

Zbornik gozdarstva in lesarstva 93 (2010), s. 11–22

GDK: 56.241(045)=163.6

UDK: 630*56:004.42(045)=163.6

Prispelo / Received: 06.05.2010

Sprejeto / Accepted: 03.09.2010

Izvirni znanstveni članek

Original scientific paper

Primerjava programov za standardizacijo časovnih vrst v dendrokronologiji

Simon POLJANŠEK¹, Špela JAGODIČ², Tom LEVANIČ³

Izvleček

Za standardizacijo zaporedij širin branik je v uporabi več programov, mi smo primerjali dva - najbolj razširjeni in znani program ARSTAN in pred kratkim predstavljeno knjižnico za standardizacijo dendrokronoloških podatkov dplR, narejeno za statistični program R. Oba programa sta brezplačna, ARSTAN je namenski program za standardizacijo zaporedij širin branik, medtem ko je program R, v okviru katerega deluje knjižnica dplR, namenjen tudi drugim analizam in prikazom podatkov. Uporabili smo različne teste in preverili, ali so med kronologijami širin branik, kakor jih izračunata ARSTAN in dplR, statistično značilne razlike in ali so standardizirane kronologije, narejene s knjižnico dplR, enako uporabne za preučevanje ekoloških in klimatoloških vprašanj, kot so kronologije, narejene s programom ARSTAN. ARSTAN za izračun kronologije ponudi uporabniku listo ukazov, medtem ko dplR zahteva pisne ukaze in ne ponuja izbire. Pri primerjavi rezultatov smo ugotovili, da razlike med izračuni primerjanih programov niso statistično značilne - programa pri osnovnih statističnih parametrih ponudita enake rezultate za povprečne širine branik in standardne odklone ter z razliko na drugem decimalnem mestu za rezultate občutljivosti in avtokorelacijskega koeficienta. Korelacija med standardiziranimi kronologijama znaša 0,9773, med kronologijama ostankov pa 0,9776, grafično so razlike prav tako maloštevilne in majhne. Ker se programa razlikujeta le po delovnem okolju, je odločitev o izbiri programa prepuščena uporabniku.

Ključne besede: dendrokronologija, računalniški program, ARSTAN, dplR, kronologija širin branik

Comparison of two programs for standardisation of time-series data in dendrochronology

Abstract

Several freeware programs are available for calculation of chronologies. In this paper, we compared two of these programs; the well known ARSTAN and the newly introduced library for standardization dendrochronological data dplR, made for statistical program R. Both are free. ARSTAN is specific and produces chronologies from tree-ring width by standardization, while dplR is a package within the statistical programming environment R, which is able to analyze and present results of other analysis. For comparison of chronologies, made in these two programs, we used different tests. ARSTAN provides many options for calculating chronologies, whereas dplR demands written orders and offers no choices. Differences between built chronologies from these two programs are not statistically significant – programs produce same results comparing basic statistical analysis for average tree-ring widths and standard deviations, but for results of sensitivity and autocorrelation coefficient, there is a difference on a second decimal place. Correlation between standardized chronologies is 0.9773, while between residual chronologies it reaches 0.9776; graphically, the differences are also small and low numbered. As the true difference between the programs lies merely in the working environment, it is for users to decide, which program suit them best.

Key words: dendrochronology, computer program, ARSTAN, dplR, chronology tree-ring width

1 Uvod

1 Introduction

Drevesa rastejo v naravnem okolju, zato na njihovo rast vplivajo številni dejavniki, kot so starost, klima, konkurenca med drevesi, tla itd. Navadno nas

ne zanimajo vplivi vseh dejavnikov hkrati, zato so tisti dejavniki, ki jih ne preučujemo, moteči in jih v procesu raziskav skušamo odstraniti. To storimo s postopkom, ki se v dendrokronologiji imenuje standardizacija (ang. *standardization*). Standardizacija v dendrokronologiji temelji na združenem linearnem modelu rasti, ki ga je postavil Cook (COOK / KAIRIUKSTIS, 1989) in se glasi:

¹ S. P., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, simon.poljansek@gozdis.si

² Š. J., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana Slovenija, spela.jagodic@gozdis.si

³ doc.dr., T. L., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, tom.levanic@gozdis.si

$$R_t = A_t + C_t + \delta D1_t + \delta D2_t + E_t,$$

pri tem je R_t opazovana časovna vrsta (zaporedje) širin branik, A_t trend v časovni vrsti, ki je odvisen od starosti drevesa, C_t so združeni klimatski vplivi na širino branike, δ binarni simbol, kjer vrednost 1 pomeni motnjo, 0 pa, da motnje, ki jo povzročajo lokalni okoljski dejavniki ($D1_t$) in širša okolica drevesa ($D2_t$), ni, medtem ko E_t ponazarja nepojasneni del variabilnosti širine branike.

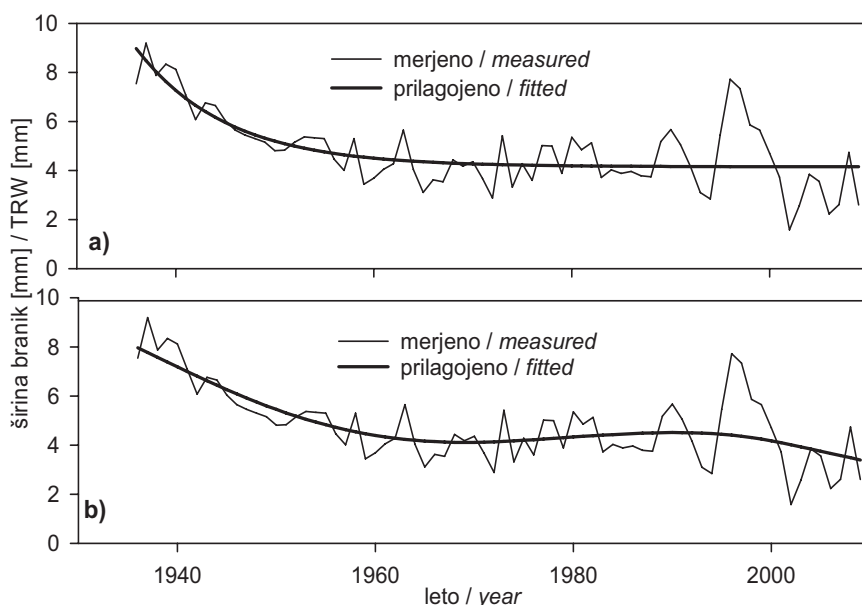
Standardizacija je računsko zahteven postopek, za katerega večinoma uporabljamo program ARSTAN (HOLMES/ADAMS/FRITTS, 1986), ki je v uporabi še od časov, ko ni bilo na voljo ustreznih programskih orodij za delo s časovnimi vrstami. V zadnjem času pa se pojavljajo programske knjižnice, ki tečejo v programih R (BUNN, 2008) in Matlab in opravljajo podobne funkcije kot program ARSTAN, le da tečejo v bolj modernem programskem okolju (npr. MS Windows). Postopek standardizacije zaporedij širin branik je, matematično gledano, analiza časovnih vrst. V našem primeru gre za postopek iskanja primerne regresijske funkcije in izračuna ostankov (ang. *residuals*) oziroma razmerij med prilagojenimi (pričakovanimi, ang. *fitted values*) in dejanskimi (izmerjenimi, ang. *measured values*) vrednostmi (LEVANIČ, 1996). Rezultat standardizacije so standardizirane (indeksirane) krivulje, ki so primerljive med drevesi različnih starosti in z različnih rastišč. Za standardizacijo v glavnem uporabljamo dva tipa regresijskih funkcij – toge in gibke. Toge regresijske funkcije (kot npr. linearna in modificirana negativna eksponentna) se navadno dokaj slabo prilagajajo merjenim podatkom, vendar so v primeru, ko je trend debelinske rasti enakomerno naraščajoč ali padajoč, primerne za standardizacijo širin branik (slika 1a).

Gibke regresijske funkcije, kot npr. kubični zleпки ali drseče sredine (slika 1b), so bistveno bolj fleksibilne in se dobro prilagajajo rasti dreves, tudi v zelo dinamičnih okoljskih in sestojnih razmerah, kjer so pogosta redčenja, vetroolomi, rast ob vrzelih, itd.

Standardizacija dendrokronoloških podatkov, kot jo poznamo danes, je bila pred uvedbo računalnikov težko izvedljiva, v primeru kubičnih zlepkov pa tudi nemogoča. Po letu 1960 so se tudi v civilni sferi pojavili prvi računalniki in različni programi (glej npr. BUNN, 2008), vendar smo šele v poznih 80-ih letih prejšnjega stoletja dobili prvi zares uporaben program za standardizacijo dendrokronoloških podatkov, imenovan ARSTAN. Ta še danes velja za de-facto standard in vsi programi ali knjižnice za standardizacijo dendrokronoloških podatkov se zgledujejo po njem, tudi knjižnica dplR, ki jo v tem prispevku želimo primerjati s programom ARSTAN.

Cilji prispevka so naslednji:

1. Opisati potek standardizacije zaporedij širin branik v ARSTANU in dplR, s poudarkom na izvedbi standardizacije v dplR.
2. Primerjati rezultate standardizacije zaporedij širin branik v programskih okoljih ARSTAN in dplR, tako z vizualnimi kot statističnimi metodami, in ovrednotiti morebitne razlike, ki so posledica razlik v algoritmih za izračunavanje standardiziranih kronologij.
3. Korelacijska analiza: ugotoviti, ali prihaja do statistično značilnih razlik pri izračunu korelacije kronologij s klimo.
4. Poudariti uporabnost programa R v dendrokronoloških analizah.



Slika 1: Merjene in prilagojene širine branik: (a) z modificirano negativno eksponentno funkcijo in (b) s kubičnim zlepkom
Figure 1: Measured tree-ring widths, fitted (a) with modified negative exponential function and (b) cubic smoothing spline

2 Materiali in metode

2 Materials and methods

2.1 Dendrokronološki podatki

2.1 Dendrochronological data

Za primerjavo programov ARSTAN in dplR smo iz dendrokronološke zbirke Oddelka za prirastoslovje in gojenje gozdov Gozdarskega inštituta Slovenije izbrali 10 preverjenih in sinhroniziranih zaporedij širin branik dobov (*Quercus robur*) iz Murske Šume, vzorčenih v letu 2009. Osnovni podatki o zaporedjih širin branik so predstavljeni v preglednici 1. Podatkovna datoteka je bila zapisana v obliki tekstovne datoteke tipa Tucson, ki ga bereta tako ARSTAN kot dplR.

Preglednica 1: Osnovni podatki zaporedij širin branik vzorčnih hrastov

Table 1: Basic data of tree ring widths of sampled oaks

drevo / series	ime / name	prvo leto / first year	zadnje leto / last year	dolžina / length	povpr. širina branike / mean ring width
1	ms1-01	1945	2009	65	3,15
2	ms1-02	1938	2009	72	4,07
3	ms1-03	1936	2009	74	4,78
4	ms1-04	1935	2009	75	2,95
5	ms1-05	1943	2009	67	3,92
6	ms1-06	1941	2009	69	3,68
7	ms1-07	1935	2009	75	4,93
8	ms1-09	1937	2008	72	3,89
9	ms1-10	1937	2008	72	4,55
10	ms1-08	1933	2008	76	3,55

2.2 Meteorološki podatki

2.2 Meteorological data

Meteorološki podatkovni niz so sestavljali podatki o povprečnih mesečnih temperaturah in povprečnih mesečnih količinah padavin za Mursko Soboto za obdobje od leta 1951 do 2005. Podatke smo dobili na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO, 2009). Uporabili smo jih v analizi, kjer smo primerjali korelacije med klimatskimi podatki in residualnima kronologijama, narejenima v Arstanu in dplR.

2.3 Statistične analize

2.3 Statistical analysis

Razlike med rezultati izdelanih kronologij in korelacije med obema kronologijama in klimatskimi

podatki smo ovrednotili s parnim t-testom. Parni t-test je preskušanje razlik med parametri dveh vzorcev, gre torej za statistično testiranje razlik med dvema nizoma podatkov ali med dvema metodama na istem nizu podatkov (KOŠMELJ, 2007).

2.4 Splošno o programu ARSTAN

2.4 General information about ARSTAN

ARSTAN je prosto dostopen računalniški program, razvit s strani Edwarda R. Cooka (<http://www.ldeo.columbia.edu/res/fac/trl/public/public-Software.html>). Program standardizira zaporedja širin branik, ki so v principu časovne vrste, izračuna kronologije, jih grafično prikaže ter izpiše široko paleto statističnih kazalnikov

vhodnih podatkov. Program je razmeroma zastarel, saj zelene parametre obdelave določamo s pomočjo številskih ukazov, npr. tip standardizacije izberemo tako, da vtipkamo številko 4, nato pa izberemo funkcijo (glej sliko 3). Potek standardizacije spremljamo za vsako časovno vrsto posebej. Za izvedbo standardizacije imamo na voljo različne matematične funkcije (toge in gibke, tudi kubični zleпки) ter eno ali dvostopenjsko standardizacijo. Odločitev za eno ali dvostopenjsko standardizacijo temelji na ekspertni oceni in predhodni vizualni analizi časovnih vrst v enem od dendrokronoloških programov (npr. PAST-4). Po končanem postopku standardizacije dobimo kot rezultat datoteko, ki vsebuje 4 tipe kronologij širin branik (glej sliko 2) (LEVANIČ, 1996):

1. Osnovna kronologija (RAW) je enostavno povprečje nestandardiziranih zaporedij širin branik in vsebuje vse odzive rasti drevesa na okoljske dejavnike.

2. Standardizirana kronologija (STD) je aritmetična sredina standardiziranih podatkov. Standardizirane

vrednosti so izračunane kot razmerje med izmerjeno širino branik in prilagojeno vrednostjo (regresijsko funkcijo). Povprečne vrednosti količnikov za vse kronologije dreves je izračunano kot navadna aritmetična sredina ali pa kot robustna, tehtana aritmetična sredina, ki drugače upošteva vrednosti, ki se od povprečja preveč razlikujejo (ang: *outliers*).

3. Kronologija ostankov (RES) (ang. *residual chronology*) je robustno (vsaka vrednost ima enako težo) standardizirano povprečje ostankov avtoregresijskega modeliranja zaporedij širin branik. Osnova je kronologija STD, ki ji z metodo »čiščenja« (ang. *prewhiten*) odstranimo avtokorelacijo.

4. Četrto kronologijo tipa ARS dobimo tako, da z uporabo avtoregresijskega modeliranja v kronologijo RES dodamo povprečno stopnjo avtokorelacije analiziranih zaporedij širin branik. V tej kronologiji je jakost klimatskega signala podobno visoka kot v kronologiji RES (LEVANIČ, 2006).

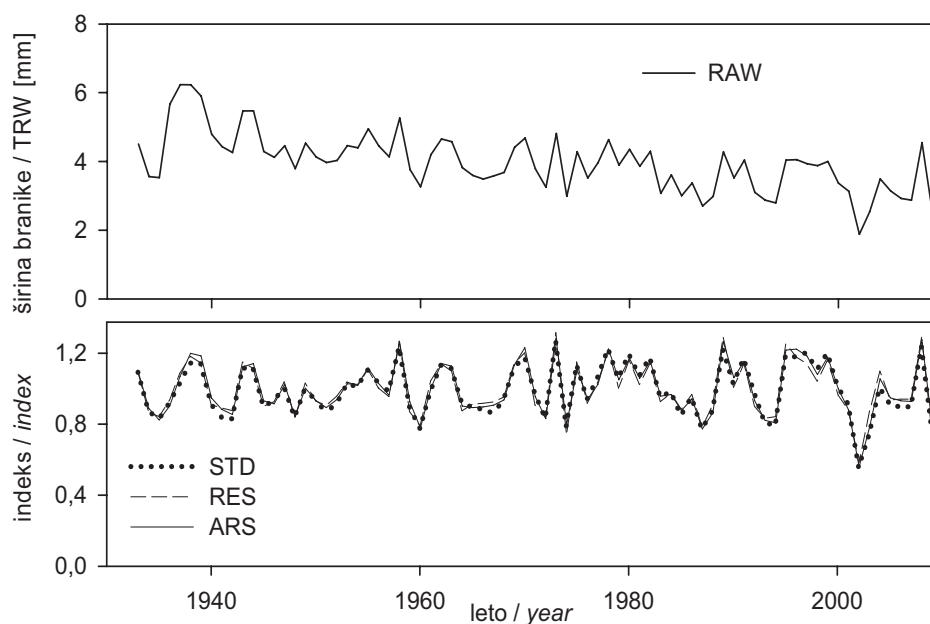
V ARSTAN-u se rezultati med procesom izdelave kronologij prikazujejo grafično za vsako drevo posebej. Tako lahko za vsako drevo vizualno preverimo, kako se regresijska krivulja prilagaja podatkom. Proces lahko pri vsakem drevesu ustavimo, izberemo drugo funkcijo za standardizacijo, shranimo grafikon in nadaljujemo z analizo. Na koncu nam ARSTAN poleg izračuna kronologij v mapo shrani tudi obsežen izpis statističnih kazalnikov in različne podatke za nadaljnje analize. Vse datoteke se zapišejo v mapo, kjer sta program ARSTAN in datoteka s podatki. Ker je ARSTAN v svojem bistvu program, ki je bil razvit v operacijskem sistemu MS-DOS in zato ne pozna pridobitev okenskih operacijskih sistemov, naredi v direktoriju večje število datotek, v katerih so rezultati standardizacije.

Tako npr. datoteka s končnico *_tabs* vsebuje vse 4 tipe kronologije, s končnico *_raw* ponazarja merjena zaporedja širin branik za izdelavo kronologij, *_out* pa prikaže izbrane specifikacije izdelane kronologije s statističnimi kazalniki za osnovne podatke ter kronologijo ostankov. Datoteka s končnico *_ind1* vsebuje vrednosti standardiziranih kronologij posameznih dreves, *_res* vrednosti kronologije ostankov, *_crv1* pa postreže z izračunanimi vrednostmi krivulje, ki smo jo izbrali za standardizacijo posameznih zaporedij širin branik. Za primerjavo med programom ARSTAN in dplR smo uporabili kronologiji STD in RES.

2.5 Standardizacija v ARSTAN-u (različica 4.1.D za Windows XP)

2.5 Standardization in ARSTAN (version 4.1.D for Windows XP)

Programu najprej definiramo vir podatkov v standardnem formatu Tucson, nato se odpre meni (slika 3), prek katerega določamo parametre za izračun kronologije. Pod zaporedno št. 4 izberemo tip funkcije za prvo stopnjo standardizacije. Pod št. 12 izberemo način izračuna povprečij standardiziranih vrednosti kronologije. Pri št. 16 določamo izračun EPS (ang. *expressed population signal*, več glej: BRIFFA et al., 1990, povzeto po COOK / KAIRIUKSTIS 1990). V našem primeru smo izbrali kubični zlepek z dolžino, ki ustreza 67 % dolžine kronologije, s 50-odstotno ohranitvijo variabilnosti podatkov in z robustnim izračunavanjem aritmetične sredine izdelanih kronologij. Za izračun drsečega populacijskega signala (EPS) smo izbrali širino obdobja 30 let, s pomikom po 1 leto. Na koncu določanja parametrov definiramo še način prikaza

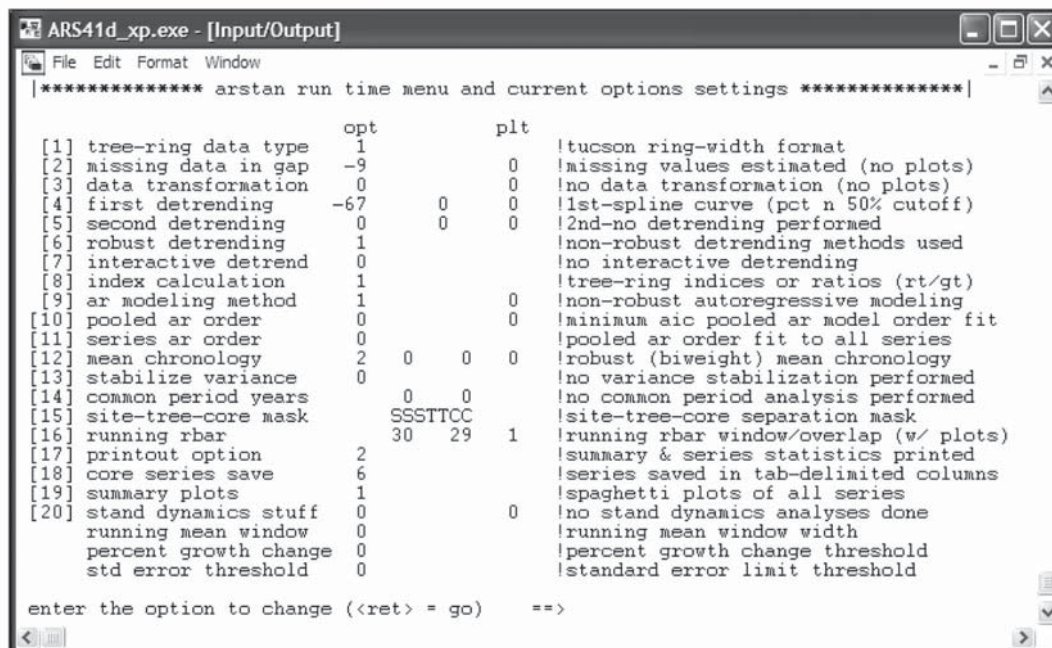


Slika 2: 4 tipi kronologij, dobljenih v programu ARSTAN – »surova« kronologija, samo povprečje zaporedij širin branik (RAW), standardna kronologija (STD), kronologija ostankov (RES) in avtoregresivna kronologija ARS

Figure 2: 4 types of chronologies, calculated in ARSTAN program – raw chronology, just an average of all tree-ring chronologies (RAW), standard chronology (STD), residual chronology (RES,) and autoregressive chronology ARS

rezultatov (točki 17 določimo vrednost 2; posebni grafi) ter način shranitve rezultatov (točki 18 določimo vrednost 6; tab datoteke).

zapisov, ukazov, ki omogočajo opravljanje operacij. Ena izmed knjižnic je dplR (ang: *dendrochronology* program library in R), namenjen standardizaciji časovnih vrst v



```

ARS41d_xp.exe - [Input/Output]
File Edit Format Window
|***** arstan run time menu and current options settings *****|
[1] tree-ring data type      opt      plt      !tucson ring-width format
[2] missing data in gap     -9       0        !missing values estimated (no plots)
[3] data transformation    0        0        !no data transformation (no plots)
[4] first detrending       -67      0        0        !1st-spline curve (pct n 50% cutoff)
[5] second detrending      0        0        0        !2nd-no detrending performed
[6] robust detrending      1        0        0        !non-robust detrending methods used
[7] interactive detrend    0        0        0        !no interactive detrending
[8] index calculation      1        0        0        !tree-ring indices or ratios (rt/gt)
[9] ar modeling method     1        0        0        !non-robust autoregressive modeling
[10] pooled ar order       0        0        0        !minimum aic pooled ar model order fit
[11] series ar order       0        0        0        !pooled ar order fit to all series
[12] mean chronology       2        0        0        0        !robust (biweight) mean chronology
[13] stabilize variance    0        0        0        0        !no variance stabilization performed
[14] common period years   0        0        0        0        !no common period analysis performed
[15] site-tree-core mask   SSSSTCC
[16] running rbar          30      29      1        !running rbar window/overlap (w/ plots)
[17] printout option       2        0        0        0        !summary & series statistics printed
[18] core series save      6        0        0        0        !series saved in tab-delimited columns
[19] summary plots         1        0        0        0        !spaghetti plots of all series
[20] stand dynamics stuff  0        0        0        0        !no stand dynamics analyses done
      running mean window 0
      percent growth change 0
      std error threshold 0
      !running mean window width
      !percent growth change threshold
      !standard error limit threshold

enter the option to change (<ret> = go)  ==>

```

Slika 3: Zapis v ARSTAN-u za izračun standardizirane časovne vrste

Figure 3: ARSTAN options for standardization measurement series

2.6 dplR

2.6 dplR

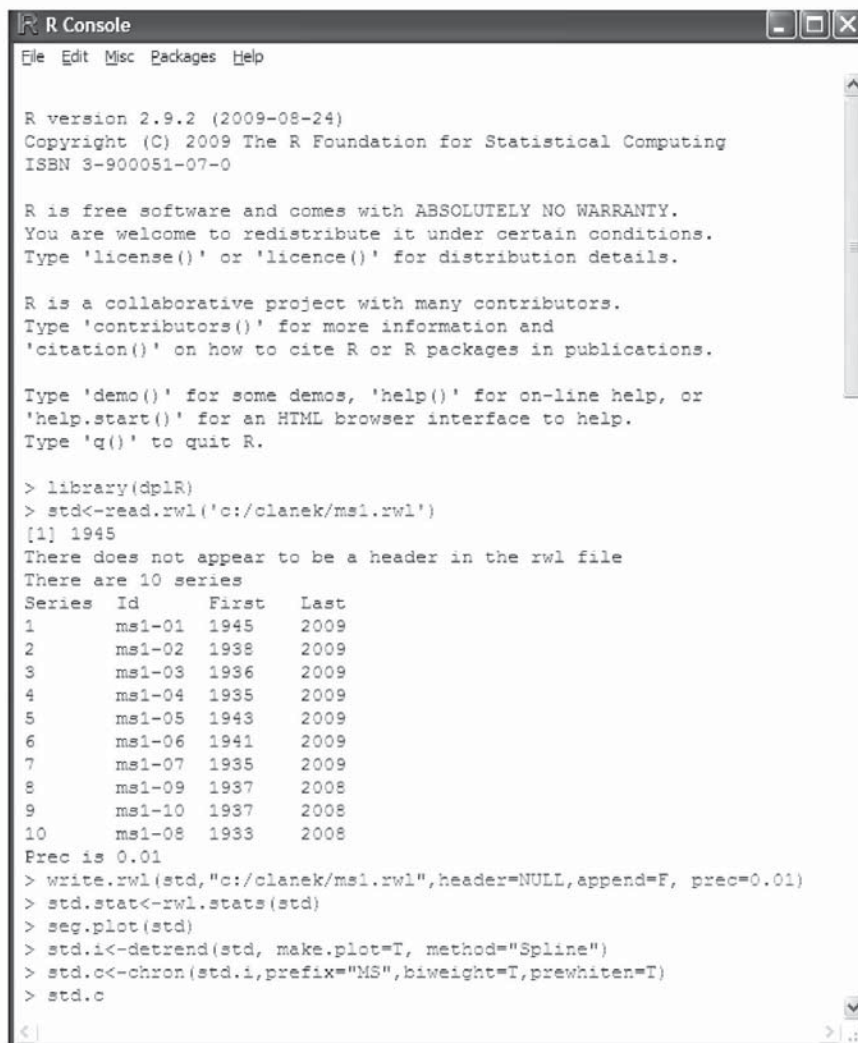
R (www.r-project.org) je brezplačno programsko okolje za statistične analize podatkov, njihovo grafično prikazovanje ter platforma za razvoj in implementacijo novih matematično-statističnih rešitev (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2009). Njegova prednost je fleksibilnost, ki se kaže v velikem številu paketov (statistične analize, računske operacije in grafični prikazi), ki jih kot knjižnico (ang: *library*) vključimo v R in rabijo različnim matematično-statističnim operacijam v R. Program je neodvisen od operacijskega sistema, zato deluje na vseh modernih operacijskih sistemih (Microsoft Windows, Mac OS, Linux). Prednost je tudi razvita komunikacija med drugimi uporabniki tega programa (spletna objava in reševanje težav). Slabost R je, da je obsežen in kompleksen program ter zato težaven za učenje, manjka pa mu tudi menijska struktura izbire ukazov (ni okenskega grafičnega vmesnika), zato moramo vsak ukaz pred izvedbo vtipkati. Ta problem rešimo s programskim urejevalnikom Tinn-R. To je brezplačen, preprost in učinkovit program, v katerem zapisane ukaze preprosto shranimo, kopiramo ali posredujemo drugim uporabnikom, kar zagotavlja ponovljivost analize. Tinn-R s pošiljanjem ukazov prek vrstic nadzoruje R. Program R in njegove knjižnice posodabljam preko interneta. Knjižnica je zbirka

dendrokronologiji. Knjižnico dplR uporabimo takrat, kadar želimo standardizirati zaporedja širin branik, a ne želimo uporabiti ARSTAN-a. Tako kot ARSTAN nam tudi dplR omogoča prilagoditev regresijske krivulje posameznemu drevesu in sestavo kronologije.

2.7 Standardizacija z dplR

2.7 Standardization with dplR

Knjižnica dplR deluje podobno kot ARSTAN, le da je na voljo manj ukazov za standardizacijo. Najprej poženemo program R, nato pa odpremo knjižnico dplR in določimo mesto, kjer so naši podatki, sledi branje tekstovne datoteke Tuscon, standardizacija ter izdelava kronologije (za celoten zapis glej sliko 4). Postopek standardizacije smo opravili enako kot v ARSTAN-u. Zaporedje širin branik smo standardizirali s kubičnimi zlepkami s 67 % dolžine kronologije, s 50-odstotnim ohranjanjem variabilnosti podatkov ter z robustnim izračunavanjem aritmetične sredine izdelanih kronologij.



```

R Console
File Edit Misc Packages Help

R version 2.9.2 (2009-08-24)
Copyright (C) 2009 The R Foundation for Statistical Computing
ISBN 3-900051-07-0

R is free software and comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY.
You are welcome to redistribute it under certain conditions.
Type 'license()' or 'licence()' for distribution details.

R is a collaborative project with many contributors.
Type 'contributors()' for more information and
'citation()' on how to cite R or R packages in publications.

Type 'demo()' for some demos, 'help()' for on-line help, or
'help.start()' for an HTML browser interface to help.
Type 'q()' to quit R.

> library(dplR)
> std<-read.rwl('c:/clanek/ms1.rwl')
[1] 1945
There does not appear to be a header in the rwl file
There are 10 series
Series Id      First Last
1      ms1-01  1945 2009
2      ms1-02  1938 2009
3      ms1-03  1936 2009
4      ms1-04  1935 2009
5      ms1-05  1943 2009
6      ms1-06  1941 2009
7      ms1-07  1935 2009
8      ms1-09  1937 2008
9      ms1-10  1937 2008
10     ms1-08  1933 2008
Prec is 0.01
> write.rwl(std,"c:/clanek/ms1.rwl",header=NULL,append=F, prec=0.01)
> std.stat<-rwl.stats(std)
> seg.plot(std)
> std.i<-detrend(std, make.plot=T, method="Spline")
> std.c<-chron(std.i, prefix="MS", biweight=T, prewhiten=T)
> std.c

```

Slika 4: Delovno okolje v programu R

Figure 4: Working environment in program R

Standardizacijo v nasprotju z ARSTAN-om napravimo v dplR-ju v naslednjih korakih (slika 4).

1. Najprej odpremo knjižnico dplR z ukazom:

```
library(dplR)
```

2. Nato določimo vir (ang. *data frame*) in značilnosti baze podatkov. V primeru je privzeto, da so naši podatki na lokalnem disku C in da se datoteka imenuje ms1.rwl. Funkcija *read.rwl* (ang. *rwl = ring width list*) omogoča branje standardne tekstovne datoteke tipa Tuscon.

```
std<-read.rwl('c:/R/podatki/ms1.rwl')
```

3. Osnovne statistične kazalce zaporedij širin branik dobimo z ukazom *rwl.stats*, graf prekrivanja dolžine kronologij dreves pa z ukazom *seg.plot*.

```
std.stat<-rwl.stats(std)
```

```
seg.plot(std)
```

4. Funkcija *detrend* omogoča prikaz treh različnih prilagoditev (negativna eksponentna, kubični zleпки in linearna funkcija) za vsak posamezen primer (npr. vsako drevo), vendar v skupnem grafičnem programskem oknu. V našem primeru smo kronologije dreves standardizirali s kubičnimi zleпки (method="Spline") z ukazom *detrend*.

```
std.i<-detrend(std, make.plot=T, method="Spline")
```

5. Z ukazom *chron* povprečimo standardizirane kronologije dreves (*std.i*) v skupno kronologijo *std.c*. Ukaz *chron* za izračun srednje vrednosti kronologij uporablja Tukeyevo robustno aritmetično sredino (*biweight=T*), pri kateri imajo ekstremne vrednosti (širine branik) drugačno težo (njihov vpliv na aritmetično sredino je zmanjšan). Z ukazom *crn.plot* kronologijo prikažemo na zaslonu. Ker želimo odstraniti vpliv avtokorelacije, uporabimo ukaz

```
»prewhiten=T«. Osnovne statistične parametre
narejene kronologije nam prikaže rwi.stats.
std.c<-chron(std.i, biweight=T,prewhiten=T)
crn.plot(std.c)
std.stat.i<-rwi.stats(std.c,period="max")
```

Za izdelano kronologijo lahko izračunamo še naslednja kazalca:

1. Srednja mera občutljivosti² se, ko je rastni trend odstranjen, izračuna z izrazom *sens1* oziroma *sens2*, ko še obstaja.

```
sens1(std.i)
sens1(std.c)
sens2(std)
```

2. Za izračun avtokorelacijskih koeficientov³ odpremo novo knjižnico.

```
library(FinTS)
acfms<-Acf(std.c$MSstd, na.action = na.pass, lag.
max = 10)
acraw<-acf(std,na.action = na.pass)
library(stats)
pcfms<-pacf(std.c$MSstd, na.action = na.pass, lag
max = 10)
```

Če želimo shraniti kronologijo, uporabimo ukaz *write.rwl*, ki kronologijo zapiše v standardnem Tucson formatu.

```
write.rwl(std,"c:/R/podatki/ms1.rwl",header=NULL,
append=F, prec=0.01)
```

3 Rezultati

3 Results

3.1 Opisna statistika merjenih širin branik

3.1 Descriptive statistics of measured tree rings

Tu primerjamo osnovno opisno statistiko, ki jo izračunata programa za isti nabor podatkov in za vsako drevo posebej. Rezultati so enaki pri zaokroževanju vrednosti na tri decimalna mesta pri izračunih povprečja in standardnega odklona, razlike pa obstajajo na tretjem decimalnem mestu pri izračunu občutljivosti ter že na drugem decimalnem mestu avtokorelacijskega koeficienta z zamikom 1 leta (preglednica 2).

3.2 Primerjava standardiziranih podatkov

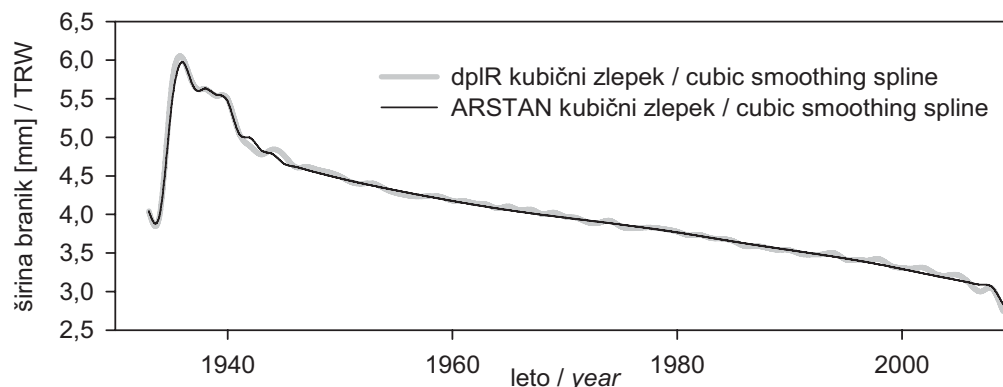
3.2 Comparison of standardized data

Tu med sabo primerjamo končne kronologije. Korelacija med standardiziranimi kronologijama programa ARSTAN in dplR (slika 5) po metodi robustne ocene aritmetičnih sredin in očiščenja avtokorelacije znaša 0,9773. Aritmetična sredina indeksa pri ARSTAN-u znaša 0,989, pri dplR-ju je nekoliko višja - 0,994. Srednja mera občutljivosti je pri ARSTAN-u z 0,151 višja kot pri dplR 0,144 (preglednica 3).

Preglednica 2: Primerjava osnovnih statističnih parametrov zaporedij širin branik

Table 2: Comparison of basic statistical results of tree-ring widths

Zap.št./ series	obdobje / period	Dolžina/ length	povprečje/ mean		Std. odklon / stdev		Občutljivost / sens		ac(1) ar1	
			ARSTAN	dplR	ARSTAN	dplR	ARSTAN	dplR	ARSTAN	dplR
1	1945-2009	65	3,150	3,150	0,915	0,915	0,203	0,200	0,587	0,578
2	1938-2009	72	4,072	4,072	1,110	1,110	0,163	0,161	0,591	0,582
3	1936-2009	74	4,783	4,783	1,514	1,514	0,190	0,188	0,730	0,720
4	1935-2009	75	2,947	2,947	1,103	1,103	0,217	0,215	0,767	0,757
5	1943-2009	67	3,923	3,923	0,831	0,831	0,214	0,211	0,285	0,281
6	1941-2009	69	3,681	3,681	1,276	1,276	0,229	0,226	0,649	0,640
7	1935-2009	75	4,934	4,934	1,319	1,319	0,176	0,174	0,626	0,617
8	1937-2008	72	3,890	3,890	0,862	0,862	0,203	0,200	0,338	0,334
9	1937-2008	72	4,553	4,553	1,522	1,522	0,196	0,193	0,722	0,712
10	1933-2008	76	3,553	3,553	0,813	0,813	0,214	0,211	0,291	0,287



Slika 5: Povprečje kubičnih zlepkov, izdelanih v programih ARSTAN in dplR (korelacija=0,998)

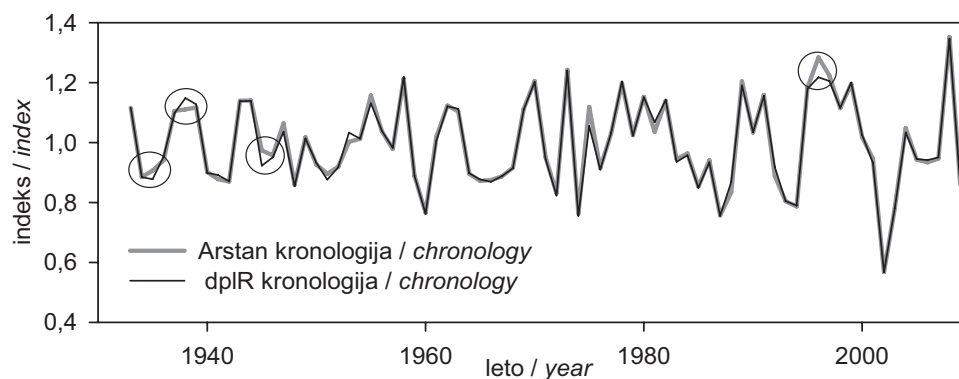
Figure 5: Average cubic spline calculated in programs ARSTAN and dplR (correlation=0.998)

Med kronologijama ostankov (RES) znaša korelacija 0,9776, aritmetična sredina indeksov pa je z 0,996 višja pri dplR kot pri ARSTAN-u 0,992 (preglednica 3). Povprečni avtokorelacijski koeficient z zamikom 1 leta za dplR znaša 0,001, za ARSTAN pa -0,144.

Preglednica 3: Primerjava statističnih parametrov kronologij, izdelanih v ARSTAN-u in dplR

Table 3: Comparison between statistical results of chronologies developed in ARSTAN and dplR

Kronologija / chronology	Obdobje / period	Skupno / total	Indeks / index		Std. odklon / stdev		Občutljivost / sensitivity		ac(1) ar1	
			Arstan	dplR	Arstan	dplR	Arstan	dplR	Arstan	dplR
STD	1933-2009	77	0,989	0,994	0,147	0,144	0,151	0,144	0,177	0,169
RES	1933-2009	77	0,992	0,996	0,148	0,140	0,169	0,150	-0,144	0,001

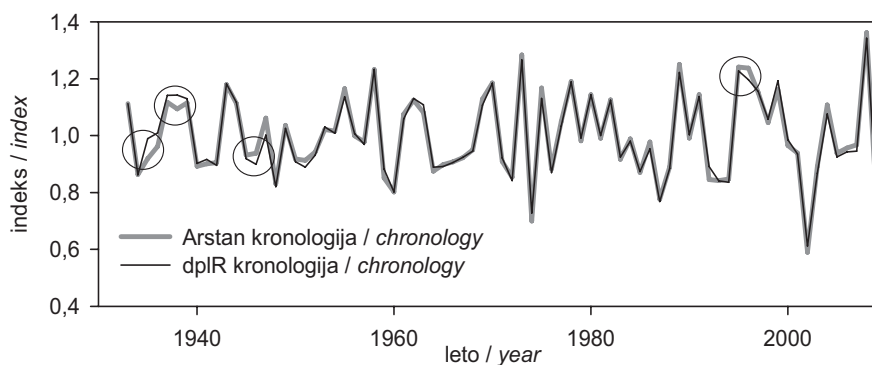


Slika 6: Primerjava kronologij STD, izdelanih v ARSTAN-u in dplR

Figure 6: Comparison of chronologies STD calculated in ARSTAN and dplR

Grafična primerjava standardiziranih (STD) kronologij, izračunanih v dplR in ARSTAN-u, je pokazala manjše razlike le na nekaterih mestih. Omenjene razlike smo na sliki označili s krožnico (slika 6). Ob primerjavi razlik na začetku kronologije ima ARSTAN manjše odklone merjenih vrednosti od regresijske funkcije, kot so odkloni pri programu dplR. V vmesnem obdobju kronologiji izkazujeta podobnost.

Podobne razlike so pri primerjavi kronologij ostankov (RES). Zopet so med kronologijama opazne nekoliko večje vrednosti razlik na začetku kronologije, ponovno so razlike poudarjene s krožnico (slika 7).



Slika 7: Primerjava kronologij RES, izračunanih v ARSTAN-u in dplR

Figure 7: Comparison of chronologies RES calculated in ARSTAN and dplR

3.3 Korelacija s klimo

3.3 Correlation with climate

V prejšnjih poglavjih smo preverjali, ali obstajajo med izračuni kronologije v ARSTAN-u in dplR kakršnekoli razlike. Tu smo želeli dodatno preveriti, ali kronologije, narejene v ARSTAN-u in dplR, dajo drugačne, statistično značilno različne korelacije s klimatskimi podatki (glej izsek iz podatkovne datoteke pod točko 1). V tem kontekstu niti ni pomembno, kakšne so posamezne korelacije med kronologijo in klimo, bistvene so morebitne razlike v višini in predznaku korelacij. V primerjavi smo uporabili kronologije ostankov, narejene v ARSTAN-u ali v dplR. Za primerjavo smo uporabili kar program R.

1. Najprej odpremo vir podatkov za klimo, naša datoteka je imenovana klima.txt. Podatki morajo biti zapisani na način »tab delimited«.

```
klima<-read.table(file('C:/R/podatki/klima.txt'),
dec=",", sep="\t", header = TRUE)
```

Datoteka v stolpcih od 2 do 26 vsebuje podatke o mesečni temperaturi in padavinah. Kronologiji, narejeni v ARSTAN-u in dplR sta v stolpcu 29 in 30.

Leto	Jan-T	Feb-T	Mar-T			Nov-P	Dec-P	ARSTAN	dplR
2005	-0,9	-3,3	3,1	...	...	112	86	0,94289	0,94491
2004	-1,6	1,3	4,3	...	...	73	47	1,04768	1,03373
2003	-3,3	-3,1	5,4	...	...	81	48	0,78155	0,78146
...
1952	-1,8	-2,1	2,1	...	...	38	67	0,91908	0,91732
1951	1,0	4,0	4,9	...	...	114	66	0,89573	0,87656

2. Korelacijo med kronologijo, izračunano v ARSTAN-u, in klimo.

```
cor(klima[29],klima[2:26],use="pairwise.complete.obs", method='pearson')
```

3. Korelacijo med kronologijo, izračunano v dplR, in klimo.

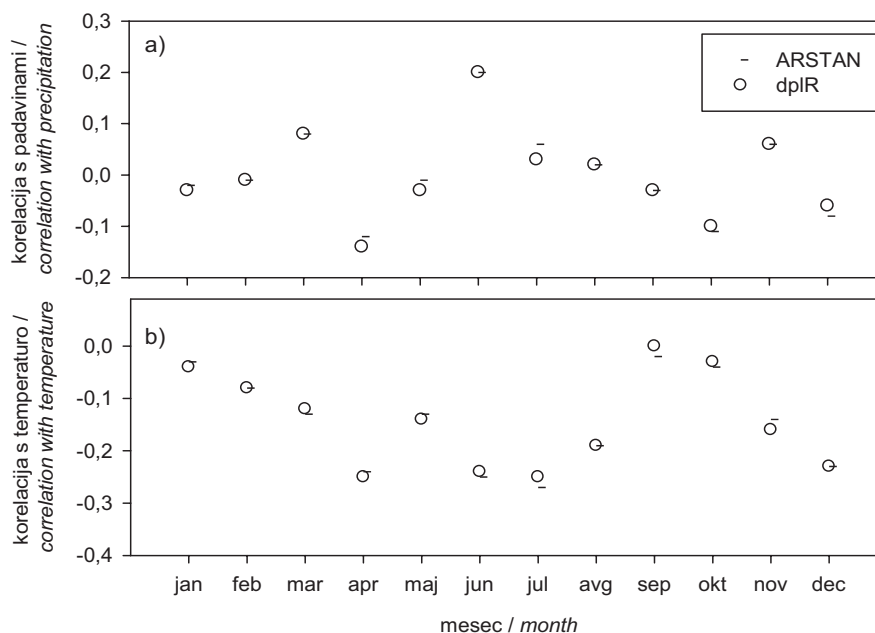
```
cor(klima[30],klima[2:26],use="pairwise.complete.obs", method='pearson')
```

Korelacijo smo računali med podatki za povprečne mesečne temperature in mesečno količino padavin s standardiziranimi kronologijama. Upoštevali smo le obdobje tistih let, za katero imamo na voljo meteorološke podatke. Pri primerjavi rezultatov korelacije širin branik glede na padavine (slika 8a) podaja ARSTAN višje pozitivne vrednosti kot dplR v mesecih januar, april, maj in julij, nižje oktobra in novembra, enake pa v preostalih mesecih. Glede na temperaturo (slika 8b) izkazuje ARSTAN-ov izračun bolj pozitivno odvisnost (oziroma manj negativno) kot dplR v mesecih januar, april, maj in november. Februarja, septembra in decembra podajata programa enako korelacijo. V preostalih mesecih izkazuje ARSTAN nekoliko nižje vrednosti. Vsota korelacij med ARSTAN-om in temperaturo znaša -1,75 in padavinami 0,04. Z dplR-jem pa -1,73 s temperaturo in -0,01 s padavinami. Povprečje korelacij znaša pri obeh programih med kronologijama in temperaturo -0,14 in med padavinami 0,00. Standardni odklon je pri vseh korelacijah enak - 0,09.

4 Zaključki

4 Conclusions

S parnim t-testom smo preverili vse razlike med rezultati kronologij in korelacij ter potrdili, da nobena razlika med programoma ni statistično značilna. To potrjuje pravilnost izračunov programa dplR v primerjavi z bolj uveljavljenim ARSTAN-om in dendrokronologom daje možnost izbire med ARSTAN-om in dplR.



Slika 8: Primerjava korelacije kronologije STD, izdelane v ARSTAN-u in dplR s padavinami (a) in temperaturami (b) po posameznih mesecih

Figure 8: Comparison of correlation between STD chronologies calculated in ARSTAN and dplR with temperature (a) and precipitation (b)

5 Razprava

5 Discussion

V članku smo primerjali enakost izračunov dveh programov, ARSTAN-a in dplR, za standardizacijo časovnih vrst v dendrokronologiji. V obeh programih smo kronologije izračunali na podoben način (da bi ohranili primerljivost), z uporabo kubičnih zlepkov s togostjo 67 % dolžine posameznega, standardiziranega zaporedja širin branik. Izračunani kronologiji se med sabo zelo malo razlikujeta, to dokazujejo visoke korelacije in dobro vizualno ujemanje med kronologijama ter neznačilne vrednosti t-testa. ARSTAN je za začetnika lažji, ker že vsebuje predlagane operacije in možnosti izdelave poročila, vendar mora biti uporabnik že seznanjen z načinom dela in razlago dobljenih rezultatov. Pri dplR (ki je knjižnica programa R) pa moramo na začetku vse ukaze zapisati ali jih kopirati iz drugih analiz sami. Vendar, ko imamo spisek ukazov enkrat narejen, ga lahko na preprost način v R-ju pregledujemo, sproti popravljamo, dopolnjujemo in posredujemo. V ARSTAN-u lahko med procesom izdelave kronologije zamenjamo tip krivulje, ne moremo pa se vračati v pretekla dejanja, temveč moramo začeti proces izpeljati do konca ali pa ga v celoti prekiniti. Pri dplR ni ovire, če želimo popraviti ukaz v preteklem dejanju, saj se prosto odločamo o izvajanju operacij, hkrati pa si ogledujemo rezultate (tabele, grafe). Izdelava enostavnih grafov je v R-ju preprosta, z višanjem zahtevnosti grafov

pa se večja tudi zahtevnost izvedbe. Razlike v grafih primerjanih kronologij STD in RES lahko pripišemo računanju vrednosti na začetku in na koncu obdobja, zaradi drugačnega upoštevanja konca kronologij. Razlike se namreč pojavljajo prav v okolici začetka dolžine kronologije ter na koncu. Rezultati t-testov so pri vseh izračunanih kronologijah in koeficientih potrdili vizualno podobnost grafov izdelanih kronologij v knjižnici dplR ter v programu ARSTAN, zato lahko trdimo, da izdelava dplR enako kakovostne in natančne rezultate kot že uveljavljeni ARSTAN. Ker se programa razlikujeta le po načinu opredelitve parametrov oziroma zapisu za izdelavo kronologije in predstavitvi rezultatov, naj se o dokončni izbiri programa odloči vsak uporabnik sam.

6 Summary

A tree's response to climate and other factors at radial growth can be studied by measuring tree-ring widths (TRW). TRW depends on various factors and holds information on growth for many years in the past (COOK, 1985). Chronologies, made out of raw data, are influenced by age trend and other disturbing factors. In order to remove these factors, we standardize chronologies. Process of standardization consists of finding a regression function that best fits the measured TRW and calculating

indices between them (LEVANIČ, 1996). The commonest functions are linear, modified negative exponential and cubic smoothing spline (Figure 1). For this study, a cubic smoothing spline with 50% frequency response and 67% length of chronology was chosen. Computer programs such as ARSTAN and dplR (dendrochronology program library in R) allow users to read Tuscon format files and perform a variety of functions or statistical analyses. In these two programs, we compared numerical and graphical results of site chronology, made for 10 pedunculate oaks (*Quercus robur*). In this article we describe standardization in both programs and compare results. One of the goals is also to introduce the usefulness of R.

ARSTAN is a free program, developed by Cook and Holmes (<http://www.ldeo.columbia.edu/res/fac/trl/public/public-Software.html>). It produces chronologies from tree-ring widths series by detrending and indexing (standardizing) the series, then applying a robust estimation of the value function to remove effects of endogenous stand disturbance (HOLMES/ADAMS/FRITTS, 1986). The program execution properties (settings) are chosen from a menu before starting standardization (Figure 3). When the process is completed, statistics of each measurement series before and after detrending can be seen. ARSTAN produces four chronologies: raw, STD, RES and ARSTAN (Figure 2). The basic (raw) chronology of TRW contains age trend and standardized (STD) is the detrended tree ring index series, combined into a mean value function of all series (as a robust estimation of arithmetic mean). The residual (RES) chronology is computed the same as STD, this time using the residual series from autoregressive modelling of the detrended measurement series. Robust estimation of the mean value function produces a chronology with a strong common signal and without persistence. The pooled model of autoregression is reincorporated in to the RES version to produce the ARSTAN chronology. ARSTAN creates statistical results of chronologies, eigenvalues and principal component analysis. Standardization and how the regression line is fitted to measurement series can be controlled for one tree at a time. We can stop calculation, choose other method and continue. For comparison between programs, we have chosen the STD and RES chronologies.

R (www.r-project.org) is a statistical programming environment for statistical analysis and graphical presentation of results. There are four features that make R preferred; first, R and its add-on packages (libraries) are free. Second, R community helps with posting questions and answers on the Internet. Third, all analyses in R are easily reproducible, and fourth, R operates on every modern computer platform (BUNN, 2008). Libraries are an essential part of the program, containing orders and enabling operations. One of them is the dendrochronology program library in R or short dplR, used for standardization measurement series (Figure 4). R demands from users written orders that can easily be re-called, but not if in the meanwhile the program is shut down. This problem is

solved with commands, saved in Tinn-R. This is another free, simple and efficient program, in which we process, copy and reproduce analyses. STD and RES chronologies are made in dplR in many ways. Like ARSTAN, it enables the computation of regression functions for individual trees or all together, but it also shows fitting of the function to measurement series for one tree at a time. In our comparison, a correlation coefficient between temperature and precipitation with our chronology made in ARSTAN was calculated. This process was repeated with dplR and results were compared.

Results for basic statistics of tree-ring widths are equal at computing mean and standardized deviation. Differences are shown only at third decimal place of result for sensitivity and on second decimal place for autocorrelation coefficient (Table 2). Correlation between standardized chronologies is 0.9773, while between residual chronologies it reaches 0.9776. Graphical comparison shows little and small differences between chronologies. Differences are circled (Figures 6 and 7). When comparing the sum of correlation values between ARSTAN and temperature, the value is -1.75 (comparing to dplR with value -1.73). With correlation between STD chronology and precipitation, the sum of correlations is valued with 0.04 for ARSTAN and 0.01 for dplR (Figure 8).

All results were checked for significance with t-test and no difference was statistically significant. This result confirms that calculations made with dplR are equal to the ones made with ARSTAN. As both of the programs have their own advantages and disadvantages, user himself should be the one to decide which program to use, when in need to standardize dendrochronological data.

7 Viri

7 References

- ARSO, 2009. Podatki za klimo (temperatura, količina padavin) za območje Murske Sobote.
- BAILLIE, M.G.L. / PILCHER, J.R., 1973. A simple cross-dating program for tree-ring research. *Tree-Ring Bulletin*, 33, s. 7-14.
- BIONDI F. / QEADAN F., 2008. Inequality in paleorecords. *Ecology*, 89 (4), 1056-1067 s.
- BRIFFA / WIGLEY 1990, povzeto po COOK / KAIRIUKSTIS 1990
- BUNN, A. G., 2008. A dendrochronology program library in R (dplR). -*Dendrochronologia* 26, s. 115-124.
- COOK, E. R., 1985. Time series analysis approach to tree ring standardization. -Doktorska disertacija. Tucson, University of Arizona, Laboratory of Tree-Ring Research, s. 171.
- COOK, E.R./BRIFFA, K./SHIYATOV, S./MAZEPA, A./Jones, P.D., 1990. Data analysis. v: COOK, E.R., KAIRIUKSTIS, L.A. (Eds), *Methods of Dendrochronology: Applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers,

Dordrecht, s. 97-162.

- COOK, E.R. / KAIRIUKTSTIS. -L.A., 1989. Methods of dendrochronology (applications in the environment sciences). -Dordrecht, Boston, London, Kluwer academic publishers, 394 s.
- EKSTEIN, D / BAUCH, J., 1969. Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit. -Heidelberg, Forstwissenschaftliches Centralblatt. 88.1. s. 230-250.
- FRITTS, H.C., 1976. Tree rings and climate. -Tucson, Univerza v Arizoni, s. 21.
- HOLMES R.L., ADAMS R.K., FRITTS H.C., 1986. Users manual for computer program ARSTAN. Tree-ring Chronologies of Western North America, Laboratory of TreeRing Research, University of Arizona, s. 50-65.
- KOŠMELJ, K., 2007. Uporabna statistika. -Ljubljana, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo, s. 120.
- LEVANIČ T., 1996. Dendrokronološka in dendroekološka analiza propadajočih vladajočih in sovladajočih jelk (*Abies alba* Mill.) v dinarski fitogeografski regiji. Doktorska disertacija, samozal. 184 s.
- LEVANIČ T., 2006. Vpliv klime na debelinsko rast macesna (*Larix decidua* Mill.) na zgornji gozdni meji v JV Alpah. ZbGL 78, s. 29-55.
- LEVANIČ T., 2007. Atrics – a new system for image acquisition in dendrochronology. Tree-ring research. 63.2, s. 117-122.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2009. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. -Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>.