

GDK 111:811:176.1(*Quercus pubescens* Willd.)(045)=163.6

## Vpliv vremenskih razmer na lesno-anatomske značilnosti pri puhastem hrastu s Podgorskega Krasa

*Impact of Weather Conditions on Wood-Anatomical Features in Pubescent Oak at Podgorski Kras*

Martina LAVRIČ<sup>1</sup>, Jožica GRIČAR<sup>2</sup>

### Izvleček:

Lavrič, M., Gričar, J.: Vpliv vremenskih razmer na lesno-anatomske značilnosti pri puhastem hrastu s Podgorskega Krasa; *Gozdarski vestnik*, 74/2016, št. 10. V slovenščini z izvlečkom in povzetkom v angleščini, cit. lit. 24. Prevod Breda Misja, jezikovni pregled slovenskega besedila Marjetka Šivic.

V okviru raziskave smo se osredotočili na vpliv vremenskih dejavnikov na lesno-anatomske značilnosti puhastega hrasta (*Quercus pubescens* Willd.), ki je ena od dominantnih domorodnih drevesnih vrst v slovenskem Submediteranu. V obdobju 2009–2014 smo raziskali povezave med različnimi lesno-anatomskimi parametri (končna širina branike, širina kasnega in ranega lesa ter premer, površina in število trahej ranega lesa) in vremenskimi dejavniki (padavine, temperatura in vsebnost vode v tleh). Zanimal nas je tudi potencial izbranih lesno-anatomskih parametrov ter komplementarnost oziroma enakovrednost le-teh za proučevanje podnebja na Podgorskem krasu. Preliminarni rezultati so pokazali, da so bili anatomski parametri povezani predvsem s temperaturo. Širina ranega lesa in površina trahej ranega lesa sta bili pozitivno povezani z maksimalno temperaturo, število trahej v ranem lesu in širina lesne branike pa pozitivno povezana s povprečno temperaturo v obdobju pred in na začetku kambijeve aktivnosti (januar–maj). To nakazuje, da vremenske razmere v navedenem obdobju pomembno vplivajo na hidravlične lastnosti ksilema. Pri širini kasnega lesa smo ugotovili največ povezav s temperaturo v poletnih mesecih, pri trahejah ranega lesa pa s temperaturo v obdobju januar–april. Vpliva padavin na razvoj ksilemske branike z našimi rezultati nismo potrdili. Ugotovili smo, da so širina kasnega lesa in značilnosti trahej ranega lesa primerni lesno-anatomski parametri, ki vsebujejo komplementarne informacije o vplivu vremenskih razmer na debelinsko rast puhastega hrasta. Poudariti je treba, da so bile naše analize opravljene v razmeroma kratkem časovnem obdobju in da bi bile za natančnejše rasto-podnebne zveze potrebne dodatne dolgoletne študije.

**Gljučne besede:** *Quercus pubescens*, kras, vreme, anatomija, lesna branika, rani les, kasni les, traheja

### Abstract:

Lavrič, M., Gričar, J.: Impact of Weather Conditions on Wood-Anatomical Features in Pubescent Oak at Podgorski Kras. *Gozdarski vestnik* (Professional Journal of Forestry), 74/2016, vol 10. In Slovenian, abstract and summary in English, lit. quot. 24. Proofreading of the English text Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

Our research focused on the influence of climatic factors on wood-anatomical features of pubescent oak (*Quercus pubescens* Willd.), which is one of the dominant native tree species in Slovenian sub-Mediterranean climate. In the period 2009–2014 we studied relationship between various wood-anatomical parameters (xylem ring width, early- and latewood widths, diameter, area and number of earlywood vessels) and climatic factors (precipitation, temperature and soil water content). In addition, we checked whether the studied wood-anatomical parameters contained complementarity or redundant climatic information in pubescent oak at Podgorski Kras. Preliminary results showed that studied parameters were mainly related to temperature. In period before and at the onset of cambial activity (i.e. January–May), earlywood width and earlywood vessel area were positively related to the maximum temperature, whereas number of earlywood vessels and xylem ring width were positively related to the mean temperature. This indicates that weather conditions in this period have a significant impact on hydraulic properties of xylem. For latewood width, we found significant correlation with temperature in summer months and for earlywood vessels with the temperature in period January–April. We could not confirm the impact of precipitation on xylem ring development. We concluded that latewood width and earlywood vessel characteristics are promising wood-anatomical parameters containing complementary information on the impact of weather conditions on radial growth of pubescent oak. However, it is necessary to emphasize that our analysis has been performed in a relatively short time period, therefore long-term data are needed for more reliable assessment of the applicability of the selected wood-anatomical parameters to dendroclimatological studies.

**Key words:** *Quercus pubescens*, Karst, weather, anatomy, xylem ring, earlywood, latewood, vessel

## 1 UVOD

### 1 INTRODUCTION

Napovedi podnebnih sprememb predvidevajo, da se bo pogostost izrednih vremenskih dogodkov, kot so suše, poplave, visoke temperature in zmrzali, v prihodnosti še povečala in s tem pomembno vplivala na spreminjanje gozdnih ekosistemov. To bo najverjetneje povzročilo degradacijo v pomenu rasti in razvoja dreves ter spremembo v vrstni sestavi (Eilmann in sod., 2009; Galle in sod., 2010). Drevesa, kot dolgo živeči organizmi, shranjujejo pomembne ekološke informacije v letnih prirastkih lesa in so tako pomemben vir informacij za študije vpliva globalnih vremenskih sprememb na rast dreves (Fonti in sod., 2008). Večletna in sezonska spremenljivost širine branik se pogosto uporablja kot močan in zanesljiv parameter pri tovrstnih raziskavah (Cherubini in sod., 2003; Tognetti in sod., 2007; Steppe in sod., 2015). Poleg tega so lesno-anatomske značilnosti, kot so največja gostota kasnega lesa, velikost, površina in gostota prevodnih elementov in debelina celične stene, zelo uporabne v dendroklimatoloških raziskavah, saj so lesno-anatomske značilnosti celic neposredno povezane z vremenskimi razmerami pred ali v času njihovega nastanka in diferenciacije. Zato je mogoče značilnosti lesnih celic interpretirati kot podnebne arhive z visoko časovno ločljivostjo (Eilmann in sod., 2006; Fonti in sod., 2010).

V okviru naše raziskave smo se osredotočili na vpliv vremenskih dejavnikov na lesno-anatomske značilnosti puhastega hrasta (*Quercus pubescens* Willd.), ki je ena od dominantnih domorodnih drevesnih vrst na slovenskem Podgorskem krasu (Eler, 2007). Za to območje je značilno submediteransko podnebje, kjer plitva tla, pogost veter in ostre vremenske razmere zmanjšujejo vpliv obilnih padavin. To se odraža v sušnem stresu, zlasti v drugi polovici rastne sezone (t.j. med junijem in septembrom), ko je tudi količina padavin manjša (Ferlan in sod., 2011). Puhasti hrast je listopadni listavec z venčasto poroznim lesom (Poyatos in sod., 2008), ki je za preživetje v t.i. robnih rastiščih s pogostim pomanjkanjem vode razvil različne mehanizme in prilagoditve, kot so strategija povečane fotosintetske asimilacije, globlje ukoreninjenje in vzdrževanje relativno

visoke stomatalne prevodnosti pri nizkih vodnih potencialih ter »konzervativna raba vode«. Slednja mu omogoča, da se med sušo zaradi pomanjkanja vode ne izogiba stresu, temveč se mu prilagodi s strategijo varčevanja vode, kar doseže s progresivnim zapiranje listnih rež s postopnim in obsežnim zmanjšanjem vodnega potenciala pred zoro (Damesin in Rambal, 1995; Poyatos in sod., 2008). Puhasti hrast je tako izredno ekološko pomembna drevesna vrsta, saj je eden glavnih graditeljev gozdov, ki preprečujejo degradacijo najbolj občutljivih, plitvih in sušnih kraških tal (Brus, 2004: 132). Kljub pomembnosti puhastega hrasta v submediteranu so informacije o njegovi rasti in strategijah preživetja na naših rastiščih zelo skope.

V pričujočem prispevku predstavljamo preliminarnne rezultate povezanosti anatomskih značilnosti lesa puhastega hrasta z vremenskimi dejavniki v obdobju šestih let, t.j. od 2009 do 2014, za katero imamo na voljo podrobne podatke o vremenskih razmerah na rastišču. Raziskali smo: i) povezave med različnimi lesno-anatomskimi parametri in vremenskimi dejavniki (padavine, temperatura in vsebnost vode v tleh); ii) potencial izbranih lesno-anatomskih parametrov za proučevanje podnebja ter iii) komplementarnost oziroma enakovrednost izbranih anatomskih parametrov za proučevanje podnebja na tem območju.

## 2 MATERIALI IN METODE

### 2 MATERIALS AND METHODS

#### 2.1 Območje raziskovanja

##### 2.1 Research area

Študija je potekala na Podgorskem krasu v JZ delu Slovenije, kjer prevladuje submediteransko podnebje, za katerega so značilna vroča in suha poletja. Pogoste visoke temperature in pomanjkanje padavin poleti vodijo v nastanek suše, ki je za tamkajšnjo vegetacijo omejujoč dejavnik.

<sup>1</sup> Mag. M. L., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za prirastoslovje in gojenje gozda, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija; martina.lavric@gozdis.si

<sup>2</sup> Doc. Dr. J. G., Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za prirastoslovje in gojenje gozda, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija; jozica.gricar@gozdis.si

V 30-letnem obdobju (1981–2010; vremenska postaja Ilirska Bistrica) je bila povprečna letna temperatura 10,4 °C z najvišjo povprečno dnevno temperaturo 27,2 °C v juliju in najnižjo povprečno dnevno temperaturo –3,0 °C v januarju. Povprečna količina padavin je bila 1170 mm (ARSO, 2016) in je največja jeseni in pozno pomladi. Pozimi je za to območje značilna burja s periodično snežno odejo. Za raziskovalno ploskev smo izbrali zaraščajoči travnik, ki je bil opuščen iz rabe pred približno tridesetimi leti. Ploskev pokrivajo večji in manjši otočki zelnatih rastlin ter grmovje in manjše drevje, med katerim prevladuje puhasti hrast (*Q. pubescens* Willd.) (Ferlan in sod., 2011).

## 2.2 Vremenske razmere v obdobju 2009–2014

### 2.2 Weather conditions in the period 2009–2014

Meteorološke parametre za obdobje 2009–2014 smo pridobili iz mikrometeorološkega stolpa, ki je bil leta 2008 postavljen v okviru raziskav kroženja ogljika na Podgorskem krasu (Ferlan in sod., 2011, 2016). V obdobju 2009–2014 (Slika 1) je bila povprečna temperatura zraka 12,0 °C s povprečno maksimalno mesečno temperaturo 22,9 °C in povprečno minimalno mesečno temperaturo –1,9 °C. Povprečna količina padavin je bila 1400 mm s povprečno vsebnostjo vode v tleh 240 L m<sup>-3</sup>, ki se je zmanjšala do najmanj 190 L m<sup>-3</sup>. Najhladnejše leto je bilo leto 2010 s povprečno temperaturo 10,9 °C in najnižjo temperaturo –3,1 °C. Obenem je bila v tem letu tudi največja količina padavin (2010 mm) v preiskovanem obdobju. Najmanj padavin je bilo v letu 2012 (1030 mm). Maksimalna temperatura je bila najvišja v letih 2011 in 2012 (24,6 °C), medtem ko je bila povprečna temperatura zraka najvišja v letih 2009 in 2014 (12,6 °C). Vsebnost vode v tleh se ni drastično spreminjala, največja je bila v letih 2010 in 2014 (250 L m<sup>-3</sup>) in najmanjša v letu 2009 ter 2012 (220 L m<sup>-3</sup>).

## 2.3 Izbira dreves in vzorčenje mikroizvrtkov

### 2.3 Tree selection and microcore sampling

Za spremljanje lesno-anatomske značilnosti smo izbrali dvanajst solitarnih in vitalnih osebkov

puhastega hrasta (*Quercus pubescens* Willd.), visokih 7 ± 0,5 m in starih 35 ± 5 let, na katerih smo z uporabo orodja Trephor (Rossi in sod., 2006) opravili vzorčenje mikroizvrtkov, ki je potekalo na začetku oktobra 2014. Iz vsakega drevesa (N = 12) smo odvzeli po en mikroizvrtke, ki je zajemal tkiva floema, kambija in vsaj zadnjih šest popolnoma oblikovanih branik ksilema (Slika 2). Odvzete mikroizvrtke smo že na terenu shranili v fiksacijski tekočini FAA (formalin–50 % etanol–ocetna kislina). V laboratoriju smo jih dehidrirali v etanolni vrsti (70 %, 90 %, 95 % in 100 % etanol) in infiltrirali v raztopini D-limonene. Nato smo vzorce vklopili v parafinske bloke in jih na rotacijskem mikrotomu Leica RM 2245 narezali na 10 µm debele prečne rezine. Le-te smo pobarvali v vodni mešanici barvil safranin in astra modro ter z vklopnim medijem Euparal pripravili trajne preparate za nadaljnje meritve (Gričar in sod., 2015).

## 2.4 Meritve lesno-anatomske parametров

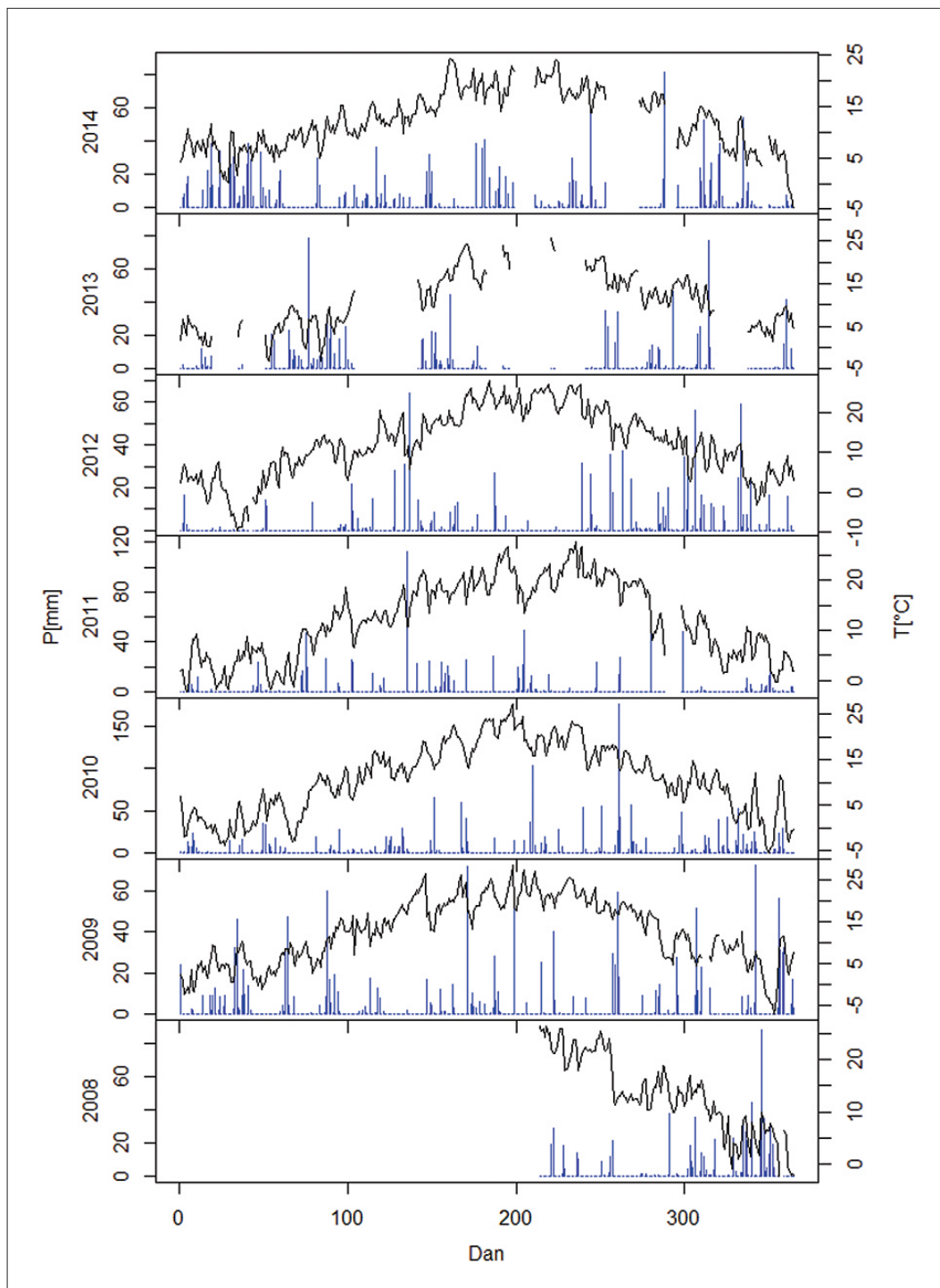
### 2.4 Measurements of wood-anatomical features

Primerjali smo anatomske značilnosti lesnih prirastkov, nastalih v zadnjih šestih letih, v obdobju med letoma 2009 in 2014, ko smo imeli na voljo podrobne meteorološke podatke za rastišče. S svetlobnim mikroskopom Olympus BX51 in programom za analizo slik NIS-Elements smo naredili histometrične analize prečnih prerezov lesnih tkiv. Za vsako leto v obdobju 2009–2014 smo določili naslednje parametre: i) širino končne branike, ii) širino ranega in kasnega lesa ter iii) premer, površino in število trahej ranega lesa. Velikosti izbranih parametrov smo izmerili na treh točkah in nato izračunali povprečje. Za analizo podatkov smo uporabili osnovno statistiko in izračune Pearsonovega korelacijskega koeficienta. Vse statistične analize so bile opravljene v programskem okolju R, verzija 3.2.3 (R Core Team 2015) in programu MS Excel.

## 3 REZULTATI Z DISKUSIJO

### 3 RESULTS WITH DISCUSSION

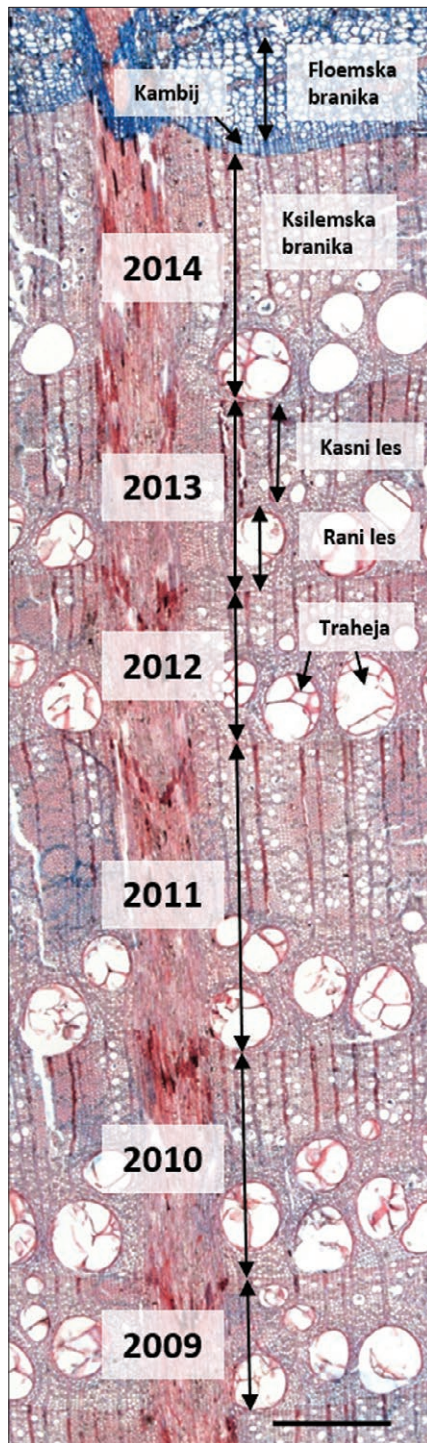
Za puhasti hrast je značilna venčasto porozna struktura lesa, ki je pomembna prilagoditev za



Slika 1: Prikaz padavin (P; modra barva) in temperature (T; črna barva) za obdobje 2008–2014. (Za leto 2008 so podatki prikazani od avgusta do decembra.)

Figure 1: Precipitation (P; blue color) and temperature (T; black color) in period 2008–2014 (For year 2008, data from August to December are shown.)





Slika 2: Prečni prerez floemske branike, kambija in šest oblikovanih branik ksilema od leta 2009 do 2014 pri puhastem hrastu (*Q. pubescens* Willd.). Merilo: 500  $\mu\text{m}$

Figure 2: Transverse section of phloem increment, cambium and six fully formed xylem increments from 2009 to 2014 at pubescent oak (*Q. pubescens* Willd.). Bar: 500  $\mu\text{m}$

preživetje na rastiščih s pogostimi poletnimi sušami (Čufar, 2006). Rani les (Slika 2) sestavljajo traheje s premeri več kot 200  $\mu\text{m}$ , ki pri puhastem hrastu na proučevanem rastišču nastanejo pred olistanjem, t.j. v aprilu in prvi polovici maja (Lavrič in sod., 2017, neobjavljeno). Ker je v tem obdobju količina padavin relativno velika (Slika 1), traheje prečrpajo velike količine vode za potrebe razvijajočih se listov in drugih tkiv v drevesu (Lavrič in sod., 2015). Konec maja se začne pri puhastem hrastu oblikovati kasni les (Slika 2) (Lavrič in sod., 2017, neobjavljeno) s trahejami, premerov okoli 50  $\mu\text{m}$  (Čufar, 2006). Le-te, skupaj s traheidami, ki jih obdajajo (Čufar, 2006), prevajajo vodo v drugi polovici rastne sezone, ko je padavin manj in je velika možnost pojava vodnega stresa (Eilmann in sod., 2009). V tem obdobju lahko nastane kavitacija, dogodek, ko v trahejo vstopi zrak in se vodni stolpec v njej pretrga. Traheja se napolni z zrakom in tako ni več sposobna prevajati vode. Kavitacija se pogosteje dogodi v trahejah z večjim premerom, ki se razvijejo v času do olistanja, kot v trahejah z manjšim premerom (Tognetti in sod., 1998). Traheje kasnega lesa z manjšimi premeri, ki se pri venčasto poroznih vrstah razvijejo poleti, tako omogočajo prevajanje vode tudi v času suše (Woodcock, 1989; Cherubini in sod., 2003).

Pri venčasto poroznih vrstah je s širino kasnega lesa pogojena tudi širina celotne ksilemske branike (npr. Fonti in García-González, 2004), kar potrjujejo tudi naši rezultati, ki kažejo, da sta širini končne branike in kasnega lesa statistično značilno povezani ( $r = 0,99$ ;  $p = 0,000$ ) (Preglednica 2). V proučevanem obdobju šestih let je povprečni lesni prirastek znašal  $1189,4 \pm 243,8 \mu\text{m}$ . Najširši je bil leta 2011, ko je meril  $1596,7 \pm 464,3 \mu\text{m}$ , pri čemer je bilo 37 % ranega lesa in 63 % kasnega. Najožji prirastek je bil leta 2009, ko je meril  $894,0 \pm 466,5 \mu\text{m}$  in je imel 54 % ranega lesa in 46 % kasnega. V povprečju je bila širina ranega lesa  $510,8 \pm 44,2 \mu\text{m}$  s povprečnim številom trahej  $7,3 \pm 2,8$ , katerih povprečni premer je bil  $211,0 \pm 10,1 \mu\text{m}$  in povprečna površina  $0,042 \pm 0,003 \text{ mm}^2$  (Preglednica 1).

Iz medletne variabilnosti merjenih lesno-anatomskih parametrov lahko sklepamo, da so širina lesne branike in značilnosti trahej v veliki meri odvisne od vremenskih razmer pred obdo-

bjem njihovega oblikovanja in v obdobju samem. Velikost trahej ranega lesa je npr. pomemben kazalnik razpoložljivosti vode v tleh v času njihove rasti (Cherubini in sod., 2003; Fonti in García-González, 2004). Rast celic je nepovraten proces, izredno občutljiv za sušo in tako zelo odvisen od sposobnosti celice, da vzpostavi in ohranja pozitiven turgor (Hölttä in sod., 2010). Z našimi analizami nismo potrdili povezave med velikostjo in številom trahej ranega lesa ter količino padavin. To bi lahko pojasnili s tem, da v času nastajanja ranega lesa padavine niso omejujoč dejavnik za debelinsko rast branike. Smo pa dokazali pozitivno povezavo med velikostjo trahej ranega lesa in maksimalno temperaturo zraka ter med številom trahej ranega lesa in povprečno temperaturo zraka v času pred začetkom kambijeve aktivnosti, t.j. od januarja do aprila (Preglednica 3). V istem obdobju je maksimalna temperatura zraka vplivala na širino ranega lesa ( $T_{\text{maks}}(\text{jan-apr})$ ;  $r = 0,91$ ;  $p = 0,011$ ). To bi lahko povezali z zgodnejšo kambijevo reaktivacijo v primeru ugodnih temperatur tal in zraka zgodaj spomladi. Sicer je za širino ranega lesa pri hrastih značilno, da je bolj ali manj konstantna in zunanji dejavniki pretirano ne vplivajo nanjo (npr. Woodcock, 1989). V neugodnih letih, kadar je npr. suša, je lesna branika ožja, vendar praviloma na račun kasnega lesa, ki lahko v ekstremnih letih celo izostane. Avtorji dodatno navajajo, da je bil poleg zmanjšanja širin branik pri puhastem hrastu v sušnih letih zmanjšan tudi povprečni premer trahej ranega lesa v primerjavi z leti, ugodnimi za rast dreves (Eilmann in sod., 2006, 2009). Podobne ugotovitve glede širine kasnega lesa kažejo tudi naši rezultati. Kasni les je bil pri vseh hrastih v vseh letih sicer prisoten, vendar je bil leta 2012 ožji za skoraj polovico kot leto poprej (Preglednica 1). Predvidevamo, da je to odraz vremenskih razmer v prejšnjem in tekočem letu (Fonti in García-González, 2004). Izpostavili bi količino padavin, ki je bila v obdobju od avgusta 2011 do avgusta 2012 najmanjša v celotnem proučevanem obdobju (2009–2014) (Slika 1) in je znašala le 375 mm, kar je za polovico manj padavin v primerjavi s preostalimi leti. Takrat je bila najmanjša tudi vsebnost vode v tleh ( $200 \text{ L m}^{-3}$ ), ki je bila v primerjavi z drugimi leti manjša za 14 %. V omenjenem obdobju je izstopala

tudi maksimalna temperatura, ki je bila najvišja (25,8 °C) oz. višja za 2,4 °C v primerjavi z drugimi leti. Izračuni korelacijskih koeficientov med širino kasnega lesa in vremenskimi mikrodejavniki (Preglednica 3) kažejo, da je širina kasnega lesa (in posledično širina branike) zelo, sicer ne statistično značilno, pozitivno povezana z vsebnostjo vode v tleh v obdobju pred začetkom kambijeve celične produkcije (SWC (jan–apr);  $r = 0,71$ ;  $p = 0,117$ ) in statistično značilno negativno povezana s povprečno temperaturo v času kambijeve aktivnosti (T maj–avg;  $r = -0,86$ ;  $p = 0,029$ ). To je v skladu s prej napisanim, da je v primerjavi z ranim lesom produkcija kasnega lesa bolj odvisna od vremenskih dejavnikov. Izračuni korelacije z vremenskimi parametri so pokazali, da je celotna lesna branika pozitivno povezana s temperaturo v obdobju pred in v začetku kambijeve aktivnosti (T jan–apr;  $r = 0,82$ ;  $p = 0,045$ ) in negativno pove-

zana s temperaturo v obdobju kambijeve celične produktivnosti (T maj–avg;  $r = -0,89$ ;  $p = 0,018$ ) preko širine kasnega lesa. Iz tega sklepamo, da so višje temperature spomladi spodbudile debelinsko rast puhastega hrasta, visoke temperature v poletnih mesecih pa zavrle. Rezultati nakazujejo, da naj bi bila tudi širina ranega lesa v veliki meri odvisna od vremenskih razmer, kar sicer ni značilno za venčasto porodne drevesne vrste. Ali je to značilnost puhastega hrasta na Podgorskem krasu, kot ena izmed prilagoditev za uspevanje na zaostrenih rastiščih, bo treba preveriti z daljšimi nizi podatkov. V nasprotju s pričakovanim nismo mogli potrditi povezave med širino branike in širino kasnega lesa ter padavinami. To bi bilo lahko povezano s tem, da  $55,8 \pm 14,9$  % lesnega prirastka nastane v obdobju maj–junij (Lavrič in sod., 2017, neobjavljeno), ko je količina padavin še relativno velika.

**Preglednica 1:** Povprečne vrednosti in standardni odklon lesno-anatomskih značilnosti za obdobje 2009–2014 (N=12)

Table 1: Average values and standard deviation of wood-anatomical features for the period 2009-2014 (N=12)

Leto	Širina branike (µm)	Širina ranega lesa (µm)	Širina kasnega lesa (µm)	Premer trahej ranega lesa (µm)	Površina trahej ranega lesa (mm <sup>2</sup> )	Število trahej ranega lesa
2009	894,0 ± 466,5	484,6 ± 161,9	409,4 ± 355,8	209,8 ± 66,2	0,040 ± 0,024	7,1 ± 2,2
2010	1159,3 ± 402,3	492,9 ± 114,7	666,3 ± 314,5	190,6 ± 73,9	0,037 ± 0,023	7,2 ± 3,2
2011	1596,7 ± 464,3	585,5 ± 146,5	1011,2 ± 381,0	208,1 ± 60,3	0,039 ± 0,019	7,8 ± 2,7
2012	1094,6 ± 415,0	539,7 ± 155,7	569,2 ± 312,4	209,2 ± 73,9	0,042 ± 0,027	7,3 ± 3,1
2013	1065,3 ± 323,9	464,1 ± 131,4	601,2 ± 220,5	198,2 ± 73,5	0,038 ± 0,024	7,2 ± 3,3
2014	1326,4 ± 424,6	498,2 ± 98,1	828,2 ± 384,6	209,2 ± 74,0	0,038 ± 0,022	7,3 ± 2,6

**Preglednica 2:** Izračuni Pearsonovih korelacijskih koeficientov med proučevanimi lesno-anatomskimi parametri (\* $p \leq 0,05$ )

Table 2: Pearson correlation coefficients between the studied wood-anatomical features (\* $p \leq 0,05$ )

	Širina branike	Širina ranega lesa	Širina kasnega lesa	Premer trahej ranega lesa	Površina trahej ranega lesa	Število trahej ranega lesa
Širina branike	1	0,74	<b>0,99*</b>	0,37	0,18	<b>0,90*</b>
Širina ranega lesa		1	0,65	0,46	0,52	<b>0,89*</b>
Širina kasnega lesa			1	0,34	0,13	<b>0,85*</b>
Premer trahej ranega lesa				1	<b>0,83*</b>	0,37
Površina trahej ranega lesa					1	0,26
Število trahej ranega lesa						1

**Preglednica 3:** Izračuni Pearsonovih korelacijskih koeficientov med proučevanimi lesno-anatomskimi parametri in vremenskimi dejavniki (T – temperatura, P – padavine, SWC – vsebnost vode v tleh, PL – mesec prejšnjega leta; \* $p \leq 0,05$ )

*Table 3: Pearson correlation coefficients between the studied wood-anatomical features and climate parameters (T – temperature, P – precipitation, SWC – soil water content, PL – month of previous year; \* $p \leq 0,05$ )*

	Širina branike	Širina ranega lesa	Širina kasnega lesa	Premer trahej ranega lesa	Površina trahej ranega lesa	Število trahej ranega lesa
T maks (PLavg-maj)	-0,52	0,08	-0,61	-0,74	0,34	-0,24
T min (PLavg-maj)	-0,01	-0,43	0,07	0,03	0,09	-0,29
T (PLavg-maj)	-0,22	-0,22	-0,21	-0,37	0,26	-0,36
P (PLavg-maj)	0,53	0,12	0,57	-0,11	-0,59	0,47
SWC min (PLavg-maj)	0,68	0,24	0,72	0,35	-0,09	0,65
SWC (PLavg-maj)	0,78	0,37	<b>0,81*</b>	0,34	-0,06	0,75
T maks (PLavg-avg)	-0,51		-0,61			
T min (PLavg-avg)	0,02		0,09			
T (PLavg-avg)	-0,49		-0,50			
P (PLavg-avg)	0,47		0,49			
SWC min (PLavg-avg)	0,58		0,61			
SWC (PLavg-avg)	0,79		<b>0,82*</b>			
T april	0,19	0,41	0,13	-0,48	0,01	0,25
T avgust	-0,09	0,51	-0,19			
T (jan-apr)	<b>0,82*</b>	0,75	0,78	0,11	0,22	<b>0,87*</b>
T (maj-avg)	<b>-0,89*</b>	-0,75	<b>-0,86*</b>			
T min (jan-apr)	-0,10	-0,51	-0,02	-0,09	0,03	-0,29
T min (jan-avg)	-0,09	-0,51	-0,02			
T maks (jan-apr)	0,54	<b>0,91*</b>	0,45	0,33	<b>0,81*</b>	0,67
T maks (maj-avg)	-0,28	0,37	-0,38			
P (jan-apr)	-0,06	-0,52	0,03	-0,27	-0,33	-0,31
P (maj-avg)	0,34	0,17	0,35			
SWC (jan-apr)	0,64	0,07	0,71	0,27	-0,43	0,51



## 4 ZAKLJUČEK

## 4 CONCLUSION

V prispevku smo prikazali preliminarne rezultate povezave izbranih lesno-anatomskih značilnosti z vremenskimi dejavniki v obdobju šestih let (2009–2014) pri puhastem hrastu, ki prevladuje na Podgorskem krasu. Proučevani parametri so bili povezani predvsem s temperaturo. Rani les in površina trahej ranega lesa sta bila povezana z maksimalno temperaturo ter število trahej ranega lesa in končna lesna branika s povprečno temperaturo v obdobju pred kambijevo aktivnostjo in v njenem začetku (januar–maj), kar nakazuje, da vremenske razmere v obdobju pomladi pomembno vplivajo na hidravlične lastnosti ksilema, ki so pogojene z razvojem ranega lesa (Baas in Wheeler, 2011). Na razvoj ksilemske branike pomembno vplivajo tudi padavine, predvsem delež padavin v začetku pomladi (Fonti in García-González, 2008), česar z našimi rezultati nismo potrdili. Za anatomske parameter, ki bi bil primeren za dolgoročno proučevanje podnebja na tem območju, predlagamo širino kasnega lesa in značilnosti trahej ranega lesa, ki vsebujejo komplementarne informacije o vplivu vremenskih razmer na debelinsko rast puhastega hrasta. Pri kasnem lesu smo ugotovili največ povezav s temperaturo v poletnih mesecih, pri trahejah ranega lesa pa s temperaturo v obdobju januar–april. Vendar pa je treba poudariti, da so bile naše analize opravljene v razmeroma kratkem časovnem obdobju in bi bile za natančnejšo določitev uporabnosti izbranih lesno-anatomskih parametrov za dendroklimatološke raziskave potrebne dodatne dolgoletne študije.

Ker v slovenskem Submediteranu primanjkuje informacij o vplivu okoljskih dejavnikov na rast in razvoj puhastega hrasta, je potrebno večletno spremljanje njegovega odziva na vremenske razmere, s katerimi bomo pridobili natančnejše povezave, zlasti s temperaturo in padavinami. Pridobljeni rezultati bodo pripomogli k večjemu razumevanju dinamike rasti puhastega hrasta v povezavi z različnimi okoljskimi razmerami, saj so informacije o strategijah prilagajanja dreves ter njihovem preživetju na robnih območjih ključne za naše razumevanje njihovega delovanja ter nepogrešljive pri gospodarjenju z gozdovi v prihodnosti (Tognetti in sod., 2007).

## 5 POVZETEK

V okviru raziskave smo se osredotočili na vpliv vremenskih dejavnikov na lesno-anatomske značilnosti puhastega hrasta (*Quercus pubescens* Willd.), ki je ena od dominantnih domorodnih drevesnih vrst v slovenskem Submediteranu na JZ delu države (Eler, 2007). Na območju krasa je puhasti hrast izredno ekološko pomembna drevesna vrsta, saj je eden glavnih graditeljev gozdov, ki preprečujejo degradacijo najbolj občutljivih, plitvih in sušnih kraških tal (Brus, 2004: 132). Kljub pomembnosti puhastega hrasta v submediteranu so informacije o njegovi rasti in strategijah preživetja na naših rastiščih zelo skope.

V obdobju 2009–2014 smo raziskali povezave med različnimi lesno-anatomskimi parametri (končna širina branike, širina kasnega in ranega lesa ter premer, površina in število trahej ranega lesa) in vremenskimi dejavniki (padavine, temperatura in vsebnost vode v tleh). Zanimal nas je tudi potencial izbranih lesno-anatomskih parametrov ter komplementarnost oziroma enakovrednost le-teh za proučevanje podnebja na Podgorskem krasu.

Preliminarni rezultati so pokazali, da so bili anatomske parameter povezani predvsem s temperaturo. Širina ranega lesa in površina trahej ranega lesa sta bili pozitivno povezani z maksimalno temperaturo, število trahej v ranem lesu in širina lesne branike pa pozitivno povezana s povprečno temperaturo v obdobju pred in na začetku kambijeve aktivnosti (januar–maj). To nakazuje, da vremenske razmere v navedenem obdobju pomembno vplivajo na hidravlične lastnosti ksilema. Pri širini kasnega lesa smo ugotovili največ povezav s temperaturo v poletnih mesecih, pri trahejah ranega lesa pa s temperaturo v obdobju januar–april. Vpliva padavin na razvoj ksilemske branike z našimi rezultati nismo potrdili. Ugotovili smo, da so širina kasnega lesa in značilnosti trahej ranega lesa primerni lesno-anatomske parameter, ki vsebujejo komplementarne informacije o vplivu vremenskih razmer na debelinsko rast puhastega hrasta. Treba je poudariti, da so bile naše analize opravljene v razmeroma kratkem časovnem obdobju in da bi bile za natančnejše rastno-podnebne zveze potrebne dodatne dolgoletne študije.

Ker v slovenskem Submediteranu primanjkuje informacij o vplivu okoljskih dejavnikov na rast in razvoj puhastega hrasta, je potrebno večletno spremljanje njegovega odziva na vremenske razmere, s katerimi bomo pridobili natančnejše povezave, zlasti s temperaturo in padavinami. Pridobljeni rezultati bodo pripomogli k večjemu razumevanju dinamike rasti puhastega hrasta v povezavi z različnimi okoljskimi razmerami, saj so informacije o strategijah prilagajanja dreves ter njihovem preživetju na robnih območjih ključne za naše razumevanje njihovega delovanja ter nepogrešljive pri gospodarjenju z gozdovi v prihodnosti (Tognetti in sod., 2007).

## 5 SUMMARY

Our research focused on the influence of climatic factors on wood-anatomical features of pubescent oak (*Quercus pubescens* Willd.), which is one of the dominant native tree species in Slovenian sub-Mediterranean climate located in SW part of the country (Eler, 2007). In Karst area pubescent oak is extremely ecologically important tree species as it is dominant species in forests that prevent degradation of the most sensitive, shallow and arid Karst soil (Brus, 2004: 132). Despite its importance in Slovenian sub-Mediterranean area, information on its growth and survival strategies is very limited.

In the period 2009–2014 we studied relationship between various wood-anatomical parameters (xylem ring width, early- and latewood widths, diameter, area and number of earlywood vessels) and climatic factors (precipitation, temperature and soil water content). In addition, we checked whether the studied wood-anatomical parameters contain complementarity or redundant climatic information in pubescent oak at Podgorski Kras.

Preliminary results showed that studied parameters were mainly related to temperature. In period before and at the onset of cambial activity (i.e. January–May), earlywood width and earlywood vessel area were positively related with maximum temperature, whereas number of earlywood vessels and xylem ring width were positively related to the mean temperature. This indicates that weather conditions in this period have a significant impact on hydraulic properties

of xylem. We could not confirm the impact of precipitation on xylem ring development. For latewood width, we found significant correlation with temperature in summer months and for earlywood vessels with the temperature in the January–April period. We concluded that latewood width and earlywood vessel characteristics are promising wood-anatomical parameters containing complementary information on the impact of weather conditions on the radial growth of pubescent oak. However, it is necessary to emphasize that our analysis has been performed in a relatively short time-period, therefore long-term data are needed for more reliable assessment of the applicability of the selected wood-anatomical parameters to dendroclimatological studies.

Since the information on the impact of environmental factors on growth and development of pubescent oak in Slovenian Karst is scarce, it is necessary to monitor its multi-annual response on local weather conditions. This will enable us to obtain more reliable relationship to climatic conditions, particularly to temperature and precipitation. Obtained results will contribute to a greater understanding of pubescent oak growth dynamics in relation to various environmental factors; particularly the information about tree adaptation strategies and survival in marginal areas is crucial for our understanding of tree functioning and is indispensable and necessary for future forest management (Tognetti et al., 2007).

## 6 ZAHVALA

## 6 ACKNOWLEDGEMENT

Pripravo prispevka so omogočili Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije, program mladih raziskovalcev (Martina Lavrič), raziskovalni program P4-0107 in temeljni raziskovalni projekt J4-7203. Dr. Mitji Ferlanu se zahvaljujemo za meteorološke podatke.

## 7 LITERATURA

## 7 REFERENCES

- ARSO; Agencija Republike Slovenije za okolje. 2016. <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/> (28. 10. 2016).  
 Baas, P., Wheeler, E. A. 2011. Chapter 6: Wood anatomy and climate change. In: Climate change, ecology and

- systematics. Hodkinson T. R., Jones M. B., Waldren S., Parnell J. A. N. (ed.). United Kingdom, Cambridge University Press: 141–155.
- Brus, R. 2004. Drevesne vrste na Slovenskem. Ljubljana, Založba Mladinska knjiga: 399 str.
- Cherubini, P., Gartner, B. L., Tognetti, R., Bräker, O. U., Schoch, W., Innes, J. L. 2003. Identification, measurement and interpretation of tree rings in woody species from Mediterranean climates. *Biological Reviews*, 78: 119–148.
- Čufar, K. 2006. Anatomija lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 185 str.
- Damesin, C., Rambal, S. 1995. Field study of leaf photosynthetic performance by a Mediterranean deciduous oak tree (*Quercus pubescens*) during a severe summer drought. *New Phytologist*, 131: 159–167.
- Eilmann, B., Weber, P., Rigling, A., Eckstein, D. 2006. Growth reactions of *Pinus sylvestris* L. and *Quercus pubescens* Willd. to drought years at a xeric site in Valais, Switzerland. *Dendrochronologia*, 23: 121–132.
- Eilmann, B., Zweifel, R., Buchmann, N., Fonti, P., Rigling, A. 2009. Drought-induced adaptation of the xylem in Scots pine and pubescent oak. *Tree Physiology*, 29: 1011–1020.
- Eler, K. 2007. Dinamika vegetacije travnišč v slovenskem Submediteranu: vzorci in procesi ob spremembah rabe tal: doktorska disertacija = Vegetation dynamics in the submediterranean region of Slovenia: patterns and processes following land use change: doctoral dissertation. Department of Agronomy, Biotechnical Faculty, University of Ljubljana, Slovenia: 169 pp.
- Ferlan, M., Alberti, G., Eler, K., Batič, F., Peressotti, A., Miglietta, F., Zaldei, A., Simončič, P., Vodnik, D. 2011. Comparing carbon fluxes between different stages of secondary succession of a karst grassland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140: 199–207.
- Ferlan, M., Eler, K., Simončič, P., Batič, F., Vodnik, D. 2016. Carbon and water flux patterns of a drought-prone mid-succession ecosystem developed on abandoned karst grassland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 220: 152–163.
- Fonti, P., García-González, I. 2004. Suitability of chestnut earlywood vessel chronologies for ecological studies. *New Phytologist*, 163: 77–86.
- Fonti, P., García-González, I. 2008. Earlywood vessel size of oak as a potential proxy for spring precipitation in mesic sites. *Journal of Biogeography*, 35: 2249–2257.
- Fonti, P., von Arx G., García-González, I., Eilmann, B., Sass-Klaassen, U., Gärtner, H., Eckstein, D. 2010. Studying global change through investigation of the plastic responses of xylem anatomy in tree rings. *New Phytologist*, 185: 42–53.
- Galle, A., Esper, J., Feller, U., Ribas-Carbo, M., Fonti, P. 2010. Responses of wood anatomy and carbon isotope composition of *Quercus pubescens* saplings subjected to two consecutive years of summer drought. *Annals of Forest Science*, 67: 809.
- Gričar, J., Prisljan, P., de Luis, M., Gryc, V., Hacurová, J., Vavrčík, H., Čufar, K. 2015. Plasticity in variation of xylem and phloem cell characteristics of Norway spruce under different local conditions. *Frontiers in Plant Science*, 6: 730.
- Hölttä, T., Mäkinen, H., Nöjd, P., Mäkelä, A., Nikinmaa, E. 2010. A physiological model of softwood cambial growth. *Tree Physiology*, 30: 1235–1252.
- Lavrič, M., Eler, K., Ferlan, M., Vodnik, D., Gričar, J. 2015. Xylem sap flow and radial growth in *Quercus pubescens* Willd. from abandoned grasslands in Slovenian Karst region. V: EUFORIA: European forest research and innovation area: programme and book of abstracts, The Final EUFORINNO Conference, 31st August – 4th September 2015, Rogla, Slovenia, (EUFORINNO - European Forest Research and Innovation). Kraigher H. (ur.). Ljubljana: Slovenian Forestry Institute, Silva Slovenica Publishing Centre: 66–67 p. <http://eprints.gozdis.si/id/eprint/1440>.
- Lavrič, M., Eler, K., Ferlan, M., Vodnik, D., Gričar, J. 2017. Chronological sequence of leaf phenology, xylem and phloem formation and sap flow of *Quercus pubescens* from abandoned karst grasslands (v recenziji).
- Poyatos, R., Llorens, P., Piñol, J., Rubio, C. 2008. Response of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and pubescent oak (*Quercus pubescens* Willd.) to soil and atmospheric water deficits under Mediterranean mountain climate. *Annals of Forest Science*, 65: 306.
- Rossi, S., Anfodillo, T., Menardi, R. 2006. Trephor: a new tool for sampling microcores from tree stems. *IAWA Journal*, 27: 89–97.
- Steppe, K., Sterck, F., Deslauriers, A. 2015. Diel growth dynamics in tree stems: linking anatomy and ecophysiology. *Trends in Plant Science*, 20, 6: 335–343.
- Tognetti, R., Longobucco, A., Raschi, A. 1998. Vulnerability of xylem to embolism in relation to plant hydraulic resistance in *Quercus pubescens* and *Quercus ilex* cooccurring in a Mediterranean coppice stand in central Italy. *New Phytologist*, 139: 437–447.
- Tognetti, R., Cherubini, P., Marchi, S., Raschi, A. 2007. Leaf traits and tree rings suggest different water-use and carbon assimilation strategies by two co-occurring *Quercus* species in a Mediterranean mixed-forest stand in Tuscany, Italy. *Tree Physiology*, 27: 1741–1751.
- Woodcock, D. W. 1989. Climate sensitivity of wood-anatomical features in a ring-porous oak (*Quercus macrocarpa*). *Canadian Journal of Forest Research*, 19: 639–644.