

VPLIV KLIME NA MAKSIMALNO GOSTOTO KASNEGA LESA V BRANIKAH SMREKE (*Picea abies* (L.) Karst.) NA DVEH RASTIŠČIH V SLOVENIJI

Polona HAFNER¹, Tom LEVANIČ²

Izvleček

Navadna smreka (*Picea abies* (L.) Karst.) je zaradi svoje razširjenosti, zgradbe lesa in dolge življenjske dobe razmeroma pogost objekt dendrokronoloških raziskav. Doslej objavljene slovenske smrekove kronologije so bile sestavljene na podlagi širin branik, prispevek pa predstavlja prve denzitokronologije v Sloveniji in opisuje metodo določanja maksimalne gostote kasnega lesa branike (MXD). Raziskava je potekala na dveh različnih smrekovih rastiščih - Pokljuki in Sorškem polju. Na obeh lokacijah smo v vzorec zajeli po 13 dreves. Rezultati, dobljeni na Sorškem polju, so pokazali višje vrednosti MXD in manjše število značilnih let. Analiza je pokazala tudi pozitivno korelacijo med MXD in temperaturami v avgustu in septembru.

Ključne besede: Smreka (*Picea abies* (L.) Karst.), klima, maksimalna gostota kasnega lesa, MXD, denzitometrija

THE INFLUENCE OF CLIMATE ON TREE-RING MAXIMUM LATEWOOD DENSITY IN NORWAY SPRUCE (*Picea abies* (L.) Karst.) AT TWO SITES IN SLOVENIA

Abstract

Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) is frequently the object of dendrochronological research owing to its distribution, wood structure and longevity. The Norway spruce chronologies published in Slovenia so far have been based on tree-ring widths. This article presents the first density chronologies and describes the method of determining maximum latewood density (MXD). Two different sampling sites were selected (Pokljuka and Sorško polje) and 13 sampling cores were taken from each site. The results showed positive correlation between MXD and temperatures in August and September. Furthermore, higher MXD values and less pointer years were observed at the lowland Sorško polje site.

Key words: Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.), climate, maximum latewood density, MXD, densitometry

UVOD INTRODUCTION

Metode za določanje gostote lesa branik v dendrokronologiji bi v grobem lahko razdelili na tri kategorije. V prvo spadajo metode, ki temeljijo na optičnih analizah posnetkov odbite ali prepuščene vidne svetlobe na mikroskopskem in makroskopskem nivoju. V drugo skupino se uvrščajo metode, ki temeljijo na določanju gostote z uporabo laserja in merjenju upora pri vrtnanju branik ter visokofrekvenčni denzitometriji. Tretje, najpogosteje uporabljene metode za določanje gostote lesa pa temeljijo na analizi rentgenske slike (MANNES et al. 2007). Osnovno metodo analize rentgenske slike je razvijal in konec šestdesetih let 20. stoletja predstavil Hubert Polge. Glavni namen rentgenske densitometrije je dobiti negativ prečnega prereza vzorca lesa s projekcijo rentgenskega žarka skozi les na površino rentgenskega filma. Z denzitometrom na film posneto gostoto lesa pretvorimo v grafično ali digitalno

obliko, podatki pa ponazarjajo variacije gostote v branikah ter širino komponent posameznih branik (JONES / PARKER 1970). Najnovejša metoda, ki deluje po principu rentgenske denzitometrije, se imenuje nevtronska radiografija (an. Neutron Imaging) (MANNES et al. 2007).

Najperspektivnejše novejšie metode in instrumenti omogočajo, poleg natančnejšega določanja gostote, še druge analize. Tako na primer pri uporabi skenerja Itrax (Cox Analytical) poteka določanje gostote po principu analize rentgenske slike, z opcijo rentgenske fluorescenčne spektrometrije pa lahko določamo vsebnost kemijskih elementov v vzorcu. Ena glavnih prednosti te metode je v neposrednem prenosu podatkov v digitalno obliko (brez vmesnega razvijanja in analiziranja rentgenske slike) in takojšen dostop do podatkov (Itrax Density Scanner 2006). Campbell in sod. (2007) so ugotovili tesno povezavo med maksimalno gostoto kasnega lesa in jakostjo odbite modre svetlobe ter slednjo predlagajo kot cenovno sprejemljivo zamenjavo za klasično rentgensko denzitometrijo.

¹ P. H., univ.dipl.inž. gozd., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, polona.hafner@gozdis.si

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

Podatke pridobimo s skeniranjem vzorcev na komercialnem skenerju, na katerem lahko uporabnik s pomočjo programske opreme izključi rdeči in zeleni kanal. Na podlagi dosedanjih raziskav je očitno, da modri kanal omogoča najboljše sledenje maksimalne gostote kasnega (CAMPBELL et al. 2007).

Analiza gostotnega profila nam daje podatke o povprečni gostoti ranega lesa, gostoti kasnega lesa, minimalni gostoti ranega lesa ter maksimalni gostoti kasnega lesa (MXD). Poleg navedenih pa lahko iz analize gostotnega profila dobimo še podatke o širini branike, širini ranega in kasnega lesa ter delež ranega in kasnega lesa branike (slika 1) (COOK / KAIRIUKSTIS 1989).

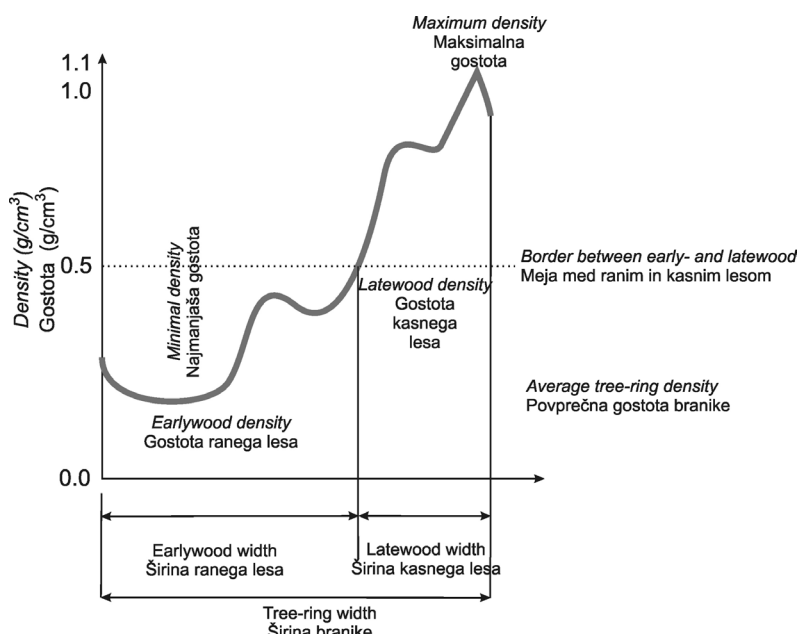
Do sedaj objavljene smrekove kronologije v Sloveniji so bile sestavljene na podlagi podatkov o širinah branik (TRW), predvsem za naravna smrekova rastišča (LEVANIČ / ČUFAR / ZUPANČIČ 1995), vključno z raziskavami v mraziščih (STANOVNIK 1998). Ferlin (1991) je na podlagi dendrokronološke raziskave dominantnih smrek na Pokljuki, Kočevski, Pohorju in v Šaleški dolini preučeval vpliv posrednega in neposrednega onesnaževanja na prirastni odziv dreves. Ugotovil je, da je naravna gorska smreka manj občutljiva na klimatske razmere kot (umetna) nižinska, in sklepal, da to velja tudi za emisijsko-klimatske vplive. Z vplivom emisij SO_2 na rast smreke v Šoštanju in Trbovljah se je ukvarjala tudi A. Slapnik (2006) in potrdila njihov negativni učinek na debelinski prirastek dreves. Lindner (2000) je analiziral rast smreke na različnih rastiščih Slovenije in glede na različne klimatske in rastiščne razmere ugotovil različno visoko variabilnost širin

branik na lokacijah in med njimi. Levanič in sodelavci (2006) so predstavili uporabo različnih parametrov za študij odziva smreke na klimo. Med njimi predstavljajo tudi MXD kot parameter, ki dobro korelira s poletnimi temperaturami in padavinami ter je razmeroma neodvisen od drugih parametrov (TRW, višinski prirastek, izotopska sestava).

Cilji naše raziskave so bili (a) konstruirati prvo MXD kronologijo v Sloveniji, (b) ugotoviti odziv dreves v MXD na klimatske dejavnike in (c) ugotoviti razlike v odzivu dreves v MXD med dvema smrekovima rastiščema.

MATERIALI IN METODE MATERIAL AND METHODS

Raziskava je potekala na dveh različnih rastiščih navadne smreke (*Picea abies* (L.) Karst). Prva lokacija leži na gorski planoti Pokljuki (1250 m n.v.) in je tipično naravno smrekovo rastišče (*Piceetum subalpinum*). Ti smrekovi sestoji so se sicer razvili na nekdanjih jelovo-bukovih rastiščih kot posledica preteklega gospodarjenja. Za lokacijo so značilne nizke zimske temperature in visoka količina snežnih padavin. Padavine so obilne prek celega leta, z dolgoletnim povprečjem 1978 mm, največ pa jih pade v obdobju od septembra do novembra. Najtoplejša meseca sta julij in avgust s povprečno temperaturo 12,3 oz. 11,9 °C. Rastišče je vlažno, z relativno nizkimi poletnimi temperaturami in kot tako optimalno za rast smreke, ki je na Pokljuki danes dominantna drevesna vrsta. Druga lokacija leži na nižinskem Sorškem polju (350 m n.v.)



Slika 1: Komponente gostotnega profila branike (COOK / KAIRIUKSTIS 1989)

Fig. 1: Tree-ring density profile components (COOK / KAIRIUKSTIS 1989)

in pripada gozdni združbi *Quercus-carpinetum*. Smreka je bila tu tako kot na Pokljuki nasajena, vendar so razmere za njeno uspevanje manj ugodne. Povprečna temperatura je najvišja v juliju, ko dosega 20,0°C, povprečna količina padavin pa je 1409 mm. Kljub rednim padavinam v vegetacijski sezoni (polovica letnega povprečja padavin pade v obdobju maj-september) so smreke na tej lokaciji pogosto v sušnem stresu, saj debela prodnata plast tik pod organskim horizontom odvaja vodo v globlje, koreninam smreke nedostopne plasti tal.

Na vsaki lokaciji smo izbrali 13 navidezno zdravih odraslih dominantnih dreves. Iz vsakega drevesa smo odvzeli po en izvrtak s prirastoslovnim svedrom Suunto, dolžine 400 mm in širine 12 mm. Pri odvzemu vzorcev za merjenje gostote lesa je treba posebno pozornost nameniti pravilnemu kotu med vrtnanjem dreves, saj mora biti površina odvzetega vzorca pravokotna na aksialno os traheid. Le v primeru, ko rentgenski žarki prodirajo skozi vzorec pod kotom, vzporednim z vzdolžno osjo traheid, dobimo pravilne podatke o gostoti lesa branike (PARKER / MELESKIE 1970). Vzorce smo shranili v plastične tulce, jih zalepili, opremili s šifro lokacije in šifro drevesa ter jih prenesli v laboratorij. Pred presevanjem vzorca z rentgenskimi žarki je bilo treba iz lesa odstraniti snovi, ki so neprosojne za rentgenske žarke. Ena takih snovi je voda, zato mora vlažnost vzorcev pred rentgenskim slikanjem znašati približno 8-9 % njihove teže (VAGANOV / HUGHES / SHASHKIN 2006). Na zraku posušene vzorce smo vlepili med dva nosilca in jih nato na posebej v ta namen razviti žagi z dvojnimi rezilom razrezali na enotno debelino $1,96 \pm 0,02$ mm.

Merjenje gostote lesa v braniki

Pripravljene vzorce lesa smo položili neposredno na rentgenski film, skupaj s standardiziranim stopničastim kalibracijskim klinom. Ti kalibracijski klini so lahko iz različnih materialov, najpogosteje so v uporabi plastični, ki vsebujejo enake deleže ogljika, vodika in kisika kot les. Klini so lahko tudi iz papirja, narejenega iz lesa preučevane drevesne vrste (VAGANOV / HUGHES / SHASHKIN 2006). Postopek poteka tako, da se na 0,01 mm vzdolž radija lesnega vzorca izmeri količina prepuščene svetlobe skozi rentgenski negativ med skeniranjem (PARKER / BRUCE / JOZSA 1980). Spekter in intenziteta rentgenskih žarkov sta določena z električno napetostjo (8-10 kV) in električnim tokom (16-20 A) ter oknom, skozi katero rentgenski žarki izhajajo (VAGANOV / HUGHES / SHASHKIN 2006). Uveljavila sta se dva pristopa rentgenskega slikanja. Po prvi metodi vzorec lesa postavimo na rentgenski film ter ga izpostavimo viru rentgenskih žarkov, ki so od mirujočega vzorca

oddaljeni 1,22 m (PARKER / MELESKIE 1970). Rezultat te razdalje je skoraj popolna vzporednost žarkov, tako da slika ni popačena (VAGANOV / HUGHES / SHASHKIN 2006). Po drugi metodi, ki je posebej uporabna pri analizi daljših vzorcev, rentgensko sevanje prihaja iz 1 mm široke reže, mimo katere se vzorec in film gibljeta s konstantno hitrostjo (PARKER / MELESKIE 1970). Najprej poteka skeniranje posameznih stopnic kalibracijskega klina, nato sledi skeniranje vzorcev lesa (PARKER / BRUCE / JOZSA 1980). Merjenje gostote vzorca poteka s pomočjo denzitometra, razvitega posebej za analizo rentgenskih slik lesa. Rentgensko sliko analizira niz detektorjev, kot rezultat analize pa dobimo gostotni profil (densitogram) posameznega vzorca. Resolucija denzitometra vzdolž podolžne osi vzorca branike mora biti čim manjša. Idealna je 10 μ m ali manj, kakršen je približno tudi premer traheid. Gostotni profili so zapisani v formatu, primernem za nadaljnjo obdelavo podatkov (VAGANOV / HUGHES / SHASHKIN 2006).

Standardizacija v programu ARSTAN

Iz meritev MXD smo dobili nestandardizirane (RAW) kronologije gostot posameznih branik izbranih dreves, iz njihovega povprečja pa lokalno kronologijo za posamezno lokacijo. V programu ARSTAN smo opravili standardizacijo časovnih vrst, ki jo predstavljajo gostote branik. Namen standardizacije časovne vrste je odstranitev starostnega trenda, maksimizacija klimatskega signala in minimizacija vseh drugih dejavnikov, ki nas v raziskavi ne zanimajo in jih imamo za motnje. Standardizacijo smo opravili s prilagoditvijo izbrane matematične funkcije posameznemu zaporedju maksimalnih gostot kasnega lesa branik (LEVANIČ 2006). Po končani standardizaciji dobimo štiri oblike kronologije. Kronologijo RAW predstavljajo vhodni podatki, na katerih smo opravili standardizacijo, sam program ARSTAN pa nam pripravi kronologijo še v treh oblikah. Kronologija, podana v obliki STD, je robustna ocena aritmetične sredine standardiziranih podatkov o gostoti branik. V kronologiji ni odstranjena avtokorelacija med zaporednimi branikami (COOK / HOLMES 1986). Kronologija RES je robustno standardizirano povprečje ostankov avtoregresijskega modeliranja zaporedij gostot branik. Ta tip kronologije ima zelo močan klimatski signal in ga v dendroklimatologiji uporabljamo najpogosteje. Z uporabo avtoregresijskega koeficienta je v kronologijo RES prek avtoregresijskega modeliranja dodana povprečna stopnja avtokorelacije v analizirani seriji gostot branik in tako dobimo kronologijo tipa ARS. V tej kronologiji je jakost klimatskega signala podobno visoka kot v kronologiji RES (LEVANIČ 2006).

Statistična analiza

Pri raziskavi smo uporabili meteorološke podatke z bližnjih meteoroloških postaj. Za lokacijo na Pokljuki smo uporabili podatke iz meteorološke postaje Mrzli studenec, kjer smo imeli na voljo podatke o povprečnih minimalnih, povprečnih maksimalnih in povprečnih mesečnih temperaturah za 49 let, v obdobju 1954 – 2002. Za lokacijo na Sorškem polju smo uporabili podatke meteorološke postaje Ljubljana, kjer smo dobili podatke o povprečnih minimalnih, povprečnih maksimalnih in povprečnih mesečnih temperaturah za 103 leta dolgo obdobje, med letoma 1900 in 2002. Pearsonove korelacijske koeficiente smo izračunali s pomočjo programa SYSTAT 11, kjer smo poleg podatkov o posameznih mesecih kot spremenljivke uporabili tudi različne kombinacije temperatur posameznih mesecev. V programskem okolju SYSTAT 11 smo opravili tudi t-test. Izračun odzivnih funkcij smo naredili v programu DendroCLIM 2002 (BIONDI / WAIKUL 2004). Regresijske in korelacijske koeficiente v programu DendroCLIM izračunamo po metodi »bootstrapped« (GUIOT 1991). Vsak izračun koeficientov s to metodo temelji na 1000 ponovitvah z naključnim izborom iz analiziranega nabora podatkov (LEVANIČ 2006). Grafi so narisani v programu SigmaPlot 10.0.

Naredili smo tudi analizo značilnih let, kjer smo kot značilno leto šteli tisto, v katerem se je 80 % od najmanj 13 dreves odzvalo s padcem ali dvigom rasti (v našem primeru MXD) glede na preteklo leto (SCHWEINGRUBER et al. 1990).

REZULTATI RESULTS

Konstrukcija kronologije MXD

Za preučevani lokaciji smo sestavili kronologijo maksimalnih gostot kasnega lesa branik (kronologije MXD). Kronologijo smreke na Pokljuki sestavljajo drevesa relativno homogene starostne strukture, stara so od 60 do 85 let. MXD se giblje v razponu od najmanjše izmerjene vrednosti 0,60 g/cm³ v letu 1976 do najvišje 1,06 g/cm³ v letih 1945 in 1947 (1,05

v 1999). V nasprotju z lokacijo na Pokljuki lokalno kronologijo na Sorškem polju sestavljajo drevesa v precej širšem starostnem razponu, od 36 do 96 let. Tudi MXD se giblje v nekoliko širšem intervalu - minimalna izmerjena MXD znaša 0,72 g/cm³ v letu 1992, maksimalna pa 1,26 g/cm³ v letu 1980. Večji odmik MXD posameznih dreves od povprečja na Sorškem polju kot na Pokljuki je razvidno na sliki 2.

Na Pokljuki so vrednosti MXD opazno nižje kot na Sorškem polju, kar je razvidno iz grafa lokalnih MXD-kronologij (slika 3). Vrednosti MXD na Sorškem polju se večinoma gibljejo nad nivojem 1 g/cm³, le v posameznih letih pade vrednost MXD pod to mejo, medtem ko na Pokljuki povprečna MXD nikoli ne preseže meje 1 g/cm³. Tu povprečna vrednost MXD znaša 0,86 g/cm³, medtem ko je na Sorškem polju 1,04 g/cm³. Statistično značilne razlike med kronologijama nam je potrdil tudi t-test za neparne vzorce ($t = -17,03^{***}$; $df = 179$).

Lokacijo na Pokljuki smo analizirali za obdobje 1941-2002, na Sorškem polju pa za 1959-2002, saj za ti dve obdobji dobimo zadostno globino vzorčenih dreves. Število tako pozitivnih (1956, 1961, 1963, 1966, 1970, 1973, 1977, 1979, 1994, 1985 in 1999) kot negativnih (1948, 1951, 1962, 1965, 1969, 1972, 1976, 1984, 1989 in 1995) let je na Pokljuki precej višje kot na Sorškem polju, kjer se pojavijo le 2 pozitivni (1985 in 1993) in 3 negativna (1986, 1992 in 2001) leta (preglednica 2). Značilna leta se na Pokljuki posebej intenzivno pojavljajo v obdobju 1960-1980, medtem ko takega obdobja na Sorškem polju ni zaznati. Obema lokacijama je skupno pozitivno značilno leto 1985, v katerem, z izjemo avgusta na Pokljuki, povprečne avgustovske in septembrske temperature presegajo večletno mesečno povprečje za 0,8 do 1,1 °C.

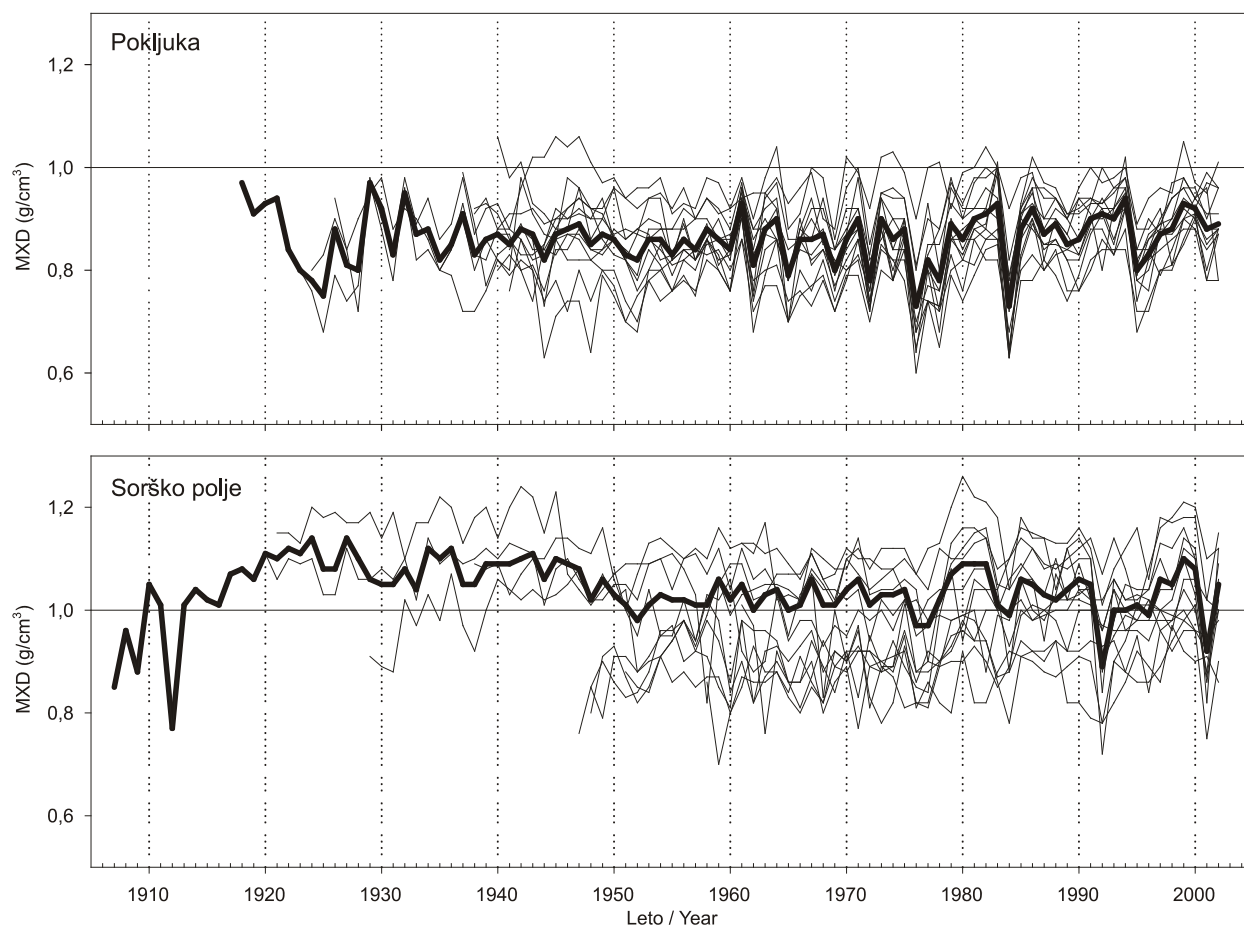
Korelacije med MXD in klimo

Analizo odvisnosti MXD od maksimalnih in povprečnih mesečnih temperatur smo opravili za obdobje od decembra predhodnega leta do oktobra tekočega leta, poleg posameznih mesecev pa smo v analizo vključili tudi temperaturna povprečja za rast ključnih mesecev (npr. skupni vpliv avgusta in septembra). Rezultati so si med seboj sicer precej podobni, dobimo

Preglednica 1: Osnovne statistične vrednosti lokalnih nestandardiziranih kronologij MXD

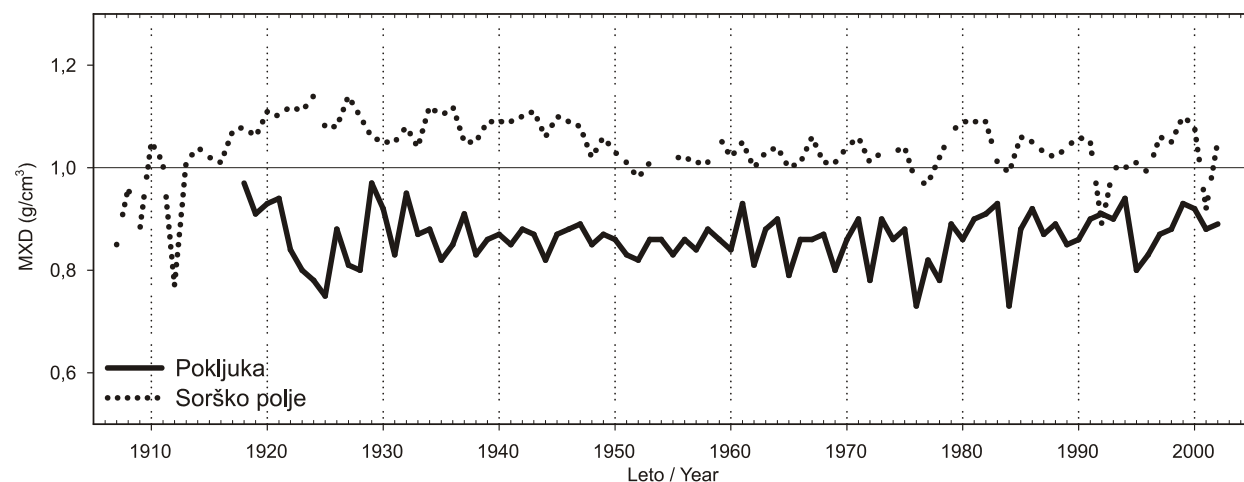
Table 1: Basic statistical parameters of local unstandardised MXD chronologies

Lokacija / Site	Dolžina /Length (leta/years)	Povp. gostota / Average density (g/cm ³)	Koef. variacije / Variation coeff. (%)	Max gostota / Max density (g/cm ³)	Min gostota / Min density (g/cm ³)
Pokljuka	85	0,86	5,70	0,97	0,73
Sorško polje	96	1,04	5,65	1,14	0,77



Slika 2: Posamezna zaporedja MXD in lokalni kronologiji za Pokljuko in Sorško polje

Fig. 2: Individual MXD sequences and local chronologies for Pokljuka and Sorško polje



Slika 3: Lokalni kronologiji MXD za lokaciji na Pokljuki in na Sorškem polju z označenim skupnim značilnim letom (polna črta)

Fig. 3: Local MXD chronologies for Pokljuka and Sorško polje. Common pointer year is marked with full line.

Preglednica 2: Število značilnih pozitivnih in negativnih let ter njihova vsota po lokacijah

Table 2: Number of positive and negative pointer years and their sum on sites

Lokacija/Site	Pozitivno leto / Positive year	Negativno leto / Negative year	Vsota / Sum
Pokljuka	11	10	21
Sorško polje	2	3	5

pa višje korelacije MXD z maksimalnimi temperaturami kot s povprečnimi, kjer je vpliv maksimalnih temperatur zabrisan. Na Pokljuki nam rezultati statistične analize pokažejo dobre korelacije med MXD in temperaturo. Pearsonovi korelacijski koeficienti pokažejo značilen vpliv tako povprečnih kot maksimalnih avgustovskih ($r_{\text{popv}} = 0,25$; $r_{\text{max}} = 0,44$) in septembrskih ($r_{\text{popv}} = 0,36$; $r_{\text{max}} = 0,55$) temperatur na MXD. Prav tako se kot značilni pokažejo vplivi povprečnih temperatur junija in različnih kombinacij poletnih mesecev. Na Sorškem polju pa so statistično značilne le korelacije med povprečnimi ($r_{\text{popv}} = 0,37$) in maksimalnimi ($r_{\text{max}} = 0,35$) temperaturami septembra ter kombinacijo avgusta in septembra. Korelacije z drugimi v analizo vključenimi meseci in njihovimi kombinacijami tu niso statistično značilne (preglednica 3).

Korelacijska analiza nam da osnoven vpogled v razmerje med MXD in klimo, analiza z odzivnimi funkcijami, ki je bolj konservativna, pa nam pokaže značilen vpliv temperatur v septembru ter kombinacij posameznih mesecev. Kot ugotavlja Levanič (2006), je razlog za to v večji občutljivosti odzivnih funkcij in metode »bootstrapped«. Analize odzivnih funkcij kažejo pozitiven odziv dreves na nadpovprečne temperature v septembru, tako na Pokljuki ($r = 0,47$) kot na Sorškem polju ($r = 0,29$). Statistično značilen je tudi vpliv vsote maksimalnih temperatur v obdobju maj - september (Pokljuka $r =$

0,25; Sorško polje $r = 0,12$). Pozitiven odziv dreves v MXD je statistično značilen še pri vsoti maksimalnih temperatur v avgustu in septembru (Sorško polje $r = 0,19$; Pokljuka $r = 0,37$), medtem ko povprečje povprečnih temperatur teh dveh mesecev nima značilnega vpliva. Na Sorškem polju se kaže tudi vpliv temperature v obdobju med majem in junijem ter negativen vpliv obdobja od junija do avgusta.

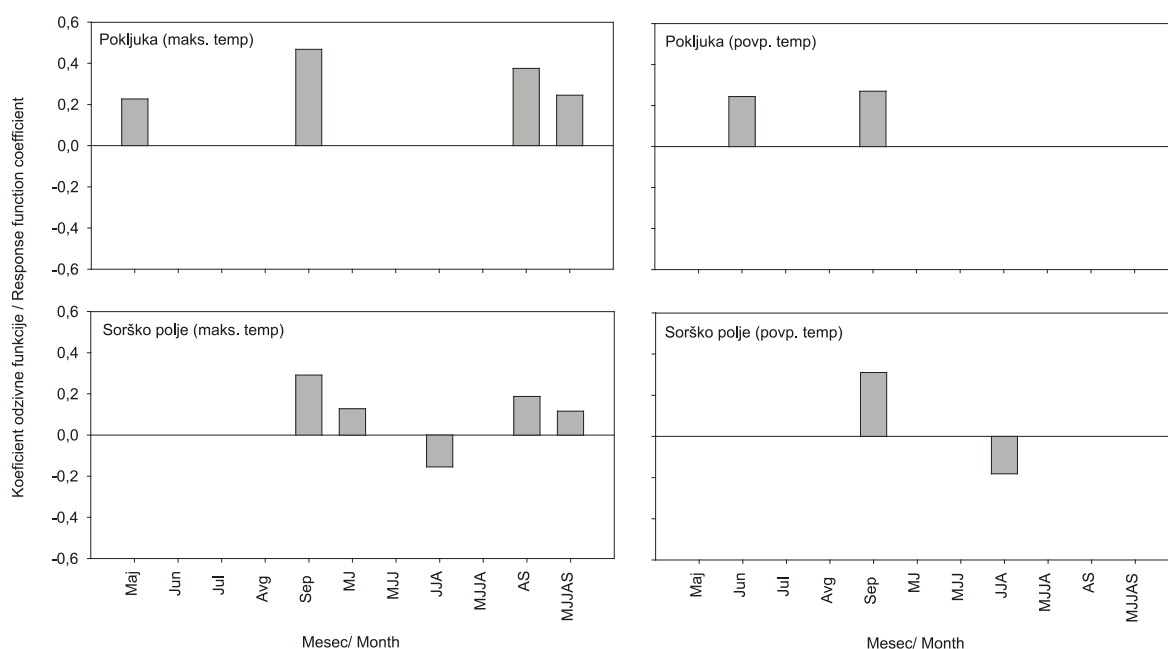
RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Maksimalna gostota kasnega lesa (MXD) je ena izmed komponent letnega radialnega prirastka drevesa, ki se med rastno sezono spreminja, optimalno obdobje za doseganje visokih vrednosti MXD smreke je v avgustu in septembru (GINDL / GRABNER / WIMMER 2000). Pri večini iglavcev gostota kasnega lesa ne doseže svojega maksimuma prav v zadnjem sloju celic, pač pa nekje na sredini širine kasnega lesa (VAGANOV / HUGHES / SHASHKIN 2006). Poleg zunanjih dejavnikov je zgradba branike odvisna tudi od notranjih dejavnikov (CHAVCHAVDZE 1979, ZOBEL / VAN BUIJTENEN 1989, ZOBEL / JETT 1995, cit. po VAGANOV in sod. 2006). Ekotipi smreke se med seboj razlikujejo glede zgodnejšega oz. kasnejšega odpiranja brstov, rast poganjkov

Preglednica 3: Pearsonovi korelacijski koeficienti med MXD ter povprečnimi in maksimalnimi mesečnimi temperaturami in kombinacijami temperature poletnih mesecev. Statistično značilne korelacije so poudarjene z debelim tiskom (Pokljuka $r > 0,23$ in Sorško polje $r > 0,18$)

Table 3: Pearson's correlation coefficient between MXD and average monthly temperatures, maximum monthly temperatures and summer months temperature combinations. Statistically significant correlations are bolded (Pokljuka $r > 0,23$ in Sorško polje $r > 0,18$)

Obdobje / Period	Pokljuka		Sorško polje	
	povp. temp. / avg. temp.	maks. temp. / max. temp.	povp. temp. / avg. temp.	maks. temp. / max. temp.
Maj	0,11	0,31	0,07	0,07
Junij	0,30	0,22	0,03	0,03
Julij	-0,03	0,13	0,00	-0,02
Avgust	0,25	0,44	0,02	0,02
September	0,36	0,55	0,37	0,35
Maj-Junij	0,26	0,33	0,06	0,06
Maj-Junij-Julij	0,19	0,34	0,05	0,04
Maj-Junij-Julij-Avgust	0,27	0,46	0,04	0,02
Junij-Julij-Avgust	0,27	0,43	0,02	0,04
Avgust-September	0,38	0,64	0,25	0,24
Maj-Junij-Julij-Avgust-September	0,32	0,63	0,17	0,17



Slika 4: Odzivni koeficienti med MXD ter povprečnimi in maksimalnimi mesečnimi temperaturami poletnih mesecev in kombinacijami med njimi

Fig. 4: Response coefficients between MXD and average and maximum summer months temperatures and their combination.

pa se kaže v različnih gostotah branike. Tako čas odpiranja brstov genetsko delno kontrolira zgradbo lesa (WORRAL 1970, cit. po VAGANOV in sod. 2006). Za 150 let stare smreke so ugotovili, da je kasnejše odpiranje brstov povezano z nižjo gostoto lesa (MERGEN in sod. 1964, BIROT / NEPVEU 1979, cit. po VAGANOV in sod. (2006). S to ugotovitvijo lahko povežemo naše rezultate, saj so le-ti pokazali višjo MXD pri smreki na Sorškem polju ($1,04 \text{ g/cm}^3$) kot na Pokljuki ($0,86 \text{ g/cm}^3$), kjer se vegetacijska sezona začne kasneje, čemur posledično sledi kasnejše odpiranje brstov.

Nastanek ranega lesa je v glavnem odvisen od razmer v predhodni rastni sezoni, medtem ko na lastnosti kasnega lesa vpliva predvsem fotosinteza in neto asimilacija tekoče vegetacijske sezone (LARSON 1967). Tako sezonske (maj - september) kot letne (januar – februar) temperature vplivajo na razvoj branike (delitev kambijskih celic, radialne rasti in lignifikacije). Ob koncu rastne sezone se začne sekundarna debelitev celične stene zadnjih nastalih celic. Klimatske razmere v poznem poletju tako neposredno vplivajo na debelino celičnih sten ob koncu sezone nastalih celic kasnega lesa. Debelina celične stene pa je močno odvisna od fotosintetske produkcije in neto asimilacije, ki sta omejeni z nizkimi temperaturami ter dolžino rastne sezone (WANG / PAYETTE / BEGIN 2001).

V primerjavi s Sorškim poljem je MXD na Pokljuki opazno nižja. Razlika v povprečni vrednosti MXD izkazuje različne rastiščne razmere na obeh lokacijah. Pokljuka leži na

višji nadmorski višini, vegetacijska sezona je krajša, temperature so nižje in posledično ima drevo manj časa za debelitev celičnih sten traheid kasnega lesa. Odziv dreves na temperaturo je na Pokljuki izrazitejši kot na Sorškem polju. Odgovor, zakaj je tako, lahko iščemo tudi v ugotovitvah drugih avtorjev (BÜNTGEN et al. 2006), ki so na podlagi analiz širin branik ugotovili, da je vegetacija na višjih nadmorskih višinah bolj občutljiva za temperaturne spremembe, na nižje ležečih lokacijah pa za spremembe v količini padavin. Na Pokljuki je nizka temperatura tisti dejavnik, ki omejuje rast. Nadpovprečne temperature v poletju pa smrekam na Sorškem polju ne ustrezajo najbolj, saj so povezane s pomanjkanjem vode, ki pa je že tako omejujoč dejavnik na plitvih in prodnatih tleh.

Drevesne kronologije na Pokljuki kažejo na skladen odziv dreves na razmere v določenem letu in se med seboj dobro ujemajo, nihanja v MXD posameznih let so izrazitejša in intenzivnejša kot na Sorškem polju, na kar kaže višje število značilnih let na Pokljuki. Na Sorškem polju je variabilnost vrednosti MXD posameznih dreves večja, drevesa se na okoljske razmere odzivajo manj sinhrono. Tudi Lindnerjeva (2000) analiza širin branik na Sorškem polju je pokazala majhno število značilnih let, velike standardne odklone, neizrazit starostni trend ter mikrolokacijsko pogojeno rast, medtem ko opaža izrazit starostni trend na Pokljuki, manjše standardne odklone in skladnejši odziv dreves na okoljske dejavnike.

SUMMARY

The purpose of our research was to build the first Slovenian MXD (maximum latewood density) chronology and to investigate climate influence on MXD values at two different sites, Pokljuka and Sorško polje. At each site, 13 apparently healthy trees were sampled, and as soon as the procedure was established, two MXD chronologies were built. Average MXD values at Pokljuka never exceed 1 g/cm^3 , while average MXD at Sorško polje reaches 1.04 g/cm^3 and only falls under 1 g/cm^3 during some negative years. Growing season at Pokljuka is shorter and temperatures are lower, so trees have less time to finish cell wall thickening. Statistically significant differences between average values were confirmed by t-test ($t = -17,03^{***}$, $df = 179$). Pointer years analysis was made and the results show more positive and negative years at the Pokljuka site. Only one common positive pointer year (1985) was found for both sites when average September and August temperatures exceeded multi-annual average temperatures (with the exception of August at the Pokljuka site).

Simple correlation analysis showed significant correlations between MXD and maximum and average temperatures for almost all summer months at Pokljuka. At Sorško polje, correlations were significant only in September and in the combination of August and September temperatures; these two months represent the optimum period for MXD formation. More conservative response analysis confirmed significant correlations at both sites in September temperatures only. Coefficients were also statistically significant for Pokljuka and Sorško polje August-September maximum temperatures.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENTS

Raziskava je potekala v okviru raziskovalnega projekta PINE (EVK2-CT-2002-00136), ki je podprt s strani petega okvirnega programa Evropske komisije. Zahvaljujemo se gozdarjem OE Bled in OE Kranj, ki so nam omogočili delo na terenu.

VIRI

REFERENCES

- BÜNTGEN, U. / FRANK, D. C. / SCHMIDHALTER, M. / NEUWIRTH, B. / SEIFERT, M. / ESPER, J., 2006. Growth/climate response shift in a long subalpine spruce chronology.- *Trees* 20: 99-110.
- CAMPBELL, R. / MCCARROLL, D. / LOADER, N. J. / GRUDD, H. / ROBERTSON, I. / JALKANEN, R., 2007. Blue intensity in *Pinus sylvestris* tree-rings developing a new palaeoclimate proxy.- *The Holocene* 17, 6: 821-828.
- COOK, E. R. / HOLMES, R. L., 1986. ARSTAN - Guide for computer program ARSTAN.- In: *Users manual for Program ARSTAN*, 9 str.
- COOK, E. R. / KAIRIUKSTIS, L. A., 1989. *Methods of dendrochronology (applications in the environmental sciences)*.- Dordrecht, Boston, London, Kluwer academic publishers, 394 p.
- FERLIN, F., 1991. Nekatere značilnosti pojava umiranja smreke in njenega prirastnega odzivanja na emisijske strese.- *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 37: 125-156.
- GINDL, W. / GRABNER, M. / WIMMER, R., 2000. The influence of temperature on latewood lignin content in treeline Norway spruce compared with maximum density and ring width - *Trees* 14: 409-414.
- GUIOT, J., 1991. The bootstrapped response function.- *Tree-Ring Bulletin* 51: 39-41.
- Itrax Density Scanner. Digital radiographic Imaging. Multi-element scanning. Density Analysis. 2006. Gothenburg, Cox Analytical Systems. http://www.coxsys.se/density_scanner.htm
- JONES, F. W. / PARKER, M. L., 1970. G. S. C. tree-ring scanning densitometer and data acquisition system.- *Tree-Ring Bulletin* 30, 1-4: 23-31.
- LARSON, P. R., 1967. Effect of Temperature on the Growth and Wood Formation of Ten *Pinus resinosa* Sources.- *Silvae Genetica* 16: 58-65.
- LEVANIČ, T., 2006. Vpliv klime na debelinsko rast macesna (*Larix decidua* Mill.) na zgornji gozdni meji v Alpah.- *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 78: 29-55.
- LEVANIČ, T. / ČUFAR, K. / ZUPANČIČ, M., 1995. Kronologije letnih prirastkov jelke in smreke v Sloveniji.- *Les* 47, 9: 259-261.
- LEVANIČ, T. / JALKANEN, R. / GRICAR, J. / GAGEN, M. / OVEN, P., 2006. Use of different growth parameters of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) to study tree response to climate.- *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 80: 97-109.
- LINDNER, F., 2000. Dendrokronološka analiza rasti smreke (*Picea abies* Karst.) na različnih rastiščih v Sloveniji. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 42 str.
- MANNES, D. / LEHMAN, E. / CHERUBINI, P. / NIEMZ, P., 2007. Neutron imaging versus standard X-ray densitometry as method to measure tree-ring wood density.- *Trees* 21: 605-612.
- PARKER, M. L. / BRUCE, R. D. / JOZSA, L. A., 1980. X-ray densitometry of wood at the W.F.P.L.- Vancouver, Forintek Canada Corp. Western Forest Products Laboratory, Technical Report
- PARKER, M. L. / MELESKIE, K. R., 1970. Preparation of X-ray negatives of tree-ring specimens for dendrochronological analysis - *Tree-ring bulletin* 30, 1-4: 11-22.
- SCHWEINGRUBER, F. H. / ECKSTEIN, D. / SERRE-BACHET, F. / BRAKER, U. O., 1990. Identification, presentation and interpretation of event ears and pointer years in dendrochronology.- *Dendrochronologia* 8: 9-38.
- SLAPNIK, A., 2006. Dendrokronološka analiza debelinskega prirastka navadne smreke (*Picea abies* (L.) Karsten) v okolici termoelektrarn Šoštanj in Trbovlje. Diplomsko delo. Maribor, Pedagoška fakulteta, Oddelek za biologijo, 124 str.
- STANOVNIK, M., 1998. Dendrokronološka analiza rasti smreke (*Picea abies* Karst.), Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 54 str.
- VAGANOV, E. A. / HUGHES, M. K. / SHASHKIN, A. V., 2006. Tree-Ring Structure in Conifers as an Image of Growth Conditions.- In: *Growth Dynamics of Conifer Tree Ring. Images of Past and Future Environments.*, Springer Berlin Heidelberg, 382 str.
- WANG, L. / PAYETTE, S. / BEGIN, Y., 2001. 1300-year tree-ring width and density series based on living, dead and subfossil black spruce at tree-line in Subarctic Quebec, Canada.- *The Holocene* 11, 3: 333-341.