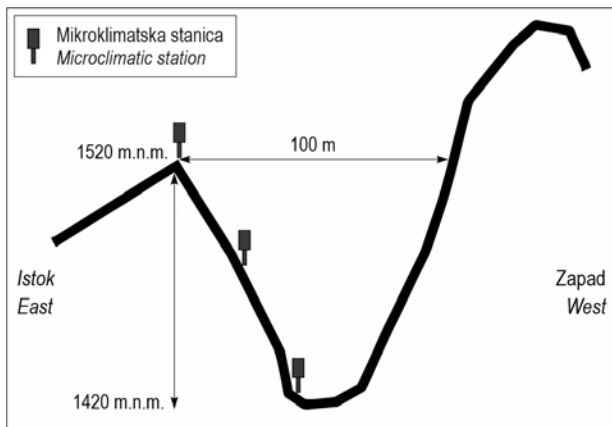


Slika 1. Područje istraživanja (izvor: <https://np-sjeverni-velebit.hr/www/hr/park>) s položajem vrtače Cipala

Fig. 1 Research area with location of Cipala sinkhole (source: <https://np-sjeverni-velebit.hr/www/hr/park>)

Klima istraživanoga područja prema Köppenu pripada razredu D, tip Df, vlažna borealna (snježno-šumska) klima (Šegota i Filipčić 2003).

Na slici 2 prikazana je shema poprečnoga presjeka istraživane vrtače. Mikroklimatska su mjerenja obavljena na obodu vrtače, na sredini padine vrtače i na dnu vrtače gdje smo postavili mikroklimatske stanice Spectrum i Rotronic. Instrumenti su bili postavljeni na istočnoj ekspoziciji vrtače. Mjerena je temperatura zraka (°C) i relativna vlaga zraka (%) na visini 1,5 m od tla. Temperatura tla (°C) i volumetrijska vlaga tla (%) mjerene su na dubini od 20 cm. Istraživanje je provedeno od lipnja do studenoga 2016. godine. Svaki su tjedan prikupljeni mikroklimatski podaci koji su obrađeni u programima SpecWare 9.0 Professional i HW3. Statistička analiza mikroklimatskih podataka obrađena je analizom varijance ponovljenih mjerenja (ANOVA) i *post hoc* Fisherovim LSD testom. Leveneov test homogenosti varijance nije bio statistički značajan ($p > 0,05$). Korelacije temperature zraka i tla obrađene su neparametarskom korelacijom Spearman Rank. Statistička je obrada podataka napravljena u statističkom programu Statistica 13 (TIBCO Software Inc. 2018).



Slika 2. Shema poprečnoga profila vrtače
Fig. 2 Diagram of sinkhole cross section

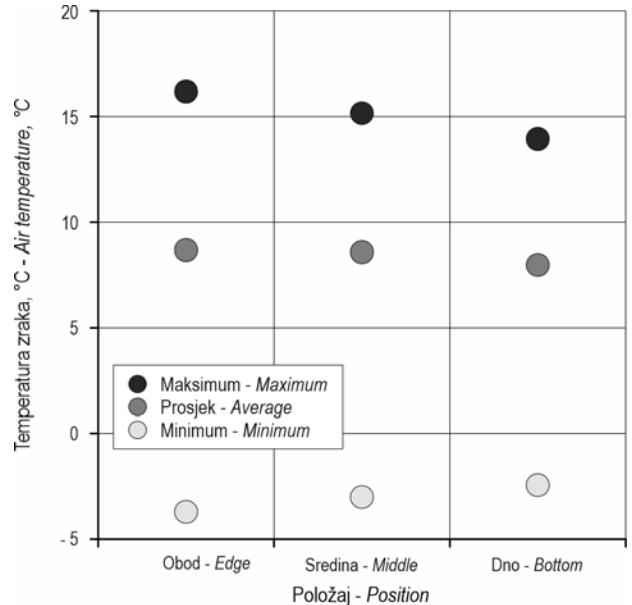
Vrtača je smještena u rasponu nadmorske visine od 1420 (dno) do 1520 m (obod ili rub vrtače). Na obodu je vrtače čista sastojina obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) koja pripada šumskoj zajednici pretplaninske bukove šume s planinskim žabnjakom (*Ranunculo platanifolii-Fagetum* /Horvat 1938/ Marinček et al. 1993). U sredini vrtače raste mješovita sastojina obične bukve i obične smreke, koja je prijelaz između dviju šumskih zajednica. Na dnu je vrtače čista sastojina obične smreke (*Picea abies* Karst.) koja pripada šumskoj zajednici *Aremonio-Piceetum* Horvat 1938. Dno je vrtače prekriveno kamenim blokovima, što je posljedica urušavanja i koluvijalnoga zatrpanja dna.

3. Rezultati istraživanja s raspravom – Results and discussion

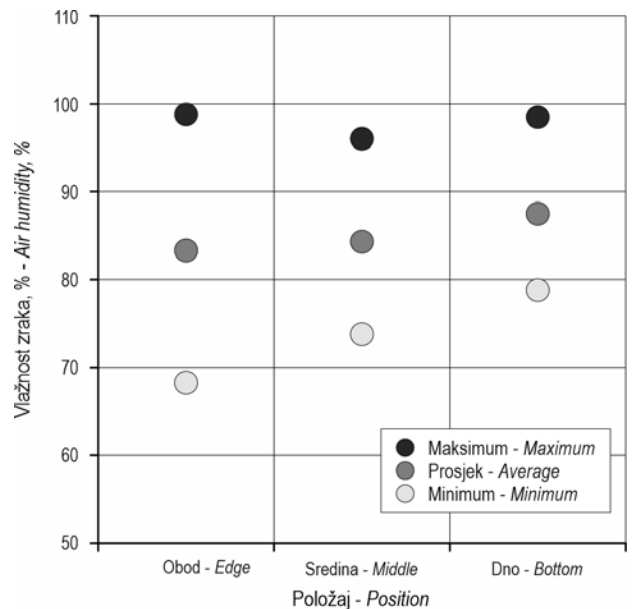
Na slici 3 prikazane su minimalne, prosječne i maksimalne vrijednosti temperature zraka (°C) za cijelo razdoblje monitoringa. Apsolutna minimalna temperatura zraka (-3,72 °C) i apsolutna maksimalna temperatura zraka (16,18 °C) bila je na obodu vrtače, gdje je ujedno najveće kolebanje ili amplituda vrijednosti temperature zraka, a najmanja na dnu vrtače. Ti su rezultati u suprotnosti s istraživanjem Hrašovca i dr. (1994) te Buzjaka i dr. (2011), koji su u ustanovili najveće kolebanje temperature zraka na dnu vrtača. Na te rezultate vrlo je vjerojatno utjecala brzina vjetera i učestalost hladnih vjetrova sa sjevera. Sjeverni Velebit je područje s najvećim srednjim brojem dana u godini s olujnim vjetrom (Bertović 1975), odnosno s najvećim brojem dana s burom u godini (Vukelić i Rauš 1998).

Prosječna se temperatura zraka smanjivala od oboda vrtače gdje je bila 8,68 °C, zatim na sredini je vrtače iznosila 8,58 °C, a na dnu je vrtače bila 7,98 °C. Bakšić i

dr. (2023) u mnogim su vrtačama na Biokovu utvrdili da iz pukotina na dnu vrtače priteče hladan zrak stvarajući specifične mikroklimatske uvjete na dnu.



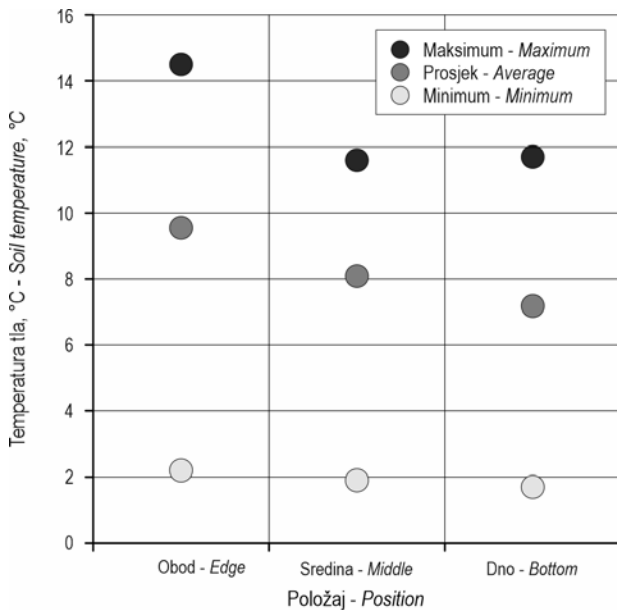
Slika 3. Prosjek i amplituda vrijednosti temperature zraka, °C
Fig. 3 Average and amplitude of air temperature values, °C



Slika 4. Prosjek i amplituda vrijednosti relativne vlažnosti zraka, %
Fig. 4 Average and amplitude of relative humidity values, %

Na obodu je vrtače izmjerena i apsolutna minimalna (68,27 %) i maksimalna (98,80 %) relativna vlažnost zraka. Prosječna se relativna vlažnost zraka povećavala od vrha vrtače (83,30 %) prema sredi-

ni vrtače (84,30 %), a najmanja je bila na dnu vrtače u iznosu od 87,49 % (slika 4). Amplituda je relativne vlažnosti zraka, kao i temperatura zraka, bila najveća na obodu vrtače, a najmanja na dnu vrtače. Ovo mjerenje nije u skladu s rezultatima Buzjaka i dr. (2011), prema kojima je amplituda relativne vlažnosti zraka bila najveća na dnu vrtače. Relativna vlažnost zraka ovisi o više čimbenika, a ponajviše o temperaturi zraka i jačini vjetra (Ugarković i dr. 2021). Obod se vrtače više zagrijava pa je na njem bila veća temperatura zraka (slike 3 i 7) te pretpostavljamo i veća brzina vjetra, što je posljedično utjecalo na veće kolebanje vrijednosti vlažnosti zraka, za razliku od dna vrtače koje se manje zagrijava i zaklonjeno je od vjetra pa je to utjecalo na manje kolebanje vlažnosti zraka i veće prosječne vrijednosti (slika 8).

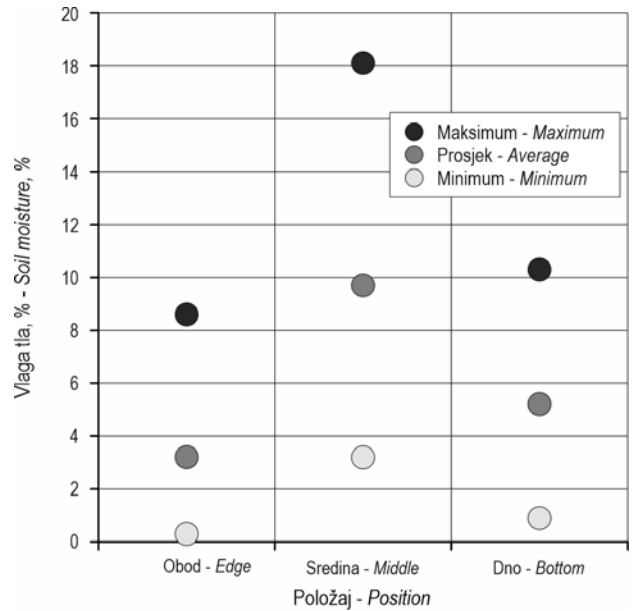


Slika 5. Prosjek i amplituda vrijednosti temperature tla, °C
Fig. 5 Average and amplitude of soil temperature values, °C

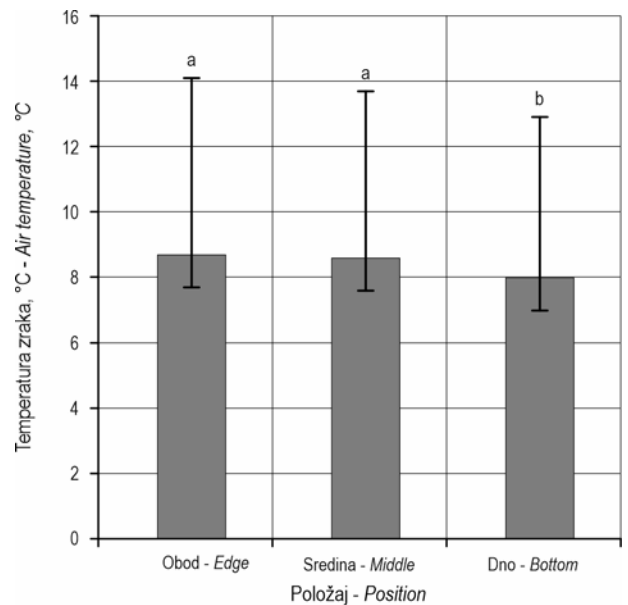
Prosječna je temperatura tla na obodu vrtače iznosila 9,55 °C, na sredini 8,09 °C, a na dnu 7,18 °C. Temperatura se tla kretala u rasponu od minimalne 1,70 °C na dnu vrtače do maksimalne 14,50 °C na obodu vrtače (slika 5). Temperatura se tla pozitivno korelirala s vrijednostima temperature zraka ($r = 0,56$; $p = 0,005$).

Prosječna vrijednost volumetrijske vlage tla na vrhu je vrtače bila 3,21 %, u sredini 9,7 %, a na dnu 5,21 %. Apsolutno najmanja vlaga tla izmjerena je na obodu vrtače (0,3 %), dok je maksimalna izmjerena na sredini vrtače (18,1 %) (slika 6). Na obodu je vrtače izmjerena apsolutna maksimalna temperatura zraka i tla, a budući da temperatura negativno korelira s vlagom tla (Ugarković i dr. 2018), na obodu je vrtače izmjerena ap-

solutna minimalna vlažnost tla. Vrijednosti vlage tla nisu pokazivale istu zakonitost kao vrijednosti temperature tla. Na sredini vrtače u mješovitoj sastojini obične bukve i obične smreke dubina je tla najveća, što je rezultiralo i maksimalnim iznosom vlage tla.



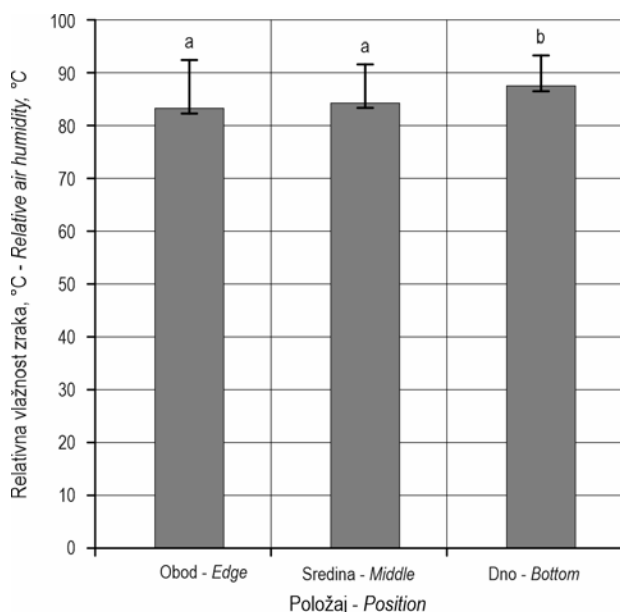
Slika 6. Prosjek i amplituda vrijednosti volumetrijske vlažnosti tla, %
Fig. 6 Average and amplitude of volumetric soil moisture values, %



Slika 7. Usporedba prosječnih vrijednosti temperature zraka (°C). Stupci predstavljaju prosječnu vrijednost ± standardna devijacija. Vrijednosti označene različitim slovom statistički se značajno razlikuju, $p < 0,05$.

Fig. 7 Comparison of average air temperature values (°C). Columns represent mean value ± standard deviation. Values marked with a different letter are significantly different, $p < 0.05$.

Prema rezultatima usporedbe prosječnih vrijednosti temperature zraka ($^{\circ}\text{C}$) u vrtači (slika 7) postojala je statistički značajna razlika ($df = 2$, $MS = 3,11$, $p > 0,001$) u srednjim vrijednostima temperature zraka na tri položaja u vrtači. *Post hoc* LSD testom ($MS = 0,28$, $df = 42$, $p > 0,001$) utvrđena je statistički značajna razlika u vrijednostima temperature zraka na obodu i sredini vrtače u odnosu na dno vrtače, bez statistički značajnih razlika između oboda i sredine vrtače ($p = 0,515$). Prema vrijednostima temperature zraka dno je najhladniji dio vrtače, što je u skladu s istraživanjima Hrašovca i dr. (1994) te Buzjaka i dr. (2011). Vertikalni termički gradijent temperature zraka u vrtači iznosio je $0,7^{\circ}\text{C}$, što je u skladu s digitalnom godišnjom temperaturnom kartom Hrvatske za III. zonu (Zaninović i dr. 2014).



Slika 8. Usporedba prosječnih vrijednosti relativne vlažnosti zraka (%). Stupci predstavljaju prosječnu vrijednost \pm standardna devijacija. Vrijednosti označene različitim slovom statistički se značajno razlikuju, $p < 0,05$.

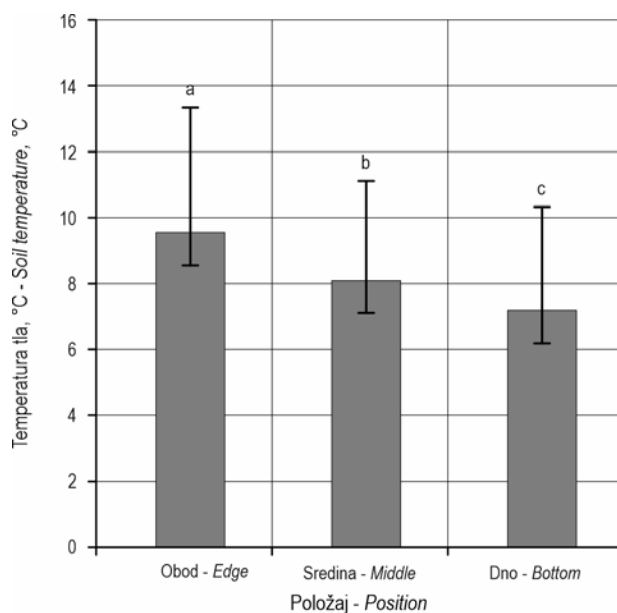
Fig. 8 Comparison of average values of relative air humidity (%). Columns represent mean value \pm standard deviation. Values marked with a different letter are significantly different, $p < 0.05$.

Prema rezultatima testa ANOVA utvrđena je statistički značajna razlika ($df = 2$, $MS = 105,6$, $p > 0,001$) u srednjim vrijednostima relativne vlažnosti zraka na različitim položajima u vrtači. Postojala je statistički značajna razlika u vrijednostima relativne vlažnosti zraka između položaja na obodu i na sredini vrtače u odnosu na dno vrtače ($MS = 8,26$, $df = 42$, $p > 0,001$), dok nije utvrđena statistički značaj-

na razlika u vlažnosti zraka na obodu vrtače i srednjega položaja u vrtači, $p = 0,255$ (slika 8).

Relativna se vlažnost zraka povećavala od oboda prema dnu vrtače, što je bilo obrnuto u odnosu na temperaturu zraka koja se smanjivala prema dnu vrtače. Kod oba dva klimatska elementa dno je vrtače utjecalo na statistički značajne razlike. Temperatura zraka i relativna vlažnost zraka kao klimatski elementi usko negativno koreliraju (Ugarković i dr. 2018).

Prema našim rezultatima, s obzirom na temperaturu zraka i relativnu vlažnost zraka, utjecaj je vrtače na razlike u mikroklimi statistički značajan samo na dnu vrtače.



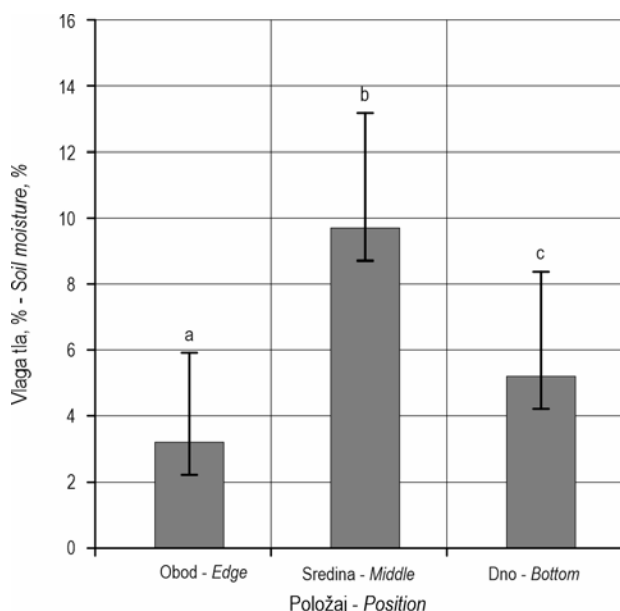
Slika 9. Usporedba prosječnih vrijednosti temperature tla ($^{\circ}\text{C}$). Stupci predstavljaju prosječnu vrijednost \pm standardna devijacija. Vrijednosti označene različitim slovom statistički se značajno razlikuju, $p < 0,05$.

Fig. 9 Comparison of average soil temperature values ($^{\circ}\text{C}$). Columns represent mean value \pm standard deviation. Values marked with a different letter are significantly different, $p < 0.05$.

Na slici 9 prikazane su statistički značajne razlike u srednjoj temperaturi tla na sva tri položaja u vrtači ($MS = 0,78$, $df = 46$, $p > 0,001$).

Prema rezultatima *post hoc* Fisherova LSD testa (slika 10) postojala je statistički značajna razlika u vrijednostima volumetrijske vlage tla na svim položajima u vrtači ($MS = 4,46$, $df = 46$, $p > 0,001$). Vlaga tla ovisi o više klimatskih elemenata, ali i stanišnih čimbenika te strukture šumske sastojine. Ona pozitivno korelira s količinom oborine i relativnom vlaž-

nosti zraka, a negativno korelira s temperaturom zraka i tla, vjetrom i Sunčevim zračenjem (Šimunić 2013). Veća temperatura tla na obodu vrtache utjecala je na manju vlagu tla na obodu vrtache. Na sredini vrtache u mješovitoj bukovo-smrekovoj šumi najveća je prosječna dubina, što je i rezultiralo većom vlagom tla. Dno je vrtache prekriveno kamenim blokovima, gdje je ekološki profil tla plići u odnosu na sredinu vrtache, zbog čega je i vлага tla bila manja u odnosu na sredinu vrtache. U odnosu na obod, tlo i stijene su na dnu vrtache vlažniji, veći su dio vremena u sjeni, a budući da primaju manje Sunčeva zračenja, manja je i evaporacija iz tla. Sve je to zajedno utjecalo na razliku u vlazi tla između oboda i dna vrtache (slika 10).



Slika 10. Usporedba prosječnih vrijednosti volumetrijske vlage tla (%). Stupci predstavljaju prosječnu vrijednost \pm standardna devijacija. Vrijednosti označene različitim slovom statistički se značajno razlikuju, $p < 0,05$.

Fig. 10 Comparison of average values of volumetric soil moisture (%). Columns represent mean value \pm standard deviation. Values marked with a different letter are significantly different, $p < 0.05$.

4. Zaključci – Conclusions

Na temelju dobivenih rezultata mogu se iznijeti ovi zaključci:

- ⇒ Temperatura se zraka značajno smanjivala sa smanjenjem nadmorske visine u vrtaci, odnosno najniže su vrijednosti na dnu vrtache. Vertikalni je temperaturni gradijent u vrtaci iznosio 0,7 °C.
- ⇒ Relativna je vlažnost zraka bila najveća na dnu vrtache. Kao i kod temperature zraka, nije posto-

jala statistički značajna razlika između relativne vlažnosti zraka oboda vrtache i srednjega položaja u vrtaci. Najveće amplitude temperature zraka i relativne vlažnosti zraka bile su na obodu vrtache.

- ⇒ Apsolutna minimalna temperatura tla bila je na dnu vrtache, dok je apsolutna maksimalna temperatura tla bila na obodu vrtache. Na obodu je vrtache najtoplije, pa je tamo izmjerena i apsolutna minimalna vrijednost vlage tla. Apsolutna je maksimalna vлага tla bila na sredini vrtache. Temperatura se tla značajno smanjivala s dubinom vrtache i te su razlike bile statistički značajne između sve tri pozicije u vrtaci. Na obodu je vrtache bila najmanja prosječna vrijednost vlage tla, a najveća je bila na sredini vrtache.
- ⇒ Postojala je statistički značajna razlika u vrijednostima vlage tla na sve tri pozicije u vrtaci. Ona je ovisna o više klimatskih elemenata, stanišnih čimbenika i o strukturi šumske sastojine. Očigledno su dubina ekološkoga profila tla te kamenitost terena utjecali na vrijednosti volumetrijske vlage tla.
- ⇒ Mikroklima vrtache utjecala je na pojavnost pojedinih vrsta šumskogog drveća i na obrnuti redoslijed šumskih vrsta drveća s obzirom na nadmorsku visinu kao reljefni čimbenik.

Zahvala – Acknowledgement

Ovaj je rad dio istraživanja završnoga rada studentice Karle Soldo koji je obranjen pod mentorstvom prof. dr. sc. Damira Ugarkovića.

5. Literatura – References

- Aussenac, G., 2000: Interactions between forest stand and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Annals of Forest Science*, 57(3): 287–301. <https://doi.org/10.1051/forest:2000119>
- Bakšić, D., N. Bakšić, D. Krstonošić, N. Pernar, I. Perković, S. Mikac, V. Roje, B. Krtalić, 2023: Značajke šumske prostrirke i tla u šumi obične jele i crnoga graba (*Ostrya-Abietetum* /Fukarek 1963/ Trinajstić 1983) na Biokovu. *Šumarski list*, 147(7–8): 307–318. <https://doi.org/10.31298/sl.147.7-8.1>
- Bertović, S., 1975: Acta Biologica VII/2, Prilog poznavanju odnosa klime i vegetacije u Hrvatskoj. Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb, 215 str.
- Buzjak, N., S. Buzjak, D. Orešić, 2011: Florističke, mikroklimatske i geomorfološke značajke ponikve Japage na Žumberku (Hrvatska). *Šumarski list*, 135(3–4): 127–137.
- Hrašovec, B., M. Ivkov, V. Kušan, 1994: Mikroklima Viljske ponikve – kompjutorski model. U: Zbornik radova: 40

godina NP »Risnjak« (1953.–1993.), A. Frković (ur.), Crni Lug, 123–128.

<https://np-sjeverni-velebit.hr/www/hr/park>

Jug, D., B. Stipešević, I. Jug, M. Mesić, M. 2011: Agroklimatološki pojmovnik. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek, 118 str.

Marinček, L., L. Mucina, M. Zupančič, L. Poldini, I. Dakskobler, M. Accetto, 1993: Nomenklatorische Revision der illyrischen Buchenwälder (verband *Aremonio-Fagion*). *Studia Geobotanica*, 12: 121–135.

Penzar, I., B. Penzar, 2000: Agrometeorologija. Školska knjiga, Zagreb, 222 str.

Pernar, N., D. Bakšić, M. Ančić, I. Perković, 2022: Kemijske značajke površinskog dijela tla u odnosu na litologiju i geomorfologiju visokog krša. *Šumarski list*, 146 (11–12): 475–485. <https://doi.org/10.31298/sl.146.11-12.1>

Soldo, K., 2020: Utjecaj reljefa krša na mikroklimatske uvjete. Završni rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 19 str.

Šegota, T., A. Filipčić, 1996: Klimatologija za geografe. Školska knjiga, Zagreb, 471 str.

Šegota, T., A. Filipčić, 2003: Köppenova podjela klima i hrvatsko nazivlje. *Geoadria*, 8(1): 17–37.

Šimunić, I., 2013: Uređenje voda. Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb, 260 str.

Seletković, Z., 1984: Šumsko uzgojno značenje temperaturne inverzije u kitnjakovim i bukovim šumama Medvednice. *Glasnik za šumske pokuse*, 22: 305–332.

TIBCO Software Inc. 2018: Statistica (data analysis software system), version 13. <http://tibco.com>.

Ugarković, D., I. Tikvić, M. Šporčić, Ž. Španjol, R. Rosavec, 2017: Utjecaj strukture sastojina na mikroklimu šumskih ekosustava hrasta crnike (*Quercus ilex* L.) i alepskoga bora (*Pinus halepensis* Mill.). *Nova mehanizacija šumarstva*, 38(1): 57–65.

Ugarković, D., I. Tikvić, K. Popić, J. Malnar, I. Stankić, 2018: Microclimate and natural regeneration of forest gaps as a consequence of silver fir (*Abies alba* Mill.) dieback. *Šumarski list*, 142(5–6): 235–245. <https://doi.org/10.31298/sl.142.5-6.7>

Ugarković, D., I. Seletković, I. Tikvić, M. Ognjenović, K. Popić, M. Orešković, N. Potočić, 2021: Povezanost mortaliteta obične jele (*Abies alba* Mill.) na području Fužina s klimatskim i strukturnim parametrima. *Šumarski list*, 145 (7–8): 311–321. <https://doi.org/10.31298/sl.145.7-8.1>

Vilović, T., S. Buzjak, N. Buzjak, 2019: Floristic and microclimatic features of the Sovljak doline (Mt. Velika Kapela, Croatia). *Šumarski list*, 143(1–2): 35–43. <https://doi.org/10.31298/sl.143.1-2.4>

Vukelić, J., Đ. Rauš, 1998: Šumarska fitocenologija i šumske zajednice u Hrvatskoj. Šumarski fakultet, Zagreb, 307 str.

Whiteman, C. D., T. Haiden, B. Pospichal, S. Eisenbach, 2004: Minimum temperatures, diurnal temperature ranges and temperature inversions in limestone sinkholes of different size and shape. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 43(8): 1224–1236. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2004\)043<1224:MTDTRA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2004)043<1224:MTDTRA>2.0.CO;2)

Zaninović, K., L. Srnc, M. Perčec Tadić, 2004: A digital annual temperature map of Croatia. *Hrvatski meteorološki časopis*, 39: 51–58.

Abstract

Microclimatic Conditions in Karst Area Sinkhole

Microclimate is the specific climate of a smaller, often limited space, forest, meadow, some landforms, etc. It depends on the macroclimate of the wider area, but also on a number of other habitat and stand factors. The aim of the research was to analyse the microclimate of one of the karst phenomena - a sinkhole. The research was carried out in the area of Mule in the Northern Velebit National Park. The microclimate was measured at three different positions of the sinkhole, namely the rim, middle and bottom of the sinkhole. The following climatic elements were measured: air temperature (°C), relative air humidity (%), soil temperature (°C) and volumetric soil moisture (%). The highest air temperature amplitude was observed at the rim of the sinkhole. The air temperature decreased with the depth of the sinkhole, and the relative air humidity increased with the depth of the sinkhole. For both climatic elements, there was a statistically significant difference only at the bottom of the sinkhole. The temperature gradient in the sinkhole was 0.7 °C. Soil temperatures decreased significantly from the rim to the bottom of the sinkhole. The absolute minimum value of soil moisture was observed at the rim of the sinkhole, and the absolute maximum soil moisture in the middle of the sinkhole, where the greatest fluctuation of soil moisture was found. Volumetric soil moisture was statistically significantly different at all three positions in the sinkhole. The microclimate of the sinkhole affected the inverse arrangement of forest ecosystems with respect to altitude.

Keywords: microclimate, karst, sinkhole, temperature inversion

Adrese autorâ – Authors' addresses:

Prof. dr. sc. Damir Ugarković*
e-pošta: dugarkovic@sumfak.hr
Prof. dr. sc. Ivica Tikvić
e-pošta: ivicatikvic1@gmail.com
Sveučilište u Zagrebu
Fakultet šumarstva i drvne tehnologije
Svetošimunska cesta 23
10000 Zagreb
HRVATSKA
Karla Soldo, mag. ing. silv.
Ante Starčevića 120
34000 Požega
HRVATSKA

Primljeno (Received): 15. 6. 2023.

Prihvaćeno (Accepted): 26. 7. 2023.

*Glavni autor – Corresponding author