

GDK: 111.84 :176.1:(253)(045)
Prispelo / Received: 24. 08. 2006
Sprejeto / Accepted: 26. 10. 2006

Izvirni znanstveni članek
Original scientific paper

MIKROKLIMATSKE RAZMERE V VRZELIH IN SESTOJIH DINARSKEGA JELOVO-BUKOVEGA GOZDA

Urša VILHAR¹, Primož SIMONČIČ², Lučka KAJFEŽ-BOGATAJ³, Klaus KATZENSTEINER⁴, Jurij DIACI⁵

Izvleček

Mikroklimatske razmere sodijo med dejavnike, ki odločujoče vplivajo na zgradbo, rast, zdravstveno stanje in stabilnost gozdnih ekosistemov. Namen naše raziskave je bil raziskati osnovne mikroklimatske razmere v dveh sestojih in v vrzelih različne velikosti v dinarskem jelovo-bukovem pragozdnem rezervatu (Rajhenavski Rog) ter gospodarskem sonaravnem gozdu (Snežna jama) v vegetacijskem obdobju v letih 2003 in 2004. Spremljali smo temperaturo zraka, temperaturo tal, relativno zračno vlago ter smer in hitrost vetra. V pragozdnem rezervatu so bile povprečne dnevne temperature zraka na 2 m višine nižje kot v gospodarskem gozdu, relativna zračna vlaga pa je bila višja. V gospodarskem gozdu so bile v nasprotju s pričakovanji temperature zraka na sredini Male vrzeli (SMV) višje kot na sredini Velike vrzeli (SVV). Ugotavljamo, da na mikroklimatske razmere poleg zgradbe sestoja in oblikovanost roba vrzeli pomembno vplivajo tudi značilnosti razgibanega kraškega reliefa: naklon terena, ekspozicija ter oblikovanost terena.

Ključne besede: mikroklima gozda, gospodarski gozd, pragozdni rezervat, tvorba vrzeli, Kočevski Rog

MICROCLIMATE CONDITIONS IN GAPS AND MATURE STANDS OF DINARIC SILVER FIR-BEECH FORESTS

Abstract

Microclimate conditions affect composition, structure, growth, health and dynamics of forest ecosystems. In the current study, microclimatic conditions of a Dinaric silver fir-beech forest in selected forest stands and different development stages in managed forest (Snežna jama) and virgin forest remnant (Rajhenavski Rog) were determined during two growing seasons in the years 2003 and 2004. Air temperature, soil temperature, relative humidity, wind speed and direction were measured. Daily air temperatures 2 m above ground were lower in the virgin forest remnant than in the managed forest, but relative humidity was higher. Microclimate conditions in the managed forest were not more extreme in the Large gap (SVV) than in the Small gap (SMV), in contrast to our expectations. Microclimatic conditions are influenced not only by stand structure and shape of the forest edge in a gap but also by the karst relief characteristics: the inclination, exposition and shape of the terrain.

Key words: forest microclimate, managed forest, virgin forest remnant, gap formation, Kočevski Rog

UVOD

INTRODUCTION

Okoljske spremembe, predvsem podnebna spremenljivost, večplastno zadevajo tudi gozdove (KAJFEŽ-BOGATAJ 2001; SIMONČIČ *et al.* 2001). Ker je gospodarjenje z gozdovi manj intenzivno kot s kmetijskimi površinami, je neposredni vpliv podnebne spremenljivosti nanje toliko večji (GRANIER *et al.* 2000). Zaradi dolge življenjske dobe so drevesa nenehno izpostavljeni spreminjajočemu se življenjskemu okolju, zato je bistvenega pomena, da z gozdovi gospodarimo po načelih trajnosti s ciljem dinamičnega ohranjanja njihove neprekinjene prilagoditvene sposobnosti z naravnim

pomlajevanjem (BOŽIČ 2005). Različni scenariji podnebnih sprememb napovedujejo dvig temperatur zraka za vso Slovenijo (KAJFEŽ-BOGATAJ / HOČEVAR 1994; BERGANT / KAJFEŽ-BOGATAJ 1998, 1999; KAJFEŽ-BOGATAJ 2000), ki naj bi se izrazile kot meteorološka in fiziološka suša (ZUPANC *et al.* 2002). Zviševanje temperatur zraka je lahko razlog za razvoj večjega števila parazitov (predvsem patogenih gliv in za gozdove škodljivih žuželk) ali pa omogoča širjenje in razvoj vrst, ki jih zaradi nižjih zimskih temperatur doslej ni bilo (JURC *et al.* 2003). Posledica podnebne spremenljivosti ter povečane koncentracije CO₂ (METZ *et al.* 2001) so tudi izjemni vremenski dogodki (poplave, neurja,

¹ Dr. U. V., univ. dipl. ing. gozd., U.V., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI - 1000 Ljubljana, Slovenija, ursa.vilhar@gozdis.si

² Dr. P. S., univ. dipl. ing. les., P.S., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI - 1000 Ljubljana, Slovenija, primoz.simoncic@gozdis.si

³ Prof. dr. L. K. B., Biotehniška fakulteta, Katedra za aplikativno meteorologijo, Jamnikarjeva 101, SI-1000, Ljubljana, lucka.kajfez.bogataj@bf.uni-lj.si

⁴ Prof. dr. K. K., Institute of Forest Ecology, Dept. of Forest and Soil Sciences, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Peter Jordanstr. 82, A-1190 Vienna, klaus.katzensteiner@boku.ac.at

⁵ Prof. dr. J.D., Biotehniška fakulteta, Katedra za gojenje gozdov, Večna pot 83, SI-1000, Ljubljana, jurij.diaci@bf.uni-lj.si

suše) (KAJFEŽ-BOGATAJ 2005) ter spremenljiv padavinski režim (GAMS 1999).

Nastanek vrzeli, bodisi naravnih ali antropogenih, spremeni mikroklimatske razmere sestoja ter pomembno vpliva na procese pomlajevanja (SMOLEJ 1977; AUSSENAC 2000; DIACI *et al.* 2005; NAGEL *et al.* 2006). Za ustrezne gozdno-gojitvene posege je potrebno poznavanje mikroklimatskih razmer, najpomembnejše klimatske spremenljivke pa so temperatura zraka, sončno obsevanje in voda v tleh. Namen naše raziskave je bil analizirati osnovne mikroklimatske razmere v dveh sestojih in v vrzelih različne velikosti, da bi izboljšali gozdno-gojitvene odločitve pri uvajanju sestojev v obnovo. Zanimalo nas je, ali se mikroklimatske razmere razlikujejo glede na mesto meritve na sredini vrzeli različnih velikosti in v gozdnem sestoju ter ali se mikroklimatske razmere razlikuje na sredini vrzeli v gospodarskem gozdu in na sredini vrzeli v pragozdu.

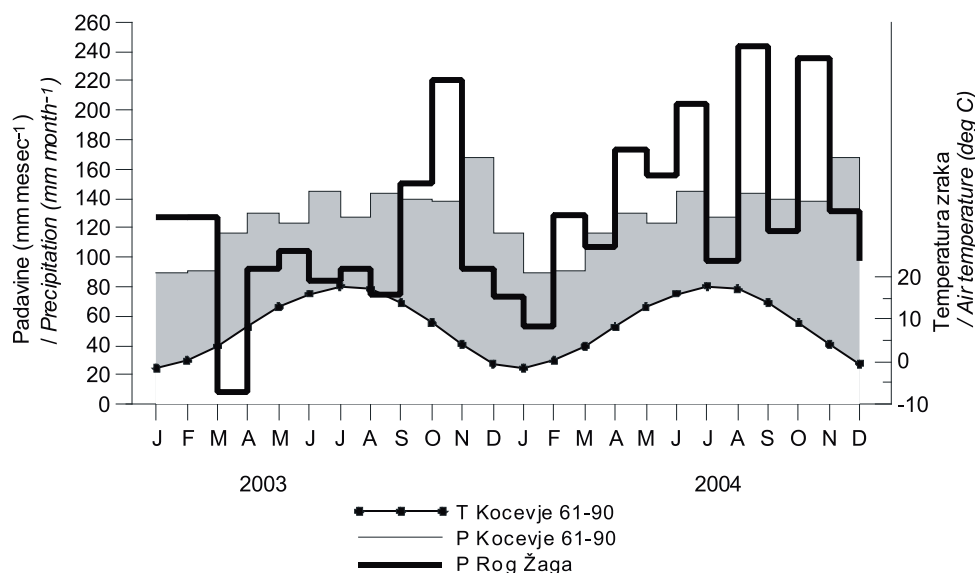
Vremenske spremenljivke so eden osnovnih vhodnih podatkov za modeliranje procesov v gozdnih ekosistemih, kot so na primer vodna bilanca gozda (VILHAR *et al.* 2005), snovni tokovi (DE VRIES *et al.* 2001; KATZENSTEINER 2003; SIMONČIČ *et al.* 2004), zaloge ogljika (NABUURS / SCHELHAAS 2002; MASERA *et al.* 2003; DUFRENE *et al.* 2005), vendar pa so meritve le-teh na raziskovalnih ploskvah v gozdu, oddaljenih od urbanih središč, redko opravljajo (KRAJNC *et al.* 2006). Zato smo vrednosti za temperatu-

ro zraka in relativno zračno vlago, merjene v gospodarskem gozdu nad krošnjami dreves na 25 m višine, primerjali z vrednostmi za klimatološko postajo Kočevje (n.m.v. 461 m) ter EMEP-postajo Iskrba pri Kočevski Reki (n.m.v. 520 m) (vir: arhiv ARSO).

MATERIALI IN METODE MATERIALS AND METHODS

OPIS RAZISKOVALNIH PLOSKEV DESCRIPTION OF THE RESEARCH SITES

Meritve so potekale v vegetacijskem obdobju (od maja do vključno oktobra) v letih 2003 in 2004 na dveh raziskovalnih objektih: v gospodarskem gozdu (raziskovalna ploskev Snežna jama) in pragozdu (raziskovalna ploskev Rajhenavski Rog). Objekt v pragozdu je vključeval podobjekte: sklenjeni gozdni Sestoj (RS) (okvirna velikost 0,15 ha) in večjo Vrzelo RV (premer od 40 do 45 m). Objekt v gospodarskem gozdu je vključeval podobjekte: sklenjeni gozdni Sestoj SS (okvirna velikost 0,15 ha), Veliko vrzel SVV (premer od 40 do 45 m) in Malo vrzel SMV (premer od 25 do 30 m), ki sta bili osnovani v zimi leta 2000 in kjer je pomladek bukve v fazi mladja. Poudariti moramo, da osnovanje vrzeli takih velikosti hkrati ni ustaljen način obnove v teh gozdnih ekosistemih (ROŽENBERGAR / DIACI 2003).



Slika 1: Povprečne mesečne količine padavin na prostem (P Rog Žaga) (n.m.v. 740 m) v letih 2003 in 2004 ter povprečne mesečne temperature zraka (T Kočevje 61-90) in količine padavin v Kočevju (P Kočevje 61-90) (n.m.v. 461 m) za obdobje 1961 – 1990

Fig. 1: Average monthly precipitation in the open (P Rog Žaga) (740 m a.s.l) in the years 2003 and 2004, average monthly air temperature (T Kočevje 61-90) and precipitation at Kočevje climatological station (P Kočevje 61-90) (461 m a.s.l) during the 1961 – 1990 period

Obravnavana raziskovalna objekta ležita južno od vrha Kočevskega Roga (45°20'N, 14°30'E, 860 - 890 m n.v.), na območju dinarskih jelovo-bukovih gozdov. Podnebje je ostrejše celinsko s povprečno letno količino padavin do 1500 mm (PERKO 1998). Matični substrat so predvsem kredni apnenci, relief je izrazito kraški: razgibano, skalovito, vrtačasto pobočje. Matična podlaga sestoji iz apnenca, dolomitiziranega apnenca in dolomita. Prevladujejo talni tipi: kamnišča, rendzine in rjava pokarbonatna tla (FAO 1990; WRB 1998; URBANČIČ 2004). Oba raziskovalna objekta spadata v rastlinsko združbo bukve in spomladanske torilnice (*Omphalodo-Fagetum* (TREGU-BOV 1957, corr. PUNCER 1980; MARINŠEK *et al.* 1993).

Raziskovalna ploskev Rajhenavski Rog

Research site Rajhenavski Rog

Raziskovalna ploskev leži na južnem delu pragozdnega rezervata Rajhenavski Rog, ki spada v gospodarsko enoto (GE) Rog v Kočevskem gozdnogospodarskem območju (GGO). Nadmorska višina je 880 m n.m., prevladuje južna ekspozicija. Prevladujoči drevesni vrsti sta buke (*Fagus sylvatica* L.) in jelka (*Abies alba* Mill.), posamično pa se pojavljajo smreka (*Picea abies* (L.) Karst.), gorski javor (*Acer pseudoplatanus* L.), gorski brest (*Ulmus glabra* Huds.) ter lipovec (*Tillia cordata* Mill.). Skupna lesna zaloga je v letu 1995 znašala 798 m³ ha⁻¹, od tega je bil delež jelke 57 % in delež bukve 43 % (BONČINA 1999). Od leta 1957 se lesna zaloga ni veliko spreminjala, opazen pa je bil upad deleža jelke v lesni zalogi (1957 je znašal 64 %). Delež dreves z večjimi premeri se je povečal, gostota drevja je manjša.

Raziskovalna ploskev Snežna jama

Research site Snežna jama

Raziskovalna ploskev leži v bližini pragozdnega rezervata (približno 1300 m zračne razdalje) v GE Čermošnjice v GGO Novo mesto. Nadmorska višina je med 880 in 890 m n.m., prevladuje jugovzhodna ekspozicija s 30 % naklonom. Vrsta sestava sestaja je podobna tisti v pragozdnem rezervatu. Skupna lesna zaloga znaša 255 m³ ha⁻¹.

VREMENSKE SPREMENLJIVKE

METEOROLOGICAL DATA

Vremenske spremenljivke smo merili s sedmimi vremenskimi postajami »Vantage Pro Wireless« (Davis Instruments), ki so med vegetacijsko dobo v letih 2003 in 2004 na višini 2 m beležile urne vrednosti za temperaturo zraka, relativno zračno vlago, smer in hitrost vetra ter temperaturo ob in v tleh na izbranih mestih. V vegetacijskem obdobju 2004 smo dodatno vremensko postajo namestili na 25 m nad krošnjami dreves (SJ). Vremenske postaje so bile na raziskovalnih ploskvah nameščene v skladu z navodili ICP Forest (ANONYMOUS 2002), vendar z omejitvami glede na razmere v sestojih in vrzelih. Za vremenske postaje je bil na Agenciji republike Slovenije za okolje (ARSO) v Umerjevalnem laboratoriju opravljen postopek kalibracije za relativno zračno vlago in temperaturo zraka (PAVLOČIČ 2004). Pri relativni zračni vlagi je bilo ugotovljeno v povprečju 2,2 % odstopanje v razponu med 20 in 95 %, pri temperaturi zraka pa so bila odstopanja med ± 0,25 in ± 0,45 °C.

Preglednica 1: Pregled meteoroloških meritev na posameznih podobjektih: raziskovalna ploskev Snežna jama Velika vrzel (SVV), Mala vrzel (SMV), Sestoj (SS), Rob velike vrzeli (SVVR), Nad krošnjami dreves (SJ); raziskovalna ploskev Rajhenavski Rog Vrzel (RV), Sestoj (RS)

Table 1: List of meteorological measurements at research plots: research plot Snežna jama Large gap (SVV), Small gap (SMV), Stand (SS), Edge of the large gap (SVVR), Above crowns (SJ); research plot Rajhenavski Rog Gap (RV), Stand (RS)

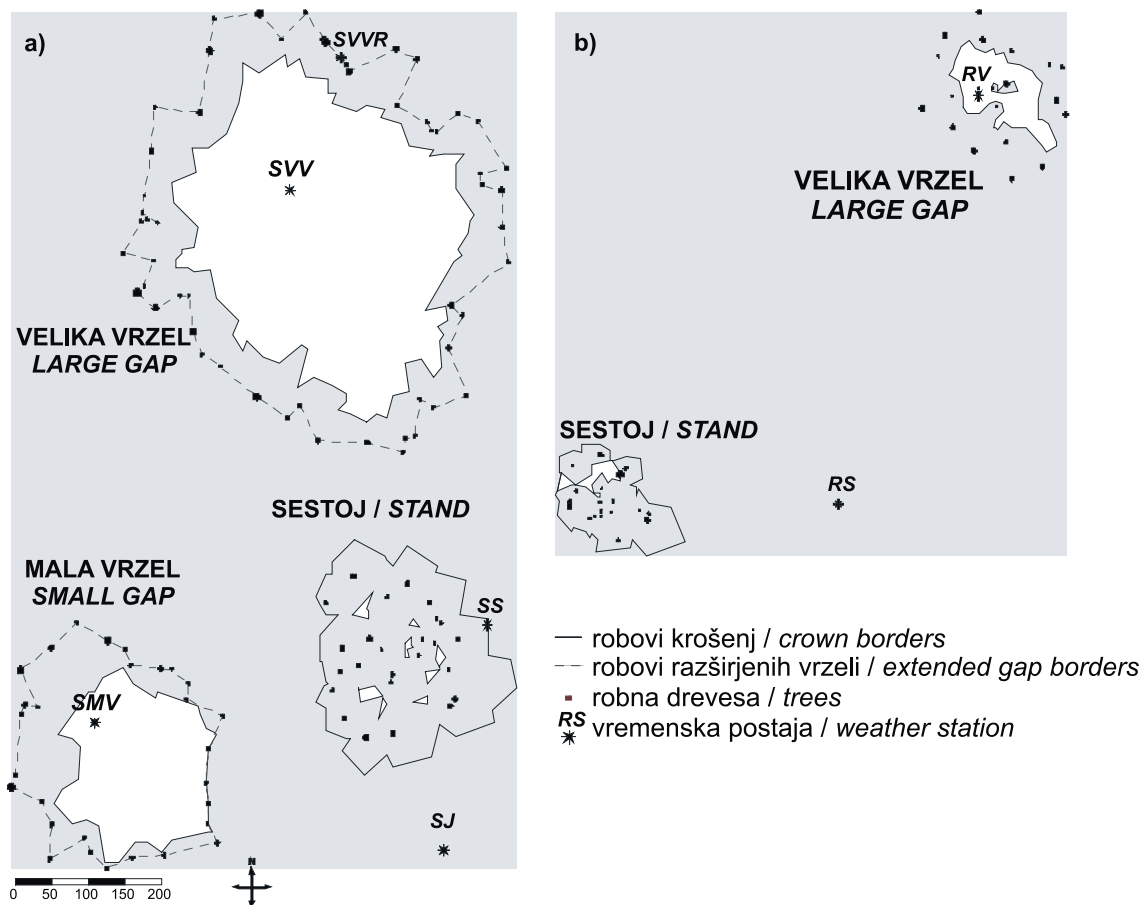
Raziskovalna ploskev Research site	Podobjekt Plot	Temp. zraka na 2 m Air temperature at 2 m height (°C)	Temp. zraka na 25 m Air temperature at 25 m height (°C)	Rel. zračna vlaga / Relative humidity (%)	Smer in hitrost vetra Wind speed and di- rection (m s ⁻¹)	Temp. tal na globini 5 in 20 cm / Soil temperature at 5 and 20 cm depth (°C)
Snežna jama	SVV	√		√	√	√
	SMV	√		√		
	SS	√		√	√	√
	SVVR	√		√		
	SJ		√	√	√	
Rajhenavski Rog	RV	√		√	√	
	RS	√		√		

Da bi ugotovili, kakšne so razlike v mikroklimatskih razmerah na izbranih objektih, smo za urne in dnevne vrednosti posameznih spremenljivk ugotavljali povprečne, minimalne in maksimalne vrednosti. Linearno povezanost posameznih spremenljivk za različne objekte smo ugotavljali s Pearsonovimi koeficienti korelacije (r) ter tako ocenili povezanost oziroma podobnost v smislu časovne spremenljivosti. Razpon razlik posameznih spremenljivk med objekti smo prikazali s frekvenčno porazdelitvijo razlik. Z analizo variance pa smo testirali razlike povprečnih vrednosti posameznih spremenljivk med objekti (Statistica for Windows 1984-1995) ter tako prikazali razlike v absolutnem smislu. Enako je potekala tudi primerjava temperature zraka in relativne zračne vlage, merjene na raziskovalni ploskvi Snežna jama, merilno mesto Nad krošnjami dreves (SJ), z vrednostmi za klimatološko postajo Kočevje ter EMEP postajo Iskrba v vegetacijskem obdobju 2004 (vir: arhiv ARSO).

REZULTATI RESULTS

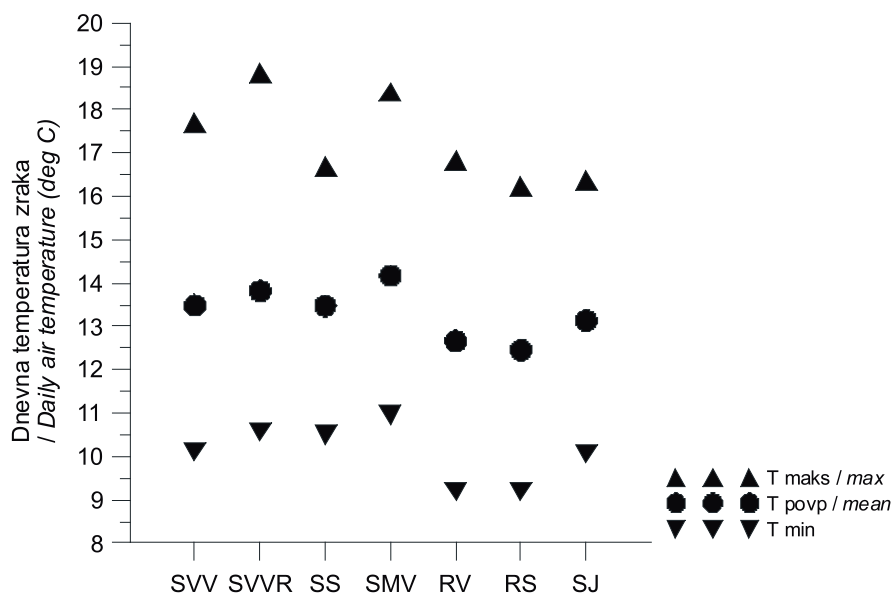
TEMPERATURA ZRAKA AIR TEMPERATURE

Razpon dnevni temperatur v obravnavanem obdobju (maj – oktober 2003 in maj – oktober 2004) je bil na raziskovalni ploskvi Snežna jama najmanjši v Sestoju (SS). Minimalna in maksimalna temperatura zraka sta bili 10,5 °C in 16,7 °C (Slika 3). Sledi Nad krošnjami (SJ), kjer je bila minimalna dnevna temperatura zraka 10,1 °C, maksimalna dnevna temperatura zraka pa 16,4 °C. Največji razpon dnevni temperatur zraka je bil na Robu velike vrzeli (SVVR) (minimalna in maksimalna temperatura zraka sta bili 10,6 °C in 18,8 °C). V Veliki vrzeli (SVV) je bila dnevna minimalna temperatura



Slika 2: Raziskovalna ploskev Snežna jama (a) in Rajhenavski Rog (b) z vremenskimi postajami: raziskovalna ploskev Snežna jama Velika vrzel (SVV), Mala vrzel (SMV), Sestoj (SS), Rob velike vrzeli (SVVR), Nad krošnjami dreves (SJ); raziskovalna ploskev Rajhenavski Rog Vrzel (RV), Sestoj (RS)

Fig. 2: Top view of the research sites Snežna jama (a) and Rajhenavski Rog (b) and location of the weather stations: research plot Snežna jama Large gap (SVV), Small gap (SMV), Stand (SS), Edge of the large gap (SVVR), Above crowns (SJ); research plot Rajhenavski Rog Gap (RV), Stand (RS)

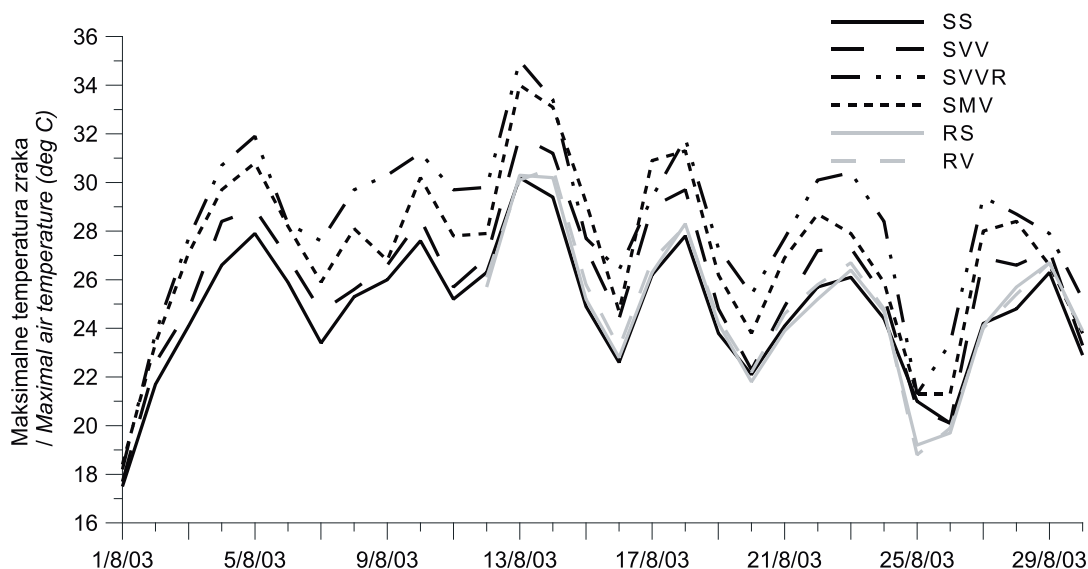


Slika 3: Povprečne, minimalne in maksimalne dnevne temperature zraka na višini 2 m nad tlemi na raziskovalni ploskvi Snežna jama, podobjekt Sestoj (SS), Velika vrzel (SVV), Rob velike vrzeli (SVVR), Mala vrzel (SMV) v letih 2003 in 2004, na višini 25 m nad tlemi podobjekt SJ v letu 2004, ter na višini 2 m nad tlemi na raziskovalni ploskvi Rajhenavski Rog, podobjekt Vrzel (RV) in Sestoj (RS) v vegetacijskem obdobju 2003 in 2004

Fig. 3: Mean, minimum and maximum daily air temperatures at 2 m above ground at the research site Snežna jama, plot Stand (SS), Large gap (SVV), Edge of the large gap (SVVR), Small gap (SMV) in 2003 and 2004 and average daily air temperature at 25 m above ground at the research site Snežna jama, plot Above crowns (SJ) in 2004 and at the research site Rajhenavski Rog, plot Stand (RS), Gap (RV) in the growing seasons 2003 and 2004

zraka 10,1 °C, dnevna maksimalna temperatura zraka pa 17,7 °C. Na raziskovalni ploskvi Rajhenavski Rog so bile minimalne in maksimalne dnevne temperature zraka nižje kot na raziskovalni ploskvi Snežna jama. Razpon dnevni tempera-

tur je bil manjši v Sestoji (RS) (minimalna in maksimalna temperatura zraka sta bili 9,2 °C in 16,2 °C), v Vrzelih (RV) je bila dnevna minimalna temperatura zraka 9,2 °C, dnevna maksimalna temperatura zraka pa 16,8 °C.



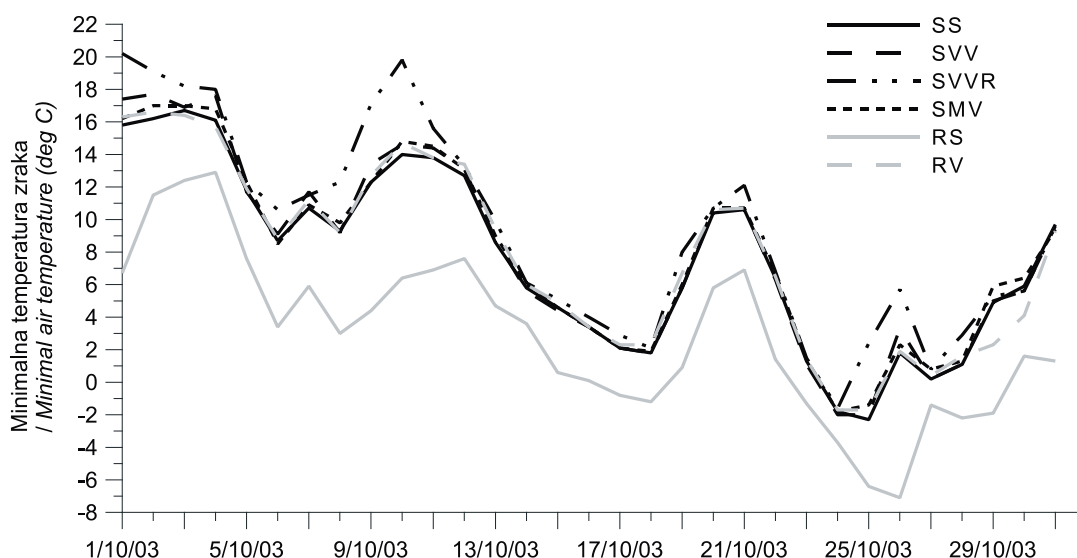
Slika 4: Maksimalne dnevne temperature zraka na višini 2 m nad tlemi na raziskovalni ploskvi Snežna jama, podobjekt Sestoj (SS), Velika vrzel (SVV), Rob velike vrzeli (SVVR), Mala vrzel (SMV) in na raziskovalni ploskvi Rajhenavski Rog, podobjekt Vrzel (RV) in Sestoj (RS) v obdobju med 1.8.03 in 30.8.03

Fig. 4: Maximum daily air temperature 2 m above ground at the research site Snežna jama, plot Stand (SS), Large gap (SVV), Edge of the large gap (SVVR), Small gap (SMV) and at the research site Rajhenavski Rog, plot Stand (RS), Gap (RV) in the period from 1.8.03 to 30.8.03

V času meritev so temperature zraka dosegle najvišje vrednosti v mesecu avgustu 2003. Takrat so bile najvišje dnevne temperature zraka na Robu velike vrzeli (SVVR) na raziskovalni ploskvi Snežna jama, sledijo Mala vrzel (SMV) ter Velika vrzel (SVV). V Sestoji (SS) na raziskovalni ploskvi Snežna jama ter Sestoji (RS) in Vrzeli (RV) na raziskovalni ploskvi Rajhenavski Rog so bile maksimalne dnevne temperature najnižje in na vseh treh objektih podobne.

Najnižje vrednosti v času meritev so temperature zraka dosegle v mesecu oktobru 2003. Najnižje dnevne temperature so bile takrat v Sestoji (RS) na raziskovalni ploskvi Rajhenavski Rog, v Vrzeli (RV) na raziskovalni ploskvi Rajhenavski Rog ter v Veliki vrzeli (SVV), Mali vrzeli (SMV) in Sestoji (SS) na raziskovalni ploskvi Snežna jama so bile minimalne vrednosti podobne, najvišje dnevne temperature pa so bile izmerjene na Robu velike vrzeli (SVVR) na raziskovalni ploskvi Snežna jama (slika 5).

Urne temperature zraka na raziskovalni ploskvi Snežna jama, podobjekt Sestoj (SS), so se najbolj časovno ujemale s temperaturami zraka v Mali vrzeli (SMV), najbolj pa so se temperature zraka razlikovale na raziskovalni ploskvi Rajhenavski Rog, podobjekt Vrzeli (RV) (preglednica 2). Močna je bila korelacija med temperaturami zraka v Sestoji (SS) in Robu velike vrzeli (SVVR) ter Mali (SMV) in Veliki vrzeli (SVV) na raziskovalni ploskvi Snežna jama ter med temperaturami zraka v Sestoji (RS) in Vrzeli (RV) na raziskovalni ploskvi Rajhenavski Rog ($r \geq 0,99$).



Slika 5: Minimalne dnevne temperature zraka, merjene na višini 2 m nad tlemi na raziskovalni ploskvi Snežna jama, podobjekt Sestoj (SS), Velika vrzel (SVV), Rob velike vrzeli (SVVR), Mala vrzel (SMV) in na raziskovalni ploskvi Rajhenavski Rog, podobjekt Vrzeli (RV) in Sestoj (RS) v obdobju med 1.10.03 in 31.10.03

Fig. 5: Minimum daily air temperatures 2 m above ground at the research site Snežna jama, plot Stand (SS), Large gap (SVV), Edge of the large gap (SVVR), Small gap (SMV) and at the research site Rajhenavski Rog, plot Stand (RS), Gap (RV) in the period from 1.10.03 to 31.10.03

Preglednica 2: Pearsonovi koeficienti korelacije (r) med urnimi temperaturami zraka na višini 2 m nad tlemi na raziskovalni ploskvi Snežna jama, podobjekt Sestoj (SS), Velika vrzel (SVV), Rob velike vrzeli (SVVR), Mala vrzel (SMV), ter na raziskovalni ploskvi Rajhenavski Rog, podobjekt Vrzeli (RV) in Sestoj (RS) v letih 2003 in 2004. Skupno število meritev je 6600. Statistično značilni koeficienti so označeni s krepko pisavo ($p < 0,05$).

Table 2: Pearson's coefficient of correlation (r) for hourly air temperatures 2 m above ground at the research site Snežna jama, plot Stand (SS), Large gap (SVV), Edge of the large gap (SVVR), Small gap (SMV) and at the research site Rajhenavski Rog, plot Stand (RS), Gap (RV) in 2003 and 2004. Total number of observations is 6600. Statistically significant coefficients are in bold ($p < 0,05$).

	SVV	SVVR	SS	SMV	RV	RS
SVV	1					
SVVR	0.980	1				
SS	0.989	0.987	1			
SMV	0.993	0.983	0.991	1		
RV	0.975	0.978	0.975	0.978	1	
RS	0.965	0.980	0.978	0.974	0.992	1

Analiza variance je pokazala, da so bile med vsemi merilnimi mesti na dveh metrih višine statistično značilne razlike med urnimi temperaturami zraka pri stopnji tveganja $p < 0,05$,

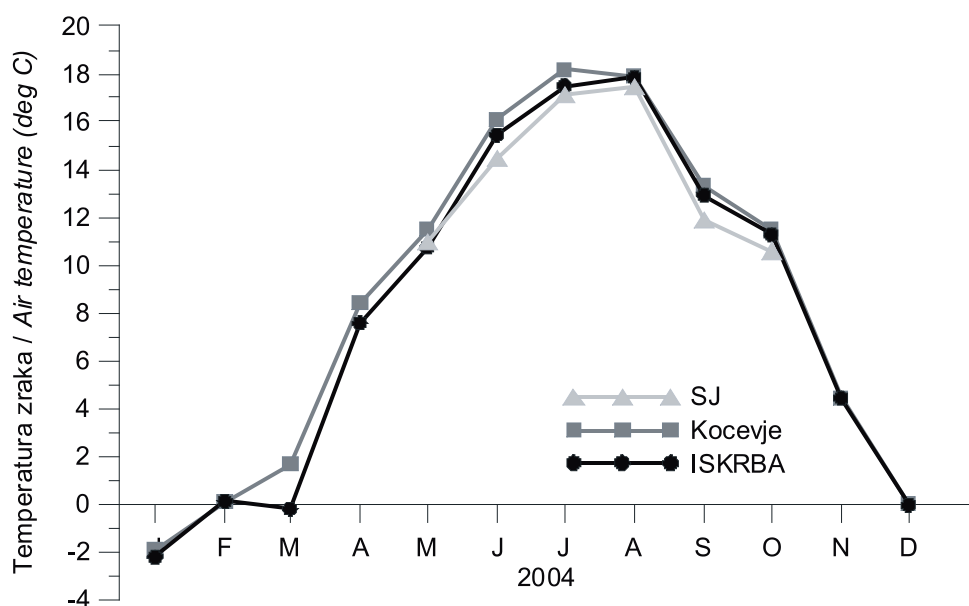
kar kaže na slabše ujemanje med urnimi temperaturami zraka v absolutnem smislu.

RAZLIKE V TEMPERATURI ZRAKA NA RAZISKOVALNI PLOSKVI SNEŽNA JAMA TER ISKRBA IN KOČEVJE

DIFFERENCES BETWEEN AIR TEMPERATURE AT THE RESEARCH SITE SNEŽNA JAMA, EMEP STATION AND KOČEVJE STATION

Povprečne dnevne temperature zraka na podobjektu Nad krošnjami (SJ) so se dobro časovno ujemale s temperaturami na klimatološki postaji Kočevje ($r = 0,965$) ter manj s temperaturami na EMEP-postaji Iskrba ($r = 0,830$). V absolutnem smislu pa so bile razlike med temperaturami statistično značilne za vsa tri merilna mesta (pri $p < 0,01$). Povprečne dnevne temperature na klimatološki postaji Kočevje so bile bolj podobne tistim na raziskovalni ploskvi Snežna jama kot tiste na Iskrbi, saj je bil razpon razlik med Kočevjem in Nad krošnjami (SJ) manjši od tistega med Iskrbo in Nad krošnjami (SJ). Nad krošnjami dreves (SJ) so bile povprečne dnevne temperature nižje od tistih v Kočevju v 78 % dni ter nižje od tistih na Iskrbi v 57 % dni.

Na sliki 6 so prikazane povprečne mesečne temperature zraka na višini 25 m nad tlemi na raziskovalni ploskvi Snežna jama, merilna postaja Nad krošnjami (SJ) ter EMEP-postajo Iskrba ter klimatološko postajo Kočevje (ARSO) v letu 2004.



Slika 6: Povprečne mesečne temperature zraka na višini 25 m nad tlemi na raziskovalni ploskvi Snežna jama, merilna postaja Nad krošnjami (SJ) ter EMEP-postajo Iskrba ter klimatološko postajo Kočevje (ARSO) v letu 2004

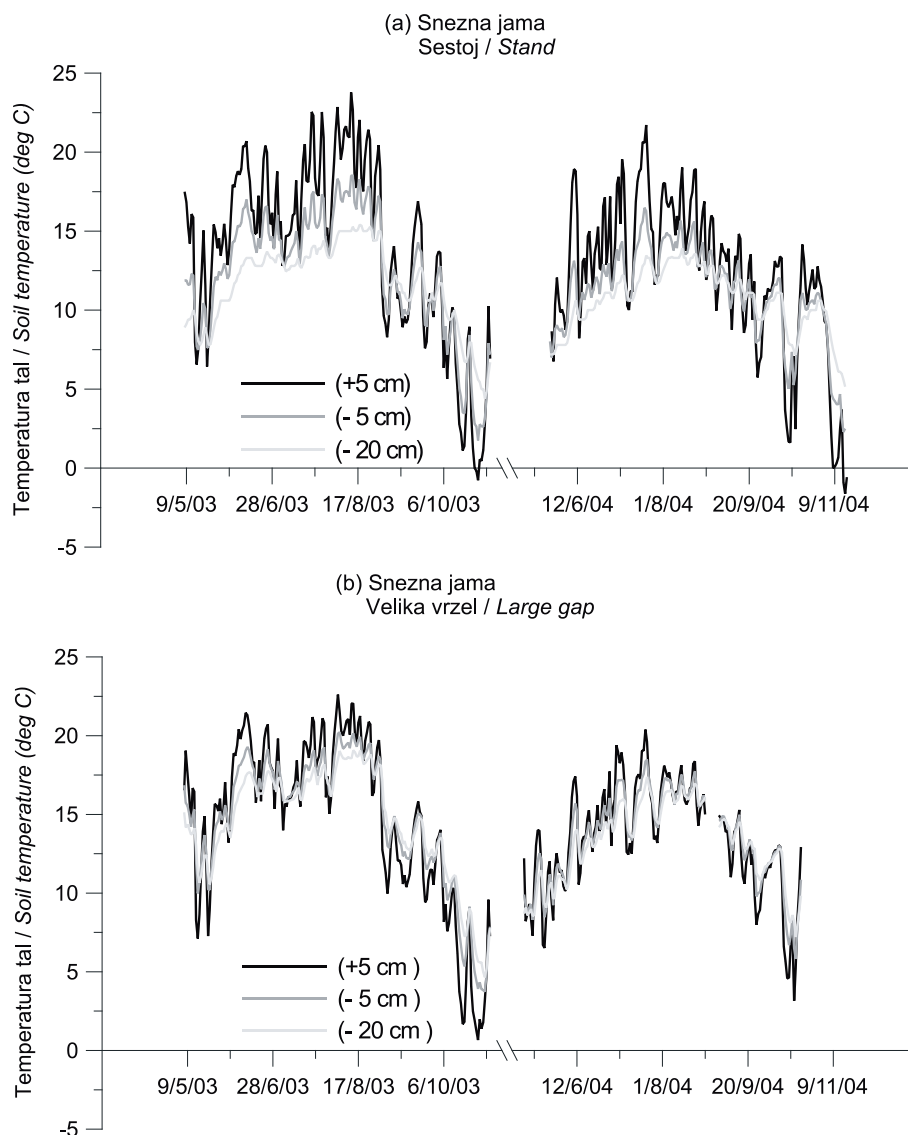
Fig. 6: Mean monthly air temperatures 25 m above ground at the research site Snežna jama, plot Above crowns (SJ) and EMEP station Iskrba and climatological station Kočevje in 2004

Nad krošnjami dreves so bile povprečne mesečne temperature zraka nižje od tistih v Kočevju od 0,5 do 1,6 °C ter od 0,4 do 1,0 °C nižje od tistih na Iskrbi. V primerjavi z dnevnimi povprečji so povprečne mesečne temperature zraka na raziskovalni ploskvi Snežna jama precej bolj podobne tistim v Kočevju in Iskrbi.

TEMPERATURA TAL SOIL TEMPERATURE

Temperaturo ob in v tleh smo merili na raziskovalni ploskvi Snežna jama, podobjekt Sestoj (SS) in Velika vrzel (SVV) na višini 5 cm nad tlemi, 5 cm v tleh in 20 cm v tleh (slika 7). V Sestoju (SS) so bile razlike med temperaturami ob in v tleh na različnih globinah večje, večja so bila tudi nihanja v meritvenem obdobju.

Slika 8 prikazuje mediane, kvartilne razmike, maksimume in minimume za urne temperature na višini 5 cm nad tlemi (+5) ter 5 (-5) in 20 cm (-20) v tleh na raziskovalni ploskvi Snežna jama, podobjekt Velika vrzel (SVV) in Sestoj (SS) v letih 2003 in 2004, pri čemer so prikazane povprečne vrednosti in standardni odkloni. Največji razpon temperatur je bil 5 cm nad tlemi, pri čemer so bile v povprečju temperature v Veliki vrzeli (SVV) za 1 °C višje od tistih v Sestoju (SS). Na globini 5 cm v tleh so bile razlike med povprečnimi vrednostmi v Veliki vrzeli (SVV) in Sestoju (SS) večje (2,3 °C), na globini 20 cm pa 2,7 °C.



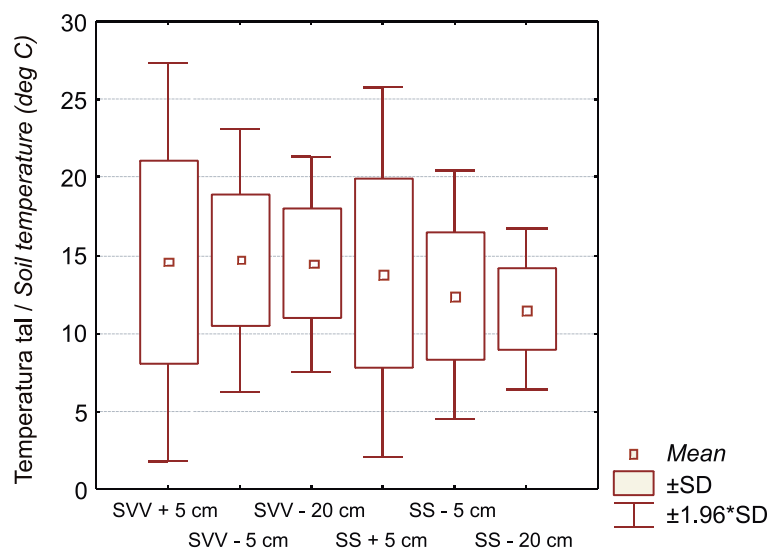
Slika 7: Povprečne dnevne vrednosti temperature ob in v tleh, merjene na višini 5 cm nad tlemi ter 5 in 20 cm v tleh na raziskovalni ploskvi Snežna jama, (a) podobjekt Sestoj (SS) in (b) Velika vrzel (SVV) v letih 2003 in 2004

Fig. 7: Average daily temperatures at 5 cm above ground, 5 and 20 cm below surface at the research site Snežna jama, (a) plot Stand (SS) and (b) Large gap (SVV) in the growing seasons 2003 and 2004

Preglednica 3: Pearsonovi koeficienti korelacije (r) med urnimi temperaturami tal na višini 5 cm nad tlemi (+5) 5 cm v tleh (-5) ter 20 cm v tleh (-20) na raziskovalni ploskvi Snežna jama, podobjekt Velika vrzel (SVV) in Sestoj (SS) v letih 2003 in 2004. $N = 4318$. Statistično značilni koeficienti so označeni s krepko pisavo ($p < 0,05$).

Table 3: Pearson's coefficient of correlation (r) for average hourly temperatures 5 cm above ground, 5 and 20 cm below surface at the research site Snežna jama, plot Stand (SS) and Large gap (SVV) in the growing seasons 2003 and 2004. $N = 4318$. Statistically significant coefficients are in bold ($p < 0,05$).

	SVV +5	SVV -5	SVV -20	SS +5	SS -5	SS -20
SVV +5	1					
SVV -5	0.879	1				
SVV -20	0.760	0.962	1			
SS +5	0.935	0.937	0.844	1		
SS -5	0.871	0.979	0.947	0.957	1	
SS -20	0.700	0.898	0.963	0.776	0.908	1

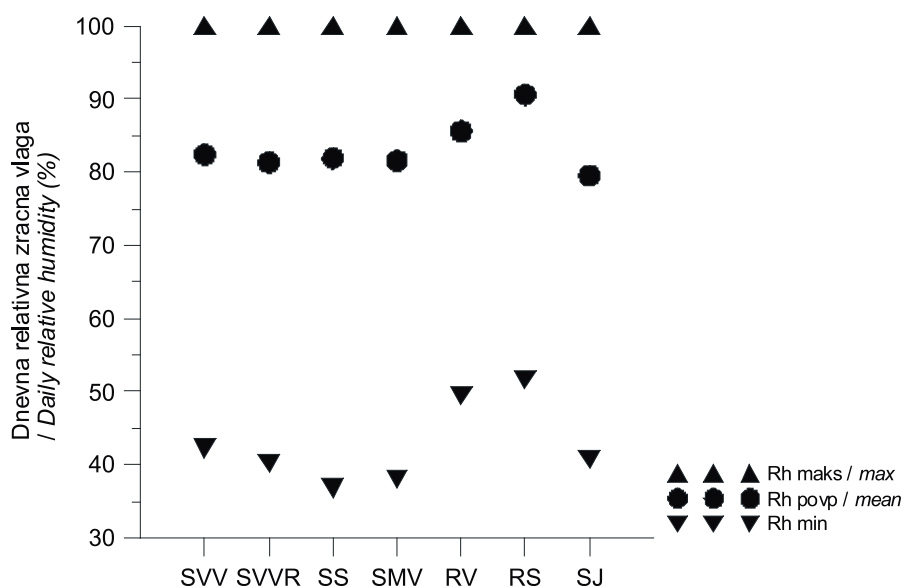


Slika 8: Okvir z ročajji za urne temperature na višini 5 cm nad tlemi (+5) ter 5 (-5) in 20 cm (-20) v tleh na raziskovalni ploskvi Snežna jama, podobjekt Velika vrzel (SVV) in Sestoj (SS) v letih 2003 in 2004

Fig. 8: Box-Whisker plots for hourly temperatures at 5 cm above ground (+5), 5 (-5) and 20 (-20) cm below surface at the research site Snežna jama, plot Stand (SS) and Large gap (SVV) in the growing seasons 2003 and 2004

Pearsonovi koeficienti korelacije (r) so statistično značilni ($p < 0,05$) za vse pare (preglednica 3). Koeficienti korelacije so zelo visoki ($r \geq 0,960$) med temperaturami tal, merjenimi na isti globini (5 cm in 20 cm) v Sestoji (SS) in Veliki vrzeli (SVV). Temperature, merjene 5 cm nad tlemi, so se v Sestoji (SS) in

Vrzeli (SVV) najbolj časovno ujemale s tistimi na globini 5 cm v tleh na istem merilnem mestu. Razlog za slabšo povezanost med temperaturami na globini 5 cm in 20 cm je v tem, da amplituda temperaturnih nihanj z globino slabi (HOČEVAR / PETKOVŠEK 1995), prav tako pa se zamika dnevni maksimum.



Slika 9: Povprečne, minimalne, maksimalne dnevne vrednosti relativne zračne vlage na višini 2 m nad tlemi na raziskovalni ploskvi Snežna jama, podobjekt Sestoj (SS), Velika vrzel (SVV), Rob velike vrzeli (SVVR), Mala vrzel (SMV) v letih 2003 in 2004, podobjekt Nad krošnjami (SJ) v letu 2004, ter na raziskovalni ploskvi Rajhenavski Rog, podobjekt Vrzel (RV) in Sestoj (RS) v letih 2003 in 2004

Fig. 9: Average, minimum and maximum daily relative humidity 2 m above ground at the research site Snežna jama, plot Stand (SS), Large gap (SVV), Edge of the large gap (SVVR), Small gap (SMV) in 2003 and 2004, average daily air temperature 25 m above ground at the research site Snežna jama, plot Above crowns (SJ) in 2004 and average daily relative humidity 2 m above ground at the research site Rajhenavski Rog, plot Stand (RS), Gap (RV) in the growing seasons 2003 and 2004

Med urnimi temperaturami, merjenimi na višini 5 cm nad tlemi, 5 cm v tleh ter 20 cm v tleh v Veliki vrzeli (SVV) so bile z analizo variance ugotovljene statistično značilne razlike ($p < 0,01$), prav tako v Sestoju (SS). Statistično značilne razlike so bile tudi med povprečnimi urnimi temperaturami, merjenimi na enakih višinah v Veliki vrzeli (SVV) in Sestoju (SS). V absolutnem smislu torej ujemanje med temperaturami ob in v tleh ni tako dobro, čeprav so temperature tal v smislu časovne spremenljivosti podobne na enakih višinah v Veliki vrzeli (SVV) in Sestoju (SS) ter na istem merilnem mestu na 5 cm nad tlemi in v globini 5 cm v tleh.

RELATIVNA ZRAČNA VLAGA RELATIVE HUMIDITY

V obravnavanem obdobju smo najvišje dnevne vrednosti relativne zračne vlage izmerili na raziskovalni ploskvi Rajhenavski Rog, podobjekt Sestoj (RS), sledi Vrzeli (RV), najnižje vrednosti pa so bile na raziskovalni ploskvi Snežna jama, Nad krošnjami dreves (SJ) (slika 9).

Pearsonovi koeficienti korelacije (r) med relativno zračno vlago, merjeno na raziskovalni ploskvi Snežna jama v Sestoju (SS) in Veliki vrzeli (SVV) ter v Mali vrzeli (SMV) in na Robu velike vrzeli (SVVR), so zelo visoki ($r \geq 0,990$), kar priča o podobnosti časovne spremenljivosti relativne zračne vlage na teh merilnih mestih (preglednica 4). Analiza variance je pokazala, da so bile med vsemi merilnimi mesti na dveh metrih višine statistično značilne razlike med relativno zračno vlago pri stopnji tveganja $p < 0,05$, kar kaže na slabše ujemanje relativne zračne vlage na teh merilnih mestih v absolutnem smislu.

Povprečne dnevne vrednosti relativne zračne vlage so se od tistih v Sestoju (SS) razlikovale najmanj v Mali vrzeli (SMV), kjer so prevladovala med 0 in 5 % višje vrednosti (43 % meritev) ter med 0 in 5 % nižje vrednosti (31 % meritev). Podobno je bilo na Robu velike vrzeli (SVVR), kjer je bil delež meritev, višjih kot v Sestoju (SS), med 0 in 5 % 57 %, delež nižjih pa 34 %. V Veliki vrzeli (SVV) so bile izmerjene nižje vrednosti povprečne dnevne relativne zračne vlage med 0 in 5 % v 73 % meritev, 27 % meritev je bilo nižjih kot v Sestoju za 5 do 10 %, višjih vrednosti pa je bilo manj kot odstotek.

Vrednosti povprečne urne relativne zračne vlage v Veliki vrzeli (SVV) so bile nižje od tistih v Sestoju (SS). Na Robu velike vrzeli (SVVR) so bile te vrednosti večinoma višje, a v

tretjini primerov tudi nižje. V Mali vrzeli (SMV) so se vrednosti povprečne urne relativne zračne vlage najmanj razlikovale od tistih v Sestoju (SS).

Preglednica 4: Pearsonovi koeficienti korelacije (r) med dnevnimi vrednostmi relativne zračne vlage na višini 2 m nad tlemi ter na raziskovalni ploskvi Snežna jama, podobjekt Sestoj (SS), Velika vrzel (SVV), Rob velike vrzeli (SVVR), Mala vrzel (SMV), ter na raziskovalni ploskvi Rajhenavski Rog, podobjekt Vrzeli (RV) in Sestoj (RS) v letih 2003 in 2004. Skupno število meritev je 150. Statistično značilni koeficienti so označeni s krepko pisavo ($p < 0,05$).

Table 4: Pearson's coefficient of correlation (r) for average daily relative humidity 2 m above ground at the research site Snežna jama, plot Stand (SS), Large gap (SVV), Edge of the large gap (SVVR), Small gap (SMV) and average daily relative humidity 2 m above ground at the research site Rajhenavski Rog, plot Stand (RS), Gap (RV) in the growing seasons 2003 and 2004. Total number of observations is 150. Statistically significant coefficients are in bold ($p < 0,05$).

	SVV	SVVR	SS	SMV	RV	RS
SVV	1					
SVVR	0.980	1				
SS	0.995	0.982	1			
SMV	0.981	0.993	0.983	1		
RV	0.917	0.907	0.922	0.919	1	
RS	0.880	0.914	0.890	0.915	0.905	1

Preglednica 5: Pearsonovi koeficienti korelacije (r) med povprečnimi dnevnimi vrednostmi relativne zračne vlage, merjenimi na višini 25 m nad tlemi na raziskovalni ploskvi Snežna jama, podobjekt Nad krošnjami (SJ), ter EMEP-postajo Iskrba in klimatološko postajo Kočevje (ARSO) v letu 2004. Skupno število meritev je 180. Statistično značilni koeficienti so označeni s krepko pisavo ($p < 0,05$).

Table 5: Pearson's coefficient of correlation (r) for daily relative humidity 25 m above ground at the research site Snežna jama, plot Above crowns (SJ), and EMEP station Iskrba and climatological station Kočevje in 2004. Total number of observations is 180. Statistically significant coefficients are in bold ($p < 0,05$).

	Iskrba	Kočevje	SJ
Iskrba	1		
Kočevje	0.478	1	
SJ	0.587	0.835	1

RAZLIKE V RELATIVNI ZRAČNI VLAGI NA RAZISKOVALNI PLOSKVI SNEŽNA JAMA TER ISKRBA IN KOČEVJE

DIFFERENCES BETWEEN RELATIVE HUMIDITY AT THE RESEARCH SITE SNEŽNA JAMA, EMEP STATION AND KOČEVJE STATION

Povprečne dnevne vrednosti relativne zračne vlage na podobjektu Nad krošnjami (SJ) so se bolj časovno ujemale z vrednostmi na klimatološki postaji Kočevje ($r = 0,835$) kot z vrednostmi na EMEP-postaji Iskrba ($r = 0,587$) (preglednica 5).

Analiza variance je pokazala, da so bile razlike med dnevnimi vrednostmi relativne zračne vlage na vseh treh mestih statistično značilne, kar kaže na razlike v relativni zračni vlagi v absolutnem smislu. Sklepamo lahko, da so bile dnevne vrednosti relativne zračne vlage na klimatološki postaji Kočevje bolj podobne tistim na raziskovalni ploskvi Snežna jama kot tiste na Iskrbi, saj je koeficient korelacije precej višji, pa tudi razpon razlik med Kočevjem in Nad krošnjami (SJ) je bil manjši od tistega med Iskrbo in Nad krošnjami (SJ).

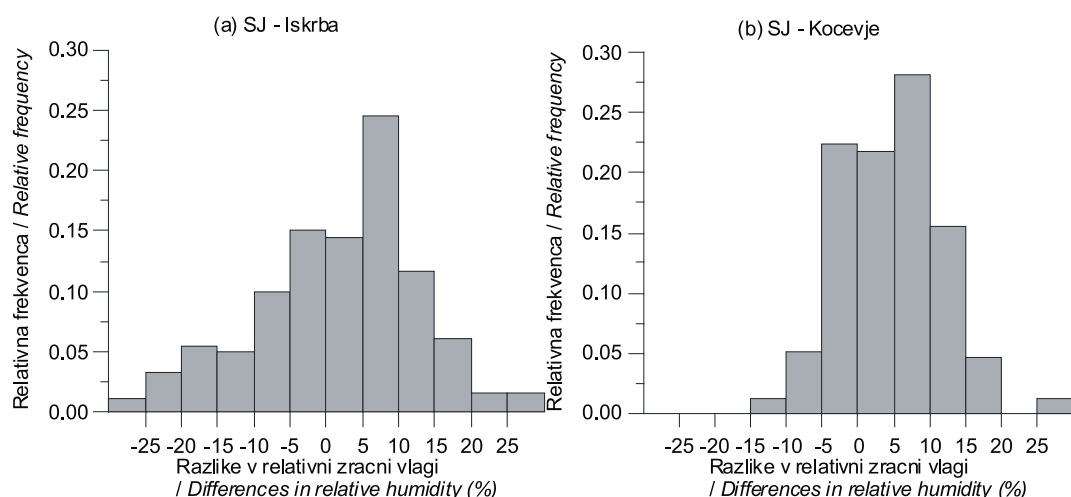
Frekvenčna porazdelitev razlik med povprečnimi dnevnimi vrednostmi relativne zračne vlage je prikazana na sliki 10. Za Iskrbo je znašal delež razlik do 10 % 63 %, razpon razlik je bil od -29 % do +27 %. Za klimatološko postajo Kočevje je znašal delež razlik 77 % med 0 % in 10 %, razlike pa so bile od -14 % do 32 %.

SMER IN HITROST VETRA WIND DIRECTION AND WIND SPEED

Nad krošnjami dreves (SJ) je v letu 2004 prevladoval zahodnik (W 25,4 %), pogosti so bili tudi vetrovi iz jugovzhodne smeri (ESE 23,3 % in SE 21,2 %). Vetrovi so dosegli hitrosti nad 2 m s^{-1} . Brezvetrja v času meritev ni bilo.

Na ploskvi Snežna jama, podobjekt Velika vrzel (SVV), je v letih 2003 in 2004 prevladoval jugozahodni veter (v letu 2003 41,7 % in v letu 2004 38,1 %), ki je dosegel v letih 2003 in 2004 hitrosti nad $0,5 \text{ m s}^{-1}$, v letu 2004 pa tudi nad $1,0 \text{ m s}^{-1}$. Dokaj pogosto se je pojavljal tudi severozahodnik (v letu 2003 17,8 % in v letu 2004 12,2 %) ter severnik (v letu 2003 9 % in v letu 2004 18,0 %), ki pa nista presegla hitrosti $0,5 \text{ m s}^{-1}$. Delež brezvetrja je v letu 2003 znašal 2,2 %, v letu 2004 pa 12,6 %. V Sestoji (SS) na ploskvi Snežna jama so prevladovali vetrovi z jugovzhoda (SE 22,8 % v letu 2003 % in v letu 2004 12,2 % ter ESE 13,9 % v letu 2003 % in v letu 2004 14,3 %), pogosti so bili tudi vetrovi iz severne in severozahodne smeri. Hitrost vetrov ni presegla $0,5 \text{ m s}^{-1}$. Značilna je večja razpršenost prevladujočih smeri vetrov. Delež brezvetrja je v letu 2003 znašal 49,2 %, v letu 2004 pa 74,3 %.

V Vrzelih (RV) na raziskovalni ploskvi Rajhenavski Rog je v letu 2004 prevladoval severozahodnik (30,2 % iz smeri NW ter 9,0 % iz NNW), pogost je bil tudi jugovzhodni veter (10,6 %). Hitrosti so bile pod $0,5 \text{ m s}^{-1}$, delež brezvetrja pa je znašal 49,4 %.



Slika 10: Frekvenčna porazdelitev razlik med povprečnimi vrednostmi relativne zračne vlage na višini 25 m nad tlemi na raziskovalni ploskvi Snežna jama, podobjekt Nad krošnjami (SJ), ter EMEP-postajo Iskrba in klimatološko postajo Kočevje (ARSO) v letu 2004. Skupno število meritev je 180.

Fig. 10: Frequency distribution of differences in daily relative humidity 25 m above ground at the research site Snežna jama, plot Above crowns (SJ), and EMEP station Iskrba and climatological station Kočevje in 2004. Total number of observations is 180.

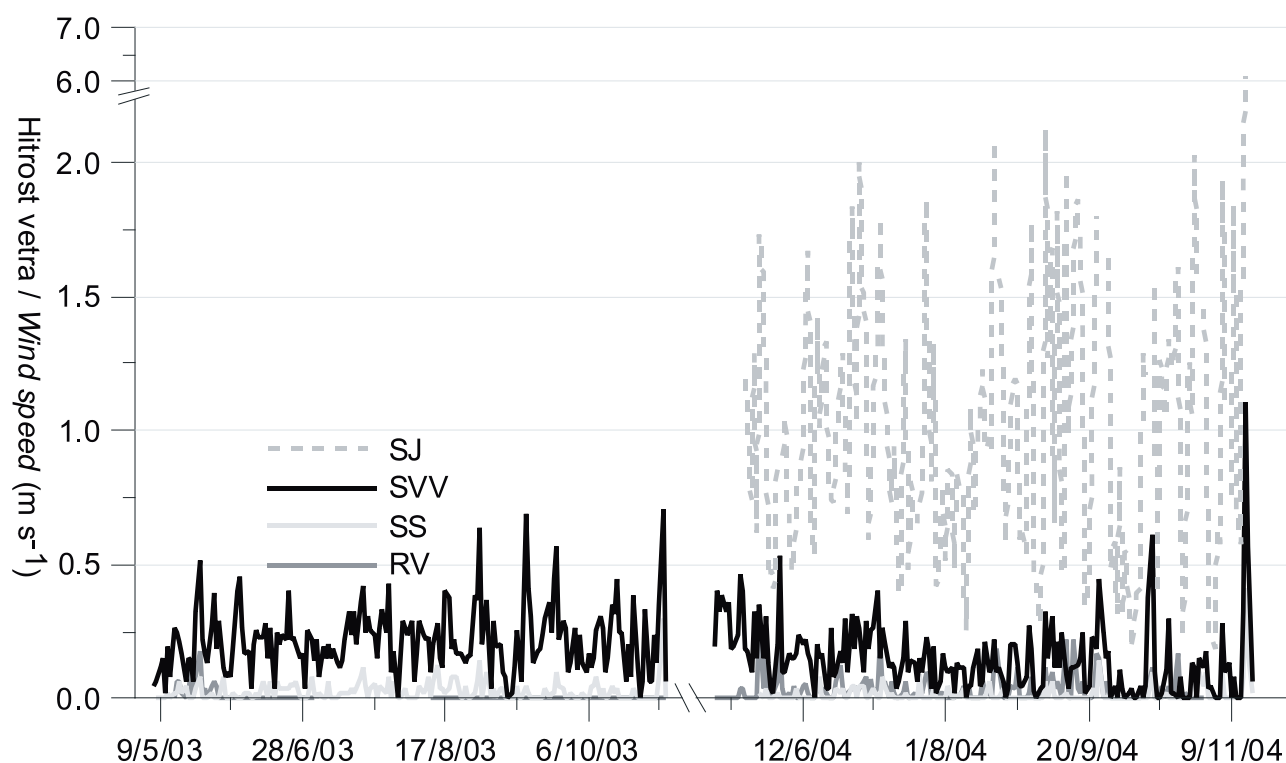
Slika 11 prikazuje povprečne dnevne hitrosti vetra (m s^{-1}), merjene na višini 2 m na raziskovalni ploskvi Snežna jama, podobjekt Sestoj (SS), in Velika vrzel (SVV) v letih 2003 in 2004 ter v letu 2004 na višini 25 m Nad krošnjami dreves (SJ) in na višini 2 m na raziskovalni ploskvi Rajhenavski Rog, podobjekt Vrzel (RV). Najvišje urne hitrosti vetra so bile izmerjene Nad krošnjami dreves (SJ), kjer so 14.11.2005 dosegle tudi $7,6 \text{ m s}^{-1}$. Najvišje povprečne dnevne hitrosti so bile dosežene istega dne (14.11.2004: $6,1 \text{ m s}^{-1}$). Na drugih merilnih mestih povprečne dnevne hitrosti vetra niso presegle $1,1 \text{ m s}^{-1}$. Najpogosteje so bile v Veliki vrzeli (SVV) hitrosti vetra višje od tistih v Sestoji (SS) za $0,1$ do $0,2 \text{ m s}^{-1}$ (37 % dni) ter za $0,1 \text{ m s}^{-1}$ v 30 % dni. V Veliki vrzeli (SVV) so hitrosti vetra presegle tiste v Sestoji (SS) za več kot $0,5 \text{ m s}^{-1}$ le v 2 % merjenih dni.

Pearsonovi koeficienti korelacije (r) so statistično značilni (pri $p < 0,05$) za vse pare (preglednica 6), pri čemer je r večji od $0,50$ le za hitrosti vetra Nad krošnjami (SJ) ter Veliko vrzel (SVV) ($r = 0,515$). Podobnost v smislu časovne spremenljivosti med urnimi hitrostmi vetra na merilnih mestih torej ni bila velika.

Preglednica 6: Pearsonovi koeficienti korelacije (r) med urnimi hitrostmi vetra (m s^{-1}) na višini 2 m na raziskovalni ploskvi Snežna jama, podobjekt Sestoj (SS) in Velika vrzel (SVV) v letih 2003 in 2004 ter v letu 2004 na višini 25 m Nad krošnjami dreves (SJ) in na višini 2 m na raziskovalni ploskvi Rajhenavski Rog, podobjekt Vrzel (RV). Skupno število meritev je 8855. Statistično značilni koeficienti so označeni s krepko pisavo ($p < 0,05$).

Table 6: Pearson's coefficient of correlation (r) for hourly wind speed (m s^{-1}) 2 m above ground at the research site Snežna jama, plot Stand (SS), Large gap (SVV) in 2003 and 2004 and 25 m Above crowns (SJ) and at the research site Rajhenavski Rog, plot Stand (RS), Gap (RV) in 2004. Total number of observations is 8855. Statistically significant coefficients are in bold ($p < 0,05$).

	SVV WS	SS WS	RV WS	SJ WS
SVV WS	1			
SS WS	0.356	1		
RV WS	0.401	0.227	1	
SJ WS	0.515	0.299	0.484	1



Slika 11: Povprečne dnevne hitrosti vetra na višini 2 m na raziskovalni ploskvi Snežna jama, podobjekt Sestoj (SS) in Velika vrzel (SVV) v letih 2003 in 2004 ter v letu 2004 na višini 25 m Nad krošnjami dreves (SJ) in na višini 2 m na raziskovalni ploskvi Rajhenavski Rog, podobjekt Vrzel (RV)

Fig. 11: Average daily wind speed 2 m above ground at the research site Snežna jama, plot Stand (SS), Large gap (SVV) in 2003 and 2004 and 25 m Above crowns (SJ) and at the research site Rajhenavski Rog, plot Stand (RS), Gap (RV) in 2004

RAZPRAVA DISCUSSION

Omejitev raziskave na le dve vegetacijski obdobji ne omogoča popolnega vpogleda v splošne vremenske razmere na obravnavanih raziskovalnih ploskvah. V letu 2003 smo v Sloveniji zabeležili eno najhujših poletnih suš v zadnjih petdesetih letih (ROBIČ 2003; SUŠNIK / ŽUST 2003). Po izjemnem poletju 2003 so se podnebne razmere poleti 2004 vrnile v običajne okvire (CEGNAR 2004). Kočevski Rog sicer ne sodi v območja, ki so bila v letu 2003 ogrožena zaradi hude (kmetijske) suše, vendar je v vegetacijskem obdobju leta 2003 v Kočevju padlo le 509 mm padavin, kar pomeni 63 % povprečne količine padavin za vegetacijsko obdobje v letih od 1961 do 1990 (vir: arhiv ARSO). V vegetacijskem obdobju 2004 je v Kočevju padlo 888 mm padavin, kar je 109 % povprečne količine padavin za vegetacijsko obdobje v letih od 1961 do 1990. Izbor let 2003 in 2004 nam je omogočil prikaz osnovnih mikroklimatskih razmer v izbranih gozdnih sestojih v ekstremnih razmerah: v sušnih razmerah v vegetacijskem obdobju leta 2003 ter v običajno do nadpovprečno mokrem vegetacijskem obdobju v letu 2004 (VILHAR 2006).

Najvišje dnevne temperature zraka so bile izmerjene na Robu velike vrzeli (SVVR) na raziskovalni ploskvi Snežna jama, sledijo Mala vrzel (SMV) ter Velika vrzel (SVV). V Sestoji (SS) na raziskovalni ploskvi Snežna jama ter Sestoji (RS) in Vrzeli (RV) na raziskovalni ploskvi Rajhenavski Rog so bile maksimalne dnevne temperature zraka nižje in na vseh treh objektih podobne. Najnižje dnevne temperature zraka so bile v Sestoji (RS) na raziskovalni ploskvi Rajhenavski Rog. V Vrzeli (RV) na raziskovalni ploskvi Rajhenavski Rog ter v Veliki vrzeli (SVV), Mali vrzeli (SMV) in v Sestoji (SS) na raziskovalni ploskvi Snežna jama so bile minimalne vrednosti podobne, višje minimalne temperature pa so bile izmerjene na Robu velike vrzeli (SVVR) na raziskovalni ploskvi Snežna jama. To potrjujejo tudi druge raziskave (KREČMER 1966).

Povprečna dnevna relativna vlaga na raziskovalni ploskvi Snežna jama je bila na vseh podobjektih dokaj izenačena. Minimalne vrednosti so bile najnižje v Sestoji (SS), sledila je Mala vrzel (SMV), nato Rob velike vrzeli (SVVR) in Velika vrzel (SVV). Na raziskovalni ploskvi Rajhenavski Rog je bila dnevna relativna zračna vlaga višja od tiste na raziskovalni ploskvi Snežna jama, pri čemer je bila v Sestoji (RS) višja kot v Vrzeli (RV).

Prisotnost oziroma odsotnost gozdnega drevja bolj vpliva na temperaturo tal kot na temperaturo zraka (MORECROFT

et al. 1998; CHEN *et al.* 1999). Temperatura tal v Sestoji (SS) na raziskovalni ploskvi Snežna jama so bile v povprečju nižje od temperatur tal v Veliki vrzeli (SVV), kar ustreza ugotovitvam drugih avtorjev (KREČMER 1967; LIECHTY *et al.* 1992; MORECROFT *et al.* 1998; BHATTI *et al.* 2000). Ekstremne razmere – visoke maksimalne temperature in nizke minimalne temperature – v sredini Velike vrzeli (SVV) so vplivale na večjo izenačenost temperatur na različnih globinah v primerjavi s Sestojem (SS), kjer so krošnje dreves ščitile tla pred premočnim segrevanjem (KREČMER 1967). Organska plast gozdnih tal nad mineralnim delom tal deluje kot toplotna izolacija (BHATTI *et al.* 2000), saj imajo suha gozdna tla majhno prostorninsko toplotno kapaciteto ter zelo nizko toplotno prevodnost. Temperatura tal lahko pomembno vpliva na hitrost rasti drevja, kar je večjega pomena na rastiščih na višjih nadmorskih višinah ter s krajšo vegetacijsko dobo (ZABOWSKI *et al.* 2000).

Urne hitrosti vetra so bile najnižje v Sestoji (SS) na raziskovalni ploskvi Snežna jama, kjer je bila zabeležena večja razpršenost prevladujočih smeri vetrov, verjetno zaradi vpliva dreves na vrtinčenje zraka (GOLOB 1990; BERGANT *et al.* 1997; KAJFEŽ-BOGATAJ 1997; MORECROFT *et al.* 1998; BARRY 2001). V Vrzeli (RV) na raziskovalni ploskvi Rajhenavski Rog so bile hitrosti vetra podobne, a višje kot v Sestoji (SS) na raziskovalni ploskvi Snežna jama, najvišje pa so bile v Veliki vrzeli (SVV). Raziskave v subalpinskem svetu Švice so pokazale, da lahko griči in doline velikosti 5 – 12 m spremenijo hitrost vetra za $\pm 60\%$, če je smer prevladujočih vetrov pravokotna na griče (BARRY 2001). Še pomembnejši je vpliv vertikalnih vrtincev v zavetrju za ovirami, kakršna je lahko gozdni sestoj. Posledica vpliva dreves in grmičevja na režim vetra je značilno in ponavljajoče se kopičenje snega v zavetrnih legah. Brezvetrja v času meritev Nad krošnjami dreves (SJ) ni bilo, v Sestoji (SS) na raziskovalni ploskvi Snežna jama je v letu 2003 znašal odstotek brezvetrja 49,2 %, v letu 2004 pa 74,3 % ur.

Gozd z zmanjševanjem temperaturnih ekstremov in z zadrževanjem vetra v pritalni plasti blaži mikroklimo (GOLOB 1990; MORECROFT *et al.* 1998). Na raziskovalni ploskvi Rajhenavski Rog so bile dnevne temperature zraka nižje kot na raziskovalni ploskvi Snežna jama, relativna zračna vlaga pa je bila višja. Na podobjektu Sestoj (RS) na raziskovalni ploskvi Rajhenavski Rog so bili temperaturni razponi manjši, relativna zračna vlaga pa je bila višja kot v Vrzeli (RV). Na raziskovalni ploskvi Snežna jama so bile najvišje dnevne temperature izmerjene na Robu velike vrzeli (SVVR), pri

čemer je bila odločilna lokacija merile postaje na severnem robu vrzeli z južno ekspozicijo. Severna stran vrzeli je v vegetacijskem obdobju najtoplejša (KREČMER 1966), južna ekspozicija pa še dodatno prispeva k višjim maksimalnim temperaturam (LOOKINGBILL / URBAN 2003; HOLST *et al.* 2005).

Pričakovali smo, da bodo zaradi velikosti vrzeli mikroklimatske razmere na sredini Velike vrzeli (SVV) bolj izostrene od razmer na sredini Male vrzeli (SMV), kakor navajajo viri (KREČMER 1966). Vendar na podlagi naših rezultatov ugotavljamo, da so bile v Mali vrzeli (SMV) višje temperature zraka ter podobne vrednosti relativne zračne vlage kot v Veliki (SVV). Sklepamo, da ima na mikroklimatske razmere poleg zgradbe sestoja (CHEN *et al.* 1999) velik vpliv tudi razgibani kraški mikrorelief. Naklon terena, ekspozicija, oblikovanost terena (BÁRÁNY-KEVEI 1999; OGRIN *et al.* 2006) ter oblikovanosti roba vrzeli (DE CHANTAL *et al.* 2003) so dejavniki, na katere moramo biti pri uvajanju sestojev v obnovo v kraškem svetu še posebej previdni. Osnovanje vrzeli neprimerne velikosti lahko v skrajnem primeru povzroči nastanek ekstremnih mikroklimatskih razmer (višje maksimalne in nižje minimalne temperature zraka in tal, nižja relativna zračna vlaga) in upočasni naravno obnovo sestojev.

Na podlagi analize meritev v vegetacijskem obdobju 2004 sklepamo, da so povprečne dnevne temperature zraka na raziskovalni ploskvi Snežna jama, podobjekt Nad krošnjami (SJ), bolj podobne tistim na klimatološki postaji Kočevje kot na EMEP-postaji Iskrba, saj je razpon temperaturnih razlik med Kočevjem in Nad krošnjami (SJ) manjši od tistega med Iskrbo in Nad krošnjami (SJ). Tudi za dnevno relativno zračno vlago smo ugotovili manjše odmike med meritvami Nad krošnjami (SJ) in v Kočevju kot v Iskrbi. Povprečne mesečne temperature zraka na raziskovalni ploskvi Snežna jama so v primerjavi z dnevnimi povprečji precej bolj podobne tistim v Kočevju in Iskrbi, pri čemer so povprečne mesečne temperature zraka na raziskovalni ploskvi Snežna jama bolj podobne tistim na klimatološki postaji Kočevje kot na EMEP-postaji Iskrba.

ZAHVALA ACKNOWLEDGEMENT

Raziskava je potekala v okviru doktorske naloge: Vodna bilanca dinarskega jelovo-bukovega gozda v Kočevskem Rogu., Univ. v Ljubljani, BF, Odd. za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno ekologijo ter Programske skupine za gozdno biologi-

jo, ekologijo in tehnologijo, financirane s strani Ministrstva za šolstvo, znanost in šport, Slovenija.

SUMMARY

Environmental changes, such as climate change, influence forests in a multitude of ways (increased CO₂ concentrations, higher air temperatures, changed precipitation regime). Different climate change scenarios predict a rise of air temperature for the major part of Slovenia, which might result in meteorological and physiological drought. Microclimate conditions are one of the most prominent factors in forest ecosystems since they influence forest health and forest production.

In the current study, microclimatic conditions of a Dinaric silver fir - European beech forest in selected forest stands and different development stages of a managed forest and a virgin forest remnant were determined. The field investigations were carried out during two hydrologically contrasting growing seasons: dry in the year 2003 and more humid in the year 2004 on two research sites: in a managed forest (Snežna jama) and a virgin forest remnant (Rajhenavski Rog). The investigated research sites are located in the northern part of the Dinaric Alps in SE Slovenia (880 - 890 m a.s.l.). The bedrock is Cretaceous limestone and dolomite and the soil conditions are very heterogeneous. The prevailing soil units are *Eutric Cambisols* and *Rendzic Leptosols* with maximal depth of 40 cm. In the virgin forest remnant, a 0.15 ha plot representing the closed Stand (RS) (ca.) and a large Gap (RV) (diameter ca. 45 m) were investigated. The setup in the managed forest included a closed forest Stand (SS) (ca. 0.15 ha), a Large gap (SVV) (diameter ca. 45 m) and a Small gap (SMV) (diameter ca. 30 m), established in winter 2000.

The limitation of the study to two vegetation periods cannot describe average weather conditions at selected research plots. But contrasting precipitation regime of selected growing seasons enabled us to determine the microclimatic conditions of selected forest ecosystem in extreme conditions: drought conditions in the year 2003 and humid in the year 2004.

Microclimatic conditions differed for investigated research sites. Daily air temperatures at the Rajhenavski Rog in the virgin forest remnant were lower than in the managed forest at Snežna jama, but relative humidity was higher. Most extreme temperatures measured in the managed forest were at the Edge of the large gap (SVVR), followed by Small gap (SMV) and Large gap (SVV). Daily relative humidity was lowest in managed forest in Stand (SS), followed by Small gap (SMV),

Edge of a large gap (SVVR) and Large gap (SVV). In the virgin forest remnant, daily relative humidity was higher in the Stand (RS) than in the Gap (RV). Soil temperatures in managed forest were lower in the Stand (SS) than in the Large gap (SVV). Soil temperatures at different depths (-5 cm, -20 cm) were more uniform in the Large gap than in the Stand (SS) as a consequence of more variable conditions in the Large gap (SVV).

Hourly wind speed was lowest in the managed forest in the Stand (SS). In the virgin forest remnant, hourly wind speed in the Gap (RV) was slightly higher as in the Stand in managed forest. Highest wind speed was measured in the Large gap (SVV) in managed forest.

Microclimate conditions were not more variable in the Large gap (SVV) than in Small gap (SMV) in managed forest, in contrast to our expectations. In the Small gap (SMV), air temperatures were higher and relative humidity similar to the one in the Large gap (SVV). According to our results, we conclude that microclimatic conditions are influenced not only by stand structure but also by the inclination of the terrain, exposition, the concave shape of the terrain and shape of the forest edge in a gap.

VIRI

REFERENCES

- ANONYMOUS 2002. Meteorological Monitoring on Intensive Monitoring Plots. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, United Nations Economic Commission for Europe Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Part VII: 23 s.
- AUSSENAC, G. 2000. Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Annales of Forest Science* 57. s. 287-301.
- BÁRÁNY-KEVEI, I. 1999. MICROCLIMATE OF KARSTIC DOLINES. <http://www.sci.u-szeged.hu/eghajlattan/akta99/Barany-Kevei/Barany-Kevei.html>
- BARRY, R. 2001. Mountain weather and climate. - 2nd ed. New York, Routledge, a division of Routledge, Chapman and Hall, Inc. s. 402.
- BERGANT, K., KAJFEŽ-BOGATAJ, L. 1998. Možen vpliv klimatskih sprememb na prostorsko porazdelitev območij s potencialnim pomanjkanjem vode v tleh v Sloveniji. Novi izzivi v poljedelstvu 1998, Zbornik simpozija, Ljubljana, Slovensko agronomsko društvo. 136-140 s.
- BERGANT, K., KAJFEŽ-BOGATAJ, L. 1999. Uporaba modelov splošne cirkulacije za izdelavo scenarijev klimatskih sprememb na območju Slovenije. Zbornik Biotehniške Fakultete Univerze v Ljubljani 73. 1: s. 177-186.
- BERGANT, K., KAJFEŽ-BOGATAJ, L., ZMRZLAK, M. 1997. Rough estimation of zero-plane displacement and roughness length for hops canopy. Zbornik Biotehniške Fakultete Univerze v Ljubljani 69. s. 17-22.
- BHATTI, J.S., FLEMING, R.L., FOSTER, N.W., MENG, F.-R., BOURQUE, C.P.A., ARP, P.A. 2000. Simulations of pre- and post-harvest soil temperature, soil moisture, and snowpack for jack pine: comparison with field observations. *Forest Ecology and Management* 138. s. 413-426.
- BONČINA, A. 1999. Stand dynamics of the virgin forest Rajhenavski Rog (Slovenia) during the past century. *Virgin Forests and Forest Reserves in Central and Eastern European Countries*. J. Diaci. Ljubljana, BF, Oddelek za gozdarstvo: 95-110 s.
- BOŽIČ, G. 2005. Genetski vidik naravne obnove smrekovega sestoja na nastali raziskovalni ploskvi Šijec na Pokljuki. The genetic aspect of the spruce stand natural regeneration in the permanent forest research plot Šijec on the Pokljuka plateau. *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 77. s. 43-60.
- CEGNAR, T. 2004. Poletje 2004. Mesečni bilten, Agencija Republike Slovenije za okolje 8. XI: s. 24-31.
- CHEN, J., SAUNDERS, S., CROW, T., NAIMAN, R., BROSOFSKE, K., MROZ, G., BROOKSHIRE, B., FRANKLIN, J. 1999. Microclimate and Forest Ecosystem and Landscape Ecology. *BioScience* 49. s. 288-296.
- ČATER, M. 2005. Poročilo o meritvah svetlobnih razmer na Raziskovalnih ploskvah Snežna jama in Rajhenavski Rog. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije s. 6.
- DE CHANTAL, M., LEINONEN, K., KUULUVAINEN, T., CESCATTI, A. 2003. Early response of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings to an experimental canopy gap in a boreal spruce forest. *Forest Ecology and Management* 176. 1-3: s. 321-336.
- DE VRIES, W., REINDS, G.J., VAN DER SALM, C., DRAAIJERS, G.P.J., BLEEKER, A., ERISMAN, J.W., AUÉE, J., GUNDERSEN, P., KRISTENSEN, H.L., VAN DOBBEN, H., ZWART, D.D., DEROME, J., VOOGD, J.C.H., VEL, E.M. 2001. Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe. EU Commission, United Nations Economic Commission for Europe s. 177.
- DIACI, J., PIŠEK, R., BONČINA, A. 2005. Regeneration in experimental gaps of subalpine *Picea abies* forest in the Slovenian Alps. *European Journal of Forest Research* 124. s. 29-36.
- DUFRENE, E., DAVI, H., FRANCOIS, C., MAIRE, G.L., DANTEC, V.L., GRANIER, A. 2005. Modelling carbon and water cycles in a beech forest: Part I: Model description and uncertainty analysis on modelled NEE. *Ecological Modelling* 185. 2-4: s. 407-436.
- FAO 1990. Soil map of the world. Revised Legend. Rome, FAO-Unesco, ISRIC s. 119.
- GAMS, I. 1999. Spremenljivi sezonski padavinski režimi in njegov vpliv na suše in povodnji. *Ujma* 13. s. 195-198.
- GOLOB, S. 1990. Poskus merjenja vplivov ravninskih gozdov na krajevno klimo - primer obdravskih ravnin. *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 35. s. 45-68.
- GRANIER, A., BIRON, P., LEMOINE, D. 2000. Water balance, transpiration and canopy conductance in two beech stands. *Agricultural and Forest Meteorology* 100. 4: s. 291-308.
- HOČEVAR, A., PETKOVŠEK, Z. 1995. Meteorologija. Osnove in nekatere aplikacije. Ljubljana, BF, Oddelek za gozdarstvo. s.
- HOLST, T., MAYER, H., SCHINDLER, D. 2005. Microclimate within beech stands—part II: thermal conditions. *European Journal of Forest Research* 123. 1: s. 13-28.
- JURC, D., JAKŠA, J., JURC, M., MAVSAR, R., MATIJAŠIČ, D., JONOZOVIČ, M. 2003. Zdravje gozdov Slovenija 2002 / Forest health - Slovenija 2002. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Zavod za gozdove Slovenije. s. 70.
- KAJFEŽ-BOGATAJ, L. 1997. Mikrometeorološke posebnosti visoke rastlinske odeje na primeru hmelja. *Zbornik Biotehniške Fakultete Univerze v Ljubljani* 69. s. 13-31.
- KAJFEŽ-BOGATAJ, L. 2000. Vpliv globalnega ogrevanja na trajanje vegetacijskega obdobja in temperaturne vsote. Novi izzivi v poljedelstvu 2000, Zbornik simpozija, Moravske Toplice, Slovensko agronomsko društvo. 54-60 s.
- KAJFEŽ-BOGATAJ, L. 2001. Klimatske spremembe in njihove posledice - dejstva in predvidevanja. *Gozdarski vestnik* 59. 4: s. 203-208.
- KAJFEŽ-BOGATAJ, L. 2005. Podnebne spremembe in njihovi vplivi na kakovost življenja ljudi. *Acta agriculturae Slovenica* 85. 1: s. 41-54.
- KAJFEŽ-BOGATAJ, L., HOČEVAR, A. 1994. Assessment of climate change effects on productivity of beech stand in Slovenia using simulation methods. *Agricultural and Forest Meteorology* 72. 1-2: s. 47-56.

- KATZENSTEINER, K. 2003. Effects of harvesting on nutrient leaching in a Norway spruce (*Picea abies* Karst.) ecosystem on a Lithic Leptosol in the Northern Limestone Alps. *Plant and Soil* 250. s. 59-73.
- KRAJNC, N., MAVSAR, R., VILHAR, U., SIMONČIČ, P. 2006. Intenzivni monitoring gozdnih ekosistemov in program Forest Focus v Sloveniji. Intensive monitoring of forest ecosystems and Forest Focus program in Slovenia. Monitoring gospodarjenja z gozdom in gozdnato krajino. Monitoring the management of forests and forest landscapes. Gozdarski študijski dnevi 2006. D. Hladnik. Ljubljana, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniška fakulteta. Department of Forestry and Renewable Forest Resources, Biotechnical Faculty: 111-124 s.
- KREČMER, V. 1966. Das Mikroklima der Kieferlochkahlschlaege. II Teil: Lufttemperatur. *Wetter und Leben* 18. 9-10: s. 186-198.
- KREČMER, V. 1967. Das Mikroklima der Kieferlochkahlschlaege. III Teil: Bodentemperatur. *Wetter und Leben* 19. 5-6: s. 107-115.
- LIECHTY, H.O., HOLMES, M.J., REED, D.D., MROZ, G.D. 1992. Changes in microclimate after stand conversion in two northern hardwood stands. *Forest Ecology and Management* 50. s. 253-264.
- LOOKINGBILL, T.R., URBAN, D.L. 2003. Spatial estimation of air temperature differences for landscape-scale studies in montane environments. *Agricultural and Forest Meteorology* 114. s. 141-151.
- MASERA, O.R., GARZA-CALIGARIS, J.F., KANNINEN, M., KAREINEN, T., LISKI, J., NABUURS, G.J., PUSSINEN, A., DE JONG, B.H.J., MOHREN, G.M.J. 2003. Modeling carbon sequestration in afforestation, agroforestry and forest management projects: the CO2FIX V.2 approach. *Ecological Modelling* 164. s. 177-199.
- METZ, B., DAVIDSON, O., DE CONINCK, H., LOOS, M., MEYER, L. 2001. IPCC Special Report. Carbon Dioxide Capture and Storage. Summary for Policymakers. Intergovernmental Panel on Climate Change on the invitation of the United Nations Framework convention on Climate Change s. 53.
- 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. 1-2: s. 141-155.
- NABUURS, G.J., SCHELHAAS, M.J. 2002. Carbon profiles of typical forest types across Europe assessed with CO2FIX. *Ecological Indicators* 1. s. 213-223.
- NAGEL, T.A., SVOBODA, M., DIACI, J. 2006. Regeneration patterns after intermediate wind disturbance in an old-growth *Fagus-Abies* forest in southeastern Slovenia. *Forest Ecology and Management* 226. 1-3: s. 268-278.
- OGRIN, M., SINJUR, I., OGRIN, D. 2006. Minimalne temperature v slovenskih mraziščih pozimi 2005/2006. *Geografski obzornik* 53. 2: s. 4-12.
- PAVLOČIČ, F. 2004. Certifikat o kalibraciji. Ljubljana, ARSO, Umerjevalni laboratorij s. 16.
- PERKO, D. 1998. Slovenija - pokrajine in ljudje. Ljubljana, Mladinska knjiga. s.
- ROBIČ, M. 2003. Podzemne vode v aluvialnih vodonosnikih v avgustu 2003. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za monitoring s. 3.
- ROŽENBERGAR, D., DIACI, J. 2003. Comparative studies of gap-phase regeneration in managed and natural beech forests in different parts of Europe: relations between tree regeneration and light, soil conditions, and ground vegetation. Part 5 - Case study partner report from Slovenia. NatMan project WP3. Deliverable 12 and 21., Nat-Man Project, funded by EU 5th Framework Programme s. 38.
- SIMONČIČ, P., GREBENC, T., KRAIGHER, H., ÈATER, M., URBANČIČ, M., VILHAR, U. 2004. Nat-Man WP4: Slovenia, (Nat-Man working report). Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije s. 44.
- SIMONČIČ, P., KOBLER, A., POGAÈNIK, N., MEDVED, M., TORELLI, N., ROBEK, R. 2001. Podnebne spremembe in slovenski gozdovi: Climate change and Slovene forests. *Gozdarski vestnik* 59. 4: s. 184-202.
- SMOLEJ, I. 1977. Klima sestojne odprtine in njen gozdnogojitveni pomen. Biotehniška fakulteta. Ljubljana, Univerza v Ljubljani: 73 s.
- Statistica for Windows 1984-1995. Tulsa, StatSoft, Inc. s.
- SUŠNIK, A., ŽUST, A. 2003. AGROMETEOROLOGIJA. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za meteorologijo s. 9.
- URBANČIČ, M. 2004. Poročilo o debelini in vrsti plasti ter tipih tal na Razsikovalnih ploskvah Snežna jama in Rajhenavski Rog. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije s. 10.
- VILHAR, U. 2006. Vodna bilanca dinarskega jelovo-bukovega gozda na Kočevskem rogu. WATER BALANCE OF A DINARIC SILVER FIR - BEECH FOREST IN KOČEVSKI ROG. Biotehniška fakulteta, Odd. za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Ljubljana, Univerza v Ljubljani: 246 s.
- VILHAR, U., STARR, M., URBANČIČ, M., SMOLEJ, I., SIMONČIČ, P. 2005. Gap evapotranspiration and drainage fluxes in a managed and a virgin dinaric silver fir-beech forest in Slovenia: a modelling study. *European journal of Forest Research* 124. 3: s. 165-175.
- WAGGONER, P.E. 1975. Micrometeorological Models. Vegetation and Atmosphere. M. J. L., Academic press London, New Yourk, San Francisco. 1 s.
- WRB 1998. World reference base for soil resources. Rome, FAO, ISRIC, ISSS s. 79.
- ZABOWSKI, D., JAVA, B., SCHERER, G., EVERETT, R.L., OTTMAR, R. 2000. Timber harvesting residue treatment: Part 1. Responses of conifer seedlings, soils and microclimate. *Forest Ecology and Management* 126. 1: s. 25-34.
- ZUPANC, V., KAJFEŽ-BOGATAJ, L., BERGANT, K., PINTAR, M. 2002. Impacts of climate change on irrigation demand in Slovenia. Novi izzivi v poljedelstvu 2002, Zreče, 5. in 6. december 2002, Slovensko agronomsko društvo. 175-180 s.