

ODVISNOST VELIKOSTI PREVODNIH ELEMENTOV DOBA (*Quercus robur* L.) OD TEMPERATUR NA DVEH RASTIŠČIH *QUERCO-CARPINETUM* V SLOVENIJI PEDUNCULATE OAK'S (*Quercus robur* L.) CONDUCTIVE ELEMENTS SIZE DEPENDENCE ON TEMPERATURE AT TWO *QUERCO-CARPINETUM* SITES IN SLOVENIA

Jernej JEVŠENAK¹, Tom LEVANIČ²

(1) Dobrava 13a, SI-3214 Zreče, jernej.jevsenak@gmail.com

(2) Gozdarski Inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, tom.levanic@gozdis.si

ABSTRACT

Namen študije je analizirati odnos med povprečnimi mesečnimi temperaturami in dimenzijami trahej dveh zdravih in ene propadajoče skupine dobov z dveh rastišč *Quercus-Carpinetum* v Sloveniji. Kronologije povprečnih površin trahej in vsot površin trahej smo izdelali po predhodni skrbni pripravi površin vzorcev in analizi slik z makrom EWVA v programu ImageJ. Skupina propadajočih dreves s Cigonca je imela največje povprečne površine trahej in največjo površino prevodnega tkiva, kar povežemo s propadanjem te skupine. Analiza časovne stabilnosti korelacijskih koeficientov je za propadajoča drevesa pojasnila negativne korelacijske koeficiente, ki niso bili stabilni v času. Vse skupine so se najbolj značilno odzivale na povprečne aprilske temperature. Pri vseh skupinah je bil klimatski signal najmočnejši v parametru povprečna površina trahej. Pri zdravih drevesih iz Mlač v primeru nadaljevanja trenda dvigovanja povprečnih temperatur pričakujemo večje povprečne površine trahej v prihodnjih desetletjih, ki so bolj izpostavljene problemu kavitacije. Padec podtalnice leta 1982 na Cigonci se časovno ujema s pričetkom padanja klimatskega signala v trahejah ranega lesa.

Ključne besede: dendroekologija, propadanje hrastov, lesna anatomija, okoljski signal, *Quercus robur*, traheje ranega lesa, *Quercus-Carpinetum*

IZVLEČEK

The aim of our study is to fully investigate the relationship between mean monthly temperatures and vessel features. Two vital and one declining groups of pedunculate oak from two *Quercus-Carpinetum* sites in Slovenia are analyzed. Chronologies of mean vessel area and sum of vessel area were developed after previous high quality surface preparation and image analysis with macro EWVA in the ImageJ program. Declining group from Cigonca had the biggest average vessel and the largest amount of conductive tissue, which was linked to the dieback of this group. The analysis of temporal stability of correlation coefficients for declining group explained negative correlations, which were not stable in time. All groups were most responsive to the April temperatures. For all groups, climate signal was the strongest in the mean vessel area parameter. For vital group from Mlač we can expect, in the event of continuous rising of mean temperatures, bigger mean vessels that are more likely to be affected by cavitation. Lower ground water table in 1982 at Cigonca coincides with the reduced climate signal in the vessels.

Key words: dendroecology, oak decline, wood-anatomy, environmental signal, *Quercus robur*, earlywood vessels, *Quercus-Carpinetum*

GDK 561.24:812.1:176.1*Quercus robur* L.(497.4)(045)=163.6

Prispelo / Received: 28. 10. 2015

Sprejeto / Accepted: 09. 12. 2015

1 INTRODUCTION

1 UVOD

Dob je zelo pomembna drevesna vrsta zaradi svojih ekoloških, ekonomskih in socialnih vlog. V 20. stoletju so poročali o nazadovanju vitalnosti te vrste (glej Čater in Batič, 1999). Različne študije so propadanje povežale s klimatskimi dejavniki (Hartmann in sod., 1989; Pryzbylova, 1989; Rösel in Reuther, 1995), onesnaženim zrakom (Šolar, 1977), pritiski z bližnjih kmetijskih zemljišč (Rösel in Reuther, 1995; Čater in Batič, 1999), napadi gliv (Hartmann in sod., 1989; Pryzbylova, 1989;

Blaschake, 1994) in zmanjšanim nivojem podtalnice (Čater in Batič, 1999; Levanič in sod., 2011).

Preučevanje debelinskega priraščanja v odvisnosti od podnebnih spremenljivk je v zadnjih desetletjih dobilo dodatno težo. Zaradi naraščajočih povprečnih temperatur in spremenjenega vodnega režima se postavlja vprašanje, kako bodo drevesa reagirala na spremenjene razmere v okolju. Površine prečnega prereza trahej ranega lesa so pogosto pozitivno korelirane s povprečnimi spomladanskimi temperaturami (Matisons in Dauškane, 2009; Fonti in García-González,

2008; García-González in Fonti, 2008). Večji prevodni elementi so bolj izpostavljeni disfunkciji (Hacke in Sperry, 2001), zato se zastavlja vprašanje, ali lahko v prihodnjih desetletjih pričakujemo nov val propadanja veččastopornih listavcev.

V tem prispevku želimo: 1) primerjati kronologije *povprečne površine trahej* in *vsote površin trahej* med dvema zdravima in eno propadajočo skupino, 2) pojasniti odnos med povprečnimi temperaturami in značilnostmi trahej za omenjene skupine in 3) preveriti, ali se je vpliv temperatur spreminjal skozi različna obdobja, in poiskati možne razlage.

2 METODE DELA

2 METHODS

2.1 Raziskovalni objekti

2.1 Study objects

V raziskovalnem objektu Mlače smo vzorčili šest zdravih dreves. Raziskovalni objekt leži v GGO Celje, GGE Slovenske Konjice, v odseku 39403F. Gozdna združba je *Quercus-Carpinetum luzuletosum*. Sestoj se razteza na rahlo valovitem terenu na nadmorski višini 300 m. Tla so evtrična rjava na apnencu. V odseku prevladujejo hrasti (40 %), beli gaber (23 %), navadna smreka (15 %), bukev (12 %), divja češnja (4 %), robinija (4 %), divji kostanj (1 %) in črna jelša (1 %) (povzeto po Gozdnogospodarskem načrtu gozdnogospodarske enote Slovenske Konjice (2005–2014)).

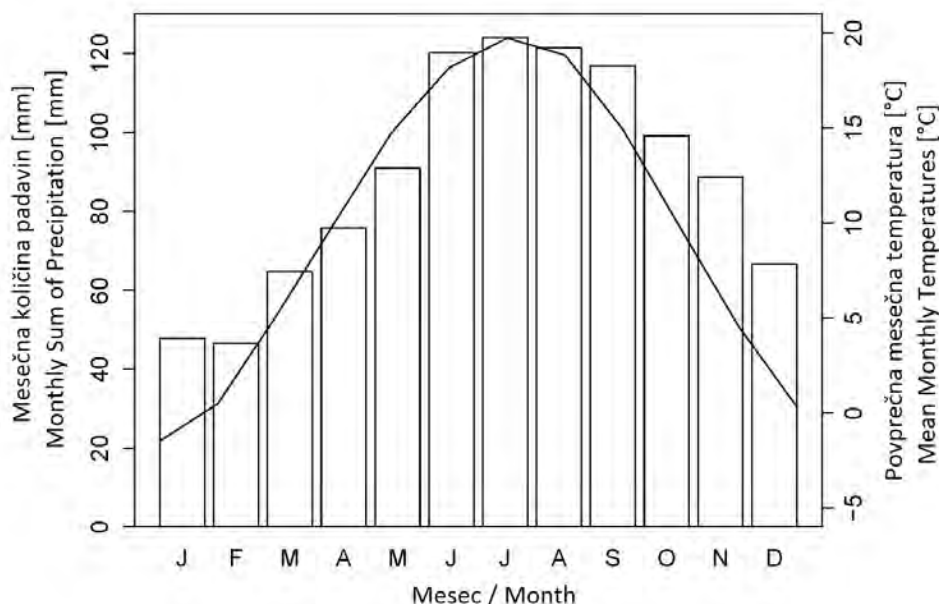
V raziskovalnem objektu Cigonca smo vzorčili pet zdravih in pet propadajočih dreves. Raziskovalni

objekt Cigonca leži v GGO Maribor, GGE Slovenska Bistrica, odsek 22042C. Gozdna združba je *Quercus robur-Carpinetum*. Sestoj se razteza v ravnini na nadmorski višini okoli 265 m. Tla so globoka, močno glinasta in amfiklejna na pleistocenskih glinah in ilovicah. V odseku prevladuje dob (70 %), sledijo navadna smreka (12 %), beli gaber (9 %), rdeči bor (6 %) in črna jelša (2 %) (povzeto po Gozdnogospodarskem načrtu gozdnogospodarske enote Slovenska Bistrica (1995–2004)). V času vzorčenja poleti leta 2004 je bilo 35 % dreves v fazi propadanja. Po podatkih zaposlenih na KE Slovenska Bistrica so leta 1982 na okoliških kmetijskih površinah uredili sistem odvodnjavanja, posledica česar je bil upad nivoja podtalnice (Levanič in sod., 2011).

2.2 Klimatski podatki

2.2 Climate data

Podatke o klimi smo prejeli od Agencije Republike Slovenije za okolje (Arhiv, 2013). Najbližja meteorološka postaja z dolgim časovnim nizom je Starše pri Mariboru, njeni podatki pa segajo od leta 2012 vse do leta 1961. Temperaturni niz za Starše smo s temperaturnimi podatki za Ljubljano, ki segajo do leta 1900, podaljšali z uporabo linearne prostorske interpolacije. V naših nadaljnjih analizah smo tako uporabili prostorsko interpolirane podatke za Maribor (klimatološka postaja Starše) od leta 1900 do 2012. Povprečna temperatura rastnega obdobja od aprila do septembra je 15,9 °C. Letna količina padavin znaša v povprečju 1062 mm dežja (slika 1).



Slika 1: Klimadiagram območja raziskovalnih objektov. Temperature (polna črta) so prostorsko interpolirani. Padavine (stolpci) so podatki za klimatološko postajo Slovenske Konjice.

Fig. 1: Climograph from the area of study objects. Temperatures (line) are spatially interpolated data. Precipitations (bars) are data from Slovenske Konjice climatological station.

2.3 Metode vzorčenja

2.3 Sampling methods

V analizo smo zajeli dve vitalni in eno propadajočo skupino dobov z dveh rastišč. Iz raziskovalnega objekta Mlačé smo uporabili 6 zdravih odraslih dreves s širokimi krošnjami in brez poškodb. Pri vsakem drevesu smo s Presslerjevim svedrom na prsni višini odvzeli po en izvrtke premera 12 mm. Vzorčenje v Mlačéh je potekalo oktobra 2012. Vzorčenje na Cigonci je potekalo leta 2004, določili smo 5 zdravih in 5 propadajočih dreves. Slednja so bila v času vzorčenja tik pred dokončnim odmrtnjem. Pri vsakem izbranem drevesu smo odvzeli po en kolut na višini 4,5 do 5,5 m. Oba sestoja sta odrasla z enodobno zgradbo in starostjo 140-150 let.

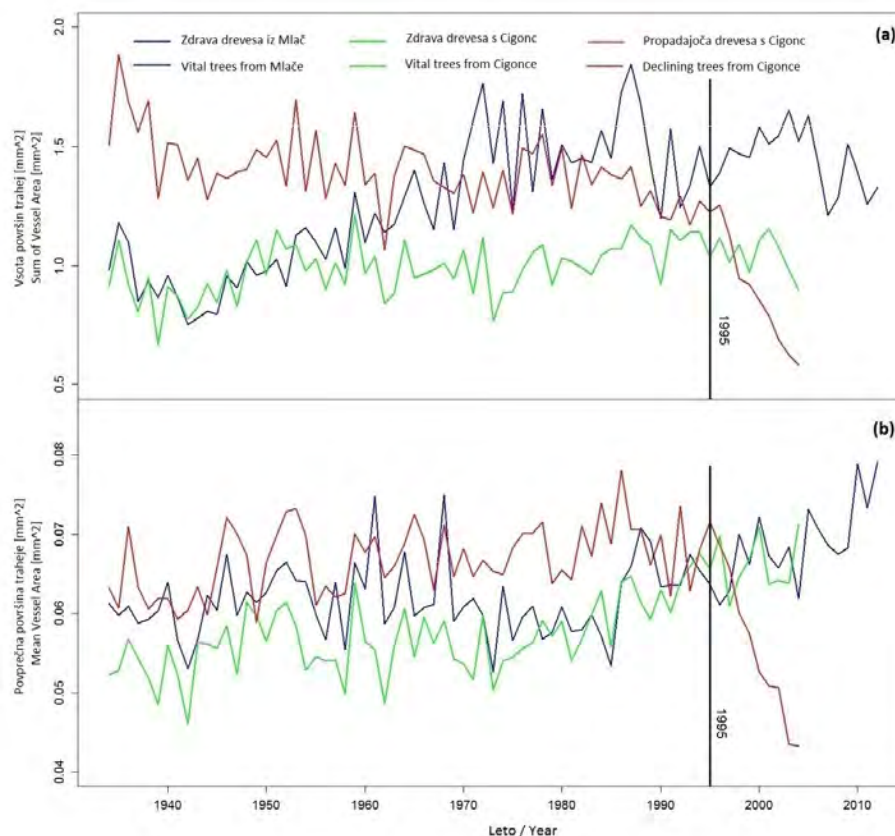
2.4 Lesno-anatomska analiza

2.4 Wood-anatomical analysis

Izvrtki skupine zdravi iz Mlačé ter propadajoči s Cigonce so bili obdelani s posebnim diamantnim rezilom (glej Spiecker in sod., 2000) na Albert-Ludwigovi univerzi v Freiburgu, katedra za rast gozdov. Zdravo skupino iz Cigonce smo naknadno pripravili z brušenjem od grobe (80) do super fine (800) granulacije. Vsi

prevodni elementi so bili za boljši kontrast zapolnjeni s kredó. Zajeli smo visokoločljive slike in jih analizirali s programom ImageJ (Schneider in sod., 2012). Uporabili smo namensko napisani makro EWVA, ki je predstavljen v članku Jevšenak in Levanič (2014). Vzorce skupine zdravi iz Mlačé smo izmerili od leta 1934 do 2012, vzorce s Cigonce pa od leta 1934 do 2004. Juvenilna faza rasti ni bila zajeta v analizo. Meritve smo obdelali v programu R (R Core Team, 2015). Najmanjša površina traheje, ki je še zajeta v analizo, je bila 0,01 mm². Za vsako drevo in braniko smo izračunali parametra *povprečna površina trahej* in *vsota površin trahej*.

Izračunana parametra smo uporabili za morfolóško primerjavo značilnosti trahej med skupinami dobov. Preverili smo odvisnost parametrov *vsota površin trahej* in *povprečna površina trahej* od povprečnih mesečnih temperatur. Odvisnosti od padavin nismo preverili, saj so lesno-anatomski parametri v predhodni študiji (Jevšenak, 2014) pokazali le manjšo odvisnost od padavin. Za izbrane mesece smo preverili časovno stabilnost korelacijskih koeficientov. Uporabili smo drsečo korelacijo s širino časovnega okna 30 let.



Slika 2: Primerjava kronologij med skupinami s Cigonce in iz Mlačé v parametru vsota površin trahej (a) ter povprečna površina trahej (b) za obdobje 1934–2004 (2012).

Fig. 2: Comparison of chronologies between the Cigonca and Mlačé groups in the parameters sum of vessel area (a) and mean vessel area (b) for the 1934–2004 (2012) period.

3 REZULTATI

3 RESULTS

3.1 Kronologije lesno-anatomskih parametrov

3.1 Chronologies of wood-anatomical parameters

Z analizo kronologij lesno-anatomskih parametrov smo preverili, kakšne so razlike v morfoloških značilnostih trahej med skupinama zdravi in propadajoči s Cigonca ter skupino zdravi iz Mlač. Primerjava med skupinami v parametru *vsota površin trahej* je pokazala podobne vrednosti za obe zdravi skupini v letih od 1934 do 1960, nato so zdravi iz Mlač imeli večje površine prevodnega tkiva v celotnem preostalem analiziranem obdobju (slika 2a). Skupina propadajoči s Cigonca je v obdobju do leta 1960 imela večje vrednosti parametra *vsota površin trahej* kot preostali dve skupini, nato je do leta 1996 izkazovala podobne vrednosti kot skupina zdravi iz Mlač, na kar sledi strm padec vrednosti (slika 2a).

Obe skupini zdravih dreves sta pokazali podoben potek krivulj parametra *povprečna površina trahej*. Krivulja propadajočih dreves je celotno analizirano obdobje nad krivuljama obeh zdravih skupin, strm padec vrednosti se je zgodil leta 1995, nato sledi zadnja faza propadanja (slika 2b).

3.2 Odvisnost velikosti lesno-anatomskih parametrov od povprečnih mesečnih temperatur

3.2 Dependence of wood-anatomical parameters size on mean monthly temperatures

Preverili smo odvisnost parametrov *vsota površin trahej* in *povprečna površina trahej* od povprečnih me-

sečnih temperatur. Vse tri skupine so pokazale visoko stopnjo odvisnosti od temperatur. Najpomembnejše so temperature ob koncu predhodne rastne sezone in temperature v času nastanka trahej v spomladanskih mesecih (preglednica 1). Skupini s Cigonca sta pokazali kontrastno sliko vpliva temperatur na značilnosti prevodnih elementov. Skupina zdravih s Cigonca ima vse značilne korelacijske koeficiente pozitivne. Obratno, propadajoča drevesa s Cigonca imajo vse značilne koeficiente negativne. Temperatura na povprečno in skupno površino trahej ni vedno vplivala negativno, kar dobro pojasnita sliki 3a in 3b. Negativni korelacijski koeficienti pri skupini propadajoči se niso pojavljali ves čas, ampak šele v drugi polovici analiziranega obdobja. Skupina zdravih iz Mlač se prav tako pozitivno odziva na nadpovprečne temperature v avgustu ob koncu predhodne rastne sezone ter v aprilu tekočega leta.

3.3 Časovna stabilnost korelacijskih koeficientov

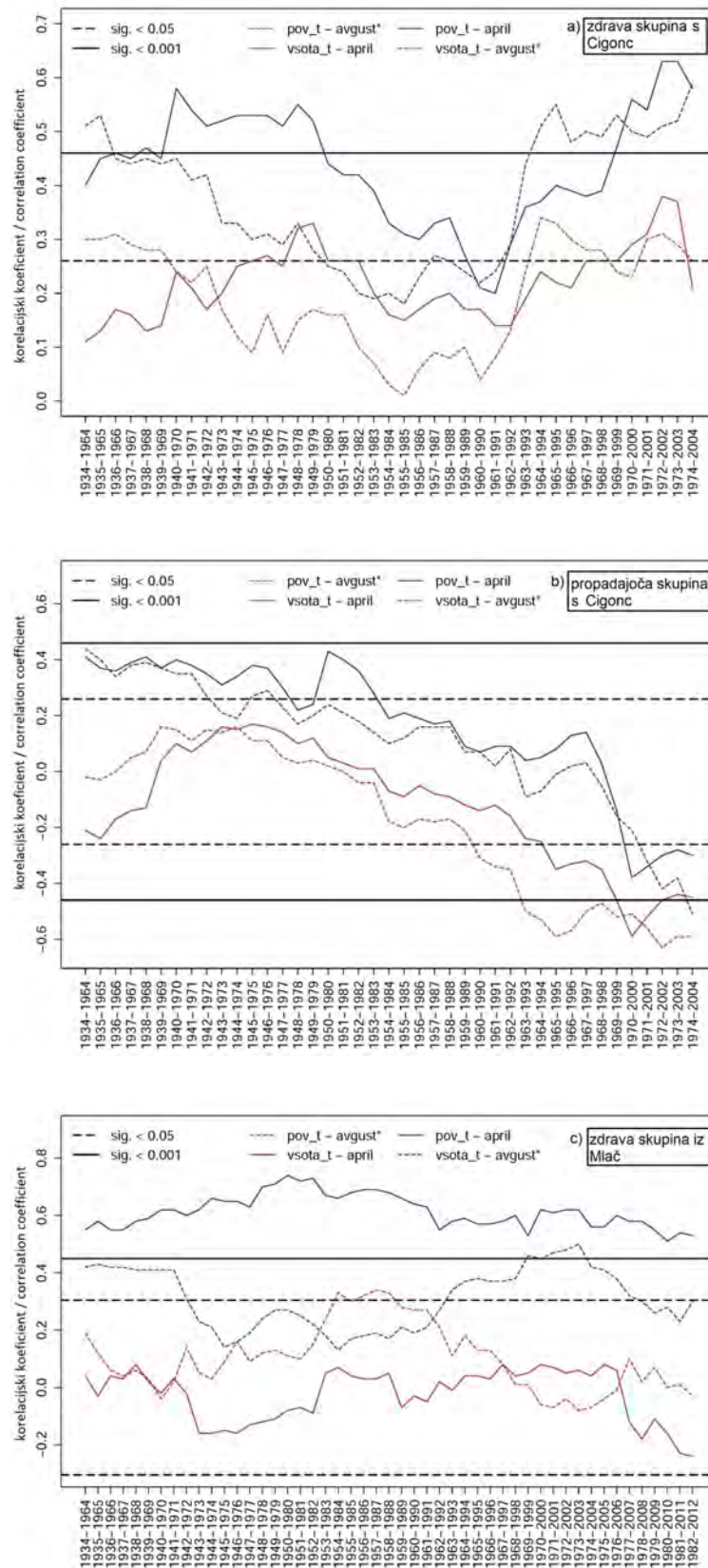
3.3 Temporal stability of correlation coefficients

Dodaten vpogled v odvisnost med temperaturami in značilnostmi prevodnih elementov dobimo, če preverimo stabilnost korelacijskih koeficientov v času. Podrobneje smo preverili odvisnost parametrov *povprečna površina trahej* in *vsota površin trahej* od avgustovskih temperatur ob koncu prejšnje rastne sezone in od aprilskih temperatur tekočega leta. Čeprav propadajoči v preglednici 1 kažejo večjo odvisnost od temperatur v maju, je časovna stabilnost korelacijskih koeficientov pokazala, da je april pomembnejši.

Preglednica 1: Korelacijski koeficienti skupin zdravi s Cigonca, zdravi iz Mlač ter poškodovani s Cigonca med povprečnimi mesečnimi temperaturami ter izmerjenimi parametri lesne anatomije: vsota površin trahej (*vsota_t*) in povprečna površina trahej (*pov_t*). Prikazani so koeficienti, pri katerih je $p \leq 0.05$; koeficienti, označeni krepko: $p \leq 0.001$. Z zvezdico (*) so označeni meseci v predhodni rastni sezoni.

Table 1: Correlation coefficients of vital group from Cigonca, vital group from Mlače and declining group from Cigonca for mean monthly temperatures and mean vessel area (*pov_t*) and sum of vessel area (*vsota_t*). The shown correlation coefficients have $p \leq 0.05$; bold coefficients have $p \leq 0.001$. The months of previous growing season are marked with (*).

	Cigonca_zdravi / Cigonca vital		Cigonca_propadajoči / Cigonca declining		Mlače_zdravi / Mlače vital	
	pov_t	vsota_t	pov_t	vsota_t	pov_t	vsota_t
jul*	0,56	0,32		-0,27	0,47	0,27
avg*	0,62	0,29	-0,29	-0,57	0,47	0,33
sep*					0,37	
okt*		0,28		-0,24	0,27	0,22
nov*					0,26	
dec*	0,25				0,22	
jan	0,32	0,26		-0,21	0,22	0,27
feb					0,23	
mar	0,29				0,36	
apr	0,38			-0,24	0,60	
maj	0,32			-0,48	0,29	



Slika 3: Časovna stabilnost korelacijskih koeficientov za parametra povprečna površina trahej (pov_t) in vsota površin trahej (vsota_t) s povprečnimi temperaturami v avgustu ob koncu predhodne rastne sezone in v aprilu za zdravo skupino s Cigonce (a), propadajočo skupino s Cigonce (b) in zdravo skupino iz Mlač (c)

Fig. 3: Temporal stability of correlation coefficients for the parameters mean vessel area (pov_t) and sum of vessel area (vsota_t) with mean temperatures in August at the end of previous growing season and in April for vital group from Cigonce (a), declining group from Cigonce (b) and vital group from Mlač (c).

Skupina propadajočih dreves s Cigonce je pokazala manjšo odvisnost od temperatur kot zdrava skupina z istega rastišča (sliki 3a in 3b). Krivulje pri propadajoči skupini nakazujejo postopno spreminjanje odvisnosti prevodnih elementov od temperatur, ki prehaja od pozitivne do vse bolj negativne odvisnosti. Najbolj stabilno odvisnost je pokazal parameter *povprečna površina trahej*, ki bolje korelira z aprilskimi temperaturami. Temperature v času nastanka trahej (aprila) so pomembnejše od temperatur ob koncu predhodne rastne sezone (avgusta). Skupina zdravih dreves s Cigonce je pokazala drugačno sliko od propadajočih dreves iz istega sestoja. Tudi zdrava skupina s Cigonce je po letu 1980 pričela nakazovati manjšo odvisnost od aprilskih temperatur ter temperatur ob koncu prejšnje rastne sezone, vendar se je ta trend obrnil po letu 1990. Večino analiziranega obdobja so najvišji korelacijski koeficienti med *povprečno površino trahej* ter aprilskimi temperaturami.

Pri zdravi skupini iz Mlač so na *povprečno površino trahej* skozi celotno analizirano obdobje najbolj vplivale aprilске temperature (slika 3c). Odvisnost je stabilna skozi celotno analizirano obdobje. Krivulja, ki nakazuje odvisnost med avgustovskimi temperaturami ob koncu pretekle rastne sezone in *povprečno površino trahej*, je v obdobjih od 1944 do 1990 nakazala manjšo odvisnost. Parameter *vsota trahej* je pokazal manjšo odvisnost od aprilskih temperatur ter temperatur v avgustu ob koncu prejšnje rastne sezone.

4 RAZPRAVA

4 DISCUSSION

Značilnosti prevodnih elementov bistveno določajo oskrbo drevesa z vodo in mineralnimi snovmi. Pri venčastoporoznih listavcih prevodni elementi ob koncu rastne sezone izgubijo svojo funkcijo (Cochard in Tyree, 1990; Carlquist, 2001), zato je zelo pomembno, da drevo vsako leto proizvede vsaj en venec trahej, ki omogoči preživetje.

Preglednica 2: Povprečna aprilска temperatura (T_{april}) in povprečna površina trahej (pov_t) za zdravo skupino iz Mlač za obdobja 1934–1974, 1975–2012 in 2000–2012.

Table 2: Mean temperature in April and mean vessel area for the vital group from Mlače for the 1934–1974, 1975–2012 and 2000–2012 periods.

T_{april} 1934-1974 [°C]	10,02
T_{april} 1975-2012 [°C]	10,44
T_{april} 2000-2012 [°C]	11,54
pov_t 1937-1974 [mm ²]	0,062
pov_t 1975-2012 [mm ²]	0,065
pov_t 2000-2012 [mm ²]	0,070

Značilnosti prevodnih elementov med skupinama s Cigonce delno predstavlja že raziskava Levaniča in sod. (2011). Tudi raziskava (Jevšenak, 2014) je s primerjavo propadajočih s Cigonce z zdravimi iz Mlač nakazala, da hitrejša rast pri dobu v mlajših razvojnih fazah pomeni večjo občutljivost za spremembe v okolju v kasnejših fazah razvoja. V naši raziskavi smo dodali še primerjavo med vitalnima skupinama, ki je pokazala podobne vrednosti parametra *vsota površin trahej* od leta 1934 do 1960, nato pa je skupina iz Mlač imela večjo površino prevodnega tkiva. Večjo površino prevodnega tkiva lahko povežemo s širšo širino ranega lesa, ki je prav tako pričela po letu 1960 izkazovati višje vrednosti. Širina ranega lesa pri zdravi skupini iz Mlač je odvisna predvsem od junijskih padavin ($r = 0,47$; Jevšenak, 2014). Menimo, da so imela drevesa zaradi večje površine prevodnega tkiva večjo prevodno sposobnost in so tako lahko bolje izkoristila padavine, rezultat česar je bila širša branika.

Skupina zdravih dreves iz Mlač je imela skoraj celotno obdobje večje *povprečne površine trahej* kot zdrava skupina s Cigonce. *Povprečna površina trahej* je v stabilni pozitivni korelaciji s povprečno aprilsko temperaturo (slika 3c) in domnevamo, da je rezultat dviga povprečne (aprilске) temperature neposredno povezan z večjo povprečno trahejo pri skupini zdravi (preglednica 2). Povprečna aprilска temperatura 2000–2012 se je v primerjavi z obdobjem 1934–1975 povečala za 15 %, *povprečna površina trahej* pri skupini zdravi iz Mlač v istem obdobju pa za 14 %. Del variabilnosti *povprečne površine trahej* pojasnijo tudi temperature ob koncu predhodne rastne sezone, ki prav tako kažejo trend naraščanja. *Povprečno površino trahej* pri hrastih so s spomladanskimi temperaturami uspešno pozitivno korelirali že drugi avtorji (Matisons in Dauškane, 2009; Fonti in García-González, 2008; García-González in Fonti, 2008), ki pa navadno ne preverijo stabilnosti v času. Večina modelov razvoja klime v prihodnosti napoveduje dvig povprečnih temperatur v Evropi (IPCC, 2014). Ob predpostavki, da bo odvisnost med *povprečno površino trahej* v Mlačah in aprilskimi temperaturami ostala visoka, lahko v prihodnjih desetletjih pričakujemo na rastišču v Mlačah traheje z večjim lumnom, ki pa so bolj izpostavljene embolizmu in posledični kavitaciji kot trahej z manjšimi lumni (Hacke in Sperry, 2001; Tyree in Zimmerman, 2002; Cochard, 2006). Večje traheje za vzdrževanje vodnega stolpca potrebujejo tudi večjo količino vode.

Naša študija je pokazala, da moramo biti pri interpretaciji korelacijskih koeficientov previdni in da je treba vedno preveriti stabilnost koeficientov v času. Čeprav je rezultat v preglednici 1 za skupino propada-

joči s Cigonce nakazal visoko stopnjo odvisnosti med parametrom *vsota površin trahej* in temperaturami v avgustu ob koncu predhodne rastle sezone, smo z drsečim oknom dobili ravno obratno sliko, kjer sta bili omenjeni spremenljivki v najmanj značilni korelaciji. V literaturi se pogosto pojavlja problem negativnega vpliva nadpovprečnih temperatur (npr. García-González in Eckstein, 2003) in padavin (npr. Fonti in García-González, 2008) na dimenzije trahej. Predlagamo, da se v primeru nepričakovanih negativnih korelacijskih koeficientov preveri stabilnost teh koeficientov v času ter medsebojni odnos med padavinami ter temperaturami.

Naša študija je pokazala, da se je odnos med temperaturami ter vrednostmi lesno-anatomskih parametrov v času spreminjal. Na Cigonci so korelacijski koeficienti po letu 1980 strmo padli (sliki 3a in 3b). Omenjena odvisnost je pri drevesih skupine zdravi s Cigonce po letu 1990 zopet postala pozitivna, pri skupini poškodovani pa je še naprej ostala negativna. Časovna nestabilnost korelacijskih koeficientov je v ekoloških raziskavah sicer pogost pojav, a zanesljivih zaključkov za te spremembe je težko podati. Wilson in Elling (2004) navajata, da je spremenjeni odziv na klimo pri smreki in jelki pogostejši v zadnjih desetletjih in da je verjetno glavni razlog rezultat človeških aktivnosti (npr. izpusti SO_2). Kandler (1993) je spremenjeni odziv jelke na klimo pripisal naravnemu ciklu propadanja dreves.

Domnevamo, da sprememba odziva na klimo nastane v dveh primerih: 1) iz različnih razlogov se poslabša zdravstveno stanje dreves (npr. onesnaženje, gradacije insektov) ali 2) okoljska spremenljivka se spremeni, kar pomeni tudi spremembo omejujočega faktorja rasti drevesa. Od okoljskih spremenljivk se najpogosteje spremeni ravno nivo podtalnice, navadno zaradi posegov človeka v naravo. Padeč podtalnice na območju Cigonce leta 1982 velja za dejavnik, ki je sprožil propadanje dreves (Levanič in sod., 2011). Korelacijski koeficienti med *povprečno površino trahej* in aprilskimi temperaturami so pričeli padati ravno takrat, ko smo v drseča okna zajeli tudi obdobje po letu 1980. V raziskavi (Jevšenak, 2014) smo sicer ugotovili, da padeč podtalnice ni povzročil ožjih prevodnih elementov, očitno pa se je začel izgubljeni klimatski signal v trahejah. Tudi sinhroni potek krivulj parametra *povprečna površina trahej* med skupinama zdravi iz Mlač ter poškodovani s Cigonce je v drugem delu analiziranega obdobja manj izrazit (slika 2b), kar je očitno posledica zmanjšane odvisnosti od temperatur skupine propadajočih s Cigonce.

Potrdili smo ugotovitve predhodnih raziskav (npr. Levanič in sod., 2011), ki nakazujejo boljše možnosti

preživetja dreves s počasnejšo rastjo v mlajših razvojnih fazah. Velja razmisliti o pilotski raziskavi večjih hrastovih kompleksov v Sloveniji (npr. Krakovski gozd, Murska šuma...), ki bi preverila naše ugotovitve. Podobna raziskava iz Krakovskega gozda je že bila narejena (Gričar in sod., 2013; Hafner in sod., 2015), kjer pa so imele temperature manj značilen signal v velikostih trahej. V primeru, da bodo naše ugotovitve potrjene tudi na drugih rastiščih, velja razmisliti o gozdnogojitvenih ukrepih, ki bi upočasnili rast v mlajših razvojnih fazah (npr. večja gostota dreves v mlajših razvojnih fazah in kasnejša prva redčenja).

5 POVZETEK

V 20. stoletju so po celotnem območju naravne razširjenosti doba poročali o njegovi zmanjšani vitalnosti. Propadanje hrastov so v preteklosti že uspešno povezali s klimatskimi ekstremi (Hartmann in sod., 1989; Pryzbylova, 1989; Rösel in Reuther, 1995) in zmanjšanim nivojem podtalnice (Čater in Batič, 1999; Levanič in sod., 2011). Osredotočili smo se na značilnosti prevodnih elementov ranega lesa ter na primerjavo med tremi skupinami dobov z dveh rastišč *Quercus-Carpinetum*. Previli smo odvisnost parametrov lesne anatomije od povprečnih mesečnih temperatur. Prav tako smo preverili časovno stabilnost korelacijskih koeficientov.

Na rastišču v Mlačah smo vzorčili skupino zdravih dreves s širokimi krošnjami. Rastišče je determinirano kot *Quercus-Carpinetum luzuletosum*, leži pa na rahlo valovitem terenu z evtričnimi rjavimi tlemi. Na rastišču na Cigonci smo vzorčili skupino zdravih in propadajočih dreves. Slednja so bila v času vzorčenja praktično dokončno odmrla. Rastišče na Cigonci je determinirano kot *Quercus roboris-Carpinetum* in leži v ravnini na močno glinastih, amfiglejnih tleh. S tega rastišča so leta 1982 poročali o padcu nivoja podtalnice zaradi urejanja odvodnjavanja na okoliških kmetijskih zemljiščih (Levanič in sod., 2011). Analizo slik smo opravili z makrom EWVA (Jevšenak in Levanič, 2014) v programu ImageJ (Schneider in sod., 2012). Meritve smo obdelali v programu R (R Core Team, 2015). Izdelali smo kronologije *povprečne površine trahej* in *vsote površin trahej*. Podatke o klimi smo prejeli od agencije ARSO. Temperaturne podatke smo prostorsko interpolirali in izdelali modelne podatke od 1900 do 2012 za Maribor.

Skupina propadajočih dreves s Cigonce je v začetnih letih analiziranega obdobja imela višje vrednosti parametra *vsota površin trahej* in *povprečna površina trahej* kot obe zdravi skupini. Obe skupini zdravih dreves sta pokazali podoben potek krivulj parametra *povprečna površina trahej*. Vse tri skupine so pokazale visoko stopnjo odvisnosti od temperatur. Naj-

pomembnejše so temperature ob koncu predhodne rastne sezone in temperature v času nastanka trahej v spomladanskih mesecih. Skupini s Cigonca sta pokazali kontrastno sliko vpliva temperatur na značilnosti prevodnih elementov, kar smo uspešno pojasnili z analizo časovne stabilnosti negativnih korelacijskih koeficientov pri skupini propadajoči, ki niso bili stabilni v času. Pri vseh skupinah je največjo odvisnost od aprilskih temperatur pokazal parameter *povprečna površina trahej*. Temperature v času nastanka trahej (aprila) so pomembnejše od temperatur ob koncu predhodne rastne sezone (avgusta). *Povprečna površina trahej* pri zdravi skupini iz Mlač je v stabilni pozitivni korelaciji s povprečno aprilsko temperaturo. Povprečne temperature in povprečna velikost trahej kažeta podoben trend naraščanja in opozarjamo pred možnostjo nadaljnega povečevanja povprečnih velikosti trahej, ki utegnejo manj učinkovito opravljati svojo funkcijo transporta vode. Naša študija je pokazala, da se je po letu 1980 pri obeh skupinah s Cigonca klimatski signal zmanjšal, kar povezujemo s tamkajšnjim padcem podtalnice.

5 SUMMARY

Pedunculate oak (*Quercus robur*) is a very important tree species due to its ecological, economical and sociological functions, but in the last century a dieback across the entire oak's range has been observed (see Čater and Batič, 1999). Several causes were reported as important factors of the dieback. Most important among them were climate extremes (Hartmann et al., 1989; Pryzbylova, 1989; Rösel and Reuther, 1995) and lowered ground water table (Čater and Batič, 1999; Levanič et al., 2011). In our study, we focused on wood-anatomical features and the comparison among differently vital groups of pedunculate oak from two *Quercus-Carpinetum* sites. The relationship between mean monthly temperatures and vessel features was fully analyzed. The temporal stability of correlation coefficients was also investigated.

At Mlač, 6 vital trees with wide crowns were cored in October 2012. The site is determined as *Quercus-Carpinetum luzuletosum* and is located on a slightly hilly terrain at an altitude of 300 m. Soil type is eutric brown soil on marl. At Cigonca, 5 vital and 5 declining trees were sampled in the summer of 2004. Cross sections were taken at a height between 4.5 m and 5.5 m. The plot is located on a flat surface at an altitude of 265 m. The association is classified as *Quercus roboris-Carpinetum*. Soil type is amphigley on alluvial loams. In 1982, decreased ground water table was observed at Cigonca due to drainage manipulations on nearby farmland. Samples were sanded to a high polish in the laboratory.

High resolution images were taken with 2.5x magnification and later measured using macro EWVA (Jevšenak and Levanič, 2014) for ImageJ (Schneider et al., 2012). After the measurements, two parameters were calculated: *sum of vessel area* (*vsota_t*) and *mean vessel area* (*pov_t*). Only vessels with greater area than 0.01 mm² were included into the calculation.

We received climate data from the Slovene Environmental Agency (Arhiv, 2013). Temperature data for Maribor were spatially interpolated back in time till 1900 using temperature for Ljubljana (see Jevšenak, 2014). Average temperature in the growing season is 15.9 °C. Annual sum of precipitations is 1,062 mm.

The declining group from Cigonca had bigger vessels and more conductive tissue than both vital groups. Therefore we confirmed findings of some previous studies, in which bigger vessels were linked to reduced ability of response to changes in the environment. The comparison between both vital groups in the parameter *mean vessel area* showed slightly higher values for the vital group from Mlač. The parameter *sum of vessel area* showed similar values for both vital groups from 1934 till 1960, after which the group from Mlač had more conductive tissue, which was linked to bigger earlywood width reported in Jevšenak (2014).

All three groups were highly responsive to the mean monthly temperatures. The most important are temperatures at the end of the previous growing season and temperatures in April. The groups from Cigonca showed contrast response to temperatures, since the vital group showed significant positive response, whereas the declining group showed significant negative response. This phenomenon was explained using running correlations, which showed that negative coefficients were not stable in time and were the consequence of dieback.

The parameter *mean vessel area* for the vital group from Mlač was highly responsive to the mean April temperatures. Correlation coefficients were stable in time. Both variables showed similar increasing trend, which may lead to bigger mean vessels in the near future. Vessels with bigger lumen are more likely to be affected by cavitation (Hacke in Sperry, 2001; Tyree and Zimmerman, 2002; Cochard, 2006).

6 ZAHVALA

6 ACKNOWLEDGEMENT

Zahvaljujemo se Pahernikovi ustanovi, ki je finančno podprla dodatne meritve in tako omogočila boljše razumevanje procesov v sestoji na Cigonci ter v Mlačah.

7 VIRI

7 REFERENCES

- Arhiv – opazovani in merjeni meteorološki podatki po Sloveniji. 2013. Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO). <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/> (15. 7. 2013)
- Blaschke H. 1994. Changes caused by fungus attack on the roots of damaged pedunculate oak. *AFZ*, 49, 14: 775-777
- Cochard, H., Tyree, M. T., 1990. Xylem dysfunction in *Quercus*: vessel sizes, tyloses, cavitation and seasonal changes in embolism. *Tree Physiology* 6, 393-407.
- Cochard H. 2006. Cavitation in trees. *Comptes Rendus Physique*, 7: 1018-1026
- Carlquist S. 2001. *Comparative Wood Anatomy: Systematic, Ecological and Evolutionary Aspects of Dicotyledon Wood*. Berlin, Springer: 448 str.
- Čater M., Batič F. 1999. Nekateri ekofiziološki kazalci stresa pri dobi (*Quercus robur* L.) v severovzhodni Sloveniji. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 58: 47-83
- Fonti P., García-González I. 2008. Earlywood vessel size of oak as a potential proxy for spring precipitation in mesic sites. *Journey of Biogeography*, 35: 2249-2257
- García-González I., Eckstein D. 2003. Climatic signal of earlywood vessels of oak on a maritime site. *Tree Physiology*, 23: 497-504
- García-González I., Fonti P. 2008. Selecting earlywood vessels for dendroecological studies: an example from two ring-porous species. *Trees – Structure and Function*, 22: 237-244
- Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarske enote Slovenska Bistrica (1995–2004). Maribor, Zavod za gozdove, Območna enota Maribor
- Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarske enote Slovenske Koročice (2005–2014). Celje, Zavod za gozdove, Območna enota Celje
- Gričar J., de Luis M., Hafner P., Levanič T. 2013. Anatomical characteristics and hydrologic signals in tree-rings of oaks (*Quercus robur* L.). *Trees*, 27, 6: 1669-1680
- Hacke U. G., Sperry J. S. 2001. Functional and ecological xylem anatomy. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematic*, 4: 97-115
- Hafner P., Gričar J., Skudnik M., Levanič T. Variations in Environmental Signals in Tree-Ring Indices in Trees with Different Growth Potential. *PLoS ONE* 10(11):e0143918. doi: 10.1371/journal.pone.0143918
- Hartmann G., Blank R., Lewark S. 1989. Eichensterben in Norddeutschland, Verbreitung, Schadbilder, mögliche Ursachen. *Forst und Holz*, 44, 18: 475-487
- IPCC. Intergovernmental panel on climate change. Working group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Chapter 13. *Europ.* (2014). <http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg2/index.php?idp=495> (28.2.2014)
- Jevšenak J. 2014. Dendrokronološke in lesno-anatomske posebnosti različno vitalnih dobov (*Quercus robur* L.): magistrsko delo (2. stopnja). (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozaložba: 65 str.
- Jevšenak J., Levanič T. 2014. Makro EWVA – učinkovito orodje za analizo prevodnih elementov ranega lesa večastporoznih listavcev. *Acta silvae et ligni*, 104: 15-24
- Kandler O. 1993. Development of the recent episode of Tannensterben (Fir decline) in Eastern Bavaria and the Bavarian Alps. V: Huettl R., Mueller-Dombois D. (ur.). *Forest decline in the Atlantic and Pacific Region*. Springer, Berlin Heidelberg New York: 216-226
- Levanič T., Čater M., McDowell N. G. 2011. Associations between growth, wood-anatomy, carbon isotope discrimination and mortality in a *Quercus robur* forest. *Tree Physiology*, 31: 298-308
- Matisons R., Dauškanė I. 2009. Influence of climate on earlywood vessel formation of *Quercus robur* at its northern distribution range in central regions of Latvia. *Biology*, 753: 49-58
- Pryzbyl K. 1989. Wpływ warunków klimatycznych na zamieranie dębów w Polsce oraz symptomy choroby. *Arboretum Kornickie*, 34: 143-160
- R Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>.
- Rösel K., Reuther M. 1995. Differentialdiagnostik der Schäden an Eichen in der Donauländern: Schlussbericht, GSF Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, GmbH. Oberschleißheim: 381 str.
- Schneider C. A., Rasband W. S., Eliceiri K. W. 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods* 9, 671-675
- Spiecker H., Schinker M. G., Hansen J., Park Y., Ebding T., Doll W., Park Y. I. 2000. Cell structure in tree rings: novel methods for preparation and image analysis of large cross sections. *IAWA Journal*, 21: 361-373
- Šolar M. 1977. Poškodbe vegetacije (gozdov) vsled onesnaženja zraka. 4. Mežiška dolina, Ljubljana: Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo pri Biotehniški fakulteti: 30 str.
- Tyree M. T., Zimmerman M. H. 2002. *Xylem structure and the ascent of sap*. 2nd ed. New York, Springer-Verlag: 283 str.
- Wilson R., Elling W. 2004. Temporal instability in tree-growth/climate response in the Lower Bavarian Forest region: implications for dendroclimatic reconstruction. *Trees*, 18: 19-28

