

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE GOZDNE  
VIRE

Jernej JEVŠENAK

**DENDROKRONOLOŠKE IN LESNO-ANATOMSKE  
POSEBNOSTI RAZLIČNO VITALNIH DOBOV  
(*QUERCUS ROBUR L.*)**

MAGISTRSKO DELO

Magistrski študij - 2. stopnja

Ljubljana, 2014

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Jernej JEVŠENAK

**DENDROKRONOLOŠKE IN LESNO-ANATOMSKE POSEBNOSTI  
RAZLIČNO VITALNIH DOBOV (*QUERCUS ROBUR L.*)**

MAGISTRSKO DELO  
Magistrski študij - 2. stopnja

**DENDROCHRONOLOGICAL AND WOOD-ANATOMICAL  
FEATURES OF DIFFERENTLY VITAL PEDUNCULATE OAKS  
(*QUERCUS ROBUR L.*)**

M. Sc. THESIS  
Master study Programmes

Ljubljana, 2014

Magistrsko delo je zaključek študija na 2. bolonjski stopnji Gozdarstvo in upravljanje gozdnih ekosistemov na Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Meritve, ki so uporabljene v naši nalogi, so bile pridobljene v sodelovanju z Gozdarskim inštitutom Slovenije v sestoju v Mlačah, GGE Slovenske Konjice. Uporabili smo tudi leta 2004 pridobljene vzorce iz sestaja v Cigonci, GGE Slovenska Bistrica. Del naloge je bil opravljen v okviru ERASMUS praktičnega usposabljanja na Albert-Ludwigovi univerzi v Freiburgu, katedra za rast gozdov (nem: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Waldwachstum).

Komisija za dodiplomski študij Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire na Biotehniški fakulteti je dne 12. 12. 2012 odobrila naslov magistrske naloge in za mentorja imenovala doc. dr. Tomislava Levaniča, za recenzenta pa doc. dr. Aleša Kadunca.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Magistrska naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Jernej Jevšenak

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

|    |   |
|----|---|
| ŠD | Du2   |
| DK | GDK 561.24:811(043.2)=163.6   |
| KG | dob/dendrokronologija/dendroklimatologija/ <i>Quercus robur</i> /Cigonca/propadanje hrastov/anatomija lesa/Mlače/rekonstrukcija klime/ <i>Querco-Carpinetum</i> |
| KK |   |
| AV | JEVŠENAK, Jernej  |
| SA | LEVANIČ, Tomislav (mentor)  |
| KZ | SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83   |
| ZA | Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire  |
| LI | 2014  |
| IN | DENDROKRONOLOŠKE IN LESNO-ANATOMSKE POSEBNOSTI<br>RAZLIČNO VITALNIH DOBOV ( <i>QUERCUS ROBUR</i> L.)  |
| TD | Magistrsko delo (magistrski študij - 2. stopnja)  |
| OP | XI, 65 str., 8 pregl., 17 sl., 4 pril., 68 vir.   |
| IJ | sl  |
| JI | sl/en   |
| AI |   |

Razlike med različno vitalnimi skupinami dobov (*Quercus robur*) so bile ovrednotene v debelinskem priraščanju ter lesno-anatomskeih značilnostih. Kronologije širin branik in ranega lesa so bile standardizirane z modificirano negativno eksponentno funkcijo. Velikopovršinska sprememba vodnega režima leta 1982 je pri drevesih iz Cigonce najprej povzročila spremembe v širini branike, širini kasnega lesa ter tudi v parametru "vsota površin trahej". Šele leta 1995 so znaki propadanja vidni tudi v zmanjšanih dimenzijah prevodnih elementov. Skupina "močno propadajoči" iz Cigonce se odziva le na povprečne mesečne in sezonske temperature. Odvisnost je vselej negativna in velja tako za dendrokronološke kot tudi za lesno-anatomske parametre. Skupini "zdravi" in "propadajoči" iz Mlač se odzivajo tako na temperature kot tudi na količine padavin. Lesno-anatomski parametri pri skupini "zdravi" iz Mlač so pokazali večjo odvisnost od temperatur kot dendrokronološki, ki se bolje odzivajo predvsem na junijске padavine. Večje količine dežja pozimi ter spomladji pomenijo manjše prevodne elemente pri skupini "zdravi", a ne vplivajo na skupno površino prevodnega tkiva. Parameter "povprečna površina maksimalne traheje" se je pokazal kot potencialen parameter za rekonstrukcijo povprečnih temperatur od marca do junija.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

|    |   |
|----|---|
| DN | Du2   |
| DC | FDC 561.24:811(043.2)=163.6   |
| CX | pedunculate oak/dendrochronology/denroclimatology/ <i>Quercus robur</i> /Cigonca/oa dieback/wood anatomy/Mlače/climate reconstruction/ <i>Querco-Carpinetum</i> |
| CC |   |
| AU | JEVŠENAK, Jernej  |
| AA | LEVANIČ, Tomislav (supervisor)  |
| PP | SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83   |
| PB | University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Forestry and Renewable Forest Resources  |
| PY | 2014  |
| TI | DENDROCHRONOLOGICAL AND WOOD-ANATOMICAL FEATURES OF DIFFERENTLY VITAL PEDUNCULATE OAKS ( <i>QUERCUS ROBUR</i> L.)   |
| DT | M. Sc. Thesis (Master Study Programmes)   |
| NO | XI, 65 p., 8 tab., 17 fig., 4 ann., 68 ref.   |
| LA | sl  |
| AL | sl/en   |
| AB |   |

Differences between differently vital groups of pedunculate oaks (*Quercus robur*) were determined in diameter increment and wood-anatomical features. Ring-width and latewood chronologies were standardized using modified negative exponential curve. Large-scale drainage manipulation in 1982 in forest stand from Cigonca first caused changes in ring width, latewood and parameter "total vessel area". Not until the year 1995 signs of dieback are also visible in smaller sizes of conductive elements. "Strongly Declining" group from Cigonca is responsive only to the mean monthly and seasonal temperatures. Dependence is strictly negative - for dendrochronological and wood-anatomical parameters. "Vital" and "Declining" groups from Mlače are responsive to the mean temperatures and the sum of precipitations. Wood-anatomical parameters from "Vital" group from Mlače showed higher responsive rate to temperatures than dendrochronological parameters, which are mostly responding to June precipitation. Higher winter and spring precipitation cause smaller conductive elements but do not affect the "total vessel area". Parameter "maximal vessel area" was recognized as a potential parameter for reconstruction of mean temperatures from March to June.

## KAZALO VSEBINE

|   |     |
|---|-----|
| KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA (KDI) ..... | III |
| KEY WORDS DOCUMENTATION (KWD) .....             | IV  |
| KAZALO VSEBINE .....                            | V   |
| KAZALO PREGLEDNIC .....                         | VII |
| KAZALO SLIK.....                                | IX  |
| KAZALO PRILOG .....                             | XI  |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1           UVOD IN PREDSTAVITEV PROBLEMA.....</b>          | <b>1</b>  |
| 1.1       OPREDELITEV CILJEV                                   | 2         |
| 1.2       DOB  | 2         |
| <b>1.2.1     Les hrasta doba</b>                               | <b>3</b>  |
| <b>1.2.2     Značilnosti debelinskega priraščanja pri dobu</b> | <b>4</b>  |
| <b>1.2.3     Propadanje doba</b>                               | <b>6</b>  |
| <b>2           PREGLED OBJAV .....</b>                         | <b>7</b>  |
| <b>3           MATERIALI IN METODE.....</b>                    | <b>9</b>  |
| 3.1       OPIS RAZISKOVALNih OBjektov                          | 9         |
| <b>3.1.1     Raziskovalni objekt v Mlačah</b>                  | <b>9</b>  |
| <b>3.1.2     Raziskovalni objekt v Cigonci</b>                 | <b>10</b> |
| <b>3.1.3     Klimatske razmere</b>                             | <b>11</b> |
| 3.2       OPIS POTEKA DELA                                     | 12        |
| <b>3.2.1     Kriteriji za izbiro dreves</b>                    | <b>12</b> |
| <b>3.2.2     Potek vzorčenja</b>                               | <b>12</b> |
| 3.3       PODATKI O KLIMI                                      | 13        |
| 3.4       ANALIZA ŠIRIN BRANIK                                 | 13        |
| <b>3.4.1     Priprava vzorcev</b>                              | <b>13</b> |
| <b>3.4.2     Pridobivanje slik</b>                             | <b>14</b> |
| <b>3.4.3     Potek analize širin branik</b>                    | <b>14</b> |
| <b>3.4.4     Analiza podatkov</b>                              | <b>14</b> |
| 3.5       LESNO - ANATOMSKA ANALIZA TRAHEJ RANEGA LES          | 16        |
| <b>3.5.1     Priprava vzorcev</b>                              | <b>16</b> |

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| <b>3.5.2</b> | <b>Pridobivanje slik</b>  | <b>18</b> |
| <b>3.5.3</b> | <b>Potek analize slik</b>   | <b>18</b> |
| <b>3.5.4</b> | <b>Analiza podatkov</b>   | <b>19</b> |
| <b>4</b>     | <b>REZULTATI.....</b>   | <b>21</b> |
| 4.1          | IZRAČUN KLIMATSKIH NIZOV  | 21        |
| 4.2          | KRONOLOGIJE ŠIRIN BRANIK, RANEGA IN KASNEGA LEZA                                  | 23        |
| <b>4.2.1</b> | <b>Odvisnost širine ranega in kasnega lesa od širine branike</b>                  | <b>24</b> |
| 4.3          | ODVISNOST DENDROKRONOLOŠKIH PARAMETOV OD KLIME                                    | 26        |
| 4.4          | MORFOLOŠKE ZNAČILNOSTI LESNO-ANATOMSKIH ELEMENTOV                                 | 29        |
| 4.5          | ODVISNOST LESNO-ANATOMSKIH PARAMETROV BRANIKE OD<br>KLIME                         | 31        |
| 4.6          | REKONSTRUKCIJA KLIME NA PODLAGI LESNO-ANATOMSKIH<br>PARAMETROV BRANIKE            | 35        |
| <b>5</b>     | <b>RAZPRAVA .....</b>   | <b>38</b> |
| 5.1          | RAZLIKE V DENDROKRONOLOŠKIH PARAMETRIH MED RAZLIČNO<br>VITALNIM DOBI              | 38        |
| 5.2          | RAZLIKE V LESNO-ANATOMSKIH PARAMETRIH RAZLIČNO<br>VITALNIH SKUPIN DOBOV           | 40        |
| 5.3          | VPLIV KLIME NA RAST V CIGONCI   | 43        |
| 5.4          | VPLIV KLIME NA RAST V MLAČAH  | 44        |
| 5.5          | LESNO-ANATOMSKI PARAMETRI KOT ORODJE ZA<br>REKONSTRUKCIJO KLIMATSKIH SPREMENLJIVK | 47        |
| <b>6</b>     | <b>SKLEPI .....</b>   | <b>51</b> |
| <b>7</b>     | <b>POVZETEK .....</b>   | <b>52</b> |
| 7.1          | POVZETEK  | 52        |
| 7.2          | SUMMARY   | 55        |
| <b>8</b>     | <b>VIRI .....</b>   | <b>60</b> |

## ZAHVALA

## PRILOGE

## KAZALO PREGLEDNIC

|  |    |
|--|----|
| Preglednica 1: Evidence sečenj v oddelku 39403F v načrtovalnem obdobju 1995–2004 in 2005–2014 .....  | 9  |
| Preglednica 2: Evidence sečenj v Oddelku 22042C v načrtovalnem obdobju 1995–2004.  | 11 |
| Preglednica 3: Koeficienti linearne regresije ter delež pojasnjene variance za povprečne temperature po mesecih .....  | 21 |
| Preglednica 4: Delež pojasnjene variance za modelne podatke o mesečnih padavinah za območje Slovenskih Konjic .....  | 23 |
| Preglednica 5: Korelacijski koeficienti skupin "zdravi", "propadajoči" ter "močno propadajoči" med povprečnimi mesečnimi temperaturami ter standardiziranimi širinami branik (ŠB), standardiziranimi širinami kasnega lesa (KL) ter izmerjenimi širinami ranega lesa (RL); prikazani so koeficienti, pri katerih je $p \leq 0,05$ ; koeficienti označeni krepko: $p \leq 0,001$ .....  | 27 |
| Preglednica 6: Korelacijski koeficienti skupin "zdravi", "propadajoči" ter "močno propadajoči" med mesečnimi količinami padavin ter standardiziranimi širinami branik (ŠB), standardiziranimi širinami kasnega lesa (KL) ter izmerjenimi širinami ranega lesa (RL); prikazani so koeficienti, pri katerih je $p \leq 0,05$ ; koeficienti označeni krepko: $p \leq 0,001$ .....   | 28 |
| Preglednica 7: Korelacijski koeficienti skupin "zdravi" ter "močno propadajoči" med povprečnimi mesečnimi temperaturami ter izmerjenimi parametri lesne anatomije: vsota površin trahej (vsota_t), povprečna površina trahej (pov_t), povprečni premer trahej (pov_p), povprečna površina maksimalne traheje (pov_m_t), razmerje med površino trahej ter površino branike (ind_br) ter razmerje med površino trahej in površino ranega lesa (ind_rl); 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 ..... | 32 |
| Preglednica 8: Korelacijski koeficienti skupin "zdravi" ter "močno propadajoči" med mesečnimi količinami padavin ter izmerjenimi parametri lesne anatomije: vsota površin trahej (vsota_t), povprečna površina trahej (pov_t), povprečni premer traheje (pov_p), povprečna površina maksimalne traheje (pov_m_t), razmerje med površino trahej ter površino branike (ind_br) ter razmerje med površino trahej in površino ranega lesa  |    |

(ind\_rl); 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 ..... 34

**KAZALO SLIK**

|  |    |
|--|----|
| Slika 1: Visokoločljiva slika prečnega prereza hrastovine posneta na Albert-Ludwigovi univerzi v Freiburgu, katedra za rast gozdov .....   | 3  |
| Slika 2: Klimadiagram za območje raziskovalnih objektov (Arhiv, 2013) .....  | 11 |
| Slika 3: Diamantno rezilo za pripravo vzorcev na lesno-anatomski ravni (foto: Jernej Jevšenak).....  | 17 |
| Slika 4: Komplet za zajem slik na Albert-Ludwigovi univerzi v Freiburgu, katedra za rast gozdov, foto: Jernej Jevšenak .....   | 18 |
| Slika 5: Izsek iz programa za analizo slike.....   | 20 |
| Slika 6: Primerjava med modelnimi podatki za Maribor ter izmerjenimi podatki za Maribor in Ljubljano za mesec avgust. Prekrivajoča leta so od 1961 do 2012. ....   | 22 |
| Slika 7: Primerjava kronologij za skupine "zdravi", "propadajoči" in "močno propadajoči" .....   | 24 |
| Slika 8: Raztros vrednosti širin ranega in kasnega lesa v odvisnosti od vrednosti širin branik za skupino "zdravi" iz Mlač .....   | 25 |
| Slika 9: Raztros vrednosti širin ranega in kasnega lesa v odvisnosti od vrednosti širin branik za skupino "propadajoči" iz Mlač.....   | 25 |
| Slika 10: Raztros vrednosti širin ranega in kasnega lesa v odvisnosti od vrednosti širin branik za skupino "močno propadajoči" iz Cigonce .....  | 26 |
| Slika 11: Primerjava kronologij med skupinama "zdravi" – polna črta in "močno propadajoči" – črtkana črta za parametre povprečna površina traheje (zgoraj), povprečna površina maksimalne traheje (na sredini) in povprečni premer traheje (spodaj) .....  | 30 |
| Slika 12: Primerjava kronologij med skupinama "zdravi" – polna črta in "močno propadajoči" – črtkana črta za parametre vsota površin trahej (zgoraj), indeks_br (razmerje med vsoto površin trahej in površino branike; na sredini) in indeks_rl (razmerje med vsoto površin trahej in površino ranega lesa; spodaj) ..... | 31 |
| Slika 13: Časovna vrsta povprečna površina maksimalne traheje za skupino "zdravi" iz Mlač ter povprečna temperatura od marca do junija.....  | 36 |
| Slika 14: Spreminjanje korelacijskega koeficiente med povprečno temperaturo od marca do junija ter parametrom povprečna površina maksimalne traheja v času z 30-letnim časovnim oknom .....  | 37 |

|  |    |
|--|----|
| Slika 15: Porazdeljevanje vrednosti parametra povprečna površina maksimalne traheje glede na povprečno temperaturo od marca do junija tekočega leta .....      | 37 |
| Slika 16: Primeri utesnjениh letnic tako pri skupini "zdravi" kot tudi pri skupini "propadajaoči". Od zgoraj navzdol si sledijo P-6b, Z-4b, Z-9a in Z-7a ..... | 40 |
| Slika 17: Prikaz štirih lesno-anatomskih parametrov za skupino iz Cigonce ter izpostavljeno leto 1995 .....  | 42 |

## KAZALO PRILOG

Priloga A: Modelni podatki o povprečnih mesečnih temperaturah za območje Maribora

Priloga B: Podatki o mesečnih količinah padavin za območje Slovenskih Konjic

Priloga C: Popisni list "zdravi"

Priloga D: Popisni list "propadajoč"

## 1 UVOD IN PREDSTAVITEV PROBLEMA

Propadanje gozdov je tema, ki je ob koncu preteklega stoletja povzročila nemalo skrbi med gozdarskimi strokovnjaki in tudi v laični javnosti. Način življenja naše civilizacije posredno ter neposredno povzroča slabšanje stanja gozdov. V šestdesetih letih 20. stoletja smo veliko govorili o propadanju jelke, nato pa se je trend propadanja pričel kazati pri hrastih, predvsem dobu (*Quercus robur* L.) in gradnu (*Quercus petraea* (Matt.)). Dob je ekonomsko najpomembnejši in najbolj razširjen hrast v Evropi (Čater, 2008). Propadanje hrastovih gozdov je globalen problem (npr. Čater in Batič, 1999; Levanič in sod., 2011), o samem propadanju pa je težko delati zaključke, saj so vzroki medsebojno povezani. Drevesa v času svojega obstoja shranjujejo informacije iz okolja in te informacije lahko uporabimo pri razkrivanju vzrokov propadanja. V naši raziskavi smo se osredotočili na hrast dob, ki spada med gospodarsko pomembnejše drevesne vrste. Površina dobovih rastišč se je do danes precej zmanjšala, saj so mnoga njegova rastišča zamenjala kmetijska zemljišča.

Gozd je kompleksen ekosistem in ga pogosto imenujemo črna skrinjica. V njem se dogajajo številni procesi, na njegov razvoj pa vplivajo tako zunanji kot notranji dejavniki. Gozdarji si prizadevamo, da bi ta sistem karseda razumeli. Branike so nekakšen arhiv podatkov, kamor drevesa shranjujejo informacije iz okolja, dendrokronologi pa jih skušajo raziskati in interpretirati. Poleg klasičnih parametrov – širina branike, širina ranega in kasnega lesa, smo v naši analizi uporabili tudi parametre anatomije lesa, ki so v zadnjem času predvsem zaradi razvoja računalništva in analize slike pridobili na uporabnosti.

Z našo raziskavo smo skušali pojasniti, zakaj nekatera drevesa pričnejo umirati, medtem ko druga uspešno kljubujejo negativnim dejavnikom okolja. Uporabili smo klasični dendrokronološki pristop, ki temelji na analizi širin branik. Veliko pozornosti smo namenili tudi uporabi metod numerične analize anatomskega značilnosti lesne branike, kjer smo preučili posamezne anatomske parametre branike. Lesna anatomija ima svoje korenine že v šestdesetih letih preteklega stoletja (Fonti in sod., 2010), vendar se je njena uporaba razmahnila šele v zadnjih dvajsetih letih s hitrim razvojem programske opreme za analizo slike ter napredkom v tehnikah priprave površin izvrtkov in odrezkov (kolutov).

Številne raziskave nakazujejo, da je sprememba podnebja dejavnik, ki ima pomembno vlogo pri nazadovanju vitalnosti nekaterih drevesnih vrst. V naši raziskavi smo se tako osredotočili predvsem na iskanje odvisnosti med klimatskimi podatki in različnimi dendrokronološkimi in lesno-anatomskimi parametri.

### 1.1 OPREDELITEV CILJEV

V naši nalogi se bomo osredotočili na naslednje cilje:

1. ovrednotiti razlike med različno vitalnimi skupinami dobov v širini branike, širini ranega in kasnega lesa ter v značilnostih prevodnih elementov,
2. raziskati vpliv klime na različne dendrokronološke ter lesno-anatomske parametre branik za različno vitalne skupine hrastov doba in
3. raziskati možnost rekonstrukcije klime na podlagi lesno-anatomskih parametrov.

### 1.2 DOB

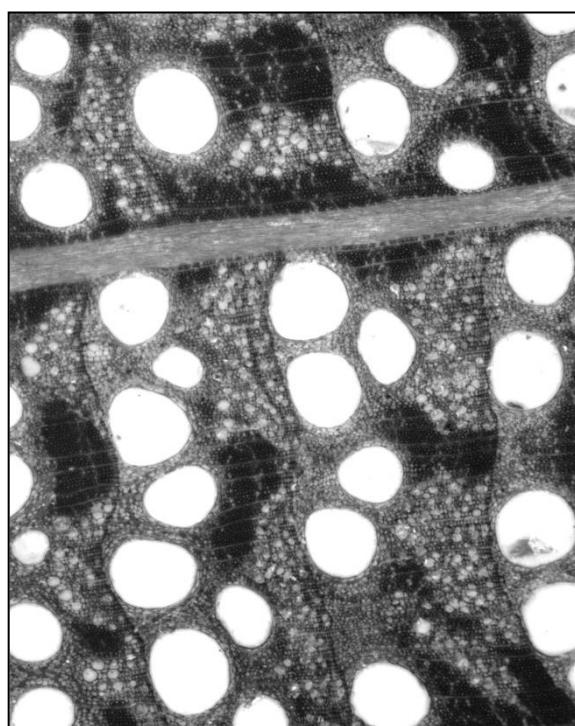
Dob (*Quercus robur* L.) je naravno razširjen po skoraj celotni Evropi. Na severu se pojavlja še na jugu Skandinavije, na jugu Evrope pa manjka na sušnih južnih predelih Pirenejskega polotoka ter Grčije. Na vzhodu dob sega vse do Urala in Kavkaza (Brus, 2008). V Sloveniji se pojavlja v vseh območnih enotah, največji delež lesne zaloge pripada Območnim enotam Brežice (33 %), Murska Sobota (29 %) ter Maribor (25 %), ki skupaj predstavljajo 87 % celotne lesne zaloge doba v Sloveniji (prirejeno po Komanjc, 2005). Pomemben del literature dob in graden pojmuje kot isto vrsto oziroma ju razlikuje po taksonomskih enotah, nižjih od vrste. Čeprav imata vrsti načeloma različne ekološke zahteve, pogosto uspevata skupaj, kjer se uspešno križata.

Dobrave uspevajo na vlažnih rastiščih z visoko podtalnico, posamezna drevesa pa lahko dosežejo tudi starost 1000 let (Brus, 2008). Dob je svetloljubna drevesna vrsta in pogosto uspeva skupaj z gradnom. Dob je zelo pomembna drevesna vrsta zaradi proizvodnje visokokvalitetnih sortimentov ter redkih ekosistemov, ki jih dobrave ponujajo.

### 1.2.1 Les hrasta doba

Hrastovina je zelo kakovosten in cenjen, srednje težak, trd in obstojen les (Brus, 2008). Še vedno velja, da hrasta doba in gradna (*Quercus petraea* (Mattuschaka) Lieb.) po lesu ni mogoče zanesljivo razlikovati, čeprav je bilo narejenih nekaj raziskav v tej smeri (npr. Feuillat in sod., 1997).

Les doba in gradna je mogoče ločiti od hrasta cera (*Quercus cerris* L.) in ameriškega rdečega hrasta (*Quercus rubra* L.). Beljava je večinoma ozka in rumeno-bela, jedrovina je svetlorjava do rumenkasto-rjava. Traheje ranega lesa so velike in imajo tangencialni premer nad 200 µm, gre za venčastoporozen les. Traheje kasnega lesa so manjše in tvorijo radialne nize, ki daje lesu plamenasto strukturo (slika 1). Prehod med ranim in kasnim lesom je večinoma oster. Strženovi trakovi so pogosto zelo široki, v tangencialnem prerezu so vidni kot temna dolga vretena, v radialnem pa kot očitna zrcala. Aksialni parenhim je na prečnem prerezu viden le z lupo kot fini tangencialni niz. Srednja gostota absolutno suhega lesa znaša 650 kg/m<sup>3</sup> (povzeto po Čufar, 2006).



Slika 1: Visokoločljiva slika prečnega prereza hrastovine posneta na Albert-Ludwigovi univerzi v Freiburgu, katedra za rast gozdov

### 1.2.2 Značilnosti debelinskega priraščanja pri dobu

Prirastoslovne značilnosti hrastov so pogosto pod vplivom posameznih faktorjev, npr. višine podtalnice (Čufar in Levanič, 1999). Čufar in Levanič (1999) poročata o treh skupinah hrastov (dob in graden), združenih na podlagi debelinskega priraščanja. Raziskava je izhajala iz štirinajstih rastišč po vsej Sloveniji, ugotavlja pa tudi, da je možno izdelati regionalno kronologijo hrastov v Sloveniji, ki mora temeljiti na starejših drevesih.

Traheje ranega lesa se začno pri venčastoporoznih listavcih formirati že pred odprtjem brstov, čeprav nekatere raziskave ugotavljajo drugače (Sass-Klaassen in sod., 2011). Prve traheje ranega lesa se pričnejo diferencirati iz perifernih derivatov kambija brez predhodnih delitev (Suzuki in sod., 1996; Kitin in sod., 1999; Frankenstein, in sod., 2005). Rast trahej ranega lesa večinoma poteka v obdobju razvoja listov. Raziskava, ki je potekala na Nizozemskem, je pokazala visoko variabilnost med začetkom formiranjem trahej ranega lesa znotraj vrste *Quercus robur*. Najzgodnejša traheja se je začela formirati na 91. dan v letu, formiranje vseh trahej ranega lesa pa se je končalo na 125. dan v letu (4. maj) (Sass-Klaassen in sod., 2011). Začetek in trajanje formiranja trahej sta seveda vrstno specifična in pogojena z razmerami na rastišču.

Pri razlagi naših rezultatov bi nam zelo prav prišla raziskava o ksilogenezi doba na slovenskih tleh, saj je ključno poznati začetek in trajanje nastanka trahej. Dinamiko ksilogeneze pri gradnu (*Quercus petraea*) je na Rožniku raziskovala Gričarjeva (2008). Graden in dob sta taksonomsko najsorodnejši vrsti, nekateri ju še vedno štejejo za isto drevesno vrsto, saj pretok genov ni prekinjen. Pavličeva (1997) je ugotovila, da je statistična in vizualna podobnost dobovih in gradnovih kronologij na Ljubljanskem barju velika (citirano po Cerar, 2007). Graden je na Rožniku pričel z delitvijo kambijevih celic konec marca (Gričar, 2008). Prvi venec trahej ranega lesa z radialnim premerom  $>200 \mu\text{m}$  je bil oblikovan sredi aprila. Prehod iz ranega v kasni les se je zgodil v drugi polovici maja. Kambijeva delitvena aktivnost se je zaključila sredi avgusta, zadnje nastale lesne celice so se popolnoma oblikovale do konca septembra. Ksilemska branika je v povprečju nastala v 150 dneh, vendar pa je prva polovica branike nastala zelo hitro; v 57 dneh. Najpomembnejše obdobje za razvoj lesne branike je bilo med aprilom in junijem (Gričar,

2008). Tudi v raziskavi Levanič in sod. (2011) so rastno dobo za sestoj v Cigonci upoštevali od aprila do septembra.

Velikost trahej ranega lesa je povezana z razpoložljivo vodo v času njihovega nastanka (García-González in Eckstein, 2003). Traheje nastanejo z delitvijo kambijevih celic, nato pa sledi rast teh celic. Aloni (1991) poroča, da se avksin, ki sproži formiranje ranega lesa, prične kopičiti že v času prejšnje rastne sezone. Na začetku procesa imajo te celice tanko in nelognificirano primarno celično steno, ki se oblikuje v odvisnosti od turgorja. Turgor je močno odvisen od razpoložljive vode. Z razvojem sekundarne celične stene in lignifikacije le-te je proces rasti celične stene končan. Celoten proces rasti posamezne traheje traja približno tri do štiri tedne, vendar trajanje močno variira in je odvisno od večjega števila dejavnikov okolja. Proses razvoja posamezne traheje je pod genetsko kontrolo in je odvisen od ontogenetskega statusa drevesa, vendar pa je tako posredno kot neposredno odvisen tudi od pogojev v okolju (Denn in Dodd, 1981).

Prav tako pride do zamika med npr. spremembo razpoložljive vode ter odzivom drevesa na spremembo (García-González in Eckstein, 2003). Wilpert (1991) poroča o zamiku dvanajstih dni med spremembo v vodnem potencialu v tleh ter reakcijo v razvoju traheid pri navadni smreki (*Picea abies*).

Velikost trahej ranega lesa je odvisna tudi od razpoložljivega avksina (Aloni, 2001). Visoke koncentracije avksina povzročijo ožje traheje, saj diferenciacija poteka hitreje in ima traheja na razpolago manj časa za rast. Obratno pri nizkih koncentracijah avksina pričakujemo večje traheje, ki nastajajo dlje časa. Majhne velikosti trahej nekateri avtorji povezujejo z močnimi zimsko spomladanskimi sušami (García-González in Eckstein, 2003), močnimi spomladanskimi pozebami (Fletcher, 1975; Leuschner in Schweingruber, 1996), izpostavljenostjo obcestnih dreves soljenju zaradi poledice (Eckstein in sod., 1976) ter izraziti defoliaciji (Asshoff in sod., 1998–1999).

Prevladujoče vremenske razmere, kot je npr. suša, izzovejo fiziološko prilagoditev dreves na spremenjene razmere z manjšimi prevodnimi elementi. Aktivnost kambija ter razvoj celičnih elementov sta močno odvisna od razpoložljivih asimilatov, njihovo pomanjkanje

pa ima učinke tudi v naslednjih rastnih sezонаh, čeprav so vremenski pogoji izboljšani (Fonti in sod., 2010). Sušni dogodki na začetku rastne sezone izzovejo večje prilagoditve lesno-anatomskih elementov kot sušni dogodek na koncu sezone, ki bo najverjetnejše le zmanjšal širino branike (Arend in Fromm, 2007).

### 1.2.3 Propadanje doba

Propadanje hrastovih gozdov ob koncu 20. stoletja je ostalo nepojasnjeno. Zaradi ugodne lege in primernosti hrastovih sestojev za kmetijsko rabo, so bili ti gozdovi prvi pod pritiskom krčitev in so danes tudi med najbolj spremenjenimi. Onesnaževanje zraka, uravnavanje in spremjanje vodnega režima in sosečina kmetijskih površin okoljske razmere za rast doba še poslabšajo in mu zmanjšujejo stabilnost in odpornost (Čater in Batič, 1999). Raziskovalci so si enotni, da je dejavnikov propadanja več in da so ti dejavniki med sabo kompleksno povezani. Simptomi propadanja so bili opisani v nekaterih diplomski nalogah (npr. Sedlar, 2009; Kelenc, 2008; Komanjc, 2005), bistveni vzroki propadanja pa so zagotovo povezani s klimatskimi ekstremi (Pryzbylova, 1989; Rösel in Reuther, 1995; Hartmann in sod., 1989), pritiski z okoliških kmetijskih zemljišč (Čater in Batič, 1999; Rösel in Reuther, 1995), onesnaženim ozračjem (Šolar, 1977), napadi gliv (Pryzbylova, 1989; Blaschake, 1994; Hartmann in sod., 1989) in s spremenjenim nivojem podtalnice (Levanič in sod., 2011). Rezultati popisov osutnosti krošenj od leta 1995 do 2000 kažejo na povprečno poslabšanje stanja pri dobih v Sloveniji iz 35,0 % na 51,6 % osutost, podobno kot drugod v Evropi (Čater, 2001). Delež odraslih sestojev se zaradi velike smrtnosti zmanjšuje, velik delež preostalih dreves pa je podvrženih defoliaciji, kar pomeni povečan delež sanitarne sečnje (Čater, 2003).

## 2 PREGLED OBJAV

Dendrokronološki pristop je pri analizi propadanja gozdov zelo primeren, saj dobimo vpogled v rast drevesa v preteklosti in jo primerjamo ter povezujemo z različnimi dogodki, ki utegnejo povzročiti propadanje. Levanič in sod. (2011) so primerjali rast "propadajočih" in "nepropadajočih" dreves v sestoju v Cigonci, ki je eden izmed objektov raziskave tudi v naši nalogi. Drevesa, ki so v času vzorčenja že skoraj odmrla, so vse do leta 1982 izkazovala višji debelinski prirastek. Leta 1982 je v okolici sestoja v Cigonci prišlo do velikopovršinskega urejanja odvodnjavanja, posledica katerega je bila nižja podtalnica. Drevesa, ki so leta 2004 že skoraj dokončno odmrla, so vse do leta 1999 izkazovala višje vrednosti povprečnega premera traheje kot drevesa, ki niso kazala hujših znakov propadanja. Pri vseh anatomskeih parametrih obravnavanih v tej raziskavi, so propadajoča drevesa izkazala večjo variabilnost vrednosti kot drevesa, ki so preživela. Avtorji domnevajo, da imajo hrasti, ki v mlajših razvojnih fazah bolje priraščajo in imajo večje prevodne elemente večjo razpoložljivost vode ter verjetno tudi večji LAI, bolj intenzivno transpiracijo in so posledično stresne spremembe v okolju za njih bistveno bolj usodne. Drevesa, ki so odmrla, so za vzdrževanje pretoka vode po večjih trahejah morala zagotoviti zadostno količino vode za preprečitev kavitacije, zaradi česar so bila bolj ranljiva za spremembe v okolju (Levanič in sod., 2011).

V raziskavi (Čater, 2008), ki je potekala na severu Srbije, so primerjali razlike v vrednostih jutranjega vodnega potenciala (PWP), stanja hranil in debelinskega prirastka med zdravimi in prizadetimi odraslimi dobi na odličnih rastiščih. Rezultate so primerjali z razmerami na dveh dobovih rastiščih v Sloveniji, to sta Murska šuma in Krakovski gozd. Rezultati so pokazali razlike v vrednostih PWP med vitalnimi in prizadetimi dobi, izmerjene vrednosti v skupini prizadetih so bile nižje, kar kaže na povečan vodni stres. Odziv degradiranih dreves je bil precej enoten, v skupini vitalnih pa je bil odziv posameznih dreves še precej očiten. Ugotovili so, da je glede na kritične vrednosti vsebnosti hranil v listih stanje hrastovih dreves v severni Srbiji še vedno optimalno. Analiza širin branik je razkrila podoben vzorec rasti pri obeh skupinah do leta 1950, nato pa so se razlike med skupinama pričele večati, saj se je prirastek prizadetih dobov precej zmanjšal. Razlike med skupinama so se po letu 1988 še povečale (Čater, 2008).

Cerar (2007) je v svoji diplomski nalogi med drugim primerjal klimatske podatke s širinami branik ter kasnega lesa. Njegove kronologije so izhajale iz hrastovih gozdov z Dolenjske, ugotovil pa je značilen pozitiven vpliv junijskih padavin ter značilen negativen vpliv junijskih temperatur na širine branik ter kasnega lesa.

Matisons in Dauškane (2009) poročata o ugotovitvah iz raziskave iz Latvije, ki je potekala v nižinskih dobovih sestojih na glinenih tleh. Osredotočili so se na lesno-anatomske elemente, katerih površine so korelirale s spomladanskimi (marec in april) temperaturami ter povprečno temperaturo od oktobra ob koncu prejšnje rastne sezone do septembra v tekoči rastni sezoni. Lesno-anatomski parametri niso pokazali odvisnosti od padavin. Klimatske razmere v rastni sezoni so se izkazale za pomembnejše kot razmere ob koncu predhodne rastne sezone. García-González in Eckstein (2003) sta podobno raziskavo izvedla na vlažnem rastišču na severozahodu Iberskega polotoka. Poročata o odvisnosti med povprečno površino traheje ter padavinami med februarjem ter aprilom.

### 3 MATERIALI IN METODE

#### 3.1 OPIS RAZISKOVALNIH OBJEKTOV

##### 3.1.1 Raziskovalni objekt v Mlačah

Raziskovalni objekt v Mlačah spada v GGO Celje, GGE Slovenske Konjice in katastrsko občino Loče. Objekt spada v odsek 39403F, površina gozdov znaša 4,96 ha, od tega je 77 % državnih gozdov, skupna lesna zaloga znaša  $264 \text{ m}^3/\text{ha}$ . V celotnem odseku je prisotna združba *Querco-Carpinetum luzuletosum*, nadmorska višina je od 280 m do 316 m, ekspozicija severna, naklona in skalovitosti ni, kamnina pa je apnenec (povzeto po Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarske enote Slovenske Konjice (2005–2014)). V sestoju prevladujejo evtrična rjava tla na laporju (Atlas okolja, 2013).

V odseku prevladujejo hrasti (40 %), sledijo beli gaber (23 %), navadna smreka (15 %), bukev (12 %), divja češnja (4 %), robinija (4 %), divji kostanj (1 %) in črna jelša (1 %). 45 % gozdov je v obnovi, 43 % je debeljakov, 12 % je drogovnjakov. Od gozdnih funkcij je na prvi stopnji poudarjena lesnoproizvodna funkcija, na drugi stopnji pa rekreacijska, biotopska, higienско-zdravstvena ter estetska funkcija. Spravilo poteka s traktorjem, povprečna spravilna razdalja je 200 m, odprte pa je 100 % površine (povzeto po Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarske enote Slovenske Konjice (2005–2014)).

V načrtovalnem obdobju 1995–2004 je posek v odseku 39403F znašal  $22,38 \text{ m}^3/\text{ha}$  (Evidence sečenj GGE Slovenske Konjice 1995–2004), v načrtovalnem obdobju 1995–2004 pa  $11,20 \text{ m}^3/\text{ha}$  (Evidence sečenj GGE Slovenske Konjice 2005–2014) (preglednica 1). Želeli smo pridobiti evidence sečenj tudi za pretekla načrtovalna obdobja, vendar so se podatki po besedah zaposlenih izgubili.

**Preglednica 1: Evidence sečenj v oddelku 39403F v načrtovalnem obdobju 1995–2004 in 2005–2014**

| Načrtovalno obdobje | Posek iglavci                | Posek listavci                | Posek skupaj                  |
|---------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1995–2004           |                              | $22,38 \text{ m}^3/\text{ha}$ | $22,38 \text{ m}^3/\text{ha}$ |
| 2005–2014           | $8,35 \text{ m}^3/\text{ha}$ | $2,85 \text{ m}^3/\text{ha}$  | $11,20 \text{ m}^3/\text{ha}$ |

### 3.1.2 Raziskovalni objekt v Cigonci

Raziskovalni objekt Cigonca spada v GGO Maribor, GGE Slovenska Bistrica in katastrsko občino Cigonca. Sestoji se nahajajo v oddelku 22042C, površina gozdov znaša 28,19 ha in je v celoti v državni lasti, skupna lesna zaloga znaša 571 m<sup>3</sup>/ha. Združba je klasificirana kot *Querco-roboris carpinetum*, nadmorska višina je od 254 m do 274 m, sestoj se nahaja v ravnini z naklonom 2°, skalovitosti ni, kamnina je aluvialna ilovica (povzeto po Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarske enote Slovenska Bistrica (1995–2004)). V sestoju v Cigonci so prisotna globoka, močno glinasta, amfiglejna tla na pleistocenskih glinah in ilovicah (Levanič in sod., 2011). Amfiglejna tla nastanejo pod vplivom visoke vode in podtalnice (Urbančič, 2005). Amfiglej je praviloma močno oglejen v spodnjem (zaradi podtalnice) in v površinskem delu (zaradi zastajanja poplavne vode), v vmesnem delu pa je oglejenost manj intenzivna. Amfiglejna tla imajo praviloma zelo neugodne vodno zračne in druge fizikalne lastnosti in so zelo slabe rodovitnosti (Urbančič in sod., 2005).

V odseku prevladuje dob (70 %), sledijo navadna smreka (12 %), beli gaber (9 %), rdeči bor (6 %) in črna jelša (2 %). 97 % gozdov je debeljakov, 3 % predstavlja mladovje. Spravilo poteka s traktorjem, povprečna spravilna razdalja je 600 m, odprte je 100 % površine (povzeto po Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarske enote Slovenska Bistrica (1995–2004)). Od gozdnih funkcij so v odseku prisotne lesnoproizvodna, funkcija pridobivanja drugih gozdnih dobrin, hidrološka, funkcija ohranjanja biološke raznovrstnosti, klimatska, higiensko-zdravstvena ter funkcija varovanja naravnih vrednot (Pregledovalnik podatkov o gozdovih, 2013).

V času vzorčenja je bilo 35 % dreves v fazi propadanja. Po podatkih zaposlenih na Krajevni enoti Slovenska Bistrica je bilo leta 1982 območje podvrženo spremembam vodnega režima, saj so na velikih kmetijskih površinah urejali sistem odvodnjavanja. Kmalu zatem so v okoliških gozdovih opazili upad nivoja podtalnice. Znakov prisotnosti *Phytophtore* ali drugih patogenih gliv ni bilo, prav tako ne obstajajo zapisi o gradacijah škodljivih insektov (Levanič in sod., 2011).

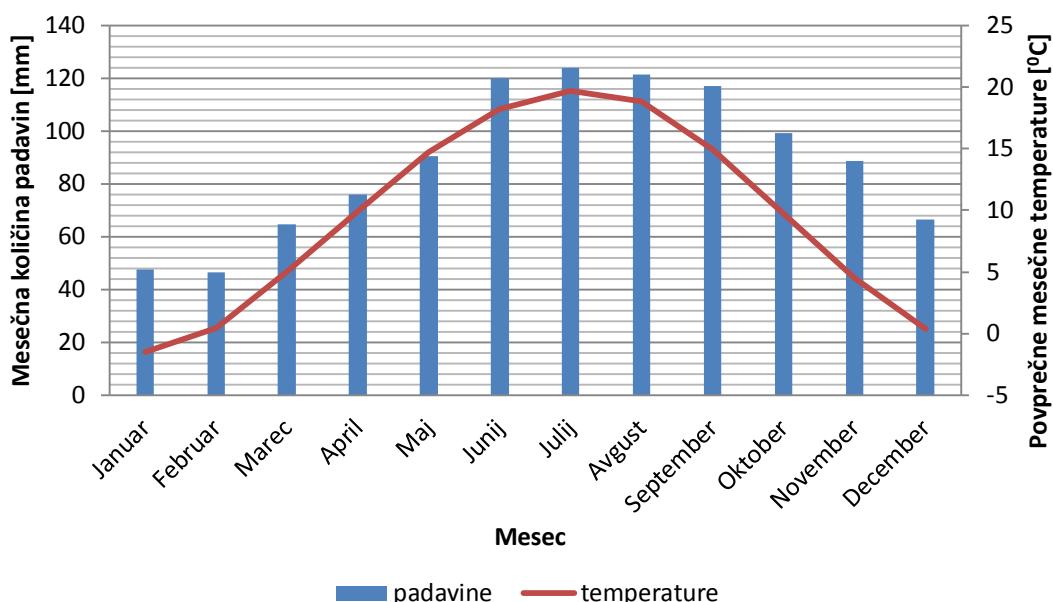
V načrtovalnem obdobju 1995–2004 je posek v odseku 22042C znašal  $44,99 \text{ m}^3/\text{ha}$  (Evidence sečenj GGE Slovenska Bistrica 1995–2004) (preglednica 2). Želeli smo pridobiti evidence sečenj tudi za pretekla načrtovalna obdobja, vendar so se podatki po besedah zaposlenih izgubili.

**Preglednica 2: Evidence sečenj v Oddelku 22042C v načrtovalnem obdobju 1995–2004**

| Načrtovalno obdobje | Posek iglavci                 | Posek listavci                | Posek skupaj                  |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1995–2004           | $33,50 \text{ m}^3/\text{ha}$ | $11,49 \text{ m}^3/\text{ha}$ | $44,99 \text{ m}^3/\text{ha}$ |

### 3.1.3 Klimatske razmere

Raziskovalna objekta sta med sabo oddaljena slabih 8000 metrov, tako da sta izpostavljena praktično istim vremenskim razmeram. Najtoplejši mesec in hkrati tudi najbolj deževen je julij. Podnebje je tipično srednjeevropsko kontinentalno z viškom padavin v poletnih mesecih (slika 2). Podatki o padavinah izhajajo z meteorološke postaje Slovenske Konjice (za obdobje 1961–2012), podatki o temperaturah so prostorsko interpolirani (za obdobje 1900–2012; glej poglavje 4.1). Povprečna temperatura rastnega obdobja, torej od aprila do septembra, znaša  $15,9^\circ\text{C}$ , letno pade v povprečju 1062 mm dežja. Podatke smo pridobili od Agencije Republike Slovenije za okolje (Arhiv, 2013).



**Slika 2: Klimadiagram za območje raziskovalnih objektov (Arhiv, 2013)**

## 3.2 OPIS POTEKA DELA

### 3.2.1 Kriteriji za izbiro dreves

Vzorec je prvotno zajemal 12 zdravih, vitalnih dreves ter 12 propadajočih dreves na lokaciji Mlače. Pri izbiri dreves smo upoštevali osutost krošnje, defoliacijo, poškodovanost debla ter suhe veje. Kasneje smo v raziskavo vključili še 5 močno propadajočih dreves z raziskovalnega objekta Cigonca. Ta drevesa so že bila uporabljena v raziskavi Levanič in sod. (2011). Kriteriji propadanja so bili upoštevani po ICP Forest Manual za ocenjevanje osutosti krošnje (Manual on..., 2006). Tipični znaki umirajočih hrastov so suhe veje, delno odmrle krošnje in porumenelo listje na koncih vej. Vsa drevesa so bila sorasla z normalno razvito krošnjo in brez vidnih poškodb na deblu in krošnji ter dovolj oddaljena od vseh gozdnih prometnic (Levanič in sod., 2011).

### 3.2.2 Potek vzorčenja

Dne 17. 10. 2012 smo po predhodnem dogovoru s Krajevno enoto ZGS Slovenske Konjice opravili terensko delo v sestoju v Mlačah. Po pregledu sestoja smo izbrali 12 dreves, ki smo jih uvrstili v kategorijo propadajoči ter 12 dreves, ki smo jih uvrstili v kategorijo zdravi. Pri vsakem od izbranih dreves smo s Presslerjevim svedrom odvzeli po dva izvrtka, tako smo skupaj dobili po 24 izvrtkov za vsako skupino, od tega je bilo 18 tanjših s premerom 5 mm ter 6 debelejših s premerom 12 mm, ki smo jih kasneje uporabili za lesno-anatomsko analizo. Pri vrtanju je potrebno sveder postaviti pravokotno na os debla in vrtati v smeri stržena. Izvrtke shranimo v plastične cevke ter primerno označimo.

Vzorci iz Cigonce so bili odvzeti junija leta 2004. V naši analizi smo uporabili 5 kolutov močno propadajočih dreves, ki so kazala znake umiranja. Koluti so bili odvzeti na višini 4,5 do 5,5 m.

### 3.3 PODATKI O KLIMI

Od ARSO smo pridobili podatke o povprečnih mesečnih temperaturah za območje Ljubljane za obdobje od leta 1900 do 2012. Iz evidenc javno dostopnih podatkov Agencije Republike Slovenije za okolje (Arhiv, 2013) smo pridobili podatke za območje Maribora, klimatološka postaja Starše za obdobje od leta 1961 do 2012. Povprečne temperature za Maribor za obdobje 1900 do 2012 smo s pomočjo linearnega modela in prekrivajočih se let izrazili na podlagi povprečnih temperatur za Ljubljano.

Agencija Republike Slovenije za okolje nam je posredovala digitalizirane podatke o količinah padavin za območje Celja od leta 1895 do 2012 ter Slovenske Konjice za obdobje od leta 1954 do 2012. Manjkajoča leta za območje Celje so 1909, 1926–1931, 1934, 1939, 1942, 1945 in 1946; manjkajoča leta za območje Slovenske Konjice pa so od leta 1954 do 1960. Delno manjkajoča leta za območje Celje so leta 1895, 1941 in 1943. Prekrivajoča leta so torej od leta 1961 do leta 2012, ki smo jih uporabili za izdelavo modelnih podatkov količin padavin za Slovenske Konjice.

### 3.4 ANALIZA ŠIRIN BRANIK

#### 3.4.1 Priprava vzorcev

Petmilimetrskie izvrtke smo pustili približno 14 dni, da se ustrezno posušijo, nato je sledilo vpenjanje v letvice. Izvrtek je potrebno v letvico postaviti tako, da je potek branik karseda pravokoten na linijo letvice. Tako po brušenju vidimo prečni prerez rasti. Brušenje je potekalo v več fazah, preko granulacij 80, 180, 320 in 400. Vzorce smo očistili s kompresorjem ter jih obdelali s kredo, da so posamezne traheje bolj vidne. Kolute smo prav tako pustili, da se posušijo, nato pa smo jih postopno brusili do gladke in vidne površine ter očistili s kompresorjem.

### 3.4.2 Pridobivanje slik

Po pripravi izvrtkov sledi skeniranje primerkov s sistemom ATRICS (Levanič, 2007). Sistem sestoji iz sistema pomične mizice, mikroskopa z visokoločljivostno kamero z 1,3 milijonov pikslov ter računalniške komponente z ustrezno strojno opremo. Programska oprema ATRICS je namenjena zajemu slik z digitalno kamero, shranjevanju le-teh ter premikanju pomične mizice, dokler ni celoten vzorec optično prebran. Zadnji korak pri zajemu slik je uporaba funkcije, ki samodejno zlepi skupaj vse posamezne slike v eno dolgo sliko, ki jo nato še obrežemo v ustremnem grafičnem programu (npr. Corel Paint).

### 3.4.3 Potek analize širin branik

Slike visoke ločljivosti smo odprli s programom WinDendro, s katerim smo najprej izmerili širine posameznih branik. Z enostavnim klikanjem na meje med branikami smo dobili časovno vrsto širin branik. Sistem omogoča kasnejše popravke. V drugem koraku smo na že obstoječe meritve dodali še mejo med ranim in kasnim lesom, nato pa smo s programom CDendro izdelali časovne vrste širin ranega in kasnega lesa.

### 3.4.4 Analiza podatkov

Dokončno sinhronizacijo in datacijo časovnih vrst smo opravili v programu PAST-4. Sinhronizacijo je olajšalo dejstvo, da smo poznali leto nastanka zadnjih branik. Pri sinhronizaciji smo se zanašali na statistična kazalca  $t$  vrednost po Baillie-ju in Pilcherju ( $t_{BP}$ ) ter na koeficient časovne skladnosti (GLK %).  $t_{BP}$  je merilo podobnosti med dvema časovnima vrstama in temelji na korelaciji med obema zaporednjima. Če je vrednost  $t_{BP} > 4,0$  in dolžina prekrivajočih let za časovni vrsti vsaj 40, zaključimo, da sta vrsti pravilno datirani in sinhronizirani. GLK % je mera podobnosti med dvema časovnima vrstama izražena v odstotkih. Višji kot je GLK %, večje je ujemanje med dvema časovnima vrstama (Levanič in sod., 2011). Kontrolo kvalitete meritev in identifikacijo morebitnih napak smo opravili s programom COFECHA.

### 3.4.4.1 Standardizacija časovnih vrst

Cook je (1985) predstavil načelo združenega modela rasti dreves (1):

$$Rt = A + C + \delta D1 + \delta D2 + \varepsilon \quad \dots(1)$$

|               |  |
|---------------|--|
| Rt            | ... širina branike v določenem letu                  |
| A             | ... funkcija starosti                                |
| C             | ... klimatski dejavniki                              |
| $\delta D1$   | ... bližnji dejavniki na nivoju mikrorastišča        |
| $\delta D2$   | ... daljni dejavniki, ki vplivajo na gozdn ekosistem |
| $\varepsilon$ | ... naključni vplivi, ki jih ne znamo pojasniti      |

Standardizacija je postopek, s katerim želimo izluščiti faktorje rasti, ki nas zanimajo. Rezultat je časovna vrsta, ki je posledica dejavnika, katerega učinek želimo ovrednotiti. Kronologije smo standardizirali v programu ARSTAN. Na podlagi ekspertne ocene smo se odločili, da bomo kronologije širin branik in širin kasnega lesa standardizirali z modificirano negativno eksponentno funkcijo (2).

$$f(i) = a * \exp(-b * t(i + p)) + d \quad \dots(2)$$

Po opravljeni standardizaciji lahko poleg povprečja izmerjenih podatkov izbiramo med tremi časovnimi vrstami;

- 1) Standardizirana kronologija je aritmetična sredina standardiziranih podatkov. Standardizirane vrednosti so indeksi, ki predstavljajo razmerje med izmerjeno ter prilagojeno vrednostjo (regresijsko funkcijo).
- 2) Kronologija ostankov – residualna kronologija je robustno (vsaka vrednost ima enako težo) standardizirano povprečje ostankov avtoregresijskega modeliranja zaporedij širin branik. Osnova je standardizirana kronologija, ki ji matematično odstranimo avtokorelacijo (angl: prewhitening) (Poljanšek in sod., 2010).

3) Kronologija ARSTAN je eksperimentalnega tipa in se navadno ne uporablja v kasnejših analizah.

Odločili smo se za uporabo standardiziranih kronologij, ki so zelo pogosto uporabljene v rekonstrukciji in imajo več t. i. nizkih frekvenc (angl: low frequency), ki ohranijo večji del medletnega nihanja.

#### 3.4.4.2 Avtokorelacija v časovnih vrstah

Avtokorelacija je lastnost časovnih vrst, ko je vrednost za določeno leto značilno odvisna od vrednosti v preteklem oz. preteklih letih. Biološki razlog za ta pojav je kopiranje (ali preveliko črpanje) hranil v drevesu v letu pred nastankom opazovane branike. V primeru neugodnih vremenskih razmer ob začetku naslednje rastne sezone bo drevo kljub vsemu izkazalo ugodno rast. Seveda pa v primeru, če je drevo izčrpano in slabe vitalnosti, tudi ugodne vremenske razmere ne bodo pripomogle k boljši rasti. Rezultat bo zopet značilna avtokorelacija.

### 3.5 LESNO - ANATOMSKA ANALIZA TRAHEJ RANEGA LES

Lesno-anatomska analiza je bila opravljena v Nemčiji v okviru ERASMUS praktičnega usposabljanja na Albert-Ludwigovi univerzi v Freiburgu, katedra za rast gozdov. V lesno-anatomski del naše raziskave smo zajeli 6 vzorcev iz skupine "zdravi" iz Mlač (Z-1a, Z-2a, Z-3a, Z-4a, Z-5a in Z-6a) ter vseh pet primerkov iz skupine "močno propadajočih" dreves iz sestoja v Cigonci. Skupino "propadajoči" iz Mlač smo zaradi velike porabe časa pri analizi slik izpustili. Za skupini "zdravi" in "močno propadajoči" smo se odločili, ker smo želeli dobiti čim bolj kontrastno sliko.

#### 3.5.1 Priprava vzorcev

Za lesno-anatomsko analizo smo uporabili debelejše izvrtke s premerom 12 mm, ki jih je potrebno med sušenjem obtežiti, saj sicer pride do zvijanja samih vzorcev. Izvrtke smo z ustreznim lepilom vpeli v nosilce. Zelo pomembna je orientiranost izvrtkov, saj moramo

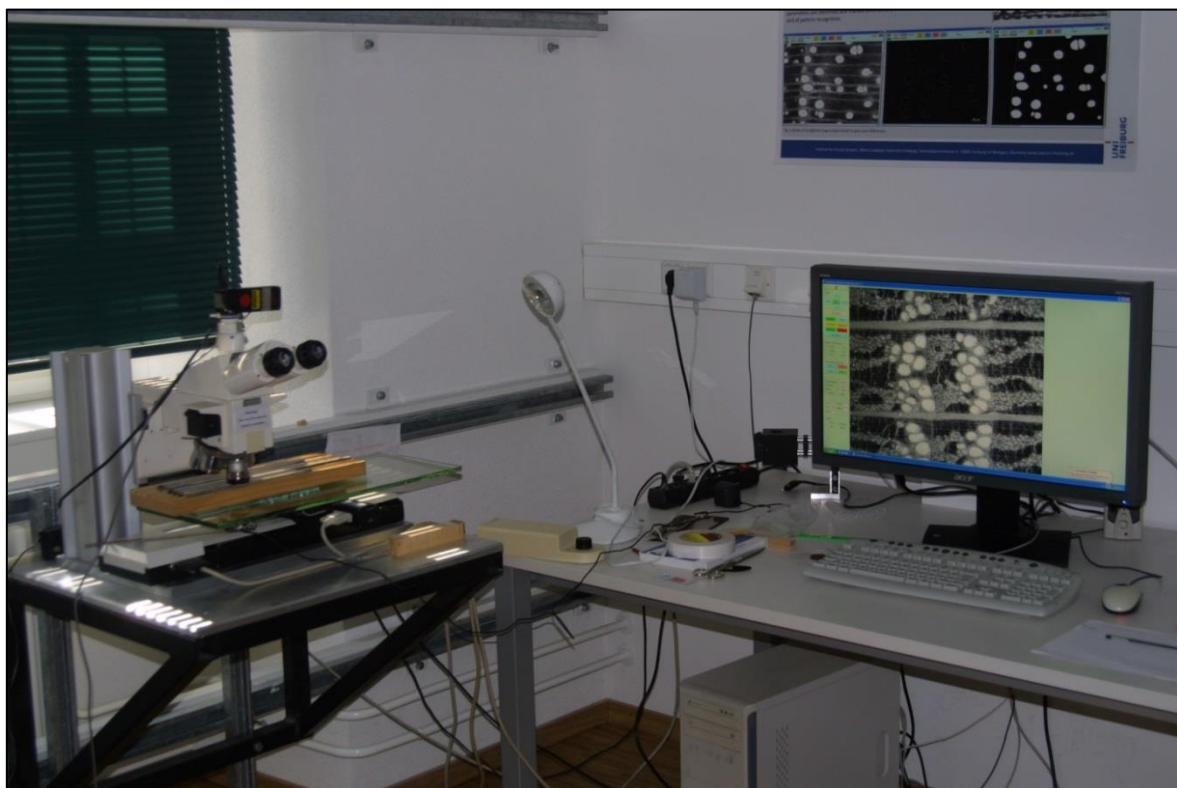
po brušenju s ptičje perspektive videti prečni prerez rasti. Ko smo izvrte trdno vpeli, je najprej sledilo brušenje v več fazah od grobe proti fini granulaciji, nato pa smo nosilce z lepilnim trakom pritrudili na steklene plošče. Sledilo je brušenje površine vzorcev s posebnim diamantnim rezilom ("Ultra-precise single-point diamond flycutter"). Glavne prednosti diamantnega rezila so: 1) priprava daljših vzorcev brez izdelave podsekcij, 2) zagotovljena je enakomerna priprava površine po celotni dolžini vzorca z odklonom manjšim od 1  $\mu\text{m}$ , 3) majhna poraba časa in 4) visokokvalitetno pripravljena površina vzorcev (Spiecker in sod., 2000). Vzorce smo nato obdelali z voskom in jih ponovno zbrusili z diamantnim rezilom.



Slika 3: Diamantno rezilo za pripravo vzorcev na lesno-anatomski ravni (foto: Jernej Jevšenak)

### 3.5.2 Pridobivanje slik

Na Albert-Ludwigovi univerzi v Freiburgu, katedra za rast gozdov se držijo politike samostojnega razvoja programske opreme, ki je prilagojena njihovim potrebam. Visokoločljive slike izvrtkov smo pridobili s programom *Aufnahme Zellstruktur Mikroskop IDS 1.3*, ki je preko računalnika povezan z mikroskopom tipa Carl Zeiss, na katerega je nameščena visokoločljivostna kamera ter pomicna mizica tip PI-Physik Instrument, model: M – 126.DG. Vse vzorce smo skenirali z 2,5-kratno povečavo.



Slika 4: Komplet za zajem slik na Albert-Ludwigovi univerzi v Freiburgu, katedra za rast gozdov,  
foto: Jernej Jevšenak

### 3.5.3 Potek analize slik

Lesno-anatomska analiza slik je bila opravljena v programu *Zellstruktur 1.3.7*, ki je last Albert-Ludwigove univerze v Freiburgu, katedra za rast gozdov. S programom odpremo vsako posamezno braniko posebej, digitaliziramo desno in levo mejo branike ter intenziviramo črno in belo barvo, da izboljšamo kontrast. Za izboljšanje rezultatov imamo na voljo dve orodji, ločimo lahko prevodne elemente, ki so prepoznani kot en objekt, z

orodjem za barvanje pa lahko odstranimo morebitne temne piksle znotraj posameznih trahej. Po končani analizi shranimo podatke v datoteko, ki vsebuje površino branike, površino strženovih trakov in skupno površino trahej. Za vsako posamezno trahejo dobimo tudi podatek o površini, njeno višino in premer, koordinate ter oddaljenost od leve in desne meje branike (Specker in sod., 2000). Vzorce skupine "zdravi" iz Mlač smo izmerili od leta 1934 do 2012, vzorce skupine "močno propadajočih" iz Cigonce pa od leta 1934 do 2004. Leto 1934 smo določili na podlagi razpoložljivega časa. Vzorec Z-3a je mlajše drevo, ki sega le do leta 1970.

### 3.5.4 Analiza podatkov

Po opravljenih meritvah smo odprli podatke v programu R. Najprej smo določili spodnjo mejo površine traheje, ki je še zajeta v analizo,  $10.000 \mu\text{m}^2$ . Nato smo za vsako drevo in braniko izračunali naslednje parametre:

- *površina povprečne traheje<sup>1</sup>* [ $\mu\text{m}^2$ ]; upoštevali smo vse traheje, ki so bile v celoti na sliki,
- *povprečna površina maksimalne traheje<sup>2</sup>* [ $\mu\text{m}^2$ ]; iz vsake branike smo upoštevali le trahejo z največjo izmerjeno površino ter izračunali povprečje po letih,
- *povprečen premer traheje<sup>3</sup>* [ $\mu\text{m}$ ]; premer traheje smo določili kot najdaljšo vodoravno razdaljo znotraj traheje, ki je vzporedna z osjo slike,
- *vsota površin trahej<sup>4</sup>* [ $\mu\text{m}^2$ ]; upoštevali smo površine tudi robnih celic, ki niso bile v celoti na sliki,
- *razmerje med vsoto površin trahej in površino branike<sup>5</sup>*; v programu *Zellstruktur* smo digitalizirali branike in tako dobili površino vsake analizirane branike; digitalizirali smo tudi površine strženovih trakov, ki smo jih odšteli od površine branike,
- *razmerje med vsoto trahej in površino ranega lesa<sup>6</sup>*; površino ranega lesa smo izračunali na podlagi površine branike ter deleža ranega lesa; delež ranega lesa smo izračunali iz

---

<sup>1</sup> krajšava pov\_t

<sup>2</sup> krajšava pov\_m\_t

<sup>3</sup> krajšava pov\_p

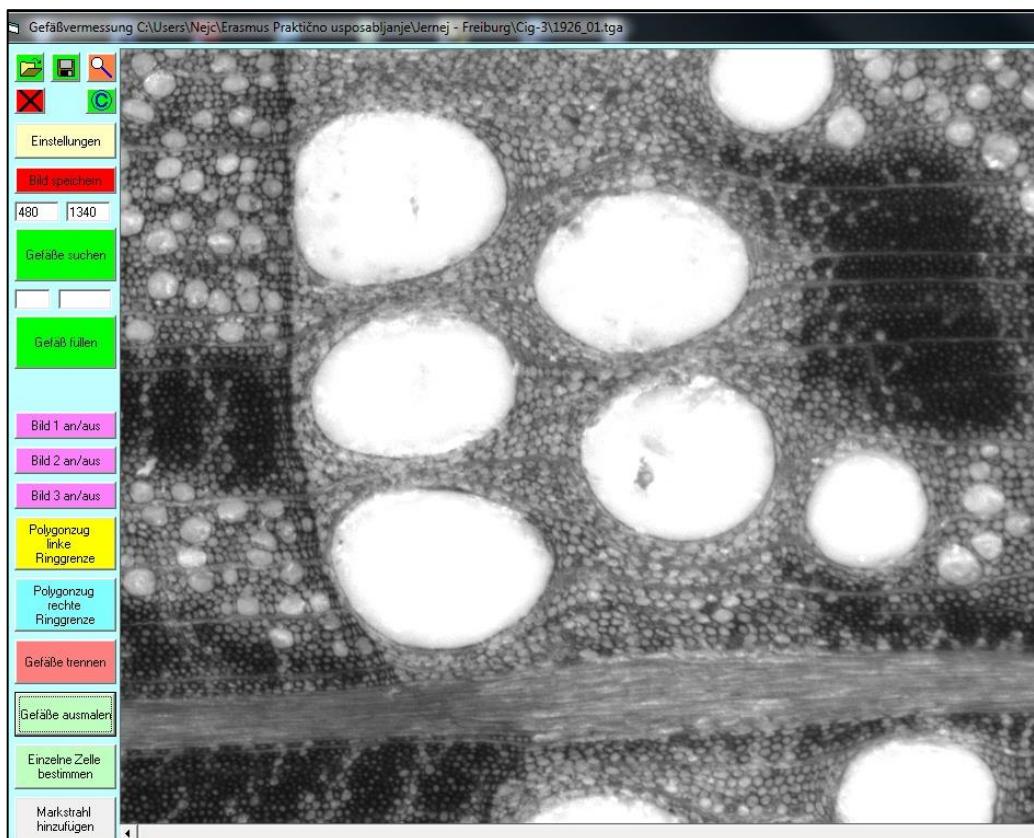
<sup>4</sup> krajšava vsota\_t

<sup>5</sup> krajšava ind\_br

<sup>6</sup> krajšava ind\_rl

podatkov, ki smo jih izmerili v WinDendru. Površina ranega lesa je v tem primeru enaka površini branike, ki jo pomnožimo z deležem ranega lesa.

Korelacijske matrike smo izdelali v programu Microsoft Excel 2010, uporabili smo Pearsonov korelacijski koeficient. Statistično značilnost smo preverili s programom IBM SPSS Statistics 20.



Slika 5: Izsek iz programa za analizo slike

## 4 REZULTATI

### 4.1 IZRAČUN KLIMATSKIH NIZOV

Izbira zanesljivih klimatskih podatkov, ki izhajajo z območja raziskovalnega objekta, je osnova vsake dendrokronološke analize, kjer se išče povezave s klimo. Za območje naše raziskave klimatski nizi segajo le do 1961, zato smo želeli nize podaljšati karseda daleč v preteklost. Povprečne temperature za Maribor smo s pomočjo linearnega modela izrazili na podlagi povprečnih temperatur za Ljubljano (3).

$$Mb\_T = \beta \cdot Lj\_T + \beta_0 \quad \dots(3)$$

Mb\_T ... povprečna mesečna temperatura v Mariboru

Lj\_T ... povprečna mesečna temperatura v Ljubljani

$\beta$  ... koeficient linearne regresije, ki določa naklon premice

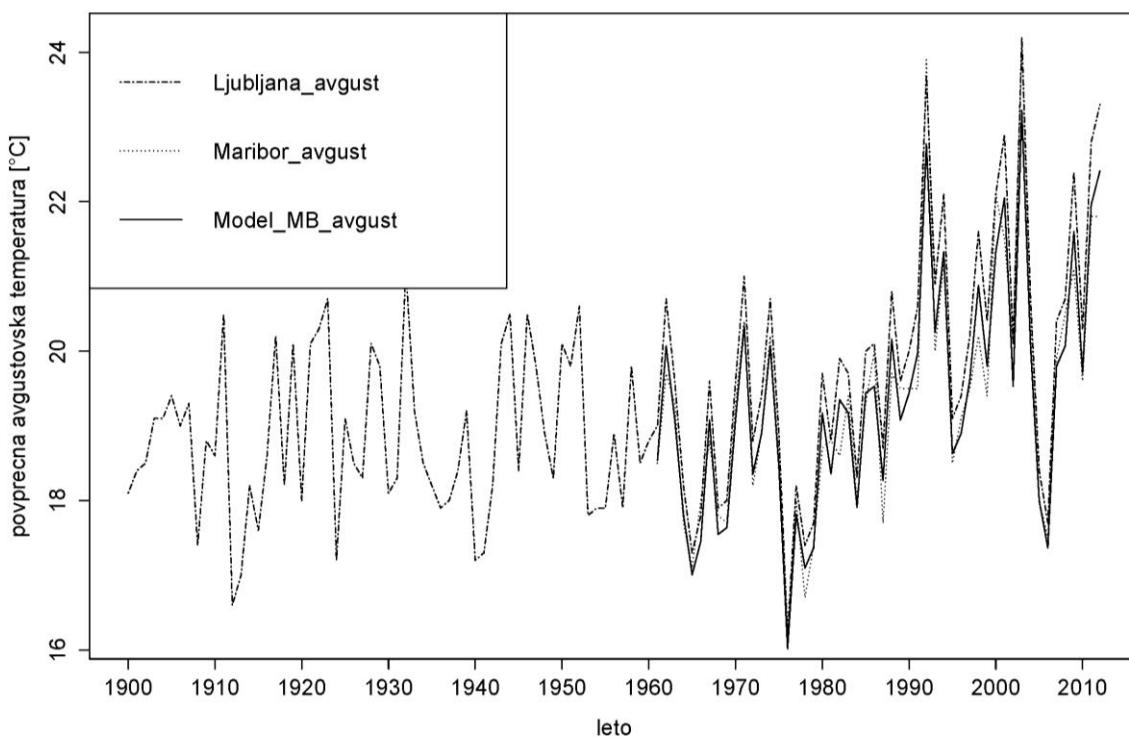
$\beta_0$  ... konstanta, ki določa presečišče premice z ordinatno osjo

Kvaliteta modela je odvisna od deleža pojasnjene variance (preglednica 2). Najnižji delež pojasnjene variance smo dobili za mesec december ( $R^2 = 0,84$ ), ki je sicer manj pomemben mesec, saj je decembra drevo v fazi mirovanja.

**Preglednica 3: Koeficienti linearne regresije ter delež pojasnjene variance za povprečne temperature po mesecih**

| Mesec     | Delež pojasnjene variance ( $R^2$ ) | $\beta$ | Konstanta $\beta_0$ |
|-----------|-------------------------------------|---------|---------------------|
| Januar    | 0,921                               | 1,024   | -0,547              |
| Februar   | 0,950                               | 1,134   | -0,742              |
| Marec     | 0,944                               | 0,936   | -0,158              |
| April     | 0,917                               | 0,950   | 0,422               |
| Maj       | 0,930                               | 0,946   | 0,719               |
| Junij     | 0,936                               | 0,929   | 1,215               |
| Julij     | 0,971                               | 0,956   | 0,446               |
| Avgust    | 0,938                               | 0,901   | 1,419               |
| September | 0,924                               | 0,919   | 0,797               |
| Oktobar   | 0,936                               | 1,001   | -0,613              |
| November  | 0,939                               | 0,947   | -0,086              |
| December  | 0,846                               | 0,918   | -0,254              |

Naši modelni podatki za temperature od leta 1900 do 2012 (Priloga A) se dobro ujemajo z dejanskimi meritvami za območje Ljubljane ter Maribora (slika 6) in smo jih uporabili tudi v kasnejših analizah.



**Slika 6: Primerjava med modelnimi podatki za Maribor ter izmerjenimi podatki za Maribor in Ljubljano za mesec avgust. Prekrivajoča leta so od 1961 do 2012.**

Prekrivajoča se leta za podatke o padavinah s padavinskih postaj Celje in Slovenske Konjice so od leta 1961 do leta 2012. Izdelali smo linearni model, s katerim smo izrazili padavine v Slovenskih Konjicah s padavinami v Celju (4).

$$Sl.K\_P = \beta \cdot Ce\_P + \beta_0 \quad \dots(4)$$

Sl.K\_P ... mesečne količine padavin v Slovenskih Konjicah

Ce\_P ... mesečne količine padavin v Celju

$\beta$  ... koeficient linearne regresije, ki določa naklon premice

$\beta_0$  ... konstanta, ki določa presečišče premice z ordinatno osjo

Delež pojasnjene variance v poletnih mesecih je premajhen, da bi lahko podatke uporabili za potrebe naše naloge.  $R^2$  za mesec junij je npr. znašal le 0,66 (preglednica 3). V kasnejših analizah smo uporabili podatke o merjenih količinah padavin za območje Slovenskih Konjic za obdobje od leta 1961 do 2012 (Priloga B).

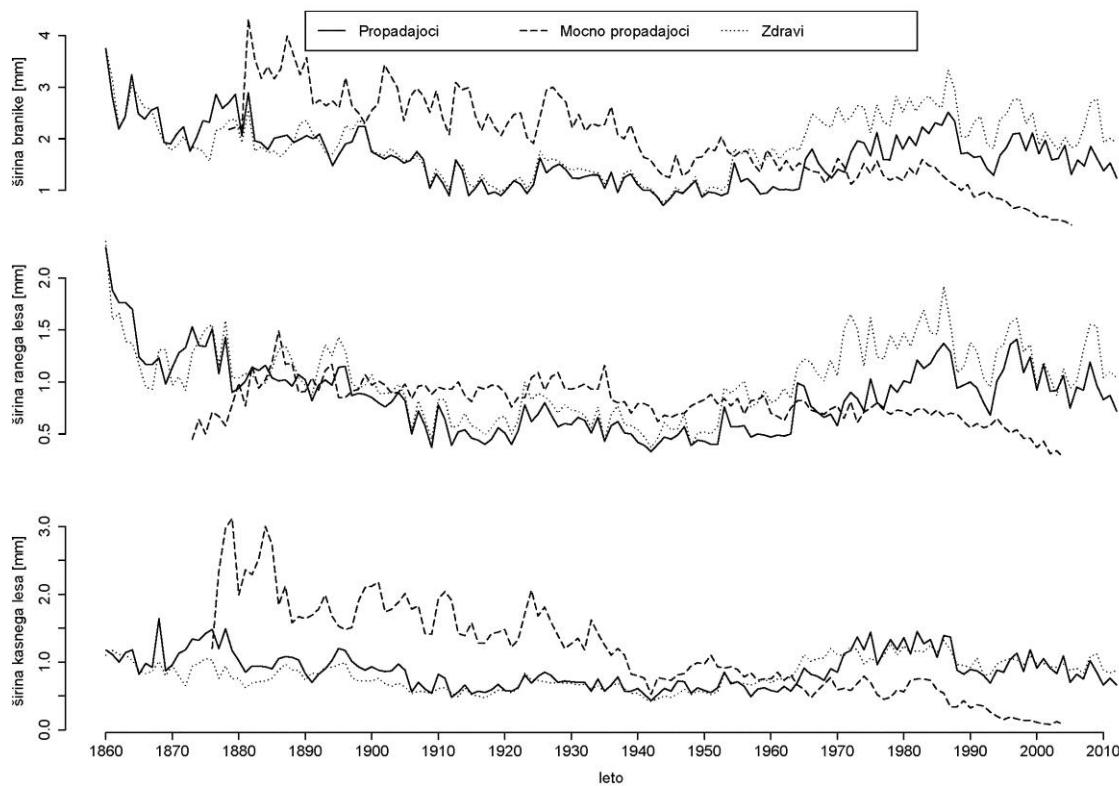
**Preglednica 4: Delež pojasnjene variance za modelne podatke o mesečnih padavinah za območje Slovenskih Konjic**

| Mesec            | Delež pojasnjene variance ( $R^2$ ) | $\beta$ | Konstanta $\beta_0$ |
|------------------|-------------------------------------|---------|---------------------|
| <b>Januar</b>    | 0,937                               | 0,895   | 2,434               |
| <b>Februar</b>   | 0,901                               | 0,809   | 6,325               |
| <b>Marec</b>     | 0,919                               | 0,835   | 6,100               |
| <b>April</b>     | 0,884                               | 0,845   | 7,387               |
| <b>Maj</b>       | 0,760                               | 0,848   | 11,324              |
| <b>Junij</b>     | 0,657                               | 0,705   | 29,238              |
| <b>Julij</b>     | 0,701                               | 0,903   | 7,428               |
| <b>Avgust</b>    | 0,753                               | 0,806   | 21,557              |
| <b>September</b> | 0,808                               | 0,954   | 8,260               |
| <b>Oktobar</b>   | 0,959                               | 0,950   | -2,770              |
| <b>November</b>  | 0,960                               | 0,885   | 2,240               |
| <b>December</b>  | 0,821                               | 0,054   | 2,964               |

#### 4.2 KRONOLOGIJE ŠIRIN BRANIK, RANEGLA IN KASNEGA LESA

Pri analizi kronologij širin branik (ŠB), ranega (RL) in kasnega lesa (KL) smo primerjali prirastoslovne značilnosti za skupini dreves iz Mlač "zdravi" in "propadajoči" ter skupino "močno propadajočih" iz Cigonce.

V lokalno kronologijo "zdravi" nismo uvrstili drevesa Z-10a, saj je zaporedje širin branik izkazalo drugačen vzorec rasti kot povprečje ostalih, kar je verjetno posledica poškodbe v preteklosti. Iz istega razloga smo izpustili tudi zaporedje širin branik P-1b ter P-10b. Glede na širok nabor vzorcev pri skupinah iz Mlač – vsaka skupina je imela v osnovi 24 vzorcev, izpustitev treh zaporedij širin branik ni vplivala na zanesljivost ugotovitev. Vzorec Cig-1 smo datirali na leto 2002, kar pomeni, da je drevo že leta 2002 dokončno odmrlo oziroma sta bili zadnji dve braniki popolnoma razgrajeni.



**Slika 7: Primerjava kronologij za skupine "zdravi", "propadajoči" in "močno propadajoči"**

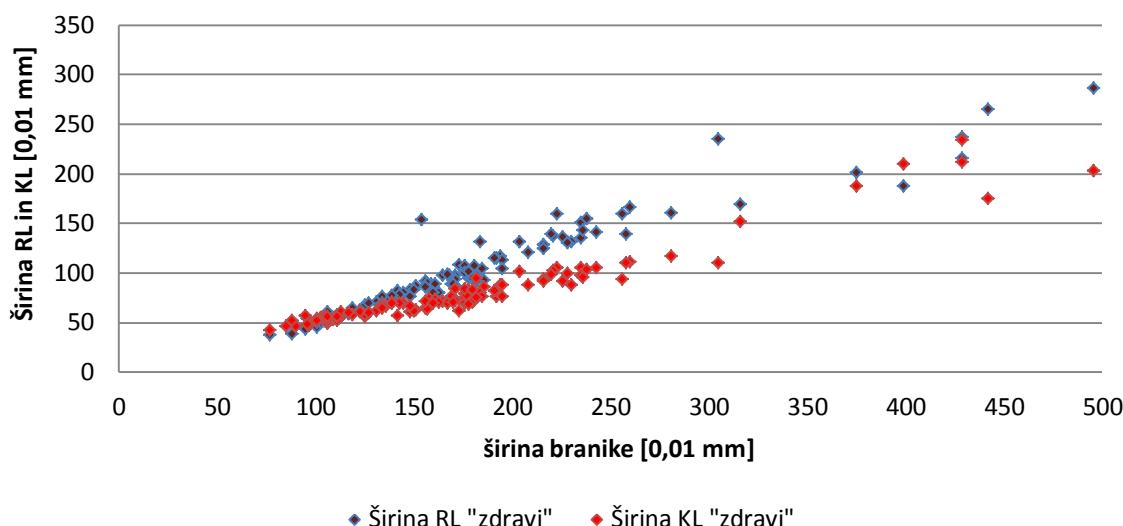
Skupini "zdravi" in "propadajoči" se do leta 1955 praktično ne razlikujeta, od tega leta naprej pa je skupina "zdravi" izkazovala višje debelinske prirastke, krivulji pa sta še vedno potekali vzporedno (slika 7). Razlika med skupinama je najbolj očitna pri širinah ranega lesa.

Skupina "močno propadajoči" je vse do leta 1960 imela višje vrednosti ŠB, RL in KL, opazen je linearen trend zmanjševanja širin branik in širin kasnega lesa. Leta 1982 je opazen hiter padec krivulj, ki je posledica urejanja odvodnjavanja na kmetijskih površinah v okolici sestoja. Padec krivulj je najbolj opazen pri širinah branik. Skupina "močno propadajočih" je v mladosti izkazovala manjše širine ranega lesa.

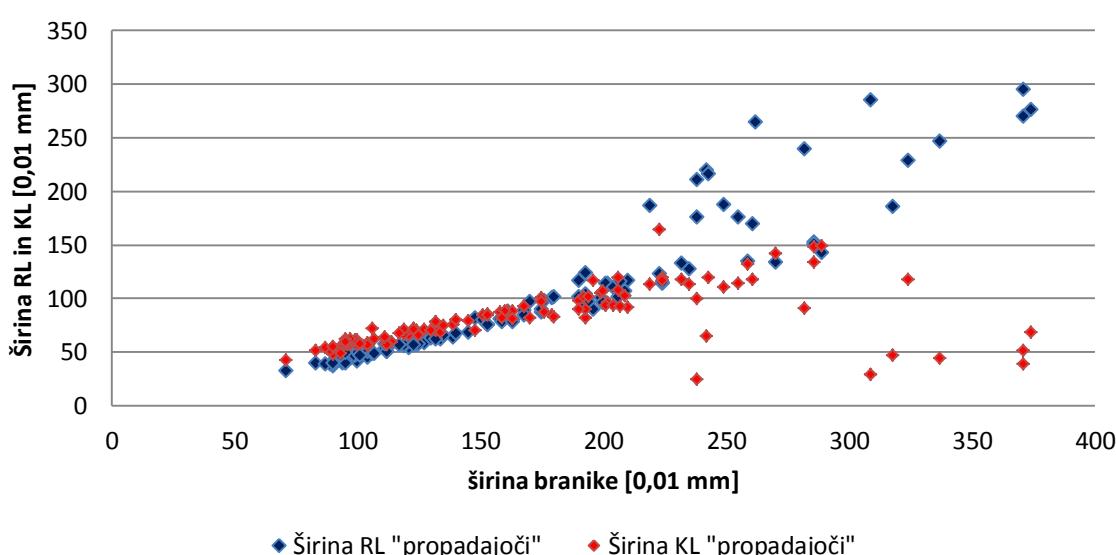
#### 4.2.1 Odvisnost širine ranega in kasnega lesa od širine branike

Primerjali smo širine ranega in kasnega lesa s širinami branik. Evidentne so podobnosti med slikama 8 in 9, kjer prikazujemo odvisnost za obe skupini iz Mlač – "zdravi" in

"propadajoči". Slike 8 in 9 kažeta na precej tipično sliko hrastov z ozkimi branikami proti periferiji in juvenilnimi branikami v centru. Skupina "zdravi" zanimivo izkazuje večje vrednosti za širino ranega lesa kot širino kasnega lesa. Pri skupini "propadajoči" je kasni les načeloma širši od ranega lesa. Za obe skupini so razlike med ranim in kasnim lesom relativno majhne.

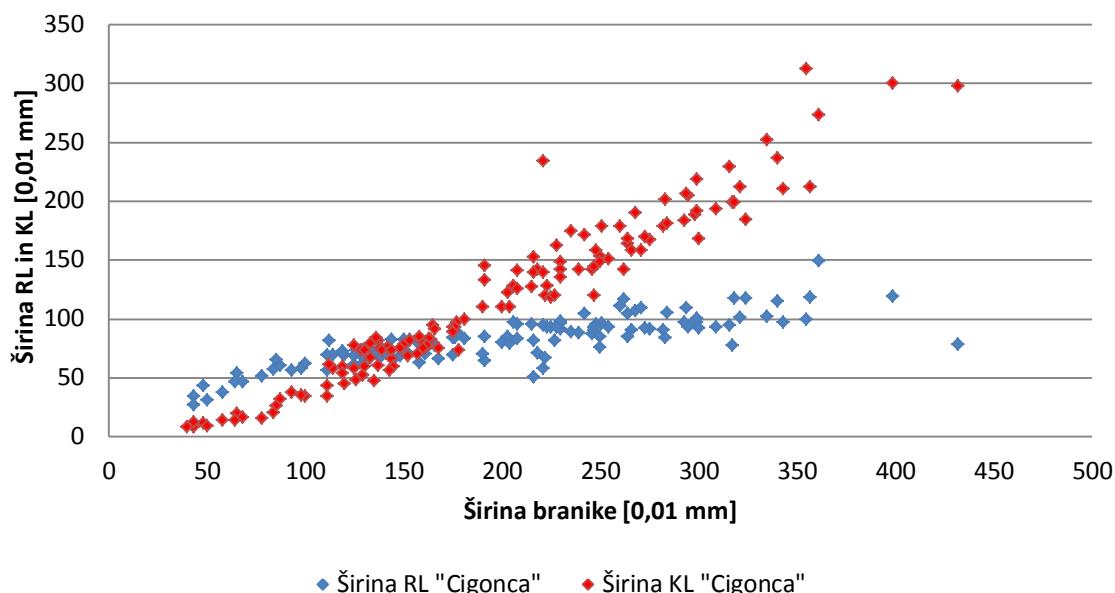


Slika 8: Raztros vrednosti širin ranega in kasnega lesa v odvisnosti od vrednosti širin branik za skupino "zdravi" iz Mlač



Slika 9: Raztros vrednosti širin ranega in kasnega lesa v odvisnosti od vrednosti širin branik za skupino "propadajoči" iz Mlač

Skupina "močno propadajoči" iz Cigonce je pokazala pričakovani trend naraščanja širin kasnega lesa z večjimi širinami branik. Istočasno širine ranega lesa ostajajo približno enake ob naraščanju širin branik (slika 10).



**Slika 10:** Raztros vrednosti širin ranega in kasnega lesa v odvisnosti od vrednosti širin branik za skupino "močno propadajoči" iz Cigonce

#### 4.3 ODVISNOST DENDROKRONOLOŠKIH PARAMETOV OD KLIME

S korelacijami smo preverili, v kakšnem odnosu so standardizirane vrednosti širin branik in kasnega lesa ter izmerjene vrednosti ranega lesa s povprečnimi mesečnimi temperaturami (prostorsko interpolirani podatki za Maribor za obdobje 1900–2012) ter mesečnimi količinami padavin (meteorološka postaja Slovenske Konjice za obdobje 1961–2012).

**Preglednica 5: Korelacijski koeficienti skupin "zdravi", "propadajoči" ter "močno propadajoči" med povprečnimi mesečnimi temperaturami ter standardiziranimi širinami branik (ŠB), standardiziranimi širinami kasnega lesa (KL) ter izmerjenimi širinami ranega lesa (RL); prikazani so koeficienti, pri katerih je  $p \leq 0,05$ ; koeficienti, označeni krepko:  $p \leq 0,001$**

|                    |          | Zdravi ŠB   | Zdravi RL | Zdravi KL   | Propadajoči ŠB | Propadajoči RL | Propadajoči KL | Močno propadajoči ŠB | Močno propadajoči RL | Močno propadajoči KL |
|--------------------|----------|-------------|-----------|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Preteklo leto      | jul      | 0,28        | 0,21      | <b>0,30</b> |                | <b>0,30</b>    |                |                      | -0,23                |                      |
|                    | avg      | 0,29        | 0,23      | 0,28        | 0,24           | <b>0,31</b>    |                | -0,29                | <b>-0,47</b>         |                      |
|                    | sep      |             |           |             |                |                |                |                      |                      |                      |
|                    | okt      | 0,27        | 0,19      | <b>0,33</b> |                | 0,24           |                |                      |                      |                      |
| Tekoče leto        | jan      | 0,19        | 0,22      |             | 0,21           | 0,19           |                |                      |                      |                      |
|                    | feb      |             |           |             |                |                |                |                      | -0,21                |                      |
|                    | mar      |             |           |             |                |                |                | -0,21                | -0,27                |                      |
|                    | apr      |             |           |             |                |                |                | -0,23                | <b>-0,30</b>         |                      |
|                    | maj      | 0,21        | 0,21      |             |                | 0,24           |                |                      | <b>-0,34</b>         | -0,20                |
|                    | jun      |             |           |             |                |                |                | -0,30                | -0,27                | <b>-0,36</b>         |
|                    | jul      | 0,29        | 0,22      | 0,29        | 0,21           | <b>0,30</b>    |                |                      | -0,22                | -0,21                |
|                    | avg      | 0,23        | 0,22      | 0,22        | 0,21           | <b>0,28</b>    |                | <b>-0,35</b>         | <b>-0,52</b>         | <b>-0,32</b>         |
|                    | sep      |             |           |             |                |                |                |                      |                      |                      |
| Sezonske vrednosti | apr-jun  | 0,20        |           | 0,21        |                | 0,25           |                | <b>-0,33</b>         | <b>-0,46</b>         | <b>-0,36</b>         |
|                    | jun-sept | 0,29        | 0,23      | <b>0,30</b> | 0,23           | <b>0,34</b>    |                | -0,28                | <b>-0,45</b>         | <b>-0,32</b>         |
|                    | apr-sept | <b>0,30</b> | 0,25      | 0,28        | 0,21           | <b>0,34</b>    |                | <b>-0,31</b>         | <b>-0,52</b>         | <b>-0,34</b>         |

Skupina "močno propadajočih" dreves iz Cigonce se na povprečne mesečne temperature odziva z višjimi korelacijskimi koeficienti kot skupini "zdravi" in "propadajoči" iz Mlač. Največjo odvisnost od povprečnih mesečnih temperatur pri skupini iz Cigonce je pokazal rani les. Vse vrednosti korelacijskih koeficientov za skupino "močno propadajočih" so negativne, kar pomeni, da nadpovprečne temperature zmanjšujejo širino branike, širino ranega in kasnega lesa. Temperatura se za sestoj v Cigonci kaže kot izrazit omejujoč dejavnik rasti. Poletni meseci, še posebej pa mesec avgust, ključno vplivajo na ŠB, RL in KL v Cigonci. Poleg temperatur v avgustu na ŠB, RL in KL najbolj vplivajo temperature od aprila do junija tekočega leta ter tudi temperature ob koncu prejšnje rastne sezone.

Skupini "zdravih" in "propadajočih" hrastov iz Mlač imajo nižje vrednosti korelacijskih koeficientov, ki so sicer konstantno pozitivni. Na podlagi preglednice 4 sklepamo, da so temperature manj pomemben faktor rasti za skupini "zdravi" in "propadajoči" kot za skupino "močno propadajoči". Pri skupini "propadajoči" se je parameter RL pokazal kot najbolj učinkovit parameter za iskanje klimatskega signala. Zanimive so visoke korelacije med ranim lesom ter temperaturami ob koncu rastne sezone, ko je formiranje ranega lesa že zaključeno. Pri skupini "zdravi" sta se kot najboljša parametra za iskanje klimatskega signala pokazala ŠB in KL, ki imata zelo podobne vrednosti. Korelacijski koeficienti za skupino "zdravi" za RL so manjši kot korelacijski koeficienti za skupino "propadajoči". Tudi razmere ob koncu predhodne rastne sezone vplivajo na ŠB, RL in KL v naslednji rastni sezoni.

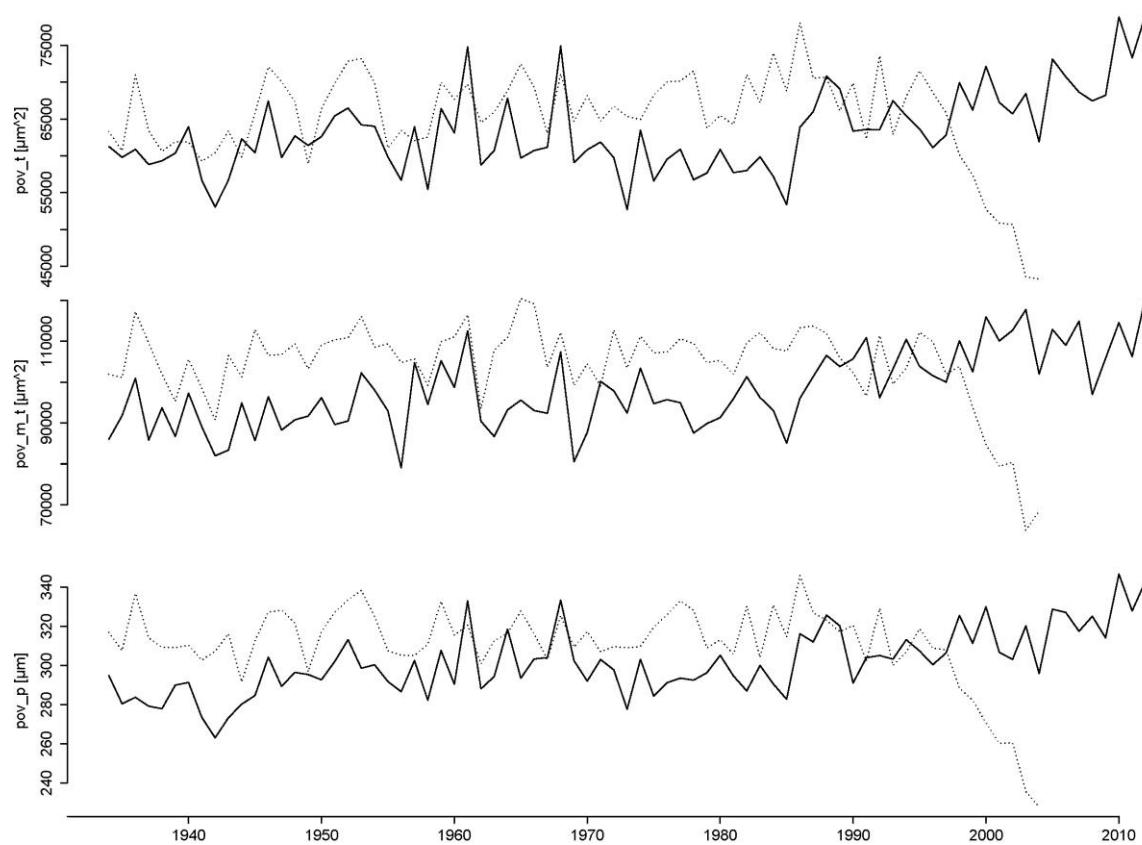
**Preglednica 6:** Korelacijski koeficienti skupin "zdravi", "propadajoči" ter "močno propadajoči" med mesečnimi količinami padavin ter standardiziranimi širinami branik (ŠB), standardiziranimi širinami kasnega lesa (KL) ter izmerjenimi širinami ranega lesa (RL); prikazani so koeficienti, pri katerih je  $p \leq 0,05$ ; koeficienti označeni krepko:  $p \leq 0,001$

Največjo odvisnost od mesečnih količin padavin je pokazala skupina "zdravi", pri skupini "propadajoči" smo dobili tri značilne korelacijske koeficiente ( $p \geq 0,05$ ), medtem ko skupina "močno propadajoči" iz Cigonce ni pokazala nobene odvisnosti od mesečnih količin padavin.

Za skupini "zdravi" in "propadajoči" so najpomembnejše padavine v mesecu juniju. Tudi sezonske vrednosti od aprila do junija so visoke. Skupina "zdravi" ima višje "istoležne" koeficiente. Vsi koeficienti so pozitivni, torej nadpovprečna količina padavin ugodno vpliva na ŠB, RL in KL. Absolutno najvišji korelacijski koeficient za skupino "zdravi" iz Mlač dobimo za parameter ŠB za mesec junij ( $r = 0,51$ ). Padavine ob koncu predhodne rastne sezone niso pokazale vpliva na dendrokronološke parametre v naslednji rastni sezoni. Poleg junijskih padavin so se kot pomembne pokazale tudi padavine v februarju, torej pred začetkom rastne sezone.

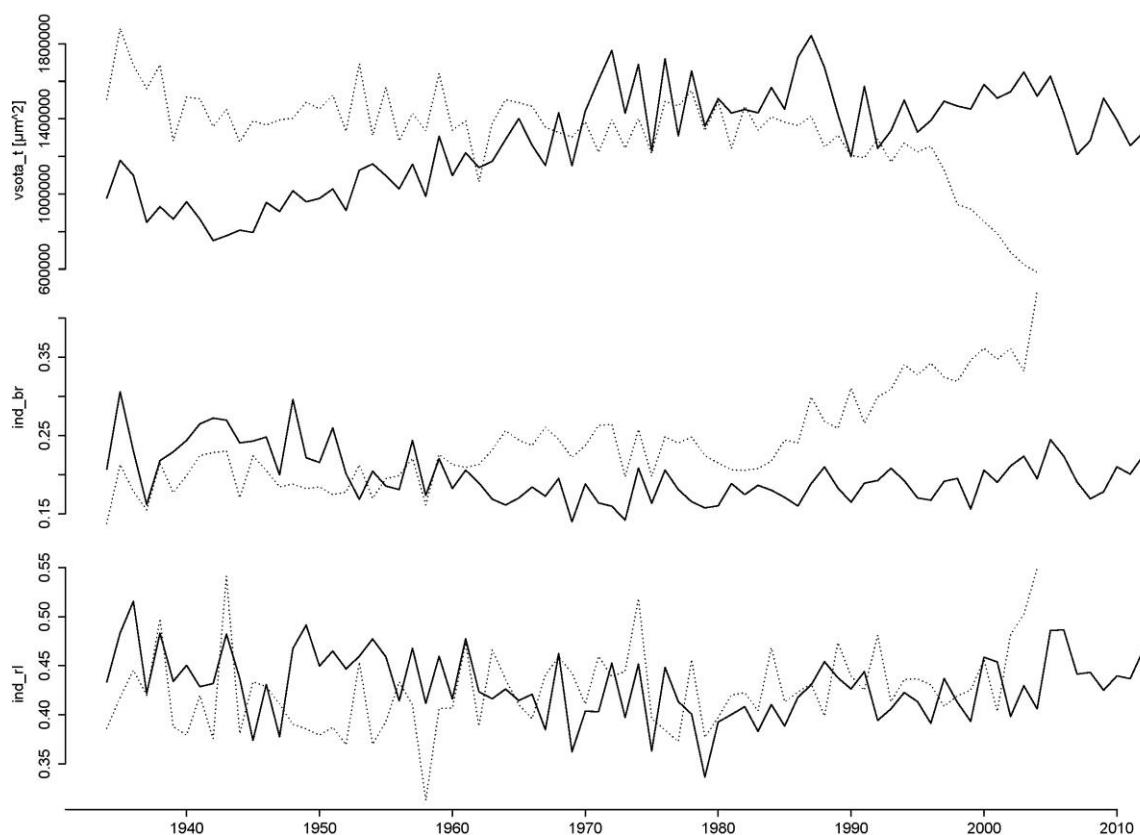
#### 4.4 MORFOLOŠKE ZNAČILNOSTI LESNO-ANATOMSKIH ELEMENTOV

Z analizo morfoloških značilnosti smo preverili, kakšne so razlike med skupinama "zdravi" in "močno propadajoči" v značilnostih lesno-anatomskih parametrov. Na sliki 11 vidimo, da je imela skupina "močno propadajoči" vse do začetka propadanja višjo vrednost povprečne površine traheje, povprečne površine maksimalne traheje in povprečnega premera traheje. Značilen padec parametrov za skupino "močno propadajoči" se je zgodil leta 1995.



**Slika 11: Primerjava kronologij med skupinama "zdravi" – polna črta in "močno propadajoči" – črtkana črta za parametre povprečna površina traheje (zgoraj), povprečna površina maksimalne traheje (na sredini) in povprečni premer traheje (spodaj)**

Na sliki 11 vidimo dobro ujemanje krivulj za obe skupini vse do okoli leta 1995. Sinhrono vedenje krivulj se zdi v zgodnejših letih bolj izrazito, nato pa je skupina "močno propadajočih" verjetno začela izgubljati odzivne sposobnosti in se pričela drugače odzivati na razmere v okolju. Skupina "močno propadajoči" je do okoli leta 1965 izkazovala višje vrednosti vsot površin trahej, nato so bile vrednosti približno 10 let podobne za obe skupini, zatem pa je sledil hiter padec vrednosti za skupino "močno propadajoči" iz Cigonce leta 1996 (slika 12).



**Slika 12: Primerjava kronologij med skupinama "zdravi" – polna črta in "močno propadajoči" – črtkana črta za parametre vsota površin trahej (zgoraj), indeks<sub>br</sub> (razmerje med vsoto površin trahej in površino branike; na sredini) in indeks<sub>rl</sub> (razmerje med vsoto površin trahej in površino ranega lesa; spodaj)**

Na sliki 12 vidimo, da je krivulja, ki pripada primerkom iz skupine "močno propadajočih" prehitela primerke iz skupine "zdravih" v vrednostih parametra  $\text{ind}_{\text{br}}$  okoli leta 1960. Vrednosti za krivuljo skupine "močno propadajočih" se povečujejo, saj so bile branike vedno ožje, širina branike pa se je zmanjševala počasneje. Krivulji za  $\text{ind}_{\text{rl}}$  ne nakazujeta značilnega trenda, saj se ujameta le na nekaterih točkah.

#### 4.5 ODPISNOST LESNO-ANATOMSKIH PARAMETROV BRANIKE OD KLIME

Tako skupina "močno propadajoči" kot tudi "zdravi" sta pokazali veliko odvisnost od povprečnih mesečnih temperatur. Najvišji korelacijski koeficient za skupino "zdravi" za posamezen mesec smo dobili za parameter povprečna površina traheje; in sicer  $r = 0,60$  za mesec april (preglednica 6). Tudi parameter povprečni premer traheje ima za isti mesec

visok korelacijski koeficient –  $r = 0,57$ . Temperature na začetku rastne sezone in tik pred njo v veliki meri vplivajo na značilnosti prevodnega tkiva pri skupini "zdravi". Dimenzijske prevodne elemente so v korelaciji tudi s povprečnimi mesečnimi temperaturami ob koncu prejšnje rastne sezone. Povezava je bolj izrazita za skupino "zdravi" iz Mlač. Predvsem avgustovske temperature ob koncu predhodne rastne sezone imajo izrazit pozitiven vpliv na lesno-anatomske parametre skupine "zdravi" ter izrazit negativen vpliv na lesno-anatomske parametre skupine "močno propadajoči" iz Cigonce.

**Preglednica 7: Korelacijski koeficienti skupin "zdravi" ter "močno propadajoči" med povprečnimi mesečnimi temperaturami ter izmerjenimi parametri lesne anatomije: vsota površin trahej (vsota\_t), povprečna površina trahej (pov\_t), povprečni premer trahej (pov\_p), povprečna površina maksimalne traheje (pov\_m\_t), razmerje med površino trahej ter površino branike (ind\_br) ter razmerje med površino trahej in površino ranega lesa (ind\_rl); 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**

|                    |           | vsota_t zdravi | vsota_t močno propadajoči | pov_t zdravi | pov_t močno propadajoči | pov_p zdravi | pov_p močno propadajoči | pov_m_t zdravi | pov_m_t močno propadajoči | ind_br zdravi | ind_br močno propadajoči | ind_rl zdravi | ind_rl močno propadajoči |
|--------------------|-----------|----------------|---------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|----------------|---------------------------|---------------|--------------------------|---------------|--------------------------|
| Preteklo leto      | Jun       |                | <b>-0,40</b>              | 0,31         | -0,36                   | 0,32         | <b>-0,41</b>            | 0,34           | <b>-0,42</b>              |               | 0,35                     |               |                          |
|                    | Jul       | 0,27           | -0,27                     | <b>0,46</b>  |                         | <b>0,43</b>  |                         | <b>0,48</b>    |                           |               | <b>0,42</b>              |               | 0,26                     |
|                    | avg       | 0,33           | <b>-0,57</b>              | <b>0,47</b>  | -0,29                   | <b>0,42</b>  | <b>-0,43</b>            | <b>0,50</b>    | -0,36                     |               | <b>0,60</b>              |               | 0,36                     |
|                    | Sep       |                |                           | <b>0,36</b>  |                         | 0,33         |                         | 0,23           |                           | 0,24          |                          | 0,19          |                          |
|                    | okt       |                | -0,25                     | 0,28         |                         | 0,29         |                         | <b>0,38</b>    | -0,24                     |               | 0,28                     |               |                          |
| Tekoče leto        | Jan       | 0,27           |                           |              |                         | 0,26         |                         | 0,33           |                           |               |                          |               |                          |
|                    | Feb       |                |                           |              | 0,23                    |              |                         | 0,34           |                           |               | 0,30                     |               |                          |
|                    | mar       |                |                           |              | <b>0,36</b>             |              | 0,31                    |                | <b>0,51</b>               |               | 0,31                     |               | 0,30                     |
|                    | apr       |                |                           | -0,24        | <b>0,60</b>             |              | <b>0,57</b>             |                | <b>0,39</b>               |               |                          |               |                          |
|                    | maj       |                |                           | <b>-0,48</b> | 0,29                    |              | 0,34                    | -0,24          | 0,31                      | -0,26         | 0,32                     | -0,23         |                          |
|                    | Jun       |                | -0,32                     | <b>0,47</b>  | -0,33                   | <b>0,43</b>  | <b>-0,38</b>            | <b>0,50</b>    | -0,34                     |               | 0,35                     |               |                          |
| Sezonske vrednosti | jun*-sep* | 0,28           | <b>-0,52</b>              | <b>0,60</b>  |                         | <b>0,56</b>  | -0,37                   | <b>0,58</b>    | -0,34                     |               | <b>0,56</b>              |               | 0,32                     |
|                    | mar-jun   |                | <b>-0,49</b>              | <b>0,63</b>  |                         | <b>0,60</b>  | -0,34                   | <b>0,65</b>    | -0,29                     |               | <b>0,46</b>              |               | 0,24                     |

Vsota površin trahej se za skupino "močno propadajoči" iz Cigonce kaže kot parameter, ki najbolje korelira s klimatskimi podatki. Velik vpliv na formiranje prevodnega tkiva

skupine "močno propadajoči" imajo tudi povprečne mesečne temperature v mesecu maju ( $r = -0,48$ ; vsota\_t). Korelacijski koeficienti kažejo na zelo negativen vpliv nadpovprečnih temperatur na formiranje trahej. V primeru nadpovprečnih temperatur dobimo pri skupini "močno propadajoči" manjšo skupno površino prevodnega tkiva, ki vsebuje traheje z manjšimi površinami.

Visoko vrednost korelacijskega koeficiente za skupino "močno propadajoči" smo dobili tudi za indeks, ki izraža razmerje med površino prevodnega tkiva ter površino branike, in sicer za avgust preteklega leta ( $r = 0,60$ ). Vendar gre v tem primeru bolj za posreden vpliv povezave med površino branike ter povprečnimi temperaturami.

Za vse parametre (razen indekse), ki smo jih uporabili v analizi, smo za skupino "močno propadajoči" dobili negativne korelacijske koeficiente, v večini primerov je najvišja vrednost za mesec avgust preteklega leta. Za parametra, ki predstavlja razmerje med vsoto površin vseh trahej in površino branike oz. površino ranega lesa, so vrednosti pozitivne. Nadpovprečne temperature pomenijo večji delež prevodnega tkiva pri skupini "močno propadajoči", saj je širina ranega lesa približno konstantna, širina branike pa se zmanjšuje, zato se vrednosti indeksa povečujejo.

Zdrava drevesa iz Mlač ne kažejo značilne povezave med temperaturami ter obema indeksoma. Razlog je verjetno v dejstvu, da je že sam parameter vsota površin trahej zelo malo odvisen od temperatur. Obratno drevesa iz skupine "močno propadajoči" kažejo večjo odvisnost med indeksoma ter temperaturami, višjo značilnost imajo vrednosti za indeks, ki izraža razmerje med vsoto površin vseh trahej in površino branike.

Korelacijski koeficienti med padavinami ter različnimi lesno-anatomskimi parametri so manjši kot korelacijski koeficienti med povprečnimi temperaturami ter različnimi lesno-anatomskimi parametri.

**Preglednica 8: Korelacijski koeficienti skupin "zdravi" ter "močno propadajoči" med mesečnimi količinami padavin ter izmerjenimi parametri lesne anatomije: vsota površin trahej (vsota\_t), povprečna površina trahej (pov\_t), povprečni premer traheje (pov\_p), povprečna površina maksimalne traheje (pov\_m\_t), razmerje med površino trahej ter površino branike (ind\_br) ter razmerje med površino trahej in površino ranega lesa (ind\_rl); 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**

|                    |           | vsota_t_zdravi | vsota_t_močno_propadajoči | pov_t_zdravi | pov_t_močno_propadajoči | pov_p_zdravi | pov_p_močno_propadajoči | pov_m_t_zdravi | pov_m_t_močno_propadajoči | ind_br_zdravi | ind_br_močno_propadajoči | ind_rl_zdravi | ind_rl_močno_propadajoči |
|--------------------|-----------|----------------|---------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|----------------|---------------------------|---------------|--------------------------|---------------|--------------------------|
| Preteklo leto      | Jun       |                |                           |              |                         |              |                         |                |                           |               |                          |               |                          |
|                    | Jul       |                |                           |              |                         |              |                         |                |                           |               |                          |               |                          |
|                    | avg       |                |                           |              |                         |              |                         |                |                           |               |                          |               |                          |
|                    | Sep       |                |                           |              |                         |              |                         |                |                           |               |                          |               |                          |
|                    | okt       |                |                           |              |                         |              |                         |                |                           |               |                          |               |                          |
| Tekoče leto        | Jan       |                |                           | -0,33        |                         | -0,32        |                         | -0,29          |                           | -0,28         |                          |               |                          |
|                    | Feb       |                |                           |              |                         |              |                         | -0,32          |                           |               |                          |               |                          |
|                    | mar       |                |                           |              |                         |              |                         | -0,32          |                           |               |                          |               |                          |
|                    | apr       |                |                           |              |                         |              |                         |                |                           |               |                          |               |                          |
|                    | maj       |                |                           |              |                         |              |                         |                |                           |               |                          |               |                          |
|                    | Jun       |                |                           |              |                         |              |                         |                | 0,31                      | -0,39         |                          |               |                          |
| Sezonske vrednosti | jun*-sep* |                |                           |              |                         |              |                         |                |                           |               |                          |               |                          |
|                    | jan-apr   |                |                           | -0,45        |                         | -0,43        |                         | -0,48          |                           | -0,39         |                          | -0,27         |                          |

Skupina "močno propadajoči" praktično ni pokazala nobene povezave s količinami padavin. Dobili smo en značilen ( $p \leq 0,05$ ) korelacijski koeficient, in sicer za mesec junij pri parametru povprečna površina maksimalne traheje. Odvisnost verjetno izhaja iz posredne povezave med padavinami ter temperaturami, saj je povprečna površina maksimalne traheje visoko korelirala z junijskimi temperaturami (preglednica 6).

Najvišji korelacijski koeficient za posamezni mesec za skupino "zdravi" smo dobili za razmerje med skupno površino vseh trahej ter površino branike za mesec junij. Vrednost korelacijskega koeficiente znaša  $r = -0,39$ , dejansko pa ta vrednost pomeni, več kot je

padavin v juniju, manjše bo razmerje med površino prevodnega tkiva in površino branike – torej prevodno tkivo bo zajemalo manjši del površine branike. Formiranje trahej je v juniju že zaključeno (Gričar, 2008), torej višja vrednost izhaja iz vpliva junijskih padavin na večjo površino branike.

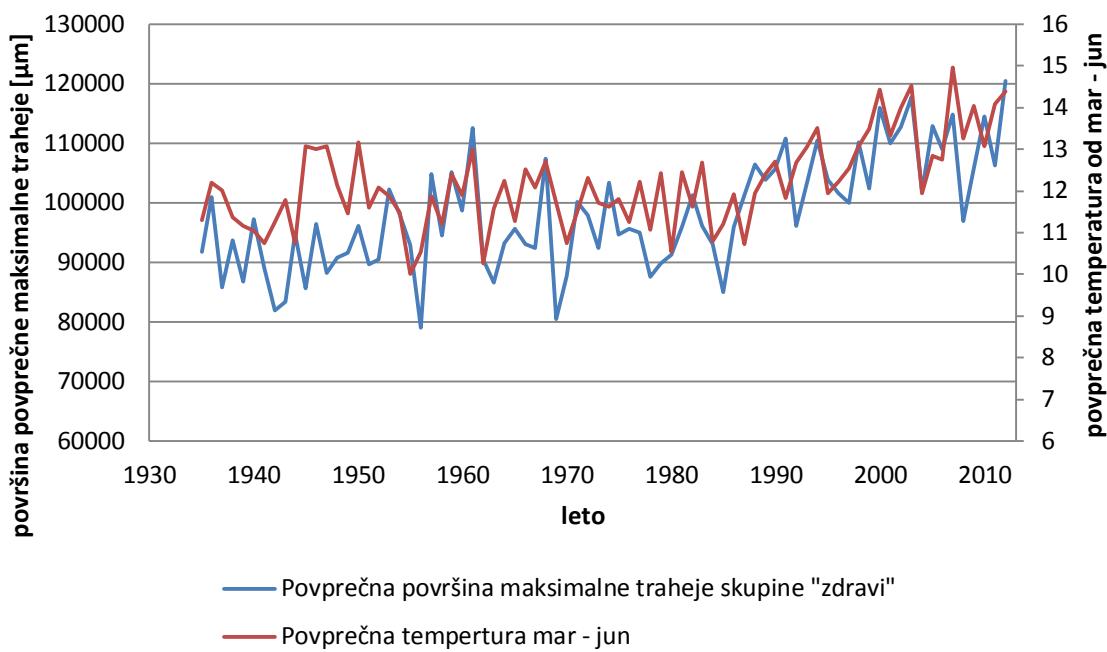
Padavine ob koncu predhodne rastne sezone niso v povezavi s parametri lesne-anatomije, ki smo jih vključili v našo raziskavo. Skupina "zdravi" korelira tudi s količino padavin tik pred pričetkom rastne sezone. Pomembne so januarske padavine, parameter povprečna površina maksimalne traheje je pokazal odvisnost tudi od temperatur v februarju ter marcu. Absolutno najvišji korelacijski koeficient za sestoj iz Mlač smo dobili za parameter povprečna površina maksimalne traheje, in sicer za količine padavin od januarja do aprila ( $r = -0,48$ ). Značilne koeficiente za padavine od januarja do aprila smo dobili za vse parametre razen za površino vseh trahej.

Vsi korelacijski koeficienti za skupino "zdravi" iz Mlač imajo negativen predznak. Torej v primeru nadpovprečnih količin padavin v zimskih ter spomladanskih mesecih bodo drevesa oblikovala prevodne elemente z manjšimi površinami.

#### 4.6 REKONSTRUKCIJA KLIME NA PODLAGI LESNO-ANATOMSKIH PARAMETROV BRANIKE

Raziskovalci različnih strok skušajo ovreči ali dokazati teorijo o človeškem vplivu na segrevanje podnebja. Dendroklimatologi raziskujejo parametre, s katerimi bi lahko rekonstruirali klimo za daljše časovno obdobje v preteklost. V tem poglavju želimo povprečno površino maksimalne traheje izpostaviti kot parameter, ki je pokazal visoko stopnjo korelacije s temperaturami.

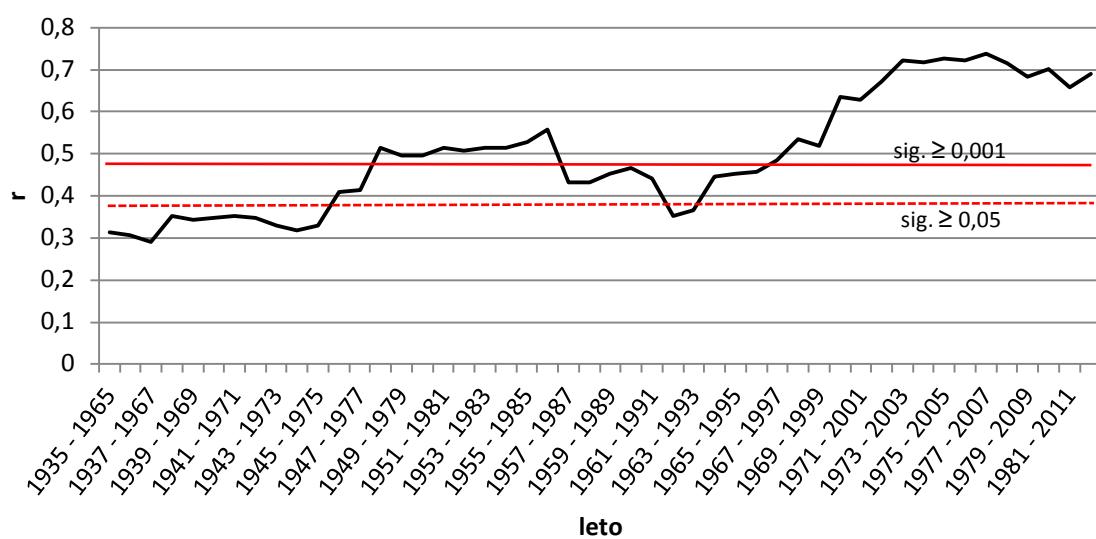
Povprečna površina maksimalne traheje pri skupini "zdravi" iz Mlač korelira s povprečno mesečno temperaturo od marca do junija tekočega leta ( $r = 0,65$ ). Trend parametra povprečna površina maksimalne traheje sovpada s trendom povprečne temperature od marca do junija tekočega leta (slika 14). Predpostavljam, da je nastanek trahej pod direktnim vplivom povprečnih mesečnih temperatur.



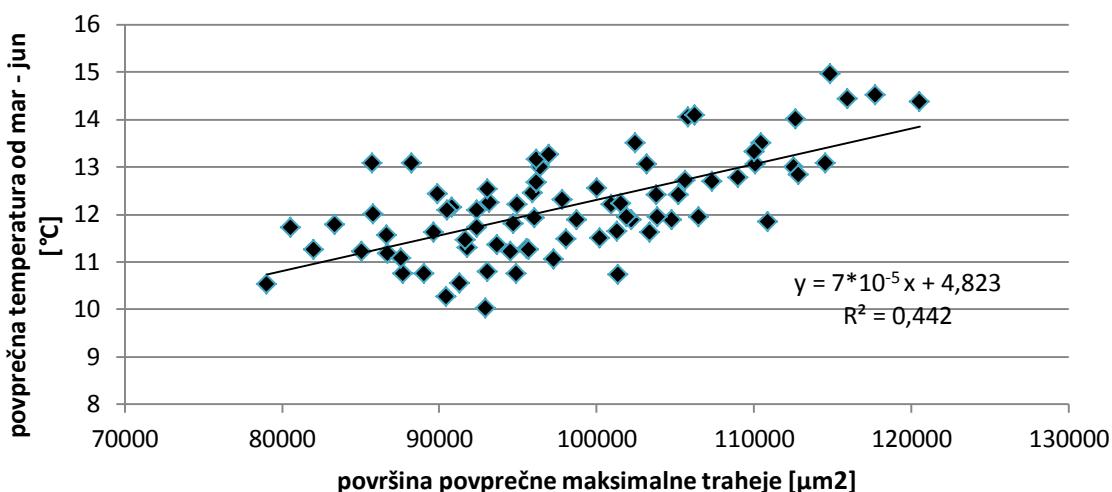
**Slika 13: Časovna vrsta povprečna površina maksimalne traheje za skupino "zdravi" iz Mlač ter povprečna temperatura od marca do junija**

Z drsečim časovnim intervalom s širino okna 30 let smo pokazali, da se vrednost korelacijskega koeficiente v času spreminja (slika 14). Visok korelacijski koeficient sicer ni naključje, vendar se zdi, da se v času veča. Nestabilnost pripisujemo utesnjenim letnicam (glej diskusijo). Porazdeljevanje vrednosti parametra povprečna površina maksimalne traheje glede na povprečno temperaturo od marca do junija nakazuje linearno povezavo (5) med obema parametroma (slika 15). Razsevni diagram, ki kaže ovalen raztros točk, nakazuje linearen odnos med dvema spremenljivkama, kar je predpogoj za izdelavo linearnega modela. Delež pojasnjene variabilnosti znaša 0,44.

$$y = 7 * 10^{-5}x + 4,823 \quad \dots(5)$$



Slika 14: Spreminjanje korelacijskega koeficienta med povprečno temperaturo od marca do junija ter parametrom povprečna površina maksimalne traheje v času z 30-letnim časovnim oknom



Slika 15: Porazdeljevanje vrednosti parametra povprečna površina maksimalne traheje glede na povprečno temperaturo od marca do junija tekočega leta

## 5 RAZPRAVA

### 5.1 RAZLIKE V DENDROKRONOLOŠKIH PARAMETRIH MED RAZLIČNO VITALNIMI DOBI

Med različno vitalnimi dobi smo ovrednotili razlike v širini branike, širini ranega in širini kasnega lesa. Pri vseh treh izmerjenih parametrih smo dobili isti vzorec, ki ga lahko opišemo takole: skupini "zdravi" in "propadajoči" iz Mlač kažeta zelo podoben vzorec priraščanja s podobnimi prirastki do leta 1955, nato skupina "zdravi" prične izkazovati višje vrednosti, vzorec priraščanja pa še naprej sovpada. Skupina "močno propadajoči" iz Cigonce pri vseh treh parametrih kaže višje vrednosti – razen pri nekaj začetnih letih pri krivulji ranega lesa, kar je posledica juvenilne rasti. Vsem trem parametrom – širina branike, širina ranega in kasnega lesa je skupno, da okoli leta 1965 vrednosti za skupino "močno propadajoči" padejo pod vrednosti za skupini "zdravi" in "propadajoči".

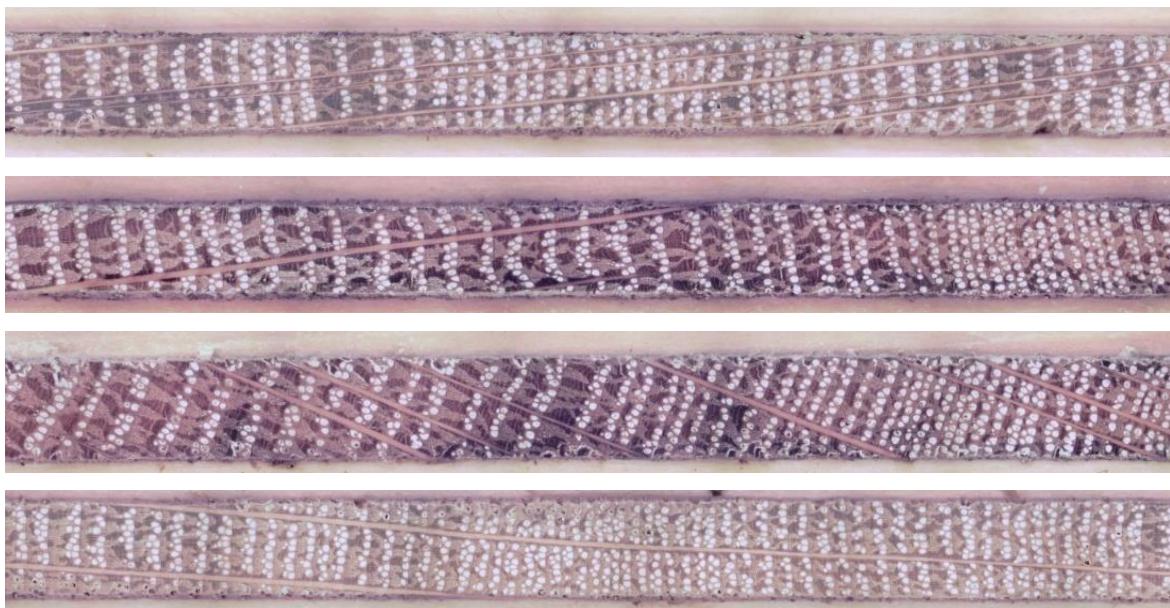
Razcep med skupinama iz Mlač smo skušali pojasniti s temperaturnimi ekstremi, ob katerih bi lahko prišlo do neenakega odziva dreves, vendar pri pregledu literature nismo zasledili podatkov o sušah s tega območja v času od leta 1950 do 1959.

Skupina "močno propadajoči" je izkazovala superiorno rast v primerjavi s skupinama iz Mlač vse do okoli leta 1965. Pri primerjavi sestojev je potrebno biti previden, čeprav gre za zelo podobno fitocenološko združbo in nadmorsko višino, se sestoja razlikujeta v tipu tal, razlikujeta pa se tudi v glavnem klimatskem dejavniku, ki vpliva na rast. Vendar kljub vsemu želimo opozoriti na tezo, ki jo podaja Levanič in sod. (2011), da so drevesa, ki izkazujejo hitrejšo rast v mlajših razvojnih fazah, bolj ranljiva v času sušnih obdobjij v odraslih razvojnih fazah. Ker imajo relativno veliko biomase, morajo za vzdrževanje pretoka vode po večjih trahejah zagotoviti zadostno količino vode za preprečitev kavitacije.

V članku Levanič in sod. (2011) je kot eden od glavnih razlogov umiranja dreves navedeno velikopovršinsko spremenjanje vodnega režima in posledično zmanjšanje nivoja podtalnice. Raziskava o sočasnem sušenju hrastov na bližnjih gričih ne poroča. Čater in

Batič (1999) sta potrdila povezavo med stopnjo vitalnosti in nivojem podtalnice. Podtalnica seveda ni edini faktor, ki vpliva na fiziološko stanje dobov, je pa eden izmed najpomembnejših. Fiziološko oslabljeno in z vodo slabše preskrbljeno drevje ima več možnosti, da podleže drugim stresnim dejavnikom, ki v normalnih okoliščinah sicer ne bi delovali uničajoče (Čater in Batič, 1999). Posledice urejanja odvodnjavanja so vidne tako v padcu širine branike kot tudi v padcu širine kasnega lesa (slika 7). Padca v širini ranega lesa leta 1982 nismo zaznali.

Razlike na nivoju debelinskega priraščanja med omenjenimi skupinami smo opredelili tudi na podlagi odvisnosti med širino ranega in kasnega lesa s širino branike. Vsaka skupina kaže nekoliko drugačne zakonitosti. Tipičen vzorec, ki je sicer značilen za rast venčasto poroznih vrst, smo dobili pri skupini "močno propadajoči". Širine ranega lesa ostajajo podobne tako za ožje kot tudi za najširše branike. Ob večanju širine branike se širina kasnega lesa prav tako povečuje. Pri skupinah "zdravi" in "propadajoči" iz Mlač opazimo, da širini ranega in kasnega lesa podobno naraščata z večanjem širine branike. Širša branika pomeni širši rani in kasni les. Je pa opazna razlika med skupinama iz Mlač v ranem in kasnem lesu. Skupina "zdravi" ima načeloma širši rani kot pa kasni les, kar je nenavadno. Skupina "propadajoči" ima sicer širši kasni les, vendar je odvisnost s širino branike kljub vsem neobičajna, saj se rani les povečuje s širšimi branikami. Domnevamo, da je neobičajna rast posledica utesnjenih letnic, ki so prisotne pri obeh skupinah iz Mlač. Verjetno so bila v preteklosti izpostavljena napadom insektov, saj kažejo značilne vzorce utesnjenih letnic.



**Slika 16: Primeri utesnjenih letnic tako pri skupini "zdravi" kot tudi pri skupini "propadajaoči". Od zgoraj navzdol si sledijo P-6b, Z-4b, Z-9a in Z-7a**

## 5.2 RAZLIKE V LESNO-ANATOMSKIH PARAMETRIH RAZLIČNO VITALNIH SKUPIN DOBOV

Med skupinama "zdravi" iz Mlač ter skupino iz Cigonce smo ovrednotili razlike v različnih lesno-anatomskih parametrih. Primerjav na lesno-anatomski ravni med različnimi starostnimi skupinami – sorodnih ali manj sorodnih taksonov je bilo narejenih že kar nekaj, tudi med različnimi ekotipi in fenotipi. Obstaja pa vrzel raziskav o dinamičnih hidravličnih prilagoditvah v razvoju posameznih dreves ali skupin (Fonti in sod., 2010). Ena redkih raziskav o tej problematiki predstavlja prispevek Levaniča in sod. (2011).

Ugotovili smo, da so značilnosti trahej v večji meri odvisne od pogojev v času nastanka trahej kot pa od pogojev ob koncu prejšnje rastne sezone. Slednje velja tako za rastišče v Mlačah kot tudi za rastišče v Cigonci. O istih ugotovitvah poroča raziskava iz Latvije, ki je prav tako potekala v nižinskih dobovih sestojih na glinenih tleh, vendar precej bolj na severu, na območju severozahodne in centralne Latvije (Matisons in Dauškane, 2009).

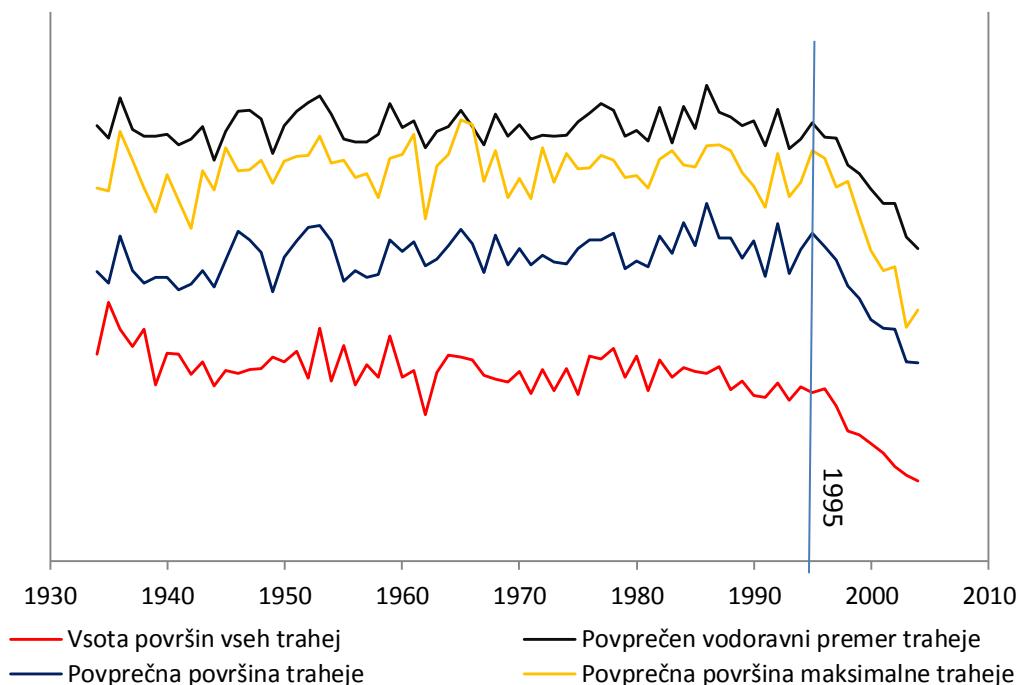
Za parametre povprečna površina traheje, povprečna površina maksimalne traheje in povprečni vodoravni premer traheje smo dobili zelo podoben vzorec razlik med skupinama različno vitalnih dobov. Drevesa skupine "močno propadajoči" iz Cigonce so imela v vseh primerih višje vrednosti parametrov vse do leta 1995, na kar sledi hiter padec, medtem ko vrednosti za "zdrave" iz Mlač ostanejo približno enake. Podobno velja tudi za ostale tri parametre, vendar se je preobrat v trendih zgodil že prej. Skupina "zdravi" je že okoli leta 1980 prehitela skupino "močno propadajoči" v vrednostih za parameter vsota površin trahej. Indeks, ki izraža razmerje med vsoto površin vseh trahej ter površino branike, se je obrnil v prid skupini "zdravi" že pred letom 1960. Indeks, ki izraža razmerje med vsoto površin vseh trahej ter površino ranega lesa, pa se je obrnil v prid skupini "zdravi" šele leta 2000.

Indeks, ki izraža razmerje med vsoto površin vseh trahej ter površino branike, je prvi, ki je nakazal slabše zdravstveno stanje skupine "močno propadajoči". Okoli leta 1960 so vrednosti omenjenega indeksa sicer narastle, vendar se je resnični trend propadanja pokazal šele leta 1982, ko so spremenili vodni režim na območju Cigonce. Leto 1982 je tudi leto, ko parameter vsota površin trahej prične zmanjševati svoje vrednosti (slika 12), vendar se očiten padec zgodi šele leta 1996.

Drevesa iz Cigonce so formirala prevodne elemente z večjimi površinami in premeri, ki so precej bolj podvrženi kavitaciji – procesu, ki prekine prevajanje vode in zmanjša učinkovitost prevajanja vode v drevesni braniki (Tyree in Zimmerman, 2002; Hacke in Sperry, 2001; Cochard, 2006).

Torej leta 1982 je bil na območju Cigonce spremenjen vodni režim, česar rezultat je bil nižji nivo podtalnice. Že istega leta so vidne posledice v padcu absolutne in relativne vrednosti pri površini prevodnega tkiva. Traheje so pod neposrednim vplivom razpoložljive vode, zato so manjše površine pričakovane. Zaradi zmanjšanih širin branik oz. širin kasnega lesa so vrednosti indeksa, ki izraža razmerje med površino prevodnega tkiva ter površino branike, narasle (slika 12). Šele leta 1995 se je učinek propadanja pokazal pri ostalih parametrih. Hrasti so zmanjšanje virov najprej kompenzirali predvsem na širini kasnega lesa oziroma širini branike. Upad vrednosti je viden tudi pri širini ranega

lesa ter vsoti vseh trahej, vendar pa je zmanjševanje počasno in se zdi, kot da drevo čaka na boljše razmere. Pri širini ranega lesa je leta 1995 viden strm padec navzdol.



Slika 17: Prikaz štirih lesno-anatomskih parametrov za skupino iz Cigonce ter izpostavljen letu 1995

Postavlja se vprašanje, ali se je leta 1995 v sestoju v Cigonci zgodilo karkoli nepredvidljivega in škodljivega za drevesa ali pa so drevesa enostavno shirala in niso bila sposobna proizvesti niti enega venca trahej več? Preverili smo padavine in temperature od leta 1991 do 1995 in nismo našli nobenih odstopanj od dolgoletnega povprečja. Prav tako ni nobenih podatkov o pojavu škodljivih insektov ali gliv. Zaključili bomo, da so drevesa leta 1995 najverjetnejše shirala, kar je vidno v padcu parametrov povprečna površina traheje, povprečna površina maksimalne traheje, povprečni premer traheje ter vsota površin trahej, saj so vsi elementi pokazali strm padec vrednosti.

Drevesa iz Cigonce so leta 1995 pokazala trend, ki je vodil v dokončen propad. Z našo lesno-anatomsko analizo smo tako prispevali dodatne razlage in informacije k raziskavi Levaniča in sod. (2011). Potrjujemo njihovo tezo, da večji prevodni elementi pomenijo večje tveganje in manjšo sposobnost odziva na spremembe v okolju (Levanič in sod., 2011). Razvojna in kompetičnska sposobnost dreves je odvisna od njihove zmožnosti

prilagajanja spremembam v okolju in optimiziranja strukture hidravličnih elementov glede na razmere (Fonti in sod., 2010).

Indeks, ki izraža razmerje med površino prevodnega tkiva in površino ranega lesa, se je pokazal kot najmanj primeren za določanje vitalnosti drevesa. V primeru zmanjšanja površine prevodnega tkiva se zmanjša tudi površina ranega lesa, vrednost indeksa se bistveno ne spremeni. Indeks je pokazal trend propadanja šele po letu 2000 (slika 12), ko drevesa niso več proizvedla celotne vrste trahej, ampak le nekaj posameznih. Površina ranega lesa je ostala enaka, vrednost indeksa je narasla.

### 5.3 VPLIV KLIME NA RAST V CIGONCI

Preverili smo, kako se skupine "zdravi", "propadajoči" ter "močno propadajoči" odzivajo na povprečne mesečne temperature in mesečne količine padavin.

Skupina "močno propadajoči" iz Cigonce se na nadpovprečne temperature odziva z zmanjšano širino branike, širino ranega in kasnega lesa ter tudi z vsemi izmerjenimi lesno-anatomskimi parametri. O neugodnem vplivu nadpovprečnih temperatur na vrednosti lesno-anatomskih parametrov poročajo tudi drugi avtorji, npr. García-González in Eckstein (2003) na vlažnem rastišču severozahodnega dela Iberskega polotoka.

Na širino branike in kasnega lesa najbolj vplivajo poletne temperature v rastni sezoni, še posebej avgustovske. Podobno ugotavlja tudi Cerar (2007), ki je izvedel podobno raziskavo na hrastih z Dolenjske, vendar so v njegovi raziskavi najbolj negativen vpliv pokazale junijске temperature. Na širino ranega lesa pri skupini "močno propadajoči" najbolj značilno vplivajo temperature avgusta ob koncu pretekle rastne sezone. Podobno ugotavlja Tardif in Conciatori (2006). Na širino ranega lesa pomembno vplivajo tudi temperature v času formiranja ranega lesa in tik pred začetkom rastne sezone – nekje od februarja do maja. V naši raziskavi smo dobili visok avgustovski korelacijski koeficient ( $r=-0,52$ ), ki ga ne znamo razložiti, saj se formiranje ranega lesa konča že maja (Gričar, 2008; Sass-Klaassen in sod., 2011).

Vsota površin trahej se je za skupino "močno propadajoči" iz Cigonce pokazala kot parameter, ki je najbolj odvisen od povprečnih mesečnih temperatur. Njegove vrednosti so negativne za vse mesece. Izstopa vrednost za mesec avgust ob koncu predhodne rastne sezone ( $r = -0,57$ ). Druga najvišja vrednost je vrednost za mesec maj ( $r = -0,48$ ). To je mesec, v katerem je tvorba trahej najbolj intenzivna. Visoke korelacijske koeficiente smo dobili tudi za mesec junij. Kako junijске temperature vplivajo na traheje ranega lesa, je težko razložiti. Najbolj vroč junij leta 1962 je opazen v strmem padcu vseh parametrov anatomije lesa (slika 17), vendar pa se ta vzorec nato ne ponavlja tudi pri ostalih vročih junijih.

Negativen vpliv nadpovprečnih temperatur na vrednosti dendrokronoloških parametrov pogosto zasledimo v literaturi (npr. Cerar, 2007; García-González in Eckstein, 2003), vendar še nihče ni podal zadovoljive razlage. Domnevamo, da nadpovprečne temperature na zmanjšano rast vplivajo posredno, saj ob višjih temperaturah navadno ni padavin, kar pomeni nižji nivo podtalnice. Ko podtalnica pade pod nivo, ki ga drevo ne doseže več, izgubi vpliv na rast drevesa in pomembnejšo vlogo prevzamejo padavine. Za trden zaključek bi bilo potrebno preveriti neposredno povezavo med višino podtalnice ter izmerjenimi podatki.

Skupina "močno propadajoči" ne korelira s padavinami. Dobili smo le en značilen koeficient, ki ga pripisujemo posredni povezavi med padavinami ter temperaturami. O podobnem odzivu hrasta doba na mesečne količine padavin poročata Matisons in Dauškane (2009). Pričakovali smo, da bodo lesno-anatomski parametri bolje korelirali s padavinami, vendar pa razpoložljiva voda ni omejujoč faktor rasti. Amfiglejna tla nastanejo pod vplivom površinske in podtalne zastajajoče vode, torej ne gre za sušno rastišče.

#### 5.4 VPLIV KLIME NA RAST V MLAČAH

Skupini "zdravih" in "propadajočih" dreves iz Mlač se na nadpovprečne temperature odzivata s širšimi branikami, ranim in kasnim lesom, vendar pa so korelacijski koeficienti nižji kot za skupino "močno propadajoči" iz Cigonce. Podobno dobimo pri skupini

"zdravi" pozitivno odvisnost tudi med povprečnimi mesečnimi temperaturami ter parametri lesne anatomije. Skupini iz Mlač se odzivata tudi na padavine, negativno odvisnost dobimo z elementi lesne anatomije, pozitivno pa z dendrokronološkimi elementi.

Širina branike in širina kasnega lesa najmočneje korelirata s temperaturami v času rastne sezone, in sicer v juliju in avgustu. Širina ranega lesa pa je odvisna predvsem od temperatur ob koncu predhodne rastne sezone ter temperatur v maju. Odvisnost ranega lesa od razmer ob koncu predhodne rastne sezone izhaja iz značilnosti rasti hrastov, ki pričnejo s formiranjem ranega lesa še pred odprtjem brstov, torej preden pride do fotosintetske aktivnosti (Wareing, 1951; Aloni 1995), čeprav nekatere novejše raziskave ugotavlja, da se brsti odpirajo sočasno s formiranjem prvih trahej (npr. Sass-Klassen in sod., 2011). Aloni (1991) je poročal, da naj bi se avksin, ki je potreben za začetek kambialne rasti, nakopičil že v času prejšnje rastne sezone.

Skupini "propadajoči" in "zdravi" sta pokazali zelo podobne rezultate. Pri obeh skupinah so pomembne temperature ob koncu prejšnje rastne sezone ter v poletnih mesecih. Najopaznejša razlika je ta, da kasni les pri skupini "propadajoči" ne korelira s povprečnimi temperaturami, koreacijski koeficienti za rani les pa so konstantno višji kot pri skupini "zdravi". Kljub dejству, da sta skupini izkazovali podobne širine branik, se zdi, da sta imeli drugačno strategijo rasti. Domnevamo, da je skupina "propadajoči" več energije vložila v formiranje ranega lesa in prevodnih elementov, ki so bistveni za preživetje. Domnevamo tudi, da je nižja odzivnost ranega lesa pri skupini "zdravi" povezana z neobičajnim vzorcem priraščanja, pri katerem je rani les načeloma širši od kasnega lesa (slika 8).

Nadpovprečne temperature kažejo pozitiven vpliv na vrednosti lesno-anatomskih parametrov pri skupini "zdravi". Najvišji koreacijski koeficient dobimo za parameter površina povprečne traheje za mesec april ( $r = 0,60$ ). Visoke koreacijske koeficiente za temperaturo v mesecu aprilu dobimo tudi za parameter povprečni premer traheje ( $r = 0,57$ ). April je mesec, ko poteka aktivno formiranje prevodnih elementov in domnevamo, da temperatura vpliva na hitrost formiranja trahej. Absolutno najvišji koreacijski koeficient smo dobili za parameter povprečna površina maksimalne traheje za obdobje od marca do junija ( $r = 0,65$ ). Zelo podobne rezultate so dobili avtorji raziskave, ki je zajemala različna

dobova rastišča na njihovi severni arealni meji v Latviji na glinenih tleh. Najvišje korelacijske koeficiente so prav tako dobili med povprečnimi temperaturami zimskih in spomladanskih mesecev ter povprečno površino traheje. Izstopale so vrednosti za mesec april in marec ter za celotno sezono, v kateri poteka formiranje trahej (Matisons in Dauškane, 2009). Omenjena ter naša raziskava imata skupno tudi, da na značilnosti trahej v veliki meri vplivajo temperature v času poletnih mesecev v prejšnji rastni sezoni. Strinjam se z njihovo razlagom, da je razlog verjetno v dejstvu, da ob ugodnih pogojih pride do večje zaloge hrani, ki ugodno vplivajo na večje dimenzije prevodnih elementov v naslednji rastni sezoni.

Postavlja se vprašanje, zakaj parameter povprečna površina maksimalne traheje tako dobro zajame klimatski signal, kljub temu da je sestavljena iz povprečja le šestih oz. petih vzorcev? Znano je dejstvo, da hrasti vsako leto, dokler so živi, ne glede na fiziološko stanje in vremenske razmere oblikujejo vsaj eno vrsto trahej ranega lesa, oblika in velikost teh trahej pa je očitno močno pod vplivom razmer v okolju. Zelo dobro razLAGO na naše vprašanje podaja raziskava (García-González in Fonti, 2006), kjer so ugotovili, da različno velike traheje zajamejo klimatski signal različno dobro. Glede na njihove ugotovitve predlagajo, da bi bilo bolj smiselno kategorizirati traheje glede na površino, kar bi izboljšalo iskanje klimatskega signala v trahejah ranega lesa. V omenjeni raziskavi so klimatski signal najbolje zajele prav največje traheje, med tem ko so z dodajanjem manjših izgubili klimatski signal (García-González in Fonti, 2006). Upravičeno domnevamo, da smo v naši raziskavi izgubili pomembne informacije zaradi prenizko postavljenega filtra. Pri meritvah smo se pravzaprav močno trudili, da bi izmerili tudi čim več manjših trahej, saj smo domnevali, da bomo tako bolje zajeli skupni klimatski signal.

Skupini "zdravi" in "propadajoči" se pozitivno odzivata na junajske padavine. O isti odvisnosti poroča tudi Cerar (2007) za hraste na Dolenjskem. Odvisnost med padavinami ter različnimi lesno-anatomskimi parametri pa je izključno negativna. Odvisnosti nismo zaznali pri parametru vsota površin trahej, kar pomeni, da padavine vplivajo na značilnosti prevodnega tkiva, ne pa tudi na njegovo skupno površino. V primeru nadpovprečnih padavin v času nastajanja trahej pričakujemo prevodne elemente z manjšimi površinami. Spomladanske padavine so s povprečno površino traheje dobro povezali tudi v nekaterih

drugih raziskavah (St. George in Nielsen, 2000; García-González in Eckstein, 2003; García-González in Fonti, 2008). Fonti in García-González (2008) sta prav tako ugotovila izrazito negativno odvisnost za količino padavin v aprilu in maju. Avtorja nista podala nobene razlage za ta fenomen, predlagata pa dodatne raziskave z natančnim spremeljanjem aktivnosti kambija ter fenologije dreves.

Glede na ugotovitve ostalih avtorjev bi pričakovali, da padavine ugodno vplivajo na dimenzije trahej. Traheje nastanejo neposredno pod vplivom razpoložljive vode (npr. García-González in Eckstein, 2003). Najprej se formira tanjša nelognificirana primarna celična stena, ki se napne pod pritiskom turgorja ter sprosti pod vplivom regulatorjev rasti. Torej turgor neposredno vpliva na značilnosti trahej. Domnevamo, da razлага za neugodni vpliv padavin na površine posameznih trahej izhaja iz povezav med koncentracijami avksina, višino podtalnice, padavinami in mogoče tudi življenskimi strategijami dreves, ki bi lahko bila nagnjena k tvorjenju manjših trahej, ki so manj podvržene zračni emboliji. Kot rečeno, v ozadju se skrivajo procesi, ki jih bo potrebno še raziskati.

Mnogi avtorji so poročali, da je najmočnejši skupni klimatski signal pri hrastih v kasnem lesu (npr. Eckstein in Schmidt (1974), Zhang (1997) in Nola (1996)). Naša raziskava to ugotovitev delno potrjuje, saj so tudi pri skupini "zdravi" vrednosti korelacijskih koeficientov največji za parameter kasni les. Kakorkoli, pri skupinah "propadajoči" in "močno propadajoči" je klimatski signal najmočnejši v kasnem lesu. Domnevamo, da zakonitost, da je klimatski signal najbolj izražen v kasnem lesu, velja le za drevesa, ki niso pod stresom in niso v fazi propadanja.

## 5.5 LESNO-ANATOMSKI PARAMETRI KOT ORODJE ZA REKONSTRUKCIJO KLIMATSKIH SPREMENLJIVK

Rekonstrukcije padavin, temperatur, rečnih pretokov in drugih spremenljivk klime so pomemben vir podatkov, s katerimi preučujemo naravno variabilnost podnebja (Meko in sod., 2011). Natančni podatki o klimi v preteklosti so bistveni pri izdelovanju scenarijev sprememb klime v prihodnosti (Fonti in García-González, 2008). Najpogosteje za

rekonstrukcijo klimatskih spremenljivk uporabimo širino branike, že nekaj časa pa se preizkušajo metode, s katerimi želimo klimatske in okoljske signale pridobiti tudi iz dimenzij prevodnih elementov (Fonti in sod., 2010). García-González in Eckstein (2003) poročata, da lahko s povprečno površino traheje ranega lesa rekonstruiramo padavine v spomladanskem obdobju.

V naši raziskavi smo proučili možnost uporabe parametra povprečna površina maksimalne traheje za rekonstrukcijo klimatskih spremenljivk, saj visoko korelira s povprečno temperaturo od marca do junija. Omenjen parameter je pokazal visoko stopnjo odvisnosti od pozno spomladanskih temperatur že v nekaterih drugih raziskavah (npr. Tardif in Conciatori, 2006; Matisons in Dauškane, 2009).

Povprečna površina maksimalne traheje se je pokazala kot obetaven parameter, ki bi ga lahko uporabili za rekonstrukcijo povprečne temperature od marca do junija tekočega leta. Razsevni diagram (slika 15), ki zajema vrednosti obeh spremenljivk, je nakazal linearen odnos med obema parametroma, prav tako pa imata obe spremenljivki sovpadajoč trend. Torej tako povprečna površina maksimalne traheje kot tudi temperature kažejo trend naraščanja v zadnjih 50-ih letih (Slika 13). O podobnih rezultatih poročajo tudi nekateri drugi avtorji (Matisons in Dauškane, 2009; Walther in sod., 2002). Vrednosti korelacijskih koeficientov obravnawanega parametra se v času spreminja, vendar razlog nestabilnosti parametra v času vidimo v zelo ozkih branikah; saj se je zadnje obdobje izjemno ozkih branik v skupini "zdravi" končalo ravno nekje leta 1960, takrat pa se pričnejo višati tudi vrednosti korelacijskega koeficiente na sliki 14. Sicer pa so tudi nekateri drugi korelacijski koeficienti pokazali visoke vrednosti in bi jih bilo vredno proučiti z vidika uporabe v rekonstrukciji klimatskih parametrov.

Obstaja tudi še nekaj rezerv, s katerimi bi lahko še očistili klimatski signal v dimenzijah trahej. Povečati je potrebno število vzorcev, saj sta naši skupini zajemali le šest oziroma pet primerkov. Povečamo lahko višino okna, saj bi tako zajeli več trahej, kar bi stabiliziralo klimatski signal. Z 2,5-kratno povečavo smo v naši raziskavi zajeli približno 8,3 mm širine izvrtka v tangencialni smeri. García-González in Fonti (2008) poročata o minimalni tangencialni širini 12 mm. Že sama izbira rastišča veliko pripomore k uspešni

raziskavi. Klimatski signal je najmočnejši na ekstremnih rastiščih, kjer so padavine oz. temperature omejujoč dejavnik rasti. Kljub vsemu nekateri avtorji (npr. Fonti in sod., 2010) predvidevajo, da močan skupni klimatski signal v dimenzijah trahej ni omejen le na skrajnostna rastišča. Z napredovanjem lesno-anatomskih tehnik bo v prihodnje možno v analizo zajeti tudi manjše traheje, ki so ključne za celostni zajem klimatskega signala (García-González in Eckstein, 2003).

Uporaba lesno-anatomskih parametrov za rekonstrukcijo klime ima tudi svoje slabosti. V primerjavi z merjenjem širin branik je postopek merjenja trahej sorazmerno zamuden. Vendar so kljub vsemu že nekaj let v uporabi avtomatizirani načini merjenja površin trahej (García-González in Fonti, 2008). Tardif in Conciatori (2006) poročata o posredni povezavi med vsemi analiziranimi parametri lesne anatomije ter širino branike pri vrstah *Quercus rubra* in *Quercus alba*. Problem multikolinearnosti izpostavlja tudi Wimmer (2002). Sami tovrstnih povezav nismo preverili, vendar njihove ugotovitve postavljajo pod vprašaj rekonstrukcijo klimatskih spremenljivk na podlagi lesno-anatomskih parametrov. Isti avtorji predlagajo, naj bo lesna anatomija v prvi vrsti namenjena odkrivanju različnih geomorfoloških dogodkov (npr. poplave), širina branike, širina ranega in kasnega lesa pa naj zaradi preprostosti merjenja ostanejo primarni vir za rekonstrukcijo klimatskih dejavnikov. Širina branike še vedno velja za parameter, ki bolje zajame skupni klimatski signal kot povprečna površina traheje (npr. Pumijumnong in Park, 1999; Fonti in García-González, 2004; Tardif in Conciatori, 2006), vendar pa so vrednosti zaradi avtokorelacije odvisne tudi od razmer v preteklem letu. Za širine branik se tudi predpostavlja, da so bolj podvržene različnim motečim dejavnikom v sestoju, kot so npr. napadi insektov in sestojna dinamika (Fonti in García-González, 2008). Avtorja iste raziskave ugotavlja, da klimatski signal v dimenzijah trahej ni omejen le na robna rastišča in je na rastiščih zmerne cone signal bolj konsistenten tudi v primeru, ko drevesa prihajajo z različnih rastišč. Domneva se, da je tudi v primeru, ko je rast drevesa omejena z več omejujočimi faktorji, nastanek trahej vedno odvisen od klimatskih pogojev. Tudi Matisons in Dauškane (2009) se strinjata o primernosti uporabe prevodnih elementov na področju rekonstrukcije klime.

Različne raziskave pogosto prihajajo do nasprotujočih si rezultatov. Kadar imamo na rastišču en omejujoči faktor in nek parameter zelo dobro zajame klimatski signal, z

rekonstrukcijo ne bi smelo biti težav. Vendar pa so ekosistemi kompleksni sistemi in verjamemo, da na rast v večini primerov vpliva več različnih faktorjev. Poleg padavin in temperatur so lahko faktorji tudi oblačnost, vlaga v zraku, ipd. Pri vsaki raziskavi je zatorej pomembno, da podrobno opišemo rastišče in razmere, ki veljajo za naš raziskovalni objekt. V naši raziskavi smo dobili nekaj visokih korelacijskih koeficientov med temperaturami ter parametri lesne anatomije in smo prepričani, da ima področje velik potencial.

K nadaljnemu raziskovanju primernosti prevodnih elementov za rekonstrukcijo klimatskih spremenljivk spodbuja tudi raziskava s severa Španije, saj so ugotovili, da je odziv dobovih dreves na klimatske spremenljivke starostno specifičen (Rozas, 2005). Primerjali so klimatski odziv treh skupin; in sicer skupina dreves mlajših od 120 let, skupina odraslih dreves med 120 in 225 let ter skupina starih dreves med 250 in 470 let. Odrasla in stara drevesa so pokazala negativen odziv na januarske ter pozitiven na julijske temperature. Skupina mladih dreves pa se je v največji meri odzvala na junijске temperature. Zaradi različnih odzivov starostnih skupin dobovih dreves je širina branike v tem primeru manj primeren parameter za rekonstrukcijo klime. Zanimivo bi bilo preveriti, ali imajo te skupine dreves starostno-specifični odziv na temperature tudi v dimenzijah prevodnih elementov.

## 6 SKLEPI

Razlike med različno vitalnimi skupinami dobov so se pokazale na vseh ravneh. Skupini "zdravi" in "propadajoči" iz Mlač sta kazali podobne vrednosti priraščanja do leta 1955, nato je skupina "zdravi" pričela izkazovati višje vrednosti. Skupina "močno propadajočih" dobov iz Cigonce je do okoli leta 1965 izkazovala širše širine branik, ranega in kasnega lesa kot skupini iz Mlač, strm padec vrednosti se je zgodil leta 1982, ko je bilo na območju Cigonce izvedeno velikopovršinsko odvodnjavanje.

Drevesa skupine "močno propadajoči" so imela v primerjavi z "zdravimi" višje vrednosti povprečnih ter maksimalnih površin in premerov trahej vse do leta 1995, ko so vrednosti za skupino "močno propadajoči" hitro padle. Posledice spremembe vodnega režima leta 1982 na območju Cigonce so še istega leta vidne v padcu absolutne in relativne vrednosti za površino prevodnega tkiva. Šele leta 1995 se je učinek propadanja pokazal pri ostalih lesno-anatomskih parametrih.

Skupina "močno propadajoči" iz Cigonce se odziva le na povprečne mesečne in sezonske temperature. Korelacijski koeficienti so konstantno negativni. Najvišje vrednosti dobimo za mesec avgust. Od dendrokronoloških parametrov je največjo odzivnost pokazal rani les, pri lesno-anatomskih parametrih pa vsota površin trahej.

Skupini "zdravi" in "propadajoči" iz Mlač se odzivata na temperature in padavine. Najvišji korelacijski koeficient za posamezni mesec smo dobili za mesec april za parameter povprečna površina traheje. Junijске padavine ugodno vplivajo na širino branike in širino ranega in kasnega lesa za skupini iz Mlač. Obratno padavine od januarja do aprila neugodno vplivajo na površine ter premere trahej, na vsoto trahej pa padavine ne vplivajo.

Lesno-anatomski parameter povprečna površina maksimalne traheje se je pokazal kot primeren za rekonstrukcijo povprečne temperature od marca do junija. Parameter in temperature imajo sovpadajoč trend, razsevni diagram je nakazal linearno odvisnost obeh spremenljivk.

## 7 POVZETEK

### 7.1 POVZETEK

Z našo nalogo smo želeli prispevati k raziskovanju procesov, ki vplivajo na rast dobovih sestojev in so tako bistveni tudi pri iskanju vzrokov propadanja. Dob je najpomembnejši hrast v Evropi (Čater, 2008), o njegovem sušenju pa poročajo praktično na celotnem območju njegovega areala (Čater in Batič, 1999). Želeli smo raziskati, zakaj so nekatera drevesa v sestoju manj vitalna kot druga, čeprav so izpostavljena navidezno istim pogojem.

V raziskavo smo zajeli tri skupine z dveh rastišč. Skupini "zdravih" in "propadajočih" dobov prihajata iz Mlač, skupina "močno propadajočih" pa iz sestoja Cigonca blizu Slovenske Bistrike. Oba sestoja se nahajata na rastišču sintaksona *Querco-Carpinetum*, prav tako imata podobno nadmorsko višino okoli 300 m, vendar je med sestojema sicer precej razlik. Sestoj v Mlačah se nahaja na rahlo privzdignjeni legi, površje je razgibano, tla so evtrična rjava na laporju. Sestoj v Cigonci leži v ravnini, tla so tipa amfiglej na pleistocenskih glinah in ilovicah. Leta 1982 je bilo v okolici sestoja v Cigonci izvedeno veliko površinsko odvodnjavanje, ki je vodilo do propada nekaterih dreves v okoliških sestojih. Objekta sta med sabo oddaljena približno 8 km in sta bila posledično izpostavljena zelo podobnim vremenskim razmeram. Najtoplejši in hkrati tudi najbolj deževen mesec je julij.

V sestoju v Mlačah smo po dogovoru z ZGS odvzeli izvrtke oktobra 2012, koluti iz Cigonce so bili odvzeti že leta 2004. Opravili smo standardni postopek priprave materiala: sušenje, vpenjanje izvrtkov v letvice ter brušenje. Izvrtke za dendrokronološko analizo smo skenirali s sistemom ATRICS ter opravili meritve širin branik, ranega in kasnega lesa v programu WinDendro. Dokončno sinhronizacijo smo opravili v PAST-4, standardizacijo pa v programu ARSTAN. Material, ki smo ga uporabili v lesno-anatomski analizi, smo po brušenju obdelali z diamantnim rezilom na Albert-Ludwigovi univerzi v Freiburgu, katedra za rast gozdov, kjer smo opravili tudi meritve z namensko napisanim programom *Zellstruktur*.

Podatke o klimi smo pridobili od Agencije Republike Slovenije za okolje. Podatke o povprečnih mesečnih temperaturah za Maribor smo s pomočjo istovrstnih podatkov za Ljubljano z linearno regresijo raztegnili do leta 1900. Z istim postopkom smo želeli raztegniti tudi podatke o mesečnih padavinah za območje Slovenskih Konjic, vendar je bil delež pojasnjene variance v modelu premajhen. Tako smo v nadaljnji analizi uporabili podatke o mesečnih količinah padavin za območje Slovenske Konjice od leta 1961 do 2012.

S standardizacijo časovnih vrst širin branik ter širin kasnega lesa smo odstranili vplive, ki niso posledica delovanja klime. Uporabili smo modificirano negativno eksponentno funkcijo. Pri iskanju odvisnosti od klimatskih podatkov smo tako uporabili standardizirane kronologije širin branik in kasnega lesa ter izmerjene širine ranega lesa.

Skupini iz Mlač sta kazali podobno priraščanja do leta 1955, nato je skupina "zdravi" pričela izkazovati višje vrednosti kot skupina "propadajoči", potek krivulj pa je ostal skladen. Skupina "močno propadajoči" iz Cigonce je izkazovala širše širine branik ranega in kasnega lesa do leta okoli 1965. Za krivulji širin branik in širin kasnega lesa je značilen trend padanje vrednosti, strm padec se je zgodil leta 1982, ko je bilo na območju Cigonce izvedeno velikopovršinsko odvodnjavanje.

Razlike med skupino "zdravi" iz Mlač ter skupino "močno propadajoči" iz Cigonce v elementih lesne-anatomije so prav tako očitne. Skupina "močno propadajoči" je imela v primerjavi s skupino "zdravi" višje vrednosti povprečnih ter maksimalnih površin in premerov trahej vse do leta 1995, ko so vrednosti parametrov hitro padle. Parameter vsota površin trahej se je pričel zmanjševati že leta 1982, njegov hiter padec vrednosti se zgodi leta 1996. Indeks, ki izraža razmerje med vsoto površin trahej ter površino branike, je prvi nakazal razlike v vitalnosti, saj je njegova vrednost povezana s širino branike, ki pa je za skupino "močno propadajoči" pričela padati že pred letom 1982. Najmanj primeren parameter za določanje vitalnost je indeks, ki izraža razmerje med vsoto površin trahej in površino ranega lesa, saj se ob spremembami razmer v okolju podobno odzivata tako števec kot imenovalec tega indeksa.

Torej je sprememba vodnega režima leta 1982 povzročila padec podtalnice na območju Cigonce, kar je pri "močno propadajočih" drevesih najprej vidno v širini branike, širini kasnega lesa ter tudi v skupni površini prevodnega tkiva. Šele leta 1995 so znaki propadanja vidni tudi v zmanjšanih dimenzijah prevodnih elementov.

Drevesa v skupini "močno propadajoči" se značilno odzivajo na povprečne mesečne in sezonske temperature. Odvisnost je vidna tako v širinah branike, širinah ranega in kasnega lesa, kot tudi v dimenzijah in značilnostih prevodnih elementov. Korelacijski koeficienti so konstantno negativni. Širina branike in širina kasnega lesa se najbolj odzivata na temperature v mesecu avgustu tekočega leta. Širina ranega lesa ter lesno-anatomski parametri pa se najbolj značilno odzivajo na temperature v avgustu ob koncu pretekle rastne sezone. Od dendrokronoloških parametrov je največjo odzivnost pokazal rani les, pri lesno-anatomskih parametrih pa vsota površin trahej. Pri iskanju odvisnosti med rastjo v Cigonci in razpoložljivimi padavinami nismo odkrili nobene zakonitosti. Smatramo, da padavine zaradi narave rastišča niso omejujoč faktor rast.

Skupini "zdravi" in "propadajoči" iz Mlač se odzivata tako na temperature kot tudi na padavine. Zanimivo je, da so lesno-anatomski parametri pokazali višjo odvisnost od temperatur kot dendrokronološki parametri. Najvišji korelacijski koeficient za posamezni mesec smo dobili za povprečno temperaturo v mesecu aprilu ( $r = 0,60$ ) za parameter povprečna površina traheje. Zelo pomembne so tudi temperature ob koncu prejšnje rastne sezone v juliju in avgustu. Padavine v juniju ugodno vplivajo na širine branik ter širine ranega in kasnega lesa. Obratno smo pri vrednotenju vpliva padavin na vrednosti lesno-anatomskih parametrov dobili negativno odvisnost. Padavine od januarja do aprila neugodno vplivajo na površine ter premere trahej. Korelacijski koeficient znaša  $r = -0,48$  (za parameter povprečna površina maksimalne traheje). Pri skupini "zdravi" padavine ne vplivajo na skupno površino vseh trahej.

Za konec smo proučili tudi možnost uporabe parametra povprečna površina maksimalne traheje za rekonstrukcijo povprečne temperature od marca do junija. Vrednost korelacijskega koeficiente med omenjenima spremenljivkama je znašala 0,65. Domnevamo, da sta spremenljivki močno povezani, saj imata skladen trend. Razsevni

diagram je nakazal linearno povezavo med obema spremenljivkama, kar je predpogoj za izdelavo linearnega modela. Mnenja o primernosti lesno-anatomskih parametrov za rekonstrukcijo klimatskih spremenljivk so sicer deljena. Glavni pomisleni se nanašajo na še vedno veliko porabo časa pri merjenju prevodnega tkiva ter na prisotnost multikolinearnosti med dendrokronološkimi ter lesno-anatomskimi spremenljivkami. Vendar kljub vsemu ugotavljam, da ima področje velik potencial. Ob primerni izbiri rastišča ter natančnih meritvah lahko v prihodnosti pričakujemo zelo dobre rekonstrukcije klimatskih spremenljivk na podlagi lesno-anatomskih parametrov. Domnevamo, da bi za sestoj v Mlačah bolje zajeli klimatski signal, če bi upoštevali le največje traheje v vsaki braniki, saj je parameter povprečna površina maksimalne traheje, ki je iz vsake branike upošteval le največjo trahejo, podobno dobro ali še bolje zajel klimatski signal kot parameter povprečna površina traheje, ki je zajel vse traheje nad velikostjo 10.000 µm.

## 7.2 SUMMARY

In our research we have explored the processes driving the growth of pedunculate oaks (*Quercus robur*) which are essential to understand oak decline in recent years. Pedunculate oak is the most important oak in Europe (Čater, 2008), but its decline has been reported from the whole of its natural distribution (Čater in Batič, 1999). We were interested in reasons why some trees show vitality while others show dieback, even though both seem to be exposed to the same environment.

Three different groups from two sites were included in our research. "Vital" and "Declining" groups come from the forest stand in Mlače; group "Strongly Declining" comes from the forest stand called "Cigonca" near Slovenska Bistrica. Both sites are represented by the forest association *Querco-Carpinetum* and by similar height above sea level, but there are also many differences between both study areas. The surface in Cigonca is plane, the soil type is deep, seasonally saturated and strongly gleyed (amphigleys) on alluvial loams. In Mlače, the surface is uneven on slightly hilly location, the soil type is eutric brown soil on marl. In 1982, large-scale drainage manipulations happened on nearby farmland, and soon afterwards a dieback of nearby forest was observed. Our experimental

objects are located within 8 kilometers and were therefore exposed to similar weather conditions. The warmest and at the same time the wettest month is July.

After an arrangement with Slovenia Forest Service, trees from Mlače were cored in October 2012. Cross sections from Cigonca were sampled in 2004. We followed the standard dendrochronological procedure from material preparation: drying, fitting in holders and sanding. Cores were scanned with ATRICS system. Ring width (RW), early (EW) and latewood width (LW) measurements were carried out in WinDendro. The final synchronization was done in PAST-4, the standardization was performed with ARSTAN. Using the standardization process, non-climatic factors were removed from time series of RW and LW. Modified negative exponential curve was used in the standardization process. The material used in wood-anatomy analysis was sanded and treated with Ultra-precise single-point diamond flycutter at the Institute for Forest Growth in Freiburg. Measurements of wood-anatomy were carried out in Freiburg, using the programme *Zellstruktur* owned by the Institute for Forest Growth in Freiburg.

We received climate data from Slovene Environmental Agency (ARSO). Temperature data for Maribor were extended back in time till 1900 using data from Ljubljana and linear regression. Using the same principle, we tried to extend precipitation data for Slovenske Konjice as well, but the unexplained variances were too high. Therefore only the data for monthly precipitation from 1961 to 2012 were used in analysis.

The differences between differently vital groups were determined in diameter increment and wood-anatomical features. "Declining" and "Vital" groups from Mlače were showing very similar values of RW, EW and LW till the year 1955, after which the "Vital" group started to show higher values, but the synchronicity between series was still obvious. The group "Strongly Declining" from Cigonca was showing higher values in all three dendrochronological variables (RW, EW and LW) till 1965. For RW and LW chronologies from Cigonca, a decrease in values is visible after the juvenile phase, but obvious fall in values is visible in 1982, when large-scale drainage manipulations happened on nearby farmland.

The differences between "Vital" group from Mlače and "Strongly Declining" group from Cigonca were also obvious in wood-anatomical features. Comparing to the "Vital" group from Mlače, the group from Cigonca had constantly higher values in mean vessel area (MVA), maximal vessel area (MxVA) and mean vessel diameter (MVD) till the year 1995, when all the values for Cigonca drastically dropped. Parallel behavior of chronologies from both sites are visible. Parameter total vessel area (TVA) started to drop in 1982, but a more obvious fall in values happened in 1996. Index, expressing the relation between (TVA) and ring area (RA) (abbreviation for index: TVA/RA), first indicated the differences in vitality due to connection to RW, which has started to decrease for "Strongly Declining" group from Cigonca before 1982. The least suitable for demonstrating the vitality of trees was the index that demonstrated the relation between TVA and earlywood area (EA) (abbreviation for index: TVA/EA). In case of changes in environment, the counter and denominator of TVA/EA react similar, so index values stay approximately the same.

Large-scale drainage manipulations and afterwards a decrease in the groundwater table in Cigonca was first visible in RW, LW and also TVA. Only in 1995 were the signs of dieback visible in diminished dimensions of conductive elements.

According to the fact that all parameters measured in trees from Cigonca showed constantly higher values than "Vital" group from Mlače, at least till some point, we agree with the statement given by Levanič et al. (2011) that trees that were growing more slowly at the time of their younger phases, have better ability to adapt to changes in their environment and therefore a better chance to survive. The reason is in smaller amount of biomass that they have to provide with water. But respectively, in this case we compared two closely related stands that still differ in soil type and also in growth driving factor.

The "Strongly Declining" group from Cigonca is significantly responsive to the mean monthly and seasonal temperatures. A connection is visible in RW, EW, LW and also in characteristics of conductive elements. All parameters are negatively correlated to higher temperatures. RW and LW are responsive mostly to the temperatures in August of current year. EW and wood-anatomical parameters are mostly responsive to the temperatures of

August at the end of previous growing season. Therefore, we confirmed findings of many previous researches. EW showed the highest linkage to temperatures from dendrochronological parameters; from wood-anatomical parameters the highest linkage was shown in TVA. Strong connections between our chronologies and monthly precipitation were not found. We conclude that precipitations are not a limiting factor on the site in Cigonca.

Groups from Mlače are responsive to the mean temperatures and the sum of precipitations. Wood-anatomical parameters showed higher responsive rate to temperatures than dendrochronological parameters. The highest correlation value for single month was calculated for April ( $r = 0,60$ ) for parameter MVA. The temperatures at the end of previous growing season in July and August are also important. The impact of precipitation is better linked to dendrochronological parameters. June precipitations have positive impact on RW, EW and LW. The opposite, correlations between precipitations and wood-anatomical parameters are mostly negative. The sum of precipitation from January till April has negative effect on MVA and MVD. The impact of winter and spring precipitation on TVA is insignificant. We were unable to explain negative impact of precipitation on conductive elements, but we assume the phenomenon is related to auxin concentration (Aloni, 2011) and the relation between ground water table and precipitation. We assume trees might tend to produce smaller conductive elements because they are less likely to be affected by embolism. This phenomena has to be investigated in future researches.

In conclusion, we examined an option using parameter MxVA for reconstruction of the mean temperatures from March to July. The correlation coefficient between both variables was 0,65. We assume variables are strongly related and they both have similar trend. Values of both variables are in linear relation, what is a condition for building a linear model for a reconstruction. Opinions about the suitability of wood-anatomical parameters for climate reconstructions are divided. Main concerns are related to time consuming measurements and multicollinearity between dendrochronological and wood-anatomical parameters. Despite those doubts, we believe this field has a great potential. Under proper site selection and precise measurements in the future, we can expect convenient reconstructions of climate variables using wood-anatomical approach. We assume we

could have extracted better climatic signal, if we had taken into an account only the biggest vessels in each annual ring. The reason is in parameter MxVA, which showed similar or higher relation to climate as parameter MVA, even though MxVA contained only one vessel from each ring and MVA contained all vessels bigger than 10.000  $\mu\text{m}$ .

## 8 VIRI

- Aloni R. 1991. Wood formation in deciduous hardwood trees. V: *Physiology of Trees*. New York: 175-197
- Aloni R. 1995. The induction of vascular tissues by auxin and cytokinin. V: *Plant Hormones*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers: 531-546
- Aloni R. 2001. Foliar and axial aspects of vascular differentiation: hypothesis and evidence. *Journal of Plant Growth Regulation*, 20: 22-34
- 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)
- Arend M., Fromm J. 2007. Seasonal change in the drought response of wood cell development in poplar. *Tree Physiology*, 27: 985-992
- Asshoff R., Schweingruber F. H., Wermelinger B. 1998–1999. Influence of a gypsy moth (*Lymantria dispar* L.) outbreak on radial growth and wood-anatomy of Spanish chestnut (*Castanea sativa* Mill.) in Ticino (Switzerland). *Dendrochronologia*, 99, 16-17: 133-145
- Atlas okolja. 2013. Ljubljana, ARSO.  
[http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso) (15. 7. 2013)
- Blaschke H. 1994. Changes caused by fungus attack on the roots of damaged pedunculate oak. *AFZ*, 49, 14: 775-777
- Brus R. 2008. *Dendrologija za gozdarje*. 2. izdaja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 408 str.
- Cerar B. 2007. Lokalna kronologija hrasta (*Quercus* sp.) z Dolenjske: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo). Ljubljana, samozaložba: 42. str
- Cochard H. 2006. Cavitation in trees. *Comptes Rendus Physique*, 7: 1018-1026
- Cook E. R. 1985. Time series analysis approach to tree ring standardization: Dissertation. Tucson, University of Arizona, Laboratory of Tree-Ring Research: 171 str.
- Čater M., Batič F. 1999. Nekateri ekofiziološki kazalci stresa pri dobu (*Quercus robur* L.) v severovzhodni Sloveniji. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 58: 47-83

- Čater M. 2001. Osutost doba (*Quercus robur* L.) na trajnih raziskovalnih ploskvah v obdobju od 1995–2000. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 64: 41-55
- Čater M. 2003. Pedunculate oak (*Quercus robur* L.) crown defoliation - changes on permanent research plots. Ekologia, 22: 430-443
- Čater M. 2008. Water status, nutrients and radial increment of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in northern Serbia and comparison with selected sites in Slovenia. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 87: 135-144
- Čufar K. 2006. Anatomija lesa. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 184 str.
- Čufar K., Levanič T. 1999. Tree Ring Investigations in Oak and Ash from Different Sites in Slovenia. Phyton-Annals Rei Botanicae, 3, 3: 113-116
- Denn M. P., Dodd R. S. 1981. The environmental control of xylem differentiation. V: Xylem cell development. Barnett J. R. (ur.). UK: Castle House: 236-255
- Eckstein D., Liese W., Parameswaran N. 1976. On the structural changes in wood and bark of a salt-damaged horse chestnut tree. Holzforschung, 30: 173-178
- Eckstein D., Schmidt B. 1974. Dendroklimatologische Untersuchungen an Stieleichen aus dem maritimen Klimagebiet Schleswig-Holsteins. Angewandte Botanik, 48: 371-383
- Evidence sečenj GGE Slovenska Bistrica 1994–2005. Maribor, Zavod za gozdove, Območna enota Maribor
- Evidence sečenj GGE Slovenske Konjice 1995–2004. Celje, Zavod za gozdove, Območna enota Celje
- Evidence sečenj GGE Slovenske Konjice 2005–2014. Celje, Zavod za gozdove, Območna enota Celje
- Feuillat F., Dupouey J.-L., Sciama D., Keller R. 1997. A new attempt at discrimination between *Quercus petraea* and *Quercus robur* based on wood anatomy. Canadian Journal of Forest Research, 27: 343-351
- Fletcher J. M. 1975. Relation of abnormal earlywood in oaks to dendrochronology and dendroclimatology. Nature, 254: 506-507
- Fonti P., 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

- 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. *Journey of Biogeography*, 35: 2249-2257
- Frankensetin C., Eckstein D., Schmitt U. 2005. The onset of cambium activity – a matter of agreement? *Dendrochronologia*, 23: 57-62
- 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. 2006. Selecting earlywood vessels to maximize their environmental signal. *Tree Physiology*, 26: 1289-1296
- 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 Konjice (2005–2014). Celje, Zavod za gozdove, Območna enota Celje
- Gričar J. 2008. Dinamika ksilogeneze pri gradnju v letu 2007. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 86: 45-50
- Hacke U. G., Sperry J. S. 2001. Functional and ecological xylem anatomy. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematic*, 4: 97-115
- Hartmann G., Blank R., Lewark S. 1989. Eichensterben in Norddeutschland, Verbreitung, Schadbilder, mögliche Urschauen. *Forst und Holz*, 44, 18: 475-487
- Kelenc J. 2008. Zdravje nižinskih gozdov doba (*Quercus robur* L.) v GGE Ravensko: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozaložba.: 97 str.
- Kitin P., Funada R., Sano Y., Beckman H., Othani J. 1999. Variations in the lengths of fusiform cambial cells and vessel elements in *Kalopanax pictus*. *Annals of Botany*, 84: 621-632
- Komanjc B., 2009. Vplivi nekaterih biotskih dejavnikov (*Insecta: Coleoptera*) na sušenje hrastov (*Quercus* spp.) na nizkem krasu: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani,

- Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana,  
samozaložba.: 64 str.
- Leuschner H. H., Schweingruber F. H. 1996. Dendroökologische Klassifizierung und  
Auswertung häufig auftretender intraannueller holzanatomischer Merkmale bei  
Eichen und Kiefern. *Dendrochronologia*, 14: 273-285
- Levanič T. 2007. ATRICS – a new system for image acquisition in dendrochronology.  
*Tree Ring Research*, 63, 2: 117-122
- 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
- Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and  
analysis of the effects of air pollution on forests. 2006. Hamburg, United Nations  
Economic Commission for Europe, ICP-Forests: 61 str.
- Matisons R., Dauškane 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
- Meko D.M., Touchan R., Anchukaitis K. J. 2011. Seascorr: A MATLAB program for  
identifying the seasonal climate signal in an annual tree-ring time series. *Computers  
& Geosciences*, 37: 1234-1241
- Nola P. 1996. Climatic signal in earlywood and latewood of deciduous oaks from northern  
Italy. V: *Tree Rings, Environment and Humanity*. Dean J.S., Meko D.M. in T.W.  
Swetnam (ur.). Tucson, Univ. Arizona, Radiocarbon. Dept. of Geosciences,: 249-  
258
- Poljanšek S., Jagodic Š., Levanič T. 2010. Primerjava programov za standardizacijo  
časovnih vrst v dendrokronologiji. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 93: 11-22
- Pregledovalnik podatkov o gozdovih. 2013. Ljubljana, ZGS.  
<http://prostor.zgs.gov.si/pregledovalnik/> (5. 1. 2014)
- Pryzbyl K. 1989. Wpływ warunków klimatycznych na zamieranie debów w Polsce oraz  
symptomy choroby. *Arboretum Kornickie*, 34: 143-160
- Pumijumnong N., Park W. K. 1999. Vessel chronologies from teak in northern Thailand  
and their climatic signal. *IAWA Journal*, 20: 285-294

- Rozas V. 2005. Dendrochronology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in an old-growth pollarded woodland in northern Spain: tree-ring growth responses to climate. *Annals of Forest Science*, 62: 209-218
- Rösel K., Reuther M. 1995. Differentialdiagnostik der Schäden an Eichen in der Donauländern: Schlussbericht, GSF Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, GmbH. Oberschleißheim: 381 str.
- Sass-Klaassen U., Sabajo C. R., Ouden J. 2011. Vessel formation in relation to leaf phenology in pedunculate oak and European ash. *Dendrochronologia*, 29: 171-175
- Sedlar I. 2009. Vzroki sušenja gradna (*Quercus petraea*) v krajevni enoti Adlešiči: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozaložba.: 53 str.
- Specker 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
- St. George S., Nielsen E. 2000. Signatures of high-magnitude 19th-century floods in *Quercus macrocarpa* tree rings along the Red River, Manitoba, Canada. *Geology*, 28: 899-902
- Suzuki M., Yoda K., Suzuki H. 1996. Phenological comparison of the onset of vessel formation between ring-porous and diffuse-porous deciduous trees in a Japanese temperate forest. *IAWA Journal*, 17: 431-444
- Šolar M. 1977. Poškodbe vegetacije (gozdov) vsled onesnaženja zraka. 4, Mežiška dolin, Ljubljana: Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo pri Biotehniški fakulteti: 30 cm
- Tardif J.C., Conciatori F. 2006. Influence of climate on tree rings and vessel features in red oak and white oak growing near their northern distribution limit, southwestern Quebec, Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 36: 2317-2330
- Tyree M. T., Zimmerman M. H. 2002. Xylem structure and the ascent of sap. 2<sup>nd</sup> ed. New York, Springer-Verlag: 283 str.
- Urbančič M., Simončič P., Prus T., Kutnar L. 2005. Atlas gozdnih tal. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije: 100 str.
- Walther G. R., Convey P., Menzel A., Parmesan C., Beebee T. J. C., Fromentin J. M., Hoegh-Guldberg O., Bairlein F. 2002. Ecological response to recent climate change. *Nature*, 416: 389-395

- Wareing P. F. 1951. Growth studies in woody species. IV. The initiation of cambial activity in ring-porous species. *Physiologia Plantarum*, 4, 3: 546-562
- Wilpert K. 1991. Intraannual variation of radial tracheid diameters as monitor of site specific water stress. *Dendrochronologia*, 9: 95-113
- Wimmer R. 2002. Wood anatomical features in tree-rings as indicators of environmental change. *Dendrochronologia*, 20, 1-2: 21-36
- Zhang S. Y. 1997. Variations and correlations of various ring width and ring density features in European oak: implications in dendroclimatology. *Wood Science and Technology*, 31 :63-72

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Tomislavu Levaniču za vse strokovne nasvete, priporočila ter ostalo pomoč ob pisanju te magistrske naloge.

Doc. dr. Alešu Kaduncu se zahvaljujem za temeljito recenzijo magistrskega dela.

Zahvaljujem se prof. dr. Heinrichu Spieckerju za dovoljenje za uporabo tehnične in druge opreme na Albert-Ludwigovi univerzi v Freiburgu, katedra za rast gozdov.

Vsem pomočnikom na terenskem delu se iskreno zahvaljujem za močne roke. Poleg mentorja doc. dr. Levaniča in pomočnika Roberta Kranjca, sta pomagala tudi Matej Bartol in Zoran Polnar.

Andreju Strniši, univ. dipl. ing. gozd. se zahvaljujem za pomoč pri iskanju primernih sestojev za našo raziskavo. Revirnemu gozdarju Štefanu Petelineku, dipl. ing. gozd. se zahvaljujem za pomoč pri ogledu primernih sestojev.

Unicommerce d.o.o., Občini Zreče, Študentskemu svetu Biotehniške fakultete, Gozdnemu gospodarstvu Celje d.o.o. in Gozdnemu gospodarstvi Novo mesto d.d. se zahvaljujem za finančno pomoč za udeležbo na mednarodni poletni šoli s področja dendrokronologije v Rusiji, ki je pomembno prispevala znanje uporabljeni v tej nalogi.

Zahvaljujem se Pahernikovi ustanovi za enoletno štipendirjanje v času magistrskega študija.

Zahvaljujem se družini za podporo v času študija. Zahvala gre tudi vsem ostalim, ki ste mi kakorkoli pomagali v času študija ali ob pisanju te naloge.

## PRILOGE

### Priloga A

#### MODELNI PODATKI O POVPREČNIH MESEČNIH TEMPERATUR ZA OBMOČJE MARIBORA

| Leto | Januar | Februar | Marec | April | Maj  | Junij | Julij | Avgust | Septem<br>ber | Oktober | Novem<br>ber | Decemb<br>er |
|------|--------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|---------------|---------|--------------|--------------|
| 1900 | 1,5    | 3,9     | 2,7   | 8,3   | 13,1 | 17,7  | 20,5  | 17,7   | 15,6          | 10,1    | 6,7          | -0,4         |
| 1901 | -5,2   | -6,4    | 3,3   | 10,0  | 14,4 | 18,6  | 19,4  | 18,0   | 14,1          | 10,3    | 2,7          | 1,6          |
| 1902 | 0,5    | 0,4     | 5,2   | 10,4  | 10,5 | 16,5  | 19,3  | 18,1   | 13,9          | 9,2     | 1,1          | -1,9         |
| 1903 | -2,9   | 2,7     | 6,0   | 6,9   | 14,1 | 16,6  | 18,3  | 18,6   | 14,4          | 10,6    | 5,0          | 1,1          |
| 1904 | -1,1   | 3,2     | 5,4   | 10,6  | 15,2 | 18,7  | 20,9  | 18,6   | 13,4          | 10,2    | 2,9          | 0,8          |
| 1905 | -5,8   | -1,3    | 5,5   | 9,0   | 13,5 | 17,8  | 21,0  | 18,9   | 16,1          | 4,5     | 4,2          | 0,8          |
| 1906 | -2,0   | -0,6    | 4,1   | 9,4   | 14,2 | 17,2  | 19,4  | 18,5   | 13,4          | 9,4     | 5,9          | -2,3         |
| 1907 | -4,0   | -3,5    | 2,1   | 7,3   | 15,3 | 18,5  | 18,0  | 18,8   | 14,6          | 12,8    | 4,3          | 1,6          |
| 1908 | -3,6   | 1,2     | 3,5   | 7,6   | 16,7 | 19,6  | 19,6  | 17,1   | 13,2          | 8,1     | -0,7         | -2,5         |
| 1909 | -4,7   | -3,4    | 3,2   | 10,6  | 13,8 | 16,9  | 18,2  | 18,4   | 14,5          | 11,0    | 2,9          | 3,3          |
| 1910 | -1,3   | 2,2     | 5,6   | 9,1   | 13,5 | 17,6  | 17,3  | 18,2   | 13,1          | 10,0    | 3,3          | 3,9          |
| 1911 | -4,0   | -1,4    | 4,7   | 9,1   | 14,1 | 17,0  | 20,2  | 19,9   | 15,5          | 9,7     | 7,4          | 2,9          |
| 1912 | -1,4   | 4,1     | 7,0   | 8,1   | 14,5 | 17,8  | 19,2  | 16,4   | 10,2          | 7,1     | 1,3          | 0,6          |
| 1913 | -1,5   | -0,7    | 6,6   | 9,5   | 13,9 | 17,6  | 16,4  | 16,7   | 14,3          | 10,4    | 5,9          | -1,0         |
| 1914 | -7,1   | -0,2    | 5,1   | 10,6  | 13,1 | 16,5  | 17,8  | 17,8   | 13,3          | 8,3     | 3,6          | 2,8          |
| 1915 | -1,1   | -0,5    | 3,8   | 9,5   | 15,2 | 18,6  | 19,0  | 17,3   | 12,7          | 7,1     | 1,7          | 5,0          |
| 1916 | 0,9    | 0,7     | 6,5   | 9,6   | 14,9 | 17,3  | 19,4  | 18,2   | 13,2          | 8,6     | 6,3          | 3,4          |
| 1917 | -1,3   | -4,9    | 2,6   | 7,5   | 15,4 | 19,6  | 19,3  | 19,6   | 15,9          | 9,7     | 3,3          | -1,9         |
| 1918 | -0,4   | 0,5     | 4,5   | 10,4  | 15,3 | 15,6  | 18,9  | 17,8   | 15,2          | 8,6     | 3,5          | 1,2          |
| 1919 | 2,2    | 0,4     | 6,0   | 8,1   | 12,4 | 17,5  | 17,4  | 19,5   | 16,1          | 8,0     | 3,5          | 0,8          |
| 1920 | 2,3    | 3,9     | 7,4   | 11,4  | 17,3 | 17,4  | 20,8  | 17,6   | 16,3          | 8,2     | 1,6          | 0,6          |
| 1921 | 2,9    | 1,0     | 6,2   | 9,0   | 15,9 | 17,9  | 21,6  | 19,5   | 14,9          | 10,8    | 2,9          | -0,4         |
| 1922 | -2,7   | -2,6    | 6,5   | 8,3   | 16,1 | 19,3  | 20,5  | 19,7   | 13,8          | 8,0     | 2,7          | 2,1          |
| 1923 | 0,8    | 1,1     | 6,2   | 9,5   | 15,9 | 15,3  | 20,8  | 20,1   | 14,8          | 13,3    | 5,7          | 0,9          |
| 1924 | -3,0   | -0,7    | 4,0   | 10,4  | 16,5 | 18,9  | 20,1  | 16,9   | 16,2          | 9,8     | 4,0          | 1,1          |
| 1925 | -0,8   | 4,6     | 4,0   | 9,9   | 15,3 | 18,1  | 19,5  | 18,6   | 13,7          | 9,0     | 4,0          | -1,3         |
| 1926 | -2,3   | 6,7     | 5,0   | 11,3  | 13,6 | 16,7  | 18,6  | 18,1   | 16,5          | 11,1    | 10,2         | -0,1         |
| 1927 | 0,0    | -0,1    | 6,9   | 10,7  | 14,6 | 19,1  | 21,3  | 17,9   | 15,2          | 8,9     | 4,7          | -2,3         |
| 1928 | -1,1   | 2,4     | 2,7   | 9,8   | 11,4 | 17,0  | 21,3  | 19,5   | 14,2          | 9,8     | 5,5          | -0,3         |
| 1929 | -7,5   | -10,8   | 2,7   | 7,3   | 15,8 | 18,5  | 19,7  | 19,3   | 15,0          | 10,0    | 5,9          | 2,2          |
| 1930 | 0,4    | 0,2     | 6,8   | 10,5  | 13,2 | 19,1  | 18,3  | 17,7   | 15,3          | 8,7     | 7,3          | 0,7          |
| 1931 | 0,2    | -0,5    | 1,9   | 7,7   | 15,5 | 19,5  | 19,8  | 17,9   | 11,6          | 8,4     | 4,6          | -2,0         |
| 1932 | -2,2   | -6,4    | -0,3  | 8,5   | 14,2 | 16,5  | 19,2  | 20,4   | 17,3          | 10,1    | 4,8          | 0,2          |

| Leto | Januar | Februar | Marec | April | Maj  | Junij | Julij | Avgust | Septem<br>ber | Oktober | Novem<br>ber | Decemb<br>er |
|------|--------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|---------------|---------|--------------|--------------|
| 1933 | -2,7   | 0,1     | 5,4   | 8,7   | 12,4 | 15,0  | 19,0  | 18,7   | 14,2          | 10,2    | 3,4          | -4,4         |
| 1934 | -2,0   | -0,5    | 6,8   | 11,9  | 15,5 | 17,1  | 19,6  | 18,1   | 16,1          | 9,0     | 4,6          | 4,3          |
| 1935 | -4,2   | 0,6     | 3,8   | 8,7   | 12,6 | 20,1  | 19,8  | 17,8   | 14,5          | 11,6    | 4,6          | 0,3          |
| 1936 | 4,5    | 3,5     | 7,2   | 9,6   | 14,5 | 17,4  | 19,9  | 17,5   | 14,4          | 5,0     | 4,1          | -0,7         |
| 1937 | -2,7   | 2,9     | 5,8   | 8,2   | 15,6 | 18,4  | 19,3  | 17,6   | 14,2          | 9,7     | 3,2          | -0,7         |
| 1938 | -3,0   | -1,0    | 6,4   | 6,8   | 12,7 | 19,5  | 19,4  | 18,0   | 14,0          | 10,0    | 5,0          | -1,5         |
| 1939 | 1,3    | 1,8     | 2,3   | 12,0  | 12,4 | 17,9  | 19,4  | 18,7   | 13,8          | 8,6     | 5,4          | -1,8         |
| 1940 | -7,6   | -4,7    | 3,3   | 9,9   | 13,6 | 17,4  | 18,2  | 16,9   | 15,1          | 9,6     | 6,3          | -6,0         |
| 1941 | -3,5   | -0,4    | 5,0   | 8,7   | 11,6 | 17,8  | 19,2  | 17,0   | 12,7          | 8,1     | 1,8          | -1,4         |
| 1942 | -8,5   | -3,9    | 3,2   | 8,6   | 15,0 | 18,2  | 18,6  | 17,8   | 17,2          | 10,7    | 4,0          | 2,2          |
| 1943 | -5,2   | 2,4     | 5,6   | 11,0  | 14,2 | 16,4  | 18,9  | 19,5   | 16,2          | 11,5    | 2,1          | 1,2          |
| 1944 | -0,5   | -0,7    | 2,7   | 10,7  | 13,4 | 16,3  | 18,2  | 19,9   | 13,9          | 9,4     | 3,3          | 0,0          |
| 1945 | -5,7   | 0,8     | 6,4   | 10,2  | 16,3 | 19,3  | 20,5  | 18,0   | 14,6          | 9,2     | 3,5          | 1,4          |
| 1946 | -3,3   | 3,5     | 6,0   | 11,7  | 15,8 | 18,5  | 20,0  | 19,9   | 16,0          | 6,5     | 4,0          | -1,5         |
| 1947 | -7,3   | -3,2    | 4,8   | 12,2  | 15,2 | 20,1  | 20,2  | 19,3   | 16,8          | 6,8     | 4,9          | 0,9          |
| 1948 | 3,7    | -0,7    | 5,3   | 11,0  | 15,3 | 17,0  | 17,3  | 18,4   | 15,2          | 10,7    | 3,5          | -1,2         |
| 1949 | 0,8    | 0,7     | 3,2   | 12,1  | 13,8 | 16,7  | 19,1  | 17,9   | 15,9          | 10,5    | 5,5          | 1,5          |
| 1950 | -3,7   | 2,5     | 6,4   | 9,5   | 16,5 | 20,2  | 22,1  | 19,5   | 15,0          | 8,2     | 4,7          | 0,2          |
| 1951 | 1,5    | 3,0     | 4,1   | 9,8   | 14,1 | 18,4  | 19,0  | 19,3   | 16,4          | 8,4     | 7,0          | 1,0          |
| 1952 | -2,6   | -3,6    | 2,7   | 12,2  | 14,3 | 19,1  | 21,4  | 20,0   | 12,8          | 9,3     | 3,3          | -0,6         |
| 1953 | -2,9   | -1,3    | 4,5   | 11,0  | 14,3 | 17,7  | 19,8  | 17,5   | 15,4          | 11,8    | 2,9          | 1,1          |
| 1954 | -5,9   | -4,9    | 5,5   | 8,5   | 13,4 | 18,6  | 17,4  | 17,5   | 15,7          | 8,8     | 4,1          | 2,5          |
| 1955 | 0,6    | 2,0     | 1,5   | 8,7   | 12,9 | 16,9  | 18,9  | 17,5   | 14,3          | 8,9     | 3,3          | 1,9          |
| 1956 | 1,4    | -9,6    | 2,5   | 8,3   | 15,0 | 16,4  | 19,4  | 18,4   | 15,4          | 8,9     | 2,1          | -0,7         |
| 1957 | -3,5   | 4,4     | 6,8   | 9,7   | 11,6 | 19,4  | 19,4  | 17,5   | 13,9          | 9,4     | 5,5          | 1,1          |
| 1958 | -3,3   | 2,9     | 1,7   | 7,6   | 17,8 | 17,7  | 20,0  | 19,3   | 14,9          | 10,4    | 6,0          | 2,5          |
| 1959 | 0,2    | -1,6    | 7,1   | 10,5  | 14,2 | 17,8  | 20,3  | 18,1   | 13,8          | 8,3     | 4,8          | 3,0          |
| 1960 | -1,0   | 0,5     | 4,9   | 9,7   | 14,5 | 18,4  | 17,8  | 18,4   | 13,5          | 10,9    | 6,2          | 2,3          |
| 1961 | -2,5   | 2,2     | 7,0   | 12,7  | 13,5 | 18,9  | 18,1  | 18,5   | 16,5          | 11,4    | 5,7          | -1,0         |
| 1962 | -0,4   | 0,5     | 1,9   | 9,7   | 13,3 | 16,1  | 17,9  | 20,1   | 14,4          | 9,8     | 3,9          | -3,4         |
| 1963 | -6,9   | -4,3    | 3,2   | 10,9  | 14,1 | 18,1  | 20,1  | 19,1   | 15,9          | 9,4     | 9,4          | -2,8         |
| 1964 | -6,4   | -0,4    | 3,0   | 11,0  | 15,1 | 19,9  | 19,9  | 17,8   | 15,3          | 9,3     | 5,9          | 0,0          |
| 1965 | -1,1   | -3,2    | 4,9   | 8,5   | 13,4 | 18,3  | 18,8  | 17,0   | 14,7          | 8,7     | 3,3          | 0,7          |
| 1966 | -3,9   | 6,9     | 4,4   | 11,6  | 14,9 | 19,1  | 18,1  | 17,5   | 15,6          | 13,4    | 2,5          | 0,8          |
| 1967 | -2,1   | 1,2     | 6,6   | 8,9   | 15,6 | 17,3  | 21,1  | 19,1   | 15,7          | 11,0    | 5,1          | -0,9         |
| 1968 | -3,7   | 2,9     | 6,0   | 12,2  | 14,8 | 17,8  | 19,2  | 17,5   | 14,6          | 11,0    | 4,7          | -2,9         |
| 1969 | -2,2   | -1,6    | 3,5   | 9,5   | 16,6 | 17,2  | 19,8  | 17,6   | 15,4          | 9,3     | 7,0          | -2,8         |
| 1970 | -0,4   | 0,2     | 2,9   | 8,5   | 12,6 | 19,0  | 19,3  | 19,1   | 15,5          | 9,1     | 6,8          | -0,8         |
| 1971 | -1,6   | 1,9     | 2,5   | 11,1  | 15,7 | 16,8  | 20,4  | 20,3   | 12,8          | 8,4     | 4,1          | -1,2         |
| 1972 | -2,4   | 2,4     | 7,0   | 10,0  | 14,0 | 18,2  | 19,0  | 18,4   | 12,1          | 8,4     | 4,2          | 0,1          |
| 1973 | -0,6   | 0,5     | 5,0   | 7,8   | 15,7 | 18,4  | 19,2  | 18,9   | 15,5          | 7,5     | 2,8          | 0,1          |

| Leto | Januar | Februar | Marec | April | Maj  | Junij | Julij | Avgust | Septem<br>ber | Oktober | Novem<br>ber | Decemb<br>er |
|------|--------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|---------------|---------|--------------|--------------|
| 1974 | 0,9    | 5,7     | 6,8   | 9,4   | 14,0 | 16,3  | 19,3  | 20,1   | 14,9          | 5,9     | 5,4          | 1,7          |
| 1975 | 3,9    | 1,5     | 5,3   | 9,9   | 15,5 | 16,5  | 19,4  | 18,4   | 17,1          | 8,9     | 3,8          | -0,5         |
| 1976 | -0,3   | -0,3    | 2,0   | 9,7   | 15,0 | 18,3  | 20,0  | 16,0   | 13,8          | 10,1    | 6,2          | -0,3         |
| 1977 | 1,4    | 4,4     | 7,9   | 8,6   | 14,2 | 18,2  | 18,7  | 17,8   | 12,8          | 10,9    | 4,9          | -0,4         |
| 1978 | -0,1   | 0,2     | 6,3   | 8,5   | 12,4 | 17,1  | 17,5  | 17,1   | 14,0          | 9,0     | 0,9          | -0,3         |
| 1979 | -2,8   | 1,5     | 6,2   | 8,8   | 15,4 | 19,3  | 18,4  | 17,4   | 14,9          | 9,0     | 4,1          | 2,1          |
| 1980 | -1,9   | 2,8     | 5,1   | 7,9   | 12,3 | 16,9  | 17,9  | 19,2   | 15,1          | 9,2     | 2,3          | -2,5         |
| 1981 | -4,6   | -1,1    | 7,0   | 10,4  | 14,2 | 18,1  | 19,2  | 18,4   | 15,6          | 11,5    | 3,5          | -0,3         |
| 1982 | -2,5   | -1,5    | 4,4   | 8,4   | 14,8 | 18,9  | 20,6  | 19,3   | 17,2          | 10,5    | 5,4          | 3,1          |
| 1983 | 0,8    | -2,0    | 5,6   | 11,8  | 15,1 | 18,2  | 22,1  | 19,2   | 15,1          | 9,4     | 1,5          | 0,1          |
| 1984 | -1,1   | -0,4    | 3,9   | 9,2   | 12,8 | 17,3  | 18,5  | 17,9   | 14,5          | 11,0    | 4,9          | 0,8          |
| 1985 | -5,7   | -3,5    | 3,8   | 9,3   | 15,1 | 16,7  | 20,7  | 19,4   | 15,9          | 9,3     | 2,4          | 3,1          |
| 1986 | -0,4   | -3,9    | 2,8   | 10,1  | 17,4 | 17,4  | 19,2  | 19,5   | 14,3          | 9,6     | 5,1          | -1,6         |
| 1987 | -4,0   | -0,2    | 0,9   | 11,0  | 13,3 | 17,8  | 20,9  | 18,3   | 17,6          | 10,6    | 4,1          | 0,6          |
| 1988 | 3,3    | 3,1     | 4,9   | 10,3  | 15,2 | 17,4  | 21,5  | 20,2   | 15,0          | 10,9    | 0,8          | -0,3         |
| 1989 | -1,3   | 3,9     | 7,8   | 10,5  | 14,8 | 16,5  | 19,8  | 19,1   | 15,0          | 9,6     | 3,1          | 1,9          |
| 1990 | -1,1   | 5,7     | 8,1   | 9,1   | 16,0 | 17,7  | 19,8  | 19,4   | 13,8          | 10,7    | 4,7          | 0,1          |
| 1991 | 0,2    | -2,3    | 7,7   | 9,4   | 12,2 | 18,1  | 21,3  | 20,0   | 16,9          | 8,6     | 4,7          | -2,2         |
| 1992 | 0,1    | 3,1     | 5,7   | 10,6  | 15,9 | 18,4  | 20,7  | 22,8   | 15,8          | 9,0     | 6,1          | 0,2          |
| 1993 | 0,4    | 0,3     | 5,3   | 11,1  | 16,8 | 19,1  | 19,9  | 20,2   | 14,5          | 10,7    | 2,3          | 1,5          |
| 1994 | 2,9    | 2,2     | 9,8   | 10,0  | 15,1 | 19,1  | 22,0  | 21,3   | 16,5          | 8,3     | 7,2          | 1,8          |
| 1995 | 0,5    | 4,2     | 4,6   | 11,2  | 15,0 | 17,0  | 22,2  | 18,6   | 13,9          | 11,7    | 4,8          | 0,9          |
| 1996 | -1,4   | -1,8    | 3,0   | 10,5  | 15,9 | 19,5  | 18,7  | 18,9   | 12,9          | 10,4    | 7,0          | -1,2         |
| 1997 | -1,1   | 3,9     | 6,8   | 8,5   | 16,0 | 18,9  | 19,7  | 19,6   | 16,1          | 9,0     | 4,9          | 2,0          |
| 1998 | 2,7    | 5,3     | 5,3   | 10,9  | 15,7 | 20,4  | 21,0  | 20,9   | 15,1          | 10,8    | 3,1          | -3,1         |
| 1999 | 0,1    | 0,2     | 7,1   | 11,3  | 16,5 | 19,0  | 20,4  | 19,8   | 17,3          | 11,2    | 2,8          | 0,4          |
| 2000 | -2,2   | 3,8     | 7,0   | 13,3  | 16,8 | 20,6  | 19,5  | 21,3   | 15,8          | 12,3    | 7,9          | 4,2          |
| 2001 | 2,9    | 4,6     | 8,1   | 10,0  | 17,0 | 18,2  | 21,4  | 22,1   | 13,5          | 13,4    | 3,3          | -2,2         |
| 2002 | -1,2   | 4,9     | 8,2   | 10,0  | 17,0 | 20,8  | 20,8  | 19,5   | 14,6          | 10,9    | 8,7          | 2,1          |
| 2003 | -1,7   | -1,8    | 6,8   | 10,2  | 18,0 | 23,0  | 22,1  | 23,2   | 15,0          | 8,2     | 7,7          | 1,7          |
| 2004 | -0,9   | 1,8     | 4,5   | 10,6  | 14,0 | 18,7  | 20,4  | 20,1   | 15,1          | 12,4    | 5,5          | 1,1          |
| 2005 | -0,4   | -1,1    | 5,2   | 10,7  | 16,1 | 19,3  | 20,6  | 18,0   | 15,9          | 11,2    | 4,7          | -0,1         |
| 2006 | -2,2   | -0,2    | 4,1   | 11,3  | 15,4 | 20,3  | 23,0  | 17,4   | 17,1          | 12,8    | 8,3          | 4,0          |
| 2007 | 4,5    | 5,9     | 7,8   | 14,4  | 17,0 | 20,6  | 21,5  | 19,8   | 14,1          | 9,8     | 4,7          | -0,2         |
| 2008 | 2,0    | 4,5     | 5,6   | 10,6  | 16,7 | 20,1  | 20,9  | 20,1   | 14,7          | 11,4    | 6,0          | 1,6          |
| 2009 | -2,1   | 1,9     | 6,5   | 13,1  | 17,8 | 18,8  | 21,2  | 21,6   | 16,8          | 10,4    | 7,0          | 1,6          |
| 2010 | -2,1   | 0,7     | 5,6   | 11,3  | 15,2 | 20,1  | 22,3  | 19,7   | 14,3          | 8,9     | 7,6          | -0,6         |
| 2011 | 1,0    | 1,0     | 6,5   | 13,2  | 16,8 | 19,8  | 20,6  | 22,0   | 18,6          | 9,4     | 3,5          | 2,8          |
| 2012 | 1,1    | -1,6    | 9,3   | 11,3  | 15,9 | 21,0  | 22,1  | 22,4   | 16,4          | 11,1    | 8,2          | 0,5          |

## Priloga B

### PODATKI O MESEČNIH KOLIČINAH PADAVIN ZA OBMOČJE SLOVENSKIH KONJIC

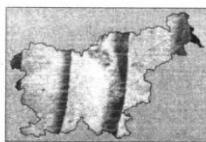
| Leto | Januar | Februar | Marec | April | Maj   | Junij | Julij | Avgust | Septem<br>ber | Oktober | Novem<br>ber | Decemb<br>er |
|------|--------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------------|---------|--------------|--------------|
| 1961 | 59,2   | 32,2    | 45,8  | 35,3  | 114,4 | 112,6 | 255,3 | 68,8   | 63,9          | 166,4   | 87,7         | 60,7         |
| 1962 | 104,3  | 47,0    | 92,8  | 101,7 | 156,9 | 65,5  | 178,5 | 29,4   | 184,9         | 35,8    | 223,7        | 49,7         |
| 1963 | 75,6   | 66,9    | 61,3  | 48,3  | 68,5  | 114,1 | 52,7  | 232,5  | 107,2         | 52,9    | 86,8         | 65,0         |
| 1964 | 0,0    | 10,0    | 78,5  | 96,2  | 133,2 | 149,8 | 101,7 | 128,3  | 73,2          | 277,6   | 40,7         | 100,1        |
| 1965 | 93,1   | 18,4    | 82,1  | 156,7 | 115,6 | 144,9 | 190,8 | 117,5  | 81,9          | 0,8     | 128,9        | 122,4        |
| 1966 | 43,9   | 46,7    | 85,7  | 51,3  | 123,6 | 179,4 | 153,4 | 156,0  | 35,0          | 96,4    | 118,0        | 77,5         |
| 1967 | 27,4   | 50,7    | 60,2  | 89,3  | 49,4  | 58,1  | 78,9  | 36,9   | 123,7         | 66,2    | 80,5         | 60,0         |
| 1968 | 20,4   | 35,8    | 3,3   | 37,9  | 86,4  | 100,2 | 74,5  | 121,8  | 173,8         | 10,7    | 90,6         | 73,0         |
| 1969 | 85,3   | 121,8   | 59,6  | 68,6  | 105,4 | 157,0 | 116,1 | 239,9  | 94,1          | 18,0    | 124,4        | 55,3         |
| 1970 | 47,7   | 74,7    | 121,2 | 154,1 | 62,5  | 63,2  | 101,2 | 155,9  | 40,4          | 69,1    | 74,4         | 47,6         |
| 1971 | 59,9   | 41,8    | 80,8  | 88,0  | 77,2  | 78,0  | 93,5  | 129,9  | 45,8          | 27,7    | 100,3        | 24,4         |
| 1972 | 58,9   | 73,3    | 57,1  | 164,9 | 165,3 | 118,3 | 308,7 | 94,2   | 106,5         | 31,9    | 174,2        | 36,9         |
| 1973 | 44,7   | 39,7    | 12,2  | 93,2  | 39,8  | 136,8 | 93,5  | 46,9   | 227,7         | 78,0    | 91,3         | 33,4         |
| 1974 | 34,7   | 47,1    | 80,3  | 29,0  | 121,0 | 201,0 | 94,0  | 163,9  | 179,5         | 207,8   | 61,3         | 13,9         |
| 1975 | 17,8   | 27,4    | 108,4 | 41,8  | 91,0  | 111,0 | 192,9 | 157,5  | 71,4          | 110,4   | 60,8         | 49,7         |
| 1976 | 9,5    | 45,6    | 53,3  | 131,4 | 56,3  | 31,3  | 133,4 | 111,5  | 94,2          | 112,2   | 62,3         | 140,7        |
| 1977 | 97,2   | 85,5    | 38,4  | 76,6  | 47,2  | 49,1  | 171,4 | 139,4  | 72,4          | 27,8    | 71,6         | 54,0         |
| 1978 | 53,6   | 39,3    | 58,8  | 111,7 | 104,4 | 133,1 | 120,0 | 68,2   | 89,0          | 52,5    | 41,6         | 74,1         |
| 1979 | 92,7   | 60,5    | 106,0 | 75,8  | 34,4  | 155,1 | 222,0 | 170,5  | 104,2         | 39,4    | 136,5        | 94,5         |
| 1980 | 52,9   | 26,4    | 56,9  | 70,8  | 71,3  | 108,1 | 145,3 | 95,8   | 153,2         | 217,2   | 146,6        | 60,8         |
| 1981 | 27,9   | 59,9    | 43,6  | 38,7  | 128,5 | 137,6 | 103,7 | 71,2   | 145,2         | 98,6    | 22,7         | 141,9        |
| 1982 | 29,7   | 13,7    | 58,7  | 38,0  | 120,5 | 140,9 | 71,2  | 103,2  | 94,6          | 165,1   | 57,3         | 145,7        |
| 1983 | 15,7   | 58,6    | 106,0 | 46,1  | 94,9  | 130,9 | 69,6  | 61,3   | 91,0          | 89,0    | 25,4         | 32,8         |
| 1984 | 156,1  | 96,6    | 44,5  | 65,5  | 110,0 | 123,0 | 147,7 | 44,2   | 134,2         | 89,1    | 42,1         | 39,7         |
| 1985 | 65,8   | 52,2    | 88,7  | 96,7  | 97,5  | 167,4 | 62,9  | 106,6  | 75,8          | 5,0     | 184,0        | 82,0         |
| 1986 | 51,9   | 86,6    | 92,1  | 66,7  | 115,4 | 252,8 | 89,3  | 128,2  | 75,4          | 87,4    | 42,7         | 43,6         |
| 1987 | 63,6   | 82,8    | 98,6  | 33,8  | 101,1 | 93,0  | 149,7 | 168,1  | 164,7         | 119,9   | 150,9        | 25,7         |
| 1988 | 61,4   | 66,0    | 61,5  | 98,9  | 44,8  | 177,0 | 131,8 | 126,8  | 111,6         | 163,4   | 15,3         | 37,2         |
| 1989 | 1,1    | 37,0    | 57,3  | 106,8 | 83,4  | 123,2 | 182,2 | 218,3  | 143,8         | 13,7    | 53,5         | 23,7         |
| 1990 | 53,1   | 19,4    | 59,4  | 103,0 | 44,5  | 145,8 | 113,3 | 103,2  | 88,2          | 137,6   | 158,7        | 62,3         |

| Leto | Januar | Februar | Marec | April | Maj   | Junij | Julij | Avgust | Septem<br>ber | Oktober | Novem<br>ber | Decemb<br>er |
|------|--------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------------|---------|--------------|--------------|
| 1991 | 28,2   | 38,7    | 60,9  | 28,8  | 138,2 | 114,2 | 148,3 | 131,9  | 53,9          | 136,1   | 184,2        | 8,6          |
| 1992 | 22,3   | 17,0    | 86,2  | 67,1  | 29,7  | 113,8 | 50,6  | 11,4   | 43,2          | 313,3   | 107,8        | 65,9         |
| 1993 | 3,7    | 0,2     | 17,4  | 62,7  | 42,1  | 84,1  | 67,5  | 108,2  | 149,5         | 191,8   | 102,3        | 128,9        |
| 1994 | 29,3   | 24,6    | 33,1  | 124,3 | 75,8  | 143,4 | 68,5  | 185,5  | 73,9          | 140,6   | 47,9         | 96,6         |
| 1995 | 64,0   | 98,7    | 123,6 | 58,4  | 86,6  | 155,1 | 116,0 | 124,7  | 226,9         | 1,0     | 43,2         | 92,5         |
| 1996 | 79,9   | 55,6    | 19,6  | 99,1  | 121,5 | 152,8 | 146,3 | 135,4  | 159,5         | 118,6   | 88,9         | 31,1         |
| 1997 | 59,5   | 16,6    | 17,0  | 28,9  | 59,6  | 132,5 | 117,2 | 138,9  | 63,8          | 19,4    | 88,2         | 33,5         |
| 1998 | 8,3    | 0,0     | 52,3  | 68,3  | 43,0  | 123,1 | 196,6 | 100,1  | 193,0         | 187,3   | 165,1        | 37,6         |
| 1999 | 23,0   | 76,4    | 50,4  | 96,9  | 166,0 | 91,9  | 205,5 | 130,3  | 73,8          | 48,3    | 79,0         | 122,6        |
| 2000 | 5,9    | 20,1    | 54,9  | 51,1  | 92,9  | 47,6  | 132,3 | 29,8   | 100,5         | 166,3   | 169,3        | 105,9        |
| 2001 | 96,6   | 14,5    | 125,5 | 104,9 | 107,6 | 119,8 | 44,1  | 28,6   | 263,1         | 46,8    | 40,3         | 31,0         |
| 2002 | 6,0    | 52,9    | 53,6  | 106,3 | 60,2  | 94,7  | 98,0  | 247,6  | 58,2          | 122,5   | 69,1         | 55,8         |
| 2003 | 51,7   | 41,2    | 6,3   | 46,6  | 37,1  | 48,4  | 52,0  | 67,8   | 128,9         | 131,6   | 81,1         | 47,6         |
| 2004 | 76,1   | 55,0    | 102,6 | 103,1 | 84,0  | 176,9 | 115,2 | 147,6  | 102,5         | 180,5   | 52,1         | 46,6         |
| 2005 | 6,4    | 47,2    | 46,2  | 90,3  | 90,2  | 82,2  | 193,8 | 185,6  | 145,1         | 56,7    | 112,4        | 86,2         |
| 2006 | 48,7   | 44,0    | 70,6  | 95,5  | 175,7 | 77,4  | 60,4  | 156,0  | 103,8         | 64,2    | 38,2         | 30,3         |
| 2007 | 66,2   | 59,7    | 99,7  | 3,5   | 135,8 | 97,2  | 111,4 | 202,4  | 243,2         | 83,4    | 33,3         | 47,2         |
| 2008 | 8,3    | 26,2    | 116,2 | 57,2  | 101,7 | 149,6 | 152,4 | 193,8  | 51,8          | 80,3    | 64,2         | 148,9        |
| 2009 | 87,6   | 60,8    | 88,5  | 70,8  | 58,8  | 190,3 | 76,8  | 130,0  | 103,2         | 46,7    | 82,0         | 94,8         |
| 2010 | 73,9   | 59,0    | 25,5  | 41,7  | 48,1  | 85,4  | 76,1  | 162,7  | 275,6         | 60,4    | 134,7        | 85,2         |
| 2011 | 21,0   | 17,0    | 57,5  | 45,2  | 79,0  | 143,7 | 131,6 | 57,4   | 60,6          | 103,3   | 0,1          | 80,5         |
| 2012 | 11,9   | 32,3    | 5,0   | 74,2  | 112,3 | 63,0  | 92,3  | 39,7   | 156,7         | 187,5   | 75,7         | 61,2         |

Priloga C

POPISNI LIST "ZDRAVI"

ZDRAVI



Gozdarski inštitut Slovenije  
dendrokronološki laboratorij

|   |  |
|---|--|
| Tip vzorca  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> 5 mm izvrtki  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> 12 mm izvrtki |  |
| <input type="checkbox"/> koluti                   |  |

OBRAZEC ZA ODVZEM IZVRTKOV ŽIVIH DREVES

|                       |                |  |
|-----------------------|----------------|--|
| Območna enota         | CELJE          |  |
| Oddelek, odsek        | 403 f          |  |
| Nadmorska višina      | ~260 m         |  |
| Krajevno ime          | MLAČE / Pogled |  |
| Zadnja branika        | 2012           |  |
| Datum odvzema vzorcev | 17.10.2012     |  |
| GPS koordinata        | N              |  |
|                       | E              |  |

| No.  | d <sub>1,3</sub> | Socialni položaj | Zdravstveno stanje | Utesnjeno krošnje | Opombe        |
|------|------------------|------------------|--------------------|-------------------|---------------|
| z-1  | 75,2             | 4                | 2                  | 2                 | a+b (mxd)     |
| z-2  | 69,5             | 2                | 1-2                | 3                 | a+b (mxd)     |
| z-3  | 52,6             | 2                | 1                  | 3                 | a+b (mxd)     |
| z-4  | 59,6             | 2                | 1                  | 2                 | a+b (mxd)     |
| z-5  | 69,1             | 1                | 1                  | 1                 | a+b (mxd)     |
| z-6  | 50,8             | 1                | 1                  | 1                 | a+b (mxd)     |
| z-7  | 75,2             | 2                | 1                  | 3                 | a+b           |
| z-8  | 61,3             | 1                | 1-2                | 2                 | a+b           |
| z-9  | 66,3             | 1                | 1-2                | 1                 | a+b           |
| z-10 | 84,9             | 1                | 1                  | 1                 | a+b           |
| z-11 | 43,4             | 2                | 1                  | 4                 | a+b } ~10 m   |
| z-12 | 56,0             | 2                | 1                  | 4                 | a+b } od arte |
|      |                  |                  |                    |                   |               |
|      |                  |                  |                    |                   |               |
|      |                  |                  |                    |                   |               |
|      |                  |                  |                    |                   |               |
|      |                  |                  |                    |                   |               |

Kratek opis sestoja:

Dvoslojni sebarif  
perirni: Petelinjek, ZGS

Sveti  
polov. 0°

zvez  
polov. 0°

## Priloga D

## POPISNI LIST "PROPADAJOĆI"

| OBRAZEC ZA ODVZEM IZVRTKOV ŽIVIH DREVES   |                  |                  |                    |                     |                              |
|---|------------------|------------------|--------------------|---------------------|------------------------------|
| <br>Gozdarski inštitut Slovenije<br>dendrokronološki laboratorij |                  |                  |                    |                     |                              |
| Tip vzorca  |                  |                  |                    |                     |                              |
| <input checked="" type="checkbox"/> 5 mm izvrtki<br><input checked="" type="checkbox"/> 12 mm izvrtki<br><input type="checkbox"/> koluti          |                  |                  |                    |                     |                              |
| Območna enota   |                  |                  |                    |                     |                              |
| Oddelek, odsek  |                  |                  |                    |                     |                              |
| Nadmorska višina  |                  |                  |                    |                     |                              |
| Krajevno ime  |                  |                  |                    |                     |                              |
| Zadnja branika  |                  |                  |                    |                     |                              |
| Datum odvzema vzorcev   |                  |                  |                    |                     |                              |
| GPS koordinata  |                  | <b>N</b>         |                    |                     |                              |
|   |                  | <b>E</b>         |                    |                     |                              |
| No.   | d <sub>1,3</sub> | Socialni položaj | Zdravstveno stanje | Utesnjenošč krošnje | Opombe                       |
| P-1   | 74,6             | 1                | 2-3                | 1                   | a + b (mxcl)                 |
| P-2   | 55,6             | 2                | 2-3                | 2                   | a + b (mxcl)                 |
| P-3   | 78,9             | 1                | 2-3                | 1                   | a + b (mxcl). lastno rveči z |
| P-4   | 57,8             | 2                | 2-3                | 2                   | a + b (mxcl)                 |
| P-5   | 71,9             | 1                | 2-3                | 1                   | a + b (mxcl)                 |
| P-6   | 65,9             | 1                | 2-3                | 2                   | a + b (mxcl)                 |
| P-7   | 67,5             | 2                | 2-3                | 1                   | a + b                        |
| P-8   | 86,1             | 1                | 2-3                | 1                   | a + b                        |
| P-9   | 46,5             | 1                | 3                  | 2                   | a + b suhe vrp               |
| P-10  | 61,1             | 1                | 3                  | 1                   | a + b                        |
| P-11  | 44,7             | 2                | 3                  | 3                   | a + b                        |
| P-12  | 57,2             | 2                | 3                  | 2                   | a + b                        |
|   |                  |                  |                    |                     |                              |
|   |                  |                  |                    |                     |                              |
|   |                  |                  |                    |                     |                              |
|   |                  |                  |                    |                     |                              |
|   |                  |                  |                    |                     |                              |
| Kratek opis sestoja:  |                  |                  |                    |                     |                              |