

GDK: 111:523.1:174.7 *Larix decidua* Mill.:(234.32)(045)

Prispelo / Received: 09. 01. 2006

Sprejeto / Accepted: 30. 01. 2006

Izvirni znanstveni članek

Original scientific paper

VPLIV KLIME NA DEBELINSKO RAST MACESNA (*Larix decidua* Mill.) NA ZGORNJI GOZDNI MEJI V JV ALPAH

Tom LEVANIČ¹

Izvleček

Na 7 lokacijah na zgornji gozdni meji v jugovzhodnih Alpah smo preučili odvisnost med širino branike macesna (*Larix decidua* Mill.) in klimo. Analizo smo napravili za obdobje 1900-2003, v katerem smo ugotovili 13 skupnih pozitivnih in 17 skupnih negativnih značilnih let. Izkazalo se je, da je macesen zelo primerna drevesna vrsta za preučevanje odziva dreves na klimo. Največji vpliv na nastanek široke branike imajo nadpovprečne junijske temperature, najbolj negativen vpliv na širino branike pa nadpovprečne marčevske temperature. Analiza časovne stabilnosti klimatskega signala z odzivnimi funkcijami in metodo drsečih oken je pokazala, da se je odnos med klimo in širino branike postopoma spreminjal. Bolj ko se približujemo sedanjosti, pomembnejši postaja negativen vpliv nadpovprečnih temperatur v marcu (branike so ožje) in bolj se izgublja pomen nadpovprečne temperature v juniju. Na nekaterih ploskvah se vplivu nadpovprečnih junijskih temperatur pridruži še vpliv nadpovprečno toplega maja. Rezultati kažejo, da se na zgornji gozdni meji dogajajo spremembe v smeri zgodnejšega začetka vegetacijske sezone, s tem pa so drevesa izpostavljena večjemu tveganju poznih pozeh.

Ključne besede: dendroklimatologija, JV Alpe, macesen, *Larix decidua* Mill

EFFECT OF CLIMATE ON GROWTH OF EUROPEAN LARCH (*Larix decidua* Mill.) AT THE UPPER TREELINE IN THE SOUTHEASTERN ALPS

Abstract

The relationship between larch (*Larix decidua* Mill.) tree-ring widths and climate was studied on 7 selected locations in the southeastern part of the Alps (Slovenian Alps). Analysis was performed for the 1900-2003 period, when 13 positive common and 17 negative common pointer years were identified. The response function analysis showed significant positive response (wide tree ring) of larch to above-average temperature in June and significant negative response to above-average temperature in March. Temporal stability of climate-growth relationship was tested using the Forward Evolutionary Interval Method (part of Bootstrapped response function procedure in DendroCLIM 2002). Results showed changes in response to climate as the time approached 2003. Influence of the above-average temperature in June was becoming less important, while the above-average temperature in May appeared to gain importance. Besides, negative influence of the above-average temperature in March was progressively gaining in its importance. Change of response is directly connected to the increasing winter temperatures at high altitudes in the last 10-15 years.

Key words: dendroclimatology, SE Alps, European larch, *Larix decidua* Mill

¹ doc.dr. T. L., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, SLOVENIJA

**VSEBINA
CONTENTS**

1	UVOD	31
	INTRODUCTION	
2	MATERIAL IN METODE.....	35
	MATERIAL AND METHODS	
3	REZULTATI IN DISKUSIJA.....	43
	RESULTS AND DISCUSSION	
4	ZAKLJUČKI	50
	CONCLUSIONS	
5	SUMMARY	51
6	VIRI	53
	REFERENCES	
7	ZAHVALA	55
	ACKNOWLEDGMENTS	

1 UVOD INTRODUCTION

Razumevanje vzrokov in posledic globalnih klimatskih sprememb je ena izmed najpomembnejših tem sodobne znanosti. Vzroki za to so skriti v dejstvu, da se zavedamo uničujočih posledic globalnih klimatskih sprememb na različne zemeljske ekosisteme in posledično na celotno človeško družbo. Za razumevanje dogajanja, povezanega s spreminjanjem klime na našem planetu, se ne moremo zanašati samo na instrumentalne meritve, ki so bile opravljene v zadnjih 100 letih in so samo hipni vpogled v kompleksno spreminjanje planetarne klime, marveč potrebujemo informacije o spreminjanju klime v bistveno daljših časovnih obdobjih. Informacije o pretekli klimi na Zemlji lahko zberemo prek različnih posrednih / nadomestnih kazalcev klime, t.i. »nadomestnih podatkov«, ki jih pridobimo posredno in so zaradi tesne povezanosti med opazovanim sistemom in klimo posredni nakazovalec klimatskih sprememb. Med nadomestne podatke spadajo različni jezerski in morski sedimenti, kjer prek hitrosti sedimentacije, izotopske zgradbe sedimenta in drugih spremenljivk sklepamo na hitrost spreminjanja okolja. Kemijska zgradba ledu iz ledenih vrtin na Grenlandiji, Arktiki in Antarktiki in različnih ledenikov je ravno tako zanesljiv kazalec klimatskih sprememb. Slabost vseh prej omenjenih nadomestnih podatkov je v njihovi relativno grobi časovni ločljivosti – zelo redko so na leto natančni. V nasprotju s prej omenjenimi sistemi imajo branike dreves, ki rastejo v zmernih conah, letno ločljivost, tako da jim lahko izmerimo širino in gostoto (ki je prav tako odvisna od okoljskih dejavnikov), določimo kemijsko sestavo in izmerimo / ocenimo različne anatomske lastnosti. Zaradi tega spadajo branike med potencialno najbolj zanimive in zanesljive nadomestne podatke. Slabost kronologij širin branik pa je v tem, da v tem trenutku ni sklenjenih kronologij, ki bi bile daljše od 12.460 let (obdobje Holocena) (FRIEDRICH et al. 2004). Pred tem obdobjem sicer obstaja nekaj fragmentarnih kronologij, ki so še starejše od prej omenjene hohenheimske borovo-hrastove kronologije, vendar še niso vključene / priključene na nobeno znano kronologijo (SCHAUB et al. 2005).

Zaradi vseh dobrih lastnosti in možnosti različnih meritev na istem setu vzorčnih podatkov so branike postale nepogrešljiv pripomoček pri rekonstrukcijah klime za obdobje zadnjih nekaj 100 do več 1000 let. Klimatske rekonstrukcije se opravljajo na makro in mikro nivoju. Primer rekonstrukcije klime na makro nivoju je delo Briffe in

sodelavcev (1992), ki so rekonstruirali poletne temperature za območje severne Fenoscandije za obdobje od sedanjosti do leta 500 n.št. ali raziskava, kjer so rekonstruirali poletne temperature za obdobje od 1400 do 2000 n.št. za območje celotne severne poloble (BRIFFA / OSBORN / SCHWEINGRUBER 2004).

Pri uporabi branik kot nadomestnih podatkov se je treba zavedati dejstva, da je struktura branike (širina, gostota lesa v braniki, razmerje med ranim in kasnim lesom ter celična struktura), elementna sestava (Ca, Mg, K,...) ali vsebnost različnih izotopov ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$, D/H ali $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) v posameznih branikah rezultat delovanja številnih kompleksnih bioloških in ekofizioloških dejavnikov na rast drevesa v posameznem letu. Med temi dejavniki ima klima, še posebej v robnih razmerah, izjemno pomembno vlogo. Za ovrednotenje klimatskega signala iz te kompleksne kombinacije okoljskih in klimatskih dejavnikov v posameznem letu (t.i. Tree-Site complex) (HUGES et al. 1982) moramo z ustreznimi vzorčnimi in statističnimi tehnikami ločiti klimatski signal od neklimatskega (TESSIER / GUIBAL / SCHWEINGRUBER 1997). Pri tem najpogosteje uporabljamo COOK-ov poenostavljeni linearni model odvisnosti širine branike (ali gostote lesa v braniki) od okoljskih dejavnikov (COOK 1985), ki pravi, da je širina branike odvisna od starosti, klimatskih dejavnikov ter bližnjih in daljnih neklimatskih dejavnikov okolja. Klimatski signal je med vsemi signali tudi edini, ki ima v zmernih klimatskih območjih jasno definirano letno periodiko in katerega anomalije (odstopanja) so konsistentne na večjem območju, medtem ko je za večino neklimatskih dejavnikov značilno stohastično časovno in prostorsko pojavljanje.

Ekstremna rastišča blizu polarne gozdne meje, rastišča na območjih, kjer visoke temperature in pomanjkanje padavin omejujejo rast dreves ali rastišča blizu zgornje gozdne meje v visokogorju, so območja, kjer klima ključno vpliva na rast dreves. V takih razmerah so drevesa verodostojen in zanesljiv pomnilnik klimatskih (tudi okoljskih) sprememb, velikokrat ne samo za zadnjih nekaj deset, pač pa za nekaj sto ali celo tisoč let (glej npr. BRIFFA et al. 1988; BRIFFA 1994; BRIFFA / OSBORN / SCHWEINGRUBER 2004).

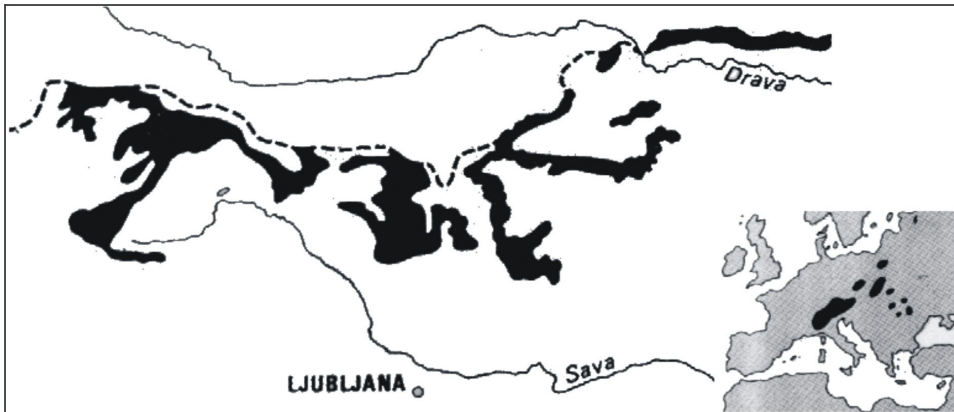
Kadarkoli nam uspe navzkrižno datirati zaporedja širin branik na širšem, ekološko dobro definiranim območju to skoraj vedno pomeni, da se v branikah »skrivajo« tudi dobro definirane klimatske informacije. Drevesa na zgornji gozdni meji imajo poleg relativno

čistega klimatskega signala še eno pomembno značilnost. Ker rastejo na težko dostopnih območjih, so bila v večini primerov izključena iz sistematičnega gospodarjenja z gozdom, zato so velikokrat precej stara. Neizpodbitno dejstvo je, da temelji večina dolgih kronologij v Evropi na lesu, ki so ga raziskovalci dobili iz dreves na zgornji gozdni meji (SCHAR / SCHWEINGRUBER 1987). V slovenskih razmerah je nizka starost dreves eden večjih problemov, s katerimi se srečujemo slovenski dendrokronologi. Drevesa so v Sloveniji večinoma precej »mlada«, le redko katero drevo doseže starost prek 500 let, takšnih, ki so 1000 in več let stara in hkrati primerna za dendroklimatološko analizo, pa je morebiti za prste obeh rok (LEVANIČ 2004). Sestavljanje dolgih kronologij z ustrezno čistim klimatskim signalom je zato zelo zamuden, težaven in drag postopek (LEVANIČ / PIGNATELLI / ČUFAR 2001).

Z vidika preučevanja klimatskih sprememb je pomembno tudi to, da se drevesa na zgornji gozdni meji, zaradi ekstremnosti rastišč, zelo občutljivo odzivajo na spreminjanje rastnih razmer, zato so taka rastišča še posebej primerna za preučevanje spreminjanja klime in učinkov klimatskih sprememb v zadnjih 50-ih letih. Na osnovi teh dejstev smo se v naši raziskavi osredotočili na zgornjo gozdno mejo in edino drevesno vrsto, ki tvori zgornjo gozdno mejo v Sloveniji in jugovzhodnih Alpah – macesen (*Larix decidua* Mill.)

Macesen spada med vrste, ki so za dendrokronološke potrebe idealne, je dolgoživa drevesna vrsta, lahko raste v ekstremnih razmerah, oblikuje jasno vidne, čeprav velikokrat zelo ozke branike, v Sloveniji ni nagnjen k pretiranemu izpadanju branik (LEVANIČ 2004), napadi macesnovega zavrtača pa pri nas niso dokumentirani (LEVANIČ / PIGNATELLI / ČUFAR 2001). Naravna rastišča macesna v Sloveniji so v Alpah – slika 1. Macesen se sicer pojavlja še v umetnih nasadih v Brkinih in na Goričkem, medtem ko ga v dinarskem svetu ne najdemo. Redkim sestojem macesna na zgornji gozdni meji v Alpah se na nižjih nadmorskih višinah pogosto pridruži tudi smreka (*Picea abies* Karst.), ali pa ruševje (*Pinus mugo* Turra) na višjih nadmorskih višinah. Zaradi dolgoživosti in rasti na izpostavljenih legah je macesen še posebej primerna drevesna vrsta za sestavljanje dolgih kronologij, preučevanje odziva dreves na klimo in rekonstrukcijo različnih klimatskih parametrov v obdobja pred instrumentalnimi meritvami. Poleg macesna imata podoben potencial v Alpah samo še cemprin (*Pinus cembra* L.), ki ga v naših Alpah ni, in smreka, za katero pa so naše raziskave pokazale, da

ima relativno šibek dendroklimatološki potencial². Zanimivo je, da nekateri avtorji navajajo ravno nasprotno - dendroklimatološki potencial in s tem odvisnosti med klimatskimi parametri in prirastkom v slovenskih Alpah naj bi bili pri smreki večji kot pri macesnu (OGRIN 1998, 1999), vendar naše predhodne raziskave tega ne potrjujejo.



Slika 1: Areal macesna (*Larix decidua* Mill.)v Sloveniji (vir: Šumarska enciklopedija, 1980)

Figure 1: Larch (*Larix decidua* Mill.) range in Slovenia (Source: Šumarska enciklopedija, 1980)

1.1 CILJI GOALS

Cilji raziskave so bili naslednji:

- Sestaviti primerno dolge in odzivne kronologije širin branik za macesne z različnih lokacij v jugovzhodnih Alpah in optimizirati razmerje med šumom in signalom (t.i. signal to noise ratio) v kronologijah.
- Izbrati ustrezno meteorološko postajo (eno ali več) z ustreznimi klimatskimi nizi, ki bo(do) dobra osnova za primerjavo s širinami branik.

² V raziskavah, ki potekajo v okviru projekta PINE (Predicting Impact on Natural Ecotone) (5.OP EU), smo ugotavljali tudi povezanost med klimatskimi dejavniki in rastjo smreke. Na vseh ploskvah v Alpah smo ugotavljali relativno šibko korelacijo med širino branike in klimatskimi dejavniki. Članki, ki bolj podrobno opisujejo te povezave, so v pripravi

- Zaznati in določiti visokofrekvenčna (high frequency) nihanja v kronologijah posameznih lokacij in jih interpretirati v luči značilnih let in klime.
- Analizirati odnos med širino branike in klimo ter določiti tiste klimatske dejavnike, ki pozitivno in negativno vplivajo na rast macesna na zgornji gozdni meji.
- Ugotoviti, ali se je odnos med širino branike in klimo v času spreminjal.
- Ugotoviti, kako domnevne klimatske spremembe vplivajo na rast macesna na zgornji gozdni meji.

2 MATERIAL IN METODE **MATERIAL AND METHODS**

Na območju jugozahodnih Alp smo izbrali 7 ploskev na zgornji gozdni meji. Ploskve so bile izbrane na nadmorskih višinah, kjer se macesen (*Larix decidua* Mill.) pojavlja v redkih sestojih in večinoma brez primesi smreke, ponekod pa prehaja tudi v sestoj gorskega ruševja (*Pinus mugo* Turra). Takšne sestoje skoraj praviloma najdemo na višjih nadmorskih višinah, velikokrat tudi že v območju varovalnih gozdov in zgornje gozdne meje. V takšnih sestojih se komajda gospodari, zato so drevesa ponavadi precej stara, so izpostavljena naravni mortaliteti, kronologije pa obetajo zanimive rezultate.

Na območju Julijskih Alp smo analizirali rast dreves na 4 ploskvah (Vršič, Viševnik, Uskovnica in Komna), na območju Karavank na dveh ploskvah (Jezersko 1 in 2), na območju Kamniško-Savinjskih Alp pa na eni ploskvi na območju Dleskovške planote (Veža) - slika 2. Ploskve so bile izbrane tako, da smo zadovoljili kriteriju podaljševanja macesnovih kronologij in analizi odziva macesnov na zgornji gozdni meji na klimo in njene spremembe. Poleg tega smo želeli na istih vzorcih opraviti tudi rekonstrukcijo določenih klimatskih parametrov za nazaj, zato smo morali sestaviti čim bolj homogene lokalne kronologije s poudarjenim klimatskim signalom (in s čim manj drugimi, motečimi vplivi).

Preglednica 1: Osnovni podatki o ploskvah; koordinate so Gauss-Kruegerjeve (GK)

Table 1: Basic data on research plots, with coordinates displayed according to Gauss-Krueger system (GK)

Lokacija <i>Location</i>	GK-e	GK-n	NMV (m) <i>ASL (m)</i>	Opis ploskve <i>Description of the plot</i>
Vršič	5403329	5144936	1835	V in Z pobočja Velike Mojstrovke, nakloni do 50st., skalovitost velika, macesni kot viharniki v redkem rušju, pogoste poškodbe zaradi strele, tla zelo plitva
Viševnik	5416189	5135152	1720-1930	Macesni v redkem sestoju s primesjo smreke in ruševja, skalovitost velika, tla relativno plitva (razen v kotanjah)
Uskovnica	5415500	5134500	1650-1800	Redki sestoji macesna, na spodnjih lokacijah vdira smreka, delno pa tudi plemeniti listavci, nakloni zmerni (do 25st.), skalovitost majhna
Komna / Vogel	5405500	5126500	1550	Relativna ravnina – visokogorska planota, skalovitost velika, tla plitva, posamični macesni kot osamelci v gosti podrasti ruševja
Jezersko-1	5457496	5142238	1450	Redek macesnov sestoj, zatravljen, naklon 25-30st., v spodnjem sloju se vrašča smreka, skalovitost majhna, pojavljajo se večje skale
Jezersko-2	5455381	5137663	1550	Gostejši macesnovi sestoji s primesjo smreke (predvsem v sp. sloju), nakloni zmerni do 30st, skalovitost majhna, tla v kotanjah globoka, sicer plitva
Veža	5476274	5135518	1610	Redek macesnov sestoj v rezervatu, paša, v podrasti ruševje (<i>Pinus mugo</i> Turra), negospodarjeno zadnjih 50 let, teren razgiban, vrtačast



Slika 2: Lokacija ploskev, v spodnjem desnem kotu je lokacija ploskev, umeščena v Slovenijo

Figure 2: Location of the selected larch (*Larix decidua* Mill.) plots in Slovenia, with smaller picture representing location of enlarged area in Slovenia

Metodologija odvzema vzorcev je bila na vseh ploskvah standardizirana, variiralo je le število vzorcev na ploskvi, ki je bilo odvisno od zadostnega števila primerno kvalitetnih dreves za analizo. Analizirali smo drevesa, ki so bila brez vidnih poškodb debla, z normalno razvito krošnjo, ki niso bila votla, v primeru, da so rasla v sestoji, so morala biti v strehi sestoja in imeti povprečno (normalno) veliko krošnjo.



Slika 3: Tipična zgornja gozdna meja z macesnom in redkim ruševjem (lokacija: Viševnik)

Figure 3: Typical upper timber line in Slovenian Alps with larch (Larix decidua Mill.) and dwarf mountain pine (Pinus mugo Turra) – Viševnik locality

Na zgornji gozdni meji tako zahtevnim kriterijem ustreza razmeroma malo dreves, zato je bilo število analiziranih dreves med 12 in 18. Na drevo smo vedno odvzeli po dva izvrtka pravokotno na padnico, razen v primeru, da zaradi napak na eni strani debla drugega izvrtka ni bilo mogoče odvzeti. Vzorci so bili odvzeti s prirastoslovnim svedrom SUUNTO, dolžine 400 mm in debeline 5 mm.

Odvzete vzorce smo shranili v plastične tulce, zalepili, jih označili s šifro in prenesli v laboratorij. V laboratoriju smo jih posušili in nalepili na lesene nosilce. Tako pripravljene vzorce smo zbrusili na industrijski tračni brusilki. Za brušenje smo uporabili brusne trakove različnih granulacij, začeli smo z granulacijo 180 in končali s 600.

Meritve širin branik smo opravili na merilni mizici VIAS in s programsko opremo PAST-4.

Sinhronizacija in kontrola meritev sta potekali v programu PAST-4. Del meritev smo zaradi izjemno ozkih branik in možne naknadne korekcije meritev opravili s programom WinDENDRO. Program je namenjen avtomatskemu prepoznavanju branik iglavcev in ga lahko s pridom uporabimo za hitro in preverljivo merjenje širin branik, ob ustrezni vhodni sliki pa tudi za ugotavljanje gostote lesa v branikah (densitometrija). Vhod v program je skenirana slika (v TIFF formatu), ki smo jo v našem primeru zajeli z ločljivostjo 1600 DPI in 24-bitno barvno globino. Zaradi visoke ločljivosti in temu posledične velikosti datotek (v povprečju 30 MB) smo lahko zajeli samo po en vzorec hkrati. Slike smo obdelali in meritve shranili v formatu TUCSON 100, ki smo ga za nadaljnjo obdelavo prenesli v program PAST-4.

Analiza značilnih let je bila opravljena v programu lastne izdelave P4P (LEVANIČ / OGRINC neobjavljeno).

Standardizacija širin branik je bila opravljena v programu ARSTAN, izračun odvisnosti med klimo in standardiziranimi širinami branik pa v programu DendroCLIM 2002 (BIONDI / WAIKUL 2004). Za prenos podatkov med programi smo uporabili programa YUX in CASE, ki sta del Dendrochronological Programme Library (DPL).

Druge statistične analize so bile narejene v programu SYSTAT 11, grafi pa narisani v programih SigmaPLOT 9, SURFER in ClimGRAF (LEVANIČ - neobjavljeno).

Meteorološki podatki

V raziskavi smo uporabili meteorološke podatke s klimatske postaje Ljubljana Bežigrad za obdobje od leta 1900-2003. S te postaje smo imeli na voljo naslednje podatke: povprečne mesečne temperature, minimalne in maksimalne povprečne mesečne temperature ter mesečno količino padavin. V raziskavi smo se osredotočili predvsem na temperaturo, ki je na zgornji gozdni meji dejavnik minimuma. Primerjava lokalnih kronologij s podatki o padavinah z ene same klimatološke postaje pa zaradi relativne oddaljenosti meteorološke postaje od raziskovalnih lokacij in velike prostorske variabilnosti padavin niso dale uporabnih rezultatov.

Če smo želeli primerjati odziv širine branik na posamezne klimatske spremenljivke in rezultate narediti primerljive, smo morali izbrati meteorološko postajo, ki ima dovolj dolg niz in zagotavlja dovolj zanesljive meritve. Meteorološka postaja Ljubljana Bežigrad se je pri tem izkazala za zelo uporabno. Razloga za to sta vsaj dva. Dolžina meteorološkega niza je prek 100 let, je ena najpomembnejših meteoroloških postaj v državi, primerjava spreminjanja višinskega temperaturnega gradienta med postajami Ljubljana, Rudno polje in Kredarica je pokazala, da se razmerja bolj ali manj ohranjajo. Razlika med Ljubljano in Kredarico je v nižji povprečni mesečni temperaturi (upad temperature po višini), medtem ko sta letni potek in dolgoročni trend povprečne letne temperature med postajami približno enaka. Še več, korelacija med povprečnimi letnimi temperaturami za postaji Kredarica in Ljubljana je 0,85, za postaji Ljubljana in Rudno polje pa 0,71. Na tej osnovi in na osnovi grafične primerjave letnega poteka povprečnih mesečnih temperatur smo se odločili, da bo zaradi relativnosti primerjave med širino branike in klimo meteorološka postaja Ljubljana Bežigrad primerna za nadaljnje analize.

Analiza značilnih let

Po definiciji je značilno leto tisto leto, kjer več kot 80 % branik od najmanj 13 branik v določenem letu izkazuje dvig ali padec prirastka v primerjavi s predhodnim letom (SCHWEINGRUBER et al. 1990). Pozitivno značilno leto je odsev ugodnih rastnih razmer in rezultat takšnega leta je branika, ki se po svoji širini močneje razlikuje od sosednjih branik. Enako velja tudi za negativno značilno leto, le da se to pot zaradi neugodnih rastnih razmer branika po svoji ozkosti močneje razlikuje od sosednjih branik. Za potrebe naše raziskave smo kriterij izbire značilnega leta nekoliko prilagodili, saj nismo imeli na vseh vzorčnih lokacijah zadostnega števila dreves. Tako smo za značilno leto določili leto, kjer 80 % branik od najmanj 8 branik v določenem letu reagira s povečanjem ali zmanjšanjem prirastka. Izračun značilnih let smo opravili v lastnem programu P4P (LEVANIČ / OGRINC neobjavljeno).

Ocena primernosti kronologij za dendroklimatološke analize

Primernost izbrane podmnožice vzorcev za dendroklimatološko analizo ocenimo s pomočjo t.i. expressed population signal (EPS), ki sta ga v dendroklimatologijo uvedla Briffa in Wigley (povzeto po COOK / KAIRIUKSTIS 1990). Po definiciji je EPS mera, ki nam pove, kako dobro neka izbrana subpopulacija vzorcev (dreves) predstavlja klimatski signal teoretično neskončno velike populacije dreves. Načeloma se s povečevanjem števila

vzorcev zmanjšuje šum oz. motnja v kronologiji in povečuje uporabni (klimatski) signal. Ker zaradi etičnih in finančnih razlogov nikoli ne moremo odvzeti vzorcev iz vse populacije, je EPS dobra mera, ki nam pove, kdaj je število analiziranih dreves zadostno za statistično korektne rezultate. EPS ima razpon vrednosti od 0 do 1, in čeprav ni predpisane mejne vrednosti, so izkušnje pokazale, da je vrednost EPS, ki je večja ali enaka 0,85, zadostna, da izbrana zaporedja širin branik dovolj dobro predstavljajo analizirano populacijo in hkrati vsebujejo kakovosten klimatski signal (WIGLEY / BRIFFA / JONES 1984). De Witt in Ames sta dokazala, da je potrebno število dreves za doseganje ustrezno visoke vrednosti EPS močno odvisno od rastišča; na sušnem rastišču lahko dosežemo ustrezen visok EPS že s samo 4 vzorci, na bolj svežih rastiščih v mešanih gozdovih pa je za isto vrednost treba vzorčiti vsaj 25 dreves (COOK / KAIRIUKSTIS 1990). V praksi to pomeni, da bodo imele vse analizirane lokacije, na katerih je vrednost $EPS \geq 0,85$, ustrezen klimatski signal v branikah. EPS se vedno izračuna po standardizaciji zaporedij širin branik za obdobje maksimalnega skupnega prekrivanja standardiziranih zaporedij širin branik. Formula za izračun je naslednja:

$$EPS = \frac{(n \cdot r_{BT})}{(n \cdot r_{BT}) + (1 - r_{BT})}$$

n... število analiziranih zaporedij širin branik

r_{BT} ... povprečna korelacija med analiziranimi zaporedji širin branik

Standardizacija časovnih vrst s programom ARSTAN

Standardizacijo časovnih vrst smo opravili v programu ARSTAN (HOLMES 1994). Namen standardizacije časovnih vrst (v našem primeru zaporedij širin branik) je v skladu z modelom, ki ga je postavil Cook (1985) odstranitev starostnega trenda, maksimizacija klimatskega signala in minimizacija vseh drugih signalov, ki jih imamo v tem primeru za motnje. Standardizacijo opravimo tako, da skozi osnovna zaporedja širin branik potegnemo izbrano matematično funkcijo. V naše primeru smo pri vseh drevesih uporabili kubični zlepek s širino okna 21 let in s 50 % stabilizacijo (ohranitvijo) variance. Tako izbrana funkcija se dovolj dobro prilega našim podatkom, hkrati pa ne posega pretirano v klimatski signal (SCHICHLER 1996). Standardizirana krivulja je bila izračunana kot kvocient med dejanskimi in prilagojenimi vrednostmi. Kljub možnosti dvojne standardizacije, ki jo daje program ARSTAN, smo se v našem primeru odločili za enojno standardizacijo, ker smo se na podlagi oglada osnovnih podatkov odločili, da dvojna standardizacija ni potrebna

(HOLMES 1994). Program ARSTAN po končani standardizaciji pripravi datoteko, v kateri so shranjene tri oblike kronologije posamezne lokacije – kronologije so tipa STD, RES in ARS. Kronologija tipa STD je robustno povprečje standardiziranih zaporedij širin branik; v tej kronologiji avtoregresivna standardizacija ni bila uporabljena. Kronologija tipa RES je standardizirano robustno povprečje ostankov (residuals) avtoregresivnega modeliranja zaporedij širin branik, pomembno je tudi, da ima ta tip kronologije zelo močan klimatski signal. Kronologija tipa ARS je zelo podobna kronologiji RES, jakost klimatskega signala je prav tako velika, le prek avtoregresivnega modeliranja (ARMA) je v kronologijo RES dodana povprečna stopnja avtokorelacije v analizirani populaciji zaporedij širin branik. V analizi odzivnih funkcij in pri preizkusu dinamičnega odziva rasti na klimo smo za primerjave med rastjo in klimo uporabili kronologije RES.

Analiza odzivnih funkcij

Odvisnost med klimatskimi dejavniki in širino branike smo preizkusili z odzivnimi funkcijami (COOK / KAIRIUKSTIS 1990; GUIOT 1991). Z njimi odkrijemo tiste mesečne spremenljivke ali njihove kombinacije, ki statistično značilno vplivajo na rast dreves. V analizo smo vključili samo preizkus vpliva povprečnih mesečnih temperatur na intervalu od predhodnega decembra (-DEC) do decembra leta, v katerem je nastala branika (DEC), za obdobje od leta 1900 do 2003 za meteorološko postajo Ljubljana.

Analize smo opravili s programom DendroCLIM 2002 (BIONDI / WAIKUL 2004). Uporabili smo dve funkciji tega programa – (1) enostaven izračun odzivne funkcije za obdobje prekrivanja klimatskih podatkov in širin branik in (2) metodo forward evolutionary intervals (FEI) s širino okna 26 let, kjer smo preizkusili dinamični odziv dreves in časovno stabilnost signala v spreminjajoči se klimi na zgornji gozdni meji. Za takšno širino okna smo se odločili na osnovi rezultatov študije Smitha in sodelavcev (SMITH / ČUFAR / LEVANIČ 1999). V obeh primerih analiz smo pri preračunu uporabili metodo BOOTSTRAPED izračuna intervalov zaupanja za korelacijske in odzivne koeficiente (GUIOT 1991). Vsak izračun koeficientov z metodo BOOSTRAPED je temeljil na 1000 ponovitvah z naključnim izborom iz analiziranega nabora podatkov. Dobljeni koeficienti so bili na analiziranem intervalu značilni s 5 % tveganjem. Rezultati so prikazani v grafični obliki.

3 REZULTATI IN DISKUSIJA RESULTS AND DISCUSSION

Za vsako analizirano lokacijo na zgornji gozdni meji smo sestavili lokalno kronologijo. Dolžina kronologij je bila med 87 in 327 v letu. Na vsaki lokaciji smo analizirali od 8 do 18 dreves. Kronologije so natančneje predstavljene v Levanič (2005), v preglednicah 2 in 3 pa predstavljamo samo najbolj bistvene podatke o kronologijah, pomembnih za dendroklimatološko analizo.

Preglednica 2: Osnovni podatki o lokalnih kronologijah, ki so bile osnova za preučevanje odziva širine branike na klimo – podatki so sortirani glede na dolžino kronologije

Table 2: *Basic data on local chronologies used for the study of relationship between tree-ring widths and climate, with data arranged according to the decreasing length of chronology*

Ime kronologije <i>Chronology name</i>	Dolžina <i>Length</i>	Od <i>From</i>	Do <i>To</i>	Največje število dreves* <i>Max. number of trees*</i>
Uskovnica	327	1670	1996	14 od 18
Vršič	325	1677	2001	11 od 13
Veža	318	1685	2002	9 od 12
Komna / Vogel	221	1777	1997	8 od 12
Jezersko-2	220	1783	2002	9 od 10
Viševnik	168	1834	2001	12 od 15
Jezersko-1	87	1915	2001	11 od 14

* v kronologijo so bili vključeni samo vzorci z visokimi statističnimi vrednostmi

* *only samples with significant statistical parameters were included in chronology*

Preglednica 3: Osnovne statistične vrednosti lokalnih nestandardiziranih kronologij

Table 3: *Basic statistical parameters of local unstandardised chronologies*

Kronologija <i>Chronology</i>	Dolžina <i>Length</i> Let / Years	Min. <i>Min</i> mm	Maks. <i>Max</i> mm	Povp. <i>Averag</i> e mm	STD <i>Standard</i> deviation	AC(1) <i>1st order</i> autocorrelation	MS <i>Mean</i> sensitivity
Jezersko-2	220	0,14	5,94	1,40	±1,58	0,70	0,26
Jezersko-1	87	0,78	4,96	2,55	±2,79	0,86	0,18
Viševnik	168	0,14	3,15	1,22	±1,32	0,66	0,25
Komna / Vogel	221	0,23	2,75	1,11	±1,20	0,52	0,27
Uskovnica	327	0,10	1,83	0,88	±0,95	0,74	0,24
Veža	318	0,21	2,57	0,88	±0,94	0,71	0,23
Vršič	325	0,15	2,08	0,76	±0,82	0,67	0,27
Lar-SE-slo	333	0,35	2,19	1,01	±1,06	0,71	0,19

Analiza skupnih pozitivnih in negativnih značilnih let³ je pokazala dobro ujemanje značilnih let na celotnem analiziranem intervalu (1870-2002). Za obdobje 1870-2002 smo se odločili zato, ker je skupno večini analiziranih lokalnih kronologij in ker je od tega leta dalje ustrezna tudi zahtevana globina pri posameznih lokalnih kronologijah. Tako smo na vseh analiziranih lokacijah ugotovili 13 pozitivnih značilnih let in 17 negativnih značilnih let na 5 ali več lokacijah. Od tega je bilo 5 pozitivnih značilnih let zabeleženih na 6 od skupno 7 lokacij (leta 1922, 1924, 1934, 1969 in 1986). Eno pozitivno značilno leto (1949) je bilo skupno vsem raziskanim lokacijam. Pri negativnih značilnih letih jih je bilo kar 8 zabeleženih na 6 od 7 lokacij (leta 1902, 1923, 1926, 1932, 1946, 1948, 1961 in 1988). Eno negativno značilno leto pa je bilo skupno vsem lokacijam (1980).

Število značilnih let med lokacijami se precej razlikuje. Največje število pozitivnih in negativnih značilnih let imata ploskvi Vršič (54) in Veža (53). Sledijo jima ploskve Jezersko-2, Uskovnica in Viševnik s po 49 značilnimi leti. Najmanj značilnih let smo našli na ploskvi Jezersko-1 –18 .

Preglednica 4: Število značilnih let po lokacijah. Krepko sta označena največje in najmanjše število pozitivnih in negativnih let skupaj (kriterij za značilno leto: vsaj 80 % od najmanj 8 dreves se mora odzvati z dvigom ali padcem prirastka glede na preteklo leto).

Table 4: Number of pointer years per plot. Bolded are minimum and maximum number of positive and negative pointer years (criteria for pointer year: 80% of at least 8 trees should react with increase or decrease of increment in studied year).

Lokacija / Location	+	-	Vsota / Sum
Jezersko-1	19	30	49
Jezersko-2	8	10	18
Viševnik	23	26	49
Vogel / Komna	16	14	30
Uskovnica	26	23	49
Veža	21	32	53
Vršič	27	27	54

³ Kot skupno značilno leto smo definirali tisto leto, ki se pojavi na 5 od 7 preučeni ploskev. Kriterij je veljal tako za pozitivna kot za negativna značilna leta.

Kvaliteto klimatske informacije v lokalnih kronologijah smo ugotavljali s pomočjo vrednosti EPS. V preglednici 5 so prikazane vrednosti za koeficient EPS. Na skoraj vseh analiziranih lokacijah razen Komna / Vogel je vrednost EPS večja od 0,85, zato sklepamo, da so vse te lokacije primerne za dendroklimatološko analizo, saj v kronologijo vključena zaporedja širin branik vsebujejo zadosten klimatski signal.

Preglednica 5: Vrednosti EPS, ki kažejo na primernost izbranih kronologij za dendroklimatološke analize

Table 5: EPS values showing suitability of selected chronologies for dendroclimatological analysis

Lokacija / Location	EPS	r_{BT}	n
Jezerko-1	0,89	0,406	13
Jezerko-2	0,93	0,629	9
Vršič	0,94	0,602	10
Viševnik	0,95	0,584	13
Veža	0,91	0,521	9
Komna / Vogel	0,84	0,399	8
Uskovnica	0,93	0,487	14

EPS ... Expressed population signal

r_{BT}... povprečna korelacija med zaporedji širin branik / average correlation between tree-ring series

n ... število zaporedij širin branik v analizi / number of tree-ring series in analysis

Analizo odvisnosti širine branik od povprečne mesečne temperature v posameznih mesecih leta in kombinacijah le-teh za obdobje 1900-2003 in analizirano periodo od decembra predhodnega leta do decembra leta, v katerem je nastala branika, smo izračunali s Spearmanovim korelacijski koeficientom - preglednica 6. Analiza je pokazala enoten odziv (=širša branika od povprečja) analiziranih dreves na vseh ploskvah na nadpovprečne junijske temperature. Pozitiven odziv na nadpovprečne junijske temperature je razumljiv, saj zgodnejši začetek vegetacijske sezone pomeni tudi daljše rastno obdobje in širšo braniko. Na nekaterih ploskvah se je kot pomemben faktor, ki vpliva na večjo širino branike, pokazala tudi nadpovprečna temperatura v maju in juliju.

Preglednica 6: Spearmanovi korelacijski koeficienti med širino branike in povprečno mesečno temperaturo za obdobje od decembra predhodnega leta do decembra leta, v katerem je nastala branika. Upoštevano je obdobje 1900-2003, krepko so označene statistično značilne korelacije.

Table 6: Spearman's correlation coefficient between standardised tree-ring series and average monthly temperature for the period from previous December to December of the current year. Combinations from May till September are also displayed. Studied period 1900-2003, statistically significant correlations are bolded.

Mesec / Month	Vršič	Veža	Vogel	Uskovnica	Viševnik	Jezersko-1	Jezersko-2
December / December	0,1710	0,0820	0,0030	0,0080	0,1160	-0,0040	0,1120
Januar / January	-0,0020	-0,0600	-0,0650	-0,1580	-0,0070	-0,1380	0,0090
Februar / February	-0,0870	-0,0850	-0,2530	-0,2290	-0,0380	-0,0760	-0,0110
Marec / March	-0,1630	-0,2790	-0,2880	-0,3080	-0,1820	-0,1690	-0,2090
April / April	-0,0840	-0,1170	-0,0170	-0,0980	-0,1230	0,0330	-0,0930
Maj / May	0,3300	0,1160	0,3000	0,3570	0,2520	0,2140	0,2120
Junij / June	0,4920	0,3690	0,4420	0,4950	0,3580	0,3060	0,4070
Julij / July	0,3690	0,1450	0,2600	0,2480	0,1410	0,1040	0,1750
Avgust / August	0,0460	0,0100	0,0240	0,0590	0,0240	0,1140	0,0840
September / September	-0,1320	-0,0560	-0,0620	-0,0300	-0,1550	0,0530	-0,1310
Oktober / October	-0,1770	-0,1980	-0,1630	-0,0740	-0,0500	-0,0350	-0,1100
November / November	-0,0710	0,0450	0,0130	0,0740	0,0340	0,0100	-0,0840
December / December	0,0050	0,0980	0,0000	0,0120	0,0440	0,0750	0,0020
MJJAS	0,3540	0,1850	0,3260	0,3870	0,1990	0,2720	0,2390
MJJA	0,4590	0,2320	0,4040	0,4600	0,2910	0,2790	0,3230
JJA	0,4290	0,2480	0,3620	0,4010	0,2470	0,2550	0,3170

MJJAS kombinacija povprečnih mesečnih temperatur v mesecih maj-junij-julij-avgust-september / combination of average monthly temperature in May-June-July-August-September

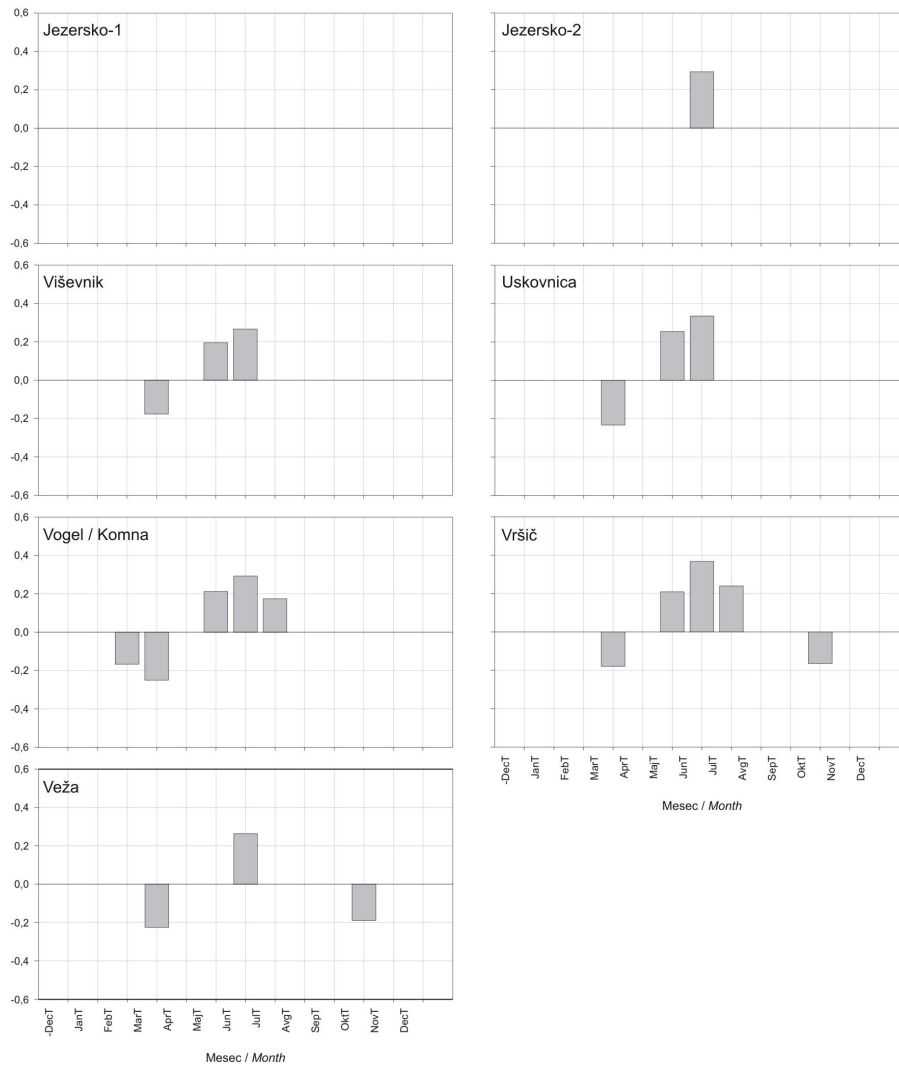
MJJA kombinacija povprečnih mesečnih temperatur v mesecih maj-junij-julij-avgust / combination of average monthly temperature in May-June-July-August

JJA kombinacija povprečnih mesečnih temperatur v mesecih junij-julij-avgust / combination of average monthly temperature in June-July-August

Negativen vpliv na rast pa imajo nadpovprečne temperature v marcu. Kljub visoki statistični značilnosti in pojavu negativnega vpliva nadpovprečnih temperatur v marcu na različnih lokacijah (5 od 7) pa je fiziološka pojasnitev tega pojava težka in za zdaj ostaja nepojasnjena. Zanimivo pa je, da so se z enakim problemom srečali tudi drugi avtorji (primerjaj s FRANK / ESPER 2002).

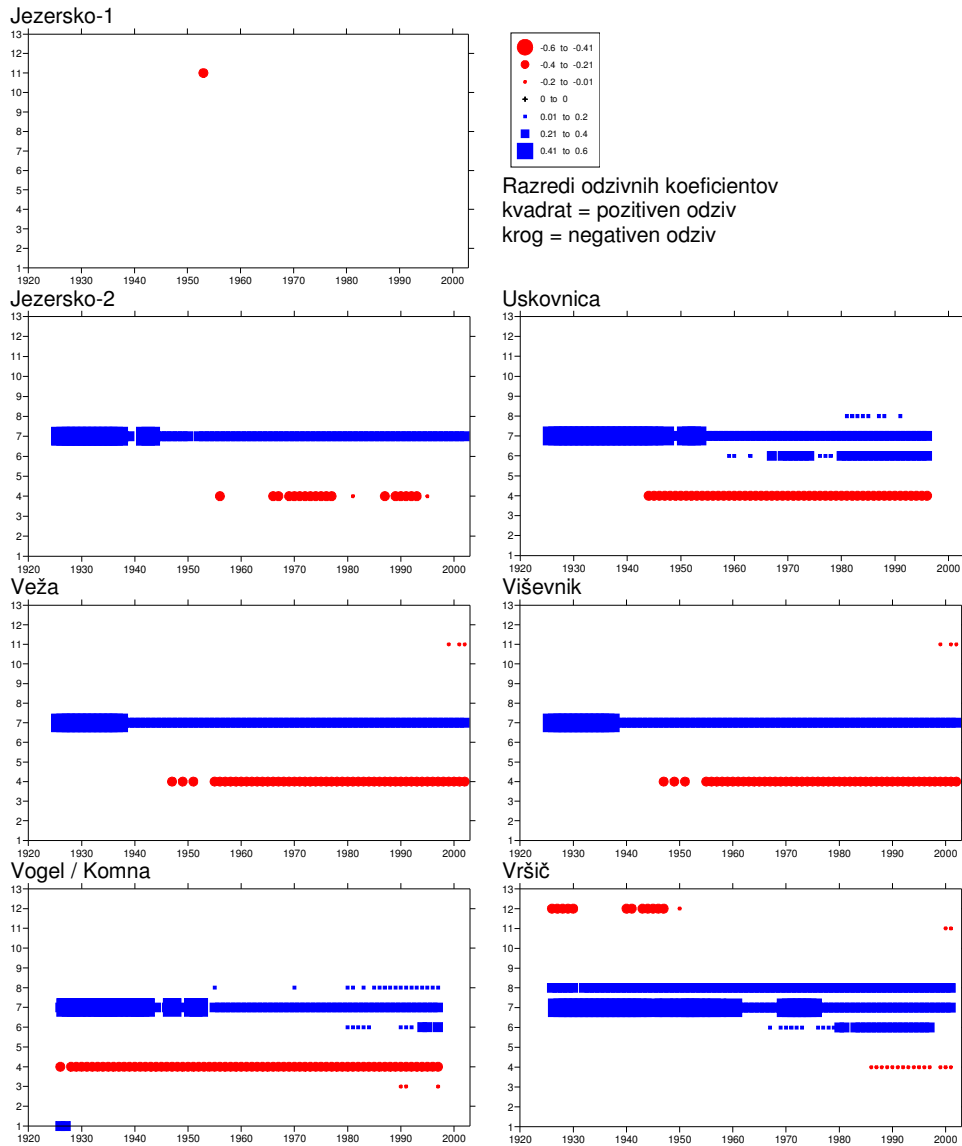
Združitev za rast ključnih mesecev - junij-julij-avgust (JJA), maj-junij-julij-avgust (MJJA) in maj-junij-julij-avgust-september (MJJAS) v eno samo spremenljivko – je samo potrdilo ugotovitve analize, narejene na nivoju posameznih mesecev. Največji vpliv na rast imajo na vseh ploskvah nadpovprečne temperature v kombinaciji MJJA, nekoliko manjši je vpliv v kombinaciji JJA in najmanjši v kombinaciji MJJAS, kar pomeni, da september nima več odločilnega vpliva na formiranje široke branike.

Analiza statičnih odzivnih funkcij (slika 4) za obdobje 1900-2003 je pokazala, da je junij zelo pomemben mesec za nastajanje branike pri macesnu. Ugodne (nadpovprečno tople) razmere v juniju so statistično značilno povezane s širšo braniko. Na nekaterih nižje ležečih lokacijah (1500 m n.m.v. ali nižje) pa se vplivu junija pridruži tudi vpliv maja. Zanimivo je, da je lokacija Jezersko-1 glede značilnega vpliva klime zelo specifična in ne kaže takšnega odziva na klimo kot sosedna ploskev Jezersko-2. Vzorci z lokacije Jezersko-1 so bili odvzeti v razmeroma mladem sestoju s prevladujočim vplivom konkurence med drevesi. Kljub temu da smo s korelacijsko analizo na lokaciji Jezersko-1 dokazali značilen vpliv nadpovprečnih junijskih temperatur ter kombinacije JJA in MJJA na debelinsko rast macesna (Preglednica 6), pa odzivna analiza tega ni potrdila. Razlog za to je v večji občutljivosti odzivnih funkcij in metode BOOSTRAPED, ki z večjo zanesljivostjo pokažeta zares značilne povezave. Domnevamo, da bi s primerjavo širin branik in podatkov z bližnje meteorološke postaje dobili boljše, vendar tudi bolj lokalno temelječe odvisnosti, ki bi jih težko posplošili, in tudi primerjave med ploskvami ne bi bile mogoče.



Slika 4: Statistično značilne odzivne funkcije (neznačilne povezave niso prikazane) med povprečnimi mesečnimi temperaturami in standardiziranimi širinami branik. Slika prikazuje samo statično sliko dolgoročnega odziva dreves na klimo.

Figure 4: Significant response functions (non-significant relationships are not displayed) between average monthly temperature and standardised tree-ring widths. Figure presents only static picture of long-term response of trees to climate.



Slika 5: Dinamičen odziv dreves na povprečne mesečne temperature v času. Prikazani so samo značilni odzivi. Zaradi načina prikaza so zaporedne številke mesecev naslednje: -Dec =1, Jan=2, Feb=3, Mar=4, Apr=5, Maj=6, Jun=7, Jul=8, Avg=9, Sept=10, Okt=11, Nov=12, Dec=13.

Figure 5: Dynamical response of trees to average monthly temperature in time. Only significant responses are displayed. Months are coded as follows: -Dec =1, Jan=2, Feb=3, Mar=4, Apr=5, May=6, Jun=7, Jul=8, Aug=9, Sep=10, Oct=11, Nov=12, Dec=13.

Z analizo dinamičnih odzivnih funkcij smo dobili vpogled v časovno spreminjanje odvisnosti med širinami branik in klimo – slika 5. Kljub predpostavki, da se odnos med širino branike in klimo v času ne spreminja, pa številni raziskovalci ugotavljajo ravno nasprotno – odnos med klimo in širinami branike ni časovna konstanta in se spreminja (SMITH / ČUFAR / LEVANIČ 1999). Hkrati opozarjajo tudi na dejstvo, da je obstoj spremenljivosti tega odnosa lahko tudi dober indikator klimatskih sprememb na zgornji gozdni meji. Z metodo forward evolutionary intervals smo z oknom širine 26 let v programu DendroCLIM 2002 preizkusili časovno stabilnost povezave med širinami branik in klimo. S pomočjo te analize smo ugotovili, da pozitiven vpliv junija v času slabi – bolj ko se približujemo sedanosti bolj junij zgublja, maj pa pridobiva na pomenu, hkrati pa pridobivajo na negativnem pomenu tudi nadpovprečne marčevske temperature, in sicer: višje so, ožje so branike. To pomeni, da se okolje, v katerem rastejo macesni na zgornji gozdni meji, spreminja in da postajajo nadpovprečne temperature v marcu eden pomembnejših dejavnikov, ki negativno vpliva na rast dreves. Ali gre tu za viden odsev globalnega spreminjanja klime, pa bo pokazal čas.

4 ZAKLJUČKI **CONCLUSIONS**

V prispevku smo lokalne macesnove kronologije 7 lokacij v slovenskih Alpah (jugovzhodnih Alpah) primerjali s klimatskimi podatki z meteorološke postaje Ljubljana Bežigrad (1900 – 2003) in ugotavljali odvisnost med širino branike macesna in klimo na zgornji gozdni meji. Podatki z meteorološke postaje Ljubljana so se kljub relativni oddaljenosti od nekaterih raziskovalnih ploskev pokazali kot dovolj dobri za preučevanje vpliva povprečnih mesečnih temperatur na rast dreves na zgornji gozdni meji.

Analiza značilnih let je pokazala precejšnjo sinhronost odziva med 7 raziskovalnimi lokacijami na intervalu od 1870-2002 in skladen odziv na ekstremno tople – suhe / hladne – mokre razmere v določenem letu. Ugotovljenih je bilo 13 pozitivnih skupnih in 17 negativnih skupnih značilnih let.

Macesen (*Larix decidua* Mill.) se je izkazal kot primerna drevesna vrsta za preučevanje vpliva klime na širino branike na zgornji gozdni meji. Najbolj senzitivno in statistično

značilno se odziva na nadpovprečne junijske temperature – v primeru nadpovprečno toplega junija bo tudi branika v tem letu nadpovprečno široka. Po drugi strani ga močno prizadenejo nadpovprečno visoke temperature v marcu – v takem primeru je branika skoraj vedno ozka. Kljub visoki statistični značilnosti in pojavu negativnega vpliva nadpovprečnih temperatur v marcu na različnih lokacijah (5 od 7) pa je fiziološka pojasnitev tega pojava težka in za zdaj ostaja nepojasnjena. Zanimivo pa je, da so se z enakim problemom srečali tudi drugi avtorji.

V prispevku smo preverili tudi časovno spremenljivost klimatskega signala. Znano je namreč, da se odziv dreves na klimo s časom spreminja, razlogi za to so lahko fiziološki, lahko pa so tudi povezani s spreminjanjem klime. Za macesne na zgornji gozdni meji se je izkazalo, da se odziv na klimo s časom sicer spreminja, vendar ne na vseh lokacijah enako, ampak lokacijsko specifično. Tako smo skoraj na vseh ploskvah (razen Jezersko-1) opazili, da bolj ko se približujemo sedanjosti, bolj se krepi negativni vpliv nadpovprečnih marčevskih temperatur na rast macesna in da ugoden vpliv nadpovprečnih junijskih temperatur slabi. Na nekaterih lokacijah se je s približevanjem sedanjosti začel kot pomemben mesec za široko braniko pojavljati tudi nadpovprečno topel maj. Na lokaciji Vršič pa se je skozi vse obdobje kazal pomemben vpliv junijskih in julijskih nadpovprečnih temperatur in šele v zadnjem času tudi pozitiven vpliv nadpovprečnih majskih temperatur. Lokacija Vršič je klimatsko zelo specifična saj se tu neposredno mešata dva vpliva – vpliv mediteranske klime po Soški dolini navzgor in vpliv bolj kontinentalne klime s severne strani prelaza.

5 SUMMARY

The present study deals with European larch (*Larix decidua* Mill.) tree-ring width response to average monthly temperature at the upper timberline and dynamic change of this relationship in time. The study is based on 7 selected locations in the southeastern part of the Alps. On each location we cored between 12-18 trees. Maximum age of studied trees was 327 years, although even older trees (450+ years) were found but not included in local chronologies due to very specific growth pattern. Meteorological data set was taken from the Ljubljana – Bežigrad meteorological station. Observation period is from 1900 to present, with this station also being a part of the national climatological

network. The station is located in the centre of Ljubljana and is approximately 40-60 km away from the research plots. We could select a meteorological station closer to each research plot, but did not do so as we attempted to get an average response of the trees at the upper timberline from different locations, and this station happens to be the only one with appropriate long data set.

For each plot, pointer years were calculated. Number of both positive and negative pointer years varies between plots from 18 to 54. Pointer years analysis also showed synchronous response to above average warm / dry and below-average cold / wet years. Increment in above-average warm years was better than in wet and cold years. It seems that water is not a problem at high altitude larch sites in the southeastern part of the Alps. Larch turns out to be a very good and sensitive tree species to study climate growth relationship on the upper timberline. The calculated expressed population signal (EPS) was on every plot higher than 0.85, which is commonly accepted lowest value to include a chronology in dendroclimatological study. Simple analysis of relationship between tree-ring width and climate revealed positive and significant correlations between above average May, June and July and significant and negative correlations between tree-ring width and March above-average temperature – this response is hard to explain from physiological point of view, but was observed in other studies from the Alpine region as well. Static bootstrapped response function analyses confirm findings of simple correlation analysis. Due to more sensitive statistical method, bootstrapped response function analysis takes into account only significant relationships. Because of this, some correlations turn out to be insignificant, but the above-average temperature in June and March remains significant. On some locations, we also observed significant positive response to above-average temperature in May.

Temporal stability of climate-growth relationship was tested using the Forward Evolutionary Interval Method (part of the bootstrapped response function procedure). The results showed a change in the response to climate as the time approached 2003. Influence of the above-average temperature in June is becoming less important; while the above-average temperature in May appears to gain importance. Besides, negative influence of the above-average temperature in March is becoming progressively more important. Change of response is directly connected to the increasing winter temperatures at high altitudes in the last 10-15 years.

6 VIRI REFERENCES

- BIONDI, F. / WAIKUL, K., 2004. DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies.- *Computers & Geosciences* 30: 303-311.
- BRIFFA, K. R., 1994. Mid and late Holocene climate change: evidence from tree growth in northern Fennoscandia, NERC Natural Environment Research Council, no.: 94/2,
- BRIFFA, K. R. / JONES, P. D. / BARTHOLIN, T. / ECKSTEIN, D. / SCHWEINGRUBER, F. H. / KARLEN, W. / ZETTERBERG, P. / ERONEN, M., 1992. Fennoscandian summers from A.D. 500: Temperature changes on short and long timescales.- *Climate Dynamics* 7: 111-119.
- BRIFFA, K. R. / JONES, P. D. / PILCHER, J. R. / HUGHES, M. K., 1988. Reconstructing summer temperatures in northern Fennoscandia back to A.D. 1700 using tree-ring data from Scots pine.- *Arctic and Alpine Research* 20, 4: 385-394.
- BRIFFA, K. R. / OSBORN, T. J. / SCHWEINGRUBER, F. H., 2004. Large-scale temperature inferences from tree rings: a review.- *Global and planetary change* 40: 11-26.
- COOK, E. R., 1985. Time series analysis approach to tree ring standardization.- Doktorska disertacija, Tucson, University of Arizona, Laboratory of Tree-Ring Research, 171 p.
- COOK, E. R. / KAIRIUKSTIS, L. A., 1990. Methods of dendrochronology (applications in the environmental sciences).- Dordrecht, Boston, London, Kluwer academic publishers, 394 s.
- FRANK, D. / ESPER, J., 2002. Characterization and climate response patterns of high-elevation multi-species tree-ring network in the European Alps.- *Dendrochronologia* 22, 2: 107-121.
- FRIEDRICH, M. / REMMELE, S. / KROMER, B. / HOFMANN, J. / SPURK, M. / KAISER, K. F. / ORCEL, C. / KUEPPERS, M., 2004. The 12,460 year Hohenheim oak and pine tree-ring chronology from Central Europe - A unique annual record for radiocarbon calibration and paleo-environment reconstruction.- *Radiocarbon* 46, 3: 1111-22.
- GUIOT, J., 1991. The Bootstrapped Response Function.- *Tree-Ring Bulletin* 51: 39-41.

- HOLMES, R. L., 1994. Dendrochronology program library.- Users manual, Tucson, University of Arizona, Laboratory of Tree-Ring Research, 55 p.
- HUGES, M. K. / KELLY, P. M. / PILCHER, J. R. / LAMARCHE, V. C., 1982. Climate from tree rings.- Cambridge, London, New York, Cambridge University Press, 223 s.
- LEVANIČ, T., 2004. Ugotavljanje starosti dreves.- V: Staro in debelo drevje v gozdu, Ljubljana, Slovenia, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire,
- LEVANIČ, T., 2005. Kronologija macesna (*Larix decidua* Mill.) za območje jugovzhodnih Alp.- ZbGL 76: 39-70.
- LEVANIČ, T. / PIGNATELLI, O. / ČUFAR, K., 2001. A regional larch chronology of trees and historical buildings from Slovenia and Northern Italy.- *Dendrochronologia* 19, 2: 221-229.
- OGRIN, D., 1998. Dendrokronologija in dendroklimatologija Planine pri jezeru v Julijskih Alpah.- *Geografski vestnik* 70: 59-73.
- OGRIN, D., 1999. Klimatska pogojenost debelinskega prirastka dreves ob slovenskih visokogorskih alpskih jezerih (Climatic conditioning of radial increment of trees near Slovenian high-mountain Alpine lakes).- V: Sonaravni razvoj v slovenskih Alpah in sosedstvu / 1. Melikovi geografski dnevi, Kranjska gora, Slovenija, Dela. Oddelek za geografijo Filozofske fakultete, s. 89-102.
- SCHAR, E. / SCHWEINGRUBER, F. H., 1987. Post-glacial finds of stems from Grachen, Valais Canton.- *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 138, 6: 497-515.
- SCHAUB, M. / KAISER, K. F. / KROMER, B. / TALAMO, S., 2005. Extension of the Swiss Lateglacial tree-ring chronologies.- *Dendrochronologia* 23, 1: 11-18.
- SCHICHLER, B., 1996. Dendroökologische Untersuchungen an Tanne (*Abies alba* Mill.) in den Dinarsichen Bergen in Slowenien unter Einsatz verschiedener Standardisierungsverfahren.- diplomska naloga, Hamburg, Universität Hamburg, Institut für Holzbiologie, 54 p.
- SCHWEINGRUBER, F. H. / ECKSTEIN, D. / SERRE-BACHET, F. / BRÄKER, O. U., 1990. Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology.- *Dendrochronologia* 8: 9-38.
- SMITH, K. T. / ČUFAR, K. / LEVANIČ, T., 1999. Temporal Stability and Dendroclimatology in Silver Fir and Red Spruce.- *Phyton* 39, 3: 117-122.

- TESSIER, L. / GUIBAL, F. / SCHWEINGRUBER, F. H., 1997. Research strategies in dendroecology and dendroclimatology in mountain environments.- *Climatic Change* 36: 499-517.
- WIGLEY, T. M. L. / BRIFFA, K. R. / JONES, P. D., 1984. On the Average Value of Correlated Time Series, with Applications in Dendroclimatology and Hydrometeorology.- *Journal of Climate and Applied Meteorology* 23: 201-213.

7 ZAHVALA

ACKNOWLEDGMENTS

Raziskava je bila opravljena v okviru projekta MŠZŠ J4-3024 »Rast dreves na zgornji gozdni meji kot indikator klimatskih sprememb« (vodja dr. T. Levanič). Manjši del podatkov (Komna, Uskovnica) je bil uporabljen iz predhodnega projekta J4-7434 (vodja dr. K. Čufar), ki ga je ravno tako financiral MŠZŠ. Zahvaljujem se tudi kolegom gozdarjem iz območnih enot Bled, Kranj in Nazarje za pomoč pri iskanju najstarejših macesnovih sestojev v Sloveniji.

