

Mikroklimatske razmere v sestojih in vrzelih dinarskih jelovo-bukovih gozdov Slovenije z vidika podnebnih sprememb

Microclimate Conditions in Mature Stands and Canopy Gaps of Dinaric Silver Fir-Beech Forests in Slovenia from Climate Change Perspective

Janez KERMAVNAR¹, Mitja FERLAN², Aleksander MARINŠEK^{3,4}, Klemen ELER^{5,6}, Andrej KOBLER⁷, Lado KUTNAR⁸

Izvleček:

Kermavnar, J., Ferlan, M., Marinšek, A., Eler, K., Kobler, A., Kutnar, L.: Mikroklimatske razmere v sestojih in vrzelih dinarskih jelovo-bukovih gozdov Slovenije z vidika podnebnih sprememb; Gozdarski vestnik, 77/2019, št. 10. V slovenščini z izvlečkom in povzetkom v angleščini, cit. lit 38. Prevod Breda Misja, jezikovni pregled slovenskega besedila Marjetka Šivic.

Dinarski jelovo-bukovi gozdovi so eden glavnih gozdnih vegetacijskih tipov v Sloveniji, v katerih so se v zadnjem obdobju zaradi naravnih ujm spremenile ekološke razmere. Namen raziskave je bila analiza izbranih spremenljivk mikroklimata (temperatura zraka, relativna zračna vlaga) v strnjjenih sestojih, v presvetljenih sestojih in v sestojnih vrzelih na treh raziskovalnih območjih (Trnovski gozd, Snežnik, Kočevski rog). Za strnjene sestoje je bila značilna visoka stopnja zastiranja tal s krošnjami dreves (~ 95 %). Sestojne vrzeli so nastale s posekom vseh dreves na krožni površini 0,4 ha, v presvetljenih sestojih pa je bila posekana približno polovica lesne zaloge gozdnega sestoja. Ukrepi so bili izvedeni leta 2012, meritve meteoroloških spremenljivk pa smo opravili prvo (2013) in drugo (2014) leto po sečnji. Primerjali smo, kako se mikroklimatske razmere v sestojih in vrzelih spreminjajo v vegetacijski sezoni (maj–oktober) in kakšne so razlike med dvema meteorološko razmeroma različnima poletjema v letih 2013 (več vročinskih valov, poletna suša) in 2014 (nestanovitno vreme z relativno veliko količino padavin). Izmerjene najvišje dnevne temperature zraka (T_{\max}) so bile izrazito višje v vrzelih kot v sestoju, v povprečju za 3,6 °C; najnižja relativna zračna vlaga (RV_{\min}) pa je bila nižja, v povprečju za 15,0 odstotnih točk. Razlike v obeh spremenljivkah med sestoji in vrzelmi so bile največje v poletnih mesecih (junij–avgust) leta 2013 (T_{\max} : 4,9 °C; RV_{\min} : -19,7 odstotnih točk), ki je bilo razmeroma vroče in sušno. Na podlagi meritev meteoroloških spremenljivk in zastora drevesnih krošenj (podatki LiDARskega snemanja) v presvetljenih sestojih smo ugotovili statistično značilno negativno linearno povezavo med zastorom drevesnih krošenj in T_{\max} ter pozitivno povezavo med zastorom krošenj in vrednostmi RV_{\min} . Rezultate analiz smo prikazali v luči potencialnih vplivov podnebnih sprememb, katerim so dinarski jelovo-bukovi gozdovi zaradi kombinacije neugodnih dejavnikov – npr. zmanjšana mehanska in biološka stabilnost sestojev zaradi velikopovršinskih motenj, poletne suše, vodoprepusten kraški teren ter pogosto plitva tla z majhno sposobnostjo zadrževanja vode – še posebej izpostavljeni.

Ključne besede: dinarski jelovo-bukovi gozdovi, temperatura zraka, relativna zračna vlaga, sestojne vrzeli, zastor krošenj dreves, podnebne spremembe, Slovenija

Abstract:

Kermavnar, J., Ferlan, M., Marinšek, A., Eler, K., Kobler, A., Kutnar, L.: Microclimate Conditions in Mature Stands and Canopy Gaps of Dinaric Silver Fir-Beech Forests in Slovenia from Climate Change Perspective; Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry), 77/2019, vol 10. In Slovenian, abstract and summary in English, lit. quot. 38. Translated by the authors, proofreading of the English text Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

Dinaric silver fir-beech forests in Slovenia represent one of the main forest vegetation types, where changes of ecological conditions occurred due to intense natural disturbances in the recent years. The aim of this research was to investigate microclimatic conditions (air temperature, relative humidity) in dense, mature forest stands, in thinned stands, and in canopy gaps, located within selected study sites (namely Trnovski gozd, Snežnik, Kočevski rog). Mature stands were characterized by dense overstory canopy cover (~ 95%). Artificial canopy gaps were created by cutting down all trees in circular areas of 0.4 ha, whereas in thinned stands approx. a half of the stand growing stock was removed. Silvicultural treatments were implemented in 2012 and field measurements of meteorological variables were conducted one (in 2013) and two (in 2014) years after the felling. We compared how the microclimate differed between stands and gaps during the growing season (May–October) and analysed these variations in relation to two meteorologically contrasting summers of the year 2013 (heat waves, summer drought) and the year 2014 (changeable weather with relatively high amount of rainfall). Measured maximal daily air temperatures (T_{\max}) were on average significantly higher in canopy gaps (on average for 3.6 °C) compared to below-canopy, while minimal relative humidity (RV_{\min}) was lower (on average for 15.0 percentage points). The differences in these two

variables were largest during the relatively hot and dry period of summer 2013 (T_{\max} : 4.9 °C; RV_{\min} : -19.7 percentage points). Based on the measurements of meteorological variables and overstory canopy cover (LiDAR data) in thinned stands, we found statistically significant negative linear correlation between canopy cover and T_{\max} and positive correlation between canopy cover and RV_{\min} . Results are discussed in the context of potential impacts of ongoing climate change, which are expected to strongly affect the Dinaric silver fir-beech forests in the future due to the combination of unfavourable factors, such as reduced mechanical and biological stability of forest stands as a consequence of large-scale disturbances, prolonged summer droughts, water-permeable karst terrain and associated shallow soils with low water storage capacity.

Key words: Dinaric silver fir-beech forests, air temperature, relative humidity, canopy gaps, overstory canopy cover, climate change, Slovenia

¹ J. K., mag. inž. gozd., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno ekologijo. Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija; janez.kermavnar@gozdis.si

² Dr. M. F., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno ekologijo. Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, mitja.ferlan@gozdis.si

³ Dr. A. M., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno ekologijo. Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija; aleksander.marinsek@gozdis.si

⁴ Dr. A. M., Višja strokovna šola za gozdarstvo in lovstvo, Ljubljanska cesta 2, SI-6230 Postojna, Slovenija

⁵ Doc. dr. K. E., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana, Slovenija; klemen.eler@bf.uni-lj.si

⁶ Doc. dr. K. E., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno ekologijo. Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

⁷ Dr. A. K., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za načrtovanje in monitoring gozdov in krajine. Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, andrej.kobler@gozdis.si

⁸ Doc. dr. L. K., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno ekologijo. Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija; lado.kutnar@gozdis.si

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Mikroklimatske razmere, poleg nekaterih drugih dejavnikov okolja (npr. tla, relief), pomembno vplivajo na zgradbo, rast in stabilnost gozdnih sestojev ter na razvoj gozdne vegetacije (Vilhar in sod., 2006). Pri nastanku večje vrzeli, bodisi naravnega ali antropogenega izvora, se zaradi odstranitve drevja na tovrstnih površinah zelo spremeni mikroklima gozda. Brez zastora drevesnih krošenj v vrzeli se praviloma odražajo večji temperaturni ekstremi in višja povprečna dnevna ter letna temperatura, večja je izpostavljenost vetrovom, nižja je relativna zračna vlaga, večja je količina na gozdna tla dospelih padavin (Ausse-nac, 2000). Ob očitnih spremembah makroklimе (Spathelf in sod., 2013) se spreminjajo abiotске razmere za rast drevja in drugih rastlin tudi na lokalnem nivoju. Poznavanje mikroklimatskih razmer je pomembno za načrtovanje ustreznih gozdnogojitvenih ukrepov, še zlasti v luči podnebnih sprememb, ko je že in bo še treba uvajati načine prilagodljivega gospodarjenja z gozdovi (Lindner in sod., 2002).

Dinarski jelovo-bukovi gozdovi (gozdna združba bukve in spomladanske torilnice (*Omphalodo-Fagetum*)) v Sloveniji pokrivajo več kot 10 % vseh gozdnih površin in so eden najbolj razširjenih gozdnih vegetacijskih tipov pri nas (Dakskobler, 2008). To so gospodarsko in ekološko pomembni gozdni ekosistemi. Poseben pečat jim dajeta zelo razgiban kraški teren in z njim povezana površinska skalnatost, ki se lokalno zelo spreminja, ter pestre talne razmere. Ohranjanje zastora drevesnih krošenj je v teh gozdnih bistvenega pomena, saj v primeru njihove odstranitve na večjih površinah obstaja nevarnost erozije tal in posledičnega zakrasevanja (na površju so vidne predvsem gole, neporasle skale). Navkljub relativno dobri ohranjenosti naravnih sestojev pa je precejšen delež teh gozdov v zadnjih nekaj letih doživel korenite spremembe. Zaradi številnih naravnih ujm (žledolom, prenamnožitve podlubnikov, vetrolomi) in z njimi povezanimi ukrepi gospodarjenja (sanacija poškodovanih gozdov) so nastale razmeroma obsežna območja presvetljenih ali povsem ogolelih, odprtih površin. Najbolj prizadeti so sestoji na rastiščih dinarskega jelovo-bukovega gozda na nižjih nadmorskih

višinah, kjer so bili v preteklosti osnovani nasadi iglavcev ali sestoji, v katerih sta prevladovali jelka ali smreka. Glede na nekatere napovedi (Kutnar in Kobler, 2007) naj bi bili dinarski jelovo-bukovi gozdovi še posebno izpostavljeni negativnim učinkom podnebnih sprememb, saj naj bi se zaradi naraščanja temperatur in pomanjkanja padavin znatno zmanjšala ustrezna rastišča za uspevanje tega vegetacijskega tipa. Na rastiščih dinarskih jelovo-bukovih gozdov bi ob večjih spremembah podnebja lahko uspevale bolj toploljubne oblike bukovih gozdov ali celo združbe termofilnih listavcev. Na podlagi prostorskih modelov sta Kutnar in Kobler (2007) ugotovila, da bi lahko ob predvidenem scenariju podnebnih sprememb (dvig povprečne letne temperature za 2 °C in

zmanjšanje letne količine padavin za 200 mm) dinarskemu jelovo-bukovemu gozdu optimalno ustrezala celo manj kot tretjina dosedanjih rastišč.

O morebitnih vplivih globalnih podnebnih sprememb na mikroklimo v gozdovih lahko sklepamo tudi na podlagi primerjave ključnih podnebnih parametrov med sestoji in vrzelmi. Poleg tega je smiselno te razlike obravnavati v odvisnosti od splošne vremenske situacije. Dosedanje študije (npr. von Arx in sod., 2013; Davis in sod., 2019) so namreč pokazale, da je blažilni vpliv zastora drevesnih krošenj v strnjenih gozdnih sestojih najizrazitejši v času najbolj zaostrenih razmer (poletna vročina in suša). Namen prispevka je analizirati osnovne mikroklimatske razmere v vegetacijskem obdobju v sestojih in vrzelih v gospodarskih jelovo-bukovih gozdovih Slovenije. Osrednji del analiz je namenjen primerjavi mikroklimo med ohranjenimi sestoji s tesnim sklepom krošenj in sestojnimi vrzelmi, ki so nastale zaradi poseka dreves. Zanimalo nas je tudi, ali se mikroklimatske razmere razlikujejo med vegetacijskimi sezonami oz. poletji (junij–avgust), npr. med leti 2013 (vroče in sušno; Vertačnik, 2014) in 2014 (nestanovitno vreme z relativno veliko količino padavin; ARSO, 2014). Zaradi vplivov podnebnih sprememb (vročinski valovi, pomanjkanje padavin poleti) lahko pričakujemo, da bodo v prihodnje zaostrene mikroklimatske razmere, podobne tistim poleti leta 2013, vse pogostejše.



Slika 1: Trinožnik z merilnimi inštrumenti za izmero temperature zraka in zračne vlage na eni izmed sestojnih vrzeli v Kočevskem rogu. Merilniki so bili nameščeni 0,5 m nad tlemi ter v posebnem ohišju, zaščiteni pred neposrednim sončnim sevanjem (foto: L. Kutnar).

Figure 1: Instruments for measuring air temperature and relative humidity on a tripod in one of the canopy gaps in Kočevski rog study site. Instruments were installed 0.5 m above ground and surrounded by radiation shields to protect the sensors against direct solar radiation (Photo: L. Kutnar).

2 METODE

2 METHODS

2.1 Študijsko območje in terenske meritve

2.1 Study area and field measurements

Študija je potekala na treh raziskovalnih območjih v dinarskih jelovo-bukovih gozdovih Slovenije: Trnovski gozd, Snežnik in Kočevski rog. Raziskovalni objekti so na nadmorski višini od 750 do 900 m. Na vsakem območju smo izbrali po tri sklenjene sestoje z ohranjenim sklepom krošenj (Slika 2) ter po tri sestojne vrzeli krožne oblike (gozdne poseke velikosti 0,4 ha; Slika 3), ki so nastale kot posledica sečnje dreves v letu 2012. Osnovanje vrzeli takih velikosti v večini primerov ni ustaljen način obnove/pomladitve v obravnavanih gozdnih ekosistemih. Vrzeli so bile narejene v okviru aktivnosti projekta LIFE+

ManFor C.BD, v sklopu katerega smo spremljali vplive večnamenskega gospodarjenja na ogljik, biotsko pestrost in socio-ekonomske koristi. V treh sestojih na vsakem območju je bil opravljen posek polovice lesne zaloge sestoja na površini 0,4 ha (presvetljeni sestoji; Slika 4). Sklenjeni

sestoji, presvetljeni sestoji in sestojne vrzeli so bili v kraških vrtačah, ki so ena od prevladujočih konkavnih reliefnih oblik gozdov visokega krasa. V vsakem sestoji in vrzeli smo na treh različnih mestih (dno oz. središče vrtače, severna stran vrtače, južna stran vrtače) postavili merilne



Slika 2: Strnjeni gozdni sestoj s sklenjenim sklepom drevesnih krošenj dinarskega jelovo-bukovega gozda na območju Trnovskega gozda (foto: L. Kutnar).

Figure 2: Mature stand with dense overstory canopy cover in the Dinaric silver fir-beech forest in the Trnovski gozd study site (Photo: L. Kutnar).



Slika 3: Sestojna vrzel na območju Trnovskega gozda. Fotografija je nastala dve leti po poseku dreves (foto: L. Kutnar).

Figure 3: Canopy gap in the Trnovski gozd study site. The photograph was taken two years after the trees were cut down (Photo: L. Kutnar).

inštrumente za izmero temperature zraka (T , °C) in relativne zračne vlage (RV, %). Meritve smo opravili z merilniki in hranilniki podatkov DL120TH, Voltcraft, ki so bili postavljeni na višini 0,5 m nad tlemi (Slika 1). Meritve vremenskih spremenljivk so potekale v času vegetacijske sezone, od začetka maja do konca oktobra, v letih 2013 in 2014, torej prvo in drugo leto po sečnji. Podatki so bili samodejno izmerjeni vsakih 30 minut.

2.2 Obdelava podatkov

2.2 Data analysis

Polurne vrednosti za temperaturo in vlažnost so bile agregirane (preračunane) v dnevne vrednosti. Izračunane vrednosti predstavljajo povprečja za vsa tri raziskovalna območja in tri ploskvice oz. merilna mesta – vpliva teh dejavnikov (lokacije in mikrolokacije znotraj kraške vrtače) v tem prispevku ne obravnavamo. Pri analizah smo se osredotočili na dve spremenljivki: najvišjo dnevno temperaturo (T_{\max}) in najnižjo dnevno relativno vlago (RV_{\min}). Na podlagi dnevni vrednosti (skupno 184 dni za vsako vegetacijsko sezono) smo izračunali razlike (Δ = vrzel minus sestoj) za T_{\max} in RV_{\min} . Za vsako od ploskvic/merilnih mest smo na podlagi podatkov LiDARskega snemanja pridobili podatek glede zastrtosti tal s krošnjami dreves (v %) oz. vegetacije, višje od 5 m. Analizirali smo odnos (linearno regresijo) med zastorom krošnje vegetacije in T_{\max} ter med zastorom krošnje in RV_{\min} . Pri tej analizi smo za odvisni spremenljivki uporabili povprečne vrednosti na nivoju ploskvice, izračunane na podlagi obeh vegetacijskih sezon. Pri opisu splošne vremenske situacije oz. razlik med dvema sezonama smo uporabili nekatere podatke za ARSO klimatološke postaje, ki so najbližje raziskovalnim območjem: postaja Vojsko za Trnovski gozd, postaja Babno Polje za Snežnik in postaja Kočevje za Kočevski rog (ARSO, 2019).

3 REZULTATI

3 RESULTS

Vrednosti T_{\max} so bile v vseh mesecih obeh vegetacijskih sezon višje v vrzelih kot v strnjjenih sestojih (Slika 5). V letu 2013 je najvišja vrednost (aritmetična sredina \pm standardni odklon za 9 ploskev oz. vrtač) dnevne T_{\max} v sklenjenih sestojih znašala $31,7 \pm 1,3$ °C, v vrzelih pa $36,5 \pm 1,5$ °C. Največja razlika

(ΔT_{\max}) med sestoji in vrzelmi je bila v povprečju julija ($5,3 \pm 0,6$ °C). Povprečna vrednost ΔT_{\max} čez celotno sezono 2013 je znašala $3,8 \pm 1,8$ °C. V letu 2014 je bila najvišja dnevna izmerjena T_{\max} v sklenjenih sestojih $27,8 \pm 3,8$ °C, v vrzelih pa $33,0 \pm 1,8$ °C. Največja ΔT_{\max} med sestoji in vrzelmi je bila v povprečju julija ($4,2 \pm 1,3$ °C). ΔT_{\max} čez celotno sezono 2014 je v povprečju znašala $3,3 \pm 1,5$ °C. V obeh letih je bila ta razlika najmanjša ob koncu vegetacijske sezone, v oktobru: $1,4 \pm 1,1$ °C leta 2013 in $1,6 \pm 0,8$ °C leta 2014 (Slika 5). V času naših meritev so temperature zraka dosegle absolutno najvišje vrednosti (sestoj: $33,5$ °C, vrzel: $39,5$ °C) v začetku avgusta 2013, kar sovпада z vročinskim valom, ki se je v tistem obdobju pojavil v večjem delu države (Vertačnik, 2014).

Najnižja relativna zračna vlaga (RV_{\min}) je bila v vrzelih znatno nižja kot v sestojih. To velja za vse mesece obeh let (Slika 5). V vegetacijski sezoni 2013 je najnižja vrednost dnevne RV_{\min} v sklenjenih sestojih znašala $28,8 \pm 3,8$ %, v vrzelih pa $19,2 \pm 4,6$ % (aritmetična sredina \pm standardni odklon za 9 ploskev oz. vrtač). Največja razlika (ΔRV_{\min}) med sestoji in vrzelmi je bila v povprečju junija ($-24,0 \pm 4,3$ odstotnih točk). Povprečna vrednost ΔRV_{\min} čez celotno sezono 2013 je znašala $-16,3 \pm 7,5$ odstotnih točk. V letu 2014 je najnižja dnevna izmerjena RV_{\min} v sklenjenih sestojih znašala $43,5 \pm 17,1$ %, v vrzelih pa $28,6 \pm 9,8$ %. Največja ΔRV_{\min} med sestoji in vrzelmi je bila v povprečju julija ($-16,7 \pm 5,5$ odstotnih točk). ΔRV_{\min} čez celotno sezono 2014 je v povprečju znašala $-13,7 \pm 6,1$ odstotnih točk. V obeh letih je bila ta razlika najmanjša oktobra: $-7,8 \pm 5,9$ odstotnih točk leta 2013 in $-7,6 \pm 3,4$ odstotnih točk leta 2014 (Slika 5).

Največje izmerjene razlike med letoma 2013 in 2014 so bile v poletnih mesecih (junij–avgust), kar potrjujejo tudi podatki za primerljive vremenske spremenljivke iz najbližjih postaj ARSO (Preglednica 1). Primerjava kaže, da je bilo poletje 2013 na vseh treh lokacijah toplejše (višja povprečna temperatura, več vročih dni) ter bolj sušno (nižja relativna vlaga, manjša količina padavin) v primerjavi s poletjem v letu 2014.

V presvetljenih sestojih, kjer so posekana drevesa pomenila približno polovico celotne lesne zaloge sestojev, so se ploskvice oz. merilna mesta precej razlikovala glede zastora drevesnih

krošenj, kar je povezano s prisotnostjo posameznih odraslih dreves oz. nadstojne vegetacije, ki je ostala v sestoji. Glede na meritve v presvetljenih sestojih smo ugotovili statistično značilno ($p = 0,002$; $R^2 = 0,33$) negativno linearno povezavo med zastorom krošenj in vrednostmi T_{max} (Slika 6a). Na ploskvicah z večjim zastorom krošenj so bile v povprečju izmerjene nižje najvišje dnevne temperature (in obratno). Statistično značilna pozitivna povezava ($p = 0,005$; $R^2 = 0,28$) je bila ugotovljena tudi med zastorom krošenj in RV_{min} (Slika 6b). Na merilnih mestih z večjim zastorom krošenj so bile v povprečju višje najnižje vrednosti relativne vlage (in obratno). Analize nakazujejo, da ima zastor krošenj dreves pomembno vlogo pri uravnavanju mikroklimatskih razmer v gozdovih.

4 RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI

4 DISCUSSION AND CONCLUSIONS

4.1 Splošno

4.1 General discussion

Gozd z zmanjševanjem temperaturnih in vlažnostnih ekstremov blaži mikroklimo (Morecroft in sod., 1998). Rezultati naše raziskave kažejo na izrazite razlike v temperaturi zraka in relativni zračni vlagi med sestoji in vrzelmi v celotni vegetacijski

sezoni. Z analizami smo potrdili, da so razlike največje poleti, na višku vegetacijske sezone (julij, avgust), ko so ekološke razmere za rast rastlin pogosto manj ugodne. Domnevamo, da so ugotovljene razlike med sestoji in vrzelmi v poletnem času (ΔT_{max} : 4,5 °C; ΔRV_{min} : 18,0 odstotnih točk) pomembne z ekofiziološkega vidika. Višje temperature in nižja zračna vlaga neposredno vplivajo na preživetje, rast in razmnoževanje rastlin (Davis in sod., 2019). Nekatere pozno-sukcesijske drevesne in nelesnate rastline na ekstremne razmere odprtih gozdnih površin niso optimalno prilagojene. Zelo podobne mikroklimatske razmere kot na naših raziskovalnih objektih so se vzpostavile na številnih presvetljenih in povsem odprtih gozdnih površinah, ki so v dinarskih jelovo-bukovih gozdovih Slovenije nastale po zadnjih ujmah oz. velikopovršinskih motnjah. Ponekod (Notranjska, Snežniško območje, Trnovski gozd) so take površine lahko tudi bistveno večje kot vrzeli v naši raziskavi, kar pomeni še večje mikroklimatske ekstreme (Abd Latif & Blackburn, 2010).

Izbor let 2013 in 2014 je omogočil primerjavo mikroklimatskih razmer med sestoji in vrzelmi v dveh meteorološko precej različnih vegetacijskih sezonah oz. poletjih. Poletje 2013 je bilo v Sloveniji med najtoplejšimi, najbolj suhimi in najbolj sončnimi v zadnjih desetletjih (Vertačnik, 2014).



Slika 4: Presvetljeni sestoj dinarskega jelovo-bukovega gozda na Snežniku, v katerem je bila leta 2012 posekana približno polovica lesne zaloge sestoja. Fotografija je nastala dve leti po sečnji (foto: L. Kutnar).

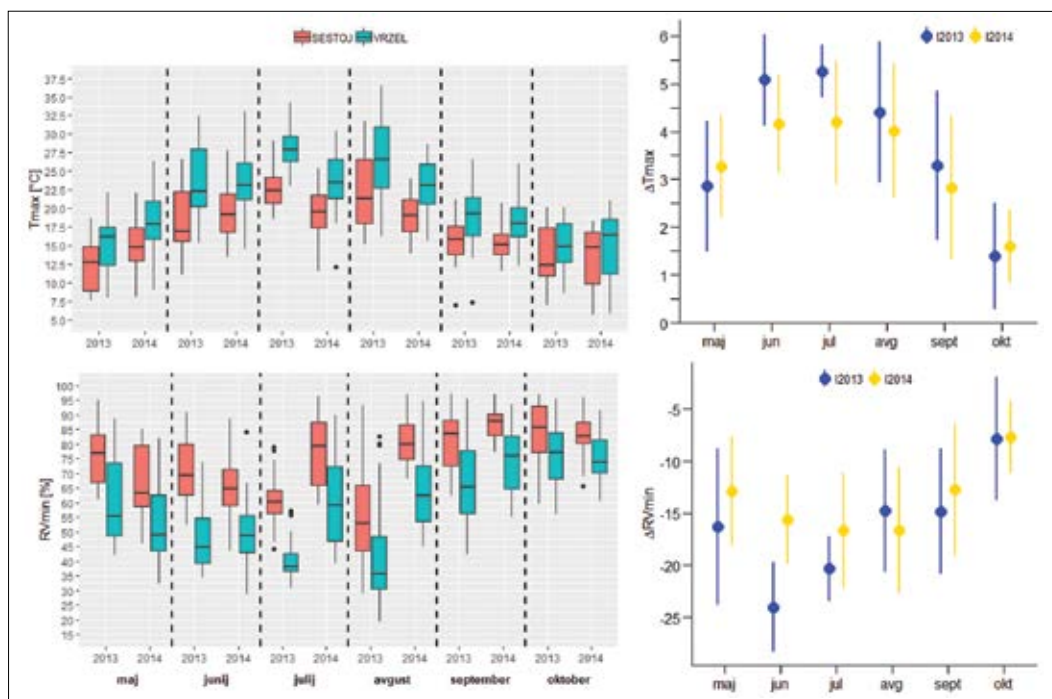
Figure 4: Thinned stand in the Dinaric silver fir-beech forest in the Snežnik study site, where approx. 50% of stand growing stock was felled in year 2012. The photograph was taken two years after tree felling (Photo: L. Kutnar).

Pogostnost izredno vročih in suhih let oz. poletij se bo v prihodnje verjetno še povečevala.

V spremenjenih podnebnih razmerah s toplejšim ozračjem so lahko strnjeni sestoji z ohranjeno sestojno (mikro)klimo zatočišča za gozdne vrste rastlin in drugih organizmov (Davis in sod., 2019). Kljub temu pa se postavlja vprašanje, v kolikšni meri bodo sestoji še sposobni blažiti podnebne ekstreme v prihodnosti (De Frenne in sod., 2013). Raziskovalci opozarjajo, da je ta sposobnost zaradi vpliva podnebnih sprememb, predvsem zaradi večanja pogostosti in intenzivnosti naravnih in antropogenih motenj, resno ogrožena (von Arx in sod., 2013; Davis in sod., 2019). V zmernem podnebnem pasu lahko pričakujemo pogostejša izrazita ekstremna vremenska stanja, npr. vročinske valove, sušna obdobja in neurja z orkanskim vetrom. Tako se povečujejo možnosti ustvarjanja za gozdno rastje stresnih razmer (visoka temperatura, neposredna

izpostavljenost sončni pripeki, nizka vlaga), ki neposredno ali posredno povzročajo spremembe v vrstni sestavi in strukturi gozdov (Seidl in sod., 2017). Spremembe bodo v veliki meri odvisne tudi od vodne bilance oz. preskrbljenosti gozdnih tal z vodo (von Arx in sod., 2013; Davis in sod., 2019), pri čemer bodo podnebne spremembe imele tudi pomembno vlogo. Še zlasti na kraškem površju je pomanjkanje padavin v rastni dobi lahko usodno za številne gozdne sestoje in rastlinske vrste, vključno z drevesi. Tako so dinarski jelovo-bukovi gozdovi še posebej izpostavljeni vplivom podnebnih sprememb, predvsem zaradi kombinacije neugodnih dejavnikov, kot so zmanjšana mehanska in biološka stabilnost sestojev, poletne suše, vodoprepusten kraški teren, pogosto plitva tla z majhno sposobnostjo zadrževanja vode.

Rezultati naših analiz nakazujejo, da ima zastor krošenj dreves pomembno vlogo pri uravnava-



Slika 5: Najvišja dnevna temperatura zraka (T_{max}) in najnižja relativna zračna vlaga (RV_{min}) v strnjenih sestojih in sestojnih vrzelih dinarskih jelovo-bukovih gozdov. Prikazani so okvirji z ročaji za posamezne mesece od maja do oktobra v dveh vegetacijskih sezonah 2013 in 2014. Na desni strani slike so za posamezno spremenljivko navedene razlike (Δ) med sestoji in vrzelmi po posameznih mesecih, ločeno glede na vegetacijsko sezono.

Figure 5: Maximal daily air temperature (T_{max}) and minimal daily relative humidity (RV_{min}) in closed stands and canopy gaps in the Dinaric fir-beech forests. Boxplots are shown for each month from May till October for two growing seasons 2013 and 2014. The panels on the right side show the monthly differences (Δ) of T_{max} and RV_{min} between closed stand and canopy gap, according to two growing seasons.

Preglednica 1: Podatki za izbrane meteorološke spremenljivke (povprečna dnevna temperatura zraka – T, povprečna dnevna relativna vlaga – RV, količina padavin, št. vročih dni) treh ARSO postaj (Vojsko, Babno Polje, Kočevje), ki so najbližje raziskovalnim območjem. Na podlagi mesečnih podatkov so bila izračunana povprečja (T, RV) in vsote (količina padavin, št. vročih dni) za celotno vegetacijsko sezono (maj–oktober) in ločeno za poletne mesece (junij–avgust) (Vir: arhiv ARSO, 2019).

Table 1: Data for selected meteorological variables (mean daily air temperature – T, mean daily relative humidity – RV, annual rainfall, number of hot days) for three ARSO meteorological stations (Vojsko, Babno Polje, Kočevje), which are closely located to our study sites. Based on the monthly data, mean values (T, RV) and sums (annual rainfall, number of hot days) for the whole growing season (May–October) and separately for the summer period (June–August) were calculated (Source: ARSO archive, 2019).

	Povpr. T [°C]		Povpr. RV [%]		Količina padavin [mm]		Št. vročih dni	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
VOJSKO (1065 m nadm. viš.)								
Vegetacijska sezona	13,0	12,5	79,3	77,8	1089,1	1150,5	4	0
Poletje	16,3	14,8	71,7	76,3	275,5	648,6	4	0
BABNO POLJE (755 m nadm. viš.)								
Vegetacijska sezona	13,6	13,3	78,0	79,7	718,6	1010,5	16	1
Poletje	16,6	15,9	73,7	78,0	207,4	495,2	16	1
KOČEVJE (467 m nadm. viš.)								
Vegetacijska sezona	15,6	15,2	68,7	71,7	633,5	1047,8	30	9
Poletje	18,5	17,5	65,0	70,7	226,9	529,6	30	9

nju mikroklimatskih razmer v gozdovih. Zastor krošenj je odločilen dejavnik pri uravnavanju količine sončnega sevanja oz. svetlobe, ki prispe do gozdnih tal. Spremembe mikroklimatskih razmer so najbolj odvisne od stopnje sprememb zastiranja krošenj nadstojne vegetacije (Aussenac, 2000). Zaradi podnebnih sprememb je mogoče pričakovati, da se bodo take značilnosti gozdnih sestojev zelo spremenile. To posledično pomeni tudi spremembe mikroklimata v gozdnih sestojih. Ob nadaljnjem povečevanju vremenskih ekstremov, ujm in spremljajočih degradacijskih procesov (bolezni, škodljivci) se zdijo vse bolj verjetni drastični premiki v prostorski razporeditvi potencialnih vegetacijskih tipov gozdov oz. skupin podobnih rastišč in območij razširjenosti drevesnih vrst, kot so jih napovedale nekatere modelne simulacije (npr. Kutnar in sod., 2009).

4.2 Gozdarski in gojitveni vidiki

4.2 Forestry and silvicultural aspects

Še do nedavnega je veljalo, da so v Sloveniji velikopovršinske ujme redke, sedaj pa taki dogodki

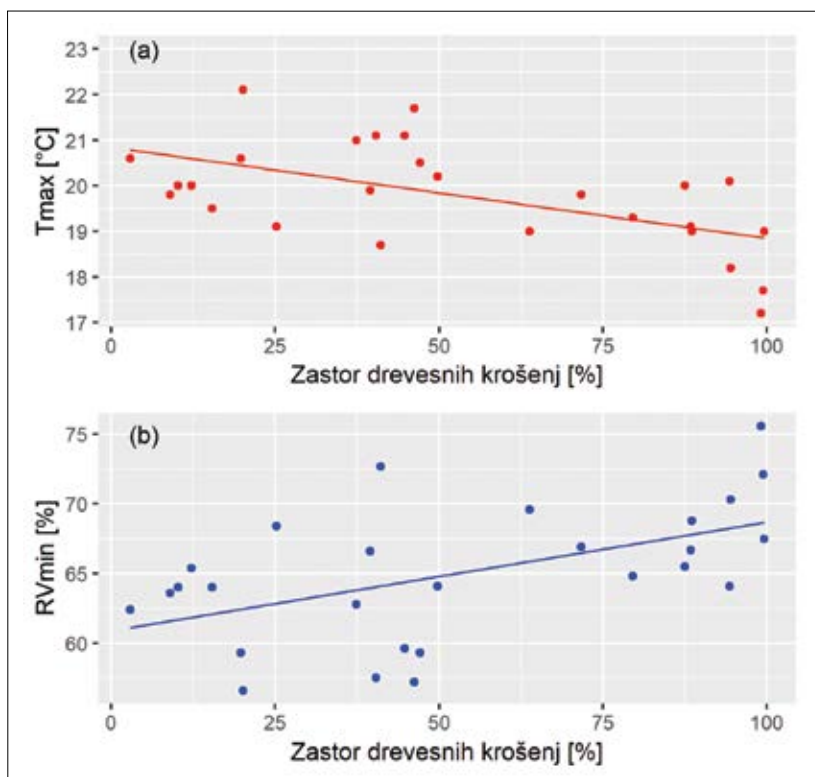
vse bolj krojijo gospodarjenje z gozdovi (Grecc in Kolšek, 2016). V obdobju zadnjih nekaj let so bili med vsemi poškodovanimi gozdovi površinsko najbolj zastopani ravno dinarski jelovo-bukovi gozdovi (Brus in Kutnar, 2017). Režim naravnih motenj in uveljavljeni načini gospodarjenja v teh gozdovih (malopovršinsko ukrepanje, naravna obnova) praviloma ne vključujejo velikih sestojnih vrzeli (Nagel in sod., 2017). Posledično so glavne drevesne vrste dobro prilagojene na pomlajevanje pod zastorom (bukev – *Fagus sylvatica* in jelka – *Abies alba*, vsaj deloma tudi smreka – *Picea abies*), v vrzelih pa se ustvarjajo priložnosti za pomlajevanje nekoliko svetloljubnejših drevesnih vrst (npr. gorski javor – *Acer pseudoplatanus*, veliki jesen – *Fraxinus excelsior*, gorski brest – *Ulmus glabra*, ostrolistni javor – *Acer platanoides*) in pionirskih vrst (npr. trepetlika – *Populus tremula*, breza – *Betula pendula*, vrbe – *Salix* sp.), zlasti v začetnih fazah sukcesijskega razvoja. Pomlajevanje pod zastorom, ki mu sledi odpiranje več manjših vrzeli, je verjetno primernejši način za uspešno naravno pomlajevanje dinarskih jelovo-bukovih

gozdov v Sloveniji kot tvorba večjih vrzeli (Rožnberger in Diaci, 2003; Vilhar in sod., 2015). Po drugi strani pa je ključnega pomena tudi poznavanje odziva sencovzdržnih in poznosukcesijskih (drevesnih) vrst na oblikovanje sestojnih vrzeli na večjih površinah (Čater in Diaci, 2017).

Dosedanja raziskovanja so pokazala, da so med nosilnimi drevesnimi vrstami jelovo-bukovih gozdov precejšnje razlike v odzivu na oblikovanje sestojnih vrzeli (Čater in Levanič, 2013; Čater in sod., 2014; Čater in Diaci, 2017). Hitre spremembe svetlobnih razmer in mikroklimе zaradi ujm oz. motenj pomembno vplivajo na razvoj pomladka drevesnih vrst, ki je pred odstranitvijo zastora nadstojnih dreves uspevalo v povsem drugačnih okoljskih razmerah. Gozdno drevje s pridom izkorišča izboljšane svetlobne razmere v vrzelih le ob predpostavki, da drugi ekološki dejavniki (voda/

vлага, hranila) ne omejujejo rasti mladih dreves. Pomanjkanje talne vlage v začetni fazi razvoja klic lahko drastično zmanjša gostote mladja (Jarčuška, 2009). Jelovo-bukovi gozdovi poraščajo mnoga rastišča s plitvimi tlemi na karbonatni geološki podlagi (apnenec, dolomit), ki imajo majhno sposobnost za zadrževanje vode (Kutnar in sod., 2009). Nosilne drevesne vrste omenjenih gozdov so občutljive za pomanjkanje vode in daljša sušna obdobja, kar še dodatno povečuje dovzetnost za škodljivce in bolezni.

Zaostrene razmere z visoko stopnjo neposredne svetlobe, v kombinaciji z višjimi temperaturami in manjšo zračno vlago, lahko v večjih vrzelih povzročijo zmanjšanje fotosintetske aktivnosti in priraščanja bolj občutljivih poznosukcesijskih vrst, kot je na primer jelka. Spremembe sestojne mikroklimе zaradi gozdnogojitvenih ukrepov in vpliva podnebnih sprememb zmanjšujejo



Slika 6: Linearna povezava med zastorom drevesnih krošenj [%] in (a) najvišjo dnevno temperaturo zraka [°C] – T_{max} ter (b) najnižjo dnevno relativno zračno vlago [%] – RV_{min} . Uporabljeni so bili podatki 27 merilnih mest v presvetljenih sestojih dinarskih jelovo-bukovih gozdov, kjer je bila posekana polovica lesne zaloge gozdnega sestaja. Figure 6: Linear regression between overstory canopy cover [%] and (a) maximal daily air temperature [°C] – T_{max} and (b) minimal daily relative humidity [%] – RV_{min} . Data from 27 plots in thinned stands of the Dinaric fir-beech forests, where 50% of stand growing stock was removed, were used for this analysis.

tekmovalno moč jelke, ki je uspešnejša na vlažnejših in hladnejših rastiščih, saj potrebuje dovolj talne in zračne vlage (Diaci in sod., 2010). Ustrezni načini gospodarjenja z jelko vključujejo daljše pomladitvene dobe, postopno odpiranje vrzeli ter gozdnogojitvene ukrepe, ki pospešujejo raznomerno strukturo sestojev (Čater in Levanič, 2013). Jelka sicer dobro izkorišča povečan dotok (razpršene) svetlobe do gozdnih tal v vrzelih, vendar je prilagoditveni čas bistveno daljši kot pri bukvi (Čater in sod., 2014). Študije so pokazale, da je jelka tudi bolj občutljiva za temperaturna nihanja in pomanjkanje padavin oz. za sušni stres v primerjavi s smreko in bukvijo (Čater in sod., 2014; Čater in Diaci, 2017). Naravno pomlajevanje jelke v večjih vrzelih je lahko do neke mere oteženo že zaradi obilnega pomlajevanja bukve in njene konkurenčne moči, saj mladje bukve v zgodnjih fazah razvoja raste bistveno hitreje. Po drugi strani pa lahko takšna prevlada bukve v prvih fazah po motnji ugodno vpliva na nadaljnji uspeh jelke, ki se lahko nasemeni kasneje v strnjena bukova mladovja, kjer je zaščiten pred močnim poletnim osončenjem in drugimi neugodnimi dejavniki (Diaci in sod., 2010). Poleg neugodnih abiotskih (mikroklimatskih) dejavnikov in kompeticijskih odnosov (konkurenca zeliščne plasti) v vrzelih je pri pomlajevanju jelke nujno treba upoštevati tudi vpliv drugih motenj, zlasti objedanje velikih rastlinojedih parkljarjev (npr. Klopčič in sod., 2010; Simončič in sod., 2019). Podatki naših popisov pritalne vegetacije na obravnavnih ploskvah dve leti po poseku (leto 2014) nakazujejo, da je pokrovnost jelke v zeliščni in grmovni plasti statistično značilno manjša v vrzelih kot pod zastorom (kontrola). Pokrovnost drugih glavnih drevesnih vrst (bukev, smreka, gorski javor) se ni značilno razlikovala med sestoji in vrzelmi. Tudi v raziskavi Diacija in sod. (2010) niso potrdili hipoteze o lažjem uveljavljanju jelke v večjih sestojnih vrzelih gospodarskih gozdov.

Bukev ima v primerjavi z jelko praviloma bistveno večje in hitrejše prilagoditvene sposobnosti na fiziološkem, morfološkem in rastnem nivoju na razmere neposrednega sončnega sevanja in povečane evapotranspiracije (Čater in Levanič, 2013; Čater in sod., 2014). Takšne rastne razmere se pojavljajo v sestojnih vrzelih, predvsem na

sredini oz. na bolj izpostavljenih delih, kot so severni rob vrzeli, južna pobočja ipd. Bukovo mladje lahko uspeva v zelo različnih svetlobnih razmerah (Roženberger in Diaci, 2012). Vendar so na izrazito prisojnih in toplih (mikro)rastiščih ekološke razmere tudi za bukev dokaj neugodne in je tudi pomlajevanje oteženo. Za razliko od jelke in bukve je smreka bolj svetloljubna vrsta oz. slabše prenaša zasenčenje. Zato je pričakovati, da bi se višinska rast in debelinsko priraščanje te vrste v vrzelih značilno povečala, kar pa v študiji Čatra in Diacija (2017) niso uspeli potrditi. Večji delež smreke v dinarskih jelovo-bukovih gozdovih v prihodnje ni smiselno pričakovati, predvsem zaradi njene dovzetnosti za različne abiotske (vetrolomi, suša) in biotske (podlubniki) motnje ter njihovo medsebojno vplivanje. Kljub temu jo je smiselno upoštevati kot spremljevalno vrsto (Brus in Kutnar, 2017). Raziskave kažejo, da v naravnem podmladku na rastiščih dinarskih jelovo-bukovih gozdov lahko gorski javor kot svetloljubna vrsta precej poveča svoj delež. Vendar so drevesca pogosto poškodovana, objedena in slabe kakovosti (Brus in Kutnar, 2017).

Kljub potencialno neugodnim ekološkim dejavnikom v vrzelih je lahko uspevanje občutljivejših vrst omogočeno oz. do neke mere celo pospešeno zaradi vpliva specifičnih mikrorastiščnih razmer. Za dinamiko pomlajevanja v vrzelih je značilno, da je mladje gozdnega drevja prostorsko neenakomerno porazdeljeno, kar nakazuje razlike med mikrorastišči (Vilhar in sod., 2015; Fidej in sod., 2017). Dinarski jelovo-bukovi gozdovi uspevajo na kraškem terenu, kjer se lokalni topografski in talni dejavniki hitro spreminjajo na majhnih razdaljah (Kobal in sod., 2015). Tako lahko vrtače, kot ena najbolj značilnih reliefnih oblik kraškega površja, pozitivno vplivajo na pomlajevanje manj prilagodljivih vrst na stresne mikroklimatske razmere. V južnih predelih (severna lega) vrtač v sestojnih vrzelih je ugodnejša mikroklima in so manjši ekstremi. Take razlike v mikroklimi znotraj kraških vrtač lahko potrdimo tudi s podatki naših meritev (analize v tem članku niso prikazane). Na splošno se lahko heterogene mikrorastiščne razmere v vrzelih in njihova časovna in prostorska dinamika odražajo v pestrem mozaiku drevesnih vrst, ki se zelo razlikujejo glede ekoloških potreb (npr. sen-

covzdržne poznosukcesijske vrste in svetloljubni pionirji) (Van Couwenberghe in sod., 2010; Diaci in sod., 2012; Kern in sod., 2013). Po drugi strani pa so lahko dna kraških vrtač v sestojnih vrzelih zelo neugodna mesta za pomlajevanje drevesnih vrst. Konkavna oblika terena, globlja tla in spiranje hranil z višjih predelov vrtač na dno lahko povzročijo bujen in hiter razvoj zeliščne plasti, predvsem na najbolj produktivnih rastiščih. Ponekod lahko nitrofilne vrste visokih steblik in grmovnic (npr. velika kopriva – *Urtica dioica*, bezeg – *Sambucus* sp., robide – *Rubus* sp.) povsem prerastejo drevesne vrste in bistveno vplivajo ali celo zatrejo njihov nadaljnji razvoj. Te nezaželene vrste se po navadi najbolj bujno razrastejo v osrednjem delu sestojne vrzeli, zato tam nastaja suboptimalni razvoj mlajših razvojnih faz gozdnega drevja (Roženberger in Diaci, 2012; Vilhar in sod., 2015). Na bolj izpostavljenih delih vrzeli ali na mikrorastiščih s plitvejšimi tlemi pa pogosto rastejo različne vrste gozdnih in negozdnih vrst trav, visoka zelišča ali celo invazivne tujerodne vrste, ki praviloma uspevajo na ruderalnih rastiščih in so bolj prilagojena na mikroklimatske ekstreme.

Vplivi podnebnih sprememb na vzorce pomlajevanja drevesnih vrst so zapleteni in veljajo še za slabo raziskano tematiko v ekologiji gozdov; posledično so napovedi o nadaljnjem razvoju gozdnih ekosistemov precej negotove. Nastanek večjih sestojnih odprtin po naravnih ali antropogenih motnjah se odraža tudi v vzorcih pomlajevanja glavnih drevesnih vrst dinarskih jelovo-bukovih gozdov. Kratkoročno je mogoče pričakovati, da se bo v prihodnje znatno povečal delež bukke, saj je to dominantna vrsta v pomladitvenem sloju večine slovenskih gozdov (Poljanec in sod., 2012). V gozdovih, kjer bukev in jelka sobivata (dinarski jelovo-bukovi gozdovi), se bo razmerje med obema vrstama spremenilo v prid bukke tudi zaradi njene ugodnejše populacijske strukture, saj pri jelki očitno primanjkuje podmladka oz. dreves v nižjih debelinskih stopnjah. Dodatno pomlajevanje jelke moti tudi močno objedanje rastlinojedov (Veselič, 2017). V Sloveniji je zmanjševanje deleža jelke v Dinaridih zaradi vseh naštetih dejavnikov izrazito hitro (Diaci in sod., 2010). Na dolgi rok pa so najbolj pesimistični podnebni scenariji modelnih napovedi sprememb bukovih gozdov pokazali, da bi sedanja mezofilna bukova rastišča večinoma postala neprimerna za rast buko-

vih gozdov (Kutnar in sod., 2012). Delež dinarskih jelovo-bukovih gozdov bi se lahko v naslednjih nekaj desetletjih občutno zmanjšal na račun bolj termofilnih bukovih združb. Bukev, jelko, smreko in plemenite listavce bi tako postopoma zamenjali nekateri bolj termofilni listavci, ki so glavne vrste sedanjih toploljubnih gozdnih združb predvsem v subsredozemskem fitogeografskem območju Slovenije. Omenjene drevesne vrste so bistveno bolj prilagojene na toplejše (mikro)klimatske razmere in odpornejše proti poletni suši. Na splošno naj bi v gozdovih zmerne podnebne pasu Evrope in Severne Amerike večina sprememb nastala v smeri t.i. »termofilizacije« – zmanjšanje števila rastlinskih vrst, ki so prilagojene na hladnejše razmere, in povečanje števila vrst, prilagojenih na toplejše (in sušnejše) podnebje. Tovrstne spremembe ne veljajo zgolj za drevesne vrste, ampak tudi glede sestave pritalne gozdne vegetacije (De Frenne in sod., 2013; Stevens in sod., 2015). Podnebne spremembe ne bodo vplivale samo na vegetacijsko podobo oz. vrstno sestavo gozdov, temveč bodo verjetno povzročile tudi degradacijo habitatov in omejile možnost gozdov za zagotavljanje ekosistemskih storitev (Seidl in sod., 2017).

5 POVZETEK

V članku smo predstavili razlike v osnovnih meteoroloških spremenljivkah (temperatura zraka, zračna vlažnost) med strnjenimi sestoji in sestojnimi vrzelmi dinarskih jelovo-bukovih gozdov Slovenije. Raziskovalna območja naše študije so bila izbrana na treh lokacijah visokega krasa: Trnovski gozd, Snežnik in Kočevski rog. Na vsakem območju smo izbrali po tri sklenjene sestoje z ohranjenim sklepom krošenj ter po tri sestojne vrzeli krožne oblike velikosti 0,4 ha, ki so nastale kot posledica sečnje dreves v letu 2012. V treh sestojih na vsakem območju je bil istega leta opravljen posek polovice lesne zaloge sestoja na površini 0,4 ha (presvetljeni sestoji). V vsakem sestoji in vrzeli smo v letih 2013 in 2014 v vegetacijski sezoni (od maja do oktobra) merili temperaturo zraka in relativno zračno vlago. Pri analizah smo se osredotočili na dve spremenljivki: najvišjo dnevno temperaturo (T_{\max}) in najnižjo dnevno relativno vlago (RV_{\min}). Poleg razlik med sestoji in vrzelmi glede temperature in vlažnosti

smo ugotavljali tudi, kako so razlike odvisne od splošnih meteoroloških razmer širšega območja – primerjava dveh meteorološko relativno različnih vegetacijskih sezon 2013 in 2014.

V obeh vegetacijskih sezonah so bile vrednosti T_{\max} višje v vrzelih kot pa v strnjenih sestojih, RV_{\min} pa je bila pričakovano znatno nižja. V luči podnebnih sprememb smo primerjali vegetacijski sezoni z razmeroma različno splošno vremensko situacijo. Vegetacijska sezona (maj–oktober) 2013 je bila toplejša in bolj sušna kot sezona naslednjega leta, kar še zlasti velja za poletne mesece (junij–avgust). To lahko potrdimo tudi s podatki naših meritev. V letu 2013 je bila razlika v T_{\max} med sestoji in vrzelmi v celotni vegetacijski sezoni v povprečju za 0,5 °C višja kot v vegetacijski sezoni 2014. V poletnih mesecih je omenjena razlika znašala 0,8 °C. Razlike v RV_{\min} med sestoji in vrzelmi so bile leta 2013 za 2,6 (vegetacijska sezona) oz. za 3,4 odstotne točke (poletje) višje kot leta 2014. Na osnovi meritev v presvetljenih sestojih smo ugotovili statistično značilno negativno linearno povezavo med zastorom krošenj in vrednostmi T_{\max} ter pozitivno povezavo med zastiranjem tal s krošnjami nadstojne vegetacije in vrednostmi RV_{\min} .

Rezultati potrjujejo, da ima zastor krošenj dreves pomembno vlogo pri uravnavanju mikroklimatskih razmer v gozdu. V primeru zmanjšanja ali popolne odstranitve zastora nadstojne vegetacije nastajajo zelo zaostrene mikroklimatske razmere. V zadnjih nekaj letih so dinarski jelovo-bukovi gozdovi doživeli precejšnje spremembe v strukturi sestojev zaradi naravnih ujm (žledolom, gradacije podlubnikov, vetrolomi) in velikopovršinskih motenj povezanih z gospodarjenjem (sanacija po ujmah poškodovanih gozdov). Dodatno so ti gozdni ekosistemi zaradi kraškega površja na apnencu precej občutljivi za vplive podnebnih sprememb, ki se običajno odražajo kot pomanjkanje padavin v času, ko je voda za rast gozdne vegetacije najbolj potrebna, ter kot temperaturni ekstremi zaradi vse pogostejših vročinskih valov.

Izsledki študije so prikazani v kontekstu podnebnih sprememb in z vidika gojenja gozdov. Eno od ključnih vprašanj se nanaša na obnovo gozdnih ekosistemov po ujmah. V sklopu naše študije se sprašujemo, kakšni so verjetni učinki spremenjenih

ekoloških razmer v sestojnih vrzelih na glavne drevesne vrste dinarskih jelovo-bukovih gozdov ter kako bi čedalje pogostejše in vse bolj intenzivne motnje lahko vplivale na nadaljnji razvoj teh ekološko in ekonomsko pomembnih gozdov v Sloveniji.

5 SUMMARY

The present work introduces the observed differences in basic meteorological variables (air temperature, relative humidity) between the intact mature forests and the artificially created canopy gaps in the Dinaric fir-beech forests, Slovenia. The study sites were selected in three locations, characteristic of high-karst area: Trnovski gozd, Snežnik and Kočevski rog. At each site, we selected three closed stands with preserved canopy closure and three circular canopy openings of 0.4 ha in size, which were created by tree felling in 2012. Moreover, three thinned stands, where partial cutting (50% of the stand growing stock removed in treatment area of 0.4 ha) was performed, were selected at each site. In each stand and canopy gap, we measured air temperature and relative air humidity in two growing seasons (May–October): 2013 and 2014. In the analyzes, we focused on two variables, i.e. maximum daily temperature (T_{\max}) and minimum daily relative humidity (RV_{\min}). In addition to the differences between closed stands and canopy gaps regarding the temperature and humidity, we also observed how these differences depended on the general meteorological conditions, by comparing the two growing seasons with contrasting summers (2013 vs. 2014).

Measured T_{\max} values were higher in gaps than in intact stands in both growing seasons, and RV_{\min} was, as expected, significantly lower. In the context of climate change, we compared the growing seasons with a relatively contrasting general weather situation. The vegetation season 2013 was warmer and drier than the season of the following year, which is especially true for the summer months (June–August). This can also be confirmed by the data of our field measurements. In 2013, the T_{\max} difference between stands and gaps over the whole growing season was on average 0.5 °C higher compared to the growing season 2014. In the summer months, this difference accounted for 0.8 °C. Differences in 2013 for the RV_{\min} between stands and gaps were on average 2.6 (vegetation season)

and 3.4 (summer) percentage points higher than in 2014. Based on measurements in thinned stands, we found a statistically significant negative linear relationship between canopy cover and daily T_{\max} values and a positive correlation between canopy closure and daily RV_{\min} .

The results confirm that the tree canopy cover plays an important role in regulating forest microclimate. The reduction or complete removal of cover of overstory vegetation result in significant changes in microclimatic conditions. Dinaric fir-beech forests have experienced remarkable changes in the stand structure over the past few years due to natural disturbances (ice storms, bark beetle outbreaks, windthrows) and large-scale disturbances related to management (i.e. salvage logging of damaged forests). In addition, these forest ecosystems on karstic terrain (limestone bedrock) are quite sensitive to the predicted effects of climate change, which are usually reflected as a lack of sufficient rainfall in periods when water is most needed for the growth of forest vegetation, and as temperature extremes due to increasing frequency and intensity of heat waves.

The main findings of this study are discussed in the context of climate change and from the silvicultural perspective. One of the major issues concern the restoration and revitalization of forest ecosystems after the large-scale disturbances. We discuss how altered ecological conditions in canopy gaps could affect key tree species in the Dinaric fir-beech forest and how increasing and more intense disturbances could impact on the further development of these Slovenian forests, which are important in terms of ecology and timber production.

6 ZAHVALA

6 ACKNOWLEDGEMENT

Študija je bila financirana v okviru evropskega projekta LIFE+ ManFor C.BD (LIFE09 ENV/IT/000078) ter podprta z Raziskovalnimi programi P4-0107 (Gozdna ekologija, biologija in tehnologija) in P4-0085 (oba financira Agencija RS za raziskovalno dejavnost). Članek je bil pripravljen v okviru usposabljanja mladega raziskovalca (Janez Kermavnar), ki ga financira ARRS (št. pogodbe 1000-04-18). Hvala sodelavcem Gozdarskega inštituta Slovenije (Primož Simončič, Milan Kobal,

Marko Kovač, Iztok Sinjur in drugi) za vsebinsko in tehnično podporo pri izvedbi raziskave v okviru projekta LIFE+ ManFor C.BD. Zahvaljujemo se tudi recenzentu za koristne pripombe in predloge.

7 VIRI

7 REFERENCES

- Abd Latif Z., Blackburn G.A. 2010. The effects of gap size on some microclimate variables during late summer and autumn in a temperate broadleaved deciduous forest. *International Journal of Biometeorology*, 54:119–129.
- ARSO. 2019. Arhiv meritev – opazovani in merjeni meteorološki podatki. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ministrstvo za okolje in prostor. <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/>
- ARSO. 2014. Nas je poletje 2014 razočaralo? <http://www.arso.gov.si/novice/datoteke/032430-Poletje%202014.pdf>
- Aussenac G. 2000. Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Annals of Forest Science*, 57 (3): 287–301.
- Brus R., Kutnar L. 2017. Drevesne vrste za obnovo gozdov po naravnih motnjah v Sloveniji. *Gozdarski vestnik*, 75 (4): 204–212.
- Čater M., Levanič T. 2013. Response of *Fagus sylvatica* L. and *Abies alba* Mill. in different silvicultural systems of the high Dinaric karst. *Forest Ecology and Management*, 289: 278–288.
- Čater M., Diaci J., Roženberger D. 2014. Gap size and position influence variable response of *Fagus sylvatica* L. and *Abies alba* Mill. *Forest Ecology and Management*, 325: 128–135.
- Čater M., Diaci J. 2017. Divergent response of European beech, silver fir and Norway spruce advance regeneration to increased light levels following natural disturbance. *Forest Ecology and Management*, 399: 206–212.
- Dakskobler I. 2008. Pregled bukovih rastišč v Sloveniji. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 87: 3–14.
- Davis K.T., Dobrowski S.Z., Holden Z.A., Higuera P.E., Abatzoglou J.T. 2019. Microclimatic buffering in forests of the future: the role of local water balance. *Ecography*, 42: 1–11.
- De Frenne P., Rodríguez-Sánchez F., Coomes D.A., Baeten L., Verstraeten G., Vellend M., Bernhardt-Römermann M., Brown C.D., Brunet J., Cornelis J., Decocq G.M., Dierschke H., Eriksson O., Gilliam F.S., Hédrl R., Heinken T., Hermy M., Hommel P., Jenkins M.A., Kelly D.L., Kirby K.J., Mitchell F.J.G., Naaf T., Newman M., Peterken G., Petřík P., Schultz J., Sonnier G., Van Calster H., Waller D.M., Walther G.-R., White P.S., Woods K.D., Wulf M., Graae B.J., Verheyen K. 2013. Microclimate moderates plant responses to macroclimate warming. *PNAS*, 110 (46): 18561–18565.
- Diaci J., Roženberger D., Nagel T.A. 2010. Sobivanje jelke in bukve v Dinaridih: usmeritve za ohranitveno gospodarjenje z jelko. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 91: 3–12.

- Diaci J., Adamič T., Rozman A. 2012. Gap recruitment and partitioning in an old-growth beech forest of the Dinaric Mountains: Influences of light regime, herb competition and browsing. *Forest Ecology and Management*, 285: 20–28.
- Fidej G., Rozman A., Diaci A. 2017. Primerjava naravne in umetne obnove po vetrolomih iz leta 2008. *Gozdarski vestnik*, 75 (7-8): 291–307.
- Grecs Z., Kolšek M. 2016. Naravne ujme vse bolj krojijo gospodarjenje z gozdovi. *Gozdarski vestnik*, 74 (4): 185–202.
- Jarčuška B. 2009. Growth, survival, density, biomass partitioning and morphological adaptations of natural regeneration in *Fagus sylvatica*. A review. *Dendrobiology*, 61:3–11.
- Kern C.C., Montgomery R.A., Reich P.B., Strong T.F. 2013. Canopy gap size influences niche partitioning of the ground-layer plant community in a northern temperate forest. *Journal of Plant Ecology*, 6 (1): 101–112.
- Klopčič M., Jerina K., Bončina A. 2010. Long-term changes of structure and tree species composition in Dinaric uneven-aged forests: are red deer an important factor? *European Journal of Forest Research*, 129: 277–288.
- Kobal M., Grčman H., Zupan M., Levanič T., Simončič P., Kadunc A., Hladnik D. 2015. Influence of soil properties on silver fir (*Abies alba* Mill.) growth in the Dinaric Mountains. *Forest Ecology and Management*, 337: 77–87.
- Kutnar L., Kobler A. 2007. Potencialni vpliv podnebnih sprememb na gozdno vegetacijo v Sloveniji. V: Podnebne spremembe – vpliv na gozd in gozdarstvo. Jurc M. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, str. 289–304.
- Kutnar L., Kobler A., Bergant K. 2009. Vpliv podnebnih sprememb na pričakovano prostorsko razporeditev tipov gozdne vegetacije. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 89: 33–42.
- Kutnar L., Kobler A., Džeroski S. 2012. Napovedi spreminjanja deleža bukovih gozdov in obilja bukve v spremenjenih okoljskih razmerah. V: Bukovi gozdovi v Sloveniji: ekologija in gospodarjenje. Bončina A. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 259–270.
- Lindner M., Sohngen B., Joyce L.A., Price D.T., Bernier P.Y., Karjalainen T. 2002. Integrated forestry assessment for climate change impacts. *Forest Ecology and Management*, 162 (1): 117–136
- Morecroft M.D., Taylor M.E., Oliver H.R. 1998. Air and soil microclimates of deciduous woodland compared to an open site. *Agricultural and Forest Meteorology*, 90: 141–156.
- Nagel T.A., Mikac S., Dolinar M., Klopčič M., Keren S., Svoboda M., Diaci J., Bončina A., Paulic V. 2017. The natural disturbance regime in forests of the Dinaric Mountains: A synthesis of evidence. *Forest Ecology and Management*, 388: 29–42.
- Poljanec A., Ficko A., Klopčič M., Bončina A. 2012. Razširjenost in razvojne spremembe bukovih gozdov v Sloveniji. V: Bukovi gozdovi v Sloveniji: ekologija in gospodarjenje. Bončina A. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 247–257.
- Rozenberger D., Diaci J. 2003. Comparative studies of gap-phase regeneration in managed and natural beech forests in different parts of Europe : Slovenia [online]. Nat-Man Project. <http://www.flec.kvl.dk/natman/html/getfile.asp?vid=610>
- Rozenberger D., Diaci J. 2012. Pomlajevanje bukovih gozdov. V: Bukovi gozdovi v Sloveniji: ekologija in gospodarjenje. Bončina A. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 231–246.
- Seidl R., Thom D., Kautz M., Martin-Benito D., Peltoniemi M., Vacchiano G., Wild J., Ascoli D., Petr M., Honkaniemi J., Lexer M.J., Trotsiuk V., Mairota P., Svoboda M., Fabrika M., Nagel T.A., Reyer C.P.O. 2017. Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*, 7: 395–402.
- Simončič T., Bončina A., Jarni K., Klopčič M. 2019. Assessment of the long-term impact of deer on understory vegetation in mixed temperate forests. *Journal of Vegetation Science*, 30: 108–120.
- Spathelf P., van der Maaten E., van der Maaten-Theunissen M., Campioli M., Dobrowolska D. 2013. Climate change impacts in European forests: the expert views of local observers. *Annals of Forest Science*, 71 (2): 131–137.
- Stevens J.T., Safford H.D., Harrison S., Latimer A.M. 2015. Forest disturbance accelerates thermophilization of understory plant communities. *Journal of Ecology*, 103: 1253–1263.
- Van Couwenberghe R., Collet C., Lacombe E., Pierrat J.-C., Gégout J.-C. 2010. Gap partitioning among temperate tree species across a regional soil gradient in windstorm-disturbed forests. *Forest Ecology and Management*, 260: 146–154.
- Vertačnik G. 2014. Vročina poleti 2013. *Ujma*, 28: 65–74.
- Veselič Ž. 2017. Nezadovoljivo pomlajevanje zaradi preštevilne rastlinojede divjadi je največja grožnja ohranjenosti slovenskih gozdov. *Gozdarski vestnik*, 75 (9): 383–397.
- Vilhar U., Simončič P., Kajfež-Bogataj L., Katzensteiner K., Diaci J. 2006. Mikroklimatske razmere v vrzelih in sestojih dinarskega jelovo-bukovega gozda. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 81: 21–36.
- Vilhar U., Rozenberger D., Simončič P., Diaci J. 2015. Variation in irradiance, soil features and regeneration patterns in experimental forest canopy gaps. *Annals of Forest Science*, 72: 253–266.
- von Arx G., Graf Pannatier E., Thimonier A., Rebetez M. 2013. Microclimate in forests with varying leaf area index and soil moisture: potential implications for seedling establishment in a changing climate. *Journal of Ecology*, 101: 1201–1213.